

فاعلية برنامج تعليمي افتراضي في تنمية مفاهيم الأحياء وعمليات العلم لدى طلبة الصف الثامن

رفيدة صلاح مبارك خميسي¹

¹ جامعة النجاح الوطنية نابلس، فلسطين.

HNSJ, 2026, 7(11); <https://doi.org/10.53796/hnsj711/28>

<https://arsri.org/10000/711/28>: المعروف العلمي العربي للأبحاث:

تاريخ النشر: 2026/11/01م

تاريخ القبول: 2026/10/17م

تاريخ الاستقبال: 2026/10/10م

المستخلص

هدفت هذه الدراسة إلى تقصي فاعلية برنامج تعليمي قائم على المختبرات الافتراضية في تنمية مفاهيم الأحياء، وعمليات العلم لدى طلبة الصف الثامن، واعتمدت الباحثة في الدراسة المنهج التجريبي بتصميم شبه تجريبي بمجموعتين (تجريبية وضابطة)، إذ تكونت العينة من (63) طالبًا وطالبة من طلبة الصف الثامن في إحدى المدارس الإعدادية التابعة للواء الشمال، استند البرنامج التعليمي إلى منصة (PraxiLabs)، وتناول موضوعات وحدتي الخلية، والانقسام الخلوي، وأعدت الباحثة اختبارين لقياس مفاهيم الأحياء وعمليات العلم لدى طلبة الصف الثامن، وأشارت النتائج إلى تفوق المجموعة التجريبية في مفاهيم الأحياء وعمليات العلم، وأوصت الدراسة بتوظيف المختبرات الافتراضية في تدريس العلوم، وتوسيع استعمالاتها في الصفوف، إضافة إلى توجيه القائمين على العملية التعليمية والمرشدين التربويين إلى اعتمادها بوصفها أداة داعمة للتعليم التفاعلي.

الكلمات المفتاحية: البرنامج التعليمي الافتراضي، المختبرات الافتراضية، مفاهيم الأحياء، عمليات العلم، طلبة الصف الثامن.

The Effectiveness of a Virtual Learning Program in Developing Biological Concepts and Scientific Processes among Eighth-Grade Students

Rofaida Salah Khamaise¹

¹ An-Najah National University, Nablus, Palestine.

HNSJ, 2026, 7(11); <https://doi.org/10.53796/hnsj711/28>

Arabic Scientific Research Identifier: <https://arsri.org/10000/711/28>

Received at 10/10/2026

Accepted at 17/10/2026

Published at 01/11/2026

Abstract

This study aimed to investigate the effectiveness of a virtual laboratory-based educational program in developing biology concepts and scientific processes among eighth-grade students. The researcher adopted an experimental approach with a quasi-experimental design using two groups (experimental and control). The sample consisted of 63 eighth-grade students from a preparatory school in the Northern District. The educational program was based on the PraxiLabs platform and covered the topics of the cell and cell division units. To collect data, the researcher developed a test of biological concepts, and a science processes scale. The results showed the excellence of the experimental group. The study recommends utilizing virtual labs in science teaching and expanding their use in classrooms. It also recommends that educators and educational supervisors adopt them as a tool to support interactive learning.

Keywords: Virtual educational program, virtual labs, biology concepts, science processes, eighth-grade students.

مقدمة الدراسة

شهدت العملية التعليمية في السنوات الأخيرة تغيرات واضحة، ومتسارعة بفعل التطور الكبير في التكنولوجيا وتطبيقاتها المتنوعة، وقد انعكس هذا التطور على أساليب التدريس وطرائق التعلم وإدارة المعرفة داخل المؤسسات التعليمية، فلم يعد توظيف التكنولوجيا في المدارس أمراً إضافياً، بل أصبح ضرورة تربوية تساعد على تحسين جودة التعليم وتحقيق أهداف التعلم بكفاءة أكبر.

وتزداد الحاجة إلى توظيف التكنولوجيا في تدريس العلوم، لأنها تساهم في تنمية قدرات الطلبة على الملاحظة، والملاحظة، والوصف، والتحليل، والتفسير والمقارنة والنقد، بتعاملهم مع الأشياء، والمواقف التعليمية بطريقة أكثر وضوحاً وتفاعلاً (نصار وآخرون، 2025)، إذ يُعدّ تعليم الأحياء مجالاً يحتاج إلى أساليب تدريس حديثة؛ لأنّ موضوعاته تتسم بالدقة والتجريد، مما يجعل فهمها بالشرح اللفظي أو الرسومات الثابتة وحدها أمراً غير كافٍ، وقد أوضح جبري (2022) إلى أنّ كثيراً من الطلبة يواجهون صعوبة في فهم المفاهيم الأحيائية المجردة، خاصة ما يرتبط بدورة الخلية والعمليات الحيوية الدقيقة، لذلك فإنّ توظيف التكنولوجيا والتمثيلات البصرية التفاعلية يساعد على توضيح هذه المفاهيم، ويجعل الطالب أكثر قدرة على فهم العلاقة بين تركيب الكائن الحي ووظيفته، وبين مراحل العملية الحيوية ونتائجها.

ومع التطور المتسارع في التكنولوجيا التعليمية، أصبحت وسيلة تساعد الطلبة على التعلم بطريقة أكثر تفاعلاً، بالاستكشاف والتجريب والمحاكاة، بدلاً من الاكتفاء بتلقي المعلومات. وأسهم ذلك في جعل التعلم أكثر فاعلية، وعزز فهم الطلبة للمفاهيم الأحيائية، وتنمية مهاراتهم العلمية (مسلم، 2022)، فقد أشار مصطفى وآخرون (2022) أنه بسبب التسارع الكبير في التكنولوجيا، وتزايد كمية المعلومات المتاحة للطلبة، فقد أصبح من المهم توظيف أساليب تعليمية حديثة تجعل الطالب أكثر مشاركة في التعلم، وتساعد على تنمية مهارات مثل: الملاحظة، والمقارنة، والتصنيف، والتحليل، والتفسير، والتنبؤ، والاستدعاء، والابتكار. والتي ترتبط بعمليات العلم، وفهم أعمق للمفاهيم الإحيائية.

فعندما يتعامل الطلبة مع مفاهيم مجردة أو غير مرئية، مثل: مراحل الانقسام الخلوي، والتغيرات التي تحدث داخل النواة، عندها تتفاقم صعوبة التعلم، فقد أوضح يونس وآخرون (2025) تقديم هذه المفاهيم ببيئة رقمية تفاعلية، تعتمد على المشاهدة، والمحاكاة، وإعادة العرض، والمقارنة بين المراحل، يمكن أن يساهم في تقريب المفاهيم من إدراك الطلبة، ويساعدهم على بناء فهم بصري، وتسلسلي أوضح لعمليات الانقسام الخلوي.

وتعد المختبرات الافتراضية من أهم التطبيقات في التكنولوجيا لتعليم العلوم؛ لأنها تتيح للمتعلمين التفاعل مع تجارب علمية ضمن بيئة افتراضية تشبه الواقع، ويتم ذلك باستعمال الحاسوب وبعض الأدوات التقنية المساعدة. وتظهر المختبرات الافتراضية مزايا كبيرة في تدريس العلوم مقارنةً بالمختبرات التقليدية حيث تقدم تجربة تعليمية أقل تكلفة، وأكثر مرونة (قسم السيد وسعيد، 2022).

ولا تقف فاعلية المختبرات الافتراضية عند تعلم المفاهيم العلمية، بل يحثهم على الاعتماد على النفس بتحضير مواد التجربة، وأدواتها بأنفسهم، وينفذون الخطوات، ويسجلون ملاحظاتهم، ومشاهداتهم كما ويتوصلون إلى النتيجة بأنفسهم، والتي تؤدي إلى تذويت عمليات العلم الأساسية التي تمثل جوهر التعلم العلمي (الفضلي، 2022).

لذلك تعد مهارات عمليات العلم من المهارات التي ينبغي تطويرها، وتنميتها لدى طلبة المرحلة الإعدادية، التي تساعدهم على التفكير بطريقة علمية، وليس مجرد حفظ للمعلومات، وقد أشار عبد الرحمن وآخرون (2025) في دراسته إلى أهمية تنمية عمليات العلم الأساسية لدى طلبة المرحلة الإعدادية بتدريس العلوم باستعمال المعمل الافتراضي، فطالب هذه

المرحلة لا يحتاج إلى معرفة المفهوم العلمي فقط، بل يحتاج أيضًا إلى أن يلاحظ، ويقارن، ويصنف، ويستنتج، ويتنبأ، ويفسر البيانات بصورة منظمة.

وتشير دراسة منصور وآخرين (2025) إلى أنَّ الاستراتيجيات التدريسية المختلفة تتيح للطالب ممارسة العديد من الأنشطة، ومواجهة العديد من المواقف التعليمية، لاكتساب المفاهيم العلمية بالتفاعل مع الخبرات المباشرة.

وفي مجال تعليم الأحياء أصبح الواقع الافتراضي من التقنيات الحديثة التي تساعد على تقديم مفاهيم الأحياء في بيئات تفاعلية، التي تتيح للطلبة التفاعل مع الظواهر والمكونات الحيوية التي يصعب ملاحظتها داخل الصف أو المختبر التقليدي، وتظهر دراسة (Xian et al, 2026) أنَّ الواقع الافتراضي يساهم في تحويل تعلم الأحياء من تلقي معلومات إلى خبرة تعليمية قائمة على الانغماس والتفاعل، الأمر الذي يساعد الطلبة على فهم المفاهيم البيولوجية المعقدة، ويعزز عمليات العلم لديهم.

وبناءً على ذلك، فإن الحاجة إلى برنامج تعليمي افتراضي في الأحياء لا ينبع من الرغبة في توظيف التكنولوجيا بحد ذاتها، بل من الحاجة إلى توظيفها تربوياً في معالجة صعوبات تعلم المفاهيم الإحيائية، وتنمية المهارات العلمية المرتبطة بها. إذ سعت الباحثة إلى دراسة فاعلية برنامج تعليمي افتراضي في تنمية مفاهيم الأحياء، وعمليات العلم لدى طلبة المرحلة الإعدادية.

الإطار النظري:

تعتمد الباحثة في بحثها على النظرية البنائية، إذ ترى النظرية البنائية أنَّ المتعلم يبني معرفته بنفسه بالتفاعل مع خبراته السابقة والبيئة المحيطة، حيث يدمج المعرفة الجديدة بالمعارف السابقة للوصول إلى فهم أعمق (تميمي وناصر، 2025)، كما تشجع التعلم النشط، والتفكير، والحوار، مما يعزز استقلالية المتعلم في بناء المعرفة (العدوان، 2024)، لذلك تعد من أكثر النظريات التربوية ارتباطاً بتوظيف المختبرات الافتراضية في تعليم العلوم، إذ تنظر إلى التعلم بوصفه عملية نشطة يبني فيها المتعلم معرفته

بالتفاعل مع البيئة التعليمية (Piaget, 1971)، وإجراء التجارب، والاستقصاء، وحل المشكلات، وربط الخبرات الجديدة بخبراته السابقة، في حين يقتصر دور المعلم على توجيه التعلم، وتوفير بيئة تعليمية داعمة تساعد المتعلم على بناء فهمه للمفاهيم العلمية (Brock, 2024).

وأشار Rosli و (Ishak 2024) إلى أنَّ المختبرات الافتراضية تعزز التعلم النشط، وتحسن الفهم المفاهيمي، وترتبط بين المعرفة النظرية والتطبيق العملي في تعليم العلوم. كما أظهرت دراسة Li و (Liang 2024) أن استعمال المختبرات الافتراضية يحقق أثراً إيجابياً في نواتج التعلم، ودافعية الطلبة، وانخراطهم في الأنشطة التعليمية، وبناءً على ذلك، تعتمد الدراسة الحالية على النظرية البنائية إطاراً نظرياً؛ لتفسير فاعلية البرنامج التعليمي القائم على المختبرات الافتراضية في تنمية مفاهيم الأحياء وعمليات العلم.

وتعتقد الباحثة أن النظرية البنائية تُعد الأنسب لتفسير هذه الدراسة؛ لأنها تتسجم مع طبيعة التعلم داخل المختبرات الافتراضية، حيث يشارك الطلبة في تنفيذ التجارب، واستكشاف النتائج بأنفسهم، ويعيدون المحاولة عند الحاجة، مما يساعدهم على بناء المفاهيم الإحيائية بصورة تدريجية، ويعزز تنمية عمليات العلم لديهم.

الإطار المفاهيمي

يتناول الإطار المفاهيمي لهذه الدراسة التعليم الافتراضي بما في ذلك المختبر الافتراضي، والمفاهيم العلمية في الأحياء وكذلك عمليات العلم.

1.3.1 التعليم الافتراضي

هو أسلوب تعلم يعتمد على استعمال بيئات تعليم رقمية في عرض المحتوى، وتنفيذ الأنشطة التعليمية حيث يتيح للطلبة تنفيذ المهام، والأنشطة مع الحصول على تغذية راجعة (الالكترونية)، الأمر الذي يوفر تجربة تعلم نشطة تساعد الطالب على المشاركة، والاستكشاف وبناء المعرفة والفهم (Afify, 2023)، ويشير نيمي وآخرون (Naimi-Akbar et al., 2024) إلى أن التعلم في البيئات الافتراضية يقوم على توظيف التكنولوجيا الرقمية لتنظيم عملية التعليم، وإدارة المحتوى، ومتابعة تعلم الطلبة، كما تتيح هذه البيئات فرصاً للتواصل والتفاعل بين المعلم والطلبة داخل فضاء رقمي منظم. كما أن البيئة الافتراضية قد تكون مجرد وسيلة لعرض المحتوى، لكنها تصبح أكثر فاعلية عندما تُصمم وفق أهداف تعليمية واضحة، وأنشطة تفاعلية هادفة، وتتعدد أهداف التعليم الافتراضي وفق غانم (2023) في تنمية مهارات التعلم الذاتي والاستقلالية، وربط التعلم النظري بالتطبيق العملي، وتعزيز استعمال التقنيات الحديثة في التعلم، وتنمية الاتجاهات الإيجابية نحو التعلم.

ومن وجهة نظر الباحثة، فإنّ هذه الأهداف لا تتحقق بمجرد استعمال (التكنولوجيا)، وإنما تعتمد على اختيار البرامج، والأنشطة التعليمية التفاعلية التي تجعل الطالب محوراً للتعلم، وهو ما روعي عند اختيار البرنامج التعليمي المستعمل في الدراسة الحالية.

المختبرات الافتراضية

هي مختبرات حاسوبية تستعمل برمجيات متخصصة تحقق تفاعل المتعلم، وانغماسه فيها بمحاكاة المختبرات التقليدية في إجراء التجارب العملية، واستخلاص النتائج رقمياً، وتقديم العروض، والشروحات ثلاثية الأبعاد لتلك النتائج (العماري وآل كاسي، 2023)، ووفق الجعفري (2022) فإنّ استعمال المختبر الافتراضي يكون في حالة عجز المختبر الحقيقي عن توفير الأجهزة، والأدوات اللازمة لإجراء التجربة، أو صعوبة وصول الطلبة للمختبر، أو وجود صيانة في المختبر، أو في حالة التعليم عن بعد كما كان في عام (2019) بسبب جائحة كورونا، إذ بعدّ كبديل ناجع، وسهل، ويقدم النتائج نفسها بل أضمن وأدق.

وتماشياً مع هذا التحول التربوي، اكتسبت الابتكارات الرقمية التفاعلية، مثل المختبرات الافتراضية، والمختبرات عن بُعد أو عبر الإنترنت، والواقع المعزز والواقع الافتراضي، والمحاكاة المتقدمة، أهميةً بالغة كأدوات فعالة لتعميق التعلم المفاهيمي، وتوفير فرص آمنة وقابلة للتوسع للانخراط في الممارسات العلمية، لا سيما عندما تشكل الموارد المادية أو الوقت أو السلامة أو القيود المالية تحديات تحول دون تنفيذ التجارب (Al-Ansi et al., 2023)، وتتجلى هذه الأدلة بقوة خاصة في المهام التي تتطلب عمليات علمية متعمقة: فقد ثبت أنّ الاستقصاء المنظم باستعمال التجارب العملية، أو المحاكاة يعزز التعلم العلمي والتطبيقي، ويشجع على نقل التعلم إلى سياقات جديدة، بما في ذلك في البيئات ذات الموارد المحدودة (Chengere et al., 2025).

ومن هنا، يتضح أن المختبرات الافتراضية لا تُعد بديلاً للمختبرات التقليدية، بل تمثل بيئة تعليمية تفاعلية تتيح للطلبة ممارسة التجارب، والاستقصاء، والمشاركة الفاعلة في التعلم، مما يجعلها مناسبة لتنمية المفاهيم العلمية، وعمليات العلم لدى طلبة المرحلة الإعدادية.

دور المختبرات الافتراضية في تعليم العلوم

تؤدي المختبرات التقليدية دورًا محوريًا في تعليم العلوم، إذ وفرت تجارب عملية تُمكن الطلبة من استكشاف المفاهيم العلمية وتجربتها، لكن مع ظهور التكنولوجيا، برزت المختبرات الافتراضية كبديل عملي، لما توفره من مزايا عديدة، حيث توفر للطلبة فرصة التفاعل المباشر مع المعدات العلمية، وإجراء التجارب، وملاحظة الظواهر الواقعية، وتُعد هذه التجربة العملية قيمة للغاية في تعميق فهم الطلبة للمبادئ العلمية المعقدة والمجردة (Rosli & Ishak, 2024)، بالإضافة إلى ذلك، يشير الزهراني وآل حيدر (2023) إلى أن المختبرات الافتراضية تهدف إلى توصيل المفاهيم العلمية الموجودة في مادة العلوم بطريقة ممتعة واستقصائية، وترجمة القوانين والنظريات عمليًا لترسيخها في الأذهان، مما ينتج عنه محاولة الإبداع والاستكشاف بممارسة مهارات التفكير العلمي، كالملاحظة، والاستنتاج، والتصنيف، والمقارنة، والتنبؤ، والاستقصاء، لذلك يتزايد دمج المختبرات الافتراضية في تعليم العلوم، إذ تستعمل هذه المنصات الرقمية المحاكاة والأدوات الحاسوبية لتكرار التجارب، مما يتيح للطلبة فرصة التفاعل مع المفاهيم العلمية في بيئة إلكترونية مُحكمة، وتوفر المختبرات الافتراضية العديد من المزايا، مثل: سهولة الوصول إليها، وفعاليتها من حيث التكلفة، وأمانها، إذ يُمكن الوصول إليها عن بُعد، مما يسمح للطلبة بإجراء التجارب دون الحاجة إلى معدات مادية، أو مساحة مختبرية مخصصة (Chen, 2020).

وفي تعليم الأحياء تحديدًا، تبرز أهميتها في عرض الظواهر الدقيقة التي يصعب ملاحظتها مباشرة، لذلك فإنّ توظيف المختبرات الافتراضية في تدريس العلوم قد يساهم في جعل التعلم أكثر وضوحًا وتفاعلاً، ويمنح الطلبة فرصًا آمنة وممتدة للتجريب، وبناء الفهم العلمي.

ومن وجهة نظر الباحثة، ترى أهمية المختبرات الافتراضية في منحها للطلبة فرصة لتطبيق ما يتعلمونه نظريًا من التجربة والممارسة داخل بيئة آمنة، الأمر الذي يساهم في تنمية مهارات التفكير العلمي لديهم.

المختبرات الافتراضية: (Praxilabs) تُعد إحدى الابتكارات التكنولوجية التي أُطلقت عام (2018)، وتعتمد على الحاسوب لتوفير بيئة افتراضية ثلاثية الأبعاد تحاكي المختبرات العلمية، وتقدم مجموعة متنوعة من المجالات العلمية بما في ذلك الأحياء، والكيمياء، والفيزياء، والطب. بحيث تمنح المتعلم شعورًا بالتعامل والتفاعل مع المختبر والمواد العلمية كما لو كانت حقيقية. ويمكن الوصول إليها واستعمالها عبر (الإنترنت) بواسطة الحاسوب أو الهاتف المحمول في أي وقت ومن أي مكان لإجراء التجارب، وعرض نتائجها، وتحليل البيانات دون الحاجة إلى مواد أو معدات يدوية (Bani Yassin, 2022).

المفاهيم العلمية

يصف الأشموري وحاصل (2023) المفاهيم العلمية بأنها بنى عقلية منظّمة لا تقتصر على معرفة أو حفظ تعريف المصطلح، بل تشمل قدرة المتعلم على وصف الظواهر العلمية وتفسيرها، وإدراك الخصائص المشتركة بين التجارب العلمية، ومن ثم ربطها بعلاقات منطقية أو رمز علمي محدد. وحسب ما جاء في دراسة الشريف وآخرين (2026) أن المفاهيم العلمية وحدة البناء لمادة العلوم تمثل العمليات العقلية المجردة التي تساعد الطالب على فهم الظواهر العلمية خارج وداخل المجتمع العلمي وتطبيقها.

ويمكن النظر أيضًا إلى المفاهيم العلمية بوصفها أفكارًا مركزية تساعد المتعلم على تنظيم المعرفة العلمية، والانتقال من التعلم السطحي القائم على الحفظ إلى الفهم العميق القابل للتطبيق، وفي مجال الأحياء تحديدًا، تُعد المفاهيم العلمية الصورة الذهنية التي يكونها الطالب بمقارنته وتمييزه لأوجه التشابه والاختلاف، وفقا لصفات مشتركة بينها كمفهوم. ويتم قياسها بالدرجة التي يحصل عليها الطالب في اختبار المفاهيم العلمية (آل عبد القادر، 2025).

عمليات العلم

هي مجموعة من القدرات العقلية والعملية اللازمة لتطبيق طرق العلم والتفكير، والبحث العلمي بشكل صحيح (العباب وعبد الرب، 2025)، وتُعد هذه القدرات أساساً مهماً في تعلّم العلوم؛ لأنها تنقل الطالب من حفظ المعلومات إلى ممارسة التفكير العلمي بصورة أعمق، وتنمية قدرتهم على حل المشكلات، واتخاذ القرار بناءً على الدليل، كما ترتبط بالتعلّم القائم على الاستقصاء، والمختبرات الافتراضية، والتجارب العملية (Farida, 2023)، كما عرفها الجدعي (2025) على أن عمليات العلم: المهارات والعمليات العقلية المهمة للطالب؛ لتطبيق طرق المعرفة العلمية، والتفكير العلمي الصحيح، وذلك في أثناء التجارب العملية بهدف تنمية عمليات العلم الأساسية والتكاملية .

تُعدّ عمليات العلم من التوجهات الحديثة في تدريس العلوم، لما لها من دور في تنمية التفكير العلمي وتمكين المتعلمين من اكتساب المعرفة بطريقة قائمة على الاستقصاء. وقد أكدت الجمعية الأمريكية لتقديم العلوم American Association for the Advancement of Science, 1977)، أهمية توظيف عمليات العلم في تعليم العلوم، لما تسهم به في تنمية قدرة الطلبة على الملاحظة، والتفسير، وحل المشكلات، واتخاذ القرارات بأسلوب علمي (الزغول والعياصرة، 2025).

الدراسات السابقة:

اهتم عدد كبير من الباحثين في السنوات الأخيرة بدراسة أثر المختبرات الافتراضية في تعليم العلوم، لما لها من دور في تحسين تعلم الطلبة وتنمية المفاهيم العلمية وعمليات العلم. وتنوعت هذه الدراسات في أهدافها ومنهجها وعيناتها، إلا أنها جميعاً سعت إلى تقصي فاعلية هذا النوع من التعلم في بيئات تعليمية مختلفة. وفيما يأتي عرض لأبرز الدراسات العربية، والأجنبية ذات الصلة بمتغيرات الدراسة الحالية.

الدراسات السابقة التي تناولت المختبرات الافتراضية وتنمية المفاهيم العلمية:

هدفت دراسة كاشي وآخرين (Kachi et al., 2025) إلى التعرف إلى فاعلية التدريس القائم على المختبرات الافتراضية (Virtual Laboratory Based Instruction – VLBI) في تدريس التجارب العملية لمادة الأحياء، وأثره في تحسين الأداء الأكاديمي، والفهم المفاهيمي لدى طلبة المرحلة الثانوية في كينيا، واعتمدت الدراسة التصميم شبه التجريبي والمختلط، وتكونت عينة الدراسة من (339) طالباً من طلبة الصف الثالث الثانوي، وُزِعوا إلى مجموعة تجريبية ضمت (271) طالباً، ومجموعة ضابطة ضمت (68) طالباً، بالإضافة إلى مشاركة (46) معلماً لمادة الأحياء، ولجمع البيانات استعمل الباحثون اختبارات تحصيل قبلية وبعديّة في مادة الأحياء، واستبانات، ومقابلات، وقوائم ملاحظة صفية، وأظهرت النتائج وجود فروق ذات دلالة إحصائية في الأداء الأكاديمي لصالح طلبة المجموعة التجريبية مقارنةً بالمجموعة الضابطة.

كما تعرفت دراسة هابربوش وآخرين (Haberbosch et al., 2025) إلى أثر توظيف المختبرات الافتراضية والمختبرات العملية، إلى جانب التدريس التأملي، في تنمية المعرفة بمحتوى الأحياء الجزيئية والكفاءة الذاتية لدى طلبة إعداد معلمي العلوم. واعتمدت الدراسة المنهج المختلط، وأُجريت في جامعة ألمانية ضمن أحد برامج إعداد معلمي العلوم، وتكونت عينة الدراسة من (64) طالباً وطالبة من طلبة إعداد معلمي الأحياء، وُزِعوا على مجموعات تعليمية طبقت أنماطاً مختلفة من التعلم شملت المختبرات الافتراضية، والمختبرات العملية، والتدريس التأملي. ولجمع البيانات استعمل الباحثون اختبارات قبلية وبعديّة لقياس المعرفة بمحتوى الأحياء الجزيئية، واستبانة لقياس الكفاءة الذاتية في تدريس العلوم، إضافة إلى مقابلات شبه منظمة، وتحليلات تأملية لاستقصاء خبرات المشاركين، وأظهرت النتائج وجود تحسن ذي دلالة في المعرفة

العلمية المتعلقة بالأحياء الجزيئية لدى جميع المشاركين، كما ارتفع مستوى الكفاءة الذاتية لديهم بعد تطبيق البرنامج.

وأجرت ماراتكيزي وآخرون (Maratkyzy et al., 2025) دراسة هدفت إلى استقصاء أثر استعمال مختبرات (Labster) الافتراضية في تنمية المعرفة النظرية، والمهارات العملية، والدافعية لدى طلبة إعداد معلمي الأحياء، مع التركيز على تنمية الكفايات البيئية. واعتمدت الدراسة تصميمًا شبه تجريبي، وأجريت في عدد من الجامعات في (كازاخستان)، وتكونت عينة الدراسة من (270) طالبًا من طلبة السنة الثالثة في برامج إعداد معلمي الأحياء، تم اختيارهم من بين (320) متقدمًا، ثم وُزِعوا عشوائيًا إلى ثلاث مجموعات متساوية، المجموعة التجريبية الأولى (90) طالبًا درست باستعمال مختبرات (Labster) الافتراضية فقط، والمجموعة التجريبية الثانية (90) طالبًا درست باستعمال أسلوب التعلم المدمج (الذي جمع بين مختبرات (Labster))، والتدريس الواجهي، في حين درست المجموعة الضابطة (90) طالبًا بالطريقة الاعتيادية، ولجمع البيانات استعمل الباحثون اختبارات نظرية لقياس المعرفة العلمية، وأدوات لتقييم المهارات العملية بدراسات حالة، ومشروعات بيئية، إضافة إلى استبانات لقياس الدافعية والكفايات البيئية، وتم تطبيق أدوات القياس في بداية الدراسة، ووسطها، ونهايتها. وأظهرت النتائج أن جميع المجموعات حققت تقدمًا في مستويات التعلم، إلا أن مجموعة التعلم المدمج حققت أفضل النتائج في المعرفة النظرية والمهارات العملية والدافعية، تلتها مجموعة مختبرات (Labster)، بينما سجلت المجموعة الضابطة أقل مستويات التحسن. كما بينت النتائج أن أكثر الجوانب التي قدرها الطلبة في المختبرات الافتراضية تمثلت في قدرتها على توضيح العمليات البيئية المعقدة، وتوفير تعلم تفاعلي، وإتاحة الفرصة لمحاكاة المشكلات البيئية بصورة واقعية.

كما أجرت العمري (2024) دراسة هدفت إلى التعرف إلى دور المختبرات الافتراضية في تنمية تحصيل المفاهيم العلمية المجردة لدى طالبات الصف الأول المتوسط في مادة العلوم، وأجريت الدراسة في إحدى المدارس المتوسطة الحكومية بمدينة جدة. واعتمدت الدراسة التصميم شبه التجريبي باستعمال مجموعة تجريبية واحدة في القياسين القبلي والبعدي، وتكونت العينة من (58) طالبة، وُزِعن على ثلاثة صفوف دراسية. ولجمع البيانات استعملت الباحثة اختبارًا تحصيليًا قبليًا وبعديًا، وتقريرًا للتجربة، واستبانة لقياس آراء الطالبات حول استعمال المختبرات الافتراضية، وأظهرت النتائج وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين التطبيقين القبلي والبعدي لصالح التطبيق البعدي، مما يشير إلى فاعلية المختبرات الافتراضية في تحسين تحصيل المفاهيم العلمية المجردة. كما بينت النتائج أن استعمال المختبرات الافتراضية ساعد الطالبات على تنمية عدد من المهارات العلمية، مثل: الملاحظة، والقياس، وتحليل البيانات، والاستنتاج، وقراءة الرسوم البيانية، بالإضافة إلى مساعدتهن على فهم المفاهيم العلمية المجردة بصورة أوضح، كذلك أبدت معظم الطالبات اتجاهات إيجابية نحو استعمال المختبرات الافتراضية، إذ رأين أنها توفر بيئة تعليمية ممتعة ومحفزة، وتسهم في زيادة التفاعل، وتحسين عملية التعلم.

واستقصت دراسة أوزير وآخرون (Özeler et al., 2024) أثر استعمال المختبرات الافتراضية في تحسين تحصيل طلبة المرحلة المتوسطة عند تدريس موضوع التركيب الجسيمي للمادة. وأجريت الدراسة في مدرستين حكوميتين في تركيا، وتكونت عينة الدراسة من (191) طالبًا من طلبة الصف السابع. واعتمدت الدراسة التصميم شبه التجريبي، حيث قُسمت شعب الصف السابع في المدرستين إلى مجموعتين تجريبيتين ومجموعتين ضابطتين، واختيرت المجموعات التجريبية عشوائيًا لتتعلم باستعمال المختبرات الافتراضية، في حين تلقت المجموعات الضابطة التدريس بالطريقة الاعتيادية. ولجمع البيانات استعمل الباحثون اختبارًا تحصيليًا قبل التطبيق وبعده، وأظهرت النتائج تفوق طلبة المجموعة التجريبية على زملائهم في المجموعة الضابطة، مما يشير إلى أن استعمال المختبرات الافتراضية أسهم في تحسين تدريس موضوع التركيب الجسيمي للمادة لدى طلبة المرحلة المتوسطة.

كما هدفت دراسة الحوسني (2023) إلى التعرف إلى أثر استعمال تطبيقات المختبرات الافتراضية داخل الغرفة الصفية في تنمية التحصيل العلمي المرتبط بالتجارب العملية لدى طلبة الصف الثامن في مادة العلوم في عُمان، واعتمدت التصميم شبه التجريبي. وتكونت عينة الدراسة من (60) طالباً من طلبة الصف الثامن، وزُعموا إلى مجموعتين متساويتين، مجموعة تجريبية ضمت (30) طالباً، تعلموا من تطبيقات المختبرات الافتراضية، ومجموعة ضابطة ضمت (30) طالباً، درست التجارب العلمية في المختبر المدرسي بالطريقة التقليدية. ولجمع البيانات استعمل الباحث اختباراً تحصيلياً تناول التجارب العلمية الواردة في كتاب العلوم، وأظهرت النتائج وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين المجموعتين في التطبيق البعدي للاختبار التحصيلي لصالح المجموعة التجريبية، مما يدل على فاعلية تطبيقات المختبرات الافتراضية في تحسين تحصيل الطلبة في مادة العلوم.

وفي المقابل هدفت دراسة أساري وآخرين (Asare et al., 2023) إلى استقصاء فاعلية المختبرات الافتراضية في تعليم العلوم بمقارنة بيانات المختبرات التقليدية بالمختبرات الافتراضية. واعتمدت الدراسة المنهج النوعي، واستعملت استبانة وُجّهت إلى طلبة ومعلمين لديهم خبرة في استعمال كلا النمطين من المختبرات، كما جرى تحليل البيانات باستعمال التحليل الموضوعي لاستخلاص أبرز الأنماط والتجارب التي عبّر عنها المشاركون. وأظهرت النتائج أنّ المختبرات الافتراضية حققت مخرجات تعلم مماثلة للمختبرات التقليدية، ولم تظهر فروق جوهرية بينهما في اكتساب المفاهيم والمهارات العلمية. كما بينت النتائج أنّ المختبرات الافتراضية أسهمت في زيادة تفاعل الطلبة، ودافعيتهم للتعلم بفضل ما توفره من محاكاة تفاعلية، ووسائل متعددة، إضافة إلى ما تمتاز به من سهولة الوصول والمرونة، مما يجعلها خياراً مناسباً خاصة للطلبة الذين تحول الظروف الجغرافية أو المادية أو الزمنية دون الاستفادة من المختبرات التقليدية.

وفي السياق نفسه، أجرى أويتونز ونيزيمانا (Uwitonze & Nizeyimana, 2022) دراسة هدفت إلى التعرف إلى أثر استعمال المختبرات الافتراضية في تنمية الفهم المفاهيمي لدى طلبة المرحلة الثانوية في مادة الأحياء، مع التركيز على موضوع تطور الجنين. واعتمدت الدراسة التصميم شبه التجريبي، وتكونت عينة الدراسة من (162) طالباً رواندا، وزُعموا الطلبة في مجموعتين متساويتين، مجموعة تجريبية ضمت (81) طالباً درسوا باستعمال المختبرات الافتراضية، ومجموعة ضابطة ضمت (81) طالباً درسوا بالطريقة الاعتيادية. ولجمع البيانات استعمل الباحثان اختبار التحصيل في علم الأحياء بتطبيق قبلي وبعدي. وأظهرت النتائج تفوق طلبة المجموعة التجريبية على طلبة المجموعة الضابطة في الاختبار البعدي، مما يشير إلى أنّ استعمال المختبرات الافتراضية كان أكثر فاعلية في تنمية الفهم المفاهيمي لمفاهيم علم الأحياء.

كما أجرت النخلة (Al-Nakhleh, 2022) دراسة هدفت إلى استقصاء أثر المحاكاة القائمة على المختبرات الافتراضية في تحسين نواتج التعلم، وتنمية مهارات إعداد التقارير العلمية لدى طلبة تخصصات العلوم الصحية. واعتمدت الدراسة التصميم شبه التجريبي، وتكونت عينة الدراسة من (189) طالباً وطالبة من طلبة كلية العلوم الصحية في جامعة الشارقة، وزُعموا إلى مجموعتين، مجموعة تجريبية درست باستعمال محاكاة افتراضية قائمة على سيناريوهات تعليمية في موضوعات الأحياء الجزيئية، ومجموعة ضابطة درست بالطريقة التقليدية، ولجمع البيانات استعملت الباحثة اختبارات قبلية وبعدية لقياس نواتج التعلم، كما تم تقييم التقارير العلمية التي أعدها الطلبة باستعمال أداة تقييم مقننة، إضافة إلى قياس مستوى الدافعية، والكفاءة الذاتية لديهم. وأظهرت النتائج وجود فروق ذات دلالة إحصائية لصالح المجموعة التجريبية في نواتج التعلم وجودة التقارير العلمية.

الدراسات السابقة التي تناولت المختبرات الافتراضية وتنمية عمليات العلم:

أجرت نيلواتي وآخرون (Nilawati et al., 2024) دراسة هدفت إلى مراجعة وتحليل الأدلة البحثية المتعلقة بفاعلية المختبرات الافتراضية في تنمية مهارات عمليات العلم لدى الطلبة. واعتمدت الدراسة على المراجعة المنهجية

للأدبيات (Systematic Literature Review)، حيث جُمعت البيانات من (20) دراسة علمية منشورة خلال الفترة (2015-2024)، تم اختيارها وفق معايير محددة من قاعدتي بيانات (Google Scholar) و (Garba Rujukan Digital) واعتمد الباحثون على تحليل الدراسات المختارة للكشف عن أثر المختبرات الافتراضية في تنمية مهارات عمليات العلم في تعليم العلوم. وأظهرت نتائج المراجعة أنَّ المختبرات الافتراضية تُعد وسيلة تعليمية فعالة في تنمية مهارات عمليات العلم بالتجارب القائمة على المحاكاة التفاعلية، كما أسهمت في تعزيز الفهم المفاهيمي، وزيادة تفاعل الطلبة وانخراطهم في الأنشطة العلمية. وبينت الدراسة أنَّ المختبرات الافتراضية تمثل بديلاً مناسباً أو مكملًا للمختبرات التقليدية، خاصة في البيئات التي تعاني من محدودية الإمكانيات المخبرية.

كما أجرى بن (Penn, 2025) دراسة هدفت إلى استكشاف أثر استعمال المختبرات الافتراضية في تنمية مهارات عمليات العلم في استعمال المجهر من التعلم القائم على الاستقصاء. واعتمدت الدراسة المنهج المختلط، حيث استُعمل في الجانب الكمي تصميم شبه تجريبي دون مجموعة ضابطة، بينما تناول الجانب النوعي تصورات الطلبة حول تجربتهم في التعلم باستعمال المختبرات الافتراضية. وتكونت عينة الدراسة من (98) طالباً من طلبة السنة الأولى الجامعية، ولجمع البيانات أُجري اختبار قبلي وبعدي لقياس مهارات عمليات العلم المرتبطة باستعمال المجهر، كما حُللت مشاركات الطلبة المسجلة على لوحات النقاش في منصة (Blackboard) للتعرف إلى آرائهم وتجاربهم في التعلم. وأظهرت النتائج عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية في المعرفة بالمحتوى العلمي، كما أظهرت النتائج تحسناً ذا دلالة إحصائية في مهارات عمليات العلم بعد استعمال المختبرات الافتراضية.

وهدفت دراسة الجدعي (2025) إلى التعرف إلى فاعلية إجراء التجارب العملية المضمنة في كتاب الكيمياء باستعمال معامل (PhET) الافتراضية في تنمية عمليات العلم لدى طلبة الصف الأول الثانوي. واعتمدت الدراسة التصميم شبه التجريبي، وتكونت عينة الدراسة من (64) طالباً من طلبة الصف الأول الثانوي في المدارس الحكومية النهارية بثانوية قرطبة بمحافظة (الرس) التعليمية، وُزعت بالتساوي إلى مجموعتين، مجموعة تجريبية ضمت (32) طالباً درست باستعمال معامل (PhET) الافتراضية، ومجموعة ضابطة ضمت (32) طالباً درست بالطريقة التقليدية. ولتحقيق أهداف الدراسة أعد الباحث دليلاً للمعلم لتدريس الكيمياء باستعمال معامل (PhET) الافتراضية، كما استعمل اختباراً لقياس عمليات العلم مكوناً من (40) فقرة، توزعت على مهارات عمليات العلم الأساسية، وهي: الملاحظة، والتصنيف، والقياس، واستعمال الأعداد، والتنبؤ، إضافة إلى مهارات عمليات العلم التكاملية، وهي: صياغة الفروض، والتحكم في المتغيرات، وتفسير البيانات والرسوم البيانية. وأظهرت النتائج وجود تحسن ذي دلالة إحصائية في أداء طلبة المجموعة التجريبية مقارنة بأدائهم القبلي، كما تفوقت نتائجهم على نتائج المجموعة الضابطة، مما يدل على فاعلية استعمال معامل (PhET) الافتراضية في تنمية عمليات العلم لدى طلبة الصف الأول الثانوي.

كما هدفت دراسة يوسف وآخرين (Yusuf et al., 2025) إلى استقصاء أثر المحاكاة المعززة بالتكنولوجيا والمختبرات الافتراضية في تنمية الفهم المفاهيمي للعمليات البيولوجية المعقدة ومهارات عمليات العلم لدى طلبة المرحلة الثانوية العليا. واعتمدت الدراسة التصميم شبه التجريبي، حيث تكونت عينة الدراسة من (160) طالباً من طلبة الصف الثاني الثانوي، وُزِعوا بالتساوي إلى مجموعتين، مجموعة تجريبية ضمت (80) طالباً درسوا باستعمال المحاكاة، والمختبرات الافتراضية، ومجموعة ضابطة ضمت (80) طالباً درسوا بالطريقة التقليدية. ولجمع البيانات استعمل الباحثون اختبار الفهم المفاهيمي في علم الأحياء (BCUT)، إلى جانب مقياس تقييم مهارات عمليات العلم (SPSR). وأظهرت النتائج تحسناً في أداء طلبة المجموعتين بعد انتهاء التجربة، إلا أنَّ التحسن كان أكبر لدى طلبة المجموعة التجريبية، الذين أظهروا مستوى أفضل في

فهم المفاهيم (البيولوجية) مقارنةً بالمجموعة الضابطة. كما بينت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية لطريقة التدريس في تنمية مهارات عمليات العلم، مما يؤكد فاعلية المحاكاة والمختبرات الافتراضية في تعزيز مهارات الاستقصاء العلمي.

كذلك أجرى بايري وآخرون (Pairi et al., 2024) دراسة هدفت إلى التعرف إلى أثر تطبيق المدخل العلمي القائم على المختبرات الافتراضية في تنمية مهارات عمليات العلم لدى طلبة الصف الثامن. واعتمدت الدراسة المنهج شبه التجريبي، وأُجريت في مدرسة بمدينة (ماكاسار) في (إندونيسيا). وتكونت عينة الدراسة من طلبة الصف الثامن. ولجمع البيانات استعمل الباحثون اختباراً لقياس مهارات عمليات العلم، وطُبقت الاختبارات قبلًا وبعديًا، وأظهرت النتائج تحسن في مهارات عمليات العلم لدى طلبة المجموعتين بعد تطبيق المدخل العلمي القائم على المختبرات الافتراضية، حيث جاء مستوى التحسن ضمن الفئة المتوسطة، كما بينت النتائج وجود فروق في متوسط درجات مهارات عمليات العلم بين المجموعتين، مما يدل على فاعلية توظيف المختبرات الافتراضية في تنمية مهارات عمليات العلم لدى طلبة الصف الثامن. كذلك أظهرت النتائج أنَّ الطلبة أبدوا استجابات إيجابية نحو استعمال المختبرات الافتراضية، لما وفرته من بيئة تعليمية تفاعلية أسهمت في تسهيل فهم المفاهيم العلمية وربطها بالتطبيق العملي.

كما أجرى تشين وهوانغ وتشن (Chen, Hwang, & Chen, 2024) دراسة هدفت إلى استقصاء أثر توظيف المختبرات الافتراضية المدعومة بخرائط المفاهيم (Virtual Lab) في تنمية مهارات عمليات العلم وأنماط التعلم السلوكية لدى طلبة المرحلة المتوسطة. واعتمدت الدراسة التصميم شبه التجريبي، وأُجريت في إحدى المدارس المتوسطة في (تايوان)، وتكونت عينة الدراسة من (51) طالبًا وطالبة، وزُعدوا إلى مجموعتين، مجموعة تجريبية ضمت (26) طالبًا تعلموا باستعمال مختبر افتراضي مدعوم بخرائط المفاهيم، ومجموعة ضابطة ضمت (25) طالبًا تعلموا باستعمال المختبر الافتراضي بالطريقة الاعتيادية. ولجمع البيانات استعمل الباحثون اختباراً لقياس مهارات عمليات العلم، ومقياساً للوعي بحل المشكلات، ومقياساً للنزعة نحو التفكير الإبداعي، إلى جانب تحليل أنماط التعلم السلوكية في أثناء تنفيذ الأنشطة. وأظهرت النتائج وجود فروق ذات دلالة إحصائية لصالح المجموعة التجريبية في مهارات عمليات العلم والوعي بحل المشكلات والتفكير الإبداعي، كما بينت أن دمج خرائط المفاهيم داخل المختبرات الافتراضية ساعد الطلبة على فهم خطوات التجربة بصورة أفضل، وربط المفاهيم العلمية بالإجراءات العملية.

وفي السياق نفسه، أجرى قادر (Kadir, 2023) دراسة هدفت إلى التعرف إلى فاعلية استعمال المختبرات الافتراضية القائمة على محاكاة (PhET) في تنمية مهارات عمليات العلم لدى طلبة المرحلة الثانوية في مادة الفيزياء. واعتمدت الدراسة المنهج التجريبي باستعمال تصميم المجموعتين مع التطبيقين القبلي والبعدي. وأُجريت الدراسة في مدرستين بمحافظة (كولكا) بجنوب شرق (إندونيسيا)، وتكونت عينة الدراسة من (56) طالبًا من طلبة الصف العاشر، تم اختيارهم بالطريقة القصدية، ثم زُعدوا إلى مجموعة تجريبية درست باستعمال مختبرات (PhET) الافتراضية، ومجموعة ضابطة درست بالطريقة التقليدية. ولجمع البيانات استعمل الباحث اختباراً لقياس مهارات عمليات العلم، وأظهرت النتائج وجود تحسن ذي دلالة في مهارات عمليات العلم لدى طلبة المجموعة التجريبية مقارنةً بالمجموعة الضابطة، كما حقق طلبة المجموعة التجريبية مستويات أعلى في مهارات الملاحظة، والتجريب، وتفسير النتائج، والاستنتاج، مما يؤكد فاعلية المختبرات الافتراضية في تنمية مهارات عمليات العلم لدى طلبة المرحلة الثانوية.

كما هدفت دراسة الجعفري (2022) إلى التعرف إلى دور المختبر الافتراضي في تنمية عمليات العلم لدى الطلبة من وجهة نظر معلمي الكيمياء في سلطنة عُمان. واعتمدت الدراسة المنهج الوصفي، ولجمع البيانات استعمل الباحث الاستبانة، وتكونت عينة الدراسة من (100) معلم ومعلمة، وأظهرت النتائج أنَّ أفراد العينة يرون أنَّ للمختبر الافتراضي

دورًا كبيرًا في تنمية عمليات العلم لدى الطلبة. كما بينت النتائج وجود فروق ذات دلالة إحصائية تعزى إلى متغير سنوات الخبرة، في حين لم تظهر فروق ذات دلالة إحصائية تعزى إلى متغيري المرحلة التعليمية أو النوع، كما لم يظهر أثر للتفاعل بين هذه المتغيرات.

وهدف دراسة الشمري (2021) إلى التعرف إلى أثر التدريس باستعمال المختبرات والمحاكاة الافتراضية في تنمية عمليات العلم لدى طلبة الصف الخامس العلمي في مادة الكيمياء، واعتمدت الدراسة التصميم شبه التجريبي، وتكونت عينة الدراسة من (88) طالبًا من طلبة الصف الخامس العلمي في إعدادية (العزيفية) للبنين في العراق، تم اختيارهم بالطريقة القصدية، ثم وُزِعوا إلى مجموعتين متساويتين، مجموعة تجريبية ضمت (44) طالبًا درسوا باستعمال المختبرات والمحاكاة الافتراضية، ومجموعة ضابطة ضمت (44) طالبًا درسوا بالطريقة التقليدية. ولجمع البيانات أعد الباحث اختبارًا لقياس عمليات العلم، إلى جانب اختبار تحصيلي في مادة الكيمياء. وأظهرت النتائج وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسطي درجات طلبة المجموعتين في اختبار عمليات العلم لصالح المجموعة التجريبية.

مشكلة الدراسة وأسئلتها:

على الرغم من التطور المتزايد في توظيف التكنولوجيا في التعليم، إلا أنّ طرائق تدريس العلوم ما زالت تواجه تحديات تتعلق بقدرة الطلبة على فهم المفاهيم العلمية المجردة وممارسة المهارات العلمية المرتبطة بها.

وكون الباحثة تعمل كمدرسة علوم في المرحلة الإعدادية، فقد لاحظت في موضوع الأحياء أنّ عددًا من الطلبة يواجهون صعوبة في فهم المفاهيم المرتبطة بالخلية والانقسام الخلوي، وكذلك ضعف في توظيف المهارات كالملاحظة، التنبؤ والمقارنة، وذلك بسبب الطرق التقليدية حيث لا تعطي فرصًا كافية للتفاعل مع المفاهيم، أو مشاهدة العمليات الحيوية، وكذلك تطبيق عمليات العلم بصورة صحيحة، ودعمًا لملاحظتها، قامت الباحثة باستطلاع آراء الطلبة حيث تبين أنّ 65% يواجهون صعوبة في تفسير الظواهر، وتحليل رسوم بيانية أي: أنهم يفتقرون لمهارات عمليات العلم.

من ناحية أخرى، فقد أشارت نتائج امتحان العلوم والتكنولوجيا لسنة (2025) أنّ (52%) من الطلبة مازالوا في مستوى الأداء المنخفض من حيث تفسير الظواهر، وتحليل معطيات، وقراءة الجداول والرسوم، حسب معطيات وزارة التربية والتعليم.

علاوة على ذلك، فقد أوصت مجموعة من الدراسات كدراسة (Mahmud et al (2025)، ومحمد (2021) وأبو ربع وآخرين (2024) باستعمال المختبر الافتراضي، إذ يؤدي إلى تحسين فاعلية العملية التعليمية التفاعلية، ويدعم تنمية مهارات عمليات العلم والتعلم النشط في العلوم.

وبناءً على كل ما ذكر آنفاً، فقد تم تحديد مشكلة البحث بالتساؤل الآتي:

ما فاعلية توظيف البرنامج التعليمي الافتراضي في تنمية مفاهيم الأحياء، وعمليات العلم لدى طلبة الصف الثامن؟

وينبثق عن هذا السؤال الرئيس السؤالان الفرعيان الآتيان:

1. ما فاعلية توظيف برنامج تعليمي قائم على المختبرات الافتراضية في تنمية مفاهيم الأحياء لدى طلبة الصف الثامن؟
2. ما فاعلية توظيف برنامج تعليمي قائم على المختبرات الافتراضية في تنمية عمليات العلم لدى طلبة الصف الثامن؟

فرضيات الدراسة

تفحص الدراسة الفرضيتين الآتيتين:

1. لا يوجد فرق ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$) بين متوسطي درجات طلبة المجموعة التجريبية وطلبة المجموعة الضابطة في التطبيق البعدي لاختبار التحصيل يُعزى إلى طريقة التدريس (الطريقة الاعتيادية، البرنامج القائم على المختبرات الافتراضية).
2. لا يوجد فرق ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$) بين متوسطي درجات طلبة المجموعة التجريبية، وطلبة المجموعة الضابطة في مقياس عمليات العلم يُعزى إلى طريقتي التدريس (الطريقة الاعتيادية، برنامج تعليمي قائم على المختبرات الافتراضية).

أهداف الدراسة:

تهدف الدراسة الحالية إلى تقصي فاعلية برنامج تعليمي قائم على المختبرات الافتراضية في تنمية مفاهيم الأحياء، وعمليات العلم لدى طلبة الصف الثامن، لتحقيق الأهداف الآتية:

1. الكشف عن فاعلية البرنامج التعليمي القائم على المختبرات الافتراضية في تنمية مفاهيم الأحياء لدى طلبة الصف الثامن.
2. الكشف عن فاعلية البرنامج التعليمي القائم على المختبرات الافتراضية في تنمية عمليات العلم لدى طلبة الصف الثامن.

أهمية الدراسة

الأهمية النظرية:

- توضيح العلاقة بين التعليم الافتراضي، وتنمية مفاهيم الأحياء التي تساعد الطلبة على فهم المفاهيم المجردة والمعقدة، مثل: الخلية، والانقسام الخلوي، وغيرها من مواضيع الأحياء. وكذلك تسليط الضوء على عمليات العلم كمهارات أساسية في تعلم العلوم، مثل: الملاحظة، والتصنيف، والاستنتاج، والتفسير، والتنبؤ.
- عرض إطار مفاهيمي يجمع بين ثلاثة متغيرات رئيسية، وهي: البرنامج التعليمي الافتراضي، ومفاهيم الأحياء، وعمليات العلم، لمساعدة الباحثين في بناء تصورات نظرية لدراسات لاحقة.

الأهمية التطبيقية:

- تقديم برنامج تعليمي افتراضي يمكن لمعلمي العلوم والأحياء الاستفادة منه في تدريس مواضيع الأحياء بطريقة تفاعلية وجاذبة.
- مساعدة طلبة المرحلة الإعدادية في فهم مفاهيم الأحياء بصورة أوضح، وتنمية قدرتهم على الملاحظة، والتحليل، والتفسير، والاستنتاج، بدل الاكتفاء بحفظ المعلومات.
- تحسين بيئة تعليم الأحياء وجعل الطالب أكثر تفاعلاً مع المادة العلمية، وأكثر قدرة على استعمال مهارات التفكير العلمي في أثناء التعلم.

الأهمية البحثية:

- فتح المجال لدراسات مستقبلية حول أثر البرامج التعليمية الافتراضية في تنمية متغيرات أخرى.

حدود الدراسة:

اشتملت هذه الدراسة على الحدود الآتية:

الحد الموضوعي: تقتصر هذه الدراسة في الكشف عن فاعلية برنامج تعليمي افتراضي في تنمية مفاهيم الأحياء، وعمليات العلم بتطبيق مختبر افتراضي كأداة تعليمية رقمية على وحدة تعليمية محددة، والتركيز على عمليات العلم الرئيسة (الملاحظة والتصنيف والاستنتاج والمقارنة والتفسير والتنبؤ والتجريب واستعمال البيانات والرسوم وصياغة الفرضية).

الحد البشري: طلبة من الصف الثامن الاعدادي.

الحد المكاني: مدرسة إعدادية في شمال البلاد.

الحد الزمني: الفصل الدراسي الثاني من العام (2025-2026).

الحد المنهجي: انتهجت الباحثة المنهج التجريبي بتصميم شبه تجريبي بأدواته المقياس والاختبار.

مصطلحات الدراسة

تعتمد الدراسة التعريفات الآتية لمصطلحاتها:

البرنامج التعليمي الافتراضي: تعريف محمود وآخرون (2024) هو نمط من أنماط التعلم (الإلكتروني) يُقدّم بيئة رقمية عبر (الإنترنت)، تُستعمل فيها وسائط تعليمية متعددة، مثل: النصوص والصور والصوت و(الفديو)، بما يتيح تفاعلاً فعالاً بين المعلم والمتعلم والمحتوى التعليمي، ويوفر فرصاً للتعلم المرن الذي يراعي احتياجات المتعلمين، واختلاف أنماط تعلمهم.

مختبر التعليم الافتراضي: تشير الحافرة والدعيس (2022) هو بيئة تعلم رقمية تفاعلية تحاكي المختبر الحقيقي، وتمكّن الطلبة من إجراء التجارب العلمية باستعمال أدوات ومحاكاة افتراضية عبر الحاسوب، مع إمكانية تكرار التجارب في أي وقت ومن أي مكان، مما يعزز تعلمهم وفهمهم للمفاهيم العلمية في بيئة آمنة ومرنة.

إجراءيًا تعرف الباحثة التعليم الافتراضي الذي يتضمن مختبر افتراضي (براكسيلاس) في موضوع الخلية والانقسام الخلوي وتنفيذه مع طلبة الصف الثامن في المرحلة الإعدادية، بهدف تنمية مفاهيم الأحياء وعمليات العلم لديهم.

مفاهيم الأحياء: يعرفها عبد اللطيف وآخرون (2022) على أنها مفاهيم الأحياء مجموعة من المعاني والأفكار العلمية التي تساعد المتعلم على فهم الكائنات الحية، وبنيتها، ووظائفها، وعملياتها الحيوية، مثل: الخلية، والنواة، والكروموسومات، والانقسام الخلوي، والنمو، والتكاثر، والوراثة.

وتعريف الباحثة إجراءيًا هي المفاهيم العلمية الأحيائية المتضمنة في الوحدة التعليمية التي ستُدْرَس بالبرنامج التعليمي الافتراضي، مثل: الخلية، والنواة، والكروموسومات، (DNA)، والانقسام المتساوي، والانقسام المنصف، ويُقاس اكتساب الطلبة لهذه المفاهيم من اختبار مفاهيم الأحياء القبلي والبعدي الذي تُعدّه الباحثة لهذا الغرض.

عمليات العلم: يعرفها Chengere وآخرون (2025) على أنّ عمليات العلم هي مجموعة من المهارات العقلية والأدائية

التي تمكن المتعلم من التفكير العلمي، وحل المشكلات، وإجراء الاستقصاءات العلمية بصورة منظمة، بالملاحظة، والتصنيف، والقياس، والاستنتاج، والتنبؤ، وتفسير البيانات، وضبط المتغيرات. وتساعد هذه المهارات الطلبة على فهم الظواهر العلمية، والوصول إلى نتائج قائمة على الأدلة.

وتعرف الباحثة إجرائياً مجموعة المهارات العلمية على أنها هي التي يسعى البرنامج التعليمي الافتراضي إلى تنميتها لدى طلبة الصف الثامن في المرحلة الإعدادية، وتشمل في هذه الدراسة: الملاحظة، والتصنيف، والاستنتاج، والمقارنة، والتفسير، والتنبؤ، واستعمال البيانات والرسوم، والتجريب وصياغة الفرضية، ويُقاس مستوى تنميتها بمقياس عمليات العلم الذي تُعده الباحثة.

منهج الدراسة

اعتمدت الدراسة المنهج التجريبي باستعمال تصميم شبه تجريبي (Quasi Experimental Design)، لملاءمته لطبيعة الدراسة التي تهدف إلى الكشف عن أثر المتغير المستقل (البرنامج التعليمي القائم على المختبرات الافتراضية) على متغيرين تابعين (تنمية مفاهيم الأحياء، وعمليات العلم)، وتم استعمال تصميم المجموعتين (الضابطة والتجريبية) مع التطبيقين: القبلي والبعدى لاختبار مفاهيم الأحياء، وتطبيق بعدى فقط لمقياس عمليات العلم. إذ درست المجموعة التجريبية باستعمال برنامج تعليمي قائم على المختبرات الافتراضية، بينما درست المجموعة الضابطة بالطريقة الاعتيادية في المدرسة.

مجتمع الدراسة وعينتها:

تكون مجتمع الدراسة من طلبة الصف الثامن في لواء الشمال، والبالغ عددهم (4567) طالباً وطالبة، وفق منظومة البيانات التابعة لوزارة التربية والتعليم لسنة (2025-2026)، وتم اختيار عينة قصدية من طلبة الصف الثامن في إحدى المدارس الإعدادية التابعة للواء الشمال، وذلك لتوافر الإمكانيات التقنية اللازمة لتنفيذ البرنامج التعليمي، وتعاون إدارة المدرسة مع الباحثة في تطبيق البحث، وقد بلغ عدد أفراد العينة (63) طالباً وطالبة، وزُعوا على مجموعتين، إذ ضمت المجموعة التجريبية (31) طالباً وطالبة، بينما ضمت المجموعة الضابطة (32) طالباً وطالبة، وقد درست المجموعتان المحتوى التعليمي نفسه، وتولت الباحثة تدريس المجموعتين كمعلمة العلوم في المدرسة، حيث درست المجموعة التجريبية باستعمال البرنامج التعليمي القائم على المختبرات الافتراضية، في حين درست المجموعة الضابطة بالطريقة الاعتيادية.

البرنامج التعليمي القائم على المختبرات الافتراضية

استعملت الباحثة برنامجاً تعليمياً قائماً على المختبرات الافتراضية، مستندة إلى منصة (PraxiLabs)، بهدف تنمية مفاهيم الأحياء وعمليات العلم لدى طلبة الصف الثامن، وقد روعي عند اختيار البرنامج أن يتوافق مع أهداف منهاج العلوم، وأن يوفر بيئة تعلم تفاعلية تتيح للطلبة استكشاف المفاهيم العلمية بالمحاكاة، وإجراء التجارب الافتراضية بصورة آمنة وواقعية.

ويتلاءم البرنامج مع أهداف منهاج العلوم للصف الثامن، ومحتوى وحدة الخلية والانقسام الخلوي.

ويهدف البرنامج التعليمي القائم على المختبرات الافتراضية إلى:

- تنمية مفاهيم الأحياء المتعلقة بوحدة الخلية والانقسام الخلوي.
- تنمية مهارات عمليات العلم لدى الطلبة.
- إكساب الطلبة القدرة على إجراء التجارب العلمية افتراضياً.

- تعزيز التعلم الذاتي والتفاعل مع المحتوى العلمي.
- ربط المفاهيم النظرية بالتطبيق العملي.

تضمن البرنامج موضوعات وحدة الخلية والانقسام الخلوي، وهي الخلية ومكوناتها، وأنواع الخلايا، ومقارنة الخلية النباتية والخلية الحيوانية، والعضيات ووظائفها، والنواة والمادة الوراثية، وتضاعف الحمض النووي (DNA)، والانقسام المتساوي، والانقسام المنصف، ومقارنة بين الانقسامين، وتطبيقات حياتية مرتبطة بالانقسام الخلوي.

اعتمدت الباحثة في البرنامج على منصة (PraxiLabs) باعتبارها بيئة مختبر افتراضي ثلاثية الأبعاد تتيح للطلبة إجراء التجارب العلمية بطريقة تفاعلية تحاكي المختبرات الحقيقية، وتوفر المنصة بيئة آمنة تسمح للطلبة بتنفيذ التجارب أكثر من مرة، مع الحصول على تغذية راجعة مباشرة.

وقد استعملت الباحثة المختبرات الافتراضية المتوافقة مع موضوعات وحدة الخلية والانقسام، إذ أتاحت المنصة للطلبة مشاهدة مكونات الخلية، واستكشاف مراحل الانقسام الخلوي، والتفاعل مع التجارب بخطوات منظمة تجمع بين الشرح النظري والتطبيق العملي، وتم تنفيذ البرنامج التعليمي القائم على المختبرات الافتراضية خلال شهرين، بواقع (16) حصة تعليمية، مدة كل منها (45) دقيقة، وفق المراحل الآتية:

1. التهيئة وإثارة دافعية الطلبة.

2. عرض أهداف الدرس.

3. تقديم تمهيد للمفهوم العلمي.

4. تنفيذ النشاط باستعمال مختبر (PraxiLabs).

5. مناقشة النتائج التي توصل إليها الطلبة.

6. استخلاص المفاهيم العلمية.

7. تنفيذ أنشطة تقويمية، وتقديم التغذية الراجعة.

واقصر دور الباحثة باعتبارها معلمة الموضوع على التخطيط للدرس، وإدارة سير الأنشطة، وتوجيه الطلبة في أثناء استعمال المختبر الافتراضي، والإجابة عن استفساراتهم، وتقديم التغذية الراجعة، وتشجيعهم على المناقشة والاستقصاء، واعتمدت الباحثة في أثناء تنفيذ البرنامج على الأسئلة الشفوية، والأنشطة التطبيقية، والمناقشات الصفية، والتغذية الراجعة المستمرة، في حين تمثل التقويم في تطبيق اختبار مفاهيم الأحياء ومقياس عمليات العلم.

أداتا الدراسة

اعتمدت الباحثة في هذه الدراسة على أداتين لجمع البيانات، وذلك لقياس فاعلية البرنامج التعليمي القائم على المختبرات الافتراضية في تنمية مفاهيم الأحياء وعمليات العلم لدى طلبة الصف الثامن. وقد أعدت الباحثة هاتين الأداتين في ضوء أهداف الدراسة، وبلاستفادة من الأدبيات التربوية، والدراسات السابقة (المحاشي، 2023؛ الجعفري، 2022؛ الفضلي، 2022) إضافة إلى محتوى منهاج العلوم المقرر للصف الثامن، وبعد الانتهاء من إعدادهما بصورتها الأولى، عُرضتا على عدد من المحكمين المتخصصين في مناهج وطرق تدريس العلوم والقياس والتقويم، للتأكد من ملائمة فقراتهما وسلامة صياغتهما.

وفيما يلي توضيح لإعداد أدوات جمع البيانات:

أولاً: إعداد اختبار مفاهيم الأحياء

اعتمدت الباحثة اختباراً لقياس مفاهيم الأحياء لدى طلبة الصف الثامن، وذلك بهدف التعرف إلى مستوى امتلاكهم للمفاهيم العلمية المرتبطة بوحدة الخلية، والانقسام قبل تطبيق البرنامج التعليمي وبعده، وقياس فاعلية البرنامج في تنمية تلك المفاهيم، ولتحقيق ذلك، أعدت الباحثة اختباراً بعدياً فقد تكون في صورته النهائية من (15) فقرة من نوع الاختيار من متعدد، واشتمل كل سؤال على أربعة بدائل، منها بديل واحد صحيح. وقد ركز الاختبار على المفاهيم العلمية التي تناولتها الوحدة التعليمية الخاصة بالانقسام الخلوي، ووزعت فقراته على مستويات بلوم المعرفية بما يتناسب مع أهداف الوحدة التعليمية، كما هو موضح في الجدول (1).

جدول (1)

توزيع فقرات الاختبار البعدي وفق مستويات بلوم

مستوى بلوم	أرقام الفقرات	عدد الفقرات
التذكر	2، 7، 15	3
الفهم	1، 4، 6، 10	4
التطبيق	3، 5، 11، 14	4
التحليل	8، 9، 12، 13	4
المجموع		15

خطوات بناء اختبار مفاهيم الأحياء

مرّ إعداد اختبار مفاهيم الأحياء بمراحل عدة متسلسلة، بهدف بناء أداة تتمتع بدرجة مناسبة من الصدق والثبات، وتحقيق أهداف الدراسة، وذلك على النحو الآتي:

- 1- هدفت الباحثة إلى إعداد اختبار يقيس مستوى امتلاك طلبة الصف الثامن لمفاهيم الأحياء المتعلقة بوحدة الخلية، والانقسام الخلوي؛ للتحقق من فاعلية البرنامج التعليمي القائم على المختبرات الافتراضية في تنمية تلك المفاهيم.
 - 2- حللت الباحثة محتوى الوحدة التعليمية الخاصة بالخلية، والانقسام الخلوي الواردة في منهاج العلوم للصف الثامن، بهدف تحديد المفاهيم الرئيسية والفرعية، والأهداف التعليمية التي ينبغي أن يقيسها الاختبار، مع مراعاة شمول الاختبار لجميع مواضيع الوحدة.
 - 3- بعد تحليل المحتوى وتحديد الأهداف التعليمية، أعدت الباحثة جدول يعرض مستويات المجال المعرفي وفق تصنيف بلوم المطلوبة للمواضيع الوحدة والأهداف التعليمية المرتبطة بها.
 - 4- بناءً على ذلك، صاغت الباحثة فقرات الاختبار من نوع الاختيار من متعدد، بحيث اشتملت كل فقرة على أربعة بدائل، منها إجابة صحيحة واحدة وثلاثة بدائل مشتتة.
- وتكون الاختبار البعدي من (15) فقرة، وفق الأهداف التعليمية الخاصة بالوحدة.

صدق اختبار مفاهيم الأحياء البعدي

للتحقق من الصدق الظاهري وصدق المحتوى، عُرض الاختبار في صورته الأولى على تسعة محكمين من ذوي الاختصاص والخبرة في مجالات مناهج العلوم، وطرائق تدريسها، والقياس والتقويم، وتعليم الأحياء، وذلك بهدف التحقق من مدى ملائمة الفقرات لأهداف الأداة، ووضوح صياغتها، وسلامتها العلمية واللغوية، وانتمائها للمجال الذي تقيسه، وملاءمتها لمستوى أفراد عينة الدراسة، وفي ضوء آراء المحكمين وملاحظاتهم، أُجريت التعديلات اللازمة على فقرات الاختبار، واعتمدت الفقرات التي حصلت على نسبة اتفاق بلغت (80%) فأكثر، حتى تم التوصل إلى الصورة المناسبة للتطبيق على العينة الاستطلاعية.

العينة الاستطلاعية لاختبار مفاهيم الأحياء البعدي طُبّق اختبار مفاهيم الأحياء البعدي على عينة استطلاعية تكونت من (16) طالبًا وطالبة من طلبة الصف الثامن من خارج عينة الدراسة الأصلية، ولكن من مجتمع مماثل لمجتمع الدراسة، وهدفت العينة الاستطلاعية إلى التحقق من وضوح تعليمات الاختبار وفقراته، والكشف عن الصعوبات التي قد تواجه الطلبة في أثناء الإجابة، وتحديد الزمن المناسب لتطبيقه، وحساب معامل الثبات لفقراته، بما في ذلك معاملات الصعوبة والتمييز.

وفي ضوء نتائج العينة الاستطلاعية، أجرت الباحثة التعديلات اللازمة على بعض الفقرات، ثم أعدت الاختبار في صورته النهائية ليكون معد للتطبيق على أفراد عينة الدراسة الأساسية.

ثبات اختبار مفاهيم الأحياء البعدي

تم قياس ثبات الاختبار البعدي لمفاهيم الأحياء باستعمال معامل (كرونباخ الفا)، وذلك بتطبيقه على بيانات العينة الاستطلاعية، وقد كانت معامل الثبات (0.795) للاختبار المكون من (15) فقرة. وهي قيمة تشير إلى تمتع الاختبار بدرجة جيدة من الثبات والاتساق الداخلي، ومن هنا يعتمد تطبيق الاختبار على عينة الدراسة.

معاملات الصعوبة:

تم استخراج معاملات الصعوبة لفقرات اختبار مفاهيم الأحياء البعدي بالاعتماد على متوسط درجات كل فقرة، فقد تراوحت معاملات الصعوبة بين (0.50 و 0.75) كما يبين جدول (3)، وتقع جميعها ضمن الحد المقبول، وتتميز فقرات الاختبار بدرجة مناسبة من الصعوبة (Rezigalla, 2022).

جدول (3)

معاملات الصعوبة لفقرات اختبار مفاهيم الأحياء

الفقرة	معامل الصعوبة	الفقرة	معامل الصعوبة	الفقرة	معامل الصعوبة
Q1	0.69	Q6	0.50	Q11	0.56
Q2	0.69	Q7	0.56	Q12	0.75
Q3	0.75	Q8	0.63	Q13	0.56
Q4	0.56	Q9	0.50	Q14	0.50
Q5	0.63	Q10	0.75	Q15	0.69

معاملات التمييز:

تم حساب معاملات التمييز لفقرات اختبار مفاهيم الأحياء البعدي باستعمال معامل الارتباط بين الفقرة والدرجة الكلية، وتراوحت معاملات التمييز بين (0.196 و 0.759) كما يشير جدول (4) حيث تعدّ الفقرات ضمن المستوى المقبول، إلاّ الفقرتين: (6،9) كان معامل التمييز منخفضاً نسبياً حيث تمّ تعديلها وفق آراء المحكمين، ومعامل التمييز جيدة بشكل عام (Faria & Miranda, 2026).

جدول (3)

معاملات التمييز لفقرات اختبار مفاهيم الأحياء

الفقرة	معامل التمييز	الفقرة	معامل التمييز	الفقرة	معامل التمييز
Q1	0.440	Q6	0.196	Q11	0.537
Q2	0.316	Q7	0.378	Q12	0.432
Q3	0.432	Q8	0.545	Q13	0.537
Q4	0.263	Q9	0.196	Q14	0.270
Q5	0.759	Q10	0.344	Q15	0.440

ثانياً: إعداد مقياس عمليات العلم

أعدت الباحثة مقياس عمليات العلم بالاستفادة من الأدب التربوي، والدراسات السابقة التي تناولت قياس عمليات العلم (حمد، 2021؛ القيسي والحجايا، 2023؛ عسيري، 2023)، يضاف إلى ذلك الأهداف التعليمية لوحدة الخلية، والانقسام الخلوي في منهاج العلوم للصف الثامن.

تكون المقياس في صورته النهائية من (21) فقرة من نوع الاختيار من متعدد، واشتملت كل فقرة على أربعة بدائل، منها بديل واحد صحيح، وثلاثة بدائل مشتتة، وحُصصت درجة واحدة للإجابة الصحيحة، وصفر للإجابة الخطأ، وبذلك بلغت الدرجة الكلية للمقياس (21) درجة، وقد استغرق تطبيقه (45) دقيقة.

وروعي عند إعداد المقياس أنّ تمثل فقراته مهارات عمليات العلم المستهدفة في الدراسة، وقد توزعت الفقرات على المهارات كما هو موضح في الجدول (5).

جدول (5)

توزيع فقرات مقياس عمليات العلم وفق المهارات المستهدفة

عدد الفقرات	أرقام الفقرات	مهارة عمليات العلم
2	1، 2	الملاحظة
2	3، 4	التصنيف
2	5، 6	المقارنة
3	7، 8، 9	الاستنتاج
3	10، 11، 12	التفسير
2	13، 14	التنبؤ
3	15، 16، 17	استعمال البيانات والرسوم
2	18، 19	صياغة الفرضيات
2	20، 21	التجريب
21	المجموع	

صدق مقياس عمليات العلم:

للتحقق من صدق المقياس، عُرض في صورته الأولية على تسعة محكمين متخصصين في مناهج العلوم وأساليب تدريسها، والقياس والتقويم، ومعلمي العلوم. وطلب منهم إبداء آرائهم حول مدى ملاءمة الفقرات لعمليات العلم التي تقيسها، ومدى ارتباط كل فقرة بالمهارة المحددة، ووضوح الصياغة العلمية واللغوية، وملاءمة الفقرات للمستوى المعرفي للطلبة، وبناءً على ملاحظات المحكمين، أُجريت التعديلات اللازمة على صياغة بعض الفقرات، حتى أصبح المقياس جاهزاً للتطبيق على العينة الاستطلاعية.

تطبيق مقياس عمليات العلم على العينة الاستطلاعية

طُبّق مقياس عمليات العلم على العينة الاستطلاعية نفسها، المكونة من (16) طالباً وطالبة من طلبة الصف الثامن من خارج عينة الدراسة الأصلية. وهدف التطبيق إلى التحقق من وضوح تعليمات المقياس وفقراته، وتحديد الزمن اللازم للإجابة، والكشف عن أية صعوبات قد تواجه الطلبة، إضافة إلى حساب معامل الثبات لفقرات المقياس. وفي ضوء نتائج العينة الاستطلاعية، أُجريت التعديلات المناسبة، ثم أُعدّ المقياس في صورته النهائية لتطبيقه البعدي على أفراد المجموعتين التجريبية والضابطة.

ثبات مقياس عمليات العلم:

تم حساب ثبات مقياس عمليات العلم باستعمال معامل (كرونباخ ألفا) بتطبيقه على بيانات العينة الاستطلاعية. وقد كانت نتيجة معامل الثبات (0.807) للمقياس المكون من (21) فقرة وهي قيمة تشير إلى تمتع المقياس بدرجة جيدة من الاتساق الداخلي، والثبات ويمكن تطبيقه على عينة الدراسة.

معاملات الصعوبة

تراوحت معاملات الصعوبة بين (0.25 و 0.75) كما يوضحها جدول (6) لمقياس عمليات العلم المكون من (21) فقرة، وهي قيم تقع ضمن المقبول مما يشير إلى تنوع فقرات المقياس بين الصعبة والسهلة.

جدول (6)

معاملات الصعوبة لفقرات مقياس عمليات العلم

الفقرة	معامل الصعوبة	الفقرة	معامل الصعوبة	الفقرة	معامل الصعوبة
Q1	0.44	Q8	0.63	Q15	0.69
Q2	0.44	Q9	0.63	Q16	0.69
Q3	0.25	Q10	0.69	Q17	0.63
Q4	0.69	Q11	0.50	Q18	0.69
Q5	0.75	Q12	0.63	Q19	0.38
Q6	0.50	Q13	0.56	Q20	0.50
Q7	0.69	Q14	0.69	Q21	0.37

معاملات التمييز

تم حساب معاملات التمييز لفقرات مقياس عمليات العلم باستعمال معامل الارتباط بين الفقرة والدرجة الكلية، وقد تراوحت معاملات التمييز بين (0.141 و 0.554) كما في جدول (7)، أي تتراوح معظم الفقرات ضمن المقبول، لكن الفقرة (11) يتم مراجعتها بعد الأخذ بعين الاعتبار آراء المحكمين.

جدول (7)

معاملات التمييز لفقرات مقياس عمليات العلم

الفقرة	معامل التمييز	الفقرة	معامل التمييز	الفقرة	معامل التمييز
Q1	0.535	Q8	0.333	Q15	0.423
Q2	0.320	Q9	0.554	Q16	0.200
Q3	0.364	Q10	0.358	Q17	0.333
Q4	0.455	Q11	0.141	Q18	0.390
Q5	0.364	Q12	0.212	Q19	0.554
Q6	0.467	Q13	0.441	Q20	0.405
Q7	0.263	Q14	0.231	Q21	0.333

المعالجات الإحصائية

بعد جمع البيانات، تم ترميزها وإدخالها إلى برنامج (SPSS)، حيث تم معالجة البيانات باستعمال الأساليب الإحصائية الآتية:

- المتوسطات الحسابية، والانحرافات المعيارية، لوصف أداء طلبة المجموعتين التجريبية والضابطة في أداتي الدراسة.
- معامل (كرونباخ ألفا)، للتحقق من ثبات اختبار مفاهيم الأحياء البعدي ومقياس عمليات العلم.
- معاملات الصعوبة والتمييز، للتحقق من فقرات اختبار مفاهيم الأحياء البعدي ومقياس عمليات العلم.

- تحليل التباين الأحادي المصاحب (ANCOVA)، للكشف عن دلالة الفروق بين متوسطي درجات المجموعتين في اختبار مفاهيم الأحياء البعدي، بعد ضبط أثر درجات اختبار مفاهيم الأحياء القبلي.
- اختبار (ت) لعينتين مستقلتين (Independent Samples t-test)، للكشف عن دلالة الفرق بين متوسطي درجات المجموعتين التجريبية والضابطة في التطبيق البعدي لمقياس عمليات العلم.
- مربع (إيتا)، لتحديد حجم أثر البرنامج التعليمي القائم على المختبرات الافتراضية في مفاهيم الأحياء، إلى جانب حساب حجم الأثر المناسب لنتائج اختبار (ت) في مقياس عمليات العلم.

نتائج الدراسة ومناقشتها

النتائج المتعلقة بالسؤال الأول

ما فاعلية استعمال برنامج تعليمي قائم على المختبرات الافتراضية في تنمية مفاهيم الأحياء لدى طلبة الصف الثامن؟

للإجابة عن السؤال الأول، فقد اشتمت الباحثة الفرضية الآتية:

لا يوجد فرق ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$) بين متوسطي درجات طلبة المجموعة التجريبية وطلبة المجموعة الضابطة في التطبيق البعدي لاختبار التحصيل يُعزى إلى طريقة التدريس (الطريقة الاعتيادية، البرنامج القائم على المختبرات الافتراضية).

لاختبار الفرضية، فقد تم استخراج المتوسطات الحسابية، والانحرافات المعيارية لدرجات طلبة المجموعتين الضابطة (الذين تعلموا بالطريقة الاعتيادية) والتجريبية (الذين تعلموا من برنامج قائم على المختبرات الافتراضية) في القياسين القبلي والبعدي، وكانت النتائج كما هو مبين في الجدول (8).

جدول (8)

المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لعلامات الطلبة في اختبار التحصيل في القياسين القبلي والبعدي تبعا لمجموعتي الدراسة

المجموعة	العدد	علامات اختبار التحصيل القبلي من (25)	علامات اختبار التحصيل البعدي من (15)
		الانحراف المعياري	الانحراف المعياري
الوسط الحسابي	الوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الانحراف المعياري
الضابطة	32	12.78	4.84
التجريبية	31	12.52	4.89
		10.48	2.72
		2.57	8.66

يُلاحظ من النتائج في الجدول (8) أن هناك فرقا ظاهريا في المتوسطات الحسابية، والانحرافات المعيارية في الاختبار البعدي للتحصيل بعد استعمال البرنامج القائم على المختبرات الافتراضية، فقد بلغ المتوسط الحسابي للمجموعة الضابطة (8.66)، بانحراف معياري مقداره (2.72) في حين بلغ المتوسط الحسابي للمجموعة التجريبية (10.48)، بانحراف معياري مقداره (2.57)، ولبيان دلالة الفروق الإحصائية بين المتوسطات الحسابية قامت الباحثة باستعمال تحليل التباين الأحادي المصاحب (ANCOVA)، ويظهر الجدول (9) النتائج.

جدول (9)

نتائج تحليل التباين الأحادي المصاحب (ANCOVA) لأثر التدريس وفق البرنامج القائم على المختبرات الافتراضية في المجموعتين الضابطة والتجريبية على اختبار التحصيل البعدي

مصدر التباين	مجموع المربعات	درجات الحرية	متوسط المربعات	F	الدلالة الاحصائية	مربع إيتا (η^2)	حجم التأثير
الاختبار القبلي	357.059	1	357.059	306.481	*0.001		
طريقة التدريس	60.412	1	60.412	51.855	*0.0001	0.13	متوسط
الخطأ	69.902	60	1.165				
المجموع المصحح	479.556	62					

*دال إحصائياً عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$)

يتضح من نتائج تحليل التباين الأحادي المصاحب (ANCOVA) الواردة في الجدول (9) وجود أثر دال إحصائياً لطريقة التدريس في اختبار التحصيل البعدي بعد ضبط أثر الاختبار القبلي، فقد تبين وجود فرق ذي دلالة إحصائية يُعزى إلى طريقة التدريس التي اعتمدت على المختبرات الافتراضية.

وبلغت قيمة مربع (إيتا) ($\eta^2 = 0.13$)، وهو ما يشير إلى حجم تأثير متوسط وفقاً لمعايير (كوهين، 1988)، حيث يُعد ($\eta^2 = 0.01$) حجماً صغيراً، و ($\eta^2 = 0.06$) متوسطاً، و ($\eta^2 = 0.14$) فأكثر حجماً كبيراً. وهذا يعني أن ما نسبته (13%) من التباين في درجات التحصيل البعدي يُعزى إلى طريقة استعمال البرنامج القائم على المختبرات الافتراضية.

ولذا، فإنَّ التدريس باستعمال البرنامج القائم على المختبرات الافتراضية كان ذا أثر إيجابي واضح في تنمية التحصيل لدى طلبة الصف الثامن مقارنة بالطريقة الاعتيادية.

ولإظهار الفروق الحقيقية بين المجموعتين بعد ضبط أثر القياس القبلي، قامت الباحثة بحساب المتوسطات المعدلة كما هو موضح في الجدول (10).

جدول (10)

المتوسطات المعدلة بعد ضبط أثر القياس القبلي

المجموعة	المتوسط المعدل	الخطأ المعياري
الضابطة	8.59	0.191
التجريبية	10.55	0.194

يتضح من جدول (10) الخاص بالمتوسطات المعدلة بعد ضبط أثر القياس القبلي، وجود فرق واضح بين المجموعتين في القياس البعدي لاختبار التحصيل، فقد بلغ المتوسط المعدل لدرجات طلبة المجموعة الضابطة (8.59) بخطأ معياري مقداره (0.191)، في حين بلغ المتوسط المعدل لدرجات طلبة المجموعة التجريبية (10.55) وبخطأ معياري (0.194). ويشير ذلك إلى تفوق المجموعة التجريبية على المجموعة الضابطة في القياس البعدي بعد تحييد أثر الفروق القبلية بين المجموعتين.

ويعكس هذا الفرق في المتوسطات المعدلة الفروق الحقيقية الناتجة عن المتغير المستقل (طريقة التدريس باستعمال برنامج تعليمي قائم على المختبرات الافتراضية)، إذ إنّ هذه المتوسطات تم احتسابها بعد ضبط أثر القياس القبلي إحصائيًا بتحليل التباين الأحادي المصاحب، مما يزيد من دقة تفسير النتائج.

إذ يمكن تفسير هذه النتيجة بأنّ البرنامج التعليمي القائم على المختبرات الافتراضية ربما وفّر بيئة تعليمية تتيح للطلبة التفاعل، المشاركة وأنّ يكونوا فعالين ونشطين داخل البيئة التعليمية، بدلاً من الإصغاء والاستماع فقط، وهذا يؤدي إلى استيعاب الطالب وتركيزه، وبآلاتي انعكس إيجابيًا على تحصيله الدراسي. وهذا ما بينته دراسة قسم السيد وسعيد (2022) إذ إنّ المختبرات الافتراضية تتيح للطلبة التفاعل مع تجارب علمية ضمن بيئة افتراضية تشبه الواقع. كما أكدت دراسة نيمي وآخرين (Naimi-Akbar et al., 2024) على أنّ المختبرات الافتراضية تتيح فرصًا للتواصل، والتفاعل بين المعلم والطلبة داخل فضاء رقمي منظم.

وكذلك ساعدت المختبرات الافتراضية الطلبة في تبسيط المفاهيم الأحيائية المجردة غير المحسوسة، وإظهارها بطريقة تفاعلية ومرئية متحركة بمساعدة المحاكاة التفاعلية، الأمر الذي ساهم في تعزيز الفهم العميق، وبناء المعرفة من الملاحظة والتجريب بطريقة افتراضية. فالتنوع في أساليب التدريس يحفز الطالب على التعلم، ويزيد من دافعيته، فالطالب الذي يمتلك دافعية أكبر يبذل جهدًا مضاعفًا في التعلم، وهذا يحسن من تحصيله الدراسي، وقد بيّن روسلي وإسحاق (Rosli & Ishak, 2024) أنّ المختبرات الافتراضية تعزز التعلم النشط، وتحسن الفهم المفاهيمي، كما بينت دراسة لي وليانغ (Li & Liang, 2024) أنّ استعمال المختبرات الافتراضية يحقق أثرًا إيجابيًا في نواتج التعلم، ودافعية الطلبة، وانخراطهم في الأنشطة التعليمية، يضاف إلى ذلك تخفيف حدة القلق لدى الطلبة نتيجة تحررهم من الخوف من الأخطاء التي قد تحدث معهم في المختبرات التقليدية، وبآلاتي يعمل الطالب في المختبرات الافتراضية ضمن بيئة مريحة وآمنة، مما يعزز اطمئنانه وتركيزه، وتفاعله، وتحصيله الدراسي. وهذا ما أشار إليه (ميروندا) وآخرون (Meronda et al., 2025) إلى أنّ المختبرات الافتراضية لها دور مهم في توفير بيئة آمنة، ومرنة للتجريب.

ويمكن أنّ يُعزى تفوق المجموعة التجريبية بأنّ البرنامج وفّر فرص إعادة التجارب، وتكرارها، وتنفيذها دون أنّ يكون تقيد في الوقت والأدوات والمواد، وهذا يتيح للطلبة في إعادة، ومراجعة خطوات التجربة ومراحلها أكثر من مرة، ومراقبة التغيرات، وملاحظتها لاستخلاص النتائج بأنفسهم، الأمر الذي يساعد الطلبة على تذكر المفاهيم العلمية، وفهمها، وتطبيقها في مواقف تعليمية مختلفة. وهذا ما أكد عليه (Zhang & Liu, 2024) أنّ المختبرات الافتراضية تتيح للطلاب إعادة التجربة أكثر من مرة دون خوف من الخطأ، أو تلف الأدوات، أو التعرض لمخاطر المختبر الحقيقي.

ولا بد من الانتباه إلى مراعاة الفروق الفردية بين الطلبة، بحيث يتعلم كل طالب حسب وتيرته وقدراته الخاصة، مما يضمن استيعابه للمفاهيم بشكل أفضل، وهذا يساعده على تحسين تحصيله الدراسي.

ويمكن ربط هذا الشرح بمبدأ النظرية البنائية التي تنص على أنّ الطالب يبني معرفته بنفسه بالتفاعل، والمشاركة، والعمل مع مجريات العملية التعليمية، إذ يتيح البرنامج للطلبة في استعمال المواد، والتجريب الافتراضي، وفحص الفرضيات، والمناقشة، وتبادل التجربة، والعمل حتى الوصول إلى النتائج من عمله الذاتي بدلاً من تلقي الشرح الكلامي الاعتيادي، ومن هنا يصبح التعلم أكثر فائدة وفاعلية، وقد أشارت دراسة عفيفي (Afify, 2023) إلى أنّ المختبر الافتراضي يوفر تجربة تعلم نشطة تساعد الطالب على المشاركة، والاستكشاف، وبناء المعرفة، والفهم.

وهناك أيضًا عوامل قد ساهمت في الحصول على هذه النتيجة، منها تقنيات تعليمية مختلفة داخل البرنامج، مثل: النماذج ثلاثية الأبعاد، والمحاكاة، ومقاطع (فيديو)، ووجود تعليمات واضحة لمراحل التجربة، وتوفير الأدوات والمواد الرقمية

اللازمة للتجربة، وسرعة الحصول على النتائج، ووجود تغذية راجعة فورية، وتصحيح الأخطاء، وتقديم إرشاد ودعم افتراضي، وأسئلة تفاعلية، وهذا من شأنه زيادة دافعية الطلبة نحو التعلم، والمشاركة الفعالة والتركيز خلال العمل مما يعود بالفائدة على عملية التعلم، وبآلاتي يعكس إيجابيا على مستوى التحصيل، فقد أوضح يونس وآخرون (2025) تقديم المفاهيم العلمية من بيئة رقمية تفاعلية، تعتمد على المشاهدة، والمحاكاة، وإعادة العرض، والمقارنة بين المراحل، يمكن أن يساهم في تقريب المفاهيم من إدراك الطلبة، ويساعدهم على بناء فهم بصري، وتسلسلي أوضح.

وتتفق نتيجة هذه الدراسة مع العديد من نتائج الدراسات السابقة التي أفادت بفاعلية المختبرات الافتراضية في رفع التحصيل العلمي وتحسينه، وتنمية المفاهيم العلمية لدى الطلبة، مثل دراسة (كاشي) وآخرين (2025) ودراسة العمري (2024)، ودراسة الحوسني (2023)، ودراسة نخلة (2022)، والتي أشارت جميعها أن استعمال المختبرات الافتراضية، وتوظيفها يزيد من مشاركة الطلبة، والتفاعل داخل البيئة التعليمية الأمر الذي يرفع في تحسين تحصيل الطلبة في مفاهيم الأحياء مقارنة بالطريقة الاعتيادية بتوفير البيئة التعليمية التفاعلية القائمة على التجريب والتفاعل.

كما تتسجم نتائج هذه الدراسة مع دراسات وظفت منصة (براكسيلابس) في تعليم المفاهيم العلمية مثل: دراسة (Bani (2022)، Yassin، وعقل (2019) التي أوضحت أن المختبرات الافتراضية تساعد الطلبة على فهم المفاهيم وتنمية الاستيعاب المفاهيمي بتنفيذ التجارب العلمية، وبالتالي زيادة في تحصيل الطلبة.

النتائج المتعلقة بالسؤال الثاني

ما فاعلية استعمال برنامج تعليمي قائم على المختبرات الافتراضية في عمليات العلم لدى طلبة الصف الثامن؟

للإجابة عن السؤال الثاني، فقد اشتقت الباحثة الفرضية الآتية:

لا يوجد فرق ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$) بين متوسطي درجات طلبة المجموعة التجريبية، وطلبة المجموعة الضابطة في مقياس عمليات العلم يُعزى إلى طريقتي التدريس (الطريقة الاعتيادية، برنامج تعليمي قائم على المختبرات الافتراضية).

ولفحص الفرضية، فقد استعملت الباحثة اختبار (ت) لعينتين مستقلتين، والجدول (11) يشير إلى نتائج فحص الفرضية.

جدول (11)

اختبار (ت) لعينتين مستقلتين لفحص دلالة الفرق بين متوسطي درجات الطلبة في مقياس عمليات العلم، وفق متغير طريقة التدريس

طريقة التدريس	العدد	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	"درجات الحرية	قيمة ت	مستوى الدلالة
الاعتيادية	32	9.31	3.74	61	7.917	*0.001
استعمال المختبر الافتراضي	31	15.90	2.77			

*دال إحصائياً عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$)

يشير الجدول (11) وجود فرق ذي دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$) بين متوسطي درجات طلبة المجموعة التجريبية، وطلبة المجموعة الضابطة في مقياس عمليات العلم يُعزى إلى طريقة التدريس للمجموعة التجريبية التي درست باستعمال المختبرات الافتراضية.

ويمكن تفسير هذه النتيجة بأنّ البرنامج يوفر بيئة تعليمية يمارس فيها الطلبة مهارات عمليات العلم بصورة عملية من الملاحظة، والتصنيف، والمقارنة، والاستنتاج، والتفسير، والتنبؤ، واستعمال البيانات والرسوم، وصياغة الفرضية، والتجريب بتنفيذ التجارب الافتراضية، فقد أشارت إليها مصطفى وآخرون (2022) إلى أنّ المختبرات الافتراضية تساعد الطالب على تنمية مهاراته كالملاحظة، والمقارنة، والتصنيف، والتحليل، والتفسير، والتنبؤ، والاستدعاء، والابتكار، والتي ترتبط بعمليات العلم، وفهم أعمق للمفاهيم الإحيائية. إضافة إلى أنّ الطالب لا يكتسب المفاهيم مرة واحدة وبصورة نهائية، بل يتطور فهمه لها تدريجيًا مع الملاحظة، والتجريب، والتعرض لأمثلة متعددة (أسعد، 2025).

إذ تعرض المختبرات الافتراضية المفاهيم العلمية بشكل تفاعلي وبصري، الأمر الذي يساهم في مساعدة الطلبة على الملاحظة بشكل أدق للتفاصيل التي لا تظهرها المختبرات التقليدية. كما أنّ إعادة الطالب للتجربة، وتكرارها مرات عدة يعزز لديه مهارة التجريب، وقد أشارت دراسة المالكي والشهري (2024) إلى أنّ المختبرات الافتراضية تسمح بإعادة التجربة أكثر من مرة دون استهلاك مواد أو وقت طويل، وهذا يساعد الطالب على تصحيح أخطائه، والفهم أكثر، ومقارنة النتائج في كل مرة يحاول فيها، وهذا التكرار يساعد على تحسين الدقة، ومراجعة الفرضيات، وتصحيح الفهم الخاطئ، والوصول إلى استنتاجات أكثر ثباتًا (Zhang & Liu, 2024)، فالمختبرات الافتراضية توفر بيئة تعليمية تتيح للطلبة تكرار التجربة أكثر من مرة مع إمكانية تعديل وتغيير العوامل وملاحظة أثرها مباشرة، وهذا ساعد الطلبة على تنمية مهارات الاستكشاف، والتجريب، وربط التغيرات بالنتائج، وفهم العلاقات بين المتغيرات العلمية بصورة أوضح من المختبر التقليدي. كما توفر أيضًا المختبرات الافتراضية أدوات رقمية مختلفة تجعل الطالب قادرًا على التحليل، والتعامل مع أدوات القياس، كما أظهرت دراسة تشنجيري وآخرين (Chengere et al., 2025) أنّ المختبرات الافتراضية تعزز مهارات التفكير النقدي والتحليلي، مما يقوي مهارات الملاحظة والاستنتاج والتفسير التي يمكن أنّ تستهدفها المختبرات الافتراضية عند تضمينها مهام القياس ومعالجة البيانات واتخاذ القرارات. ويدعم كاساي وآخرون (Kassaye et al., 2025) قيمة المختبرات الافتراضية في تنمية مهارة تفسير البيانات؛ لأنها تعرض للطلبة نتائج رقمية أو جداول أو رسومًا بيانية يحتاج إلى قراءتها وتحليلها.

وحسب وجهة نظر الباحثة بأنّ البرنامج يعتمد على التعلم النشط؛ لأنّ الطالب يُعدّ محور العملية التعليمية بمشاركته وتجريبه واستنتاجه، مما يعزز استقلاليته في تنفيذ التجارب، والأنشطة العلمية، بينما يقتصر دور المعلم على التوجيه والإرشاد. ويؤيد ذلك (Mahmoud et al., 2025) في أنّ توظيف المختبر الافتراضي إلى تحسين فاعلية العملية التعليمية التفاعلية، ويدعم تنمية مهارات عمليات العلم والتعلم النشط في العلوم.

ويمكن دعم النتيجة بالنظرية البنائية التي تؤكد أنّ المعرفة العلمية تتكون من قيام الطلبة في البحث، والتجريب، والفحص والاستكشاف مما يساهم في اكتساب عمليات العلم بصورة فعلية في أثناء التعلم، وليس من تلقى المعرفة والمعلومات، فقد أشارت دراسة بروك (Brock, 2024) إلى أنّ إجراء التجارب، والاستقصاء، وحل المشكلات، وربط خبرات الطالب الجديدة بخبراته السابقة، واقتصار دور المعلم على توجيه التعلم، وتوفير بيئة تعليمية داعمة تساعد الطالب على بناء فهمه للمفاهيم العلمية.

وترى الباحثة أنّ هذه النتيجة تدعم أنّ المختبرات الافتراضية لا تقتصر فقط على رفع التحصيل، إنما أيضا إلى تنمية المهارات العلمية التي يلجأ إليها الطلبة في حياتهم اليومية والدراسية كالملاحظة، والتنبؤ والاستنتاج، وهي تعد من الأهداف الرئيسية لتعليم العلوم في التربية الحديثة.

وتتفق نتيجة هذه الدراسة مع دراسات سابقة مثل بن (2025)، و(بايري) وآخرين (2024)، وحمد (2021) إلى أنَّ استعمال المختبرات الافتراضية يسهم في تنمية مهارات عمليات العلم، كما تتوافق في ذلك مع دراسة يوسف وآخرين (2025)، وهذا ما يدعم اللجوء نحو استعمال ودمج المختبرات الافتراضية في تدريس العلوم وفق متطلبات التعليم الرقمي الحديث.

التوصيات:

في ضوء نتائج هذه الدراسة، فإنَّ الباحثة توصي بالآتي :

- إجراء دراسات وأبحاث ترتبط بتوظيف البرامج التعليمية القائمة على المختبرات الافتراضية في صفوف دراسية متنوعة.
- إجراء دراسات وأبحاث ترتبط بتوظيف البرامج التعليمية القائمة على المختبرات الافتراضية في تدريس مواد علمية أخرى، مثل: الكيمياء والفيزياء.
- إجراء دراسة مقارنة لتوظيف المختبرات الافتراضية في مناطق مختلفة.
- توجيه المسؤولين والمرشدين لاعتماد المختبرات الافتراضية في التعليم.

المراجع

أولاً: المراجع العربية

أبو ربيع، جهاد والبطوش، رزان وعاروري، يوسف. (2024). واقع استخدام المختبرات الافتراضية في التدريس بالجامعة الأردنية من وجهة نظر أعضاء هيئة التدريس. *المجلة التربوية الأردنية*، 9 (العدد الثاني، ملحق 2)، 444-421.

Abu Rab' , Jihad, Al-Batoush, Razan, & Arouri, Youssef. (2024). The reality of using virtual laboratories in teaching at the University of Jordan from faculty members' perspectives. *The Jordanian Educational Journal*, 9(2, Supplement 2), 421–444.

أسعد، نورهان. (2025). فاعلية برنامج قائم على تطبيقات الواقع المعزز لتنمية بعض المفاهيم العلمية لطفل الروضة. *مجلة البحوث العلمية في الطفولة*، 6(20)، 237-215.

Asaad, Nourhan. (2025). The effectiveness of a program based on augmented reality applications in developing selected scientific concepts among kindergarten children. *Journal of Scientific Research in Childhood*, 6(20), 215–237.

الأشموري، خالد وحاصل، علي. (2023). أثر استعمال مدخل STEM في التدريس على بناء المفاهيم العلمية لدى طلبة المستوى الثالث كيمياء بكلية التربية صنعاء. *مجلة جامعة صنعاء للعلوم الإنسانية*، 5(1)، 85-60.

Al-Ashmouri, Khaled, & Hasil, Ali. (2023). The effect of using the STEM approach in teaching on the construction of scientific concepts among third-level chemistry students at the Faculty of Education, Sana'a. *Sana'a University Journal of Human Sciences*, 5(1), 60–85.

آل عبد القادر، ريم. (2025). دور الواقع المعزز في تنمية المفاهيم العلمية لتلاميذ الصف الثالث الابتدائي من وجهة نظر المعلمات. *مجلة جامعة جنوب الوادي الدولية للعلوم التربوية*، 8(14)، 1151-1095.

Al Abdulqader, Reem. (2025). The role of augmented reality in developing scientific concepts among third-grade primary pupils from female teachers' perspectives. *South Valley University International Journal of Educational Sciences*, 8(14), 1095–1151.

تميمي، ميساء وناصر، إيناس. (2025). تقويم منهاج العلوم والحياة لصف السادس الأساسي وفق مبادئ النظرية البنائية. *المجلة العربية للعلوم التربوية والنفسية*، 9(51)، 359-380.

Tamimi, Maysaa, & Nasser, Inas. (2025). Evaluating the sixth-grade Science and Life curriculum according to the principles of constructivist theory. *Arab Journal of Educational and Psychological Sciences*, 9(51), 359-380.

الجبري، عبدالكريم (2022). تصور مقترح لاستعمال المعامل الافتراضية في تدريس تجارب الأحياء العملية بالجامعات اليمنية (رسالة ماجستير، جامعة ذمار).

Al-Jabri, Abdulkarim. (2022). A proposed framework for using virtual laboratories in teaching laboratory biology experiments at Yemeni universities [Master's thesis, Thamar University].

الجدعي، محمد. (2025). فاعلية إجراء التجارب العملية المضمنة في كتاب الكيمياء باستعمال معامل فيت الافتراضية في تنمية عمليات العلم لدى طلبة الصف الأول الثانوي. *مجلة العلوم التربوية والدراسات الإنسانية*، (46)، 468-498.

Al-Jad'i, Mohammed. (2025). The effectiveness of conducting practical experiments included in the chemistry textbook using PhET virtual laboratories in developing science process skills among first-year secondary students. *Journal of Educational Sciences and Humanities Studies*, (46), 468-498.

الجعفري، جمعة. (2022). دور المختبر الافتراضي في تنمية عمليات العلم لدى الطلبة من وجهة نظر معلمي الكيمياء في مدارس محافظة جنوب الشرقية في سلطنة عُمان (رسالة ماجستير، جامعة الشرقية).

Al-Jaafari, Jumaa. (2022). The role of the virtual laboratory in developing students' science process skills from chemistry teachers' perspectives in schools in South Al Sharqiyah Governorate, Sultanate of Oman [Master's thesis, A'Sharqiyah University].

الحافرة، أكرم والدعيس، صفية. (2022). فاعلية استعمال المختبر الافتراضي في تنمية التفكير الابتكاري في مادة الفيزياء لدى طلبة الصف الأول الثانوي في الجمهورية اليمنية. *مجلة جامعة المدينة العالمية للعلوم التربوية والنفسية*، (8)، 129-173.

Al-Hafrah, Akram, & Al-Duais, Safiya. (2022). The effectiveness of using the virtual laboratory in developing creative thinking in physics among first-year secondary students in the Republic of Yemen. *Al-Madinah International University Journal of Educational and Psychological Sciences*, (8), 129-173.

حمد، عباس. (2021). أثر التدريس باستعمال المختبرات والمحاكاة الافتراضية في عمليات العلم لطلاب الصف الخامس العلمي/التطبيقي في مادة الكيمياء. *مجلة الفتح*، 17(85)، 334-373. <https://doi.org/10.23813/FA/85/13>

Hamad, Abbas. (2021). The effect of teaching using laboratories and virtual simulations on science process skills among fifth-year scientific/applied-track students in chemistry. *Al-Fath Journal*, 17(85), 334-373. <https://doi.org/10.23813/FA/85/13>

الحوسني، عمر. (2023). أثر استعمال تطبيقات المختبرات الافتراضية داخل الغرفة الصفية في تنمية التحصيل العلمي لدى طلبة الصف الثامن الأساسي في مادة العلوم. *مجلة المناهج وطرق التدريس*، 2 (13)، 73-83.

Al-Hosni, Omar. (2023). The effect of using virtual laboratory applications in the classroom on developing academic achievement in science among eighth-grade basic education students. *Journal of Curricula and Teaching Methods*, 2(13), 73-83.

الزغول، منار والعياصرة، أحمد. (2024). فاعلية برنامج تعليمي مستند إلى نموذج (VARK) لأنماط التعلم في تنمية عمليات العلم الأساسية. *مجلة جامعة عمان العربية للبحوث - سلسلة البحوث التربوية والنفسية*، 9(3)، 368-386.

Al-Zghoul, Manar, & Al-Ayasrah, Ahmad. (2024). The effectiveness of an educational program based on the VARK learning styles model in developing basic science process skills. *Amman Arab University Journal for Research, Educational and Psychological Research Series*, 9(3), 368-386.

الزهراني، مشاعل وآل حيدر، وفاء. (2023). فاعلية استعمال المختبرات الافتراضية في إكساب مهارات التفكير العلمي وتنمية الاتجاه نحو المختبر لطالبات الصف الثالث متوسط. *المجلة الدولية للدراسات التربوية والنفسية*، 12(6)، 1100-1125.

Al-Zahrani, Mashael, & Al Haidar, Wafaa. (2023). The effectiveness of using virtual laboratories in acquiring scientific thinking skills and developing attitudes toward the laboratory among third-year intermediate female students. *International Journal of Educational and Psychological Studies*, 12(6), 1100-1125.

الشريف، كوثر، ومحمد، منال، وخليفة، فاتن. (2026). أثر استعمال التعلم المدمج في تدريس العلوم على تنمية المفاهيم العلمية لدى تلاميذ المرحلة الابتدائية. *مجلة شباب الباحثين في العلوم التربوية*، (32)، 1-58.

Al-Sharif, Kawthar, Mohammed, Manal, & Khalifa, Faten. (2026). The effect of using blended learning in science teaching on developing scientific concepts among primary school pupils. *Journal of Young Researchers in Educational Sciences*, (32), 1-58.

العباب، علي وعبد الرب، عبد الله. (2025). تقويم أسئلة اختبار الكيمياء للصف الثالث الثانوي بالجمهورية اليمنية للأعوام 2024-2022 في ضوء مهارات عمليات العلم. *المجلة العلمية لجامعة إقليم سبأ*، 8(2)، 55-86.

Al-Abab, Ali, & Abdulrab, Abdullah. (2025). Evaluating third-year secondary chemistry examination questions in the Republic of Yemen for 2022-2024 in light of science process skills. *Scientific Journal of the University of Saba Region*, 8(2), 55-86.

عبد الرحمن، محمد وخليل، عمر ومحمد، سماح. (2025). استعمال المعمل الافتراضي في تدريس العلوم لتنمية بعض عمليات العلم الأساسية لدى تلاميذ المرحلة الإعدادية. *مجلة كلية التربية*، 41(10)، 108-142.

Abdulrahman, Mohammed, Khalil, Omar, & Mohammed, Samah. (2025). Using the virtual laboratory in science teaching to develop selected basic science process skills among preparatory school pupils. *Journal of the Faculty of Education*, 41(10), 108-142.

- عبد اللطيف، جمعة وصديق، صلاح والمقدم، محمد. (2022). فاعلية مقرر مقترح قائم على التعليم المدمج في تنمية مفاهيم علم الأحياء الجزيئي لدى طلاب كلية التربية. *مجلة التربية*، 41(194، ج5)، 571-607.
- Abdullatif, Jumaa, Siddiq, Salah, & Al-Muqaddam, Mohammed. (2022). The effectiveness of a proposed course based on blended learning in developing molecular biology concepts among Faculty of Education students. *Journal of Education*, 41(194, Part 5), 571-607.
- العدوان، ميسون. (2024). فاعلية استعمال المختبر الافتراضي والفيديو الرقمي في تنمية مهارات التفكير البصري وعمليات العلم في مادة العلوم لدى طالبات الصف السادس الأساسي في لواء الشونة الجنوبية (اطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة مؤتة).
- Al-Adwan, Maysoun. (2024). The effectiveness of using the virtual laboratory and digital video in developing visual thinking and science process skills in science among sixth-grade basic education female students in the Southern Shouneh District [Unpublished doctoral dissertation, Mutah University].
- عسيري، علي. (2023). فعالية تدريس العلوم باستعمال نموذج إدلسون في تنمية عمليات العلم لدى طلاب المرحلة الابتدائية. *دراسات عربية في التربية وعلم النفس*، 147(ج1)، 213-260.
- Asiri, Ali. (2023). The effectiveness of teaching science using the Edelson model in developing science process skills among primary school students. *Arab Studies in Education and Psychology*, (147, Part 1), 213-260.
- عقل، لمياء. (2019). أثر استعمال المختبر الافتراضي في تنمية التحصيل بمادة الكيمياء لدى طلبة الصف العاشر الأساسي في محافظة العاصمة عمان (رسالة ماجستير، جامعة الشرق الأوسط).
- Aql, Lamia. (2019). The effect of using the virtual laboratory on developing achievement in chemistry among tenth-grade basic education students in Amman Capital Governorate [Master's thesis, Middle East University].
- العماري، أحمد وآل كاسي، عبد الله. (2023). واقع استعمال المختبرات الافتراضية (كروكودايل) في تدريس التجارب العملية في الكيمياء والفيزياء من وجهة نظر المعلمين. *مجلة كلية التربية*، 39(ج2)، 229-266.
- Al-Ammari, Ahmad, & Al Kasi, Abdullah. (2023). The reality of using virtual laboratories (Crocodile) in teaching practical experiments in chemistry and physics from teachers' perspectives. *Journal of the Faculty of Education*, 39(1, Part 2), 229-266.
- العمرى، ماجد. (2024). أثر الأنشطة الصفية في تعزيز عمليات العلم التكاملية لدى الطلاب من وجهة نظر المعلمين. *المجلة العربية للعلوم التربوية والنفسية*، 8(39)، 421-450.
- Al-Omari, Majed. (2024). The effect of classroom activities on enhancing students' integrated science process skills from teachers' perspectives. *Arab Journal of Educational and Psychological Sciences*, 8(39), 421-450.
- غانم، ياسمين. (2023). أثر استعمال استراتيجيات المختبرات الافتراضية في تحصيل طلبة الحلقة الأولى في مادة العلوم وبقاء أثر التعلم. *المجلة العربية للتربية النوعية*، 7(26)، 461-488.
- Ghanem, Yasmin. (2023). The effect of using the virtual laboratory strategy on first-cycle students' achievement in science and learning retention. *Arab Journal of Specific Education*, 7(26), 461-488.

الفضلي، أنفال. (2022). فاعلية استعمال المختبر الافتراضي في تدريس العلوم على تنمية مهارات عمليات العلم الأساسية لدى طلاب الصف السابع بالمرحلة المتوسطة. *مجلة التربية في القرن 21 للدراسات التربوية والنفسية*، 4(22)، 111-142.

Al-Fadhli, Anfal. (2022). The effectiveness of using the virtual laboratory in science teaching on developing basic science process skills among seventh-grade intermediate students. *Journal of Education in the 21st Century for Educational and Psychological Studies*, 4(22), 111-142.

قسم السيد، وصفي وسعيد، ياسر. (2022). استعمال المعامل الافتراضية في تدريس مادة الكيمياء لطلاب المرحلة الثانوية من وجهة نظر معلمي الكيمياء بدولة قطر. *مجلة العلوم التربوية والنفسية*، 6(49)، 78-99.

Qism Al-Sayed, Wasfi, & Saeed, Yasser. (2022). Using virtual laboratories in teaching chemistry to secondary school students from chemistry teachers' perspectives in the State of Qatar. *Journal of Educational and Psychological Sciences*, 6(49), 78-99.

القيسي، تيسير والحجايا، أسماء. (2023). أثر استعمال المنحى البنائي في تدريس مادة العلوم على التحصيل واكتساب عمليات العلم لدى طالبات الصف الثامن الأساسي: (هوكينز نموذجًا). *مجلة الدراسات والبحوث التربوية*، 3(8)، 177-200.

Al-Qaisi, Tayseer, & Al-Hajaya, Asmaa. (2023). The effect of using the constructivist approach in teaching science on achievement and the acquisition of science process skills among eighth-grade basic education female students: The Hawkins model. *Journal of Educational Studies and Research*, 3(8), 177-200.

المالكي، أحمد والشهراني، أحمد. (2024). واقع استعمال طلاب المرحلة الثانوية بمحافظة بيشة للمعامل الافتراضية في مقرر الكيمياء واتجاهاتهم نحوها. *مجلة البحوث التربوية والنوعية*، (28، ج1)، 91-148.

Al-Maliki, Ahmad, & Al-Shahrani, Ahmad. (2024). The reality of secondary school students' use of virtual laboratories in the chemistry course in Bisha Governorate and their attitudes toward them. *Journal of Educational and Qualitative Research*, (28, Part 1), 91-148.

المحاشي، أنس. (2023). أثر استراتيجية دورة التعلم السباعية في تنمية عمليات العلم الأساسية والدافعية نحو تعلم العلوم لدى طلاب الصف الخامس الأساسي (رسالة ماجستير، جامعة آل البيت).

Al-Mahashi, Anas. (2023). The effect of the seven-stage learning cycle strategy on developing basic science process skills and motivation toward learning science among fifth-grade basic education students [Master's thesis, Al al-Bayt University].

محمد، شيماء. (2021). واقع استعمال المختبرات الافتراضية في جامعة ميسان من وجهة نظر التدريسيين. *مجلة ميسان للدراسات الأكاديمية*، 20(41)، 436-450.

Mohammed, Shaimaa. (2021). The reality of using virtual laboratories at the University of Misan from faculty members' perspectives. *Misan Journal for Academic Studies*, 20(41), 436-450.

محمود، إيناس وجمال الدين، نيفين وحده، مروة. (2024). توظيف الفيديو التفاعلي باستعمال الرسوم المتحركة في مجال التعلم الافتراضي. *مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية*، 9(46)، 301-325.

Mahmoud, Inas, Gamal El-Din, Nevin, & Hamdah, Marwa. (2024). Employing interactive video using animation in virtual learning. *Journal of Architecture, Arts and Humanistic Sciences*, 9(46), 301-325.

مسلم، حمودة. (2022). اتجاهات معلمي الأحياء بالمرحلة الثانوية نحو استعمال الواقع الافتراضي والمعزز في تدريس المادة ومعوقات تطبيقها من وجهة نظرهم. *المجلة المصرية للتربية العلمية*، 25(4)، 1-34.

Muslim, Hamouda. (2022). Secondary school biology teachers' attitudes toward using virtual and augmented reality in teaching biology and the obstacles to their implementation from their perspectives. *Egyptian Journal of Scientific Education*, 25(4), 1-34.

مصطفى، فايزة ومحجوب، علي ومحمود، محمد ومحمد، أسماء. (2022). أثر استعمال كائنات التعلم الرقمية في بيئات التعلم (الإلكترونية) لتدريس العلوم على تنمية عمليات العلم لدى طالبات الصف الثاني الإعدادي. *مجلة شباب الباحثين في العلوم التربوية*، 10(1)، 982-1046.

Mostafa, Fayza, Mahgoub, Ali, Mahmoud, Mohammed, & Mohammed, Asmaa. (2022). The effect of using digital learning objects in e-learning environments for science teaching on developing science process skills among second-year preparatory female students. *Journal of Young Researchers in Educational Sciences*, (10), 982-1046.

منصور، آية ويوسف، ماهر ودرويش، رضا وجاد، الشافعي. (2025). استعمال المحطات التعليمية في تعليم العلوم لاكتساب المفاهيم العلمية لدى تلاميذ الصف الأول الإعدادي. *مجلة كلية التربية*، 36(142، ج2)، 923-955.

Mansour, Aya, Yousef, Maher, Darwish, Reda, & Gad, Al-Shafei. (2025). Using learning stations in science teaching for the acquisition of scientific concepts among first-year preparatory pupils. *Journal of the Faculty of Education*, 36(142, Part 2), 923-955.

نصار، مصطفى وسالم، عبد المعين وعويضة، منال. (2025). ثقافة التحول الرقمي بمؤسسات التعليم ما قبل الجامعي في ضوء (التكنولوجيا) الحديثة كمتغير مجتمعي معاصر. *مجلة شباب الباحثين في العلوم التربوية*، 27(27)، 389-423.

Nassar, Mostafa, Salem, Abdul-Moein, & Oweida, Manal. (2025). The culture of digital transformation in pre-university education institutions in light of modern technology as a contemporary societal variable. *Journal of Young Researchers in Educational Sciences*, 27(27), 389-423.

يونس، أمين والغول، ريهام ومتولي، أسماء. (2025). تطوير بيئة تعلم إلكتروني قائمة على المحفزات الرقمية وأثرها في تنمية مهارات البحث العلمي لدى تلاميذ المرحلة الإعدادية. *مجلة دراسات وبحوث التربية النوعية*، 11(1)، 833-868.

Younis, Amin, Al-Ghoul, Reham, & Metwally, Asmaa. (2025). Developing an e-learning environment based on digital incentives and its effect on developing scientific research skills among preparatory school pupils. *Journal of Specific Education Studies and Research*, 11(1), 833-868.

ثانيًا: المراجع الأجنبية

- Afify, M., Alqoot, A., & Zedan, S. (2023). Criteria for designing and evaluating the quality of virtual classrooms during emergency learning. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 24(4). <https://doi.org/10.17718/tojde.1110817>
- Al-Ansi, A., Jaboob, M., Garad, A., & Al-Ansi, A. (2023). Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open*, 8(1). <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100532>
- Al-Nakhle, H. (2022). The effectiveness of scenario-based virtual laboratory simulations to improve learning outcomes and scientific report writing skills. *Plos One*, 17(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277359>
- Asare, S., Amoako, S., Biilah, D., & Apraku, T. (2023). The use of virtual labs in science education: A comparative study of traditional labs and virtual environments. *International Journal of Science Academic Research*, 4(11), 6563–6569. <https://www.scienceijsar.com/article/use-virtual-labs-science-education-comparative-study-traditional-labs-and-virtual>
- Bani Yassin, A. (2022). The effect of using interactive simulation (PhET) and virtual laboratories (PraxiLabs) on tenth-grade students' achievement in physics. *Britain International of Linguistics, Arts and Education (BIOAE) Journal*, 4(2), 58–72. <https://doi.org/10.33258/biolae.v4i2.693>
- Brock, R. (2024). Constructivist approaches to learning and teaching science. In L. Hetherington, L. Graham, & D. Moore (Eds.), *Learning to teach science in the secondary school: A companion to school experience* (5th ed.) 131-414. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003110187-11>
- Chen, J., Huang, Y., Lin, K., Chang, Y., Lin, H., Lin, C., & Hsiao, H. (2020). Developing a hands-on activity using virtual reality to help students learn by doing. *Journal of Computer Assisted Learning*, 36(1), 46–60. <https://doi.org/10.1111/jcal.12389>
- Chen, K., Hwang, G., & Chen, M. (2024). Effects of a concept mapping-guided virtual laboratory learning approach on students' science process skills and behavioral patterns. *Educational Technology Research and Development*, 72(3), 1623–1651. <https://doi.org/10.1007/s11423-024-10348-y>
- Chengere, A., Bono, B., Zinabu, S., & Jilo, K. (2025). Enhancing secondary school students' science process skills through guided inquiry-based laboratory activities in biology. *Plos one*, 20(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0320692>
- Faria, A., & Miranda, G. (2026). Operationalising CTT and IRT in spreadsheets: A methodological demonstration for classroom assessment. *Analytics*, 5(1), Article 12. <https://doi.org/10.3390/analytics5010012>
- Farida, L., Suryajaya, & Suyidno. (2023). Profile of basic and integrated science process skills in science learning at Madrasah Ibtidaiyah Negeri. *Science Education Journal*, 7(2). <https://doi.org/10.21070/sej.v7i2.1644>
- Haberbosch, M., Deiters, M., & Schaal, S. (2025). Combining virtual and hands-on lab work in a blended learning approach on molecular biology methods and lab safety for lower secondary education students. *Education Sciences*, 15(2), 123. <https://doi.org/10.3390/educsci15020123>

- Kachi, J., Dinah, S., & Pascaline, J. (2025). Effectiveness of virtual laboratory-based instruction on students' academic performance in biology in Likuyani, Kakamega County, Kenya. *Global Educational Research Journal*, 13(9), 401–409. <https://springjournals.net/articles/252715092025>
- Kadir, A. (2023). Effectiveness of virtual laboratory utilization in improving students' science process skills. *Ta'dib*, 26(2), 355–366. <https://doi.org/10.31958/jt.v26i2.10913>
- Kassaye, M., Damtie, D., Melesse, S., & Yemata, G. (2025). Effect of using science process skills-integrated inquiry-based approach on grade nine students' cell biology academic achievement. *Discover Education*, 4, Article 343. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00699-w>
- Li, J., & Liang, W. (2024). Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis. *Plos one*, 19(12), e0316269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316269>
- Mahmud, A., Mursalin, M., Abdjul, T., Pikoli, M., Yusuf, M., & Odja, A. (2025). A virtual laboratory to improve the effectiveness of interactive learning media on science process skills and science literacy in the competency aspects of dynamic electricity. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(11), 1441–1450.
- Maratkyzy, N., Sharipkhanova, A., Salybekova, N., Burunbetova, K., Igissinova, Z., & Tursymatova, O. (2025). Formation of environmental competence of students using virtual laboratories in the training of biology teachers with the Labster. *Cogent Education*, 12(1), 2580155. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2025.2580155>
- Meronda, D., Widarti, H., & Yahmin, Y. (2025). Virtual laboratories in science education: A systematic review of effectiveness on conceptual understanding and learning outcomes. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 26(3), 2020–2042. <https://doi.org/10.23960/jpmipa.v26i3.pp2020-2042>
- Naimi-Akbar, I., Weurlander, M., & Barman, L. (2024). Teaching-learning in virtual learning environments: A matter of forced compromises away from student-centredness? *Teaching in Higher Education*, 29(8), 2095–2111. <https://doi.org/10.1080/13562517.2023.2201674>
- Nilawati, N., Ismayani, Y., Hajar, S., Gunawan, G., & Nisrina, N. (2024). The effectiveness of using virtual laboratories on science process skills: A systematic literature review. *Indonesian Journal of Applied Science and Technology*, 5(1), 10–19. <https://journal.publication-center.com/index.php/ijast/article/view/2028>
- Özeler, E., Genel, Y., & Genel, S. (2024). The effect of virtual laboratory applications on the achievement of secondary school students in teaching the granular structure of matter. *International Journal of Education and Artificial Intelligence*, 1(1), 25–38. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14867793>
- Pairi, R., Tawil, M., & Hasanuddin, H. (2024). Implementasi pendekatan saintifik berbasis laboratorium virtual untuk meningkatkan keterampilan proses sains kelas VIII di SMPN 13 Makassar. *Celebes Science Education*, 3(3). <https://ojs.unm.ac.id/CSE/article/viewFile/53745/29829>
- Penn, M. (2025). Remote learning in virtual biology education: Science process skills acquisition in microscopy. *Education and New Developments 2025*, 575–579. <https://doi.org/10.36315/2025v1end126>

- Piaget, J. (1971). *Biology and knowledge: An essay on the relations between organic regulations and cognitive processes* (B. Walsh, Trans.). University of Chicago Press. (Original work published 1967)
- Rezigalla, A. (2022). Item analysis: Concept and application. *Medical education for the 21st century*. Intech Open. <https://doi.org/10.5772/intechopen.100138>
- Rosli, R., & Ishak, N. (2024). Integration of virtual labs in science education: A systematic literature review. *Jurnal Pendidikan Sains dan Matematik Malaysia*, 14(1), 81–103. <https://doi.org/10.37134/jpsmm.vol14.1.8.2024>
- Uwitonze, D., & Nizeyimana, G. (2022). Effects of virtual laboratories on students' conceptual understanding of biology in selected secondary schools of Rwamagana District, Rwanda. *Journal of Research Innovation and Implications in Education*, 6(4), 249–258. <https://www.jriiejournal.com/effects-of-virtual-laboratories-on-students-conceptual-understanding-of-biology-in-selected-secondary-schools-of-rwamagana-district-rwanda/>
- Xian, J., & Wu, J. (2026). Past, present, and future of virtual reality-based biological science education (2010–2025): A BERTopic-driven analysis. *BMC Medical Education*, 26, 662. <https://doi.org/10.1186/s12909-026-08921-5>
- Yusuf, M., Ibrahim, M., Ibrahim, B., & Alafiatyo, B. (2025). The effectiveness of technology-enhanced simulations and virtual labs in improving conceptual understanding and science process skills in biology education. *Rima International Journal of Education*, 4(5), 265–278.
- Zhang, N., & Liu, Y. (2024). Design and implementation of virtual laboratories for higher education sustainability: A case study of Nankai University. *Frontiers in Education*, 8, 1322263. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1322263>