مجلة مركـــز جـــــزيرة العـــــــرب
للبحوث التـــربـــوية والإنسانية
المجلد (3)، العدد (30): 30 سبتمبر 2026م
ص: 79-105
تاريخ الاستلام: 2026/06/20 القبول: 2026/08/06
النشر: 2026/08/08

Journal of Arabian Peninsula Centre
for Educational and Humanity Researches
Volume (3), Issue (30): 30 Sep: 2026
p: 79-105
ISSN: 2707-742X
Copyright License

تحديات المعامل الافتراضية في كليات العلوم بالجامعات السعودية ومتطلبات التفعيل: دراسة نوعية [1]

Challenges and Implementation Requirements of Virtual Laboratories in Colleges of Science at Saudi Universities: A Qualitative Study[2]

أ. وفيّه عثمان الصبحي
باحثة بالدكتوراه|| مشرفة تربوية بتعليم ينبع|| إدارة التعليم العام بالمدينة المنورة|| وزارة التعليم || السعودية

Ms. Wafiah Othman Al-Subhi
PhD Researcher | Educational Supervisor at Yanbu Education|| General Directorate of Education in Madinah | Ministry of Education || KSA

Email: Wosubhi@hotmail.com || Orcid: https://orcid.org/0009-0007-0088-0860 || Mobile: 00966504391855

المستخلص: هدفت الدراسة إلى استكشاف تحديات المعامل الافتراضية في كليات العلوم بالجامعات السعودية ومتطلبات التفعيل. واعتمدت الدراسة المنهج النوعي، باستخدام المقابلات شبه المنظمة مع عدد (12) من عضوات هيئة التدريس ومحضرات المختبرات بكلية العلوم ينبع، إضافة إلى الملاحظة المتعمقة، وتحليل أكثر من (70) وثيقة ودراسة سابقة. أظهرت النتائج وجود تحديات بنيوية ولوجستية ومخاطر سلامة تُعيق المختبرات التقليدية، مقابل اتجاهات إيجابية مرتفعة لدى عضوات التدريس والمحضرات نحو المعامل الافتراضية؛ باعتبارها ضرورة استراتيجية تُعزز التمكين المعرفي والاستدامة الأكاديمية والتفكير العالي، كشفت النتائج أن تفعيل المعامل الافتراضية يتطلب منظومة متكاملة تشمل تطوير البنية الرقمية، وتأهيل الكوادر الأكاديمية، وتعزيز الحوكمة المؤسسية، والتكامل مع مستهدفات رؤية المملكة 2030. بناء على النتائج قدمت الدراسة رؤية استراتيجية لتعزيز الحوكمة، وتحديث البنية الرقمية، وبناء الدمج الهجين، وتنمية كفايات (TPACK)، وتفعيل الأمان الحيوي، وقياس مهارات التفكير؛ متجاوزةً عوائق المعامل التقليدية لضمان بيئة تعليمية مستدامة، كما اقترحت مزيدا من الدراسات؛ لقياس أثر المعامل الافتراضية في تنمية المهارات العملية والأمان المخبري بكليات العلوم، وتقييم كفايات هيئة التدريس في ضوء معايير (TPACK).

الكلمات المفتاحية: المختبرات الافتراضية، التحول الرقمي، تعليم العلوم، إطار (TPACK).

Abstract: This study aimed to explore the challenges facing virtual laboratories in Saudi university science colleges alongside their activation requirements. Adopting a qualitative research design, the study utilized semi-structured interviews with 12 faculty members and laboratory assistants at Yanbu College of Science, complemented by in-depth observation and thematic analysis of over 70 organizational documents and prior studies. Results revealed structural, logistical, and safety-related impediments constraining traditional laboratories, contrasted by highly positive attitudes among faculty and assistants toward virtual labs as a strategic imperative that enhances cognitive empowerment, academic sustainability, and higher-order thinking. Findings further indicated that effective activation demands an integrated ecosystem encompassing digital infrastructure development, professional qualification of academic personnel, institutional governance reinforcement, and alignment with Saudi Vision 2030 targets. Consequently, the study derived a strategic roadmap to advance governance, modernize digital infrastructure, implement hybrid integration, foster TPACK competencies, activate biosafety protocols, and assess higher-order thinking skills, thereby overcoming traditional laboratory barriers to ensure a sustainable educational environment. Finally, future studies were recommended to evaluate the impact of virtual labs on practical skills and laboratory safety while assessing educator competencies through the TPACK framework.

Keywords: Virtual Laboratories, Digital Transformation, Science Education, TPACK Framework.

[1]-**التوثيق للاقتباس (APA)**: الصبحي، وفية عثمان. (2026). تحديات المعامل الافتراضية في كليات العلوم بالجامعات السعودية ومتطلبات التفعيل: دراسة نوعية. *مجلة مركز جزيرة العرب للبحوث التربوية والإنسانية، 3*(30)، 79-105. https://doi.org/10.56793/pcra2213304

[2]-**Citation in APA format**: Al-Subhi, W. O. (2026). Challenges and Implementation Requirements of Virtual Laboratories in Colleges of Science at Saudi Universities: A Qualitative Study, *Journal of Arabian Peninsula Centre for Educational and Humanity Researches, 3*(30), 79–105. https://doi.org/10.56793/pcra2213304

1-المقدمة/Introduction

تُمثّل التجربة المعملية الركيزة الأساسية لتعليم العلوم، حيث تتجسّد المفاهيم المجردة إلى مهارات تطبيقية واستكشافات واقعية؛ غير أن التسارع التقني والتحولات الأكاديمية فرضا إعادة التفكير في بيئات التعلم المعملية التقليدية. وبذلك تستكشف الدراسة تحديات تحول نحو المعامل الافتراضية في كليات العلوم بالجامعات السعودية، والوقوف على المتطلبات الإجرائية الكفيلة بتفعيلها، بما يتسق مع التطلعات الوطنية والتطورات العالمية المتلاحقة.

فعالمياً، أضحى التبني الأكاديمي لتقنيات المحاكاة والبيئات الافتراضية ضرورة استراتيجية لتعزيز الفهم المفهومي وتوفير بيئات آمنة واقتصادية؛ إذ أثبتت الدراسات فاعليتها في تطوير مهارات التفكير والاستقصاء العلمي (Byukusenge et al., 2022; Sapriati et al., 2023). ومع ذلك، تواجه هذه البيئات تحديات لوجستية وبنيوية تتمثل في عوائق التجهيزات، ونقص كفايات (TPACK) لدى الكوادر الأكاديمية (Shambare & Simuja, 2022; Shambare & Jita, 2024)، وتحديات تجسيد الواقع والتفاعل اللمسي (Lai & Lin, 2024; Peirson, 2026). ولتجاوز هذه العقبات، تؤكد الأدبيات الدولية على متطلبات حاسمة؛ أبرزها الدمج المنهجي القائم على الاستقصاء الموجه (Chang & Liu, 2024; Chen et al., 2026)، وتحديث البنية الرقمية المعيارية مع إيجاد بيئات هجينة تجمع بين الأتمتة والإشراف البشري لضمان السلامة والتقويم الدقيق (Doğru & Faulconer, 2025; Kieninger et al., 2026; Sommer et al., 2026).

وعربياً، حظيت المعامل الافتراضية باهتمام متزايد كمدخل لتطوير المهارات العملية وتجاوز نقص التجهيزات؛ فأكدت الدراسات أثرها الملموس في تنمية مهارات التفكير الابتكاري وتبسيط المفاهيم (الحافرة وإسماعيل، 2022؛ صالح وآخرون، 2023؛ بربارة، 2025). إلا أن التطبيق واجه تحديات ميدانية؛ أهمها المعوقات التقنية وضيق البرامج التدريبية للتدريسيين (المنتصر، 2026؛ ارحيم والشح، 2026). وقد حثت الأبحاث على استيفاء متطلبات التفعيل البنيوي والتنظيمي (Zekeik et al., 2025)، والتركيز على تأهيل المعلمين وتطوير قدراتهم في التخطيط وتنفيذ التجارب الرقمية (غالب، 2025)، وتوفير البرمجيات والبنية التعليمية الملائمة لدعم كفايات هيئة التدريس (الأنصاري وأبو موسى، 2025).

أما في المملكة- وفي ضوء رؤية 2030؛ فتسارعت الجهود لدمج البيئات الافتراضية في تدريس العلوم؛ فأظهرت دراسات (العتيبي، 2023؛ المالكي والأسمري، 2023؛ العنزي، 2025). اتجاهات إيجابية وقبولاً تقنياً واسعاً لدى الكوادر والطلبة نحو المعامل الافتراضية فيما كشفت دراسات (طه، 2022؛ السراني، 2023؛ العنزي والشهري، 2023؛ الشهري وآخرون، 2024)؛ عن معوقات ميدانية تتصل بقصور التجهيزات التقنية والتصاميم المنهجية وضعف الشبكات. وفي المقابل تبرز متطلبات لتفعيل المعامل الافتراضية، تشمل التجهيزات والبنية الرقمية السريعة (الرويلي والمطيري، 2025؛ السيف والجربوع، 2025)، وتخفيف أعباء التدريس وتقديم الدعم الفني للكوادر المساندة (الزيادي والشويعر، 2024)، ودمج التطبيقات الافتراضية لتعزيز مهارات التفكير العليا والتحليل المتقدم (الزهراني والبلوي، 2026؛ الشلوي، 2026).

1-2-مشكلة الدراسة:

تتمثل مشكلة الدراسة في وجود فجوة تنظيمية وتطبيقية بين التوجه الاستراتيجي للمملكة نحو التحول الرقمي الأكاديمي، والواقع الفعلي لتوظيف المعامل الافتراضية بكليات العلوم بالجامعات السعودية. وتتضح أبعاد المشكلة برصد دراسات التعليم العالي؛ إذ كشفت دراسة (طه، 2022) عن انخفاض توفر المعامل الافتراضية ومتطلباتها بكلية العلوم جامعة الملك خالد مقابل ارتفاع المعوقات الميدانية، بينما أظهرت دراستا (السراني، 2023) بجامعة طيبة و(العنزي والشهري، 2023) بجامعة الحدود الشمالية وجود معوقات مرتفعة تمثلت في ضعف البنية التحتية للاتصالات وقصور الأجهزة وتدني الجاهزية التنظيمية والبشرية. ورغم أن دراسة (المالكي والأسمري، 2023) بجامعة جدة أكدت

وجود اتجاهات وقبول تقني مرتفع لدى الطلاب في ضوء نموذج (TAM)، إلا أن التطبيق يواجه عقبات هيكلية؛ حيث رصدت دراستا (الزيادي والشويعر، 2024) و(الشهري وآخرون، 2024) نقصاً حاداً في الدعم الفني وارتفاع الأعباء التدريسية وضغوط الصيانة، مما يعكس تزايد المشكلة بالمؤسسات الأكاديمية.

وتزداد المشكلة عمقاً بمراجعة الأدبيات التي تناولت واقع المعامل الافتراضية وسبل تفعيلها؛ فقد أظهرت دراسات عدة كـ (القرني، 2022؛ العتيبي، 2023؛ العماري وآل كاسي، 2023؛ الحارثي والعريني، 2023؛ أبوعوه والعجمي، 2023) أنه رغم التأكيد على دور المختبرات الافتراضية، إلا أن الاستخدام ظل محاطاً بمعوقات تقنية وإدارية مرتفعة وضغوط تدريبية متكررة. فيما أكدت دراسات أحدث كـ (العنزي، 2025؛ الرويلي والمطيري، 2025؛ السيف والجربوع، 2025) على أن التغلب على هذه المعوقات يتطلب أدلة إرشادات تخصصية وبنية رقمية قوية وتحديداً دقيقاً لمتطلبات التفعيل. وإذا كانت الدراسات كـ (الزهراني والبلوي، 2026؛ الشلوي، 2026) قد أثبتت فاعلية البيئات الافتراضية في تنمية مهارات التفكير العليا والفيزيائي لدى الطلاب، فإن معظمها ركز على التعليم العام واعتمد أدوات كمية، مما يترك فجوة بحثية حول واقع كليات العلوم بالجامعات، ويبرز الحاجة لتقصي التحديات الميدانية واستكشاف متطلبات التفعيل من وجهة نظر عضوات هيئة التدريس ومحضرات المختبرات.

1-3-أسئلة الدراسة:

يمكن تحديد مشكلة الدراسة في الأسئلة الآتية:

1. ما تحديات التحول للمعامل الافتراضية في كليات العلوم السعودية وفقاً لهيئة التدريس ومحضرات المختبرات؟
2. ما اتجاهات عضوات هيئة التدريس ومحضرات المختبرات بكليات العلوم نحو التحول للمعامل الافتراضية؟
3. ما متطلبات التفعيل اللازمة لتبني المعامل الافتراضية بكليات العلوم في ضوء رؤية المملكة 2030 والأدبيات الحديثة؟
4. ما الرؤية المقترحة للتحول نحو المعامل الافتراضية في كليات العلوم بالجامعات السعودية لتفعيل دور المختبرات؟

1-4-أهداف الدراسة:

تهدف الدراسة إلى تحقيق الآتي:

1. التعرف على تحديات التحول للمعامل الافتراضية بكليات العلوم السعودية وفقاً لعضوات التدريس والمحضرات.
2. استقصاء اتجاهات عضوات هيئة التدريس ومحضرات المختبرات بكليات العلوم نحو التحول للمعامل الافتراضية.
3. تحديد متطلبات التفعيل اللازمة لتبني المعامل الافتراضية بكليات العلوم في ضوء رؤية 2030 والأدبيات الحديثة.
4. اقتراح رؤية متكاملة للتحول نحو المعامل الافتراضية بالجامعات السعودية لتفعيل دور المختبرات الافتراضية.

1-5-أهمية الدراسة

تستمد الدراسة أهميتها من أهمية المعامل ودورها في تحسين مخرجات التعليم، وتتوقع الباحثة أن تفيد كالآتي:

- **الأهمية النظرية (العلمية):**
  - إثراء الأدبيات النوعية بتقديم تشخيص ميداني عميق لديناميات التحول الرقمي المعملي بكليات العلوم.
  - توفير إطار معرفي يربط بين كفايات (TPACK) ومتطلبات التحول نحو المختبرات الافتراضية بالجامعات.
- **الأهمية التطبيقية (العملية):**
  - مساعدة قيادات كليات العلوم في اتخاذ قرارات مبنية على أدلة لتطبيق نموذج الدمج الهجين.

- توجيه صانعي القرار لتحديث البنية التحتية الرقمية وشبكات المعامل بما يحقق الأمان الحيوي.
- تقديم موجهات لإعداد برامج تدريبية تخصصية لتنمية الكفايات التقنية لعضوات التدريس والمحضرات.
- توفير رؤية إجرائية لتخفيف الضغوط التشغيلية والأعباء اللوجستية عن الكوادر الأكاديمية والمساندة.
- دعم مستهدفات رؤية المملكة 2030 في تسريع التحول الرقمي والتطوير المستدام للتعليم الجامعي.

1-6-حدود الدراسة

يقتصر تعميم نتائج الدراسة على الحدود الآتية:

- **الحدود الموضوعية:** تشخيص تحديات التحول الرقمي والاتجاهات نحو المعامل الافتراضية ومتطلبات التفعيل.
- **الحدود البشرية:** عضوات هيئة التدريس ومحضرات المختبرات بالأقسام العلمية (الكيمياء، الفيزياء، الأحياء).
- **الحدود المكانية:** كلية العلوم بمحافظة ينبع التابعة لجامعة طيبة بالمملكة العربية السعودية.
- **الحدود الزمنية:** تم تطبيق الدراسة الميدانية والتحليل الوثائقي وبناء الرؤية خلال العام الجامعي (2026).

1-7-مصطلحات الدراسة:

- **المعامل الافتراضية:** وتعرف بأنها: "بيئات تعلم رقمية قائمة على الويب توفر محاكاة تفاعلية للتجارب العلمية، مما يتيح للطلبة ممارسة التعلم المنظم ذاتياً، وتجاوز قيود المختبرات الفيزيائية" (Al-Duhani et al., 2024, p. 2). كما تُعرف بأنها: "وسائط تقنية متطورة توفر محاكاة دقيقة للواقع المعملي، تهدف إلى تعزيز المهارات التجريبية والفهم العلمي في تخصصات العلوم والتكنولوجيا" (Flowers, 2024, p. 1574).
  - وتعرفها الباحثة إجرائياً بأنها: "المنصات البرمجية والبيئات التفاعلية التي تسعى كلية العلوم لإدماجها في تدريس مقررات العلوم الطبيعية لتعويض أو تعزيز النقص في التجهيزات المادية التقليدية".
- **كلية العلوم بمحافظة ينبع:** تعرف إجرائياً بأنها: "السياق المكاني والبيئة التنظيمية التي تُجرى فيها الدراسة، وتمثل وحدة التحليل للدراسة الحالية للوقوف على واقع معاملها واستعداد كوادرها للتحول الرقمي وتتبع جامعة طيبة".

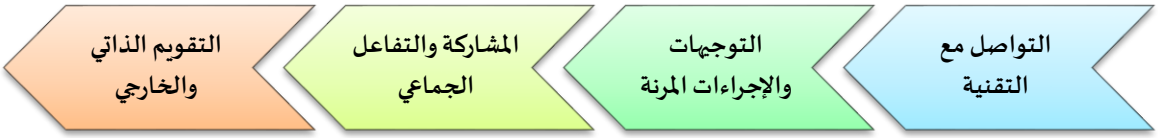
2-الإطار النظري والدراسات السابقة

2-1-الإطار النظري.

2-1-1-أهمية المعامل الافتراضية ومزاياها ومبادئ استخدامها:

تؤدي المعامل الافتراضية دوراً مهماً في تفعيل تعليم العلوم الطبيعية (فيزياء، كيمياء، أحياء)، خصوصاً مع تحديات المعامل التقليدية؛ كنقص التجهيزات أو ارتفاع تكلفة المواد الكيميائية (العتيبي، 2023). وتؤكد الأدبيات أن المختبرات الافتراضية تساهم في تنمية عمليات العلم والمهارات الاستقصائية للطلبة عبر السماح بتكرار التجارب دون محددات زمنية أو مخاطر فيزيائية (الجدعي، 2025). كما تمتد مزاياها لتشمل تطوير مهارات التفكير الحاسوبي في المفاهيم الدقيقة (Mashami et al., 2024)، وتنمية المهارات العملية في مجالات الكهرباء والكهرومغناطيسية (صالح وآخرون، 2023). ويُعد المختبر الافتراضي (Virtual Lab) تجسيداً لهذا التحول، حيث يتيح بيئة محاكاة رقمية تفاعلية تمكن المتعلمين من إجراء تجارب معملية تحاكي الظواهر العلمية المعقدة في بيئة آمنة ومرنة (Flowers, 2024, p. 1573).

ولضمان نجاح التعليم والتدريب في المعامل؛ سواء التقليدية أو الافتراضية، فيجب التقيد بعدة مبادئ أساسية، وتلخص الباحثة أهم هذه المبادئ نقلاً عن (العنزي والشهري، 2023): وكما يبينها الشكل (1) الآتي.



الشكل (1) المبادئ الأساسية لاستخدام المعامل في التعليم والتدريب. المرجع: الباحثة نقلا عن (العنزي والشهري، 2023)

يتضح من الشكل (1) أن نجاح المعامل يستند إلى أربعة مبادئ أساسية؛ تبدأ بتيسير التواصل التقني لضمان التفاعل، وتوفير توجيهات وإجراءات مرنة تُحفز الحوار دون تعقيد، وكلاهما يعززان المشاركة والتفاعل الجماعي وتبادل الخبرات بين المتعلمات والأستاذة. وتكتمل المبادئ بتفعيل التقويم الذاتي والخارجي كأداة لقياس تحقق المعايير ورصد الإنجاز، بما يضمن التحسين المستمر وتطوير الأداء التعليمي والمخبري.

2-1-2-النظرية الاتصالية (Connectivism):

تستند الدراسة في معالجتها لقضية التحول نحو المعامل الافتراضية إلى النظرية الاتصالية التي أسسها (Siemens, 2005)، والتي تنظر للتعلم كعملية ربط بين مصادر معلومات متخصصة في شبكة تقنية واجتماعية. وفي هذا السياق، يُعد الأكاديمي عقدة أساسية في الشبكة لا يقتصر دوره على نقل المعرفة، بل يمتد لتوجيه الطلبة نحو بناء المعرفة عبر الوسائط الرقمية. وتؤكد النظرية أن القدرة على معرفة المزيد أهم مما هو معروف حالياً، وهو ما يبرر حاجة الأكاديميين لتبني عقلية التعلم المستمر لمواكبة تطورات المحاكاة (Al-Duhani et al., 2024)، وتصميم بيئات دائرية تدمج المحاكاة بالنمذجة لضمان استمرارية التدفق المعرفي (Chang & Liu, 2024).

3-1-2-أهداف التحول نحو المعامل الافتراضية بكليات العلوم وأهميته و أبرز تحدياته:

يُمثّل التحول نحو المعامل الافتراضية بكليات العلوم مساراً محورياً لتطوير التعليم الجامعي ومدخلاً لإعادة تصميم التعلم العملي بما يُعزز جودة المخرجات، ويحقق كفاءة استثمار الموارد، ويرفع جاهزية الجامعات للمستقبل. وتتنوع أهداف هذا التحول، فيما تكمن أهميته في تحسين جودة التعليم، ورفع كفاءة الأداء، وتعزيز السلامة، ودعم الابتكار. كما تكشف الأدبيات عن تحديات متنوعة ومتداخلة، مما يؤكد أن نجاح التحول يتطلب رؤية مؤسسية متكاملة تضمن بناء منظومة داعمة للتطبيق المستدام، ويمكن تفصيلها كما يبينها الجدول (1).

الجدول (1) أهداف التحول نحو المعامل الافتراضية وأهميته و أبرز تحدياته في كليات العلوم

أهداف التحول	الأهمية (الفوائد المتحققة)	التحديات والمعوقات الرئيسة	سبل الاستفادة
تحسين جودة التعلم العملي من خلال توظيف المحاكاة الرقمية و إثراء الخبرات المخبرية (طه، 2022؛ الشلوي، 2026؛ Raut et al., 2026).	رفع مستوى التحصيل العلمي، وتحسين فهم المفاهيم المجردة، وزيادة فاعلية التعلم التجريبي (غالب، 2025؛ الزهراني والبلوي، 2026؛ Raut et al., 2026).	قصور جزئي في محاكاة جميع المهارات الحسية والحركية، وصعوبة تمثيل بعض التجارب الواقعية بدقة (الشلوي، 2026؛ المنتصر، 2026).	تحقق المعامل الافتراضية أعلى فاعلية عندما تُدمج مع الواقعية ضمن نموذج التعلم المدمج، بدلاً من أن تحل محلها بصورة كاملة.
توسيع فرص الوصول إلى التجارب العملية في أي زمان ومكان (السراني، 2023؛ العنزي والشهري، 2023؛ الحارثي والعريني، 2023).	تحقيق المرونة التعليمية، واستمرارية التعلم، وتكافؤ فرص الوصول إلى التجارب لجميع الطلبة (2024؛ غالب، 2025؛السيف والجربوع، 2025).	ضعف شبكات الإنترنت، وتفاوت جاهزية البنية التحتية الرقمية بين الكليات، وارتفاع تكاليف المنصات (المنتصر، 2026؛ الزيادي والشويعر، 2024).	يتطلب نجاح التوسع في المعامل الافتراضية الاستثمار في البنية الرقمية، وتوحيد المنصات، والدعم الفني المستمر.

تنمية الكفايات الرقمية لهيئة التدريس ومحضري المختبرات، ودمج التكنولوجيا في تدريس العلوم (العماري وآل كاسي، 2023؛ العنزي، 2025).	رفع كفاءة الممارسات التدريسية، وتحسين توظيف التقنيات الحديثة، وتعزيز الابتكار في تدريس العلوم (المالكي والأسمري، 2023؛ العنزي، 2025؛ الشلوي، 2026).	محدودية التدريب، وضعف الكفايات الرقمية التخصصية، ومقاومة بعض أعضاء هيئة التدريس للتغيير (السراني، 2023؛ طه، 2022؛ المنتصر، 2026).	تؤكد الأدبيات أن التنمية المهنية والتكامل بين المحتوى العلمي والتقنيات الرقمية تمثل المدخل الرئيس لتعزيز جاهزية الكوادر الأكاديمية.
تعزيز التعلم الذاتي والتعلم المنظم ذاتيًا، وتنمية مهارات التفكير العلمي وحل المشكلات (الزهراني والبلوي، 2026؛ Raut et al., 2026).	زيادة استقلالية المتعلم، وتحسين الدافعية، وتنمية مهارات البحث والاستقصاء والتعلم مدى الحياة (الشلوي، 2026؛ الحارثي والعريني، 2023؛ Raut et al., 2026).	تفاوت المهارات الرقمية لدى الطلبة، وضعف التفاعل لدى بعض المتعلمين، والحاجة إلى الإرشاد المستمر (غالب، 2025؛ المنتصر، 2026).	يتطلب ذلك تصميم أنشطة تعلم تفاعلية تراعي الفروق الفردية، وتدعم التعلم المنظم ذاتيًا داخل البيئة الافتراضية.
تعزيز السلامة داخل المختبرات وتقليل المخاطر المرتبطة بالتجارب الكيميائية والبيولوجية (طه، 2022؛ Raut et al., 2026).	الحد من الحوادث، وتقليل استهلاك المواد والأجهزة، وخفض التكلفة التشغيلية للمختبرات (الزيادي والشويعر، 2024؛ الشلوي، 2026).	الحاجة إلى تحديث البرمجيات بصورة مستمرة، وارتفاع تكاليف التراخيص والصيانة والدعم الفني (المنتصر، 2026؛ الزيادي والشويعر، 2024).	توصي الأدبيات بإدراج المختبرات الافتراضية ضمن الخطط الاستثمارية للجامعات لضمان الاستدامة المالية والتقنية.
دعم التحول الرقمي المؤسسي وتحقيق مستهدفات تطوير التعليم الجامعي (العنزي، 2025؛ السيف والجربوع، 2025؛ المنتصر، 2026).	تعزيز القدرة التنافسية للجامعات، وتحسين جودة البرامج الأكاديمية، ودعم الاعتماد الأكاديمي والابتكار (الزيادي والشويعر، 2024؛ العنزي، 2025؛ الشلوي، 2026).	غياب السياسات المنظمة، وضعف الحوكمة، وعدم وجود معايير موحدة لاعتماد التجارب الافتراضية وتقويمها (المنتصر، 2026؛ الزيادي والشويعر، 2024).	تؤكد الأدبيات أن استدامة التحول ترتبط بوجود إطار حوكمة واضح، ومعايير جودة، وآليات لتقويم الممارسات المخبرية الرقمية بصورة دورية.
توسيع فرص التعاون والابتكار البحثي بين الجامعات من خلال البيئات الرقمية المشتركة (الحارثي والعريني، 2023؛ العنزي، 2025).	تعزيز تبادل الخبرات، وإثراء البحث العلمي، ورفع كفاءة استخدام الموارد المخبرية (الشلوي، 2026؛ المنتصر، 2026).	ضعف التكامل بين الأنظمة الرقمية، ومحدودية الشراكات التقنية، وتباين مستويات الجاهزية (العنزي والشهري، 2023؛ السيف والجربوع، 2025).	تشير الأدبيات إلى أهمية بناء شراكات وطنية بين الجامعات لتبادل المختبرات الافتراضية والخبرات التقنية وتحقيق الكفاءة الاقتصادية.
تحسين موثوقية التقويم العملي وتوثيق أداء الطلبة إلكترونيًا (أبوعوه والعجمي، 2023؛ الشلوي، 2026؛ العنزي، 2025).	دعم العدالة والشفافية في التقويم، وإتاحة التغذية الراجعة الفورية، وتحليل بيانات الأداء (الزيادي والشويعر، 2024؛ الشلوي، 2026).	محدودية أدوات تقويم المهارات العملية الدقيقة، وضعف مؤشرات قياس الأداء العملي في البيئات الافتراضية (طه، 2022؛ المنتصر، 2026؛ السراني، 2023).	توصي الأدبيات بتطوير أدوات تقويم أصيلة تجمع بين الأداء الواقعي والمحاكاة الرقمية لضمان موثوقية قياس المهارات العملية.

يتضح من الجدول (1) أن أهداف التحول للمعامل الافتراضية تتركز في تطوير التعلم العملي، وتنمية الكفايات الرقمية، وتحقيق المرونة والاستدامة؛ وتكمن أهميته في تحسين نواتج التعلم، وتعزيز السلامة، ورفع كفاءة الموارد. وتتفق الدراسات على تركّب تحديات التحول لتشمل البنية التحتية، والتأهيل المهني، والتمويل، والحوكمة، وتقويم المهارات، ومقاومة التغيير. وقد ركزت معظم الأدبيات على قياس الفاعلية وتشخيص المعوقات دون التعمق في استجابات عضوات التدريس والمحضرات بكليات العلوم، وبذلك توظف الدراسة الحالية هذا الطرح النظري في استكشاف تلك الاستجابات نوعياً، وبناء تصور تطبيقي يفسر متطلبات التحول المستدام بالسياق الجامعي السعودي.

4-1-2-متطلبات تفعيل التحول للمعامل الافتراضية بكليات العلوم في ضوء رؤية المملكة 2030 والأدبيات الحديثة:

يتطلب التحول للمعامل الافتراضية بناء منظومة متكاملة (تقنياً، وبشرياً، وتنظيمياً، ومالياً، وأكاديمياً) تنسجم مع أهداف رؤية 2030 للتحول الرقمي وتطوير التعليم العالي. وتؤكد الأدبيات أن معالجة تحديات التطبيق تستلزم توفير بنية رقمية متقدمة، وتأهيل الكوادر وفق إطار (TPACK)، وتطوير أنظمة الحوكمة، والتمويل المستدام، وتعزيز الابتكار؛ لتمثل إطاراً تكاملياً يربط الإمكانات التقنية بالجاهزية البشرية والدعم المؤسسي لضمان استدامة التحول.

الجدول (2) متطلبات تفعيل التحول نحو المعامل الافتراضية في كليات العلوم في ضوء الأدبيات ورؤية المملكة 2030

م	التحديات الرئيسة	متطلبات التفعيل المقترحة	الأدبيات ورؤية 2030	تعليق الباحثة/التطبيق
1	التحديات التقنية: ضعف البنية التحتية، محدودية المنصات، ضعف تكامل الأنظمة، مشكلات الاتصال والدعم الفني (2023؛ المنتصر، 2026؛ السلامي، 2025).	تطوير البنية التحتية الرقمية، وتوفير منصات محاكاة متخصصة، وربطها بأنظمة إدارة التعلم، و إنشاء مراكز دعم فني مستدامة (Al-Duhani et al., 2024؛ السلامي، 2025).	التحول الرقمي، والجامعات الذكية، والاقتصاد الرقمي، وتعزيز البنية الرقمية الوطنية.	يتطلب نجاح التحول اعتبار البنية الرقمية مشروعًا مؤسسيًا طويل المدى، لا مجرد شراء برامج أو أجهزة.
2	التحديات البشرية: ضعف الكفايات الرقمية، محدودية التدريب، تفاوت الخبرات، والقلق من استخدام التقنيات (غالب، 2025؛ السيد وسعيد، 2022؛ السراني، 2023).	بناء برامج تنمية مهنية، وإعادة تأهيل هيئة التدريس ومحضري المختبرات وفق إطارTPACK، وربط التدريب بالممارسة (Shambare & Jita, 2024؛ Lai & Lin, 2024).	تنمية رأس المال البشري، ورفع كفاءة الكوادر الوطنية، والتعلم مدى الحياة.	تؤكد الأدبيات أن نجاح التحول يبدأ بتطوير الإنسان قبل تطوير التقنية، لأن جاهزية الأكاديمي هي المحرك الحقيقي للتغيير.
3	تحديات تنظيمية: غياب السياسات، وضعف وضوح المسؤوليات، وقصور التنسيق المؤسسي (السيف والجربوع، 2025؛ المنتصر، 2026).	إعداد سياسات، وحوكمة المختبرات الافتراضية، وتحديد معايير تشغيل وصيانة ومسؤوليات واضحة، وتشكيل لجان إشراف متخصصة.	رفع كفاءة الأداء الحكومي، والحوكمة، والتميز المؤسسي.	يلزم جعل التحول جزءًا من الخطة الاستراتيجية للجامعة، مع مؤشرات أداء قابلة للقياس والمتابعة.
4	تحديات مالية: ارتفاع تكاليف البرمجيات، والصيانة، والتحديث، وضعف التمويل المستدام (المنتصر، 2026؛ السلامي، 2025).	تخصيص موازنات مستقلة، وبناء شراكات مع الشركات التقنية، والاستفادة من المنصات مفتوحة المصدر، وتطبيق التمويل المرحلي.	كفاءة الإنفاق، والاستدامة المالية، وتعزيز الشراكات مع القطاع الخاص.	تشير الأدبيات إلى أن التمويل المستدام شرط لاستمرار التحول، وليس فقط لبدء تطبيقه.
5	تحديات أكاديمية: ضعف دمج المعامل الافتراضية بالمقررات، وقلة مواءمة البرمجيات للتخصصات (Lopes et al., 2024؛ غالب، 2025).	إعادة تصميم المقررات، ودمج المختبرات الافتراضية ضمن نواتج التعلم، وتطوير سيناريوهات تعليمية قائمة على الاستقصاء والمحاكاة.	تحسين جودة التعليم الجامعي، والابتكار في التدريس، وتعزيز نواتج التعلم.	توصي الأدبيات بأن تكون التقنية جزءًا من تصميم المنهج، لا أداة إضافية تُستخدم بصورة هامشية.
6	تحديات التقويم: ضعف أدوات قياس الأداء، وغياب معايير اعتماد التجارب الرقمية، وتفاوت موثوقية التقويم (المنتصر، 2026).	تطوير معايير وطنية لاعتماد المختبرات الافتراضية، وبناء أدوات تقويم أصيلة، وتطبيق مؤشرات جودة دورية لقياس الأداء.	الاعتماد الأكاديمي، وضمان الجودة، والتحسين المستمر.	تقاس جودة المختبرات الافتراضية بتحقيق نواتج التعلم، وليس بمجرد التقدم التقني الذي توفره.
7	تحديات مقاومة التغيير: ضعف الثقة في نتائج المحاكاة، وفقدان المهارات، وضعف القناعة بالتحول (Lopes et al., 2024؛ السيد وسعيد، 2022).	تبني برامج لإدارة التغيير، ونشر ثقافة التحول الرقمي، وإشراك أعضاء هيئة التدريس في تصميم المبادرات، وعرض النماذج الناجحة، وتقديم الحوافز.	تنمية ثقافة الابتكار، وتعزيز المشاركة المجتمعية، وبناء بيئات عمل محفزة.	تمثل مقاومة التغيير استجابة يمكن تحويلها إلى دافع إيجابي؛ بالمشاركة والتدريب والدعم المستمر.

يتضح من الجدول (2) أن متطلبات تفعيل المعامل الافتراضية تُمثل منظومة مترابطة؛ إذ ترتبط معالجة التحديات بتطوير البنية الرقمية، وتنمية الكفايات، وتوفير الحوكمة والتمويل المستدام وثقافة الابتكار. وإذ تناولتها الأدبيات السابقة منفصلة، تتبنى هذه الدراسة إطارا تكاملياً يجمع مختلف الأبعاد والمتطلبات في ضوء رؤية 2030.

2-1-5-إطار (TPACK) لتأهيل الكوادر الأكاديمية لاستخدام المعامل الافتراضية:

ويُعد إطار (TPACK) مدخلاً مهماً لفهم هذه الاستجابات؛ بربط معارف المحتوى والتربية والتقنية؛ حيث يُعاب على الممارسات الحالية التركيز على المهارة التقنية المجردة دون ربطها بالعمق التربوي، بينما يتوقف التبني الناجح للمختبرات الافتراضية على القدرة المعرفية للأكاديمي في تمثيل المفاهيم العلمية افتراضياً (Shambare& Jita, 2024).

ويتطلب التحول نحو المعامل الافتراضية خارطة طريق محورها تأهيل الكوادر وتنمية وعيها الناقد (Jaradat, 2021) عبر ثلاثة أبعاد: معرفي يربط القناعات بمصداقية المعرفة الافتراضية، ومهني يُمكن من تصميم سيناريوهات استقصائية (Lai & Lin, 2024)، وتقني يُمكّن إجرائياً من التعامل مع المنصات كـ (Labster) و(Hulai et al., 2024) (PhET). وبذلك يُصبح التحول ضرورة حتمية تتطلب معالجة شاملة؛ بحيث يمنح دمج النظرية الاتصالية وإطار (TPACK) الدراسة عمقاً فلسفياً لتقديم رؤية استراتيجية تتجاوز المعوقات المادية وتحول التحديات إلى فرص للتميز الأكاديمي.

2-2-الدراسات السابقة (مراجعة نقدية).

2-2-1-دراسات تناولت تحديات التحول نحو المعامل الافتراضية في كليات العلوم والمؤسسات التعليمية:

رصدت دراسات سعودية وعربية تحديات هيكلية وبشرية للتبني التقني؛ إذ كشفت دراسة السراني (2023) بجامعة طيبة عن معوقات؛ أهمها المتعلقة بالطلبة والبيئة والمقررات ثم الكادر الأكاديمي، وتلاقت معها دراسة الشهري (2024) التي حددت المعوقات في نقص التجهيزات، والتصاميم المنهجية، والمخاوف التقنية، ونقص التدريب الميداني. وفي اتجاه متصل، أوضحت دراسة طه (2022) بجامعة الملك خالد انخفاض توفر المعامل والمتطلبات مقابل ارتفاع المعوقات الميدانية. ومدرسياً، أظهرت دراستا القرني (2022) والطويرقي (2019) صعوبات مرتفعة تمثلت في قصور التجهيزات والمناهج. وعربياً، بيّنت دراستا (المنتصر، 2026؛ الأنصاري وأبو موسى، 2025) في ليبيا معوقات كبيرة أهمها: ضعف الحوافز، وبرامج التدريب، والدعم الفني، والبنية التعليمية والبرمجيات، مع قصور كفايات هيئة التدريس.

وعالمياً، كشفت الأدبيات عن عقبات تقنية وبنيوية متشابهة ومتنوعة؛ فأظهرت دراسة (Sommer et al., 2026) في الدنمارك أن غياب معايير موحدة لبنية البيانات يُعيق أتمتة المختبرات، ورصدت دراسة (Peirson, 2026) بالمملكة المتحدة تحديات تجسيد الواقع والشعور بالحضور التفاعلي. وبليومترياً، بينت دراسة (Escobar & Lopez, 2026) بكولومبيا وجود تفاوتات تكنولوجية ونقص في التدريب عالمياً، بينما رصدت دراسة (Kolodii et al., 2025) بأوكرانيا معوقات تقنية خلال الأزمات. وفي جنوب إفريقيا، أكدت دراسات (Shambare & Simuja, 2022, 2024; Shambare & Jita, 2024) ارتباط الاستخدام الفعلي بعوائق سياقية وتجهيزية حادة ونقص في كفايات (TPACK) لدى الكوادر.

2-2-2-دراسات تناولت اتجاهات هيئة التدريس ومحضرات المختبرات للتحول نحو المعامل الافتراضية:

ركزت دراسات المحور على قياس القبول التقني وجاهزية الكوادر التدريسية والمساندة للتخلي عن المعامل التقليدي؛ فسعودياً، كشفت دراسة العنزي (2025) عن استخدام مرتفع وتوجهات إيجابية مستدامة لدى معلمات العلوم رغم المعوقات. ودعمت العنزي والشهري (2023) هذا التوجه برصد جاهزية تقنية كبيرة بكليات العلوم بجامعة الحدود

الشمالية، رغم عوائق ضعف الشبكة والكثافة الطلابية، وكشفت دراسة العتيبي (2023) عن اتجاهات إيجابية كبيرة جداً لدى معلمي العلوم، مع فروق لصالح الإناث والخاضعين للتدريب. وأظهرت دراسة المالكي والأسمري (2023) بجامعة جدة في ضوء نموذج (TAM) أن قبول التعلم الافتراضي جاء بتقدير مرتفع مدفوعاً بالمنفعة وسهولة الاستخدام. وعربياً، أثبتت دراسة ارحيم والشح (2026) بليبيا جاهزية متوسطة للمدرسين بفروق لصالح المتدربين، بينما بينت دراسة Jaradat, (2021) بالأردن اتجاهات إيجابية لمدرسي الفيزياء تتأثر بغياب المعامل الافتراضية عن المناهج الرسمية.

وعالمياً، أكدت المراجعة المنهجية لـ (Zhang & Choate, 2026) بأستراليا تفضيل البيئات المدمجة لجمع مزايا التفاعل الواقعي والافتراضي. وفي أمريكا، أظهرت دراسة (Doğru & Faulconer, 2025) تقبل 40% من المشاركين للذكاء الاصطناعي كمساعد تدريس مع تفضيل دقة العنصر البشري. وفي تشيلي، كشفت دراستا (Carrasco et al., 2025؛ Navarro et al., 2024) عن اتجاهات إيجابية ونمو في الدافعية والقبول نحو منصة (Labster) وتفضيل الاستخدام كتهيئة قبلية (Pre-lab). وبينت دراسة (Parsa et al., 2025) بهولندا تقييم 83% للبيئات ثلاثية الأبعاد بأنها جذابة، مع تفضيل 92% للدمج بين النمطين. كما فضلت دراسة (Lai & Lin, 2024) الواقع الافتراضي الغامر والمكتبي بحسب نوع المهارة.

2-2-3-دراسات تناولت متطلبات التحول نحو المعامل الافتراضية في كليات العلوم بالجامعات:

تناولت دراسات المحور مختلف المتطلبات لضمان التحول الرقمي؛ ففي السعودية، دعت دراستا (الزهراني والبلوي، 2026؛ الشلوي (2026) لتصميم برامج تدريبية متقدمة ودمج المعامل منهجياً لتنمية التفكير العالي والمهارات الفيزيائية. وأكّدت دراسات (السيف والجربوع، 2025؛ الرويلي والمطيري، 2025؛ الزيادي والشويعر، 2024) على متطلبات البنية الرقمية، كشبكات الإنترنت السريعة، وتوفير الحاسبات، وتخفيف أعباء التدريس، والدعم الفني. واستقصت أبوعوه والعجمي (2023) متطلبات التحول وفق رؤية 2030، بينما دعت دراستا العماري وآل كاسي (2023) والحارثي والعريني (2023) لتوفير أدلة إرشادية بالعربية وأجهزة دقيقة لتذليل معوقات التخطيط والتنفيذ والتقويم.

وعربياً، أظهرت دراسة (Raut et al., 2026) بسلطنة عمان تأييد 98% من الطلاب للمعامل الافتراضية كمدخل تحضيري آمن، وأكّدت دراسات غالب (2025) باليمن، وبربارة (2025) بفلسطين، وصالح (2023) بمصر، والحافرة وإسماعيل (2022) باليمن أثر المحاكاة في تطوير مهارات المعلمين والتفكير الابتكاري والعملي بالفيزياء. كما بيّنت المراجعة المنهجية لـ (Zekeik et al., 2025) بالمغرب متطلبات التفعيل التنظيمي والتقني لدمج تقنيات AR/VR بالتعليم العالي.

وعالمياً، ركزت الأدبيات على المتطلبات البيداغوجية والتقنية؛ ففي أمريكا دعت دراستا (Marino, 2026؛ Berenjian et al., 2026) لمراعاة المعرفة السابقة والتفعيل المكمل لتقليل المخاطر. وفي إندونيسيا، دعت دراسات (Jaya et al., 2025؛Dwidiyanti et al., 2026 ؛Juandi et al., 2026) للدمج المتقدم مع الذكاء الاصطناعي والمختبرات التفاعلية وكفاية البنية الرقمية. وشددت دراستا (Lockett et al., 2026) بالمملكة المتحدة و(Chen et al., 2026) ومراجعة (Wang et al., 2025) بالصين على الاستقصاء الموجه، وتصميم أهداف السلامة، والتفاعلات متعددة الحواس.

وفي فنلندا وأوروغواي، دعت دراستا (Mendoza-Franco et al., 2026؛ Kieninger et al., 2026) لمراعاة العبء المعرفي والدمج الهجين بين الأتمتة والإشراف البشري، بينما أكّدت دراسة (Johnsdorf et al., 2026) بألمانيا على مراعاة وسائط (VR) لتنشيط المعالجة التذكرية. وأوضحت المراجعات المنهجية لـ (Dodevska et al., 2025) بشمال مقدونيا و(Meronda et al., 2025) بإندونيسيا متطلبات تسهيل الوصول لذوي الإعاقات وتعزيز الفهم المفهومي. وفي تركيا وأوكرانيا، دعت دراسات (Aktaş & Karamustafaoğlu, 2025؛ Neyem et al., 2025؛ Topalov et al., 2026) للدمج التكاملي والمكمل للواقع الافتراضي والتوسع في المنصات كـ (TinkerCAD). وأخيراً، دعت دراستا (Chang & Liu, 2024)

و(Sapriati et al., 2023) للتصميم الدوري المتباعد والتعلم الذاتي المنظم، فيما أكّدت المراجعة المنهجية لـ (Byukusenge et al., 2022) بشرق إفريقيا على التفعيل المستهدف للمواضيع المجردة بالأحياء.

2-2-4-تعليق عام على الدراسات السابقة:

1. **جوانب التشابه والاختلاف**: تتفق الحالية مع معظم الدراسات السابقة في تناولها لموضوع المعامل الافتراضية؛ حيث تشابهت مع دراسات سعودية كـ (السراني، 2023؛ والشهري وآخرون، 2024؛ والرويلي والمطيري، 2025؛ وطه، 2022) ودراسات عربية كـ (المنتصر، 2026؛ والأنصاري وأبو موسى، 2025) في رصد أبرز التحديات والمعوقات التقنية والتنظيمية والبشرية التي تعيق تفعيل المعامل الافتراضية في البيئات التعليمية والأكاديمية، كما تماثلت مع دراسات سعودية أخرى كـ (العنزي، 2025؛ والعنزي والشهري، 2023؛ والمالكي والأسمري، 2023) ودراسات عالمية كـ (Shambare & Simuja, 2024; Navarro et al., 2024; Parsa et al., 2025) في تقصي اتجاهات القبول والجاهزية نحو التحول الرقمي والتخلي عن النمط المعملي التقليدي لصالح المحاكاة التفاعلية. وفي المقابل، تختلف الحالية عن السابقة في نطاقها وحدودها؛ فبينما ركزت أبحاث عالمية مثل (Marino, 2026; Chen et al., 2026; Aktaş & Karamustafaoğlu, 2025) على قياس الأثر التجريبي للمختبرات الافتراضية في التحصيل وفهم الطلاب، واقتصرت دراسات ببليومترية مثل (Juandi et al., 2026; Escobar & Lopez, 2026) على تحليلات الإنتاج الفكري المكتبي، تنفرد الحالية بالتعمق في استكشاف تجارب المشاركات وتصوراتهن الذهنية حول التحديات ورؤيتهن لحلها.
2. **جوانب الاستفادة والفجوة البحثية**: أفادت الحالية من الدراسات السابقة في بناء إطارها؛ النظري والميداني؛ حيث ساعدت الدراسات السعودية والعربية كـ (الزهراني والبلوي، 2026؛ والشلوي، 2026؛ والسيف والجربوع، 2025؛ والزيادي والشويعر، 2024؛ وأبوعوه والعجمي، 2023؛ وصالح وآخرون، 2023) في بناء أبعاد ومؤشرات متطلبات التحول الرقمي وتصنيف المتطلبات التقنية والبشرية والتربوية، واستندت إلى مراجعات منهجية عالمية كـ (Zhang & Choate, 2026; Dodevska et al., 2025; Meronda et al., 2025; Zekeik et al., 2025) في توجيه آليات الموازنة بين المعامل الواقعية والافتراضية. وعلى الرغم من هذا الثراء، تبرز الفجوة البحثية التراكمية في الميدان؛ إذ كشفت الدراسات السعودية كـ (القرني، 2022؛ والطويرقي، 2019) والعربية كـ (ارحيم والشح، 2026؛ والحافرة وإسماعيل، 2022) والعالمية كـ (Sommer et al., 2026; Peirson, 2026; Shambare& Jita, 2024) عن غلبة النهج الكمي المسحي القائم على استبانات مغلقة تقيس مستويات المعوقات أو الاتجاهات بشكل ظاهري دون النفاذ إلى عمقها، فضلاً عن تركيز غالبية العالمية كـ (Byukusenge et al., 2022; Chang & Liu, 2024) على مدارس التعليم العام أو تجارب الطلاب، فيما لم تتناول أي منها المتطلبات الخاصة بكليات العلوم السعودية.
3. **ما يميز الدراسة الحالية والإضافة العلمية**: تتميز بكونها تُحدث نقلة نوعية مقارنة بالدراسات السابقة؛ فمن الناحية المنهجية والعيناتية، تتجاوز الأطر المغلقة التي اعتمدتها دراسات سعودية سابقة كـ (العماري وآل كاسي، 2023؛ والحارثي والعريني، 2023؛ والعتيبي، 2023) ودراسات عربية كـ (غالب، 2025؛ وبربارة، 2025) ودراسات عالمية كـ (Carrasco et al., 2025; Jaya et al., 2025; Topalov et al., 2026)، لتتبنى منهجاً استكشافياً عميقاً يجمع بين آراء هيئة التدريس ومحضرات المختبرات؛ ويُشكلن الضلع التشغيلي والتنفيذي الأساسي للمعامل وهو ما أغفلته الدراسات كـ (Doğru & Faulconer, 2025; Neyem et al., 2025; Sapriati et al., 2023). أما تطبيقيا، فهي تقدم رؤية إجرائية متكاملة وخارطة طريق مكيّفة تلبي متطلبات التحول نحو المعامل الافتراضية في كليات العلوم السعودية بما يراعي التخصصات الدقيقة (كيمياء، فيزياء، أحياء، ميكروبيولوجيا) ويتسق مباشرة مع رؤية 2030.

3-منهجية الدراسة وإجراءاتها

3-1-منهج الدراسة وتصميمها:

اعتمدت الدراسة المنهج النوعي في ضوء طبيعتها الاستكشافية؛ لفهم اتجاهات هيئة التدريس ومحضرات المختبرات تجاه التحول نحو المعامل الافتراضية بكليات العلوم (التحديات والمتطلبات) في سياقها الطبيعي، واستجلاء الخبرات التي يصعب قياسها كمياً بالتحليل الاستقرائي للأنماط والعوامل المؤثرة (Creswell & Poth, 2018؛ العبد الكريم، 2020). وبذلك، أُعطِيَ التصميم المنهجي نموذج دراسة الحالة (Case Study)؛ لاستكشاف التحول مؤسسياً داخل كلية العلوم وتحليل أبعاده التقنية والبشرية والتنظيمية بتكامل، دون استهداف التعميم خارج حدود الحالة (Yin, 2024). ولضمان التعمق، اعتمدت الباحثة ثلاثة مصادر بيانات متكاملة: المقابلات شبه المنظمة (Semi-Structured Interviews) كمصدر رئيس لاستكشاف الخبرات، والملاحظة الميدانية (Field Observation) لرصد واقع المعامل، وتحليل الوثائق (Document Analysis) للخطط والدراسات ذات الصلة. وضمن هذا التكامل تحقيق التثليث المنهجي (Methodological Triangulation)، مما عزز مصداقية النتائج وموثوقيتها (Creswell & Poth, 2018; Yin, 2024).

3-2-مجتمع الدراسة وعينتها والانعكاسية البحثية (Researcher Reflexivity):

أُجريت الدراسة واقتصر مجتمعها على هيئة التدريس ومحضرات المختبرات بكلية العلوم رابغ؛ لارتباطهن المباشر بتدريس المقررات العملية وإدارة المختبرات. واعتمدت العينة القصدية (Purposive Sampling) بشمول جميع المشاركات اللاتي تنطبق عليهن معايير الاختيار، وبلغ عددهن (12) مشاركة من تخصصات (الفيزياء، الكيمياء، الأحياء)، مع تنوع المؤهلات والخبرات لضمان ثراء البيانات. وتضمنت معايير الاختيار: الارتباط المباشر بالمختبرات، والخبرة المهنية، وتنوع التخصصات، والموافقة الطوعية الأخلاقية. ويوضح الجدول (4) الخصائص الديموغرافية للمشاركات.

الجدول (3) توزيع المشاركات في المقابلات حسب المتغيرات الديموغرافية

المتغير	الفئات	العدد	النسبة%	المتغير	الفئات	العدد	النسبة%
المؤهل العلمي	بكالوريوس	3	% 25	سنوات الخبرة	5 سنوات فأقل	1	% 8.33
	دراسات عليا	9	% 75		6 – 10 سنوات	4	% 33.3
	المجموع	12	%100		11 سنة فأكثر	7	% 58.33

3-3-دور الباحثة (Researcher's Role):

اضطلعت الباحثة بدور الأداة الرئيسة لجمع البيانات وتحليلها، مستفيدة من خبرتها الأكاديمية في تعليم الكيمياء والمختبرات لتفسير النتائج. وللحد من التحيز والذاتية، التزمت الباحثة بمبدأ الانعكاسية (Researcher Reflexivity)، والتثليث المنهجي، ومراجعة المشاركات (Member Checking)، والتأمل المستمر، بجانب الالتزام بالمعايير الأخلاقية والموافقة المستنيرة وسرية البيانات (Creswell & Poth, 2018). وتلخصت إجراءات دور الباحثة في المهام التالية:

1. **اختيار العينة والتنسيق:** تحديد المشاركات قصدياً، والتواصل معهن لتوضيح أهداف الدراسة، واستصدار المخاطبات الرسمية وتأكيد الموافقات المستنيرة عبر البريد الإلكتروني.
2. **إدارة المقابلات والملاحظة:** تحديد آلية المقابلات (حضورياً، أو عن بُعد، أو هاتفياً)، وتسجيلها، وتفريغها، وإعادة إرسالها للمشاركات للتحقق من دقة مضمونها.
3. **تحليل الوثائق وتدوين الملاحظات:** فحص الوثائق والتقارير الرسمية وإعداد تقارير تحليلية عنها، مع تدوين الانطباعات والتأملات الذاتية فورياً أثناء المقابلات لمراجعتها قبل كتابة النتائج النهائية.

3-4-إجراءات جمع البيانات وتحليلها (Data Collection and Analysis Procedures):

تم اعتماد ثلاث أدوات نوعية لجمع البيانات: المقابلات شبه المنظمة (Semi-Structured Interviews)، والملاحظة الميدانية (Field Observation)، وتحليل الوثائق (Document Analysis)؛ بهدف الفهم الشامل لتحديات المعامل الافتراضية ومتطلبات تفعيلها. وأُجريت المقابلات مع (12) مشاركة من هيئة التدريس ومحضرات المختبرات (بواقع 20–25 دقيقة لكل مقابلة) حول التحديات والاتجاهات ومتطلبات التفعيل في ضوء رؤية2030. بينما رصدت الملاحظة واقع التجهيزات فعلياً، وتناول تحليل الوثائق الخطط الاستراتيجية والتقارير والأدلة التنظيمية للتحول الرقمي.

وحُللت البيانات باستعمال التحليل الموضوعي (Thematic Analysis) لاستخلاص الأنماط والمحاور الرئيسة، وربط الأدوات عبر التثليث المنهجي (Methodological Triangulation). كما روعيت معايير جودة البحث النوعي (Lincoln & Guba, 1985) بتعزيز المصداقية (Credibility) عبر مراجعة المشاركات (Member Checking)، والاعتمادية (Dependability) بتوثيق الإجراءات، وقابلية التأكيد (Confirmability) بتعدد المصادر، وقابلية النقل (Transferability) بالوصف الكثيف للسياق. وقد أسهمت نتائج التحليل في صياغة رؤية تفعيل المعامل الافتراضية اتساقاً مع رؤية 2030.

الجدول (4) مواءمة أسئلة الدراسة مع أدوات جمع البيانات والتحليل

سؤال الدراسة	أداة جمع البيانات	أسلوب التحليل
1-ما تحديات التحول نحو المعامل الافتراضية في كليات العلوم؟	مقابلات+ ملاحظة+ تحليل وثائق	الموضوعي والتثليث المنهجي
2-ما اتجاهات هيئة التدريس ومحضرات المختبرات نحو المعامل؟	المقابلات شبه المنظمة	التحليل الموضوعي
3-ما متطلبات تفعيل المعامل الافتراضية في ضوء الأدبيات؟	المقابلات+ تحليل الوثائق	الموضوعي مقارنة بالأدبيات
4-ما الرؤية المقترحة لتفعيل المعامل الافتراضية في كليات العلوم؟	تكامل نتائج جميع الأدوات	التفسيري وبناء الإطار المقترح

3-5-إجراءات تحليل البيانات وضمان جودة الدراسة (Trustworthiness of the Study):

3-5-1-إجراءات تحليل البيانات:

حُللت البيانات استقرائياً باستعمال التحليل الموضوعي (Thematic Analysis) عبر خمس مراحل متتابعة: تنظيم البيانات، والترميز الأولي، وبناء الموضوعات الرئيسة، وتفسير النتائج، واستخلاص الاستنتاجات وربطها بأهداف الدراسة (Creswell & Poth, 2018). ودُمجت بيانات المقابلات والملاحظة وتحليل الوثائق لتوفير تفسير متكامل للتحديات والاتجاهات والمتطلبات، وصولاً إلى بناء الرؤية المقترحة وفق رؤية 2030.

3-5-2-ضمان جودة الدراسة (Trustworthiness):

طبقت الباحثة معايير جودة البحوث النوعية (الغانم، 2024؛ Lincoln & Guba, 1985) وفق المحاور الآتية:

أ **المصداقية (Credibility):** عُززت بالتثليث المنهجي، ومراجعة المشاركات (Member Checking)، والوصول للتشبع النظري (Data Saturation).

ب **قابلية النقل (Transferability):** دُعمت بالوصف الكثيف للسياق وخصائص العينة والإجراءات لتوفير إمكانية الإفادة منها في سياقات مشابهة.

ج **الاعتمادية (Dependability):** بالتوثيق للمراحل والاحتفاظ بمسار تدقيق (Audit Trail) لقرارات الترميز والتحليل.

د **التأكيدية (Confirmability):** عُززت بالانعكاسية البحثية والرجوع المستمر للبيانات الأصلية لضمان موضوعية الاستنتاجات والحد من التحيز.

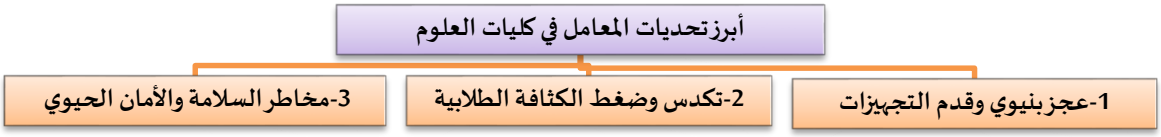
3-6-الاعتبارات الأخلاقية (Ethical Considerations):

التزمت الدراسة بالمبادئ الأخلاقية النوعية عبر استصدار الموافقات الرسمية والموافقة المستنيرة (Informed Consent)، وضمان سرية الهويات، وحق الانسحاب الطوعي. وحُفظت التسجيلات والوثائق بأمان مع الاقتصار على استخدامها لأغراض البحث العلمي والالتزام بالحياد والترخيص الأخلاقي طوال مراحل الدراسة.

4-نتائج الدراسة/ Results

4-1-نتيجة الإجابة عن السؤال الأول: "ما تحديات التحول للمعامل الافتراضية في كليات العلوم السعودية وفقاً لهيئة التدريس ومحضرات المختبرات؟"

وللإجابة؛ كشف التحليل الموضوعي للمقابلات، مع الملاحظة الميدانية وتحليل الوثائق، أن تحديات التحول نحو المعامل الافتراضية تمثل منظومة مترابطة (بنيوية، تنظيمية، ذاتية) وتؤثر بصورة مباشرة في جودة التعليم العملي وإمكانات التحول الرقمي. وتكررت عدة قضايا في روايات معظم المشاركات، وهو ما يعكس واقعاً عاماً أكثر من كونها خبرات فردية معزولة. وبناء على الترميز الموضوعي، أمكن تصنيف التحديات في ثلاثة محاور وكما يبينها الشكل(2).



الشكل (2) أبرز تحديات التحول للمعامل الافتراضية في كليات العلوم. المصدر: إعداد الباحثة بناء على نتائج المقابلات

4-1-1-تدني الكفاءة البنيوية وقدم التجهيزات: عائق معرفي أمام الاستكشاف:

تتداخل روايات المشاركات لتكشف أن المختبرات التقليدية بوضعها الراهن باتت تُشكل عائقاً يحدّ من إجراء البحوث والتطبيقات الاستقصائية. كما تؤكد الأدبيات الميدانية أن المحدودية الفيزيائية للتجهيزات تُعد الدافع الرئيس للبحث عن بيئات بديلة (Tique & Lugo, 2026). وتجسد هذا الواقع في شهادة رئيسة قسم الكيمياء (ر) بقولها: "*توجد مجموعة صعوبات جوهرية تعيق تدريس المقررات العلمية؛ فالمختبرات التقليدية لا تفي باحتياجات الطالبات، ولا تسهم في تنمية مهاراتهن نتيجة نقص الأدوات والأجهزة وضعف الإمكانات المتاحة لتنفيذ التجارب بصورة فعالة*". كما أوضحت زميلتها بقسم الأحياء (ن): "*الطاقة الاستيعابية للمعامل لا تكفي قيام جميع الطالبات بالتجارب؛ لذا نضطر لإجرائها في صورة مجموعات*". وتعكس الإجابات فجوة هيكلية تحد من التعلم القائم على الاستقصاء والتجريب الفردي، وهو ما يتوافق مع دراسة (Tique & Lugo, 2026) بارتباط محدودية تجهيزات الفيزياء بالبحث عن بدائل رقمية أكثر فاعلية.

4-1-2-الضغوط اللوجستية والتكدس: إدارة الحشود بدلاً من إدارة التعلم:

تجلت الكثافة الطلابية العالية كعنصر أحبط جودة الممارسة العلمية، محوّلة المعامل من فضاءات جاذبة للابتكار إلى ساحات لإدارة التكدس وتقسيم المجموعات الإجباري لتوفير الوقت. وهو ما يتوافق مع نتائج دراستي (Al-Duhani et al., 2024؛ والعنزي والشهري، 2023) حول إعاقة التكدس المادي للتعلم المنظم ذاتياً. وتصف عضوة هيئة التدريس بقسم الأحياء (ن) هذا التحدي قائلة: "*الطاقة الاستيعابية للمعامل لا تكفي قيام جميع الطالبات بالتجارب، لذا نُضطر لإجرائها في صور مجموعات، مما يقلص الممارسة الفردية ويضاعف المجهود*". وتروي عضوة هيئة التدريس بقسم الأحياء (م) معاناة أخرى في معامل المايكروبيولوجي والتقنية الحيوية: "*نعاني من نقص التجهيزات وضعف التهوية؛ حيث يعمل المعمل بنسبة 50% فقط وبجهود مضاعفة مع كثرة الشعب*". وتكتمل الصورة برواية محضرة المختبر (أ) التي تُبرز

حجم العبء التشغيلي المسند للكوادر المساندة: "*أحتاج لساعات إضافية جبارة لتحضير العينات، ناهيك عن الصعوبة البالغة في التخلص من النفايات الناتجة عن التشريح*". وفي السياق نفسه، أشارت وكيلة الكلية إلى الجهود التنظيمية المبذولة بقولها: "*تم التعاقد حالياً مع شركة مختصة للتخلص من النفايات العضوية ونواتج التشريح*".

وترى الباحثة أن هذه الروايات تكشف أن التحول نحو المعامل الافتراضية لم يعد خياراً تقنياً، وإنما يمثل استجابة تنظيمية لمعالجة تحديات الكثافة الطلابية، وضعف البنية التشغيلية، وهو ما يتفق مع نتائج Alhashem & Alfailakawi, 2023؛ Rosli & Ishak, 2024؛ الشهري وآخرون، 2024).

4-1-3-هواجس الأمان الحيوي وإدارة المخاطر المهنية:

برزت اعتبارات السلامة كبُعد حرج؛ إذ تكشفت مخاطر مهنية ناجمة عن تقادم أدوات التعليم والتعقيم وتحويل قاعات دراسية غير مجهزة إلى معامل تفتقر لمقومات الأمان. وفي هذا السياق، ينظر الأكاديميون للمختبر الرقمي ليس كرفاهية، بل كنظام إدارة أمنية يحمي من المواد السامة والانفجارات (Alhashem & Alfailakawi, 2023). وتصوّر محضرة المختبر بقسم الأحياء (ن) هذا التحدي بوضوح: "*المعامل كانت في الأصل قاعات دراسية تم تحويلها لمعامل، مع عدم توفر الماء بأحد المعامل، إضافة لغياب مخارج الطوارئ ضمن احتياطات الأمن والسلامة*" وتضيف عضوة هيئة تدريس: "*أقدمية جهاز الميكروسكوب شكلت تحدياً كبيراً، كما أن أجهزة (الأوتوكليف) وأدوات التعقيم تتطلب تحضيرًا مسبقًا لا يقل عن 3 ساعات*". وتتسق هذه الروايات مع نتائج (الشهري وآخرون، 2024؛ والقديري، 2024؛ و Rosli & Ishak, 2024) من أن المعوقات التجهيزية هي المكبّل الأول للتحول الرقمي.

4-1-4-البناء البياني للتحديات الميدانية:

يُظهر الجدولان التاليان مصفوفة التحليل الوثائقي والميداني لتجارب المشاركات، مع تصنيف التحديات النوعية وفق محاورها البنيوية والذاتية والتهديدات الخارجية، وكما يتبين من الجدولين (5، 6):

الجدول (5) مصفوفة تحليل التحديات المعامل التقليدية (استناداً إلى تحليل المقابلات-إعداد الباحثة)

محور التحدي	التوصيف الأكاديمي للحالة الراهنة	التكرار	النسبة%
الكفاءة التشغيلية	بيئة عمل تتسم بمحدودية الموارد، لا تفي باحتياجات المقررات الحديثة.	12	100%
البيئة التعليمية	مختبرات ذات كثافة طلابية عالية وتفتقر لوسائط التقنية التفاعلية.	11	91.67%
الاستدامة التقنية	نقص الصيانة الدورية وتقادم المواصفات الفنية للحواسيب المتوفرة.	12	100%
الأمان الحيوي والكيميائي	ارتفاع مؤشر المخاطر المهنية في ظل ضعف تحديث وسائل السلامة.	8	66.67%

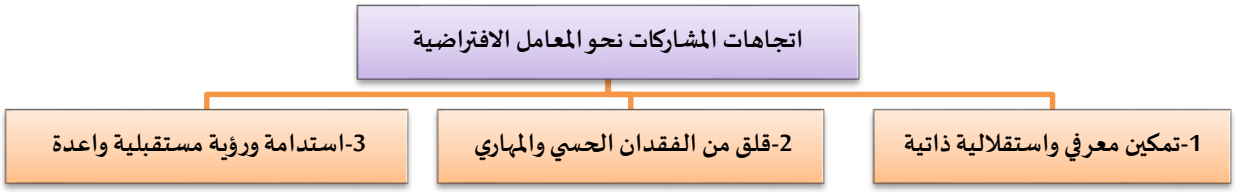
الجدول (6) التصنيف المحوري لتحديات التحول نحو المعامل الافتراضية بناء على نتائج المقابلات

التحديات	التحديات الفرعية	التكرار	النسبة%	التحديات	التحديات الفرعية	التكرار	النسبة%
التحديات البنيوية	محدودية البنية التحتية.	12	%100	تحديات التهديدات الخارجية	غياب الأطر التشريعية.	10	%83.3
	عجز الدعم التقني المتخصص.	6	%50		تسارع التقادم التقني.	9	%75
	تحديات تعريب المحتوى اللغوي.	6	%50		المقاومة الثقافية والمهنية.	8	%66.67
الذاتية1	تضاعف العبء على الأكاديميات.	10	%83.3	الذاتية2	فجوة كفايات رقمية نوعية.	8	%66.67

يتبين من الجدولين (5، 6) أن التحدي الرئيس للتحول نحو المعامل الافتراضية يكمن في غياب منظومة متكاملة تدعم التحول تنظيمياً وبشرياً. ورغم تقبّل هيئة التدريس ومحضرات المختبرات للتحول الرقمي، فإنه يظل مشروطاً بتوفر بنية تحتية وتشريعات وتطوير مهني وضمان الجودة والسلامة. والانتقال من معالجة المشكلات التشغيلية إلى تبني رؤية استراتيجية تجعل المعامل الافتراضية مرتكزاً لتطوير تعليم العلوم وتحقيق مستهدفات رؤية 2030.

4-2-نتيجة الإجابة عن السؤال الثاني: "ما اتجاهات عضوات هيئة التدريس ومحضرات المختبرات بكليات العلوم نحو التحول للمعامل الافتراضية؟

لم تكن استجابات المشاركات في المقابلات مجرد آراء عابرة، بل كشفت عن تحول عميق في الهوية المهنية للأستاذة والمحضرة؛ حيث تأرجحت اتجاهاتهن بين شغف التمكين المعرفي والتطلع للاستدامة، وهواجس القلق المهني على المهارات الحسية واليدوية. وأظهر التحليل أن المعامل الافتراضية لم تعد وسيطاً تقنياً فحسب، بل متغيراً محورياً يُعيد تشكيل الهوية المهنية لهيئتي التدريس والمساندة، وتتلخص أبرز التصورات في ثلاثة محاور وكما يبينها الشكل(3).



الشكل (3) اتجاهات هيئة التدريس ومحضرات المختبرات بكليات العلوم نحو التحول للمعامل الافتراضية (المرجع: إعداد الباحثة)

4-2-1-المعامل الافتراضية كبيئة للتمكين المعرفي وتطوير التفكير واستقلاليته:

تجلت في أحاديث المشاركات قناعة جمعية تُعامل المختبر الافتراضي كمحيط تجريبي آمن، يعيد نقل السلطة المعرفية إلى الطالبة عبر تفعيل الاستقصاء الذاتي، وتحويل دور العضوة من الموجه التقليدي للخطوات المادية إلى مصممة للبيئات الرقمية التفاعلية. وتصوغ عضو هيئة التدريس بقسم الفيزياء (أ) هذه الرؤية بقولها: "*هذه المعامل تسهم في نقل السلطة المعرفية إلى الطالبة من خلال تفعيل استراتيجيات التعلم المنظم ذاتياً، مما يستوجب تحولاً في دور الأستاذة من موجهة للتجارب المادية إلى مصممة للبيئات التعليمية الرقمية*". وتلتقي معها عضوة هيئة التدريس بقسم الكيمياء (س) مشددة على عامل السلامة: "*المعامل الافتراضية مهمة جداً، خصوصًا للتجارب التي تحتاج أماناً عالياً واحتياطات ملائمة*".

وهو ما يعكس وعياً أكاديمياً بتعزيز استقلالية المتعلمة (حيمور، 2023؛ والأسلمي، 2025؛ Al-Duhani et al., 2024). وفي ذات السياق، أكدت رئيسة قسم الفيزياء على البُعد المفهومي بقولها: "*إن هذا التمكين يمتد ليشمل تطوير مهارات التفكير العليا؛ حيث تتيح المختبرات الرقمية للطالبات الانخراط في عمليات المحاكاة المعقدة التي يصعب تنفيذها واقعياً، مما يعزز قدراتهن على حل المشكلات بطرق ابتكارية*". وتتطابق هذه الشهادة مع ما أثبتته الأدبيات حول تنمية التفكير الحاسوبي والإدراك الأكاديمي عبر المحاكاة (Mashami et al., 2024; Carrasco et al., 2025).

4-2-2-ازدواجية الموقف: كفاءة المحاكاة مقابل قلق الفقدان الحسي:

على الرغم من الإشادة بقدرة المحاكاة على تجسيد المفاهيم المجردة كالبنى الذرية والظواهر الكهرومغناطيسية، ظهر في الحوارات نبرة قلق مهني خشية تراجع المهارات الحسية-الحركية. وتُعبر عضوة هيئة التدريس بقسم الفيزياء (م) عن هذا الهاجس بقولها: "*الخبرة الحسية المباشرة والملاحظة الميدانية تظل مكونات جوهرية في تكوين الباحثة العلمية*". وتؤيدها عضوة هيئة التدريس (ب) محذرة من الرقمنة المطلقة: "*الاعتماد الكلي على الافتراض قد يؤدي إلى ضعف المهارات اليدوية الدقيقة لدى الخريجات*". وترى الباحثة أنها مخاطر؛ تقتضي الاستفادة المشروطة من المعامل الافتراضية؛ أي بدون التفريط بالتجارب الحقيقية في الواقع، وهو ما يتماشى مع الطرح الداعي للنموذج المدمج (Lopes et al., 2024)، وعدم قطع الصلة بالواقع المخبري لتفادي الفجوات العلمية (Papalazarou et al., 2024; Marino, 2026).

3-2-4-ضرورة استراتيجية للاستدامة ومستقبل واعد شريطة توفر الحوافز المؤسسية والتأهيل المهني:

ترسخت لدى الأكاديميات قناعة يستحضرن فيها تجارب التعليم القسري أثناء الأزمات والجائحة؛ إذ لم تعد التقنية خياراً ترفياً، بل نظاماً بديل ومستدام يضمن استمرارية التعلم والبحث العلمي تحت مختلف الظروف (الخثعمي والعصيمي، 2022)، وبما يتسق مع إطار المعرفة التقنية والتربوية بالمحتوى TPACK (Shambare& Jita, 2024). وفي تحول دراماتيكي يُبشر بانفراجة ميدانية، كشفت وكيلة كلية العلوم عن مشروع واعد بقولها: "*العمل جارٍ على إنشاء مبنى كامل للمعامل قيد التجهيز لكليتي العلوم والعلوم الطبية التطبيقية، حيث إن المبنى مجهز بشكل كبير بأحدث الأجهزة ووسائل الأمن والسلامة خلال العام القادم بإذن الله*". كما أجمعت المشاركات على أن الجاهزية الذهنية المرتفعة مشروطة بتوفر الدعم التقني والتأهيل المتخصص الذي يدمج بين التقنية وطرق التدريس، وليس مجرد توفير البرمجيات الصامتة؛ وهو ما اتفقت عليه نتائج دراسات محلية وعربية حثت على التدريب المكثف وتوفير النسخ البرمجية المتعددة وتفعيل دور الكوادر التعليمية وفق متطلبات التحول الرقمي (الحافرة وإسماعيل، 2022؛ أبوعوه والعجمي، 2023؛ غالب، 2025).

وتستنتج الباحثة أن المشاركات يمتلكن جاهزية ذهنية واستجابة إيجابية مرتفعة للتحول الرقمي المعملي؛ وهي استجابة واعية تشترط التوازن بين الموثوقية الرقمية والممارسة الحسية. ويتأسس بناء رؤية التفعيل استناداً إلى هذا النضج المعرفي لتلبية تطلعات الهيئة التدريسية والمساندة وتمكينهن من قيادة التغيير الشامل.

3-4-نتيجة الإجابة عن السؤال الثالث: "ما متطلبات التفعيل اللازمة لتبني المعامل الافتراضية بكليات العلوم في ضوء الأدبيات الحديثة؟"

وللإجابة فقد أظهرت نتائج التحليل الموضوعي للمقابلات، والملاحظة وتحليل الوثائق، أن المشاركات لم يعتبرن المعامل الافتراضية مجرد بديل تقني، بل مشروعاً يتطلب منظومة متكاملة من المتطلبات. كما بينت المقارنات مع الأدبيات الحديثة أن النجاح لا يرتبط بالبرمجيات وحدها، وإنما بتهيئة البيئة الجامعية وتأهيل الكوادر وإعادة تصميم الممارسات التعليمية بما يتوافق مع مستهدفات رؤية 2030 في التحول الرقمي، ويمكن إيجاز أهمها كما يبينها الجدول (7).

الجدول (7) المتطلبات الرئيسة لتفعيل المعامل الافتراضية بكليات العلوم في ضوء نتائج الدراسة والأدبيات الحديثة

م	المتطلبات	المتطلبات المستخلصة من نتائج الدراسة والأدبيات	رؤية الباحثة وآليات التفعيل في كليات العلوم
1	المتطلبات التقنية	توفير منصات محاكاة متخصصة (مثل PhET وLabster)، وتحديث البنية الرقمية، وتحسين سرعة الشبكات، وتوفير حواسيب ومحطات تشغيل قادرة على تشغيل تطبيقات المحاكاة، مع توفير دعم فني مستمر (السيف والجربوع، 2025؛ الرويلي والمطيري، 2025؛ Juandi et al., 2026).	ترى الباحثة أن نجاح التحول يبدأ ببناء بنية رقمية مستدامة داخل كليات العلوم، تتوافق مع برنامج التحول الرقمي ورؤية المملكة 2030، مع إنشاء وحدة فنية متخصصة لدعم المعامل الافتراضية وصيانتها بصورة مستمرة.
2	المتطلبات البشرية	تنفيذ برامج تدريب مهني لهيئة التدريس ومحضرات المختبرات، وتنمية الكفايات الرقمية والتربوية، وإعداد أدلة إجرائية لاستخدام المعامل الافتراضية (الزهراني والبلوي، 2026؛ غالب، 2025؛ Hulai et al., 2024).	تؤكد الباحثة ضرورة بناء برامج تطوير مهني قائمة على إطار TPACK وربط التدريب بالممارسة الفعلية داخل المقررات العلمية، بما يعزز جاهزية الكوادر للتحول الرقمي المستدام.
3	المتطلبات الأكاديمية	إعادة تصميم المقررات العملية لتوظيف المعامل الافتراضية ضمن استراتيجيات التعلم القائم على الاستقصاء والمحاكاة، مع التكامل بين المختبرين الواقعي والافتراضي (الشلوي، 2026؛ Chen et al., 2026).	ترى الباحثة أن المعامل الافتراضية ينبغي أن تصبح جزءاً من الخطة الدراسية، لا تطبيقاً اختيارياً، بما يحقق نواتج التعلم العملية، ويعزز مهارات التفكير العلمي والبحث والاستقصاء.

4	التنظيمية والإدارية	تبني سياسات جامعية واضحة للتحول الرقمي، وتخصيص ميزانيات مستدامة، ووضع أدلة تشغيل وإجراءات موحدة، وتفعيل الشراكات مع الشركات التقنية (أبوعوه والعجمي، 2023؛ Zekeik et al., 2025).	توصي الباحثة بإدراج المعامل الافتراضية ضمن الخطط الإستراتيجية للجامعات ومؤشرات الأداء المؤسسي، انسجاماً مع مستهدفات برنامج تنمية القدرات البشرية ورؤية المملكة 2030.
5	التقويم وضمان الجودة	تطوير أدوات لتقويم المهارات العملية داخل البيئات الافتراضية، وبناء مؤشرات لقياس جودة الأداء، والاستفادة من التحليلات الرقمية في متابعة تعلم الطالبات (Lockett et al., 2026؛ Wang et al., 2025).	ترى الباحثة أن نجاح التحول يتطلب دمج مؤشرات جودة خاصة بالمعامل الافتراضية ضمن أنظمة الاعتماد الأكاديمي والتقويم المستمر، وربطها بتحسين نواتج التعلم.
6	متطلبات الابتكار والاستدامة	توظيف الذكاء الاصطناعي والواقعين الافتراضي والمعزز، وتطوير منصات عربية، وتوسيع مختبرات هجينة؛ تجمع بين التجارب الواقعية والافتراضية (Juandi et al., 2026؛ Berenjian et al., 2026؛ Dodevska et al., 2025).	ترى الباحثة أن مستقبل كليات العلوم يتطلب الانتقال من التحول الرقمي إلى الابتكار الرقمي؛ بالاستثمار في المختبرات الذكية وربطها بمبادرات البحث والابتكار التي تستهدفها رؤية 2030.

تُظهر النتائج بالجدول (7) أن متطلبات تفعيل المعامل الافتراضية تُشكّل منظومة تكاملية؛ إذ لا يتحقق التحول الفعلي باقتناء التقنية دون تنمية الكفايات وإعادة تصميم الممارسات التعليمية. كما يرتبط النجاح بتوفر الدعم المؤسسي، والتأهيل المستمر، والسياسات التنظيمية، وهو ما تؤكده الأدبيات الحديثة؛ من تكامل الأبعاد التقنية والتنظيمية والأكاديمية. وعليه؛ ترى الباحثة أن تحقيق مستهدفات رؤية 2030 يستلزم نموذجاً مؤسسيًا متكاملاً يجعل المعامل الافتراضية مكوّناً بيئياً مستداماً لرفع جودة المخرجات وكفاءة التعليم العملي.

5-مناقشة النتائج

5-1-مناقشة نتائج المحور الأول: التحديات البنيوية واللوجستية ومخاطر السلامة في المعامل التقليدية:

تتفق نتائج الدراسة الحالية مع ما رصدته الأدبيات السعودية والعربية التي أكدت وجود معوقات بنيوية وتجهيزية حادة بالمعامل التقليدية كدراسة السراني (2023)، والشهري (2024)، وطه (2022) بجامعة الملك خالد، والقرني (2022)، والطويرقي (2019)، وكذا الدراسات العربية في البيئة الليبية مثل دراسة المنتصر (2026)، والأنصاري وأبو موسى (2025)؛ حيث أجمعت جميعها على نقص التجهيزات الفنية والبنية التعليمية. غير أن الدراسة الحالية تنفرد وتختلف عن تلك الدراسات الكمية بنفاذها النوعي إلى عمق الممارسة الميدانية؛ إذ كشفت عن مخاوف حقيقية تتصل بمخاطر السلامة واحتياطات الأمان العالية في التجارب الكيميائية والفيزيائية، فضلاً عن رصد الصعوبات اللوجستية بدقة تتجاوز مجرد تقدير حجم المعوقات بالاستبانات. وعلى المستوى العالمي، تتلاقى هذه النتيجة مع ما أورده (Kolodii et al., 2025) في أوكرانيا، و(Shambare & Simuja, 2022, 2024)، و(Shambare& Jita, , 2024) بجدول تحديات التجهيزات وقصور كفايات (TPACK) بجنوب إفريقيا، إضافة لـ (Escobar & Lopez, 2026) بكولومبيا، و(Sommer et al., 2026) بالدنمارك حول غياب المعايير الموحدة للبنية التحتية، و(Peirson, 2026) بالمملكة المتحدة. وبذلك فالتحديات البنيوية ليست عائقاً محلياً فحسب، بل ظاهرة عالمية تستلزم تحولاً جذرياً نحو البيئات الرقمية البديلة بضمانات مؤسسية.

5-2-مناقشة نتائج المحور الثاني: اتجاهات عضوات التدريس والمحضرات نحو التمكين والافتراض:

تتكامل الاتجاهات الإيجابية المرتفعة ونشاط الجاهزية الذهنية لدى عضوات هيئة التدريس ومحضرات المختبرات بكلية العلوم في هذه الدراسة مع نتائج الدراسات السعودية مثل العنزي (2025)، والعنزي والشهري (2023) بجامعة الحدود الشمالية، والعتيبي (2023)، والمالكي والأسمري (2023) وفق نموذج (TAM)، وكذا الدراسات العربية

كدراسة ارحيم والشح (2026) بليبيا، وجرادات (Jaradat, 2021) بالأردن؛ والتي أثبتت وجود قبول وتقبل عاليين نحو المعامل الافتراضية. بَيْدَ أن الدراسة الحالية تضيف قيمة نوعية وفجوة معرفية مغلقة بالتطرق الاستكشافي المباشر لفئة "محضرات المختبرات" اللاتي يمثلن الكادر التنفيذي والتشغيلي الذي أغفلته الأدبيات السابقة. كما كشفت نتائج الدراسة عن "استجابة هجينة ومزدوجة" تتأرجح بين الشغف بالتمكين المعرفي والتفكير العالي وبين قلق الفقدان الحسي والمهارات اليدوية الدقيقة، وهو ما يتقاطع عالمياً مع رؤية (Zhang & Choate, 2026) بأستراليا الداعية للدمج الهجين، وتفضل (Parsa et al., 2025) بهولندا للجمع بين التقليدي والافتراضي بنسبة (92%)، ودراسة (Doğru & Faulconer, 2025) بأمريكا، و (Carrasco et al., 2025؛ Navarro et al., 2024) بتشيلي حول تعزيز الدافعية والاستقلالية، و(Lai & Lin, 2024) بالصين؛ مما يُعزز التوجه نحو النموذج التكاملي الهجين بين الواقع الافتراضي والحسي.

3-5-مناقشة نتائج المحور الثالث: متطلبات التفعيل الشاملة والرؤية الاستشرافية المقترحة:

تتفق نتائج الدراسة الحالية بشأن متطلبات التحول المتمثلة في تطوير البنية الرقمية، والتأهيل التخصصي، والحوكمة المؤسسية مع ما أوصت به الأدبيات السعودية مثل الزهراني والبلوي (2026)، والشلوي (2026)، والسيف والجربوع (2025) بالقصيم، والرويلي والمطيري (2025)، والزيادي والشويعر، (2024)، وأبوعوه والعجمي (2023) الداعية للتوافق مع رؤية 2030، والعماري وآل كاسي (2023)، والحارثي والعريني (2023)، بجانب الدراسات العربية كدراسة (Raut et al., 2026) بعُمان، وغالب (2025) باليمن، وبربارة (2025) بفلسطين، و(Zekeik et al., 2025) بالمغرب، وصالح (2023) بمصر، والحافرة وإسماعيل (2022) باليمن. غير أن الحالية تميزت بصياغة رؤية نابعة من الممارسات الواقعية والتحديات الخاصة لأقسام كليات العلوم (الكيمياء، الفيزياء، الأحياء)، مستفيدة من إعلان وكيلة الكلية عن تجهيزات وشيكة. ودوليًا، تلتقي هذه المتطلبات مع أطروحات (Marino, 2026؛ Berenjian et al., 2026) بأمريكا، و(Juandi et al., 2026؛ Dwidiyanti et al., 2026) بإندونيسيا، و(Lockett et al., 2026) بالمملكة المتحدة، و(Chen et al., 2026) بالصين، و(Mendoza-Franco et al., 2026) بفنلندا، و(Kieninger et al., 2026) بأوروغواي؛ إذ تجمع على ضرورة الدمج المنهجي والاستقصاء الموجه والإشراف البشري لتصميم بيئات افتراضية تضمن الموثوقية العلمية والتنمية المستدامة.

6-استنتاجات الدراسة.

بناءً على نتائج هذه الدراسة وبالمقارنة الأكاديمية مع نتائج الدراسات السابقة، تم استخلاص (9) استنتاجات جوهرية، وتم ترتيبها حسب الأولوية والأهمية الأكاديمية وكالآتي:

1. القصور البنيوي والتجهيزي في المعامل التقليدية يُحتم الإسراع بالتحول نحو المختبرات الافتراضية بالجامعات.
2. الدمج الهجين بين المعامل الافتراضية والمادية هو النموذج الأمثل لضمان كفاءة المحاكاة وتلافي الفقدان الحسي.
3. تمتلك عضوات التدريس والمحضرات جاهزية إيجابية مرتفعة للتبني الرقمي مشروطة بتوفر الدعم الميداني.
4. المعامل الافتراضية ضرورة استراتيجية لتحقيق الاستدامة الأكاديمية والتعليم والبحث العلمي أثناء الأزمات.
5. تُسهم المحاكاة الرقمية بفاعلية في تطوير مهارات التفكير العلمي والتفكير الحاسوبي وحل المشكلات المعقدة.
6. تطوير كفايات الدمج بين التقنية والتربية والمحتوى (TPACK) لدى الكوادر هو المحرك الفعلي للنجاح.
7. توظيف المختبرات الافتراضية يوفر بيئة آمنة للتجارب عالية المخاطر والتكلفة مع خفض الأعباء اللوجستية.
8. تُعزز المعامل الافتراضية استقلالية المتعلمة ونقل السلطة المعرفية إليها من خلال التفاعل الذاتي المستمر.
9. يستلزم التحول المستدام إطاراً مؤسسياً وشبكات عالية السرعة للتوافق مع مستهدفات رؤية المملكة 2030.

7. الرؤية المقترحة للتحول نحو المعامل الافتراضية في كليات العلوم بالجامعات السعودية (إجابة س4)

7-1-فلسفة الرؤية ومنطلقاتها المرجعية:

استنادًا إلى نتائج الدراسة النوعية ميدانياً والمراجعة التكاملية النقدية للأدبيات السابقة، بُنيت الرؤية المقترحة على فلسفة تربوية وتقنية تجمع بين المرجعية الوطنية والمعايير الأكاديمية الدولية، بهدف تذليل التحديات البنيوية واللوجستية بالمعامل التقليدية بالجامعات السعودية، وتحقيق التحول الرقمي المستدام. ويوضح الجدول الآتي أبرز مرتكزات هذه الفلسفة والمنطلقات التي تستند إليها الرؤية.

الجدول (8) فلسفة رؤية تفعيل المعامل الافتراضية ومنطلقاتها المرجعية

م	7-1-1-فلسفة الرؤية ومبرراتها	7-1-2-المنطلقات المرجعية للرؤية
1	تجاوز القصور البنيوي والتجهيزي بالمعامل التقليدية.	نتائج الدراسة النوعية والمراجعة النقدية للأدبيات.
2	اعتماد النموذج الهجين المدمج لتلافي قلق الفقدان الحسي.	مستهدفات رؤية 2030 وبرنامج تنمية القدرات البشرية.
3	استثمار الجاهزية والاستجابة الإيجابية المرتفعة لدى الكوادر.	إطار المعرفة بالتقنية والتربية والمحتوى (TPACK).
4	تحقيق الاستدامة واستمرارية التعلم والبحث بالحرجات.	معايير هيئة تقويم التعليم والتدريب (NCAA).
5	تطوير مهارات التفكير العلمي والحاسوبي وحل المشكلات.	معيار إدارة الجودة التعليمية ISO 21001:2018.
6	تمكين الكوادر الأكاديمية والمختبرية وتطوير كفايات (TPACK).	التوجهات الدولية لنماذج المحاكاة والذكاء الاصطناعي.
7	توفير بيئات آمنة للتجارب الخطرة وتخفيض تكاليف التشغيل.	معايير الأمن والسلامة الحيوية والكيميائية بالجامعات.
8	تعزيز استقلالية المتعلم ونقل السلطة المعرفية للتفاعل الذاتي.	الاستراتيجية الوطنية للتحول الرقمي بالتعليم العالي.

يتضح من الجدول (8) أن الرؤية تستند إلى إطار تكاملي يربط بين نتائج الدراسة الميدانية النوعية، ومستهدفات رؤية المملكة 2030، وإطار (TPACK)، ومعايير (ISO 21001:2018) والجودة الأكاديمية (NCAA). ويُتوقع أن يسهم هذا التكامل في بناء بيئة أكاديمية تُعالج الفجوات اللوجستية وتضمن الاستدامة والتميز في كليات العلوم.

7-2-الموجهات الاستراتيجية للرؤية (الرؤية، الرسالة، القيم) بحلول العام 2031:

7-2-1-الرؤية: معامل علوم ريادية توفر بيئة معملية بميزات مستدامة وجودة تلائم المعايير الوطنية والعالمية

7-2-2-الرسالة: تفعيل المعامل الافتراضية عبر منظومة متكاملة تدمج بين المحاكاة الرقمية والممارسة المادية لتعزيز التمكين المعرفي والتفكير العالي لدعم تميز المعلم والتحصيل للطلبة وصولا لمخرجات متميزة وطنيًا وعالميًا تلبي رؤية المملكة2030 وتحقق التنمية المستدامة.

7-2-3-القيم الحاكمة (الجودة والتميز، الحوكمة والشفافية، الابتكار الرقمي، الأمان الحيوي، التكامل المهني)

الشكل (4) الإطار الاستراتيجي للرؤية المقترحة

يتضح من الشكل (4) أن الرؤية المقترحة تؤسس لإطار استراتيجي متكامل يبدأ بصياغة الرؤية التي تحدد الصورة المستقبلية مع نهاية الفترة المستهدفة (2031م) فيما تمثل الرسالة الالتزام الرسمي والمؤسسي لوسائل التنفيذ، وأخيراً تبرز القيم كموجهات حاكمة، ليتسنى ترجمتها عملياً إلى مسارات تنفيذية رصينة تتسق مع المرجعيات الوطنية والدولية، مما يُرسخ التحول نحو المعامل الافتراضية كمرتكز جوهري لاستدامة البيئة التعليمية والبحثية بكليات العلوم، ويضمن تحقيق تكامل أبعاد الحوكمة والبنية الرقمية.

3-7-تحليل البيئة الاستراتيجية (SWOT)

الجدول (9) تحليل البيئة الاستراتيجية (SWOT) لتفعيل المعامل الافتراضية بكليات العلوم

نقاط القوة (Strengths) 32%	أبرز المؤشرات	الدلالة	نقاط الضعف (Weaknesses) 20%	أبرز المؤشرات	الدلالة
الدعم الحكومي والتوجيه الرقمي	مواءمة مع رؤية 2030	أساسي للتطوير	قصور البنية التحتية والشبكات	ضعف الإنترنت ببعض الفروع	إعاقة التشغيل
ارتفاع الاتجاهات والجاهزية	استجابة إيجابية للكوادر	تقبل التغيير	تقادم المواصفات والحواسيب	حواسيب غير حديثة	إبطاء التفاعل
توفر كوادر أكاديمية مؤهلة	خبرات تخصصية عالية	رفع جودة التنفيذ	ضعف الدعم الفني المتخصص	نقص الفنيين بالمعامل	إجهاد الكوادر
ارتفاع وعي الأمان والسلامة	رغبة بالحد من المخاطر	بيئة آمنة	تزايد الأعباء التدريسية	ضغط النصاب والمجموعات	تقليص المبادرة
الفرص (Opportunities) 28%	أبرز المؤشرات	الدلالة	التهديدات (Threats) 20%	أبرز المؤشرات	الدلالة
التوسع ببرامج (TPACK)	تطوير مهني نوعي	بناء القدرات	تسارع التقادم التقني	تحديثات مستمرة	ضغط مالي
منصات المحاكاة والذكاء الاصطناعي	برمجيات تفاعلية متقدمة	تمكين معرفي	مقاومة التغيير لبعض الممارسات	خشية الفقدان الحسي	بطء التبني
المباني الجامعية الحديثة	تجهيزات واعدة قيد الإنشاء	التوسع الهجين	مخاطر الأمن السيبراني	حماية البيانات الرقمية	الحاجة للحوكمة

تكشف نتائج التحليل (SWOT) أن كليات العلوم تمتلك مقومات ترجح تبني استراتيجية الهجوم والنمو والتوسع (SO)؛ إذ بلغت الأوزان النسبية لنقاط القوة والفرص (60%) في مقابل (40%) لنقاط الضعف والتهديدات. ويعكس التفوق الجاهزية للاستفادة من الدعم الوطني والشغف الأكاديمي للكوادر، بما يعزز التحول الرقمي المعملي وفق أرقى المعايير الأكاديمية. كما يتطلب استثمار الفرص المتاحة في بناء نموذج تعليمي هجين يقلل من المخاطر السيبرانية والتقادم التقني، مع معالجة التحديات اللوجستية وتأهيل الكوادر وتحديث البنية التحتية لضمان الاستدامة والكفاءة التشغيلية.

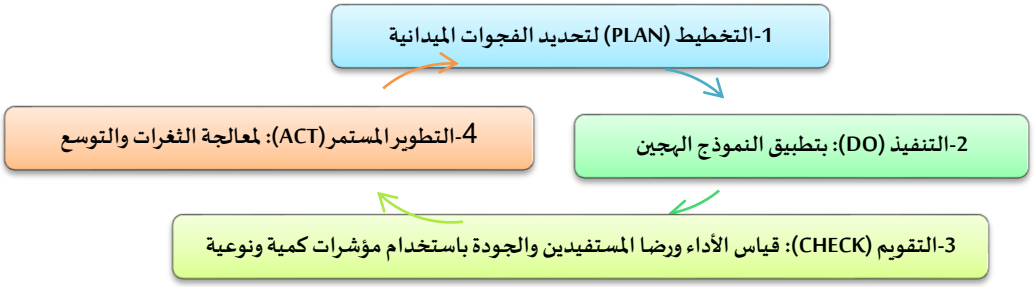
4-7-الأهداف الاستراتيجية للرؤية:

الجدول (10) الأهداف الاستراتيجية للرؤية المقترحة

م	الهدف الاستراتيجي	المرجعية الرئيسة
1	تطوير الحوكمة والأطر التنظيمية المنظمة لدمج المعامل الافتراضية بكليات العلوم.	رؤية 2030 + معايير الاعتماد الأكاديمي
2	تحديث البنية الرقمية وتوفير الشبكات السريعة وبرمجيات المحاكاة المتقدمة.	نتائج الدراسة + ISO 21001
3	بناء نموذج "الدمج الهجين" للتكامل بين التطبيق الرقمي والتطبيق المادي.	استنتاجات الدراسة + التوجهات العالمية
4	تنمية الكفايات الرقمية والتربوية وفق إطار (TPACK) لعضوات التدريس والمحضرات.	إطار TPACK + نتائج الدراسة
5	تعزيز إجراءات السلامة والأمان الحيوي بتفعيل المحاكاة للتجارب عالية المخاطر.	معايير السلامة المهنية والمخبرية
6	قياس أثر المعامل الافتراضية في تنمية مهارات التفكير العلمي والتفكير الحاسوبي.	التوجهات الدولية لنواتج التعلم

5-7-مراحل تنفيذ الرؤية المقترحة

تقترح الباحثة تنفيذ الرؤية وفقا لدورة التحسين المستمر (PDCA) لضمان استدامة التطوير، ومعالجة الفجوات أولاً بأول، وربط التقويم بالتحسين. وفق أربع مراحل مترابطة وكما يبينها الشكل (5)



الشكل (5) دورة تنفيذ الرؤية المقترحة

يتضح من الشكل (5) أن تنفيذ الرؤية المقترحة يقوم على دورة التحسين المستمر (PDCA)، بدءًا بتشخيص واقع المعامل وتحديد أولويات التطوير، مرورًا بتنفيذ برامج التحول الرقمي وبناء القدرات، ثم تقويم الأداء استنادًا إلى مؤشرات كمية ونوعية، وانتهاءً بتوظيف نتائج التقويم في التحسين المستمر وتطوير الممارسات؛ بما يضمن استدامة التحول نحو المعامل الافتراضية ورفع جودة التعليم العملي في كليات العلوم.

7-6-الخطة التنفيذية للرؤية (2027–2031):

الجدول (11) خطة تنفيذية مختصرة للرؤية المقترحة

الهدف	المبادرة الرئيسة	المرجعية	مؤشر الأداء (KPI)	الجهة المنفذة
الحوكمة والتشريعات	صياغة الأدلة الإجرائية للمعامل الافتراضية	الاعتماد الأكاديمي	إقرار دليل الحوكمة 100%	وكالة الكلية للشؤون الأكاديمية
البنية الرقمية	تزويد المعامل بشبكات سريعة وبرامج محاكاة	رؤية 2030	نسبة تغطية البنية الرقمية 90%	عمادة التحول الرقمي بالجامعة
التطوير المهني	ورش عمل تخصصية وفق إطار (TPACK)	إطار TPACK	نسبة تدريب العضوات والمحضرات 85%	مركز التطوير الجامعي
الدمج الهجين	تطبيق الساعات المعملية المدمجة بالمقررات	نتائج الدراسة	نسبة المقررات المدمجة 75%	الأقسام العلمية (كيمياء، فيزياء، أحياء)
الأمان الحيوي	أتمتة التجارب الخطرة افتراضياً	معايير السلامة	انخفاض الحوادث 100%	إدارة المخاطر والسلامة

7-7-مؤشرات متابعة الرؤية وتقويمها:

الجدول (12) مؤشرات متابعة الرؤية المقترحة

م	المؤشر	أداة القياس	المرجعية
1	مستوى الجاهزية والبنية التحتية الرقمية	التقويم الذاتي وتقارير الدعم التقني	ISO 21001
2	كفاءة الكوادر الأكاديمية والمختبرية وفق (TPACK)	مقياس الكفايات الرقمية والتربوية	إطار TPACK
3	كفاءة الدمج الهجين وتقليل الأعباء اللوجستية	استبانات الرضا واستطلاعات المجموعات	نتائج الدراسة
4	نمو مهارات التفكير العلمي والتفكير الحاسوبي	الاختبارات العملية والتقويم المهارات	معايير الاعتماد
5	مستوى الأمان الحيوي والحد من مخاطر المواد	تقارير السلامة المهنية بالكلية	معايير السلامة

7-8-التكامل بين مكونات الرؤية والمعايير المرجعية:

الجدول (13) التكامل بين مكونات الرؤية والمعايير المرجعية الثلاثة

م	مكون الرؤية	رؤية المملكة 2030	إطار TPACK	معايير ISO/ NCAA
1	القيادة والحوكمة	✓	—	✓
2	البنية الرقمية والتجهيزات	✓	—	✓

3	التأهيل والتمكين المهني	✓	✓	✓
4	الدمج الهجين والتعليم التفاعلي	✓	✓	✓
5	الأمان الحيوي وإدارة المخاطر	✓	—	✓
6	مهارات التفكير والاستدامة الأكاديمية	✓	✓	✓

تُشكل هذه الرؤية إطاراً استراتيجياً ينطلق من واقع كليات العلوم بالجامعات السعودية، ويصوغ مساراً عملياً لتجاوز التحديات البنيوية وبناء بيئة هجينة مستدامة تتكامل مع مستهدفات رؤية المملكة 2030.

6. توصيات ومقترحات ختامية (Recommendations and Suggestions)

بناءً على نتائج الدراسة والاستنتاجات من الدراسات السابقة، ولنجاح رؤية التفعيل توصي الباحثة وتقترح الآتي:

1. تطبيق صيغة الدمج الهجين بين المعامل الافتراضية والتقليدية بكليات العلوم لضمان المهارات المباشرة والمحاكاة.
2. تزويد الكليات بشبكات سريعة وتحديث المواصفات الفنية وتوفير البرمجيات التفاعلية المعتمدة.
3. عقد دورات مكثفة لعضوات التدريس والمحضرات لدمج المعرفة التقنية والتربوية بالمحتوى العلمي.
4. توفير فرق دعم فني وتخفيف النصاب التدريسي للكوادر للحد من الضغوط التشغيلية.
5. اعتماد المحاكاة الافتراضية كتحضير قَبلي للتجارب عالية المخاطر لتوفير بيئة تعليمية آمنة.
6. كما تقترح الباحثة إجراء المزيد من الدراسات لسد الفجوة البحثية، وخصوصا تحت العناوين الآتية:
   1) قياس أثر المعامل الافتراضية في تنمية المهارات العملية والأمان المخبري بكليات العلوم.
   2) تقويم كفايات (TPACK) لدى الكوادر الأكاديمية والمخبرية بالجامعات في ضوء التحول الرقمي.
   3) واقع التسهيلات والبنية التحتية للمعامل الافتراضية بين الجامعات الحكومية والأهلية بالمملكة.

قائمة المراجع/References

أولاً-المراجع بالعربية:

1. أبو عوه، أفراح عائض، والعجمي، لبنى حسين. (2023). تصور مقترح لتفعيل دور معلمات العلوم في استخدام المعامل الافتراضية وفق متطلبات التحول الرقمي لرؤية المملكة العربية السعودية 2030. *دراسات عربية في التربية وعلم النفس*، (146)، 109–130. https://search.mandumah.com/Record/1385786
2. ارحيم، إبراهيم عثمان.، والشح، آمنة عبد السلام. (2026). مدى جاهزية مدارس التعليم الثانوي بمدينة مصراتة لتوظيف المعامل الافتراضية في تدريس الكيمياء. *مجلة البحوث الأكاديمية، 30*(1)، 287–309. https://lam-journal.ly/index.php/jar/article/view/1541
3. الأنصاري، علي بدر الدين.، وأبو موسى، عبد الرحمن بكدة. (2025). معوقات استخدام معامل العلوم الافتراضية داخل الكليات العلمية بمنطقة أوباري من وجهة نظر هيئة التدريس ومساعديهم. *وقائع مؤتمرات جامعة سبها، 4*(2)، 82–98. https://doi.org/10.51984/sucp.v4i2.4536
4. بربارة، نبال. (2025). أثر المحاكاة الرقمية في العلوم على الخيال العلمي لدى طلبة الصف الثامن. *مجلة العلوم الإنسانية والطبيعية، 6*(9)، 356–375. https://doi.org/10.53796/hnsj69/24
5. الجدعي، محمد خالد حسين. (2025). فاعلية إجراء التجارب العملية المضمنة في كتاب الكيمياء باستخدام معامل فيت الافتراضية في تنمية عمليات العلم لدى طلبة الصف الأول الثانوي. *مجلة العلوم التربوية والدراسات الإنسانية*، (46)، 468–498. https://doi.org/10.55074/hesj.vi46.1396
6. الحارثي، منى مفرح.، والعريني، حنان عبد الرحمن. (2023). مدى استخدام تقنية المعامل الافتراضية في تدريس مقرر الكيمياء بالمرحلة الثانوية في بيئة التعليم المدمج من وجهة نظر المعلمات. *مجلة العلوم التربوية والنفسية، 7*(14)، 33-51. https://doi.org/10.26389/AJSRP.K281122

7. الحافره، أكرم عبد القادر.، & إسماعيل، صفية ناجي. (2022). فاعلية استخدام المختبر الافتراضي في تنمية التفكير الابتكاري في مادة الفيزياء لدى طلبة الصف الأول الثانوي في الجمهورية اليمنية. *مجلة جامعة المدينة العالمية للعلوم التربوية والنفسية، 243*(8)، 134–178. https://ojs.mediu.edu.my/index.php/MIJEPS/article/view/4244

8. الحربي، عبد الله عبد الكريم. (2023). تصور مقترح لتفعيل استخدام المعامل الافتراضية في تدريس العلوم من وجهة نظر أعضاء هيئة التدريس بجامعة القصيم. *مجلة العلوم التربوية والدراسات الإنسانية*، (33)، 1–28. https://doi.org/10.55074/hesj.vi33.810

9. حيمور، هنا خضر. (2023). *أثر توظيف المختبرات الافتراضية في تحصيل طلبة الصف الثالث الأساسي في مبحث العلوم ودافعيتهم نحو تعلّمه* [ماجستير غير منشورة]. الجامعة العربية المفتوحة. https://search.shamaa.org/PDF/Dissertation/KuAOU/aou-edu_2023_347573_haimourh.pdf

10. الخثعمي، زهرة خفير.، والعصيمي، سامية منصور. (2022). واقع استخدام المعامل الافتراضية في التطبيق العملي لتجارب الكيمياء في التعليم عن بُعد في ظل جائحة كورونا من وجهة نظر المعلمات بمحافظة بيشة. *مجلة العلوم التربوية والنفسية، 6*(19)، 157–182. https://doi.org/10.26389/AJSRP.Z150921

11. الرويلي، تهاني عبيد، والمطيري، البندري خريص. (2025). واقع استخدام المختبرات الافتراضية "كروكودايل" في تدريس التجارب العلمية من وجهة نظر معلمات العلوم الطبيعية في شرق مدينة الرياض. *المجلة الدولية للتكنولوجيا والحوسبة التعليمية، 4*(10)، 107–152. https://search.mandumah.com/Record/1627786/Description

12. الزهراني، بدور معجب.، والبلوي، عايد علي. (2026). واقع توظيف الفصول الافتراضية في تنمية مهارات التفكير العليا لدى طالبات المرحلة الثانوية من وجهة نظر المعلمات. *المجلة العربية للإدارة، 46*(2)، 263–288. https://doi.org/10.21608/aja.2026.453774.2008

13. الزيادي، مها مشعان.، والشويعر، عبير صالح. (2024). متطلبات تفعيل المعامل الافتراضية في مدارس المرحلة الثانوية من وجهة نظر معلمات الفيزياء بمدينة الرياض. *مجلة البحوث التربوية والنوعية*، (24)، 270-320. https://search.mandumah.com/Record/1458837

14. السراني، نواف مقبل. (2023). معوقات استخدام المعامل الافتراضية من وجهة نظر أعضاء هيئة التدريس بكليات العلوم والعلوم الطبية التطبيقية. *رسالة الخليج العربي، 44*(168)، 120–146. https://doi.org/10.35270/0011-044-168-006

15. السلامي، إيمان غازي. (2025). دور المحاكاة الافتراضية في تطوير أداء المختبرات العلمية وتعزيز مهارات الطلبة في التخصصات العلمية. *مجلة كلية التربية للبنات، جامعة الكوفة*. https://eduwomen.uokufa.edu.iq/archives/44159

16. السيد، وصفي عبد المجيد.، وسعيد، ياسر محمد. (2022). استخدام المعامل الافتراضية في تدريس مادة الكيمياء لطلاب المرحلة الثانوية من وجهة نظر معلمي الكيمياء بدولة قطر. *مجلة العلوم التربوية والنفسية، 6*(47)، 1–23. https://doi.org/10.26389/AJSRP.S110422

17. السيف، عبد الكريم.، والجربوع، عبد العزيز. (2025). متطلبات تفعيل معامل الحاسب الآلي الافتراضية في منصة مدرستي من وجهه نظر معلمي الحاسب الآلي بمنطقة القصيم. *مجلة البحوث التربوية، 5*(15)، 1–33. https://tqarb.com/mag/index.php/new/en/article/view/240

18. الشلوي، مريم فراج. (2026). فاعلية التدريس باستخدام المعمل الافتراضي في تنمية مهارات التفكير الفيزيائي لدى طالبات الصف الثالث ثانوي بمادة الفيزياء. *مجلة العلوم التربوية والدراسات الإنسانية*، (53)، 223–253. https://doi.org/10.55074/da81e474

19. الشهري، باسم رافع.، الزايدي، فهيد عبد الرحمن.، القرني، خالد خويلد.، الغامدي، ضيف الله خلف.، والروقي، محمد فلاح. (2024). معوقات استخدام المختبر الافتراضي في تدريس مادة العلوم للمرحلة المتوسطة من وجهة نظر معلمي مادة العلوم بإدارة تعليم الطائف. *مجلة الفنون والأدب وعلوم الاجتماع*، (108)، 213–222. https://doi.org/10.33193/JALHSS.108.2024.1160

20. صالح، جمال.، حسن، عبدالمنعم.، والمقدم، محمد. (2023). فاعلية المختبرات الافتراضية في تنمية المهارات العملية بوحدة الكهرباء التيارية والكهرومغناطيسية في مادة الفيزياء لدى طلاب الصف الثالث الثانوي. *مجلة التربية (جامعة الأزهر)، 42*(197)، 325–368. https://doi.org/10.21608/jsrep.2023.317530

21. طه، صفاء محمد الواثق. (2022). واقع استخدام المعامل الافتراضية في تدريس مقررات العلوم من وجهة نظر أعضاء هيئة التدريس بكلية العلوم جامعة الملك خالد واتجاهاتهم نحوها. *مجلة الأطروحة للعلوم الإنسانية، 7*(5)، 47–71. https://doi.org/10.33811/1847-007-005-003

22. الطويرقي، ماجد عبد الله. (2019). معوقات استخدام المعامل الافتراضية لدى معلمي العلوم الطبيعية بالمرحلة الثانوية. *مجلة كلية التربية بالمنصورة، 107*(5)، 718–738. https://doi.org/10.21608/MAED.2019.133154

23. العبد الكريم، راشد. (2020). البحث النوعي في التربية. ط 3، المملكة العربية السعودية: جامعة الملك سعود.

24. العتيبي، عبد الله سهل. (2023). اتجاهات معلمي العلوم نحو تنمية المفاهيم الفيزيائية باستخدام المعامل الافتراضية ومعوقاتها. *مجلة العلوم التربوية والنفسية، 7*(30)، 19–39. https://doi.org/10.26389/AJSRP.B180423

25. العماري، أحمد علي.، وآل كاسي، عبد الله علي. (2023). واقع استخدام المختبرات الافتراضية كروكودايل في تدريس التجارب العملية في الكيمياء والفيزياء من وجهة نظر المعلمين. *مجلة كلية التربية-جامعة أسيوط، 39*(1)، 229–266. https://search.mandumah.com/Record/1382970

26. العنزي، ترفة حمدي.، والشهري، عجلان محمد. (2023). مدى جاهزية معامل كلية العلوم في جامعة الحدود الشمالية لتفعيل استخدام المعامل الافتراضية من وجهة نظر أعضاء هيئة التدريس. *مجلة العلوم التربوية والنفسية، 7*(24)، 1–28. https://doi.org/10.26389/AJSRP.F110223

27. العنزي، هيله عيد رجاء. (2025). واقع استخدام المعامل الافتراضية في تدريس العلوم الطبيعية لدى معلمات المرحلة الثانوية في محافظة الخرج. *مجلة البحوث في مجالات التربية النوعية، 37*(1)، 229–265. https://doi.org/10.21608/raes.2025.402046

28. غالب، آفاق إسماعيل. (2025). أثر المعامل الافتراضية للعلوم في تنمية أداء معلمي العلوم في محافظة عدن. *مجلة كليات التربية بجامعة عدن، 19*(1)، 229–239. https://doi.org/10.47372/jef.(2025)19.1.131

29. القديري، أسامة مسعود. (2024). المعامل الافتراضية وأثرها في تدريس الجوانب المعملية للمواد التطبيقية من وجهة نظر المعلمين. *مجلة علوم التربية، 6*(1). https://educational-sciences-journal.lacts.org.ly/esj/index.php/esj/article/view/189

30. المالكي، عبد العزيز حسين.، والأسمري، طلال محمد. (2023). العوامل المؤثرة على قبول طلاب التعليم العالي لاستخدام المعامل الافتراضية في ضوء نموذج قبول التكنولوجيا. *مجلة العلوم التربوية والإنسانية*، (27)، 90–115. https://doi.org/10.33193/JEAHS.27.2023.394

31. المنتصر، حكيم خليفة. (2026). صعوبات توظيف المعامل الافتراضية في التدريس من وجهة نظر أعضاء هيئة التدريس بكلية العلوم رقدالين. *المجلة الإفريقية للدراسات المتقدمة في العلوم الإنسانية والاجتماعية، 5*(1)، 171–179. https://doi.org/10.5281/zenodo.1839

ثانياً-المراجع بالإنجليزية/References in English:

1. Aktaş, İ., & Karamustafaoğlu, O. (2025). The effect of guided inquiry-based virtual and physical laboratories on science learning outcomes. *Research in Science & Technological Education, 43*(4), 1145–1166. https://doi.org/10.1080/02635143.2024.2423071
2. Al-Duhani, F., Saat, R. M., & Abdullah, M. N. S. (2024). Effectiveness of web-based virtual laboratory on grade eight students' self-regulated learning. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 20*(3), em2410. https://doi.org/10.29333/ejmste/14282
3. Alhashem, F., & Alfailakawi, A. (2023). Technology-enhanced learning through virtual laboratories in chemistry education. *Contemporary Educational Technology, 15*(4), Article ep474. https://doi.org/10.30935/cedtech/13739
4. Berenjian, A., Seifan, M., Kipper, M. J., & Robertson, N. (2026). A pedagogical case study on enhancing laboratory proficiency through virtual mammalian cell culture laboratory. *Education for Chemical Engineers, 54*, 100494. https://doi.org/10.1016/j.ece.2025.10.004
5. Byukusenge, C., Nsanganwimana, F., & Tarmo, A. P. (2022). Effectiveness of virtual laboratories in teaching and learning biology: A review of literature. International Journal of Learning, *Teaching and Educational Research, 21*(6), 1–17. https://doi.org/10.26803/ijlter.21.6.1
6. Carrasco, C. M., Cabezas, F., Contreras, F. A., Aracena, C., Laroze, L., & Figueroa, P. (2025). Enhancing learning: Impact of virtual reality simulations on academic performance and perception in biological sciences in psychology students. *Frontiers in Education, 10*, Article 1587639. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1587639
7. Chang, H.-Y., & Liu, C.-C. (2024). The effect of the cyclic curricular design of modelling-based instruction with virtual labs. *International Journal of Science and Mathematics Education, 46*(1), 46–72. https://doi.org/10.1007/s10763-023-10403-0
8. Chen, C., Abdul Rabu, S. N., & Jamiat, N. (2026). Effects of a structured inquiry-based virtual laboratory on undergraduate students' learning achievement, laboratory skills, and perceived motivation in a flipped chemical engineering classroom. *Education for Chemical Engineers, 56*, 100513. https://doi.org/10.1016/j.ece.2026.100513

9. Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). SAGE Publications. https://us.sagepub.com/en-us/nam/qualitative-inquiry-and-research-design/book246896
10. Dodevska, M., Zdravevski, E., Chorbev, I., Kostoska, M., Branco, F., Coelho, P. J., Pires, I. M., & Lameski, P. (2025). Virtual reality as a learning tool: Evaluating the use and effectiveness of simulation laboratories in educational settings. *Social Sciences & Humanities Open, 12*, 101742. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101742
11. Doğru, M. S., & Faulconer, E. K. (2025). ChatGPT as a virtual laboratory teaching assistant in undergraduate biology. *Research in Science Education, 56*, 379–399. https://doi.org/10.1007/s11165-025-10252-8
12. Dwidiyanti, M., Widyastuti, R. H., Dewi, N. S., Septiana, D. N., & Hikmat, R. (2026). Developing a web-based virtual caring laboratory to enhance nursing students' caring competence: An ADDIE study. *International Journal of Africa Nursing Sciences, 25*, 101055. https://doi.org/10.1016/j.ijans.2026.101055
13. Escobar, D. L. T., & Lopez, N. D. L. (2026). Trends in virtual and remote laboratories for physics education: A bibliometric analysis (2014–2024). *European Journal of Physics, 47*(2), Article 023001. https://doi.org/10.1088/1361-6404/ae3f65
14. Flowers, L. O. (2024). Virtual laboratories in STEM. *International Journal of Science and Research Archive*, *12*(2), 1573–1576. https://doi.org/10.30574/ijsra.2024.12.2.1271
15. Fuad, M., Kasman, R. A., Rahman, R., Satnur, M. A., Herwandi, Arif, A., & Rahmatia, A. (2026). The role of virtual laboratories in project-based learning for sustainable development topics in biology: A systematic literature review. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, 12*(6), 72–79. https://doi.org/10.29303/jppipa.v12i6.15190
16. Hulai, O., Shemet, V., Moroz, I., Savaryn, P., & Kabak, V. (2024). Using the Labster virtual laboratory to study chemistry at a technical university. *Information Technologies and Learning Tools*, *102*(4), 95–107. https://doi.org/10.33407/itlt.v102i4.5737
17. Jaradat, S. (2021). Factors motivating virtual lab simulations adoption in secondary school physics instruction in Jordan. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, *14*(2), 161–167. https://doi.org/10.3991/ijet.v14i02.9905
18. Jaya, H., Haryoko, S., Sabara, E., Mantasia, Suhaeb, S., & Saharuddin, S. (2025). The role of virtual laboratory facilities and infrastructure in developing student competence in engineering education. *Golden Ratio of Data in Summary, 5*(3), 61–71. https://doi.org/10.52970/grdis.v5i3.1195
19. Johnsdorf, M., Kisker, J., Sagehorn, M., Hofmann, T., Gruber, T., & Schöne, B. (2026). Neural correlates of recognition memory obtained after encoding under conventional laboratory, virtual, and real-life conditions reveal modality-specific mnemonic processing. *Acta Psychologica, 267*, 106791. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2026.106791
20. Juandi, T., Kaniawati, I., Samsudin, A., & Riza, L. S. (2026). Virtual laboratory and artificial intelligence in science education: Bibliometric analysis based on Scopus source. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology, 59*(3), 129–149. https://doi.org/10.37934/araset.59.3.129149
21. Kieninger, M., Segovia, M., Vega-Teijido, M., Katz, A., Martinez, A., Vuan, E., Irving, K., & Ventura, O. N. (2026). VirtualLab_CC: An LLM-augmented virtual laboratory for automated computational chemistry research. *Artificial Intelligence Chemistry, 4*(2), 100129. https://doi.org/10.1016/j.aichem.2026.100129
22. Kolodii, V., Koreneva, I., Prokopenko, N., Huda, O., & Shaforost, Y. (2025). Development of interactive virtual laboratories for distance learning in natural sciences. *Revista Eduweb*, *19*(3), 153–168. https://doi.org/10.46502/issn.1856-7576/2025.19.03.10
23. Lai, T., & Lin, Y. (2024). Evaluation of an inquiry-based virtual lab for junior high school science classes. *Journal of Science Education and Technology*, *59*(8). https://doi.org/10.1007/s10956-024-10123-7
24. Lincoln, Y. S., & Guba, E. A. (1985). *Naturalistic inquiry*. Beverly Hills, CA: Sage Publications
25. Lockett, H., Bromley, K., Richardson, C., McNicholl, D., & Smith, J. (2026). An investigation into the breadth of learning objectives developed in STEM online laboratories. *Journal of Computing in Higher Education. Advance online publication.* https://doi.org/10.1007/s12528-026-09489-1

26. Lopes, R. M., Braga, L. A. M., Serrão, A. S. R., Teixeira, L. A., Comarú, M. W., de Souza, R. A., Magalhães de Souza, C. A., & Mota, F. B. (2024). Virtual reality to teach students in laboratories: A bibliometric and network analysis. *Journal of Chemical Education, 101*(2), 501-513. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00925
27. Marino, M. A. (2026). Virtual and hands-on laboratory environments in the chemistry classroom: The effect of prior chemistry knowledge. *Chemistry Education Research and Practice, 27*(2), 780–792. https://doi.org/10.1039/d5rp00293a
28. Mashami, R. A., Ahmadi, A., & Hatimah, H. (2024). The effect of virtual laboratory on students' computational thinking on half-life concepts. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia, 12*(3), 464–473. https://doi.org/10.3394/hjkk.v12i3.12107
29. Mendoza-Franco, G., Girmay, S., Cardoso, L., Jääskeläinen, I. P., Kauppinen, T., Nygren, A., Sclearuc, M., Sjöholm, T., & Karttunen, A. J. (2026). Neural correlates of learning in 360° virtual laboratory environments: A data-driven approach. *Computers in Human Behavior Reports, 22*, 101120. https://doi.org/10.1016/j.chbr.2026.101120
30. Meronda, D. A., Widarti, H. R., & Yahmin, Y. (2025). Virtual laboratories in science education: A systematic review of effectiveness on conceptual understanding and learning outcomes. *Journal Pendelikon MIPA, 26*(3), 2020–2042. https://doi.org/10.23960/jpmipa.v26i3.pp2020-2042
31. Navarro, C., Arias-Calderón, M., Henríquez, C. A., & Riquelme, P. (2024). Assessment of student and teacher perceptions on the use of virtual simulation in cell biology laboratory education. *Education Sciences, 14*(3), 243. https://doi.org/10.3390/educsci14030243
32. Neyem, A., Cadile, M., Burgos-Martínez, S. A., Farfán Cabello, E., Inzunza, O., Alvarado, M. S., Tubbs, R. S., & Ottone, N. E. (2025). Enhancing medical anatomy education with the integration of virtual reality into traditional lab settings. *Clinical Anatomy, 38*(3), 249–268. https://doi.org/10.1002/ca.24213
33. Papalazarou, N., Lefkos, I., & Fachantidis, N. (2024). The effect of physical and virtual inquiry-based experiments on students' attitudes and learning. *Journal of Science Education and Technology, 33*, 349–364. **https://doi.org/10.1007/s10956-023-10088-3**
34. Parsa, S. M., Hurst, W., Tekinerdogan, B., Bidaki, M. Z., & De Ridder, D. (2025, July 9–11). *Virtual reality-based laboratory education: A case study in microbiology* [Paper presentation]. 2025 11th International Conference on Virtual Reality (ICVR), Wageningen, Netherlands. https://doi.org/10.1109/ICVR66534.2025.11172431
35. Peirson, N. F. (2026). Lived experiences of science education: A preliminary exploration of students' experiences in virtual and traditional science laboratories in further education. *Education + Training, 68*(7), 1076–1091. https://doi.org/10.1108/ET-08-2025-0692
36. Raut, N., Hamidon, W., Verma, A., & Vaidya, R. (2026). Enhancing chemical engineering education: The role of virtual labs in bridging theory and practice. *Jurnal Kejuruteraan, 38*(1), 25–33. https://doi.org/10.17576/jkukm-2026-38(1)-03
37. Rosli, R., & Ishak, N. A. (2024). Integration of virtual labs in science education: A systematic literature review. *Jurnal Pendidikan Sains dan Matematik Malaysia (JPSMM), 14*(1). https://doi.org/10.37134/jpsmm.vol14.1.8.2024
38. Sapriati, A., Suhandoko, A. D. J., Yundayani, A., Karim, R. A., Kusmawan, U., Mohd Adnan, A. H., & Suhandoko, A. A. (2023). The effect of virtual laboratories on improving students' SRL: An umbrella systematic review. *Education Sciences, 13*(3), 222. https://doi.org/10.3390/educsci13030222
39. Shambare B & Jita, T. (2024) Understanding science teachers' TPACK for virtual lab adoption in rural schools in South Africa: a mixed-methods approach. *Front. Educ. 9*:1426451. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1426451
40. Shambare, B., & Simuja, C. (2022). Understanding the enabling and constraining factors in using the virtual lab: Teaching science in rural schools in South Africa. *Research in Science & Technological Education, 18*(1). https://doi.org/10.1080/02635143.2022.2051156
41. Shambare, B., & Simuja, C. (2024). Exploring the integration of virtual laboratories in science education. *International Journal of Virtual and Personal Learning Environments, 14*(1), 1-13. https://doi.org/10.4018/IJVPLE.348957
42. Sommer, L. M., Groves, T., & Santos, A. (2026). Beyond the model: Data infrastructure as the foundation for autonomous virtual laboratories. *Current Opinion in Biotechnology, 97*, 103434. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2025.103434

43. Topalov, A., Kondratenko, Y., Ohiienko, M., Maliarchuk, O., Kropyvnytska, V., & Golikov, V. (2026). Virtual laboratory as a component of digitalization of distance education. In O. Spirin, A. Iatsyshyn, V. Kovach, I. Semenets-Orlova, & A. Zaporozhets (Eds.), *Digital Technologies in Education II* (Studies in Systems, Decision and Control, Vol. 626, pp. 165–188). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-03612-4_10

44. Wang, Y., Zhang, L., & Pang, M. (2025). Virtual experiments in physics education: A systematic literature review. *Research in Science & Technological Education, 43*(2), 633–655. https://doi.org/10.1080/02635143.2024.2327995

45. Yin, R. K. (2024). *Case study research and applications: Design and methods* (7th ed.). SAGE Publications. https://us.sagepub.com/en-us/nam/case-study-research-and-applications/book268396

46. Zekeik, H., Chahbi, M., Sefian, M. L., & Bakkali, I. (2025). Augmented reality and virtual reality in education: A systematic narrative review on benefits, challenges, and applications. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 21*(9), em2699. https://doi.org/10.29333/ejmste/16830

47. Zhang, E., & Choate, J. (2026). Bridging the virtual and the physical laboratory for physiology education. *Current Opinion in Physiology, 47*, 100916. https://doi.org/10.1016/j.cophys.2026.100916

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.	الباحث 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