مجلة مركـــز جـــزيرة العـــــرب
للبحوث التـــربـــوية والإنسانية
المجلد (4)، العدد (31): 31 ديسمبر 2026م
ص: 27-52
تاريخ الاستلام: 2026/10/01 القبول: 2026/11/02
النشر: 2026/11/04

ISSN: 2707-742X

Journal of Arabian Peninsula Centre
for Educational and Humanity Researches
Volume (4), Issue (31): 31 Dec: 2026
p: 27-52
Copyright License

أثر التدريس باستخدام الو اقع المعززفي معالجة صعوبات تعلم مادة الأحياء لدى طالبات الثاني ثانوي بمنطقة عسير [1]

The Effect of Teaching with Augmented Reality on Addressing Biology Learning Difficulties among Second-Year Secondary School Female Students in the Asir Region [2]

1-أ. ليلى علي عبد العزيز المتحمي
باحثة ماجستير|| مناهج وطرق تدريس العلوم || قسم التعليم والتعلم/ كلية التربية || جامعة الملك خالد || السعودية.

1-Ms.Laila Ali Abdulaziz Al-mathami
Master's Researcher | Curriculum and Instruction of Science | Department of Education and Learning, College of Education | King Khalid University || KSA

Email: twilight1221@gmail.com |ORCID: https://orcid.org/0009-0009-3712-1045 ||Mobile:00966500277722

المستخلص: هدفت الدراسة إلى فحص أثر التدريس باستخدام الواقع المعزز في معالجة صعوبات تعلم مادة الأحياء لدى طالبات الصف الثاني الثانوي بمجمع مدارس السقا في منطقة عسير بالمملكة العربية السعودية. واتبعت منهج البحث الإجرائي الميداني وفق دورة كيمس وماك تاغارت، باستخدام التصميم شبه التجريبي للمجموعة الواحدة ذات القياسين القبلي والبعدي. وتكونت العينة من (41) طالبة من شعبة الصف الثاني الثانوي في مقرر أحياء (2-1) بنظام المسارات للعام الدراسي (1447هـ). وتمثلت أدوات الدراسة في اختبار تحصيلي تشخيصي مكون من (24) عبارة موزعة على أربعة أبعاد مفاهيمية، وبطاقة ملاحظة للاندماج الصفي، وسجل للتأمل الذاتي للمعلمة الباحثة. وأسفرت النتائج عن وجود فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى (0.01) بين متوسطي القياسين القبلي والبعدي للاختبار لصالح القياس البعدي؛ إذ ارتفع متوسط التحصيل الكلي من (9.74)، بنسبة تمكن (40.6%)، إلى (20.70)، بنسبة تمكن (86.3%)، بقيمة (t = 24.31)، وحجم أثر مرتفع جدًا (d = 4.85)، ونسبة كسب معدلة لبلاك بلغت (1.225). كما أظهرت النتائج النوعية تحسنًا في الاندماج الصفي وانخفاضًا في زمن إنجاز المهام. وأوصت الدراسة بتوظيف برمجيات الواقع المعزز في تدريس مسارات الطاقة الخلوية، وتدريب معلمات الأحياء على إنتاج بطاقات تفاعلية ثلاثية الأبعاد، وتضمين المناهج المدرسية روابط تفاعلية معززة.

الكلمات المفتاحية: الواقع المعزز، صعوبات تعلم الأحياء، الطاقة الخلوية، البحث الإجرائي.

Abstract: This study aimed to investigate the effect of augmented reality (AR)-based teaching on addressing biology learning difficulties among second-year secondary school female students at Al-Saqqa School Complex in Asir Region, Saudi Arabia. It adopted a field-based action research methodology following the Kemmis and McTaggart cycle, using a one-group pretest–posttest quasi-experimental design. The sample consisted of 41 female students from one second-year secondary class enrolled in Biology (2-1) under the Pathways System during the 1447 AH academic year. The study instruments comprised a 24-item diagnostic achievement test covering four conceptual dimensions, a classroom engagement observation checklist, and the teacher-researcher's reflective journal. The results revealed statistically significant differences at the 0.01 level between the pretest and posttest mean scores in favor of the posttest. The overall mean score increased from 9.74 (40.6% mastery) to 20.70 (86.3% mastery), with a t-value of 24.31, a very large effect size (d = 4.85), and a Blake's modified gain ratio of 1.225. Qualitative findings also indicated improved classroom engagement and reduced task-completion time. The study recommended adopting AR applications for teaching cellular energy pathways, training biology teachers to develop 3D interactive flashcards, and incorporating augmented interactive links into school curricula.

Keywords: Augmented Reality, Biology Learning Difficulties, Cellular Energy, Action Research.

[1]-**التوثيق للاقتباس (APA):** المتحمي، ليلى علي عبد العزيز. (2026). أثر التدريس باستخدام الواقع المعزز في معالجة صعوبات تعلم مادة الأحياء لدى طالبات الثاني الثانوي بمنطقة عسير. *مجلة مركز جزيرة العرب للبحوث التربوية والإنسانية، 4*(31)، 27-52. https://doi.org/10.56793/pcra2213312

[2]-**Citation in APA format**: Al-mathami, L. A. A. (2026). The Effect of Teaching with Augmented Reality on Addressing Biology Learning Difficulties among Second-Year Secondary School Female Students in the Asir Region, *Journal of Arabian Peninsula Centre for Educational and Humanity Researches, 4*(31), 27–52. https://doi.org/10.56793/pcra2213312

1-المقدمة/Introduction

تبرز تقنية الواقع المعزز (Augmented Reality) بوصفها مدخلًا بنائيًا واعدًا يجسد التراكيب المجهرية والمسارات الأيضية المعقدة تفاعليًا؛ غير أن تفعيل هذه التقنية يقتضي الانطلاق من رؤية تحلل التحول المفهومي وتحدد الأطر الكفيلة بمعالجة صعوبات التعلم في البيئات المدرسية.

فعالميًا، انتقلت الأدبيات من تقييم العبء المعرفي والتحصيل عبر النماذج ثلاثية الأبعاد (Omurtak & Zeybek, 2022; Cheong et al., 2022)، إلى فحص فاعلية الاستقصاء المدعوم بالواقع المعزز وتصويب التصورات البديلة لتعزيز مهارات التفكير (Çiloğlu & Üstün, 2023; Arici & Yilmaz, 2023; Baldiviano et al., 2024). وشهدت المراجعات المنهجية اللاحقة تركيزًا مكثفًا على تحليل اتجاهات التوظيف وأحجام التأثير واستكشاف المعرفة الميدانية وتقليل الشتات البصري (Mercier et al., 2025a; Mercier et al., 2025b; Sattar et al., 2025; Stanič & Špernjak, 2025; Setiawan et al., 2025). كما امتد هذا المسار البحثي حديثًا إلى استكشاف التكامل بين الإدراك المتجسد والتعلم العميق وأطر التفكير الحاسوبي والاستدلال العلمي (Adi et al., 2026; Bantun et al., 2026; Barokah et al., 2026; Cai et al., 2026; García-Madrid & Fernández-Herrero, 2026; Uddin, 2026; Volioti et al., 2026; Wibowo et al., 2026). ورغم كثافة هذه الإنتاجات العلمية، فإن الأدبيات العالمية تفتقر إلى النمذجة الميدانية الإجرائية التي تربط ميزات الغمر الرقمي بتخفيف الجهد الإدراكي الصفي لدى المتعلمين أثناء الممارسة الواقعية.

وفي السعودية ارتبطت البحوث بتوجهات التحول الرقمي ومستهدفات رؤية المملكة 2030 لتمكين أدوات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات في البيئة الصفية، حيث ركزت دراسات سابقة على إبراز التراكيب الفراغية وتصويب التصورات البديلة ومعالجة القصور الإدراكي المكاني لدى المتعلمين (أبو ثنتين، 2022؛ عبد الوهاب، 2022؛ السناني وآل عبد السلام، 2023؛ عبد المنعم، 2024). وتطورت البحوث لاحقًا لتتناول قياس بقاء أثر التعلم، وتنمية التفكير التوليدي والمنظومي، وخفض القلق المعرفي في فصول العلوم (ابن دعجم وآخرون، 2025؛ كريري، 2025؛ نوارة وآخرون، 2025؛ Alghamdi & Alshahrani, 2025). واكتمل مسار البحوث بالتركيز على النماذج البنائية (E's Model7) وتأثير الخصائص التفاعلية للتقنيات الذكية في تشكيل اتجاهات ونوايا الاندماج الصفي (Alhazani, 2025; Muneer et al., 2026). وتأسيسًا على ذلك، تأمل الباحثة أن يسهم هذا البحث في سد الفجوة التطبيقية؛ بتقصي أثر التدريس باستخدام الواقع المعزز في معالجة صعوبات تعلم مادة الأحياء والارتقاء بالاندماج الصفي لدى طالبات الثاني ثانوي بمنطقة عسير.

1-2-مشكلة الدراسة

تواجه طالبات المرحلة الثانوية صعوبات في استيعاب المفاهيم البيولوجية المجردة، ولا سيما البناء الضوئي والتنفس الخلوي؛ لما تنطوي عليه من تفاعلات جزيئية ومسارات متتابعة يصعب ملاحظتها وتمثلها ذهنيًا، بما يفضي إلى الخلط بين مراحلها ومواقع حدوثها والعلاقات بين مكوناتها. ويزداد الأمر تعقيدًا عند الاقتصار على الشرح اللفظي والصور الثابتة، التي لا تتيح تمثيلًا بصريًا وحركيًا كافيًا للعمليات الحيوية الدقيقة؛ فقد أظهرت دراسة كريري (2025)، التي طُبقت على (60) طالبة بالصف الثاني الثانوي في جازان، فاعلية الواقع المعزز في تنمية التفكير المنظومي والدافعية للإنجاز في الأحياء؛ بما يعزز جدوى توظيفه في تدريس المفاهيم المترابطة، غير أن الدراسة ركزت على التفكير والدافعية، ولم تتناول تشخيص صعوبات تعلم موضوعات بيولوجية بعينها أو معالجتها مباشرة. كما كشفت دراسة معافى (2025)، التي شملت (74) معلمًا ومعلمة لصعوبات التعلم في منطقة عسير، عن اتجاهات إيجابية نحو قبول

توظيف الواقع المعزز، وتوقعات بقدرته على تحسين الأداء التعليمي؛ وهو ما يشير إلى تقبل البيئة التعليمية المحلية لهذه التقنية، دون أن يقدم دليلًا تجريبيًا على أثرها في معالجة صعوبات تعلم الأحياء لدى طالبات المرحلة الثانوية.

وتبرز الفجوة البحثية في محدودية الدراسات السعودية حول أثر الواقع المعزز في معالجة الصعوبات المفاهيمية بمقرر الأحياء تحديدًا، فضلًا عن اختلاف المراحل والمتغيرات التي تم تناولها؛ إذ انصرفت دراسة كريري (2025) إلى التفكير المنظومي والدافعية، بينما تناولت دراسة معافى (2025) اتجاهات المعلمين نحو قبول التقنية في تعليم ذوي صعوبات التعلم، ولم تختبر أي منهما أثرها في فهم مسارات البناء الضوئي والتنفس الخلوي. وقد دعمت الخبرة الميدانية للباحثة، بوصفها معلمة للأحياء في مجمع مدارس السقا بمنطقة عسير، وجود هذه الصعوبات لدى طالبات الثاني الثانوي في مقرر أحياء (2-1)، وبخاصة في تمثل تفاعلات الضوء وحلقة كالفن، والتمييز بين التحلل السكري ودورة كربس وسلسلة نقل الإلكترون، وتحديد مواقع حدوثها في البلاستيدة الخضراء والميتوكندريون. كما أظهر اختبار استطلاعي طُبق على (41) طالبة في الفصل الأول من العام 1447هـ أن (78%) لم يتقنّ تتبع الإلكترونات وأيونات الهيدروجين في التناضح الكيميائي، وأن (82.9%) أخفقن في فهم التغيرات الكربونية في حلقة كالفن ودور إنزيم روبيسكو، فيما خلطت (73.1%) منهن بين التنفس الهوائي والتخمر بنوعيه اللبني والكحولي. وبذلك، تتحدد مشكلة الدراسة في غياب التقييم الدقيق لأثر التدريس باستخدام الواقع المعزز في معالجة صعوبات تعلم بعض موضوعات الأحياء لدى الطالبات، من خلال نماذج تفاعلية تجسد العمليات الحيوية المجهرية وتوضح تسلسلها والعلاقات بين مكوناتها.

1-3-أسئلة الدراسة

يمكن تحديد المشكلة في السؤال الرئيس: "ما أثر التدريس باستخدام الواقع المعزز في معالجة صعوبات تعلم مادة الأحياء لدى طالبات الصف الثاني الثانوي بمنطقة عسير؟" وتنبثق منه الأسئلة الفرعية الآتية:

1. ما صعوبات تعلم مفاهيم درسي (البناء الضوئي، التنفس الخلوي) لدى طالبات الثاني الثانوي بمنطقة عسير؟
2. كيف يُبنى برنامج تدخلي قائم على تقنية الواقع المعزز لمعالجة صعوبات تعلم مادة الأحياء في نظام المسارات؟
3. ما أثر التدريس باستخدام الواقع المعزز في معالجة صعوبات تعلم مادة الأحياء لدى طالبات عينة البحث؟
4. ما مستوى الاندماج الصفي لدى الطالبات، بناء على ملاحظات وتأملات الباحثة خلال دورة التدخل الإجرائي؟

1-4-أهداف الدراسة

تهدف الدراسة إلى الكشف عن أثر التدريس باستخدام الواقع المعزز في معالجة صعوبات تعلم مادة الأحياء لدى طالبات الصف الثاني الثانوي بمنطقة عسير، ويتفرع عن الهدف الرئيس الأهداف الآتية:

1. تشخيص صعوبات تعلم مفاهيم درسي (البناء الضوئي، التنفس الخلوي) لدى طالبات عينة البحث قبليًا.
2. بناء برنامج تدخلي تدريسي يعتمد على تقنية الواقع المعزز لمعالجة الصعوبات المفاهيمية في مقرر أحياء (2-1).
3. قياس أثر التدريس بالواقع المعزز في معالجة صعوبات التعلم وتنمية التحصيل المفاهيمي لدى طالبات العينة.
4. رصد تغيرات الاندماج الصفي للطالبات وتوثيق التأملات التدريسية للمعلمة الباحثة أثناء دورة الفعل الإجرائي.

1-5-أهمية الدراسة

- **الأهمية العلمية (النظرية):**
  - إثراء الأدبيات بإطار مفاهيمي يربط التعلم المتجسد بخفض العبء المعرفي بالأحياء.
  - التأطير العلمي لآليات تصويب التصورات البديلة عبر التمثيل الفراغي ثلاثي الأبعاد.

- **الأهمية العملية (التطبيقية):**
  - تزويد مطوري المناهج بمؤشرات إجرائية لتضمين الرموز التفاعلية بالكتب المدرسية.
  - توفير بطاقات وموديولات تفاعلية بالواقع المعزز لتدريس موضوعات مسارات الطاقة.
  - تمكين المعلمات من منهجية البحث الإجرائي والتأمل الذاتي لتطوير الممارسات الصفية.
  - تحويل الأجهزة اللوحية للطالبات من منصات عرض ساكنة لمعامل استكشافية تفاعلية.

1-6-حدود الدراسة

يقتصر تعميم نتائج الدراسة على الحدود الآتية:

- **الحدود الموضوعية:** معالجة صعوبات تعلم مفاهيم (البناء الضوئي، التنفس الخلوي)، والمفاهيم المرتبطة بتراكيب العضيات الطاقية والأغشية الحيوية بكتاب الأحياء (2-1) بنظام المسارات للمرحلة الثانوية.
- **الحدود البشرية:** طالبات الثاني الثانوي المسجلات في شعبة دراسية واحدة، وعددهن (41) طالبة.
- **الحدود المكانية:** مجمع مدارس السقا التابع للإدارة العامة للتعليم بمنطقة عسير في السعودية.
- **الحدود الزمانية:** أُجريت الدراسة الميدانية خلال الفصل الأول من العام الدراسي (1447هـ-2025).

1-7-مصطلحات الدراسة

- **الواقع المعزز (Augmented Reality):** يعُرّف بأنه: "تقنية تفاعلية تدمج الكائنات المولدة حاسوبيًا ثلاثية الأبعاد ضمن البيئة الواقعية للمستخدم في الوقت الحقيقي وبصورة متزامنة" (Alghamdi & Alshahrani, 2025). وعُرّف بأنه: "نظام تكنولوجي يعزز المشهد الفيزيائي الواقعي بطبقات من المعلومات الرقمية المرئية والسمعية مما يتيح التفاعل المباشر معها" (Zufahmi et al., 2025). وعُرّف بأنه: "أداة تعليمية رقمية تسمح برؤية النماذج الافتراضية متراكبة فوق الأسطح المادية في القاعة الدراسية عبر الأجهزة الذكية" (Arici, 2024).
  - ويُعرّف إجرائيًا بأنه: "استراتيجية تدريسية تعتمد على الأجهزة اللوحية والهواتف الذكية لمسح صفحات محددة في كتاب الأحياء (2-1)؛ لتوليد مجسمات بصرية تفاعلية ثلاثية الأبعاد للبلاستيدات والميتوكندريا وتتبع مسارات الإلكترونات الكيميائية وحلقات الكربون، ويقاس أثره بالفروق بين الاختبار القبلي والبعدي في تحصيل طالبات العينة المدروسة".
- **صعوبات تعلم مادة الأحياء (Biology Learning Difficulties):** تعُرّف بأنها: "مواطن العجز المعرفي والتعثر المفاهيمي التي تمنع المتعلم من استيعاب المفاهيم الحيوية المجردة وتوليد تمثيلات بصرية دقيقة لها" (Saputri et al., 2024). وعُرّفت بأنها: "حالة يواجه فيها الطالب قصورًا في إدراك العلاقات السببية والوظيفية للعمليات الخلوية الفسيولوجية والتمثيل الغذائي" (Azhari et al., 2022).
  - وتُعرّف إجرائيًا بأنها: "تدني درجات طالبات الثاني الثانوي بمنطقة عسير عن نسبة إتقان (80%) في الاختبار التحصيلي المصمم لقياس مفاهيم (بنية البلاستيدة والميتوكندريا، تفاعلات الضوء والأسموزية الكيميائية، حلقة كالفن والمسارات البديلة C_4 و CAM ، ومسارات التنفس الهوائي واللاهوائي)".

2-الإطار النظري والدراسات السابقة

2-1-الإطار النظري

2-1-1-تقنية الو اقع المعززفي تدريس العلوم.

2-1-1-1-مفهوم الو اقع المعززوخصائصه و أنماط توظيفه في تدريس العلوم:

تقوم تقنية الواقع المعزز على دمج العناصر الرقمية ثلاثية الأبعاد بالبيئة الواقعية وإتاحة التفاعل معها، بخلاف الواقع الافتراضي الذي يعزل المستخدم عن محيطه المادي (Faria & Lobato Miranda, 2024). وتوظف معالجة الصور والتعرف على الرموز والعلامات الفراغية لإظهار المجسمات الافتراضية فوق الكتب والأجسام المادية، وتحويل الرسوم الثنائية إلى تمثيلات مجسمة ومتحركة (Zufahmi et al., 2025؛ Ferrari et al., 2024)، كما تتيح عبر الهواتف والأجهزة اللوحية التحكم في العرض وتتبع العمليات المجهرية دون تجهيزات معملية مرتفعة التكلفة (Omurtak & Zeybek, 2022؛ Talan et al., 2022). وتتخذ في تدريس الأحياء ثلاثة أنماط رئيسة: التعقب بالصور، الذي يربط المحتوى النظري بمجسمات تظهر عبر كاميرا الجهاز (Baldiviano et al., 2024)، والتعقب بالأجسام، الذي يتيح استكشاف النماذج والعضيات والأغشية الحيوية وتراكيبها (Panzera-Gonçalves & Oliveira, 2026؛ Yapici & Karakoyun, 2021)، والتعقب الفراغي غير المعتمد على علامات محددة (Stanič & Špernjak, 2025). وتبرز أهمية التمثيلات الحركية في محاكاة حركة الجزيئات وتغير شحناتها وتتبع انتقال الإلكترونات داخل الأنظمة الضوئية، مع إمكانية إيقاف التفاعلات وإعادتها بما يتناسب مع تعلم الطالبات (Cai et al., 2026؛ García-Madrid & Fernández-Herrero, 2026).

2-1-1-2-الآثار الإدراكية للو اقع المعززفي خفض العبء المعرفي وتنمية التفكير البصري:

تدعم التمثيلات ثلاثية الأبعاد خفض العبء المعرفي الدخيل؛ بدمج المعلومات المكانية والوظيفية والتكامل بين الشرح اللفظي والعرض المرئي (Ibáñez et al., 2020؛ محمد، 2020)، كما تنمي التدوير العقلي والتفكير البصري، وتيسر إدراك العلاقات بين تراكيب العضيات ووظائفها والمستويات المجهرية للخلية (الدسوقي وآخرون، 2020؛ السناني وآل عبد السلام، 2023). وتسهم كذلك في بناء الروابط بين العمليات الحيوية وتحسين استبقاء المعلومات المتعلقة بالتفاعلات الأيضية (رشوان وآخرون، 2022؛ العصيمي، 2022). غير أن هذه الآثار ليست تلقائية؛ إذ تتوقف على جودة التصميم ووضوح التمثيلات، وقد يؤدي ازدحام العناصر الرقمية إلى زيادة العبء المعرفي بدلًا من الحد منه.

2-1-1-3-معايير تصميم الأنشطة التعليمية المعززة في تدريس العلوم الطبيعية:

يتطلب تصميم الأنشطة المعززة مواءمة المحتوى الرقمي مع الأهداف التعليمية، والحد من المشتتات والإجهاد البصري (Natasha et al., 2026؛ Fitriyana et al., 2026)، مع توفير واجهات سهلة تتيح التحكم في زوايا الرؤية والتكبير والتدوير (Arici & Yilmaz, 2023)، وتغذية راجعة فورية لتصحيح الأخطاء ومتابعة خطوات التعلم (Siswati et al., 2025). كما ينبغي ضبط سرعة حركة الجزيئات والنواقل لإتاحة ملاحظة التغيرات الكيميائية واستيعابها (Arici, 2024)، وتمكين المتعلمات من التحكم في الصوت التوجيهي بما يدعم الحوار الصفي وتركيز الانتباه (Maulion & Roleda, 2025). وبذلك، تتطلب فاعلية الواقع المعزز الجمع بين الدقة العلمية وسهولة التفاعل والتدرج في عرض العمليات، بما يجعل التقنية أداة لبناء الفهم العلمي، لا مجرد وسيلة لزيادة الجاذبية البصرية.

2-1-2-صعوبات تعلم مفاهيم الطاقة والخلية في الأحياء.

2-1-2-1-طبيعة مفاهيم الطاقة الخلوية والتحديات المعرفية لتعلمها:

تتسم مفاهيم الطاقة والتحولات الأيضية بالتجريد؛ لارتباطها بالقوانين الديناميكية الحرارية والآليات البيوكيميائية التي تحدث على المستوى الجزيئي، وتتضمن انتقال الإلكترونات وتغير مستويات الطاقة (Azhari et al., 2022؛ Anugrah & Fauziah, 2024). ويتطلب فهمها الربط بين المستويات العيانية والمجهرية والرمزية، بما قد يسبب ارتباكًا لدى طالبات المرحلة الثانوية في تفسير تحولات الطاقة وتخزينها في الروابط الكيميائية للمركبات العضوية (Purbowati & Dewi, 2024؛ Saputri et al., 2024)، فضلًا عن صعوبة إدراك التفاعلات المتزامنة وحركة الأيونات عبر الأغشية شبه المنفذة (Cheong et al., 2022). ويؤدي الاقتصار على الشرح اللفظي أحيانًا إلى حفظ خطوات العمليات دون استيعاب العلاقات الوظيفية بينها (Weng et al., 2020). ومن ثم، تتجاوز الصعوبة كثافة المعلومات إلى بناء تصور متكامل يربط البنية الجزيئية بالتغيرات الطاقية والوظائف الحيوية.

2-1-2-2-مصادر الصعوبات المفاهيمية والتصورات البديلة في درسي البناء الضوئي والتنفس الخلوي:

تُعد التصورات البديلة المتراكمة من مراحل التعلم السابقة من أبرز مصادر صعوبات فهم البناء الضوئي والتنفس الخلوي (كطفان، 2022)، ومنها الاعتقاد بأن البناء الضوئي يحدث نهارًا والتنفس الخلوي ليلًا فقط، مع إغفال استمرار الأخير في الخلايا النباتية طوال اليوم (عبد الوهاب، 2022). كما تشمل الصعوبات تتبع الإلكترونات الناتجة عن شطر الماء ودورها في التفاعلات الضوئية، وفهم وظيفة إنزيم روبيسكو وتحولات الكربون في حلقة كالفن (نوارة وآخرون، 2025؛ أحمد، 2020). وفي التنفس الخلوي، تظهر في الخلط بين مراحل التحلل السكري وحلقة كربس وسلسلة نقل الإلكترون، وحساب الحصيلة الصافية للطاقة (ATP)، وفهم دور الناقلين (NADH وFADH2) (مسلم، 2022)، فضلًا عن عدم التمييز بين التنفس الهوائي والتخمر اللبني والكحولي، وتفسير تراكم حمض اللاكتيك وعلاقة التخمر بتوافر الأكسجين (كريري، 2025). وتعكس هذه الأخطاء تداخل القصور المفاهيمي والإجرائي؛ إذ لا يكفي حفظ أسماء المراحل ونواتجها دون فهم انتقال المادة والطاقة بينها، الأمر الذي يستلزم تشخيص التصورات البديلة ومعالجتها مباشرة، لا الاكتفاء بإعادة عرض المحتوى.

2-1-2-3-التحليل المعرفي لبنية العضيات الطاقية وعلاقتها بالوظيفة:

يتطلب فهم الأيض الخلوي إدراك العلاقة بين البنية والوظيفة في البلاستيدات الخضراء والميتوكندريا، بوصفهما من العضيات الرئيسة المسؤولة عن تحولات الطاقة في الخلايا حقيقية النواة (Panzera-Gonçalves & Oliveira, 2026). وتتكون البلاستيدة الخضراء من غلاف مزدوج وأغشية ثايلاكويد متراصة في الغرانا، تحيط بها الحشوة؛ حيث تحدث التفاعلات الضوئية على أغشية الثايلاكويد، بينما تتم تفاعلات دورة كالفن وتثبيت الكربون في الحشوة (Stanič & Špernjak, 2025؛ Fitriyana et al., 2026). وقد يصعب على الطالبات تصور الفصل المكاني بين هذه العمليات وفهم دور الأغشية في تنظيم حركة المواد والأيونات (García-Madrid & Fernández-Herrero, 2026). أما الميتوكندريا، فيتميز غشاؤها الداخلي بأعراف تفصل الحيز بين الغشائي عن المصفوفة، وتؤدي دورًا أساسيًا في إنشاء التدرج الكهروكيميائي للبروتونات الذي تستغله إنزيمات تصنيع (ATP) خلال الأسموزية الكيميائية (Salimi et al., 2024؛ Iatraki & Mikropoulos, 2025). ويكشف ذلك أن صعوبة تعلم العضيات لا تقتصر على تذكر أجزائها، بل تمتد إلى تفسير كيفية ارتباط تنظيمها البنيوي بمواقع التفاعلات وانتقال الأيونات وتوليد الطاقة؛ وهو ما يستدعي تمثيلات توضح هذه العلاقات بصورة مترابطة.

2-1-2-4-استراتيجيات التدخل التعليمي لمعالجة التعثر المفاهيمي في الأحياء للمرحلة الثانوية:

تتطلب معالجة صعوبات تعلم الأحياء الانتقال من الشرح المجرد إلى النمذجة البصرية والسقالات الإدراكية التي تنظم المفاهيم وتيسر استيعابها (King-Sears & Johnson, 2020)، مع توظيف التمثيلات المحسوسة في كشف التصورات البديلة وتصحيحها من خلال أنشطة تستهدف الفهم لا مجرد عرض المعلومات (Turan & Atila, 2021). وتوفر التقنيات البصرية التفاعلية فرصًا لتكرار التجارب وضبط المتغيرات وملاحظة النتائج، بما يعزز مشاركة المتعلمين في بناء النماذج واستنتاج المفاهيم العلمية (Fernández-Batanero et al., 2022؛ Yilmaz Yenioglu et al., 2024)، إلا أن فاعليتها تظل رهينة جودة التصميم وارتباط الأنشطة بالأهداف التعليمية. كما يتطلب التدخل الفاعل تشخيص مواطن القصور وتوجيه الأنشطة والتمثيلات نحو الفجوات المفاهيمية المحددة (Hwang et al., 2024)، مع الاستفادة من التعلم التعاوني في مناقشة المفاهيم المجردة ومراجعة الاستنتاجات وتصحيحها بالحوار والتطبيق المشترك (Gulboy & Denizli-Gulboy, 2025). وبناءً على ذلك، يمثل التدريس بالواقع المعزز مدخلًا قابلًا للاختبار في معالجة صعوبات تعلم الطاقة الخلوية؛ لما يتيحه من تكامل التمثيل البصري والتفاعل، على أن تُحدد فاعليته في ضوء نتائج التطبيق التجريبي، لا بافتراض تفوق التقنية مسبقًا.

2-1-3-المنطلقات النظرية للدراسة

2-1-3-1-النظرية المعرفية للتعلم بالوسائط المتعددة (ماير-Mayer):

تفسر النظرية المعرفية للتعلم بالوسائط المتعددة معالجة المعلومات البصرية واللفظية وبناء المعرفة من خلالها (Mayer, 2020؛ محمد، 2020)، وتفترض أن التعلم ذي المعنى يتحقق باختيار الكلمات والصور وتنظيمها ودمجها في نماذج عقلية مترابطة (Cai et al., 2026). وتستند النظرية إلى ثلاثة مبادئ: القناتين البصرية واللفظية (Terzioğlu et al., 2026)، ومحدودية سعة كل منهما بما يستلزم تجنب الحمل المعرفي الزائد (Kellems et al., 2020)، والمعالجة النشطة القائمة على تنظيم المعلومات وربطها بالمعارف السابقة (Sattar et al., 2025).

2-1-3-2-مبادئ الوسائط المتعددة وتفسير صعوبات تعلم الأحياء:

تفسر مبادئ ماير أهمية توظيف الواقع المعزز في تمثيل المفاهيم البيولوجية المجردة (أحمد، 2020)؛ إذ يعزز الجمع بين الصور والتفسير اللفظي الفهم (ابن دعجم وآخرون، 2025)، ويساعد التجاور المكاني على ربط التسميات بأجزاء المجسمات، مثل مكونات دورة كربس والأسموزية الكيميائية (Khasawneh, 2025)، بينما يدعم التجاور الزمني فهم العمليات عند تزامن الشرح والعرض (Rini et al., 2024)، ويحد مبدأ التماسك من المشتتات والعناصر غير الضرورية (Kohnke, 2026). ويُتوقع أن يسهم تكامل هذه المبادئ في خفض العبء المعرفي الدخيل وتيسير فهم البناء الضوئي والتنفس الخلوي (Alqarni, 2021).

2-1-3-3-نظرية التعلم المتجسد (Embodied Cognition):

تنطلق نظرية التعلم المتجسد من أن الإدراك يتشكل عبر تفاعل العمليات العقلية والخبرات الحسية والحركية والبيئة المحيطة (Cai et al., 2026؛ Iatraki & Mikropoulos, 2025). ويوفر الواقع المعزز فرصًا لتجسيد هذا التفاعل بتحريك النماذج وتدويرها وتتبع مسارات التحولات الحيوية بالإيماءات (Fernández-Batanero et al., 2022)، بما يعزز استيعاب المفاهيم المجردة مقارنة بالمشاهدة السلبية (Baldiviano et al., 2024). كما يساعد استكشاف المجسمات

الخلوية على ربط التمثيل البصري بالإدراك الحركي، وبناء نماذج عقلية أكثر استقرارًا وتصحيح التصورات البديلة (García-Madrid & Fernández-Herrero, 2026 ؛Stanič & Špernjak, 2025).

2-1-3-4-التوظيف الإجرائي للنظريتين في التدخل التعليمي:

يستند تصميم حصص الواقع المعزز إلى دمج الوسائط المتعددة والتعلم المتجسد؛ بتقسيم موضوعات الطاقة الخلوية إلى وحدات مترابطة، وعرضها بمجسمات ثلاثية الأبعاد مصحوبة بتوجيهات بصرية وسمعية متزامنة (كريري، 2025). ورُوعي التجاور المكاني بإظهار مسميات التراكيب بجوار مكوناتها، مثل أغشية الثايلاكويد وحلقة كالفن وأعراف الميتوكندريا (عبد الوهاب، 2022)، إلى جانب أنشطة تفاعلية لتحريك نماذج الإنزيمات وتتبع إنتاج ATP وربط نواتج التحلل السكري بدورة كربس (نوارة وآخرون، 2025؛ أبو ثنتين، 2022). ويستهدف هذا التوظيف تجاوز الحفظ المجرد إلى فهم العلاقات بين التراكيب والعمليات، واختبار أثر التدخل في معالجة الصعوبات وتحسين التحصيل.

وخلاصة المنطلقات النظرية أن تكامل المعالجة البصرية واللفظية مع التفاعل الحسي والحركي يوفر أساسًا لتصميم بيئة تعلم معززة تساعد على تصور التراكيب الخلوية وتتبع مسارات الطاقة؛ ومن ثم تبرر النظريتان اختبار أثر التدريس بالواقع المعزز في معالجة صعوبات تعلم الأحياء لدى طالبات الصف الثاني الثانوي بمنطقة عسير.

2-2-الدراسات السابقة

تستعرض الباحثة الدراسات السابقة وفقا لمنهجية المراجعة النقدية؛ موزعة على المحاور الرئيسة الآتية:

2-2-1-دراسات تناولت صعوبات تعلم مفاهيم الأحياء والتصورات الخاطئة لدى طلاب المرحلة الثانوية:

استهدفت الأدبيات معالجة التصورات البديلة وتذليل صعوبات تعلم مفاهيم الأحياء المجهرية؛ حيث أثبتت دراسة (عبد الوهاب، 2022) شبه التجريبية على (72) طالبًا بالصف الأول الثانوي كفاءة الواقع المعزز وفق نموذج التعلم التوليدي في تصويب التصورات الخاطئة حول عضيات الخلية وتعديل المسارات الحيوية. وأظهرت دراسة (Xian et al., 2026) شبه التجريبية على (47) طالبًا تفوق المعامل الافتراضية في تيسير تمثل الانقسام الميوزي وتنمية التفكير التفكيكي، فيما كشفت دراسة (Türe et al., 2025) شبه التجريبية على (155) طالبًا بالصف السادس عن انخفاض معدل تشكل المفاهيم الخاطئة وارتفاع نسبة تصحيحها، وبيّنت دراسة (Arici & Yilmaz, 2023) شبه التجريبية على (58) طالبًا إسهام الواقع المعزز المدمج بالتعلم القائم على المشكلات في تصويب المفاهيم وتسهيل تتبع التفاعلات البيوكيميائية غير المرئية.

2-2-2-دراسات تناولت متطلبات تصميم البرامج والوسائط التعليمية القائمة على تقنية الواقع المعزز(AR):

ركزت البحوث على بناء الأطر البنائية الرقمية والمعايير التصميمية للوسائط التفاعلية؛ حيث أظهرت دراسة (Alhazani, 2025) شبه التجريبية بالسعودية تحسنًا دالًا في بناء المعرفة والاتجاهات نحو نموذج (E's Model7) المدمج بالتكنولوجيا بما يدعم رؤية 2030. وتحددت في دراسة (Wibowo et al., 2026) الببليومترية لـ (77) وثيقة في Scopus أطر تصميمية مبتكرة لدمج الذكاء الاصطناعي الهجين والواقع المعزز لتطوير الاستدلال العلمي، وحققت وحدة الأحياء المطورة وفق نموذج D4 والتعلم العميق في دراسة (Adi et al., 2026) التطويرية على (32) طالبًا بالصف العاشر صلاحية مرتفعة (3.4) وكفاءة عملية عالية، وأكدت المراجعة المنهجية لدراسة (Bantun et al., 2026) قدرة الواقع المعزز على تجاوز القيود البيئية والبنيوية بالمحاكاة، في حين كشفت دراسة (Volioti et al., 2026) الوصفية على

(195) مستخدمًا عن قبول مرتفع لسهولة استخدام تطبيق الأحياء المطور وفق نموذج (E5)، وأسفرت دراسة (Maulion & Roleda, 2025) الوصفية على (127) طالبًا عن اهتمام عالٍ بالتعلم عبر الموديولات المعززة.

2-2-3-دراسات تناولت أثر استخدام الواقع المعزز في تحصيل الأحياء وتجاوز صعوبات التعلم:

تضافرت الأدبيات في إثبات الأثر الميداني للواقع المعزز في رفع التحصيل الأكاديمي وتنمية التفكير؛ إذ أظهرت دراسة (كريري، 2025) شبه التجريبية على (60) طالبة بجازان فاعلية التقنية بحجوم تأثير مرتفعة في التفكير المنظومي والدافعية، وأثبتت دراسة (ابن دعجم وآخرون، 2025) شبه التجريبية على (30) طالبًا بعسير فاعلية الفصل المقلوب المعزز في تثبيت المكتسبات بالذاكرة طويلة المدى، وكشفت دراسة (نوارة وآخرون، 2025) شبه التجريبية على (70) طالبًا عن تنمية التحصيل والتفكير التوليدي وتيسير المفاهيم الفسيولوجية. كما أكدت دراسة (Alghamdi & Alshahrani, 2025) شبه التجريبية على (36) تلميذًا من ذوي صعوبات التعلم رفع الأداء والحد من القلق المعرفي، وبينت دراسة (عبد المنعم، 2024) شبه التجريبية على (40) طفلًا تحسين الإدراك البصري المكاني، وأثبتت دراسة (السناني وآل عبد السلام، 2023) شبه التجريبية على (62) طالبًا تفوق المجموعة التجريبية في التحصيل والتفكير البصري، وأكدت دراسة (أبو ثنتين، 2022) شبه التجريبية على (118) طالبًا بعسير معالجة الصعوبات ورفع التحصيل والدافعية.

وعالمياً؛ حققت دراسة (Barokah et al., 2026) الكمية على طلاب الصف العاشر كسبًا مرتفعًا (N-\0.83 Gain) بنهج STEM، وأكدت المراجعة المنهجية لـ (19) دراسة لدى (Uddin, 2026) والمراجعة المنهجية لـ (18) دراسة لدى (Zahra & Suhendi, 2026) الأثر الإيجابي المتسق للواقع المعزز في التحصيل والفهم المفاهيمي. وأظهرت دراسة (Cai et al., 2026) شبه التجريبية على (64) طالبًا بالصف السابع خفض العبء المعرفي في الاستقصاء التعاوني، وحققت دراسة (García-Madrid & Fernández-Herrero, 2026) شبه التجريبية على (52) طالبًا فروقًا دالة في أحياء الخلية، وأكدت مراجعة (Stanič & Špernjak, 2025) لـ (40) دراسة والتحليل البعدي لـ (35) دراسة لدى (Setiawan et al., 2025) حجوم تأثير مرتفعة جدًا (2.249) في موضوعات التشريح والوراثة والخلايا. كما أثبتت دراسة (Mercier et al., 2025a) التجريبية على (169) طالبًا تفوق الواقع المعزز القائم على الموقع في المعرفة النظرية والاستكشاف، وسجلت دراسة (Sattar et al., 2025) شبه التجريبية على (60) طالبًا بتطبيق ScienceAR تفوقًا تحصيليًا (81.0% مقابل 76.1%)، وأكدت دراسة (Baldiviano et al., 2024) التجريبية على (52) طالبًا ودراسة (Omurtak & Zeybek, 2022) شبه التجريبية على (64) طالبًا زيادة التحصيل وتقليل الأخطاء المفاهيمية واستبقاء المصطلحات.

2-2-4-دراسات تناولت الاندماج الصفي ودافعية التعلم والسمات التفاعلية لدى المتعلمين في البيئات التقنية:

تناولت العديد من الدراسات محددات الاندماج والدافعية والخصائص التفاعلية؛ حيث كشفت دراسة (Muneer et al., 2026) باستخدام نمذجة (PLS-SEM) على (385) طالبًا بحائل عن أثر الفائدة المدركة وسهولة الاتصال في تشكيل الاتجاهات ونوايا الاندماج التقني. ودعت دراسة (Wang et al., 2026) التجريبية على (151) طالبًا بالتعليم الجامعي إلى التوازن بين ميزات الغمر وتقليل العبء المعرفي بمراعاة القدرات البصرية-المكانية، ونجحت دراسة (Mercier et al., 2025b) التجريبية بنظارات تتبع العين على (35) طالبًا في تقليل الشتات البصري وتوجيه الانتباه للمحيط عبر التنبيهات اللفظية، وأظهرت دراسة (Çiloğlu & Üstün, 2023) شبه التجريبية على (76) طالبًا ارتفاع الكفاءة الذاتية والدافعية في استيعاب التراكيب الخلوية، فيما أثبتت دراسة (Cheong et al., 2022) شبه التجريبية على (90) طالبًا بالمرحلة الثانوية انخفاض العبء المعرفي الدخيل وارتفاع درجات فهم التفاعلات البيوكيميائية.

2-2-5-التعقيب على الدراسات السابقة:

تتفق الدراسة الحالية مع الأدبيات في تشخيص صعوبات تعلم العلوم وتجاوز التجريد المفاهيمي، متفقة في استخدام المنهج شبه التجريبي وتصميم القياسين القبلي والبعدي مع دراسات مثل (كريري، 2025؛ Alghamdi & Alshahrani, 2025; García-Madrid & Fernández-Herrero, 2026; Sattar et al., 2025)، وقياس الاندماج والدافعية مع (Muneer et al., 2026; Çiloğlu & Üstün, 2023). وتختلف عن التصاميم التقاطعية والمراجعات المنهجية مثل (Mercier et al., 2025a; Wibowo et al., 2026; Uddin, 2026; Zahra & Suhendi, 2026)، باستهدافها المباشر لطالبات الثانوية (نظام المسارات) بمنطقة عسير من واقع الممارسة التدريسية الفعلية.

وكشفت مراجعة الأدبيات عن تركيز الدراسات السابقة على تقييم نواتج التعلم الرقمية الجاهزة دون التدخل المباشر لتعديل الممارسة الصفية، مثل (Volioti et al., 2026; Maulion & Roleda, 2025; Wang et al., 2026). وقد أفادت الحالية من بعض الدراسات في بناء أدوات التشخيص والملاحظة، واستنارة نموذج (E's Model7) لدراسة (Alhazani, 2025)، وآليات معالجة التصورات البديلة لدى (عبد الوهاب، 2022؛ Türe et al., 2025; Arici & Yilmaz, 2023)، فضلًا عن تصميم بطاقات التفاعل وخفض العبء المعرفي استنادًا لمبادئ الإدراك المتجسد في دراستي (Cai et al., 2026; Cheong et al., 2022).

وتتميز الحالية بتبني نموذج البحث الإجرائي (كيمس وماك تاغارت، 2008) مع دمج التطبيق التفاعلي بالتأمل الذاتي، متجاوزة محدودية التطبيقات المعزولة والتنبيهات السطحية الواردة في دراسة (Mercier et al., 2025b). كما قدمت الدراسة حلولًا سياقية لمعالجة مفاهيم الطاقة المعقدة (البناء الضوئي والتنفس الخلوي) لدى طالبات الثاني الثانوي، مستندة لتقييم متكامل يجمع التحصيل والاندماج الصفي والتأملات الذاتية، لتسد الفجوة بين التنظير التقني والتطبيق الإجرائي مقارنة بالأطر والمسوح السابقة (Adi et al., 2026; Bantun et al., 2026؛ أبو ثنتين، 2022).

3-منهجية الدراسة وإجراءاتها

3-1-منهج الدراسة:

اعتمدت الدراسة منهج البحث الإجرائي (Action Research) الميداني، وهو منهج يقوم على استقصاء منظم يمارسه المعلم داخل الصف؛ بهدف تشخيص مشكلة تعليمية واقعية ومعالجتها عبر إجراءات تدريسية مخططة بدقة. ويُعدُّ هذا المنهج الأكثر توافقًا مع طبيعة الدراسة الحالية، واستخدمت الدراسة التصميم شبه التجريبي للمجموعة الواحدة ذات القياسين القبلي والبعدي ($O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$)؛ حيث خضعت الطالبات المستهدفات لاختبار تشخيصي قبلي (O_1)، تلاه تطبيق التدخل التدريسي بالواقع المعزز (X)، ثم تطبيق الاختبار التشخيصي البعدي (O_2). وتم اعتماد هذا التصميم انطلاقًا من المبادئ الأخلاقية للبحث الإجرائي التي تمنع حرمان أي طالبة داخل الصف الدراسي الواحد من فرص الإفادة من التقنية التعليمية الحديثة بغرض إنشاء مجموعة مقارنة غير مستفيدة.

3-2-مجتمع الدراسة:

يتكون المجتمع الأصلي من جميع طالبات الثاني الثانوي المسجلات بالمدارس الحكومية الثانوية التي تطبق نظام المسارات والتابعة للإدارة العامة للتعليم بمنطقة عسير خلال الفصل الأول من العام الدراسي (1447هـ)، وعددهن (11420) طالبة، وفقًا لإحصاءات إدارة تعليم عسير (الإدارة العامة للتعليم بمنطقة عسير، 2025).

3-3-عينة الدراسة:

اقتضت طبيعة البحث الإجرائي اختيار عينة قصدية (Purposive Sample) بطريقة الحصر الشامل لطالبات الصف الثاني الثانوي في مجمع مدارس السقا بمنطقة عسير، وعددهن (41) طالبة خلال الفصل الأول للعام (1447هـ)، ومثلت العينة نسبة (0.36%) من إجمالي المجتمع الأصلي لمدارس عسير، ويُعدُّ هذا الحجم ملائمًا لإجراءات المتابعة الصفية الدقيقة وتطبيقات الواقع المعزز. ويوضح الجدول الآتي مواصفات مجتمع وعينة الدراسة الإجرائية:

الجدول (1) توزيع مجتمع الدراسة وعينة البحث الإجرائي

التصنيف الميداني	الجهة التعليمية/ المدرسة	الصف ونظام التعليم	الإجمالي	النسبة%
المجتمع الأصلي	مدارس التعليم العام بمنطقة عسير	الثاني الثانوي (نظام المسارات)	(11420)	%100
عينة البحث الإجرائي	مجمع مدارس السقا	الثاني الثانوي (شعبة وحيدة)	(41)	%0.36

المرجع: بيانات الإدارة العامة للتعليم بمنطقة عسير (2025)؛ وسجلات مجمع مدارس السقا (1447هـ).

تُبين بيانات الجدول (1) أن عينة البحث تمثل شعبة صفية كاملة تتولى الباحثة تدريسها بانتظام، مما يحقق متطلبات التدخل الصفي المباشر. وحددت الباحثة الخصائص الأولية للعينة من واقع استبانة مسحية مقتضبة وسجلات التحصيل الصفي المعتمدة بالمدرسة؛ لرصد المؤشرات المرتبطة بمستوى التحصيل السابق في مادة الأحياء، ومدى توفر الأجهزة الذكية الداعمة للواقع المعزز، والخبرة السابقة في استخدام التطبيقات التعليمية ثلاثية الأبعاد. ويلخص الجدول (2) خصائص طالبات عينة البحث وكالآتي:

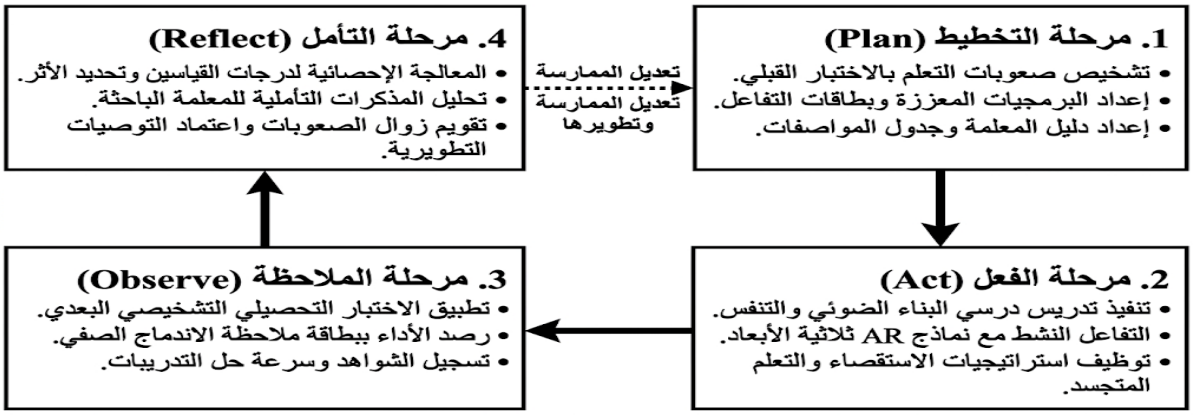
الجدول (2) الخصائص العامة لطالبات عينة البحث الإجرائي (ن = 41)

المتغير التصنيفي	الفئات المحددة	التكرار	النسبة %
مستوى التحصيل السابق في الأحياء (أحياء 1)	ممتاز (90% فأكثر)	(12)	%29.3
	جيد جدًا (من 80% إلى أقل من 90%)	(15)	%36.6
	جيد (من 70% إلى أقل من 80%)	(10)	%24.4
	مقبول (أقل من 70%)	(4)	%9.7
توفر الأجهزة الذكية المحمولة لدى الطالبة	جهاز لوحي (تابلت)	(22)	%53.7
	هاتف ذكي حديث	(16)	%39.0
	جهاز مشترك مع الأسرة	(3)	%7.3
الخبرة السابقة بتطبيقات الواقع المعزز	ممارسة سابقة في التعلم	(6)	%14.6
	معرفة نظرية دون ممارسة	(14)	%34.2
	عدم وجود معرفة سابقة	(21)	%51.2
المجموع الكلي	شعبة واحدة	(41)	%100

يُظهر الجدول (2) تبايناً في التحصيل السابق للطالبات رغم توفر الأجهزة الذكية بنسبة (92.7%)، مع محدودية الخبرة بتطبيقات الواقع المعزز بنسبة (51.2%)، مما يبرز الحاجة لتنظيم جلسة تهيئة تقنية قبيل بدء التدخل.

3-3-مصفوفة مراحل التدخل الإجرائي (Action Research Cycle):

اتبعت الدراسة نموذج كيمس وماك تاغارت (Kemmis & McTaggart, 2008) للبحث الإجرائي، القائم على دورة حلزونية تضم أربع مراحل متتابعة: (التخطيط، الفعل، الملاحظة، التأمل)، وكما يوضحها الشكل الآتي:



الشكل (1) مراحل التدخل الإجرائي (Action Research Cycle). المرجع: الباحثة بالاستناد إلى (Kemmis & McTaggart, 2008).

يوضح الشكل (1) المسار التتابعي لحلقات البحث الإجرائي التي تبدأ بالتشخيص والتخطيط، وتتحول عبر الفعل والملاحظة إلى تأمل تقويمي يوجه تحسين الممارسة الصفية المستمرة. وتحددت الإجراءات وفقا للآتي:

أ **مرحلة التخطيط (Plan):** تحليل موضوعات الطاقة بكتاب أحياء (2-1)، إعداد الاختبار التشخيصي، اختيار برمجيات الواقع المعزز المناسبة (مثل Merge Cube)، وتجهيز الدليل الإجرائي للحصص.

ب **مرحلة الفعل (Act):** تنفيذ خطة التدخل التدريسي على مدى (4) أسابيع بواقع حصتين أسبوعيًا، حيث استخدمت الطالبات بطاقات العضيات ثلاثية الأبعاد لتتبع مسارات الطاقة والتفاعلات الأيضية حركيًا.

ج **مرحلة الملاحظة (Observe):** جمع الشواهد الكمية والنوعية برصد الاندماج الصفي، وتيسير قياس أوقات إنجاز المهام، وتطبيق الاختبار التحصيلي التشخيصي البعدي مباشرة بعد انتهاء التدخل.

د **مرحلة التأمل (Reflect):** تحليل نتائج القياسين إحصائيًا، تقييم فاعلية التدخل لتحديد مواطن الصعوبة المعالجة، وتفريغ سجل التأملات اليومية لتطوير استراتيجيات تدريس الموضوعات المجهرية.

3-4-أدوات الدراسة ومواد المعالجة التعليمية

3-4-1-الاختبار التحصيلي التشخيصي.

أعدت الباحثة اختبارًا تشخيصيًا لقياس تمثل المفاهيم ورصد صعوبات (البناء الضوئي والتنفس الخلوي) بالرجوع للكتاب المدرسي والأدبيات (عبد الوهاب، 2022)، وفق مستويات بلوم المعدلة (التذكر، والفهم، والتطبيق، والتحليل) (الدسوقي وآخرون، 2020). وتكون الاختبار أوليًا من (26) مفردة (اختيار من متعدد بأربعة بدائل تعكس التصورات البديلة الشائعة مثل دراسة (كطفان، 2022)، واستقر بعد التحكيم على (24) مفردة.

3-4-2-بطاقة ملاحظة الاندماج الصفي:

صممت بطاقة ملاحظة مقننة لرصد مظاهر السلوك الإجرائي والاندماج التفاعلي أثناء استخدام نماذج الواقع المعزز، وتضمنت خمسة مؤشرات تشمل الانتباه البصري، تدوير وتكبير المجسمات، النقاش التفسيري لمسارات الأيونات والإلكترونات، انخفاض تردد حل التدريبات الصعبة، وتكرار المراجعة الذاتية للنماذج.

3-4-3-سجل التأمل الذاتي اليومي للمعلمة:

اعتمدت أداة كيفية تمثلت في سجل يوميات تأملي يُدون عقب كل حصة لتوثيق الاستجابات غير المتوقعة، التحديات التقنية، والشواهد الدالة على زوال الصعوبات (Iatraki & Mikropoulos, 2025)؛ لتحقيق التثليث المنهجي للبيانات وتوجيه القرارات التدريسية.

4-4-3-مواد وبرمجيات التدخل بالواقع المعزز:

شملت برمجيات متوافقة مع الأجهزة اللوحية للطالبات؛ أبرزها تطبيق النرد التفاعلي (Merge Cube) ونماذج ثلاثية الأبعاد لمحاكاة العضيات (Panzera-Gonçalves & Oliveira, 2026)، إضافة لبطاقات فلاشية بعلامات تعقب فراغية لتوليد مجسمات حركية لأغشية الثايلاكويد، والميتوكندريا، ومسارات حلقة كالفن ودورة كربس (García-Madrid & Fernández-Herrero, 2026).

5-3-معيار تصحيح أدوات الدراسة ومحكات الحكم

صُحح الاختبار التحصيلي بإعطاء درجة واحدة (1) للإجابة الصحيحة وصفر (0) للإجابة الخاطئة، وبذلك تراوحت الدرجة الكلية للاختبار بين (0)، و(24) درجة. وحُددت محكات الحكم على مستوى استجابة الطالبات ومعدل التمكن من المفاهيم العلمية بالاستناد إلى الأدبيات التربوية في تدريس العلوم ونسب التمكن المعتمدة (أحمد، 2020).

ويوضح الجدول الآتي معيار الحكم النسبي لتصنيف مستويات الاستجابة وزوال الصعوبة المفاهيمية:

الجدول (3) معيار الحكم على مستوى استجابة الطالبات وزوال صعوبة التعلم

النسبة%	المدى (من 24)	تقدير التحصيل	دلالة الصعوبة المفاهيمية	القرار الإجرائي للمعلمة الباحثة
85% فأكثر	24.00-20.41	مرتفع جدًا (إتقان تام)	زوال تام للصعوبة	تثبيت التعلم وتعزيز التوسع المعرفي
84-71%	20.40-16.81	مرتفع (تمكن مقبول)	صعوبات محدودة	تقديم تغذية راجعة صفية موجزة
70-61%	16.80-14.41	متوسط (تمكن متوسط)	صعوبة متوسطة	إعادة تشغيل النموذج المعزز جماعيًا
60-51%	14.40-12.01	منخفض (تعثر مفاهيم)	صعوبة كبيرة قائمة	تكثيف السقالات وتعديل الشرح
50% فأقل	12.00 -1.00	منخفض جدًا (قصور حاد)	صعوبة بالغة الشدة	تدخل فردي مركز وتكرار الفحص

المرجع: إعداد الباحثة بالاستناد إلى معايير التمكن التربوي وتصنيف كطفان (2022)؛ وأحمد (2020).

يُوضح الجدول (3) مديات الدرجات المعتمدة للحكم على كفاءة التدخل بالواقع المعزز؛ حيث تعدُّ (80%) فأكثر معيارًا معتمدًا للتمكن وزوال الصعوبة، وتصنف الدرجات دون (60%) كصعوبات حرجة تستدعي تدخلًا فوريًا.

6-3-الخصائص السيكومترية لأدوات الدراسة

1-6-3-صدق الاختبار التحصيلي التشخيصي.

تحققت الباحثة من الصدق الظاهري للاختبار بعرض المسودة الأولية (26) مفردة مع الجدول المواصفات على لجنة تحكيم متخصصة ضمت (7) من أساتذة المناهج وطرق تدريس العلوم وتكنولوجيا التعليم بالجامعات السعودية، ومشرفي مادة الأحياء بتعليم عسير. وبناءً على ملاحظاتهم، عُدلت صياغة (4) عبارات وحُذفت فقرتان لعدم دقتهما العلمية، ليصبح الاختبار مكونًا من (24) عبارة حظيت بنسبة اتفاق بين المحكمين بلغت (90%) فأكثر.

وتم التحقق من الصدق البنائي (الاتساق الداخلي) بتطبيق الاختبار على عينة استطلاعية بلغت (30) طالبة بالثاني الثانوي بمدرسة مجاورة تابعة لتعليم عسير، وحُسبت معاملات ارتباط بيرسون (Pearson Correlation) بين درجات كل بُعد والدرجة الكلية للاختبار عبر الحزمة الإحصائية (SPSS v.28). ويلخص الجدول الآتي معاملات الاتساق الداخلي لأبعاد الاختبار التشخيصي:

الجدول (4) معاملات الارتباط بين أبعاد الاختبار والدرجة الكلية (ن = 30)

البُعد	الأبعاد المفاهيمية المقاسة	عدد العبارات	ارتباط البُعد بالكلية	الدلالة (p)
1	بنية العضيات الطاقية وخصائص أغشيتها الحيوية	5	0.741	0.000
2	التفاعلات الضوئية ونقل الإلكترون والأسموزية الكيميائية	7	0.828	0.000
3	مسارات حلقة كالفن وتكيفات النباتات البديلة (C_4)، و(CAM)	6	0.785	0.000
4	مسارات التنفس الخلوي الهوائي وعمليات التخمر	6	0.803	0.000

يُبين الجدول (4) أن جميع معاملات الارتباط بين الأبعاد والكلية مرتفعة وموجبة ودالة إحصائيًا عند مستوى دلالة (0.01)، مما يؤكد توافر درجة عالية من الصدق البنائي للاختبار التشخيصي وصلاحيته للتطبيق.

3-6-2-معاملات السهولة والصعوبة والتمييز لمفردات الاختبار.

حُسبت معاملات الصعوبة والتمييز لعبارات الاختبار الـ (24) على درجات العينة الاستطلاعية (N=30)؛ للتأكد من قدرة المفردات على التمييز بين الطالبات وتوازن صعوبتها. ويوضح الجدول (5) مؤشرات الصعوبة والتمييز للعبارات.

الجدول (5) معاملات السهولة والصعوبة والتمييز لعبارات الاختبار التشخيصي (ن = 30)

رقم العبارة	معامل السهولة	معامل الصعوبة	معامل التمييز	رقم العبارة	م/السهولة	م/ الصعوبة	م/التمييز
1	0.63	0.37	0.44	13	0.57	0.43	0.50
2	0.53	0.47	0.48	14	0.47	0.53	0.46
3	0.47	0.53	0.52	15	0.43	0.57	0.54
4	0.40	0.60	0.46	16	0.60	0.40	0.42
5	0.50	0.50	0.50	17	0.40	0.60	0.48
6	0.67	0.33	0.40	18	0.37	0.63	0.44
7	0.57	0.43	0.46	19	0.63	0.37	0.42
8	0.60	0.40	0.42	20	0.50	0.50	0.50
9	0.43	0.57	0.54	21	0.53	0.47	0.46
10	0.40	0.60	0.56	22	0.47	0.53	0.48
11	0.37	0.63	0.52	23	0.43	0.57	0.52
12	0.53	0.47	0.44	24	0.40	0.60	0.48

يُوضح الجدول (5) أن معاملات صعوبة العبارات تراوحت بين (0.33-0.63) بمتوسط عام (0.50)، في حين تراوحت معاملات التمييز بين (0.40-0.56)، وتُعدُّ هذه القيم مقبولة ومثالية وفق معايير القياس والتقويم التربوي التي تشترط ألا يقل معامل التمييز عن (0.30).

3-6-3-ثبات الاختبار التحصيلي التشخيصي.

حُسب ثبات الاختبار بطريقتين؛ الأولى باستخدام معادلة كيودر-ريتشاردسون (KR-20) للاتساق الداخلي لكون بنود الاختبار ثنائية التصحيح (0 أو 1)، والثانية بطريقة إعادة تطبيق الاختبار (Test-Retest) بفاصل زمني مدته أسبوعان على أفراد العينة الاستطلاعية ذاتها (N=30). ويلخص الجدول الآتي مؤشرات ثبات الاختبار التشخيصي:

الجدول (6) معاملات ثبات الاتساق الداخلي وإعادة التطبيق للاختبار التشخيصي (ن = 30)

أبعاد الاختبار التشخيصي	عدد العبارات	معامل كيودر-ريتشاردسون (KR-20)	معامل ثبات إعادة التطبيق (بيرسون)	مستوى الدلالة
بنية العضيات الطاقية وخصائص أغشيتها	(5)	0.81	0.84	0.000
التفاعلات الضوئية والأسموزية الكيميائية	(7)	0.86	0.87	0.000

حلقة كالفن والمسارات البديلة (CAM, C4)	(6)	0.83	0.85	0.000
مسارات التنفس الخلوي والتخمر	(6)	0.84	0.86	0.000
الدرجة الكلية للاختبار	(24)	0.88	0.89	0.000

المرجع: إعداد الباحثة استنادًا إلى مخرجات برنامج (SPSS $^{v.28}$) لبيانات العينة الاستطلاعية (1447هـ).

يُبين الجدول (6) أن معاملات الثبات مرتفعة للأبعاد والكلية؛ إذ بلغت قيمة معامل (KR-20) نحو (0.88)، ولمعامل إعادة التطبيق (0.89)، مما يؤكد دقة الاختبار واستقراره وصلاحيته للتطبيق على عينة البحث الأساسية.

3-4-6-الخصائص السيكومترية لبطاقة ملاحظة الاندماج الصفي.

عُرضت بطاقة الملاحظة على (5) محكمين متخصصين لضبط صياغة مؤشراتها السلوكية وملاءمتها للموقف الصفي المعزز، وحُسب ثبات الملاحظة بأسلوب الاتفاق بين ملاحظين؛ حيث طبقت الباحثة البطاقة بالتعاون مع معلمة أحياء أولى بالمجمع على (10) طالبات أثناء حصة استطلاعية، واستُخرج معامل كابا لكوهين (Cohen's Kappa)، فبلغت قيمته (0.86)، وهي قيمة تعكس توافقًا ممتازًا بين الملاحظتين وتؤكد ثبات الأداة.

3-7-الأساليب الإحصائية المُستخدمة في الدراسة

عولجت البيانات الميدانية بالاستعانة ببرنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (IBM SPSS Statistics, Version 28) باستخدام الأساليب الإحصائية الآتية:

- اختبار شابيرو-ويلك (Shapiro-Wilk Test): للتحقق من اعتدالية التوزيع لدرجات في القياسين القبلي والبعدي.
- المتوسطات الحسابية (Means)، والانحرافات المعيارية (Standard Deviations): لتحديد المستويات والتشتت.
- اختبار "ت" للعينات المترابطة (Paired-Samples t-test): لفحص فروق التحصيل بين التطبيقين القبلي والبعدي.
- حجم الأثر (Effect Size): معامل كوهين دي (d)، ومربع إيتا (η^2)؛ لتحديد أثر الواقع المعزز في خفض الصعوبات.
- معادلة الكسب المعدل لبلاك (Blake's Modified Gain Ratio): لتحديد كفاءة وفاعلية البرنامج التدخلي بالواقع المعزز؛ حيث يُعدُّ البرنامج فعالًا إذا بلغت النسبة (1.2) فأكثر وفق الصيغة الآتية:
- $$\text{نسبة الكسب لبلاك} = \frac{\bar{X}_{\text{بعدي}} - \bar{X}_{\text{قبلي}}}{D - \bar{X}_{\text{قبلي}}} + \frac{\bar{X}_{\text{قبلي}} - \bar{X}_{\text{بعدي}}}{D}$$
- حيث تمثل (D) الدرجة الكلية العظمى للاختبار التشخيصي والمحددة بـ (24) درجة.

4-نتائج الدراسة

4-1-نتيجة الإجابة عن السؤال الأول: "ما صعوبات تعلم مفاهيم درسي (البناء الضوئي، والتنفس الخلوي) لدى طالبات الصف الثاني الثانوي بمنطقة عسير قبل التدخل بالواقع المعزز؟"

وللإجابة عن السؤال، حللت الباحثة درجات الطالبات في التطبيق القبلي للاختبار؛ حيث استُخرجت المتوسطات والانحرافات والنسب المئوية، ونسب الخطأ/الصعوبة للأبعاد الأربعة ولكلية، والنتائج يبينها الجدول (7).

الجدول (7) المتوسطات الحسابية والنسب المئوية ومستويات الصعوبة في التطبيق القبلي للاختبار التشخيصي (ن = 41)

البُعد	الأبعاد المفاهيمية المقاسة	المتوسط	الانحراف	التمكن%	الصعوبة%	تقدير الصعوبة
1	بنية العضيات الطاقية وخصائص أغشيتها	2.12	0.81	%42.4	%57.6	صعوبات شديدة
2	التفاعلات ونقل الإلكترون والأسموزية الكيميائية	2.58	0.97	%36.9	%63.1	
3	مسارات حلقة كالفن والتكيفات البديلة (C4)، و(CAM)	2.41	0.89	%40.2	%59.8	صعوبات شديدة

4	مسارات التنفس الخلوي وعمليات التخمر	2.63	0.94	%43.8	%56.2	
	الدرجة الكلية للاختبار التشخيصي	9.74	2.61	%40.6	%59.4	صعوبات شديدة

المرجع: إعداد الباحثة استنادًا إلى مخرجات برنامج (SPSS v.28) لبيانات التطبيق القبلي (1447هـ).

تُظهر نتائج الجدول (7) أن مستوى التمكن الكلي بلغ (40.6%)، مقابل نسبة صعوبة بلغت (59.4%)، بما يكشف عن فجوة مفاهيمية تستدعي التدخل التعليمي. وتفاوتت الصعوبات بين الأبعاد؛ إذ سجلت التفاعلات ونقل الإلكترون والأسموزية الكيميائية أعلى نسبة (63.1%)، تلتها مسارات حلقة كالفن والتكيفات البديلة (59.8%)، ثم بنية العضيات الطاقية وأغشيتها (57.6%)، وأخيرًا مسارات التنفس الخلوي والتخمر (56.2%).

ومفاهيميًا كشفت النتائج عن صعوبات في فهم التنظيم البنيوي للثايلاكويدات والأعراف الميتوكوندرية، وربط خصائص الأغشية بوظائفها. كما برز ضعف في تتبع انتقال الإلكترونات بين النظامين الضوئيين، وفهم شطر الماء وتدرج البروتونات وتدفقها عبر إنزيم تصنيع (ATP). وفي مسارات حلقة كالفن، تمثلت الصعوبات في فهم دور إنزيم روبيسكو في تثبيت الكربون، وموازنة جزيئات (G3P) وتجديد المركب المستقبل للكربون، إلى جانب التمييز بين تكيفات نباتات (C4) و(CAM). أما في التنفس الخلوي، فظهرت تصورات غير دقيقة حول الناتج الصافي للتحلل السكري، ومصير البيروفات، ومراحل دورة كربس وسلسلة نقل الإلكترون، والتمييز بين نواتج التنفس الهوائي والتخمر اللبني والكحولي.

وتتسق هذه النتائج مع ما أوردته دراستا (Azhari et al., 2022؛ Purbowati & Dewi, 2024) بشأن صعوبة تعلم مفاهيم الأيض الخلوي، ومع نتائج (كطفان، 2022؛ عبد الوهاب، 2022) حول التصورات البديلة المرتبطة بوظائف العضيات وتحولات الطاقة لدى طلبة المرحلة الثانوية. ويؤكد هذا التقارب أهمية معالجة الصعوبات المشخّصة، ويوفر مسوغًا لاختبار فاعلية الواقع المعزز تجريبيًا، دون افتراض أثره قبل قياس نتائج التدخل.

4-2-نتيجة الإجابة عن السؤال الثاني: "كيف يُبنى برنامج تدخلي قائم على تقنية الواقع المعزز لمعالجة صعوبات تعلم مادة الأحياء المستهدفة في نظام المسارات؟"

وللإجابة عن هذا السؤال، صممت الباحثة برنامجًا تدخليًا تدريسيًا يعتمد على الواقع المعزز-كما سبق تفصيله في المنهجية-وتم التدريس في أربعة أسابيع بواقع (8) حصص، ويوضح الجدول (8) تفصيلات تنفيذ البرنامج:

الجدول (8) المعالجة والأنشطة التدريسية المنفذة بالواقع المعزز خلال دورة التدخل الإجرائي

الأسبوع	الحصة/ الموضوع	المفاهيم والصعوبات	البرمجية المستخدمة	النشاط الصفي	مؤشر زوال الصعوبة
1	الحصة(1): بنية البلاستيدة والميتوكندريا	صعوبة التخيل الفراغي لأغشية الثايلاكويد وأعراف الميتوكندريون	نموذج البلاستيدة والميتوكندريا ثلاثي الأبعاد عبر (Merge Cube)	تدوير المكعب باليد، وتكبير الغشاء الداخلي وفحص الحيزين الغشائي والحشوة	رسم مخطط تركيبي دقيق للعضيتين ومقارنة مساحة السطح
1	الحصة(2): التفاعلات الضوئية ونقل الإلكترون	عجز تتبع انشطار الماء وتعويض إلكترونات النظامين الضوئيين (1، 2)	تطبيق تفاعلي معزز لسلسلة نقل الإلكترون الضوئية	تحريك مسار فوتونات الضوء افتراضيًا وملاحظة تحرر الأكسجين وصعود الإلكترون	تتبع مسار الإلكترونات شفهيًا من الماء إلى تكوين مركب (NADPH)
2	الحصة(3): الأسموزية الكيميائية وتوليد الطاقة	صعوبة استيعاب تدرج تركيز (H^+)، وآلية عمل إنزيم تصنيع (ATP)	مجسم ثلاثي الأبعاد لغشاء الثايلاكويد ومضخة البروتونات	فحص تدفق البروتونات عبر الإنزيم وملاحظة ارتباط الفوسفات بجزيء (ADP)	تفسير توليد (ATP) كطاقة حركية ناتجة عن التدرج الكهروكيميائي
2	الحصة(4): حلقة كالفن وتثبيت الكربون	خلط خطوات التثبيت والاختزال ودور إنزيم روبيسكو وإنتاج سكر	نموذج حركي معزز لدورة كالفن مع بطاقات تفاعلية	تفكيك مسار ذرات الكربون ومطابقة جزيئات (3-PGA)، وتحولها إلى	إتقان الحساب الذري للكربون المتبقي والمكون لسكر

الأسبوع	الحصة/ الموضوع	المفاهيم والصعوبات	البرمجية المستخدمة	النشاط الصفي	مؤشر زوال الصعوبة
		الجلوكوز		$(G3P)$	الجلوكوز
3	الحصة(5): مسارات التكيف البديلة (C4، CAM)	صعوبة التمييز بين المسارات البديلة للنباتات المقاومة للجفاف والحرارة	محاكاة تشريحية معززة لثغوروخلايا نباتات الذرة والصبار	مقارنة فتح وغلق الثغور زمنيًا وفحص انتقال الأحماض رباعية الكربون	تحليل الفروق الوظيفية والتركيبية بين نباتات (C_3)، و(C_4)، و(CAM)
3	الحصة(6): التحلل السكري وتفاعل التحول	خلط المواد المتفاعلة بالنواتج وتفسير استهلاك وإنتاج جزيئات (ATP)	بطاقة واقع معزز تفاعلية لانشطار الجلوكوز في السيتوبلازم	تحريك جزيء الجلوكوز وإضافة مجموعتي الفوسفات وتحويله إلى جزيئ بيروفيت	تفسير سبب كون الحصيلة الصافية جزيئين فقط من (ATP)، و(NADH)
4	الحصة(7): دورة كربس في مصفوفة الميتوكندريا	صعوبة تتبع دورات أكسدة البيروفيت وتكوين الستريك وإعادة بناء المركب الرباعي	نموذج تفاعلي لمصفوفة الميتوكندريون وأنزيمات الأكسدة	تتبع دورتي كربس لكل جزيء سكر وملاحظة خروج جزيئات (CO_2)، والنواقل	حصر النواتج النهائية لدورة كربس من (ATP)، و(NADH)، و$(FADH_2)$
4	الحصة(8): سلسلة نقل الإلكترون والتخمر	صعوبة حساب طاقة التنفس الهوائي والخلط بين التخمر اللبني والكحولي	محاكاة معززة لسلسلة الميتوكندريا وتفاعلات التخمر السيتوبلازمي	مقارنة مصير الإلكترونات بوجود الأكسجين وبغيابه في النسيج العضلي والخميرة	موازنة الحصيلة النهائية (ATP 36-38)، والتمييز بين حمض اللاكتيك والإيثانول

المرجع: إعداد الباحثة استنادًا إلى مخرجات برنامج (SPSS v.28) لبيانات القياسين القبلي والبعدي (1447هـ).

يُوضح الجدول (8) أن البرنامج تدرج من استكشاف البنية ثلاثية الأبعاد للبلاستيدة الخضراء والميتوكندريا، إلى محاكاة التفاعلات الضوئية ونقل الإلكترونات والأسموزية الكيميائية، ثم تتبع خطوات حلقة كالفن ومسارات التكيف النباتي (C4 وCAM). وانتقل بعد ذلك إلى تمثيل مراحل التنفس الخلوي، بدءًا من التحلل السكري ودورة كربس، وانتهاءً بسلسلة نقل الإلكترون والتخمر. وربطت الأنشطة كل صعوبة بممارسة تفاعلية ومؤشر أدائي لقياس مدى تجاوزها، مثل رسم العضيات، وتتبع مسارات الإلكترونات والكربون، وتفسير إنتاج (ATP)، والتمييز بين نواتج التنفس والتخمر.

وروعي في تصميم البرنامج خفض العبء المعرفي بتطبيق مبدأي التجاور المكاني والزمني، من خلال وضع التسميات بجوار العناصر المتحركة ومزامنة التوجيه الصوتي مع عرض التفاعلات (محمد، 2020). كما أتاح تحريك النماذج وفحصها من زوايا متعددة توظيف التعلم المتجسد، وتحويل المفاهيم المجردة إلى أنشطة استقصائية بصرية تفاعلية مدعومة بالتغذية الراجعة (Cai et al., 2026). ويتسق هذا التصميم مع ما أكدته دراستا (Natasha et al., 2026؛ Fitriyana et al., 2026) بضرورة مواءمة النماذج المعززة مع البنية المفاهيمية للمقرر، ومع نتائج (Arici & Yilmaz, 2023؛ Baldiviano et al., 2024) حول إتاحة التحكم الذاتي في الأنشطة التفاعلية. كما يتفق مع (كريري، 2025؛ نوارة وآخرين، 2025) في أهمية تمثيل المسارات الأيضية بصريًا وتسلسل خطواتها لدعم الفهم والتحصيل.

4-3-نتيجة الإجابة عن السؤال الثالث: "ما أثر التدريس باستخدام الواقع المعزز في معالجة صعوبات تعلم مادة الأحياء (الفروق بين القياسين القبلي والبعدي للاختبار التشخيصي) لدى طالبات عينة البحث؟"

وللإجابة تم التحقق من اعتدالية التوزيع باستخدام اختبار شابيرو–ويلك (Shapiro–Wilk)، فبلغت قيمته (0.962) في القبلي و(0.954) للبعدي، عند ($p>0.05$). ثم استُخدم اختبار «ت» للعينات المترابطة (Paired-Samples t-test)، وحُسب حجم الأثر ونسبة الكسب المعدل لبلاك، ويوضح الجدول (9) النتائج.

الجدول (9) الفروق بين القياسين القبلي والبعدي وحجم الأثر (ن = 41، درجات الحرية = 40)

أبعاد الصعوبات المفاهيمية	المتوسط القبلي	المتوسط البعدي	الفرق	قيمة(t)	الدلالة(p)	(d)	إيتا (η^2)
بنية العضيات الطاقية وخصائص أغشيتها	2.12	4.34	2.22	14.82	0.000	3.08	0.846
التفاعلات الضوئية ونقل الإلكترون	2.58	5.95	3.37	18.45	0.000	3.84	0.895
حلقة كالفن والتكيفات البديلة C4) و(CAM	2.41	5.17	2.76	16.12	0.000	3.37	0.867
مسارات التنفس الخلوي وعمليات التخمر	2.63	5.24	2.61	15.36	0.000	3.16	0.855
الدرجة الكلية للاختبار التشخيصي	9.74	20.70	10.96	24.31	0.000	4.85	0.937

المرجع: إعداد الباحثة استنادًا إلى مخرجات برنامج (SPSS v.28) لبيانات القياسين القبلي والبعدي (1447هـ).

تُظهر نتائج الجدول (9) فروقًا دالة إحصائيًا بين القياسين القبلي والبعدي لصالح البعدي في جميع الأبعاد والدرجة الكلية ($t=24.31$, $p<0.001$)؛ حيث ارتفع المتوسط الكلي من (9.74-20.70) من أصل 24 درجة، أي من نسبة تمكن (40.6%) إلى (86.3%)، متجاوزًا محك التمكن المحدد بالدراسة (80%)، وسجل بُعد التفاعلات الضوئية ونقل الإلكترون أعلى مقدار تحسن بفارق (3.37) درجات ونسبة تمكن بعدية (85.0%)؛ مما يعكس تطور استيعاب الطالبات للمفاهيم المتتابعة والتدرج البروتوني عبر التمثيل البصري. وفي بُعد حلقة كالفن والتكيفات البديلة، ارتفع التمكن البعدي إلى (86.2%) بفارق (2.76) درجة؛ متضمنًا مفاهيم تثبيت الكربون والتكُّيفات (C_4 و CAM). كما حقق بُعد التنفس الخلوي والتخمر تمكنًا بعديًا قدره (87.3%) بفارق (2.61) درجة في التمييز بين مراحل التنفس ونواتجه. وأخيرًا سجل بُعد بنية العضيات تمكنًا بعديًا بلغت نسبته (86.8%) بفارق (2.22) درجة، مستعرضًا تحسنًا في فهم البنية المجهرية للعضيات وعلاقتها بوظائفها.

ولحساب نسبة الكسب، طبقت الباحثة معادلة الكسب المعدل لبلاك، وكانت النتيجة الحسابية كالآتي:

$$\text{نسبة الكسب لبلاك} = \frac{20.70-9.74}{24-9.74}+\frac{20.70-9.74}{24}=\frac{10.96}{14.26}+\frac{10.96}{24}=0.7686+0.4567=1.225$$

وبذلك بلغت قيمة الكسب المعدل (1.225)، وهي أعلى من المحك (1.20) الذي اعتمدته الباحثة. وتشير إلى فاعلية تعليمية مرتفعة للتدخل؛ مع ضرورة عدم الجزم التام وعدم اعتبارها بديلًا عن تحليل الفروق وحجم الأثر.

وتتسق هذه النتيجة، مع دراسات (العصيمي، 2022؛ Cheong et al., 2022؛ كريري 2025؛ García-Madrid, Fernández-Herrero و2026) بشأن إمكانات الواقع المعزز والتمثيلات البصرية في دعم تعلم المفاهيم العلمية. ويمكن تفسير التحسن في ضوء ما تتيحه التمثيلات المكانية والتفاعلية من فرص لتوضيح العمليات المجهرية والعلاقات بين مكوناتها؛ إلا أن نسبة التحسن إلى هذه الآليات تحديدًا تظل تفسيرًا محتملًا ما لم تُقَس بصورة مباشرة.

4-4-نتيجة الإجابة عن السؤال الرابع: "ما مستوى الاندماج الصفي لدى الطالبات، وما طبيعة الملاحظات والتأملات التي رصدتها المعلمة الباحثة خلال دورة التدخل الإجرائي؟"

وللإجابة؛ حللت الباحثة بيانات بطاقة ملاحظة الاندماج الصفي المطبقة على الطالبات (N=41) عبر ثلاث فترات رصد متتابعة (الحصص الأولى: 1-2، الحصص المتوسطة: 3-5، الحصص الختامية: 6-8)؛ لحساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لكل مؤشر سلوكي على مقياس تقدير ثلاثي (دائمًا = 3، أحيانًا = 2، نادرًا = 1). كما حللت نوعيًا مدخلات سجل التأمل الذاتي اليومي للمعلمة الباحثة؛ لتتبع التحولات السلوكية والإدراكية الصفيّة. ويوضح الجدول الآتي مسار تطور مؤشرات الاندماج الصفي للطالبات خلال مراحل التدخل الإجرائي:

الجدول (10) تطور المتوسطات الحسابية لمؤشرات الاندماج الصفي لدى الطالبات عبر مراحل التدخل (ن = 41)

م	مؤشرات السلوك الإجرائي والملاحظة الصفية المباشرة وفقا للحصص	الأولى (2-1)	المتوسطة (5-3)	الختامية (8-6)
1	إبداء الانتباه والتركيز البصري المستمر عند تتبع النماذج ثلاثية الأبعاد	1.83	2.54	2.93
2	المبادرة بتدوير المجسم الخلوي وتكبير الغشاء للتحقق الذاتي من التراكيب	1.46	2.39	2.88
3	المشاركة في نقاشات تفسير مسارات حركة الإلكترونات والأيونات مع الزميلات	1.39	2.22	2.80
4	انخفاض التردد والارتباك الذهني عند حل التدريبات وموازنة ذرات الكربون	1.27	2.15	2.76
5	طلب إعادة تشغيل مسارات التفاعلات المعززة ذاتيًا لتثبيت المفهوم الصعب	1.51	2.41	2.85
	المتوسط العام لمستوى الاندماج الصفي	1.49 (منخفض)	2.34 (متوسط)	2.84(مرتفع جدًا)

المرجع: إعداد الباحثة استنادًا إلى مخرجات برنامج (SPSS v.28) لبيانات بطاقة الملاحظة الصفية (1447هـ).

تظهر بيانات بطاقة الملاحظة في الجدول (10) تطورًا تصاعديًا منتظمًا في الاندماج الصفي العام؛ إذ ارتقى المتوسط من (1.49) في الحصص الأولى إلى (2.34)، ليصل إلى (2.84 من 3) في الحصص الختامية. وسجل مؤشرا التركيز البصري وتدوير المجسمات أعلى المتوسطات (2.93 و2.88)، بينما ارتفع مؤشر حل التدريبات المعقدة من (1.27) إلى (2.76)، دالاً على زوال الصعوبات وارتفاع الكفاءة الذاتية. وأيدت شواهد سجل التأمل الذاتي هذه المؤشرات؛ فعقب ارتباك مبدئي طفيف في الحصتين الأولى والثانية، تحولت الطالبات نحو استكشاف حركي وتفاعل تعاوني عميق مع تفاعل جزيئات مسارات الطاقة، كما وثقت المعلمة تحولًا ذهنيًا عندما صرحت إحدى الطالبات: «حركة الهيدروجين تشبه تدفق الشلال المحرك للتوربين!». وتزامن ذلك مع انخفاض زمن إنجاز الأنشطة من (22) إلى (9) دقائق واختفاء مظاهر القلق، متفقة مع دراسة (Cai et al., 2026) في خفض المعالجة المعرفية عبر التعلم المتجسد، ومع دراستي (Baldiviano et al., 2024; Çiloğlu & Üstün, 2023) في تعزيز ثقة المتعلمات ومواقفهن الإيجابية.

5-مناقشة النتائج

بينت نتائج الدراسة ارتفاع متوسط التحصيل الكلي للطالبات من (9.74) بنسبة تمكن (40.6%) إلى (20.70) بنسبة تمكن بلغت (86.3%) بقيمة (t=24.31) وحجم أثر مرتفع جدًا (d=4.85) ونسبة كسب (1.225)——على الكفاءة العالية لبيئة التعلم القائمة على الواقع المعزز في تجسير الفجوة المفاهيمية ومعالجة صعوبات تعلم مفاهيم الطاقة والخلية بمادة الأحياء. وتتفق هذه النتيجة دلاليًا وميدانيًا مع ما توصلت إليه الدراسات التجريبية والشبه تجريبية السابقة التي أثبتت الأثر البالغ للتقنيات المعززة في رفع التحصيل وتصحيح التصورات البديلة، مثل دراسات (كريري، 2025؛ ابن دعجم وآخرون، 2025؛ نوارة وآخرون، 2025). كما تتفق هذه المؤشرات التحصيلية المرتفعة مع نتائج الدراسات الدولية في تجاوز التجريد المفاهيمي البيولوجي، كدراسات (Stanič & Špernjak, 2025؛ Setiawan et al., 2025؛ Barokah et al., 2026؛ Uddin, 2026؛ Zahra & Suhendi, 2026؛ Cai et al., 2026؛ García-Madrid & Fernández-Herrero, 2026)، ويعزى هذا التفوق إلى قدرة النماذج الرقمية ثلاثية الأبعاد على تحويل العمليات المجهرية غير المرئية إلى خبرات بصرية ملموسة تعزز عمق الفهم وتثبت المكتسبات المعرفية في الذاكرة بعيدة المدى.

وفيما يتعلق بالجانب السلوكي والتفاعلي، فقد أفرزت التطبيقات الميدانية تحسنًا نوعيًا ملحوظًا في الاندماج الصفي وانخفاضًا في زمن حل المهام لدى الطالبات، وهو ما ينسجم مع الطروحات التي أكدت دور الوسائط التفاعلية في جذب الانتباه وخفض العبء المعرفي الدخيل أثناء الممارسة الصفية، ويتفق ذلك مع نتائج دراسة Alghamdi &

Alshahrani (2025)، ودراسات (أبو ثنتين، 2022؛ السناني وآل عبد السلام، 2023؛ عبد المنعم، 2024؛). وعلى الصعيد الدولي، تتسق هذه المعطيات مع ما رصدته دراستا (Mercier et al., 2025a؛ Sattar et al., 2025) من ارتفاع مستويات الاستمتاع والدافعية والانخراط الفعال في بيئات التعلم المعززة. كما تتكامل مع نتائج دراستي (Omurtak & Zeybek, 2022؛ Baldiviano et al., 2024) في تقليص الأخطاء المفاهيمية وسرعة إنجاز المهام التعليمية المعقدة، وتتقاطع جزئيًا مع محددات دراستي (Çiloğlu & Üstün, 2023؛ Cheong et al., 2022) حول تعزيز الكفاءة الذاتية وخفض الجهد الإدراكي للمتعلمين عبر النماذج التفاعلية الموجهة.

وتكتسب هذه الدلالات أبعادًا استراتيجية عميقة عند إسقاطها على الواقع التربوي في المملكة العربية السعودية، حيث تتسق مخرجات الدراسة بشكل مباشر مع متطلبات التطوير المستهدف في نظام المسارات للمرحلة الثانوية وتطلعات رؤية السعودية 2030 نحو بناء مجتمع معرفي رقمي متطور. وتتطابق هذه الاستدلالات مع التوجهات التي طرحتها دراستا (Alhazani, 2025؛ Muneer et al., 2026) حول ضرورة تبني الابتكارات التقنية والذكية في البيئات التعليمية المحلية، والاستفادة من التصورات البديلة في دراستي (عبد الوهاب، 2022؛ Xian et al., 2026).

كما تعزز هذه النتائج توصيات الاهتمام بالتصميم المنهجي الفعّال كما في دراسة (Wibowo et al., 2026)، وتطوير الوحدات الإلكترونية وفق نماذج التصميم المحوسب بدراسة (Adi et al., 2026)، وتفعيل السياسات الاستراتيجية لتجاوز البنى التحتية المحدودة وفقًا لدراسة (Bantun et al., 2026)، مع الأخذ بعين الاعتبار معايير سهولة الاستخدام وإرشاد المتعلمين بحسب ما أوصت به دراستا (Volioti et al., 2026؛ Maulion & Roleda, 2025)، ومراعاة التوازن بين خصائص المتعلمين وميزات الغمر الرقمي وفقًا لدراسة (Wang et al., 2026).

6-الاستنتاجات

بناءً على النتائج الميدانية لهذه الدراسة وما كشفته نتائج الدراسات السابقة يمكننا استنتاج الآتي:

- كشف القياس القبلي عن قصور مفاهيمي بنسبة تمكن (40.6%) في مفاهيم الطاقة الخلوية، مما استدعى تدخلًا بصريًا تفاعليًا لتصويب التصورات البديلة.
- حقق التدريس بالواقع المعزز قفزة كبيرة برفع نسبة التمكن البعدي إلى (86.3%) بأثر كبير جدًا (4.85) في الفهم.
- أدى دمج الوسائط التفاعلية والتعلم المتجسد إلى تحسين الاندماج الصفي وخفض زمن إنجاز المهام التعليمية.
- ساهم التقسيم المرحلي للمسارات مصحوبًا بتوجيهات بصرية في تسهيل المعرفة ومنع تشتت الطالبات بصريًا.
- أتاح تدوير النماذج ثلاثية الأبعاد تنمية مهارات التفكير المنظومي والتوليدي بدل الاكتفاء بالحفظ والاسترجاع.
- مكنت ملاحظات المعلمة وتأملها من تعديل الممارسة التدريسية باستمرار وتكييف الأنشطة وفق موارد المدرسة.
- أثبت البحث الإجرائي قيمة عالية في تشخيص الصعوبات وتطوير التدريس في نظام المسارات بما يخدم رؤية 2030.
- تستوجب طبيعة التصميم أحادي المجموعة إجراء دراسات لاحقة بعينات أوسع ومجموعات مقارنة للتثبت من استدامة الأثر وقابليته للتعميم.

7-التوصيات والمقترحات

1. اعتماد التدريس بالواقع المعزز في مقرر أحياء (2-1) بنظام المسارات لتدريس الطاقة والأغشية الحيوية.
2. توفير بطاقات تعقب وأدلة إجرائية لتطبيقات الواقع المعزز) مثل (Merge Cube ضمن مصادر التعلم المعتمدة.
3. عقد ورش تدريبية للمعلمات على تصميم وإدارة الأنشطة الصفية المعززة وفق مبادئ خفض العبء المعرفي.

4. تضمين مقررات الأحياء رموز استجابة سريعة (QR Codes) لتحويل الأشكال الساكنة إلى نماذج تفاعلية لدورة كربس وحلقة كالفن.
5. الانتقال من الشرح الإلقائي إلى الاستقصاء البصري بما يتيح للطالبات التحكم في سرعة تدفق التفاعلات الحيوية.
6. تفعيل التقويم التشخيصي والملاحظة لحصر التصورات البديلة قبل تدريس المسارات البيوكيميائية المركبة.
7. توظيف الأجهزة اللوحية كأدوات استكشاف علمي تفاعلي بدلًا من قصرها على قراءة الكتب بصيغة.(PDF)
8. تشجيع المعلمات لتبني منهجية البحث الإجرائي وتدوين اليوميات كأداة للتقويم الذاتي وتطوير الممارسة.
9. تزويد مختبرات المدارس بمجسمات مدعمة بنقاط تعقب رقمية لاستعراض المكونات الداخلية للعضيات.
10. اعتماد المشرفين التربويين لمؤشرات استخدام الوسائط التفاعلية ضمن معايير تقويم الأداء لمعلمي العلوم.
11. ونظرا لوجود فجوة بحثية تقترح الباحثة إجراء المزيد من الدراسات؛ وخصوصا في العناوين الآتية:

- فاعلية الواقع المعزز في تنمية التفكير البصري والتحصيل بمادة الأحياء لطلبة الثانوية ذوي صعوبات التعلم.
- أثر بيئة تعليمية تدمج الواقع المعزز بالتعلم المنظم ذاتيًا في تصويب التصورات البديلة لمفاهيم الهندسة الوراثية.
- دراسة أثر توظيف تقنيات الواقع الممتد (XR) في معالجة القلق المعرفي وتنمية الاستقصاء البيولوجي.
- فاعلية بيئة تعلم قائمة على التكامل بين الذكاء الاصطناعي والواقع المعزز في تنمية الثقافة العلمية.

قائمة المراجع

أولًا-المراجع بالعربية:

1. ابن دعجم، ريان سعد.، الحافظي، فهد سليم.، والحلفاوي، وليد سالم. (2025). فاعلية فصل مقلوب مدعم بالواقع المعزز في تحسين بقاء أثر التعلم لدى طلاب صعوبات تعلم القراءة بالمرحلة المتوسطة. *مجلة الفنون والأدب وعلوم الإنسانيات والاجتماعات*، (117)، 504–527. https://doi.org/10.33193/JALHSS.117.2025.1361
2. أبو ثنتين، نواف رفاع مفرس. (2022). أثر تدريس العلوم بتقنية الواقع المعزز في تنمية الدافعية للتعلم والتحصيل الدراسي لدى طلاب الصف الثاني بالمرحلة المتوسطة بمحافظة عفيف. *مجلة الجامعة الإسلامية للدراسات التربوية والنفسية*، *30*(3)، 520–549. https://doi.org/10.33976/IUGJEPS.30.3/2022/21
3. أحمد، عصام محمد. (2020). فاعلية استخدام تكنولوجيا الواقع المعزز لعلاج صعوبات تعلم الكيمياء وتنمية الدافعية للإنجاز لدى طلاب المرحلة الثانوية العامة. *المجلة المصرية للتربية العلمية*، *23*(2)، 133–246. https://doi.org/10.21608/mktm.2020.113513
4. الإدارة العامة للتعليم بمنطقة عسير. (2025). *تعليم عسير بالأرقام*. وزارة التعليم. https://sites.moe.gov.sa/Aseer/
5. الدسوقي، أحمد محمد.، العفني، إيناس أحمد.، عبدالكريم، منى عيسى.، وعوض، أماني محمد. (2020). فاعلية استخدام تقنية الواقع المعزز في تنمية مهارات التفكير البصري لدى طلاب المرحلة الثانوية في مادة الأحياء واتجاهاتهم نحوها. *مجلة كلية التربية النوعية*، (11)، 349–368. https://doi.org/10.21608/PSSRJ.2020.142051
6. رشوان، رحاب أحمد.، وأمين، أمنية محمود. (2022). تطوير برنامج قائم على الواقع المعزز لتنمية العمليات المعرفية والدافعية العقلية وتصورات التعلم لدى تلاميذ المرحلة الابتدائية ذوي صعوبات التعلم. *مجلة جامعة الفيوم للعلوم التربوية والنفسية*، *16*(2)، 570–678. https://doi.org/10.21608/jfust.2022.123812.1598
7. السناني، محمد خليفة.، وآل عبدالسلام، ولاء سعيد. (2023). فاعلية توظيف تقنية الواقع المعزز في تدريس العلوم على تنمية التحصيل الدراسي والتفكير البصري لطلبة الصف الرابع الأساسي. *المجلة المصرية للتربية العلمية*، *26*(3)، 42–72. https://search.mandumah.com/Record/1403333
8. عبد المنعم، سهر عاطف عبد القادر. (2024). فاعلية كتاب إلكتروني بتقنية الواقع المعزز لتنمية مهارات الإدراك البصري والسمعي لدى أطفال الروضة المعرضين لخطر صعوبات التعلم. *المجلة العلمية لكلية التربية للطفولة المبكرة – جامعة المنصورة*، *11*(1)، 482–611. https://doi.org/10.21608/maml.2024.417651
9. عبد الوهاب، إيمان عبد المحسن. (2022). دمج تكنولوجيا الواقع المعزز في نموذج التعلم التوليدي لتصويب التصورات البديلة المرتبطة بعلم الخلية لدى طلاب الصف الأول الثانوي. *مجلة كلية التربية*، *33*(2/130)، 396–448. https://search.shamaa.org/FullRecord?ID=343975

10. العصيمي، حميد هلال. (2022). أثر استخدام الواقع المعزز في تدريس العلوم على التحصيل وبقاء أثر التعلم لدى طلاب الصف الأول المتوسط. *رسالة الخليج العربي*، *43*(166)، 79–99. https://doi.org/10.35270/0011-043-166-004
11. كربري، عائشة يحيى. (2025). فاعلية استخدام تقنية الواقع المعزز في تنمية مهارات التفكير المنظومي والدافعية للإنجاز بمادة الأحياء لطالبات الثاني الثانوي. *مجلة جامعة الملك عبد العزيز: العلوم التربوية والنفسية*، *4*(4)، 547–581. https://doi.org/10.64064/1658-8924.1161
12. كطفان، ولاء داخل. (2022). أثر استخدام تقنية الواقع المعزز في تعديل التصورات البديلة لبعض المفاهيم العلمية لدى طالبات الصف الرابع العلمي في مادة علم الأحياء. *مجلة القادسية في الآداب والعلوم التربوية*، *22*(2/3)، 341–356. https://search.mandumah.com/Record/1337332
13. محمد، أحمد عمر أحمد. (2020). نموذج تدريسي مقترح في الأحياء يوظّف الواقع المعزّز في ضوء مبادئ نظرية ماير المعرفية وفاعليته في تنمية مهارات التفكير البصري والميل نحو الأحياء لدى طلاب المرحلة الثانوية. *مجلة كلية التربية في العلوم التربوية*، *44*(3)، 273–374. https://search.shamaa.org/FullRecord?ID=300809
14. مسلم، حمودة أحمد حسن. (2022). اتجاهات معلمي الأحياء بالمرحلة الثانوية نحو استخدام الواقعين الافتراضي والمعزز في تدريس المادة ومعوقات تطبيقهما من وجهة نظرهم. *المجلة المصرية للتربية العلمية*، *25*(4)، 1–34. https://doi.org/10.21608/MKTM.2022.264507
15. نوارة، كوكب محمد.، هاني، مرفت حامد.، ومسعود، سهير حمدي. (2025). فاعلية بيئة تعلم قائمة على الواقع المعزز في تدريس الأحياء لتنمية التحصيل ومهارات التفكير التوليدي لدى طلاب المرحلة الثانوية. *مجلة كلية التربية*، *40*(95، ج 2)، 201–234. https://search.emarefa.net/ar/detail/BIM-1746729

ثانيًا-المراجع بالإنجليزية/References in English :

1. Abdel Moneim, S. A. A. (2024). The effectiveness of an e-book using augmented reality technology to develop visual and auditory perception skills in kindergarten children at risk of learning disabilities (In Arabic). *Scientific Journal of the Faculty of Education for Early Childhood – Mansoura University*, *11*(1), 482–611. https://doi.org/10.21608/maml.2024.417651
2. Abu Thintein, N. R. M. (2022). The effect of teaching science using augmented reality technology on developing learning motivation and academic achievement among second-year middle school students in Afif Governorate (In Arabic). *Journal of the Islamic University for Educational and Psychological Studies*, *30*(3), 520–549. https://doi.org/10.33976/IUGJEPS.30.3/2022/21
3. Adi, N. N. S., Oka, D. N., Wati, N. M. S., Parwata, I. G. L. A., Ratnaya, I. G., & Budhyani, I. D. A. M. (2026). Development of an augmented reality-based biology e-module using a deep learning approach to improve high school students' scientific literacy. At-Ta'lim: *Jurnal Pendidikan, 12*(2), 203–210. https://doi.org/10.55210/attalim.v12i2.2497
4. Ahmed, E. M. (2020). The effectiveness of using augmented reality technology to treat chemistry learning difficulties and develop achievement motivation among general secondary school students (In Arabic). *Egyptian Journal of Science Education*, *23*(2), 133–246. https://doi.org/10.21608/mktm.2020.113513
5. Al-Desouki, A. M., Al-Afani, I. A., Abdulkarim, M. I., & Awad, A. M. (2020). The effectiveness of using augmented reality technology in developing visual thinking skills and attitudes toward biology among secondary school students, (In Arabic). *Journal of the Faculty of Specific Education*, (11), 349–368. https://doi.org/10.21608/PSSRJ.2020.142051
6. Alghamdi, J., & Alshahrani, H. (2025). Exploring the effect of augmented reality in enhancing motivation and mathematics performance for children with learning disabilities. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *21*(12), Article em2745. https://doi.org/10.29333/ejmste/17489
7. Alhazani, H. (2025). *Accomplishing Education Vision 2030: An ICT-based Constructivist Approach to Enhance Content Knowledge and Learning Attitudes of Saudi Arabian High School Students* [Doctoral dissertation, University of Nevada, Reno]. ProQuest Dissertations Publishing. https://www.proquest.com/openview/10f4f2beafbc38665fa4bf7f3fddf1cf/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y
8. Al-Osaimi, H. H. (2022). The effect of using augmented reality in teaching science on achievement and learning retention among first-year middle school students (In Arabic). *Arabian Gulf Magazine for Educational Research*, *43*(166), 79–99. https://doi.org/10.35270/0011-043-166-004

9. Alqarni, T. (2021). Comparison of augmented reality and conventional teaching on special needs students' attitudes towards science and their learning outcomes. *Journal of Baltic Science Education*, *20*(4), 558–572. https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.558
10. Anugrah, P., & Fauziah, N. (2024). Identifikasi kesulitan belajar biologi siswa SMA di Kabupaten Kampar. *Bio-Pedagogi: Jurnal Pembelajaran Biologi*, *13*(2), 93–100. https://doi.org/10.20961/bio-pedagogi.v13i2.80604
11. Arici, F. (2024). Investigating the effectiveness of augmented reality technology in science education in terms of environmental literacy, self-regulation, and motivation to learn science. *International Journal of Human–Computer Interaction*, *40*(24), 8476–8496. https://doi.org/10.1080/10447318.2024.2310921
12. Arici, F., & Yilmaz, M. (2023). An examination of the effectiveness of problem-based learning method supported by augmented reality in science education. *Journal of Computer Assisted Learning*, *39*(2), 446–476. https://doi.org/10.1111/jcal.12752
13. Azhari, S., Rizaldi, D. R., Fahrurrozi, M., Nilwan, & Ahyani, N. (2022). Factors causing students' learning difficulties in Biology subject. *International Journal on Education Insight*, *3*(2), 59–68. https://doi.org/10.12928/ijei.v3i2.6861
14. Baldiviano, J. G. A., Delgado, J. A. P., & Mora, J. O. (2024). BioApp: A mobile augmented reality application to enhance junior high school students' academic performance in the field of ecological relationship in biology. *Proceeding of the IC-ITECHS: International Conference on Information Technology and Security*, *5*(1), 236–244. https://doi.org/10.32664/ic-itechs.v5i1.1708
15. Bantun, S., Kuswandi, D., Ulfa, S., Praherdhiono, H., Sari, J., & Degeng, M. (2026). Utilization of augmented reality technology in overcoming educational issues in Indonesia. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 15*(4), 3291–3304. https://doi.org/10.11591/eei.v15i4.10156
16. Cai, S., Li, H., & Wu, S. (2026). The impact of AR tools on collaborative inquiry in secondary biology education: An embodied cognition perspective. *Research in Science & Technological Education*. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/02635143.2026.2644978
17. Cheong, C. W. L., Guan, X., & Hu, X. (2022). Augmented reality (AR) for biology learning: A quasi-experiment study with high school students. In Y. Wang, S. Joksimović, M. O. Z. San Pedro, J. D. Way, & J. Whitmer (Eds.), *Social and emotional learning and complex skills assessment* (pp. 167–185). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06333-6_9
18. Çiloğlu, T., & Üstün, A. B. (2023). The effects of mobile AR-based biology learning experience on students' motivation, self-efficacy, and attitudes in online learning. *Journal of Science Education and Technology*, *32*(3), 309–337. https://doi.org/10.1007/s10956-023-10030-7
19. Faria, A., & Lobato Miranda, G. (2024). Augmented reality in natural sciences and biology teaching: Systematic literature review and meta-analysis. *Emerging Science Journal*, *8*(4), 1666–1685. https://doi.org/10.28991/ESJ-2024-08-04-025
20. Fernández-Batanero, J. M., Montenegro-Rueda, M., & Fernández-Cerero, J. (2022). Use of augmented reality for students with educational needs: A systematic review (2016–2021). *Societies*, *12*(2), Article 36. https://doi.org/10.3390/soc12020036
21. Ferrari, E., Herrero Teijón, P., & Ruiz, C. (2024). Unlocking the cosmos: Evaluating the efficacy of augmented reality in secondary education astronomy instruction. *Journal of New Approaches in Educational Research*, *13*(8). https://doi.org/10.1007/s44322-024-00007-8
22. Fitriyana, E., Apriani, F., & Khaerunnisa, N. (2026). Trends in augmented reality integration in biology learning 2020–2025: A literature review. *Indonesian Journal of Applied Science and Technology*, *7*(1), 89–99. https://doi.org/10.67434/ijast.v7i1.2225
23. García-Madrid, N., & Fernández-Herrero, J. (2026). The impact of augmented reality on learning cell biology: A quasi-experimental study in secondary education. *Technology, Pedagogy and Education*, *35*(4), 811–828. https://doi.org/10.1080/1475939X.2025.2570835
24. General Directorate of Education in Aseer Region. (2025). *General Directorate of Education in Aseer Region: Aseer education in numbers*, (In Arabic). Ministry of Education, Kingdom of Saudi Arabia. https://sites.moe.gov.sa/Aseer/
25. Gulboy, E., & Denizli-Gulboy, H. (2025). Evaluating augmented reality to teach science for secondary students with intellectual disability. *The Journal of Special Education*, *59*(1), 3–15. https://doi.org/10.1177/00224669241258225

26. Hwang, J. L., Choo, S., Morano, S., Liang, M., & Kabel, M. (2024). From silos to synergy in STEM education: Promoting interdisciplinary STEM education to enhance the science achievement of students with learning disabilities. *Intervention in School and Clinic*. Advance online publication. https://doi.org/10.1177/09388982241245452
27. Iatraki, G., & Mikropoulos, T. A. (2025). Using immersive augmented reality to teach physics to students with intellectual disabilities. *Journal of Computer Assisted Learning*, *41*(3), Article e70040. https://doi.org/10.1111/jcal.70040
28. Ibáñez, M. B., Uriarte Portillo, A., Zatarain Cabada, R., & Barrón, M. L. (2020). Impact of augmented reality technology on academic achievement and motivation of students from public and private Mexican schools: A case study in a middle-school geometry course. *Computers & Education*, *145*, Article 103734. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103734
29. Ibn Da'jam, R. S., Al-Hafidhi, F. S., & Al-Halfawi, W. S. (2025). The effectiveness of an augmented reality-supported flipped classroom in improving learning retention among middle school students with reading learning disabilities (In Arabic). *Journal of Arts, Literature, Humanities and Social Sciences*, (117), 504–527. https://doi.org/10.33193/JALHSS.117.2025.1361
30. Kariri, A. Y. (2025). The effectiveness of using augmented reality technology in developing systemic thinking skills and achievement motivation in biology for second-year secondary female students (In Arabic). *King Abdulaziz University Journal: Educational and Psychological Sciences*, *4*(4), 547–581. https://doi.org/10.64064/1658-8924.1161
31. Kariri, A. Y. A. (2025). Effectiveness of using augmented reality technology in developing systemic thinking skills and achievement motivation in biology for second-year secondary school female students. *Journal of King Abdulaziz University: Educational and Psychological Sciences, 4*(4), 547–581. https://doi.org/10.64064/1658-8924.1161
32. Kellems, R. O., Eichelberger, C., Cacciatore, G., Jensen, M., Frazier, B., Simons, K., & Zaru, M. (2020). Using video-based instruction via augmented reality to teach mathematics to middle school students with learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, *53*(4), 277–291. https://doi.org/10.1177/0022219420906452
33. Kemmis, S., and McTaggart, R. (2008). P*articipatory ac-tion research: communicative action and the publicsphere*. In: Denzin, N.K. Lincoln, Y.S. (Eds.). Strate-gies of Qualitative Inquiry, Third Edition. Sage. Thousand Oaks, CA, pp. 271-330
34. Khasawneh, M. A. S. (2025). Analysis of the impact of augmented reality tools on learning outcomes for students with special needs in Saudi Arabia. *Educación XX1*, *28*(2). https://doi.org/10.5944/vol28n2a178
35. King-Sears, M. E., & Johnson, T. M. (2020). Universal design for learning chemistry instruction for students with and without learning disabilities. *Remedial and Special Education*, *41*(4), 195–206. https://doi.org/10.1177/0741932519862608
36. Kohnke, S. (2026). The effect of browser-based 360° VR on the science achievement gap between students with and without disabilities. *Journal of Special Education Technology*, *41*(1). https://doi.org/10.1177/01626434251318007
37. Maulion, R. J., & Roleda, L. (2025). Augmented reality in biology: A needs assessment from senior high school students' perspective. *International Journal of Technology in Education*, *8*(3), 745–760. https://doi.org/10.46328/ijte.1168
38. Mercier, J., Ertz, O., & Bocher, E. (2025). "Look at the trees": A verbal nudge to reduce screen time when learning biodiversity with augmented reality. *Computers in Human Behavior Reports, 18*, 100614. https://doi.org/10.1016/j.chbr.2025.100614
39. Mercier, J., Perez, L. L., Audrin, C., Bocher, E., Ertz, O., & Sander, E. (2025). The impact of augmented reality on biodiversity learning: An experimental study. *Computers in Human Behavior Reports, 20*, 100801. https://doi.org/10.1016/j.chbr.2025.100801
40. Mosalam, H. A. H. (2022). High school biology teachers' attitudes toward using virtual and augmented realities in teaching the subject and implementation obstacles from their perspective (In Arabic). *Egyptian Journal of Science Education*, 25(4), 1–34. https://doi.org/10.21608/MKTM.2022.264507
41. Muneer, S., Dastgeer, G., Qureshi, M. I., & Alshammari, A. S. (2026). Students' attitudes toward AI teaching assistants in education: Considering the role of characteristics and perceptions in Ha'il Saudi Arabia. *Acta Psychologica, 262*, 106096. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.106096
42. Natasha, K., Anwar, Y., & Madang, K. (2026). TPACK-based augmented reality learning media for human excretory biology education. *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*. Advance online publication. https://doi.org/10.21009/biosferjpb.58133
43. Omurtak, E., & Zeybek, G. (2022). The effect of augmented reality applications in biology lesson on academic achievement and motivation. *Journal of Education in Science, Environment and Health*, *8*(1), 55–74. https://doi.org/10.21891/jeseh.1059283

44. Panzera-Gonçalves, J., & Oliveira, C. A. (2026). Citossina: A web-based application integrating virtual and augmented realities for inclusive cell biology education. *Anatomical Sciences Education*. Advance online publication. https://doi.org/10.1002/ase.70318
45. Purbowati, D., & Dewi, E. R. (2024). Identification of learning difficulties and factors causing learning difficulties in online lectures on basic biology concepts. *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*, *17*(1), 79–89. https://doi.org/10.21009/biosferjpb.32851
46. Rashwan, R. A., & Amin, O. M. (2022). Developing an augmented reality-based program for developing cognitive processes, mental motivation, and learning perceptions among primary school students with learning disabilities (In Arabic). *Fayoum University Journal of Educational and Psychological Sciences*, *16*(2), 570–678. https://doi.org/10.21608/jfust.2022.123812.1598
47. Rini, D. S., Azrai, E. P., Khansa, A. A., & Kurnianto, M. B. (2024). The effect of augmented reality application (ARSINAPS) on learning motivation and outcomes in biology. *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*, *17*(1), 196–203. https://doi.org/10.21009/biosferjpb.37752
48. Salimi, S., Asgari, Z., Mohammadnejad, A., Teimazi, A., & Bakhtiari, M. (2024). Efficacy of virtual reality and augmented reality in anatomy education: A systematic review and meta-analysis. *Anatomical Sciences Education*, *17*(9), 1668–1685. https://doi.org/10.1002/ase.2501
49. Saputri, N. V. C., Rahmat, A., & Hamdiyati, Y. (2024). Using the IBSR technique as a psychological intervention to alleviate student stress in biology learning: Impacts on motivation, knowledge construction, and cognitive anxiety. *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*, *17*(2), 508–522. https://doi.org/10.21009/biosferjpb.45086
50. Sattar, M. A., Maqbool, M. U., Zakir, F., & Billah, M. (2025). Enhancing student engagement through augmented reality in secondary biology education. *Frontiers in Education, 10*, 1628004. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1628004
51. Setiawan, E., Darmawan, E., & Alamsyah, M. R. N. (2025). A meta-analysis: Trends in the use of augmented reality in biology learning (2016–2025). *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi, 18*(2), 353–369. https://doi.org/10.21009/biosferjpb.57782
52. Siswati, B. H., Pitaloka, F. A., & Wahono, B. (2025). Quantum teaching based on augmented reality to elevate critical thinking and metacognition of senior high school students in Indonesia. *Journal on Biology and Instruction*, *5*(1). https://doi.org/10.26555/joubins.v5i1.12945
53. Stanič, K., & Špernjak, A. (2025). Augmented reality in biology education: A literature review. *Multimodal Technologies and Interaction, 9*(12), Article 117. https://doi.org/10.3390/mti9120117
54. Talan, T., Yilmaz, Z. A., & Batdi, V. (2022). The effects of augmented reality applications on secondary students' academic achievement in science course. *Journal of Education in Science, Environment and Health*, *8*(4), 332–346. https://doi.org/10.21891/jeseh.1193695
55. Terzioğlu, I., Akbıyık, M., Türker, O., & Terzioğlu, N. K. (2026). The effectiveness of an augmented reality-based intervention in teaching the muscular and skeletal systems to students with learning disabilities. *International Journal of Human–Computer Interaction*. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/10447318.2026.2667474
56. Turan, Z., & Atila, G. (2021). Augmented reality technology in science education for students with specific learning difficulties: Its effect on students' learning and views. *Research in Science & Technological Education*, *39*(4), 506–524. https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1901682
57. Türe, Z. G., Yalçın, P., & Gültekin, B. (2025). Investigating the Effect of Augmented Reality Applications on Eliminating Misconceptions: A Case Study on the Unit of Sound and Its Properties. *Çukurova Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 54*(3), 1405–1447. https://doi.org/10.14812/cuefd.1731032
58. Uddin, M. J. (2026). Effect of Augmented Reality–mediated Teaching on School Students' Learning Achievement in Science: A Systematic Literature Review. Journal of Education, Society and Behavioural Science, 39(2), 60–71. https://doi.org/10.9734/jesbs/2026/v39i21470
59. Volioti, C., Orovas, C., Rapti, S., Gkiosi, P., Sapounidis, T., & Keramopoulos, E. (2026). Evaluating Augmented Reality Activities Designed Within the 5E Model in Biology Education. *Information, 17*(2), 164. https://doi.org/10.3390/info17020164

60. Wang, Y., Lu, L., Ma, Y., Wu, C., Meng, Z., & Xu, X. (2026). Virtual reality in physiological education: Influence of learning modality and learner characteristics on learning outcomes. *Acta Psychologica, 268*, 107111. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2026.107111
61. Weng, C., Otanga, S., Christianto, S. M., & Chu, R. J.-C. (2020). Enhancing students' biology learning by using augmented reality as a learning supplement. *Journal of Educational Computing Research, 58*(4), 747–770. https://doi.org/10.1177/0735633119884213
62. Wibowo, F. C., Darman, D. R., Salim, F., Prahani, B. K., & Samsudin, A. (2026). Knowledgeable integration hybrid AI joins augmented reality and science literacy: Prospects and challenges. *Social Sciences & Humanities Open, 13*, 102566. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2026.102566
63. Wilson, S. E., Therrien, W. J., Gersib, J., et al. (2026). Inquiry-based science instruction for students with disabilities: A systematic and meta-analytic review. *Science Education, 110*(2), 639–653. https://doi.org/10.1002/sce.70029
64. Xian, J., Wu, J. G., & Li, H. (2026). Effects of virtual reality-based instruction on secondary school learners' computational thinking, biological knowledge acquisition, and motivation during oocyte meiosis learning. *Computers & Education: X Reality, 6*, 100167. https://doi.org/10.1016/j.cexr.2026.100167
65. Yapici, İ. Ü., & Karakoyun, F. (2021). Using augmented reality in biology teaching. *Malaysian Online Journal of Educational Technology, 9*(3), 40–51. https://doi.org/10.52380/mojet.2021.9.3.286
66. Yilmaz Yenioglu, B., Yenioglu, S., Sayar, K., & Ergulec, F. (2024). Using augmented reality based intervention to teach science to students with learning disabilities. *Journal of Special Education Technology, 39*(1), 108–119. https://doi.org/10.1177/01626434231184829
67. Zahra, F. A., & Suhendi, S. (2026). Dampak penggunaan augmented reality dalam pembelajaran biologi: Systematic literature review. *Paedagogie, 21*(1), 1295–1304. https://doi.org/10.31603/paedagogie.v21i1.16470
68. Zufahmi, Z., Rohman, F., & Sari, M. S. (2025). Augmented reality in science learning: A systematic literature review. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia), 11*(1), 274–291. https://doi.org/10.22219/jpbi.v11i1.38570

Publishing and Ethical Statements / بيانات النشر والالتزام الأخلاقي

N	Publication Data in English		بيانات النشر بالعربية		م
1	Author Contribution:	Sole Author: Design, methodology, data collection, analysis, and final draft.	البحث المنفرد: التصميم، والمنهجية، وجمع البيانات، والتحليل، وكتابة المسودة النهائية.	مساهمة الباحثة:	1
2	Conflict	No conflicts of interest.	لا يوجد تضارب مصالح.	تضارب المصالح:	2
3	Funding	Self-funded (No external grant).	تمويل ذاتي (لا يوجد دعم خارجي).	التمويل:	3
4	Copyright Licensed under:	(CC BY-NC-ND)		حقوق النشر مرخص بموجب:	4
5	ReviewProcess:	Double-blind peer review.	تحكيم مزدوج التعمية.	آلية التحكيم:	5
6	Plagiarism Check:	Verified via (turnitin).	تم الفحص عبر	فحص الانتحال:	6
7	Data Availability:	Available upon request.	متاحة عند الطلب.	إتاحة البيانات:	7