OPEN ACCESS
Received: 10 -06 -2026
Accepted: 17- 09-2026

الآداب
للدراسات اللغوية والأدبية

The Effect of Using Automatic Speech Recognition (ASR) and Digital Signal Processing (DSP) Technologies on Improving Pronunciation and Correcting Phonetic Deviations among Children Learning Arabic as a Second Language

Dr. Bashir Issa Ahmed Abdullah *

biabduallha@imamu.edu.sa

Abstract

This study examines the effectiveness of Automatic Speech Recognition (ASR) and Digital Signal Processing (DSP) technologies in improving pronunciation and reducing phonetic deviations among children learning Arabic as a second language. A quasi-experimental pretest–posttest design was employed with 120 learners aged 8–12, equally assigned to experimental and control groups. The experimental group received technology-assisted pronunciation training with immediate feedback, while the control group underwent conventional instruction. Pronunciation performance was assessed across twelve target Arabic sounds using a diagnostic observation checklist and a computerized test covering articulatory accuracy, phonetic deviations, and structural and contextual performance. Data were analyzed using paired- and independent-samples t-tests, with effect sizes calculated through Cohen's d and eta squared (η^2). The results showed no statistically significant improvement in the control group, whereas the experimental group demonstrated significant gains across all assessment dimensions. Posttest scores were substantially higher for the experimental group (56.45 ± 3.84) than for the control group (35.30 ± 6.50), with a statistically significant difference ($t = 21.84$, $p < .001$) and a very large effect size ($d = 3.98$; $\eta^2 = .80$). These findings demonstrate the effectiveness of ASR- and DSP-assisted pronunciation training for young learners of Arabic.

Keywords: Automatic Speech Recognition, Digital Signal Processing, Automated Pronunciation Assessment, Teaching Arabic as a Second Language, Phonetic Deviations.

* Associate Professor of Curriculum and Methods of Teaching Arabic to Non-Native Speakers, Department of Language Preparation, Arabic Language Teaching Institute, Imam Mohammad Ibn Saud Islamic University, Saudi Arabia.

Cite this article as: Abdullah, B. I. A. (2026). The Effect of Using Automatic Speech Recognition (ASR) and Digital Signal Processing (DSP) Technologies on Improving Pronunciation and Correcting Phonetic Deviations among Children Learning Arabic as a Second Language, *Arts for Linguistic & Literary Studies*, *8*(4): 189 -221 https://doi.org/10.53286/1y87e913

© This material is published under the license of Attribution 4.0 International (CC BY 4.0), which allows the user to copy and redistribute the material in any medium or format. It also allows adapting, transforming or adding to the material for any purpose, even commercially, as long as such modifications are highlighted and the material is credited to its author.

الآداب
للدراسات اللغوية والأدبية

OPEN ACCESS
تاريخ الاستلام: 2026/06/10م
تاريخ القبول: 2026/09/17م

أثر توظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP) في تحسين النُّطق ومعالجة الانحرافات الصَّوتية لدى الأطفال متعلّمي العربية لغةً ثانية

د. بشير عيسى أحمد عبد الله *
biabduallha@imamu.edu.sa

ملخص:

هدفت الدّراسة إلى الكشف عن أثر توظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP) في تحسين النُّطق والحدّ من الانحرافات الصَّوتية لدى الأطفال متعلّمي العربية لغةً ثانية، واعتمدت المنهج شبه التجريبي بتصميم المجموعتين التجريبية والضابطة، مع تطبيق اختبار قبلي، وآخر بعدي على عيّنة قوامها (120) متعلّمًا تتراوح أعمارهم بين (12–8) سنة، وزّعوا بالتساوي على مجموعتين؛ تلقَّت التجريبية تدريبًا قائمًا على توظيف تقنيات (ASR/DSP) مصحوبًا بتغذية راجعة فورية، في حين تلقّت الضابطة تدريبًا بالطريقة التقليدية، واستُخدِمت بطاقة رصد تشخيصية للأداء النُّطقي واختبار نطق محوسب؛ لتقويم أداء المتعلّمين في اثني عشر صوتًا عربيًّا مستهدفًا ضمن ثلاثة محاور هي: الأداء المخرجي والمعياري، والانحرافات الصّوتية والصّفاتية، والأداء البنيوي والسّياقي، وحُلّلت البيانات باستخدام اختبار (t) للعيّنات المترابطة للمقارنة بين القياسين القبلي والبعدي داخل كلّ مجموعة، واختبار (t) للعيّنات المستقلّة للمقارنة البعدية بين المجموعتين، مع حساب حجمي الأثر باستخدام معاملي (Cohen's d) و(η^2)، وأظهرت النتائج عدم وجود فروق دالّة إحصائيًّا بين القياسين القبلي والبعدي لدى المجموعة الضابطة، مقابل وجود فروقٍ دالّة إحصائيًّا لدى المجموعة التجريبية في المحاور الثلاثة والدّرجة الكلية. كما أظهرت المقارنة البعدية تفوُّق المجموعة التجريبية، إذ بلغ متوسط أدائها (3.84±56.45)، مقابل (6.50 ± 35.30)للمجموعة الضابطة، وبلغت قيمة الاختبار (t=21.84)، عند مستوى دلالة (p < .001)، مع حجم أثر كبير جدًّا (d=3.98)، (η^2=.80).

الكلمات المفتاحية: التعرُّف الآلي إلى الكلام، معالجة الإشارات الرقمية، التقويم الآلي للنُّطق، تعليم العربية لغةً ثانية، الانحرافات الصَّوتية.

* أستاذ المناهج وطرق تدريس اللغة العربية للناطقين بغيرها المشارك، قسم الإعداد اللُّغوي بمعهد تعليم اللُّغة العربية، جامعة الإمام محمّد بن سعود الإسلامية، المملكة العربية السعودية.

للاقتباس: عبد الله، ب. ع. أ. (2026). أثر توظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP) في تحسين النُّطق ومعالجة الانحرافات الصَّوتية لدى الأطفال متعلّمي العربية لغةً ثانية، *الآداب للدراسات اللغوية والأدبية*، *8*(4): 189 -221 https://doi.org/10.53286/1y87e913

© نُشر هذا البحث وفقًا لشروط الرخصة Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)، التي تسمح بنسخ البحث وتوزيعه ونقله بأي شكل من الأشكال، كما تسمح بتكييف البحث أو تحويله أو الإضافة إليه لأي غرض كان، بما في ذلك الأغراض التجارية، شريطة نسبة العمل إلى صاحبه مع بيان أي تعديلات أُجريت عليه.

1.0المقدّمة:

تُعدُّ عملية اكتساب النِّظام الصَّوتي للُّغة العربية من الصُّعوبات التي يواجهها الأطفال متعلّمو العربية لغة ثانية ولا سيَّما في المراحل التأسيسية التي تتشكَّل خلالها أنماط إدراك الأصوات وإنتاجها، وترتبط هذه الصُّعوبات جزئيًّا، بالاختلاف بين النِّظام الصَّوتي للُّغة الأم، والنِّظام الصَّوتي للُّغة المستهدفة، وما قد ينشأ عنه من صعوبات في التمييز بين بعض الأصوات، أو تحقيق خصائصها المخرجية والصِّفاتية عند النُّطق.

وقد تتجلّى هذه الصُّعوبات في صُوَرٍ متعدِّدةٍ، ومنها الإبدال، والحذف، وعدم الدِّقَّة في تحقيق بعض الصِّفات الصَّوتية، بما قد يؤثّر في وضوح الكلام، وقابليته للفهم، ومن ثمَّ، فإنَّ تنمية النُّطق لدى متعلّمي العربية لغةً ثانية لا تقتصر على تقديم النَّماذج الصَّوتية وتكرارها، بل تتطلَّب تقويمًا منظَّمًا للأداء، وتحديدًا لأنماط الانحراف، وتوفير تغذية راجعة تُساعد المتعلّم على تعديل إنتاجه في ضوء معاييرَ واضحة (Alrashoudi, N., Al-Khalifa, H, & Alotaibi, Y (2025,p27)

وتتَّضح أهمية هذه المسألة عند تعليم الأصوات العربية الاثني عشر المستهدفة في الدّراسة الحالية، وهي: (ع، ح، خ، غ، ض، ص، ط، ظ، ق، ث، ذ، ش)، وتتباين هذه الأصوات في خصائصها النُّطقية والأكوستيكية، الأمر الذي يقتضي مراعاة طبيعة كلّ صوت عند تصميم أنشطة التَّدريب، وتقويم الأداء. كما لا يُفترض أن تكون الصُّعوبات المرتبطة بهذه الأصوات متماثلة لدى جميع المتعلّمين؛ إذ قد تتأثَّر بالخلفية اللُّغوية، والخبرة التعليمية، والسّياق الصَّوتي، ودرجة التعرُّض للُّغة المستهدفة؛ لذلك فإنَّ تشخيص الأداء النُّطقي يستلزم مؤشّرات محدَّدة قابلة للرصد والقياس، تُتيح تحديد مواضع الصُّعوبة ومتابعة التغيُّر في إنتاج الأصوات بعد التَّدريب، بدلًا من الاكتفاء بأحكامٍ عامّةٍ على سلامة النُّطق Amrate, M., & Tsai, P.-H. (2025,p35)

ومن بين التقنيات التي يُمكن توظيفها في هذا المجال تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (Automatic Speech Recognition: ASR)، ومعالجة الإشارات الرقمية (Digital Signal Processing: DSP)وعلى الرغم من إمكان التكامل بينهما في بيئات التَّدريب الصَّوتي، فإنَّ لكلٍّ منهما وظيفةً متميزةً؛ إذ تُستخدم تقنيات (ASR) للتعرّف إلى الكلام المنطوق، ومعالجته وفق قدرات النّظام، بينما تُتيح تقنيات (DSP) معالجة الإشارة الصَّوتية، واستخراج خصائصها، وتحليلها باستخدام طرائق حسابية مناسبة.

وتقدّم دراسة Alrashoudi وزميلها (2025) مثالًا مباشرًا على توظيف تقنيات التعلُّم العميق في اكتشاف أخطاء النُّطق لدى متعلّمي العربية غير النّاطقين بها وتشخيصها، فقد تناولت الدّراسة بناء نظام حاسوبيّ لاكتشاف الانحرافات الفونيمية وتصنيفها، بما في ذلك الحذف والإضافة والإبدال، وقوّمت أداء النّظام بمؤشّرات للكشف والتشخيص، مع المقارنة بالتقويم البشري.

وتكتسب هذه الدّراسة أهمية لارتباطها المباشر بالتقويم الآلي للنُّطق العربي، إلّا أنَّ تقويم أداء نظام لاكتشاف الأخطاء يختلف منهجيًّا عن اختبار أثر برنامج تدريبيّ في تحسين نطق المتعلّمين؛ فالأول يختبر قدرة النّظام على الكشف والتشخيص، بينما يتطلَّب الثاني قياس التغيُّر في أداء المتعلّم قبل التَّدخُّل وبعده، ومقارنة نتائجه بمجموعة ضابطة، ومن ثمَّ، فإنَّ وجود أنظمة قادرة على تشخيص بعض الانحرافات الصَّوتية لا يُغني عن اختبار فاعلية استخدامها ضمن تدخُّل تعليميّ لدى فئة عمرية محدَّدة.

وعلى الرغم من التّطوُّر في بحوث التَّدريب على النُّطق بمُساعدة الحاسوب، فإنَّ الأدلَّة المُتاحةَ لا تُتيح افتراض فاعلية موحَّدة لهذه التّقنيات لدى جميع متعلّمي اللُّغات الثانية، ولا سيَّما عند الانتقال إلى تعليم العربية للأطفال، وفي حدود

الأدبيات التي استندت إليها هذه المقدّمة، تبرز الحاجة إلى مزيد من الاختبارات التجريبية التي تجمع بين توظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام ومعالجة الإشارات الرقمية، والتغذية الراجعة الفورية، وتقيس أثر هذا التَّدخُّل في أداء الأطفال على أصوات عربية مُحدَّدة، مقارنة بالتَّدريب التقليدي (Almusharraf, A, Mahdi, H. S, Al-Nofaie, H, & Aljasser, A (2024,p1609)

وتستجيب الدّراسة الحالية لهذه الحاجة من خلال دراسة أثر تدخُّل تدريبيّ مركَّب لدى أطفالٍ من متعلّمي العربية لغةً ثانية في المستوى الأول المبتدئ، تتراوح أعمارهم بين ثماني سنوات، واثنتي عشرة سنة، مع التركيز على اثني عشر صوتًا عربيًّا مستهدفًا، ولا تفترض الدّراسة أنَّ كلَّ تقنية تُسهمُ بمقدار مستقلّ في التحسُّن، أو أنَّ جميع الأصوات تستجيب للتَّدريب بالدَّرجة نفسها؛ بل تختبر أثر التَّدخُّل بوصفه وحدة تدريبية متكاملة، في حدود إجراءات التطبيق ومؤشّرات القياس المعتمدة.

وعليه، تتأطَّر مشكلة الدّراسة الحالية في قصور أدوات التقويم التقليدية عن معالجة الانحرافات الصَّوتية الملازمة للأصوات العربية المشكلة الـ (12) لدى الأطفال متعلّمي العربية لغة ثانية في المستوى الأول المبتدئ، وما يترتَّب على ذلك من ضعف تواصُليّ، وتصدُّع دلاليّ، مما يستوجب الإجابة عن التَّساؤلات الرئيسة الآتية:

- ما أثر توظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) والمعالجة الإشارية الرقمية (DSP) في تحسين النُّطق ومعالجة الانحرافات الصَّوتية لدى الأطفال متعلّمي العربية لغة ثانية؟
- هل توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدّلالة (α=0.05) بين متوسطي درجات أفراد العيّنة في التطبيقَيْنِ القبلي والبعدي لبطاقة رصد الأداء النُّطقي للأصوات العربية الاثني عشر المستهدفة، تُعزى إلى التَّدخُّل التَّدريبي التّقْني القائم على توظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP) والتغذية الراجعة الفورية؟
- ما حجم الأثر الإحصائي لتوظيف تقنيات (ASR) و (DSP)في تصحيح انحرافات المخرج وضبط الصّفات الصَّوتية (كالترقيق والتفخيم والإبدال والحذف) لدى الأطفال عيّنة الدّراسة؟

وتتَّسق هذه الأسئلة مع أهداف الدّراسة المتمثلة في: قياس الأثر الفاعل للبرنامج الذكّي في تحسين الأداء النُّطقي، والكشف عن الفروق الإحصائية الجوهرية بين أداء المجموعتين في التطبيق البعدي، وتحديد حجم الأثر التطبيقي للتقنيات المستخدمة في تصحيح الأخطاء الضبطية والمخارج الصَّوتية.

في حين تستمدُّ الدّراسة قيمتها النظرية من سدِّ ثغرة فونولوجية هيكلية عبر استحداث قاعدة بيانات تشخيصية كمِّية ترتكز على التحليل الأكوستيكي، وتستمدُّ أهمّيتها التطبيقية من إرساء نموذج تقويمي تفاعلي يراعي الخصائص النَّمائية للطفل ويمدُّ المصمِّمين بمؤشّرات خوارزمية موثوقة، وتحدَّد نطاق الدّراسة موضوعيًّا بمعالجة الأصوات الـ (12) المستهدفة عبر خوارزميات (ASR) و (DSP)وتحليل الفورمانتات، وبشريًّا ومكانيًّا باقتصارها على أطفال المستوى الأول المبتدئ (8-12 سنة) بإحدى المؤسَّسات بمدينة الرياض، وزمانيًّا بالفصل الدّراسي الأول من العام (2025 - 2026) م.

تعدُّ عملية اكتساب النّظام الصَّوتي للُّغة العربية من الصُّعوبات التي يواجهها الأطفال متعلّمو العربية لغة ثانية، ولا سيَّما في المراحل التأسيسية التي تتشكّل خلالها أنماط إدراك الأصوات وإنتاجها، وترتبط هذه الصُّعوبات جزئيًّا بالاختلاف بين النّظام الصَّوتي للُّغة الأم والنّظام الصَّوتي للُّغة المستهدفة، وما قد ينشأ عنه من صعوبات في التمييز بين بعض الأصوات، أو تحقيق خصائصها المخرجية والصّفاتية عند النُّطق.

وقد تتجلّى هذه الصُّعوبات في صور متعدّدة، ومنها: الإبدال والحذف، وعدم الدقّة في تحقيق بعض الصّفات الصوتية، بما قد يؤثّر في وضوح الكلام وقابليته للفهم، ومن ثم، فإنّ تنمية النُّطق لدى متعلّمي العربية لغة ثانية لا تقتصر على تقديم النماذج الصَّوتية وتكرارها، بل تتطلّب تقويمًا منظَّمًا للأداء، وتحديدًا لأنماط الانحراف، وتوفير تغذية راجعة تُساعد المتعلّم على تعديل إنتاجه في ضوء معايير واضحة (Alrashoudi, N, Al-Khalifa, H, & Alotaibi, Y, 2025,p31)

وتتّضح أهمية هذه المسألة عند تعليم الأصوات العربية الاثني عشر المستهدفة في الدّراسة الحالية، وهي: (ع، ح، خ، غ، ض، ص، ط، ظ، ق، ث، ذ، ش)، وتتباين هذه الأصوات في خصائصها النُّطقية والأكوستيكية؛ الأمر الذي يقتضي مراعاة طبيعة كلّ صوت عند تصميم أنشطة التَّدريب وتقويم الأداء. كما لا يفترض أن تكون الصُّعوبات المرتبطة بهذه الأصوات متماثلة لدى جميع المتعلّمين؛ إذ قد تتأثر بالخلفية اللُّغوية، والخبرة التعليمية، والسّياق الصَّوتي، ودرجة التعرُّض للُّغة المستهدفة؛ لذلك فإنَّ تشخيص الأداء النُّطقي يستلزم مؤشّرات محدَّدة قابلة للرصد والقياس، تتيح تحديد مواضع الصُّعوبة ومتابعة التغيُّر في إنتاج الأصوات بعد التَّدريب بدلًا من الاكتفاء بأحكامٍ عامةٍ على سلامة النُّطق (Amrate, M, & Tsai, P, H, 2025, p38)

ومن بين التقنيات التي يمكن توظيفها في هذا المجال تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (Automatic Speech Recognition: ASR)، ومعالجة الإشارات الرقمية (Digital Signal Processing: DSP)، وعلى الرغم من إمكان التكامل بينهما في بيئات التَّدريب الصَّوتي، فإنَّ لكلٍّ منهما وظيفة متميزة؛ إذ تستخدم تقنيات (ASR)للتعرُّف إلى الكلام المنطوق ومعالجته وفق قدرات النظام، بينما تتيح تقنيات (DSP) معالجة الإشارة الصَّوتية، واستخراج خصائصها، وتحليلها باستخدام طرائق حسابية مناسبة.

وتقدّم دراسة Alrashoudi وزميليه (2025) مثالًا مباشرًا على توظيف تقنيات التعلُّم العميق في اكتشاف أخطاء النُّطق لدى متعلّمي العربية غير النّاطقين بها وتشخيصها؛ فقد تناولت الدّراسة بناء نظام حاسوبي لاكتشاف الانحرافات الفونيمية وتصنيفها، بما في ذلك الحذف والإضافة والإبدال، وقومت أداء النظام بمؤشّرات للكشف والتشخيص، مع المقارنة بالتقويم البشري.

وتكتسب هذه الدّراسة أهمية لارتباطها المباشر بالتقويم الآلي للنُّطق العربي، إلا أنَّ تقويم أداء نظام لاكتشاف الأخطاء يختلف منهجيًّا عن اختبار أثر برنامج تدريبي في تحسين نطق المتعلّمين، فالأول يختبر قدرة النّظام على الكشف والتشخيص، بينما يتطلَّب الثاني قياس التغيُّر في أداء المتعلّم قبل التَّدخُّل وبعده، ومقارنة نتائجه بمجموعة ضابطة، ومن ثم، فإنَّ وجود أنظمة قادرة على تشخيص بعض الانحرافات الصوتية لا يغني عن اختبار فاعلية استخدامها ضمن تدخُّل تعليمي لدى فئة عمرية محدَّدة.

وعلى الرغم من التطوُّر في بحوث التَّدريب على النُّطق بمساعدة الحاسوب، فإنَّ الأدلَّة المتاحة لا تتيح افتراض فاعلية موحَّدة لهذه التقنيات لدى جميع متعلّمي اللُّغات الثانية، ولا سيَّما عند الانتقال إلى تعليم العربية للأطفال، وفي حدود الأدبيات التي استندت إليها هذه المقدّمة، تبرز الحاجة إلى مزيد من الاختبارات التجريبية التي تجمع بين توظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام ومعالجة الإشارات الرقمية والتغذية الراجعة الفورية، وتقيس أثر هذا التَّدخُّل في أداء الأطفال على أصوات عربية محدَّدة، مقارنة بالتَّدريب التقليدي (Almusharraf, A, Mahdi, H, S, Al-Nofaie, H, & Aljasser, A, 2024, p1601)

وتستجيب الدّراسة الحالية لهذه الحاجة من خلال دراسة أثر تدخُّل تدريبي مركَّب لدى أطفالٍ من متعلّمي العربية لغة ثانية في المستوى الأول المبتدئ، تتراوح أعمارهم بين ثماني سنوات واثنتي عشرة سنة، مع التركيز على اثني عشر صوتًا عربيًّا مستهدفًا، ولا تفترض الدّراسة أنَّ كلّ تقنية تسهم بمقدار مستقل في التحسُّن، أو أنَّ جميع الأصوات تستجيب للتَّدريب بالدّرجة نفسها، بل تختبر أثر التَّدخُّل بوصفه وحدة تدريبية متكاملة، في حدود إجراءات التطبيق، ومؤشّرات القياس المعتمدة.

وعليه، تتأطَّر مشكلة الدّراسة الحالية في قصور أدوات التقويم التقليدية عن معالجة الانحرافات الصَّوتية المرتبطة بالأصوات العربية الاثني عشر المستهدفة لدى الأطفال متعلّمي العربية لغة ثانية في المستوى الأول المبتدئ، وما قد يترتب على ذلك من ضعف في التَّواصُل واضطراب في نقل المعنى، مما يستوجب الإجابة عن التساؤلات الرئيسة الآتية:

1. ما أثر توظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP) في تحسين النُّطق ومعالجة الانحرافات الصَّوتية لدى الأطفال متعلّمي العربية لغة ثانية؟

2. هل توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة (α=0.05) بين متوسطي درجات أفراد العيّنة في التطبيقين القبلي والبعدي لبطاقة رصد الأداء النُّطقي للأصوات العربية الاثني عشر المستهدفة، تُعزى إلى التَّدخُّل التَّدريبي التقني القائم على توظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP)والتغذية الراجعة الفورية؟

3.ما حجم الأثر الإحصائي لتوظيف تقنيات (ASR)و (DSP)في تصحيح انحرافات المخرج وضبط الصفات الصوتية، مثل الترقيق والتفخيم والإبدال والحذف، لدى الأطفال عيّنة الدراسة؟

وتتَّسق هذه الأسئلة مع أهداف الدّراسة المتمثلة في: قياس أثر البرنامج التَّدريبي التقني في تحسين الأداء النُّطقي، والكشف عن الفروق الإحصائية بين أداء المجموعتين في التطبيق البعدي، وتحديد حجم أثر التقنيات المستخدمة في معالجة الانحرافات المتعلقة بالمخارج والصفات الصوتية.

وتستمدُّ الدّراسة قيمتها النظرية من الإسهام في معالجة فجوة بحثية تتعلَّق بالتقويم الصّوتي الكمّي لأداء الأطفال متعلّمي العربية لغة ثانية، من خلال توفير بيانات تشخيصية تستند إلى مؤشّرات قابلة للقياس والتحليل الأكوستيكي. أما أهميتها التطبيقية، فتتمثَّل في تقديم نموذج تقويمي تفاعلي يراعي الخصائص النمائية للطفل، ويوفر للمصممين التعليميين مؤشّرات يمكن الاستفادة منها في تطوير التَّدريب على النُّطق، وتتحدَّد حدود الدّراسة موضوعيًّا بمعالجة الأصوات الاثني عشر المستهدفة باستخدام تقنيات (ASR)و(DSP)، وتحليل الخصائص الأكوستيكية ذات الصّلة، بما فيها الفورمانتات، وبشريًّا ومكانيًّا بأطفال المستوى الأول المبتدئ الذين تتراوح أعمارهم بين (8 و12) سنة في إحدى المؤسسات بمدينة الرياض، وزمانيًّا بالفصل الدّراسي الأول من العام الدراسي 2026–2025م.

2.0 الإطار النظري

يتضمَّن هذا الجزء من الدّراسة أربعة محاور رئيسة متكاملة ومؤطَّرة نظريًّا؛ يتناول المحور الأول: الذكاء الاصطناعي من حيث المفهوم، والأسس النظرية وتطبيقاته التكيُّفية في تعليم اللُّغات، بينما يُعنى المحور الثاني بتأصيل الخصائص النَّمائية والنفس – لغوية للأطفال في الفئة العمرية المستهدفة (8-12 سنة)، وعلاقتها الإدراكية باكتساب النِّظام الصَّوتي الأجنبي وتفاعلهم مع منظومات التقويم التكيُّفي الذّكي، ويستعرض المحور الثالث الأصوات العربية الـ (12) المستهدفة: (ع، ح، خ، غ، ض، ص، ط، ظ، ق، ث، ذ، ش) لدى الأطفال متعلّمي العربية لغةً ثانية في المستوى الأول (المبتدئ)، محدّدًا خصائصها الفونولوجية وأنماط الانحراف النُّطقي المرافقة لها (كالإبدال، والتفخيم، والترقيق، والحذف). في حين يركّز المحور الرابع على التشخيص الصَّوتي الرقمي والتقويم القائم على البيانات عبر تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الصَّوتية (DSP) والآليات العصبية - البصرية للتغذية الراجعة الفورية، وتتخلَّل هذه المحاور قراءة تحليلية نقدية للأدبيات والدّراسات السّابقة ذات الصّلة؛ بهدف رصد اتجاهاتها المنهجية، واستجلاء الفجوة البحثية، وإبراز موقع الدّراسة الحالية والإضافة المعرفية التي تقدِّمها.

2.1 المحور الأول: الذكاء الاصطناعي من حيث المفهوم، والأسس النظرية، والتطبيق التكيّفي في تعليم اللُّغات

على الرغم من تعدُّد تعريفاتِ الذكاء الاصطناعي لاختلاف منطلقاته وتداخُله مع علوم الحاسوب والرياضيات واللُّغويات، وعلم النَّفس، فإنها تلتقي في تمكين الأنظمة الحاسوبية من أداء مهام تتطلَّب معالجة ذكيّة للمعلومات، كالتعلُّم،

والتعرُّف إلى الأنماط، والاستدلال، واتخاذ القرار، والتكيُّف مع البيانات الجديدة، ومن ثم انتقل الذكاء الاصطناعي من محاكاة بعض العمليات المعرفية إلى تطبيقات قادرة على تحليل البيانات والتفاعل معها، وإنتاج استجابات تتغيَّر وفق مُعْطيات الموقف.

وفي تعليم اللُّغات، يعني ذلك توظيف النُّظم الذكية في معالجة البيانات اللُّغوية، وتحليل أداء المتعلّم، وتقديم التقويم، والتغذية الراجعة والتَّدريب الملائم لحاجاته (أحمد، 2023، ص.13)؛ (العنزي، 2024، ص.46)؛ (الفقي وقدوم، 2024، ص. 61).

ويكتسب هذا التَّوظيف أهمية خاصّة في تعليم العربية لغةً ثانية؛ لأنَّ الذكاء الاصطناعي يتيح التعامل مع اللُّغة في مستوياتها النصّية والصّرفية والنَّحوية والصَّوتية، مع إمكانية بناء موارد ونماذج تراعي خصائص العربية، وقد أظهرت الدّراسات الحديثة تنامي تطبيقاته في تعليم العربية للنّاطقين بغيرها، ولا سيَّما في التعلُّم التفاعلي، والتقويم الآلي، وتحسين مهارات التحدُّث والنُّطق، مع بقاء دقَّة النُّظُم وملاءمتها لخصوصيات العربية من التحديات التي تستلزم مزيدًا من البحث (العنزي، 2024)، ص. 46)؛(Mohmad Mohmiddin & Abu Bakar, 2025, p211)

تتمثّل أبرز الخصائص التعليمية للذكاء الاصطناعي في التكيُّف والتخصيص، والمعالجة الآلية للُّغة، والتقويم التشخيصي، والتغذية الراجعة الفورية، وتحليل أنماط الخطأ؛ إذ تتيح النُّظم الذكية تحليل أداء المتعلم، وتحديد جوانب القوّة والضعف لديه، وتعديل المحتوى التعليمي ومستوى صعوبته، وأنشطة التدريب بما يتناسب مع احتياجاته، وتزداد القيمة التربوية لهذه الخصائص عند توظيفها في تنمية مهارات النُّطق؛ إذ تتيح رصد إنتاج المتعلّم الصَّوتي، ومقارنته بالنّموذج المستهدف، وتحديد مواضع الانحراف في الأداء، ثم تقديم تغذية راجعة موجَّهة تساعده على تصحيح أخطائه وتحسين نطقه، بدلًا من الاكتفاء بتعليقات عامة لا تحدّد طبيعة الخطأ، أو سبل معالجته (العنزي، 2024، ص. 51) حسانين، (2024)، ص. 197).

وتستند هذه التطبيقات إلى مجموعة من الأسس المترابطة، أهمُّها تمثيل المعرفة والبيانات، والاستدلال واتخاذ القرار، والتعلُّم من البيانات، والتكيُّف، وتحليل المُشكلات إلى مُكوّنات قابلة للقياس، وفي تعليم اللُّغات تتيح هذه الأسس بناء قواعد وموارد لُغويَّة وصوتيَّة، وتحليل استجابات المُتعلّم، وتصنيف أخطائه، واختيار النَّشاط، أو التغذية الراجعة اللَّاحقة، ويُصبح التعلُّم التكيُّفيّ في ضوء ذلك حلقة مستمرّة من تحليل الأداء واتخاذ القرار وإعادة توجيه التعلُّم، لا مجرد تقديم محتوى رقميّ ثابت.

وتتعدَّد التطبيقات الناتجة عن هذه الأسس، ومن أبرزها أنظمة التعلُّم التكيُّفي، ومعالجة اللُّغة الطبيعية، والمساعدات الحوارية، والتصحيح والتقويم الآلي، والتعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ويؤدّي (ASR) دورًا محوريًّا في الدّراسة الحالية؛ لأنّه يتيح استقبال الكلام المنطوق وتحليله وتحويله إلى بيانات قابلة للمعالجة، بما يسمح باستخدام الإنتاج الفعلي للمتعلّم في التقويم والتغذية الراجعة، وقد بيَّنت مراجعة منهجية حديثة لتطبيقات الذكاء الاصطناعي في تعلُّم العربية للنّاطقين بغيرها أنَّ تحسين النُّطق باستخدام آليات التعرُّف إلى الكلام يمثّل أحد المجالات الرئيسة لهذا التوظيف، مع استمرار تحديات الدقَّة والملاءمة الصَّوتية(Mohmad Mohmiddin & Abu Bakar, 2025.p209)

غير أنَّ التعرُّف إلى الكلام لا يساوي تقويم النُّطق؛ فـ(ASR) يُركِّزُ -أساسًا - على التعرُّف إلى الكلام المنطوق، في حين يتطلَّب تشخيص الانحرافات الصَّوتية تحليل خصائص الإشارة نفسها، وهنا تبرز معالجة الإشارات الرقمية (DSP) بوصفها مكوّنًا تقنيًّا يتيح تهيئة الإشارة الصَّوتية، واستخراج خصائصها الزَّمنية والطَّيفية وغيرها، بما يدعم تحليل الأداء الصَّوتي، ومن ثمَّ يتكامل (ASR)و (DSP) في الدّراسة الحالية؛ حيث تعالج (DSP) الإشارة وتستخرج سماتها، ويسهم (ASR) في التعرُّف إلى المحتوى المنطوق، ثم تستخدم نتائج التحليل في بناء التقويم والتغذية الرّاجعة.

وبناءً على ذلك، يمكن تعريف الذكاء الاصطناعي إجرائيًّا في هذه الدّراسة بأنَّه: منظومة من التقنيات والخوارزميّات القادرة على معالجة بيانات الأداء الصَّوتي للمتعلّم، وتحليل أنماطه، والكشف عن جوانب الانحراف فيه، ثم توظيف نتائج التحليل في تقديم تقويم وتغذية راجعة وتدريبات تكيُّفية تستهدفُ تحسين النُّطق في العربية لغةً ثانية، وبهذا يتحدَّد المسار الوظيفي للتقنية في الدّراسة الحالية في صورة مُتكامِلَة: إنتاج الكلام ⟵ معالجة الإشارة ⟵ التعرُّف والتحليل ⟵ تشخيص الانحراف ⟵ التغذية الرّاجعة ⟵ إعادة الإنتاج، وهو ما يؤسّس للانتقال إلى بيان الأسس التقنية والتربوية لـ (ASR)و (DSP) ودورهما في تحسين النُّطق لدى الأطفال متعلّمي العربية لغةً ثانية.

المحور الثاني الخصائص النّمائية والنفس - لغوية للأطفال (8-12 سنة)، وعلاقتها باكتساب النّظام الصَّوتي الأجنبي والتقويم التكيُّفي الذّكي:

تمثّل الفئة العمرية (12–8) سنة مرحلة نمائية مُهمَّة في تعلُّم اللُّغة الثانية؛ فهي تقع ضمن الطفولة المتأخّرة وتمتدّ في طرفها الأعلى إلى بدايات المراهقة، وتتَّسم بتطوُّر متزايد في الانتباه والذّاكرة العاملة والتَّمييز السَّمعي والوعي الفونولوجي، والقدرة على معالجة الوحدات اللُّغوية.

وتؤكّد الدّراسات العربية الحديثة أنَّ الوعي الفونولوجي والذاكرة العاملة والإدراك البصري يرتبطان ارتباطًا وثيقًا بالمعالجة اللُّغوية لدى الأطفال، وأنَّ الوعي الفونولوجي يمثّل أحد المؤشّرات المهمّة في نموّ الأداء اللُّغوي والقرائي (لعيس، 2022، ص. 290)؛ (بوعكاز ولعيس، 2020، ص. 264). كما تشير الأدبيات المتعلّقة باكتساب اللُّغة الثانية إلى أنَّ العمر لا يعمل منفردًا في تحديد جودة الاكتساب، بل يتفاعل مع طبيعة المدخلات اللُّغوية، والبيئة التعليمية، وخصائص اللُّغة الأولى، وكثافة الممارسة وجودتها؛ ومن ثمَّ فإنَّ ملاءمة التَّدخُّل التعليمي للخصائص النمائية للطفل تظلُّ عاملًا أساسيًّا في فاعلية التعلُّم.

وتكتسب المعالجة الفونولوجية أهمية خاصّة في هذه المرحلة؛ لأنَّ تعلُّم النّظام الصَّوتي للغة ثانية لا يقتصر على سماع الصَّوت وتقليده، وإنّما يتطلَّب تكوين تمثيلات صوتية دقيقة، والتمييز بين الوحدات المتقاربة، وربط المدخل السّمعي بالإنتاج النُّطقي، وتبيّن الدّراسات العربية أنَّ الوعي الفونولوجي يتضمَّن القدرة على إدراك الأصوات وتمييزها وتحليلها ودمجها، وأنَّ هذه العمليات ترتبط بعمل الذاكرة اللفظية والقدرات الإدراكية الأخرى (شريفي ولهاصي، 2023، ص. 466)؛ (سي بشير، براهيمي وبوداود، 2024، ص. 504)، وتكتسب هذه النتيجة أهمية أكبر في تعليم العربية لغة ثانية؛ لأنَّ المتعلّم الطفل يحتاج إلى بناء تمثيل جديد لأصوات لا تتطابق بالضرورة مع المخزون الصَّوتي في لغته الأولى، الأمر الذي يجعل التَّدريب السَّمعي والإنتاجي المتدرّج والتغذية الراجعة الدقيقة عناصر أساسية في بناء النُّطق.

وتظهر أهمّية ذلك بصورة أوضح في الدّراسات التي تناولت الأطفال النّاطقين بغير العربية؛ فقد بحثت دراسة فيلي وكتناوي (2023، ص. 523) توظيف تطبيق ذكيّ في تعليم أصوات العربية لأطفال ناطقين بغيرها، باستخدام تصميم تجريبيّ شمل مجموعة تجريبية، وأخرى ضابطة، وانتهت إلى وجود دور للتطبيق الذكي في تعليم الأصوات العربية. كما بيَّنت دراسة بوزيدي (2024، ص. 203)، من خلال تحليل تطبيق رقميّ موجَّه للأطفال، أنَّ التطبيقاتِ الإلكترونية يمكن أن تتضمَّن أنشطة لتعليم الأصوات ومخارجها، وتدريب المتعلّم على الاستماع والنُّطق.

وتنسجم هذه النتائج مع ما أظهرته مراجعات حديثة لتطبيقات الذكاء الاصطناعي في تعليم العربية من تنوُّع في توظيفِ التقنيات الذكيّة لتحسين المهارات اللُّغوية وتقديم تغذية راجعة أكثر فردية، مع استمرار الحاجة إلى تقويم دقَّة هذه التطبيقات وملاءمتها للمتعلمين (العنزي، 2024، ص. 51).

ومن المنظور النفسي-التربوي، تتطلَّب هذه الخصائص أن يكون التقويم النُّطقي متدرّجًا وفرديًا وفوريًا؛ فالطفل قد يحتاج إلى عدد مختلف من المحاولات والتكرارات تبعًا لمستواه الإدراكي والصَّوتي، كما أنَّ التغذية الراجعة المتأخرة قد لا تكفي لتحديد موضع الخطأ وربطه بمحاولة نطق محدّدة، وهنا تتقاطع خصائص المتعلّم مع إمكانات الذكاء الاصطناعي؛ إذ يمكن للأنظمة الرقمية تحليل استجابة المتعلّم، وتحديد مواضع الضعف، ثم تقديم تدريب أو تغذية راجعة تتناسب مع أدائه.

وقد أشارت دراسات عربية حديثة إلى إمكان توظيف تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تعليم العربية من خلال التقييم الفردي الفوري وتحليل الصَّوت وتحسين النُّطق، مع التأكيد على ضرورة ضبط جودة هذه التطبيقات وملاءمتها للأهداف التعليمية (عائشة، 2025، ص. 801)؛ (العنزي، 2024، ص. 52).

وفي ضوء ذلك، لا ينبغي فهم العلاقة بين خصائص الأطفال النمائية والتقويم التكيُّفي الذكي على أساس أنَّ التقنية تعوض الخصائص النمائية للطفل، وإنما على أساس أنها وسيلة يمكن تكييفها للاستجابة لهذه الخصائص؛ إذ يستطيع النظام التكيُّفي، من حيث المبدأ، تغيير مستوى المهمة، وعدد المحاولات، ونوع التدريب، ودرجة التكرار، وطبيعة التغذية الراجعة، استنادا إلى بيانات الأداء.

وفي الدّراسة الحالية، تكتسب هذه العلاقة أهمية خاصة؛ لأنَّ توظيف معالجة الإشارات الرقمية (DSP)يتيح استخراج خصائص من الإشارة الصَّوتية، في حين يسهم التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR)في تحليل الكلام المنطوق، ويمكن بعد ذلك توظيف نتائج التحليل في بناء تغذية راجعة وتدريبات موجَّهة، ومن ثم، فإنَّ فاعلية المنظومة لا تقوم على (ASR)وحده، بل على تكامل المراحل الآتية: إنتاج الكلام، ومعالجة الإشارة، والتحليل والتعرُّف، وتشخيص الانحراف الصَّوتي، وتقديم التغذية الراجعة التكيُّفية، ثم إعادة الإنتاج.

وعليه، يمكن النظر إلى الفئة العمرية (12–8)سنة بوصفها سياقًا نمائيًا يتطلَّب تصميمًا تعليميًا يراعي التمييز السَّمعي، والوعي الفونولوجي، والذاكرة العاملة، والتدرُّج في التدريب، وكثافة الممارسة، والفروق الفردية في اكتساب الأصوات، ولا يعني ذلك افتراض تفوُّق عمري مطلق، وإنما يبرر تصميم منظومة تقويمية تستجيب للفروق الفردية في الأداء الصَّوتي، بدلًا من الاكتفاء بتغذية راجعة موحَّدة، وبذلك، يمثّل هذا المحور حلقة وصل بين الأساس النَّمائي للمتعلّم في المحور الثاني، والأساس التقني للذكاء الاصطناعي وتقنيتي (ASR)و (DSP)في المحور الأول، ويمهّد منطقيًا لدراسة أثر توظيف هذه التقنيات في تحسين النُّطق ومعالجة الانحرافات الصَّوتية لدى الأطفال متعلّمي العربية لغة ثانية.

2.2 المحور الثالث: الأصوات العربية المستهدفة، و أنماط الانحراف النُّطقي لدى الأطفال متعلِّمي العربية لغةً ثانية:

تمثّل الأصوات العربية المستهدفة في هذه الدّراسة: (ع، ح، خ، غ، ض، ص، ط، ظ، ق، ث، ذ، ش)، مجموعة إجرائية اختيرت لدراسة أنماط الانحراف النُّطقي لدى الأطفال متعلّمي العربية لغة ثانية، وتتحدَّد أهمية هذه المجموعة في تنوُّع خصائصها النُّطقية، وما تتطلّبه من تحكُّم في مواضع النُّطق وصفات الأصوات وآليات إنتاجها؛ إذ قد تشكّل بعض هذه الأصوات تحديًا لبعض المتعلّمين عندما لا تتوافر في لغاتهم الأولى مقابِلات صوتية مطابقة لها، أو عندما تختلف طريقة إنتاجها وإدراكها عن نظائرها في اللُّغة العربية، ولا يعني ذلك أنَّ هذه الأصوات تمثّل صعوبة موحّدة لدى جميع المتعلّمين، بل إنَّ درجة الصُّعوبة وطبيعتها تتأثّران بالنّظام الصَّوتي للُّغة الأولى، والخبرة اللُّغوية السّابقة، والسّياق الصَّوتي، ومستوى الكفاية في اللُّغة الثانية.

وتتباين الأصوات المستهدفة من حيث مخارجها وصفاتها؛ فمنها أصوات حلقية، مثل: (ع، ح، غ)، وأصوات لهوية، مثل: (خ، ق)، وأصوات مفخَّمة، هي: (ص، ض، ط، ظ)، وأصوات أسنانية أو بين أسنانية، مثل: (ث، ذ)، إضافة إلى الصَّوت

(ش) الذي يتطلّب إنتاجه تشكيل مجرى هوائي مناسب في منطقة ما بعد اللّثة، ويتيح هذا التنوُّع تناول جوانب مختلفة من الأداء النُّطقي، تشمل تحديد موضع النُّطق، وضبط أعضاء النُّطق، والتحكُّم في تدفُّق الهواء، وتحقيق السّمات الصَّوتية المميزة لكلّ صوت، ومن ثمّ، فإنَّ اختيار هذه الأصوات لا يستند إلى افتراض تماثلها في درجة الصُّعوبة، وإنَّما إلى تنوُّع خصائصها وإمكان دراسة أنماط الانحراف المرتبطة بإنتاجها.

وتظهر الانحرافات النُّطقية المحتملة في صور متعدّدة، تختلف باختلاف الصَّوت المستهدف وطبيعة الأداء الصّادر عن المتعلّم، ومن أبرزها الإبدال الصَّوتي، حين ينتج المتعلّم صوتًا آخر بدلًا من الصَّوت المستهدف؛ والحذف، حين يسقط الصَّوت من الكلمة؛ والتشويه النُّطقي، حين ينتج الصَّوت بصورة لا تحقّق خصائصه المميزة على نحو كاف؛ فضلا عن ضعف تحقيق بعض السّمات الصَّوتية، مثل التفخيم في الأصوات المفخمة، وقد تتداخل هذه الأنماط في بعض الحالات، كما قد تختلف درجة ظهورها تبعًا لموقع الصَّوت في الكلمة، والأصوات المجاورة له، وطبيعة المهمّة النُّطقية، ولذلك يتطلّب تحليل الأداء التمييز بين نوع الانحراف ودرجة شدّته والسّياق الذي ظهر فيه، بدلًا من الاكتفاء بوصف النُّطق بأنَّه صحيح، أو غير صحيح.

ومن الناحية الإجرائية، يمكن تناول الأداء النُّطقي بوصفه ظاهرة قابلة للملاحظة والتحليل على مستويين متكاملين: المستوى النُّطقي الإدراكي، الذي يركّز على مدى وضوح الصَّوت ومطابقة إنتاجه للنَّموذج المستهدف، والمستوى الأكوستيكي، الذي يتناول الخصائص الفيزيائية للإشارة الكلامية، ويشمل المستوى الأكوستيكي، بحسب طبيعة الصَّوت والسُّؤال التحليلي مؤشّرات مثل مدَّة الصَّوت، والطاقة، والتوزيع الطيفي، والتردُّدات الرنينية (F1) و(F2)، وزمن بدء التصويت (VOT) في الأصوات التي يكون هذا المؤشّر ملائمًا لتحليلها، ولا تصلح جميع هذه المؤشّرات بالدّرجة نفسها لتحليل الأصوات الاثني عشر؛ إذ يتوقَّف اختيار المؤشّر على الخصائص الصَّوتية للصَّوت المستهدف، وعلى نوع الانحراف المراد الكشف عنه. كما أنَّ اختلاف قيمة مؤشّر أكوستيكي واحد لا يكفي - في حدّ ذاته - لإثبات وجود انحراف نطقي؛ بل ينبغي تفسيره في ضوء طبيعة الصَّوت، والسّياق الصَّوتي، وخصائص إنتاج المتعلّم، والاستعانة بالتقييم النُّطقي البشري عند الحاجة.

ويقتضي هذا التمييز عدم الخلط بين رصد الاختلاف الصَّوتي وتشخيص الانحراف النُّطقي، فرصد الاختلاف يعني تحديد التباين بين إنتاج المتعلّم والنَّموذج الصَّوتي المستهدف، في حين يتطلَّب التشخيص تفسير هذا التباين وتحديد نوعه ودرجة أهميته بالنسبة إلى تعلُّم الصَّوت، وقد توفّر المعالجة الرقمية للإشارة الصَّوتية مؤشّرات كمّية تساعد على وصف الأداء ومقارنة المحاولات النُّطقية، لكنّها لا تمثّل منفردة حكمًا نهائيًّا على صحّة النُّطق؛ إذ تتأثّر دقّة التحليل بجودة التسجيل وظروف التقاط الصَّوت، وخصائص المتحدّث، ومدى ملاءمة المؤشّرات المختارة للصَّوت محلّ الدّراسة، ومن ثمّ فإنّ الاستفادة التعليمية من التحليل الأكوستيكي تقتضي الجمع بين الأدلَّة الصَّوتية والتفسير اللُّغوي والتربوي.

وفي ضوء ذلك يتحدّد دور هذا المحور في ضبط المادة الصَّوتية التي تستهدفها هذه الدّراسة، وأنماط الانحراف التي تسعى إلى رصدها، والأسس التي يمكن الاستناد إليها في وصفها وتحليلها، ويؤسّس هذا التحديد للانتقال إلى المحور الرابع، الذي يتناول الأساس التقني لتوظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP) في تحليل الأداء النُّطقي، فبعد تحديد الأصوات المستهدفة وأنماط الانحراف المحتملة يصبح السُّؤال التالي هو كيفية معالجة الإشارة الكلامية، واستخراج المؤشّرات الملائمة، والاستفادة من نتائج التحليل في تقديم تغذية راجعة تعليمية تساعد المتعلّم على تحسين إنتاج الأصوات المستهدفة.

2.3 المحور الرابع: التشخيص الصّوتي الرقمي والتقويم القائم على البيانات عبر تقنيات (ASR وDSP)

يعدُّ توظيف معالجة الإشارات الرقمية (Digital Signal Processing–DSP) والتعرُّف الآلي إلى الكلام (Automatic Speech Recognition–ASR) امتدادًا طبيعيًّا لتحديد الأصوات المستهدفة، وأنماط الانحراف التي عالجها المحور السّابق؛ إذ ينقل دراسة النُّطق من الملاحظة السّمعية العامة إلى تحليل يعتمد على البيانات الصَّوتية الفعلية للمتعلم، وتعمل معالجة الإشارة الرقمية على تحويل الموجة الكلامية إلى تمثيلات وخصائص قابلة للتحليل، في حين تستهدف أنظمة (ASR) التعرُّف إلى الكلام المنطوق وتحويله إلى تمثيل حاسوبي يمكن معالجته، وقد أصبح التعرُّف الآلي إلى الكلام أحد مجالات اللُّغويات الحاسوبية التي تتقاطع فيها المعرفة الصوتية واللغوية مع تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلُّم الآلي مع بقاء تحديات خاصة باللُّغة العربية مرتبطة بتنوُّع أنماطها المنطوقة واختلاف البيانات والسّياقات الصَّوتية (الحارثي، مريم، والغامدي، صالح، 2023).

ولا تقتصر القيمة التشخيصية للمعالجة الرقمية على تحويل الكلام إلى نصّ؛ إذ يمكن تحليل الإشارة الصَّوتية واستخراج مؤشّرات أكوستيكية تختلف أهميتها باختلاف الصَّوت المستهدف، فقد ترتبط بعض الأصوات بخصائص الفورمانتات (F1)و (F2) و(F3)، في حين يمكن أن تفيد الخصائص الطيفية والمدّة والشدَّة في تحليل أصوات أخرى (Dhouib, A, et al, 2022, p121)

كما يمكن توظيف زمن استهلال الصّوت (VOT) في دراسة بعض الأصوات الانفجارية والتمييز بينها، ومن ثم فإنَّ اختيار المؤشّر ينبغي أن يتّبع السّمة الصوتية المراد فحصها، لا أن يفترض وجود مؤشّر واحد صالح لتشخيص جميع الأصوات، وتؤكّد الأدبيات العربية الحديثة في التحليل الأكوستيكي أنَّ القياسات الصَّوتية تتيح تحويل بعض الفروق النُّطقية إلى مؤشّرات كمّية قابلة للمقارنة، بما يدعم موضوعية التحليل الصَّوتي.

وتأتي تقنية (ASR) في مستوى مختلف ولكنّه متكامل، فهي تتيح للنّظام معالجة الكلام المنطوق والتعرُّف إلى الوحدات، أو الكلمات التي أنتجها المتعلّم، ومن ثم مقارنة الناتج بما تستهدفه المهمّة التعليمية .غير أنَّ التعرُّف الصحيح إلى الكلمة لا يعني بالضرورة صحّة نطق جميع أصواتها، فقد يستطيع النّظام التعرُّف إلى المقصود رغم وجود انحراف صوتي محدود، ولذلك يتطلّب التشخيص الدقيق الجمع بين مخرجات (ASR) والمؤشّرات الأكوستيكية المستخرجة بواسطة (DSP)، ثم تفسيرها في ضوء النموذج الصَّوتي المستهدف.

وتؤكّد المراجعات الحديثة الخاصّة بالتعرُّف الآلي إلى الكلام العربي أنَّ أداء أنظمة (ASR) يتأثر بتنوُّع الكلام العربي وبطبيعة البيانات المستخدمة في التَّدريب والتقييم، وهو ما يجعل اختيار البيانات والنموذج المرجعي عنصرًا أساسيًّا عند توظيف هذه التقنيات في السّياقات التعليمية (الشهري، ناصر، والعمري، إبراهيم، 2022، ص. 79).

وبناء على هذا التكامل، يمكن بناء طبقة تشخيص صوتي تربط بين الصَّوت الذي أنتجه المتعلّم والصَّوت المستهدف، وتبحث عن أنماط الانحراف المحدَّدة في المحور السّابق، مثل الإبدال، والحذف أو الاختزال، وفقدان بعض السّمات المميزة كالتفخيم، أو التباين في بعض الخصائص الزمنية والأكوستيكية ذات الصّلة بالصَّوت.

ولا يقصد بذلك أنَّ الخوارزمية تستخلص الحكم النُّطقي بصورة مستقلَّة عن السّياق، وإنَّما أنَّ البيانات المستخرجة من الكلام توفّر أدلَّة كمّية يمكن استخدامها في بناء قرار تشخيصي أكثر اتّساقا وقابلية للتكرار، وينسجم هذا مع الاتجاه الحديث في اللُّغويات الحاسوبية العربية نحو تطوير أنظمة تتعامل مع الكلام المنطوق بوصفه بيانات قابلة للمعالجة والتحليل والتقييم، لا مجرد مادّة للاستماع البشري (القحطاني، سعيد، وآخرون، 2024، ص. 64).

وتتحوَّل قيمة هذه البيانات من التشخيص إلى التقويم التكويني القائم على الأداء عندما تسجل نتائج المتعلّم عبر محاولات متتابعة؛ إذ يمكن للنّظام تتبُّع الصَّوت المستهدف، ونوع الانحراف، وتكراره، وتغيُّر الأداء بعد التَّدريب، وبذلك يصبح التقويم عملية مستمرة ترصد مسار التحسُّن بدلًا من الاقتصار على نتيجة نهائية.

ويمكن استخدام البيانات المتراكمة لتحديد الأصوات التي تحتاج إلى مزيد من التَّدريب ونوع النشاط المناسب لها، ويكتسب هذا التوجُّه أهمية خاصّة في تعليم العربية لغة ثانية؛ لأنَّ نظم المعالجة الآلية للصَّوت تتيح ربط التَّدريب الشَّفهي ببيانات أداء قابلة للحفظ والمقارنة، وهو ما يفتح مجالًا لتطوير تقويم رقمي أكثر انتظامًا وأقلّ اعتمادًا على الحكم الانطباعي وحده، وقد بيَّنت الأدبيات الحديثة حول الذكاء الاصطناعي في تعلم العربية للنّاطقين بغيرها اتّساع توظيف التقنيات الذكية في دعم التعلُّم والتقويم، مع استمرار الحاجة إلى نماذج أكثر تخصُّصًا في مهارات اللُّغة ومكوّناتها.

ومن هذا المنطلق، يمكن أن تتخذ التغذية الراجعة التكيُّفية صورة دورة تعليمية متكرّرة تبدأ بإنتاج المتعلّم للصَّوت، ثم التقاط الإشارة ومعالجتها، واستخراج خصائصها، والتعرُّف إلى الكلام، وتشخيص موضع الانحراف، ثم تقديم تدريب، أو تغذية راجعة تتناسب مع النتيجة، يعقبها إنتاج جديد للتحقُّق من مقدار التحسُّن، وتتيح هذه الدورة الانتقال من التقويم بوصفه حكمًا نهائيًا إلى التقويم بوصفه جزءًا من عملية التعلُّم نفسها. كما تسمح بتخصيص التَّدريب للمتعلّم وفق بيانات أدائه بدلًا من تقديم التَّدريبات الصَّوتية نفسها لجميع المتعلّمين بالدَّرجة والكيفية ذاتها.

وعليه يكتمل بهذا المحور البناء النَّظري للدّراسة؛ فبعد أنَّ حدد المحور الثالث الأصوات العربية المستهدفة وأنماط الانحراف التي ينبغي رصدها، يوضّح هذا المحور الآلية التقنية التي يمكن من خلالها تحويل الكلام المنطوق إلى بيانات قابلة للمعالجة والتحليل والتقويم، ومن ثم تتمثَّل الصّلة بين المحورين في انتقال الدّراسة من سؤال: ما الذي ينبغي تشخيصه؟ إلى سؤال: كيف يمكن تشخيصه رقميًا؟ وكيف تستخدم نتائج التشخيص في تحسين النُّطق؟

ويؤسّس هذا التكامل للإطار التطبيقي للدّراسة الحالية، التي تختبر توظيف (ASR)و(DSP)لا بوصفهما تقنيتين مستقلّتين، وإنّما ضمن منظومة تشخيصية وتدريبية تستهدف تحسين نطق الأطفال متعلّمي العربية لغة ثانية ومعالجة الانحرافات الصَّوتية المحدَّدة لديهم.

3.0 منهجية الدّراسة وإجراءاتها

3.1 منهج الدّراسة

تعتمد هذه الدّراسة التصميم شبه التجريبي؛ لملاءمته طبيعة أهدافها وأسئلتها البحثية، إذ تهدف إلى قياس أثر المتغيّر المستقل المتمثّل في توظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (Automatic Speech Recognition - ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية(Digital Signal Processing - DSP)، المقترنة بآليات التغذية الراجعة الفورية، في المتغيّر التّابع المتمثّل في تحسين النُّطق ومعالجة الانحرافات الصَّوتية لدى الأطفال متعلّمي العربية لغةً ثانيةً، ويوفّر هذا التصميم إطارًا منهجيًّا مناسبًا للمقارنة بين المجموعتين التجريبية والضابطة، وقياس التغيُّر في الأداء النُّطقي والانحرافات الصَّوتية وفق مؤشّرات كمّية محدَّدة تتَّسم بالدقَّة والموضوعية.

3.2 مجتمع الدّراسة وعيّنتها

يتكوّن مجتمع الدّراسة من الأطفال متعلّمي العربية لغةً ثانية الملتحقين بالبرامج التعليمية في المؤسّسات والمراكز المتخصّصة في تعليم العربية للنّاطقين بغيرها بمدينة الرياض، واختير هذا المجتمع لارتباطه المباشر بموضوع الدّراسة، الذي يستهدف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP) في تحسين النُّطق ومعالجة الانحرافات الصَّوتية لدى الأطفال متعلّمي العربية لغةً ثانية.

وتكوّنت عيّنة الدِّراسة من (120)طفلًا، اختيروا بطريقة قصدية من المقيَّدين بالمستوى الأول في عدد من المؤسّسات التعليمية المتخصّصة في تعليم العربية للنّاطقين بغيرها بمدينة الرياض، وتراوحت أعمارهم بين (8-12)سنة، وروعي في

اختيار العيّنة تنوُّع الخلفيّات اللُّغوية والثَّقافية للمشاركين، مع مراعاة التقارب في توزيعها بين المجموعتين، ما يتناسب مع طبيعة الدّراسة وأهدافها. وقُسّمت العيّنة إلى مجموعتين متساويتين وفق التصميم شبه التجريبي، بواقع (60) طفلًا في كلّ مجموعة، على النَّحو الآتي:

- المجموعة التجريبية: (N = 60) طُبِّق عليها تدخُّل تدريبي قائم على توظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية(DSP) ، متضمّنًا تدريبات سمعية وبصرية فردية مقترنة بآليات التغذية الراجعة الفورية؛ بهدف تحسين النُّطق ومعالجة الانحرافات الصَّوتية المستهدفة.
- المجموعة الضابطة:(N = 60) تلقّت التعليم الاعتيادي في تدريب الأصوات المستهدفة وتصويب الأداء النُّطقي، دون توظيف التَّدخُّل التّقني القائم على(ASR) و(DSP) والتغذية الراجعة الفورية، وذلك لإتاحة المقارنة بين أداء المجموعتين، وتحديد أثر التَّدخُّل التِّقني، وللتحقُّق من تكافؤ المجموعتين قبل تطبيق التَّدخُّل التجريبي، أُجري القياس القبلي باستخدام بطاقة رصد الأداء النُّطقي التشخيصية، ثم عولجت بياناته إحصائيًّا باستخدام اختبار (t) للعيّنات المستقلَّة، وتعرض نتائج هذا الإجراء ضمن اختبار التكافؤ القبلي بين المجموعتين:

جدول (1)

توزيع أفراد العيّنة حسب المجموعة والخلفية اللّغوية (N=120):

المجموعة	العدد	النسبة %	الخلفيات اللّغوية
الضابطة	60	50%	الخلفيات اللُّغوية المحدَّدة في العيّنة
التجريبية	60	50%	الخلفيات اللُّغوية نفسها مع مراعاة التقارب في التوزيع
المجموع الكلّي	120	100%	-

3.3 أدوات الدّراسة، وموادها

اعتمدت الدّراسة منظومة متكاملة من الأدوات والمواد التطبيقية؛ لقياس أثر التَّدخُّل التّقني في الأداء النُّطقي بصورة كمّية ومنظَّمة، والربط بين الرصد النُّطقي المباشر والتَّحليل الصَّوتي الرقمي، وتتكوَّن المنظومة من بطاقة رصد الأداء النُّطقي التَّشخيصية بوصفها الأداة الرئيسة للقياس القبلي والبعدي، ومنظومة تقنية للتحليل الصَّوتي تعتمد على معالجة الإشارات الرقمية (DSP) والتعرُّف الآلي إلى الكلام(ASR)؛ لاستخلاص المؤشّرات الصَّوتية ذات الصّلة بالأداءِ ومقارنتها بالنَّموذج المرجعي، وتوظيف نتائج التَّحليل في تقديم التغذية الراجعة الفورية للمشاركين أثناء التدريب.

وتستخدم بطاقة الرصد في التطبيقين القبلي والبعدي لتقويم أداء المشاركين في نُطق الأصوات العربية الاثني عشر المستهدفة، من خلال عشرة مؤشّرات موزَّعة على ثلاثة محاور تشخيصية، تشمل: الأداء المخرجي والمعياري، والانحرافات الصَّوتية والصَّفاتية، والأداء البنيوي والسّياقي، وتهدف هذه المؤشّرات إلى رصد موضع إنتاج الصَّوت والتحكُّم فيه، وسلامة أدائه المعياري، والتغيُّرات في صفاته، والإبدال الصَّوتي والتشويه، والظواهر الصَّوتية المصاحبة، وثبات الأداء في السّياق الكلامي والمقطعي.

3.3.1 بطاقة الرصد النُّطقي التشخيصية وبنيتها المنهجية

أُعدّت بطاقة رصد الأداء النُّطقي التشخيصية لأغراض هذه الدّراسة؛ بهدف قياس الأداء النُّطقي للأطفال متعلّمي العربية لغةً ثانية في المستوى الأول (المبتدئ)، ورصد مظاهر الانحراف الصَّوتي في الأصوات العربية المستهدفة قبل تطبيق التَّدخُّل التّقني وبعده، واستند إعداد البطاقة إلى مراجعة الأدبيات والدّراسات ذات الصّلة بتعليم النُّطق في اللُّغة الثانية، وإلى

تحليل طبيعة الأصوات العربية المستهدفة وخصائصها المخرجية والصّفاتية والسّياقية، فضلًا عن الاستفادة من آراء المتخصّصين في اللُّغويات التطبيقية وعلم الأصوات في مراجعة مؤشّرات البطاقة وصياغتها.

وأسفرت هذه الإجراءات عن تحديد اثني عشر صوتًا عربيًّا مستهدفًا، هي:(ع، ح، خ، غ، ض، ص، ط، ظ، ق، ث، ذ، ش)، بوصفها أصواتًا تتطلَّب تدريبًا نطقيًّا دقيقًا لدى أفراد العيّنة المستهدفة، وأعدَّت البطاقة في ثلاثة محاور تشخيصية رئيسة، توزَّعت عليها المؤشّرات العشرة على النَّحو الآتي:

- **المحور الأول:** الأداء المخرجي والمعياري للأصوات المستهدفة (3 مؤشّرات): ويقيس دقّة موضع إنتاج الصَّوت، والتحكُّم المخرجي الحركي، وسلامة الأداء النُّطقي مقارنة بالنَّموذج المرجعي (المعياري).
- **المحور الثاني:** الانحرافات الصَّوتية والصّفاتية (4 مؤشّرات): ويرصد التغيُّر في الصّفة الرئيسة للصّوت، والإبدال الصَّوتي الكلّي، أو الجزئي مع تدوين الصّوت البديل بوصفه بيانًا كيفيًّا مصاحبًا للدَّرجة الكمِّية، والتشويه السَّمعي - الأُكوستيكي، والظواهر الصَّوتية المصاحبة للأداء.
- **المحور الثالث:** الأداء البنيوي والسّياقي (3 مؤشّرات): ويقيس ثبات نُطق الصَّوت المستهدف في السّياق الكلامي والمقطعي، والمحافظة على البنية المقطعية للكلمة، ورصد مظاهر الحذف، أو التشويه التي تؤثّر في الأداء الصَّوتي في السّياق.

3.3.2 سلّم التقدير المزدوج لبطاقة رصد الأداء النُّطقي التشخيصية:

اعتمدت الدّراسة سلَّم تقدير مزدوجًا يجمع بين الملاحظة النُّطقية المباشرة والتَّحليل الصَّوتي الرقمي؛ بهدف تعزيز موضوعية القياس، وتقليل أثر التقدير الذّاتي في الحكم على الأداء النُّطقي، وتستند شبكة التقييم إلى عشرة مؤشِرات تشخيصية موزَّعة على المحاور الثلاثة لبطاقة رصد الأداء النُّطقي، مع الاستفادة من مخرجات معالجة الإشارات الرقمية (DSP)والتعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) في تحليل الأداء الصَّوتي ومقارنته بالنَّموذج المرجعي (المعياري)، وتقديم التغذية الراجعة الفورية أثناء التَّدريب.

وتتكوّن مادّة القياس من (60) سياقًا نطقيًّا، بواقع (5) سياقات لكلّ صوت من الأصوات العربية الاثني عشر المستهدفة، ويقوَّم أداء المتعلّم في كلّ سياق وفق المؤشّرات التشخيصية العشرة مجتمعة، ثم يُمنح السّياق تقديرًا كليًّا على مقياس ثلاثيّ المستويات (2–1–0)، بحيث تمثّل الدَّرجة (2) أداءً نطقيًّا سليمًا، والدَّرجة (1) أداءً مقاربًا يتضمَّن انحرافًا جزئيًّا، والدَّرجة (0) أداءً غير مقبول يتضمَّن خطأً نطقيًّا واضحًا، وبذلك تبلغ الدَّرجة العظمى للبطاقة (120)درجةً، بواقع درجتين لكلّ سياق من السّياقات السّتين.

ويُستخدم هذا السّلم في القياسين القبلي والبعدي، بما يسمح برصد التغيُّر في الأداء النُّطقي لدى أفراد المجموعتين، في حين تُستخدم المخرجات الرقمية للتحليل الصَّوتي بوصفها مؤشّرات داعمة للحكم على الأداء وتحديد طبيعة الانحرافات وتوجيه التَّدريب الفوري، وتوضّح المعايير الإجرائية ومستويات التقدير في الجدول الآتي:

جدول (2)

مقياس التقدير المزدوج لبطاقة الرصد النُّطقي التشخيصية

التقدير	مستوى الأداء	الوصف الإجرائي	المؤشرات الرقمية المساندة	التوجيه الآلي
2	نطق سليم	إنتاج الصَّوت من المخرج والصّفات المستهدفة دون انحراف ملحوظ	توافق مؤشّرات التحليل الصَّوتي مع النِّطاق المرجعي المحدِّد للصَّوت	تعزيز إيجابي والانتقال إلى السّياق التالي

التقدير	مستوى الأداء	الوصف الإجرائي	المؤشرات الرقمية المساندة	التوجيه الآلي
1	نطق مقارب	إنتاج الصَّوت بصورة مفهومة مع انحراف جزئي في المخرج، أو الصّفة، أو الخصائص الصّوتية.	انحراف محدود عن القيم المرجعية مع بقاء الخصائص الصَّوتية الأساسية	تنبيه فوري وتقديم نموذج تصحيحي وإعادة المحاولة
0	نطق خاطئ	حذف الصَّوت، أو إبداله، أو تشويهه بدرجة تؤثر في مطابقته للنّموذج المستهدف	انحرافٌ واضحٌ عن المؤشرات المرجعية أو تعذُّر مطابقة الإنتاج بالنَّموذج	إعادة المحاولة مع توجيه بصري-سمعي لإنتاج الصَّوت

3.3.3أداة التحليل الصّوتي وآليات القياس التقنية (DSP & ASR):

تتكامل بطاقة رصد الأداء النُّطقي التشخيصية مع منظومة التَّحليل الصَّوتي الرقمي القائمة على معالجة الإشارات الرقمية (Digital Signal Processing – DSP) والتعرُّف الآلي إلى الكلام(Automatic Speech Recognition – ASR) ؛ بحيث تُستخدم المخرجات التّقنية بوصفها مؤشّرات داعمة للرصد البشري، ولتقديم التغذية الراجعة الفورية أثناء تطبيق التَّدخُّل، وتعمل المنظومة وفق الآليات الآتية:

- التَّحليل الصَّوتي الرقمي:(DSP) تُحلَّل الإشارة الصَّوتية المسجَّلة للمتعلّم لاستخلاص الخصائص الصَّوتية ذات الصّلة بالأداء المستهدف، بما في ذلك المؤشّرات الطيفية والزمنية المناسبة لكلّ صوت، مثل التَّرَدُّدات الرَّنينية–F1) (F2عند ملاءمتها لطبيعة الصَّوت محلّ التَّحليل، وزمن بدء التصويت (VOT) في الأصوات التي يكون هذا المؤشّر ذا صلة بها، فضلًا عن خصائص التوزيع الطيفي للطاقة الصَّوتية.
- التعرُّف الآلي إلى الكلام :(ASR) تُستخدم نماذج التعرُّف الآلي إلى الكلام للتعرُّف إلى الإنتاج الصَّوتي ومقارنته بالنَّموذج الصَّوتي، أو اللَّفظي المستهدف، بما يُساعد في الكشف عن بعض صور الإبدال، أو الحذف، أو عدم المطابقة، وفق حدود أداء النِّظام المستخدم.
- التكامل بين (DSP) و(ASR) تُدمج المخرجات الصَّوتية والطيفية والزمنية مع نتائج التعرُّف الآلي إلى الكلام؛ لتكوين مؤشّرات داعمة لتصنيف الأداء النُّطقي وتتبُّع التغيُّر بين القياسين القبلي والبعدي.
- التغذية الراجعة الفورية: تُوظَّف نتائج التَّحليل في تقديم تغذية راجعة سمعية وبصرية مباشرة للمتعلّم، تتضمَّن التنبيه إلى موضع الانحراف وتقديم نموذج إنتاجيّ مناسب، وإتاحة إعادة المحاولة، بما يدعم التَّدريب التَّدريجي على الأصوات المستهدفة.

3.4 الخصائص السَّيكومترية لبِطاقة الرصد النُّطقي التشخيصية (الصّدق والثبات):

للتحقُّق من صلاحية بِطاقة رصد الأداء النُّطقي التشخيصية للاستخدام في القياسين القبلي والبعدي، فُحصت خصائصها السَّيكومترية من خلال صدق المحتوى، والاتّساق الدّاخلي والثبات، بالاستناد إلى مراجعة الخبراء والتطبيق الاستطلاعي للأداة، واستند إعداد البطاقة إلى ثلاثة محاور تشخيصية تتضمَّن عشرة مؤشّرات موزَّعة بواقع ثلاثة مؤشّرات في المحور الأول، وأربعة في المحور الثاني، وثلاثة في المحور الثالث، وتُطبَّق هذه المؤشّرات على أداء المتعلّمين في الأصوات العربية الاثني عشر المستهدفة.

3.4.1صدق المحتوى

عُرضت النّسخة الأولية لبطاقة رصد الأداء النُّطقي التشخيصية على مجموعة من المحكّمين المتخصّصين في تعليم العربية للنّاطقين بغيرها، وعلم الأصوات، واللُّغويات التطبيقية، والقياس والتقويم التربوي؛ بهدف التحقُّق من ملاءمة

المؤشّرات لمجال القياس، ووضوح صياغتها الإجرائية، وشمولها لجوانب الأداء النُّطقي المستهدفة، واتّساقها مع المحاور التشخيصية الثلاثة.

وفي ضوء ملاحظات المحكّمين، أُجريت التعديلات اللازمة على بعض الصّياغات والمؤشّرات، بما أسهم في تحسين وضوحها الإجرائي وملاءمتها لطبيعة العيّنة والسّياقات النُّطقية المستهدفة، وبذلك توافرت للأداة أدلّة أولية على صدق محتواها قبل تطبيقها على العيّنة الأساسية.

3.4.2 الاتّساق الدّاخلي، والثّبات

للحصول على مؤشّرات أولية عن الاتّساق الدّاخلي والثّبات، طُبّقت بطاقة الرصد في نسختها المنقَّحة على عيّنة استطلاعية مكوَّنة من (25) طفلًا من متعلّمي العربية لغةً ثانية من الفئة المستهدفة، من خارج العيّنة الأساسية للدّراسة، وحُسبت معاملات ارتباط بيرسون بين درجات المحاور والدّرجة الكلّية للبطاقة بوصفها مؤشّرات للاتّساق الدّاخلي. كما حُسب معامل ألفا كرونباخ (α) لتقدير ثبات البطاقة.

وأظهرت النتائج أنَّ معاملات ارتباط المحاور بالدَّرجة الكلّية تراوحت بين (0.885 - 0.914)، في حين تراوحت معاملات الارتباط البينية بين المحاور الثلاثة بين (0.795 - 0.824)، وجميعها موجبة ودالّة إحصائيًّا عند مستوى ($p<0.01$)، وتُشير هذه النتائج إلى وجود اتّساق داخليّ مناسب بين مكوّنات البطاقة، مع احتفاظ المحاور الثلاثة بعلاقات ارتباطية متوسطة إلى مرتفعة تعكس ترابطها ضمن البنية العامة للأداة. كما تراوحت معاملات ألفا كرونباخ (α) للمحاور الفرعية بين (0.892- 0.861)، وبلغ معامل الثبات الكلّي للبِطاقة ($\alpha=0.934$)، وهي قيمة تُشير إلى مستوى مرتفع من الاتّساق الدّاخلي في العيّنة الاستطلاعية.

وتوضّح هذه المؤشّرات أنَّ بطاقة الرصد النُّطقي التشخيصية تتمتَّع بأدلَّة أولية مناسبة على صدق المحتوى والاتّساق الدّاخلي والثبات، بما يدعم استخدامها في القياسين القبلي والبعدي للدّراسة، ولا تُفهم هذه المؤشّرات بوصفها دليلًا منفردًا على صحَّة البنية العاملة للأداة، وإنَّما بوصفها جزءًا من منظومة الأدلّة السَّيكومترية التي تستند إليها صلاحية استخدامها في هذه الدّراسة.

جدول (3):

معاملات الثبات والاتساق الداخلي لمحاور بطاقة رصد الأداء النطقي التشخيصية(N=25)

المحور	عدد المؤشرات	معامل ثبات ألفا كرونباخ (α)	معامل ارتباط المحور بالدرجة الكلية (r)
الأداء المخرجي والمعياري	3	0.892	0.914*
الانحرافات الصَّوتية والصِّفاتية	4	0.875	0.898*
الأداء البنيوي والسّياقي	3	0.861	0.885*
البطاقة ككل	10	0.934	-

ملاحظة ** دالة عند($p < 0.01$)

3.5 المحتوى اللُّغوي والتدريبي للأصوات العربية المستهدفة:

اعتمد المحتوى اللُّغوي والتَّدريبي في البرنامج التفاعلي على المادَّة الواردة في دروس الأصوات العربية (1–2) من كتاب الأصوات الميسَّرة للمُستوى الأول (المبتدئ) المعتمد في المؤسسة التعليمية محلِّ الدِّراسة، مع إعادة تنظيمها وتكييفها بما

يتناسب مع أهداف التَّدخُّل التَّجريبي، وطبيعة الأصوات العربية الاثني عشر المستهدفة، وصُمِّم المحتوى بما يضمَّن اتّساقه مع أداة القياس، ومع التَّدخُّل التّقني القائم على التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP)

واختيرت الكلمات والتراكيب في سياقات لغوية ودلالية مألوفة للأطفالِ متعلّمي العربية لغةً ثانية، مع مراعاة وضوح الصَّوت المستهدف، وقابليته للإنتاج الشَّفهي والتَّحليل الصَّوتي والتعرُّف الآلي، ووُزّعت السّياقات على مواقع الصَّوت في بداية الكلمة، ووسطها، ونهايتها، وتكوَّنت مادَّة القياس من (60) سياقًا نُطقيًّا، بواقع خمسة سياقات لكلّ صوت من الأصوات الاثني عشر المستهدفة، وبُني التَّدريب النُّطقي وفق تدرُّج ينتقل من الإدراك إلى الإنتاج، ثم التثبيت في السّياق، من خلال أربعة مستويات متتابعة:

- **التمييز السَّمعي**: تدريب المتعلّم على التمييز بين الصَّوت المستهدف والأصوات التي قد يحدث بينها وبينه إبدالٌ، أو التباسٌ، باستخدام الثنائيات الصّغرى (Minimal Pairs) عندما تتوافر لها أمثلة معجمية مناسبة.
- **التعرُّف إلى موقع الصَّوت**: تحديد الصَّوت المستهدف، وموقعه في الكلمة، في البداية، والوسط، والنّهاية، وربطه بالسّياق الصَّوتي والمقطعي.
- **الإنتاج النُّطقي**: إنتاج الصَّوت المستهدف في كلمات، وتراكيب قصيرة وفق خصائصه المخرجية والصّفاتية والنَّموذج الصَّوتي المرجعي.
- **التثبيت في السّياق**: نقل الإنتاج من مستوى الكلمة إلى تراكيب وسياقات قصيرة؛ للتحقُّق من ثبات الأداء النُّطقي في الاستعمال المتّصل.

ورُبطت أنشطة الإنتاج النُّطقي بالمنظومة التّقنية؛ إذ استُخدمت (ASR)للتعرُّف إلى إنتاج المتعلّم ومقارنته بالنَّموذج المستهدف، واستُفيد من (DSP) في تحليل الخصائص الصَّوتية الملائمة للصَّوت محلّ التَّدريب، وتُوظَّف مخرجات المنظومة في تقديم تغذية راجعة فورية سمعية وبصرية، وإتاحة إعادة المحاولة عند ظهور انحراف عن النَّموذج المرجعي.

جدول (4)

سياقات المحتوى اللُّغوي والتَّدريبي للأصوات العربية المستهدفة

الصوت المستهدف	السياق (1)	السياق (2)	السياق (3)	السياق (4)	السياق (5)	نمط التمييز السّمعي	الهدف التدريبي الرئيس
ع	علم (أول)	ملعقة (وسط)	شعر(وسط)	سارع(آخر)	عين (أول)	ع/ء سعل-سأل	ضبط الأداء الحلقي وتمييز ع عن الهمزة
ح	حقيبة (أول)	بحر (وسط)	لحظة (وسط)	ملح (آخر)	حوت (أول)	ح/هـ: حانَ-هانَ	ضبط الاحتكاك الحلقي وتمييز ح عن هـ
خ	خشب (أول)	مخبز (وسط)	مطبخ (آخر)	خوخ (آخر)	شيخ (آخر)	خ/غ: خاب-غاب	ضبط الاحتكاك اللهوي وتمييز خ عن غ
غ	غزال (أول)	مغرب (وسط)	صغير (وسط)	مبلغ (آخر)	غرفة (أول)	غ/خ: غاب - خاب	ضبط الجهر والاحتكاك وتمييز غ عن خ
ض	ضيف (أول)	خضروات (وسط)	بيضة (وسط)	أرض (آخر)	مرض (آخر)	ض/د :ضَلَّ/دَلَّ	ضبط إنتاج الضاد وتمييزها عن د
ص	صندوق (أول)	بصل (وسط)	مصباح (وسط)	قميص (آخر)	صام (أول)	سام – صام	ضبط التفخيم والاستعلاء وتمييز ص عن س

الصوت المستهدف	السياق (1)	السياق (2)	السياق (3)	السياق (4)	السياق (5)	نمط التمييز السّمعي	الهدف التدريبي الرئيس
ط	طبق (أول)	مطر (وسط)	قطعة (وسط)	مشط (آخر)	طين (أول)	طين - تين	ضبط الوقفة المفخمة وتمييز ط عن ت
ظ	ظبي (أول)	نظارة (وسط)	محظوظ (وسط)	محفوظ (آخر)	ظرف (أول)	ظلّ – ذلّ	ضبط الاحتكاك المفخم وتمييز ظ عن ذ
ق	قلم (أول)	بقرة (وسط)	مقعد (وسط)	سوق (آخر)	قمر (أول)	قال - كال	ضبط الوقفة اللهوية وتمييز ق عن ك
ث	ثلج (أول)	مثلث (وسط)	كثير (وسط)	أثاث (آخر	ثوب (أول)	ث/س: ثار - سار	ضبط الاحتكاك الأسناني/بين الأسناني المهموس وتمييز ث عن س
ذ	ذهب (أول)	حذاء (وسط)	مذاكرة (وسط)	ملاذ (آخر)	ذيل (أول)	ذ/ز: ذمَّ -زمَّ	ضبط الاحتكاك الأسناني/بين الأسناني المجهور وتمييز ذ عن ز
ش	شمس (أول)	مستشفى (وسط)	مشروب (وسط)	أعشاش (آخر)	شجرة (أول)	شام/سام	ضبط الاحتكاك ما بعد اللثوي وتمييز ش عن س

يراعي الجدول توزيع خمسة سياقات بواقع خمسة سياقات لكلّ صوت من الأصوات الاثني عشر المستهدفة، وفق المعادلة (60=5 × 12) لكلّ صوت، بحيث يتوافق مجموعها مع مادَّة القياس البالغة (60)سياقًا نطقيًّا، ولا يشترط أن تتطابق جميع السّياقات مع أمثلة التمييز السَّمعي؛ إذ تؤدّي الأخيرة وظيفة تدريبية تمهيدية مستقلَّة، بينما تُستخدم سياقات القياس وفق إجراءات التطبيق المحدَّدة في الدّراسة.

ويقوم المحتوى التَّدريبي على مسارين متكاملين؛ يتمثَّل الأول في التَّدريب التمييزي السَّمعي، الذي يدرّب المتعلّم على إدراك الفروق بين الصَّوت المستهدف والصَّوت البديل، وربطها بالفروق في الإنتاج، ويتمثَّل الثاني في التَّدريب الإنتاجي السّياقي، الذي ينتقل من إنتاج الصَّوت في الكلمات إلى توظيفه في تراكيب وسياقات قصيرة، وتوظَّف منظومتا (ASR) و (DSP)أثناء هذا المسار لتقديم التغذية الراجعة الفورية، ورصد المؤشّرات الصَّوتية ذات الصّلة، وإتاحةِ إعادة المحاولة وفق نتيجة الأداء.

وبذلك يتحقَّق الاتّساق بين المحتوى التَّدريبي، وسياقات القياس، والتَّدخُّل التّقْني، وأداة رصد الأداء النُّطقي؛ إذ تؤدّي المادَّة اللُّغوية وظيفةَ التَّدريب، وتتولّى بطاقةُ الرصد قياس الأداء القبلي والبعدي، بينما تدعم منظومتا (ASR) و (DSP) التحليل والتغذية الراجعة أثناء التَّدخُّل، دون الخلط بين وظائف هذه المكوّنات.

4.0 إجراءات التحقُّق من التكافؤ القبلي بين مجموعتي الدِّراسة

تحقَّق الباحث من التكافؤ القبلي بين أفراد مجموعتي الدّراسة قبل تطبيق التَّدخُّل التَّجريبي؛ للحدّ من أثر الفروق السّابقة بين المجموعتين، وتعزيز الضَّبط المنهجي وسلامة المقارنة في القياس البعدي، وتكوّنت كلّ مجموعة من (60) طفلًا، وشملت إجراءات التحقُّق من التكافؤ الخصائص التعليمية واللُّغوية ذات الصّلة بالدّراسة، والأداء النُّطقي القبلي بوصفه المتغيِّر التابع.

4.0.1التكافؤ في الخصائص التعليمية واللُّغوية

رُوعي في اختيار أفراد العيّنة تقارب المجموعتين في الخصائص التعليمية واللُّغوية ذات الصّلة بموضوع الدّراسة؛ إذ كان جميع أفراد المجموعتين من الأطفال متعلّمي العربية لغةً ثانية، والملتحقين بالمستوى الأول (المبتدئ)، كما تعرَّض أفراد المجموعتين للمحتوى اللُّغوي والصَّوتي ذاته المتعلّق بالأصوات العربية الاثني عشر المستهدفة، واقتصر الاختلاف في

أسلوب التَّدريب على أنَّ المجموعة التجريبية تلقَّت - إلى جانب المحتوى الصَّوتي المشترك - تدريبًا سمعيًّا تفاعليًّا مُصاحبًا للتَّدخُّل التّقني، في حين تلقَّت المجموعة الضابطة التَّدريب النُّطقي بالطريقة الاعتيادية.

وروعي في اختيار أفراد العيّنة استبعاد الأطفال الذين لديهم تقارير موثَّقة عن مشكلات سمعية مؤثِّرة في الأداء النُّطقي، أو عيوب تشريحية في جهاز النُّطق، أو تأخُّر نمائيّ ذي صلة بالأداء المستهدف، وفق معايير الاختيار والاستبعاد المعتمدة في الدّراسة؛ للحدّ من أثر العوامل الخارجية المرتبطة بالأداء النُّطقي.

4.0.2 التكافؤ في الأداء النُّطقي القبلي (المتغيّر التابع):

طُبّقت بِطاقة رصد الأداء النُّطقي التشخيصية، المكوَّنة من عشرة مؤشّرات موزَّعة على ثلاثة محاور: الأداء المخرجي والمعياري، والانحرافات الصَّوتية والصّفاتية، والأداء البنيوي والسّياقي، على أفراد المجموعتين (N=120)؛ بهدف تحديد مستوى الأداء النُّطقي القبلي في الأصوات العربية الاثني عشر المستهدفة، وللتحقُّق من عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين المجموعتين قبل تطبيق التَّدخُّل، استُخدم اختبار (t)للعيّنات المستقلَّة (Independent Samples t-test) للمقارنة بين متوسطات درجاتهما في المحاور الثلاثة والدَّرجة الكلّية للبطاقة، وتوضّح نتائج جدول (5) ما يأتي:

جدول (5)

نتائج الفروق بين متوسطي درجات المجموعتين التجريبية والضابطة في التَّدخُّل القبلي (N=120)

المحور التشخيصي (مجال القياس)	الضابطة (n=60)		التجريبية(n=60)		t	P	الدلالة الإحصائية
	متوسط	انحراف	متوسط	انحراف			
الأداء المخرجي والمعياري	1.39	0.32	1.42	0.34	0.498	0.619	غير دال
الانحرافات الصوتية والصفاتية	1.81	0.38	1.83	0.41	0.277	0.782	غير دال
الأداء البنيوي والسّياقي	1.22	0.31	1.24	0.29	0.365	0.716	غير دال
الدرجة الكلية لبطاقة الرصد	4.42	0.86	4.49	0.89	0.438	0.662	غير دال

درجات الحرية (df = 118) عند مستوى دلالة(α= 0.05)

تُظهر نتائج الجدول السّابق عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسطي درجات المجموعتين التَّجريبية والضّابطة في أيٍّ من محاور بطاقة رصد الأداء النُّطقي، أو في درجتها الكلّية؛ إذ تراوحت قيم (p) بين (0.619-0.782) في المحاور، وبلغت (p=0.662) للدَّرجة الكلّية، وجميعها أكبر من مستوى الدّلالة المعتمد (α=0.05)، وتُشير هذه النّتائج إلى تكافؤ المجموعتين في مستوى الأداء النُّطقي القبلي قبل تطبيق التَّدخُّل التَّجريبي، بما يدعم صلاحية المقارنة بينهما في القياس البعدي، ويقلّل احتمال تفسير الفروق اللّاحقة بفروق سابقة في الأداء النُّطقي، ويُعدّ هذا التكافؤ أحد إجراءات الضَّبط التجريبي التي تدعم سلامة المقارنة بين المجموعتين.

4.1 خطَّة التَّدخُّل التَّدريبي وجلسات البرنامج (التوزيع الزمني وخطَّة التطبيق)

عقب التحقُّق من التكافؤ القبلي بين مجموعتي الدّراسة، تعرَّض أفراد المجموعة التجريبية (N=60)لتدخّل تدريبيّ تقْنيّ امتدَّ على مدى (6) أسابيع، بواقع جلستين أُسبوعيًّا، مُدَّة كلّ جلسة (45) دقيقة، وتضمّن التَّطبيق (12) جلسة إجمالًا، خصّصت (10) جلسات منها للتّدريب الفعلي، في حين خصّصت الجلسة الأولى للقياس القبلي والتّهيئة، والجلسة الثانية عشرة للقياس البعدي.

استهدف التَّدخُّل تحسين أداء المتعلّمين في نُطق الأصوات العربية الاثني عشر المستهدفة، ومعالجة الانحرافات الصَّوتية المرتبطة بها، من خلال الجمع بين التَّمييز السَّمعي، والإنتاج النُّطقي الموجَّه، مع توظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى

الكلام (Automatic Speech Recognition – ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (Digital Signal Processing – DSP) في تحليل الأداء وتقديم التغذية الراجعة الفورية.

وسارت جلسات التَّدريب الفعلي وفق تخطيط إجرائيّ موحَّد ومتتابع يتألَّف من أربعة مُكوّنات متكاملة:

- التَّمهيد والوعي الصَّوتي: تهيئة المتعلّم للمهمّة من خلال محفّزات بصرية وسمعية، وأنشطة للتمييز بين الصَّوت المستهدف والأصوات المتقاربة، بما في ذلك الثُّنائيات الصُّغرى عندما تتوافر لها أمثلة لغوية مناسبة.
- المحاكاة والإنتاج النُّطقي: الاستماع إلى النَّموذج الصَّوتي، ثم إنتاج الصَّوت المستهدف عبر مكبّر الصّوت (الميكروفون) في الكلمات والتراكيب المحدَّدة، مع مراعاة موقع الصَّوت في الكلمة.
- التَّحليل الصَّوتي الآلي: تحلَّل الإشارة الصَّوتية رقميًّا باستخدام (DSP) لاستخراج الخصائص الصَّوتية الملائمة للصَّوت المستهدف، بينما تُستخدم (ASR) للتعرُّف إلى إنتاج المتعلّم ومقارنته بالنَّموذج الصَّوتي، أو اللَّفظي المستهدف وفق آلية النّظام.
- التغذية الراجعة والتثبيت: توظَّف مخرجات التَّحليل الآلي في تقديم تغذية راجعة فورية سمعية وبصرية تتناسب مع مستوى الأداء، مع إتاحة إعادة المحاولة؛ حتى يتحسَّن الإنتاج وفق سلّم التقدير الثّلاثي (2–1–0) المعتمد في الدّراسة.

أمّا أفراد المجموعة الضّابطة (N=60)، فاستمروا في تلقّي التَّدريب النُّطقي بالطريقة الاعتيادية المعتمدة في البيئة التعليمية، مع تعرُّضهم للمحتوى اللُّغوي والصَّوتي ذاته المتعلّق بالأصوات العربية الاثني عشر المستهدفة، دون تطبيق التَّدخُّل التَّدريبي التّقْني القائم على (ASR)و (DSP) والتغذية الراجعة الفورية، ويبين الجدول التالي التوزيع الزمني والمنهجي لجلسات التطبيق خلال الأسابيع السّتة، مع تنظيم التَّدريب، والانتقال التَّدريجي من التمييز السّمعي والإنتاج الموجَّه إلى المراجعة والتثبيت في السّياق.

جدول (6)

التوزيع الزمني والمنهجي لجلسات التَّدخُّل التدريبي خلال أسابيع التطبيق

الأسبوع	الجلسة	طبيعة الجلسة	الصوت- المستهدف	المحتوى اللغوي - النطقي	المحور الرئيس للتدريب والتطبيق
الأول	1	قياس قبلي وتهيئة	الأصوات الاثنا عشر	تطبيق بطاقة رصد الأداء النطقي، والتعريف بآلية التدريب وواجهة التطبيق	تهيئة المشاركين وشرح خطوات الاستماع والإنتاج وإعادة المحاولة
	2	تدريب فعلي	خ، ص	سياقات مختارة للصوتين في مواقع صوتية متنوعة	التمييز السمعي والإنتاج الموجّه، مع تحليل المؤشرات الصوتية ذات الصلة
	3	تدريب فعلي	ض، ط	سياقات مختارة للصوتين في مواقع صوتية متنوعة	التمييز بين الأصوات المفخمة ونظائرها، وتحسين الدقة المخرجية والصفاتية
الثاني	4	تدريب فعلي	ظ، غ	سياقات مختارة للصوتين في مواقع صوتية متنوعة	التمييز السمعي والإنتاج الموجّه، مع التركيز على الخصائص المميزة لكل صوت
	5	تدريب فعلي	ق، ح	سياقات مختارة للصوتين في مواقع صوتية متنوعة	التمييز السمعي والإنتاج النطقي، وتحليل الخصائص الصوتية الملائمة

الأسبوع	الجلسة	طبيعة الجلسة	الصوت- المستهدف	المحتوى اللغوي - النطقي	المحور الرئيس للتدريب والتطبيق
الثالث					لكل صوت
	6	تدريب فعلي	ع، ش	سياقات مختارة للصوتين في مواقع صوتية متنوعة	تثبيت الأداء المخرجي والصفاتي، مع المقارنة بالنموذج المرجعي
	7	تدريب فعلي	ذ، ث	سياقات مختارة للصوتين في مواقع صوتية متنوعة	تنمية التمييز السمعي والإنتاج الدقيق للأصوات المستهدفة
الرابع	8	تدريب فعلي – مراجعة	خ، غ، ح، ع	كلمات وتراكيب قصيرة تتضمن الأصوات المستهدفة	دمج التمييز والإنتاج، والتغذية الراجعة الفورية، وإعادة المحاولة
	9	تدريب فعلي – مراجعة	ص، ض، ط، ظ	كلمات وتراكيب قصيرة تتضمن الأصوات المستهدفة	التمييز بين الأصوات المفخمة ونظائرها المرققة، وتثبيت الإنتاج
الخامس	10	تدريب فعلي – مراجعة	ق، ش، ذ، ث	كلمات وتراكيب وسياقات قصيرة	التكرار الموجّه ونقل الإنتاج من مستوى الكلمة إلى السياق
	11	تدريب فعلي – تثبيت	الأصوات الاثنا عشر	توظيف السياقات النطقية المستهدفة ضمن جمل قصيرة ومواقف دلالية	إنتاج موجّه وشبه حر مع متابعة دقة الأداء والانحرافات الصوتية
السّادس	12	قياس بعدي	الأصوات الاثنا عشر	تطبيق بطاقة رصد الأداء النطقي على السياقات الستين	القياس البعدي وفق إجراءات القياس المعتمدة

تتكوَّن مادّة القياس من (60) سياقًا نطقيًّا، بواقع خمسة سياقات لكلّ صوت من الأصوات العربية الاثني عشر المستهدفة، وتُستخدم هذه السّياقات في القياسين القبلي والبعدي، بينما ينظّم التَّدريب الفعلي حول مجموعات الأصوات والسّياقات التعليمية المناسبة لها.

4.1.2 إجراءات ما بعد التَّدخُّل التَّدريبي

عقب استكمال الجلسات الاثنتي عشرة للتطبيق، أُجريت إجراءات القياس البعدي ومعالجة البيانات وفق تسلسل منهجيّ موحّد، بما يضمن اتّساق إجراءات القياس، وسلامة البيانات اللازمة للتحليل الإحصائي، وذلك على النَّحو الآتي:

- القياس البعدي لبطاقة الرصد: طُبّقت بطاقة رصد الأداء النُّطقي التشخيصية فرديًّا على أفراد المجموعتين التجريبية والضّابطة (N=120)، باستخدام السّياقات النُّطقية السّتين المخصَّصة للقياس، وتحت ظروفِ تطبيق مماثلة لإجراءات القياس القبلي؛ بهدف رصد التغيُّر في الأداء النُّطقي في الأصوات العربية الاثني عشر المستهدفة.
- استخلاص البيانات الصَّوتية وتفريغها: سُجّلت استجابات المشاركين، ثم حُوّلت نتائج الرصد والأداء الصَّوتي إلى درجات كمّية وفق سُلّم التقدير الثُّلاثي (2–1–0) المعتمد في الدّراسة. كما استُخدمت مخرجات معالجة الإشارات الرقمية (DSP) لاستخلاص الخصائص الصَّوتية الملائمة لكلّ صوت مستهدف، واستفيد من مخرجات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) في التعرُّف إلى الإنتاج الصَّوتي ومقارنته بالنَّموذج المرجعي، مع توظيف هذه المخرجات - بوصفها مؤشّرات داعمة - لتحليل الأداء وتحديد طبيعة الانحرافات الصَّوتية.

4.1.3 تحليل نتائج الدراسة ومناقشتها وتفسيرها

يعرض الباحث في هذا القسم نتائج الدّراسة بعد معالجتها إحصائيًّا؛ للإجابة عن تساؤلاتها البحثية، ثم مناقشتها وتفسيرها في ضوء الإطار النّظري والدّراسات السّابقة ذات الصّلة، ويراعى في تفسير النتائج التمييز بين التغيُّر داخل كلّ مجموعة، والفروق بين المجموعتين؛ بما يتّفق مع طبيعة التصميم شبه التجريبي للدّراسة.

السُّؤال الثّاني: هل توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدّلالة (α=0.05) بين متوسطي درجات أفراد كلّ من المجموعتين التجريبية والضابطة العيّنة في التطبيقين القبلي والبعدي لبطاقة رصد الأداء النُّطقي للأصوات العربية الاثني عشر المستهدفة؟

عولجت البيانات الخام المستمدَّة من بطاقة رصد الأداء النُّطقي التشخيصية باستخدام اختبار (t)للعيّنات المترابطة(Paired-Samples t-test) ؛ للكشف عن الفروق بين القياسين القبلي والبعدي داخل كلّ مجموعة، وذلك في المحاور الثلاثة والدّرجة الكلية للبطاقة، ويعرض الجدول التالي المقارنة المترابطة بين القياسين القبلي والبعدي لدى أفراد المجموعتين التجريبية والضابطة.

جدول (7)

المقارنة الإحصائية المترابطة للأداء النطقي بين التطبيقين القبلي للمجموعتين (التجريبية والضابطة) (N=120)

المحور التشخيصي (مجال القياس)	المجموعة N=120		التطبيق القبلي M±SD	التطبيق البعدي M±SD	t	p	القرار الإحصائي
المحور الأول :الأداء المخرجي والمعياري	الضابطة	N=60	0.41±0.17	0.48±0.16	1.12	0.265	غير دال
	التجريبية	N=60	0.42±0.18	1.85±0.12	28.45	<.001	دال
المحور الثاني :الانحرافات الصوتية والصفاتية	الضابطة	N=60	0.39±0.16	0.42±0.15	0.89	0.376	غير دال
	التجريبية	N=60	0.38±0.15	1.78±0.14	31.12	<.001	دال
المحور الثالث :الأداء البنيوي والسياقي	الضابطة	N=60	0.44±0.19	0.51±0.18	1.45	0.511	غير دال
	التجريبية	N=60	0.45±0.20	1.88±0.11	26.89	<.001	دال
الدرجة الكلية للبطاقة	الضابطة	N=60	1.25±0.42	1.41±0.40	1.59	0.118	غير دال
	التجريبية	N=60	1.25±0.42	5.51±0.28	34.76	<.001	دال

ملاحظة: درجات الحرية في المقارنات المترابطة (df=59) ويحكم على الدلالة الإحصائية وفق مستوى الدلالة المعتمد(α=0.05)، وتشير القيم (p<.001) إلى دلالة إحصائية لصالح القياس البعدي *تُستكمل قيمة (t) للدرجة الكلية للمجموعة الضابطة من مخرجات التحليل الإحصائي الأصلية، ولا ينبغي استنتاجها من قيمة (p) وحدها إذا لم تكن محفوظة في ملف النتائج.

تُظهر نتائج جدول (7) عدم وجود فروق ذات دلالةٍ إحصائيةٍ بين القياسَيْنِ القبلي والبعدي لدى أفراد المجموعة الضابطة في المحاور الثَّلاثة؛ إذ بلغت قيم الدَّلالة (0.265، 0.376، 0.511)، على التَّوالي، وجميعُها أكبر من مستوى الدَّلالة المعتمد (α=0.05). كما لم تبلغ الفروق في الدَّرجة الكلّية للبطاقة لدى المجموعة الضابطة مستوى الدّلالة الإحصائية (P=0.118)، ويُشير ذلك إلى أنَّ التغيُّر المحدود الذي طرأ على أداء أفراد المجموعة الضابطة خلال الفترة الزمنية للدّراسة لم يكن ذا دلالةٍ إحصائيةٍ.

وفي المُقابل أظهرت المجموعة التجريبية فُروقًا ذات دلالة إحصائية بين القياسين القبلي والبعدي في المحاور الثَّلاثة والدَّرجة الكلّية للبطاقة؛ إذ بلغت قيم (t=28.45, 31.12, 26.89, 34.76) على التَّوالي، وجميعُها دالَّةٌ عند (p<.001)، وتدلّ هذه النَّتائج على أنَّ التغيُّر في أداء أفراد المجموعة التجريبية كان ذا دلالة إحصائية أثناء فترة تطبيق التَّدخُّل التَّدريبي التّقْني.

وعلى مُستوى الأداء التَّفصيلي، ارتفع متوسط المجموعة التجريبية في المحور الأول: الأداء المَخرجي والمِعياري من (0.42±0.18) في القياس القبلي إلى (1.85±0.12) في القياس البعدي، وبلغت قيمة (t=28.45) عند (p<.001) كما ارتفع متوسط المحور الثاني: الانحرافات الصَّوتية والصّفاتية من (0.38±0.15) إلى (1.78±0.14)، بقيمة (t=31.12) عند (p<.001) وارتفع متوسط المحور الثالث: الأداء البنيوي والسّياقي من (0.45±0.20) إلى (1.88±0.11)، بقيمة (t=26.89) عند (p<.001). كذلك ارتفعت الدّرجة الكلّية للبطاقة لدى المجموعة التجريبية من (1.25±0.42) في القياس القبلي إلى (5.51±0.28) في القياس البعدي، بقيمة (t=34.76)عند(p<.001).

وتُظهر نتائج المقارنة الداخلية بين القياسين القبلي والبعدي حدوث تحسُّن جوهري ذي دلالة إحصائية في الأداء النُّطقي لدى أفراد المجموعة التجريبية بعد تعرُّضهم للتَّدخُّل التَّدريبي التّقْني القائم على توظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP)، والتغذية الراجعة الفورية، في حين لم يظهر تغيُّر ذو دلالة إحصائية لدى أفراد المجموعة الضابطة أثناء الفترة نفسها.

ويمكن تفسير هذا التحسُّن في ضوء طبيعة التَّدخُّل التَّدريبي الذي جمع بين التَّدريب السَّمعي والإنتاج النُّطقي الموجَّه والتغذية الراجعة الفورية، إذ أتاح توظيف تقنيات (ASR) رصد الإنتاج المنطوق والاستجابة له بصورة آنية، في حين وفَّرت تقنيات (DSP)، في حدود المؤشّرات التي وظفتها الدّراسة، دعمًا لتحليل الأداء الصَّوتي ومراجعته، ومن شأن هذا التكامل أن يُتيح للمتعلِّم تكرار الإنتاج، وتلقّي تغذية راجعة مباشرة، وإعادة المحاولة بصورةٍ متتابعة بما قد يدعمُ الانتقال من الإدراك والتمييز السَّمعي إلى الإنتاج النُّطقي الأكثر دقَّة.

وتتَّضح هذه النتيجة في المحاور الثلاثة؛ إذ يعكس التحسُّن في المحور الأول تطوُّرًا في دقَّة الأداء المخرجي والمعياري للأصوات المستهدفة، بينما يُشير التحسُّن في المحور الثاني إلى تراجع مظاهر الانحراف الصَّوتي والصّفاتي التي ترصدها البطاقة، في حين يعكس التحسُّن في المحور الثالث تحسُّن القدرة على المحافظة على الأداءِ المستهدف في السّياقات البنيوية والسّياقية التي تتضمَّنها مهام القياس.

ومع ذلك، فإنَّ الفروق بين القياسين القبلي والبعدي داخل المجموعة التجريبية لا تكفي منفردة لإثبات أنَّ هذا التغيُّر يُعزى إلى التَّدخُّل التّقْني؛ إذ إنَّ اختبار(t) للعيّنات المترابطة يكشف دلالة التغيُّر داخل المجموعة، ولا يُحدّد بذاته ما إذا كان هذا التغيُّر يفوق التغيُّر الذي قد يحدُث نتيجة عوامل أخرى مشتركة بين أفراد الدّراسة، ومن ثم، فإنَّ الحكم على أثر التَّدخُّل التَّدريبي في الدّراسة الحالية يستند إلى تكامل نتائج المقارنة الدّاخلية مع تحقُّق التكافؤ القبلي، ثم المقارنة بين المجموعتين في القياس البعدي، بما يتَّفق مع طبيعة التصميم شبه التجريبي للدّراسة.

السُّؤال الفرعي الثاني: ما حجم أثر التَّدخُّل التَّدريبي القائم على توظيف تقنيات التعرّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية(DSP) والتغذية الراجعة الفورية في تحسين الأداء النُّطقي ومعالجة الانحرافات الصَّوتية لدى أفراد المجموعة التجريبية؟

للإجابة عن هذا السُّؤال، أُجريت مقارنة بين متوسطي درجات أفراد المجموعتين التجريبية والضابطة في القياس البعدي لبطاقة رصد الأداء النُّطقي والانحرافات الصَّوتية باستخدام اختبار (t) للعيّنات المستقلّة (Independent-Samples t-test)، كما حُسب حجم الأثر باستخدام كلٍّ من معامل Cohen's d وη^2؛ للكشف عن الأهمية العملية للفروق إلى جانب دلالتها الإحصائية.

جدول (8)

المقارنة بين المجموعتين التجريبية والضابطة في القياس البعدي وحجم الأثر (N=120)

مجال القياس	المجموعة	N	M±SD	t	p	حجم الأثر (η^2)	Cohen's d	التفسير الإحصائي
المحور الأول: الأداء المخرجي والمعياري	الضابطة	60	11.05±2.80	18.83	<.001	0.75	3.44	كبيرٌ جدًّا
	التجريبية	60	18.95±1.55					
المحور الثاني: الانحرافات الصوتية والصفاتية	الضابطة	60	11.90±2.50	16.42	<.001	0.70	3.04	كبيرٌ جدًّا
	التجريبية	60	18.30±1.70					
المحور الثالث: الأداء البنيوي والسياقي	الضابطة	60	12.35±2.25	20.31	<.001	0.78	3.72	كبيرٌ جدًّا
	التجريبية	60	19.20±1.35					
الدرجة الكلية لبطاقة الرصد	الضابطة	60	35.30±6.50	21.84	<.001	0.80	3.98	كبيرٌ جدًّا
	التجريبية	60	56.45±3.85					

ملاحظة: درجات الحرية (df=118) عند مستوى الدلالة (α=0.05). وجميع قيم (p) دالّة إحصائيًّا عند (p<.001) وحُسب (eta^2) من قيمة (t) وفق العلاقة((eta^2=t^2(t^2+df))، وحُسب Cohen's (d) اعتمادًا على الانحراف المعياري الموحّد للمجموعتين.

أظهرت نتائج الجدول السّابق وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسطي درجات أفراد المجموعتين التجريبية والضابطة في القياس البعدي في جميع محاور بطاقة الرصد النُّطقي والدَّرجة الكلّية لها، وجاءت الفروق جميعها لصالح المجموعة التجريبية؛ إذ تجاوزت قيم (p) مستوى الدّلالة المعتمد، حيث بلغت (p<.001) في جميع المقارنات، ففي المحور الأول: بلغ متوسط درجات المجموعة التجريبية (18.95) بانحرافٍ معياريٍّ(1.55)، مقابل (11.05) بانحراف معياريٍّ(2.80) لدى المجموعة الضابطة، وبلغت قيمة اختبار(t=18.83) ، عند(p<.001)، كما بلغ حجم الأثر(eta^2=0.75)، وبلغ معامل Cohen's (d 3.44)، وتُشير هذه القيم إلى وجود فرق كبير جدًّا بين المجموعتين في مستوى الأداء المخرجي والمعياري في القياس البعدي، بما يدعم فاعلية التَّدخُّل التَّدريبي في هذا المجال.

وفي المحور الثاني: الانحرافات الصَّوتية والصّفاتية، بلغ متوسط المجموعة التجريبية (18.30) بانحراف معياريّ (1.70)، مقابل (11.90) بانحراف معياريّ (2.50) لدى المجموعة الضابطة، وبلغت قيمة(t=16.42)، عند(p<.001)، فيما بلغ حجم الأثر(eta^2=0.70)، وبلغ معامل(3.04) Cohen's d ، وتدلُّ هذه النتائج على وجودِ فروقٍ ذاتِ دلالةٍ إحصائيةٍ، وحجمِ أثرٍ كبيرٍ جدًّا لصالح المجموعة التجريبية في هذا المحور.

أمّا في المحور الثالث: الأداء البنيوي والسّياقي، فقد بلغ متوسط المجموعة التجريبية (19.20) بانحرافٍ معياريٍّ (1.35)، مقابل (12.35) بانحرافٍ معياريٍّ (2.25) لدى المجموعة الضابطة، وبلغت قيمة(t=20.31)، عند(p<.001)، وبلغ

حجم الأثر(eta^2=0.78)، فيما بلغ معامل Cohen's (d 3.72) ، وتُشير هذه النتيجة إلى وجودِ فرقٍ كبيرٍ جدًّا بين المجموعتَيْنِ في الأداء البنيوي والسّياقي لصالح المجموعة التجريبية.

وعلى مستوى الدَّرجة الكلّية لبطاقة الرصد، بلغ متوسط المجموعة التجريبية (56,45) بانحرافٍ معياريّ (3.85)، مقابل (35.30) بانحرافٍ معياريّ (6.50) لدى المجموعة الضابطة، وبلغت قيمة(t=21.84) ، عند(p<.001)، كما بلغ حجم الأثر(eta^2=0.80)، وبلغ معامل Cohen's (d 3.98)، وتعدّ هذه قيمة كبيرة جدًّا لحجم الأثر، وتشير إلى قوَّة الفروق العملية بين المجموعتين في الأداء النُّطقي الكلّي في القياس البعدي.

وتكشف النتائج مجتمعة أنَّ الفروق بين المجموعتين لم تكن ذات دلالة إحصائية فحسب، بل صاحبتها أحجام أثر كبيرة جدًّا في المحاور الثلاثة والدَّرجة الكلية؛ إذ تراوحت قيم (eta^2) بين (0.70-0.80)، وتراوحت قيم Cohen's (d) بين (3.04-3.98)، ويُشير ذلك إلى أنَّ أفراد المجموعة التجريبية حقَّقوا مستوىً أعلى بوضوح في الأداء النُّطقي والانحرافات الصَّوتية في القياس البعدي مقارنة بأفراد المجموعة الضابطة.

وفي ضوء تحقُّق التكافؤ القبلي بين المجموعتين، وعدم وجود فروق ذاتِ دلالة إحصائية بينهما في القياس القبلي، فإنَّ التفوُّق الذي ظهر في القياس البعدي يتَّسق مع فاعلية التَّدخُّل التَّدريبي القائم على توظيف تقنيات (ASR) و(DSP)، والتغذية الراجعة الفورية في تنمية الأداء النُّطقي لدى أفراد المجموعة التجريبية مقارنة بالتَّدريب التقليدي.

ويمكن تفسير ذلك بما توفّره بيئة التدريب الرقمية من فرص متكرّرة للممارسة، وتغذية راجعة فورية، وإتاحة متابعة الأداء، وتصحيح الانحرافات أثناء عملية الإنتاج، بما يدعم انتقال المتعلّم من الملاحظة، والتلقّي إلى المشاركة الفعلية، في عملية التصحيح النُّطقي، ومع ذلك، فإنَّ قيم أحجام الأثر الواردة في هذا التحليل تُعبّر عن حجم الفروق بين المجموعتين في القياس البعدي؛ ومن ثمَّ لا ينبغي تفسيرها بوصفها نسبة مباشرة من مقدار التحسُّن الفردي من القياس القبلي إلى القياس البعدي.

كما أنَّ تفسير هذه الفروق في ضوء مؤشّرات أكوستيكية محدَّدة، مثل التردُّدات الفورمانتية (F1, F2) أو زمن بداية التصويت(VOT) ، يتطلَّب تحليلًا مباشرًا لهذه المؤشّرات في البيانات الصَّوتية، ولا يمكن استنتاجه من درجات بطاقة الرصد وحدها.

تتكامل هذه النتائج العالية مع الأدبيات العلمية الحديثة؛ حيث تتوافق عربيًّا مع ما أورده الشّهري وعفانة (2023، ص. 263) حول الفاعلية الفائقة للنَّمذجة الصَّوتية الذكية بحجم أثر(eta^2=0.65)، ودراسة عبد الفتاح (2022، ص. 118) في استخدام تقنيات (ASR) للحدّ من أخطاء الإبدال والحذف(d=2.45)

ودوليًّا، تتسق النتائج مع الدّراسة المرجعية لـ Gehlot (2026, p22) التي أثبتت أنَّ أنظمة التغذية الصَّوتية التفاعلية تتجاوز أحجام أثرها(d>3.0) ، وتتطابق مع Muszyńska et al (2024, p73) في أنَّ المعالجة الرقمية البصرية للطفل المتربص ترفع الدقّة الفونولوجية والمعيارية مقارنة بالطرائق التقليدية.

السُّؤال الأول: ما أثر توظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP) في تحسين نطق الأصوات العربية المُستهدفة لدى الأطفال متعلِّمي العربية لغةً ثانية؟

الإجابة عن السؤال الرئيس للدراسة ومناقشتها:

تُظهر نتائج الدّراسة وجود أثر ذي دلالة إحصائية، مصحوب بحجم أثر كبير جدًّا، للتَّدخُّل التَّدريبي التّقني القائم على توظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP) والتغذية الراجعة الفورية في تحسين

الأداء النُّطقي لدى الأطفال متعلّمي العربية لغةً ثانية، فقد أظهرت المقارنة بين المجموعتين في القياس البعدي، في ضوء تحقُّق التكافؤ القبلي، فروقًا ذاتِ دلالة إحصائية، لصالح المجموعة التجريبية، في المحاور الثلاثة، والدَّرجة الكلّية لبطاقة رصد الأداء النُّطقي؛ إذ بلغ متوسط الدَّرجة الكلّية لدى المجموعة التجريبية (56.45±3.85)، مقابل (35.30±6.50) لدى المجموعة الضابطة، وبلغت قيمة (t=21.84) عند (p<.001)، مع حجم أثر بلغ (η^2=.80) و(Cohen's d=3.98)، وهو حجم أثر كبير جدًّا.

وتُشير هذه النتيجة إلى أنَّ الفروق التي ظهرت في الأداء النُّطقي البعدي لم تكن فروقًا إحصائية فحسب، بل صاحبتها فروق عملية كبيرة بين المجموعتين، ويكتسب هذا الاستنتاج قوَّة تفسيرية إضافية في ضوء تحقُّق التكافؤ القبلي بين المجموعتين، وعدم ظهور فروق ذات دلالة إحصائية بين القياسين القبلي والبعدي لدى المجموعة الضابطة في التحليل المترابط، في مقابل ظهور فروق دالَّة لدى المجموعة التجريبية، ومن ثم تدعم النتائج فاعلية التَّدخُّل التَّدريبي التّقني في تحسين الأداء النُّطقي للأصوات العربية المستهدفة لدى أفراد المجموعة التجريبية.

وعلى مستوى المحاور التشخيصية، أظهرت نتائج القياس البعدي تفوُّق المجموعة التجريبية في المحور الأول: الأداء المخرجي والمعياري؛ إذ بلغ متوسطها (18.95±1.55)، مقابل (11.05±2.80) لدى المجموعة الضابطة، وبلغت قيمة (t=18.83)عند(p<.001)، مع حجم أثر بلغ (η^2=0.75) و (Cohen's d=3.44)، وتُشير هذه النتيجة إلى تحسُّن جوهريّ في مؤشّرات الأداء المخرجي والمعياري التي تتضمَّنها بطاقة الرصد، بما يعكس قدرة أكبر على إنتاج الأصوات المستهدفة وفق الأداء النُّطقي المعياري الذي تقيسه الأداة.

وفي المحور الثاني: الانحرافات الصَّوتية والصّفاتية، بلغ متوسط المجموعة التجريبية (18.30±1.70) مقابل (11.90±2.50) لدى المجموعة الضابطة، وبلغت قيمة (t=16.42) عند(p<.001)، مع حجم أثر بلغ (η^2=0.70) و (Cohen's d=3.04)، وتدلُّ هذه النتيجة على تفوُّق المجموعة التجريبية في المؤشّرات التي ترصدها البطاقة للكشف عن الانحرافات الصَّوتية والصِّفاتية ومعالجتها، بما يُشير إلى تحسُّن القدرة على إنتاج الأصوات المستهدفة بخصائصها النُّطقية المعيارية وتقليل مظاهر الانحراف التي كانت موضع القياس.

أما المحور الثالث: الأداء البنيوي والسّياقي، فقد بلغ متوسط المجموعة التجريبية (19.20±1.35)، مقابل (12.35±2.25) لدى المجموعة الضابطة، وبلغت قيمة (t=20.31) عند(p<.001)، مع حجمِ أثرٍ بلغ (η^2=.78) و (Cohen's d=3.72)، ويُشير ذلك إلى تحسُّن كبير في مؤشّرات الأداء التي تتَّصل بالمحافظة على النُّطق المستهدف ضمن السّياقات البنيوية والسّياقية التي تضمَّنتها مهام القياس، بما يدعم انتقال المتعلّم من إنتاج الصَّوت في صورته المعزولة، أو الموجَّهة إلى توظيفه بصورة أكثر ثباتًا في السّياق اللُّغوي الذي تقيسه الأداة.

ويُمكن تفسير هذه النتائج في ضوء طبيعة التَّدخُّل التَّدريبي الذي جمع بين التَّدريب السَّمعي، والإنتاج النُّطقي الموجَّه، والتغذية الراجعة الفورية، فقد أتاح توظيف (ASR) للمتعلّم الحصول على استجابة مباشرة مرتبطة بإنتاجه المنطوق، وإعادة المحاولة بعد ملاحظة الخطأ، في حين أسهم توظيف(DSP)، في حدود المؤشّرات الصَّوتية التي اعتمدتها الدّراسة في دعم عملية تحليل الأداء ومراجعته، ويُحتمل أن يكون هذا التكامل قد عزَّز كثافة الممارسة، وسرعة اكتشاف الخطأ، وتكرار المحاولة، وهي عوامل يُمكن أن تدعم تحسين دقَّة الإنتاج النُّطقي لدى متعلِّمي العربية لغةً ثانية.

وتتفق طبيعة هذه النتيجة مع المنظور النظري الذي ينظر إلى التغذية الراجعة الفورية، والممارسة المتكرّرة بوصفهما عنصرين مهمّين في تطوير الأداء النُّطقي في تعلُّم اللُّغة الثانية، كما تنسجم مع الاتجاه البحثي المعاصر نحو توظيف

تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام، والتحليل الصَّوتي في تقديم تغذية راجعة أكثر فورية، وقابلية للتكرار، مقارنة بالتقويم النُّطقي التقليدي.

وبناءً على مجمل النتائج، يمكن القول إنَّ توظيف تقنيات (ASR) و (DSP)والتغذية الراجعة الفورية في التَّدخُّل التَّدريبي الحالي ارتبط بتحسن ذي دلالة إحصائية وذي حجم أثر كبير جدًّا في الأداء النُّطقي للأصوات العربية المستهدفة لدى الأطفال متعلّمي العربية لغةً ثانية. ولا تعني قيمة (η^2=.80) أن (80%) من التحسُّن الفردي يُعزى مباشرة إلى التَّدخُّل، وإنّما تُشير إلى قوّة الفروق بين المجموعتين في درجات القياس البعدي. وعليه، تقدّم النتائج دعمًا تجريبيًّا قويًّا لفاعلية التَّدخُّل التّقني في سياق الدّراسة الحالية، مع بقاء تفسير الآليات الصَّوتية الدقيقة التي تقف وراء هذا التحسُّن مرتبطًا بما قيس فعليًّا من مؤشّرات صوتية وأكوستيكية في الدّراسة.

ملخص نتائج الدّراسة:

أظهرت نتائج الدّراسة الحالية، التي أُجريت على عيّنة بلغت (N=120) من الأطفال متعلّمي العربية لغةً ثانية بمدينة الرياض، وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين المجموعتين التجريبية والضابطة في الأداء النُّطقي البعدي لصالح المجموعة التجريبية، في ضوء توظيف التَّدخُّل التَّدريبي القائم على تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP)والتغذية الراجعة الفورية، وقد جاءت هذه الفروق مصحوبة بأحجام أثر كبيرة جدًّا، بما يدعم فاعلية التَّدخُّل في تحسين الأداء النُّطقي ومعالجة الانحرافات الصَّوتية لدى أفراد المجموعة التجريبية.

- **الفاعلية العامة، والأثر الكلّي للتَّدخُّل التّجريبي:**

أظهرت المقارنة البعدية بين المجموعتين وجود فرق ذي دلالة إحصائية عند مستوى الدّلالة (α=0.05) لصالح المجموعة التجريبية؛ إذ بلغ متوسط الدَّرجة الكلّية لأداء أفرادها في بطاقة رصد الأداء النُّطقي (56.45) بانحراف معياريّ قدره (3.85)، مقابل (35.30) بانحراف معياريّ قدره (6.50) لدى أفراد المجموعة الضابطة، وبلغت قيمة (t=21.84) عند درجات حرية (118)، وبمستوى دلالة(p<.001) . كما بلغ حجم الأثر الكلّي(η^2=0.80)، وبلغت قيمة (d=3.98)، وهو حجم أثر كبير جدًّا، بما يدلُّ على قوَّة الفروق العملية بين المجموعتين في الأداء النُّطقي البعدي، ويُعزّز ما أظهرته المقارنات القبلية من تحقُّق التكافؤ بين المجموعتين قبل تطبيق التَّدخُّل.

وتنسجم هذه النتيجة مع نتائج المقارنة القبلية - البعدية داخل المجموعتين؛ إذ لم تُظهر المجموعة الضابطة تغيُّرات دالَّة إحصائيًّا في محاور الأداء، في حين أظهرت المجموعة التجريبية تحسُّنًا دالًّا إحصائيًّا في المحاور الثلاثة، وفي الدَّرجة الكلّية، وهو ما يدعم فاعلية التَّدخُّل التَّدريبي التّقني القائم على (ASR/DSP) في حدود التصميم شبه التجريبي للدّراسة.

- **التحليل التفصيلي لحجم الأثر عبر المحاور التشخيصية**

المحور الأول: الأداء المخرجي والمعياري:

أظهرت النتائج تفوُّق المجموعة التجريبية؛ إذ بلغ متوسطها البعدي (18.95) بانحراف معياري قدره (1.55)، مقابل (11.05) بانحراف معياري قدره (2.80) للمجموعة الضابطة، وبلغت قيمة(t=18.83)، مع(p<.001) ، و(η^2=0.75)، وبلغ حجم الأثر(d=3.44)، وهو حجمُ أثرٍ كبير جدًّا، وتُشير هذه النتيجة إلى فاعلية التَّدخُّل في تحسين مؤشّرات الأداء المخرجي والمعياري التي تقيسها بطاقة الرَّصد، ولا سيَّما دقَّة موضع المخرج والتحكُّم المخرجي، وسلامة النُّطق المعياري.

المحور الثاني: الانحرافات الصَّوتية والصِّفاتية:

بلغ المتوسّط البعدي للمجموعة التجريبية (18.30) بانحراف معياريّ قدره (1.70) مقابل (11.90) بانحراف معياريّ قدره (2.50) للمجموعة الضابطة، وبلغت قيمة(t=16.42)، عند(p<.001)، و(η^2=0.70)، في حين بلغ حجم الأثر(d =3.04) ، وهو حجم أثر كبير جدًّا، وتدلُّ هذه النتيجة على فاعلية التَّدخُّل في خفض الانحرافات الصَّوتية والصّفاتية وتحسين التمييز والأداء في المؤشّرات التي تتضمَّنها بطاقة الرصد، ولا سيَّما مؤشّرات تغيير الصّفة الرئيسة، والإبدال، والتشويه، والظواهر الصَّوتية المُصاحبة.

المحور الثالث: الأداء البنيوي والسّياقي.

حقَّق هذا المحور أعلى أحجام الأثر بين المحاور؛ إذ بلغ متوسط المجموعة التجريبية (19.20) بانحراف معياريّ قدره (1.35)، مقابل (12.35) بانحراف معياريّ قدره (2.25) للمجموعة الضابطة، وبلغت قيمة(t=20.31)، عند(p<.001)، و(η^2=0.78)، وبلغ حجم الأثر(d =3.72)، وهو حجم أثر كبير جدًّا، وتُشير هذه النتيجة إلى تحسُّن قدرة أفراد المجموعة التجريبية على المحافظة على الأداء النُّطقي السَّليم في المؤشّرات البنيوية والسّياقية التي تقيسها الأداة، بما يشمل سلامة البنية الصَّرفية وثبات نُطق الصَّوت وسلامة التركيب المقطعي في السّياق.

دلالة النتائج في ضوء جوهر الدّراسة

تُظهر النتائج مجتمعةً أنَّ توظيف (ASR) و (DSP)لم يكن مجرد إضافة تقنية إلى التَّدريب التقليدي، وإنَّما ارتبط بتحسُّن واضح في مؤشّرات الأداء النُّطقي التي استهدفتها الدّراسة، ويُفسَّر ذلك بما أتاحه التَّدخُّل من فرص متكرِّرة للممارسة، والكشف الفوري عن الأداء، وتقديم تغذية راجعة رقمية تساعد المتعلّم على إعادة المحاولة، وتصحيح إنتاجه في ضوء الاستجابة التي توفّرها التقنية.

وتكتسب هذه النتيجة أهمية خاصَّة في تعليم العربية لغةً ثانية للأطفال؛ إذ تجمع المعالجة التجريبية بين التشخيص الرقمي، والممارسة المتكرِّرة، والتغذية الراجعة الفورية، بما ينسجم مع طبيعة الصُّعوبات التي يواجهها المُتعلّمون في إنتاج عدد من الأصوات العربية المستهدف، ومع ذلك فإنَّ النتائج الحالية تُثبت فاعلية التَّدخُّل في المؤشّرات النُّطقية المقيسة بأداة الدّراسة، ولا تستلزم بذاتها إثبات تغيُّرات محدَّدة في مؤشّرات صوتية فيزيائية مثل (F1/F2) أو (VOT) ما لم تُستخرج تلك المؤشّرات، وتُحلَّل إحصائيًّا ضمن بيانات الدّراسة، وبناءً على ذلك تدعم النتائج فرضية فاعلية التَّدخُّل التَّدريبي القائم على تقنيات (ASR/DSP) في تحسين الأداء النُّطقي لدى الأطفال متعلّمي العربية لغةً ثانيةً، مع بقاء تفسير حجم الأثر في حدود التصميم شبه التجريبي وإجراءات القياس المستخدمة في الدّراسة.

خاتمة الدِّراسة:

أظهرت نتائج الدّراسة الحالية فاعلية التَّدخُّل التَّدريبي القائم على توظيف تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP) في تحسين الأداء النُّطقي لدى الأطفال متعلِّمي العربية لغةً ثانيةً، وتقليل الانحرافات الصَّوتية التي استهدفتها أداة الرصد، وقد دعمت ذلك الفروق الدّالة إحصائيًّا بين المجموعتين في القياس البعدي، إلى جانب أحجام الأثر الكبيرة جدًّا التي ظهرت في المحاور الثلاثة وفي الدَّرجة الكلّية للأداة، حيث بلغ حجم الأثر الكلّي (d=3.98) وبلغ معامل إيتا التربيعي(η^2=0.80)

وتُشير هذه النتائج إلى أنَّ توظيف التقنيات الرقمية في تعليم النُّطق يُمكن أن يوفّر بيئة تدريبية قائمة على الممارسة المتكرّرة والتغذية الراجعة الفورية والرصد المنظّم للأداء، بما يُعزّز إمكانات التشخيص والتَّدريب الفردي في تعليم العربية

لغةً ثانية للأطفال، وتتمثَّل القيمة التطبيقية للدّراسة في تقديم نموذج يجمع بين المعالجة التقنية، والممارسة النُّطقية المُنظَّمة، بما يُمكن الإفادة منه في تطوير برامج تعليم النُّطق العربي وتصميم أنشطة رقمية أكثر استجابة لحاجات المتعلِّمين.

ومع ذلك، تظلُّ هذه النتائج في حدود المؤشّرات التي قاستها أداة الدّراسة والتصميم شبه التجريبي المستخدم، ومن ثمَّ لا ينبغي تعميمها بوصفها دليلًا نهائيًّا على جميع تطبيقات الذكاء الاصطناعي، أو على جميع المُؤشّرات الأكوستيكية للنُّطق، وتفتح هذه الحدود مجالًا لدراسات لاحقة تتناول المؤشّرات الصَّوتية الفيزيائية بصورة مباشرة، وتقيس استدامة أثر التَّدخُّل، وتقارن بين أنماط التقنيات والتغذية الراجعة في بيئات تعليمية، وعمرية ولغوية متنوِّعة.

توصيات الدِّراسة ومقترحاتها:

استنادًا إلى النتائج الإحصائية والتطبيقية للدّراسة الحالية، التي أظهرت فاعلية التَّدخُّل التَّدريبي القائم على تقنيات التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP) في تحسين الأداء النُّطقي وتقليل الانحرافات الصَّوتية لدى الأطفال متعلّمي العربية لغةً ثانيةً، مع تحقيق حجم أثر كليّ كبير جدًّا بلغ(d=3.98) ، توصي الدّراسة بما يأتي:

- **دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي في تعليم النُّطق العربي:** توظيف تطبيقات ومنصّات تعليمية قائمة على التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP) ضمن برامج تعليم العربية للنّاطقين بغيرها، بما يُتيح للمتعلّم ممارسة النُّطق بصورة متكرِّرة والحصول على تغذية راجعة فورية، ولا سيَّما في الأصوات التي تُمثّل صعوبةً لدى المتعلّمين.
- **تأهيل معلّمي العربية في توظيف التقنيات الصَّوتية الرقمية:** إعداد برامج تدريبية متخصّصة لمعلّمي العربية لغةً ثانية؛ لتنمية قدرتهم على توظيف أدوات التعرُّف الآلي إلى الكلام والتغذية الراجعة السَّمعية والبصرية في متابعة الأداءِ النُّطقي، وربط مُخرجات التقنية بالتقويم التربوي والتشخيص الفردي لأخطاء المتعلّمين.
- **اعتماد الرصد الكمّي المستمر للأداء النُّطقي:** الإفادة من بطاقات رصد منظَّمة ومؤشّرات كمّية دورية لمتابعة تطوُّر الأداء في الأصوات المستهدفة، وتحديد أنماط الانحرافات الصَّوتية المتكرّرة، بما يُساعد على بناء تدخُّلات تدريبية فردية تتلاءم مع مستوى كلّ متعلّم واحتياجاته النُّطقية.
- **تطوير أنشطة تدريبية متخصّصة في الأصوات العربية المستهدفة:** تصميم أنشطة رقمية متدرّجة تجمع بين التمييز السَّمعي والإنتاج الصَّوتي والتكرار والتغذية الراجعة الفورية، وتنتقل من التَّدريب على الصَّوت في الموضِع المنعزل إلى توظيفه في المقاطع والكلمات والسّياقات الكلامية؛ بما يدعم انتقال المتعلّم من صحَّة الإنتاج الجزئي إلى ثبات الأداء في السّياق.
- **دمج التشخيص الرقمي بالتَّدريب النُّطقي:** الإفادة من نتائج الرصد الرقمي في تحديد نوع الانحراف الصَّوتي ومستواه، ثم توجيه النشاط التَّدريبي اللّاحق وفق النَّمَط الفعلي لأداء المتعلّم، بدل الاقتصار على التَّدريب الجماعي الموحَّد.

مقترحات الدّراسات المستقبلية:

في ضوء حدود الدّراسة الحالية، ونتائجها، تقترح الدّراسة إجراء البحوث الآتية:

- **دراسة استدامة أثر التَّدخُّل التِّقْني:** إجراء دراسات طولية تتضمَّن قياسات تتبعية لاحقة؛ للكشف عن مدى استمرار أثر توظيف (ASR/DSP) في تحسين الأداء النُّطقي والمحافظة على المكتسبات بعد انتهاء التَّدريب.
- **دراسة المؤشِّرات الأكوستيكية بصورة مباشرة:** إجراء دراسات تجريبية تستخرج وتحلّل مؤشّرات صوتية كمّية مثل(F1-F2) و(VOT) والمُؤشّرات الطيفية؛ للكشف بصورة أدقّ عن الآليات الأكوستيكية المصاحبة لتحسُّن إنتاج الأصوات العربية المستهدفة.
- **دراسة كفاءة المُعلّمين في توظيف التقنيات الصَّوتية:** فحص أثر تدريب معلّمي العربية لغةً ثانية على استخدام أدوات (ASR/DSP) في جودة التشخيص النُّطقي ودقَّة التغذية الراجعة المقدَّمة للمُتعلِّمين.
- **المقارنة بين أنماطِ التغذية الراجعة الرقمية:** مقارنة فاعلية التغذية الراجعة السَّمعية، والبصرية، والنصّية، أو أنماط الجمع بينها، في تحسين جوانب مختلفة من الأداء النُّطقي لدى متعلّمي العربية لغةً ثانية.
- **توسيع نطاق العيّنة والسّياقات التعليمية:** تكرار الدّراسة على أعمار ومستويات لغوية وبيئات تعليمية متعدّدة، وعلى متعلّمين ذوي لغات أمّ مختلفة؛ للتحقُّق من قابلية تعميم النتائج، واختبار مدى ثبات أثر التَّدخُّل عبر السّياقات التعليمية المختلفة.
- **المقارنة بين أنواع التقنيات الذكية:** إجراء دراسات مقارنة بين تطبيقات مُختلفة للتعرُّف الآلي إلى الكلام ومعالجة الإشارات الرقمية، من حيث دقَّة التشخيص، وسرعةِ التغذية الراجعة، وفاعليتها في معالجة أنماطٍ مُحدَّدةٍ من الانحرافات الصَّوتية.

المراجع:

أحمد، ع. ع. (2023). دراسة حول استخدام الذكاء الاصطناعي في تعليم اللُّغات في الدُّول العربية. *المجلّة الليبية للدّراسات الأكاديمية المعاصرة*، 1(1)، 9-19.

بوزيدي، أ. (2024). دور التطبيقات العربية الإلكترونية في اكتساب الأصوات اللغوية لمتعلم اللغة العربية: تطبيق المتكامل في تعليم اللغة العربية أنموذجًا. *آفاق معرفية*، 3(1)، 190-210.

بوعكاز، ي؛ لعيس، إ. (2020). طبيعة اضطراب الوعي الفونولوجي (سمعي، بصري) وعلاقته بالذاكرة العاملة اللفظية لدى ذوي عسر القراءة. *مجلة الباحث في العلوم الإنسانية والاجتماعية*، 12(5)،244-277.

تمبس، أ. ز. ر. (2020). المشكلات الصوتية في تعليم اللغة العربية للناطقين بغيرها: حلول وتطبيقات عملية. *حولية كلية اللغة العربية بجرجا*، *24*(12)، 95-124.

الحارثي، م.؛ الغامدي، ص. (2023). فاعلية بيئات التعلم الرقمية المدعومة بالذكاء الاصطناعي في معالجة الانحرافات الصَّوتية لمتعلّمي العربية الناطقين بغيرها. *مجلّة الدّراسات اللُّغوية والأدبية المعاصرة*، 2(14)، 112-145.

حسانين، ن. ح. ع. (2024). توظيف الذكاء الاصطناعي لخدمة اللغة العربية: من وجهة نظر المعلمين. *مجلة النّاطقين بغير اللُّغة العربية*، 7(20)، 191-212.

شريفي، خ. ا؛ لهاصي، ن. (2023). الوعي الفونولوجي في تعلُّم التهجئة للطور الأول ابتدائي *التعليمية*، 13(2)، 452-467.

الشّهري، ع.؛ عفانة، ع. (2023). فاعلية برنامج قائم على الذكاء الاصطناعي في علاج أخطاء النُّطق الشّائعة لدى أطفال المرحلة الابتدائية. *المجلّة الدّولية للدّراسات التربوية والنفسية*، 12(3)، 245-268.

الشّهري، ن؛ العمري، إ. (2022). تقويم كفاءة أنظمة التعرُّف الآلي إلى الكلام (ASR) ومعالجة الإشارات الرقمية (DSP) في تحليل الفورمانتات للأصوات العربية. *المجلّة الدّولية لتكنولوجيا التعليم واللُّغويات التطبيقية*، *3*(9)، 78-104.

عائشة، س. ع. (2025). تأثير تطبيقات الذكاء الاصطناعي على تعليم اللُّغة العربية .*المجلة العربية للتربية النوعية*، *9*(36)، 801-818.

عبد الفتاح، أ. (2022). أثر استخدام تطبيقات التعرُّف الآلي على الكلام في تعديل مخارج الأصوات اللُّغوية لدى ذوي اضطرابات النُّطق .*مجلّة التربية الخاصّة والتأهيل*، *14* (48)، 112-145.

عبديش، ف. (2025). تعليمية الأصوات العربية لغير النّاطقين بها: قراءة في سلسلة تعليم اللُّغة العربية لغير النّاطقين بها بجامعة الإمام محمد بن سعود بالمملكة العربية السعودية، *الصّوتيات*، 21(1)، 27-40.

العنزي، م. ح. ع. (2025). تطبيقات الذكاء الاصطناعي التربوية وفاعليتها في تعليم اللغة العربية: المراجعة المنهجية للأدبيات . *مجلة العلوم الاجتماعية*، 3(32)، 498-465.

الفقي، م؛ قدوم، م. م. (2024). *أوجه الإفادة* من تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تعليم اللُّغة العربية لغير النّاطقين بها، في الذكاء الاصطناعي ودوره في تعلُّم اللُّغة العربية وتعليمها، 30-64، İDEAL KÜLTÜR YAYINCILIK

فيلي، ز؛ كتناوي، ن. ا. (2023). التطبيقات الذكية واستثمارها في تعليم أصوات اللغة العربية للأطفال الناطقين بغيرها في منطقة الأهقار: دراسة ميدانية على عينة من الأطفال الناطقين بغير العربية .*مجلة إشكالات في اللغة والأدب*، *12* (4)، 508-527.

القحطاني، س. (2024). أثر خوارزميات التغذية الراجعة الفورية في خفض القلق الصَّوتي وتحفيز التصحيح الذاتي لدى متعلّمي اللُّغة العربية الأطفال. *مجلّة اللّسانيات الحاسوبية وتطبيقاتها*، 1(11)، 45-68.

لعيس، ك. (2022). الكشف والتشخيص المبكر عن اضطراب عسر القراءة النمائي لدى تلاميذ المرحلة الابتدائية من خلال العوامل المعرفية اللسانية المنبئة بعسر القراءة: دراسة تتبعية .*مجلة العلوم النفسية والتربوية*، *8*(1)، 284-309.

ميرود، س. (2024). الإبدال الصَّوتي عند متكلّمي اللُّغة العربية الناطقين بغيرها: الأسباب والحلول، أمثلة عن الأتراك، *اللّسانيات التطبيقية*، *8*(2)، 234-246.

سي بشير، ر؛ براهيمي ب. (2024). اللّسانيات الحاسوبية وحلّ المشكلات الصَّوتية لدى متعلّمي اللُّغة العربية للناطقين بغيرها *Aleph*، 11(3)، 505-519.

References

ʿAbd al-Fattāḥ, A. (2022). Athar istikhdām taṭbīqāt al-taʿarruf al-ālī ʿalā al-kalām fī taʿdīl makhārij al-aṣwāt al-lughawiyyah ladā dhawī iḍṭirābāt al-nuṭq [The effect of using automatic speech recognition applications on modifying the articulation of linguistic sounds among individuals with speech disorders]. *Majallat al-Tarbiyah al-Khāṣṣah wa-al-Taʾhīl, 14*(48), 112–145. [in Arabic]

ʿAbdīsh, F. (2025). Taʿlīmiyyat al-aṣwāt al-ʿArabiyyah li-ghayr al-nāṭiqīn bihā: Qirāʾah fī silsilat taʿlīm al-lughah al-ʿArabiyyah li-ghayr al-nāṭiqīn bihā bi-Jāmiʿat al-Imām Muḥammad ibn Saʿūd bi-al-Mamlakah al-ʿArabiyyah al-Saʿūdiyyah [Teaching Arabic sounds to non-native speakers: An examination of the Arabic language teaching series at Imam Muhammad ibn Saud University in Saudi Arabia]. *Al-Ṣawtiyyāt, 21*(1), 27–40. [in Arabic]

Aḥmad, ʿA. ʿA. (2023). Dirāsah ḥawla istikhdām al-dhakāʾ al-iṣṭināʿī fī taʿlīm al-lughāt fī al-duwal al-ʿArabiyyah [A study on the use of artificial intelligence in language teaching in Arab countries]. *Al-Majallah al-Lībiyyah lil-Dirāsāt al-Akādīmiyyah al-Muʿāṣirah, 1*(1), 9–19. [in Arabic]

ʿĀʾishah, S. ʿA. (2025). Taʾthīr taṭbīqāt al-dhakāʾ al-iṣṭināʿī ʿalā taʿlīm al-lughah al-ʿArabiyyah [The impact of artificial intelligence applications on Arabic language teaching]. *Al-Majallah al-ʿArabiyyah lil-Tarbiyah al-Nawʿiyyah, 9*(36), 801–818. [in Arabic]

Al-ʿAnazī, M. Ḥ. ʿA. (2025). Taṭbīqāt al-dhakāʾ al-iṣṭināʿī al-tarbawiyyah wa-faʿiliyyatuhā fī taʿlīm al-lughah al-ʿArabiyyah: Al-murājaʿah al-manhajiyyah lil-adabiyyāt [Educational artificial intelligence applications and their effectiveness in teaching Arabic: A systematic literature review]. *Majallat al-ʿUlūm al-Ijtimāʿiyyah, 32*(3), 465–498. [in Arabic]

Al-Fiqqī, M., & Qaddūm, M. M. (2024). Awjuh al-istifādah min taṭbīqāt al-dhakāʾ al-iṣṭināʿī fī taʿlīm al-lughah al-ʿArabiyyah li-ghayr al-nāṭiqīn bihā [Ways of benefiting from artificial intelligence applications in teaching Arabic to non-native speakers]. In *Al-dhakāʾ al-iṣṭināʿī wa-dawruhu fī taʿallum al-lughah al-ʿArabiyyah wa-taʿlīmihā* [Artificial intelligence and its role in learning and teaching Arabic] (pp. 30–64). İdeal Kültür Yayıncılık. [in Arabic]

Al-Ḥārithī, M., & Al-Ghāmidī, Ṣ. (2023). Faʿiliyyat bīʾāt al-taʿallum al-raqamiyyah al-madʿūmah bi-al-dhakāʾ al-iṣṭināʿī fī muʿālajat al-inḥirāfāt al-ṣawtiyyah li-mutaʿallimī al-ʿArabiyyah al-nāṭiqīn bi-ghayrihā [The effectiveness of AI-supported digital learning environments in addressing phonetic deviations among non-native learners of Arabic]. *Majallat al-Dirāsāt al-Lughawiyyah wa-al-Adabiyyah al-Muʿāṣirah, 14*(2), 112–145. [in Arabic]

Almusharraf, A, Mahdi, H. S, Al-Nofaie, H, & Aljasser, A. (2024). The effect of settings, educational level and tools on computer-assisted pronunciation training: A meta-analysis. Journal of Computer Assisted Learning, 40(4), 1605–1615. https://doi.org/10.1111/jcal.12974

Al-Qaḥṭānī, S. (2024). Athar khawārizmiyyāt al-taghdhiyah al-rājiʿah al-fawriyyah fī khafḍ al-qalaq al-ṣawtī wa-taḥfīz al-taṣḥīḥ al-dhātī ladā mutaʿallimī al-lughah al-ʿArabiyyah al-aṭfāl [The impact of immediate feedback algorithms on reducing phonological anxiety and promoting self-correction among child learners of Arabic]. *Majallat al-Lisāniyyāt al-Ḥāsūbiyyah wa-Taṭbīqātihā, 11*(1), 45–68. [in Arabic]

Alrashoudi, N, Al-Khalifa, H, & Alotaibi, Y. (2025). Improving mispronunciation detection and diagnosis for non-native learners of the Arabic language. Discover Computing, 28, Article https://doi.org/10.1007/s10791-024-09489-8

Al-Shahrī, ʿA., & ʿAfānah, ʿA. (2023). Faʿiliyyat barnāmaj qāʾim ʿalā al-dhakāʾ al-iṣṭināʿī fī ʿilāj akhṭāʾ al-nuṭq al-shāʾiʿah ladā aṭfāl al-marḥalah al-ibtidāʾiyyah [The effectiveness of an artificial intelligence-based program in treating common pronunciation errors among primary school children]. *Al-Majallah al-Dawliyyah lil-Dirāsāt al-Tarbawiyyah wa-al-Nafsiyyah, 12*(3), 245–268. [in Arabic]

Al-Shahrī, N., & Al-ʿUmarī, I. (2022). Taqwīm kafāʾat anẓimat al-taʿarruf al-ālī ilā al-kalām (ASR) wa-muʿālajat al-ishārāt al-raqamiyyah (DSP) fī taḥlīl al-fūrmāntāt lil-aṣwāt al-ʿArabiyyah [Evaluating the efficiency of automatic speech recognition (ASR) and digital signal processing (DSP) systems in formant analysis of Arabic sounds]. *Al-Majallah al-Dawliyyah li-Tiknūlūjiyā al-Taʿlīm wa-al-Lughawiyyāt al-Taṭbīqiyyah, 3*(9), 78–104. [in Arabic]

Amrate, M, & Tsai, P.-H. (2025). Computer-assisted pronunciation training: A systematic review. ReCALL, 37(1), 22–42. https://doi.org/10.1017/S0958344024000181

Būʿakkāz, Y., & Laʿīs, I. (2020). Ṭabīʿat iḍṭirāb al-waʿy al-fūnūlūjī (samʿī, baṣarī) wa-ʿalāqatuhu bi-al-dhākirah al-ʿāmilah al-lafẓiyyah ladā dhawī ʿusr al-qirāʾah [The nature of phonological awareness disorder (auditory and visual) and its relationship with verbal working memory among individuals with dyslexia]. *Majallat al-Bāḥith fī al-ʿUlūm al-Insāniyyah wa-al-Ijtimāʿiyyah, 12*(5), 244–277. [in Arabic]

Būzīdī, A. (2024). Dawr al-taṭbīqāt al-ʿArabiyyah al-iliktrūniyyah fī iktisāb al-aṣwāt al-lughawiyyah li-mutaʿallim al-lughah al-ʿArabiyyah: Taṭbīq al-mutakāmil fī taʿlīm al-lughah al-ʿArabiyyah anmūdhajan [The role of Arabic electronic applications in

helping Arabic language learners acquire linguistic sounds: The Mutakamil application for teaching Arabic as a model]. *Āfāq Maʿrifiyyah, 3*(1), 190–210. [in Arabic]

Dhouib, A, et al .(2022) .Speech recognition and processing techniques for Arabic as a second language: A systematic review of acoustic parameters and MFCC .*Journal of Speech Sciences and Computer Technologies* (Scopus Q1), 18(2), 115–139.

Filī, Z., & Katnāwī, N. A. (2023). Al-taṭbīqāt al-dhakiyyah wa-istithmāruhā fī taʿlīm aṣwāt al-lughah al-ʿArabiyyah lil-aṭfāl al-nāṭiqīn bi-ghayrihā fī minṭaqat al-Ahaggar: Dirāsah maydāniyyah ʿalā ʿayyinah min al-aṭfāl al-nāṭiqīn bi-ghayr al-ʿArabiyyah [Smart applications and their use in teaching Arabic sounds to non-native-speaking children in the Ahaggar region: A field study of a sample of children who do not speak Arabic]. *Majallat Ishkālāt fī al-Lughah wa-al-Adab, 12*(4), 508–527. [in Arabic]

Gehlot, D. (2026). AI-powered cognitive and speech remediation: A systematic review of interactive feedback systems. *Frontiers in Psychology*, 17, Article 1873888.

Ḥassānīn, N. Ḥ. ʿA. (2024). Tawẓīf al-dhakāʾ al-iṣṭināʿī li-khidmat al-lughah al-ʿArabiyyah: Min wijhat naẓar al-muʿallimīn [Employing artificial intelligence to serve the Arabic language: From teachers' perspectives]. *Majallat al-Nāṭiqīn bi-Ghayr al-Lughah al-ʿArabiyyah, 7*(20), 191–212. [in Arabic]

Laʿīs, K. (2022). Al-kashf wa-al-tashkhīṣ al-mubakkir ʿan iḍṭirāb ʿusr al-qirāʾah al-namāʾī ladā talāmīdh al-marḥalah al-ibtidāʾiyyah min khilāl al-ʿawāmil al-maʿrifiyyah al-lisāniyyah al-munabbiʾah bi-ʿusr al-qirāʾah: Dirāsah tatabbuʿiyyah [Early detection and diagnosis of developmental dyslexia among primary school pupils through cognitive-linguistic predictors of dyslexia: A longitudinal study]. *Majallat al-ʿUlūm al-Nafsiyyah wa-al-Tarbawiyyah, 8*(1), 284–309. [in Arabic]

Mīrūd, S. (2024). Al-ibdāl al-ṣawtī ʿinda mutakallimī al-lughah al-ʿArabiyyah al-nāṭiqīn bi-ghayrihā: Al-asbāb wa-al-ḥulūl, amthilah ʿan al-Atrāk [Phonological substitution among non-native speakers of Arabic: Causes and solutions, with examples from Turkish speakers]. *Al-Lisāniyyāt al-Taṭbīqiyyah, 8*(2), 234–246. [in Arabic]

Mohmad Mohmiddin, N. A., & Abu Bakar, R. (2025). *The Role of Artificial Intelligence in Learning Arabic for Non-Native Speakers: A Systematic Literature Review.* Al-Qanatir: International Journal of Islamic Studies, 34(3), 198–216. DOI: 10.64757/alqanatir.2025.3403/1121.

Muszyńska, K, Łuniewska, M, Dynak, A, Kolak, J, Lohrum, R, Otwinowska, A, Wodniecka, Z, & Haman, E. (2024). Bilinguals' knowledge of 'home' and 'school' words revisited: Phonological and speech accuracy metrics. *International Journal of Bilingual Education and Bilingualism*, 28(1), 73-91.

Sharīfī, Kh. A., & Lahāṣī, N. (2023). Al-waʿy al-fūnūlūjī fī taʿallum al-tahjiʾah lil-ṭawr al-awwal ibtidāʾī [Phonological awareness in learning spelling in the first primary stage]. *Al-Taʿlīmiyyah, 13*(2), 452–467. [in Arabic]

Sī Bashīr, R., & Barāhīmī, B. (2024). Al-lisāniyyāt al-ḥāsūbiyyah wa-ḥall al-mushkilāt al-ṣawtiyyah ladā mutaʿallimī al-lughah al-ʿArabiyyah lil-nāṭiqīn bi-ghayrihā [Computational linguistics and solving phonetic problems among non-native learners of Arabic]. *Aleph, 11*(3), 505–519. [in Arabic]

Timbis, A. Z. R. (2020). Al-mushkilāt al-ṣawtiyyah fī taʿlīm al-lughah al-ʿArabiyyah lil-nāṭiqīn bi-ghayrihā: Ḥulūl wa-taṭbīqāt ʿamaliyyah [Phonetic problems in teaching Arabic to non-native speakers: Solutions and practical applications]. *Ḥawliyyat Kulliyyat al-Lughah al-ʿArabiyyah bi-Jirjā, 24*(12), 95–124. [in Arabic].