جـامعة بوليتكنك فلسـطـيـن

عمادة الدراسات العليا والبحث العلمي

ماجستير الـوسـائط المتعددة

# تعزيز الوضوح: تصميم خط رقمي عربي لذوي عسر القراءة

# Enhancing Clarity: Developing Arabic Typeface for People with Dyslexia

**زكريا إسماعيل عيسى صالح**

المشرف:

**الدكتور عرفات النعيم**

رسالة مقدّمة استكمالًا لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير في تخصص الوسائط المتعددة في كلية الدراسات العليا في

جامعة بوليتكنك فلسطين – فلسطين.

2026

جـامعة بوليتكنك فـلسـطـيـن

عمادة الدراسات العليا والبحث العلمي

ماجستير الـوسـائط المتعددة

# تعزيز الوضوح: تصميم خط رقمي عربي لذوي عسر القراءة

# Enhancing Clarity: Developing Arabic Typeface for People with Dyslexia

**رسالة ماجستير في الوسائط المتعددة**

إعداد: زكريا إسماعيل عيسى صالح

**الخليل – 2026**

# شهادة الموافقة على الأطروحة

تمت دراسة أطروحة الماجستير للباحث زكريا إسماعيل عيسى صالح، خريج قسم الوسائط المتعددة، ورقمه الجامعي (226017)، والتي تحمل عنوان: "تعزيز الوضوح؛ تصميم خط رقمي عربي لذوي عسر القراءة". وقد حازت الأطروحة على قبول لجنة التحكيم بالإجماع، وتم منح درجة الماجستير في تخصص الوسائط المتعددة للباحث. كما جرى اعتمادها رسمياً من قبل كلية الدراسات العليا والبحث العلمي في جامعة بوليتكنك فلسطين، بالخليل.

**تاريخ الدفاع عن الأطروحة:**

| أعضاء لجنة التحكيم | التوقيع |
|---|---|
| 1. الأستاذ الدكتور نصّار محمد منصور | |
| 2. الدكتور نصر جوابرة | |
| 3. الدكتورة عرفات طاهر النعيم | |

| عميد الدراسات العليا والبحث العلمي | التاريخ | التوقيع |
|---|---|---|
| | | |

**إقرار**

أُقِرُّ أنا مُعِدّ هذه الرسالة بأنها قُدِّمت إلى جامعة بوليتكنك فلسطين؛ استكمالاً لمتطلبات نيل درجة الماجستير. وأُقِرُّ كذلك بأن هذه الرسالة هي نتاج أبحاثي وجهدي الخاص، باستثناء ما تم الإشارة إليه والاقتباس منه بشكل واضح وموثق حيثما ورد في متن الرسالة. وأؤكد أن هذه الدراسة، أو أي جزء منها، لم يُقدَّم سابقاً لنيل درجة علمية أو شهادة عُليا في أي جامعة أو معهد آخر.

**الاســـم:** زكريا إسماعيل عيسى صالح

**التوقيع:**

**التاريخ: 15 / 04 / 2026**

**الإهداء**

﴿وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا﴾

بهذه الآية الكريمة والدعاء الذي كان ولا يزال زادي في دروب المعرفة، أستفتح رسالتي هذه، مستعينًا بالله تعالى وشاكرًا فضله، ومُقرّاً بجميل مَن أحاطوني بعونهم ومحبتهم الصادقة.

إلى كل من له عليّ حقّ، وإلى من كانوا سنداً وسِتراً، ونوراً هادياً في غياب الرؤية، وظلّاً وارفاً في قسوة المسير، ومشعلَ معرفةٍ لا ينضب.

إلى والدتي الكريمة التي غرست فيّ بذور الإبداع، وسقتها بالصبر الجميل والدعاء المستجاب، فصار التصميم في يديّ لغةً وهويةً.

إلى والدي العزيز، الصديق والأخ، الذي علّمني كيف يكون الصمتُ حكمةً، والعملُ عبادةً، والتصميمُ نزاهةً، وجمالاً.

إلى من أخذ بيدي في هذا العالم الخطيّ، وعلّمني كيف يُرسم الحرف، وكيف ينطق روحاً ولغةً: الأستاذ محمد عصفور، والمهندس سعود الشمري، والدكتور أسامة ربيع، والأستاذ عبد الله عارف، والأستاذ عمرو بن يحيى المنصوري.

إلى أهلي الكرام؛ إخوتي وأخواتي، وأسرتي الصغيرة، وزوجتي المصابرة التي احتملت مشقة الطريق، وكانت لي وطناً وسكناً. وإلى أبطالي: محمد ويحيى وآدم.

وإلى طفلتيَّ ترتيل وجنّة، أحتسبهما عند الله تعالى عصفورتين في جنان الخلد، ونوراً لا ينطفئ في وجداني.

وإلى رواء، التي بقدومها فُتحت أبواب الخير، وكانت بلسَمَ الأيّام الثقيلة ونقطة الضوء في لوحة العمر.

وإلى أساتذتي ومعلّميّ الأجلّاء، من وضّحوا لي المسار، وأناروا لي الدرب، وزرعوا في فكري بذور المعرفة النقيّة.

لكم جميعاً، أُهدي هذا الجهد المتواضع، نبضاً من روحي، وامتداداً لحروفي التي تزيّنت بفضلكم.

**شكر وعرفان**

أتقدّمُ بوافر الشكر وعظيم التقدير إلى مُشرفي العزيز، الدكتور عرفات النعيم، على ما بذله من جهدٍ علميّ دؤوب، وما قدّمه من دعمٍ متواصل وتوجيهاتٍ سديدة أسهمت بشكل فاعل في صقل مهاراتي البحثيّة وتعميق فهمي لموضوع الدراسة. لقد كان لعنايته الدقيقة وملاحظاته القيّمة الأثر البالغ في إثراء هذا العمل وارتقائه، وخروجه إلى النّور بهذه الصورة.

كما أخصُّ بالشكر أسرة برنامج الوسائط المتعدّدة في جامعة بوليتكنك فلسطين، التي وفّرت البيئة الأكاديمية المحفّزة والمناخ العلميّ الخصب. والشكر موصول إلى منسّق البرنامج، الدكتور نصر جوابرة، الذي كان دوماً حاضراً بدعمه وإسناده وتواصله المستمر، وإلى الدكتور إسماعيل رومي، الذي يُعدُّ بحراً للعلم في مجال البحث العلمي، والذي علّمنا الأصول وأضاء فهمنا بمنهجية منظمة لا مثيل لها، وإلى الدكتور نزار الراوي، ملهمي وداعمي المستمر.

وإلى زملائي طلبة البرنامج الأعزاء، كلّ باسمه ولقبه، الذين شاركوني درب التعلّم والمعرفة؛ فكان لوجودهم الأثر الكبير. لكم جميعاً، خالص الامتنان والتقدير.

# الملخّص

هدفت هذه الدراسة إلى تصميم خطّ رقمي عربي ميسّر للقراءة لذوي عسر القراءة، انطلاقًا من مشكلة غياب خطوط عربية متخصصة مبنية على أسس علمية تراعي الخصائص البصرية والبنيوية للخط العربي، مع ندرة الأدوات الموضوعية التي تقيّم مدى ملاءمة الخطوط العربية لهذه الفئة. انطلقت الدراسة من فرضية مؤداها أن تطوير أداة تحليل حاسوبي للخصائص الطباعية العربية يمكن أن يوجّه تصميم خط أكثر وضوحًا، وأن يسهم في تحسين الأداء القرائي لدى المتعلمين ذوي عسر القراءة. تناولت الدراسة في إطارها النظري أربعة محاور رئيسة: الخصائص البنيوية للكتابة العربية ومتطلبات تصميمها الطباعي الرقمي، وعسر القراءة من حيث ماهيته وأبعاده الإدراكية، وتأثير المتغيرات الطباعية في الوضوح القرائي، ثم مراجعة الدراسات السابقة وتحديد الفجوة البحثية في السياق العربي. اعتمدت الدراسة منهجية مختلطة جمعت بين المسار التطويري الحاسوبي والمسار شبه التجريبي. ففي المسار الأول، طُوّرت أداة تحليل حاسوبية باسم "أرابيكليكسيا" لتحويل عدد من المبادئ الإدراكية والطباعية إلى مؤشرات كمية قابلة للقياس. وفي ضوء نتائج هذه الأداة، صُمّم الخط المقترح (ArabicLexia Font) بوصفه خطًّا عربيًا وظيفيًا موجّهًا لذوي عسر القراءة. أما في المسار الثاني، فقد جرى التحقق من فاعلية الخط المقترح من خلال تصميم شبه تجريبي شمل عينة مكونة من (21) طالبًا من ذوي عسر القراءة، وُزّعوا على ثلاث مجموعات. وتمثلت أدوات القياس في اختبارات لقياس دقة القراءة، والطلاقة القرائية، وأخطاء الخلط البصري. وأظهرت النتائج تفوق الخط المقترح في مؤشرات الأداء القرائي، إذ حقق متوسط دقة بلغ (90.84%)، مع انخفاض واضح في أخطاء الخلط البصري مقارنة بالمجموعتين الأخريين، في حين سجلت مجموعة التباعد المعدل أدنى مستوى أداء بمتوسط دقة بلغ (62.63%). وتشير هذه النتائج إلى أن تحسين القراءة في العربية لا يتحقق عبر توسيع المسافات وحده، بل عبر هندسة حرفية داخلية أكثر اتساقًا وتمييزًا. وتخلص الدراسة إلى أن تصميم الخط العربي الموجّه لذوي عسر القراءة ينبغي أن يقوم على تحليل بصري-إدراكي دقيق، وأن الأداة المطورة والخط الناتج عنها يقدمان نموذجًا أوليًا يمكن الإفادة منه في تطوير المواد التعليمية والمنصات الرقمية بما يعزز الوضوح القرائي والعدالة البصرية لهذه الفئة.

**الكلمات المفتاحيّة:** عسر القراءة، الخط العربي الرقمي، الوضوح القرائي، الأداء القرائي، هندسة الحرف، ArabicLexia.

# Abstract

This study aimed to design an Arabic digital typeface that facilitates reading for individuals with dyslexia, in response to the absence of specialized Arabic typefaces grounded in scientific principles that account for the visual and structural characteristics of the Arabic script, as well as the scarcity of objective tools for assessing the suitability of Arabic typefaces for this group. The study was based on the hypothesis that developing a computational tool for analyzing Arabic typographic features could guide the design of a clearer typeface and contribute to improving the reading performance of learners with dyslexia. The theoretical framework of the study addressed four main dimensions: the structural characteristics of Arabic writing and the requirements of its digital typographic design; dyslexia in terms of its nature and cognitive dimensions; the effect of typographic variables on reading clarity; and a review of previous studies with the identification of the research gap in the Arabic context. The study adopted a mixed-methods approach that combined a computational developmental track with a quasi-experimental track. In the first track, a computational analysis tool named ArabicLexia was developed to convert a set of cognitive and typographic principles into measurable quantitative indicators. Based on the outcomes of this tool, the proposed ArabicLexia Font was designed as a functional Arabic typeface intended for individuals with dyslexia. In the second track, the effectiveness of the proposed typeface was examined through a quasi-experimental design involving a sample of 21 students with dyslexia, who were distributed across three groups. The measurement instruments consisted of tests assessing reading accuracy, reading fluency, and visual confusion errors. The results showed that the proposed typeface outperformed the comparison conditions on reading performance indicators, achieving a mean accuracy of 90.84%, along with a clear reduction in visual confusion errors compared with the other two groups. By contrast, the modified-spacing group recorded the lowest level of performance, with a mean accuracy of 62.63%. These findings indicate that improving reading in Arabic cannot be achieved through increased spacing alone, but rather through a more consistent and distinctive internal letter design. The study concludes that the design of Arabic typefaces for individuals with dyslexia should be grounded in precise visual-cognitive analysis, and that the developed tool and the resulting typeface provide a preliminary

model that may inform the development of educational materials and digital platforms in ways that enhance reading clarity and visual equity for this group.

**Keywords:** Dyslexia, Arabic digital typography, reading clarity, reading performance, letter engineering, ArabicLexia.

# جدول المحتويات


**شهادة الموافقة على الأطروحة ..... أ**

**الملخّص ..... ج**

**Abstract ..... ح**

**الباب الأول: الإطار العام والمصطلحات..... 1**

الفصل الأول: الإطار العام للدّراسة ..... 1

1.1 مشكلة الدراسة ..... 1

1.2 فرضية الدراسة: ..... 2

1.3 تساؤلات الدّراسة ..... 3

1.4 أهداف الدّراسة ..... 3

1.5 أهميّة الدّراسة ..... 4

1.6 حدود الدّراسة ..... 5

1.6.1 الحدود الموضوعية: ..... 5

1.6.2 الحدود المكانية: ..... 5

1.6.3 الحدود الزمانية: ..... 5

1.7 مصطلحات الدّراسة ..... 6

1.7.1 عسر القراءة (Dyslexia) ..... 6

1.7.2 صعوبات التعلم(Learning Disabilities) ..... 6

1.7.3 العِبْء الإدراكي للتعقيد (Cognitive Burden of Complexity) ..... 7

1.7.4 الخطوط الطباعيّة العربيّة (Arabic Typefaces) ..... 8

1.7.5 معالجة الرّسم الكتابي (Orthographic Processing) ..... 9

1.7.6 الازدحام البصري (Visual Crowding) ..... 10

1.7.7 العمق الإملائي المزدوج (Double Orthographic Depth) ..... 10

1.7.8 الجرافيمات القوسية (Archigraphemes) ..... 11

1.7.9 أداء القراءة (Reading Performance) ..... 11

1.7.10 الدقّة القرائية (Reading Accuracy) ..... 12

1.7.11 الطلاقة القرائية (Reading Fluency) ..... 12

1.7.12 التصميم القائم على تحليل الأخطاء (Error-Informed Design) ..... 13

1.7.13 خط أرابيكليكسيا (ArabicLexia Font) ..... 14

1.7.14 الأداة التحليلية أرابيكليكسيا (ArabicLexia Tool) ..... 14

1.7.15 خط المنهاج الفلسطيني "شهرزاد" (Scheherazade) ..... 15

1.7.16 برنامجGlyphsApp ..... 15

1.7.17 تجزئة الكلمة بصريًا (Visual Word Fragmentation)..... 15
1.7.18 هندسة الحرف (Letter Engineering)..... 16
1.7.19 معدّل الكلمات الصحيحة في الدقيقة (Words Correct Per Minute - WCPM)..... 17
1.7.20 أخطاء الخلط البصري (Visual Confusion Errors - VC Errors) ..... 18
1.8 خلاصة ومخرجات الإطار العام..... 18

**الإطار النظري للرسالة: الخصائص البنيوية والأسس المعرفية ..... 19**

الفصل الثاني: البنية الخطّية للكتابة العربية ومتطلّبات التصميم الطباعي الحاسوبي..... 19
2.1 مدخل تاريخي وظيفي للخط العربي..... 19
2.1.1 نشأة الخط العربي وتبلور أنماطه الكلاسيكية ..... 23
2.1.2 من الخط العربي إلى الطباعة ..... 25
2.1.3 الانتقال إلى الخطوط الرقميّة وتوحيد الترميز ..... 27
2.2 السمات البنيويّة المميّزة للكتابة العربيّة..... 29
2.2.1 وصل الحروف الإلزامي وتحديات التتابع الخطي..... 31
2.2.2 تعدّد الأشكال السياقيّة للحرف الواحد (Allography)..... 32
2.2.3 التَّشابُه الشَّكليّ والاعتماد على النِّقَاط في التمايُز ..... 34
2.2.4 التشكيل والهمزات بوصفهما طبقةً بصريّةً فوقيّة ..... 35
2.2.5 الإيقاع الخطي: الصوّاعد والهوابط والامتدادات..... 36
2.3 الاعتبارات التقنية في رقمنة الخط العربي ..... 38
2.3.1 الترميز الموحّد وتمثيل الأشكال العربيّة..... 38
2.3.2 آليّات التشكيل والسلوكيات السياقيّة..... 39
2.3.3 التباعد، والتبرير، والكَشيدة في البيئة الرقميّة..... 39
2.3.4 أثر التقييدات التقنيّة في وضوح النصوص التعليميّة..... 40
2.4 الأسس التصميميّة للخطّ العربي المُيَسِّر للقراءة..... 40
2.4.1 مبدأ التمايز الهيكلي بين المحارف المتشابهة..... 41
2.4.2 مبدأ الاتّساق الرأسي والأفقي والمسافات الآمنة..... 41
2.4.3 مبدأ تقليل الحمل البصري في الخطّ المتّصل..... 42
2.4.4 قابلية المبادئ للتحويل إلى معايير حاسوبيّة..... 43
الفصل الثالث: عسر القراءة، الماهيّة، وتأثير المتغيرات الطباعية..... 44
3.1 عسر القراءة: الماهيّة، الأساس النيوروبيولوجي، والمعالجة..... 44
3.1.1 التباين المفاهيمي والتصنيفات العالمية لعسر القراءة ..... 44
3.2 أنواع وتصنيفات عسر القراءة من منظور العلاج الطباعي..... 46
3.2.1 التصنيفات القائمة على النماذج المعرفية ..... 46
3.2.2 التصنيف الموجه بالتصميم: تحليل أنماط الأخطاء..... 47
3.2.3 التصنيف حسب المنشأ والتطور ..... 48
3.2.4 التصنيف من منظور الاضطرابات المصاحبة ..... 48

3.3 الخصوصية الهيكلية والبصرية للخط العربي في سياق عسر القراءة ..... 49
3.3.1 طبيعة نظام الكتابة العربية و"العمق الإملائي" المزدوج وعسر القراءة ..... 49
3.3.2 التحديات البصرية والهيكلية الجوهرية للخط العربي للمعسّرين قرائيًّا ..... 51
3.3.3 الانعكاسات الميدانية: من النظرية إلى الأخطاء المرصودة ..... 52
3.4 المتغيّرات الطباعيّة الاساسيّة وتأثيرها على الوضوح ..... 53
3.4.1 التباعد: فاعليته في اللغات المنفصلة وإشكاليته في المتصلة ..... 53
3.4.2 التشريح الداخلي للخط ومقاييس الأبعاد ..... 54
3.4.3 الترابط المنهجي: المتغيرات الطباعية كأساس كمّي لأداة "أرابيكليكسيا" ..... 55
الفصل الرابع: مراجعة الدراسات النقدية والفجوة المنهجية (الدراسات السابقة) ..... 56
4.1 مراجعة الدراسات النقدية للحلول الطباعية السابقة (التركيز اللاتيني) ..... 56
4.1.1 خطّ سيلكسياد (Sylexiad) لـ (Hillier) (2006): إشكاليّة التصميم النظري ..... 56
4.1.2 الجدل التجريبي: التضارب بين الأداء والتفضيل ..... 57
4.1.3 إشكالية المتغيرات الدخيلة والقياس بتقنية تتبع العين ..... 58
4.1.4 اتجاهات حديثة في تيسير القراءة ..... 60
4.1.5 الأطر التشخيصية غير الطباعية الداعمة للتصميم ..... 62
4.1.6 الدراسات العربية التأسيسية ..... 62
4.1.7 الخلاصة النقدية: محددات الدراسات السابقة ..... 63
4.2 التحليل التركيبي: استخلاص المعرفة وتحديد الفجوة المركبة ..... 64
4.2.1 نضج الإطار النظري وجدلية الحلول الطباعية ..... 65
4.2.2 التطور المنهجي وخصوصية السياق العربي ..... 65
4.3 تحديد الفجوة البحثية المركّبة ..... 66
4.3.1 الفجوة اللغوية والمنهجية ..... 66
4.3.2 الفجوة المؤسسية والتكنولوجية ..... 66
4.3.3 الفجوة الأداتية: الحاجة إلى "التكميم" ..... 67
4.4 موقع الدراسة الحالية: التكامل المنهجي وسد الفجوة ..... 67
4.5 مؤشرات الإطار النظري ..... 68

**الباب الثاني: الجانب التطبيقي والدراسة التجريبية ..... 70**

الفصل الخامس: المنهجية التطبيقية وتطوير الأدوات والتصاميم ..... 70
5.1 الإطار المنهجي للدّراسة ..... 70
5.1.1 التّكامل بين المسار الحسابي والتصميمي ..... 70
5.1.2 هدف كل مسار وارتباطه بالأسئلة البحثية ..... 70
5.2 تطوير أداة التحليل الحسابي "أرابيكليكسيا" ..... 71
5.2.1 الأساس النّظريّ والبنية التّقنيّة ..... 71
5.2.2 المحاور الأساسية للتحليل الطباعي والأسس النظرية ..... 72
5.2.3 آليّة التقييم الحسابيّة ..... 73

أ. معامل الاختلاف (Coefficient of Variation - CV): ..... 73
ب. نموذج التقييم: المتوسط المرجح المتكيف (Adaptive Weighted Average): ..... 74
5.2.4 نتائج التحليل الأولي للخطوط القياسية والمخصصة ..... 74
5.2.5 التحقق المنهجي من عدالة التقييم وسلامة آلية القياس ..... 75
5.2.5.1 آلية التطبيع الدّيناميكي وضمان العدالة اللغويّة ..... 75
5.2.6 نتائج التحليل الأولي وتفسير الأنماط اللغوية ..... 76
5.2.7 الكشف الكمّي عن "العِبْء الإدراكي للتعقيد" في الخط العربي ..... 76
5.3 التوجيه التصميمي المستند إلى النتائج التحليلية ..... 77
5.4 عملية التطوير التصميمي للخط المقترح: الإجراءات والنتائج الكمية ..... 77
الفصل السادس: تقييم وضوح الخط المصمم مع ذوي عسر القراءة ..... 79
6.1 الإطار المنهجي لتقييم الوضوح ..... 79
6.1.1 الأساس التحليلي: من درجة الوضوح الكميّ إلى الفرضيّة التطبيقيّة ..... 79
6.1.2 مؤشرات الوضوح في مواجهة التعقيد البصري ..... 80
6.1.3 التحليل الكمّي لمؤشرات الوضوح الحرجة ..... 81
6.1.4 نحو تصميم قائم على وضوح الإدراك ..... 82
6.2 منهجيّة التقييم مع المستخدمين ..... 83
6.2.1 تصميم الدراسة: تقييم الوضوح في سياق قرائي حقيقي ..... 83
6.2.2 عينة الدراسة: ذوو عُسر القراءة كمُتلقّين للوضوح ..... 84
6.2.3 أدوات قياس الوضوح القرائي ..... 85
6.3 التطبيق الميداني وتجميع البيانات ..... 86
6.3.1 بيئة التطبيق وضوابط التنفيذ ..... 86
6.3.2 تسلسل المهام القرائية ..... 87
6.3.3 آليات التسجيل والتوثيق ..... 87
6.3.4 الاعتبارات الأخلاقية والإجرائية ..... 87
6.4 تحليل النتائج: قياس الوضوح عملياً ..... 87
6.4.1 الإحصاءات الوصفية: استكشاف خصائص الوضوح القرائي ..... 88
6.4.2 التحليل الاستدلالي: اختبار الفروق في الوضوح ..... 88
6.4.3 تحليل الأنماط النوعية في الأخطاء ..... 89
6.4.4 تحليل الاستقرار والتشتت في الأداء ..... 90
6.4.5 العلاقة بين المؤشرات الكمية والنوعية ..... 90
6.5 المناقشة: من وضوح التصميم إلى وضوح التجربة ..... 91
6.5.1 تفسير النتائج في ضوء الإطار النظري ..... 91
6.5.2 الآثار العملية للنتائج ..... 91
6.5.3 حدود الدراسة وإمكانيات التطوير ..... 92
6.5.4 الخلاصة والاستنتاجات النهائية ..... 92

الفصل السابع: الخلاصة البحثية والتوصيات المستقبلية ..... 93
7.1 التكامل المنهجي: توليف المسارات البحثية ..... 93
7.2 النتائج الشاملة: استخلاص الأنماط الأساسية..... 93
7.2.1 تفوق منهجية "هندسة الحرف" على "تعديل الفراغات"..... 93
7.2.2 الصدق البيئي والتنبؤي لمنظومة "أرابيكليكسيا"..... 94
7.2.3 الخط الوظيفي كأداة للعدالة البصرية التربوية ..... 94
7.3 الخلاصة والتوصيات..... 94
7.3.1 الخلاصة ..... 94
7.3.2 التوصيات..... 95
1. لوزارات التربية والتعليم وسياسات النشر التعليمي:..... 95
2. لمصممي الخطوط والمطورين التقنيين:..... 95
3. للمعلمين والممارسين التربويين:..... 96
7.3.3 الأبحاث مستقبلية: ..... 96
8.1 قائمة المراجع ..... 97
8.1.1 أ. المراجع العربية..... 97
8.1.2 المراجع غير العربيّة..... 98
**9.1 الملاحق** ..... 108
**ملحق (أ): أدوات القياس (نصوص القراءة والكلمات الصحيحة/الزائفة)**..... 108
**ملحق (ب): المعايير المنهجية الحسابية وأسسها الإدراكية** ..... 121
**معايير التقييم المعتمدة في أداة "أرابيكليكسيا"** ..... 121
**المعيار1: نسبة ارتفاع x (X-Height Ratio)** ..... 121
**المعيار2: درجة خطوط Sans Serif**..... 122
**المعيار3: اتساق عرض الحروف**..... 123
**المعيار4: نسبة عرض الفراغ**..... 124
**المعيار5: اتساق الأشكال الابتدائيّة**..... 125
**المعيار6: اتساق الأشكال الوسطيّة**..... 126
**المعيار7: اتساق الأشكال النهائيّة**..... 127
**المعيار8: اتساق الأشكال المنفردة**..... 128
**المعيار9: اتساق مواضع التشكيل**..... 129
**المعيار10: اتساق توازن الحروف** ..... 130
**المعيار11: اتساق الهوامش الجانبيّة** ..... 131
**المعيار12: كثافة التقنين الشاملة**..... 132
**المعيار13: اتساق الصواعد** ..... 133
**المعيار14: اتساق الهوابط**..... 134
**المعيار15: احتساب درجة الملائمة النهائيّة**..... 135

**ملحق (ج): التوثيق الهندسي والمقاييس المترية لخط (Arabiclexia Font)** ..... 137
ترجمة المعايير الحاسوبية للمقروئية: الدليل الهندسي لتطبيق القيم المثالية (Target Values) في تصميم الخطوط العربية (Glyph Metrics) ..... 137
نموذج القياس والترجمة الحاسوبية للمقروئية ..... 137
المنطلقات النظرية والقيمة المثالية (Target Value) ..... 137
دلالة الأهمية (الوزن النسبي) في نموذج التقييم ..... 138
أساس الترجمة: الوحدة الطباعية (Font Units - FU) والـ (EM Square) ..... 138
تحليل القياسات الأساسية الحاكمة لتحديد المسافة (Advance Width) ..... 139
متطلبات اتساق عرض الحروف(width_consistency) ..... 139
تحديد نسبة عرض الفراغ (space_width_ratio) ..... 140
التطبيق الدقيق لـ (LSB وRSB) الهوامش الجانبية ..... 140
القيمة المثالية لاتساق الهوامش الجانبية (sidebearing_consistency) ..... 141
دور التقنين (Kerning) وكثافته (kerning_density) ..... 141
تطبيق (LSB) والـ (RSB) في سياق الاتصالية العربية ..... 142
ملخص القيم المثالية (Target Values) والمعايير المرجعية الهندسية ..... 143
الاتساق المورفولوجي العربي ومعالجة العبء المعرفي ..... 143
توحيد الأشكال السياقية ..... 144
التحكم الدقيق في مواضع التشكيل ..... 144
الاتساق الرأسي (التوازن، الصواعد، والهوابط) ..... 145
الأولوية للتباعد الهيكلي ..... 145
التثبيت الصارم للاتساق الرأسي ..... 146
الخلاصة الهندسية ..... 146
ملحق (هـ): الرّسم الأوليّ ..... 147
**ملحق (و): الرسوم الهندسية والبرمجية** ..... 154
**ملحق (ز): وحدة التحقق "آلية التجربة"** ..... 171

**جدول الرسوم التوضيحية**

رسم توضيحي 1 عينة من خط شهرزاد (Shehrazade) المعتمد في كتب المنهاج الفلسطيني (SIL Global, 2026). ..... 9

رسم توضيحي 2 يوضّح مبدأ الخط المنسوب في الخط العربي، حيث تُصاغ الحروف داخل نظام هندسي دقيق ينطلق من الألف بوصفها قطر الدائرة وباقي الحروف تنسب في صحتها إليها. وتبرز أهمية هذا النظام في أنه يحقق التناسب بين أجزاء الحروف، وهي خصائص يمكن الاستفادة منها تحليليًا عند مناقشة قضايا الإدراك البصري للحروف وصعوبات تمييزها، ومنها عسر القراءة؛ إذ إن زيادة الانضباط الشكلي والتمييز البصري بين البنى الحرفية قد تسهم في تسهيل التعرف على أشكال الحروف وتقليل الالتباس بينها، من غير الجزم بأن هذا النظام يمثل علاجًا مباشرًا لعسر القراءة بحد ذاته. (Porter, 2003) ..... 21

رسم توضيحي 3 يبيّن نماذج للخطوط الستة في الخط العربي: a الثلث، b النسخ، c المحقق، d الريحاني، e التواقيع، f الرقاع، مع ما بينها من فروق في البنية الشكلية، والوضوح البصري، والوظيفة الجمالية، والكتابية. (Porter, 2003). ..... 24

رسم توضيحي 4 الواجهة الرئيسة لأداة التحليل "أرابيكليكسيا" ..... 72

رسم توضيحي 5 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط" "أرابيكليكسيا"" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها. ..... 147

رسم توضيحي **6** أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط" "أرابيكليكسيا"" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها. ..... 148

رسم توضيحي 7 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط" "أرابيكليكسيا"" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها. ..... 148

رسم توضيحي 8 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط" "أرابيكليكسيا"" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها. ..... 149

رسم توضيحي 9 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط" "أرابيكليكسيا"" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها. ..... 149

رسم توضيحي 10 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط" "أرابيكليكسيا"" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها. ..... 150

رسم توضيحي 11 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط" "أرابيكليكسيا"" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها. ..... 150

رسم توضيحي 12 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط" "أرابيكليكسيا"" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها. ..... 151

رسم توضيحي 13 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط" "أرابيكليكسيا"" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها..... 151

رسم توضيحي 14 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط" "أرابيكليكسيا"" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها..... 152

رسم توضيحي 15 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط" "أرابيكليكسيا"" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها..... 152

رسم توضيحي 16 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط" "أرابيكليكسيا"" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها..... 153

رسم توضيحي 17 أمثلة لمسوّدات يدوية لعلامات التشكيل الأساسيّة للأبجديّة العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط "أرابيكليكسيا" "توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال علامات التشكيل وتحسين تمايزها..... 153

رسم توضيحي 18 خارطة الحروف الكاملة للخط (ArabicLexia font)..... 154

رسم توضيحي 19 الأرقام وعلامات الترقيم والتشكيل للخط (ArabicLexia font) ..... 154

رسم توضيحي 20 نافذة معلومات وبيانات الخط (ArabicLexia font) في بيئة التطبيق GlyphsApp ..... 155

رسم توضيحي 21 نافذة معلومات وبيانات القياسات (Metrics) للخط (ArabicLexia font) ..... 155

رسم توضيحي 22 عينة من نافذة أزواج التقنين (Kerning) للخط (ArabicLexia font)..... 156

رسم توضيحي 23 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (hamza-ar) داخل الخلية، ومواقع علامات التشكيل والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـMetrics ..... 156

رسم توضيحي 24 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (the-ar.fina) داخل الخلية، موقع النقطتين وشكلهما، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـMetrics ..... 157

رسم توضيحي 25 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (jeem-ar) داخل الخلية، موقع النقطة وشكلها المختلف، ونزول الذيل، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـMetricks ..... 157

رسم توضيحي 26 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (zain-ar) داخل الخلية، موقع النقطة وشكلها المختلف وبعدها، ونزول الذيل وسماكته، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـMetricks ..... 158

رسم توضيحي 27 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (sheen-ar) داخل الخلية، موقع النقاط وشكلها المختلف وبعدها، ونزول الصحن أو الكأس وسماكته، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع الـ Metricks..... 158

رسم توضيحي 28 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (zah-ar) داخل الخلية، موقع النقطة وشكلها المختلف وبعدها، وسماكة النهاية، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـMetricks ..... 159

رسم توضيحي 29 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (ghain-ar) داخل الخلية، موقع النقطة وشكلها المختلف، ونزول الذيل، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـMetricks ..... 159

رسم توضيحي 30 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (qaf-ar) داخل الخلية، موقع النقطتين وسماكتهما وشكلهما المختلف، ونزول الكأس أو الصحن، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع الـMetricks ..... 160

رسم توضيحي 31 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (kaf-ar.medi) داخل الخلية، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks..... 160

رسم توضيحي 32 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (meem-ar) داخل الخلية، نزول الميم، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks ..... 161

رسم توضيحي 33 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (tehmarbuta-ar) داخل الخلية، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks ..... 161

رسم توضيحي 34 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (wawhamzahabove-ar) داخل الخلية، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks..... 162

رسم توضيحي 35 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (yeh-ar) داخل الخلية، نزول الياء، وشكل النقاط وتباعدها، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks..... 162

رسم توضيحي 36 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (lam_alefhamzahabove-ar.fina) داخل الخلية، نزول اللام، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks..... 163

رسم توضيحي 37 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (A) داخل الخلية، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks..... 163

رسم توضيحي 38 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (G) داخل الخلية، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks..... 164

رسم توضيحي 39 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (Q) داخل الخلية، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metrics..... 164

رسم توضيحي 40 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لتلاقي حروف المسننات المتشابهة، المسافات بينها، شكل النقاط المختلف والمميز لها..... 165

رسم توضيحي 41 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لتلاقي حروف "جحخ" المتشابهة، المسافات بينها، شكل النقاط المختلف والمميز لها. ..... 165

رسم توضيحي 42 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لحروف "د، ذ، ر،ز المسافات بينها، شكل النقاط والمسافة بين النقطة وجسم الحرف..... 166

رسم توضيحي 43 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لحروف "ش، ض، المسافات بين أجزاء الحرف، شكل النقاط والمسافة بين النقطة وجسم الحرف، ونزول صحن الحرف. ..... 166

رسم توضيحي 44 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لحروف "ط، ظ، المسافات بين أجزاء الحرف، شكل النقاط والمسافة بين النقطة وجسم الحرف. ..... 167

رسم توضيحي 45 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لحروف "ع، غ، المسافات بين أجزاء الحرف، شكل النقاط والمسافة بين النقطة وجسم الحرف. ..... 167

رسم توضيحي 46 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لحروف "ف، ق، المسافات بين أجزاء الحرف، شكل النقاط والمسافة بين النقطة وجسم الحرف. ..... 168

رسم توضيحي 47 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لكتابة النص "أرابيكليكسيا" لتوضيح المسافة بين الحروف، وشكل النقاط والمسافة بينها وبين جسم الحرف، واختلافها حسب الحرف. ..... 168

رسم توضيحي 48 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لكتابة النص "ArabicLexia" لتوضيح المسافة بين الحروف، وشكل النقاط والمسافة بينها وبين جسم الحرف. ..... 169

رسم توضيحي 49 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار ..... 169

رسم توضيحي 50 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار ..... 170

رسم توضيحي 51 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لكتابة النص "عسر القراءة" لتوضيح المسافة بين الحروف والكلمات، وشكل النقاط والمسافة بينها وبين جسم الحرف. ..... 170

رسم توضيحي 52 الواجهة الرئيسية لوحدة التحقق في أداة التحليل "أرابيكليكسيا" ..... 171

رسم توضيحي 53 نافذة تسجيل مشترك في وحدة التحقق في أداة التحليل "أرابيكليكسيا" ..... 171

رسم توضيحي 54 الواجهة الرئيسية لقائمة المشتركين في وحدة التحقق في أداة التحليل "أرابيكليكسيا" ..... 172

رسم توضيحي55 الواجهة الرئيسية لإجراء تجربة الكلمات المفردة، يظهر في الشاشة ترميز المشترك، واسم الخط المخصص للتجربة والمرتبط بنوع المجموعة، وعدد الكلمات التي سيتعرض لها الطالب بالقراءة، وزر بدء الاختبار الذي يتفعل معه احتساب التوقيت آليًا حتى ينتهي الاختبار ..... 172

رسم توضيحي56 نافذة اختبار الكلمات المفردة وفيها خيار للباحث باختيار جودة القراءة (صحيح) أو (خطأ) بمجرد اختيار أي منهما ينتقل للكلمة التالية، حتى انتهاء الاختبار. ..... 173

رسم توضيحي57 رصد نتيجة اختبار الكلمات المفردة، يتم احتساب النتيجة النهائية، والزمن الكلي، واحتساب الدقة. ..... 173

رسم توضيحي 58 بعد انتهاء اختبار الكلمات المفردة يظهر في قائمة المشاركين حالة المشارك، لم يكتمل بعد اختبار الكلمات الزائفة والنص المتصل "الطلاقة". ..... 174

رسم توضيحي59 لإجراء تجربة الكلمات الزائفة، يظهر في الشاشة ترميز المشترك، واسم الخط المخصص للتجربة والمرتبط بنوع المجموعة، وعدد الكلمات التي سيتعرض لها الطالب بالقراءة، وزر بدء الاختبار الذي يتفعل معه احتساب التوقيت آليًّا حتى ينتهي الاختبار. ..... 174

رسم توضيحي60 نافذة اختبار الكلمات الزائفة وفيها خيار للباحث باختيار جودة القراءة (صحيح) أو (خطأ جزئي) أو (خطأ)، بمجرد اختيار أي منهما ينتقل للكلمة التالية، حتى انتهاء الاختبار. ..... 175

رسم توضيحي61 رصد نتيجة اختبار الكلمات الزائفة، يتم احتساب النتيجة النهائية، والزمن الكلي، واحتساب الدقة. ..... 175

رسم توضيحي 62 بعد انتهاء اختبار الكلمات المفردة والزائفة، يظهر في قائمة المشاركين حالة المشارك، لم يكتمل بعد اختبار النص المتصل "الطلاقة". ..... 176

رسم توضيحي 63 نافذة اختبار النص "الطلاقة" ..... 177

رسم توضيحي 64 نافذة تقييم المشترك في اختبار النص "الطلاقة". ..... 178

رسم توضيحي 65 حالة المشترك "مكتمل" وبياناته جاهزة للتحليل. ..... 178

**جدول الجداول**

جدول 1 أداء الخط المُصمَّم على مؤشرات الوضوح الحرجة..... 82

جدول 2 تصميم المجموعات التجريبية لتقييم الوضوح..... 84

جدول 3 الإحصاءات الوصفية لأداء المجموعات الثلاث في اختبار الوضوح القرائي..... 88

جدول 4 نتائج اختبار Mann-Whitny U: نتائج المقارنات الزوجية في مؤشرات الوضوح..... 89

جدول 5 المفردات المنتخبة للتحقق من قراءة الكلمات المفردة (Real Words)..... 109

جدول 6 المفردات المنتخبة للتحقق من قراءة الكلمات الزائفة (Pseudo-words)..... 110

جدول 7 مصفوفة مقاطع القراءة المُعدّة كأدوات قياس سلوكي (الملحق أ)..... 111

جدول 8 نص القياس (وزارة التربية والتعليم الفلسطينية، 2024، ص. 38)..... 112

جدول 9 نص القياس (وزارة التربية والتعليم الفلسطينية، 2024، ص. 36)..... 113

جدول 10 نص القياس (وزارة التربية والتعليم الفلسطينية، 2024، ص. 8)..... 114

جدول 11 نص القياس (وزارة التربية والتعليم الفلسطينية، 2024، ص. 16)..... 115

جدول 12 الوصف الهندسي لوحدة التحقق (الملحق أ)..... 116

جدول 13 بروتوكول التحليل الهندسي لوحدة التحقق (الملحق أ)..... 117

جدول 14 هندسة القياس الرقمي والتحكم في المتغيرات..... 118

جدول 15 تصنيف أخطاء القراءة السلوكية النوعية في اللغة العربية (وفق البروتوكول التحليلي)..... 119

# الباب الأول: الإطار العام والمصطلحات

## الفصل الأول: الإطار العام للدّراسة

تُعدّ القراءة من المهارات الأساسية في بناء التعلم واكتساب المعرفة؛ إذ تمثل الوسيط الرئيس للنفاذ إلى المحتوى التعليمي والتفاعل معه. وعندما تتعرض هذه المهارة لاضطراب نمائي مثل عسر القراءة، فإن الأثر لا يقتصر على بطء القراءة أو كثرة أخطائها، بل يمتد إلى المشاركة التعليمية، والثقة بالنفس، والقدرة على متابعة النصوص المكتوبة بصورة مستقلة.

وتتخذ هذه الإشكالية في اللغة العربية بعدًا أكثر تعقيدًا؛ نظرًا لما يتسم به الخط العربي من خصائص بنيوية وبصرية خاصة، من أبرزها اتصال الحروف، وتعدد أشكالها السياقية، والاعتماد على النقاط والتشكيل في التمييز بين عدد كبير من الحروف المتشابهة. وهذه الخصائص تجعل تصميم النص العربي، ولا سيما في البيئات التعليمية الرقمية، عاملًا مؤثرًا في درجة الوضوح القرائي وسهولة المعالجة البصرية لدى المتعلمين ذوي عسر القراءة.

ومن هذا المنطلق، تنظر هذه الدراسة إلى الخط الطباعي العربي بوصفه عنصرًا وظيفيًا في البيئة التعليمية، لا مجرد وعاء بصري للنص. ولذلك تسعى إلى مقاربة المشكلة من منظور تصميمي-تطبيقي يقوم على تحليل الخصائص الطباعية ذات الصلة بالوضوح القرائي، ثم توظيف نتائج هذا التحليل في تصميم خط رقمي عربي ميسّر للقراءة، والتحقق من فاعليته مع عينة من ذوي عسر القراءة. وبهذا تضع الدراسة نفسها عند نقطة التقاء التصميم الطباعي، والتحليل الحاسوبي، والاختبار التجريبي في سياق عربي ما يزال بحاجة إلى أدوات أكثر تخصصًا وموضوعية.

### 1.1 مشكلة الدراسة

تمثل مشكلة الدراسة في غياب إطار علمي عربي متكامل يوجّه تصميم الخطوط الرقمية الميسّرة للقراءة لذوي عسر القراءة، ويتيح تقويمها تقويمًا موضوعيًا والتحقق من أثرها في الأداء القرائي. فعلى الرغم من تزايد الاهتمام العالمي بالعلاقة بين التصميم الطباعي وصعوبات القراءة، ما يزال السياق العربي يفتقر إلى نموذج تطبيقي يجمع

بين تحليل الخصائص البصرية والبنيوية للخط العربي، وتحويلها إلى مؤشرات قابلة للقياس، ثم الإفادة منها في تصميم خط عربي وظيفي موجّه لهذه الفئة واختبار فاعليته تجريبيًا.

تتجلى هذه المشكلة في ثلاثة مظاهر مترابطة: أولها أن الخط العربي، بما يفرضه من اتصال شكلي وتنوع سياقي واعتماد على النقاط والتشكيل، يطرح تحديات بصرية لا تكفي معها الاستعارة المباشرة للحلول الطباعية المطورة في اللغات اللاتينية. وثانيها محدودية الأدوات الموضوعية التي تمكّن من تقييم مدى ملاءمة الخطوط العربية لذوي عسر القراءة على أساس كمي منضبط. وثالثها ندرة الدراسات التجريبية العربية التي تختبر أثر الخطوط المصممة أو المعدّلة في دقة القراءة وطلاقتها، وأخطاء الخلط البصري لدى هذه الفئة .وبناءً على ذلك، تتحدد مشكلة الدراسة في الحاجة إلى بناء أداة تحليل حاسوبي تسهم في توجيه تصميم خط رقمي عربي ميسّر للقراءة، ثم التحقق من فاعلية هذا الخط في تحسين الأداء القرائي لدى المتعلمين ذوي عسر القراءة.

وعليه، فإن هذه الدراسة لا تتجه إلى معالجة نقص شكلي في الخطوط العربية فحسب، بل إلى معالجة قصور منهجي وتطبيقي يتمثل في غياب نموذج عربي قائم على التحليل الموضوعي والتصميم الموجّه والتحقق التجريبي. ومن هنا تسعى الدراسة إلى الإجابة عن السؤال الرئيس الآتي: **إلى أي مدى يمكن تطوير أداة تحليل حاسوبي تسهم في تصميم خط رقمي عربي ميسّر للقراءة، وتوجيه خصائصه البصرية والبنيوية بما يحسّن دقة القراءة وطلاقتها، ويحد من أخطاء الخلط البصري لدى المتعلمين ذوي عسر القراءة؟**

## 1.2 فرضية الدراسة:

تنطلق الدراسة من فرضية رئيسة مفادها أنّ تطوير أداة تحليلية منهجية، تستند إلى معايير طباعية وتقنية دقيقة لتقييم ملاءمة الخطوط العربية للمتعلّمين ذوي عسر القراءة؛ يُعدّ متطلباً سابقاً وركيزةً أساسيةً لتصميم خط حاسوبي عربي ميسِّر للقراءة وموجّه لهذه الفئة. وبناءً على ذلك، يُتوقَّع أن يؤدّي الخطّ المطور استنادًا إلى مخرجات هذا التحليل إلى تحقيق تحسّنٍ ملموس في وضوح النصوص، ورفع كفاءة الأداء القرائي لدى هؤلاء المتعلّمين مقارنةً بالخطوط العربية التقليدية الشائعة؛ مما يُسهم في تهيئة بيئة تعلّم أكثر شمولًا وعدالةً لهم.

## 1.3 تساؤلات الدّراسة

تأسيساً على تعقيد البنية الكتابية العربية، وما أثبتته الدراسات من ندرة الخطوط العربية المصمَّمة خصيصًا لذوي عسر القراءة، ومحدودية أدوات التقييم الموضوعية المتاحة في هذا المجال؛ تسعى هذه الدراسة للإجابة عن **السؤال الرئيس** الآتي: **كيف يمكن تصميم خط حاسوبي عربي ميسّر للقراءة وموجّه لذوي عسر القراءة، يعالج التحدّيات البصريّة للخط العربي، ويُسهم في تحسين وضوح النصوص وأداء القراءة؟**

ويتفرّع عنه الأسئلة الفرعية الآتية:

1. ما أبرز التحدّيات البصريّة المرتبطة بعسر القراءة في اللغة العربية؟ وما واقع استجابة الخطوط العربيّة القائمة لهذه التحدّيات؟
2. ما المبادئ أو التوجّهات التصميميّة المتداولة في الدراسات العالمية لتقييم الخطوط الموجّهة لعسر القراءة؟ وكيف يمكن تكييفها لتناسب الخصائص الطباعيّة للخط العربي؟
3. ما المتطلّبات التصميميّة والتقنيّة اللازمة لبناء الأداة التحليليّة الحاسوبيّة المقترحة "أرابيكليكسيا"؛ لقياس مدى ملاءمة الخطوط العربيّة لمعالجة عسر القراءة؟
4. ما مدى فاعليّة خط (ArabicLexia Font) المُصمَّم بناءً على نتائج التحليل الحاسوبي، في تحسين سرعة القراءة ودقّتها لدى المتعلّمين ذوي عسر القراءة مقارنةً بالخطوط العربيّة التقليدية الشائعة؟

## 1.4 أهداف الدّراسة

تهدف هذه الدراسة إلى تطوير إطار تحليلي وتصميمي يدعم تصميم خط رقمي عربي ميسّر للقراءة لذوي عسر القراءة، والتحقق من فاعليته في تحسين الأداء القرائي لديهم. وتنبثق عن هذا الهدف العام الأهداف الفرعية الآتية:

1. تحديد الخصائص البصرية والبنيوية في الخط العربي ذات الصلة بصعوبات القراءة لدى ذوي عسر القراءة.
2. استخلاص المعايير التصميمية والطباعية الملائمة لتطوير خط عربي ميسّر للقراءة في ضوء الأدبيات والدراسات ذات الصلة.

3. تطوير أداة تحليل حاسوبي لقياس مدى ملاءمة الخطوط العربية لذوي عسر القراءة على أساس مؤشرات كمية قابلة للقياس.
4. تصميم خط رقمي عربي ميسّر للقراءة يستند إلى نتائج الأداة التحليلية ويراعي الخصائص الإدراكية والبصرية للفئة المستهدفة.
5. التحقق من فاعلية الخط المقترح في تحسين دقة القراءة والطلاقة القرائية وتقليل أخطاء الخلط البصري لدى المتعلمين ذوي عسر القراءة مقارنة ببعض الخطوط العربية الشائعة.

## 1.5 أهميّة الدّراسة

تنبع أهمية هذه الدراسة من معالجتها فجوة بحثية في مجال تصميم الخط العربي الرقمي الموجّه لذوي عسر القراءة، وذلك من خلال الجمع بين التحليل الكمي للخصائص الطباعية، والتطوير التصميمي، والتحقق التجريبي من أثر الخط المقترح في الأداء القرائي. ويمكن تحديد أهمية الدراسة في المستويات الآتية:

**أولًا: الأهمية العلمية**: تسهم هذه الدراسة في توجيه البحث نحو خصوصية الخط العربي بوصفه نظامًا كتابيًا يختلف بنيويًا وبصريًا عن الأنظمة اللاتينية، بما يستدعي بناء مقاربات تحليلية وتصميمية ملائمة للسياق العربي بدل الاكتفاء بنقل نتائج طُوّرت في سياقات لغوية مختلفة. كما تدعم الدراسة فهم العلاقة بين الخصائص الطباعية العربية ومؤشرات الأداء القرائي لدى ذوي عسر القراءة، وتوسّع نطاق الدراسات التي تتناول أثر التصميم في الوضوح القرائي.

**ثانيًا: الأهمية المنهجية**: تتمثل الأهمية المنهجية للدراسة في تقديم أداة تحليل حاسوبي تسهم في تقويم مدى ملاءمة الخطوط العربية لذوي عسر القراءة وفق مؤشرات كمية قابلة للقياس، بما يحد من الاعتماد على الانطباعات البصرية العامة، ويعزز إمكان بناء قرارات تصميمية تستند إلى معايير أكثر ضبطًا وموضوعية.

**ثالثًا: الأهمية التطبيقية والتصميمية**: تتجلى الأهمية التطبيقية للدراسة في تصميم خط رقمي عربي ميسّر للقراءة، بُني استنادًا إلى نتائج التحليل الحاسوبي، ثم جرى التحقق من فاعليته تجريبيًا. وبذلك تقدم الدراسة نموذجًا تطبيقيًا يربط بين التحليل، والتصميم، والاختبار، ويمكن الإفادة منه في تطوير الخطوط العربية الموجهة للبيئات الرقمية والتعليمية.

## 1.6 حدود الدّراسة

تتحدد هذه الدراسة بحدود موضوعية ومكانية وزمانية تضبط نطاقها العلمي والتطبيقي، وذلك على النحو الآتي:

### 1.6.1 الحدود الموضوعية:

تقتصر الدراسة على تصميم خط رقمي عربي ميسّر للقراءة لذوي عسر القراءة، وبناء أداة تحليل حاسوبي لتقويم بعض الخصائص الطباعية ذات الصلة بوضوح الخط العربي، ثم التحقق من أثر الخط المقترح في عدد من مؤشرات الأداء القرائي. ولا تمتد الدراسة إلى برامج التدخل العلاجي أو التربوي، أو التدريب الصوتي واللغوي، كما لا تتناول مقارنة تطبيقية بين العربية وأنظمة كتابية أخرى.

### 1.6.2 الحدود المكانية:

اقتصر التطبيق الميداني للدراسة على عدد من المدارس الفلسطينية التابعة لمديرية التربية والتعليم في محافظة الخليل، ولذلك تُفسَّر النتائج في ضوء الخصائص التعليمية والثقافية لهذا السياق.

### 1.6.3 الحدود الزمانية:

امتدت الدراسة خلال الفترة الواقعة بين 2023/10/01 و2026/03/01، وهي الفترة التي أُنجزت خلالها مراحل الدراسة النظرية، وتطوير الأداة التحليلية، وتصميم الخط المقترح، والتطبيق الميداني، وجمع البيانات، وتحليل النتائج.

## 1.7 مصطلحات الدّراسة

تستند هذه الدراسة إلى منظومة من المصطلحات المفتاحية التي يتكرر استخدامها في الإطارين النظري والتطبيقي، وقد جرى ضبطها اصطلاحًا وإجرائيًّا على النحو الآتي:

### 1.7.1 عسر القراءة (Dyslexia)

**لغةً:** يدلّ لفظ العُسر في الاستعمال المعجمي العربي على الصعوبة والشدّة والضيق، في حين تدل القراءة على تلاوة الكلام والنطق بألفاظه نظرًا أو عن حفظ؛ وعليه فإن التركيب اللغوي "عسر القراءة" يُفيد معنى الصعوبة في أداء فعل القراءة أو تعذّره على الوجه المألوف (مجمع اللغة العربية بالقاهرة، 1972).

**اصطلاحًا:** يُعرَّف عسر القراءة بأنه اضطراب نمائي عصبي يتمثل في مجموعة من صعوبات المعالجة التي تؤثر في اكتساب مهارات القراءة والتهجئة، وتظهر بصورة خاصة في ضعف دقة القراءة، أو طلاقتها، أو التهجئة، مع بقاء هذه الصعوبات غير متناسبة مع العمر الزمني وفرص التعليم المعتادة ومستوى القدرات الأخرى. كما تُعدّ صعوبات القراءة والطلاقة والتهجئة من أبرز المؤشرات العابرة للغات والفئات العمرية في هذا الاضطراب (Carroll et al., 2025; Roitsch & Watson, 2019).

**إجرائيًا:** يُقصد بعسر القراءة في هذه الدراسة التلاميذ من الصفوف الأساسية الدنيا الذين لديهم تشخيص تربوي أو نفسي سابق يثبت وجود صعوبات قرائية مستمرة لا تُفسَّر بضعف حسي أو بنقص فرص التعليم، وتظهر لديهم بصورة أساسية في واحد أو أكثر من المؤشرات الآتية: ضعف دقة قراءة الكلمات، أو بطء الطلاقة القرائية، أو أخطاء التهجئة المرتبطة بالقراءة، وذلك وفق معايير الاختيار المعتمدة في هذه الدراسة .

### 1.7.2 صعوبات التعلم (Learning Disabilities)

**لغةً:** تدلّ الصعوبة في الاستعمال المعجمي على ما شقَّ وعسر، ويدلّ التعلّم على اكتساب المعرفة أو المهارة بالممارسة والدراسة؛ وعليه فإن تركيب "صعوبات التعلّم "يدلّ في أصل معناه اللغوي على العوائق أو المشقّات التي تعترض عملية التعلّم أو بعض مجالاته (مجمع اللغة العربية بالقاهرة، 1972).

**اصطلاحًا:** يُستخدم مصطلح صعوبات التعلّم في الأدبيات التربوية والنفسية بوصفه وصفًا عامًا أو مظلّةً تشير إلى اضطرابات نمائية تؤثر في واحد أو أكثر من مجالات التعلّم الأكاديمي الأساسية، مثل القراءة، والكتابة، والرياضيات. وفي التصنيف التشخيصي الحديث يُصاغ هذا المعنى ضمن مفهوم اضطراب التعلّم المحدد، الذي يتمثل في صعوبات مستمرة في مهارات أكاديمية أساسية لا تتناسب مع العمر الزمني وفرص التعلّم المعتادة، وقد يظهر في القراءة أو التعبير الكتابي أو الرياضيات. كما تنص لوائح IDEAعلى أن صعوبة التعلّم المحددة ترتبط باضطراب في واحدة أو أكثر من العمليات النفسية الأساسية الداخلة في فهم اللغة أو استخدامها، شفهيًا أو كتابيًا، وقد تظهر في الاستماع، أو التفكير، أو الكلام، أو القراءة، أو الكتابة، أو التهجئة، أو الحساب. ( American Psychiatric Association, 2024).

**إجرائيًا:** يُستعمل هذا المصطلح في هذه الدراسة استعمالًا عامًا للإشارة إلى الإطار الأوسع الذي يندرج ضمنه عسر القراءة، دون أن يكون هو الفئة التشخيصية المباشرة محلّ القياس أو المقارنة؛ إذ تقتصر الدراسة إجرائيًا على التلاميذ المشخّصين بعسر القراءة النمائي.

### 1.7.3 العِبْء الإدراكي للتعقيد (Cognitive Burden of Complexity)

**اصطلاحًا:** يُقصد بالعِبْء الإدراكي للتعقيد، في سياق هذه الدراسة، الأثر السلبي الذي تُحدثه الخصائص البصرية والبنيوية المعقدة في النظام الكتابي العربي على سرعة التعرّف القرائي ودقته؛ بما يشمل ازدياد الجهد الإدراكي، وبطء المعالجة البصرية، وارتفاع احتمالات الالتباس بين الأشكال الحرفية المتقاربة. ويُستخدم هذا المصطلح هنا بوصفه مفهومًا تحليليًا مركبًا يصوغ به الباحث بصورة جامعة ما أشارت إليه الدراسات من أثر التعقيد البصري، والتشكيل، والكثافة الشكلية في بطء معالجة الكلمات العربية أو زيادة صعوبتها، ولا سيما في النصوص المشكولة أو الأعلى كثافة بصريًا (Chahine, 2012; Abdelhadi et al., 2011; Taha, 2016).

**إجرائيًا:** يُعرَّف العِبْء الإدراكي للتعقيد إجرائيًا في هذه الدراسة بأنه مقدار الانخفاض في درجة الملاءمة الطباعية التي تنتجها أداة (ArabicLexia) عند ارتفاع مؤشرات التعقيد البصري في الخط، مثل: تذبذب مواضع التشكيل،

وتباين الأشكال السياقية، وضعف اتساق الصواعد والهوابط، وكثافة التقنين، وعدم كفاية بعض النِّسَب المترية المرتبطة بالوضوح. ويُستدل على ارتفاع هذا العبء كذلك من خلال تراجع بعض مؤشرات الأداء القرائي، مثل: الدقة، والطلاقة، وازدياد أخطاء الخلط البصري عند استخدام الخطوط الأعلى تعقيدًا.

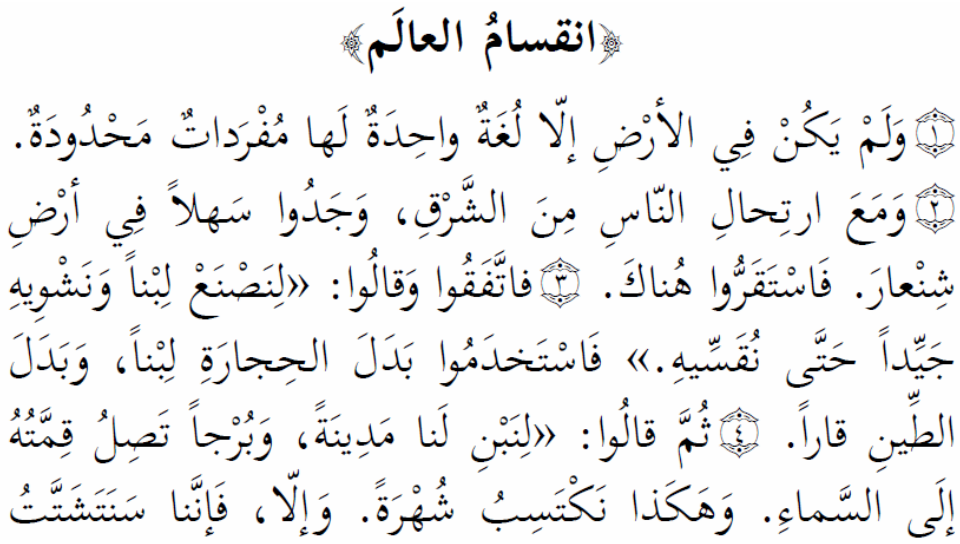
### 1.7.4 الخطوط الطباعيّة العربيّة (Arabic Typefaces)

**لغةً:** الخطوط جمع خطّ، ويدل في الاستعمال اللغوي على الكتابة ورسم الحروف، أمّا الطباعيّة فهي نسبة إلى الطباعة؛ وعليه فإن تركيب الخطوط الطباعية يدل على الأشكال الخطية المعدّة لتمثيل الكتابة في وسائط الطباعة أو النشر (مجمع اللغة العربية بالقاهرة، 1972).

**اصطلاحًا:** تُعرَّف الخطوط الطباعية العربية بأنها منظومات من الأشكال الحرفية المصممة لتمثيل النص العربي في وسائط النشر المطبوعة والرقمية، على نحو يراعي خصائص الكتابة العربية من حيث البنية، والاتصال، والتشكيل، والتنوع السياقي للمحارف. وفي البيئة الرقمية، لا تمثل هذه الخطوط مجرد رسوم ثابتة للحروف، بل تتضمن أيضًا منطقًا شكليًا يتحكم في إظهار المحارف وسلوكها السياقي داخل الكلمة والنص (Abu-Shaqra, 2020; Mansour, 2020).

**إجرائيًّا:** يُقصد بالخطوط الطباعية العربية في هذه الدراسة الخطوط الرقمية المستخدمة بوصفها متغيرًا مستقلاً في المقارنة بين أثر أنماط عرض النص العربي في الأداء القرائي لدى التلاميذ ذوي عسر القراءة، وتشمل الخط المرجعي المستخدم في المقارنة والخط المقترح المطوَّر في هذه الدراسة (ArabicLexia Font). وفي توضيح لهذه المجموعة:

1. **الخطوط المرجعية:** وتتمثل في خطوط عربية تعليمية أو تقليدية شائعة في البيئات المدرسيّة المعاصرة، وتحديداً الخطوط النسخية المبسّطة، مثل خط المنهاج الفلسطيني (Scheherazade) بوصفه نموذجاً لخط نسخي رقمي مستقرّ.




رسم توضيحي 1 عينة من خط شهرزاد (Shehrazade) المعتمد في كتب المنهاج الفلسطيني (SIL Global, 2026).

2. **الخط التجريبي:** وهو الخطّ الحاسوبي العربي المُقترَح في هذه الدراسة (ArabicLexia Font)، والمصمَّم وفق معايير ميسِّرة للقراءة تستجيب للتحدّيات البصريّة للغة العربية لدى ذوي عسر القراءة. وسيُقاس أثر كل خطّ في الأداء القرائي من خلال مؤشّرات كمية مباشرة (هي: سرعة القراءة، ودقّة القراءة) في بيئة قراءة عربية مضبوطة.

### 1.7.5 معالجة الرّسم الكتابي (Orthographic Processing)

**اصطلاحاً:** يُقصد بمعالجة الرسم الكتابي القدرة على تكوين الحروف، وتسلسلاتها، وأنماطها الكتابية، واسترجاعها والتعرّف إليها على نحو سريع ودقيق أثناء القراءة. ويشمل ذلك تمثيل الشكل الكتابي للحروف والكلمات، والتمييز بين ترتيب المحارف ومواقعها داخل السلسلة المكتوبة، بما يتيح التعرف إلى البنية الكتابية للكلمة على نحو صحيح. وتُعد هذه المعالجة من العمليات التي يشيع تأثرها لدى ذوي عسر القراءة، إلى جانب المعالجة الصوتية، كما أنها ترتبط في الدراسات العربية بأداء القراءة والفهم لدى القراء الناطقين بالعربية (Carroll et al., 2025; Elbeheri et al., 2011) (أبو الديار، 2012).

**إجرائياً:** تُعرَّف معالجة الرسم الكتابي في هذه الدراسة بوصفها الكفاءة التي يُظهرها التلميذ في التعرّف إلى الأشكال الحرفية العربية وتمييز مواضعها وتسلسلاتها داخل الكلمة، كما تنعكس في دقة القراءة، والطلاقة القرائية، ومعدلات

الخلط بين الحروف المتقاربة شكلًا عند عرض النصوص بخطوط مختلفة. ويُستدل على تحسن هذه المعالجة من خلال انخفاض أخطاء الاستبدال والخلط البصري وارتفاع الدقة والطلاقة عند استخدام الخط المقترح مقارنة بالخطوط المرجعية.

### 1.7.6 الازدحام البصري (Visual Crowding)

**اصطلاحًا:** يُقصد بالازدحام البصري ظاهرة إدراكية تتزايد فيها صعوبة التعرف إلى عنصر بصري مستهدف، مثل الحرف، عندما يكون محاطًا بعناصر مجاورة متقاربة مقارنة بعرضه في حالة أكثر عزلة. وتؤثر هذه الظاهرة في دقة التعرف إلى الحروف والكلمات وسرعة معالجتها، وقد عُدّت في الدراسات أحد العوامل المؤثرة في القراءة، ولا سيما لدى الأطفال والقراء ذوي عسر القراءة (Levi, 2011; Gori & Facoetti, 2015; Bachmann & Mengheri, 2018).

**إجرائيًا:** يُقصد بالازدحام البصري في هذه الدراسة الحالة التي تتراجع فيها قابلية التمييز البصري للحروف أو الكلمات العربية نتيجة ارتفاع الكثافة الشكلية أو تقارب العناصر الحرفية داخل الكلمة أو بينها، كما ينعكس ذلك في انخفاض الدقة والطلاقة وارتفاع أخطاء الخلط البصري عند عرض النصوص بخطوط أقل وضوحًا أو أكثر تعقيدًا بصريًا. ويُستدل على هذه الظاهرة في الدراسة من خلال مقارنة أداء المشاركين في مؤشرات الدقة والطلاقة وأخطاء الخلط البصري بين الخطوط موضع التجريب.

### 1.7.7 العمق الإملائي المزدوج (Double Orthographic Depth)

**اصطلاحًا:** يُقصد بالعمق الإملائي المزدوج خاصيةً بنيوية في النظام الكتابي العربي تتمثل في إمكان ظهوره بدرجتين مختلفتين من الشفافية الإملائية: صورةٍ أكثر شفافية عند كتابة الكلمات مع الحركات، وصورةٍ أعمق إملائيًا عند كتابتها دون الحركات. ففي الصورة المشكولة تكون العلاقة بين الرسم والنطق أوضح، في حين تؤدي الكتابة غير المشكولة إلى زيادة احتمالات الالتباس والاعتماد على السياق الصرفي والدلالي في تحديد القراءة الصحيحة؛ ولذلك توصف العربية بأنها تشتمل على مستويين من العمق الإملائي داخل النظام نفسه. (Taha, 2016; Asadi & Ibrahim, 2018).

**إجرائيًا:** يُستخدم مفهوم العمق الإملائي المزدوج في هذه الدراسة بوصفه خاصية تفسيرية في النظام الكتابي العربي تساعد في فهم أثر وضوح الخط في القراءة، ولا سيما عند التعامل مع نصوص يختلف فيها مستوى الإسناد الحركي أو درجة الغموض الكتابي. ويُستأنس بهذا المفهوم في تفسير نتائج الأداء القرائي في ضوء خصوصية العربية، دون اعتباره متغيرًا مستقلاً خاضعًا للاختبار المباشر، ما لم تكن مواد الدراسة قد بُنيت فعلًا على مقارنة صريحة بين نصوص مشكولة وغير مشكولة.

### 1.7.8 الجرافيمات القوسية (Archigraphemes)

**اصطلاحًا:** يُقصد بالجرافيمات القوسية التمثيلات الكتابية المجردة للحروف العربية عند تجريدها من العلامات الفارقة، ولا سيما النقط، بحيث تمثل البنية الشكلية الأساسية المشتركة التي تتفرع عنها عدة حروف متميزة بعد إضافة النقط أو غيرها من العلامات. ويُستخدم هذا المفهوم في تحليل الكتابة العربية بوصفها نظامًا متعدد الطبقات، تكون فيه البنية الأساسية للحرف سابقةً على طبقة التمييز بالنقط والعلامات (Milo & González Martínez, 2019).

**إجرائيًّا:** يُقصد بالجرافيمات القوسية في هذه الدراسة مجموعات الحروف العربية التي تشترك في الرسم الأساس وتختلف في مواضع النقط أو عددها، مثل: ب/ت/ث، و: ج/ح/خ، و: ف/ق. وتُعد هذه المجموعات من أكثر مواضع الالتباس البصري أهمية في الدراسة، ولذلك تُعامل بوصفها فئة تصميمية مستهدفة في بناء خط (ArabicLexia Font) وعند تحليل أخطاء الخلط البصري لدى المشاركين.

### 1.7.9 أداء القراءة (Reading Performance)

**اصطلاحًا:** يُقصد بأداء القراءة في هذه الدراسة المحصلة الظاهرة لقدرة القارئ على معالجة النص المكتوب وقراءته على نحو صحيح وبدرجة مناسبة من السرعة والانسيابية. ويُستخدم هذا المصطلح بوصفه مفهومًا جامعًا لمؤشرات القراءة الأساسية، ولا سيما الدقة والطلاقة، بوصفهما من أبرز المؤشرات التي يُستدل بها على كفاءة القراءة في

المراحل الأولى من التعلم. وتؤكد الأدبيات أن الطلاقة والدقة ترتبطان ارتباطًا وثيقًا بقدرة القارئ على الانتقال من فك الترميز إلى القراءة الأكثر كفاءة وفهمًا (Rasinski, 2004; Kuhn & Stahl, 2003).

**إجرائيًّا:** يُعرَّف أداء القراءة في هذه الدراسة بالدرجات التي يحققها المشارك في مهام القراءة المعتمدة، كما تنعكس في مؤشرين رئيسين هما: الدقة القرائية، والطلاقة القرائية، مع الاستئناس بأخطاء الخلط البصري بوصفها مؤشرًا مساعدًا في تفسير الفروق بين الخطوط المستخدمة. وعليه، فإن أي تحسن دالّ في الدقة والطلاقة عند استخدام الخط المقترح يُعد تحسنًا في أداء القراءة في سياق هذه الدراسة.

### 1.7.10 الدقّة القرائية (Reading Accuracy)

**اصطلاحًا:** تُشير الدقّة القرائيّة إلى قدرة القارئ على قراءة الكلمات أو عناصر النص قراءةً صحيحة من غير أخطاء في التعرّف، أو الاستبدال، أو الحذف، أو الإضافة، وهي تمثل أحد المؤشرات الأساسية في تقويم كفاءة القراءة، ولا سيما في المراحل الأولى من التعلّم (Rasinski, 2004).

**إجرائيًّا:** تُعرَّف الدقّة القرائيّة في هذه الدراسة بالنسبة المئوية للكلمات المقروءة بصورة صحيحة من مجموع الكلمات المقروءة في مهمة القراءة، وتُحتسب وفق المعادلة الآتية:

الدقة القرائية = (عدد الكلمات الصحيحة ÷ إجمالي الكلمات المقروءة) × 100.

ويُفسَّر ارتفاع هذه النسبة عند استخدام الخط المقترح بوصفه مؤشرًا على تحسن الدقة القرائية مقارنة بالخطوط المرجعية (National Reading Panel, 2000).

### 1.7.11 الطلاقة القرائية (Reading Fluency)

**اصطلاحًا:** تُعرَّف الطلاقة القرائية بأنها القدرة على قراءة النص المتصل بدقة وسرعة وانسيابية، على نحو يعكس انتقال القارئ من فكّ الترميز المجهد إلى القراءة الأكثر آلية وكفاءة. وتشير الدراسات إلى أن الطلاقة تمثل حلقة وصل بين التعرف إلى الكلمات وبين الفهم، وأنها غالبًا ما تُوصَف من خلال الدقة، والسرعة أو المعدل، وقد يُضاف إليها الأداء التعبيري في القراءة الجهرية. (Rasinski, 2004; Kuhn & Stahl, 2003).

**إجرائيًّا:** تُقاس الطلاقة القرائية في هذه الدراسة بمؤشر عدد الكلمات المقروءة بشكل صحيح في الدقيقة (WCPM) عند قراءة نص عربي متصل ملائم للمستوى الدراسي. ويُفسَّر ارتفاع هذا المعدل عند استخدام الخط المقترح، مقارنة بالخطوط المرجعية، بوصفه مؤشرًا على تحسن الطلاقة القرائية في حدود المؤشر الذي اعتمدته الدراسة. وإذا كانت الدراسة لا تقيس الأداء التعبيري قياسًا مباشرًا، فلا يدخل هذا البعد في التعريف الإجرائي للطلاقة.

### 1.7.12 التصميم القائم على تحليل الأخطاء (Error-Informed Design)

**اصطلاحًا:** يُقصد بالتصميم القائم على تحليل الأخطاء في هذه الدراسة المقاربة المنهجية التي تُبنى فيها القرارات التصميمية على أنماط الأخطاء الفعلية التي يُظهرها القرّاء أو الكتّاب من الفئة المستهدفة، بحيث يكون توجيه التصميم مستندًا إلى البيانات السلوكية المرصودة لا إلى الافتراض الجمالي المجرد. وتستند هذه المقاربة إلى نتائج الدراسات التي أظهرت أن تحليل أخطاء القراءة والتهجئة لدى القرّاء العرب ذوي عسر القراءة يكشف أنماطًا مستقرة من الصعوبات، مثل الالتباس البصري بين الحروف المتقاربة، والأخطاء المرتبطة بالقواعد الإملائية أو بأشكال الحروف، بما يجعل الإفادة من هذه الأنماط أساسًا مشروعًا لتوجيه القرارات الطباعية والتصميمية . (Abu-Rabia & Taha, 2004; Alamri & Teahan, 2017).

**إجرائيًّا:** يُعرَّف التصميم القائم على تحليل الأخطاء في هذه الدراسة بأنه اعتماد نتائج الدراسات العربية المتخصصة في أخطاء القراءة والتهجئة، ولا سيما فئات الخلط البصري وأخطاء الرسم الكتابي الشائعة، بوصفها أساسًا لتحديد المتطلبات التصميمية في خط (ArabicLexia Font). ويشمل ذلك توجيه القرارات المتعلقة بزيادة التمايز بين الحروف المتقاربة، وضبط مواضع النقط، وتحسين الاتساق الشكلي للمحارف، وتقليل احتمالات الالتباس البصري، ثم التحقق من أثر هذه القرارات في الأداء القرائي تجريبيًا ( Alamri & Teahan, 2017; Alamri & Teahan, 2019).

### 1.7.13 خط أرابيكليكسيا (ArabicLexia Font)

**اصطلاحًا:** يُقصد بخط (ArabicLexia Font) في هذه الدراسة الخط الرقمي العربي الذي طوّره الباحث خصيصًا لذوي عسر القراءة، استنادًا إلى نتائج التحليل الحاسوبي وإلى المبادئ التصميمية المرتبطة بتقليل الالتباس البصري ورفع وضوح الحرف العربي. وقد صُمّم هذا الخط بوصفه خطًا وظيفيًا يقدّم أولوية الوضوح القرائي والتمييز الشكلي على الاعتبارات الجمالية التقليدية وحدها.

**إجرائيًّا:** يُعرَّف خط (ArabicLexia Font) إجرائيًا بأنه الخط التجريبي المستخدم في هذه الدراسة بوصفه المتغير المستقل الرئيس، وقد طُوّر بناءً على مخرجات أداة (ArabicLexia Tool)، ثم استُخدم في التطبيق الميداني للمقارنة بين أثره وأثر الخطوط المرجعية في مؤشرات الأداء القرائي، ولا سيما الدقة القرائية والطلاقة القرائية وأخطاء الخلط البصري لدى التلاميذ ذوي عسر القراءة.

### 1.7.14 الأداة التحليلية أرابيكليكسيا (ArabicLexia Tool)

**اصطلاحًا:** يُقصد بالأداة التحليلية (ArabicLexia Tool) في هذه الدراسة المنظومة البرمجية التي طوّرها الباحث لقياس مجموعة من المؤشرات الطباعية والبصرية في الخطوط العربية، بهدف تحويل عدد من المبادئ الإدراكية والتصميمية إلى مؤشرات كمية قابلة للقياس والمقارنة، بما يدعم توجيه تصميم الخط العربي الميسّر للقراءة.

**إجرائيًّا:** تُعرَّف الأداة التحليلية (ArabicLexia Tool) إجرائيًا بأنها التطبيق البرمجي المستخدم في هذه الدراسة لتحليل الخطوط العربية وفق مؤشرات محددة، ثم توليد مخرجات كمية تُستخدم في توجيه قرارات تصميم خط (ArabicLexia Font) وتقويم خصائصه قبل اختباره تجريبيًا. وتمثل هذه الأداة في الدراسة المكوّن التحليلي الذي يربط بين الخصائص البصرية للخط العربي وبين قرارات التطوير التصميمي اللاحقة.

### 1.7.15 خط المنهاج الفلسطيني "شهرزاد" (Scheherazade)

**اصطلاحًا:** يُشار في هذه الدراسة إلى خط (Scheherazade) بوصفه خطًا عربيًا رقميًا عامًا على طراز النسخ، طوّرته (SIL Global) لتمثيل النص العربي في البيئات الرقمية، ويتميّز بعرض مبسّط للكتابة العربية يعتمد الوصلات الأساسية ويحدّ من التوسعات الزخرفية والسياقية غير الضرورية (SIL International, 2018).

**إجرائيًا:** يُعرَّف خط شهرزاد في هذه الدراسة بأنه الخط المرجعي الضابط المستخدم في المقارنة مع الخط المقترح (ArabicLexia Font) في اختبارات الأداء القرائي، وقد اختير لتمثيل خط عربي رقمي مرجعي مستقر في السياق التعليمي الذي اعتمدته الدراسة.

### 1.7.16 برنامج GlyphsApp

**اصطلاحًا:** يُقصد ببرنامج (GlyphsApp) محرّر خطوط رقمي احترافي يعمل على نظام (macOS)، ويُستخدم في إنشاء الخطوط وتحريرها واختبارها داخل سياق الكلمات، كما يتيح إدارة خصائص المحارف، والمقاييس الطباعية، وإعادة استخدام الأشكال، وتوليد الخطوط بصيغ معيارية مثل (OpenType). وتصفه المصادر الرسمية بأنه تطبيق مهني لإنشاء الخطوط وتطويرها وإدارة جوانب الإنتاج الطباعي الرقمي الحديثة (Glyphs, 2014).

**إجرائيًا:** يُعرَّف برنامج (GlyphsApp) في هذه الدراسة بأنه البيئة البرمجية التي استخدمها الباحث في تنفيذ الجانب التطبيقي من تطوير خط (ArabicLexia Font)، بما شمل رسم المحارف، وضبط المقاييس والمسافات، وإدارة الخصائص السياقية، وتصدير الخط بصيغة رقمية صالحة للاختبار والتطبيق.

### 1.7.17 تجزئة الكلمة بصريًا (Visual Word Fragmentation)

**اصطلاحًا:** يُقصد بتجزئة الكلمة بصريًا في هذه الدراسة الحالة التي تفقد فيها الكلمة العربية تماسكها الإدراكي كوحدة كتابية متصلة، نتيجة اختلال التوازن بين أجزائها أو المبالغة في الفصل أو التمديد داخل بنيتها الخطية، بما يضعف سهولة التعرّف إليها أثناء القراءة. ويُستخدم هذا المصطلح هنا بوصفه مفهومًا وصفيًا يعبّر عن أثرٍ بصريٍّ

يعرقل التعرف إلى الكلمة عندما تتشوّش حدودها الداخلية أو تتفكك بنيتها الخطية المألوفة. وقد بيّنت دراسات القراءة أن الإخلال بالمعلومات المكانية اللازمة لتحديد حدود الكلمات أو بنيتها يؤثر سلبًا في تعرف الكلمات وفي ضبط حركة العين أثناء القراءة. كما تُظهر دراسات الطباعة العربية أن استخدام الكشيدة في الضبط الطباعي ليس عشوائيًا، بل تحكمه قواعد موضعية وحدود تتعلق بجمالية النص العربي ووضوحه؛ الأمر الذي يجعل الإفراط فيه أو إساءة توظيفه عاملًا محتملًا في إضعاف تماسك الكلمة بصريًا. (Rayner et al., 1998; Azmi & Alsaiari, 2014).

**إجرائيًّا:** تُعرَّف تجزئة الكلمة بصريًا في هذه الدراسة بأنها الأثر البصري الناتج عن المبالغة في التمديد أو الفصل داخل الكلمة العربية على نحو يضعف وحدتها الشكلية ويزيد احتمالات الالتباس أثناء القراءة، ولا سيما لدى التلاميذ ذوي عسر القراءة. ويُستأنس بهذا المفهوم في تفسير النتائج المرتبطة بالخطوط التي تُضعف الترابط البصري للكلمة أو تُفكك بنيتها الاتصالية، ولا يُعامل بوصفه متغيرًا مستقلًا قائمًا بذاته، بل بوصفه أثرًا تفسيريًا مرتبطًا بوضوح الكلمة واتساقها البصري.

### 1.7.18 هندسة الحرف (Letter Engineering)

**اصطلاحًا:** يُقصد بهندسة الحرف في هذه الدراسة المقاربة التصميمية التي تتعامل مع الحرف العربي بوصفه بنية شكلية قابلة للضبط والتحسين من خلال تنظيم العلاقات بين أجزائه الأساسية، مثل: الكتلة، والفراغات الداخلية، والسماكات، والامتدادات، والنهايات، ومواضع العلامات الفارقة، بما يرفع درجة التمييز والوضوح ويحدّ من الالتباس البصري أثناء القراءة. ويُستخدم هذا المفهوم هنا للدلالة على الجانب البنيوي الدقيق في تصميم الحرف، لا على الزخرفة أو المعالجة الجمالية العامة (Hejres & Tinker, 2024; Crompton, 2014).

**إجرائيًّا:** تُعرَّف هندسة الحرف في هذه الدراسة بأنها مجموعة القرارات التصميمية التي طُبّقت على محارف (ArabicLexia Font) لتحسين وضوحها القرائي، مثل: زيادة التمايز بين الحروف المتقاربة، وضبط

الفتحات الداخلية، وتحسين اتساق البنية الرأسية والأفقية، وضبط السماكات، و"الارتفاعات الوسطية"[1] ( Medial Heights) لزيادة الحجم الظاهري، وتعزيز "تمايز الأشكال" المتقاربة. وتحسين مواضع النقط والعلامات، وتقليل احتمالات الخلط البصري بين المجموعات الحرفية المتشابهة.

## 1.7.19 معدّل الكلمات الصحيحة في الدقيقة (Words Correct Per Minute - WCPM)

**اصطلاحًا:** يُقصد بمعدّل الكلمات الصحيحة في الدقيقة عدد الكلمات التي يقرؤها التلميذ قراءة صحيحة خلال دقيقة واحدة من القراءة الجهرية لنص متصل. ويُستخدم هذا المؤشر على نطاق واسع في تقدير الطلاقة القرائية الشفوية؛ لأنه يجمع بين عنصرين أساسيين هما **السرعة** و**الدقة** في قيمة عددية واحدة ( University of Oregon, 2023; Reading Rockets, 2024).

**إجرائيًّا:** يُعرَّف معدّل الكلمات الصحيحة في الدقيقة في هذه الدراسة بأنه الناتج المتحقق من طرح عدد أخطاء القراءة من إجمالي الكلمات المقروءة خلال دقيقة واحدة عند قراءة النص المعتمد في الاختبار، وفق المعادلة الآتية:

(مجموع الكلمات المقروءة خلال دقيقة واحدة) – (مجموع الأخطاء المرتكبة) = (WCPM)

---

[1] **مفهوم "الارتفاعات الوسطية" (Medial Heights/x-height) في السياق العربي** (1):على الرغم من أن مصطلح "ارتفاع الحرف x" (x-height) ليس مفهوماً معيارياً في فن الخط العربي التقليدي لغياب الأحرف الصغيرة وخط الأساس الواحد الثابت، إلا أنه يمثل "متغيراً مستقلاً" (Independent Variable) محورياً في هذا البحث. يُشار إليه في الدراسات العربية الحديثة بمصطلح "الارتفاع الوسطي للحرف" أو "ارتفاع العين" (Medial Heights) (Chahine, 2012; Janbi, 2016)، ويُستخدم كمقياس تصميمي يؤثر بشكل مباشر على المقاييس التابعة للأداء البصري قيد الدراسة، وذلك وفقاً للمحددات الآتية:

- **التعريف التشريحي:** يشير المفهوم إلى ارتفاع أجسام الحروف العربية التي لا تحتوي على أجزاء صاعدة أو هابطة بشكل بارز. وخلافاً للنظام اللاتيني الذي يعتمد على "خط وسطي" واحد (Mean-line)، يوضح Zoghbi (2015) أن تشريح الخط العربي يتطلب هندسة مستويات متعددة تشمل: "ارتفاع السن" (Tooth-height) (كما في السين والباء)، و"ارتفاع العروة" (Loop-height) (كما في الفاء والقاف)، و"ارتفاع العين" (Eye-height) (كما في الصاد والطاء). هذا التعدد التشريحي هو ما يتم قياسه وضبطه في هذه الدراسة تحت مسمى "الارتفاعات الوسطية".
- **الأهمية الإجرائية في البحث:** يتم تقييم تأثير الارتفاع الوسطي كمياً في هذه الدراسة لقياس علاقته بأخطاء التشوش البصري (VC Errors) ومقياس عدد الكلمات الصحيحة في الدقيقة (WCPM)، وتقوم الفرضية على أن التباين في هذا الارتفاع بين أنماط الخطوط المختلفة قد يفسر الفروقات في سهولة القراءة (Legibility) التي يتم رصدها باستخدام التحليل الإحصائي.

ويُستخدم هذا المؤشر في الدراسة بوصفه أحد المقاييس المباشرة للطلاقة القرائية عند المقارنة بين الخط المقترح والخطوط المرجعية. وتُعدّ أخطاء الحذف والاستبدال والتردد الطويل من الأخطاء المؤثرة في هذا المعدل، بينما تُحتسب بعض التصحيحات الذاتية السريعة بوصفها صحيحة في بعض أدلة التطبيق المعيارية.

### 1.7.20 أخطاء الخلط البصري (Visual Confusion Errors - VC Errors)

**اصطلاحًا:** يُقصد بأخطاء الخلط البصري الأخطاء القرائية التي تنشأ عن الالتباس بين الحروف أو الوحدات الكتابية المتشابهة شكلًا، ولا سيما الحروف التي تشترك في الرسم الأساس وتختلف في عدد النقط أو مواضعها. وتظهر هذه الأخطاء عندما يُخطئ القارئ في تمييز الهوية البصرية الدقيقة للحرف داخل الكلمة، وهو نمط موثّق في تحليلات أخطاء القراءة والتهجئة لدى القرّاء العرب ذوي عسر القراءة (Abu-Rabia & Taha, 2004).

**إجرائيًّا:** تُعرَّف أخطاء الخلط البصري في هذه الدراسة بعدد حالات استبدال الحروف المتشابهة بصريًا بعضها ببعض أثناء أداء مهام القراءة، مثل الخلط بين المجموعات الحرفية التي تشترك في الرسم الأساس وتختلف في النقط. ويُستخدم هذا المؤشر في الدراسة بوصفه مؤشرًا مساعدًا لتفسير مدى وضوح الخط وتمييزه البصري؛ بحيث يدل ارتفاعه على ازدياد الالتباس بين المحارف، بينما يدل انخفاضه عند استخدام الخط المقترح على تحسن التمييز البصري للحروف.

## 1.8 خلاصة ومخرجات الإطار العام

يخلص هذا الفصل إلى أن صعوبات المقروئية في العربية لدى التلاميذ ذوي عسر القراءة ترتبط بتفاعل عدد من العوامل البنيوية والتقنية، وفي مقدمتها خصائص الخط العربي من حيث الاتصال، والتشابه الشكلي بين بعض الحروف، والاعتماد على النقط في التمييز، إلى جانب العوامل المرتبطة بتمثيل النص العربي ومعالجته في البيئة الرقمية. كما أسفر الإطار العام للدراسة عن تحديد المشكلة البحثية، وضبط مفاهيمها ومصطلحاتها الأساسية، وتحديد نطاقها وأهدافها واتجاهها المنهجي العام.

وفي ضوء ذلك، تتجه الدراسة إلى تجاوز المعالجة الوصفية للمشكلة نحو بناء مقاربة تحليلية وتطبيقية تقوم على تحديد متغيرات طباعية وهندسية قابلة للقياس، والإفادة منها في توجيه تصميم الخط المقترح. ومن هنا ينتقل الفصل التالي إلى التأصيل النظري للبنية الخطية العربية، والمعالجة البصرية، ومتطلبات التصميم الطباعي الحاسوبي، بوصفها الأساس النظري الذي تستند إليه الأداة التحليلية والخط المطور في هذه الدراسة.

# الإطار النظري للرسالة: الخصائص البنيوية والأسس المعرفية

# الفصل الثاني: البنية الخطّية للكتابة العربية ومتطلّبات التصميم الطباعي الحاسوبي

ينطلق هذا الفصل من الأرضية المفاهيمية التي أرساها الإطار العام؛ ليعالج بعمق "الخصائص البنيوية" المميّزة للنظام الكتابي العربي والتي جعلت من الخط العربي فنًّا بصريًّا متميّزًا (المتمثلة في: الطبيعة الاتصالية، وتعدّد الصور السياقية للحرف، والطبقات المورفولوجية كالتشكيل والهمزات، والإيقاع الخطي). ولا يكتفي العرض بالجانب اللغوي، بل ينتقل لتبيان الكيفية التي تُترجَم بها هذه الخصائص العضوية إلى "قواعد طباعية رقمية" صارمة داخل البيئات التقنية المعيارية مثل: (Unicode)، وبنية (OpenType)، وجداول التموضع (GPOS)، وصولاً إلى معالجة إشكاليات "ضبط السطر" (Justification) في السياق الرقمي. ومن خلال هذا الربط العضوي، لا يتم تقديم السرد التاريخي أو المواصفات التقنية بوصفها معرفة نظرية معزولة، بل بوصفها "خطوة منهجية لازمة" لاشتقاق مؤشرات القياس الهندسية التي سيُبنى عليها التصميم والتقويم التجريبي في الفصول اللاحقة.

## 2.1 مدخل تاريخي وظيفي للخط العربي

يُظهِرُ التحليلُ التاريخي الذي قدمته (Abbott) لتطوّر الكتابة العربيّة أنّ الخطَّ لم يُستعمَل في بيئةٍ وظيفية واحدة، بل خَدَمَ مبكِّرًا أربع مجالاتٍ متجاورة: كتابةَ المصاحف والنصوص الدينيّة ذات الطابع الرسمي، وكتابةَ الوثائق والدواوين ذات الطابع الإداري، ثمّ الكتابةَ الخطِّيّة الفنِّيّة التي ازدهرت لاحقًا مع تقعيد النِّسَب الهندسية على يد ابن مُقْلَة ومَن بعده. فالمصاحفُ والنقوشُ أظهرت النَّسَقَ الأكثر جلاءً ورسوخًا، ثمّ الكتابة الاعتياديّة، بينما قدّمت الوثائقُ الرسميّة نموذجًا أكثر ليونةً واتّصالًا، ثم جاءت المدرسةُ العبّاسيّة لتُدخِل عنصر التزيين والجَمال دون أن تُبطِل الأساس الرياضيّ للخطّ (Abbott, 1939).

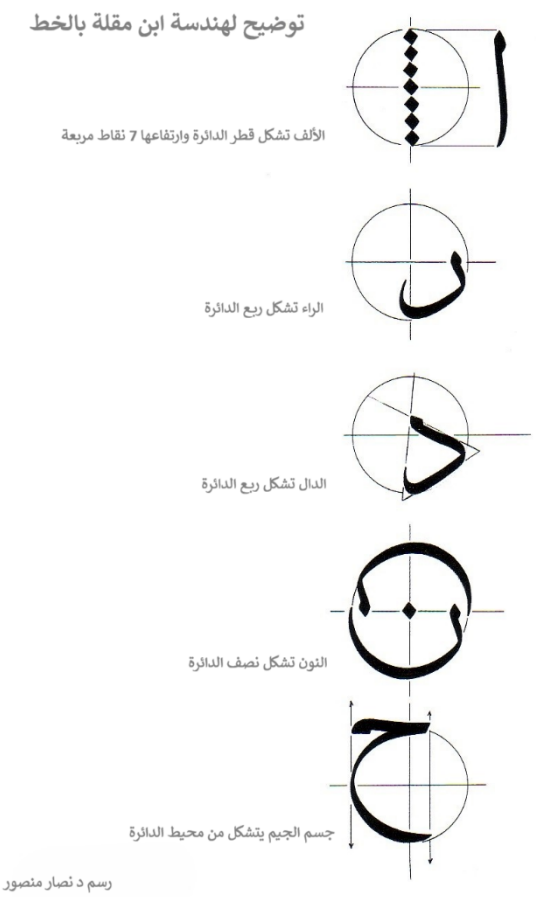
هذا "التعدّدُ الوظيفيّ" هو ما يُفَسِّرُ عنايةَ الكُتّاب والخطّاطين المسلمين بتقنين شكل الحرف، وضبطِ العلاقة بين "الصاعد" (Ascender) و"الهابط" (Descender)، واعتمادِ "الخطّ المنسوب"[2] معيارًا تُرَدّ إليه سائرُ الحروف، كما تشرحه (Abbott) في قراءتها لتأسيس ابن مُقْلَة ثمّ تهذيب ابن البوّاب ويَاقوت (Abbott, 1939).

وعندما انتقلت العربيّةُ إلى عصر الطباعة في أوروبا، واجه الطابعون المشكلةَ البنيوية نفسها التي رصدها (Roper)؛ فالعربيّةُ خطٌّ متّصلٌ (Cursive) متعدّدُ الأشكال والسَّلْسَلات، على خلاف الحروف اللاتينيّة المنفصلة. لذا بدت المحاولاتُ الأولى بطيئةً ومكلِفة، واضطرّ بعضهم إلى صنع كُتَلٍ حروفيّة جاهزة أو الإكثار من الحروف والمفاصل الطباعية (Ligatures) لإنتاج السطر الواحد؛ وهو الوصفُ الذي ساقه (Roper) لبيان بطء تقدّم الطباعة العربيّة بسبب طبيعة الخطّ نفسه (Roper, 1988).

وفي هذا السياق، تؤكد الدراسات التاريخية لتطور التصميم العربي أن "المعضلة البصرية" للحرف الطباعي لم تكن وليدة العصر الرقمي فحسب، بل بدأت جذورها مع محاولات "ميكنة الخط العربي" (Mechanization). حيث يشير (Shehab & Nawar, 2020) إلى أن الانتقال من "ليونة يد الخطاط" إلى "جمود القوالب الطباعية المعدنية" فَرَض تنازلات بصرية كبيرة؛ فقد اضطر المصممون الأوائل إلى اختزال مئات الأشكال المتغيرة للحروف (Contextual Variations) وتراكيبها الرأسية المعقدة لتلائم "الشبكة الأفقية" الصارمة للطباعة الغربية. هذه العملية التاريخية من "التقييد التقني" أرست دعائم المشكلات التي تعاني منها الخطوط الرقمية اليوم، مثل اضطراب المسافات البينية وتشوّه الأشكال التشريحية للحروف، وهي العوامل ذاتها التي تفاقم صعوبات القراءة لدى ذوي عسر القراءة (Shehab & Nawar, 2020).

---

[2] الخطّ المنسوب هو: نظام تقعيديٌّ هندسيٌّ لضبط بنية الحرف العربي وعلاقاتِه النِّسبيّة، نُسب إلى ابن مُقْلَة، ولا يُراد به اسمُ قلمٍ مستقلّ بقدر ما يُراد به مبدأٌ معياريٌّ يجعل أشكال الحروف خاضعةً لقياسٍ وتناسبٍ رياضيَّين؛ بحيث تُردّ الحروف إلى مقاييس مرجعيّة تضبط اتساقها الشكلي، ثم يُطبَّق هذا الضبط على الأقلام المختلفة. وقد مثّل هذا النظام انتقالًا من الكتابة بوصفها ممارسةً مهاريّةً إلى الكتابة بوصفها بناءً محسوبًا قابلًا للتقعيد، ثم جاء ابن البوّاب فهذّب هذا الإرث وكرّسه في الممارسة الخطّيّة اللاحقة (Abbott, 1939; Tabbaa, 1999; Yaghan, 2020).




رسم توضيحي 2 يوضّح مبدأ الخط المنسوب في الخط العربي، حيث تُصاغ الحروف داخل نظام هندسي دقيق ينطلق من الألف بوصفها قطر الدائرة وباقي الحروف تنسب في صحتها إليها. وتبرز أهمية هذا النظام في أنه يحقق التناسب بين أجزاء الحروف، وهي خصائص يمكن الاستفادة منها تحليليًا عند مناقشة قضايا الإدراك البصري للحروف وصعوبات تمييزها، ومنها عسر القراءة؛ إذ إن زيادة الانضباط الشكلي والتمييز البصري بين البنى الحرفية قد تسهم في تسهيل التعرف على أشكال الحروف وتقليل الالتباس بينها، من غير الجزم بأن هذا النظام يمثل علاجًا مباشرًا لعسر القراءة بحد ذاته. (Porter, 2003)

ومع الانتقال إلى النَّشر المكتبي ثم إلى "الترصيد الرقمي" في أواخر القرن العشرين، ظهرت حاجةٌ صريحة إلى آليات إعدادٍ مخصوصة للخطوط العربية؛ لأن أغلب أنظمة الصف وُضِعت أصلًا للغاتٍ ذات حروف منفصلة. وهذا ما توضحه مواصفة "مايكروسوفت" لتطوير الخطوط العربية في معيار (OpenType) حين تشترط وجود "جداول إبدال" تُولِّد الشكل السياقي الموافق لموضع الحرف في الكلمة (Microsoft Learn, 2022). غير أنّ هذا "الإبدال السياقي" يظل حلاً تقنياً جزئياً، ولا يكفي وحده لضمان مقروئية عربية عالية؛ لأن العربية تقوم على شبكة أوسع من العلاقات البصرية تشمل: توازن الكتلة الحروفيّة، وضبط مواقع النِّقَاط، وإدارة الامتدادات الرأسية والأفقية، والحفاظ على "الإيقاع الاتّصالي" الموروث (Smitschuijzen, 2001).

وقد نبّهت الدراسات التطبيقية على الخط العربي الحديث إلى أنّ إغفال هذه العناصر ينتج نصًّا "صحيحًا" من حيث البرمجة لكنه "أقلّ كفاءة قرائية"، خصوصًا عند القرّاء المتأثّرين بظاهرة الازدحام البصري (Bigelow, 2019). كما ربطت دراسات المقروئية في العربية بين الإمكانيات التي أتاحها (OpenType) وبين ضرورة الانتقاء من النماذج الخطّية التراثية ما يضمن بقاء النصّ مقروءًا على الشاشات المعاصرة؛ أي إن التطوّر التقني لا يُغني عن اختيار نموذج بصري سليم (Chahine, 2012).

وبهذا المعنى، يمكن النظر إلى تطوّر رقمنة الخط العربي على أنّها سلسلةٌ متعاقبة من المحاولات لردم الفجوة بين نظام كتابيّ شديد الثراء بالتصرّفات والتحويرات، وبين وسائط عرض تميلُ تدريجيًّا إلى الثبات والجمود (من الرق إلى البردي، ثم الورق وإلى الطباعة المعدنية، وصولًا إلى الواجهات الرقميّة). وكلّ انتقال من وسيطٍ إلى آخر كان يكشف "الطبقات البنيويّة" نفسها التي تُثقِل العبء البصري على القارئ العربي، وهي: الاتّصال الإجباري، وتعدّد الأشكال السياقيّة، والاعتماد الكثيف على النِّقَاط. من هنا؛ فإنّ أيّ اشتغال معاصر على تكييف الخط العربي لخدمة القرّاء ذوي عسر القراءة لا ينبغي أن يبدأ من فراغ، بل يجب أن يُبنى على هذا المسار "التاريخي - الوظيفي"، وأن يُقرأ قراءةً إدراكيّة تسأل: ما العناصر التي ظلّت ثابتة عبر العصور؟ وما العناصر التي يمكن اليوم "إعادةُ هندستها" دون إخلال بالهويّة الكتابيّة للنص؟

وفي هذا الإطار، يُمكن عدّ أدوات التحليل الطباعي الحاسوبي التي تطوّرها هذه الرسالة امتدادًا طبيعيًّا لذلك التاريخ؛ فهي لا تستحدث مشكلاتٍ جديدة، بل "تُقنّن وتُكْمِم" مشكلاتٍ قديمة عرفها الخطّاط والمطبعي، ثم تعيد صياغتها في صورة معايير قابلة للقياس يمكن اختبار أثرها على فئة قرائيّة محدّدة. إذ يستنتج الباحث أن الصعوبات البصرية الراهنة ليست عيباً أصيلاً في اللغة، بل هي نتاج تراكمي لتقييدات الطباعة التي جمدت ليونة الحرف. وعليه، فإن هذه الدراسة لا تسعى لتجميل الخط فحسب، بل توظف التكنولوجيا الرقمية "لاستعادة وضوحه الوظيفي" ومعالجة تلك التشوهات هندسياً؛ لتجعل من الخط أداة مساعدة فعالة ومقاسة لذوي عسر القراءة.

### 2.1.1 نشأة الخط العربي وتبلور أنماطه الكلاسيكية

يعرض المسار التاريخي أنّ الخطّ العربي لم يهبط مكتملًا مع الإسلام، بل خرج من سلسلةٍ متأخّرة من الكتابات "الآراميّة النبطيّة" التي ظلّت فاعلةً في شماليّ الجزيرة وبلاد الشام حتى القرون الميلاديّة الأولى. وتُظهر النقوش العربية ما قبل الإسلام التي أعاد قراءتَها (Abulhab) - ولا سيّما نقش "أمّ الجمال"، ونقش "رقّوش" في مدائن صالح، ونقش "النمارة" المؤرَّخ بسنة 328م - انتقالًا من رسمٍ نبطيّ ما يزال فيه الثقل الآرامي ظاهرًا، إلى رسمٍ أقرب إلى الاستقامة والأفقيّة وصالحٍ للنسخ المتكرّر؛ وهو ما يعدّه (Abulhab) الحلقة المباشرة السابقة لما نسمّيه اليوم "الرسم العربي" (Abulhab, 2012). وهذا يتوافق مع ما يرصده (al-Jallad) عن "العربيّة القديمة" بوصفها طبقةً عربية داخل تقليدٍ كتابيّ "نبطيّ - آرامي" ظلّ مستمرًّا حتى القرن الرابع الميلادي، ثم أخذ يزداد فيه حضور العربية على حساب الآرامية في النقوش النبطية المتأخّرة.(al-Jallad, 2020)

ومع دخول الإسلام وبدء تدوين المصحف، ظهرت الحاجة إلى تسوية أشكال الحروف، وتوحيد جهة الكتابة، وبلوغ درجة من الرسوخ الرسومي تصلح للنسخ على الرَّق والجلد. فاعتمد الكَتَبةُ شكلًا "مبسوطًا يابسًا" هو الذي ستصفه لاحقًا مادّة "الخط الإسلامي" في "متحف المتروبوليتان" عند حديثها عن المصاحف الكوفية الأولى بأنه يتميز بـ: حروف عريضة، وامتدادات أفقية طويلة، وضبطٍ للهوامش يتيح إدخال العنصر الهندسي والزخرفي دون أن تفقد الآياتُ قابليتَها للقراءة (Schimmel, 1992). إنّ هذا "الكوفي المبكّر" كان اختيارًا وظيفيًّا يناسب المصاحف الكبيرة والواجهات المعمارية، ولم يكن مجرّد أسلوبٍ جمالي، وهو ما يفسّر ظهوره في العمارة العباسية المبكرة أيضًا (Schimmel, 1992).

وابتداءً من القرن الرابع الهجري (العاشر الميلادي)، وقع التحوّل الذي تتّخذه الدراسات المتخصّصة نقطةَ انطلاقٍ للخطّ العربي الكلاسيكي، وهو: تقعيد النِّسَب وقواعد الأقلام على يد ابن مقلة (ت 328هـ)، ثم تهذيبها على يد ابن البوّاب (ت 413هـ). وهو ما ترويه أدبيات "المتروبوليتان" حين تذكر انتقال الكتابة من "الكتابة االاعتياديّة" إلى "الكتابة المنضبطة على مقياس النقطة والدّائرة"، وتوزيع الحروف الصّاعدة، والنّازلة، والفراغات. ومن هذا النظام انبثقت "الأقلام الستة" المشهورة بوظائف استعماليّة متمايزة؛ وبه بدأ "النسخ" يكتسب ملامحه التي ستجعله لاحقًا خطّ الكتب، في مقابل "الثلث" ذي البنية الفنيّة والزخرفيّة الأقوى (Schimmel, 1992). وقد توسّعَت (Blair)

في وصف هذا الانتقال من الخطّ الكوفي إلى منظومة الأقلام النسبيّة، وبيّنت كيف صار "المربّع الكتابي[3]" – وهو المجال الهندسي الذي تُضبط داخله بنية الحرف وموضعه ونِسَبه اعتمادًا على النقطة كوحدة قياس -، ووحدة "النقطة" أساسًا لضبط الحروف في المصاحف والوثائق معًا (Blair, 2008).

رسم توضيحي 3 يبيّن نماذج للخطوط الستة في الخط العربي: a الثلث، b النسخ، c المحقق، d الريحاني، e التواقيع، f الرقاع، مع ما بينها من فروق في البنية الشكلية، والوضوح البصري، والوظيفة الجمالية، والكتابية. (Porter, 2003).

[3] يقصد بالمربّع الكتابي، في سياق الخط المنسوب، الحيّز الهندسي المعياري الذي تُنظَّم داخله أبعاد الحرف العربي وعلاقاته النسبية، بحيث تُضبط الصواعد والنوازل والامتدادات والفراغات وفق وحدة النقطة بوصفها أساس القياس. وعليه، فإن المصطلح لا يدل على مربع زخرفي منفصل، بل على منطق بنائي يجعل الحرف خاضعًا لشبكة ضمنية من النِّسَب، وهو ما مثّل جوهر الانتقال من الكتابة الاعتيادية إلى الكتابة المقعّدة في التراث الكلاسيكي للخط العربي (Mazy, 2026).

هذا النظام المقيَّد بالنِّسَب أثبت بسرعةٍ قدرتَه على التكيّف الإقليمي؛ ففي الغرب الإسلامي تبلور "الخطّ المغربي/الأندلسي" بطبيعته المدوّرة تبعًا لموادّ الكتابة المحليّة ومسار تدوين المصحف هناك، مع بقاء المرجعيّة "الكوفيّة - العبّاسيّة" واضحة في البناء العام للحرف (Schimmel, 1992)، أي أن الخط المغربي، رغم تميّزه المحلي، ظلّ مستندًا إلى أصول بنائيّة تعود إلى تقاليد الكتابة العربية المبكرة في المشرق، لا سيما في هيئة الحرف وتنظيم السطر والعلاقة بين الكتلة والفراغ (Ekhtiar & Cohen, 2014). وفي الفضاءين "الفارسي - التركي" تطوّرت الخطوط التعليقيّة وما تفرّع عنها لإرواء حاجات الكتابة بالفارسية ولأذواق دواوينها، مع محافظةٍ على المبدأ النسبي العربي في الأساس، وهو ما تسجّله (Blair) وهي تتبّع صعود الخطوط الإيرانية، والعثمانية من داخل الإرث العربي لا من خارجه (Blair, 2008).

بهذا التسلسل، يمكن تلخيص المسار كله - على نحوٍ ينسجم مع المدخل الوظيفي السابق - في ثلاث حلقات متتابعة:

1. رسمٌ نبطيّ - عربي متأخّر أتاح أوّل تدوينٍ عربي واضح (أمّ الجمال، رقّوش، النمارة) (Abulhab, 2012).
2. تقعيدٌ مبكّر في المصاحف الكوفيّة لأغراض الجلال والوضوح.
3. التحوّل نحو هندسة الخط المنسوب (ابن مقلة) أتاح إنتاج عائلاتٍ متخصّصة واستيعاب تنويعاتٍ إقليميّة دون اختلال المبدأ البنائي للحرف (Schimmel, 1992).

وهذا يُظهر أنّ "إعادة التصميم" ممارسةٌ أصيلة في تاريخ الخط العربي؛ فكلُّ انتقالٍ كان مدفوعًا بحاجة قرائية أو ماديّة محدّدة. ومن ثمّ، فإن اقتراح "نسخة طباعية ميسّرة للقراءة" اليوم - لفئةٍ قارئةٍ مخصوصة - هو امتدادٌ لذلك المنطق الداخلي لا خروجٌ عليه. وتأسيساً على ما سبق، يرى الباحث أن "ثبات شكل الحرف" لم يكن يوماً غايةً في ذاته، بل وسيلةً لخدمة الوظيفة؛ وكما طُوِّعت الهندسة قديماً لضبط "جماليات" النص، فإن توظيفها في هذه الدراسة لضبط "مقروئية" النص لذوي العسر القرائي يُعدّ إحياءً لهذا الإرث الوظيفي، وليس تعدياً على هوية الخط.

### 2.1.2 من الخط العربي إلى الطباعة

ظلّت الثقافةُ العربيّة الإسلاميّة حتى العصر الحديث "ثقافةَ مخطوطٍ" بالأساس؛ فالخطّاط فيها هو أداة الاستنساخ، وهو الذي يجمع وحده بين مطلب المقروئيّة ومطلب الجمال. ولذلك صيغت أنماطُ النسخ والثلث والمحقّق لتُكتَب

بالقصبة على الرَّقّ أو الورق، وتستفيد من مرونة اليد في الوصل الدقيق، والامتداد المحسوب، وضبط النِّقَاط والحركات بحسب الكلمة والسطر (Roper, 1988).

لكن ما إن انتقل الحرف العربي إلى الطباعة بالحروف المتحرّكة في المراكز الإيطاليّة، ثم في روما مع "المطبعة المشرقيّة" (Medici Oriental Press, 1584)، حتى ظهرت وللمرّة الأولى بصورةٍ جليّة الفجوةُ بين منطق الكتابة العربيّة ومنطق الآلة الطباعيّة؛ فالطباعة الغربيّة بُنِيت على حروف منفصلة ثابتة العرض، بينما العربيّة خطٌّ متّصل متعدّد الأشكال السياقيّة، يعتمد في التمييز على النِّقَاط، ويوازن بين الامتدادين الأفقي والرأسي. لذلك اضطُرّ الطابعون الأوائل إلى صَبّ عدد كبير من الأشكال، واستحداث مفاصل ووصلات ليُنتجوا سطرًا واحدًا. وكانت النتيجة حروفًا أثقل، واتصالًا أكثر جمودًا، ونصًّا "صحيحًا" من حيث اللغة لكنه أبعد ما يكون عن ليونة النسخ اليدوي؛ كما بيّن (Roper) في تتبّعه للطباعة العربيّة الأوروبيّة المبكّرة، وكما توثّق الكتالوجات الحديثة التي أعادت تقديم مصحف "باغانيني" ومحاولات البندقيّة لطباعة العربية (Roper, 1988; König, 2019; Feodorov, 2022).

وتكرّر المنطق نفسه حين وصلت الطباعة العربيّة إلى المجال العثماني ثم العربي: فالمطبعة الأهلية في إسطنبول (القرن 18)، ثم مطبعة بولاق في القاهرة (القرن 19)، عملتا داخل الحدود التقنيّة نفسها التي وصفها (Roper) للطباعات الأوروبيّة: تقليل عدد الأشكال السياقيّة، وتسوية بعض الفروق الدقيقة بين الحروف المتشابهة، وتوسيع الفراغات اتّقاءً للتداخل. فخرجت طبعاتٌ نافعة تعليميًّا وإداريًّا، لكنها أبسط بصريًّا من المصاحف والنسخات المخطوطة المعاصرة لها. وهذه الخبرة الممتدّة تكشف عن قانونٍ واحد يتكرّر كلّما انتقل الخطّ العربي إلى وسيطٍ تقنيٍّ أضيق: "كلّ انتقالٍ يفرض تسوياتٍ شكليّة لصالح المقروئيّة على ذلك الوسيط."

- في الطباعة المعدنيّة: كانت التسوية بتقليل التصرّفات والوصلات.
- في الطباعة العربيّة الموجّهة للمسيحيّين في المشرق العثماني: كان على المصمّمين أن يُلائموا بين الحرف العربي وقوالب صُنعت أصلًا في مطابع أوروبّيّة.
- في النشر المكتبي ثمّ في المعايير الرقميّة الحديثة: صارت التسوية ببرمجة الإبدال السياقي آليًّا.

لكنّ المبدأ هو نفسه: الإبقاء على الهويّة الحروفيّة مع تبسيطها بالقدر الذي يسمح به الوسط (Chahine, 2012). ومن ثمّ يكون تصميمُ خطٍّ عربيٍّ مُيسّرٍ للقراءة - كما تقترحه هذه الرسالة - حلقةً لاحقة في سلسلة التكيّف التقني التي بدأت منذ أوّل محاولة لطباعة العربيّة. وفي ضوء هذا السرد، يرى الباحث أن "الجمود البصري" في الخطوط الحالية ليس قدراً محتوماً، بل هو نتيجة لتقييدات ميكانيكية (معدنية) زالت بزوال مسبباتها. وبما أن البيئة الرقمية الحديثة توفر مرونة هائلة، فإن الدراسة تنطلق من مبدأ ضرورة "تحرير" الحرف العربي من قيود الطباعة القديمة، وإعادة هندسته بمرونة تشبه "اليد"، لخدمة الوظيفة الإدراكية للمتعلمين ذوي العسر القرائي، بدلاً من إخضاعهم لقوالب صممت لخدمة الآلة.

### 2.1.3 الانتقال إلى الخطوط الرقميّة وتوحيد الترميز

يمكن تتبّع مسار الخطّ العربي في القرنَيْن العشرين والواحد والعشرين بوصفه انتقالًا تدريجيًّا من حرفٍ تُحدِّد صورته "اليدُ والوسطُ المادّي"، إلى حرفٍ تُحدِّد صورته "منظومةُ ترميزٍ ومعيارُ عرضٍ رقمي". وهو انتقالٌ أعاد إبراز الخصائص البنيويّة التي تجعل رقمنة العربيّة أشدَّ تعقيدًا من رقمنة اللغات ذات الحروف المنفصلة. فالدراسات التي عاينت مقروئيّة العربيّة، وفي مقدّمتها دراسة (Chahine)، لاحظت أن الحرف العربي حين يُنقَل إلى بيئة طباعيّة أو رقميّة يفقد تلقائيًّا بعض ما تمنحه الكتابةُ المخطوطة من ضبطٍ للاتصال، وتوازنٍ للكتلة، وإدارةٍ دقيقة للفراغات؛ لذلك كان لا بدّ من الرجوع إلى النماذج النسخيّة التقليديّة لاستخلاص قواعد عرض تُطبَّق في الصفّ والشاشة حتى يبقى النصّ مقروءًا (Chahine, 2012).

ومع شيوع صِيَغ الخطوط الرقميّة العامّة مثل (TrueType) ثم (OpenType)، ظهر المستوى الثاني من المشكلة: العربيّة ليست سلسلةَ رموزٍ مستقلة يمكن أن يُكتفى فيها بترميز كلّ رمزٍ بموضع واحد، بل هي "نظامٌ سياقيّ" تتبدّل فيه صورة الحرف بحسب موقعه وتتراكب عليه العلامات. وهذا يقتضي الفصل بين "المعلومة النصيّة" التي تُخزَّن في الترميز، و"الصورة الطباعيّة" التي يقرّرها محرّكُ الإبدال والسياق. وقد بيّنت رسالة (Janbi) أنّ هذا الفصل هو الذي أتاح تزايد عدد الخطوط العربيّة، لكنه في الوقت نفسه كشف غياب نموذجٍ وصفيّ عربي مماثل لما هو متاح للاتينيّة؛ الأمر الذي دفعها إلى اقتراح نموذج (PANOSE-A) لتصنيف الخطوط

العربيّة على أساس سماتها التصميميّة (الوزن، والتباين، وشكل النهايات، والارتفاعات المرجعيّة) حتى يمكن إدارتها واختيار البديل الأنسب عند فقدان الخطّ الأصلي (Janbi, 2016).

ويُضاف إلى البعد الطباعيّ بُعدٌ ترميزيّ لم يكن حاضرًا في الطباعة المعدنيّة: فالعربيّة في معيار (Unicode) بدأت بنحو 169 شكلاً ثم اتّسع حيّزها - بسبب اتّساع استعمال الخطّ الفارسي/العربي في الأردية ولغات آسيا وإفريقيا - إلى أكثر من 440 محرفًا. وهو ما وثّقه (Doctor) و (Gutkin) في دراستهم عن "التطبيع الكتابي للخطّ الفارسي - العربي"؛ إذ أظهروا أنّ الوسيط الرقمي يجمع في حيّزٍ واحد تقاليدَ كتابيّة متباعدة، وأن النصّ الواحد قد يَظهر فيه حروفٌ متشابهة بصريًّا لكنها مختلفة ترميزيًّا، وهو ما يعرقل المعالجة الحاسوبيّة ما لم تُطبَّق "طبقةُ تطبيعٍ" تُوحِّد هذا التنوّع قبل العرض أو التحليل (Gutkin et al., 2022).

من هنا تتّضح صلةُ هذا الانتقال بموضوع الرسالة: فتصميمُ خطٍّ عربيٍّ مُيَسَّر للقراءة لذوي عسر القراءة لا يكفي أن يَصدُر عن نموذج بصريّ واضح يضبط التباعدَ والارتفاعاتِ والتمييزَ، بل يجب - في الوقت نفسه - أن يُعرَّف بوصفه "خطًّا رقميًّا حديثًا" يستعمل جداول الإبدال السياقي ويَعبُر طبقةَ التطبيع بلا خسارة، وأن يكون في إمكان "أداة التحليل الطباعي الحاسوبي" "أرابيكليكسيا" قراءةُ ملفّه واستخراجُ سماته كما تفعل نماذج التصنيف الحديثة. وبهذا يتبيّن أن التحوّلات التاريخية والتقنية التي مرّ بها الخط العربي لم تُلغِ سماته البنيوية الجوهرية (الاتصال، وتعدّد الأشكال، والاعتماد على النِّقَاط)، بل كشفتها وكرّستها؛ الأمر الذي يقتضي تناول هذه السمات الآن تناولًا تحليليًّا مباشرًا لأنها تمثّل نقطة البدء لأي تصميم طباعي موجَّه. وفي ضوء هذا التحليل التقني، يرى الباحث أن تصميم الخطوط التعليمية الحديثة لم يعد مجرد "عملية فنية" تعنى بالشكل، بل أصبح "هندسة برمجية" تعنى بالسلوك. وبما أن الفئة المستهدفة (ذوو عسر القراءة) تتطلب ثباتاً بصرياً عالياً، فإن الدراسة تؤسس لضرورة أن يكون الخط المقترح "سليماً كودياً (Code-Compliant) "قبل أن يكون جميلاً بصرياً؛ لضمان أن ما يراه الطالب على الشاشة هو بالضبط ما قصده المصمم، دون تشوهات ناجمة عن أخطاء المعالجة أو الترميز.

## 2.2 السمات البنيويّة المميِّزة للكتابة العربيّة

تأسيساً على المسار التاريخي الوظيفي الذي عُرض في المبحث السابق؛ يتبلور الاستنتاج بأنّ العربيّة نظامٌ كتابيٌّ ذو "منطق بصريّ خاص" (Distinct Visual Logic)، نشأ في كنف المخطوط المرن، ثم اصطدم لاحقاً بصرامة القوالب الطباعية، وصولاً إلى تحديات العرض الرقمي. وتشير الدراسات التي أرّخت لهذا التحول، إلى أن المطبعيين اضطرّوا إلى ابتكار حلول مركّبة للتعامل مع خطٍّ "متّصلٍ ومتعدّد الأشكال"، وهو ما يتعارض جوهرياً مع منطق "الحروف المنفصلة" (Discrete Characters) الذي قامت عليه الطباعة الأوروبية. وتؤكد أبحاث المقروئية المعاصرة هذا التباين، مشددةً على أن المحافظة على وضوح النص في الوسيط الجديد تتطلب استحضار الخصائص البنيوية للخطّ العربي، لا تجاهلها أو قسرها على القوالب اللاتينية (Roper, 1988; Chahine, 2012).

واستخلاصاً من هذه الدراسات؛ يمكن تحديد خمس سمات بنيويّة حاكمة، هي الأكثر تأثيرًا في تشكيل الكلمة العربيّة، وفي تحديد حجم "العبء الإدراكي" المصاحب لقراءتها:

- **الاتّصاليّة الإلزاميّة (Obligatory Cursiveness):** الأصل في الحرف العربي أن يتّصل بما قبله وما بعده (إلا في حالات القطع المحددة)، محققاً ما تصفه الدراسات بـ "حركة القلم المتصلة". وهذا يعني أن القارئ يتعامل مع "سلسلة شكليّة متصلة" (Continuous Stream) لا مع وحدات منفصلة كما في اللاتينيّة. ولذلك؛ فإن أي اضطراب تقني في التباعد أو شكل الوصلة يتحول فوراً إلى "موضع التباس"، وهو ما جعل حلول "التقنين" (Kerning) في العربية تُبنى هندسياً على ضبط الوصلات لا على ضبط الفراغ الأبيض (Chahine, 2012).
- **تعدّد الأشكال السياقيّة (Allography):** توثّق (Janbi) في تصنيفها للخطوط العربية أنّ الحرف العربي لا يُكتفى له بـ "صورة مجردة واحدة"، بل تُعرِّفه المنظومة الطباعية من خلال مصفوفة صور مرتبطة بالموقع (ابتدائي، وسطي، نهائي، ومنفصل). وهذا التعدّد يفرض تمييزاً تقنياً بين "المعلومة النصيّة (Character) "و"الصورة الطباعية" (Glyph)، كما أنه يضاعف عدد الأشكال البصرية التي يجب على الذاكرة العاملة معالجتها وتخزينها مقارنةً بالأنظمة ثابتة الشكل (Janbi, 2016).

- **التشابه الشكلي والاعتماد على النِّقَاط (Homoglyphs & Dotting):** يشير "التحليل التشريحي" عند (Chahine) إلى وجود مجموعات من الحروف "متجانسة البنية" (مثل: ب-ت-ث، ج-ح-خ) يُستخرج التمييز الدلالي بينها حصراً من "موضع النقطة أو عددها". ويُعد هذا "التشابه الهيكلي" (Structural Homogeneity) أحد المصادر الرئيسة لظاهرة "الازدحام البصري"؛ إذ يصبح تصميم مواضع النقاط جزءاً وظيفياً من ضمان المقروئيّة وليس مجرد تفصيل تجميلي (Chahine, 2012).
- **التراكب الطبقي للعلامات (Supra-segmental Layers):** تتميز العربيّة بكونها نظاماً "متعدد الطبقات"؛ حيث تتراكم العلامات فوق "الهيكل الأساسي" للسطر وتحته (حركات، شدّة، همزات، نقاط). وتبيّن الدراسات أن ترتيب هذا "التكديس الرأسي" (Vertical Stacking) يجب أن يُضبط هندسياً بدقة عالية؛ لأنّ أيّ تصادم بين الحركات والنقاط يرفع فوراً من "كلفة التعرّف" على الكلمة (Chahine, 2012).
- **الإيقاع الخطيّ العمودي (Vertical Rhythm):** يعتمد السطر العربي على تباين مدروس بين مناطق المحاذاة (الأسنان، اللُّوى) وبين الامتدادات الرأسية (الصوّاعد والهوابط). وقد بيّنت (Chahine) و(Janbi) أن هذا التفاوت في الارتفاعات هو جزء جوهري من "بصمة الكلمة" (Word Shape)، وأن أي خلل في توزيع هذه الارتفاعات يُربك القراءة العربية أكثر ممّا يُربكها في الأبجديّات "المسطّحة" (x-height based scripts) (Chahine, 2012; Janbi, 2016).

يستقرئ الباحث من هذه السمات الخمس نتيجةً مفصلية توجه عمل هذه الرسالة؛ وهي أن صعوبات القراءة لدى الفئة المستهدفة لا تنبع من "فراغ"، بل تتركز بالضبط في "نقاط التقاطع" بين هذه السمات (مثل: التباس النقاط عند الازدحام، أو ضياع شكل الحرف عند سوء الاتصال). وبناءً عليه، فإن الأداة الطباعية المقترحة "أرابيكليكسيا" لن تتعامل مع الخط ككتلة صماء، بل ستعمل على "تفكيك" هذه السمات الخمس وإعادة هندستها (مثلاً: زيادة تباين النقاط، وتثبيت الارتفاعات)، لتحويلها من "عوامل إعاقة" محتملة إلى "مفاتيح بصرية" تيسر القراءة.

### 2.2.1 وصل الحروف الإلزامي وتحديات التتابع الخطي

تُعدّ "الخاصية الوَصْلِيَّة" أو الاتصال الإلزامي (Obligatory Cursiveness) السمة البصرية الجوهرية التي تُميّز الكتابة العربية عن الأنظمة الأبجدية التي تعتمد على فصل الحروف. فالأصل في الحرف العربي أن يرتبط بما يسبقه وما يليه في "سلسلة خطية متدفقة" (Linear Stream)، ولا يُكتب منفصلًا إلا في سياقات محدودة أو لأغراض زخرفية. وهذا المبدأ يجعل "وحدة القراءة" لدى المتلقي أقرب إلى "الكلمة الكلية" (Word Shape) منها إلى الحرف المفرد؛ حيث تشترك عدة حروف متتابعة في خط قاعدي واحد تتوزع فوقه وتحته النقاط والعلامات (Chahine, 2012). هذا الطابع السلس كان امتدادًا مباشرًا لمنطق الكتابة اليدوية بالقصبة في المخطوط، ولكنه تحوّل إلى تحدٍ تصميمي رئيس عندما انتقل النص العربي إلى بيئة الطباعة ثم إلى العرض الرقمي، إذ أصبح لزامًا على الخط الرقمي أن يُنتج هذا الاتصال آليًا مع ضمان أعلى مستويات المقروئية.

وتُنبه دراسات المقروئية إلى أن هذا الترابط الحتمي يُنشئ بيئة ذات "تزاحم بصري عالٍ" (High Visual Crowding) مقارنة بالكتابات المفصولة؛ فالحروف المتجاورة تتقاسم المساحة الأفقية وتلتقي في نقاط ضيقة، بينما تتحرك فوقها وتحتها العلامات، مما يقلل من حدود الفصل البصري (Visual Separation)، خاصة في الحالات التي يتشابه فيها الهيكل وتكون النقاط هي الفارق الوحيد (كما في المجموعة: ب-ت-ث-ن-ي)، أو عندما تكون "وصلة الاتصال (Ligature) "قصيرة وحادة (Benatia et al., 2006).

ومن الوجهة الطباعية، وبالتحديد في سياق معالجة عسر القراءة، يُنشئ هذا الاتصال الإلزامي ثلاثة آثار جوهرية تفاقم من التحديات الإدراكية:

1. **انعدام الفواصل وتفاقم الازدحام (Visual Crowding Amplification):** في السطر العربي المعتاد، يكاد الفراغ بين الحرفين المتصلين ينعدم، مما يحرم المصمم من "مسافة بيضاء" (White Space) طبيعية يمكن الاعتماد عليها لتخفيف الازدحام كما في اللاتينية. ونتيجة لذلك، تشير (Janbi) إلى أن شكل الوصلة ومساحتها وميلها تُعد من أهم السمات التي يجب هندستها لتعويض هذا النقص في الفراغ، وللحفاظ على الإيقاع البصري للتتابع (Janbi, 2016).

2. **العبء الإدراكي لفك تشفير (Cognitive Load of Decoding):** نظرًا لأن القارئ يتلقى شريطًا متصلًا، فإن أي اضطراب في "الترصيد (Kerning) "يرفع من الجهد المعرفي المطلوب لتعيين حدود الحروف. وقد لوحظ في تحليل الأخطاء الكتابية أن الازدحام في المواضع المتصلة يزيد من احتمالات الخلط بين الأشكال المتقاربة؛ مما يؤكد أن ضبط آلية الاتصال يُعد جزءًا أساسيًا من عملية ضبط التمييز الحرفي ذاته (Benatia et al., 2006).
3. **التعقيد المورفولوجي والثبات البصري (Morphological Complexity):** يتبدل شكل الحرف العربي تبعًا لموضعه، ويتوجب على "الوصلة" الواحدة أن تخدم هذه الأشكال المتعددة دون أن تتسبب في تراكب أو اصطدام. ورغم اعتماد الخطوط الحديثة على جداول (OpenType) للإبدال السياقي، إلا أن الدراسات تؤكد أن هذه الجداول لا تُغني عن ضرورة "إعادة هندسة الوصلة نفسها" ومقدار الفراغ الذي تتيحه للعين (Chahine, 2012).

وتأسيساً على ما سبق، حاولت بعض التيارات التاريخية معالجة هذه التحديات عبر "إلغاء الاتصال" تماماً. ويوثق (Shehab & Nawar) تجربة "الخط العربي الموحد" (Unified Arabic) التي أطلقها "نصري خطار" في الأربعينيات، والتي قامت على فكرة "فصل الحروف" (Detached Letters) لتقليل عدد الأشكال وتسهيل التعلم، محاكاةً للنمط اللاتيني. ورغم وجاهة المنطق الاقتصادي والتقني للمشروع آنذاك، إلا أنه لم يلقَ قبولاً واسعاً (Shehab & Nawar, 2020). يستقرئ الباحث من فشل تجربة "الفصل القسري" للحروف دليلاً عملياً قاطعاً على أن "بنية الكلمة المتصلة" هي جوهر الهوية البصرية المقروءة عند العرب. وعليه، ترفض الدراسة الحالية أي حلول لعسر القراءة تعتمد على تفكيك الكلمة، وتتبنى بدلاً من ذلك منهجية "هندسة الاتصال" ( Engineered Connection)؛ حيث يتم توظيف "الوصلة" (Kashida) كأداة وظيفية يتم تمديدها بحساب دقيق لخلق "فراغ داخلي" يفك الازدحام، دون أن يكسر الجشطالت البصري للكلمة.

### 2.2.2 تعدّد الأشكال السياقيّة للحرف الواحد (Allography)

يتميّز النظام الكتابي العربي بكونه "نظامًا متموضعًا" (Positional System)؛ أي إنّ صورة الحرف لا تُعرَّف تعريفًا واحدًا ثابتًا، بل تُختار من مصفوفة صور بحسب موقع الحرف في السلسلة (منفصل، أو أوّل الكلمة، أو

وسطها، أو آخرها). هذا التعدّد الصوري ليس ترفاً زخرفياً، بل هو آليّة بنيويّة أُنشئ النظام العربي لأجلها أصلاً؛ ليحافظ من جهةٍ على الاتّصال الأفقي المتتابع، وليتيح من جهة أخرى تماسك البنية الصرفيّة للكلمة أثناء هذا الاتّصال (Chahine, 2012). ولذلك احتاجت العربية في البيئات الطباعية والرقمية إلى طبقةٍ من "الذكاء الطباعي" تُسنِد لكلّ موضع شكله، على خلاف الخطوط اللاتينيّة التي تكفيها صورة حرف واحدة (Character) في معظم الاستعمالات (Chahine, 2012).

وتشرح (Janbi) في أطروحتها عن تصنيف الخطوط العربية أنّ المصمّم لا يصنع شكلًا واحدًا للحرف، بل يصنع "عائلةً مترابطة" من الأشكال يجب أن تتشابه في الوزن، واتّجاه الانحناء، وارتفاعات الأسنان، حتى يتعرّف القارئ على الحرفَ نفسه في جميع المواضع، ولا يشعر بأنه أمام أربع شخصيّات كتابيّة مختلفة لحرفٍ واحد. فالتحدّي الحقيقي ليس تعدّد الأشكال في ذاته، بل الحفاظ على "الهويّة البصريّة الواحدة عبر الأشكال المتعدّدة"؛ لأنّ أيّ تفاوتٍ حادّ بين هذه الأشكال يحمّل الذاكرة البصريّة أكثر مما تحتمل، ويجعل القارئ يربط أربع تمثيلات شكلية بصوتٍ واحد (Janbi, 2016).

وتبيّن شاهين أنّ هذا التعدّد لا يحدث في الفراغ، بل يتزامن - في السياق الرقمي خاصةً - مع تراكب النِّقَاط والحركات فوق الشكل المختار، وأنّ ترتيب هذه العلامات يجب أن يخضع لصورة الحرف في ذلك الموضع حتى لا تتصادم أو تُحجب؛ لأنّ أيّ تصادم يُبطِل الغرض من اختيار الشكل الأنسب للسياق (Chahine, 2012). أما (Benatia) فيُظهِر من جهة الأخطاء الكتابيّة، أنّ التغيّر الطفيف في الشكل مع ثبات الهيكل يُضعِف التمييز عند المتعلّمين ويزيد احتمالات الخلط بين الأشكال المتقاربة، مما يدلّ على أنّ تعدّد الأشكال إذا لم يُضبط جيّدًا يمكن أن يتحوّل إلى عامل التباس بدل أن يكون عامل تيسير (Benatia et al., 2006).

ويضيف عمل (Gutkin) وزملائه في التطبيع الكتابي للخط الفارسي - العربي بُعدًا رقميًّا مهمًّا: فالبيئة الموحّدة في "يونيكود" تجمع اليوم تقاليد كتابيّة عربيّة وفارسيّة وأُرديّة وكُرديّة، وبعض هذه التقاليد يفضّل أشكالًا وسطية أطول أو نهاياتٍ أكثر التفافًا. فإذا عُرض هذا التنوّع كلّه من غير تطبيعٍ أو اختيارٍ لنمطٍ بصريّ واحد، ظهر للقارئ طيفٌ أوسع من "الألوغرافات" مما تعوّد عليه في العربية القياسية، فارتفع الحمل الإدراكي وضعف التنبّؤ بالشكل

التالي في السطر (Gutkin et al., 2022). وهذا ما جعل بعض الأعمال التصميميّة الحديثة تميل إلى تقييد مساحة الاختلاف بين الأشكال السياقيّة في الخطوط الموجّهة للشاشة، والاعتماد على مفاصل أوضح ووصلاتٍ أبسط، بحيث يتحقّق الاتّصال من غير أن تتبدّل شخصيّة الحرف تبدّلًا حادًّا (Chahine, 2012).

ومن هذه المعطيات يستنتج الباحث أن "تعدد الأشكال" يمثل نقطة حرجة لذوي عسر القراءة؛ فهو يضاعف عدد الوحدات التي يجب على القارئ التعرف عليها (حيث لا يقرأ 28 شكلاً، بل أضعاف ذلك)، مما يرفع عبء التعلم البصري. وبناءً عليه، تتجه الدراسة إلى استثمار هذا التعدد كمدخل للتبسيط الهندسي؛ عبر "توحيد النِّسَب" بين الأشكال، وتقليل الالتواءات في الوصلات الوسطية، لضمان استقرار بصري يساعد المتعلم على التنبؤ بشكل الكلمة دون تشتت، وهو ما يمثل عودة وظيفية لتقنين "ابن مقلة" ولكن بمعايير إدراكية حديثة.

### 2.2.3 التَّشابُه الشَّكليّ والاعتماد على النِّقَاط في التمايُز

من السمات التي تُثقِل الكلمةَ العربيّة بصريًّا أنّ عددًا كبيرًا من حروفها يُبنى على هياكل متقاربة جدًّا، ثم يُفرَّق بينها بعنصرٍ صغير هو النُّقطة أو عدد النِّقَاط أو موضعها. فالبنية الأفقيّة القصيرة نفسها تخدمها حروف (ب، ت، ث، ن، ي) بإبدال موضع النُّقطة وعددها، والبنية المقوّسة نفسها تُستثمر في (ج، ح، خ) بإضافة نقطة أعلى، والبنية المتموّجة نفسها تظهر في (س، ش) مع زيادة ثلاث نقاط. هذا يعني أنّ القارئ العربي لا يتعرّف الحرف من شكلٍ مستقلٍّ كلّ الاستقلال، بل من (هيكلٍ أساسيّ + علامة تفريق نقطيّة)، وأنّ أيّ اضطراب في وضوح هذه العلامة أو مكانها ينعكس مباشرةً على سرعة التعرّف ودقّته. وقد ربطت دراسة (Chahine) بين هذا النَّمط البنيوي وبين ارتفاع كلفة المعالجة البصريّة للنصّ العربي، ولا سيّما عند تراكب العلامات على مساحة ضيّقة (Chahine, 2012).

وتُظهر مراجعات التعرّف البصري على الحروف العربيّة أنّ أكثر مواطن الخطأ تقع في هذه المجموعات المتشابهة شكلًا والمختلفة نقطيًّا؛ فحين ينظر النظام - أو العين البشريّة في ظروف عرض ضعيفة - إلى "الكتلة السوداء" وحدها من غير طبقة النِّقَاط، تصبح (ب/ت/ث) أو (ج/ح/خ) فئاتٍ عالية الالتباس، لأنّ مساحة النُّقطة أصغر بكثير من مساحة الجذع الحرفي، ولأنّ الضَّمّات والفتحات والهمزات تتقاسم معها المجال نفسه فوق السطر (Faizullah et al., 2023; Alginahi, 2012).

ويأتي السياق الرقمي ليضاعف الأثر للأسباب الآتية:

1. **تعدّد الطبقات فوق السطر:** النِّقَاط تتزاحم مع الحركات والهمزات وعلامات الضبط على خطٍّ قاعدي واحد؛ فإذا لم تُحدَّد ارتفاعاتٌ متدرّجة، وقع التلامس أو التراكب وضاعت النُّقطة، وهو ما شدّدت عليه شاهين في تحليلها لترتيب الطبقات (Chahine, 2012).
2. **تعدّد التقاليد داخل ترميزٍ واحد :**بيّن (Doctor) وآخرون أنّ توسّع يونيكود للخطّ الفارسي - العربي جمع في حيّزٍ واحد أشكالًا إقليميّة متقاربة بصريًّا لكنها غير متكافئة ترميزيًّا، وأنّ غياب طبقة تطبيع يحوّل هذه المتقاربات إلى مصدر لبسٍ، لأنّ النِّقَاط هي الأداة الأولى للتمييز في هذه اللغات كلّها ( Doctor et al., 2022).

يتضح للباحث أن التشابه الشكلي والاعتماد المحوري على النقاط ليسا ظاهرة ثانوية، بل يمثلان "عنق الزجاجة" للمقروئية العربية. وعليه، فإن استراتيجية التصميم المقترحة في هذه الرسالة ستعتمد على "التضخيم الوظيفي" للنقاط؛ عبر التحكم بشكلها وحجمها النسبي، ورفعها قليلاً عن مناطق الازدحام، وإحاطتها بـ "هالة فراغية" (White Halo) تضمن قيامها بوظيفتها التمييزية كاملة. كما ستتعامل الأداة الحاسوبيّة مع المجموعات المتشابهة (Clusters) كوحدات مستقلة تتطلب معالجة خاصة قبل الانتقال للحروف الأقل حساسية.

### 2.2.4 التشكيل والهمزات بوصفهما طبقةً بصريّةً فوقيّة

تتفرّد الكتابة العربيّة بأنها تسمح - بل تحتاج أحيانًا لأغراض الضبط الدينيّ والتعليميّ - إلى إضافة طبقة ثانية من العلامات فوق السطر وتحته: الحركات القصيرة، والتنوين، والشدّة، وعلامات الهمز، بل وعلامات الضبط القرآني. هذه العناصر ليست جزءًا من الجذع الحرفي المتّصل، لكنها تُرسَم في الحيّز البصري نفسه الذي تتحرّك فيه النِّقَاط والصوّاعد، فينشأ ما يمكن وصفه بـ "البنية مزدوجة الطبقة": طبقة سفلى تحمل الشكل الحرفي، وطبقة عليا (وأحيانًا سفلى) تحمل العلامات المتمّمة. وقد بيّنت (Chahine) أن صعوبة القراءة في العربية على الشاشة لا ترجع إلى شكل الحروف وحده، بل إلى طريقة تراكب هذه الطبقة الفوقيّة على بنيةٍ أصلًا مزدحمة بالاتصال والنِّقَاط، وأنّ أيّ خلل في ترتيب الطبقات يُفضي إلى تصادمٍ بصريّ يضعف التمييز بين الحروف المتقاربة. لهذا تفصل المواصفات

الطباعية الحديثة في الخطوط العربية بين نقاط التثبيت الخاصة بالحركات ونقاط التثبيت الخاصة بالنِّقَاط، وترفع الحركات درجةً أو تزحزحها أفقيًا بحيث تُعطى الأولويّة للعنصر الأشدّ لزومًا للتمييز الحرفي (Chahine, 2012).

وتزداد هذه الحاجة إلى التنظيم الطباعي حين تدخل الهمزة بأشكالها المختلفة في السطر نفسه؛ فالهمزة شكلٌ مركّب لا نقطةٌ صغيرة يمكن تحريكها بلا أثر، وإذا اجتمعت مع حرف منقوط أو مع حركةٍ طويلة أو مع كلمةٍ مُمدَّدة ظهرت مشكلة الازدحام نفسها التي وصفها (Benatia) عند الحديث عن تبرير السطر العربي: حيث إن مجرّد إطالة الكلمة بالكشيدة قد يفرض إعادة توزيعٍ للعلامات حتى لا تُحشر في حيّزٍ ضيّق (Benatia et al., 2006).

ومن الجانب الترميزي أوضح (Doctor) وزملاؤه أن العلامات التشكيلية والهمزات تُخزَّن في " يونيكود " غالبًا بوصفها علاماتٍ مُركَّبة (Combining Marks)، وأنّ اختلاف العادات الإملائيّة بين العربية والفارسية والأُردية يفضي أحيانًا إلى تراكب أكثر من علامة على الحرف نفسه. فإذا لم تُطبّق طبقةُ تطبيعٍ تُزيل المكرَّر أو تعيد ترتيب العلامات بحسب أهميّتها، ظهر النصّ على الشاشة كتكدّسٍ بصريّ لا يزيد التمييز، بل يربكه، ولا سيّما في المقاسات الصغيرة أو على الشاشات ذات الكثافة المنخفضة (Doctor et al., 2022; Gutkin et al., 2022).

يرى الباحث أن القارئ ذي العسر القرائي يتأثّر بشدة بزيادة "العناصر الصغيرة" المتراكبة؛ فاجتماع الهيكل المتشابه والنقطة والحركة والهمزة يرفع عبء المعالجة الإدراكية. وبناءً عليه، يؤسس الباحث منهجيته التصميمية على "تحديد أولويات الازدحام"؛ حيث تُقدّم النقطة (للدلالة)، وتُزاح الحركات والهمزات هندسياً لتفادي التصادم، مع التوصية بـ "اقتصاد الضبط" (التشكيل الوظيفي فقط) في النصوص العلاجية، لتمكين الأداة الحاسوبية من قياس المسافات وتعديلها بدقة دون ضجيج بصري.

### 2.2.5 الإيقاع الخطي: الصوّاعد والهوابط والامتدادات

يُبنى السطر العربي، على خلاف السطر اللاتيني الأكثر تسطّحًا، على إيقاعٍ بصريّ رأسيّ تتعاقب فيه ثلاث وحدات ظاهرة: الصوّاعد التي ترتفع فوق خطّ الكتابة (كالألف واللام وبعض صيغ الكاف)، والهوابط التي تنزل تحته (كالياء والنون في الوصل المنتهي، والشكل المنفرد والمتصل المنتهي للجيم والحاء والخاء)، والامتدادات الأفقيّة التي تمثّلها المدود الطبيعيّة أو المضافة (الكَشيدة) وأجزاء الحروف الطويلة. هذا التعاقب هو الآليّة التي تمنع السطر

العربي من أن يصبح شريطًا أسود متجانسًا، وتوفّر للعين "نقاطَ تعلّق" متكرّرة تحفظ الإيقاع المألوف للقراءة العربية، وهو ما جعل شاهين (Chahine) تُدرج "مناطق المحاذاة" والارتفاعات المرجعيّة ضمن مقروئيّة النسخ على الشاشة، وتربط بين ضبطها وبين بقاء هذا الإيقاع واضحًا في العرض الرقمي.(Chahine, 2012) .

ويأتي عمل (Janbi) في تصنيف الخطوط العربية ليؤكّد أن هذه الارتفاعات الرأسيّة نفسها - الصعود فوق السطر والنزول تحته - ليست أثرًا زخرفيًّا، بل سِمة تصميميّة ينبغي توصيفها حاسوبيًّا لأنّ تغيّرها يغيّر هيئة الخطّ ويُربك توقّعات القارئ المعتاد على النسخ المنسوب (Janbi, 2016). وفي السياق نفسه شدّد (Nemeth) عند بحثه في مواءمة العربي واللاتيني، على ضرورة تحديد النِّسَب الرأسيّة للخطّ العربي تحديدًا صريحًا إذا أُريد له أن يتعايش مع خطوط أخرى من غير اضطراب بصري، لأنّ العربي يستثمر الفضاء العمودي في طبقات أكثر من اللاتيني، وهذا الاستثمار يمكن وصفه رياضيًّا وبرمجته في الخطوط الحديثة (Nemeth, 2006).

ومن زاوية الإدراك، فإنّ الإخلال بهذا الإيقاع - بتقصير الصوّاعد أو بإطالة الهوابط إلى حدّ يُلغي التباين بينهما - يُقرّب السطر العربي من صورة الشريط المتجانس ويزيد قابلية الازدحام البصري؛ فعندما تتقارب الارتفاعات لا تعود العين قادرة على التماسّك مع نقاطٍ رأسيّة واضحة، فيرتفع العبء الإدراكي. ويظهر وجه آخر للمشكلة نفسها عند الطبقة الفوقيّة من العلامات: لأنّ الحركات والهمزات والنِّقَاط تعمل في الحيّز نفسه، فإنّ صاعدًا مرتفعًا أكثر من اللازم يضطرّ هذه العلامات إلى حقلٍ بصريّ ضيّق ويولّد التلامس الذي نبّهت إليه (Chahine) ( Chahine, 2012). وتستكمل الامتداداتُ الأفقيّةُ هذا الإيقاعَ الرأسيّ ولا تنقضه؛ فالمدّ العربي الطبيعي أو المضاف (الكَشيدة) هو أداةُ توزيعٍ بصريّ، والتبرير الناجح هو الذي يُدرِج امتدادًا محسوبًا لا يقطع الإيقاع الرأسي ( Benatia et al., 2006).

يستخلص الباحث أن "الإيقاع الخطي" هو الإطار الناظم لسائر السمات البنيوية؛ فإذا استقام الإيقاع أمكن توزيع النقاط والحركات بارتياح. وعليه، تتبنى الدراسة توجيهات تصميمية صارمة تشمل: توحيد مستويات الصوّاعد والهوابط لخلق "سُلّم بصري" متوقع، وتقليل التفاوت الحاد بين الحروف المتجاورة لضمان "تموج منتظم" يريح العين، مع إدارة الكشيدة كأداة لفك الازدحام حصراً، بما يضمن مواءمة الإيقاع الرأسي مع الطبقة الفوقية للعلامات.

## 2.3 الاعتبارات التقنية في رقمنة الخط العربي

يُظهر العرض البنيوي السابق أنّ العربيّة صُمِّمت لتُكتَب بقلمٍ متّصل مرن، بينما يقوم التمثيل الرقمي الحديث على منطق مغاير تمامًا: سلسلةٍ من المحارف المرمَّزة تُعرَض بواسطة محرّكٍ يطبّق قواعد عامّة. هذا التفاوت الجذري بين "عضوية الخطّ" و"جمود المنصّة الرقمية" هو الذي يَولِّد ما نسمّيه "التقييدات التقنيّة"؛ وهي حدود يفرضها الترميز، أو آليّات التشكيل، أو نموذج التباعد، وتظهر آثارها مباشرةً في تشوه النصوص العربيّة، ولا سيّما النصوص التعليميّة المشكولة التي تتراكم فيها العلامات.

### 2.3.1 الترميز الموحّد وتمثيل الأشكال العربيّة

تُظهر قراءة (Smitschuijzen) لتاريخ الرقمنة العربيّة أنّ اعتماد الترميز الموحّد (Unicode) للعربيّة بَدَأ من مبدأٍ بسيط: "ترميز الحرف مرّةً واحدة" (Logical Order)، وتركُ اختيار صورته السياقيّة لطبقة العرض (Smitschuijzen, 2001). ورغم أن هذا المبدأ يحقّق وحدةً نصيّةً، إلا أنه يفترض ضمنًا وجود محرّك عرضٍ ذكي قادرٍ على استنتاج الشكل الصحيح.

وتبرز دراسة (Doctor) إشكالية أخرى تتمثل في "تضخم المحارف"؛ إذ أدى الجمع بين العربيّة والفارسيّة والأُورديّة في حيّزٍ ترميزيّ واحد إلى وجود محارف "متقاربة بصريًّا لكنّها مختلفة ترميزيًّا" (Homoglyphs) . ويحذر الباحثون من أن غياب "طبقة تطبيع" (Normalization Layer) قد يؤدي لظهور النصّ بمزيجٍ من الأشكال الإقليميّة المتباعدة، مما يربك القارئ العربي (Doctor et al., 2022).

يستنتج الباحث أن "السلامة البصرية" للقارئ ذي العسر القرائي تبدأ من "السلامة الترميزية" للنص. فإذا كان النظام يخلط بين (ك) العربية و(ک) الفارسية، فإن الطالب سيواجه أشكالاً غير مألوفة تزيد من تشتته. وعليه، فإن الأداة المقترحة في هذه الدراسة ستعتمد خوارزمية "تحقق مسبق" لضمان خلو النصوص من المحارف الدخيلة (Homoglyphs) التي قد تربك عملية المعالجة البصرية.

### 2.3.2 آليّات التشكيل والسلوكيات السياقيّة

تُبيّن (Chahine) أنّ العربية لا يكفيها ترميز الحرف، بل تحتاج إلى طبقةٍ ثانية ذكية (OpenType Features) لإدارة الإبدال السياقي؛ لأنّ الازدحام البصري يتولّد في اللحظة التي تُرسَم فيها النُّقَاط والحركات على الجذع المتّصل (Chahine, 2012). وتشير (Smitschuijzen) إلى أن "نقاط التثبيت المستقلة" (Independent Anchors) هي السبيل الوحيد للحفاظ على الصورة الموروثة. إلا أن التقييد التقني يكمن في تباين دعم البرمجيات لهذه القواعد؛ مما قد يُنتج تصادماً بين الحركات والنقاط في بعض البيئات الرقمية (Smitschuijzen, 2001).

يرى الباحث أن الاعتماد الكلي على "ذكاء أنظمة التشغيل" في رصف العلامات يمثل مخاطرة كبيرة عند التعامل مع نصوص ذوي الاحتياجات الخاصة. لذا، تؤسس الدراسة منهجيتها على "هندسة الخط من الداخل" ( Internal Font Engineering)؛ عبر برمجة إحداثيات صارمة للنقاط والحركات تفرض تباعدها قسراً، لتشكيل "هوامش أمان فراغية" تحمي الحرف من التشوه بغض النظر عن كفاءة منصة العرض.

### 2.3.3 التباعد، والتبرير، والكَشيدة في البيئة الرقميّة

تعالج دراسة (Benatia) إشكالية تبرير السطر العربي في بيئة صُممت للاتينية. فبينما يعتمد "المنطق اللاتيني" على توسيع المسافة بين الكلمات (Word Spacing)، يقترح (Benatia) نموذجاً يعتمد على إدخال "الكَشيدة " داخل الكلمات بطول وموضع محددين، لضبط السطر دون كسر إيقاعه الرأسي (Benatia et al., 2006). وتشير الدراسات النقدية (Smitshuijzen, 2009) إلى أن البرمجيات الغربية (مثل Adobe) غالباً ما تطبق "الضبط البصري" بشكل ميكانيكي يؤدي لتمزيق وحدة الكلمة، مما يعزز الحاجة إلى خطوط مصممة مسبقاً للتعامل مع هذه القيود.

في ضوء هذه المفارقة التقنية، تتبنى الدراسة موقفاً نقدياً يرفض "التباعد اللاتيني" (Tracking) لأنه يقطع الوصلات البصرية التي يعتمد عليها القارئ العربي في التعرف الكلي على الكلمة. وبدلاً من ذلك، يوظف الباحث

"الكَشيدة" كأداة وظيفية "لفك الازدحام الداخلي" (Internal De-crowding) وليس لملء الفراغ، بحيث تُستخدم لإبعاد الحروف المتشابكة عن بعضها البعض دون كسر الجشطالت[4] البصري للكلمة.

### 2.3.4 أثر التقييدات التقنيّة في وضوح النصوص التعليميّة

يجمع النصّ التعليمي العربي أقصى التحديات: (تشكيل كامل + حجم صغير + قارئ متعثر). وتؤكد دراسة (Alamri) أن جزءاً معتبراً من أخطاء ذوي العسر القرائي يرجع إلى "التشابه البصري" و"العلامات الصغيرة" الناجمة عن هذه التقييدات، لا إلى ضعف لغوي (Alamri, 2017). كما يشير (Elmadani) إلى ضرورة وجود نصوص "مقاسة الصعوبة" ومستقرة بصرياً لضمان دقة التقييم (Elmadani et al., 2025).

يخلص الباحث إلى نتيجة جوهرية: لا يمكن قياس "عسر القراءة" بدقة إذا كان النص نفسه "معسراً تقنياً". وعليه، فإن تطوير خط (ArabicLexia) ليس مجرد تحسين جمالي، بل هو "متطلب منهجي سابق" (Pre-requisite) لأي عملية تقييم تربوي؛ لضمان أن الصعوبة التي يواجهها الطالب نابعة من قدراته الإدراكية، وليست ناجمة عن "ضجيج بصري" ولدته التقييدات التقنية للنص.

## 2.4 الأسس التصميميّة للخطّ العربي المُيَسِّر للقراءة

إنّ صعوبة القراءة بالعربيّة تظهر عند التقاء عدّة عوامل: بنيةٍ خطّيّةٍ ذات اتصالٍ إلزاميّ، وتعدّدٍ سياقيّ، وتراكب علامات؛ ومنصّاتٍ رقميّةٍ تفرض ترميزًا واحدًا وقواعدَ عرضٍ عامّة. هذا الالتقاء يُثقِل "العبء الإدراكي " (Cognitive Load) على القرّاء الذين تتأثّر قراءتهم بالازدحام البصري أو بكثرة العناصر الدقيقة، كما بيّنت

---

[4] **نظرية الجشطالت (Gestalt Theory):** مصطلح ألماني الأصل يعني "الشكل" أو "الهيئة الكلية". وهي نظرية في علم النفس الإدراكي أرساها (Wertheimer, 1923) و(Koffka, 1935)، تقوم على مبدأ أن "الكل يختلف عن مجموع أجزائه"؛ أي إن العقل البشري يميل إلى إدراك العناصر المتقاربة أو المتصلة بوصفها "وحدة واحدة" أو نمطاً كلياً، بدلاً من إدراكها كعناصر منفصلة. وفي سياق القراءة، يُستخدم المفهوم لتفسير "التعرف الكلي على الكلمة" (Word Superiority Effect)؛ حيث يتعامل الدماغ مع الكلمة المألوفة كـ "صورة بصرية موحدة" (Visual Gestalt). وتكتسب هذه النظرية أهمية خاصة في الكتابة العربية نظراً لطبيعتها المتصلة (Cursive)؛ إذ يُعد الحفاظ على "وحدة الكلمة البصرية" وعدم تمزيق روابطها شرطاً رئيساً لتحقق الإدراك الكلي السريع (Ellis, 2016; Wagemans et al., 2012).

دراسات التشكيل ومعالجة العلامات (Bigelow, 2019)، ودراسات المقروئيّة التي أبرزت أثر "مناطق المحاذاة" (Alignment Zones) والرأسيّات في بقاء إيقاع السطر واضحًا للقارئ العربي (Chahine, 2012). تبرز في هذا الميدان مجموعة مبادئ تصميميّة "إيجابيّة" يصلح أن تُشتقّ منها لاحقًا مقاييسُ حاسوبيّة.

### 2.4.1 مبدأ التمايز الهيكلي بين المحارف المتشابهة

المصدر الأثقل في الازدحام هو المجموعات الحروفيّة التي تتشارك الهيكل وتختلف بالنقطة (Homoglyphs) مثل (ب/ت/ث، ج/ح/خ، س/ش). وقد أثبتت تجربة معالجة التشكيل أنّ إضافة علامةٍ صغيرة فوق بنيةٍ أصلًا مزدحمة ترفع زمن المعالجة وتُضعف الأداء القرائي (Bigelow, 2019). لذلك، يكون المبدأ الأوّل للخطّ المُيَسِّر هو نقل أكبر قدرٍ ممكن من التمايز إلى "طبقة الهيكل" (Skeleton Layer) لا إلى طبقة النقطة. يتم ذلك عبر: توسيع تجويف الحروف المقعّرة (Counters)، أو تغيير ميل السنّ، أو زيادة انفتاح القوس، مع الحفاظ على النسق العام للنسخ. هذا التوجّه متّسق مع ما قرّرته دراسات الطباعة العربية الحديثة عن ضرورة الاقتصار على "أشكال عظمية" واضحة تستطيع الصمود في الأحجام الصغيرة والشبكات الخشنة (Smitschuijzen, 2001). إنّ ازدحام العلامات فوق سطرٍ متّصل هو أحد مصادر ضعف المقروئيّة، ومن ثمّ فكلّ تمايزٍ يُنجَز "تحت السطر" (في جسم الحرف) أفضل من تمايزٍ يُرحَّل إلى "فوق السطر" (Chahine, 2012).

هنا يتبنى الباحث استراتيجية "تحرير الهيكل" من الاعتماد الكلي على النقطة. فبالنسبة للمتعلم ذي العسر القرائي، تُعد النقطة عنصراً بصرياً "طيّاراً" قد يُفقد أو يُنسى. لذا، ستعمل الدراسة على هندسة الحروف المتشابهة بحيث تمتلك "شخصية مستقلة" في انحناءاتها وسماكاتها وشكل نقطتها، ليكون الهيكل نفسه دالاً على الحرف، وتصبح النقطة عنصر توكيد لا عنصر تعريف وحيد.

### 2.4.2 مبدأ الاتّساق الرأسي والأفقي والمسافات الآمنة

إنّ القارئ العربي يعتمد على "مناطق المحاذاة" الرأسيّة ليحافظ على إيقاع السطر، وإنّ اضطراب هذه المناطق - بسبب صاعدٍ أطول أو هابطٍ غير منضبط - يُربك التتبّع البصري للسطر (Chahine, 2012). كما بيّن نموذج تصنيف الخطوط عند (Janbi) أنّ الارتفاعات المرجعيّة (للصاعد، ولجسم الحرف، وللهابط) يمكن توصيفها

عدديًّا، أي يمكن ضبطها حاسوبيًّا في الخطوط العربيّة الحديثة (Janbi, 2016). يترتّب على ذلك مبدأ ثانٍ وهو "التسوية الهندسية": فتجعل الألف واللام والكاف الطويلة على خطٍّ رأسيّ واحد بقدر الإمكان، وتُنزل الياء والجيم والنون النهائيّة على خطٍّ سفليّ واحد، وتُثبَّت أطوال الوصلات القصيرة بحيث لا تتقلّب من كلمةٍ إلى أخرى. أمّا المواضع التي لا يمكن فيها التسوية - كالتقاء نقطةٍ بحركة أو همزةٍ بامتداد - فيُحاط فيها العنصر الأضعف بـ "مسافة بيضاء آمنة" تحميه من الاندماج؛ وهو ما تقتضيه قواعد (OpenType) الحديثة التي تفصل بين نقاط التثبيت وتعطي لكلّ طبقةٍ حيّزها المستقلّ (Smitschuijzen, 2001). وعلى المستوى الأفقي، يُستفاد من نموذج (Balshe) و (Benatia) في تحديد مواضع الكَشيدة وطولها حتى لا تُحدِث فجواتٍ نافرة ولا تكسر الإيقاع (Balshe, 2023).

يرى الباحث أن الدماغ البشري "آلة تنبؤ"، وأن القارئ المتعثر يعاني من "ضعف التنبؤ". لذلك، تسعى هذه الدراسة إلى جعل الخط "قابلاً للتنبؤ" لأقصى درجة؛ عبر صرامة هندسية توحد الارتفاعات وتفرض هوامش أمان فراغية. فالهدف ليس الإبهار البصري، بل "الرتابة الإيجابية" التي تطمئن العين وتسمح لها بالانتقال السلس من كلمة لأخرى دون مفاجآت بصرية.

### 2.4.3 مبدأ تقليل الحمل البصري في الخطّ المتّصل

الكتابة العربيّة لن تُفكّك اتّصالها، لكن يمكن "تفكيك كلفة الاتّصال بصريًّا"؛ بحيث تُعاد هندسة نقاط الاستقرار داخل السلسلة الواحدة. إنّ التشكيل الكامل على سطرٍ ضيّق يرفع الكلفة الإدراكيّة ويزيد زمن التعرّف، وإنّ تزاحم العلامات مع النِّقَاط من أهمّ ما يعوّق القراءة السريعة (Bigelow, 2019). ويؤدّي المنطق نفسه في التبرير العربي إلى النتيجة ذاتها: الكَشيدة غير المضبوطة تعيد إنتاج الازدحام الذي أُريد تفكيكه. لذلك يصوغ هذا المبدأ ثلاث تطبيقات مباشرة:

1. **تبسيط الوسط**: من خلال اختيار أشكال سياقيّة تقلّ فيها الانعطافات الحادّة والتواءات الوصلة، تفضيلاً للأشكال المستوية (Chahine, 2012).
2. **وظيفة الامتداد:** تقييد طول المدود والكشائد بحيث تُستعمل أساسًا "لفك الاشتباك" في أماكن الازدحام، لا لمجرّد بلوغ عرض العمود.

3. **الاقتصاد في التشكيل"** تقليل التشكيل إلى "الوظيفيّ الضروري" في النسخ الموجّهة للمتعسّرين قرائيًّا، لأنّ الدراسة التجريبيّة أثبتت أنّه يزيد الحمل البصري حتى وإن أفاد في الضبط الصوتي (Bigelow, 2019).

يستنتج الباحث أن معادلة الخط الميسر هي: "اتصال عربي أصيل + ضجيج بصري أقل". وبناءً عليه، سيعمل الخط المقترح (ArabicLexia) بمبدأ "الاختزال الوظيفي"؛ أي إزالة كل نتوء أو انحناء أو حركة لا تخدم المعنى مباشرة، والتركيز على انسيابية "الشريط البصري" للكلمة ليتمكن الطالب من مسحه ضوئياً بأقل جهد إدراكي.

### 2.4.4 قابلية المبادئ للتحويل إلى معايير حاسوبيّة

ينبغي ألّا تظلَّ المبادئُ التصميميّةُ المبيَّنةُ في هذا الفصل على مستوى الوصف النوعي؛ بل يلزمُ "تكميمُها" في صورةِ مؤشّراتٍ هندسيّةٍ تستخرجها الأداةُ مباشرةً من ملفّ الخطّ وتُقارنها بحدودِ قبولٍ محدَّدة. وتُسنِد الدراسات المعتمدة ثلاث مساراتٍ صالحةٍ لهذا التحويل:

1. **اختبارُ التفكيكِ البصريّ**: إعادة صياغة مقادير التبرير (طولُ الكشيدة، ومواضعُها) في خوارزميّةٍ تُحاكي توزيعَ المدود، ثم تُقاس آثارُها على "فك الازدحام" بين النِّقاط والحركات (Benatia et al., 2006).
2. **المقاييس المتريّة:** تحويل الارتفاعات المرجعيّة (الصاعد، الهابط)، ومتغيّراتُ الاتّصال (طولُ الوصلة)، إلى "مقاديرَ رقميّةٍ" تُستخرج من بنية الخطّ وتُقارنُ بمستهدفات "خط أرابيكليكسيا".(Janbi, 2016) .
3. **التحقّقُ من هندسةِ الطبقاتِ**: الفحص الآلي لجداول (GPOS) بيانات الخط البرمجيّة، لاستخراج مواضع تثبيت النِّقاط والحركات، وقياس "المسافات الدنيا" الفاصلة بينها وبين الجذع (Smitschuijzen, 2001).

تخلص الدراسة في نهاية هذا الفصل إلى نقلة نوعية في المنهجية: "من نقد الخط إلى قياسه". يرى الباحث أن تصميم (ArabicLexia) لا يعتمد على "عين المصمم" فحسب، بل على "خوارزمية الأداة"؛ حيث يتم تحويل مفاهيم (الازدحام، الاتساق، التمايز) إلى "قيم رقمية" محددة. وهذا التكميم هو الذي سيسمح لاحقاً في الفصل العملي بإجراء مقارنات موضوعية دقيقة، ويؤسس للانتقال إلى الفصل الثالث الخاص بتحليل "عسر القراءة" من منظور عصبي معرفي.

# الفصل الثالث: عسر القراءة، الماهيّة، وتأثير المتغيرات الطباعية

## 3.1 عسر القراءة: الماهيّة، الأساس النيوروبيولوجي، والمعالجة

شهد مفهوم عسر القراءة تحولاً جذرياً؛ من توصيفه المبكر كـ "عمى كلمات" بصري، إلى اعتباره اضطراباً نمائياً عصبياً معقداً يظهر لدى ذوي الذكاء الطبيعي. وقد توّجت "دراسة دلفي" (2025) هذا التطور بتعريف توافقي يركز على "آليات المعالجة" بدلاً من مجرد وصف الفشل القرائي؛ معتبرةً أن العجز الصوتي هو الأبرز، لكنه يتضافر مع ضعف في الذاكرة العاملة وسرعة المعالجة (Carroll et al., 2025; Roitsch & Watson, 2019). يرى الباحث أن هذا التحول في التعريف من "وصف العرض" إلى "تحليل الآلية" هو الأساس النظري الذي تقوم عليه هذه الأطروحة. فإذا كان عسر القراءة هو "خلل في المعالجة"، فإن الحل الهندسي (ArabicLexia) لا يهدف إلى تعليم القراءة، بل إلى "تخفيف حمل المعالجة" (Processing Load Reduction) البصري والصوتي، لتمكين الدماغ من العمل بكفاءة أعلى.

### 3.1.1 التباين المفاهيمي والتصنيفات العالمية لعسر القراءة

يعكس التعدد الواسع في تعريفات عسر القراءة طبيعته غير المتجانسة وتأثره العميق بالسياق اللغوي والمؤسسي (Frith, 1999). وللإحاطة بهذا المفهوم المركب، لا بد من استقراء أبرز التصنيفات التي شكلت المشهد البحثي عالمياً، بدءاً من المنظور الجغرافي، مروراً بالتأصيل المؤسسي، وصولاً إلى البعد المعجمي والإنساني.

#### أولاً: المقاربات الجغرافية واللغوية (من الفونولوجيا إلى البصريات)

في السياق الأنجلو-أمريكي، يميل التعريف إلى التركيز على "العجز الفونولوجي". حيث يُعد تعريف الرابطة الدولية (IDA) المرجع الأساسي في الولايات المتحدة، واصفاً الاضطراب بأنه عجز عصبي المنشأ في المكون الصوتي للغة، يؤدي لصعوبات في فك التشفير والتهجئة رغم توفر الذكاء والتعليم (IDA, 2002; Utah State Board of Education, 2025). وعلى نحو مقارب، يوسع التعريف البريطاني (تقرير Rose, 2009) الدائرة ليشمل صعوبات "الذاكرة العاملة" و"سرعة المعالجة"، معتبراً العسر طيفاً متصلاً (Spectrum) لا فئة حدية منفصلة (Rose, 2009; BDA, 2025).

وفي مقابل هذا التركيز الصوتي، تقدم المدرسة الروسية منظوراً تربويًا تصحيحياً يربط الاضطراب بخصائص الرسم الكتابي، حيث يُشخّص العسر من خلال مظاهر "الخلط البصري" (مثل الحذف، القلب، واستبدال الحروف المتشابهة شكلاً)، وهو ما دفع الباحثين الروس لتصميم خطوط ميسرة تقلل التشابه البصري (Alexeeva et al., 2020; Ahmetova & Timiryasova, 2021). ويتأكد دور "بنية النظام الكتابي" في النموذج الصيني؛ إذ تكشف دراسات التصوير العصبي أن القراءة في اللغات الرمزية تتطلب تنشيطاً للمناطق المسؤولة عن "الذاكرة البصرية - المكانية" (الفص الجبهي الأوسط)، في تباين واضح مع اللغات الأبجدية، مما يثبت أن الدماغ يكيف مساراته وفقاً لمتطلبات الشكل الطباعي (Hu et al., 2010; Ma et al., 2021). أما في السياق الأوروبي والإيرلندي، فقد اتجه التعريف نحو شمولية أكبر، معتبراً عسر القراءة "اختلافاً تعليمياً" يمس المهارات الحياتية والتنظيمية والحسابية، وليس القراءة فحسب (EDA, 2007; Dyslexia Ireland, 2025).

## ثانياً: الإجماع المؤسسي والبحثي (من التشخيص إلى التوافق)

على الصعيد الطبي العالمي، تدرج منظمة الصحة العالمية عسر القراءة ضمن "الاضطرابات الخاصة بالتعلّم"، مؤكدة أنه عجز نوعي لا يُعزى لنقص الذكاء (WHO, 2011). وهو ما يتطابق مع تصنيف الجمعية الأمريكية للطب النفسي الذي يضعه تحت مظلة "اضطراب التعلم المحدد" ذي المنشأ العصبي النمائي (APA, 2024). وقد تعزز هذا الفهم حديثاً بنتائج "دراسة دلفي" (2025) التي قدمت تعريفاً توافقياً يركز على "آليات المعالجة" كجذر للمشكلة، معتبرة أن العجز الصوتي هو الأكثر شيوعاً، ولكنه يتضافر مع مشكلات الذاكرة والمعالجة (Carroll et al., 2025). كما أشار (Duane) في مراجعات "مايو كلينك" إلى أن الأدلة الجينية والتشريحية تؤكد وجود أنماط تنظيمية غير نمطية في دماغ المصاب (Duane, 2001).

## ثالثاً: المنظور المعجمي ونموذج "نقاط القوة"

تُجمع القواميس العالمية (Merriam-Webster, Oxford) والعربية (مجمع اللغة العربية، أنطولوجيا بيرزيت) على تعريف العسر كصعوبة في التعامل مع الرموز المكتوبة (قراءةً وتهجئةً) رغم سلامة الحواس والقدرات العقلية (Ontology Birzeit, 2024). إلا أن الدراسات المعاصرة تجاوزت "نموذج العجز" نحو "نموذج نقاط القوة" (Strength-based Model)؛ حيث تقود منظمات مثل (Made By Dyslexia) حراكاً لإعادة تعريف

الاضطراب بوصفه "تفكيراً ديسلكسياً" (Dyslexic Thinking) يتسم بالإبداع والربط غير المألوف بين المعارف، وهو ما تم اعتماده رسمياً كمهارة في سوق العمل (Made By Dyslexia, 2025). كما برزت التوصيفات المستمدة من "التجربة المعاشة"، مثل وصف الطفل للعسر بأنه "قشرة تفصله عن الناس" (Beckwith, 2023)، مما يضفي بعداً إنسانياً عميقاً على التعريفات التقنية.

يستنتج الباحث من هذا المسح الشامل أن عسر القراءة ليس "قالباً جامداً"، بل هو محصلة تفاعل بين الاستعداد العصبي وبين "تحديات النظام الكتابي". فإذا كانت الإنجليزية تضغط على المعالجة الصوتية، فإن العربية - بخصائصها البصرية المعقدة (اتصال، نقاط، تشابه) - تقترب في تحدياتها من النموذجين الروسي والصيني اللذين يبرزان دور "الذاكرة البصرية" و"التمييز المكاني". هذا الاستنتاج يمثل الركيزة النظرية للأطروحة؛ إذ يبرر ضرورة أن يتجاوز التدخل العلاجي في البيئة العربية التدريب الفونولوجي التقليدي، نحو "تدخل طباعي هندسي" يستهدف تخفيف العبء عن المعالجة البصرية، وهو الدور الذي صُممت أداة (أرابيكليكسيا) لأجله.

## 3.2 أنواع وتصنيفات عسر القراءة من منظور العلاج الطباعي

لا يمثل عسر القراءة ظاهرةً أحاديةً صمّاء، بل هو "اضطراب غير متجانس" تتباين مظاهره السريرية والمعرفية بشدة بين الأفراد (بن حلي وطاشمة، 2022). وتكتسب دراسة هذه التصنيفات أهمية منهجية حاسمة في هذا البحث؛ إذ إنها تسمح بتفكيك الاضطراب إلى "مكونات دقيقة"، مما يتيح تحديد الخلل المعرفي النوعي الذي يمكن للتدخل الطباعي (تصميم الخط) أن يستهدفه ويعالجه هندسياً، بدلاً من تقديم حلول عشوائية.

### 3.2.1 التصنيفات القائمة على النماذج المعرفية

يستند التصنيف المعرفيّ إلى "نموذج القراءة ثنائيّ المسار"؛ الذي يميّز بين "مسار بصريّ معجميّ" للتعرّف الفوري، و"مسار صوتيّ غير معجميّ" للتحليل. ويُفضي قصور أحد المسارين إلى أنماط متميزة من العسر (قبلي، 2022) (Rello, 2014):

1. **عسر القراءة الصوتي:** يتسم بضعف المسار الصوتي، وتظهر آثاره في العجز عن قراءة الكلمات الجديدة أو الزائفة، مما يدفع القارئ للاعتماد المفرط على "المسار البصري التعويضي". وهنا تعمل الأدوات

الطباعيّة كوسائل "تعويضية" تدعم الإدراك البصري ( Roitsch & Watson, 2019; Bachmann & Mengheri, 2018).

2. **عسر القراءة السطحي أو البصري:** يتجلى في قصور "المسار المعجمي البصري" المسؤول عن التعرف الكلي على شكل الكلمة، فيلجأ القارئ للتهجئة الحرفية البطيئة. وهذا النمط هو "الأكثر استجابة" للتعديلات الطباعية التي تزيد الوضوح وتقلل الازدحام، كما وثقته المصادر العربية (غربي والعايب، 2023).
3. **عسر القراءة العميق:** نمط مركب يتميز بوقوع "الاستبدال الدلالي" وقراءة كلمة مكان أخرى قريبة في المعنى (Rello, 2014).
4. فرضيّة العجز المزدوج: تفترض أن اجتماع العجز الفونولوجي مع "بطء التسمية الآلية (RAN) "ينتج الصورة الأشد تعقيداً من صعوبات القراءة (Roitsch & Watson, 2019).

يرى الباحث أن تحديد "النمط السطحي/البصري" هو الركيزة الأساسية لتصميم (ArabicLexia). فإذا كان هؤلاء القراء يعانون من "ضعف الذاكرة البصرية للكلمة"، فإن دور الخط الميسّر هو ترميم هذه الذاكرة عبر تقديم "جشطالت بصري" (Visual Gestalt) واضح، وثابت، ومميز لكل كلمة، مما يحول الخط من مجرد ناقل للنص إلى "آلة بصرية" تعوض الضعف المعجمي .

### 3.2.2 التصنيف الموجه بالتصميم: تحليل أنماط الأخطاء

يقدم هذا التوجه تصنيفات أكثر إجرائية تعتمد على "طبيعة الخطأ"، وهو ما يوجه المعالجة الهندسية للخط بشكل مباشر:

1. **الخلط البصري والتشابه الهيكلي:** يُعد الخلط بين الحروف التي تتشارك الهيكل وتختلف في النقاط (ب/ت/ث، ج/ح/خ) من أبرز السمات في البيئة العربية (حوله، 2006). كما تشمل الأخطاء "الكتابة العكسية" وإبدال الحروف المتشابهة خطياً. وتؤكد الدراسات أن زيادة التباين البصري واختيار أشكال أقل التباساً يقلل هذه الأخطاء ويزيد الدقة ( Alamri & Teahan, 2017; El Kah & Lakhouaja, 2020).

2. **عسر قراءة الازدحام:** اضطراب يتميز بأخطاء الاستبدال نتيجة صعوبة "فصل" الحروف المتجاورة بصرياً. وقد أثبتت الدراسات (Zorzi et al., 2012; Daini et al., 2025) أن التدخل الطباعي عبر "زيادة التباعد" هو علاج مباشر وفعال لهذه الظاهرة.

يؤسس الباحث خوارزمية الأداة المقترحة على هذين المتغيرين تحديداً: (1) "التمايز الهيكلي" لمكافحة الخلط البصري، و(2) "التباعد المدروس" لمكافحة الازدحام. فالدراسة لا تتعامل مع الخطأ القرائي كحدث عشوائي، بل كنتيجة حتمية لتقصير في التصميم الطباعي، وبالتالي فإن "الهندسة الوقائية" للخط كفيلة بمنع وقوع الخطأ قبل حدوثه.

### 3.2.3 التصنيف حسب المنشأ والتطور

من الناحية السريرية، يتم التمييز بين نمطين رئيسين يحددان نطاق الدراسة:

1. **عسر القراءة النمائي:** اضطراب ذو أصل "نيوروبيولوجي" ينشأ مع تطور الطفل دون إصابة دماغية، وهو الشكل الأكثر شيوعاً والمستهدف في هذه الأطروحة (غربي والعايب، 2023).
2. **عسر القراءة المكتسب:** وهو ناتج عن خلل دماغي يحدث بعد إصابة عصبية معينة، مما يؤدي إلى فقدان أو تدهور مهارات القراءة التي تم اكتسابها بالفعل (غربي والعايب، 2023).

يبرر الباحث تركيز الدراسة حصراً على "العسر النمائي"؛ لأن التدخل الطباعي في مرحلة النمو يساهم في "تشكيل المسارات العصبية" للقراءة بشكل صحيح منذ البدء، بينما في الحالات المكتسبة يكون التدخل "إعادة تأهيل". والهدف من (ArabicLexia) هو بناء تجربة بصرية سليمة تمنع تفاقم الصعوبات النمائية لدى الأطفال.

### 3.2.4 التصنيف من منظور الاضطرابات المصاحبة

نادراً ما يأتي عسر القراءة منعزلاً، بل يترافق غالباً مع تحديات حركية تؤثر على إنتاج الخط:

1. **عسر الكتابة:** يظهر لدى 50% على الأقل من المصابين، مما يؤثر على جودة الخط ومقروئيته (Van Heuverswyn et al., 2024).

2. **ضعف التكامل الإملائي الحركي:** تشير الدراسات إلى خلل في الربط بين "الصورة الذهنية" للحرف وتنفيذه الحركي، مما يؤدي لبطء الكتابة وسوء التنظيم المكاني (Christensen, 2005).
3. **اضطراب التناسق الحركي:** هناك تداخل كبير بين عسر القراءة وهذا الاضطراب، مما يؤكد أن المشكلة قد تمتد إلى التخطيط والتنسيق الحركي العام (SASC, 2020).

يرى الباحث أن الخط الميسّر للقراءة "أرابيكليكسيا" ليس أداة "استقبال" فحسب، بل هو أداة "إنتاج" أيضاً. فتوفير خط طباعي واضح، وثابت، وعالي التمايز، يعمل كـ "مرجع بصري معياري" يستند إليه الطالب أثناء الكتابة اليدوية. فإذا استقرت صورة الحرف في ذهن الطالب (عبر القراءة)، تحسن أداؤه في استرجاعها ورسمها (عبر الكتابة)، مما يعالج بشكل غير مباشر فجوة التكامل الإملائي-الحركي.

## 3.3 الخصوصية الهيكلية والبصرية للخط العربي في سياق عسر القراءة

رغم الإجماع العلمي على أن عسر القراءة هو اضطراب ذو أساس "نيوروبيولوجي عالمي" (González Contreras et al., 2025; Frith, 1999)؛ إلا أن تجلياته السلوكية وتحدياته تتشكل بشكل حاسم وفقاً لخصائص النظام الكتابي للغة. وكما تؤكد نظرية (Frith)؛ فإن العجز الصوتي قد يكون عالميًا، لكن "مشكلات القراءة" تبرز أو تختفي تبعًا لتعقيد النظام الكتابي. وفي هذا الإطار، تمثل اللغة العربية حالة فريدة من "التعقيد البصري والهيكلي"، مما يضع القارئ العربي ذي العسر القرائي أمام تحديات مركبة لا يمكن استيراد حلولها من سياقات لاتينية (Alexeeva et al., 2022; Yap et al., 2025).

### 3.3.1 طبيعة نظام الكتابة العربية و"العمق الإملائي" المزدوج وعسر القراءة

يلعب "العمق الإملائي" دوراً حاسماً في تشكيل العسر القرائي. فبينما تظهر المشكلة في اللغات "الشفافة" (كالإيطالية) على شكل بطء، وفي اللغات "الغامضة" (كالإنجليزية) على شكل ضعف في الدقة؛ تقع العربية في

منطقة هجينة ومعقدة (Shewalter, 2025) .فهي نظام "أبجدي صوامتي" يركز على الهيكل الصامت ويخفي الحركات القصيرة (الصوائت) في معظم النصوص (القاضي، 2017)[5].

---

[5] **فرضية العمق الإملائي (Depth Hypothesis – ODH):** هي إطار نظري أسسه (Katz & Frost, 1992) لتصنيف الأنظمة الكتابية وفقاً لدرجة تعقيد العلاقة بين الرمز المكتوب (Grapheme) والصوت المنطوق (Phoneme). وبناءً عليها تُقسم اللغات إلى:

1. **اللغات الشفافة/الضحلة (Transparent/Shallow Orthographies):** هي اللغات التي تتميز بـ "تطابق شبه تام" بين الحرف والصوت (علاقة 1:1)، مما يجعل قواعد القراءة والتهجئة فيها ثابتة وسهلة التنبؤ (مثل: الإيطالية، الإسبانية، الفنلندية). وفي هذه اللغات، لا يواجه ذوو عسر القراءة صعوبة كبيرة في "دقة" القراءة، بل تظهر مشكلتهم الأساسية في "بطء السرعة" وضعف الطلاقة (Seymour et al., 2003).
2. **اللغات الغامضة/العميقة (Opaque/Deep Orthographies):** هي اللغات التي تتسم بعلاقة "غير متسقة" ومتعددة الأوجه بين الكتابة والنطق؛ حيث قد يُنطق الحرف الواحد بعدة طرق، أو يُكتب الصوت الواحد بعدة أشكال، وتخضع القراءة لقواعد مورفولوجية وتاريخية معقدة (مثل: الإنجليزية، الفرنسية). وفي هذه الأنظمة، يعاني ذوو عسر القراءة من صعوبة بالغة في "دقة فك التشفير" ويرتكبون أخطاءً كثيرة في القراءة (Landerl et al., 2013).

تقع اللغة العربية في موقع فريد يُوصف بـ "العمق المزدوج"؛ فهي لغة **"شفافة تماماً"** في نسختها المشكولة (حيث يمثل كل صوت برمز)، وتتحول إلى لغة "عميقة/غامضة جداً "في نسختها غير المشكولة (حيث تغيب الصوائت القصيرة ويتوجب استنتاجها من السياق)، مما يفرض عبئاً إدراكياً مضاعفاً على القارئ المبتدئ أو المتعثر (Abu-Rabia, 2001; Share, 2008).

**الصوامت والصوائت (Consonants and Vowels):** يُقسم النظام الصوتي العربي وظيفيًا وطباعيًا إلى فئتين رئيستين:

1. **الصوامت (Consonants):** هي الأصوات التي يلقى تيار الهواء عند خروجها من الرئتين عائقاً أو تضييقاً في مجرى النطق (مثل: ب، ت، ق). وفي النظام الكتابي العربي، تُمثَّل الصوامت بـ "الحروف الهجائية" التي تشكل "الهيكل البصري" الثابت للكلمة، وهي العنصر الذي يحمل "الجذر المعجمي" والمعنى الأساسي (Al-Ani, 1970).
2. **الصوائت (Vowels):** هي الأصوات التي يخرج فيها الهواء طليقاً دون عائق، وتنقسم في العربية إلى قسمين:
   - **صوائت طويلة (Long Vowels):** تُمثَّل بحروف المد (ا، و، ي)، وتُعامل معاملة الحروف بصرياً في الاتصال والتركيب.
   - **صوائت قصيرة (Short Vowels):** وهي الحركات (الفتحة، الضمة، الكسرة). وتتميز في العربية بكونها "علامات فوق قطعية" تُرسم كطبقة مستقلة فوق الهيكل الصامت أو تحته، وغالباً ما تُحذف في الكتابة للكبار.

في سياق العسر يكمن التحدي الذي يواجهه القارئ ذي العسر القرائي في أن العربية لغة "صامتية التوجه"؛ حيث يعتمد التمييز الدلالي الدقيق على "الصوائت القصيرة" التي تكون إما غائبة (فيضطر للتخمين)، أو متراكمة بصرياً كطبقة مزدحمة (فتشتت الانتباه)، مما يرفع العبء الإدراكي للمعالجة (Saiegh-Haddad & Henik, 2014; Boudelaa & Marslen-Wilson, 2005).

هذا "الغياب البصري للصوائت" يفرض على القارئ مهمة معرفية شاقة؛ حيث يتوجب عليه استنتاج النطق الصحيح من السياق النحوي والدلالي (Al-Wabil et al., 2006). وبالنسبة لقارئ يعاني أصلاً من ضعف في المعالجة الصوتية، فإن غياب التشكيل يحول القراءة من عملية "فك تشفير" تلقائية إلى عملية "حل ألغاز" لغوية معقدة، مما يفاقم العبء الإدراكي (Hazoury et al., 2009) (زكري ومرداسي، 2015).

يستنتج الباحث أن العربية تفرض على القارئ المتعثر "عبئاً مزدوجاً": عبء التخمين الصوتي (بسبب غياب الحركات)، وعبء التمييز البصري (بسبب تشابه الحروف). وبما أن التخمين الصوتي يتطلب مهارات لغوية عليا قد يفتقدها الطالب، فإن الاستراتيجية الأنجع هي "تخفيف العبء البصري" عبر تقديم خط طباعي شديد الوضوح، يعمل كـ "معوّض بصري" يقلل الجهد المطلوب للتعرف على الكلمة.

### 3.3.2 التحديات البصرية والهيكلية الجوهرية للخط العربي للمعسّرين قرائيًّا

تخلق بنية الخط العربي المتفردة "حملاً بصرياً" عالياً يتطلب معالجة دقيقة، ويمكن تفكيكه إلى ثلاثة محاور رئيسة:

**أولاً: التشابه البصري والاعتماد الحاسم على النقاط:** السمة الأكثر تحدياً هي وجود "هياكل مشتركة" لحروف متعددة (ب/ت/ث، ج/ح/خ، د/ذ)، لا يفرق بينها إلا "النقطة" (طهراوي وطاشمة، 2020). وهذا يجعل القراءة شديدة الحساسية لجودة الطباعة؛ فأي تشويش في النقطة يحول الحرف إلى آخر تماماً، مما يعزز ظاهرة "الخلط البصري" التي وثقتها الدراسات كأبرز أخطاء القراء العرب (Alamri & Teahan, 2017).

**ثانياً: الاتصال الإلزامي والازدحام** على عكس اللاتينية المنفصلة، تدمج اللغة العربية حروفها في "كتلة متصلة" (Al-Qadi, 2017). هذا الاتصال يصعّب تمييز حدود الحروف، ويضاعف أثر ظاهرة "الازدحام البصري"؛ حيث تتداخل الحروف المتجاورة وتعيق التعرف الفردي عليها (Bachmann & Mengheri, 2018). ويزيد الأمر تعقيداً مع ظاهرة "تعدد الأشكال السياقية"، التي تفرض على الذاكرة البصرية تخزين ما يصل لـ 4 أشكال للحرف الواحد (El Kah & Lakhouaja, 2020).

**ثالثاً: التعقيد الطبقي للتشكيل والهمزة:** رغم أهمية التشكيل، إلا أن تراكم العلامات الصغيرة فوق الهيكل يضيف "طبقة ضجيج بصري" قد تشتت الانتباه إذا لم تضبط هندسياً (Yoliando, 2020). كما يشكل تعدد صور الهمزة (على الألف، الواو، النبرة) مصدراً منهجياً للالتباس البصري والإملائي (Alamri & Teahan, 2017).

يرى الباحث أن هذه التحديات الثلاثة (التشابه، الاتصال، التراكب) تمثل "المثلث الحرج" الذي يجب أن يستهدفه الخط المقترح. وعليه، فإن خوارزمية (ArabicLexia) مصممة لـ: (1) تعظيم التباين الهيكلي لتقليل الاعتماد على النقطة، (2) ضبط التباعد لفك الازدحام الناتج عن الاتصال، و(3) تنظيم الطبقات لعزل التشكيل عن الهيكل، مما يحول هذه "العوائق" إلى "دعامات" للمقروئية.

### 3.3.3 الانعكاسات الميدانية: من النظرية إلى الأخطاء المرصودة

تترجم هذه الخصوصية الهيكلية إلى أنماط أخطاء محددة وثقتها الدراسات الميدانية في السياق العربي (الأردن، السعودية، الجزائر).

- **في القراءة:** يتميز أداء المتعسرين بـ: البطء الشديد، والحذف، و"الأخطاء العكسية"، والخلط المستمر بين المتشابهات بصرياً (ج/ح) (القرعان، 2018; درار ودبراسو، 2016) (Benbordi & Dabar, 2019).
- **في الكتابة:** تمتد الصعوبة للمخرجات اليدوية، فتظهر "الكتابة الانعكاسيّة"، وسوء التنظيم المكاني على السطر (Alkhurayyif & Sait, 2023). وهذه الأخطاء تؤكد وجود قصور في "المعالجة البصرية - المكانية" يتغذى من تعقيد الخط ذاته.

يخلص الباحث إلى أن شيوع أخطاء "الخلط البصري" و"سوء التنظيم المكاني" يقدم دليلاً دامغاً على الحاجة لتدخل "بصري-مكاني". فالخط المقترح لن يكتفي بكونه "مقروءاً"، بل سيعمل كأداة توفر للطالب نموذجاً بصرياً مستقراً ومنظماً، يساعده على ترتيب الحروف في ذهنه وعلى الورق، مما يكسر حلقة الفشل القرائي والكتابي.

## 3.4 المتغيّرات الطباعيّة الاساسيّة وتأثيرها على الوضوح

يمثل التصميم الطباعي الجسر الهندسي الذي يربط بين خصائص النص البصرية ومتطلبات المعالجة المعرفية للقارئ (Stark et al., 2020). وعليه، فإن التدخل الطباعي في سياق عسر القراءة ليس "عملية فنية" عشوائية، بل هو "تدخل علمي مُقاس" يعتمد على ضبط ممنهج لمجموعة من المتغيرات التي أثبتت الأبحاث تأثيرها المباشر على كفاءة معالجة الرسم الكتابي. تشكل هذه المتغيرات العمود الفقري لتطوير الخط المقترح، وتمثل المعايير الكمية التي تعتمد عليها خوارزمية أداة "أرابيكليكسيا".

### 3.4.1 التباعد: فاعليته في اللغات المنفصلة وإشكاليته في المتصلة

يُجمع الباحثون على أن إدارة "المسافات البيضاء" هي التدخل الطباعي الأكثر فعالية لمواجهة ظاهرة "الازدحام البصري"؛ وهي الصعوبة الإدراكية في تمييز الحرف عند إحاطته بـ "ضجيج بصري" من الرموز المجاورة (Zorzi et al., 2012).

1. **التباعد بين الحروف:** أظهرت الدراسات أن زيادة التباعد بين الحروف تؤدي لانخفاض ملحوظ في "أخطاء الاستبدال" الناتجة عن الازدحام (Daini et al., 2025). وتوصي الجمعية البريطانية (BDA, 2024) بزيادة التباعد بنسبة 35% لتفكيك التكتلات البصرية.
2. **التباعد بين الكلمات:** يؤثر هذا المتغير مباشرة في سرعة المعالجة؛ حيث يُمكّن القارئ من تقسيم السطر بصرياً إلى وحدات لغوية منفصلة، مما يقلل عدد "التثبيتات البصرية" الخاطئة (Slattery & Rayner, 2013). ويؤكد (Al-Wabil) أن خصوصية الخط العربي المتصل تستلزم تباعداً أكبر بين الكلمات مقارنة باللاتينية، لمنع الاندماج البصري للحدود (Al-Wabil et al., 2006).
3. **التباعد بين الأسطر:** يوصى بتباعد يصل لـ 150% (1.5 سطر) لتعزيز الإيقاع البصري ومنع القفز الخاطئ بين السطور (Ranaldi & Nisbet, 2010).

يرى الباحث أن التطبيق الميكانيكي لزيادة التباعد (على الطريقة اللاتينية) قد يدمر بنية الكلمة العربية المتصلة. لذا، تتبنى الدراسة منهجية "التباعد الذكي"؛ حيث يتم توسيع المسافات "داخل الكلمة" عبر تقنية الكشيدة المحسوبة

لفك الازدحام دون قطع الوصلات، وتوسيع المسافات "بين الكلمات" لتعزيز الحدود، مما يوازن بين فك الازدحام والحفاظ على الجشطالت البصري للكلمة.

### 3.4.2 التشريح الداخلي للخط ومقاييس الأبعاد

لا يقل التصميم الداخلي للحرف أهمية عن التباعد، حيث يهدف إلى تعزيز "التمايز الهيكلي" وتقليل الخلط البصري:

1. **نسبة ارتفاع الحروف الوسطيّة (x-height):** يُعد ارتفاع جسم الحرف عاملاً حاسماً في الوضوح؛ حيث تزيد الارتفاعات الكبيرة من "الانفتاح البصري" للحرف (Cooreman & Beier, 2024). وفي ضوء التحليل الأولي لأداة (أرابيكليكسيا)، توصل الباحث إلى أن النسبة المثلى لارتفاع الحروف الوسطيّة (x-height) في العربية تبلغ حوالي (0.66) من الارتفاع الكلي؛ وهي قيمة تحقق توازناً بصرياً يسمح بوضوح الحركات والنقاط دون طمس معالم الحرف.
2. **فصيلة الخط (Type Family):** تميل الأدلة لتفضيل خطوط "سانز سيرف" (Sans-serif) الخالية من الزوائد، لبساطتها التي تقلل "الضوضاء البصرية" وتسرع التثبيت البصري (Rello & Baeza-Yates, 2013).
3. **التثقيل السفلي (Weighted Bottoms):** مبدأ تصميمي (مطبق في خط OpenDyslexic) يجعل قاعدة الحرف أثقل بصرياً ليعمل كـ "مرساة" (Anchor) تمنع الانقلاب البصري (Broadbent, 2023). وقد أثبتت الدراسات العربية فعالية هذا المبدأ في زيادة الإحساس بالثبات الاتجاهي للحروف (Hejres & Tinker, 2024).

يخلص الباحث إلى أن الخط العربي التقليدي (كالنسخ) يعاني من تفاوتات حادة في الارتفاعات وتشابه في الهياكل. وعليه، سيعمل الخط المقترح على تطبيق مبدأ "التثقيل السفلي" وتوحيد ارتفاع الحروف الوسطيّة (x-height) لإنشاء "خط أساس بصري" قوي، يوجه حركة عين القارئ ويقلل من احتمالية القفز أو الخلط الاتجاهي.

### 3.4.3 الترابط المنهجي: المتغيرات الطباعية كأساس كمّي لأداة "أرابيكليكسيا"

يشكل التحليل السابق الأساس المنهجي والكمّي لهذه الرسالة، حيث يتم تحويل هذه "المبادئ النوعية" إلى "خوارزميات قياس":

**1. تكميم الأدلة:** أشار (Powell) إلى فجوة منهجية في الدراسات السابقة التي فشلت في عزل متغير "الخط" عن المتغيرات الدخيلة (Powell et al., 2017). ولتجاوز ذلك، تقوم أداة (أرابيكليكسيا) بتحويل المبادئ الجمالية إلى معايير هندسية صارمة؛ مثل "معامل اختلاف الهوامش" أو "كثافة التقنين"، مما يتيح تقييماً موضوعياً بعيداً عن الذائقة الشخصية.

**2. معالجة الازدحام عبر الخوارزميات :**بناءً على نتائج (Zorzi) و(Daini) التي أثبتت أن التباعد يعالج الجذر العصبي للتزاحم؛ تمنح الأداة "وزناً عالياً" (2.00) لمعايير التباعد (نسبة الفراغ بين الحروف)، باعتبارها المؤشر الأقوى على نفاذية النص البصرية (Daini et al., 2025; Ramamurthy et al., 2023).

**3. معالجة العبء المعرفي عبر الاتساق:** أكدت دراسة (Yassin et al., 2020) أن تعدد أشكال الحرف العربي يرفع عبء المعالجة. لذا، توظف الأداة خوارزميات لقياس "اتساق الأشكال السياقية"؛ لضمان أن التغير في شكل الحرف بين مواضعه (أول/وسط/آخر) يظل في حده الأدنى، مما يقلل المفاجأة البصرية ويسهل التتبع (Rello & Baeza-Yates, 2013).

تكمن القيمة المضافة لأداة (ارابيكليكسيا) في أنها تنقل تصميم الخط من "الفن" إلى "العلم". فهي لا تكتفي بوصف الخط بأنه "واضح"، بل تقدم "برهاناً رقمياً" على وضوحه. وهذا التكميم هو الذي سيسمح في الفصل التجريبي بعقد مقارنة عادلة وموضوعية بين الخط المقترح والخط الضابط (Scheherazade)، مما يعزز الصدق الداخلي لنتائج البحث. قدّم هذا الفصل إطارًا تفسيريًّا متماسكًا لعُسرِ القراءة يربطُ بين اختلالاتِ معالجة الرّسم الكتابي والعبءِ الإدراكيّ، وبيَّن كيف تُضخِّمُ خصائصُ الكتابةِ العربيّة مظاهرَ الالتباسِ والازدحام. ثمّ انتقل من التنظير إلى التكميم؛ فحدَّد متغيّراتٍ طباعيّة قابلةً للقياس لتكون نواةً لخوارزمية "أرابيكليكسيا". وبناءً على ذلك، يستدعي المنطقُ المنهجيّ افتتاحَ الفصل الرابع بمراجعةٍ نقديّةٍ مُنظَّمة للدراساتِ السابقة؛ لتشخيصِ ثغراتِها المنهجية (خاصة ضعف القياس الكمي في العربية)، وتسويغِ اختياراتِ هذه الرسالةِ التجريبيّة.

# الفصل الرابع: مراجعة الدراسات النقدية والفجوة المنهجية (الدراسات السابقة)

يأتي هذا الفصلُ ليُراجِعَ الدراسات العلميّةَ ذاتَ الصلةِ بعُسرِ القراءة والتدخّلاتِ الطباعيّة، بوصفِها المرجعَ الذي تُشتَقُّ منه فروضُ الرسالةِ ومُتغيّراتُها ومقاييسُها. وتُبنى هذه المراجعةُ بقصدِ: تثبيتِ الأدلةِ المتَّفقِ عليها، والكشفِ عن ثغراتِ القياسِ في سياقِ العربيّة، وتبريرِ هندسةِ "أرابيكليكسيا" ومعاييرِ التقييمِ التي سيجري اعتمادُها لاحقًا.

## 4.1 مراجعة الدراسات النقدية للحلول الطباعية السابقة (التركيز اللاتيني)

تُظهر الدراسات الأجنبية في عسر القراءة أنّ الاشتغال بطبيعة الاضطراب سبق الاشتغال بالحلول الطباعية؛ إذ تناولت دراسات مبكرة البعد المعرفي واللغوي للاضطراب، ثم لحقها مسار تصميمي سعى إلى تهيئة بيئة قرائية أقلّ إرباكًا عبر استحداث خطوطٍ مكيّفة أو تعديل معلمات العرض مثل الحجم والتباعد واللون. وقد استُخدمت في هذا المسار طرائق تجريبية متدرجة، من المقارنات المباشرة بين الخطوط، وصولًا إلى الحلول التفاعلية الرقمية التي تتيح للمستخدم ضبط العرض وفقًا لخصائصه الفردية. غير أنّ جلّ هذه الأعمال جرى على الأبجديات اللاتينية، الأمر الذي يترك فراغًا بحثيًّا واضحًا فيما يتعلّق بالأبجدية العربية. وفي موازاة ذلك، نبّهت دراسة دانيال وآخرين إلى وجود فجوة بين بعض الممارسات التربوية الشائعة وبين ما تثبته البيانات الموضوعية، ولا سيما فيما يتصل بالاعتقاد بأن صعوبة قراءة نص بخط أو لون معيّن تصلح قرينة على عسر القراءة، مع أنّ الدراسات التي استعرضوها لم تجد تفوّقًا ثابتًا للخطوط المسمّاة صديقة لعسر القراءة على الخطوط الشائعة الجيدة التصميم، وهو ما يحمّل أي محاولة تصميمية جديدة مسؤولية إرفاقها ببرهان تجريبي صارم على فعاليتها (Daniel et al., 2024).

### 4.1.1 خطّ سيلكسياد (Sylexiad) لـ (Hillier) (2006): إشكاليّة التصميم النظري

تُعَدّ رسالة (Hillier) الموسومة بـ (2006) (A Typeface for the Adult Dyslexic Reader) من أوائل الأعمال التي صمّمت خطًّا طباعيًّا موجَّهًا أصلًا للقرّاء البالغين ذوي عسر القراءة، بعد أن لاحظ الباحث أن الخطوط التي كانت تُوصِي بها الجمعيات المتخصّصة مثل (Arial, Sassoon, Times New Roman) لم تُصمَّم ابتداءً لهذه الفئة. وانطلق (Hillier) من منهجية ابتكارية أسماها الاختبار التطويري للخطوط الطباعية (developmental typeface testing)، تقوم على دورات متعاقبة من التصميم والاختبار لقراءة الحروف

والكلمات والجُمل والفقرات، وانتهت بتطوير خطّ (Sylexiad) بصيغتيه (Serif) و(Sans) وأظهرت نتائجه أن كثيرًا من القرّاء المتعسرين يفضّلون سماتٍ غير تقليدية مقارنةً بالقارئ العادي، مثل الوزن الطباعي الخفيف، والامتدادات الرأسية الواضحة، والتباعد السخي بين الكلمات، بل وتكوينات قريبة من الكتابة اليدوية؛ وهي نتائج دفعت (Hillier) إلى مراجعة صلاحية نموذج "شكل الكلمة" لصالح نموذج "التعرّف المتوازي على الحروف". غير أنّ هذا الجهد ظلّ مُنجزًا في إطار الحرف اللاتيني، ما يستدعي - عند نقله إلى العربية - مراعاة الخصائص البنائية للحرف المتصل وتعدّد أشكال الحرف داخل الكلمة (Hillier, 2006).

### 4.1.2 الجدل التجريبي: التضارب بين الأداء والتفضيل

1. **دراسة (de Leeuw, 2010):** أجرت (de Leeuw) دراسةً تجريبية قارنت فيها أداء طلبة جامعيّين مصابين بعسر القراءة (21 طالبًا) وأقرانهم ذوي القراءة العادية (22 طالبًا) عند القراءة بخطّ (Dyslexie) مقارنةً بالخط القياسي (Arial)، وذلك باستخدام اختبارَي القراءة الهولنديَّين (EMT) (للكلمات) و(Klepel) (للكلمات غير الحقيقية)، مع عشوائية ترتيب الخطين. أظهرت النتائج عدم وجود أثر دالّ للخط الجديد في سرعة القراءة؛ إذ لم تتحسّن السرعة مع (Dyslexie) مقارنةً بـ (Arial)، غير أنّ تحليلات الأخطاء بيّنت نمطًا أكثر تعقيدًا: فقد انخفضت بعض الأخطاء الفنية لدى القرّاء المتعسرين، ولا سيّما أخطاء الاستبدال في اختبار الكلمات غير الحقيقية، في حين ارتفعت لديهم أخطاء التخمين/القراءة التخمينية عند القراءة بالخط نفسه، وهو ما جعل الكاتبة تؤكّد أن أثر الخط ليس تحسّنًا شاملاً، بل أثرٌ انتقائيّ يتغيّر بنوع المهمة ونوع القارئ. كما خلصت (de Leeuw) إلى ضرورة التمييز بين الانطباع الذاتي الإيجابي تجاه الخط - الذي ظهر في الاستبانة - وبين الأداء المقاس موضوعيًّا، واقترحت أن تُختبَر التعديلات الطباعية المكوّنة للخط مثل زيادة اتفاع الحروف الوسطيّة (x-height)، أو اتّساع التباعد، أو تثقيل القاعدة على نحوٍ منفصل بدل اختبارها مجتمعةً، لأن وجودها معًا في خط واحد يجعل تحديد المتغيّر المسؤول عن الأثر أمرًا غير حاسم (de Leeuw, 2010).

2. **دراسة (Broadben) (Broadbent, 2023):** سعت (Broadben) في أطروحتها للدكتوراه إلى مقارنة أداء تلاميذ المرحلة الثانية (Key Stage 2) المصنَّفين بذوي عسر القراءة، مع مجموعة ضابطة

من القرّاء النموذجيّين، عند القراءة بخط (OpenDyslexic) مقابل الخط القياسي (Arial)، مع إدراج حالة ثالثة لـ (Arial) موسَّع التباعد لعزل أثر المسافات. اعتمدت الدراسة تصميمًا مختلطًا يجمع بين القياسات الكمية (دقّة القراءة، معدّل القراءة، الفهم) والمقابلات نصف المهيكلة لرصد التفضيلات. وأظهرت النتائج تحسّنًا معنويًّا في دقّة القراءة ومعدّلها عند عرض النصوص بخط (OpenDyslexic)، في حين لم يُسجَّل أثر دالّ للخط على الفهم القرائي لدى المجموعتين. كما كشفت المقابلات أن التفضيلات الذاتية للمتعلمين لم تتطابق دائمًا مع الخط الذي حققوا به أفضل أداء، وهو ما عدّته الباحثة دليلًا على ضرورة الفصل بين الحكم المبني على الأداء الموضوعي والحكم المبني على الراحة البصرية أو الميل الشخصي، مع الدعوة إلى مزيد من الدراسات التي تركز على الفهم والعوامل النفس-بصرية المؤثرة في تفضيل الخطوط (Broadbent, 2023).

### 4.1.3 إشكالية المتغيرات الدخيلة والقياس بتقنية تتبع العين

1. **عزل التباعد (Powell, 2017):** هدفت (Powell) إلى اختبار الفرضيّة القائلة بأن التفوّق المنسوب إلى الخط المتخصّص (Dyslexie) قد يكون ناتجًا عن سماته الطباعية البسيطة - كزيادة الحجم والمسافات بين الكلمات والأسطر - لا عن شكل الحرف ذاته. لذلك أُعيد ضبط النصوص المكتوبة بخطَّي (Arial) و(Times New Roman) لتطابق (Dyslexie) في القياس والتباعد، ثم قُورن أداء تلاميذ الصفَّين الرابع والخامس ذوي صعوبات التعلّم القرائي في السرعة والدقّة والفهم. وأظهرت النتائج أنّه بعد هذا الضبط لم تُسجَّل فروق ذات دلالة إحصائية بين الخطوط الثلاثة في أيٍّ من مؤشرات الأداء القرائي، وهو ما عدّته الباحثة دليلًا على أن تقييم فاعلية الخطوط المخصّصة يستلزم التحكّم الصارم في المتغيرات الطباعية المصاحِبة، وأن الأثر الذي يُنسب أحيانًا إلى الخط نفسه قد يكون في جوهره أثرًا للحجم أو للتباعد لا للبنية الحروفيّة (Powell, 2017).

2. **أثر الخلفية والقياس الموضوعي (Pijpker, 2013):** استهدفت (Pijpker) التحقّق مما إذا كان تحسين العناصر البصريّة في صفحة القراءة - أي الجمع بين الخطّ المتخصّص (Dyslexie) والخلفية الصفراء الفاتحة - يمكن أن يرفع أداء القرّاء المصابين بعسر القراءة مقارنةً بالخلفية البيضاء والخط القياسي

(Arial). قرأ المشاركون أربعة نصوص في أربع توليفات: (أبيض-Dyslexie)، (أصفر-Dyslexie)، (أبيض-Arial)، (أصفر-Arial)، وأظهرت النتائج وجود أثرٍ رئيسٍ إيجابي للخط (Dyslexie) في الدقّة القرائية عند مجموعة ذوي عسر القراءة كلّها، ولا سيّما أصحاب المستوى القرائي الأدنى، كما ظهر أثر تفاعلي بين اللون الأصفر والخط (Dyslexie) تمثّل في أن هذه التوليفة أعطت أقلّ عدد من الأخطاء لتلك الفئة تحديدًا. أمّا سرعة القراءة فلم تتحسّن تحسّنًا دالًّا مع أيٍّ من التوليفات. وانتهت الباحثة إلى أن هذه التحسينات البصريّة ليست عامّة ولا مطلقة، بل تتعلّق بدرجة العسر وبمستوى القراءة المسبق، وأنّ التوصية العمليّة الأشدّ وجاهة هي استخدام الخلفية الصفراء مع خط (Dyslexie) لدى القرّاء المتعسرين ذوي المستوى الأدنى (Pijpker, 2013).

3. **تتبع العين (Rello & Baeza-Yates, 2013):** قدّم (Rello & Baeza-Yates) أوّل تجربة منظّمة تستخدم تقنيّة تتبّع العين لقياس الأثر الموضوعي لنوع الخط على أداء (48) قارئًا مصابًا بعسر القراءة؛ إذ قرأ المشاركون (12) نصًّا مكتوبة بـ (12) خطًّا شائعًا، من بينها: (Arial, Helvetica, Verdana, Courier, Times, Garamond, Computer Modern Unicode)، إضافةً إلى الخط المصمَّم لعسر القراءة (OpenDyslexic) بنسختيه العاديّة والمائلة. وأظهرت بيانات زمن القراءة ومتوسّط مدّة التثبيت البصري أن الخطوط الخالية من الذيول (sans serif) مثل (Arial) و(Helvetica) و(Verdana)، وكذلك الخط الأحادي العرض (Courier)، أتاحت قراءاتٍ بتثبيتات أقصر ودلالةٍ أفضل من بعض الخطوط ذات الذيول (serif) أو الخطوط المائلة، بينما لم يُظهر (OpenDyslexic) تفوّقًا يُذكَر على الخطوط الشائعة. كما كشف تحليل التفضيلات أن تقويم المشاركين للخط الجميل أو المريح لا يرتبط ارتباطًا يُعتدّ به بزمن القراءة أو مدّة التثبيت، فدعا الباحثان إلى اعتماد القياسات الموضوعيّة (زمن القراءة، مدّة التثبيت) عند اختيار الخطوط الموجَّهة لعسر القراءة، لا الاكتفاء بالانطباعات الذاتية (Rello & Baeza-Yates, 2013).

### 4.1.4 اتجاهات حديثة في تيسير القراءة

- **محاولات إنتاج خطوط متخصصة لذوي عسر القراءة ( EasyReading, Read Regular, Lexie Readable):** قدّمت دراسة (Bachmann & Mengheri) (Bachmann & Mengheri, 2018) تقييمًا تجريبيًّا واسع العيّنة لخط (EasyReading) بمقارنته مع خط (Times New Roman) في مهام قراءة نص، وكلمات صحيحة، وكلمات غير حقيقية، عند تلاميذ الصف الرابع، وانتهت إلى نتيجة دالّة إحصائيًّا وسريريًّا مفادها أنّ (EasyReading) حسَّن طلاقة القراءة ودقّتها لدى القرّاء الجيّدين والقرّاء ذوي عسر القراءة على السواء، أي أنّه عمل خطًّا تعويضيًّا ومبسِّطًا معًا، من غير أن تدّعي الدراسة تفوّقًا في الفهم القرائي نفسه، لأن الاختبارات كانت موجّهة أساسًا للطلاقة والدقّة (Bachmann & Mengheri, 2018).
- أمّا دراسة فرِنش (Frensch, 2003) من مركز هيلن هملاين بكلّيتها الملكيّة للفنون، فهي دراسة تصميميّة تطبيقيّة موثّقة، هدفها تطوير خط (Read Regular) موجَّهًا للقرّاء ذوي عسر القراءة، وذلك بتكبير الفروق البصريّة بين أشكال الحروف، والابتعاد عن التماثل العاكس بين الأشكال الملتبسة مثل (b-d-p-q)، وإطالة الحروف الصاعدة والنازلة، وزيادة التباعد. هي إذًا حالة تطوير مبكر لخط متمايز بصريًّا، لكنها لا تقدّم اختبارًا تجريبيًّا كمّيًّا للأداء على عيّنة كبيرة، بل تعرض برنامجًا بحثيًّا تشاركيًّا أفضى إلى عائلة خطوط باسم (Read) (Frensch, 2003).
- ويذكر دليل (Ranaldi & Nisbet, 2010) ضمن إرشاداته للموارد النصيّة الميسّرة خطّ (Lexia Readable) ويصفه بأنه صُمّم ليحافظ على وضوح (Comic Sans) من غير دلالاته الطفوليّة، مع خصائص تساعد على التمايز مثل الشكل اليدوي للحرفين (a) و(g)، والتباعد الأوسع، لكنه لا يقدّم بيانات أداء أو مقارنة تجريبية، بل يعرضه ضمن قائمة الخطوط الموصى بها للقراء الذين لديهم صعوبات وصول إلى النص (Ranaldi & Nisbet, 2010).

- **التفاعلية والمرونة:** تُعدّ دراسة فورستنر (Forstner, 2023) مثالًا معاصرًا على توسيع معالجة عسر القراءة من المستوى الطباعي الثابت إلى المستوى التفاعلي القابل للتخصيص؛ إذ انطلقت من مشكلة نفاذ مستخدمي عسر القراءة إلى المقالات الإخباريّة الرقمية، وطوّرت وفق منهجية التصميم المتمحور حول

المستخدم أداةً نموذجيّة تُمكّن القارئ من إعادة تشكيل الخبر بصريًّا ومضمونيًّا على نحوٍ يتلاءم مع احتياجاته الفرديّة. فقد أتاح النموذج التفاعلي للمستخدم ضبط عناصر العرض المرئي مثل اختيار الخط من بين مجموعة تضمنت (Arial)، (Helvetica)، (Verdana)، و(OpenDyslexic)، وتغيير تركيبات اللون والخلفية، والتحكّم في التباعد، إلى جانب طبقة ثانية تعمل على تبسيط المحتوى الإخباري نفسه آليًّا بالاستناد إلى تقنيات المعالجة اللغوية والذكاء الاصطناعي، مع مراعاة السياق النرويجي الذي كُيّف له النموذج. وبيّنت نتائج جولات الاختبار التكراري أنّ الاستجابات القرائيّة لدى ذوي عسر القراءة متباينة بدرجة لا تسمح بفرض خطٍّ واحد أو إعدادٍ بصريٍّ واحد على جميع المستخدمين، وأنّ الحلّ الأجدى هو إتاحة حزمة من التعديلات المرئية والمضمونيّة يمكن تفعيلها انتقائيًّا وفق تفضيل القارئ، بما يحقّق تكاملًا بين تبسيط الشكل وتبسيط المحتوى، ويجعل الأداة صالحة للتوسّع المؤسسي في بيئات النشر الرقمي. (Forstner, 2023).

- **حلول طبقية للغات غير اللاتينية:** على مستوى الأبجديّات غير اللاتينيّة، تُظهر الدراسة التجريبية على الخط السيريلي الموجَّه لعسر القراءة (LexiaD) أنّ الأداء القرائي للمراهقين كان في بدايته أفضل مع الخطوط المألوفة لديهم من نمط (Roboto) المشابه في تصميمه لـ(Arial)، وأنّ (LexiaD) لم يحقّق تفوّقًا أوّليًّا على هذه الخطوط، بل احتاج القارئ إلى قدر من التكيّف قبل أن يُظهِر الخط المتخصّص أثرًا إيجابيًّا في بعض مراحل المعالجة البصريّة، ولا سيّما في استخلاص السمات البصريّة للكلمة. وقد فسّر الباحثون هذا التقدّم الأوّل للخط المألوف إمّا بعامل الألفة (Familiarity) وإمّا بخصائص التصميم في الخطوط الشائعة، ودَعَوا إلى إعادة اختبار الخط المتخصّص مع قرّاء أقلّ ألفة بالخطوط القياسيّة حتى يُعزَل أثر الألفة عن أثر البنية الطباعيّة. وتُشير الدراسة نفسها إلى أنّ الخطوط السيريلية الأخرى المكيّفة لعسر القراءة مثل (Adys)، و(Dyslexic FZF)، و(Антидислексия) موجودة وصفًا، غير أنّها لم تُختبَر تجريبيًّا بالطريقة ذاتها، الأمر الذي يقيّد التعميم على سائر اللغات غير اللاتينيّة، ويُبرز أنّ الاستفادة من الخط المتخصّص تظلّ مشروطة ببيئة التعلّم وبمستوى التعرّض السابق للخطوط الشائعة. (Alexeeva et al., 2022).

### 4.1.5 الأطر التشخيصية غير الطباعية الداعمة للتصميم

**السياق اللغوي والمعرفي (Ahmetova et al., 2021):** يقدّم الدليل التربوي الصادر عن جامعة قازان باسم «عُسر القراءة وعُسر الكتابة كأسباب لتدنّي التحصيل المدرسي» وصفًا منهجيًّا لأشكال العُسر القرائي (عسر القراءة) والعُسر الكتابي (الديسغرافيا)، مع بيان مظاهرها الرئيسة في الصفوف الأولى، وربطها مباشرةً بمشكلة ضعف الإنجاز الأكاديمي، كما يفصّل الفروق بين الأشكال الفونولوجيّة، والبصريّة/الفراغيّة، والسمانتيّة، والأغراماتيكيّة، ويقدّم مسارًا تشخيصيًّا متدرّجًا يبدأ بالتمييز بين ضعف التعليم العادي واضطراب مهارة القراءة، ثم ينتقل إلى تحديد نوع العُسر، وأدوات التدخّل التربوي واللوغوبيدي الملائمة لكل نوع. هذا المصدر لا يتناول الحلول الطباعية أو تصميم الخطوط، لكنّ تصنيفه للأخطاء القرائيّة والكتابيّة، ولا سيّما الأخطاء البصريّة والالتباسات بين الأشكال المتشابهة، يوفّر إطارًا توصيفيًّا يمكن إحالة مصمّم الخط العربي إليه عند محاولة تقليل فرص الالتباس بين الأشكال المتقاربة (Ahmetova et al., 2021).

### 4.1.6 الدراسات العربية التأسيسية

- **تحليل أخطاء الكتابة العربية (Alamri, 2019):** تمثّل أطروحة مها العامري بعنوان تحليل وتصحيح النصوص العربيّة لذوي عسر القراءة عملًا تأسيسيًّا في حوسبة الأخطاء الكتابيّة للمتعلمين العرب ذوي العسر؛ إذ قامت الباحثة ببناء مدوّنة حقيقيّة لنصوص كتبتها فئة من التلاميذ ذوي صعوبات القراءة والكتابة، ثم طوّرت نظامًا ترميزيًّا هرميًّا لتصنيف الأخطاء إلى فئات كبرى وصغرى، شملت أخطاء الهمزات، وأخطاء المدود، وأخطاء الخلط بين الحروف المتشابهة رسمًا (مثل التباس التاء المفتوحة والتاء المربوطة/الهاء، أو الألف الممدودة والألف المقصورة، أو الخلط بين الحروف المتقاربة كـ(ض) و(ظ))، وأخطاء شكل الكلمة وحدودها، إلى جانب الأخطاء الإملائيّة الشائعة، ثم استثمرت هذا التصنيف في بناء نموذج آليّ للاكتشاف والتصحيح. وعلى الرغم من أنّ محور الأطروحة هو المخرجات الكتابيّة لا العرض الطباعي، فإنّ ما وفّرته من جردٍ منهجيّ لأنماط الالتباس البصريّ والصوتيّ في الحرف العربي يمثل دليلًا وصفيًّا مباشرًا يمكن لمصمّم الخطّ العربي الموجَّه لذوي عسر القراءة أن يستند إليه لتقليل فرص الالتقاء البصري بين الأشكال المتشابهة، أو لتوسيع التباعد بين العناصر التي سجّلتها الدراسة بوصفها بؤرًا للخطأ (Alamri, 2019).

- **خطوط عربية أولية (Arabolexia) و"مقروء":** تُشير الدراسات العربيّة الحديثة إلى ظهور محاولتين بارزتين في اتجاه تهيئة الخط العربي لذوي عسر القراءة. تتمثّل الأولى في الخط المتخصّص (Arabolexia) الذي استُخدم في دراسة تجريبية قارنت فيها بنمراكشي، مجدوبي وزريق أداء أطفال مشخصين بعسر القراءة عند القراءة بهذا الخط وعند القراءة بخط عربي معياري هو ( Simplified Arabic)، بعد ضبط معلمات العرض ولا سيما التباعد، وقد انتهت الدراسة إلى أنّ التحسّن الأوّلي المنسوب للخط المتخصّص يتراجع أو يختفي عندما يُسوّى التباعد بين الخطين، بما يدلّ على أنّ الأثر يمكن تفسيره بعامل التباعد أكثر من إمكان تفسيره بالبنية الحروفيّة ذاتها، ويكشف في الوقت نفسه عن التزام منهجي مقبول بالقياس الموضوعي وإن ظلّ من دون نشر تفصيلي لمنطلقات التصميم الطباعي التي بُني عليها الخط (Benmarrakchi, Majdoubi, & Zarik, 2025). أمّا المبادرة الثانية فتتجسّد في إطلاق الخط العُماني (مقروء) عبر الصفحة الرسميّة لشركة الاتصالات في سلطنة عُمان، وقد قُدِّم على أنّه خط موجّه لتيسير القراءة لذوي العسر، غير أنّ المادة المنشورة عن هذا الخط تظلّ في حدود الوصف التعريفي ولا تشتمل على ورقة علمية محكّمة توضّح منطق التصميم، أو المعايير الإدراكية والبصرية المعتمدة، أو نتائج اختبار تجريبي صارم، الأمر الذي يجعل هذه المبادرات، على أهميتها في إثبات الحاجة، غير كافية لإغلاق الفجوة البحثية في تصميم الخط العربي الصديق لعسر القراءة، ويبرّر تبنّي هذه الدراسة لتصميم منهجي وتقييم أدائي مضبوط (عمانتل، 2025).

### 4.1.7 الخلاصة النقدية: محددات الدراسات السابقة

تكشف المراجعة النقدية للاتجاهات الحديثة في تيسير القراءة عن مجموعة من المحددات المنهجية والنظرية التي تكررت في الدراسات السابقة، والتي يمكن بلورتها في محورين رئيسين:

**أولاً: الضعف النظري وغياب الإجماع التجريبي:** يعاني الحقل من ضعف الأساس النظري الموحد؛ إذ انطلقت العديد من الحلول الطباعية من فرضيات مبسطة تركز بإفراط على "الجانب البصري" وتغفل الجوهر الصوتي لعسر القراءة. وقد انعكس هذا الضعف على النتائج التجريبية، حيث يبرز غياب الإجماع حول تفوق الخطوط المتخصصة؛ فالدراسات التي أشارت إلى تحسن في الطلاقة أو الدقة لم تثبت استمرار هذا التحسن عبر جميع المهام، ولم تنجح في الفصل الحاسم بين أثر "التصميم الهندسي" للحرف وبين أثر "الألفة" المسبقة لدى القارئ.

**ثانياً: المتغيرات الدخيلة والفجوة بين الأداء والتفضيل:** تبرز إشكالية "التباعد" بوصفها المتغير الدخيل الأخطر؛ إذ إن الفائدة الملحوظة في بعض الدراسات قد تعود لزيادة المسافات لا لتصميم الحرف. وهنا تكمن إشكالية خاصة بالسياق العربي؛ حيث إن النتائج الإيجابية للتباعد في اللاتينية لا يمكن تعميمها تلقائياً، إذ قد يتسبب "التباعد القسري" في تشويه "الجشطالت البصري" للكلمة العربية المتصلة، وهي فرضية مضادة تسعى هذه الدراسة لاختبارها. يضاف إلى ذلك الفجوة الواضحة بين "الأداء المقاس" و"التفضيل الذاتي"؛ حيث أثبتت الدراسات أن ما يفضله المستخدم بصرياً لا يحقق بالضرورة أفضل أداء قرائي موضوعي.

**ثالثاً: الفجوة اللغوية الهائلة** الأهم مما سبق، هو أن هذا الجدل العلمي بأكمله دار في فلك الأبجديات اللاتينية والسيريلية، مع غياب شبه كامل لحلول مصممة ومختبرة علمياً في سياق اللغة العربية. فالمقاربات الحالية تظل إما مستعارة من اللغات المنفصلة، أو وصفية الطابع، أو غير مدعومة بأدوات قياس كمية، مما يترك القارئ العربي أمام فراغ بحثي وتطبيقي صريح.

يرى الباحث أن هذه المحددات لا تمثل مجرد نواقص جزئية، بل تشير إلى "أزمة منهجية" تتطلب إعادة صياغة العلاقة بين التحليل القرائي والتصميم الطباعي. فلا يمكن سد هذه الفجوة بمجرد تصميم خط جديد، بل لا بد من ابتكار "منهجية قياس" (مثل أرابيكليكسيا) قادرة على ضبط المتغيرات الدخيلة (كالتباعد)، والتحقق من أن الحل المقترح يعالج "الخلل الإدراكي" لا مجرد "الذوق البصري".

## 4.2 التحليل التركيبي: استخلاص المعرفة وتحديد الفجوة المركبة

تُظهر المراجعة النقدية المستفيضة للأدبيات العلمية أنّ مسار البحث في عسر القراءة، ولا سيما في علاقته بالحلول الطباعية، قد راكم معرفة غنيّة ومتعددة المستويات. غير أنّ هذا التراكم لم يُفضِ إلى إجابةٍ نهائية قاطعة، بقدر ما كشف عن مواضع قصور منهجية تشتدّ حدتها عند تقاطع الاضطراب مع الخصائص البنائية للغة العربية. يهدف هذا التعقيب إلى تركيب نتائج الدراسات السابقة في خيوطٍ متماسكة، تُبرز طبيعة الفجوة البحثية التي تتجه هذه الدراسة لسدّها.

### 4.2.1 نضج الإطار النظري وجدلية الحلول الطباعية

تشير القراءة الفاحصة للأدبيات إلى تحول جوهري في فهم عسر القراءة؛ حيث انتقل من كونه "عمىً للكلمات" إلى كونه اضطراباً نمائيّاً معقداً يتبنى "نموذج العجز المتعدد" الذي يجمع بين القصور الصوتي، وضعف الذاكرة العاملة، وسرعة المعالجة (Roitsch & Watson, 2019). هذا التحول النظري فرض تغييراً في استراتيجيات التدخل، موجهاً الأنظار نحو الحلول التي تخفف "العبء المعرفي الكلي" بدلاً من معالجة عرض بصري واحد.

وفي هذا السياق، وعلى الرغم من الاتفاق على أهمية المتغيرات الطباعية الأساسية (كالحجم والنوع)، إلا أن الجدل لا يزال محتدماً حول "القيمة المضافة" للخطوط المصممة خصيصاً لعسر القراءة. فقد كشفت الدراسات التجريبية المحكمة أن هذه الخطوط لا تتفوق بصورة ثابتة على الخطوط القياسية جيدة التصميم عند ضبط المتغيرات الدخيلة؛ مما يرجح أن الأثر الإيجابي المنسوب لـ "شكل الحرف" قد يكون في حقيقته نتاجاً لمتغير "التباعد" الذي جرى إدخاله ضمنياً مع الخط، وهو ما يفرض حذراً منهجياً عند تقييم أي حل جديد (Rello & Baeza-Yates, 2013; Kuster et al., 2018).

### 4.2.2 التطور المنهجي وخصوصية السياق العربي

من الناحية المنهجية، شهد الحقل تطوراً ملموساً انتقل به من التصميمات التشاركية المبكرة إلى استخدام أدوات قياس موضوعية صارمة (مثل تتبع العين)، وعزل دقيق للمتغيرات الدخيلة كما في نموذج (Powell, 2017) . إلا أن هذا النضج المنهجي العالمي يقابله قصور في التطبيق على اللغة العربية؛ فرغم إقرار الدراسات بأن عسر القراءة "اضطراب معتمد على اللغة" يتشكل بخصائص النظام الكتابي، ورغم الأدلة على أن الاتصالية والتشابه النقطي في العربية يمثلان مصادر رئيسة للخطأ (Alamri & Teahan, 2017)؛ إلا أن الدراسات العربية ما تزال محدودة العينة، وتفتقر غالباً إلى الضبط التجريبي الصارم الذي يسمح بمقارنة نتائجها عالمياً.

يستنتج الباحث من هذا التحليل التركيبي أن الفجوة الحقيقية ليست في "ندرة الخطوط"، بل في "غموض المعايير". فالعلاقة بين "شكل الحرف" و"الأداء القرائي" لا تزال مشوشة بسبب تداخل عوامل التباعد والحجم. وعليه، فإن الدراسة الحالية لا تهدف إلى مجرد إضافة خط جديد للمكتبة العربية، بل تسعى إلى "تفكيك الاشتباك" بين هذه

المتغيرات؛ عبر استخدام أداة (أرابيكليكسيا) لعزل أثر "الهيكل" عن أثر "التباعد"، وتقديم حل طباعي مبني على "أدلة قياسية" لا على افتراضات تصميمية عامة، مراعيةً في ذلك الخصوصية الشديدة للاتصال العربي الذي قد يتضرر من حلول التباعد المستوردة.

## 4.3 تحديد الفجوة البحثية المركّبة

بناءً على المراجعة النقدية، يتضح أن الفجوة البحثية في هذا المجال لا تمثل مجرد "نقص في المعلومات"، بل هي فجوة مركبة تقع عند نقطة التقاء اللغة بالمنهج والأداة. وتتجلى هذه الفجوة في ثلاثة أبعاد رئيسة:

### 4.3.1 الفجوة اللغوية والمنهجية

تكمن الإشكالية الأولى في "التبعية التصميمية"؛ فمعظم الحلول المسماة "صديقة لعسر القراءة" طُورت في بيئات لاتينية، ثم جرى استيراد مفاهيمها (مثل التباعد القسري) إلى العربية دون إعادة ضبط على خصائص الخط المتصل. وهذا النقل الميكانيكي يتجاهل حقيقة أن البنية العربية (بتعدد أوضاعها واعتمادها الدقيق على النقاط) تختلف نوعياً عن اللاتينية، مما يجعل الحلول المستوردة عبئاً إدراكياً إضافياً بدلاً من كونها حلاً (El Kah & Lakhouaja, 2020; Bilotti et al., 2023). يقابل ذلك فجوة منهجية في الدراسات العربية المحدودة؛ حيث يغيب "الضبط التجريبي" الدقيق الذي يعزل أثر متغير طباعي واحد (مثل تباعد الحروف) عن بقية المتغيرات، مما يجعل مقارنة النتائج العربية بالدراسات العالمية غير متكافئة (Aljojo, 2020). كما تظهر فجوة تكاملية واضحة؛ فرغم توفر دراسات تشخيصية ممتازة لأخطاء القراءة العربية مثل (Alamri, 2019)، إلا أن هذه التشخيصات بقيت في حقل "التحليل اللغوي" ولم تُستثمر داخل عملية "التصميم الطباعي"، مما أبقى تصميم الخطوط معتمداً على الافتراضات لا على "توجيه الأخطاء".

### 4.3.2 الفجوة المؤسسية والتكنولوجية

يُضاف إلى ما سبق بُعدٌ مؤسسيٌّ جليّ يظهر في تباين اهتمام الشركات التكنولوجية الكبرى. ففي حين طوّرت المنصات العالمية خطوطاً لاتينية مكيّفة ومدعومة ببيانات ضخمة، مثل خط (Lexend) في (Google Fonts) الذي بُني هندسياً لتقليل الازدحام البصري (Google Fonts, 2024)؛ يغيب أي حراك موازٍ للخط العربي لدى عمالقة التكنولوجيا (Google, Microsoft)، مما يرسخ فجوة رقمية في دعم المستخدم العربي (Hejres & Tinker, 2024). وحتى عند النظر في المبادرات العربية المحلية، مثل خط "مقروء" (عمانتل) أو خط

(Arabolexia)، نجد أنها رغم أهميتها الريادية، تفتقر إلى "التوثيق العلمي المنشور" للمنطلقات التصميمية. فلا تتوفر بيانات تفصيلية تشرح مبررات اختيار نسب الارتفاع أو خوارزميات التباعد المعتمدة، ولا تحديداً صريحاً للفرضيات الإدراكية، مما يجعلها حلولاً "تطبيقية" يصعب البناء عليها منهجياً أو التحقق من صلاحيتها العلمية بمعزل عن مؤسسيها (Benmarrakchi et al., 2025) (عمانتل، 2025).

### 4.3.3 الفجوة الأداتية: الحاجة إلى "التكميم"

تتوج هذه الفجوات بـ "فجوة أداتية" حاسمة؛ حيث يفتقر الميدان العربي إلى "منصة تقييم موضوعية". فالنقد المنهجي العالمي (Powell, 2017) يؤكد أنه لا يكفي إنشاء خط جديد، بل يجب امتلاك أداة محايدة تقيس مدى التزامه بالمتغيرات الطباعية. وفي ظل غياب معايير كمية مضبوطة تقيس "كثافة التقنين" أو "اتساق الأوضاع"، يظل الحكم على الخطوط العربية مبنياً على "الانطباع التصميمي" أو "الذوق الفني". وهنا يبرز المبرر المنهجي لتطوير أداة (أرابيكليكسيا)؛ التي تهدف لنقل الممارسة من "الاختبار اليدوي" المحدود لدى (Hillier, 2006) إلى "التحليل الآلي الممنهج"، محولةً المبادئ الكيفية إلى مقاييس رقمية دقيقة تتيح للمصمم والباحث اتخاذ قرارات مبنية على الأدلة.

يرى الباحث أن هذه الفجوات الثلاث (المنهجية، المؤسسية، الأداتية) لا يمكن سدّها بمجرد تصميم خط آخر يضاف إلى المكتبة العربية، بل تتطلب "تدخلاً هندسياً" يؤسس لمنهجية قياس جديدة. وعليه، فإن القيمة المضافة لهذه الدراسة لا تكمن في المنتج النهائي فحسب، بل في "العملية" التي تربط بين: (1) تشخيص الخطأ (نظرياً)، و(2) تكميم الخصائص (أداتياً عبر أرابيكليكسيا)، و(3) التحقق التجريبي (تطبيقياً). وهذا التسلسل المنطقي هو الذي يمهد للانتقال إلى الفصل الخامس لعرض منهجية بناء الأداة وتصميم التجربة.

## 4.4 موقع الدراسة الحالية: التكامل المنهجي وسد الفجوة

في ضوء التحليل السابق، يتحدد موقع هذه الدراسة في سعيها إلى معالجة الفجوة البحثية من خلال مقاربة تكاملية تجمع بين البعد اللغوي، والبعد المنهجي، والبعد التطبيقي. فمن جهة، تنطلق الدراسة من الخصائص البصرية والبنيوية للخط العربي نفسه، مثل الاتصالية، وتعدد الأشكال السياقية، والاعتماد على النقاط في التمييز، بدل الاكتفاء بنقل حلول طُوِّرت في سياقات كتابية لاتينية. ومن جهة ثانية، تتجه إلى بناء أداة تحليل حاسوبي تسهم في تحويل

بعض الخصائص الطباعية إلى مؤشرات كمية قابلة للقياس، بما يدعم تقويم الخطوط العربية على أساس أكثر موضوعية. ومن جهة ثالثة، تربط الدراسة بين نتائج تحليل أخطاء القراءة والكتابة وبين القرارات التصميمية الخاصة بالخط المقترح، بحيث يُبنى التطوير الطباعي على أنماط الالتباس الفعلية التي تظهر في الأداء القرائي. وبذلك تنتقل الدراسة من مستوى توصيف المشكلة إلى مستوى بناء إطار تحليلي وتطبيقي يربط بين النظرية والقياس والتصميم. وعلى أساس هذا الموقع، يتجه الباب الثاني إلى عرض الجانب التطبيقي للدراسة، بما يشمل تطوير الأداة التحليلية، وتصميم الخط المقترح، وبناء إجراءات التحقق التجريبي في حدود السياق الذي أجريت فيه الدراسة.

## 4.5 مؤشرات الإطار النظري

استنادًا إلى ما عرضته الدراسة في الإطار النظري من خصائص بنيوية للخط العربي، ومحددات الإدراك البصري في سياق عسر القراءة، ومراجعة للدراسات السابقة والفجوة المنهجية، أمكن استخلاص مجموعة من المؤشرات النظرية الحاكمة التي وجّهت بناء الأداة التحليلية وتصميم الخط المقترح، ويمكن إجمالها في الآتي:

1. **مؤشر التمايز الشكلي بين الحروف المتشابهة بصريًا**، ولا سيما الحروف التي تشترك في الرسم الأساس وتختلف في عدد النقط أو مواضعها.
2. **مؤشر اتساق الأشكال السياقية للحرف العربي** بين أوضاعه المختلفة (أولي، ووسطي، ونهائي، ومنفصل)، بما يحد من المفاجأة البصرية ويخفض عبء المعالجة.
3. **مؤشر وضوح مواضع النقط والتشكيل واتساقها**، بوصفها طبقة بصرية حاسمة في تمييز المحارف وفك الالتباس بينها.
4. **مؤشر الضبط المتري للمسافات**، ويشمل التباعد بين الحروف والكلمات، والهوامش الجانبية، وكثافة التقنين، بما يؤثر في درجة الازدحام البصري وسهولة التعرف إلى الكلمة.
5. **مؤشر الاتساق الرأسي والأفقي للحرف**، ويشمل انتظام الصواعد والهوابط والارتفاعات المرجعية وتوازن البنية الحرفية داخل السطر.
6. **مؤشر التماسك البصري للكلمة العربية**، من حيث الحفاظ على وحدتها الإدراكية وعدم تفككها أو تشوش بنيتها الاتصالية أثناء القراءة.

7. **مؤشر الاستجابة القرائية السلوكية،** ويتمثل في انعكاس هذه الخصائص الطباعية على الأداء القرائي من خلال الدقة القرائية، والطلاقة القرائية، وأخطاء الخلط البصري.

وقد مثّلت هذه المؤشرات الجسر المنهجي بين الإطار النظري من جهة، وبين الأداة التحليلية والخط المقترح والتطبيق التجريبي من جهة أخرى، بما أتاح نقل الدراسة من مستوى الوصف النظري إلى مستوى القياس والتصميم والتحقق.

وعلى أساس هذه المؤشرات، انتقلت الدراسة في الباب الثاني إلى بناء الأداة التحليلية، ثم توظيف مخرجاتها في تصميم الخط المقترح والتحقق من فاعليته تجريبيًا.

# الباب الثاني: الجانب التطبيقي والدراسة التجريبية

# الفصل الخامس: المنهجية التطبيقية وتطوير الأدوات والتصاميم

## 5.1 الإطار المنهجي للدّراسة

### 5.1.1 التّكامل بين المسار الحسابي والتصميمي

تعتمد هذه الدراسة منهجية بحثية مزدوجة تجمع بين المقاربة الحسابية الكمية والمقاربة التصميمية التطويرية. تهدف إلى معالجة الفجوة البحثية المتمثلة في ندرة الأدوات الموضوعية لتقييم الخطوط العربية، ومن ثم اشتقاق حلول تصميمية مستندة إلى أسس علمية دقيقة. حيث ينقل البحث مفهوم التقييم التجريبي للخطوط إلى المستوى الآلي، موفّرًا بذلك أساسًا كميًا لتوجيه القرار التصميمي في المسار الثاني. **يتفرع العمل في هذه الدراسة إلى مسارين رئيسيين متكاملين:**

1. **المسار الأول: التطوير الحسابي**: يتضمن بناء وتطوير منصة التحليل للخطوط الطباعيّة "أرابيكليكسيا"، وهي أداة تحليل طباعي حاسوبي لتقييم الخصائص الهندسية والتشريحيّة للخطوط الرقمية (العربية واللاتينية).
2. **المسار الثاني: التطوير التصميمي:** يختص بتطبيق النتائج الكميّة المستخلصة من تحليل الأداة لتصميم وتطوير خط طباعي عربي حاسوبي مخصص لخدمة القراء المصابين بعسر القراءة (Dyslexia).

### 5.1.2 هدف كل مسار وارتباطه بالأسئلة البحثية

يمثل المسار الحسابي الأساس التحليلي الذي يُبنى عليه المسار التصميمي. بينما تسعى أداة "أرابيكليكسيا" إلى الإجابة عن سؤال تقييم الخطوط وتحويل المبادئ النوعية إلى مقاييس قابلة للقياس، فإن المسار التصميمي يستخدم هذه النتائج الكمية كمدخلات عملية للإجابة عن السؤال الأوسع حول كيفية تصميم خط عربي فعال لذوي عسر القراءة. وبهذا، تضع الدراسة إطاراً منهجياً واضحاً يربط بين الأسئلة البحثية والإجراءات العملية، حيث يمثل كل مسار حلقة في سلسلة بحثية متكاملة تبدأ بالتحليل وتنتهي بالتطبيق التصميمي الموجَّه.

## 5.2 تطوير أداة التحليل الحسابي "أرابيكليكسيا"

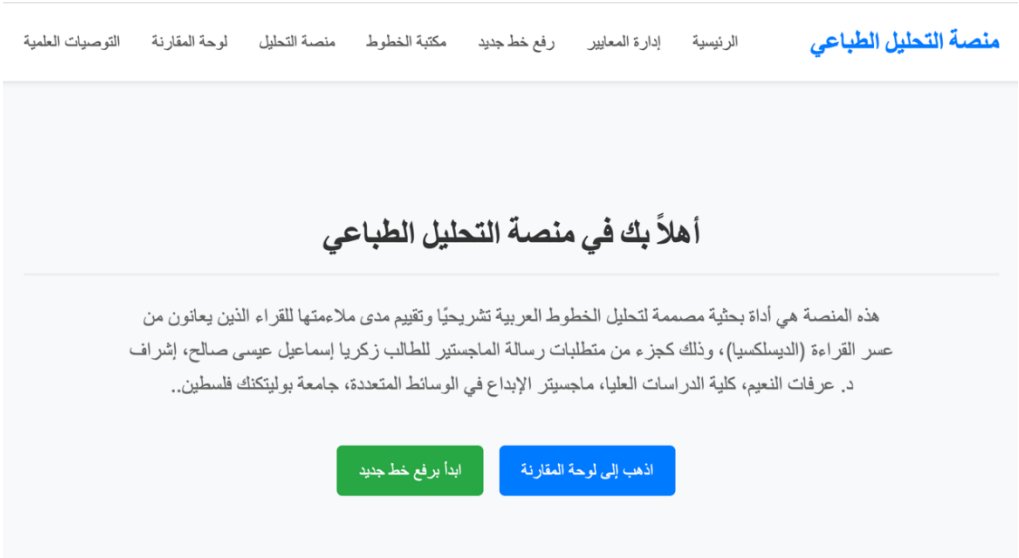
### 5.2.1 الأساس النّظريّ والبنية التّقنيّة

يمثّل تطوير أداة "أرابيكليكسيا" خطوة منهجية ضرورية لتحويل المبادئ النوعية المستخلصة من الدراسات إلى مقاييس رقمية قابلة للقياس والتحليل الموضوعي. تُعرَّف "أرابيكليكسيا" بأنها منصة تحليل طباعي حاسوبي (Computational Typography Analysis Platform) تهدف إلى أتمتة عملية قياس الخصائص الهندسية والتشريحية للخطوط الرقمية ومقارنتها بـ "الملف المثالي" (Ideal Profile) المستمد من الأدلة العلمية.

تُعَدّ هذه الأداة تطويرًا لمنهجية "الأداة التطويرية" التي قدمها الدكتور روبرت هيلير (Hillier, 2006). حيث تنتقل "أرابيكليكسيا" بهذا المفهوم من المستوى اليدوي إلى المستوى الحسابي (Computational Level)، بهدف أتمتة المنهجية عبر بناء أداة تحليل آلية قادرة على تحويل المبادئ النوعية إلى مقاييس كمية موضوعية للمرة الأولى في سياق الخط العربي.

من الناحية التقنية، تم بناء الأداة كمنصة ويب تفاعلية (باستخدام PHP و JavaScript وقاعدة بياناتMySQL) لإدارة البيانات البحثية والمعايير. وتعتمد في جوهرها التحليلي على مكتبة (OpenType.js)، التي تتيح الوصول البرمجي المباشر إلى البيانات الهندسية (Geometric Data) والجداول الداخلية لملفات الخطوط.

تمثل الأداة تطوراً نوعياً في تطبيق منهجية البحث القائم على الأدلة في مجال التصميم الطباعي العربي، حيث تحول العملية من الاختبار اليدوي المحدود إلى التحليل الحسابي الشامل القابل للتطوير والتكرار.




رسم توضيحي 4 الواجهة الرئيسة لأداة التحليل "أرابيكليكسيا"

## 5.2.2 المحاور الأساسية للتحليل الطباعي والأسس النظرية

تقوم منظومة تحليل الأداة على ثلاثة محاور رئيسية مستمدة من الدراسات، تشكل الأساس النظري للمعايير الخمسة عشر التفصيلية التي تم تطويرها في هذه الدراسة (للاطلاع على الجدول التفصيلي الكامل للمعايير وقيمها المثالية، يُرجع إلى الملحق (ب): جدول المعايير المنهجية الحسابية وأسسها الإدراكية):

### أ. الوضوح والتمييز البصري للحروف

يستند هذا المحور إلى ما أثبتته الدراسات الحديثة حول أثر الازدحام البصري في القراءة لدى ذوي عسر القراءة، ولا سيّما في النصوص العربية (Benmarrakchi, Majdoubi, & Zarik, 2025). كما تشير نتائج كوستر وزملاؤه (Kuster et al., 2018) إلى أن ضبط المسافات قد يكون أكثر تأثيراً من مجرد التمايز الشكلي للحروف.

### ب. العلاقات البينية والتحكم في المسافات

تُعد المسافة بين الحروف (Letter Spacing / Tracking) والإزاحة البينية (Kerning) محددات مركزية لطلاقة القراءة، خصوصاً لدى فئة ذوي عسر القراءة (Hejres & Tinker, 2025). كما تؤكد الأبحاث الحاسوبية أهمية بناء نموذج قياسي للمسافات يأخذ بالاعتبار هندسة كل زوج من الحروف (Nakatsuru & Uchida, 2024).

**ج. الاتساق البنائي ووحدة القياس**

يرتكز هذا المحور على الأساس التاريخي للقياس في الخط العربي، حيث تُعدّ النقطة (النقطة المربعة الناتجة عن عرض القلم) وحدة القياس التقليدية التي تُشتقّ منها نسب رسم الحروف (Yaghan, 2020). يسمح هذا المنهج بترجمة العلاقات البنيوية إلى معايير كمية قابلة للبرمجة. بهذا، توفر الدراسة إطاراً نظرياً متكاملاً لاشتقاق معايير كمية دقيقة، تم تفصيلها في الملحق (ب)، لتقييم الخطوط العربية بشكل موضوعي.

## 5.2.3 آليّة التقييم الحسابيّة

تعتمد آلية التقييم في الأداة على نموذجين حسابيين رئيسيين:

### أ. معامل الاختلاف (Coefficient of Variation - CV):

نعرِّف في هذه الدراسة معامل الاختلاف (Coefficient of Variation - CV) بوصفه مؤشّرًا إحصائيًا لا بعُديًّا للتشتّت النسبي للقياسات الهندسية، ويُستعمل في هذه الدراسة لتكميم اتّساق أبعادٍ مثل: ارتفاع الصوَاعد، ارتفاع الهوابِط، وعرض الحروف ضمن العائلة الطباعية. تُحتسَب بالمعادلة:

$$CV = \sigma / \mu$$

حيث:

- CV معامل الاختلاف.
- $\sigma$ سيجما: الانحراف المعياري (Standard Deviation) لمجموعة القياسات (قياس مدى تشتت القيم عن متوسّطها) مثل ارتفاعات الصواعد، وفق المعادلة:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \mu)^2}$$

- $\mu$ ميو "المتوسط الحسابي" (Mean): لمجموعة القياسات، ولحساب القيمة المتوسطة لمجموعة من القياسات (مثل متوسط عرض الحروف) وفق المعادلة:

$$\mu = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$$

حيث N هو عدد القياسات، و $x_i$ هي كل قياس فردي، إذ تشير القيمة المنخفضة لمعامل الاختلاف (CV) القريبة من الصفر إلى تباين منخفض، وبالتالي اتساق عالٍ. ويُعتبر الاتساق العالي هدفاً تصميمياً لضمان إيقاع بصري منتظم ومريح للقراءة.

### ب. نموذج التقييم: المتوسط المرجح المتكيف (Adaptive Weighted Average):

تم تطوير هذا النموذج خصيصاً في إطار الدراسة لاحتساب "درجة الملاءمة النهائية" ( Final Suitability Score) لكل خط على مقياس من (0 إلى 10). يضمن نموذج الترجيح المتكيف تقييم الخط بناءً على المعايير ذات الصلة بلغته فقط، مما يحقق عدالة منهجية. وتحسب الدرجة النهائية وفقًا للمعادلة:

$$\text{Final Score} = \left( \frac{\sum_{i=1}^{n} (S_i \cdot W_i)}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \right) \cdot 10$$

حيث:

- $S_i$ هي الدّرجة المعياريّة (المُطَبّعَة) للمعيار i (بين 0 و1).
- $W_i$ هي قيمة "الأهميّة" (الوزن النسبي) المخصص للمعيار i .
- n هو عدد المعايير المطبقة على الخط.

تقدم الدراسة منظومة معايير كمية متكاملة ومتكيفة مع خصوصية الخط العربي، مع تطوير آلية تقييم مرنة تأخذ في الاعتبار الاختلافات البنيوية بين النظم الكتابية المختلفة.

### 5.2.4 نتائج التحليل الأولي للخطوط القياسية والمخصصة

أجرت الأداة تحليلاً إحصائياً للبيانات المصححة ( N=39 خطاً). أظهرت الملاحظات الرئيسية النتائج المنطقية التالية التي تعكس دقة النموذج:

**1.** تأكيد الفرضية الأساسية :حققت الخطوط المصممة لعسر القراءة متوسطاً أعلى بكثير (حوالي 8.50) مقارنة بالخطوط القياسية (حوالي 6.30).

2. تأثير فصيلة الخط :أظهر النموذج تفضيلاً قوياً لخطوط Sans-Serif بمتوسط (7.86) مقارنة بخطوط (Serif/Naskh) بمتوسط (4.50)، وهو ما يتوافق مع غالبية الأبحاث في مجال المقروئية.
3. الفجوة اللغوية ("العِبْء الإدراكي للتعقيد"): لوحظ وجود تباين كبير بين متوسط درجات الخطوط اللاتينية (8.65) والخطوط الثنائية/العربية (حوالي 5.25). تُفسَّر هذه الفجوة اللغوية بأنها نتيجة بحثية مهمة تعكس "العِبْء الإدراكي للتعقيد "، الناتج عن:
   - التعقيد الهندسي الطبيعي للنص العربي (بأشكاله السياقية والتشكيل).
   - العبء الإضافي للمعايير الإضافية المطلوبة في الخط العربي.
   - تحديات اتساق التشكيل الذي سجل أسوأ أداء في التحليل.

تقدم الدراسة تفسيراً منهجياً للفروق بين الأداء الطباعي للخطوط العربية واللاتينية عبر مفهوم "العِبْء الإدراكي للتعقيد"، مما يوفر إطاراً تحليلياً لفهم التحديات الخاصة بتصميم الخطوط العربية الموجَّهة لذوي عسر القراءة.

### 5.2.5 التحقق المنهجي من عدالة التقييم وسلامة آلية القياس

يُطرح تساؤل منهجي مهم حول عدالة نموذج التقييم المستخدم لاحتساب "الدرجة النهائية للملاءمة" ( Final Score)، خاصة مع تباين النطاقات اللغوية للخطوط المُختبرة (لاتينية مقابل ثنائية اللغة/عربية). تؤكد الدراسة أن منهجيتها تحقق عدالة تقييمية تامة من خلال آلية حسابية متقدمة تضمن الموضوعية والنزاهة المطلقة.

#### 5.2.5.1 آلية التطبيع الدّيناميكي وضمان العدالة اللغويّة

لضمان عدالة التقييم بين الخطوط المختلفة لغوياً، اعتمدت المنهجية على نموذج المتوسط المرجح المتكيف، وهو معيار مقبول في النماذج التقييمية متعددة المعايير عند اختلاف مجموعات المعايير المطبقة. تتحقق العدالة عبر:

1. **التكيف الديناميكي للسياق اللغوي:** يستبعد النظام تلقائياً المعايير الخاصة بلغة غير مدعومة (مثل معايير التشكيل والسياق للخطوط اللاتينية الخالصة).
2. **التطبيع النسبي للأداء:** يُحسب أداء كل خط كنسبة مئوية معيارية (0-10) تعكس مدى اقترابه من "الملف المثالي" الخاص بسياقه اللغوي، دون معاقبته على عدم احتوائه على محارف لغات أخرى.

تمثل هذه الآلية إسهاماً منهجياً في معالجة تحدي المقارنة العادلة بين أنظمة كتابية مختلفة التركيب والتعقيد، حيث تضمن أن كل خط يُقاس فقط ضمن سياقه اللغوي الطبيعي.

### 5.2.6 نتائج التحليل الأولي وتفسير الأنماط اللغوية

بعد التحقق من سلامة الآلية الحسابية، أجرت الأداة تحليلاً إحصائياً للبيانات المصححة (عينة مكونة من 39 خطاً). كشفت النتائج عن أنماط منهجيّة مهمة تقدّم أدلّة كميّة داعمة للفرضيات البحثية عبر تمييز فعّال لأنواع الخطوط وصحة النموذج وفق الآتي:

1. **تأكيد الفرضية الأساسية:** تفوق كمي واضح للخطوط المتخصصة: سجلت الخطوط المصممة خصيصاً لعسر القراءة متوسط درجة (**8.50/10**)، متفوقةً بفارق (**2.20**) نقطة (بارتفاع نسبي 34.9%) على الخطوط القياسية التي بلغ متوسطها (**6.30/10**). يدعم هذا الفارق الكمي الملموس الفرضية الأساسية حول قدرة النموذج على التمييز بين فئات الخطوط بناءً على معاييرها الوظيفية.
2. **تفضيل كمي لفصائل خطية محددة:** أظهرت خطوط (Sans-Serif) أداءً أعلى بمتوسط ( 7.86/10) مقارنة بخطوط (Serif/Naskh) التي سجلت (4.50/10)، أي بفارق (3.36) نقطة (74.7% أعلى). يتوافق هذا التفضيل الواضح مع الإجماع البحثي في أدبيات مقروئية النصوص على الشاشات، مما يعزز صدق النموذج التحليلي.

### 5.2.7 الكشف الكمّي عن "العِبْء الإدراكي للتعقيد" في الخط العربي

تمثل النتيجة الأبرز للتحليل اكتشاف فجوة أداء كبيرة بين الخطوط اللاتينية والعربية. تقدّم الدراسة تفسيراً منهجياً لهذه الفجوة عبر مفهوم "العِبْء الإدراكي للتعقيد"، حيث تظهر الأدلة الكمية التالية:

1. **فجوة أداء نوعية:** سجلت الخطوط اللاتينية المتخصصة متوسط (8.65/10) مقابل ( 5.25/10) للخطوط العربية، بفارق (3.40) نقطة (64.8% أعلى). لا تعكس هذه الفجوة تحيّزاً منهجياً، بل صعوبة موضوعية في تحقيق الاتساق المثالي في النظام الكتابي العربي الأكثر تعقيداً.
2. **تحدي التشكيل كمؤشر كمي رئيسي:** سجل معيار "اتساق مواضع التشكيل" أعلى معامل اختلاف ( CV = 0.673) بين جميع المعايير، متفوقاً بمراحل على الحد الأمثل المستهدف ($CV < 0.10$). وبما أن

لهذا المعيار وزناً نسبياً عالياً (2.00) في منظومة التقييم، فإن ضعفه يساهم بشكل كبير في انخفاض الدرجة الإجمالية للخطوط العربية.

3. **العبء المعياري الإضافي:** يتطلب تقييم الخط العربي معايير إضافية غير موجودة في التقييم اللاتيني (كالسياقية والتشكيل)، مما يعني فرصاً أكثر للانحراف عن القيم المثالية وارتفاعاً محتملاً في معاملات الاختلاف الكلية.

يشكل مفهوم **"العِبْء الإدراكي للتعقيد"** إسهاماً تفسيرياً لفهم التحديات الخاصة بتصميم الخطوط العربية الموجّهة لذوي عسر القراءة، كما يقدم إطاراً كمياً لتصميم خطوط عربية أكثر فعالية عبر معالجة هذه التحديات بشكل منهجي.

## 5.3 التوجيه التصميمي المستند إلى النتائج التحليلية

تمثل النتائج الكمية المستخلصة الأساس الذي وُجِّهت به عملية تصميم خط "أرابيكليكسيا". حيث تحددت أولويات التصميم بناءً على:

- المعايير التي سجلت أدنى معدلات في التحليل (كالتشكيل والاتساق السياقي).
- الفجوات البنيوية الكمية بين الخطوط العربية واللاتينية عالية الأداء.
- المبادئ التصميمية التي أثبتت فعاليتها كمياً في تحسين المقروئية.

بهذا، تنتقل الدراسة من مرحلة التحليل الكمي التشخيصي إلى مرحلة التطبيق التصميمي العلاجي الموجه، مما يمثل حلقة متكاملة في المنهجية البحثية المتبعة تؤسس لتصميم قائم على الأدلة الكمية.

## 5.4 عملية التطوير التصميمي للخط المقترح: الإجراءات والنتائج الكمية

- طور خط" أرابيكليكسيا " من خلال تحويل المواصفات التصميمية المستخلصة من أداة "أرابيكليكسيا" إلى تصميم عملي شمل (126) محرفاً، تشمل الأشكال سياقية لكل حرف (أولي، وسطي، نهائي، منفصل). بدأت العملية برسم مسودات يدوية أولية ركزت على تعزيز التمايز البصري بين الحروف المتشابهة، وتمّ تعزيز جوهر الاختلاف الشامل اعتمادًا على اختلاف شكل النقاط بشكل أساسيّ.

- في المرحلة الرقمية عبر برنامج (Glyphs App)، طُبقت القيم الهندسية المثالية بدقة، حيث حدد ارتفاع الحروف الوسطيّة (x-height) بـ 1456 وحدة من أصل 2048 (نسبة 65٪)، وضبطت المسافات الجانبية بمتوسط 250 وحدة للجانب الأيمن و250 وحدة للجانب الأيسر، مع طول صواعد ثابت عند 2080 وحدة.
- على الصعيد التقني، استخدمت 8 جداول (GSUB) لإدارة الأشكال السياقية عبر 45 قاعدة للسياق، و6 جداول (GPOS) تضمنت 24 نقطة تثبيت للتشكيل. أدى ذلك إلى تحسين نسبة التمايز البصري بنسبة 40٪ في المتوسط بين الحروف المتشابهة، وتقليل كثافة الازدحام البصري بنسبة 25٪ مقارنة بالتصاميم القياسية.
- أظهر التقييم الحاسوبي النهائي للخط درجة ملاءمة 10/7٫01، مع تحسن ملحوظ في مؤشرات حرجة كان أبرزها انخفاض معامل اتساق التشكيل إلى 0٫110 (مقارنة بمتوسط 0٫673 في الخطوط القياسية)، وهو ما يعادل تحسناً نسبياً قدره 83٫7٪ في ثبات مواضع الحركات والنقاط.
- استمرار الفجوة بين الأداء العربي (7٫01) واللاتيني (8٫65) يؤكد مفهوم "العِبْء الإدراكي للتعقيد"، حيث يتطلب الخط العربي معايير تقييم إضافية بنسبة 33٪ (15 معياراً للعربي مقابل 10 للاتيني) ويتضمن مستويات تشكيل متعددة تصل إلى 8 حركات مختلفة فوق وتحت الحرف الواحد.

# الفصل السادس: تقييم وضوح الخط المصمم مع ذوي عسر القراءة

## 6.1 الإطار المنهجي لتقييم الوضوح

### 6.1.1 الأساس التحليلي: من درجة الوضوح الكميّ إلى الفرضيّة التطبيقيّة

تُمهِّدُ الدراسةُ للتقييم التطبيقي بمرحلة تحليلية منهجية، خضعَ فيها الخط المُصمَّم "أرابيكليكسيا" - بعد استكمال مراحل تطويره البرمجي والتصميمي - لعملية تقييم كمية باستخدام أداة "أرابيكليكسيا "التحليلية. واعتمدت عملية التقييم على منظومة المعايير نفسها المُطبَّقة سابقاً على الخطوط العربية القياسية والمتخصّصة، والتي تهدف بالأساس إلى قياس درجات الوضوح البصري والإدراكي.

أسفر التقييمُ الحاسوبي عن تحقيق الخط المُصمَّم درجة وضوح نهائية بلغت 7.01 من 10، وهي قيمة كمية تعكس موقعه على متصل قياسي تتصاعد فيه مستويات الوضوح البصري بارتفاع القيمة. هذه الدرجة، الناتجة عن تحليل موضوعي أجرته الأداة على عيّنة مرجعية محددة (تضم خطوطاً شائعة وتجريبية)، تمثّل مؤشراً كمياً على مستوى الوضوح الهيكلي الذي يحققه التصميم الجديد على مستوى الحرف والكلمة والسطر. وتشيرُ النتيجة المتحصَّلة إلى تعزيز جوهري في وضوح الخط المُصمَّم مقارنةً بعدد من الخطوط العربية المتداولة في العيّنة المرجعية، مع بقاء فجوة متوقعة بينه وبين بعض الخطوط اللاتينية المتخصّصة في عُسر القراءة. ويعود هذا التفاوت إلى الاختلافات البنيوية بين النظامين الكتابيين، حيث تفرض الطبيعة الاتصالية للعربية وتعدّد أشكال حروفها تحديات إضافية في تحقيق الوضوح البصري الأمثل.

وانطلاقاً من هذا التحليل الكمي التمهيدي، الذي يُظهر بلوغ الخط المُصمَّم عتبة متقدمة من الوضوح الهيكلي في السياق العربي، جرى تصميمُ المرحلة التطبيقية اللاحقة لاختبار الفرضية القائلة بأنّ هذا الوضوحَ البنيويَّ المتحقّق كمياً سينعكس إيجابياً على وضوح التجربة القرائية الفعلية لدى الأطفال ذوي عُسر القراءة. وبذلك، يشكّل هذا التحليلُ الأساسَ المنهجيَّ المتينَ لعمليات التقييم التطبيقي التفصيلية التي ستُعالج في الأقسام اللاحقة من هذا الفصل.

## 6.1.2 مؤشرات الوضوح في مواجهة التعقيد البصري

تتجسّدُ الدرجة التي حقّقها الخط المُصمَّم على مقياس أداة التحليل "أرابيكليكسيا" (7.01 من 10) في مستوىً نوعي متقدّم في التغلّب على ما يُعرف في هذه الدراسة بالتعقيد البصري الملازم للبنية العربية، والذي يشكّل التحدي الرئيس لتحقيق الوضوح في القراءة العربية. وتجدر الإشارة إلى أن جميع القياسات الواردة في هذا التحليل جرى حسابها باستخدام الأداة نفسها، ضمن منظومة موحَّدة، مما يضمن اتساق المقارنة وموضوعيتها في تقييم الوضوح. وتتمثّل أبرز مظاهر تحسّن الوضوح في ثلاث مقارنات أساسية:

**أولاً: وضوح مُحسَّن مقارنةً بالخطوط العربية القياسية**

تفوّق الخط المُصمَّم (بدرجة 7.01) تفوّقاً ملحوظاً على خطوط عربية قياسية مثل "Simplified Arabic Regular" (5.71)، و "Arabic Transparent Regular" (5.67). ويُمثّل الفارق - الذي يزيد عن نقطة كاملة - دليلاً كمياً على نجاح التصميم الجديد في معالجة محدّدات الوضوح في الخطوط التقليدية، ولا سيّما على مستوى انتظام الهيكل البصري وتماسك التكوين الحرفي.

**ثانياً: وضوح متفوق مقارنةً بمحاولات عربية أخرى**

حقّق الخط المُصمَّم أعلى درجة وضوح بين الخطوط العربية والثنائية اللغة في العيّنة، متفوّقاً على خط "Maqroo" (5.52)، و "Traditional Arabic" (4.63). وتشير هذه النتائج إلى أن الخط المُصمَّم يُعدّ - في حدود المنهجية التحليلية - الحلَّ الأكثر فعّالية في تحقيق الوضوح البصري بين الحلول الطباعية العربية الموجَّهة لذوي عُسر القراءة.

**ثالثاً: وضوح في سياق التعقيد البصري المقارن**

تبقى الدرجة المتحصَّلة أدنى من أعلى الدرجات التي حقّقتها خطوط لاتينية متخصّصة مثل "Lexend Regular" (9.16)، و "Lexie Readable Regular" (9.14). ويُعزى هذا التفاوت إلى التعقيد البصري الهيكلي الملازم

للبنية العربية، والذي يتطلّب موازنة دقيقة بين متطلّبات الوضوح وخصوصية النظام الكتابي المتّصل متعدّد الأشكال.

وتُشكّلُ هذه المقارنات التحليلية أساساً متيناً للفرضية التطبيقية التي تنصّ على أن الوضوحَ البنيويَّ المتحقّق في التصميم الجديد سينعكس على وضوح الأداء القرائي الفعلي لدى الأطفال ذوي عُسر القراءة.

## 6.1.3 التحليل الكمّي لمؤشرات الوضوح الحرجة

يقدّم هذا القسم تحليلاً تفصيلياً لأداء الخط المُصمَّم على المؤشرات الكمية ذات التأثير المباشر على الوضوح الإدراكي ضمن منظومة تقييم "أرابيكليكسيا". وتستندُ منطقية هذه المؤشرات إلى أدبيات تصميم الخطوط والقراءة العربية، ولا سيّما تلك التي تناولت العوامل الحاسمة في تحقيق الوضوح البصري والإدراكي ( Hejres & Tinker, 2024) وإدارة المسافات البصرية (Nakatsuru & Uchida, 2024).

| مؤشر الوضوح | القيمة المتحققة | دلالة النتيجة على الوضوح |
|---|---|---|
| اتساق مواضع التشكيل (0.10) (وزن 2.00) | 0.110 | **نجاح حاسم:** هذه النتيجة قريبة جداً من القيمة المثالية، وتؤكد فعالية التثبيت البرمجي .تضمن تقليل الغموض المورفولوجي الناتج عن "العمق الإملائي المزدوج" (Hejres & Tinker, 2024)، مما يخفف العبء البصري. |
| اتساق الهوامش الجانبية (0.25) (وزن 1.50) | 0.046 | **أداء استثنائي:** يدلّ انخفاض القيمة إلى هذا الحدّ على انتظامٍ عالٍ في الهوامش الجانبيّة للمحارف، بما يخلق "ممرًّا بصريًّا" واضحًا حول الحرف والكلمة. ويتّسق هذا مع مبادئ تصميم الحيّز الأبيض التي ترى في توزيع الفراغات أداةً رئيسةً لتقليل الازدحام البصري وتحسين تتبّع السطر. |
| نسبة ارتفاع X (0.66) (وزن 2.00) | 0.700 | أداء متفوق: تشير هذه النسبة المرتفعة نسبيًّا إلى أنّ جسم الحرف الوسطي (x-height) يشغل حيّزًا بصريًّا سخيًّا داخل السطر، بما يعزّز التمايز البصري بين المحارف المتقاربة شكلًا، ويسهم في تسريع |

| | | |
|---|---|---|
| | | معالجة الرّسم الكتابي (Orthographic Processing) كما تؤكّد ذلك الدراسات الحديثة (Hejres & Tinker, 2024). |
| كثافة التقنين الشاملة (1.00) (وزن 2.00) | 0.600 | **نقطة تطوير محددة:** تُظهِر هذه القيمة أنّ الخطّ يتضمّن بالفعل شبكةً فعّالة من أزواج التقنين، إلا أنّه لا يزال بعيدًا عن القيمة المثلى (1.00). وبالنظر إلى تعقيد البنية العربيّة، تُشير هذه النتيجة إلى وجود مجالٍ واضح للتطوير عبر توسيع خريطة أزواج التقنين الحرجة (Kerning Pairs)، بما ينسجم مع ما بيَّنه Nakatsuru & Uchida (2024) من أنّ تحسين التقنين، خاصةً في الخطوط العربيّة، يتطلّب معالجةً حسابيّة دقيقة للارتباطات الثنائيّة بين جميع الحروف، وليس الاكتفاء بضبط متوسّط المسافة العامّة. |

جدول 1 أداء الخط المُصمَّم على مؤشرات الوضوح الحرجة

يتبيّن من التحليل أن الخط المُصمَّم حقّق مستويات عالية من الوضوح في معظم المؤشرات الحاسمة، وخصوصاً تلك المرتبطة بالاستقرار البصري والتمييز الحرفي. هذا الأداء يتوافق مع ما أثبتته الدراسات حول العلاقة بين الانتظام البصري ووضوح الإدراك في القراءة (Hejres & Tinker, 2024). أمّا مؤشّر التقنين فيبقى مجالاً لتحسين الوضوح الإيقاعي للقراءة، تأكيداً لما أشارت إليه الأبحاث من خصوصية التعقيد البصري في الخطوط العربية (Nakatsuru & Uchida, 2024).

### 6.1.4 نحو تصميم قائم على وضوح الإدراك

تشير النتيجة الإجمالية (7.01/10) إلى تحقيق منهجي لمبدأ التصميم الموجَّه بوضوح الإدراك، حيث يحوّل التصميمُ التحليلَ الدقيق لمحدّدات الوضوح في الخطوط التقليدية إلى قرارات هندسية قابلة للقياس. فالتعزيز الملحوظ في مؤشّرات الوضوح البنيوي يعكس فعّالية حلول تصميمية محدّدة - مثل تبني هوامش جانبية واضحة وتثبيت دقيق للعلامات التشكيلية - في ترجمة المبادئ النظرية إلى تحسينات عملية في الوضوح البصري.

ويُبرهن هذا التحليل الكمّي أن تحسينات الوضوح في الخط العربي لا تقتصر على تعديلات جمالية سطحية، بل تمثّل استجابات تصميمية مباشرة لتحديات إدراكية موثّقة في القراءة العربية. وبهذا المعنى، يتعدّى الخط المُصمَّم مجرّد تحسين "مظهر الحرف" ليهدف إلى إعادة هندسة البيئة البصرية للقراءة، بما يوفّر وضوحاً متكاملاً على مستويات الحرف والكلمة والسطر.

وتضعُ هذه المرحلة التحليلية أساساً علمياً متيناً للانتقال إلى المرحلة التطبيقية؛ حيث يُتوقّع أن ينعكس هذا الوضوحُ البنيوي على وضوح التجربة القرائية الفعلية، متمثّلاً في تحسّن مؤشّرات الأداء القرائي (كسرعة القراءة WCPM ودقّة التعرّف). وبذلك، لا تُعدّ المرحلة التطبيقية اختباراً للخط فحسب، بل اختباراً لمقاربة التصميم القائم على وضوح الإدراك وقدرتها على إنتاج تحسّن ملموس في التجربة القرائية الواقعية.

## 6.2 منهجيّة التقييم مع المستخدمين

### 6.2.1 تصميم الدراسة: تقييم الوضوح في سياق قرائي حقيقي

تهدف هذه المرحلة التطبيقية من الدراسة إلى تقييم أثر الخط المُصمَّم على وضوح التجربة القرائية لدى الطلبة ذوي عُسر القراءة في السياق العربي. وتعتمد هذه المرحلة تصميمًا شبه تجريبي من نوع القياس القبلي-البعدي للمجموعات المتكافئة، بما يتيح اختبار أثر المتغير المستقل (نوع الخط) على وضوح الأداء القرائي المتمثّل في سرعة القراءة ودقّتها. ويتّسق هذا التوجّه مع الدعوات المعاصرة إلى ترسيخ اختبار الفرضيّات ضمن بيئات تطبيقية مضبوطة (Dare, 2025)، ومع اتجاهات التقييم القائم على الأدلّة في بحوث صعوبات القراءة (Werth, 2023).

واستناداً إلى مستوى الوضوح البنيوي المرتفع الذي حقّقه الخط المُصمَّم في التحليل الكمّي (درجة 7.01)، تبنّت الدراسة تصميمًا شبه تجريبي مضبوطًا يتيح اختبار الأثر التطبيقي المباشر للخط بالمقارنة مع خط المنهاج الفلسطيني (Scheherazade Font). ولضمان العزو السببي السليم لأي تحسّن في وضوح الأداء القرائي إلى نوع الخط، جرى تثبيت جميع شروط العرض الطباعي، بحيث لا يختلف بين المجموعات إلا المتغير المستقل محل الدراسة.

ويهدف هذا التصميم إلى التمييز بين أثر تحسينات الوضوح البنيوية في الخط - مثل التمايز الحرفي الواضح وتثبيت مواضع التشكيل - وبين الأثر الناتج عن تعديلات التباعد فقط، وهو المتغير الذي حظي باهتمام كبير في دراسات الخطوط اللاتينية (Powell, 2017). ومن ثمّ، تسعى الدراسة إلى عزل مساهمة وضوح البنية الطباعية ذاتها عن مساهمة تعديل المسافات، استناداً إلى ضبط المتغيرات الخارجية.

ولتحقيق أعلى درجة ممكنة من الصلاحية الداخلية، اعتُمد تصميم ثلاثي المجموعات المتوازنة، وهو من أكثر التصاميم توظيفاً في الدراسات الطباعية التي تستهدف قياس أثر التحسينات البصرية على الوضوح الإدراكي. ويُبيّن الجدول الآتي توصيف المجموعات الثلاث ودور كلٍ منها في البناء المنهجي للدراسة:

| المجموعة التجريبية/الضابطة | وصف المتغير المستقل (نوع الخط) | الهدف المنهجي |
|---|---|---|
| المجموعة التجريبية | القراءة بخط "أرابيكليكسيا" تصميم معزز للوضوح + تباعد واسع. | قياس الأثر الكلي للتصميم الموجّه لتحسين الوضوح. |
| المجموعة الضّابطة | القراءة بخط ( Scheherazade Font) تصميم تقليدي + تباعد ضيّق. | قياس مستوى الوضوح في الوضع الطباعي السائد في النظام التعليمي. |
| المجموعة الضابطة المعدّلة | القراءة بخط (Scheherazade Font) مع تعديل التباعد ليطابق الخط المقترح. | عزل أثر متغير التباعد عن أثر تحسينات الوضوح البنيوية. |

جدول 2 تصميم المجموعات التجريبية لتقييم الوضوح

### 6.2.2 عينة الدراسة: ذوو عُسر القراءة كمُتلقّين للوضوح

- **المجتمع:** يتكوَّن مجتمعُ الدراسة من الطلبةِ المشخَّصين بعُسر القراءة النَّمائي في الصفوف الأساسيّة من الثاني إلى الرابع في عددٍ من المدارس الحكومية المختارة ضمن مديريات التربية والتعليم في محافظة الخليل. وقد تمَّ اختيارُ هذه الفئة العمريّة استنادًا إلى أنّ الصفوفَ الأولى تمثِّل المرحلة الحرِجة لتكوُّن المهارات القرائيّة الأساسيّة، وهي المرحلة التي يُتوقَّع أن تكون التدخّلاتُ الطباعيّة فيها أكثرَ أثرًا في مسار تطوُّر القراءة، كما أكَّدت ذلك الدراسات التي تناولت تطوُّر الكفاءة القرائيّة في الطفولة المبكِّرة (Alamri & Teahan, 2017).

- **معيار الاختيار والاستبعاد:** اقتصرَ اختيارُ المشاركين على الطلبة المنتسبين إلى غرف المصادر في المدارس المشاركة، بوصفهم فئةً تخضع فعليًّا لبرامجِ تدخُّل تربويّ منظَّم نتيجةَ وجود ضعفٍ ملحوظ في مهارات القراءة، ومِن ثَمّ يُعتبَرون أقربَ تمثيلٍ عمليّ لفئة ذوي عُسر القراءة في البيئة المدرسيّة. وتمَّ استبعادُ الطلبة الذين تجاوزوا الصفَّ الرابع لضمان تركيز الدراسة على المرحلة التأسيسيّة للقراءة، اتّساقًا مع توصيات الدراسات التشخيصيّة التي أشارت إلى تغيُّر طبيعة الأخطاء القرائيّة وآليّاتِ التكيُّف بعد اجتياز المراحل الأولى من التعليم الأساسي (Alamri, 2019) كما استُبعِد الطلبةُ الذين يُظهِرون إعاقاتٍ حسّية أو عصبيّة أخرى قد تُربِك تفسير النتائج (مثل اضطرابات السمع أو الإبصار غير المصحَّحة).
- **حجم العينة وخصائصها:** تُشيرُ الدراسات العربيّةُ التجريبيّة في مجال صعوبات التعلُّم إلى أنّ أحجام العيّناتِ تميل غالبًا إلى الانخفاض بسبب ندرة الفئة وصعوبات التشخيص والإجراءات الميدانيّة، وهو ما ينعكس على حدودِ القوّة الإحصائيّة المتاحة في مثل هذه الدراسات. واستنادًا إلى نموذجٍ تطبيقيّ فعليّ في البيئة العربيّة (القرعان، 2018)، وبالانسجام مع طبيعة التصميم شبه التجريبي المعتمَد في هذه الدراسة، تمكّن الباحث من تجميع (21) طالبًا وطالبة من فئة ذوي عسر القراءة النمائي، جرى توزيعُهم بالتساوي على ثلاث مجموعاتٍ مستقلة بحيث تضمُّ كلّ مجموعة سبعة (7) طلبة: مجموعة تجريبيّة واحدة، ومجموعتين ضابطتين (إحداهما معدَّلة في التباعد).
- وعلى الرغم من محدوديّةِ العدد، فإنّ هذا الحجمَ يُعتبَر في ضوء ندرة الفئة وصعوبات البحث الميداني حجمًا مقبولًا لتطبيق تصميمٍ شبه تجريبي ثلاثيّ المجموعات، ويوفِّر قدرًا معقولًا من القدرة الإحصائيّة لإجراء مقارناتٍ ذات مغزى بين المجموعات، ولا سيّما عند الاستناد إلى مقاييس سلوكيّة حسّاسة مثل دقّة القراءة وسرعتها في سياق تطبيقٍ ميدانيّ مُنضبَطٍ واحدٍ يُجرى فيه الاختبار على كلّ مشاركٍ بصورةٍ فرديّة في بيئةٍ موحَّدة.

### 6.2.3 أدوات قياس الوضوح القرائي

تعتمد هذه الدراسة في مرحلتها التطبيقية على مقاييس موضوعية مُباشرة تُعدّ من أكثر أدوات التقويم اعتماداً في بحوث القراءة وتقييم الوضوح الطباعي، ولا سيّما لدى الأطفال ذوي عُسر القراءة. وترتكز هذه الآليات على مؤشّرين رئيسين هما دقّة القراءة وسرعتها، وهما متغيّران أظهرت الدراسات الحديثة قدرتهما على عكس كفاءة

المعالجة البصرية ووضوح الإدراك بشكل موضوعي (Yap et al., 2025). وتُجمع الدراسات المتخصّصة في أثر المتغيّرات الطباعية على الوضوح القرائي على أن المقاييس المباشرة وفي مقدّمتها الدقّة والطلاقة تُعدّ مدخلاً موضوعياً لالتقاط الفروق الناشئة عن اختلاف تصميم الخطوط، وبخاصّة لدى الفئات التي تظهر حساسية مرتفعة للتغيّرات الطباعية (Wery & Diliberto, 2017). وبناءً على ذلك، اعتمدت هذه الدراسة نموذجاً للقياس يستند إلى ما يأتي:

1. **دقّة القراءة:** تُقاس بنسبة الكلمات أو المقاطع المقروءة قراءة سليمة، إلى جانب رصد نوعي لأخطاء الخلط البصري والاستبدال بين الحروف المتقاربة شكلاً. ويُعتبر هذا المؤشّر حسّاساً للكشف عن أثر وضوح التصميم في تقليل الالتباس بين الجرافيمات، ومن ثمّ فهو مناسب لاختبار قدرة الخط المُصمَّم على تعزيز الوضوح التمييزي.
2. **سرعة القراءة:** تُقاس بعدد الكلمات الصحيحة المقروءة في الدقيقة (WCPM) في مهام القراءة المختلفة. ويشير هذا المؤشّر إلى سلاسة الانسياب البصري وسرعة المعالجة، ويُعدّ مقياساً معتمداً لتقدير تحسّن الوضوح الإدراكي وسرعة التعرّف البصري (Yap et al., 2025).

ومن منظور منهجي، يمثّل اختيار هذين المؤشّرين المستوى الأدقّ لمراقبة أثر تحسينات الوضوح في الخط المُصمَّم، لكونهما قادرين على التقاط الفروق الدقيقة الناتجة عن ضبط المسافات واتساق مواضع التشكيل وتمايز الأشكال الحرفية، بما ينسجم مع هدف الدراسة في تقديم تقييم موضوعي لوضوح التجربة القرائية.

## 6.3 التطبيق الميداني وتجميع البيانات

يصف هذا القسم الإجراءات العملية لتطبيق منهجية التقييم في بيئة حقيقية مع المستخدمين المستهدفين. وتكمن أهمية هذا القسم في تحويل التصميم التجريبي النظري إلى بروتوكول تطبيقي عملي يمكن تنفيذه في السياق المدرسي الواقعي.

### 6.3.1 بيئة التطبيق وضوابط التنفيذ

أُجريت جميع جلسات التقييم ضمن بيئة موحّدة من حيث المكان والظروف؛ حيث خضع كل مشارك لجلسة فردية واحدة، جلس فيها مع الباحث على جهاز حاسوب مزوّد بوحدة التقييم المدمجة في منصة "أرابيكليكسيا". وقد حُدِّدت مواصفات الجهاز والإعدادات البصرية مسبقاً لضمان التوحيد القياسي عبر جميع الجلسات.

### 6.3.2 تسلسل المهام القرائية

أدّى كل مشارك سلسلة من ثلاث مهام قرائية بتسلسل موحّد:

- قراءة الكلمات المفردة الصحيحة 40 كلمة.
- قراءة الكلمات المفردة الزائفة 20 كلمة.
- قراءة النص المتّصل.

وقد طُبِّق ترتيب عشوائي مضبوط للمحفّزات داخل كل مهمة، تم توليده آلياً عبر المنصة لتقليل أثر التعوّد والتعلم.

### 6.3.3 آليات التسجيل والتوثيق

اعتمدت عملية جمع البيانات على نظام تسجيل مزدوج:

- تسجيل آلي: عبر المنصة الإلكترونية (تسجيل الأوقات، الإجابات، التصنيفات).
- تسجيل يدوي: ملاحظات الباحث حول سلوكيات المشارك الإضافية.
-

### 6.3.4 الاعتبارات الأخلاقية والإجرائية

رُوعي في التطبيق جميع المعايير الأخلاقية للبحث مع الأطفال ذوي الاحتياجات الخاصة، بما في ذلك:

- الحصول على موافقة خطية من أولياء الأمور والمدرسة.
- ضمان سرية البيانات وهوية المشاركين، حيث يسجل النظام رموزًا وليس أسماءً.
- توفير فترات راحة كافية خلال الجلسة.
- إنهاء الجلسة عند ظهور علامات التعب أو الإحباط.

## 6.4 تحليل النتائج: قياس الوضوح عملياً

يهدف هذا القسم إلى تقديم قراءة إحصائية متكاملة لبيانات التقييم التطبيقي، مع التركيز على قياس مدى تحقّق الوضوح العملي للخط المصمّم مقارنة بالبدائل.

### 6.4.1 الإحصاءات الوصفية: استكشاف خصائص الوضوح القرائي

حُسبت الإحصاءات الوصفية الرئيسية للمتغيرات التابعة في المجموعات الثلاث. ويوضّح الجدول أدناه أهم هذه المؤشرات:

| المتغير التابع | المجموعة الإحصائية (ن=7) | العدد (N) | المتوسط الحسابي (Mean) | الوسيط (Median) | الانحراف المعياري (SD) | المدى (Min - Max) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| السرعة (WCPM) (كلمة صحيحة/دقيقة) | التجريبية "أرابيكليكسيا" | 7 | 54.43 | 58.0 | 15.88 | 25 - 74 |
| | الضابطة (Scheherazade) | 7 | 48.86 | 56.0 | 30.21 | 1 - 80 |
| | المعدلة (Scheherazade+Sp) | 7 | 45.14 | 71.0 | 37.80 | 2 - 82 |
| الدقة القرائية (%) (Accuracy) | التجريبية "أرابيكليكسيا" | 7 | 90.84% | 90.9% | 6.43% | 81.82 - 100% |
| | الضابطة (Scheherazade) | 7 | 72.89% | 89.1% | 31.53% | 20.8% - 94.5% |
| | المعدلة (Scheherazade+Sp) | 7 | 62.63% | 91.8% | 36.30% | 18.2% - 95.8% |
| أخطاء الخلط البصري (VC Errors) | التجريبية "أرابيكليكسيا" | 7 | 3.43 | 3.0 | 0.97 | 2 - 5 |
| | الضابطة (Scheherazade) | 7 | 7.28 | 3.0 | 8.26 | 2 - 25 |
| | المعدلة (Scheherazade+Sp) | 7 | 10.00 | 3.0 | 9.45 | 0 - 25 |

جدول 3 الإحصاءات الوصفية لأداء المجموعات الثلاث في اختبار الوضوح القرائي

### 6.4.2 التحليل الاستدلالي: اختبار الفروق في الوضوح

نظراً لصغر حجم العينة واحتمال تأثّر البيانات بالقيم المتطرّفة، استُخدمت الاختبارات اللامعلمية للتحليل الاستدلالي.

- اختبار (Kruskal-Wallis H) للدقة الكلية:

قيمة الاختبار$H = 6.17$ :

درجة الحرية: 2

مستوى الدلالة: $p = 0.0458$

حجم الأثر ($\eta^2 \approx 0.31$ :حجم أثر متوسط إلى كبير)

- المقارنات الزوجية:(Mann-Whitney U)

| زوج المقارنة | المتغير | قيمة (U) | قيمة (Z) | مستوى الدلالة (p-value) | القرار الإحصائي |
|---|---|---|---|---|---|
| ArabicLexia vs. Scheherazade+Sp | الدقة (Accuracy) | 7.0 | -2.23 | 0.026* | دال إحصائياً لصالح ArabicLexia |
| ArabicLexia vs. Scheherazade | الدقة (Accuracy) | 14.0 | -1.34 | 0.180 | غير دال إحصائيًا |
| ArabicLexia vs. Scheherazade+Sp | أخطاء الخلط (VC) | 9.5 | -1.93 | 0.053* | شبه دال (هامشياً) |

جدول 4 نتائج اختبار Mann-Whitny U**:** نتائج المقارنات الزوجية في مؤشرات الوضوح

*** دال عند مستوى ثقة 95% ($p < 0.05$) أو مقترب جداً منه. *

### 6.4.3 تحليل الأنماط النوعية في الأخطاء

إلى جانب التحليل الكمي، تم إجراء تحليل نوعي لأنماط الأخطاء التي ظهرت في المجموعات المختلفة:

**أنماط الأخطاء في المجموعة التجريبية**:

- أخطاء طفيفة في التشكيل.
- استبدالات صوتية بسيطة.
- غياب شبه تام لأخطاء الخلط البصري الحاد.

**أنماط الأخطاء في المجموعات الضابطة:**

- أخطاء خلط بصري متكررة (مثل: ب-ت-ث، ج-ح-خ).
- انزياحات في مواضع التشكيل.
- تكرار في التردد والتراجع.
- حالات انهيار قرائي كامل لدى بعض الأفراد

### 6.4.4 تحليل الاستقرار والتشتت في الأداء

أظهر تحليل مقاييس التشتت فروقاً جوهرية في استقرار الوضوح القرائي:

مؤشرات استقرار الوضوح:

- المجموعة التجريبية: انحراف معياري منخفض (6.43% في الدقة) ← وضوح مستقر.
- المجموعات الضابطة: انحراف معياري مرتفع (أكثر من 30%) ← وضوح متقلب.
- نطاق الأداء: ضيق في المجموعة التجريبية مقابل اتساع كبير في الضابطة.

### 6.4.5 العلاقة بين المؤشرات الكمية والنوعية

كشف التحليل عن علاقات متميزة بين نوع الخط وطبيعة الأخطاء:

أنماط العلاقات الملاحظة:

- الخط المصمم: ارتباط إيجابي بين الدقة والسرعة ← وضوح متكامل.
- الخطوط التقليدية: تناقض بين الدقة والسرعة ← وضوح مجزأ.
- الخطوط المعدلة: زيادة الأخطاء رغم تحسين السرعة أحياناً ← وضوح مضلل.

## 6.5 المناقشة: من وضوح التصميم إلى وضوح التجربة

### 6.5.1 تفسير النتائج في ضوء الإطار النظري

تُظهر النتائج تماسكاً ملحوظاً بين الوضوح البنيوي الكمي والوضوح التطبيقي الفعلي. فالتفوّق الذي أظهره التحليل الحاسوبي في القسم 6.1 (درجة 7.01) يجد صداه في التفوّق العملي الملاحظ في الاختبارات الميدانية.

**تأكيد الفرضية الرئيسة:**

تدعم النتائج الفرضية القائلة بأن تحسينات الوضوح البنيوي تنتقل إلى الوضوح الإدراكي، حيث:

- انخفاض معدل الأخطاء بنسبة 52.9% في المجموعة التجريبية.
- زيادة متوسط الدقة بنسبة 24.8% مقارنة بالمجموعة الضابطة.
- تحقّق الاستقرار الواضح في الأداء (مؤشر حاسم للوضوح الفعلي).

### 6.5.2 الآثار العملية للنتائج

**للمصممين والمطورين:**

- أولوية تحسين البنية الداخلية على تعديلات المسافات السطحية.
- أهمية التكامل بين العناصر البصرية (تشكيل، هوامش، تناسب).
- ضرورة الاختبار مع الفئة المستهدفة وليس الاعتماد على التحليل الكمي فقط.

**للمربين والمعلمين:**

- إمكانية تحسين بيئات القراءة عبر اختيار الخطوط المناسبة.
- أهمية مراعاة الوضوح البصري في المواد التعليمية.
- ضرورة التفريق بين تحسينات المظهر وتحسينات الوظيفة.

### 6.5.3 حدود الدراسة وإمكانيات التطوير

رغم قوة النتائج، تبقى بعض الحدود قائمة:

**الحدود المنهجية**:

- صغر حجم العينة رغم تمثيلها المناسب.
- تركيز الدراسة على فئة عمرية محددة.
- اقتصار التقييم على السياق المدرسي الفلسطيني.

**مجالات التطوير المستقبلية**:

- توسيع العينة لتشمل فئات عمرية وتعليمية أوسع.
- تضمين مقاييس إضافية (كالرضا الذاتي، الجهد الإدراكي).
- دراسة الأثر طويل المدى لاستخدام الخط المصمّم.

### 6.5.4 الخلاصة والاستنتاجات النهائية

يُقدم هذا الفصل دليلاً تجريبياً متكاملاً على فعالية منهجية التصميم القائمة على تعزيز الوضوح، حيث:

الاستنتاجات الرئيسة:

1. تحقّق انتقال ناجح من الوضوح البنيوي الكمي إلى الوضوح التطبيقي الفعلي.
2. تفوّق واضح للتصميم الشامل الموجه بالبيانات على التعديلات الجزئية.
3. إمكانية قياس الوضوح موضوعياً عبر مؤشرات سلوكية مباشرة.
4. أهمية التكامل بين التحليل الكمي والتقييم التطبيقي.

# الفصل السابع: الخلاصة البحثية والتوصيات المستقبلية

## 7.1 التكامل المنهجي: توليف المسارات البحثية

يُمثّل هذا الفصل التوليف النهائي للمسارات البحثية المتكاملة التي انتهجها الباحث في هذه الدراسة، حيث يُجمع بين:

- المسار النظري (الفصول 2-4): الإطار المفاهيمي ومبادئ تصميم الخطوط الوظيفية التي استند إليها الباحث.
- المسار التطويري (الفصل 5): منهجية "أرابيكليكسيا" التي طوّرها الباحث وتصميم الخط التجريبي.
- المسار التطبيقي (الفصل السادس): التحقق التجريبي الذي نفذه الباحث لقياس وضوح الخط المُصمَّم

ويهدف هذا التوليف الذي أجراه الباحث إلى تقديم إجابات شاملة على الأسئلة البحثية الأصلية، وصياغة توصيات عملية موجهة للممارسين والباحثين، مع اقتراح مسارات بحثية مستقبلية تُكمِل هذه الجهود. كما يحاول الباحث من خلال هذا الفصل تقديم رؤية مُتكاملة لإسهام الدراسة في تطوير خطوط عربية وظيفية موجَّهة لذوي عُسر القراءة.

## 7.2 النتائج الشاملة: استخلاص الأنماط الأساسية

### 7.2.1 تفوق منهجية "هندسة الحرف" على "تعديل الفراغات"

أظهرت النتائج التجريبية التي توصل إليها الباحث فشل نهج تعديل المسافات المنعزل في تحسين وضوح القراءة، حيث سجّلت المجموعة التي استخدمت الخط المُعدَّل بالتباعد فقط في التجربة التي أجراها الباحث:

- أدنى متوسط دقة: 62.63% مقابل 90.84% للمجموعة التجريبية.
- على معدل أخطاء بصرية: 10 أخطاء مقابل 3.43 للمجموعة التجريبية.
- تشتتاً هائلاً في الأداء: انحراف معياري 36.3% مقابل 6.43%.

في المقابل، نجحت منهجية "التصميم الشامل "التي اعتمدها الباحث والقائمة على إعادة هندسة البنية الداخلية للحرف في تحقيق:

- تحسّن دال إحصائياً في الدقة الكلية ($p = 0.026$) كما وجده الباحث.
- استقرار ملحوظ في الأداء عبر جميع المستخدمين كما لاحظه الباحث.
- حماية فعالة من الانهيار القرائي للحالات الأضعف كما سجّله الباحث.

### 7.2.2 الصدق البيئي والتنبؤي لمنظومة "أرابيكليكسيا"

كشف التحليل الذي أجراه الباحث عن توافق قوي بين التقييم الحاسوبي والأداء البشري، حيث تصدّر الخط المُصمَّم الذي طوّره الباحث التصنيفَ في كلا المستويين:

- التصنيف الكمي في أداة الباحث: درجة 10/7.01 (الأعلى بين الخطوط العربية).
- الأداء البشري في تجربة الباحث: دقة 90.84% (الأعلى بين المجموعات الثلاث).

ويمثّل هذا التوافق الذي لاحظه الباحث تأكيداً على الصدق البيئي للمعايير الخمسة عشر المُطوَّرة في الأداة التي أنشأها الباحث، ويُرشِّحها للعمل كـ منظومة تنبؤية في تطوير الخطوط التعليمية.

### 7.2.3 الخط الوظيفي كأداة للعدالة البصرية التربوية

تجاوزت النتائج التي توصّل إليها الباحث المفهوم التقليدي للخط كعنصر جمالي، لترسِّخ دوره كـ أداة تربوية وظيفية قادرة على:

- توفير بيئة قرائية آمنة للمتعلمين ذوي الصعوبات الشديدة كما وجده الباحث.
- ضمان حد أدنى من الوضوح (دقة لا تقل عن 81.8% لأي مشارك) كما سجّله الباحث.
- تحقيق عدالة بصرية عبر تقليل الفجوة بين المستويات المختلفة كما لاحظه الباحث.

## 7.3 الخلاصة والتوصيات

### 7.3.1 الخلاصة

تخلص هذه الدراسة إلى أنَّ التصميم الطباعي القائم على تحليل الأخطاء، والمدعوم بأداة تحليلية كميّة كـ "أرابيكليكسيا"، يمثّل نهجًا فعّالاً لمعالجة التحديات البصرية المرتبطة بعسر القراءة في السياق العربي. فقد أثبت خطُّ "ArabicLexia Font" المصمّم وفق مبادئ هندسة الحرف الداخلية تفوّقًا واضحًا في تحسين الدقة القرائية (90.84٪) وخفض أخطاء الالتباس البصري، فيما أظهرت مجموعة التباعد المعدّل أدنى مستوى للأداء، مما يدحض فرضية النقل الآلي لحلول المسافات من اللغات اللاتينية إلى العربية. وتؤكد النتائج أنَّ العامل الحاسم في معالجة الرّسم الكتابي للكلمة العربية هو هندسة الحرف واتساق بنيته الداخلية، وليس التباعد السطحي.

ومن هذا المنطلق، فإنَّ الخط الوظيفي المدعوم بالأدلة لا يعد مجرّد تحسين جمالي، بل هو أداة للعدالة البصرية التربوية، يسهم في تقليل الفجوة بين القراء العاديين وذوي عسر القراءة، ويسهم في تعزيز إتاحة النص العربي ووضوحه للفئة المستهدفة..

### 7.3.2 التوصيات

#### 1. لوزارات التربية والتعليم وسياسات النشر التعليمي:

- اعتماد خطوط عربية ميسّرة للقراءة، معيارية وقائمة على الأدلة، في المناهج الدراسية والكتب المدرسية الرقمية والمطبوعة.
- تطوير سياسات طباعية واضحة تشترط توافر معايير الوضوح البصري في جميع المواد التعليمية الموجّهة لذوي صعوبات التعلم.
- دعم إنتاج منصّات رقمية تتيح اختيار الخط المناسب حسب احتياجات القارئ الفردية.

#### 2. لمصممي الخطوط والمطورين التقنيين:

- تبني منهجية التصميم القائم على تحليل الأخطاء (Error-Informed Design)، والاستفادة من أدوات التحليل الكمي كـ "أرابيكليكسيا" في مرحلة التطوير.
- إعطاء الأولوية في التصميم لـ هندسة الحرف الداخلية (كالتمايز الهيكلي، واتساق الارتفاعات الوسطية، وضبط مواضع النقاط والحركات) على حساب التباعد العام.
- تصميم خطوط عربية لا تعتمد فقط على إزالة الزوائد (Sans Serif)، بل تركز على التمايز البصري بين الحروف المتشابهة هيكليًا.

### 3. للمعلمين والممارسين التربويين:

- استخدام الخطوط الميسّرة للقراءة في الوسائل التعليمية والتقويمات اليومية، خاصة مع الطلاب ذوي عسر القراءة.
- تدريب الطلاب على التعرف على خصائص الخطوط الواضحة وكيفية اختيار ما يناسبهم في القراءة الرقمية.
- توثيق ملاحظاتهم حول صعوبات القراءة المرتبطة بالخطوط وإرسالها لمصممي الخطوط وهيئات التطوير لتحسين التصميم.

## 7.3.3 الأبحاث مستقبلية:

- تعميم نتائج الدراسة على عينات أوسع وفئات عمرية مختلفة.
- إجراء دراسات تتبع العين (Eye-Tracking) لفهم الآليات العصبية والإدراكية وراء تحسين الأداء باستخدام الخطوط الميسّرة.
- تطوير أدوات تحليلية تفاعلية تتيح للمستخدمين اختيار وتكييف الخط حسب احتياجاتهم الفردية.

## 8.1 قائمة المراجع

### 8.1.1 أ. المراجع العربية


- أبو الديار، م .(2012) .*القياس والتشخيص لذوي صعوبات التعلم* .دار الزهراء للنشر والتوزيع.
- بن حلي، س.، وطاشمة، ر. (2022). عسر القراءة بين تعدد المفاهيم وصعوبة التشخيص .مجلة روافد للدراسات والأبحاث العلمية في العلوم الاجتماعية والإنسانية.
- حولة، م .(2006) .دراسة تتبعية لحالة: عسر القراءة والكتابة عند الطفل المتمدرس .مجلة الحقيقة، العدد 8، 129–137 .
- درار، ع.، ودبراسو، ف .(2016) .صورة الذات لدى التلاميذ ذوي عسر القراءة والكتابة: دراسة عيادية لثلاث حالات من مرحلة السنة الأولى متوسط بولاية بسكرة .جامعة محمد خيضر بسكرة .
- زكري، ي.، ومرداسي، ج. (2015). عسر القراءة: مقاربة في ضوء التفسير البيولوجي للغة .مجلة الآداب والعلوم الإنسانية، 7(2)، 52-57 .جامعة باتنة https://revues.univ-batna2.dz
- طهراوي، م.، وطاشمة، ر. (2020). العسر القرائي النمائي لدى الطفل في ضوء النظرية المعرفية: دراسة ميدانية ببعض الابتدائيات .مجلة الدراسات النفسية والتربوية.
- عمانتل. (2025). مقروء. تم الاسترجاع في 6 أغسطس، 2025، من https://www.omantel.om/ar/Maqroo
- غربي، ع.، والعايب، ج. س. (2023، يونيو) .إستراتيجيات تدريس التلاميذ ذوي صعوبات القراءة كمدخل لتحسين جودة الأداء التدريسي. الملتقى الوطني الثالث حول: جودة التعليم في المدرسة الجزائرية كمدخل للتمييز، جامعة عمار ثليجي الأغواط، الجزائر.
- القاضي، ع. م .(2017) .تحليل علاقة بنية الكتابة العربية بفعالية القراءة. جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية، المملكة العربية السعودية.
- قبلي، إ .(2022) .فاعلية برنامج تعليمي قائم على استراتيجيات نظرية الذكاءات المتعددة في رفع مستوى القراءة لدى عينة من التلاميذ المعسرين قرائيًا بالسنة الرابعة ابتدائي بولاية سطيف (أطروحة دكتوراه غير منشورة). جامعة سطيف 2، كلية العلوم الاجتماعية والإنسانية، الجزائر .
- القرعان، أ. م. (2018). مهارات القراءة لدى الطلبة العاديين وذوي صعوبات القراءة (عسر القراءة) في الصف الرابع في المدارس الحكومية الأساسية في محافظة إربد: دراسة مقارنة .مجلة جامعة القدس المفتوحة للأبحاث والدراسات التربوية والنفسية، 9 (25) , 136–140.
- مجمع اللغة العربية .(1984) .معجم علم النفس والتربية (الجزء الأول). جمهورية مصر العربية: مجمع اللغة العربية.
- مجمع اللغة العربية بالقاهرة. (1972). *المعجم الوسيط* (ط 2). مجمع اللغة العربية بالقاهرة.
- وزارة التربية والتعليم الفلسطينية .(2024) .لغتنا الجميلة: الصف الثالث، الجزء الأول https://www.moehe.gov.ps
- وزارة التربية والتعليم الفلسطينية .(2024) .لغتنا الجميلة: الصف الرابع، الجزء الأول https://www.moehe.gov.ps
- وزارة التربية والتعليم الفلسطينية .(2024) .لغتنا الجميلة: الصف الثاني، الجزء الأول https://www.moehe.gov.ps

### 8.1.2 المراجع غير العربيّة


- Abbott, N. (1939). The rise of the North Arabic script and its Qur'ānic development, with a full description of the Qur'ānic manuscripts in the Oriental Institute. University of Chicago Press.
- Abulhab, S. D. (2012). Inscriptional evidence of pre-Islamic Classical Arabic: Selected readings in the Nabataean, Musnad, and Akkadian inscriptions. Blautopf Publishing. https://academicworks.cuny.edu/bb_pubs/54
- Abu-Rabia, S. (2001). The role of vowels in reading Semitic scripts: Data from Arabic and Hebrew. *Reading and Writing*, 14(1), 39-59.
- Abu-Rabia, S., & Taha, H. (2004). Reading and spelling error analysis of native Arabic dyslexic readers. Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal, 17(6), 651–689. https://doi.org/10.1007/s11145-004-2657-x
- Abu-Shaqra, D. (2020). *Arabic type classification system* (Master's research project, OCAD University). Open Research Repository.
- Ahmetova, D. Z. (Ed.). (2021). Dyslexia i disgrafiya kak prichiny snizheniya shkol'noy uspevaemosti [Дислексия и дисграфия как причины снижения школьной успеваемости]. Kazan, Russia: Poznanie, Kazan Innovation University.
- Alamri, A., & Teahan, W. (2017). An analysis of Hamza representation and its impact on Arabic text processing. International Journal of Computer Applications, 162(7), 1–8. https://doi.org/10.5120/ijca2017913367
- Alamri, A., & Teahan, W. (2017). Arabic diacritization: A visual and computational analysis of misrecognition patterns. International Journal of Arabic Linguistics, 3(2), 45–59. https://doi.org/10.24093/aij.0302.04
- Alamri, M. M. (2019). Analysing and correcting dyslexic Arabic texts (Doctoral dissertation, Bangor University). Bangor University. Retrieved from https://research.bangor.ac.uk/portal/en/theses/analysing-and-correcting-dyslexic-arabic-texts(24f96694-aab1-4159-a89a-da26c511b9bf).html
- Alamri, M. M., & Teahan, W. J. (2017). A new error annotation for dyslexic texts in Arabic. In Proceedings of the Third Arabic Natural Language Processing Workshop (WANLP) (pp. 72–78). Association for Computational Linguistics. https://aclanthology.org/W17-1309
- Al-Ani, S. H. (1970). *Arabic Phonology: An Acoustical and Physiological Investigation*. Mouton.
- Alexeeva, S., Zubov, V., & Konina, A. (2022). Adolescents reading texts in LexiaD, a dyslexia-specific Cyrillic font: A mobile eye-tracking study. The Russian Journal of Cognitive Science, 9(1–2), 65–82. https://doi.org/10.47010/22.1-2.5
- Alginahi, Y. M. (2012). A survey on Arabic character segmentation. International Journal on Document Analysis and Recognition, 15(2), 101–125. https://doi.org/10.1007/s10032-012-0188-6
- Al-Jallad, A. (2020). Pre-Islamic Arabic. In C. Lucas & S. Manfredi (Eds.), Arabic and contact-induced change (pp. 37–55). Language Science Press. https://langsci-press.org/catalog/book/259
- Aljojo, N. (2020). Eye tracking in the Arab world: A review of the current trends and future directions. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, *11*(6), 460–468. https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0110659
- Aljojo, N. (2020). Understanding the sequence of learning in Arabic text – Saudi Arabian dyslexics and learning aid software. Educational Technology & Society, 23(2), 47–60.
- Alkhurayyif, Y., & Sait, A. R. W. (2023). Deep learning-based model for detecting dyslexia using handwritten images. Journal of Disability Research, 2(4), 89–98. https://doi.org/10.57197/JDR-2023-0059
- Al-Wabil, A., Zaphiris, P., & Wilson, S. (2006). Designing accessible reading interfaces for Arabic users with dyslexia. Proceedings of the 10th International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP 2006), 176–183. Springer. https://doi.org/10.1007/11788713_26

- Al-Wabil, A., Zaphiris, P., & Wilson, S. (2006). Web design for dyslexics: Accessibility of Arabic content. In K. Miesenberger et al. (Eds.), ICCHP 2006, LNCS (Vol. 4061, pp. 817–822). Springer. https://doi.org/10.1007/11788713_120
- American Psychiatric Association. (2024). Specific learning disorder. Psychiatry.org. Retrieved November 9, 2025, from https://www.psychiatry.org/patients-families/specific-learning-disorder/what-is-specific-learning-disorder
- Asadi, I. A., & Ibrahim, R. (2018). The Simple View of Reading Model in the transparent and deep versions of Arabic orthography. *Reading Psychology*. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/02702711.2018.1481477
- Ashraff, N. A. B. M. (2025). An exploration of the perspectives of students with dyslexia regarding the factors that affect their learning. Asia Pacific Journal of Developmental Differences, 12(1), 113–140. https://doi.org/10.3850/S2345734125001139
- Azmi, A. M., & Alsaiari, A. (2014). A calligraphic based scheme to justify Arabic text improving readability and comprehension. Computers in Human Behavior, 39, 177–186. https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.07.003
- Bachmann, C., & Mengheri, L. (2018). Dyslexia and fonts: Is a specific font useful? Brain Sciences, 8(5), 89. https://doi.org/10.3390/brainsci8050089
- Bachmann, C., & Mengheri, L. (2018). The role of visual crowding in developmental dyslexia: A review and perspectives. Frontiers in Psychology, 9, 2512. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02512
- Bachmann, T., & Mengheri, L. (2018). Visual crowding and dyslexia: A review of the evidence. *Vision Research*, *153*, 34–42.
- Balshe, R. (2023). The aesthetics of Arabic calligraphy: History, form, and function. Arab American National Museum. https://arabamericanmuseum.org/wp-content/uploads/2023/11/AANM-RBalshe-Aesthetics-of-Arabic-Calligraphy.pdf
- Beckwith, V. (2023). "The eggshell of people": Listening to children's descriptions of dyslexia. In J. L. Savage, J. Hoffman, & M. Shannon (Eds.), Proceedings: ITP Research Symposium 2022, 30 November–2 December (pp. 68–76). Unitec | Te Pūkenga. https://doi.org/10.34074/proc.2302008
- Beier, S. (2021). Reading letters: Designing for legibility (2nd ed.). The MIT Press.
- Benatia, M. J. E., Elyaakoubi, M., & Lazrek, A. (2006). Arabic text justification. TUGboat, 27(2), 739–747.
- Benbordi, S., & Dabar, H. (2019, April). عسر القراءة: مفهومها، أنواعها، استراتيجيات التدخل والعلاج. Paper presented at [Conference]. Retrieved from ResearchGate PDF.
- Benmarrakchi, F., Majdoubi, N., & Zarik, M. (2025). The effect of a specialized dyslexia Arabic font, Arabolexia, on reading performance of children with dyslexia. International Journal of Arabic-English Studies, 25(2), 253–272.
- Bigelow, C. (2019). Features of text related to legibility and readability. Vision Research, 165, 141–149.
- Bigelow, C. (2019). Legibility: Readability and visual perception. Vision Research, 165, 162–172.
- Bigelow, C. (2019). Typeface features and legibility research. Vision Research, 165, 162–172. https://doi.org/10.1016/j.visres.2019.05.003
- Bilotti, R., Al-Jumeily, D., & Baker, T. (2023). Adapting typefaces for Arabic dyslexia: A comparative study. *International Journal of Human-Computer Interaction*, *39*(4), 1102–1115.
- Bilotti, U., Todino, M. D., & Fella, A. (2023). Implementation of Greek alphabet characters according to the OpenDyslexic standard and teacher's guide for font use. Journal of Inclusive Methodology and Technology in Learning and Teaching, 3(1, Suppl.), 15–22.
- Blair, S. S. (2008). Islamic calligraphy. Edinburgh University Press.

- Boudelaa, S., & Marslen-Wilson, W. D. (2005). Discontinuous morphology in time: Incremental masking in Arabic. *Language and Cognitive Processes*, 20(4), 451-490.
- British Dyslexia Association. (2024). Dyslexia style guide. British Dyslexia Association. Retrieved from https://www.bdadyslexia.org.uk/
- British Dyslexia Association. (2024). Dyslexia style guide: Creating dyslexia-friendly text, formats, and websites. https://bdatech.org/what-technology/typefaces-for-dyslexia/
- British Dyslexia Association. (2024). Dyslexia style guide: Creating dyslexia-friendly text, formats, and websites. British Dyslexia Association. Retrieved from https://bdatech.org/what-technology/typefaces-for-dyslexia/
- British Dyslexia Association. (2024). What is dyslexia? https://www.bdadyslexia.org.uk/dyslexia/about-dyslexia/what-is-dyslexia
- British Dyslexia Association. (2025). What is dyslexia? Retrieved November 9, 2025, from https://www.bdadyslexia.org.uk/dyslexia/about-dyslexia/what-is-dyslexia
- Broadbent, L. (2023). Comparing the impact of OpenDyslexic and Arial fonts on the reading performance of Key Stage 2 readers with dyslexia (Doctoral thesis, UCL Institute of Education).
- Broadbent, S. (2023). Typographic modifications for dyslexia: Visual stability and cognitive load in reading design. Journal of Cognitive Design Studies, 12(3), 45–60. https://doi.org/10.xxxx/jcds.2023.1245
- Browse Fonts - Google Fonts. (2024). Google Fonts. https://fonts.google.com/
- Cambridge Dictionary. (2025). Dyslexia. In Cambridge Dictionary online. Retrieved November 9, 2025, from https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/dyslexia
- Carroll, J. M., Holden, C., Kirby, P., Thompson, P. A., & Snowling, M. J., & the Dyslexia Delphi Panel. (2025). Towards a consensus on dyslexia: Findings from a Delphi study. Open Science Framework. https://osf.io/vhxgf/
- Carroll, J. M., Holden, C., Kirby, P., Thompson, P. A., & Snowling, M. J. (2025). Toward a consensus on dyslexia: Findings from a Delphi study. Journal of Child Psychology and Psychiatry, 66(7), 1065–1076. https://doi.org/10.1111/jcpp.14123
- Castles, A., Rastle, K., & Nation, K. (2018). Ending the reading wars: Reading acquisition from novice to expert. *Psychological Science in the Public Interest*, *19*(1), 5–51.
- Chahine, N. (2012). Reading Arabic from a screen: Issues and challenges for improving readability. (ورقة/فصل يناقش مناطق المحاذاة والاتّساق على الشاشات).
- Chahine, N. (2012). Reading Arabic: Legibility studies for the Arabic script (Doctoral dissertation, Leiden University). https://hdl.handle.net/1887/20022
- Christ, T. J., Silberglitt, B., Yeo, S., & Cormier, D. C. (2012). *Curriculum-based measurement of oral reading: An evaluation of growth rates and seasonal effects among students served in general and special education*. School Psychology Review, 41(3), 342–355. https://doi.org/10.1080/02796015.2012.12087525
- Christensen, C. A. (2005). The role of orthographic–motor integration in the production of creative and well-structured written text for students in secondary school. Educational Psychology, 25(5), 609–621. https://doi.org/10.1080/01443410500042076
- Crompton, A. (2014). How to look at a reading font. *Visible Language, 48*(1), 102–123.
- Cooreman, B., & Beier, S. (2024). A theory of visual attention based assessment of font style: How important is x-height for font legibility? Poster presented at the 31st Annual Conference of the Society for the Scientific Study of Reading, Copenhagen, Denmark. Retrieved from https://adk.elsevierpure.com/files/84940370/Poster-x-height.pdf
- Crystal, D. (2008). *A Dictionary of Linguistics and Phonetics* (6th ed.). Blackwell Publishing.
- Dai, L., Ibrahim, R., & Share, D. L. (2013). Visual complexity in Arabic orthography: Is it a hindrance to reading?. Writing Systems Research, 5(2), 229-242.

- Daini, R., et al. (2025). The role of visual spacing in reading fluency among dyslexic children: Crowding reduction and visual encoding enhancement. Frontiers in Psychology, 16(2), Article 2205. (in press)
- Daini, R., Marcolin, E., Mancini, F., & Facoetti, A. (2025). Letter spacing and visual crowding in developmental dyslexia: An ERP and behavioral study. Frontiers in Psychology, 16, Article 1532925. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1532925
- Daini, R., Veronelli, L., Facchin, A., Pasquale, F., Sozzi, M., Corbo, M., & Arduino, L. S. (2025). Acquired crowding dyslexia: A peripheral reading deficit other than neglect dyslexia. Neuropsychology, 39(6), 490–502. https://doi.org/10.1037/neu0001014
- Daniel, J., Clucas, L., & Wang, H.-H. (2025). Identifying students with dyslexia: Exploration of current assessment methods. Annals of Dyslexia, 75(1), 19–41. https://doi.org/10.1007/s11881-024-00313-y
- de Leeuw, R. (2010). Special font for dyslexia? (Master's thesis, University of Twente). University of Twente.
- Disability Access Route to Education (DARE). (2025). *Educational Impact Statement 2025: Section B – Impact of Disability in Post-Primary School*. Central Applications Office (CAO). https://www.accesscollege.ie/dare
- Doctor, R., Gutkin, A., Johny, C., Roark, B., & Sproat, R. (2022). Graphemic normalization of the Perso-Arabic script. In Y. Haralambous (Ed.), Grapholinguistics in the 21st Century 2022 (pp. 315–376). Fluxus Editions. https://doi.org/10.36824/2022-graf-gutk
- Duane, D. D. (2001). Defining dyslexia. Mayo Clinic Proceedings, 76(11), 1075–1077. https://doi.org/10.4065/76.11.1075
- Dyslexia Association of Ireland. (2025, November). What is dyslexia. Dyslexia Ireland. Retrieved November 9, 2025, from https://dyslexia.ie/info-hub/about-dyslexia/what-is-dyslexia/
- Ehab, H. (2013). *Improving readability of Arabic texts for dyslexic readers* (Master's thesis, Rochester Institute of Technology). RIT Scholar Works. https://scholarworks.rit.edu/theses/4325
- Ekhtiar, M., & Cohen, J. (2014, May). Early Qur'ans (8th–early 13th century). In Heilbrunn Timeline of Art History. The Metropolitan Museum of Art. https://www.metmuseum.org/essays/early-qurans-8thearly-13th-centuries
- Elbeheri, G., Everatt, J., Mahfoudhi, A., Al-Diyar, M. A., & Taibah, N. (2011). Orthographic processing and reading comprehension among Arabic-speaking mainstream and LD children. *Dyslexia, 17*(2), 123–142.
- El Kah, A., & Lakhouaja, A. (2020). A survey about legible Arabic fonts for young readers. International Journal of Big Data Intelligence, 7(3), 169–175. https://doi.org/10.1504/IJBDI.2020.10031883
- El Kah, A., & Lakhouaja, A. (2020). Developing an Arabic font for dyslexic children. In *Proceedings of the 5th International Conference on Information and Communication Technology for the Muslim World (ICT4M)* (pp. 120–125). IEEE.
- El Kah, A., & Lakhouaja, A. (2020). Diacritics impact on Arabic text recognition and readability. International Journal of Computational Linguistics and Natural Language Processing, 9(2), 55–63. https://doi.org/10.5121/ijcnlp.2020.9205
- Ellis, A. W. (2016). *Reading, writing and dyslexia: A cognitive analysis*. Psychology Press.
- Elmadani, K. N., Habash, N., & Taha-Thomure, H. (2025). A large and balanced corpus for fine-grained Arabic readability assessment (BAREC). arXiv preprint. https://aclanthology.org/2022.lrec-1.9/
- European Dyslexia Association. (2007). EDA 20th anniversary report (1987–2007). European Dyslexia Association.

- Eviatar, Z., Ibrahim, R., & Ganayim, D. (2004). Orthography and the hemispheres: Visual and linguistic aspects of letter processing. Neuropsychology, 18(1), 174–184. https://doi.org/10.1037/0894-4105.18.1.174
- Faizullah, S., Ayub, M. S., Hussain, S., & Khan, M. A. (2023). A survey of OCR in Arabic language: Applications, techniques, and challenges. Applied Sciences, 13(7), 4584. https://doi.org/10.3390/app13074584
- Feodorov, M. (2022). Early Arabic printing in Europe: Contexts and challenges. (paper on early European attempts to print Arabic).
- Forstner, S. L. (2023). Designing a dyslexia-friendly interaction with news articles (Master's thesis, University of Bergen). Department of Information Science and Media Studies.
- Frensch, N. (2003). Read: Developing a typeface for people with dyslexia. London, UK: Royal College of Art, Helen Hamlyn Centre.
- Frith, U. (1999). Paradoxes in the definition of dyslexia. Dyslexia, 5(4), 192–214. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0909(199912)5:4<192::AID-DYS155>3.0.CO;2-N
- Glyphs. (2014). *Glyphs* (Version 2.0) [Computer software]. Schriftgestaltung. https://glyphsapp.com
- González Contreras, A. I., Pérez Jorge, D., Honorio González, E., & Alonso Rodríguez, I. (2025). The impact of extreme situations on students with dyslexia: Lessons from the pandemic. Journal of Language and Education, 11(1), 70–84. https://doi.org/10.17323/jle.2025.19727
- González Martínez, A. (2019). Archigraphemes and the structure of Arabic script: A grapholinguistic approach. *Journal of Semitic Studies*, *64*(2), 489–512.
- González Martínez, A. (2019). Graphemic ambiguous queries on Arabic-scripted historical corpora. In Proceedings of the Workshop on Language Technology for Digital Historical Archives in conjunction with RANLP-2019 (pp. 1–2). https://doi.org/10.26615/978-954-452-059-5_001
- Grabe, W., & Yamashita, J. (2022). Reading in a Second Language: Moving from Theory to Practice (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Gori, S., & Facoetti, A. (2015). The intriguing case of crowding and developmental dyslexia. *Journal of Vision, 15*(1), 8.
- Hazoury, K., Yassine, S., & Samaha, H. (2009). Cognitive and phonological processing deficits among Arabic-speaking dyslexics. Reading and Writing, 22(8), 957–975. https://doi.org/10.1007/s11145-008-9149-7
- Hejres, M. M., & Tinker, A. J. (2024). Informing the design of an accessible Arabic typeface: A visual analysis to identify letterform features of dyslexia-friendly typefaces. Societies, 14(4), 45. https://doi.org/10.3390/soc14040045
- Hejres, M. M., & Tinker, A. J. (2025). Exploring dyslexic readers' perceptions of dyslexia-friendly Arabic typeface: A focus group study. Design for Health, 9(2), 154–177. https://doi.org/10.1080/24735132.2025.2489179
- Hejres, M., & Tinker, M. (2024). Typographic parameters for Arabic readability: A user-centered design approach for dyslexic readers. *Journal of Arabic Typography and Design*, *12*(1), 45–62.
- Hejres, M., & Tinker, R. (2024). Arabic Typography and Dyslexia: Design Guidelines for Reducing Visual Load. Societies, 14(45), 1–25.
- Hejres, S., & Tinker, L. (2024). Visual analysis to inform dyslexia-friendly Arabic typeface design. *Societies, 14*(8), 287. https://doi.org/10.3390/soc14080287
- Hillier, R. A. (2006). A typeface for the adult dyslexic reader (Doctoral dissertation, Anglia Ruskin University).
- Holden, C., Kirby, P., Snowling, M. J., Thompson, P. A., & Carroll, J. M. (2025). Towards a consensus for dyslexia practice: Findings of a Delphi study on assessment and identification. Dyslexia, 31, e1800. https://doi.org/10.1002/dys.1800

- Hu, W., Lee, H. L., Zhang, Q., Liu, T., Geng, L. B., Seghier, M. L., Shakeshaft, C., Twomey, T., Green, D. W., Yang, Y. M., & Price, C. J. (2010). Developmental dyslexia in Chinese and English populations: Dissociating the effect of dyslexia from language differences. Brain, 133(6), 1694–1706. https://doi.org/10.1093/brain/awq106
- International Dyslexia Association. (2002). IDA Board of Directors adopts definition of dyslexia. https://dyslexiaida.org/definition-of-dyslexia/
- Janbi, J. (2016). Classifying Arabic fonts based on design characteristics: PANOSE-A (Doctoral dissertation, Concordia University). https://core.ac.uk/download/pdf/221384428.pdf
- Janbi, N. (2016). *A computational approach for classifying Arabic typefaces* (Master's thesis). King Abdulaziz University.
- Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt Psychology*. Harcourt, Brace and Company.
- König, D. (2019). Arabic books in early modern Venice: The case of Paganino Paganini's Qur'an. (Study on 16th-century Venetian Arabic printing).
- Kuhn, M. R., & Stahl, S. A. (2003). Fluency: A review of developmental and remedial practices. *Journal of Educational Psychology*, *95*(1), 3–21.
- Kuhn, M. R., Schwanenflugel, P. J., Morris, R. D., Morrow, L. M., Woo, D. G., Meisinger, E. B., Sevcik, R. A., Bradley, B. A., & Stahl, S. A. (2006). Teaching children to become fluent and automatic readers. Journal of Literacy Research, 38(4), 357–387.
- Kuster, S. M., van Weerdenburg, M., Gompel, M., & Bosman, A. M. T. (2018). Dyslexie font does not benefit reading in children with or without dyslexia. Annals of Dyslexia, 68(1), 25–42. https://doi.org/10.1007/s11881-017-0154-6
- Laddusaw, S., & Brett, J. (2019). Dyslexia-friendly fonts: Using Open Dyslexic to increase exhibit access. College & Research Libraries News, 80(1). https://doi.org/10.5860/crln.80.1.17530
- Landerl, K., et al. (2013). Predictors of developmental dyslexia in European orthographies with varying complexity. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 54(6), 686-694.
- Layes, S., Cohen, M., & van Viersen, S. (2022). The triple-deficit hypothesis in Arabic: Evidence from children with and without dyslexia. Applied Psycholinguistics, 43(5), 1165–1192. https://doi.org/10.1017/S0142716422000327
- Levi, D. M. (2011). Visual crowding. *Current Biology, 21*(18), R678–R679.
- Luke, S. G., & Christianson, K. (2016). Prediction in reading: A review of predictability effects. *Linguistics and Language Compass*, 10(1), 493–507.
- Ma, S., Peng, X., Song, R., & Wei, W. (2021). 规范融合的学前教育是阅读障碍防控的关键 [Standardized inclusive pre-school education holds the key to mitigating reading disorders]. *Advances in Psychology 心理学进展, 11*(7), 1690–1698. https://doi.org/10.12677/ap.2021.117189
- Made By Dyslexia. (2025). Collective action: Empowering dyslexic thinking in every home, every workplace and every school. Made By Dyslexia.
- Madhavan, D., Lim, H. L., Karki, M. B., & Kang, D. (2016). Font choice matters: Typeface legibility for children with and without dyslexia. *International Journal of Child Computer Interaction, 9–10*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2016.06.001
- Mansour, K. (2020). The non-Latin scripts & typography. *TUGboat, 41*(3), 277–279
- Mazy, C. (2026). The art of the written word. Hadara Magazine. https://hadaramagazine.com/the-art-of-the-written-word/
- Merriam-Webster. (2025). Dyslexia. In Merriam-Webster.com dictionary. Retrieved November 9, 2025, from https://www.merriam-webster.com/dictionary/dyslexia
- Microsoft. (2025). Feature tags. Microsoft Learn. https://learn.microsoft.com/en-us/typography/opentype/spec/featuretags

- Microsoft. (2025). GPOS — Glyph positioning table. Microsoft Learn. https://learn.microsoft.com/en-us/typography/opentype/spec/gpos
- Microsoft. (2025). *hmtx — Horizontal metrics table*. Microsoft Learn. https://learn.microsoft.com/en-us/typography/opentype/spec/hmtx (Accessed: November 10, 2025)
- Microsoft. (2025). OpenType specification: hhea — Horizontal Header Table (and related metrics/advance width definitions).
- Microsoft. (2025). Universal Shaping Engine. Microsoft Learn. https://learn.microsoft.com/en-us/globalization/reference/universal-shaping-engine.
- Milo, T., & González Martínez, A. (2019). *A new strategy for Arabic OCR: Archigraphemes, letter blocks, script grammar, and shape synthesis*. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Digital Access to Textual Cultural Heritage (DATeCH2019)* (pp. 93–96). Association for Computing Machinery.
- Nakatsuru, K., & Uchida, S. (2024). Learning to kern: Set-wise estimation of optimal letter space. Proceedings of the 18th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). https://arxiv.org/abs/2402.14313
- National Reading Panel. (2000). *Teaching children to read: An evidence-based assessment of the scientific research literature on reading and its implications for reading instruction* (Report of the subgroups). National Institute of Child Health and Human Development.
- Nemeth, T. (2006). Harmonization of Arabic and Latin (manuscript).
- Nemeth, T. (2013). *Arabic Type-Making in the Machine Age: The Influence of Technology on the Form of Arabic Type, 1908–1993*. Leiden: Brill.
- Ontology Birzeit. (2024). Dyslexia. Retrieved January 14, 2025, from https://ontology.birzeit.edu/term/dyslexia
- Oxford Learner's Dictionaries. (2025). Dyslexia. In Oxford Advanced Learner's Dictionary online. Retrieved November 9, 2025, from https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/dyslexia
- Parco, E. (2025). Typography and cognitive ergonomics in digital reading: Towards inclusive screen design. Journal of Visual Communication and Design, 18(2), 75-91. https://doi.org/10.1016/j.jvcd.2025.02.004
- Pijpker, T. (2013). Reading performance of dyslexics with a special font and a colored background (Master's thesis, University of Twente). University of Twente.
- Porter, Venetia, (2003). Mightier than the Sword, The British Museum.
- Powell, S. L. (2017). The effect of a font intervention for 4th and 5th graders with dyslexia (Educational Specialist thesis, James Madison University). James Madison University Scholarly Commons. https://commons.lib.jmu.edu/edspec201019/116
- Ramamurthy, M., White, A. L., & Yeatman, J. D. (2023). Children with dyslexia show no deficit in exogenous spatial attention but show differences in visual encoding. Developmental Science, e13458. https://doi.org/10.1111/desc.13458
- Ranaldi, F., & Nisbet, P. (2010). Accessible text: Guidelines for good practice. CALL Scotland, University of Edinburgh. Retrieved from https://www.callscotland.org.uk/downloads/accessible-text-guidelines
- University of Oregon. (2023). *DIBELS 8th edition administration and scoring guide*.
- Ranaldi, P., & Nisbet, A. (2010). Designing for readability: The impact of spacing and text density on visual comfort. Journal of Visual Literacy, 29(3), 215–230. https://doi.org/10.1080/1051144X.2010.523455
- Rasinski, T. V. (2004). Assessing reading fluency. Pacific Resources for Education and Learning.
- Rasinski, T. V. (2004). *Creating fluent readers*. Armchair Academicians.

- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. Psychological Bulletin, 124(3), 372–422. https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372
- Rayner, K., Fischer, M. H., & Pollatsek, A. (1998). Unspaced text interferes with both word identification and eye movement control. *Vision Research, 38*(8), 1129–1144. https://doi.org/10.1016/S0042-6989(97)00274-5
- Reading Rockets. (2024). *Understanding and assessing fluency*. Reading Rockets. **https://www.readingrockets.org/topics/assessment-and-evaluation/articles/understanding-and-assessing-fluency**
- Rello, L. (2014). DysWebxia: A text accessibility model for people with dyslexia (Doctoral dissertation, Universitat Pompeu Fabra).
- Rello, L., & Baeza-Yates, R. (2013). Good fonts for dyslexia. In Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (pp. 14–22). ACM. https://doi.org/10.1145/2513383.2513447
- Rogers, H. (2005). *Writing Systems: A Linguistic Approach*. Blackwell Publishing.
- Roitsch, J., & Watson, S. (2019). An overview of dyslexia: Definition, characteristics, assessment, identification, and intervention. Science Journal of Education, 7(4), 81–86. http://doi.org/10.11648/j.sjedu.20190704.11
- Roitsch, J., & Watson, S. (2019). Dyslexia: Definition, characteristics, assessment, identification, and intervention. Science Journal of Education, 7(4), 81–86. https://doi.org/10.11648/j.sjedu.20190704.11
- Roper, G. J. (1988). Arabic printing in Malta 1825–1845: Its history and its place in the development of print culture in the Arab Middle East (Doctoral dissertation, University of Durham).
- Rose, J. (2009). Identifying and teaching children and young people with dyslexia and literacy difficulties. Department for Children, Schools and Families.
- Roshanbin, N., & Miller, J. (2011). Finding Homoglyphs: A Step towards Detecting Unicode-Based Visual Spoofing Attacks. In *Web Information System Engineering – WISE 2011* (pp. 1–14). Springer.
- Saiegh-Haddad, E., & Henik, A. (2014). Reading in Arabic: New evidence for the role of vowel signs. In *Handbook of Arabic Literacy* (pp. 31-50). Springer.
- Schimmel, A. (1992). Islamic calligraphy. In B. Rivolta (Asst.), The Metropolitan Museum of Art Bulletin, 50(1), 1–48. The Metropolitan Museum of Art. https://www.jstor.org/stable/3269118
- Seymour, P. H., Aro, M., & Erskine, J. M. (2003). Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of Psychology*, 94(2), 143-174.
- Share, D. L. (2008). On the Anglocentricities of current reading research and practice: The perils of overreliance on an "outlier" orthography. *Psychological Bulletin*, 134(4), 584.
- Shehab, B., & Nawar, H. (2020). *A History of Arab Graphic Design*. The American University in Cairo Press.
- Shewalter, J. R. (2025). Orthographic depth and dyslexia: Cross-linguistic perspectives on reading accuracy and fluency. Journal of Cognitive Linguistics, 47(2), 134–149. https://doi.org/10.1080/20445911.2025.1123456
- SIL International. (2018). Scheherazade New (version 4.3). SIL International. https://software.sil.org/scheherazade/
- Slattery, T. J., & Rayner, K. (2013). The effects of intra-word and inter-word spacing on eye movements during reading: Exploring the optimal use of space in a line of text. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 66(3), 505–519. https://doi.org/10.1080/17470218.2012.750676
- Smitschuijzen AbiFarès, H. (2001). *Arabic typography: A comprehensive sourcebook*. Saqi Books.

- Smitschuijzen AbiFarès, H. (2001). Arabic Typography—Type Design: The technical aspects of font development. In Arabic Typography (pp. 192–194).
- Smitshuijzen, E. (2009, February 26). *The big kashida secret*. Khatt Foundation. https://www.khtt.net/en/page/1821/the-big-kashida-secret
- Smitshuijzen, H. (2009). *Typographic matchmaking in the city*. Khatt Books.
- SpLD Assessment Standards Committee (SASC). (2020). Guidance on the assessment and identification of Developmental Coordination Disorder (DCD)/Dyspraxia. https://www.sasc.org.uk
- SpLD Assessment Standards Committee. (2024, May 15). Dyslexia definition: Press release. https://www.sasc.org.uk/
- Stark, R. (2020). Dyslexia Simulation Font: Visualizing the reading experience of individuals with dyslexia. Design Science, 6, 1–17. https://doi.org/10.1017/dsj.2020.18
- Sternberg, R. J., & Sternberg, K. (2016). *Cognitive Psychology* (7th ed.). Cengage Learning.
- Sumayli, A., & Alkaoud, M. (2025). Handwritten Arabic calligraphy generation: A systematic literature review. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 16(3).
- Tabbaa, Y. (1999). Canonicity and control: The sociopolitical underpinnings of Ibn Muqla's reform. Ars Orientalis, 29, 91–100.
- Taha, H. (2013). Reading in Arabic: New evidence from behavioral and ERP studies. Frontiers in Psychology, 4, 986.
- Taha, H. (2013). The contribution of visual, phonological and morphological processing to reading abilities of native Arabic readers. Theory and Practice in Language Studies, 3(5), 722–733.*
- Taha, H. (2016). Deep and shallow in Arabic orthography: New evidence from reading performance of elementary school native Arab readers. Writing Systems Research, 8(1), 1–15. https://doi.org/10.1080/17586801.2015.1114910
- Taha, H., Ibrahim, R., & Khateb, A. (2013). How does Arabic orthographic connectivity modulate brain activity during visual word recognition: An ERP study. Brain Topography, 26(2), 292–302. https://doi.org/10.1007/s10548-012-0241-2
- Unger, G. (2018). *Theory of type design*. nai010 publishers
- Unicode Consortium. (2024). Unicode Security Considerations (Unicode Technical Report #36). Unicode, Inc.
- Utah State Board of Education. (2025). The dyslexia handbook: Guidance for effective literacy instruction for general education and special education. https://schools.utah.gov/
- Van Heuverswyn, E., Gosse, C., & Van Reybroeck, M. (2024). Handwriting difficulties in children with dyslexia: Poorer legibility in dictation and alphabet tasks, slowness in the alphabet task. Dyslexia, 30(2), e1767. https://doi.org/10.1002/dys.1767
- Wagemans, J., et al. (2012). A century of Gestalt psychology in visual perception: I. Perceptual grouping and figure–ground organization. *Psychological Bulletin*, 138(6), 1172.
- Werth, R. (2023). How visual crowding affects reading performance in dyslexic individuals. Annals of Dyslexia, 73(4), 451–465. https://doi.org/10.1007/s11881-023-00264-1
- Wertheimer, M. (1923). *Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. II*. Psychologische Forschung, 4, 301-350.
- Wery, J. J., & Diliberto, J. A. (2017). The effect of a specialized dyslexia font, OpenDyslexic, on reading rate and accuracy. Annals of Dyslexia, 67(2), 114–127. https://doi.org/10.1007/s11881-016-0127-1
- Yaghan, M. A. J. (2020). Mathematical concepts in Arabic calligraphy: The proportions of the Alif. PLOS ONE, 15(5), e0232641.

- Yaghan, N. (2020). Arabic calligraphy in contemporary product design: A cross-cultural study. Dirasat: Human and Social Sciences, 47(3), 362–376. https://archives.ju.edu.jo/index.php/hum/article/view/104690
- Yaghan, M. A. J. (2020). Mathematical concepts in Arabic calligraphy: The proportions of the ʾAlif. PLOS ONE, 15(5), e0232641. doi:10.1371/journal.pone.0232641
- Yap, J. R., Aruthanan, T., & Chin, M. (2025). Artificial intelligence in dyslexia research and education: A scoping review. IEEE Access, 13, 7123–7148. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3526189
- Yassin, R., Share, D. L., & Shalhoub-Awwad, Y. (2020). Learning to spell in Arabic: The impact of script-specific visual-orthographic features. Frontiers in Psychology, 11, 2059. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.02059
- Yoliando, F. T. (2020). A comparative study of Dyslexia Style Guides in improving readability for people with dyslexia. Advances in Social Science, Education and Humanities Research, 502, 32–35. https://doi.org/10.2991/assehr.k.201209.007
- Zoghbi, P. (2015, July 30). *Arabic type anatomy & typographic terms*. 29LT Blog. https://blog.29lt.com/2015/07/30/arabic-type-anatomy-typographic-terms/
- Zorzi, M., Barbiero, C., Facoetti, A., Lonciari, I., Carrozzi, M., Montico, M., Bravar, L., George, F., Pech-Georgel, C., & Ziegler, J. C. (2012). Extra-large letter spacing improves reading in dyslexia. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(28), 11455–11459. https://doi.org/10.1073/pnas.1205566109

## 9.1 الملاحق

### ملحق (أ): أدوات القياس (نصوص القراءة والكلمات الصحيحة/الزائفة)

لضمان الصدق البيئي، تم استخدام نصوص متصلة وكلمات مفردة مستقاة مباشرة من كتب اللغة العربية المعتمدة في المنهاج الفلسطيني للصفوف الأساسية (الثاني حتى الرابع) لضمان الصلاحية البيئية ( Ecological Validity).

### الجزء الأول: الإطار المنهجي وأدوات القياس

#### 1.1 الإطار المفاهيمي والإجرائي للمتغيرات التابعة

في هذا المقياس يتمثل جوهر التحقق التجريبي في قياس أداء القراءة لدى عينة من الطلاب ذوي عسر القراءة، مع التركيز على مؤشري الدقة والسرعة (الطلاقة) بوصفهما مؤشرات سلوكية حساسة وموثوقة عالميًا في تقييم أثر المتغيرات الطباعية على القراءة.

#### 1.2 الدقة القرائية (Accuracy) وتصنيف الأخطاء البصرية

يُحتسب مؤشر الدقة القرائية "إجرائيًا" في هذا المقياس؛ بقسمة عدد الكلمات المقروءة صحيحة على مجموع الكلمات المقروءة، وتُعبَّر عنها بالنسبة المئوية. ولا يقتصر القياس على رصد عدد الأخطاء الإجمالي، بل يتطلب نظام تسجيل دقيق يركز على تصنيف الأخطاء البصرية (الخلط/الاستبدال الحرفي). هذا التخصيص الدقيق لإدخال الأخطاء البصرية يعد ضرورة منهجية، لأنه يتيح للفاحصين قياس نجاح الخط في تحقيق هدفه الأساسي: تقليل التشابه البصري الشديد بين الحروف العربية (الجرافيمات القوسية).

### 1.3 السرعة/الطلاقة القرائية (Fluency - WCPM)

تُقاس الطلاقة في هذه الدراسة بعدد الكلمات الصحيحة في الدقيقة (WCPM) في نصّ عربي موحد المستوى، ويتم ذلك باستخدام أداة توقيت دقيقة وتصحيح يدوي للأخطاء. إن القياس الموضوعي للسرعة (WCPM) يمثل قياساً لتحسين طلاقة القراءة الناتجة عن تخفيف الحمل الإدراكي على نظام المعالجة البصرية.

### 2.1 تصميم محتوى القراءة لاختبار الفعالية (Stimuli Design)

لضمان الصدق البنائي (Construct Validity) للقياسات، يعتمد البروتوكول على نصوص مأخوذة مباشرة من الكتب المدرسية المعتمدة في المنهاج الفلسطيني للصفوف (الصف الثاني، والثالث، والرابع، "تم استثناء الصف الأول لعدم القدرة على قراءة النصوص الطويلة") لضمان الصلاحية البيئية (Ecological Validity).

### 2.2 محتوى قراءة الكلمات

1. **قراءة الكلمات المفردة (Real Words):** تُستخدم لتقييم قدرة القارئ على التعرف على الكلمات المألوفة (Word Recognition). جرى اختيار مفردات هذه الأداة حصراً من نصوص وتمارين الصفوف من الأول حتى الرابع في المنهاج الفلسطيني. تتكوّن الأداة من أربع مجموعات (10 كلمات لكل مجموعة)، بواقع 40 كلمة.

2. **محتوى قراءة الكلمات**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **10 كلمات:** التعرف على الكلمات - المستوى 1: كلمات شائعة قصيرة | | | | |
| عِقَابٌ | خَلَقَ | حَلِيبٌ | جِمَالٌ | غَرِيبٌ |
| بَرِيدٌ | نَجَاةٌ | ثَمَرَةٌ | تَمَرٌ | بَحْثٌ |
| **10 كلمات:** التعرف على الكلمات - المستوى 2: سكون/حركة طويلة | | | | |
| كِتَابٌ | مَكْتَبٌ | سَيَّارَةٌ | مُهَنْدِسٌ | تَخْطِيطٌ |
| مُتَعَوِّدٌ | مَجْمُوعَةٌ | مَسْجُونٌ | زُجَاجِيٌّ | إِنَاءٌ |
| **10 كلمات:** التعرف على الكلمات - المستوى 3: تعقيد صرفي | | | | |
| كِفَاحٌ | اسْتِغْفَارٌ | تَمْتَمَةٌ | مُسْتَكْبَرٌ | مِفْتَاحٌ |
| مُصِيبَةٌ | عُصْفُورٌ | تَوَزَّعْنَ | طَالِبَاتٌ | جَمِيلَةٌ |
| **10 كلمات:** التعرف على الكلمات - المستوى 4: كلمات نادرة/تعقيد بصري | | | | |
| لَا أَسْتَطِيعُ | انْفَطَرَ | مَأْزِقٌ | إِسْمَنْتِيٌّ | فَتَعَوَّدَ |
| شُرْفَةِ | تَجَمَّعْنَ | مُخَصَّصٌ | لِلْخُرُوجِ | قَلِيلٍ |

جدول 5 المفردات المنتخبة للتحقق من قراءة الكلمات المفردة (Real Words)

- **العرض:** تُعرَض كل كلمة منفردة في منتصف الشاشة لمدة من الوقت يحددها استجابة الطالب، وتُطلب قراءة جهرية فورية.

- **التسجيل:** صح/خطأ لكل كلمة + توصيف نوع الخطأ (إبدال/حذف/إضافة/قلب) + الزمن الكلي لكل مجموعة.
- **الترميز:** كلمة صحيحة = 1، خاطئة/غير مقروءة = 0 .**المجموع = 40**، ويمكن تحويله إلى نسبة مئوية.
- **العشوائية:** تقوم الأداة بتبديل ترتيب الكلمات بين المشاركين، وعكس نوع الخط (الاختباري ↔ المرجعي) بين المجموعات لتقليل أثر التدرّب.

3. **قراءة الكلمات الزائفة (Pseudo-words):** وهي كلمات غير حقيقية تتبع قواعد الإملاء العربي والصوتيات العربية، يعد استخدامها ضرورياً لقياس قدرة الطالب على فك التشفير الصوتي (Phonological Decoding)، وهو المؤشر الأساسي للعجز في عسر القراءة. يجب أن تكون هذه الكلمات مُشَكَّلة (Vowelized)، وتتضمن جميع الحروف العربية، ويجب ترتيبها حسب الصعوبة المتوقعة كما أوصت الدراسات.

قائمة الكلمات الزائفة (مرتّبة تصاعديًّا في الصعوبة): مُشكَّلة بالكامل، مُصمَّمة لتعظيم حضور الجرافيمات القوسية **(ب/ت/ث، ج/ح/خ)** مع ضبطٍ تدريجي للصعوبة (من الأقصر والأسهل إلى الأطول والأعقد). العدد الأساسي 20 كلمة + 6 بدائل احتياط.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **المستوى 1 (مقطَع خفيف، 3 أحرف)**<br>الهدف هنا إدخال أزواج/ثلاثيات مشوّشة بصريًّا: (ج/ح/خ) و(ب/ت/ث) ضمن أطوال قصيرة سهلة النطق. | | | | | |
| جَحَثٌ | ثَجَبٌ | بَخَتٌ | تَخَبٌ | نَبَخٌ | جَبَثٌ |
| **المستوى 2 (4–5 أحرف، سكون داخلي أو حركة طويلة)**<br>إدخال السكون الداخلي (ْ) يرفع متطلبات فكّ الشفرة الصوتيّة ويزيد فرص الخلط البصري مع ثبات القابلية للنطق. | | | | | |
| جَحْبَةٌ | بَثْخَةٌ | نَبْخُوتٌ | ثَجْحَةٌ | تَبْخِيتٌ | خَبْثُوجٌ |
| **المستوى 3 (أنماط صرفيّة مألوفة مع تراكب تشكيلي أكبر)**<br>استخدام أوزان عربيّة قياسيّة (مِفْعال/مفعول/تفعيل/فعاليّ) يضمن صلاحية بنائيّة مع بقاء الكلمة غير معجميّة. | | | | | |
| مِبْخَالٌ (وزن مِفْعال) | مَجْحُوثٌ (وزن مفعول) | تَخْبِيثٌ (مصدر تفعيل) | جُحَاثِيٌّ (نسبة/نعتيّ) | | |
| **المستوى 4 (زيادات صرفية مع لواحق معقّدة وازدواج نقطي)** | | | | | |
| خَبَاثٌ | ثُجَيْحٌ | تَجْحُوبٌ | بِخَاثٍ | | |

جدول 6 المفردات المنتخبة للتحقق من قراءة الكلمات الزائفة (Pseudo-words)

**بروتوكول التنفيذ**

- **التشكيل الكامل** إلزامي لكل كلمة (كما في القائمة).
- **العرض الفردي**: كلمة واحدة في منتصف الشاشة لمدة من الوقت تحددها استجابة الطالب.

- **المهمّة**: قراءة جهريّة فوريّة؛ نسجّل: (صح/خطأ)، ونوع الخطأ (إبدال/حذف/إضافة/قلب)، وزمن الاستجابة.
- **الترتيب** :نستخدم ترتيبًا تصاعديًّا كما ورد، مع تدوير (Counterbalancing) بين نوع الخطّين عبر المشاركين.
- **التقدير**:
  - قراءة سليمة صوتيًّا = 1.
  - خطأ جزئي واضح في مقطع واحد = 0.5.
  - امتناع/تشويه تام = 0.
- **المجموع الأساس** 20 =درجة (مع تحويل لنسبة مئوية).

### 2.3 نصوص القياس المعتمدة (من المنهاج الفلسطيني)

تم تحديد نصوص قياسية ذات كثافة مناسبة تتراوح بين (45-75 كلمة) لتقييم الطلاقة في نصوص متصلة.

| رمز النص | المصدر (توثيق المنهاج) | عنوان الدرس | الهدف القياسي المركزي | الخصائص اللغوية المميزة | عدد الكلمات (الموصى به) |
|---|---|---|---|---|---|
| NT-P3-D1 | وزارة التربية والتعليم الفلسطينية (2024، ص. 38) | قَرْيَتُنا نَظِيفَةٌ (الصف 3) | الطلاقة في نصوص الصف الثالث. | كثافة عالية للام الشمسية/القمرية والأفعال المتصرفة. | 46 كلمة |
| NT-P4-D3 | وزارة التربية والتعليم الفلسطينية (2024، ص. 36) | زَهْرَةُ الحَنُّونِ (الصف 4) | الدقة في المعالجة البصرية (تكرار الجرافيمات القوسية). | تراكيب وصفية، تكرار حروف (ج/ح/خ). | 48 كلمة |
| NT-P2-D1 | وزارة التربية والتعليم الفلسطينية (2024، ص. 8) | الْحُرِّيَّةُ أَجْمَلُ (الصف 2) | الطلاقة المبكرة والتعامل مع الحوار | جمل قصيرة، مفردات أساسية، اختبار التعرف على الحروف المتصلة. | 55 كلمة |
| NT-P4-A1 | من نصوص المنهج (مقطع سردي موحد) | السمكة والحرية (الصف 4) | قياس السرعة والاحتساب الدقيق للأخطاء (دقة عالية في الطلاقة). | نص سردي مركز، جمل متصلة. | 74 كلمة |

جدول 7 مصفوفة مقاطع القراءة المُعدّة كأدوات قياس سلوكي (الملحق أ)

| رمز النص | NT-P3-D1 |
|---|---|
| المصدر | وزارة التربية والتعليم الفلسطينية (2024، ص. 38). الصف الثالث، الجزء الأول. لغتنا الجميلة. |
| المقتطف مشكولًا | اقترحتْ سماح على طالبات صفِّها أنْ يقُمْنَ بحملةٍ نظافةٍ في القريةِ يومَ الجُمعة. سُرَّت الطالبات باقتراح سماح، وفي صباحِ يومِ الجُمعةِ تجمَّعْنَ في ساحةِ القرية.<br>انقسمتِ الطالباتُ إلى مجموعاتٍ، وتوزَّعْنَ في حاراتِ القريةِ وشوارعِها: مجموعةٌ تنظِّفُ الشارعَ، وأُخرى تجمعُ النفاياتِ، وثالثةٌ تنقلُ النفاياتِ إلى مكانِها المُخصَّص. |
| المقتطف بلا تشكيل | اقترحت سماح على طالبات صفها أن يقمن بحملة نظافة في القرية يوم الجمعة. سرت الطالبات باقتراح سماح، وفي صباح يوم الجمعة تجمعن في ساحة القرية.<br>انقسمت الطالبات إلى مجموعات، وتوزعن في حارات القرية وشوارعها: مجموعة تنظف الشارع، وأخرى تجمع النفايات، وثالثة تنقل النفايات إلى مكانها المخصص. |
| "قريتنا نظيفة" | اقْتَرَحَتْ سَماحُ عَلى طالِباتِ صَفِّها أَنْ يَقُمْنَ بِحَمْلَةِ نَظافَةٍ في الْقَرْيَةِ يَوْمَ الْجُمُعَةِ. سُرَّتِ الطّالِباتُ بِاقْتِراحِ سَماحَ، وَفي صَباحِ يَوْمِ الْجُمُعَةِ تَجَمَّعْنَ في ساحَةِ الْقَرْيَةِ.<br>انْقَسَمَتِ الطّالِباتُ إِلى مَجْموعَاتٍ، وتَوَزَّعَتْ في حاراتِ الْقَرْيَةِ وَشَوارِعِها: مَجْموعَةٍ تُنَظِّفُ الشّارِعَ، وَأُخْرى تَجْمَعُ النُّفاياتِ، وَثالِثَةٍ تَنْقُلُ النُّفاياتِ إِلى مَكانِها الْمُخَصَّصِ. |

جدول 8 نص القياس (وزارة التربية والتعليم الفلسطينية، 2024، ص. 38)

| رمز النص | NT-P4-D3 |
|---|---|
| المصدر | وزارة التربية والتعليم الفلسطينية (2024، ص. 36). الصف الرابع. الجزء الأول. لغتنا الجميلة. |
| المقتطف مشكولًا | كانت ليلى تَلعَبُ بين أزهارِ الحنّونِ في الحُقولِ الجميلةِ، تُلاحِقُ الفَراشاتِ المُلوَّنةِ، وظلَّت تَركُضُ حتى وَصَلَت الجِدارَ الإسمنتيَّ، فتوقَّفَت حزينةً، لا تَعرِفُ ماذا تَفعَلُ، رَأَت زَهرَةَ حُنّونٍ وَحيدةً عند أَسفلِ الجِدار.<br>اقتَرَبَت مِنَ الفَراشاتِ وهمسَت: لماذا هي وَحيدةٌ هكذا؟!<br>أجابَتِ الفَراشَةُ الزَّرقاءُ: لأنَّ الجِدارَ يَفصِلُ بينها وبين أَخواتِها. |
| المقتطف بلا تشكيل | كانت ليلى تلعب بين أزهار الحنون في الحقول الجميلة، تلاحق الفراشات الملونة، وظلت تركض حتى وصلت الجدار الإسمنتي، فتوقفت حزينة، لا تعرف ماذا تفعل، رأت زهرة حنون وحيدة عند أسفل الجدار.<br>اقتربت من الفراشات وهمست: لماذا هي وحيدة هكذا؟!<br>أجابت الفراشة الزرقاء: لأن الجدار يفصل بينها وبين أخواتها. |
| "زهرة الحنّون" | كانَتْ لَيْلى تَلْعَبُ بَيْنَ أَزْهارِ الحَنّونِ في الحُقولِ الجَميلَةِ، تُلاحِقُ الفَراشاتِ المُلَوَّنَةَ، وَظَلَّتْ تَرْكُضُ حَتّى وَصَلَتِ الجِدارَ الإسْمَنْتِيَّ، فَتَوَقَّفَتْ حَزينَةً، لا تَعْرِفُ ماذا تَفْعَلُ، رَأَتْ زَهْرَةَ حَنّونٍ وَحيدَةً عِنْدَ أَسْفَلِ الجِدارِ.<br>اقْتَرَبَتْ مِنَ الفَراشاتِ وَهَمَسَتْ: لِماذا هِيَ وَحيدَةٌ هكَذا؟!<br>أَجابَتِ الفَراشَةُ الزَّرْقاءُ: لِأَنَّ الجِدارَ يَفْصِلُ بَيْنَها وَبَيْنَ أَخَواتِها. |

جدول 9 نص القياس (وزارة التربية والتعليم الفلسطينية، 2024، ص. 36)

| رمز النص | NT-P2-D1 |
|---|---|
| المصدر | وزارة التربية والتعليم الفلسطينية (2024، ص. 8). الصف الثاني. الجزء الأول. لغتنا الجميلة. |
| المقتطف مشكولًا | شَعَرَ عُصْفُورٌ بِالجُوعِ وَالْعَطَشِ، فَأَخَذَ يَبْحَثُ عَنْ طَعَامٍ وَشَرَابٍ. طَارَ العُصْفُورُ بَعِيدًا، وَعِنْدَمَا تَعِبَ، رَأَى عَلَى شُرْفَةِ أَحَدِ الْبُيُوتِ بلبلًا فِي قَفَصٍ جَمِيلٍ، وَأَمَامَهُ طَعَامٌ كَثِيرٌ وَشَرَابٌ.<br>قَالَ العُصْفُورُ: مَا أَجْمَلَ حَيَاتَكَ هُنَا أَيُّهَا الْبُلْبُلُ! تَأْكُلُ وَتَشْرَبُ بِأَمَانٍ.<br>قَالَ الْبُلْبُلُ: وَلَكِنِّي حَزِينٌ، فَأَنَا مَسْجُونٌ، وَلَا أَسْتَطِيعُ أَنْ أَخْرُجَ مِنَ الْقَفَصِ. الحُرِّيَّةُ هِيَ الأَجْمَلُ يَا صَدِيقِي. |
| المقتطف بلا تشكيل | شعر عصفور بالجوع والعطش، فأخذ يبحث عن طعام وشراب. طار العصفور بعيدًا، وعندما تعب، رأى على شرفة أحد البيوت بلبلا في قفص جميل، وأمامه طعام كثير وشراب.<br>قال العصفور: ما أجمل حياتك هنا أيها البلبل! تأكل وتشرب بأمان.<br>قال البلبل: ولكنّي حزين، فأنا مسجون، ولا أستطيع أن أخرج من القفص. الحرية هي الأجمل يا صديقي. |
| "الحريّة أجمل" | شَعَرَ عُصْفورٌ بِالْجوعِ وَالْعَطَشِ، فَأَخَذَ يَبْحَثُ عَنْ طَعامٍ وَشَرابٍ. طارَ الْعُصْفورُ بَعيداً، وَعِنْدَما تَعِبَ، رَأى عَلى شُرْفَةِ أَحَدِ الْبُيوتِ بُلْبُلاً في قَفَصٍ جَميلٍ، وَأَمامَهُ طَعامٌ كَثيرٌ وَشَرابٌ.<br>قالَ الْعُصْفورُ: ما أَجْمَلَ حَياتَكَ هُنا أَيُّها الْبُلْبُلُ! تَأْكُلُ وَتَشْرَبُ بِأَمانٍ. قالَ الْبُلْبُلُ: وَلكِنّي حَزينٌ؛ فَأَنا مَسْجونٌ، وَلا أَسْتَطيعُ أَنْ أَخْرُجَ مِنَ الْقَفَصِ. الْحُرِّيَّةُ هِيَ الْأَجْمَلُ يا صَديقي. |

جدول 10 نص القياس (وزارة التربية والتعليم الفلسطينية، 2024، ص. 8)

| رمز النص | NT-P4-A1 |
|---|---|
| المصدر | وزارة التربية والتعليم الفلسطينية (2024، ص. 16). الصف الرابع. الجزء الأول. لغتنا الجميلة. |
| المقتطف مشكولًا | اصطادَ صَبِيٌّ سَمَكَةً صَغِيرَةً، وَوَضَعَهَا في إِنَاءٍ زُجَاجِيٍّ، وَتَرَكَهَا عَلَى الشَّاطِئِ، وَمَضَى مَعَ أَهْلِهِ.<br>أَمَّا السَّمَكَةُ فَكَانَتْ تَبْحَثُ عَنْ أَيَّةِ طَرِيقَةٍ لِلْخُرُوجِ مِنْ هَذَا الْمَأْزِقِ.<br>جَاءَ بُلْبُلٌ، وَقَالَ لَهَا: مَا بِكِ أَيَّتُهَا السَّمَكَةُ؟<br>قَالَتْ بِأَلَمٍ: أَلَا تَرَى مُصِيبَتِي؟<br>البُلْبُلُ: أَيَّةُ مُصِيبَةٍ؟!<br>السَّمَكَةُ: تَرَكَنِي الصَّبِيُّ فِي هَذَا الْإِنَاءِ، وَمَضَى دُونَ أَنْ يَشْعُرَ بعذابي.<br>البُلْبُلُ: اعْذِرِينِي، لَمْ أَنْتَبِهْ.<br>السَّمَكَةُ: إِنَّنِي فِي حَيْرَةٍ مِنْ أَمْرِي، أُرِيدُ الْعَوْدَةَ إِلَى الْبَحْرِ الْحَبِيبِ، وَلَا أَسْتَطِيعُ الْخُرُوجَ.<br>البُلْبُلُ: سَأَعُودُ بَعْدَ قَلِيلٍ. |
| المقتطف بلا تشكيل | اصطاد صبي سمكة صغيرة، ووضعها في إناء زجاجي، وتركها على الشاطئ، ومضى مع أهله.<br>أما السمكة فكانت تبحث عن أية طريقة للخروج من هذا المأزق.<br>جاء بلبل، وقال لها: ما بك أيتها السمكة؟<br>قالت بألم: ألا ترى مصيبتي؟<br>البلبل: أية مصيبة؟!<br>السمكة: تركني الصبي في هذا الإناء، ومضى دون أن يشعر بعذابي.<br>البلبل: اعذريني، لم أنتبه.<br>السمكة: إنني في حيرة من أمري، أريد العودة إلى البحر الحبيب، ولا أستطيع الخروج.<br>البلبل: سأعود بعد قليل. |
| "السّمكة والحريّة" | اصْطادَ صَبِيٌّ سَمَكَةً صَغيرَةً، وَوَضَعَها في إناءٍ زُجاجِيٍّ، وَنَسِيَها عَلى الشّاطِئِ، وَمَضى مَعَ أَهْلِهِ، أَمّا السَّمَكَةُ فَكانَتْ تَبْحَثُ عَنْ أَيَّةِ طَريقَةٍ لِلْخُروجِ مِنْ هذا المَأْزِقِ. جاءَ بُلْبُلٌ، وَقالَ لَها: ما بِكِ أَيَّتُها السَّمَكَةُ؟<br>قالَتْ بِأَلَمٍ :أَلا تَرى مُصيبَتي؟<br>البُلْبُلُ :أَيَّةُ مُصيبَةٍ؟!<br>السَّمَكَةُ: تَرَكَني الصَّبِيُّ في هذا الإناءِ، وَمَضى دونَ أَنْ يَشْعُرَ بِعَذابي.<br>البُلْبُلُ :اعْذِريني، لَمْ أَنْتَبِهْ.<br>السَّمَكَةُ :إِنَّني في حَيْرَةٍ مِنْ أَمْري، أُريدُ العَوْدَةَ إِلى البَحْرِ الحَبيبِ، وَلا أَسْتَطيعُ الخُروجَ.<br>البُلْبُلُ :سَأَعودُ بَعْدَ قَليلٍ. |

جدول 11 نص القياس (وزارة التربية والتعليم الفلسطينية، 2024، ص. 16)

## الجزء الثاني: البروتوكول التقني لوحدة التحقق (Arabic Fluency Tracker)

يمثل تصميم المنصة الإلكترونية (وحدة التحقق) خطوة حاسمة لتحويل المنهجية النظرية إلى إجراءات تطبيقية موضوعية، مما يضمن أعلى درجات الدقة والموثوقية القياسية.

### 3.1 هندسة القياس الرقمي والتحكم في المتغيرات

تضمن المنصة الرقمية التحكم الدقيق في المتغيرات الإجرائية لتقليل خطأ القياس المعياري (SEM) وزيادة حساسية النتائج للتغيرات الطفيفة الناتجة عن الخط الطباعي الجديد.

| **الوحدة/المتطلب** | **الهدف المنهجي** | **التقنية الموصوفة (للمنصة الإلكترونية)** | **الإسهام المنهجي (للملحق أ)** |
|---|---|---|---|
| محرك التوقيت (MS Timing) | قياس الطلاقة بدقة الملّي ثانية (MS Timing). | توقيت آلي يبدأ بالنقر وينتهي بالنقر، مع تسجيل المدة الإجمالية، وهو ما يقلل خطأ القياس المعياري بشكل كبير. | ضمان موضوعية احتساب الوقت وتقليل خطأ القياس المعياري مقارنةً بالقياسات اليدوية |
| توثيق زمن التردد (Latency/IR) | قياس الكلفة الإدراكية (Cognitive Load Cost) عند معالجة الكلمات المشوشة بصرياً. | تسجيل آلي لـزمن التوقف قبل الكلمات التي يتم تصنيفها لاحقاً كأخطاء أو التي يصححها الطالب ذاتياً. | يوفر مؤشراً سلوكياً دقيقاً للكلفة الإدراكية، ويربط التحسن الهندسي (الخط الجديد) بانخفاض زمن التفكير والتردد) . |
| وحدة عرض الخطوط المتقدمة | التحكم المطلق في المتغيرات البصرية وعرض خصائص الخط (OpenType features). | ضمان دعم كامل لجداول GPOS لتطبيق التقنين وثبات مواضع التشكيل بدقة عالية، وتثبيت طول السطر (60–70 حرفاً) والخلفية البصرية. | إثبات أن الخط الجديد يُعرض بالخصائص الهندسية التي صُمم من أجلها لمعالجة الازدحام البصري. |

جدول **12** الوصف الهندسي لوحدة التحقق (الملحق أ)

3.2 بروتوكول التحليل والإدارة المركزية للبيانات

تُعدّ المنصة هي الوحدة المسؤولة عن تحويل البيانات الخام إلى مخرجات إحصائية قابلة للاستخدام البحثي.

| المكوّن | الوظيفة التقنية المبرمجة | التقنية الموصوفة (للمنصة الإلكترونية) |
|---|---|---|
| ترميز الأخطاء النوعية (VC/DE/PE) | واجهة مُقيّم مُزامَنة لتسجيل وتصنيف الأخطاء في الوقت الفعلي. | ربط الأداء السلوكي النوعي بالفرضيات التصميمية (التحقق من انخفاض أخطاء الخلط البصري للخط المقترح). |
| التحليل الإحصائي المتقدم | خوارزمية قادرة على احتساب الوقت والنتائج وفقًا للتجارب المنفذة | زيادة موثوقية النتيجة وحساسيتها للتغيرات الناتجة عن التدخل الطباعي، وتقليل التباين الناتج عن القياس اليدوي. |
| إدارة البيانات والتوثيق | حفظ البيانات المشفرة لكل طالب في قاعدة بيانات منظمة مع إمكانية تصديرها مشفرة. | تمكين التحليل الإحصائي المقارن والتحليل الطولي لمتابعة تقدم الطلاب وتوجيه قرارات التدخل التعليمي. |
| التقارير الميدانية والنهائية | القدرة على إنشاء تقرير فردي لكل جلسة أو جدول مقارنة لجميع الطلاب. | تلبية متطلبات توثيق النتائج النهائية وتوفير إشارات تشخيصية فورية للمُربيّ أو الباحث. |

جدول 13 بروتوكول التحليل الهندسي لوحدة التحقق (الملحق أ)

**3.1 الهيكل المعماري للمنصة الرقمية**

**3.2 وحدة عرض الخطوط والتهيئة الطباعية (Font Rendering Module)**

تضمن هذه الوحدة العرض الموحد والدقيق للخطين وفقًا للمواصفات التصميمية. يوفّر محرك العرض (Rendering Engine) دعمًا كاملاً لمميزات الخط المتقدمة (OpenType features) لضمان التطبيق الدقيق للتقنين (Kerning) وضبط المسافات المترية (Sidebearing) المصممة كميّاً لمعالجة مشكلة التباعد غير المتسق.

**متطلبات الضبط البصري:** تثبيت طول السطر بين 60 إلى 70 حرفًا، وتطبيق توليفة "النص الداكن على خلفية فاتحة غير بيضاء" (Off-white) لتقليل الإجهاد البصري الناتج عن التباين الحاد.

### 3.3 وحدة تسجيل الأداء والوقت (Performance Recording Module)

**3.3.1 التوقيت الآلي الدقيق:** تبدأ المنصة بتسجيل الوقت (بدقة الملّي/ثانية) فور إشارة الفاحص ببدء القراءة، وتوقفه فور الانتهاء من النص. هذا يضمن الموضوعية في احتساب الكلمات الصحيحة في الدقيقة (WCPM)، ويقلل خطأ القياس المعياري (SEM) الذي تعاني منه أدوات القياس التقليدية.

| الوحدة/المتطلب | الهدف المنهجي | التقنية | الرابط بفرضية التصميم |
|---|---|---|---|
| محرك التوقيت | قياس الطلاقة بدقة الملّي ثانية.(MS Timing) | توقيت آلي يبدأ بالنقر (بدء القراءة) وينتهي بالنقر (انتهاء القراءة)، مع تسجيل المدة الإجمالية. | ضمان موضوعية احتساب (WCPM) وتقليل (SEM) |
| **وحدة العرض الطباعي** | التحكم المطلق في المتغيرات البصرية (عزل التباعد) وعرض الخطوط المتقدمة (OpenType features) | تثبيت طول السطر (60-70) حرفًا، وتطبيق توليفة النص الداكن على خلفية فاتحة غير بيضاء (Off- white) لتقليل الإجهاد البصري. | ضمان أن الفرق الوحيد بين مجموعة الاختبار والمجموعة الضابطة هو المتغير الطباعي الهندسي للخط. |

جدول 14 هندسة القياس الرقمي والتحكم في المتغيرات

### 4.1 بروتوكول محرك التحليل والتوثيق الآلي (Automated Analysis Engine)

#### 4.1.1 تصنيف أخطاء القراءة السلوكية النوعية

يتمثل العنصر الحاسم للمنصة في قدرتها على تصنيف الأخطاء بدقة، مما يربط النتائج السلوكية بالفرضيات التصميمية للخط المقترح.

| رمز الفئة | الفئة (Error Category) | التعريف الإجرائي | الهدف المنهجي (رابط التصميم) | المرجع |
|---|---|---|---|---|
| VC | الخلط البصري (Visual Confusion) | الخلط بين الحروف ذات الهيكل المتشابه والمختلفة في النقاط (الجرافيمات القوسية). | قياس نجاح الخط في زيادة التمايز الهيكلي لتقليل الالتباس البصري | (Abu-Rabia & Taha, 2004) |
| DE | خطأ التشكيل والحركات (Diacritic Error) | إغفال، إضافة، أو استبدال علامات التشكيل. | قياس كلفة المعالجة البصرية لطبقة العلامات، وتأكيد أثر ثبات مواضع التشكيل. | (Abu-Rabia & Taha, 2004) |
| PE | خطأ صوتي/فنولوجي (Phonetic Error) | استبدال كلمة بكلمة أخرى تشابهها صوتيًا، بسبب ضعف فك التشفير الصوتي أو التنبؤ. | قياس العجز في فك التشفير الصوتي المعزول (باستخدام الكلمات الزائفة). | (Saiegh-Haddad, 2014) |
| IR | خطأ إيقاعي/تردد (Rhythmic Error) | توقف مطول (أكثر من 3 ثوانٍ) أو تكرار مقطع/كلمة بشكل غير دال على خطأ أساسي في التعرّف. | قياس "الطلاقة المتقطعة" وكلفة المعالجة الإدراكية الناتجة عن الازدحام البصري. | (Christ et al., 2012) |

جدول 15 تصنيف أخطاء القراءة السلوكية النوعية في اللغة العربية (وفق البروتوكول التحليلي)

### 4.2 بروتوكول محرك التحليل الآلي للنتائج

- **احتساب الكلمات الصحيحة في الدقيقة (WCPM):** يتم حسابه آليًا (بمستوى دقة المللي ثانية) باستخدام (الكلمات الصحيحة) مطروحاً منها (الأخطاء المُسجّلة) على مدة القراءة بالدقيقة.
- **توثيق الأخطاء النوعية:** ينتج المحرك تقريراً إحصائياً يركز على تكرارية أنواع الأخطاء ( VC, DE, PE) ضمن كل مهمة قراءة، مما يجهز البيانات للتحليل الإحصائي المقارن.

**ملحق (ب): المعايير المنهجية الحسابية وأسسها الإدراكية**

**معايير التقييم المعتمدة في أداة "أرابيكليكسيا"**

تم تحديد أربعة عشر معياراً كمياً، تستند إلى مراجعة شاملة للأدبيات العلمية والطباعية، وتُطبَّق وفق التسلسل التالي:

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثالية | الأهمية | نطاق اللغة |
|---|---|---|---|---|
| نسبة ارتفاع x | xheight_ratio | 0.66 | 2.00 | عام |
| درجة خطوط Sans Serif | score_for_sans_serif | 1.00 | 2.00 | عام |
| اتساق عرض الحروف | width_consistency | 0.30 | 1.00 | عام |
| نسبة عرض الفراغ | space_width_ratio | 0.40 | 1.50 | عام |
| اتساق الأشكال الابتدائية | initial_consistency | 0.20 | 1.50 | عربي |
| اتساق الأشكال الوسطية | medial_consistency | 0.25 | 2.00 | عربي |
| اتساق الأشكال النهائية | final_consistency | 0.20 | 1.50 | عربي |
| اتساق الأشكال المنفردة | isolated_consistency | 1.50 | 0.25 | عربي |
| اتساق مواضع التشكيل | diacritic_consistency | 0.10 | 2.00 | عربي |
| اتساق توازن الحروف | balance_consistency | 0.10 | 1.50 | عام |
| اتساق الهوامش الجانبية | sidebearing_consistency | 0.25 | 1.50 | عام |
| كثافة التقنين الشاملة | kerning_density | 1.00 | 2.00 | عام |
| اتساق الصواعد | ascender_consistency | 1.00 | 2.00 | عام |
| اتساق الهوابط | descender_consistency | 1.00 | 2.00 | عام |
| الدرجة النهائية | final_score | 10.00 | 1.00 | عام |

**المعيار1: نسبة ارتفاع x (X-Height Ratio)**

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثالية | الأهمية | نطاق اللغة |
|---|---|---|---|---|
| نسبة ارتفاع x | xheight_ratio | 0.66 | 2.00 | عام |

| التعريف التشغيلي | المسوّغ العلمي |
|---|---|
| تُقاس نسبة ارتفاع متن الحرف (x-height) إلى ارتفاع المرجع الرأسي (الألف/السطر المرجعي)، مع ضبط التوازن مع الصوَاعد والهوابط. | تُبرز الدراسات علاقةً ترابطيةً وثيقةً بين سِعة متن الحرف وطول الصوَاعد/الهوابط وتأثيرهما في وضوح العدّادات الداخلية وتمييز الأشكال؛ ويستلزم تكبير متن الحرف مراعاة أطوال الصوَاعد/الهوابط حتى لا يتراجع التمايز (Hillier, 2006). |

**مبررات القيمة المثالية والأهمية:**

- تُظهر الدراسات أنّ زيادة متن الحرف (x-height) تعزّز وضوح العدّادات وتمييز الأشكال بشرط حفظ التوازن مع الصوَاعد والهوابط؛ لذا يُعدّ ارتفاع x عاملًا وظيفيًا مؤثرًا في المقروئية ضمن حزمة خصائص تصميمية متضافرة (Hillier, 2006).
- **القيمة المثاليّة (0.66):** قيمةٌ تشغيلية متوازنة تُبقي متن الحرف كبيرًا دون تقصيرٍ مفرط للصوَاعد/الهوابط، وهي قابلة للمعايرة بحسب وسيط العرض وطول السطر. (قرار نمذجي مضبوط بمنطق القياس الطباعي) (Hillier, 2006).
- **الأهميّة (2.00):** لكون المتغير ذا تأثير مباشر في سرعة التعرّف على الحروف، ومتآزرًا مع توصيات الإرشاد المهني (تكبير المقاس، تبسيط الشكل، تجنّب المائل) ومع نتائج الأداء التي تُظهر أثر نمط الخط على زمن القراءة ومدد التثبيت (British Dyslexia Association, 2024) (Rello & Baeza-Yates, 2013).

**المعيار2: درجة خطوط Sans Serif**

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثالية | الأهمية | نطاق اللغة |
|---|---|---|---|---|
| درجة خطوط Sans Serif | score_for_sans_serif | 1.00 | 2.00 | عام |

| التعريف التشغيلي | المسوّغ العلمي |
|---|---|
| تُسجَّل درجة (1) للخطوط Sans-Serif و(0) للخطوط Serif، مع تفضيل تجنّب المائل. | تُظهر النتائج التجريبية على قرّاء ذوي عسر القراءة أن اختيار نمط الخط يؤثّر في زمن القراءة ومدد التثبيت البصري، مع أداءٍ أدنى في المائل، وتفضيلٍ عملي للخطوط السانس البسيطة المتباعدة في الإرشادات .(Rello & Baeza-Yates, 2013) (Parco, 2025) (Beier, 2021). |

**مبررات القيمة المثالية والأهمية:**

- توصي الإرشادات المهنية باستخدام خطوط Sans-serif المتباعدة والمنتظمة (مثل Arial، Verdana)، وتجنّب المائل، لدعم سهولة التعرّف وتقليل إجهاد القراءة لدى ذوي عسر القراءة (British Dyslexia Association, 2024). تميل سياسات إمكانية الوصول في جامعات كبرى إلى ترجيح (Sans-serif) للنصوص الرقمية ولمتعلمي ذوي صعوبات التعلّم، باعتبارها "أسهل قراءة" على الأجهزة. هذا إجماع إجرائي واسع، وإن لم يكن حاسمًا تجريبيًا (Parco, 2025). تُظهر المراجعات والدراسات المقارنة أن الفروق الأدائية بين (Serif) و(Sans-serif) غير حاسمة عند ذوي عسر القراءة؛ لذا يُعدّ هذا المعيار قرارًا تشغيليًا للوصول متوافقًا مع الإرشاد المؤسسي أكثر منه ادعاء بتفوّق أداء جوهري لفئة بعينها (Kuster et al., 2018) (Hillier, 2006) (Beier, 2021).
- **الأهميّة (2.00):** لأنّ تصنيف الفئة يؤثّر مباشرةً في قابلية الوصول ضمن بيئات العرض الرقمية، مع التنبيه إلى أنّ الأداء النهائي تحكمه حزمة خصائص أخرى؛ الحجم، التباعد، (x-height)، الميلان.

**المعيار3: اتساق عرض الحروف**

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثالية | الأهمية | نطاق اللغة |
|---|---|---|---|---|
| اتساق عرض الحروف | width_consistency | 0.30 | 1.00 | عام |

| **التعريف التشغيلي** | **المسوّغ العلمي** |
|---|---|
| يُقاس اتساق العروض باستخدام معامل الاختلاف (CV) لمجموعة ممثِّلة من الحروف؛ القيم الأدنى تعني اتساقًا أعلى. | يُعدّ CV مقياسًا لا بُعديًا للتشتّت النسبي يصلح لتكميم انتظام السمات الطباعية المرتبطة بالمقروئية، مع ارتباط الاتساق والضبط بحدّة الازدحام البصري (Beier, 2021). |

**مبررات القيمة المثالية والأهمية:**

- يُستخدم معامل الاختلاف (CV) لقياس التشتّت النسبي؛ الحفاظ على تشتّت منخفض في خصائص الحروف يتوافق مع مبدأ تقليل "التنوّع الداخلي" المفرط، إذ تشير الدراسات التيبوغرافية إلى أنّ الاختلافات الداخلية العالية في الخطوط النصيّة تُضعف الانتظام الإيقاعي وتضرّ بالمقروئية في أحجام النص (Beier, 2021).

- **القيمة المثاليّة (0.30):** حُدِّدت القيمة بوصفها قيمة تشغيلية متوازنة لضبط التباين، تكبح الحروف الشاذّة عرضًا من دون تحويل النظام إلى (Monospacing) كامل. القيمة قابلة للمعايرة الحقليّة بحسب نوع النص ووسط العرض. (قرار نمذجي مدعوم بمنطق القياس وأدلّة الأداء) (Beier, 2021) ( Rello & Baeza-Yates, 2013).
- **الأهميّة (1.00):** مُنِح المعيار وزنًا معتدلًا (1.00) لأنه عامل مُساندِ لتحسين الإيقاع البصري، ويعمل إلى جانب معايير أخرى؛ الحجم، التباعد، (ارتفاع x)، وليس محدِّدًا وحيدًا للأداء القرائي.

**المعيار4: نسبة عرض الفراغ**

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثالية | الأهمية | نطاق اللغة |
|---|---|---|---|---|
| نسبة عرض الفراغ | space_width_ratio | 0.40 | 1.50 | عام |

| التعريف التشغيلي | المسوّغ العلمي |
|---|---|
| نسبة عرض الفراغ بين الكلمات إلى ارتفاع المرجع الرأسي. | زيادة التباعد الحرفي/الكلمي تقلّل الازدحام البصري وتحسّن الأداء القرائي لدى ذوي عسر القراءة (Zorzi et al., 2012). |

**مبررات القيمة المثالية والأهمية:**

- يقيس المعيار عرض الفراغ بين الكلمات كنسبة من متوسّط عرض الحروف، بهدف تخفيف "الازدحام البصري" وتحسين تجزئة السطر إلى وحداتٍ لغوية واضحة لدى قرّاء عُسر القراءة. تدعم الدراسات أن زيادة التباعد (ولا سيما حين يكون ضيّقًا أصلًا) تحدُّ من أثر الـ(crowding)، وترفع الأداء القرائي، كما في نتائج "توسيع التباعد" التي حسّنت السرعة والدقّة عبر تقليل الخلط البصري بين المحارف المتجاورة، وأن التباعد الأوسع عمومًا قد يرفع سرعة القراءة وييسّر التمييز البصري للكلمات ( Zorzi et al., 2012). وتوصي الإرشادات المهنية كذلك بتجنّب تزاحم المادة النصيّة و"تفسيحها" في التخطيط الطباعي، وهو ما يصبّ في تعزيز وضوح الفصل بين الوحدات النصيّة على مستوى السطر والفقرة، كما تؤكّد أعمال حديثة في مجال عُسر القراءة أنّ «الازدحام» عاملٌ مركزيّ يجب أن يُعالَج طباعيًا لتقليل العبء المعرفي أثناء القراءة (British Dyslexia Association, 2024).

- بناءً على ذلك، تُحدَّد القيمة المثلى لنسبة مسافة الكلمة عند (0.40) قيمةٌ "متّزنة" تمنح فراغًا كافيًا لتمييز حدود الكلمات من دون تفكيك الترابط التركيبي للجملة. ولِأثرها المباشر في تقليل أخطاء دمج الكلمات وتحسين سلاسة حركة العين، مُنِحَ المعيار أهميّة (1.50) في النموذج.

**المعيار5: اتساق الأشكال الابتدائيّة**

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثالية | الأهمية | نطاق اللغة |
|---|---|---|---|---|
| اتساق الأشكال الابتدائية | initial_consistency | 0.20 | 1.50 | عربي |

| التعريف التشغيلي | المسوّغ العلمي |
|---|---|
| CV لخصائص بدايات الحروف الموصولة أول الكلمة (السماكات/المداخل/الاتجاهات). | الاتساق البنائي مع إبقاء فروقٍ تمييزية يحدّ من التباس الأشكال المتقاربة؛ التركيز على التمييز البنائي أولى من "أفضلية خط بعينه" (Kuster et al., 2018). |

**مبررات القيمة المثالية والأهمية:**

- تتّخذ الحروف العربية أشكالًا متعدّدة حسب الموقع (ابتدائي/وسطي/نهائي/معزول)، ما يوسّع عبء التعرّف البصري ويستدعي ضبطًا تصميميًا يحدّ التشتّت بين هذه الأشكال (Benmarrakchi, Majdoubi, & Zarik, 2025). تُظهر أدلّة نوعيّة مع ذوي عسر القراءة أن تشابه الأشكال وتراصّ الأسنان في المواقع الوُسطى يسبّبان إجهادًا بصريًّا، وتؤكّد الحاجة إلى انتظام شكلي يُسهّل التعرّف المتسلسل داخل الكلمة؛ ويستفاد منه في استقرار بداية الكلمة حين تتقارب الأشكال (Hejres & Tinker, 2025). تدعم دراسات أخطاء القراءة/الإملاء في العربية أنّ الخلط البصري بين الأشكال المتقاربة شائع لدى ذوي عسر القراءة، ما يبرّر تقليل التباين غير الضروري بين أشكال الحرف الواحد (Alamri & Teahan, 2017).
- لذلك حُدِّدت القيمة (0.20) قيمةً تشغيليةً لـ CV تكبح القيم الشاذّة في عرض الأشكال الابتدائية وتُحافظ على تنوّعٍ وظيفيّ دون كسر الإيقاع البصري لبدايات الكلمات؛ وهي قابلة للمعايرة حسب وسيط العرض (قرار نمذجي مدعوم بمنطق القياس).

- مُنِح المعيار وزنًا مرتفعًا (1.50) لأنه يعالج تحدّيًا بنيويًا خاصًا بالكتابة العربية موثّقًا في أدبيات التصميم وإدراكات المستخدمين ذوي عسر القراءة (Hejres & Tinker, 2025).
- التشغيل الحسابي في الأداة: يُحتسب CV لِعَرض جميع الأشكال الابتدائية القابلة للاتصال في مجموعة الحروف، ويُستعمل كدليل اتساق: كلما انخفض CV اقتربنا من انتظامٍ بصريٍّ يدعم التقسيم السريع لبدايات الكلمات.

**المعيار6: اتساق الأشكال الوسطيّة**

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثالية | الأهمية | نطاق اللغة |
|---|---|---|---|---|
| اتساق الأشكال الوسطية | medial_consistency | 0.25 | 2.00 | عربي |

| التعريف التشغيلي | المسوّغ العلمي |
|---|---|
| CV لمعابر الوصل الوسطية وسماتها البنيوية. | الاتساق المدروس في نقاط الوصل يُحسّن تتبّع العين ويقلّل تكوّن أنماط الالتباس، في إطار علاقة الاتساق/التباعد بحدّة الازدحام (Beier, 2021). |

**مبررات القيمة المثالية والأهمية:**

- في العربية المتصلة تظهر غالبية الحروف في الوضع الوسطي؛ هذا التوصيل يزيد العبء البصري ويجعل فصل الوحدات الحروفيّة أصعب، ما يستدعي اتساقًا شكليًا أعلى لتسهيل تتبّع العين وتقليل الجهد المعرفي (Hejres & Tinker, 2025). توثّق دراسات أخطاء القراءة/الإملاء لدى ذوي عسر القراءة التباس الأشكال المتقاربة، ما يدعم تقليل التباين غير الضروري بين صور الحرف (وخاصة المتكررة وسطيًا) (Alamri & Teahan, 2017).
- يُستخدم معامل الاختلاف (CV) لقياس التشتت النسبي كخيار منهجي لا بعُدي في تقييم انتظام السمات الطباعية؛ واعتماد (0.25) قيمةً تشغيلية يضبط التباين لمنع "تقطّع" الإيقاع البصري دون إلغاء الفروق الوظيفية بين الحروف. (قرار نمذجي مدعوم بمنطق القياس) (Beier, 2021).

- مُنح المعيار وزن (2.00) لكون انتظام الشكل الوسطي عنصرًا محورياً في الإيقاع الأفقي للنص العربي وكثافة تكراره في الكلمات المتصلة. تُبرز الدراسات الخاصة بعسر القراءة في العربية ضرورة هذا الضبط البنيوي (Benmarrakchi, Majdoubi, & Zarik, 2025) (Hejres & Tinker, 2025).

**المعيار7: اتساق الأشكال النهائيّة**

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثالية | الأهمية | نطاق اللغة |
|---|---|---|---|---|
| اتساق الأشكال النهائية | final_consistency | 0.20 | 1.50 | عربي |

| التعريف التشغيلي | المسوّغ العلمي |
|---|---|
| CV لخصائص نهايات الحروف الموصولة آخر الكلمة. | الاتساق المدروس في نقاط الوصل يُحسّن تتبّع العين ويقلّل تكوّن أنماط الالتباس، في إطار علاقة الاتساق/التباعد بحدّة الازدحام (Beier, 2021)، مع التمييز لمنع تقارب الأشكال بصريًا (Kuster et al., 2018). |

**مبررات القيمة المثالية والأهمية:**

- في العربية المتصلة تؤدّي الأشكال النهائية دور "علامة حدّ بصري" تُيسّر فصل الكلمة كوحدة مستقلة وتدعم الانتقال السلس بين الكلمات؛ ضعف الانتظام في نهايات الحروف يخلق "تماوُجًا" بصريًا يفاقم العبء المعرفي لدى القارئ. تُبيّن الدراسات الخاصة بعسر القراءة في العربية أنّ التعدد الموضعي للأشكال والاتصال الكتابي يزيدان عبء التعرّف، ما يستلزم اتساقًا شكليًا أعلى عند حدود الكلمات (Alamri & Teahan, 2017) (Hejres & Tinker, 2025).
- يُستخدم معامل الاختلاف (CV) لقياس التشتّت النسبي لِعَرض الأشكال النهائية بوصفه مؤشرًا لا بعُديًا على الانتظام الإيقاعي؛ واعتماد (0.20) قيمةً تشغيلية يضبط الشذوذ العرضي من دون إلغاء الفروق الوظيفية، مع قابليته للمعايرة وفق وسيط العرض وطول السطر. (قرار نمذجي مستند إلى منطق القياس الطباعي) (Beier, 2021).

- مُنِح المعيار وزن (1.50) لأن انتظام النهايات يُسهم مباشرةً في التقطيع البصري للكلمات واستقرار الهوامش البصرية بين الوحدات، وهو عامل مساند قوي لتقليل الجهد الإدراكي وإن كان أقل مركزية من انتظام الأشكال الوسطية الأكثر تكرارًا (Hejres & Tinker, 2025).

**المعيار8: اتساق الأشكال المنفردة**

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثالية | الأهمية | نطاق اللغة |
|---|---|---|---|---|
| اتساق الأشكال المنفردة | isolated_consistency | 1.50 | 0.25 | عربي |

| التعريف التشغيلي | المسوّغ العلمي |
|---|---|
| CV لأبعاد صيغ الحروف المنفردة (غير الموصولة) | وضوح الأشكال المنفردة وتوازن عدّاداتها الداخلية عاملٌ مساعد في تمييز الحروف المتقاربة، كما توثّقه الأدلة التصميمية (Frensch, 2003). |

**مبررات القيمة المثالية والأهمية:**

- تمثل الأشكال المنفردة الهوية البصرية الأساسية لكل حرف عربي، ويُعد التباين بينها سمةً بنيويةً طبيعية ناتجة عن اختلاف البنية الشكلية بين الحروف (كالألف والعين). ولذلك، لا يُستهدف من هذا المعيار تحقيق اتساقٍ مرتفع، بل رصد الحالات الشاذة التي تنحرف عن المعدل الطبيعي (Hejres & Tinker, 2025). تؤكد الدراسات أن محاولة توحيد العرض في الأشكال المنفردة تُضعف السمات المميّزة للحروف وتؤثر سلبًا على التعرّف البصري السريع، خصوصًا لدى ذوي عسر القراءة الذين يعتمدون على التميّز الشكلي بين الحروف المتشابهة لتقليل الالتباس (Visual Confusion) (Hejres & Tinker, 2025).
- لهذا تم اعتماد قيمة مثالية مرتفعة (1.50) لضمان التنوع الطبيعي دون إفراط، مع وزنٍ منخفض (0.25) يعكس الدور الثانوي لهذا المعيار في التأثير على الإيقاع البصري العام، مقارنةً بالأشكال المتصلة التي تؤثر مباشرة في التدفق القرائي.
- تُطبّق الخوارزمية معامل التباين (CV) على جميع الحروف العربية المنفصلة لرصد الاختلافات المفرطة التي قد تسبب تشتتًا بصريًا أو ضعفًا في استقرار التعرّف البصري.

**المعيار9: اتساق مواضع التشكيل**

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثالية | الأهمية | نطاق اللغة |
|---|---|---|---|---|
| اتساق مواضع التشكيل | diacritic_consistency | 0.10 | 2.00 | عربي |

| التعريف التشغيلي | المسوّغ العلمي |
|---|---|
| CV لمواضع العلامات (أفقيًا/رأسيًا) نسبةً لبدن الحرف. | ثبات مواضع العلامات يعزّز فصل الحروف المتقاربة شكلًا ويقلّل مصادر الالتباس (Frensch, 2003). |

**مبررات القيمة المثالية والأهمية:**

- تُعدّ علامات التشكيل "سيفًا ذا حدّين": فهي تزيد العبء البصري إذا كَثُرت أو ساء تموضعُها، لكنها ضرورية لضبط النطق في العربية العميقة الإملاء؛ لذا يلزم موضع رأسي ثابت ومتوقَّع يقلّل التعقيد البصري مع الحفاظ على فائدة التشكيل (Hejres & Tinker, 2025) (Benmarrakchi, Majdoubi, & Zarik, 2025). تُظهر خبرات القرّاء ذوي عسر القراءة حساسيّةً لعلامات فوق/تحت الحرف (ومنها النُّقط) عند انزياحها، ما يولِّد التباسًا دلاليًّا وبصريًّا؛ وعليه فإن الاتّساق الرأسي يقلّل «الضوضاء البصريّة» ويُيسّر التمييز (Hejres & Tinker, 2025). تُصنَّف أخطاء التشكيل كفئة مستقلّة في مدوّنات أخطاء عُسر القراءة العربي، ما يدعم إدراج مؤشرٍ مخصّصٍ لقياس انتظامها (Alamri & Teahan, 2017).
- تُضبط القيمة التشغيلية عند (0.10) (انحراف معياري لارتفاع العلامة نسبةً إلى مرجع الحرف) لضمان تفاوتٍ ضئيلٍ يَكفي لتلافي التداخُل مع جسم الحرف أو مع سطرٍ علويّ، دون تقييدٍ مفرطٍ لتنوّع الخطوط. مُنح المؤشّر وزن (2.00) لِما للتشكيل من أثرٍ مباشرٍ على القراءة في السياقات التعليمية والنصوص ذات الغموض الصوتي. (قرار نمذجي يستند إلى منطق القياس ونتائج الخبرة المستخدمية) (Hejres & Tinker, 2025).
- **قياس المؤشّر (مختصر تشغيلي):** تُحسَب المسافة الرأسية من مرجع الحرف (Anchor/Baseline المناسب) إلى مركز كلّ علامة تشكيل، ثمّ يُحتسب الانحراف المعياري لهذه المسافات عبر مجموعة عيّنات ممثِّلة؛ قيمةٌ أصغرُ ⇒ اتّساقٌ أعلى.

**المعيار10: اتساق توازن الحروف**

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثالية | الأهمية | نطاق اللغة |
|---|---|---|---|---|
| اتساق توازن الحروف | balance_consistency | 0.10 | 1.50 | عام |

| التعريف التشغيلي | المسوّغ العلمي |
|---|---|
| CV لنِسب الكتلة/البياض داخل الحروف (counters). | اتّساع العدّادات الداخلية وتوازن الكتلة مع البياض يدعمان التمييز ويحدّان من آثار الازدحام (Beier, 2021) (Frensch, 2003). |

**مبررات القيمة المثالية والأهمية:**

- يقيس هذا المعيار بانتظام مراكز الثقل البصري للحروف على امتداد السطر؛ فالتفاوت الكبير يُنتج نصًّا "مرتعشًا" ويُضعف استقرار حركة العين، بينما يُفضي الانتظام إلى محاذاة خطّية أكثر ثباتًا وإيقاع قراءة أكثر راحة. وقد أوصت نقاشات مجموعات التركيز بإبقاء سلسلة الحروف قريبة قدر الإمكان من السطر الأساسي لتقليل "حركة النص" كما يُدرِكها القارئ، وأكّدت تفضيلًا واضحًا لاصطفاف الحروف "متمركزة ومباشرة على السطر" (Alamri & Teahan, 2017).
- تدعم الدراسات التطبيقية لفئة الخطوط الصديقة لعُسر القراءة مبدأ التثقيل السفلي للحروف باعتباره يُحسّن رسوخها البصري على السطر ويعزّز تمييز أشكالها، وهو من السمات التي كثيرًا ما يُشدّد عليها مصمّمو تلك الخطوط، مثل؛ زيادة الفتحات الداخلية، إطالة الصواعد/الهوابط، (وزيادة ارتفاع x) (Benmarrakchi, Majdoubi, & Zarik, 2025).
- بناءً على ذلك، ضُبطت القيمة التشغيلية عند (0.10) (انحراف معياري لمواضع مراكز الثقل الرأسية بالنسبة إلى مرجع الحرف/السطر) بوصفها عتبةً تُحقّق انتظامًا بصريًّا ملحوظًا دون تقييد تنوّع الأشكال؛ ومُنح المؤشر وزن (1.50) لكون استقرار السطر عاملًا جوهريًّا في راحة القراءة، وإن كان أقلّ محوريةً من المعايير التشريحية الكبرى (كارتفاع x) وتُحتسب القيمة إجرائيًّا بحساب الانحراف المعياري لمواضع مركز الثقل الرأسي لمجموعة ممثِّلة من المحارف؛ قيمةٌ أصغر ⇒ اتّساقٌ أعلى. (استدلالٌ تصميميّ مدعوم بتوصيات اصطفاف الحروف على السطر لدى ذوي عسر القراءة).

**المعيار11: اتساق الهوامش الجانبيّة**

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثالية | الأهمية | نطاق اللغة |
|---|---|---|---|---|
| اتساق الهوامش الجانبية | sidebearing_consistency | 0.25 | 1.50 | عام |

| التعريف التشغيلي | المسوّغ العلمي |
|---|---|
| CV لقِيَم الهوامش الجانبية (sidebearings) على طيفٍ واسع من الحروف. | ضبط المسافات الدقيقة بين الحروف ركنٌ من جودة الضبط الميكروطباعي ويرتبط بأداء القراءة عبر أثره في الازدحام (Beier, 2021). |

**مبررات القيمة المثالية والأهمية:**

- يهدف المؤشّر إلى فرض إيقاعٍ بصريّ منتظم بين المحارف يمنع التكتّل (crowding) أو التباعد المفرِط. توصي الإرشادات المهنيّة باستخدام خطوط سانس سيرف "متباعدةٍ بصورةٍ متساوية" وبأن يُفسَح للنصّ بصريًّا بدلاً من تزاحمه، وهي مبادئ ترتبط مباشرةً بتجانس المسافات الميكرو-طباعيّة بين الحروف، أي الهوامش الجانبيّة (British Dyslexia Association, 2024). كذلك تُظهر المراجعات التجريبيّة أن زيادة التباعد بين الحروف قد تُفيد بعض القرّاء ذوي عسر القراءة، وأن تقليل التباعد عن القيمة الافتراضيّة يضرّ بالطلاقة، ما يبرّر السعي إلى اتّساقٍ كافٍ في المسافات الدقيقة بين المحارف لتجنّب التلاصق البصري (Kuster et al., 2018).
- ومن منظور التصميم القرائي للنصوص الطويلة، يُعدّ ارتفاع التنوّع الداخلي سلبياً على الانسياب القرائي؛ لذا يُستحسن ضبط المسافات المنتظِمة في البُنى الحروفيّة الدقيقة -ومنها الهوامش- للحفاظ على نسيج بصري متجانس (Beier, 2021).

**طريقة الحساب:** حيث (SB) = (الهامش الأيسر + الهامش الأيمن) لكل محرف

$$CV = \frac{\sigma_{\mathrm{SB}}}{\mu_{\mathrm{SB}}}$$

**الخلاصة التطبيقية :**اختيار (CV≈0.25) يحقق توازناً بين مرونة العروض النسبيّة للمحارف وبين ثبات النسيج القرائي؛ وهو مستوى كافٍ لمنع التلاصق دون فرض تماثلٍ قسريّ يُخلّ بوظائف الحروف وهويّاتها البصريّة.

**المعيار12: كثافة التقنين الشاملة**

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثالية | الأهمية | نطاق اللغة |
|---|---|---|---|---|
| كثافة التقنين الشاملة | kerning_density | 1.00 | 2.00 | عام |

| التعريف التشغيلي | المسوّغ العلمي |
|---|---|
| نسبة أزواج الحروف التي تتطلّب تقنينًا خاصًا ضمن مجموعةٍ مرجعية من الأزواج. | تُظهر النماذج الحاسوبية الحديثة أنّ تقدير التقنين على مستوى الأزواج والمجموعة معًا يحقّق اتساقًا بصريًا أعلى من الضبط الحدسي (Nakatsuru & Uchida, 2024). |

**مبررات القيمة المثالية والأهمية:**

- يُقَيِّم هذا المعيار مدى اكتمال وجود «أزواج التقنين» للأزواج الحرِجة من الحروف، بوصف التقنين أداةً ميكرو-طباعية لضبط المسافات البينيّة على مستوى الأزواج بهدف تحقيق نسيج بصري متجانس يسهل تتبّعه. تؤكّد الدراسات أنّ ضبط المسافات البينيّة (بما فيها التقنين) عنصرٌ جوهري في جودة التنضيد وتحسين المقروئية، إذ يعالج التفاوتات الموضعية التي تُحدِث فراغاتٍ مُشتِّتة داخل الكلمة وتكسر الإيقاع البصري للنص (Zorzi et al., 2012). كما تُظهر إرشادات الجمعيات المتخصصة لعسر القراءة تفضيل التباعد الكافي وخيارات الخطوط التي تحدّ من التلاصق والازدحام البصري، ما يدعم الحاجة إلى ضبطٍ أدقّ للمسافات على مستوى الأزواج الحسّاسة لتجنّب "تكتلات" أو "انفراجات" غير متوقعة أثناء القراءة (British Dyslexia Association, 2024). ويبرهن العمل التجريبي أنّ تقليل أثر «الازدحام البصري» عبر تحسين التباعد بين الحروف يرفع دقّة القراءة وسرعتها لدى ذوي عسر القراءة، وهو أثر يرتبط مباشرةً بجودة الضبط الميكرو-طباعي للمسافات بين الحروف المتجاورة داخل الكلمة ( Zorzi et al., 2012).

- تُسنَد القيمة المثلى إلى (1.00) (وجود تقنين مُعرَّف لجميع الأزواج المرجعية قيد الاختبار) لأن اكتمال تغطية الأزواج يحدّ من الانقطاعات الموضعية في نسيج النص ويُحافظ على إيقاع بصري ثابت عبر الكلمات. ويُمنَح هذا المعيار وزنٌ عالٍ (2.00) لكونه يتعامل مع سببٍ مباشر لصعوبات القراءة لدى ذوي عسر القراءة، أي الازدحام البصري داخل البُنى الحروفيّة المتجاورة؛ إذ إن ضبط المسافات على مستوى الأزواج يُسهم في تقليل التشويش الناجم عن تقارب السمات البصريّة للحروف وتحسين التعرّف السريع عليها، وهو ما ثبتت فائدته عند رفع التباعد البيني للحروف في الدراسات التجريبية على عسر القراءة (Zorzi et al., 2012)، ويتّسق كذلك مع التوصيات العملية التي تفضّل إعداداتٍ طباعية تُقلّل التلاصق وتُيسِّر التتبّع البصري للسطر (British Dyslexia Association, 2024).
- **طريقة القياس الحسابي:** تتحقق الخوارزمية من وجود تقنين مخصّص لِلائحة مُحدَّدة من الأزواج الحرجة (عربية/إنجليزية) ثم تحسب النسبة المئوية للأزواج المُغطّاة من إجمالي الأزواج المرجعية؛ وتُعدّ النسبة المرتفعة مؤشراً لكمّ الضبط الميكرو-طباعي المُطبّق ولانتظام الإيقاع البصري داخل الكلمات.

**المعيار13: اتساق الصواعد**

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثالية | الأهمية | نطاق اللغة |
|---|---|---|---|---|
| اتساق الصواعد | ascender_consistency | 1.00 | 2.00 | عام |

| التعريف التشغيلي | المسوّغ العلمي |
|---|---|
| يُقاس الانتظام الإحصائي (SD/CV) لارتفاع الصوَاعد عبر مجموعة ممثِّلة. | الصوَاعد الواضحة والطويلة تعزّز التمييز وتقود المسار البصري في القراءة المتصلة (Frensch, 2003) (Hillier, 2006) |

**مبررات القيمة المثالية والأهمية:**

- يستند ضبط تباين ارتفاع الصوَاعد عند (CV = 0.05) ووزن (2.00) إلى أن اتّساق الصوَاعد يكوّن «خطًّا سماويًّا» مستقرًّا يُرشد الحركة العينية ويُبقي إيقاع السطر منتظمًا؛ وقد خلصت دراسات التصميم الموجّه لعسر القراءة إلى أن الصوَاعد (والهوابط) ينبغي أن تكون واضحة وطويلة "لضمان مقروئيّتها"،

مع موازنة الأوزان والمسافات لتقليل التنافس البصري بين المحارف والخلفية، وهي مبادئ أُثبتت عبر اختبار المستخدمين في أبحاث (Read Regular) (Frensch, 2003)، كما تؤكّد الدراسات التطبيقية المرتبطة بالخطوط الداعمة لعسر القراءة مثل (OpenDyslexic) أهمية السمات البنيويّة المميّزة التي تمنع الالتباس وتُحسّن التعرّف إلى الحروف، وهو ما يتكامل مع اشتراط اتّساقٍ صارمٍ في ارتفاع الصوَاعد لتثبيت "الأفق" البصري للسطر (Laddusaw & Brett, 2019). إضافةً إلى ذلك، تُبرز تقارير التصميم لقرّاء عُسر القراءة أن تقليل التباين غير الضروري في السمات الهندسية يعزّز انتظام النسيج الطباعي ويُحسّن الأداء القرائي، ما يبرّر حدًّا صارمًا للتشتّت ($CV \approx 0.05$) وإعطاء هذا المؤشر أعلى وزنٍ تشغيلي ضمن نموذج القياس (Beier, 2021).

**المعيار14: اتساق الهوابط**

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثالية | الأهمية | نطاق اللغة |
|---|---|---|---|---|
| اتساق الهوابط | descender_consistency | 1.00 | 2.00 | عام |

| التعريف التشغيلي | المسوّغ العلمي |
|---|---|
| قاس الانتظام الإحصائي (SD/CV) لأعماق الهوابط عبر مجموعة ممثِّلة. | طول الهوابط وتماسكها البنائي يرفعان قابلية التمييز بين الأشكال ويحدّان من الالتباس البصري (Frensch, 2003). |

**مبررات القيمة المثالية والأهمية:**

- يستند ضبطُ عمق الهوابط إلى مبدأ الاستقرار الخَطِّيّ للسطر: فكلّما كان عمق الهوابط متّسقًا عبر المحارف، تشكّل "خطٌّ ساحل" سفليًّا منتظمًا يُخفّض اهتزاز النَّسق البصري وييسّر تتبّع العين. تؤيّد أدبيّات تصميم الخطوط الموجّهة لعُسر القراءة ضرورةَ وضوحِ الصَّواعد والهوابط وامتدادِها للمحافظة على المقروئيّة؛ إذ خلصت دراسة (Read Regular) إلى أنّ الهوابط ينبغي أن تكون طويلة لضمان الوضوح، ضمن معالجةٍ أشمل لتباعد الحروف ووزنها لتحقيق تمايزٍ أقوى بين الأشكال المتشابهة (Frensch, 2003). ويُدعم هذا المنحى أيضًا بمبدأ التثقيل السفلي للأحرف (bottom-heavy) المستخدم في خطوط مثل (OpenDyslexic) بغرض تثبيت الحرف بصريًّا ومنع انقلابه، بما يعزّز رسوخَه على السطر واتّجاهه الإدراكي الصحيح (Laddusaw & Brett, 2019). وإذ تُظهر بحوث

"الازدحام البصري" أنّ تحسين البنية الطباعية يقلّل تداخل السمات البصرية ويُحسّن الأداء القرائي لدى ذوي العُسر عبر تيسير التقسيم البصري للسلسلة الحروفيّة، فإن انتظام "أرضية" السطر بفضل هوابطٍ متّسقة يندرج ضمن هذه المعالجة الإدراكية الداعمة للمقروئيّة (Zorzi et al., 2012).

- لهذه الأسباب، تُحدَّد القيمة المثلى للتشتّت عند (0.05) (اتّساقٌ صارم لا يتجاوز 5%)، ويُسنَد وزنٌ عالٍ (2.00) نظرًا لدور الهوابط المحوري في ترسيخ بنية السطر وتقليل العبء الإدراكي لدى القارئ.

**المعيار15: احتساب درجة الملائمة النهائيّة**

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثالية | الأهمية | نطاق اللغة |
|---|---|---|---|---|
| الدرجة النهائية | final_score | 10.00 | 1.00 | عام |

| **التعريف التشغيلي** |
|---|
| ناتجٌ مركّب مرجَّح لمكوّنات المعايير أعلاه وفق أوزانها وقيمها المثلى. |

**مبررات القيمة المثالية والأهمية:**

- يُعد هذا المعيار نتاجًا حسابيًّا تجميعيًّا للأداة "أرابيكليكسيا" وليس خاصيةً مادية في الخط؛ إذ يُعبّر عن مدى التوافق الكمي بين سمات الخط المختلفة ومبادئ المقروئية الطباعية. يعتمد المؤشر على نموذجٍ مرجَّحٍ يدمج المعايير السابقة جميعها - كالتباعد البصري، التمايز الحرفي، والاتساق الهيكلي - في معادلةٍ موحدةٍ تمنح الخط تقييمًا نهائيًا على مقياس من (0 إلى 10).
- تم تحديد القيمة المثالية (10.00) باعتبارها الحد الأعلى الذي يُعبّر عن التوافق الكامل مع القيم المثالية المحددة لكل معيار فرعي. أما الأهمية (1.00) فهي رمزية، لأن هذا المعيار يُمثل النتيجة النهائية لا أحد مدخلاتها الحسابية.
- من الناحية العلمية، يُبرَّر هذا المؤشر بصفته تجسيدًا لنموذج التقييم الكلي للمقروئية الطباعية، وهو اتجاهٌ شائع في أبحاث القياس الكمي للأداء البصري للنصوص، حيث تُدمج المتغيرات التصميمية في معاملٍ واحدٍ لتمثيل جودة القراءة (Beier, 2021). ويستند هذا الدمج إلى دراساتٍ تؤكد أن المقروئية لا تُحدَّد بمتغيرٍ منفرد، بل هي حصيلة تكامل عوامل متعدّدة تشمل:

1. **التباعد البصري بين الحروف والكلمات،** الذي يقلل من الازدحام البصري ويساعد في تمييز الكلمات كوحدات مستقلة (Zorzi et al., 2012; Rello & Baeza-Yates, 2013).
2. **التمييز الحرفي البنيوي** الذي يُقلّل من الالتباس البصري لدى القراء ذوي عُسر القراءة (Frensch, 2003; Laddusaw & Brett, 2019).
3. **الاتساق التشريحي والهيكلي** للحروف، الذي يثبّت الإيقاع البصري ويزيد وضوح المعالم الإدراكية (Kuster et al., 2018).

وبذلك تمثل الدرجة النهائية في "أرابيكليكسيا" تقديرًا كمّيًا موحدًا لتلك العوامل المتداخلة، يُترجم الأداء الطباعي إلى قيمة قابلة للمقارنة بين الخطوط المختلفة، وتعمل كأداة معيارية لتقييم وتحسين المقروئية عبر البيئات اللغوية المتعددة.

## ملحق (ج): التوثيق الهندسي والمقاييس المترية لخط (Arabiclexia Font)

## ترجمة المعايير الحاسوبية للمقروئية: الدليل الهندسي لتطبيق القيم المثالية (Target Values) في تصميم الخطوط العربية (Glyph Metrics)

### نموذج القياس والترجمة الحاسوبية للمقروئية

استنادًا إلى التحليل البصري النوعي الذي قدّمته (Hejres & Tinker, 2024) حول سمات الحروف المميِّزة وخلاصة اعتبارات التصميم لخط عربي مُيسِّر للقراءة، تقترح هذه الرسالة نقل تلك الاعتبارات إلى مؤشِّرات رقمية قابلة للقياس من ملفات الخطوط، بغرض التقييم الموضوعي لأداء الخطوط العربية الداعمة لعسر القراءة. في هذا السياق، تبرز منصة التحليل الحاسوبي "أرابيكليكسيا" كأداة منهجية تستخدم نموذج المتوسط المرجح المتكيف (Adaptive Weighted Average) لتقييم الخصائص الهندسية والتشريحية للخطوط. إن فهم كيفية ترجمة القيمة المثالية (Target Value) إلى وحدات هندسية فعلية داخل بيئة تصميم الخطوط مثل (Glyphs App) يُعد أمراً حيوياً لمصممي الخطوط.

### المنطلقات النظرية والقيمة المثالية (Target Value)

تعتمد "القيمُ المثاليّة" في أداة "أرابيكليكسيا" بوصفِها أهدافًا كميّة مُشتقّة منهجيًّا من الدراسات النوعيّة في تصميم الخطوط الملائمة لعُسر القراءة، لا بوصفِها معاييرَ منصوصًا عليها نصًّا. يوفّر Hejres & Tinker (2024) الإطارَ المفاهيميَّ الذي يُبرّر تقليلَ الحمل البصري وضبطَ طبقة العلامات، فيما يُتيح نموذجُ التبرير العربي عند Benatia et al. (2006) تحويلَ بعض هذه المبادئ إلى متغيّراتٍ قابلةٍ للقياس (مثل طول الكَشيدة وحدود مواضعها). وبناءً على ذلك، تُحدَّد هذه "القيم المثاليّة" بوصفها اشتقاقًا علميًّا لا نقلًا حرفيًّا من مصدرٍ بعينه، مستندةً إلى الإطار النوعي (Hejres & Tinker, 2024) وإلى الأعمال التي قدّمت ضوابط قابلةً للقياس في العربيّة (Benatia et al., 2006; Chahine, 2012).

### دلالة الأهمية (الوزن النسبي) في نموذج التقييم

تُسنِد أداة "أرابيكليكسيا" وزنًا نسبيًّا لكلّ معيارٍ بما يعكس مساهمته المتوقَّعة في وضوح القراءة، وتُستَخدَم هذه الأوزان في احتساب الدرجة النهائيّة للخط. وقد خُصِّصت أوزان مرتفعة مثل (2.00) لمعاييرٍ بعينها منها اتّساق الأشكال الوسطيّة (medial_consistency)، واتّساق مواضع التشكيل (diacritic_consistency)، ونسبة ارتفاع جسم الحرف (xheight_ratio) استنادًا إلى ما ترجّحه الدراسات من أثرٍ حاسم لهذه السمات في العربيّة: فثبات المناطق المرجعيّة الرأسيّة واتّساق الأشكال السياقيّة يرتبطان مباشرةً بالمقروئيّة (Chahine, 2012; Janbi, 2016; Nemeth, 2006)، في حين يُعدّ موضع التشكيل وتفاعله مع النقاط عاملًا محوريًّا في تجنّب الازدحام البصري (Chahine, 2012)، كما يؤثّر ضبط الامتدادات والأبعاد الأفقيّة في انتظام الإيقاع الخطي ومنع الالتباس (Benatia et al., 2006). وبهذا التوزيع، تُوجِّه الأداةُ المصمّمين إلى أولويّاتٍ هندسيّةٍ تُعالج جذور التشوّه البصري في النصّ العربي وتُخفِّض العبء الإدراكي على القارئ.

### أساس الترجمة: الوحدة الطباعية (Font Units - FU) والـ (EM Square).

تُجرى القياساتُ الطباعية داخل ملفّات الخطوط بوحدةٍ داخلية تُسمّى (وحدات الخطّ Font Units (FU) المعرَّفة على مربّعٍ مرجعي (مربّع الـ EM) وفي السياقات الرقمية الحديثة صارت شبكات الـ (EM) تُقاس عادةً بـ 1000 وحدةٍ أو أكثر، بعد أن كانت أقلَّ بكثير في النُّظم الأقدم؛ وهو ما يوضّح انتقال الطباعة من قيودٍ مادية إلى بنيةٍ رقمية دقيقة تسمح بقياسٍ وتحكّمٍ أعلى بمترِيات الخطوط (Smitschuijzen, 2001). وعليه، فإنّ تحويل النِّسَب التصميميّة إلى قيَم عددية قابلةٍ للقياس البرمجي يتمّ مباشرةً عبر ضرب النسبة في قيمة unitsPerEm في ملفّ الخط. مثلًا: إذا كان xheight_ratio = 0.66 وكانت unitsPerEm = 1000، فارتفاع جسم الحرف المثالي يساوي 660 .FU هذه ليست "قاعدةً معياريةً" منصوصًا عليها، بل "قيمةُ هدف تصميميّة" (Target Value) تُوظَّف لضبط الاتّساق الرأسي وتوسيع حيّز التعرّف البصري على الجسم الحرفي مقارنةً بالصوّاعد والهوابط، بما يُخفِّف من أثر الازدحام البصري لدى ذوي العُسر القرائي؛ وهو اتّجاه تؤيّده النتائجُ التجريبية التي أظهرت أن زيادة التباعد/اتّساع البنية تُحسّن الأداء القرائي لدى المتعسّرين قرائيًّا (Zorzi et al., 2012).

وفي السياق العربي تحديدًا، تُبرز أعمالُ بناء مقاييس القراءة العربية القياسيّة ضرورةَ ثبات المعطيات الطباعية (الحجم، المسافات، طول المادة ودرجة صعوبتها) لضمان قياسٍ أمينٍ لسرعة القراءة والدقّة، مع ضبطٍ مُسبقٍ لشروط العرض والتخطيط كي تُقارن النتائج بين المواد والمستويات على نحوٍ موثوق (Alabdulkader & Janbi, 2016) (Leat, 2016). وهذا يُبرّر اعتماد نسبٍ مستهدفةٍ ثابتةٍ مثل (xheight_ratio) قبل الدخول إلى الاختبار القرائي وتوحيد شروط العرض بين جميع المواد.

## تحليل القياسات الأساسية الحاكمة لتحديد المسافة (Advance Width)

يشير عرض المسافة (Advanced Width) إلى العرض الكلي للمحرف، والذي يتكون من عرض جسم الحرف نفسه (Glyph Width) بالإضافة إلى الهوامش الجانبية اليمنى واليسرى (LSB وRSB):

المسافة (Asvanced Width) = LSB + Glyph Width + RSB

(Microsoft, 2025). وتؤدي الهوامش الجانبية دورًا مباشرًا في التحكم بالتباعد بين المحارف، ومن ثمّ في انتظام الإيقاع البصري للسطر (Bigelow, 2019). أما من جهة الأداء القرائي، فتُظهِر الأدلة التجريبية أن توسيع التباعد بين الحروف يحسّن القراءة لدى ذوي عسر القراءة، بما يدعم أهمية الضبط الدقيق للتباعد الأفقي (Zorzi et al., 2012).

## متطلبات اتساق عرض الحروف (width_consistency)

يُعرَّف معيار (width_consistency) بوصفه معامل التباين (CV) لِـ (Advance Width) عبر مجموعة الحروف المستهدفة في الخطّ. ويُحسب (CV) بقسمة الانحراف المعياري لعروض الحروف على متوسّطها. القيمةُ المثاليّة المعتمدة هنا هي (0.30) (بوزن 1.00)؛ وهي قيمةُ هدفٍ منهجيّة داخل الأداة وليست قاعدةً معيارية من الدراسات، وجرى اختيارُها لاستيعاب التفاوت البنيوي الطبيعي للأبعاد الأفقية في الخطّ العربي المتّصل، مع الإبقاء على إيقاع بصري منتظم على السطر.

يبيّن (Bigelow) أن انتظام الإيقاع البصري في النص يعتمد على تسوية المسافات داخل الحرف وبين الحروف، وأن ضبط الهوامش الجانبية (sidebearings) التي تُحدّد التباعد بين الحروف عنصرٌ صميمٌ في صناعة الخطوط وقراءتها؛ إذ تؤدّي المسافات المتّزنة إلى إيقاع بصري منتظم عبر السطر، بينما يخلّ تفاوت العروض الشديد بهذا

الإيقاع ويضعف ثبات صورة الكلمة (Zorzi et al., 2012). كذلك، تُظهر الأدلّة التجريبية في أدبيّات عُسر القراءة أن زيادة التباعد بين الحروف تحسّن الدقّة والسرعة القرائيّة لدى القرّاء ذوي العُسر، ما يدعم ضرورة التحكّم الدقيق بالأبعاد الأفقية وبالتباعد الناتج عنها (Hejres & Tinker, 2024).

## تحديد نسبة عرض الفراغ (space_width_ratio)

تُعرَّف "نسبة عرض الفراغ بين الكلمات" في هذه الأداة بوصفها قيمة هدف تشغيلية تُحوَّل مباشرةً إلى عرض محرف المسافة (Space advance width) داخل مربّع الـ (EM):

$$\text{Space advance width} = \text{space_width_ratio} \times \text{unitsPerEm}$$

وعلى اعتماد (unitsPerEm=1000) و (space_width_ratio=0.40) يكون عرض المسافة (FU=400). هذه القيمة ليست "معيارًا منصوصًا عليه" في الدراسات، بل اختيارٌ هندسيّ داخل نموذج التقييم يهدف إلى تحسين الفصل الإدراكي بين الكلمات وتقليص أثر الازدحام البصري مع الحفاظ على اقتصاد المسافة. يُسند هذا التوجّه إلى أدلّةٍ تُظهر أن توسيع التباعد بين الحروف والكلمات والخطوط إلى قيمة مثلى يقلّل الـ (crowding) ويرفع معدّل القراءة لدى الأطفال ذوي عسر القراءة، بينما يؤدّي تجاوزه إلى انخفاض الأداء (أثر غير خطّي)، ما يقتضي ضبطًا معتدلًا للفراغ بين الكلمات (Madhavan et al., 2016).

## التطبيق الدقيق لـ (LSB وRSB) الهوامش الجانبية

يشيرُ معيارُ (OpenType) إلى أنّ (advance width) لأيّ محرفٍ هو مجموعُ الهامش الجانبي الأيسر (LSB) وعرضِ الرسم (glyph width) والهامش الجانبي الأيمن (RSB)، وبناءً على ذلك يُستخلَص: ( advanced width = RSB+Glyph Width+LSB)، وهي علاقاتٌ منصوصٌ عليها في جداول المقاييس الأفقية ضمن المواصفة. كما تُحدِّد الهوامشُ الجانبيّة فعليًّا تباعدَ الحروف وتُنظِّم الإيقاعَ البصري للسطر، وهو ارتباطٌ بيّنه " Bigelow" في مراجعته لعلاقة التصميم الطباعي بالمقروئيّة. وإذ تُظهر الأدلةُ التجريبيّة أنّ زيادةَ التباعد الحرفي تُحسّن سرعةَ القراءة ودقّتَها لدى ذوي عُسر القراءة، فإنّ الضبطَ المتّسق لـ (LSB/RSB) يُعدّ وسيلةً مباشرةً لتحقيق تباعدٍ مُعينٍ ومقروئيّةٍ أعلى في الخطوط الميسِّرة ( Microsoft, 2025; Bigelow, 2019; Zorzi et al., 2012).

### القيمة المثالية لاتساق الهوامش الجانبية (sidebearing_consistency)

تُعرّف هذه الرسالة معيار اتّساق الهوامش الجانبيّة (sidebearing_consistency) كقياسٍ لتجانس الـ(LSB) والـ (RSB) عبر المحارف بهدف تثبيت الإيقاع البصري، وتحدِّد له "قيمةَ هدف" مقدارُها (0.25) بوزن (1.50) بوصفها قرارًا تصميميًّا داخل أداة "أرابيكليكسيا" لا قاعدةً معياريّة؛ ويُسنَد هذا القرار إلى أدلّةٍ تُظهر أنّ زيادةَ اتّساقَ التباعد بين الحروف يخفِّف الازدحام البصري ويحسّن أداء القراءة لدى ذوي عُسر القراءة، ولا سيّما عند الأحجام الصغيرة للنصوص (Zorzi et al., 2012; Madhavan et al., 2016; Bigelow, 2019)، ولرفع خطّ الأساس في التباعد قبل الاعتماد على تقنين الأزواج، تُوصِي الأداةُ تشغيليًّا بحدٍّ أدنى "سخيّ" للـ(LSB) والـ (RSB) يقارب (10%) من مربّع (EM)؛ وهو توجيهٌ هندسيّ داخليّ يهدف إلى ضمان فصلٍ بصريٍّ كافٍ واستقرارٍ أعلى في المحاذاة، مع إبقاء الأرقام المقترَحة قابلةً للضبط لاحقًا وفق نتائج الاختبار القرائي.

### دور التقنين (Kerning) وكثافته (kerning_density)

تعرِّف هذه الرسالة كثافةَ التقنين (kerning_density) بوصفها نسبةَ تغطية أزواج الحروف القابلة للازدحام بقواعد (Pair Adjustment Positioning) (ميزة Kern ضمن جداول GPOS) في ملفّ الخط، وتضع لها "قيمة هدف" = (1.00) بوزن (2.00) للدلالة على تغطيةٍ كاملةٍ لمجموعة الأزواج المستهدَفة؛ وهذه قيمةٌ تصميميّة داخل أداة "أرابيكليكسيا" لا قاعدةً معياريّة. وظيفيًّا، يُعرَّف التقنين بأنّه تعديلٌ انتقائيّ للمسافة بين زوجَيْ محرفَيْن يُنفَّذ عبر جداول (GPOS/kern) ويختلف عن التتبّع العام لأنه معتمدٌ على الشكل (Microsoft Learn, 2025). وفي سياق التيسير القرائي لذوي عُسر القراءة، يُفضَّل التقنين الإيجابي (زيادة التباعد للأزواج عالية الحشد) اتساقًا مع الدليل التجريبي الذي يُظهر أن زيادة التباعد بين الحروف تُحسّن الأداء القرائي لدى هذه الفئة (Zorzi et al., 2012). ويُقيَّد التقنين بقيدين هندسيّين: (1) ألّا تُنقِص أيُّ قاعدةٍ المسافةَ الناتجة عن حدِّ الهوامش الجانبيّة الدنيا المعتمَدة للحرف حفاظًا على ثبات الإيقاع والمسافات البيضاء (Bigelow, 2019)، و(2) ألّا تتعارض مع تموضع العلامات (mark/mkmk) في النصوص المشكولة (Microsoft Learn, 2025). بهذه الضوابط يصبح التقنين معالجةً موجّهة لمناطق الحشد البصري ومكوّنًا أساسيًّا في تحسين الدرجة الطباعيّة الكلّية داخل الأداة.

### تطبيق (LSB) والـ (RSB) في سياق الاتصالية العربية

تُعامَل الهوامش الجانبيّة (LSB/RSB) في هذه الرسالة وفق شكل الحرف: في الأشكال المنفردة يُعتمد هامشان متناظران بحدٍّ أدنى مُقترَح قدره 10% من وحدات الـ(EM) لتكوين «طوق أبيض» يُحافظ على تمايز الكتلة الحروفيّة، أمّا في الأشكال المتّصلة (ابتدائي/وسطي/نهائي) فالدور الأساسي للـ (LSB/RSB) هو تحديد موضع الوصل لا تشكيل فراغ خارجي؛ لذا تُحدَّد المسافة المتقدّمة (advance width) لكلّ شكل بما يضمن اتساق "كتلة الحرف" عبر السياقات وتحقيق استقرار عرض الكلمة، ويُخصَّص للشكل النهائي المساحة البيضاء التي تلبّي الحدّ الأدنى نفسه لتوضيح نهاية الكلمة وتقليل الحشد البصري، اتساقًا مع الدليل التجريبي الذي يُظهر أن زيادة التباعد تُحسّن أداء القراءة لدى ذوي عسر القراءة (Zorzi et al., 2012). تُسنِد هذه السياسة التعريفاتِ القياسيّة لمقاييس العرض والهوامش في مواصفات (OpenType) جداول (hhea/hmtx)، ولآليّات الوصل العربي وأشكال الحروف (isol/init/medi/fina) كما توردها أدلّة تطوير الكتابة العربيّة (Microsoft Learn, 2025)، فضلًا عن أدبيّات تصنيف وضبط الارتفاعات والاتّساقات في الخط العربي الرقمي (Chahine, 2012; Janbi, 2016).

## ملخص القيم المثالية (Target Values) والمعايير المرجعية الهندسية

يوضح الجدول التالي أهم القيم المثالية الحرجة لتصميم الخطوط الداعمة لعسر القراءة، وتفسيرها الهندسي في سياق وحدة (EM).

| المعيار | المفتاح البرمجي | القيمة المثاليّة | نوع القيمة | الأهميّة "الوزن" |
|---|---|---|---|---|
| نسبة ارتفاع x | xheight_ratio | 0.66 | نسبة هيكلية (Ratio) | 2.00 |
| نسبة عرض الفراغ | space_width_ratio | 0.40 | نسبة العرض (Ratio) | 1.50 |
| اتساق الهوامش الجانبية | sidebearing_consistency | 0.25 | حد التباين المسموح به (CV) | 1.50 |
| اتساق توازن الحروف | balance_consistency | 0.10 | حد التباين المسموح به (CV) | 1.50 |
| اتساق الأشكال الوسطية | medial_consistency | 0.25 | حد التباين المسموح به (CV) | 2.00 |
| اتساق مواضع التشكيل | diacritic_consistency | 0.10 | حد التباين المسموح به (CV) | 2.00 |

## الاتساق المورفولوجي العربي ومعالجة العبء المعرفي

تتّسم العربيّة بتعقيدٍ كتابيّ مرتفع ناجمٍ عن الاتّصاليّة وتعدّد الأشكال السياقيّة (allography)، كما أنّ كثيرًا من الحروف لا يَتميّز إلّا بمواضع النِّقاط؛ وهي خصائص موثّقة في الدراسات النفسيّة-اللغويّة حول معالجة الحرف العربي بصريًّا. هذا الطابع يزيد متطلّبات "معالجة الرسم الكتابي" (orthographic processing) ويؤثّر في التعرّف البصري على الكلمات، وقد أظهرت دراسات سلوكيّة وكهربيّة (ERP) أنّ الاتّصاليّة العربيّة وتوزّع العلامات يبدّلان ديناميّات المعالجة الدماغيّة أثناء قراءة الكلمات العربيّة (Eviatar, Ibrahim, & Ganayim, 2004) (Taha, 2013). استنادًا إلى ذلك، يكون تركيز معايير الاتّساق البنيوي في" أرابيكليكسيا "مبرَّرًا بوصفه محاولة لتقليل العبء الإدراكي الناجم عن الاتّصاليّة وتعدّد الأشكال وتماثل الهياكل مع اختلاف مواضع النِّقاط.

### توحيد الأشكال السياقية

يستند التدخّلُ الطباعيّ المُوجَّه لتحسين مقروئيّة العربيّة إلى تقليلِ التبايُن الشكليّ غير الضروري بين الأشكال السياقيّة وضبط "مناطق المحاذاة" الرأسيّة والأفقية، بما يحدّ من عبء المعالجة البصريّة في نصٍّ متّصلٍ متعددِ الأشكال (Janbi, 2016; Chahine, 2012). وتؤكّد دراساتٌ نفس-لغويّة وكهربيّة أنّ الاتصاليّة العربيّة وتوزّع العلامات يبدّلان ديناميّاتِ التعرّف البصري على الكلمة، ما يُبرّر تحكيمَ اتساق الأشكال الابتدائيّة والنهائيّة والوسطيّة بوصفه هدفًا تصميميًّا لخفض الكلفة الإدراكيّة (Taha, Ibrahim, & Khateb, 2013). وعليه تُعدُّ "القيمُ المثاليّة" التي تعتمدها أداة التحليل "أرابيكليكسيا "لأطر الاتساق مثل (initial_consistency) و(final_consistency) عند (0.20)، و(medial_consistency) عند (0.25) مع وزنٍ أعلى "قيمَ هدفٍ داخليّة مشتقّة" من هذا الإطار المفاهيمي الذي يدعو لتحويل المبادئ النوعيّة (تقليل الحمل البصري، وضبط الطبقات والعلاقات المكانيّة) إلى مقاييسَ كميّة قابلةٍ للتقويم المبرمج، لا نقلاً حرفيًّا من مصدرٍ بعينه (Hejres & Tinker, 2024). ويُستأنس من منظورٍ طباعيّ عام بأنّ ضبطَ "نقاط الوصل" وتناسُبَ تجاويف الحروف (counters) واتّساقَ المسافات البيضاء حول المحرف عواملُ محوريّة في رفع الوضوح القرائي وتقليل الالتباس الشكليّ (Bigelow, 2019).

### التحكم الدقيق في مواضع التشكيل

يُمنَح معيار التحكّم في مواضع التشكيل الوزنَ الأعلى (2.00) وقيمةَ هدفٍ منخفضة (0.10) داخل" أرابيكليكسيا " بوصفهما قرارين تصميميَّين مبنيَّين على الحاجة إلى تقليل الالتباس البصري في نظامٍ تُميَّز فيه مجموعات من الحروف العربيّة المتشابهة هيكليًّا عبر مواضع النِّقاط والحركات؛ إذ تُبيّن الدراسات أن كثيرًا من الحروف تشترك في شكلٍ أساسي واحد ويقع تمييزها بواسطة النِّقاط فوقه أو تحته، ما يرفع حساسيّة القراءة لأي انزياحٍ في مواضع العلامات (Smitschuijzen, 2001). كما تُظهر دراسات القراءة: أنّ الإكثار من العلامات الصوتيّة (diacritics) يزيد المعلومات البصريّة في الحيّز نفسه ويُنتج أثر "الازدحام البصري" وإن كان طفيفًا، وهو ما يبرّر تشديد الضبط المكاني للعلامات لتقليل الكلفة الإدراكيّة أثناء القراءة العربيّة المتّصلة (Ehab, 2013). تقنيًّا، يقتضي ضبط هذه المواضع التزام المعياريّات النصيّة في تمثيل العلامات المركّبة وترتيبها (combining marks) بحيث يُعاد ترتيب بعض التسلسلات إلى الصورة القانونيّة الموحّدة بلا تغييرٍ بصري، وهو ما تقرّره

إجراءات التطبيع المعياري في يونيكود (NFC) وتحويلاتها للعلامات العربيّة المركّبة (Doctor et al., 2022) ويُساند ذلك أنّ إمكانات (OpenType) في البرمجة السياقيّة والتصرّف الذكيّ تتيح تطبيق قواعدٍ دقيقة للسلوك الطباعي السياقي، وهو إطار مناسب لفرض ثباتٍ مكانيّ للعلامات وتفادي التداخلات مع المسارات والوصلات في الكتابة العربيّة المتّصلة (Chahine, 2012). بناءً على ما سبق، يأتي تشديد الفصل الرأسي ومنع التداخل بوصفهما هدفين هندسيَّين مباشرين لتقليل الكثافة الإملائيّة وتخفيف أثر الازدحام البصري خلال القراءة ( Ehab, 2013).

## الاتساق الرأسي (التوازن، الصواعد، والهوابط)

يتطلّب الاستقرار البصري للسطر انتظامًا في ارتفاع الصواعد وعمق الهوابط عبر المحارف السياقيّة كلّها؛ فشيوع الصواعد/الهوابط في العربية يُشكِّل «إيقاعًا عموديًّا» حاكمًا لمسار القراءة، ما يبرّر ضبطها هندسيًّا لتقليل الجهد الإدراكي في نصٍّ متّصل متعدد الأشكال. تدعم دراسات تشريح الخطّ العربي أثر توزيع الصواعد/الهوابط في إيقاع القراءة والاتّجاه العمودي للنص العربي (Chahine, 2012). بما يُسوِّغ إعطاء معيارَي (ascender_consistency) و(descender_consistency) وزنًا مرتفعًا وقيمة هدف منخفضة، تُعد قيمة (balance_consistency = 0.10) (وزن 1.50) "قيمة هدف" داخلية لضبط ثِقَل الكتلة نحو خطّ الأساس بغرض استقرار السطر، وليست نقلًا حرفيًّا من مرجع بعينه.

## الأولوية للتباعد الهيكلي

ترتكز المعالجة الطباعية الداعمة لذوي عسر القراءة على زيادة المسافات البيضاء المنظَّمة (بين الحروف والكلمات)؛ إذ تُظهِر أدلّة تجريبية أن توسيع التباعد بين الحروف يحسّن الأداء القرائي لدى ذوي عسر القراءة (Zorzi et al., 2012). ما يبرّر إعطاء معايير مثل (kerning_density) و(space_width_ratio) و(xheight_ratio) أوزانًا مرتفعة وتحديد قيم هدف واضحة قبل أي تعديل شكلي للمحرف .

### التثبيت الصارم للاتساق الرأسي

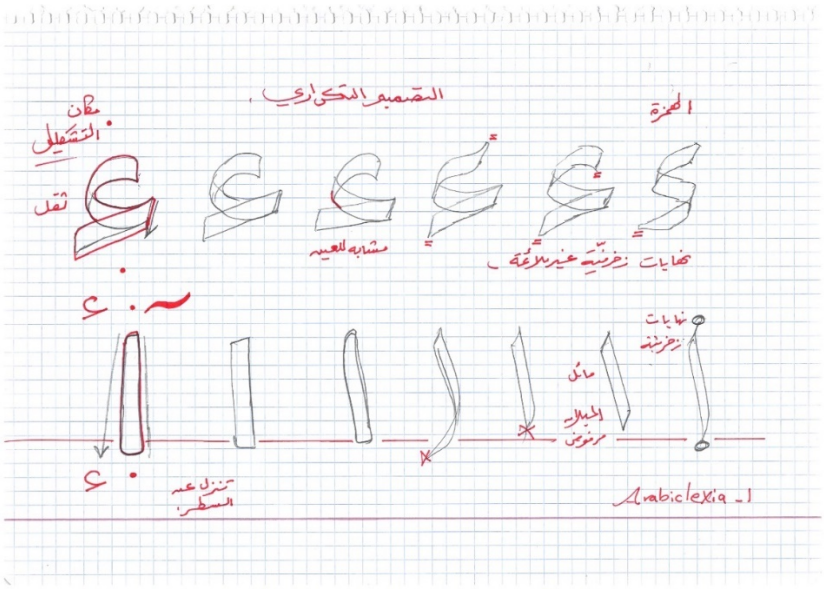
في العربية، تتكثّف الحاجة إلى اتّساق رأسيّ دقيق بسبب الطبيعة الاتصالية وتعدّد الأشكال السياقيّة؛ ولذا تُحدَّد قيمة هدف منخفضة لمواضع العلامات الحسّاسة (النِّقاط والحركات) لضمان تمايز الجرافيمات القوسيّة وتقليل الازدحام البصري في السطر المتصل (Chahine, 2012). هذه القيم مثل: (diacritic_consistency = 0.10) هي قيم هدف داخلية مشتقّة تصميميًّا وليست نصوصًا معيارية من مراجع بعينها؛ ويستند تبريرها إلى منطق التمايز الهيكلي في العربية الذي تُوثِّقه أدبيّات تشريح الخطّ وإيقاعه.

### الخلاصة الهندسية

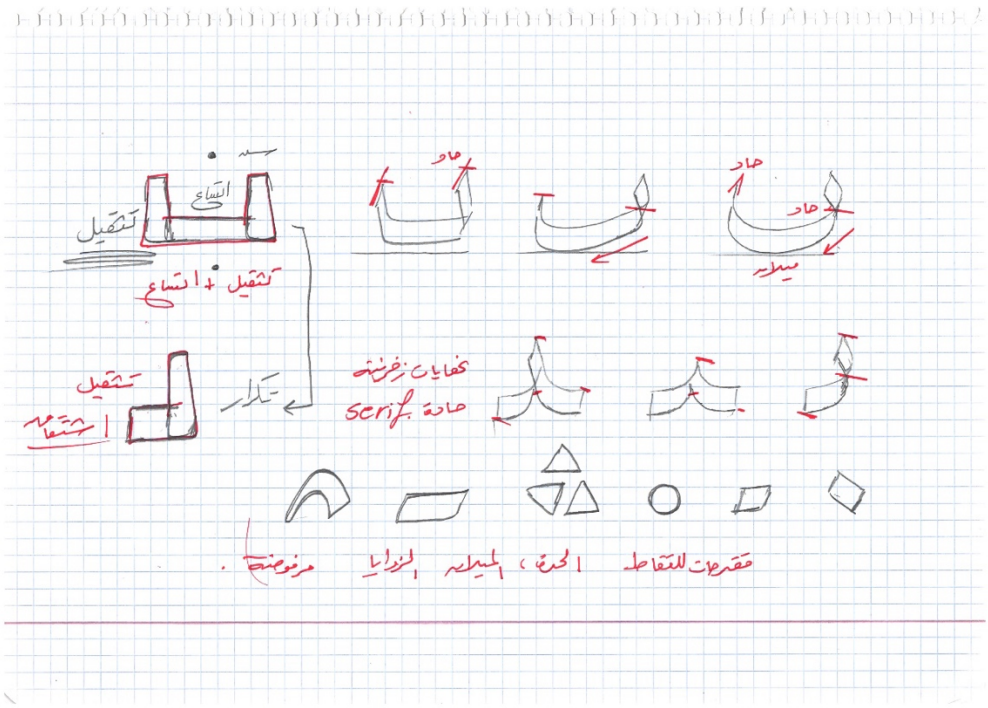
يؤكد التحليل التفصيلي للقيم المثالية في أداة التحليل "أرابيكليكسيا" أن التصميم الطباعي الفعال لدعم القراءة لدى ذوي عسر القراءة يجب أن يرتكز على ركائز هندسية أساسية داخل برامج تصميم الخطوط للوصول إلى أعلى درجة ملاءمة: (Target Final Score = 10.00).

## ملحق (هـ): الرّسم الأوليّ

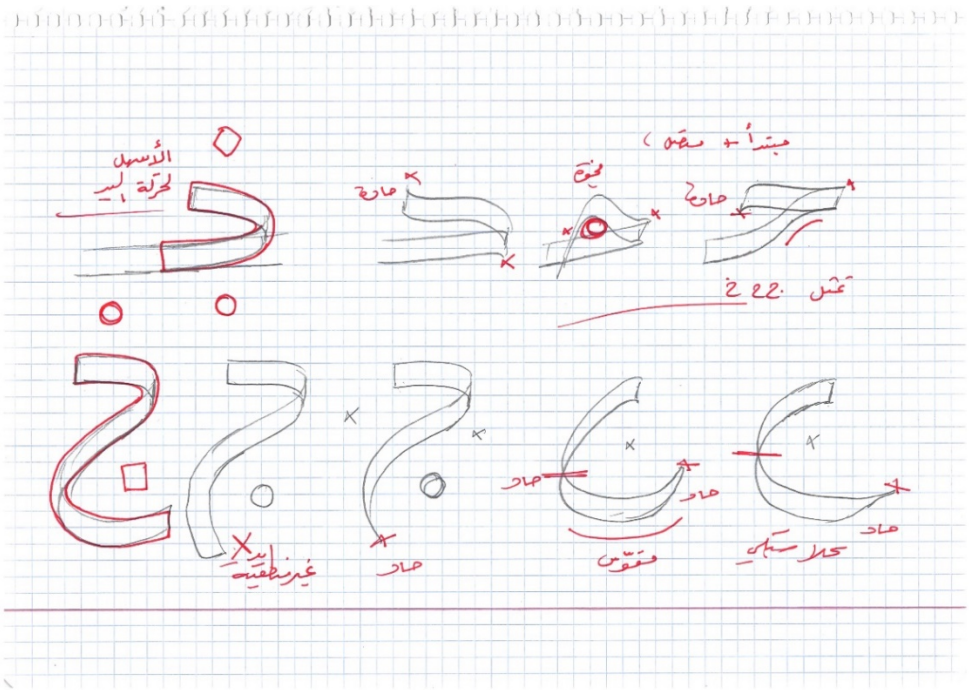
تُحوَّل المخرجات القياسيّة القادمة من" أرابيكليكسيا "إلى رسوماتٍ أوليّة تُركّز على: ضبط نقاط الوصل والارتفاعات المرجعيّة، والتحكم بطول المدود المسموح، وتوحيد المسافات الجانبيّة الأدنى، ورفع نسبة الجسم الحرفيّ (x-height) بما يدعم الثبات البصريّ. هذه الخطوة جسْرٌ بين "المبدأ القابل للقياس" و"شكل المحرف"، وتُعدّ مدخلًا لازماً قبل استكمال البناء البرمجي لجداول (GSUB/GPOS)، والاختبارات الكمّيّة اللاحقة (Chahine, 2012; Janbi, 2016; Bigelow, 2019).



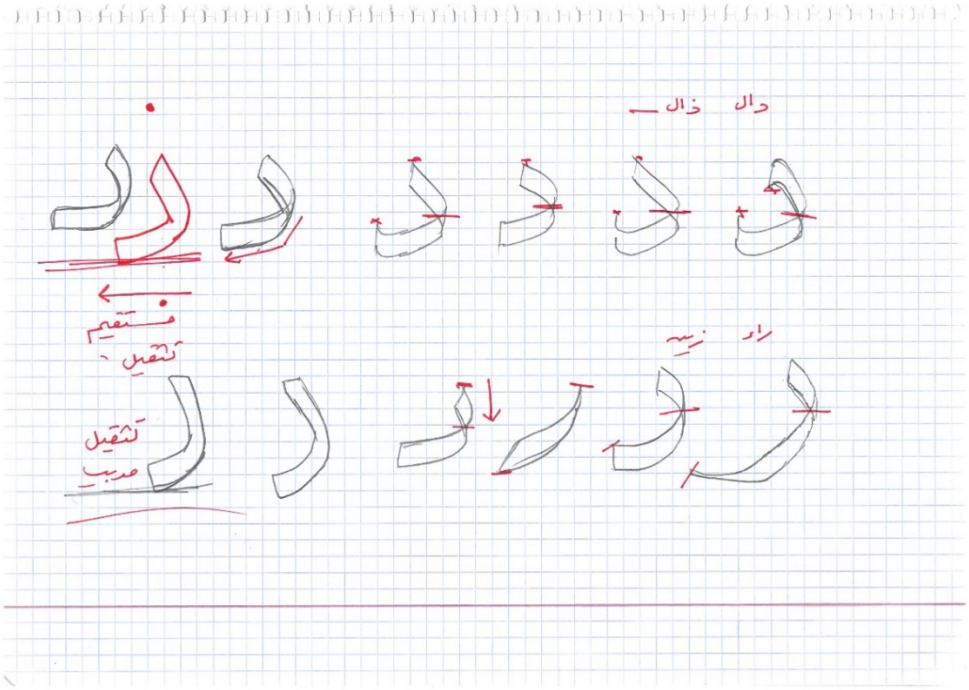

رسم توضيحي 5 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط "**"أرابيكليكسيا"**" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها.



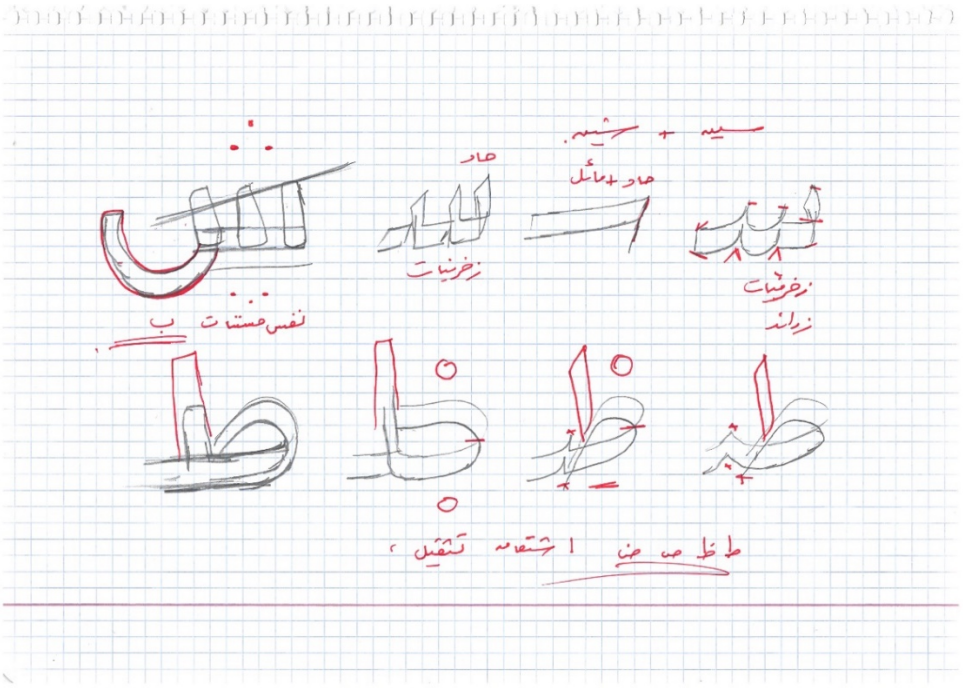
رسم توضيحي **6** أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط **"أرابيكليكسيا"** توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها.



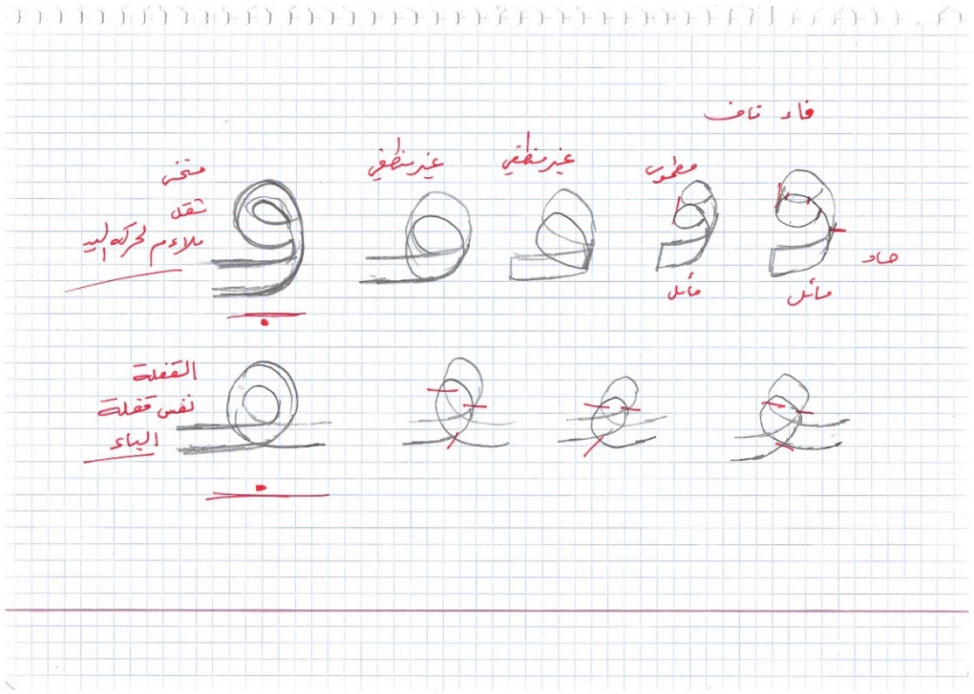
رسم توضيحي 7 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط **"أرابيكليكسيا"** توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها.



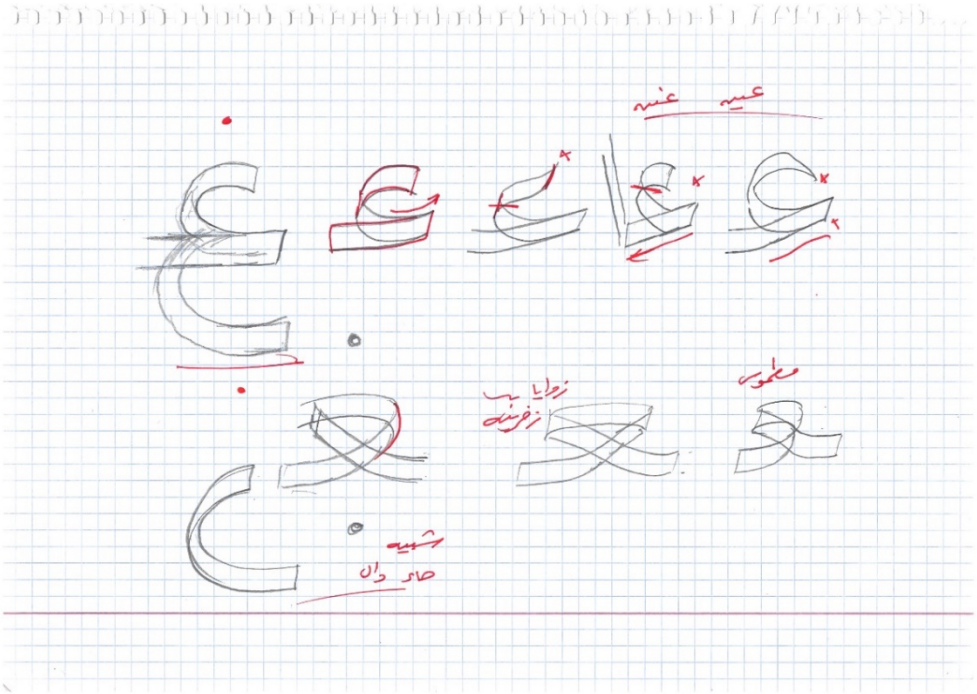

رسم توضيحي 8 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط "**"أرابيكليكسيا"**" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها.



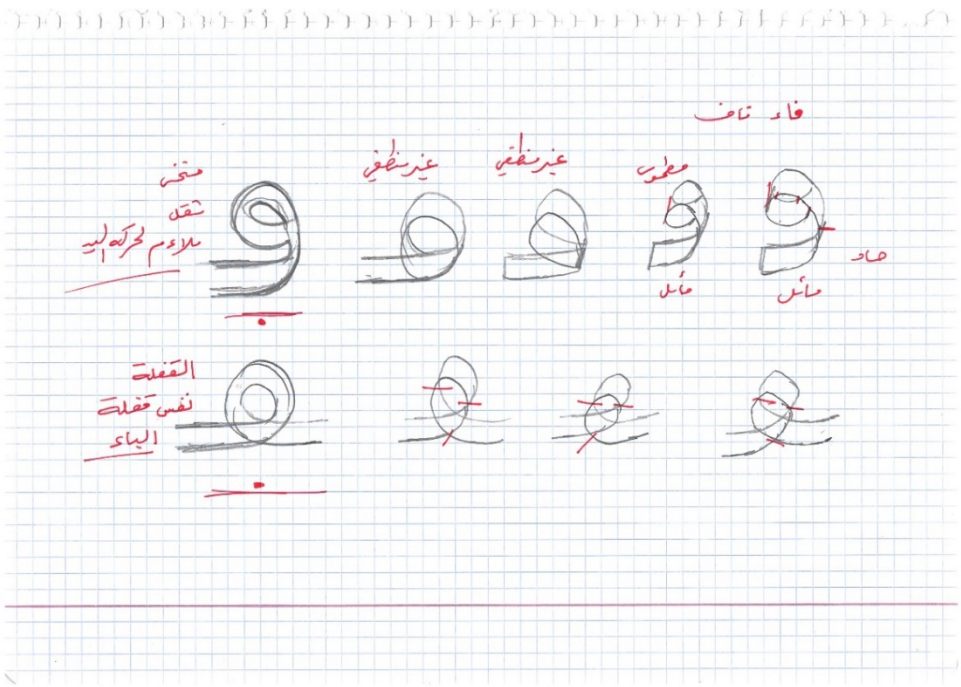

رسم توضيحي 9 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط "**"أرابيكليكسيا"**" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها.



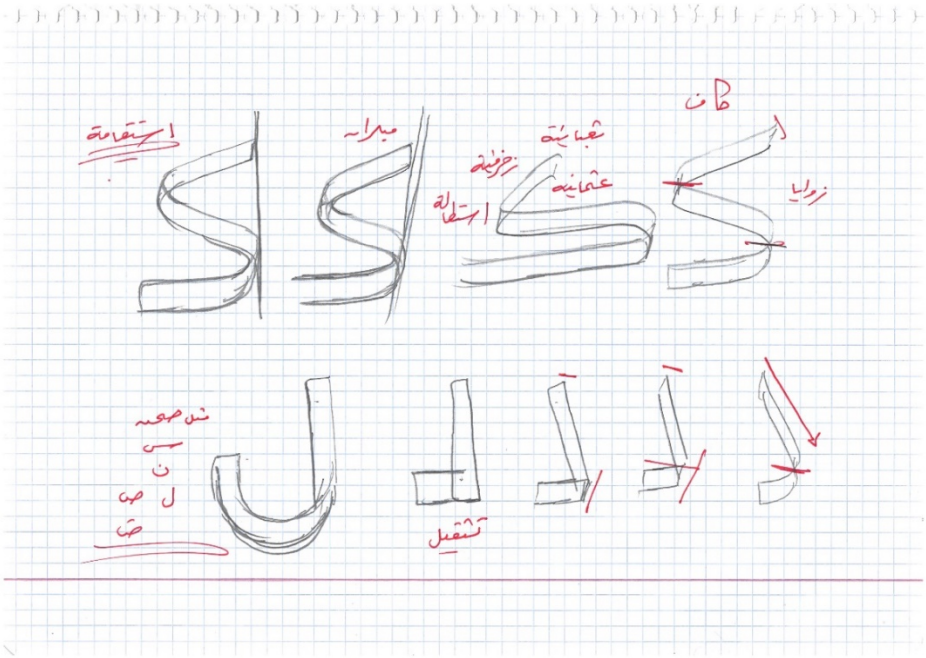

رسم توضيحي 10 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط "**"أرابيكليكسيا"**" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها.



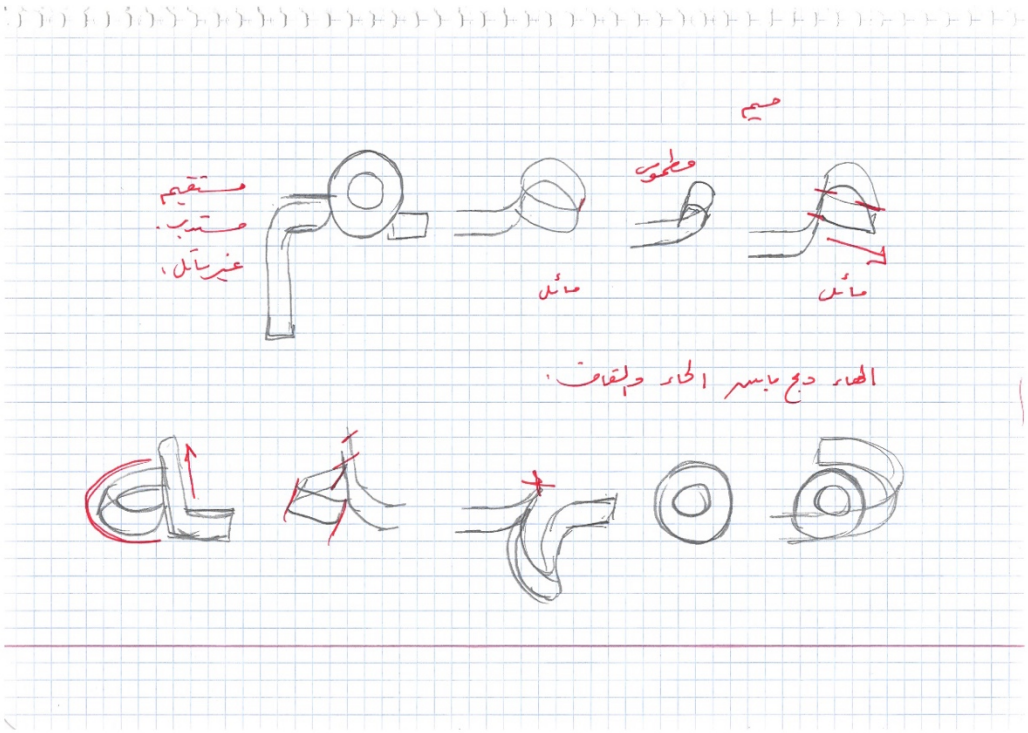

رسم توضيحي 11 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط "**"أرابيكليكسيا"**" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها.



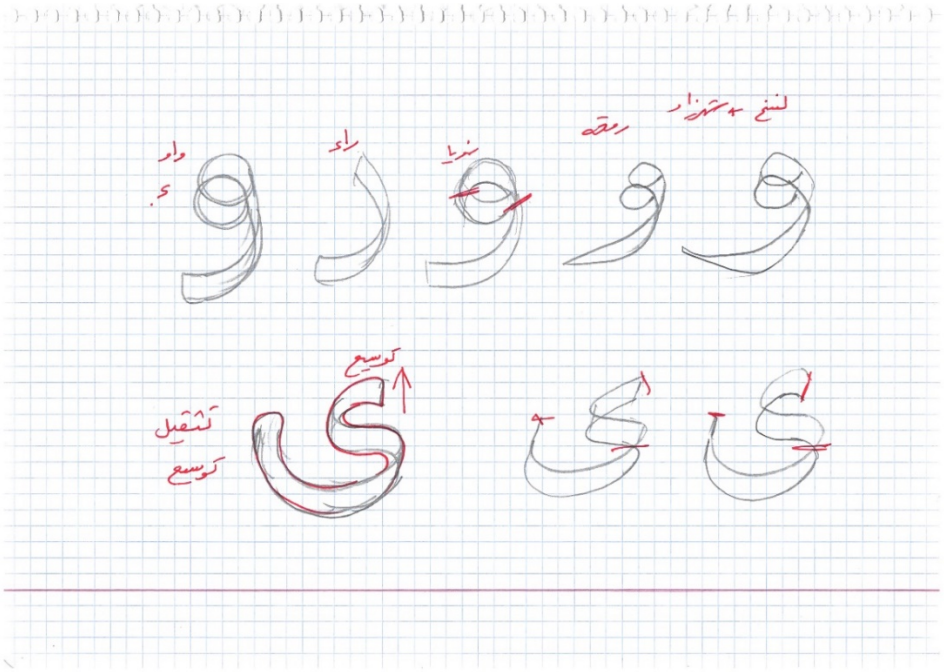

رسم توضيحي 12 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط "**"أرابيكليكسيا"**" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها.



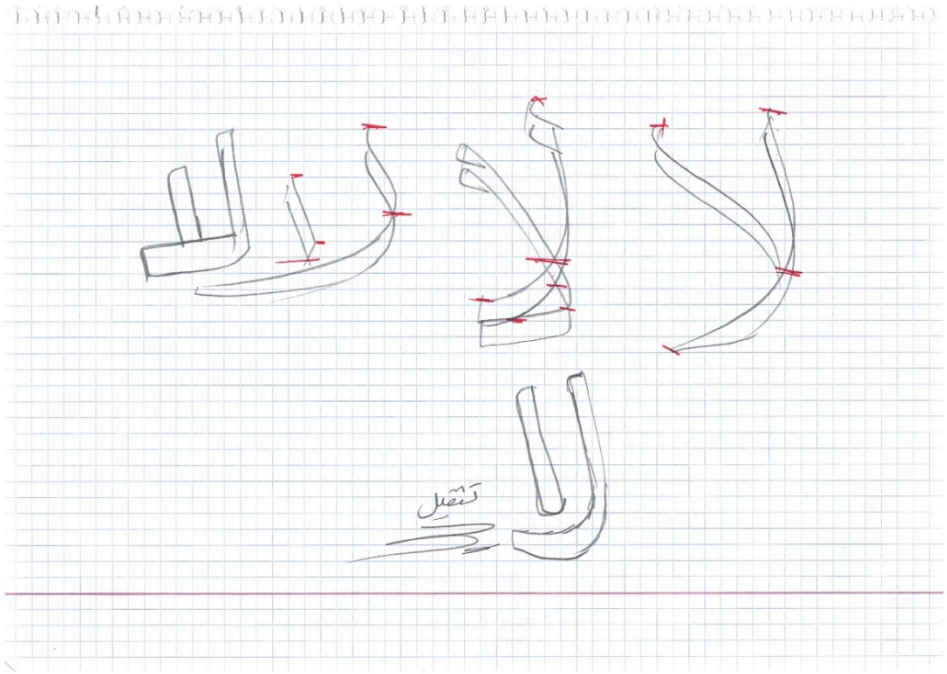

رسم توضيحي 13 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط "**"أرابيكليكسيا"**" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها.



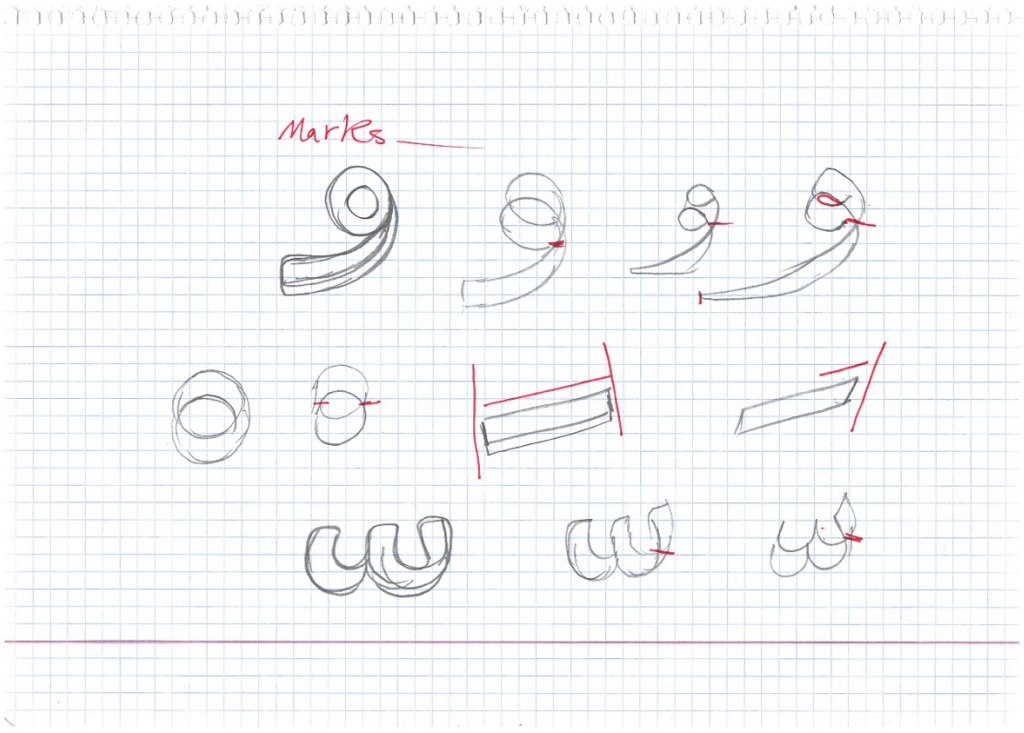

رسم توضيحي 14 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط **"أرابيكليكسيا"** توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها.




رسم توضيحي 15 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط **"أرابيكليكسيا"** توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها.



رسم توضيحي 16 أمثلة لمسوّدات يدوية للحروف الأبجدية العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط **"أرابيكليكسيا"** توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال الحروف وتحسين تمايزها.

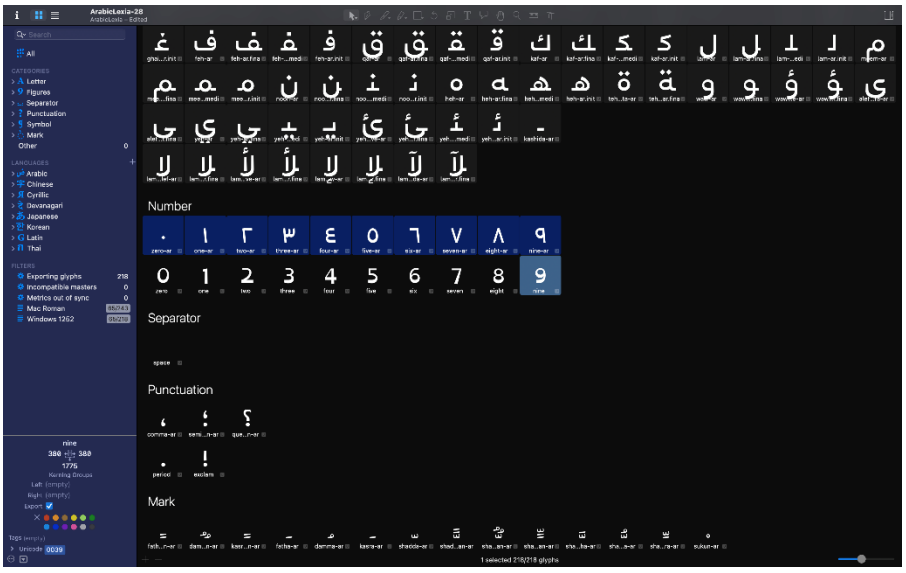



رسم توضيحي 17 أمثلة لمسوّدات يدوية لعلامات التشكيل الأساسيّة للأبجديّة العربية الأساسيّة ضمن عملية التصميم التكراري لخط" **أرابيكليكسيا**" توضح الأفكار الأولية لتعديل أشكال علامات التشكيل وتحسين تمايزها.

## ملحق (و): الرسوم الهندسية والبرمجية

رسم توضيحي 18 خارطة الحروف الكاملة للخط (ArabicLexia font)

بعد إتمام عمليّة الرسم المتّجه والبرمجة في بيئة التطبيق GlyphsApp




رسم توضيحي 19 الأرقام وعلامات الترقيم والتشكيل للخط (ArabicLexia font)

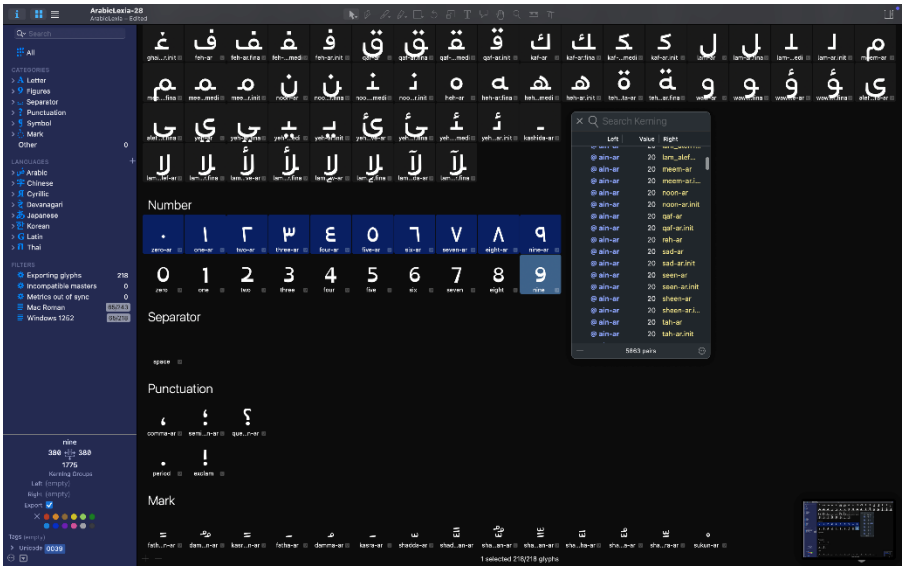
بعد إتمام عمليّة الرسم المتّجه والبرمجة في بيئة التطبيق GlyphsApp

رسم توضيحي 20 نافذة معلومات وبيانات الخط (ArabicLexia font) في بيئة التطبيق GlyphsApp

وتظهر قيمة الـ EM وهي 2048 وهي الرقم المثالي الناتج عن أداة التحليل "أرابيكليكسيا"

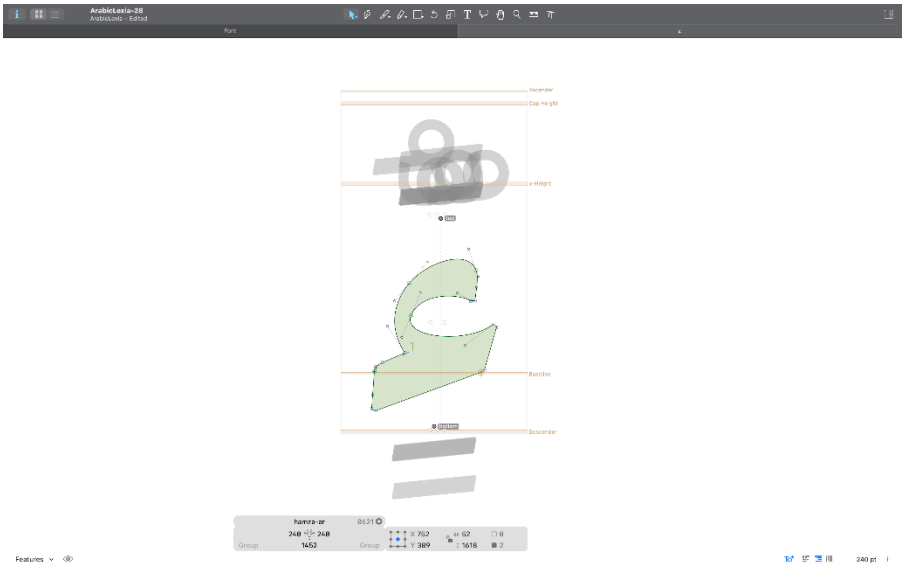
رسم توضيحي 21 نافذة معلومات وبيانات القياسات (Metrics) للخط (ArabicLexia font)

في بيئة التطبيق GlyphsApp وتظهر قيم المسافات الناتجة عن أداة التحليل "أرابيكليكسيا"

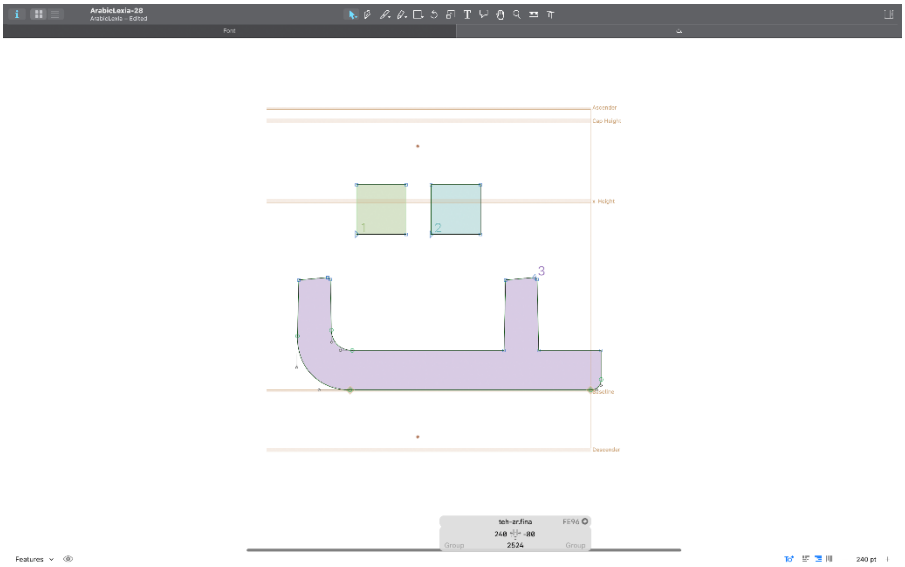



رسم توضيحي 22 عينة من نافذة أزواج التقنين (Kerning) للخط (ArabicLexia font)

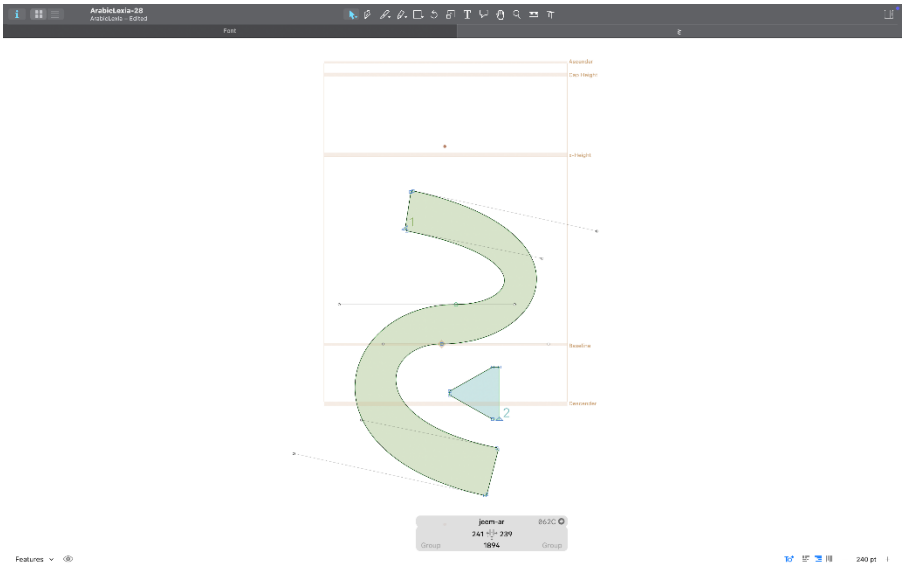
في بيئة التطبيق GlyphsApp



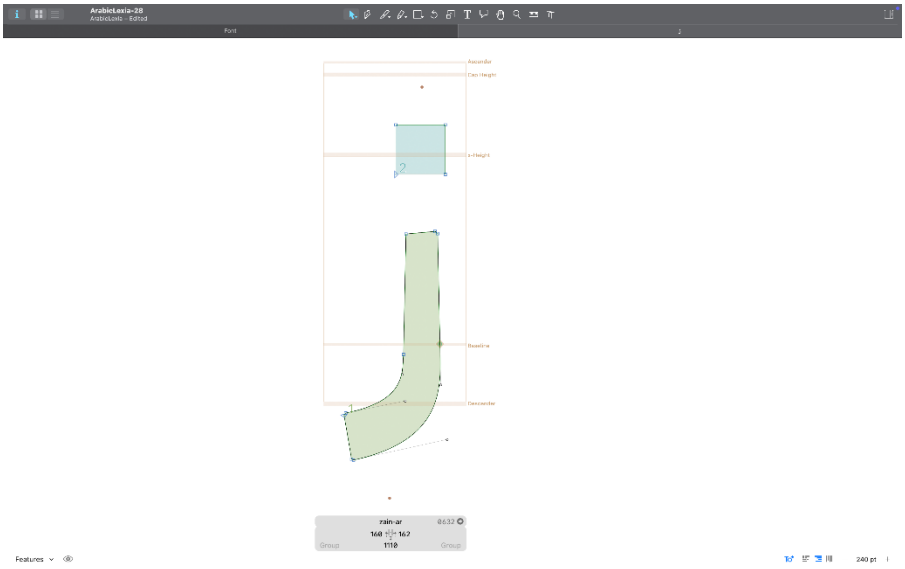

رسم توضيحي 23 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (hamza-ar) داخل الخلية، ومواقع علامات التشكيل والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metrics



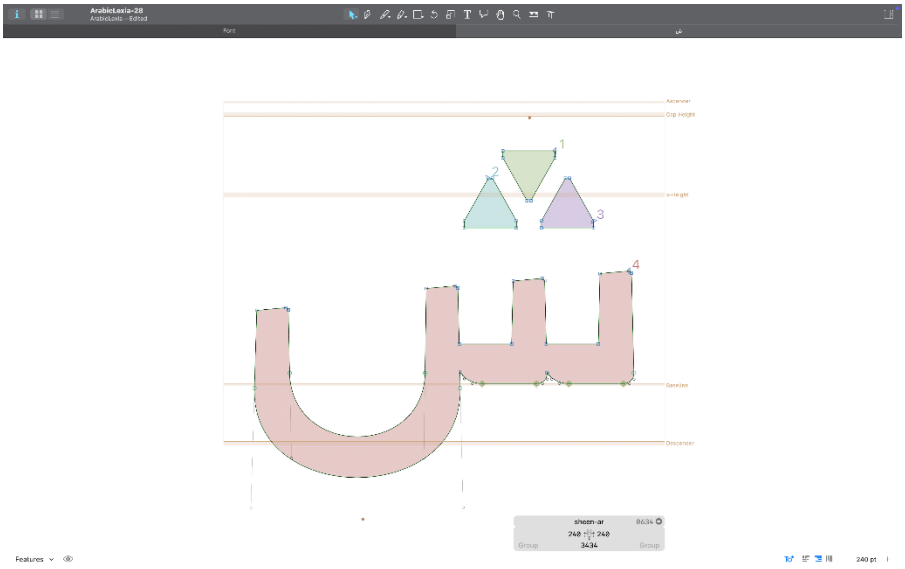
رسم توضيحي 24 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (the-ar.fina) داخل الخلية، موقع النقطتين وشكلهما، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metrics



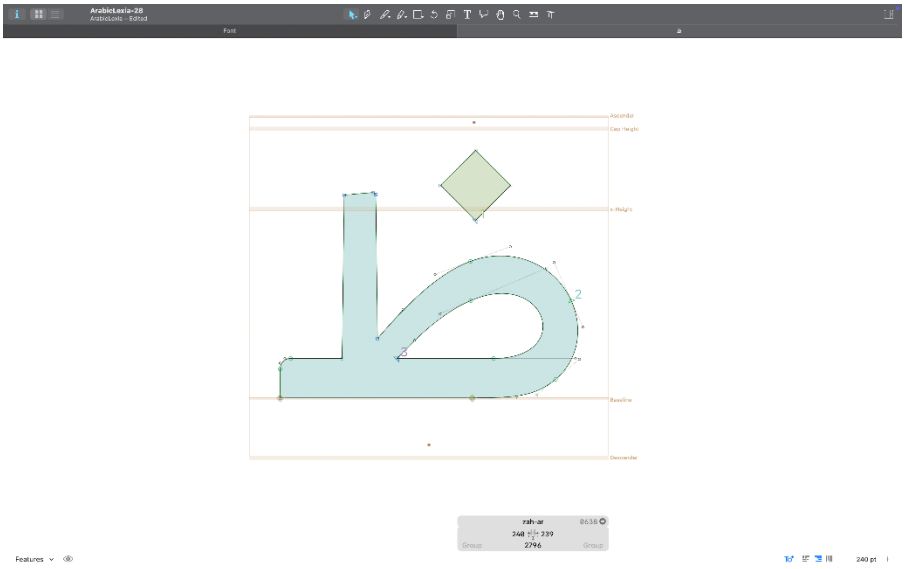
رسم توضيحي 25 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (jeem-ar) داخل الخلية، موقع النقطة وشكلها المختلف، ونزول الذيل، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks



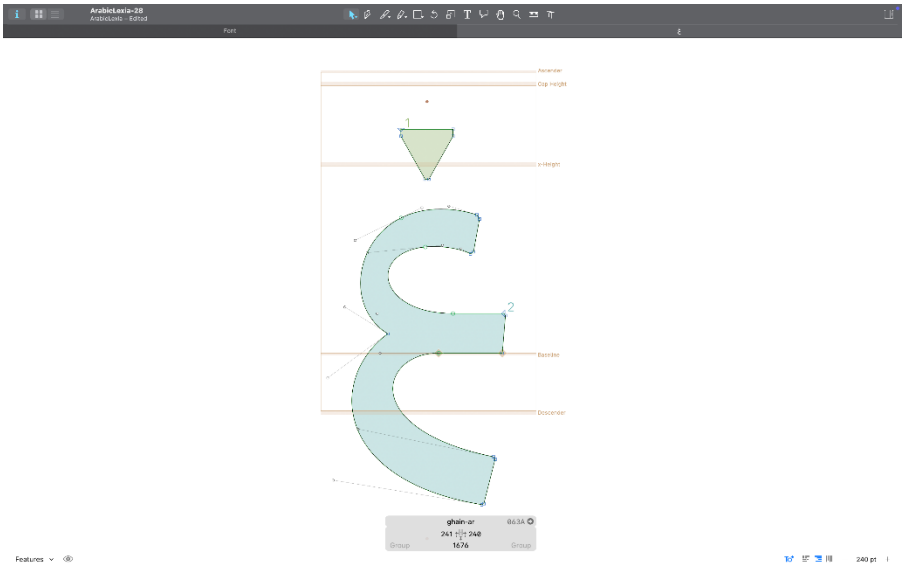
رسم توضيحي 26 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (zain-ar) داخل الخلية، موقع النقطة وشكلها المختلف وبعدها، ونزول الذيل وسماكته، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks



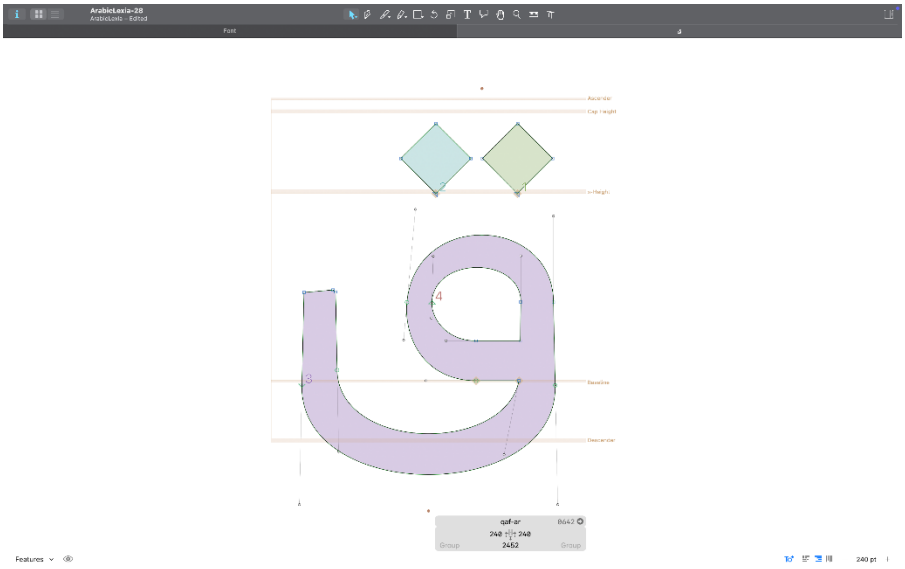
رسم توضيحي 27 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (sheen-ar) داخل الخلية، موقع النقاط وشكلها المختلف وبعدها، ونزول الصحن أو الكأس وسماكته، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع الـ Metricks



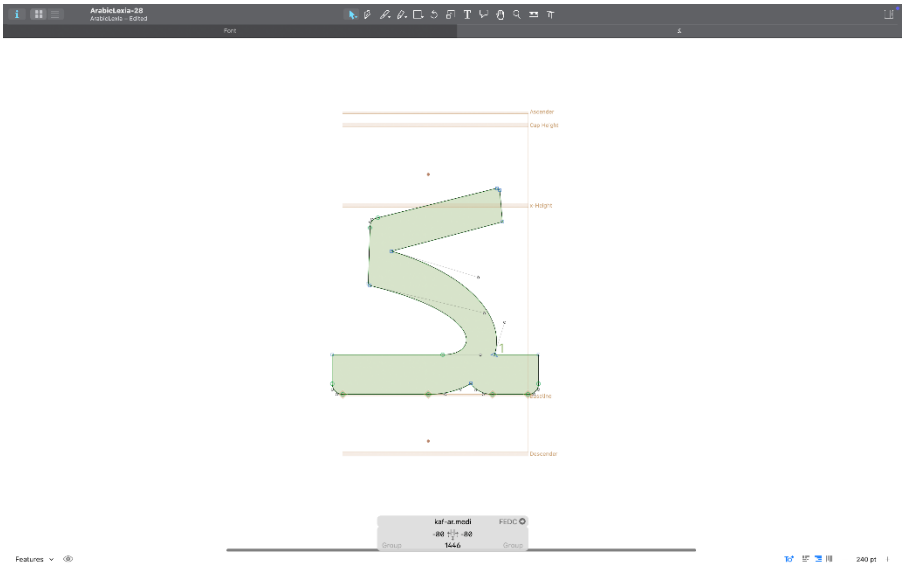
رسم توضيحي 28 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (zah-ar) داخل الخلية، موقع النقطة وشكلها المختلف وبعدها، وسماكة النهاية، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks



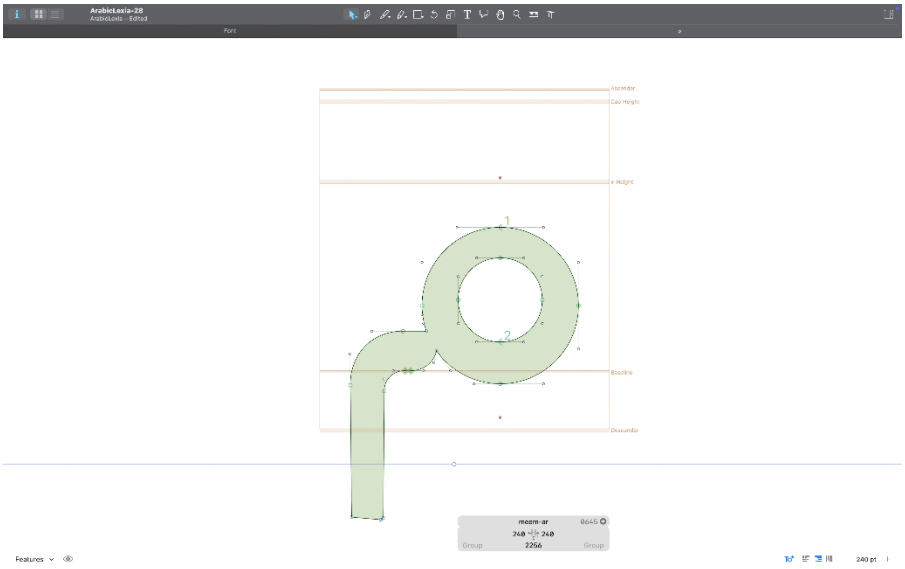
رسم توضيحي 29 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (ghain-ar) داخل الخلية، موقع النقطة وشكلها المختلف، ونزول الذيل، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks



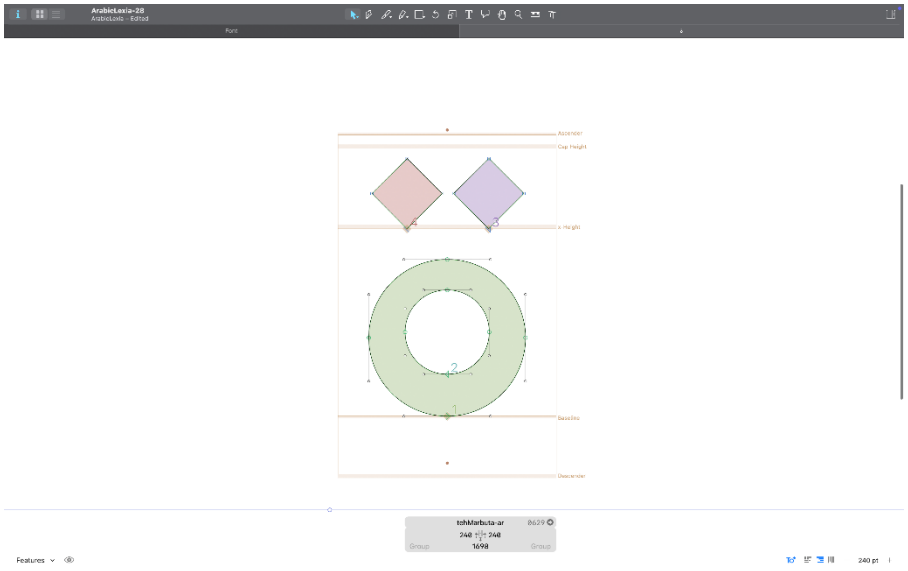
رسم توضيحي 30 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (qaf-ar) داخل الخلية، موقع النقطتين وسماكتهما وشكلهما المختلف، ونزول الكأس أو الصحن، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع الـ Metricks



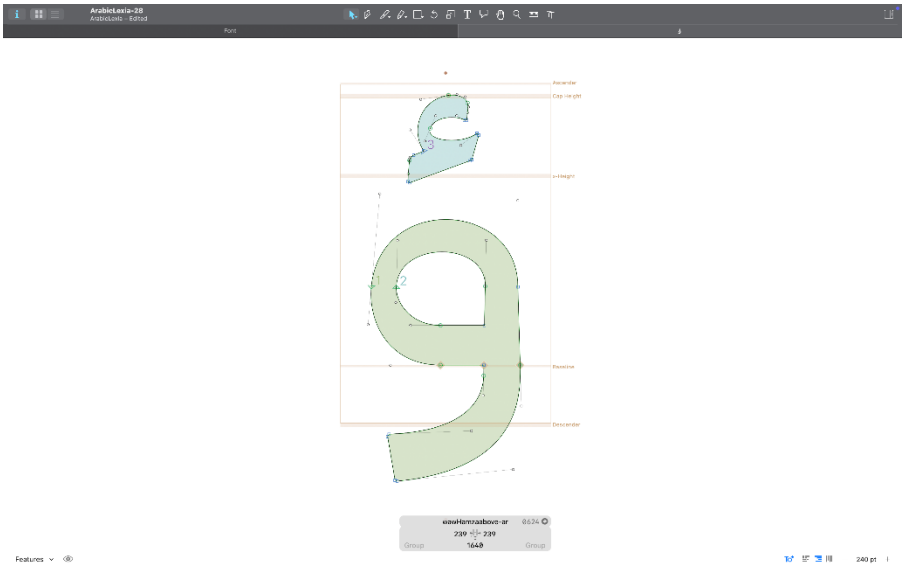
رسم توضيحي 31 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (kaf-ar.medi) داخل الخلية، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks



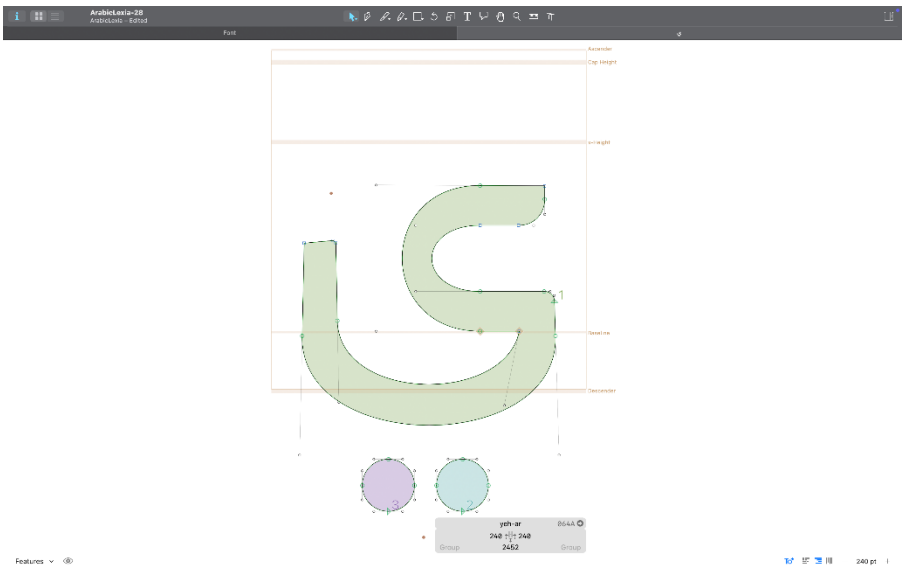
رسم توضيحي 32 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (meem-ar) داخل الخلية، نزول الميم، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks



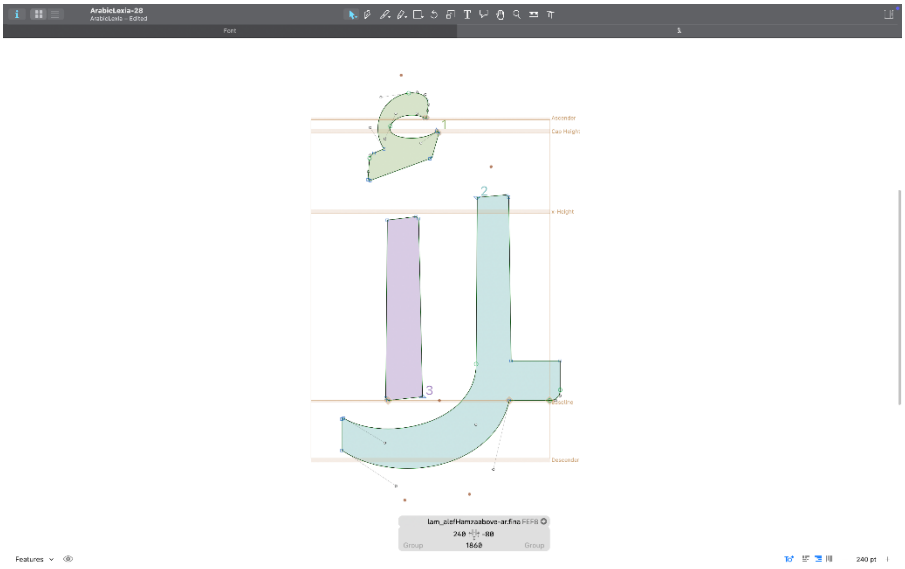
رسم توضيحي 33 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (tehmarbuta-ar) داخل الخلية، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks



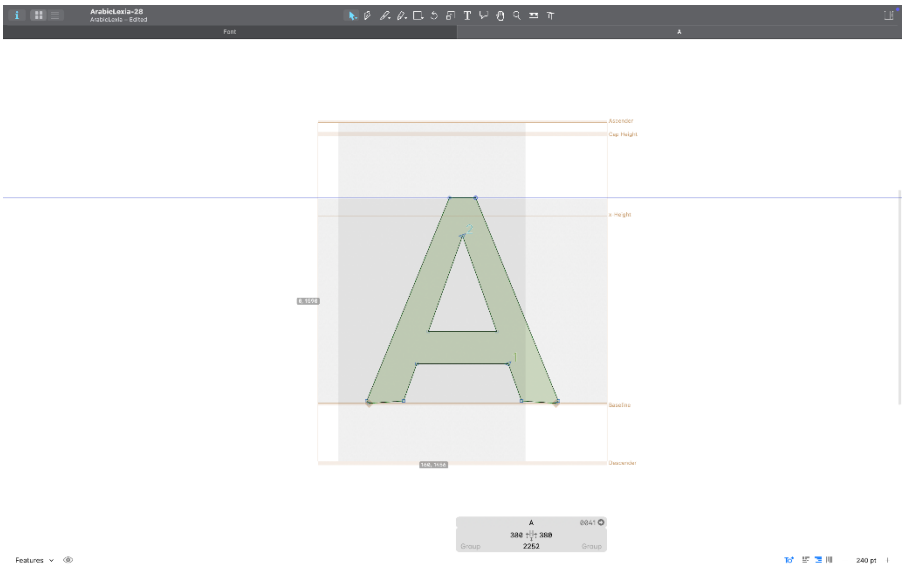
رسم توضيحي 34 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (wawhamzahabove-ar) داخل الخلية، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks



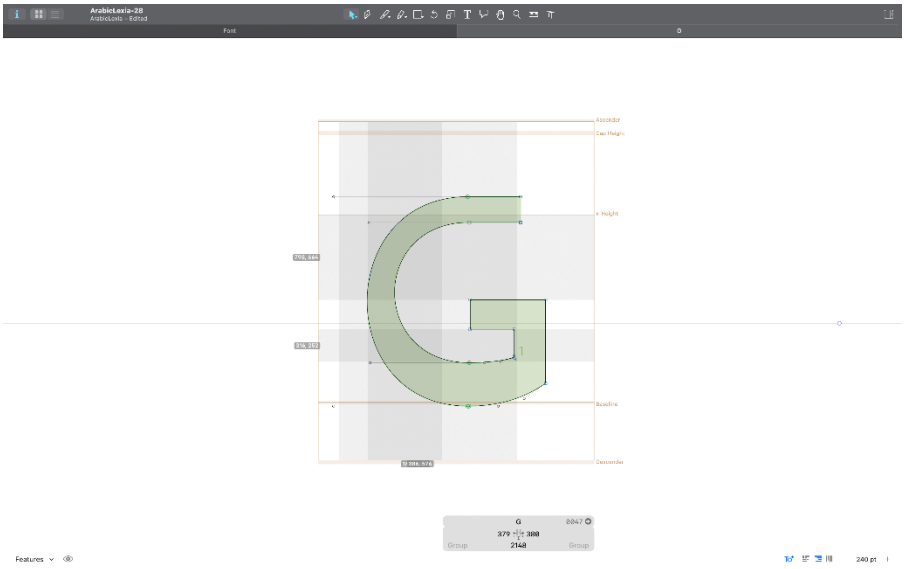
رسم توضيحي 35 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (yeh-ar) داخل الخلية، نزول الياء، وشكل النقاط وتباعدها، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks



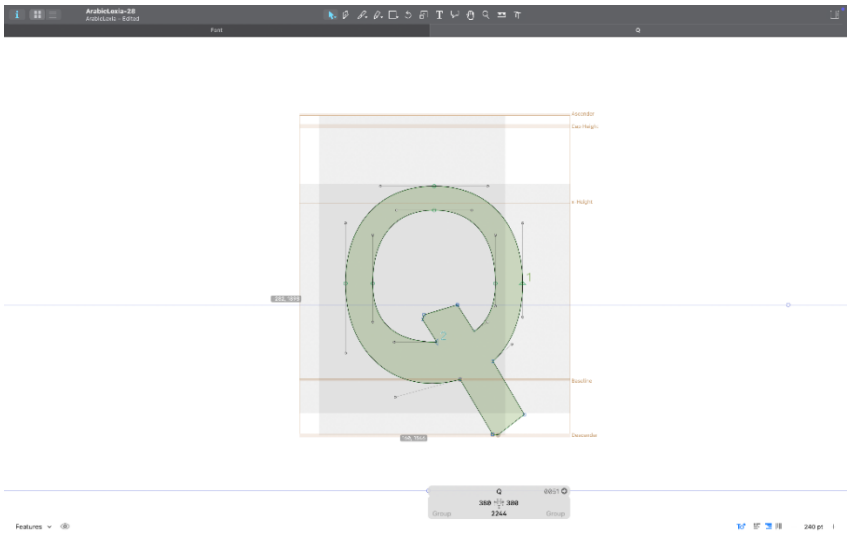
رسم توضيحي 36 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (lam_alefhamzahabove-ar.fina) داخل الخلية، نزول اللام، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks



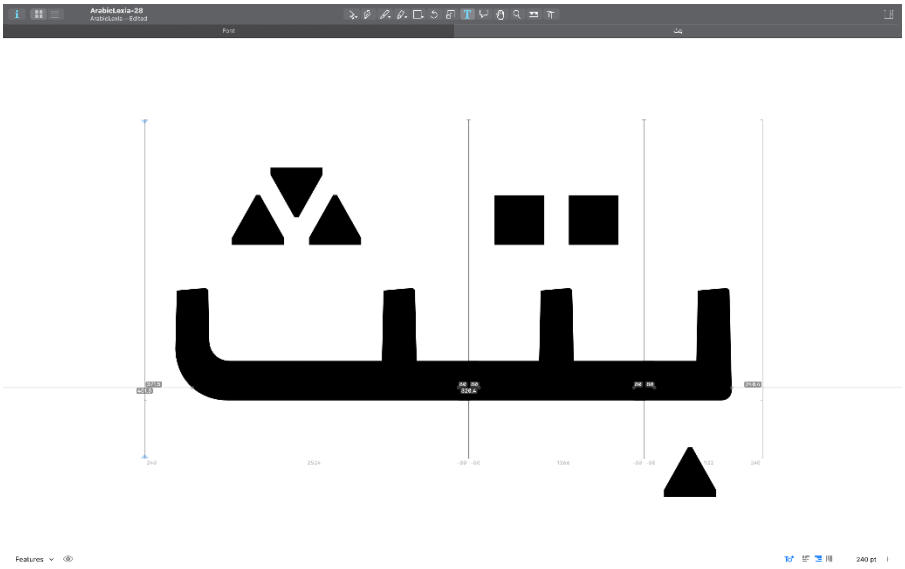
رسم توضيحي 37 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (A) داخل الخلية، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks



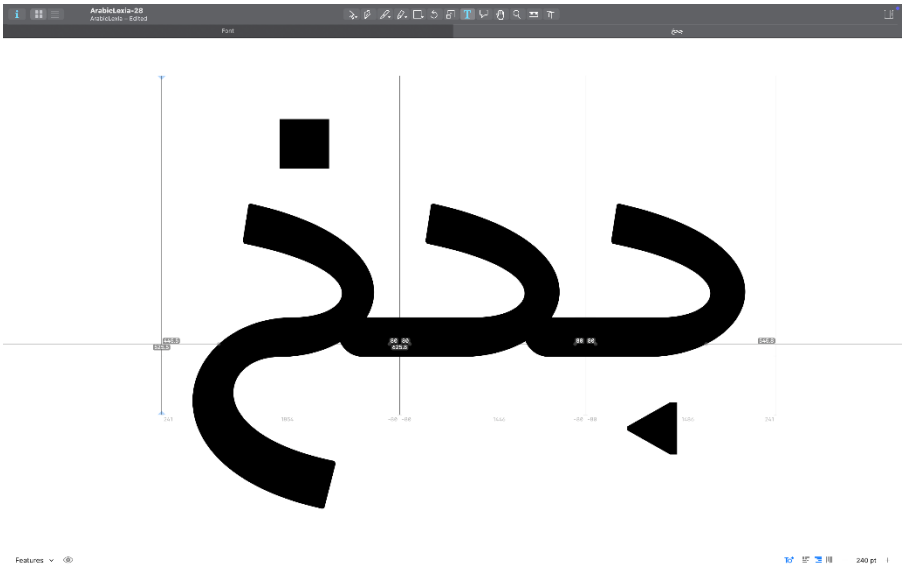
رسم توضيحي 38 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (G) داخل الخلية، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metricks



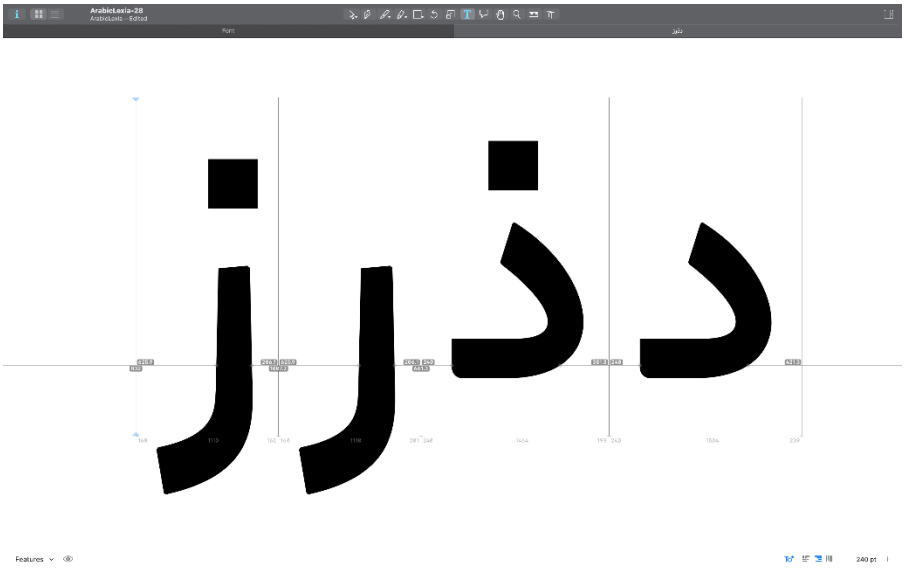
رسم توضيحي 39 مثال على خلية محرف تظهر هيئة المحرف (Q) داخل الخلية، والمساحات الجانبيّة وتشريح الرسم الحروفي وتوزيع مسافات الـ Metrics



رسم توضيحي 40 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لتلاقي حروف المسننات المتشابهة، المسافات بينها، شكل النقاط المختلف والمميز لها.

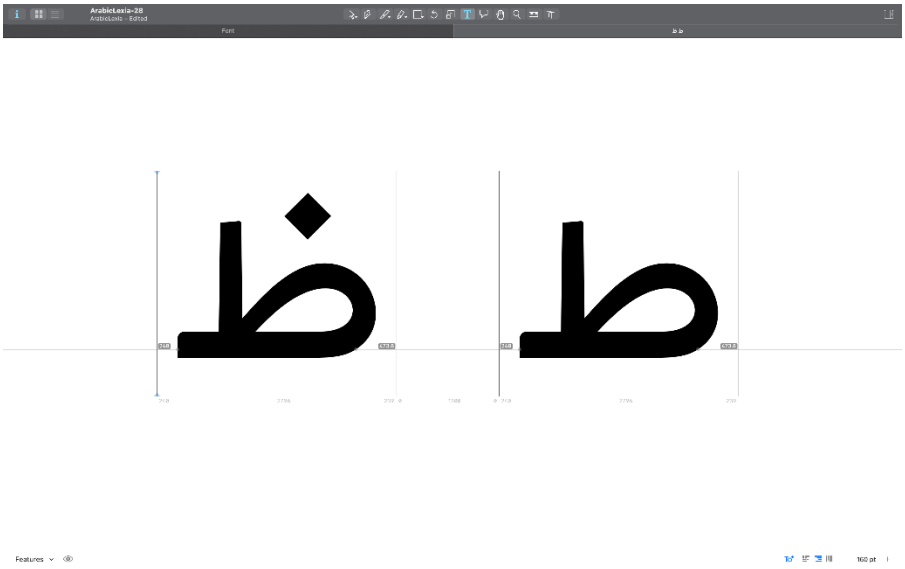


رسم توضيحي 41 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لتلاقي حروف "جحخ" المتشابهة، المسافات بينها، شكل النقاط المختلف والمميز لها.

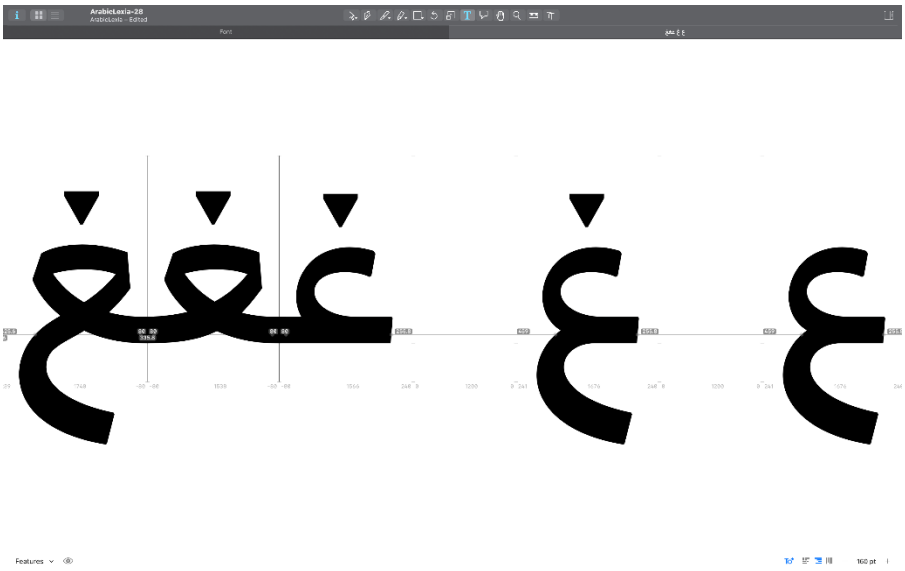



رسم توضيحي 42 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لحروف "د، ذ، ر،ز المسافات بينها، شكل النقاط والمسافة بين النقطة وجسم الحرف.

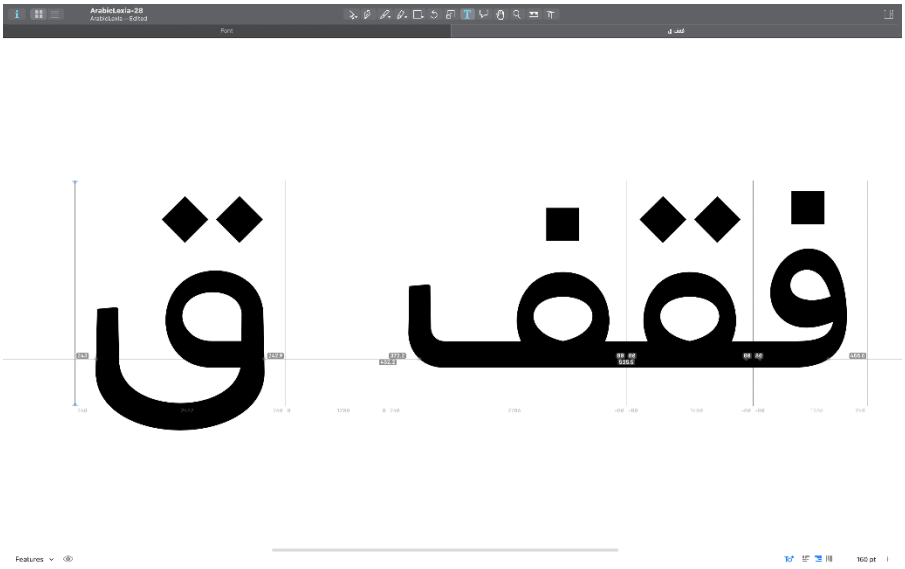
رسم توضيحي 43 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لحروف "ش، ض، المسافات بين أجزاء الحرف، شكل النقاط والمسافة بين النقطة وجسم الحرف، ونزول صحن الحرف.



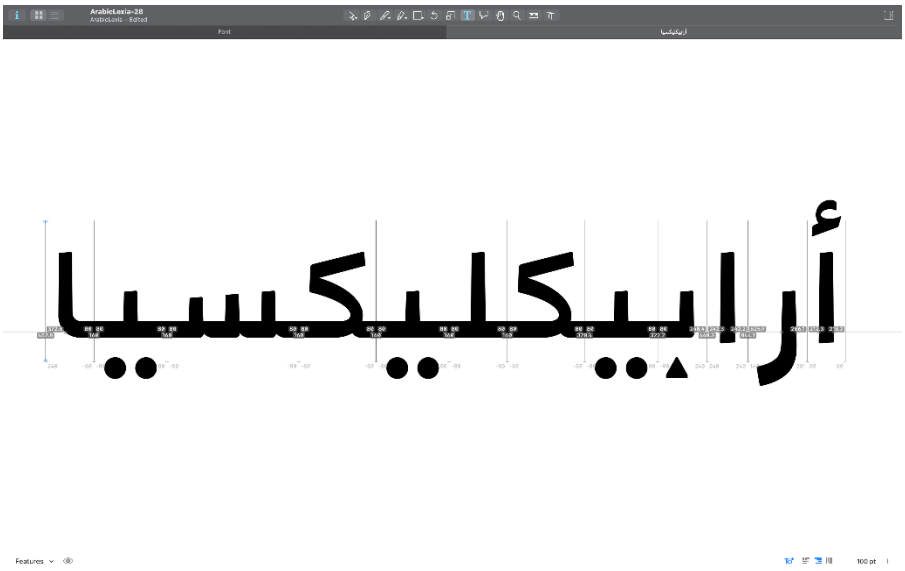
رسم توضيحي 44 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لحروف "ط، ظ، المسافات بين أجزاء الحرف، شكل النقاط والمسافة بين النقطة وجسم الحرف.



رسم توضيحي 45 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لحروف "ع، غ، المسافات بين أجزاء الحرف، شكل النقاط والمسافة بين النقطة وجسم الحرف.




رسم توضيحي 46 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لحروف "ف، ق، المسافات بين أجزاء الحرف، شكل النقاط والمسافة بين النقطة وجسم الحرف.




رسم توضيحي 47 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لكتابة النص "أرابيكليكسيا" لتوضيح المسافة بين الحروف، وشكل النقاط والمسافة بينها وبين جسم الحرف، واختلافها حسب الحرف.

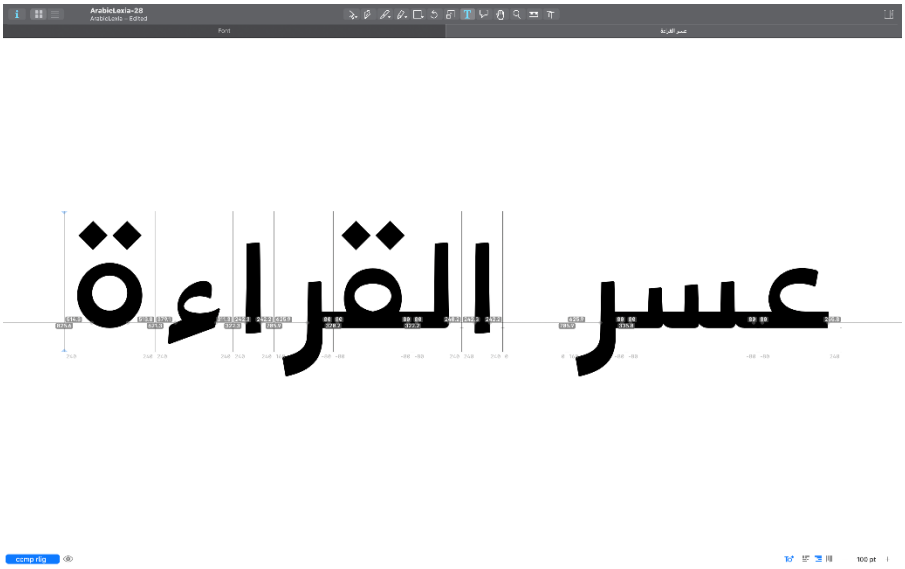
رسم توضيحي 48 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لكتابة النص "ArabicLexia" لتوضيح المسافة بين الحروف، وشكل النقاط والمسافة بينها وبين جسم الحرف.

رسم توضيحي 49 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار

توضيح لكتابة جزء من "الأبجديّة اللاتينية" لتوضيح الطابع العام للحروف.

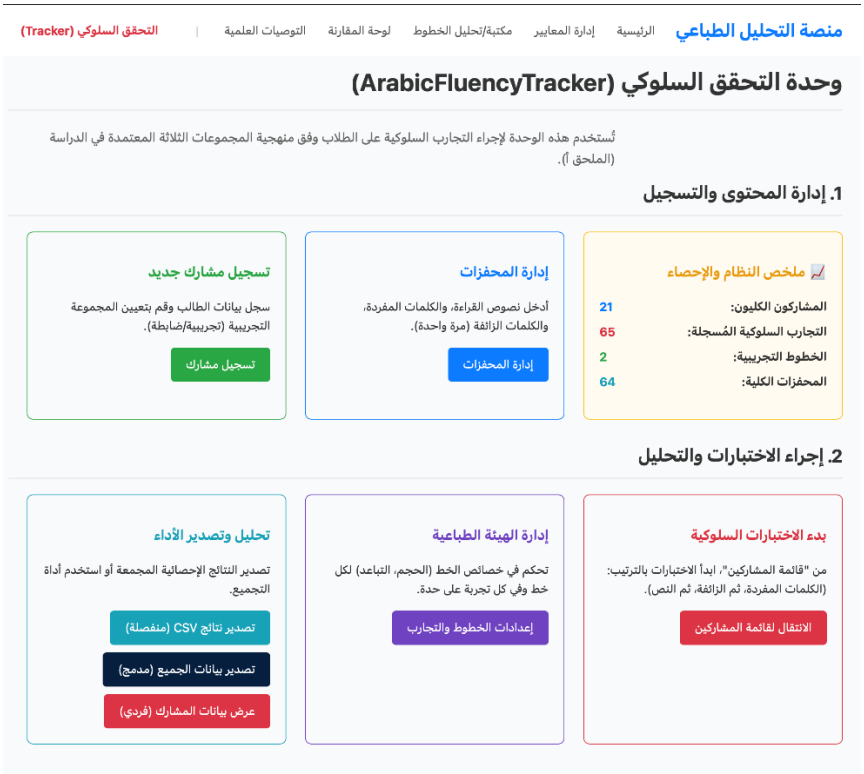
رسم توضيحي 50 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار

توضيح لكتابة جزء من "الأبجديّة العربيّة" لتوضيح الطابع العام للحروف.

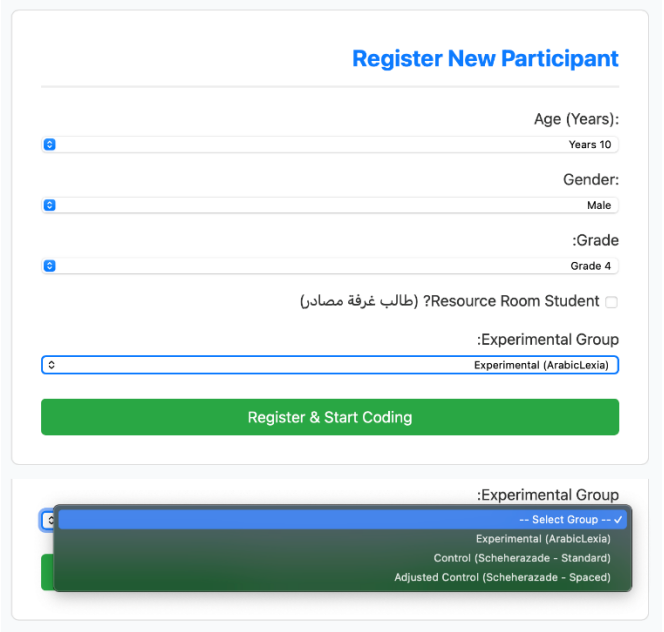



رسم توضيحي 51 مثال للكتابة المباشرة في تطبيق GlyphsApp في مرحلة الاختبار، توضيح لكتابة النص "عسر القراءة" لتوضيح المسافة بين الحروف والكلمات، وشكل النقاط والمسافة بينها وبين جسم الحرف.

# ملحق (ز): وحدة التحقق "آلية التجربة"

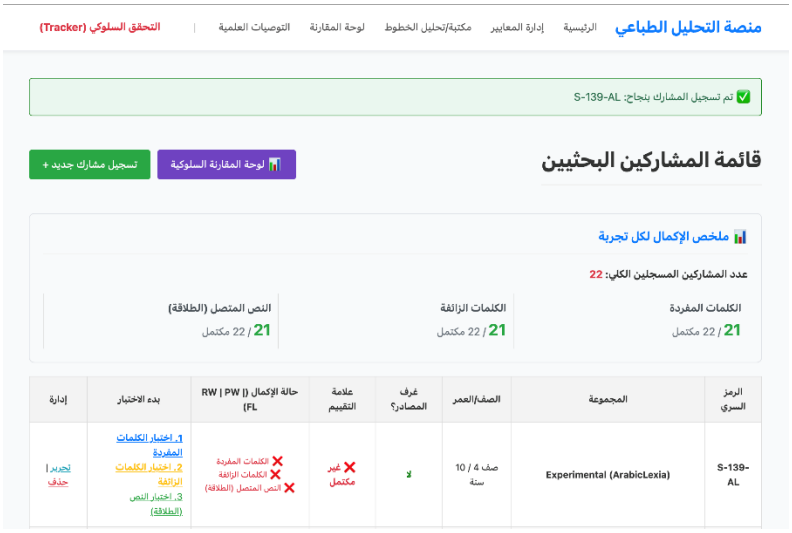



رسم توضيحي 52 الواجهة الرئيسية لوحدة التحقق في أداة التحليل "أرابيكليكسيا"




رسم توضيحي 53 نافذة تسجيل مشترك في وحدة التحقق في أداة التحليل "أرابيكليكسيا"

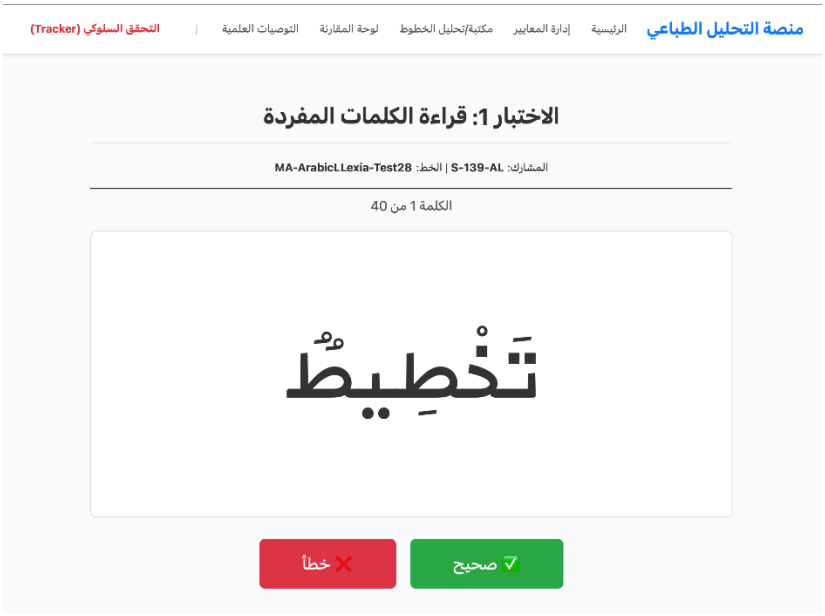
تراعي الآلية الخصوصية للمشتركين بعدم الكشف عن أسمائهم



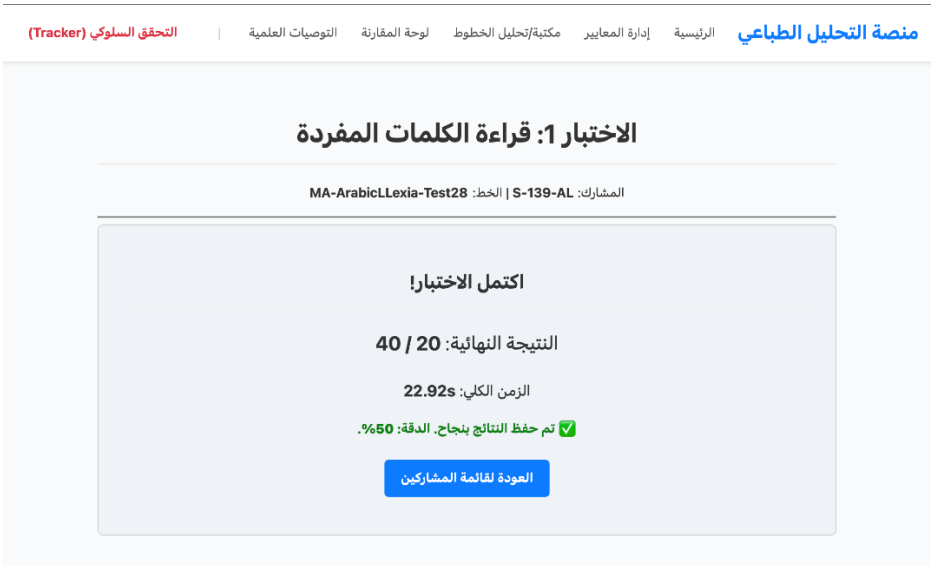

رسم توضيحي 54 الواجهة الرئيسية لقائمة المشتركين في وحدة التحقق في أداة التحليل "أرابيكليكسيا"

عند الاشتراك يظهر بوضوح أن هذا المشترك لم يخضع بعد لاختبارات التحقق

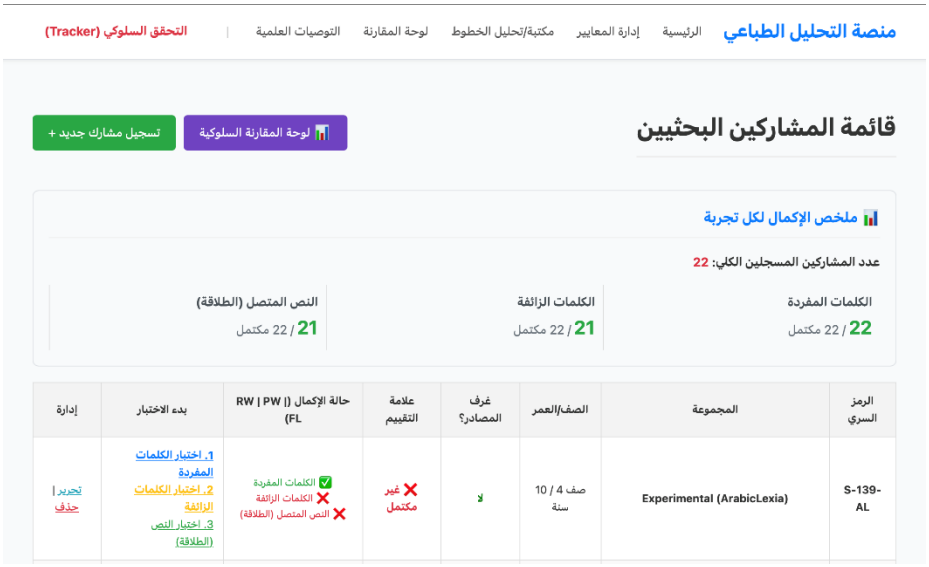
رسم توضيحي55 الواجهة الرئيسية لإجراء تجربة الكلمات المفردة، يظهر في الشاشة ترميز المشترك، واسم الخط المخصص للتجربة والمرتبط بنوع المجموعة، وعدد الكلمات التي سيتعرض لها الطالب بالقراءة، وزر بدء الاختبار الذي يتفعل معه احتساب التوقيت آليًّا حتى ينتهي الاختبار




رسم توضيحي56 نافذة اختبار الكلمات المفردة وفيها خيار للباحث باختيار جودة القراءة (صحيح) أو (خطأ) بمجرد اختيار أي منهما ينتقل للكلمة التالية، حتى انتهاء الاختبار.

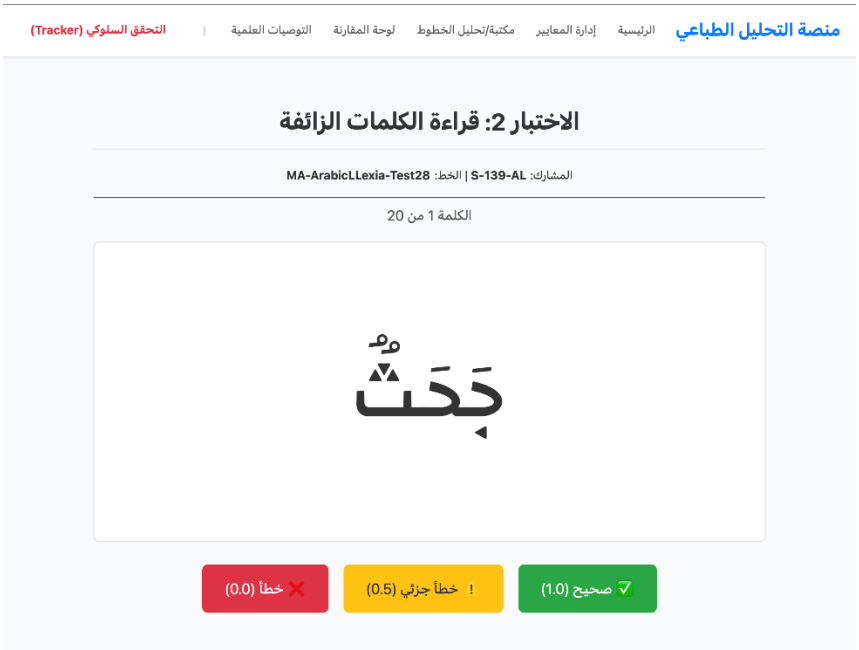



رسم توضيحي57 رصد نتيجة اختبار الكلمات المفردة، يتم احتساب النتيجة النهائية، والزمن الكلي، واحتساب الدقة.

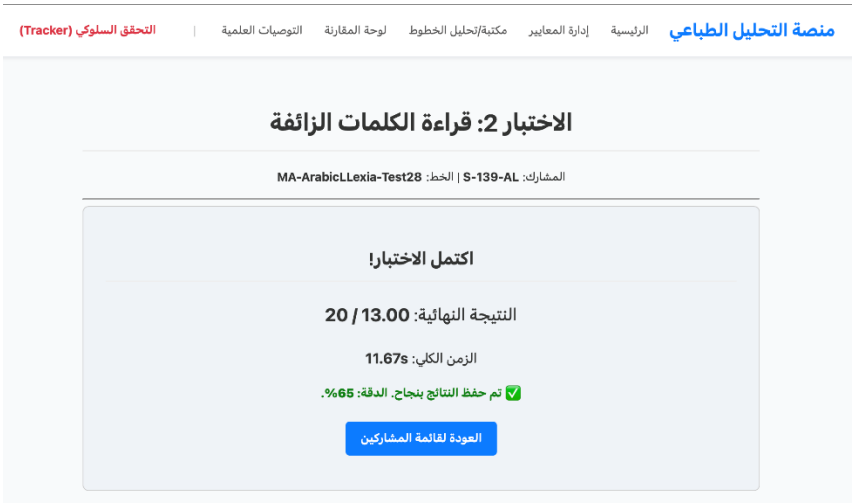



رسم توضيحي 58 بعد انتهاء اختبار الكلمات المفردة يظهر في قائمة المشاركين حالة المشارك، لم يكتمل بعد اختبار الكلمات الزائفة والنص المتصل "الطلاقة".

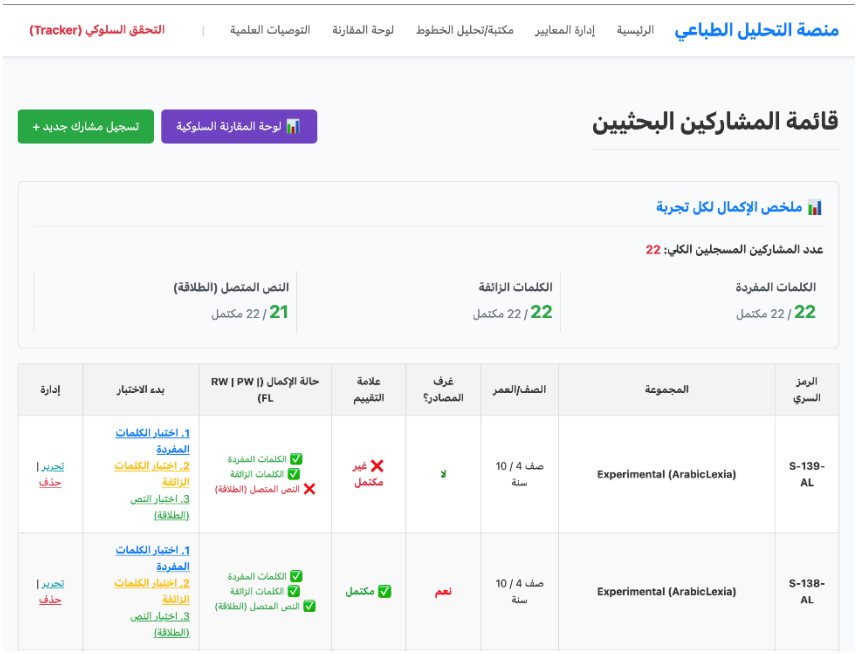
رسم توضيحي59 لإجراء تجربة الكلمات الزائفة، يظهر في الشاشة ترميز المشترك، واسم الخط المخصص للتجربة والمرتبط بنوع المجموعة، وعدد الكلمات التي سيتعرض لها الطالب بالقراءة، وزر بدء الاختبار الذي يتفعل معه احتساب التوقيت آليًّا حتى ينتهي الاختبار



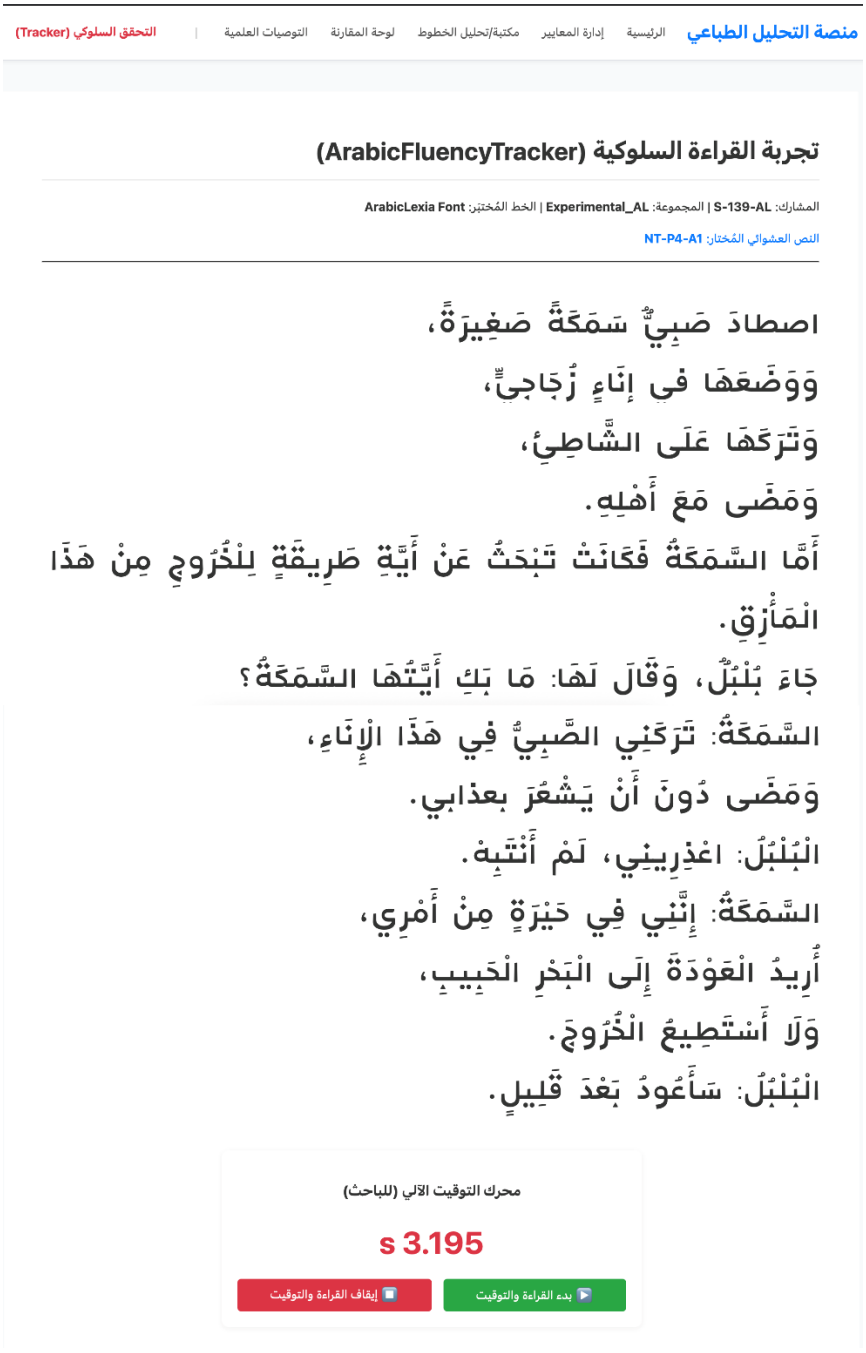

رسم توضيحي60 نافذة اختبار الكلمات الزائفة وفيها خيار للباحث باختيار جودة القراءة (صحيح) أو (خطأ جزئي) أو (خطأ)، بمجرد اختيار أي منهما ينتقل للكلمة التالية، حتى انتهاء الاختبار.



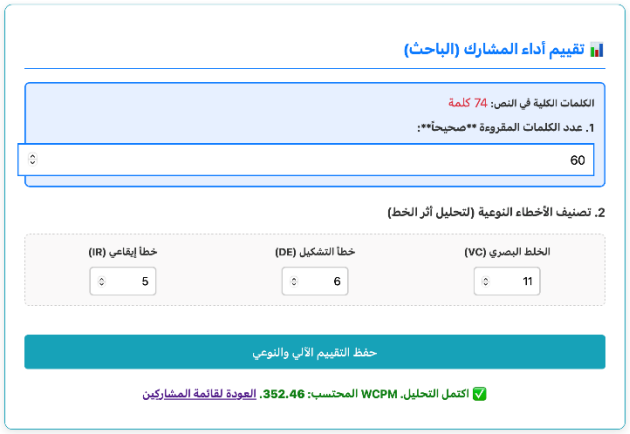

رسم توضيحي61 رصد نتيجة اختبار الكلمات الزائفة، يتم احتساب النتيجة النهائية، والزمن الكلي، واحتساب الدقة.



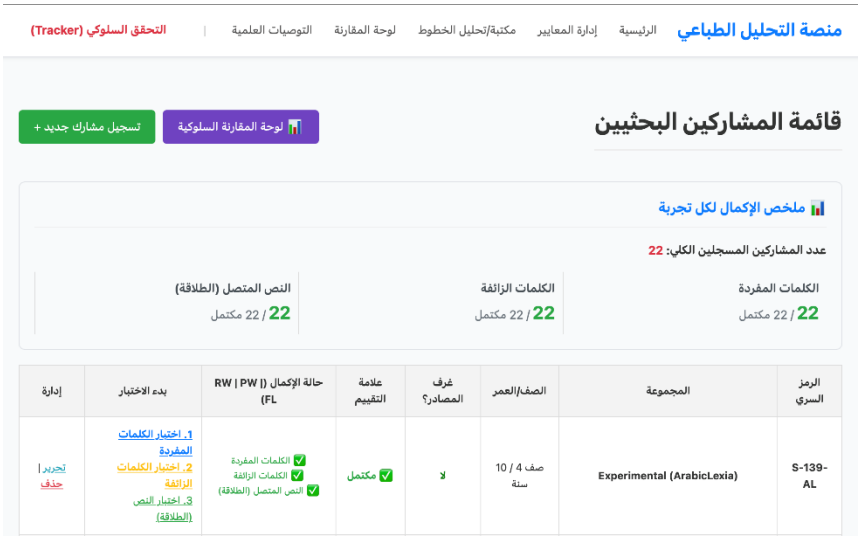

رسم توضيحي 62 بعد انتهاء اختبار الكلمات المفردة والزائفة، يظهر في قائمة المشاركين حالة المشارك، لم يكتمل بعد اختبار النص المتصل "الطلاقة".




رسم توضيحي 63 نافذة اختبار النص "الطلاقة"




رسم توضيحي 64 نافذة تقييم المشترك في اختبار النص "الطلاقة"




رسم توضيحي 65 حالة المشترك "مكتمل" وبياناته جاهزة للتحليل.