المجلة الأردنية في العلوم التربوية، مجلد 21، عدد 4، 2025، 385-400

The Effectiveness of Engineering Design Process-based Physics Teaching on Acquiring Science and Engineering Practices among 10th Grade Students in the Sultanate of Oman

Salim Khamis al-harmali, *Sultan Qaboos University-Sultanate of Oman*
Ali Huwaishel al-Shuaili, *Sultan Qaboos University-Sultanate of Oman*
Ehab Mohamed Naguib Omara, *Sultan Qaboos University-Sultanate of Oman*

Received: 12/08/2024
Accepted: 30/01/2025
Published: 31/12/2025

***Corresponding author:**

Salim Khamis al-harmali, *Sultan Qaboos University-Sultanate of Oman*
alharmali.SK@gmail.com

How to cite: Al-harmali, S.K., Al-shuaili, A.H., & Omara, E.M. (2025). The Effectiveness of Engineering Design Process-based Physics Teaching on Acquiring Science and Engineering Practices among 10th Grade Students in the Sultanate of Oman, Jordan Journal of Educational Sciences, 21(4), 385–400. https://doi.org/10.47015/21.4.1

© 2025 Publishers / Yarmouk University. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) license https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

Abstract

Objectives:This study aimed to investigate the effectiveness of engineering design process-based physics teaching in acquiring science and engineering practices among 10th-grade students in the Sultanate of Oman.
Methodology:To achieve the study's objectives, a quasi-experimental design was adopted, incorporating both an experimental and a control group. Furthermore, an engineering practices acquisition test was administered to 125 male and female students from two different schools. The experimental group was taught for thirteen weeks using engineering design process-based teaching, while the control group was taught using the conventional method.
Results:The results revealed that there were statistically significant differences between averages of the experimental and control groups in the science and engineering test in favor of the experimental group in the test's overall score as well as the following dimensions: (asking questions and defining problems, developing and using models, analyzing and interpreting data, using mathematics, constructing explanations and designing solutions, engaging in arguments from evidence, and obtaining evaluating, and communicating information). However, there were no statistically significant differences in the science and engineering test averages in the planning and carrying out investigations dimension.
Conclusion:Considering these results, the study recommends teaching students in engineering design while incorporating science and engineering practice activities. The study culminated in a series of recommendations. (No. of words 212)
Keywords: Physics Teaching, Engineering Design Process, Science and Engineering Practices, 10th grade.

فاعلية تدريس الفيزياء القائم على التصميم الهندسي في تنمية الممارسات العلمية والهندسية لدى طلبة الصف العاشر في سلطنة عُمَان

سالم بن خميس الحرملي، ، جامعة السلطان قابوس - سلطنة عمان
علي بن هويشل الشعيلي، جامعة السلطان قابوس – سلطنة عمان
إيهاب محمد نجيب عمارة، جامعة السلطان قابوس – سلطنة عمان

الملخص

الأهداف: هدفتِ الدراسة إلى قياس فاعلية تدريس الفيزياء القائم على التصميم الهندسي في تنمية الممارسات العلمية والهندسية لدى طلبة الصف العاشر في سلطنة عمان.

المنهجية: استخدمتِ الدراسة المنهج التجريبي ذو التصميم شبه التجريبي، والذي تضمن مجموعة تجريبية وأخرى ضابطة في مدرستين حكوميتين مختلفتين شملت الذكور والإناث. دُرِّسَتِ المجموعة التجريبية خلال ثلاثة عشر اسبوعاً باستخدام التصميم الهندسي، في حين دُرِّسَتِ المجموعة الضابطة بالطريقة التدريسية المعتادة. تشكَّلت عينة الدراسة من (125) طالبًا في الصف العاشر، وجُمِعَتِ البيانات عبر اختبار الممارسات العلمية والهندسية، والذي أعدَه الباحثون في الدراسة الحالية.

النتائج: أظهرت نتائج الدراسة وجود فروق دالة إحصائيًا عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) بين متوسطي طلبة المجموعة التجريبية والضابطة في اختبار الممارسات العلمية والهندسية لصالح المجموعة التجريبية يُعْزَى لطريقة التدريس في الممارسات العلمية والهندسية إجمالاً، وفي أبعادها التالية: (طرح الأسئلة وتحديد المشكلة؛ استخدام وتطوير النماذج؛ تحليل وتفسير البيانات؛ استخدام الرياضيات؛ بناء التفسيرات وتصميم الحلول؛ الاندماج في الجدل القائم على الأدلة؛ الحصول على المعلومات وتقييمها ومشاركتها)، بينما لم تُظهِر نتائج الدراسة فروقًا ذات دلالة إحصائيًا عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) بين متوسطي طلبة المجموعة التجريبية والضابطة في

© حقوق الطبع محفوظة لجامعة اليرموك، إربد، الأردن، 2025.

اختبار الممارسات العلمية والهندسية في محور ممارسة التخطيط وتنفيذ الاستقصاءات.

الخلاصة: في ضوء النتائج، أوصتِ الدراسة بضرورة تدريس الطلبة وفق التصميم الهندسي وتشجيعهم على الاندماج في أنشطة الممارسات العلمية والهندسية، واختتمتِ الدراسة ببعض المقترحات البحثية ذات الصلة.

الكلمات الدالّة: تدريس الفيزياء؛ التصميم الهندسي؛ الممارسات العلمية والهندسية؛ الصف العاشر.

المقدمة:

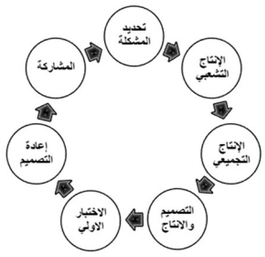
تُعَدُّ معايير العلوم للجيل القادم الحلقة الأحدث في سلسلة تطوير وإصلاح تعلُّم العلوم وتعليمها عالميًّا، وتتألف هذه المعايير من ثلاثة أبعاد رئيسة هي: الأفكار الرئيسة، والممارسات العلمية والهندسية والمفاهيم الكبرى المشتركة، ويُعتبر إدخال الهندسة في مناهج الفيزياء في التعليم قبل الجامعي توجُّهًا عالميًّا حديثًا، ومُرتكَزًا حيويًا لتطوير القدرات الفكرية؛ حيث يوفر اشتغال الطلبة بالهندسة ومبادئها -عبر التصميم الهندسي- في تعلُّم العلوم فرصة عظيمة للاندماج في مواقف تفسيرية عميقة للظواهر البيئية، فبأنفسهم يُصَمِّمون ويختبرون الأدلة والحلول ويطوِّرون تبعًا لذلك النماذج المادية والعقلية والرياضية والمفاهيمية (Wan et al., 2022)، وقد أَلْهَمَ دمج الهندسة في مناهج العلوم القائمين على تدريس العلوم والفيزياء بتوسيع توNظيف الممارسات الهندسية؛ ليس بهدف أَنْ تَحِلَّ تلك الممارسات مَحِلَّ الاستقصاء العلمي، إنَّما لتوفير ممارسات إضافية تدعم الاستقصاء العلمي (Aranda et al., 2020; National Research Council [NRC], 2012)؛ فيُعَزِّزُ الاشتغال بالتصميم الهندسي اتخاذ القرارات الشخصية، والمشاركة الفاعلة في الحياة المدنية، والحفاظ على الصحة البيئية وتطويرها، ويُكسِبُ الطلبة طرائق التفكير، ويُعِدُّهُم لِمِهَنِ المستقبل في مجالات العلوم والتكنولوجيا والهندسة والرياضيات (STEM) (Hong, 2021; NRC, 2009).

يُعرَّف التصميم الهندسي (Engineering Design Process [EDP]) أنَّه "عمليات متكررة تُحَلَّل فيها مشكلات مفتوحة النهاية وتُصَمَّم لأجلها الحلول وتُختَبَر ضِمْنَ مجموعة من القيود" (Belanger et al., 2022, p. 2)، ويُعرَّف أيضًا أنَّه "عملية صنع قرار، عادةً ما تكون تكرارية، حيث يتم تطبيق مفاهيم العلوم والرياضيات والهندسة الأساسية لتطوير الحلول المُثلى لتحقيق هدف مُحدَّد، ويتضمن تطويرًا للأهداف والمعايير والتركيب والتحليل، والبناء، والاختبار والتقييم" (Mangold & Robinson, 2013, p. 3).

يُنْظَرُ للتصميم الهندسي كأداة على أنَّه عملية تكرارية لحل مشكلة هندسية وفق معايير ومُحدِّدات وقيود، وحلول مفتوحة النهاية، ويكون التَّعلُّم القائم عليه ذُو مغزًى ضمن سياق تعلُّم المفاهيم العلمية والرياضية والتكنولوجية، ويُعَدُّ حافزًا للتفكير في النُّظُم والنمذجة والتحليل (Mangold & Robinson, 2013)؛ ولذا يُعَدُّ التصميم الهندسي أداةً لتحسين تعلُّم الطلبة للعلوم (Aranda et al., 2020)، وتُنَفَّذُ فيه مجموعة من الخطوات لتطوير نظام ما أو مكوناته، ويمكن تمثيلُهُ بخطوات أو مراحل لحل المشكلات (Haik & Shahin, 2010).

يتضمن التصميم الهندسي خطوات ومراحل أساسية هي: التعريف بالمشكلة التي تشمل تحديد المشكلة بوضوح وتنظيم حدودها، ووضع معايير التقييم للمُنْتَج ومُحدِّداته، ثم مرحلة تطوير نماذج حلول التي تشمل توليد أفكار في كيفية حل المشكلة، تأتي بعدها مرحلة تحسين الحل الأنسب من بين البدائل، وتصميم الحل على هيئة نموذج فيزيائي (NGSS Lead States, 2013)، وتتكرر تلك المراحل دوريًا في حلقة متصلة؛ فهو مَنْحًى تكراري، مُنفَتِح على العديد من الحلول الممكنة للمشكلة الهندسية، ويُمثل سياقًا هادفًا لتعلُّم المبادئ والمفاهيم العلمية والرياضية والتكنولوجية، ويُعَدُّ التصميم الهندسي مُحَفِّزًا للتفكير المنظومي والنمذجة والتحليل (National Academy of Engineering and NRC, 2009)، ويؤشر الإطار العام لتعليم العلوم للصفوف من الروضة حتى الصف الثاني عشر إلى اختلاف معايير اختيار المشكلة الهندسية باختلاف المرحلة التعليمية؛ فتستند المشكلات في المرحلة الدراسية (9-12) إلى بُعْدٍ اجتماعي وآخَرَ عالمي، وهو ما لا يتوفر في المشكلات للمراحل الدراسية السابقة (NGSS Lead States, 2013).

طوَّرتِ الدراسة الحالية نموذجًا تدريسيًّا قائمًا على التصميم الهندسي استنادًا إلى نماذج عدة قُدِّمَت في دراسات سابقة منها (Belanger, et al., 2022; Duong, et al., 2022; Mesutoglu & Baran, 2020; Putra, et al., 2021)، والقاسم المشترك بين هذه الدراسات أنَّ أغلبها بدأ بمرحلة تحديد المشكلة، وتلك مرحلة جوهرية في تحديد مسار التصميم الهندسي، فضلًا عن كونها واحدةً من الممارسات العلمية والهندسية، والشكل (1) يوضح خطوات النموذج التدريسي القائم على التصميم الهندسي المُعتَمَد في الدراسة الحالية:



الشكل (1): نموذج التصميم الهندسي

ويؤكد الشكل 1 الطبيعة التكرارية للتصميم الهندسي؛ التي تدفع الطلبة إلى تعزيز التكامل بين مبادئ العلوم والرياضيات والهندسة، وتستوجب كذلك التأمل وإعادة النظر في ممارساتهم كلها (English & King, 2019)، ويوضح الجدول 1 توصيفًا لخطوات نموذج التصميم الهندسي في الدراسة الحالية.

الجدول (1): توصيف مراحل نموذج تدريس الفيزياء القائم على للتصميم الهندسي

م	المرحلة/ الخطوة	التوصيف
1	تعريف المشكلة	تحدد المشكلة بدقة على هيئة سؤال والاتفاق على معايير المنتج ومحدداته وقيوده.
2	الإنتاج التشعبي	توليد أفكار تمثل حلول متعددة للمشكلة، وقابلة للتطبيق عملياً.
3	الإنتاج التجميعي	انتقاء الحل الأنسب من بين الحلول المتعددة، وفقاً للمعايير والقيود، واقتراح المواد والمصادر.
4	تصميم وإنتاج	يصمم الطلبة النموذج تخطيطياً على الورق، وينتجونه مادياً
5	الاختبار الأولي	اختبار النموذج على مستوى المجموعة وفق المعايير والمحددات.
6	إعادة التصميم	إعادة تصميم النموذج (إن لزم الأمر)
7	المشاركة	مشاركة الطلبة لنماذج بعضهم، والاندماج في جدل مستند إلى الأدلة في تقييم منتجاتهم

وانعكاسًا للمكتسبات الإيجابية الناتجة عن دمج التصميم الهندسي في مناهج الفيزياء؛ فقد أشارت الدراسة الوصفية لأريك وآخرون (Arik et al., 2024) إلى تنمية مهارات التصميم الهندسي في تحديد المشكلة، وتوليد أفكار التصميم، وإنشاء وتحسين تصميم المنتج النهائي لعشرون طالباً (ذكوراً وإناثاً) بالصف الثامن، وقد استخدم الباحثون تحليل دفاتر ملاحظات أعمال الطلبة وإجراء مقابلات جماعية مركزة لجمع البيانات، وقد دلت النتائج إلى تحسن مهارات التصميم الهندسي للطلبة بعد 7 أسابيع من تطبيق الدراسة. كما أجرى رحمانتو وزملاءه (Rahmanto et al., 2024) دراسة وصفية هدفت إلى تحسين مهارات حل المسائل الفيزيائية من خلال انتاج أوراق عمل قائمة على التصميم الهندسي، وقد وظف الباحثون بطاقة الملاحظة والمقابلات والاستبانات بجانب تقييم أوراق عمل الأداء العملي للطلبة للإجابة على تساؤلات الدراسة لعينة من طلبة الصف العاشر، وقد توصلت الدراسة إلى أن استخدام الطلبة لأوراق عمل مستندة على التصميم الهندسي يمكن أن يساهم في تحسين مهارات حل المسائل الفيزيائية. وفي دراسة شبه تجريبية لسافيتري وزملاءه (Safitri et al., 2024) هدفت لتقصي فاعلية نموذج تعلم للتصميم الهندسي (EDP) قائم على منحى STEM في تنمية الابداع والتفكير الناقد، وكذلك لاستكشاف علاقة الابداع بالتفكير الناقد لدى عينة عددها 142 من طلبة المرحلة الثانوية، وقد درست المجموعة التجريبية بنموذج تعلم (STEM-EDP)، في حين أن المجموعة الضابطة درست بنموذج التعلم القائم على الاستكشاف، وقد جمعت البيانات عبر اختبار مقالي قصير، وقد طبق قبلياً وبعدياً، واشارات نتائج الدراسة إلى فاعلية نموذج (STEM-EDP) في إكساب الطلبة مهارات التفكيرين الإبداعي والناقد، وأظهرت كذلك وجود علاقة ارتباطية موجبة بين القدرات الإبداعية والناقدة. على صعيد آخر يُستخدَم التصميم الهندسي في تعزيز نظرة طلبة الصف التاسع لطبيعة العلم (NOS)، وهو ما هدفت إليه دراسة مشليحة وآخرون (Muslihah et al., 2024)؛ والتي جُمعَت بياناتها عبر اختبار ورقة وقلم، وقد دلَّتِ النتائج لأفضلية طفيفة للمجموعة التجريبية في نظرتهم لطبيعة العلم مقارنة بنظرائهم في المجموعة الضابطة. وفي ذات السياق وفي مسعى يهدف لاستقصاء فاعلية التصميم الهندسي (EDP) المدعم بنموذج (التصور -التصميم – التنفيذ - التشغيل (CDIO)) في تعزيز كفاءة 64 من طلبة الصف الحادي عشر في تعلم STEM، استخدمت الدراسة المنهج التجريبي ذو التصميم شبه التجريبي، وجُمِعت البيانات من خلال اختبار ومقابلات شبه مقننة قبليا وبعديا، وقد أشار نتائج الدراسة إلى أفضلية المجموعة التجريبية في تحسن معرفتهم ومهاراتهم وتصوراتهم حول تعلم STEM، كما تطورت لديهم شبكات معرفية أكثر شمولاً في تعلم STEM (Xi et al., 2024). وفي دراسة أخرى لعبد الرحمن وزملاءه (Abdurrahman et al., 2023) هدفت لاستقصاء فاعلية التصميم الهندسي (EDP) المتكامل مع منحى STEM والمعزز بالتعلم القائم على المشكلات (PBL) في تحسين مهارات التفكير المنظومي لدى 67 طالب، صُمِّمَت الدراسة على أساس مجموعتين تجريبية والتي درست من خلال (EDP) المعزز بـ (STEM-PBL) وضابطة والتي درست وفق الطريقة التقليدية لتدريس STEM في تعلم وحدات الطاقة المتجددة، وقد أشارت نتائج الدراسة إلى أفضلية المجموعة التجريبية في اكتساب مهارات التفكير المنظومي، كما نشر بوترا وآخرون (Putra et al., 2023) نتائج دراستهم المزجية التي استقصت فاعلية أداة للجدل القائم على التصميم الهندسي في تطوير مهارات الجدل لدى 150 من طلبة الصف السابع، وقد جمعت بياناتها من خلال استبيان وبطاقة ملاحظة واختبار تم تطبيقه قبلياً وبعدياً، وقد خلصت الدراسة إلى تطور ملحوظ في مهارات الجدل ولا سيما مهارتي الادعاء، وجمع الأدلة. وعلى صعيد آخر يتيح اندماج الطلبة في أنشطة التصميم الهندسي تطوير مهارات حل المشكلات والمسائل الفيزيائية؛ ففي دراسة أجراها سيكري وآخرون (Syukri et al., 2018) في اندونيسيا على 82 طالبًا في الصف التاسع، واستخدم الباحثون المنهج التجريبي ذو التصميم شبه التجريبي، وتضمن التصميم مجموعة تجريبية دُرِّست بنموذج قائم على التصميم الهندسي بمراحله العامة المعروفة كالتساؤل، والتخيل، والتخطيط، والإنتاج، وأخيرا التطوير والتحسين، في حين تعرضت الضابطة للتدريس وفق الطريقة السائدة، واستخدمت الدراسة في جمع البيانات اختبار في وحدة الكهرباء، وقد جاءت النتائج لصالح المجموعة التجريبية، بتحسُّن مهاراتهم في حل المشكلات والمسائل الفيزيائية، كما أشارت دارسة لاتشبيلي (Lachapelle et al. 2011) إلى تطوُّر التحصيل الدراسي واكتساب المعرفة لدى طلبة المرحلة المتوسطة، نتيجة لاستخدام التصميم الهندسي كأداة تدريسية.

يوفر دمج التصميم الهندسي بمناهج العلوم والفيزياء فرصة لاشتغال الطلبة بالممارسات العلمية والهندسية (Science and Engineering Practices [SEP_s])؛ متزامنًا مع نُمُو الإطار المفاهيمي للمحتوى العلمي (Putra et al., 2021)، فالممارسات العلمية والهندسية أحد معايير وثيقة العلوم للجيل القادم (Next Generation Science Standards [NGSS])؛ فهي تُنظِّم تعلُّم العلوم في العصر الحديث، ويمكن عَدُّها أهدافًا تعكس ما على الطالب أَنْ يَعرِفَه وأَنْ يكون قادرًا على القيام به على هيئة سلوكات (Smith et al., 2021)، وتهدف الممارسات العلمية والهندسية إلى تنمية عادات العقل العلمية لدى الطلبة فضلاً عن تعليمهم كيفية التفكير في قضايا وتحديات معقّدة لدى المجتمعات البشرية، كالحصول على الطاقة النظيفة وإبقاء مصادر المياه بعيداً عن التلوث وغيرها عبر مجموعة واسعة من الأساليب والعمليات العلمية والهندسية (Alahmad & Albaqami, 2017)، وتنظر معايير العلوم للجيل القادم للتّعلُّم أنّه عملية متسلسلة يُصَمَّم لأجلِهِ المعارف والمهارات وترتكز إلى موضوعات محورية عدة في فروع العلوم والهندسة المختلفة، وتدعم تلك المعايير الدمج بين المعرفة والممارسات العلمية والهندسية في تصميم وصياغة الخبرات لتوظيفها في تعليم العلوم من خلال التصميم الهندسي؛ فقدِ التزمت الوثيقة بدمج التصميم الهندسي في هيكل تعليم العلوم من خلال رفع التصميم الهندسي إلى مستوى البحث العلمي ذاته عند تدريس العلوم على المستويات جميعها من رياض الأطفال حتى الصف الثاني عشر (NRC, 2012).

أشارت وثيقة (NGSS) إلى أنَّ البُعد الأول من أبعادها يُقسِّم الممارسات العلمية والهندسية إلى شِقَيْنِ تكامليَيْن؛ فالممارسات العلمية يوظفها العلماء عند استقصاء وبناء النماذج والنظريات للعالم من حولهم، بينما يحتاج المهندسون الممارسات الهندسية حلاً لمشكلات أو تصميماً لأنظمة، ولذلك أطلقتِ الوثيقة وصفَ ممارسات عِوَضًا عن مهارات؛ تأكيداً أنَّ الاندماج في أنشطة الممارسات العلمية والهندسية يتطلب أكثر من مجرد مهارات لتشمل فضلًا عنِ المعرفة التي تحتاجها كل ممارسة، وهكذا فإنَّ الممارسات العلمية والهندسية تتمحور في هدف العلماء والمهندسين من هذه الممارسات لا ما يقومون به من عمليات فقط؛ فيما يتعلق بتوسيع مفهوم "الاستقصاء العلمي" ليشمل طيفًا واسعًا من الممارسات المعرفية والاجتماعية (NGSS Lead States, 2013).

تُعَرَّف الممارسات العلمية والهندسية أنّها تلك الممارسات والإجراءات التي يُشْغَلُ بها العلماء عند استقصائهم للظواهر، وبناء النماذج والنظريات لفهمِ العالم الطبيعي من حولهم، وتلك الممارسات التي يُشْغَلُ بها المهندسون عند تصميمهم أو بنائهم للنماذج أو الأنظمة واستخدامها في حل المشكلات (NGSS Lead States, 2013)، وتتمثل تلك الممارسات في: طرح الأسئلة للعلماء والتعريف بالمشكلة للمهندسين، وتطوير واستخدام النماذج، والتخطيط وتنفيذ الاستقصاءات، وتحليل وتفسير البيانات، واستخدام الرياضيات والتفكير الحاسوبي، وبناء التفسيرات (للعلماء) وتصميم الحلول (للمهندسين)، والاشتغال بالحجج القائمة إلى الأدلة، وأخيراً الحصول على المعلومات وتقييمها ومشاركتها (Bybee, 2011).

تتكامل الممارسات الثماني في الممارسات العلمية والهندسية لِتُشَكِّل كِيانًا تكامليًّا، ويُعَزِّزُ بعض ممارساته البعض الآخر؛ فطرحُ الأسئلة (للعلوم) وتحديد المشكلات (للهندسة) بِعَدِّها الممارسةَ الأولى في المواقف الصفية تتمثل في قدرة الطلبة على التساؤل في النصوص التي تُقْرَأُ، أو في خصائص الظاهرة التي تُدَرَّسُ، أو استنتاجاتٍ يستخلصونها من نماذجهم أو استقصاءاتٍ علمية؛ في حين تتطلب الهندسة طرح الأسئلة لتحديد المشكلة لإيجاد مخارج مفتوحة النهاية بمعايير حلول مُتْقَنَة، وتتطلب كذلك استنباط الأفكار المُضَمَّنَة فيها، وتنشأ تلك التساؤلات (بِشِقَّيْها العلمي والهندسي) ضمن سياقات مُحدَّدة (NRC, 2012).

أمّا عنِ استخدام النماذج وتطويرها (الممارسة الثانية) في العلوم والهندسة فتتمثل في توظيفها أدواتٍ لتمثيل الأفكار والشروحات، وتتضمن تلك الأدوات في المخططات البصرية والرسومات والتمثيلات الرياضية ومحاكاة الحاسبات الآلية؛ فالنماذج تمثل القوة التنبؤية للعالم الواقعي بسبب تصميمها وفق تقديرات تقريبية وافتراضات (Brand, 2020).

إنَّ التخطيط وتنفيذ الاستقصاءات (الممارسة الثالثة) تهدف للإجابة عن تساؤلات علمية أو إيجاد حلولٍ لمشكلات، أو اختبارِ لفرضيات؛ فيخطط العلماء والمهندسون لإجراء الاستقصاءات في الحقل أو المعمل وتتطلب فهمًا عميقًا لمتغيرات الظاهرة أو للمشكلة المراد حلها، ويُتوَقَّع أَنْ تقود عمليات الاستقصاء إلى بيانات تحتاج إلى تحليل وتفسير (الممارسة الرابعة) لتصبح البيانات بعدها معلومات مؤكدة يُعتمَد إليها في التفسير حسب الحاجة، ويمكن أَنْ تقدم المعلومات في أشكال مختلفة كالجداول أو الرسوم البيانية أو التخطيطية، ويمكن أَنْ تتحول تلك الأشكال إلى أنماط وعلاقات يسمح بإيصالها للآخرين ويمكن استخدامها دليلَ إثبات أو نَفْيٍ أو لدعم الاستنتاجات، ويمكن للطلبة تحويل تلك البيانات إلى أنماط من العلاقات والقدرة على تفسيرها وربطها بالظاهرة أو الإجابة عنِ التساؤلات المرتبطة بها، أو اتخاذ قرارات مرتبطة بالتصاميم الهندسية (Duschl & Bybee, 2014).

وتتطلب ممارسة تحليل البيانات وتفسيرها توظيف الرياضيات والتفكير الحاسوبي (الممارسة الخامسة)؛ فتُعَبِّر الرياضيات والتفكير الحسابي عن أدوات أساسية لتمثيل المتغيرات الفيزيائية وعلاقاتها المتداخلة وتعزيز المعتقدات ودعم الأفكار في وصف الظواهر من خلال توظيفها في المهام والأنشطة المرتبطة بالمحتوى العلمي كالمحاكاة والتحليل الإحصائي للبيانات، والتعرف إلى العلاقات الكمية الفيزيائية والتعبير عنها وتطبيقها في المجالات العلمية والهندسية (Kim, 2015).

يتطلب بناء التفسيرات وتصميم الحلول (الممارسة السادسة) في تدريس العلوم تقديم ظواهر للطلبة بغرضِ فهمِ طريقة عملها أو تفسير تداخلات العوامل المؤثرة فيها وأسباب نشوء الظواهر، في حين يُعَدُّ تصميم الحلول للمشكلات الهندسية هدفًا رئيسًا للهندسة، ويمكن عَدُّ

تصميم الحلول عملية منهجية تشمل تحديد المشكلة، ثم التفكير تشعبياً من خلال توليد العديد من الحلول لتلك المشكلات يَتْبَعُه التفكير التجميعي والتقييمي (NRC, 2012).

إنَّ اندماج الطلبة في الجدل القائم على الأدلة (الممارسة السابعة) يُعَدُّ عملية للوصول إلى اتفاق بشأن التفسيرات وحلول التصميم التي يقترحونها في العلوم، ويلجأ الطلبة إلى الجدل القائم على الأدلة حين يدافعون عن أفكارهم أو معتقداتهم في محاولة لتفسير الظواهر مع المجموعات الطلابية الأخرى؛ وهو ما يُكسِب الطلبة تدريبا حقيقيًا على مبدأ تدعيم الآراء والأفكار بالأدلة لا بالآراء الشخصية أو المعتقدات المعرفية الخاصة (Reiser et al., 2012)، وإنَّ تدريس العلوم يتطلب أحيانًا تطوير قدرة الطلبة على قراءة وإنتاج نصوص علمية خاصة بالسياق، وهذا يُحتِّم عليهم الحصول على المعلومات وتقييمها ومشاركتها مع الآخرين (الممارسة الثامنة)؛ فالطالب يمارس اللغة العلمية والتقنية كتابةً وقراءةً وتواصُلًا مع الآخرين بغرض الإقناع أو الدفاع عنِ الأفكار (Lachapelle et al., 2013) التي تنتج من عمليات سابقة كالاندماج في الجدل القائم على الأدلة.

إنَّ الاهتمام بالممارسات العلمية والهندسية في التدريس الحديث للعلوم نابع من كونِ هذه الممارسات تعكس الطبيعة الاحترافية لعمل العلماء والمهندسين، واستناداً لذلك، فإنَّ تدريب الطلبة على ممارسة محتوى العلوم من خلال الممارسات العلمية والهندسية يدعم اشتغال الطلبة بالمعرفة العلمية وإنتاجها وتطوير الحلول الهندسية بشكل مُتوازٍ متكامل، وهو ما يُشَجِّعُ الطلبة للتعمق في فهمِ واستيعاب المفاهيم العلمية ويجعل تعلُّمهم ذا معنًى، ويُخرِجهم من الإطار التقليدي للتعليم والتَّعلُّم إلى التوجه الحديث في تدريس العلوم وفق حركة التطوير الأخيرة المرتبطة بمعايير العلوم للجيل القادم، وإنَّ الاندماج والاشتغال بالأنشطة القائمة إلى الممارسات العلمية والهندسية يجعل الطلبة ناقدين للمعرفة العلمية (Nadelson et al., 2015).

إنَّ الاطار المفاهيمي لمعايير العلوم للجيل القادم الذي وَضَعَه (NRC) يؤكد تضمين الممارسات العلمية والهندسية ودمج المعارف والمهارات في التعليم الهندسي وتعزيز العادات العقلية، ويهدُف ذلك التضمين إلى تطوير قدرات الطلبة في أبعاد مختلفة؛ فهو يُحفِّزُهم على الاندماج في البحث العلمي، ويدربهم على طرائق التفكير ضمن سياقات علمية، ومع ذلك فعدم الاتساق الملاحظ بين التركيز على تطوير المعرفة ضمن محتوى العلوم والتركيز على الممارسات العلمية لا يسيران بخَطَّيْنِ متوازيين؛ فالتركيز القائم فقط إلى تقديم المحتوى من دون ممارسة لعمليات العقل يُعَدُّ تجاوزًا لمفهوم "طبيعة البحث العلمي"، ويترك انطباعًا أنَّ العلم مجرد مجموعة من الحقائق المعزولة في كيانات مستقلة غير مندمجة (NRC, 2012)؛ وهو ما يسعى إليه الإطار المفاهيمي إلى إصلاحِه.

ويعتقد كثير من الباحثين أنَّ تقديم محتوى العلوم فارغُ من الممارسات العلمية والهندسية قد يُوَلِّدُ جيلًا من الأفراد غير قادر على توظيف مكونات المحتوى المعرفي في علاج مشكلات العصر أو التفاعل معها (Miranda & Hermann, 2013)، وهو ما يؤدي لاحقاً إلى تحديات يصعب التعامل معها في تعلم الفيزياء وفهمها والتمكن من مهارات حل المشكلات فيها (Batayneh & Al-Omary, 2024)، كما أنَّ ممارسة الأنشطة وتنفيذها إنْ لم يكن متكاملًا مع مبادئ العلوم سيجعل تدريسَهُ مجرد حصص فنون أو ممارسة حِرَف يدوية (Guzey et al., 2019)، وإنَّ تأكيد ممارسة الطلبة للأنشطة العلمية والهندسية يجعلُه سببًا لتطوير قدرة الطلبة على تصميم النماذج المادية والفيزيائية من خلال الرسم والأشكال التخطيطية؛ وهو ما يُعَدُّ صميم عمل التصميم الهندسي (Nadelson et al., 2015).

مشكلة الدراسة وأسئلتها

لا تزال الأبحاث والدراسات التجريبية بشأن استراتيجيات تطوير الممارسات العلمية والهندسية في تدريس العلوم محدودة عالمياً، ومن جهة أخرى تَدُلُّ بعض تقارير إنجاز الطلبة تضمنها القليل من تلك الممارسات، وقد يعود السبب لحسابات تتعلق بصياغة وإخراج المناهج الدراسية في شمولها على أنشطة معملية تنتظم فيها فرص تعلُّم حقيقية لممارسة التَّعلُّم؛ وهو ما جعل مخرجات التعليم لا تحظى بالقَبُول في القدرة على توظيفها في الحياة الواقعية (Papakonstantinou & Skoumios, 2021)، وأفرزت تلك المناهج وتدريسها بالأنماط التقليدية محورية التعلم نحو المحتوى بعيداً عن مركزية التعلم المتمحور حول الطالب (Sawaftah & Rudwan, 2014)، وهو ما يتجاوز التوجهات العالمية الحديثة في تدريس العلوم والفيزياء.

وفي السياق ذاته، أشارت دراستَا (Kulgemeyer & Schecker, 2014; Leonard et al., 2014) إلى تحديات عميقة تعترض بعض الطلبة قد تصل للفشل في بعض الأحيان في استيعاب أفكار ومفاهيم العلوم، وتَحُدُّ من قدرتهم على تطبيقها في تفاصيل حياتهم اليومية، وإنَّ الطلبة الذين يدرسون محتوى العلوم بصورة تقليدية خاليًا من أنشطة تلك الممارسات معرضون للفشل بمقدار 1.5 أكثر من نظرائهم الذين يدرسون المحتوى عبر التصميم الهندسي (Freeman et al., 2014)، ولذا يُنْظَر لاندماج الطلبة في الأنشطة الاستقصائية المرتبطة بالممارسات العلمية والهندسية أنَّها الأرضية الصلبة التي تُعَزِّزُ اكتساب المفاهيم والأفكار والمبادئ العلمية التي يوفرها التصميم الهندسي وهو ما يُعَزِّزُ تحصيليهم الأكاديمي والعلمي (NGSS Lead States, 2013).

إنَّ التفاعل مع تدريس العلوم على أنَّه كتلة معرفية فقط تُعَبِّرُ عن فهمٍ ناقص لدور العلوم في الحياة؛ فتدريسُ العلوم القائم إلى التصميم يتجاوز تلك النظرة القاصرة من خلال تعزيز تدريس العلوم بمجموعة من الممارسات التي تُوظِّف إنتاج المعرفة المتمثلة في المفاهيم المجردة والأفكار العلمية، وتأتي الدراسة الحالية ضمن سياق معالجة تلك النظرة القاصرة من خلال ربط قدرة الطلبة على تفسير ووصف الظواهر باستخدام المعلم لنماذج تدريسية صريحة ومناسبة (Al-Omary, 2015)؛ وهو ما قامت به الدراسة الحالية بدمج التصميم الهندسي في تدريس الفيزياء عبر نموذج تدريسي صريح؛ حيث يعد اندماج الطلبة في الممارسات العلمية والهندسية عبر التصميم الهندسي هدفُ أساس لتدريس العلوم (NRC, 2012).

ومن خلال خبرة الباحثين في الإشراف على الطلبة المعلمين (تخصص العلوم)، وعبر دراساتهم الميدانية التي تقتضي التفاعل مع واقع تدريس العلوم؛ فقد لاحظوا ضعف دمج الممارسات العلمية والهندسية في أنشطة تدريس العلوم وعدم توفير فرص حقيقية لممارستها، وندرة الأنشطة الداعمة لتوظيفها ضمن السياق التدريسي، وهو ما انعكس سلبًا على مهارات التفكير لدى الطلبة، وتعضيدًا لتلك النتيجة قام الباحثون في الدراسة الحالية باستطلاع رأي المعلمين في الحقل التربوي في مدى امتلاك طلبتهم للممارسات العلمية والهندسية، وأشارتِ النتائج إلى ضعف امتلاك طلبة الصف العاشر للممارسات العلمية والهندسية.

واستنادًا لما سبق، كان لا بُدَّ من دراسة علمية تجريبية تهدف إلى تنمية الممارسات العلمية والهندسية يسترشد بها المعلمون في الحقل التربوي؛ لذا سَعَتِ الدراسة الحالية إلى الإجابة عنِ السؤال التالي:

ما فاعلية تدريس الفيزياء القائم على التصميم الهندسي في تنمية الممارسات العلمية والهندسية لدى طلبة الصف العاشر تبعًا لمتغير طريقة التدريس؟

فرضية الدراسة:

صُمِّمَتِ الدراسة الحالية لاختبار الفرضية الصفرية المرتبطة بالسؤال البحثي على النحو الآتي:

لا تُوجَد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) بين متوسِّطَيْ أداء المجموعتين التجريبية والضابطة بالاختبار البعدي في الممارسات العلمية والهندسية إجمالًا وفي أبعادها لدى طلبة الصف العاشر يعزى إلى طريقة التدريس.

هدف الدراسة:

قياس فاعلية تدريس الفيزياء القائم على التصميم الهندسي في تنمية الممارسات العلمية والهندسية، وأبعادها المختلفة لدى طلبة الصف العاشر.

أهمية الدراسة

تستند الدراسة الحالية في أهميتها النظرية إلى تقديم محتوى بحثي يسهم في تعزيز تدريس الفيزياء القائم على التصميم الهندسي من خلال:

1. إثراء المكتبة العربية والعالمية والأدب التربوي بدراسة تجريبية عنِ الممارسات العلمية والهندسية، وستسهم بشكل مزدوج في تعزيز توجه المعلمين والطلبة إلى تنميتها، ويُعَزِّزُ إعداد الطلبة للحياة وسوق العمل بمهارات حديثة تتصل بالتوليد المعرفي.
2. إيجاد ناتج فاعلية التصميم الهندسي في الممارسات العلمية والهندسية من الناحية التجريبية، وتعَدُّ الدراسة الحالية من الدراسات التربوية الأولى عالميًا وعربيًا؛ التي تربط بين التصميم الهندسي كونُه متغيرًا مستقلًا، والممارسات العلمية والهندسية بِعَدِّهِ متغيرًا تابعًا.

أمَّا من الناحية التطبيقية؛ فتسعى الدراسة الحالية إلى:

1. تزويد مُعَلِّمِي الفيزياء بدليل يستند إليه في تنفيذ أنشطة واستراتيجيات التصميم الهندسي.
2. تزويد الباحثين باختبار مُقَنَّن لقياس الممارسات العلمية والهندسية.
3. تزويد مُعِدِّي البرامج التدريبية بأنظمة تدريب وفق التصميم الهندسي مُنَظَّم بمعايير العلوم للجيل القادم.

محددات الدراسة:

تحددت الدراسة الحالية بتعميم نتائج الدراسة وفقاً للخصائص السيكوميترية لأداة الدراسة المتمثلة في صدقها وثباتها، ومدى جدية وموضوعية استجابة أفراد الدراسة عليها.

التعريفات الإجرائية لمصطلحات الدراسة

- الفاعلية (Effectiveness): هو حجم الأثر الذي تُحدِثُه المعالجة التجريبية لتدريس الفيزياء القائم على التصميم الهندسي في الممارسات العلمية والهندسية، ويُقَدَّرُ عبر قياس الفرق بين نتائج الاختبار البعدي للمجموعتين التجريبية والضابطة، وتُقاس باستخدام مربع ايتا.
- التصميم الهندسي (Engineering Design Process): أداة منهجية تكرارية لحل المشكلات الهندسية؛ تتعدد الحلول فيها للمشكلة ذاتها، وتكون طبيعة المشكلات فيها من النوع مفتوح النهاية، وتتضمن الدورة الهندسية للتصميم الهندسي خطوات مُحدَّدة تبدأ بتحديد المشكلة، وإيجاد الحلول لها، وتقييم النموذج المُعبِّر عن الحل المناسب وتطويره.
- الممارسات العلمية والهندسية (Science and Engineering Practices): تكامُل المعرفة والمهارة وتطبيقهما في العمليات والإجراءات التي يمارسها الطلبة لحل المشكلات الهندسية وبناء النماذج لفهم العالم الطبيعي وإعادة إنتاج المعرفة، وتُقاس باختبار مواقف من إعداد الباحثين.

الطريقة وإجراءات الدراسة

عينة الدراسة

تشكَّلت عينة الدراسة الحالية من (125) طالبًا وطالبةً من مدرستين مختلفتين؛ بمعدل شعبتين لكل نوع (تجريبية وضابطة)، ويشير الجدول 2 إلى توزيع أفراد العينة على مجموعات الدراسة.

الجدول (2): توزيع أفراد العينة على مجموعات الدراسة

	التجريبية	الضابطة	العدد
ذكور	25	28	53
إناث	35	37	72
المجموع	60	65	125

منهج الدراسة وتصميمها

استخدمت الدراسة المنهج التجريبي ذو التصميم شبه التجريبي، والذي يَضُمُّ مجموعة تجريبية وأخرى ضابطة من كلا الجنسين؛ وقد

جُمعت البيانات عبر اختبار الممارسات العلمية والهندسية قبلياً وبعدياً، التصميم الرمزي لمنهج الدراسة هو كالآتي:

EG: O1 X O1

CG: O1 _ O1

EG: المجموعة التجريبية.

CG: المجموعة الضابطة.

O1: اختبار الممارسات العلمية والهندسية.

X: تدريس الفيزياء القائم على التصميم الهندسي.

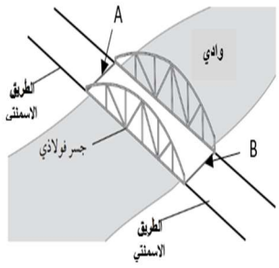
مادة الدراسة وأداتها

لتحقيق أهداف الدراسة الحالية واختبار فرضيتها قامت إلى الأدوات والمواد الآتية:

1. دليل المعلم: قام الباحثون بإعداد دليل المعلم لمساندة المعلم والمعلمة في المجموعة التجريبية في تقديم الدروس في وحدات منهج الفيزياء في الفصل الدراسي الأول للصف العاشر وفق نموذج التصميم الهندسي المعدّ، واشتمل المحتوى المُدَرَّس على الوحدات الدراسية من الثانية حتى الثامنة، وقد تم تكييف الدروس والأنشطة فيها لتتلاءم والتصميم الهندسي، وقد خضع الدليل للتحكيم من قبل المختصين في مناهج العلوم وطرائق تدريسها بجامعة السلطان قابوس وجامعات أخرى، فضلًا عن معلمين ومشرفين تربويين من وزارة التربية والتعليم الذين بلغ عددهم (12)؛ وذلك للتأكد من اتساق الدليل مع النموذج التدريسي ومُلاءَمة الأنشطة للعُمُرَين العقلي والزمني للطلبة، والسلامة اللغوية ودقة المحتوى العلمي ومناسبة المواقف للمشكلات الهندسية لقدرات الطلبة، وقد تم التعديل في ضوء ملحوظاتهم؛ منه دمجُ بعض الخطوات واختصار النموذج إلى 8 خطوات عامة أُسْوَةً بالنماذج الأخرى، واقتراح إعادة صياغة بعض المشكلات الهندسية الموقفية والتعديلات اللغوية الأخرى.

2. اختبار الممارسات العلمية والهندسية: قام الباحثون بالدراسة الحالية بإعداد وصياغة اختبار يهدف لقياس الممارسات العلمية والهندسية لدى عينة الدراسة الحالية، والاختبار عبارة عن مواقف حياتية تتضمن مشكلات هندسية، واتَّسمت تلك المواقف بالبُعد عن المحتوى المدرس (Content Free) في الوحدات الدراسية للصف العاشر؛ إقراراً من الباحثين بأهمية قياس تلك الممارسات بطريقة تعكس مَدَيَات قدرات الطلبة على نقل تطبيق الممارسات إلى مواقف حياتية جديدة بِعَدِّها مؤشراً لاستدامة التعليم من خلال قياس القدرة على تطبيق تلك الممارسات بعيداً عن التأثير اللحظي للدراسة الحالية، واسْتُنِدَ في إعداد الاختبار إلى مؤشرات قياس الممارسات الثماني الواردة في (NGSS Lead States, 2013; NRC, 2012)؛ فقد ضُمِّنَت تلك المؤشرات في تسعة مواقف حياتية، وقدِ استعان الباحثون بمصادر عدة لتطوير تلك الفقرات الاختبارية منها موقع جامعة ماساشوستس (Massachusetts)، واعتمد كذلك إلى دراسة (Van horne et al., 2016) في تصميم وبناء سيناريوهات المواقف القائمة إلى المشكلة، والشكل 2 يوضح نموذجاً لموقف (مقتبس من اختبار الممارسات العلمية والهندسية في الدراسة الحالية).

شاهد فريق من المهندسين تشققات في الجسر الفولاذي الذي بُني منذ فترة طويلة بين ضفتي وادٍ في منطقة تتصف بالفارق الكبير في درجات الحرارة صيفاً وشتاءً، وحرصاً على سلامة المشاة كُلف الفريق بتصميم مخطط جديد للجسر يوضحه الشكل المقابل. حيث تشير المنطقتان (A, B) إلى حدود التقاء الطريق الأسمنتي بالجسر.



الشكل (2): نموذج لسيناريو موقفي في اختبار الممارسات العلمية والهندسية

وقد تم التحقق من صدق الاختبار بطريقتين:

أ) الصدق الظاهري: عُرِضَ الاختبار بصيغتِهِ الأولى على مجموعة من المُحكّمين من ذوي الاختصاص في مناهج العلوم وطرائق تدريسها وعلم النفس التربوي في جامعة السلطان قابوس وبعض الجامعات المحلية الأخرى وخبراء القياس والتقويم ومن مُعَلِّمي العلوم والفيزياء ومشرفيها في وزارة التربية والتعليم الذين بلغ عددهم (19)، واستنادًا لملحوظاتهم ومقترحاتهم تم التعديل على بعض المواقف والمفردات التي تقيس كل ممارسة من الممارسات الثماني؛ من ذلك إعادة صياغة بعض المواقف والمفردات والاعتماد إلى أسئلة قصيرة ذات النهايات المفتوحة، نظرًا لطبيعة قياس الممارسات العلمية والهندسية التي تعتمد فيها الإجابات إلى التعبير الحر لها (Chen et al., 2024)، ولأنّ الممارسات العلمية والهندسية يمارسها الطلبة ضمن سياقات تعليمية حقيقة؛ فإنّ تلك السياقات تُحَتِّمُ تقييم الطلبة فيها وفق مواقف ومشكلات علمية وهندسية مفتوحة النهاية (Brand, 2020; Roehrig et al., 2012)، وقد تم الأخذ بتلك المقترحات جميعها، وتراوحت درجات العناصر الاختبارية لكل ممارسة بين (4-5) درجات؛ بمجموع كلي 37 درجة.

ب) الاتساق الداخلي: خضع الاختبار للتجريب على عينة (44) من الطلبة ذكوراً وإناثًا مِمَّنْ هُمْ خارج عينة الدراسة الحالية، وقد تم حساب معامل الارتباط المُصَحَّح Corrected item- total correlation بين متوسط نتائج الطلبة للسؤال الواحد ومتوسط أداءاتهم في الاختبار ككل، وقد تراوحت قيمتُهُ بين 0.467-0.785، وفيما لو طبّقنا ذلك على الأسئلة المرتبطة بكل ممارسة

من الممارسات الثماني؛ فإنَّ معامل الارتباط المُصَحَّح بين متوسط نتائج الطلبة للممارسة الواحدة ومتوسط أداءاتهم في الاختبار ككل تتراوح قيمتُهُ بين 0.461 – 0.873؛ وهي بذلك تُعَدُّ قِيَمًا مناسبةً وتدعم البنية الداخلية لأسئلة الاختبار (Cohen & Swerdlik, 2010).

أمّا بالنسبة لثبات الاختبار فقد بلغ معامل ارتباط بيرسون له (0.94)، بطريقة تطبيق الاختبار وإعادته بفاصل زمني بلغ 16 يومًا؛ يشير ذلك إلى أنَّ الاختبار مناسب في الثبات (Taber, 2018) ويمكن الاعتماد عليه في تعميم النتائج لاحقًا، وعند حساب معامل الثبات لمحاور الاختبار والمتمثلة في الممارسات العلمية والهندسية فقد وجد انها تتراوح بين (0.57) لمحور ممارسة طرح الأسئلة وتحديد المشكلة و(0.84) لمحور ممارسة تحليل وتفسير البيانات، وبذلك يُعَدُّ صالحًا للتطبيق الفعلي على عينة الدراسة الحالية، وجرى أيضًا حساب اتفاق المُصَحِّحين للاختبار؛ فقد تم تقييم عدد 24 ورقة اختبارية من قبل الباحث وباحث آخر بعد تدريبِهِ على التصحيح وفق نموذج الإجابة المُعَدِّ لتقييم الدرجات، وحُسِبَ معامل ثبات التصحيح بين المُصَحِّحين من خلال معامل Krippendorff's alpha وَوُجِدَ أنَّه يساوي (0.98) وهي نسبة اتفاق عالية بينهما، وقدِ استُخدِمَ هذا المعامل في الدراسة الحالية بسبب شيوعِهِ في العديد من الدراسات السابقة، ويمكن استخدامُه حتى مع عدد كبير من المُصَحِّحين، ويناسب كذلك في حال البيانات المفقودة (Hayes & Krippendorff, 2007).

إجراءات الدراسة

تم تنفيذ الدراسة الحالية وفق مجموعة خطوات إجرائية على النحو الآتي:

1. حصل الباحثون في الدراسة الحالية على الموافقة الرسمية لتطبيقها ميدانًا من المؤسسات المَعْنِيَّة منها جامعة السلطان قابوس ووزارة التربية والتعليم، وقد نُفِّذَت ورش تدريبية لمعلم ومعلمة المجموعة التجريبية على مدار خمسة أيام بواقع 3 ساعات يومية للتعريف بالتصميم الهندسي والممارسات العلمية والهندسية، وكذلك على طريقة تنفيذ الدروس من خلال دليل المعلم، وقد تم الرد على استفساراتهما وتساؤلاتهما.
2. طُبِّقَت قبليًّا أداة الدراسة للتأكد من تكافؤ مجموعات الدراسة في اختبار الممارسات العلمية والهندسية، وقد تم استخدام تحليل التباين الأحادي (One-way ANOVA) للكشف عن الدلالة الإحصائية للفرق بين المجموعتين التجريبية والضابطة، وقد دَلَّتِ النتائج إلى عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسِّطَي المجموعتين التجريبية والضابطة في اختبار الممارسات العلمية والهندسية؛ وهو ما يؤشر إلى تكافُئِهما قبل التطبيق التجريبي.
3. التطبيق الفعلي للدراسة للمجموعة التجريبية عبر تدريس الفيزياء القائم على التصميم الهندسي، وبالطريقة السائدة للمجموعة الضابطة ذكورًا وإناثًا وفق البرنامج المُعَدِّ للمحتوى المُشَار إليه في دليل المعلم، واستمر التطبيق نحو 12 أسبوعًا خلال الفصل الدراسي الأول من العام الدراسي 2024/2023، وقد تساوت المجموعتان في المدة الزمنية للتطبيق.
4. التطبيق البعدي لأداة الدراسة بعد الانتهاء من التجريب، ومعالجة البيانات إحصائيًّا باستخدام SPSS للإجابة عن سؤال الدراسة.

نتائج الدراسة ومناقشتها

فيما يلي استعراض نتائج سؤال الدراسة الحالية؛ الذي ينصُّ على "ما فاعلية تدريس الفيزياء القائم على التصميم الهندسي في تنمية الممارسات العلمية والهندسية لدى طلبة الصف العاشر تبعاً لمتغير طريقة التدريس"؟ وللإجابة عليه تم حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لأداء عينة الدراسة في اختبار الممارسات العلمية والهندسية ككل، وكذلك قيم المتوسطات الحسابية المعدلة كما في الجدول 3.

الجدول (3): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والمتوسطات المعدلة لدرجات طلبة المجموعتين التجريبية والضابطة في اختبار الممارسات العلمية والهندسية إجمالًا

	المجموعة	العدد	المتوسط الحسابي		الانحراف المعياري		المتوسط الحسابي	الخطأ
			القبلي	البعدي	القبلي	البعدي	المعدّل	المعياري
الممارسات العلمية والهندسية إجمالًا (الدرجة الكلية:37)	التجريبية	60	10.11	19.28	6.27	9.23	19.02	0.66
	الضابطة	65	9.58	13.04	6.13	8.04	13.28	0.63

تشير نتائج الجدول 3 إلى وجود فروق ظاهرية في المتوسطات المعدّلة في الممارسات العلمية والهندسية إجمالًا بين المجموعتين التجريبية والضابطة وفقًا لطريقة التدريس، ولمعرفة إن كانت هذه الفروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) فقد استخدم اختبار تحليل التباين الأحادي المصاحب (ANCOVA) لعزل تأثير الفروق القبلية في أداء الطلبة للاختبار، وذلك بعد التحقق من شروط تحليل التباين المصاحب، ومنها التوزيع الطبيعي وتجانس التباين، والجدول 4 يوضح تحليل التباين الأحادي المصاحب لفاعلية طريقة التدريس في اختبار الممارسات العلمية والهندسية.

الجدول (4): نتائج تحليل التباين الأحادي المصاحب لاختبار الممارسات العلمية والهندسية البعدي وفق طريقة التدريس بعد عزل تأثير الفروق القبلية في أداء الطلبة للاختبار.

مصدر التباين	مجموع المربعات	درجات الحرية	متوسط المربعات	قيمة "ف" المحسوبة	القيمة الاحتمالية	η^2	حجم الأثر*
القياس القبلي	5971.26	1	5971.26	228.38	0.000	0.652	
طريقة التدريس	1025.53	1	1025.53	39.22	0.000	0.243	كبير
الخطأ	3189.90	122	26.15				

*يكون حجم الأثر صغيراً إذا كان ($\eta \leq 0.06$) ومتوسطًا إذا كان ($0.06 < \eta^2 \leq 0.14$)، ويكون كبيرًا ($\eta^2 > 0.14$) (Cohen & Swerdlik, 2010)

يوضح الجدول 4 وجود فروق دالة إحصائيًا عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) بين متوسطي أداء مجموعتي الدراسة التجريبية والضابطة في الممارسات العلمية والهندسية إجمالًا لصالح المجموعة التجريبية، وبحجم أثرٍ كبير؛ وهو ما يدفع إلى رفض الفرضية الصفرية وتبنّي الفرضية البديلة المُوجَّهة لصالح المجموعة التجريبية. كما تم حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية وقيم المتوسطات المعدّلة في كل بُعد من أبعاد اختبار الممارسات العلمية والهندسية كما هو مبين في الجدول 5.

الجدول (5): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والمتوسطات المعدلة لدرجات طلبة المجموعتين التجريبية والضابطة في أبعاد الممارسات العلمية والهندسية

البعـــد	المجموعة	العدد	المتوسط الحسابي		الانحراف المعياري		المتوسط الحسابي	الخطأ
			القبلي	البعدي	القبلي	البعدي	المعدّل	المعياري
طرح الأسئلة وتحديد المشكلة	التجريبية	60	0.18	2.56	0.46	1.27	2.57	0.14
(الدرجة الكلية:4)	الضابطة	65	0.28	0.79	0.48	0.84	0.78	0.14
استخدام وتطوير النماذج	التجريبية	60	0.99	1.60	1.05	1.17	1.58	0.13
(الدرجة الكلية:5)	الضابطة	65	1.03	1.16	0.88	0.94	1.18	0.13
تخطيط وتنفيذ الاستقصاءات	التجريبية	60	1.05	1.73	0.30	1.17	1.73	0.15
(الدرجة الكلية:4)	الضابطة	65	1.02	1.41	1.13	1.20	1.41	0.15
تحليل وتفسير البيانات	التجريبية	60	1.90	2.83	1.31	1.54	2.73	0.17
(الدرجة الكلية:5)	الضابطة	65	1.65	2.04	1.11	1.40	2.17	0.16
استخدام الرياضيات والتفكير	التجريبية	60	1.35	2.04	1.10	1.31	1.95	0.15
الحاسوبي (الدرجة الكلية:4)	الضابطة	65	1.07	1.42	1.10	1.32	1.50	0.15
بناء التفسيرات وتصميم الحلول	التجريبية	60	1.44	2.67	1.10	1.47	2.63	0.17
(الدرجة الكلية:5)	الضابطة	65	1.34	2.02	1.13	1.39	2.06	0.16
الاندماج في الجدل القائم على الأدلة	التجريبية	60	0.84	2.02	0.91	1.14	1.99	0.14
(الدرجة الكلية:5)	الضابطة	65	0.86	1.39	0.97	1.22	1.39	0.14
الحصول على المعلومات وتقييمها	التجريبية	60	1.87	2.95	1.23	1.41	2.97	0.16
ومشاركتها (الدرجة الكلية:5)	الضابطة	65	1.99	2.45	1.38	1.38	2.43	0.16

تشير نتائج الجدول 5 إلى وجود فروق ظاهرية في المتوسطات المُعدّلة في أبعاد اختبار الممارسات العلمية والهندسية كلها بين المجموعتين التجريبية والضابطة وفقًا لطريقة التدريس، ولمعرفة إن كانت هذه الفروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) فقد أجري تحليل التباين المصاحب المتعدد لأثر طريقة التدريس على أبعاد اختبار الممارسات العلمية والهندسية باستخدام اختبار هوتلنج وكانت قيمته (0.966)عند مستوى دلالة (0.05)، مما يدل على وجود أثر لطريقة التدريس على بعد واحد على الأقل من أبعاد اختبار الممارسات العلمية والهندسية، ولمعرفة أي بعد من الأبعاد كان هناك أثر لطريقة التدريس فقد أجري اختبار تحليل التباين الأحادي المصاحب على كل بعد من أبعاد الممارسات العلمية والهندسية كما هو مبين في الجدول 6.

الجدول (6): نتائج تحليل التباين الأحادي المصاحب للفروق في كل بعد من أبعاد اختبار الممارسات العلمية والهندسية البعدي حسب طريقة التدريس بعد عزل تأثير الفروق القبلية في أداء الطلبة للاختبار.

مصدر التباين	البعـــد	مجموع المربعات	درجات الحرية	متوسط المربعات	قيمة "ف" المحسوبة	القيمة الاحتمالية	η^2	حجم الأثر*
القياس القبلي	طرح الأسئلة وتحديد المشكلة	1.92	1	1.92	1.65	0.20		
	استخدام وتطوير النماذج	5.84	1	5.84	5.42	0.02		
	تخطيط وتنفيذ الاستقصاءات	10.61	1	10.61	8.10	0.005		
	تحليل وتفسير البيانات	64.52	1	64.520	38.246	.000		
	استخدام الرياضيات	34.57	1	34.568	24.008	.000		
	بناء التفسيرات وتصميم الحلول	46.72	1	46.719	27.842	.000		
	الاندماج في الجدل القائم على الأدلة	11.83	1	11.828	9.154	.003		
	الحصول على المعلومات وتقييمها ومشاركتها	45.17	1	45.173	28.084	.000		
طريقة التدريس	طرح الأسئلة وتحديد المشكلة	97.42	1	97.42	84.04	0.000	0.410	كبير
	استخدام وتطوير النماذج	5.02	1	5.02	4.66	0.033	.037	صغير
	تخطيط وتنفيذ الاستقصاءات	3.02	1	3.02	2.31	0.131	-	-
	تحليل وتفسير البيانات	12.05	1	12.05	7.14	.009	0.055	صغير
	استخدام الرياضيات	6.03	1	6.03	4.19	.043	0.033	صغير
	بناء التفسيرات وتصميم الحلول	10.13	1	10.13	6.04	.015	0.047	صغير
	الاندماج في الجدل القائم على الأدلة	11.59	1	11.59	8.97	.003	0.068	متوسط
	الحصول على المعلومات وتقييمها ومشاركتها	9.33	1	9.33	5.80	.018	0.045	صغير
الخطأ	طرح الأسئلة وتحديد المشكلة	140.25	121	1.16				
	استخدام وتطوير النماذج	131.32	122	1.08				
	تخطيط وتنفيذ الاستقصاءات	158.66	121	1.31				
	تحليل وتفسير البيانات	205.81	122	1.69				
	استخدام الرياضيات	175.66	122	1.44				
	بناء التفسيرات وتصميم الحلول	204.72	122	1.68				
	الاندماج في الجدل القائم على الأدلة	157.64	122	1.29				
	الحصول على المعلومات وتقييمها ومشاركتها	196.24	122	1.61				

*يكون حجم الأثر صغيراً إذا كان ($\eta^2 \leq 0.06$) ومتوسطًا إذا كان ($0.06 < \eta^2 \leq 0.14$)، ويكون كبيراً ($\eta^2 > 0.14$) (Cohen & Swerdlik, 2010)

يتضح من الجدول 6 وجود فروق دالة إحصائيًا عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) بين متوسطي أداء مجموعتي الدراسة التجريبية والضابطة في أبعاد الممارسات العلمية والهندسية؛ وهي (طرح الأسئلة وتحديد المشكلة، واستخدام وتطوير النماذج، وتحليل البيانات وتفسيرها، واستخدام الرياضيات، والاندماج في الجدل القائم على الأدلة، وبناء التفسيرات وتصميم الحلول، والحصول على المعلومات وتقييمها ومشاركتها) لصالح المجموعة التجريبية يُعْزَى لطريقة التدريس؛ في حين لا تُوْجَدُ فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسطي أداء مجموعتي الدراسة التجريبية والضابطة عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) في ممارسة التخطيط للاستقصاءات وتنفيذها يُعْزَى لطريقة التدريس، كما تشير نتائج الجدول 6 إلى وجود حجم أثرٍ كبير في ممارسة طرح الأسئلة وتحديد المشكلات، بينما كان حجم الأثر متوسطًا في ممارسة الاندماج في الجدل القائم على الأدلة، في حين كان حجم الأثر صغيراً في خمس ممارسات، وهي: (استخدام وتطوير النماذج، وتحليل البيانات وتفسيرها، واستخدام الرياضيات، وبناء التفسيرات وتصميم الحلول، والحصول على المعلومات وتقييمها ومشاركتها)، وهو ما يدفع إلى رفض الفرضية الصفرية وتبنّي الفرضية البديلة المُوجّهة لصالح المجموعة التجريبية. ويَعْزُو الباحثون في الدراسة الحالية فاعلية تدريس الفيزياء القائم على التصميم الهندسي في تنمية الممارسات العلمية والهندسية إجمالًا إلى أنَّ المعرفة

والمهارات (الممارسات) المرتبطة بالتصميم الهندسي قد تشكَّلت من خلال:

1) المعرفة المفاهيمية: هي تلك المعرفة التي تتحدد عنِ المفاهيم في وحدات المحتوى المُدَرَّس المرتبطة بتِقنيات مُحدَّدة بشأن المبادئ العامة، وتستلزم تلك المعرفة فهمَ المفاهيم الواسعة والمعرفة بتطبيقاتها كالمبادئ العلمية والصيغ الرياضية وقوانينها (Leppävirta et al., 2011)
2) المعرفة الإجرائية: هي المعرفة الضرورية اللازمة للتطبيق للمعرفة المفاهيمية، وتتضمن مهارات التفكير ذات الصلة بالتصميم الهندسي؛ كحل المشكلات، والنمذجة، والتحليل التنبؤي، والتحسين والتطوير للأفكار، وتُعَدُّ ممارساتٍ حاسمةً للتخطيط وتنفيذ التصميم الهندسي (Leppävirta et al., 2011).

تُعَدُّ أنشطة التصميم الهندسي فرصة للتكامل بين هاتين المعرفتين، ويزداد التكامل بتحديد المشكلات بدقة والبحث عن حلول لها عبر سلسلة مترابطة من خطوات التصميم الهندسي (Beck-Winchatz et al., 2013)، وتتَّسِق هذه النتيجة مع مبادئ النظرية البنائية؛ التي تؤكد أنَّ اندماج الطلبة في التَّعلُّم المُستنِد إلى الأنشطة والتَّعلُّم النَّشط يَحدُثان ضمن سياق تفاعلي اجتماعي (Piaget, 1983)، وإنَّ الفرد يبني كِيانَهُ المعرفي أم يُعيد تشكيلَهُ وفق الخبرات التي يَمُرُّ بها، وإنَّ تلك الخبرات يمكن أَنْ تُكتسَب من خلال العمل التجريبي والتَّعلُّم النَّشِط (Bruner, 1974)، وإنَّ اندماج الطلبة في أنشطة التصميم الهندسي يُعَزِّزُ استيعاب المفاهيم العلمية وتمنحهم الفرصة لتطبيقها في مواقف حياتية مختلفة، ويوفر التصميم الهندسي السياق الذي يختبر فيه الطلبة تطوُّرهم المعرفي ويتيح لهم فرصة توظيفها في المشكلات الحديثة، ويمكن القول كذلك: إنَّ الأنشطة والفعاليات في المحتوى المُدَرَّس من خلال التصميم الهندسي أتاحت للطلبة فرصة المشاركة الجماعية في إنتاج مجموعة مُنتَجَات ونماذج مادية مختلفة ذات معايير مُتَّفَق عليها للمشكلة نفسها؛ وهو ما يُعَزِّزُ توظيف الممارسات العلمية والهندسية عمومًا. والآتي تفصيلُ لتفسيرات نُمُو الممارسات العلمية والهندسية في الدراسة الحالية:

أولًا/ طرح الأسئلة وتحديد المشكلة

تشير نتائج الجدول 6 إلى وجود فروق دالة إحصائيًا عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) بين متوسِّطَي المجموعتين التجريبية والضابطة في اختبار الممارسات العلمية والهندسية في ممارسة طرح الأسئلة وتحديد المشكلة بحجم أثرٍ كبير لصالح المجموعة التجريبية يُعْزَى لطريقة التدريس، ويمكن أَنْ يُفسَّر هذا التباين في الأداء بين المجموعتين في أنَّ اشتغال الطلبة بأنشطة قائمة إلى التصميم الهندسي يُطوِّر لديهم فهمًا عميقًا للمشكلة، ويدفع الطلبة إلى اكتساب قدرات مَرِنَة على حل المشكلات، وإنَّ أكثر ما يُجيدُهُ الطلبة الذين يطبقون مبادئ التصميم الهندسي هو تحديد المشكلة وتحليل جدوى الأفكار التي تقوم إليها المشكلات الهندسية (Atman et al., 2007)، ويُعَزِّزُ التصميم الهندسي قدرة الطلبة على فَكِّ وتحليل المشكلة إلى أجزائها وفهم الترابط بين عناصرها (NRC, 2012)، ويسهم التصميم الهندسي كذلك في التنبؤ بالمشكلة وتحليلها (Fan & Yu, 2017)؛ وهو ما افتقدَهُ الطلبة في المجموعة الضابطة، إذ أن قيام طلبة المجموعة التجريبية بالرسم التخطيطي لنموذج الحل، وتنظيم فهمِهم للمشكلة وعناصرها وأجزائها قد أسهم في تعزيز قدراتهم على تحديد تلك المشكلة، وقد عزَّزت تلك الرسومات التخطيطية كذلك قدرات الطلبة على توظيف التمثيلات وتوظيفها في فهمِ المشكلة الهندسية (Tversky, & Suwa, 2009)، وتتفق تلك النتائج مع ما وَجَدَهُ الباحثون في الدراسة الحالية خلال متابعتهم لتطبيق الدراسة الحالية؛ فقدرة الطلبة على تحديد المشكلة والتعبير عنها من خلال الأسئلة العلمية يعود لقدرات الطلبة على اكتشاف مصدر المشكلة، ولاحظ الباحثون تحسن تلك المهارة تدريجًا مع اكتساب المزيد من الخبرات بالدروس القائمة إلى التصميم الهندسي.

ثانيًا/ استخدام وتطوير النماذج

الشكل (3): ناتج التصور العقلي لتصميم مظلة

تشير النتائج بالجدول 6 إلى وجود فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) بين متوسِّطَي المجموعتين التجريبية والضابطة في اختبار الممارسات العلمية والهندسية بممارسة استخدام وتطوير النماذج لصالح المجموعة التجريبية يُعْزَى لطريقة التدريس بحجم أثرٍ صغير، ويمكن تفسير هذه الفروق انطلاقًا من أنَّ التصميم الهندسي يُعَزِّزُ تطبيق المبادئ الهندسية على سيناريوهات شبيهة بالعالم الحقيقي ويُجَسِّر الفجوة بين مبادئ التصميم الهندسي وتطبيقاتها، وهو بذلك يُحفِّزُ الطلبة لتوظيف النماذج الفيزيائية في تصوراتهم عن تلك المبادئ (Schwarz et al., 2017)، ويُشجِّع التصميم الهندسي لبناء النماذج بأنواعها لتفسير الحلول للمشكلة الهندسية؛ وبذلك تنمو هذه الملكة مع الطلبة بتكرارها (Schwarz et al., 2009)، ولأنَّ أنشطة التصميم الهندسي تستند بشدة إلى المعرفة المفاهيمية الميكانيكية (Mechanical Conceptual Knowledge) وهو ما يؤدي دورًا جوهريًا في التنبؤ بالتصميم العام لنموذج الحل المقترح (Fan & Yu, 2017)؛ وهذا ما تؤكده ملحوظات الباحثين في الدراسة الحالية، فقد لَجَأَ الطلبة إلى محاكاة التصورات العقلية عن شكل النموذج المقترح لتفسير المشكلة وطرائق حلها بأبعادها المختلفة وفقًا لما هو الحال في درس تصميم مظلة (الشكل 3) قادرة على حملِ لعبة أطفال وإيصالها للدور الأرضي من مبنى المدرسة خلال مدة زمنية لا تتجاوز 6 ثوان.

ثالثًا/ تخطيط وتنفيذ الاستقصاءات

يشير الجدول 6 إلى عدم وجود فروق دالة إحصائيًا بين متوسِّطَي المجموعتين التجريبية والضابطة في اختبار الممارسات العلمية والهندسية في ممارسة التخطيط وتنفيذ الاستقصاءات يُعْزَى لطريقة التدريس، ويَعْزُو الباحثون تلك النتيجة إلى أنَّ منهج الفيزياء للصف العاشر قائم أصلًا على الاستقصاء في تقديم واكتساب المعرفة والتحصيل العلمي، وهو بذلك يوفر فرصاً مُتَساوية لكلتا المجموعتين، ولا يُتوقَّع أَنْ تختلف المجموعتان في مهارات الاستقصاء باختلاف طريقة التدريس؛ فتُوفِّر الأنشطة العملية فُرَصًا كميةً ونوعيةً في مهارات الاستقصاء الفرعية كاختيار الأدوات المناسبة لجمع البيانات، ووضع تنبؤات قابلة للعمل الاستقصائي تُعبِّر عنِ الهدف من الاستقصاء، والقيام بالاستقصاءات عملًا من خلال توجيه وإشراف المعلم.

رابعًا/ تحليل وتفسير البيانات

تَدُلُّ النتائج المنشورة في الجدول 6 إلى وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسِّطَي المجموعتين التجريبية والضابطة في اختبار الممارسات العلمية والهندسية في ممارسة تحليل وتفسير البيانات لصالح المجموعة التجريبية يُعْزَى لطريقة التدريس بحجم أثرٍ صغير؛ فيمكن تفسير تلك النتيجة إلى أنَّ المجموعة التجريبية حظيت بفرص عديدة من خلال أنشطة التصميم الهندسي على تنمية مهارات تحليل البيانات المُجَمَّعَة تجريبيًا ابتداءً من تحديد المشكلة، واقتراح مجموعة حلول للمشكلة، وتحليل النماذج المختلفة وتقييمها، وليس انتهاءً بمشاركة تلك البيانات مع المجموعات الأخرى، وهو ما لم تَحْظَ به المجموعة الضابطة، وعندما حَظِيَ طلبة المجموعة التجريبية بتلك الفرص فهذا يُدلُ على أنَّ التفاعل بين المعرفة والخبرات السابقة من جهة والتفكير القائم إلى البيانات من جهة أخرى كان فاعلًا (Masnick & Morris, 2022)؛ وهو ما يجعل تلك البيانات ذات معنى، وقد أشارت نظرية اوزوبل إلى ذلك عبر مُسلَّمات وفرضيات في كثير من دراساتِه؛ التي تتلخص في أنَّ أفكار الفرد السابقة تعمل أساسًا لحصول التَّعلُّم، وتتفاعل فيها المعلومات الجديدة مع الخبرات السابقة بما يسمح لها بالاندماج في البنية المعرفية للطالب وتكتسب صفة المعنى وتتكامل معها (Ausubel, 1960)؛ فيتطلب ذلك من القائمين على التعليم بتوفير حلقات تعلُّم تدريس منظمة ويتضمنها عرضُ تدريجي للمعلومات الجديدة، واستخدام الدعامات المعرفية لإجراء اتصال مع المعرفة السابقة، ويتطلب من المعلم تقديم مواد تعليمية ذات صلة واستعداد للتَّعلُّم من جهة الطالب؛ لِيَسْهُلَ استيعاب تلك المعارف في بنيته المعرفية، وينظر الباحثون في الدراسة الحالية إلى أنَّ دروس التصميم الهندسي التي قدمت للمجموعة التجريبية أنَّها حلقات تعلُّم منظمة تتسلسل فيها المعلومات لِيَسْهُلَ اندماجها في البنية المعرفية للطالب؛ وهو ما مَيَّزَهُم عن نظرائهم في المجموعة الضابطة.

يؤدي التحليل التنبؤي المُستنِد إلى ممارسة تحليل البيانات دورًا مُهِمًّا في عملية اختيار الحل الأنسب من بين حلول المشكلة الهندسية، ويُعَدُّ ذلك تحسينًا لتعديل نتائج حل المشكلة وإعادة تصميمها من جديد لإيجاد أنسب الحلول انطلاقًا من التفسير الصحيح للبيانات بعد تحليلها (Asunda & Hill, 2007).

خامسًا/ استخدام الرياضيات

يشير الجدول 6 إلى وجود فروق دالة إحصائيًا بين متوسِّطَي المجموعتين التجريبية والضابطة في اختبار الممارسات العلمية والهندسية وممارسة استخدام الرياضيات لصالح المجموعة التجريبية يُعْزَى لطريقة التدريس بحجم أثرٍ صغير. يَعْزُو الباحثون هذه النتيجة إلى أنَّ توظيف الطلبة لأنشطة التصميم الهندسي أسهمَ في رفع قدرات الطلبة على اختيار التمثيلات الرياضية المناسبة للمشكلة الهندسية، وقيام الطلبة برفع مستوى الاتصال مع تلك التمثيلات وإيجاد رابط بين نمذجة الرياضيات بتمثيلاتها المختلفة وحلول المشكلة الهندسية (Driver & Powell, 2017; Larnell et al., 2016)، وإنَّ اندماج الطلبة في أنشطة التصميم الهندسي قد رفع قيمة الربط ذي المعنى بين توظيف الرياضيات ومشكلات العالم الحقيقي القائمة إليها؛ وهو ما وَلَّدَ لديهم الإحساس بقيمة الرياضيات وإبعاد القلق بعدم القدرة على استخدامها في الأنشطة التدريسية (Ramirez et al., 2018; Thomas & Kavanaugh, 2018)، وما يدعم هذه الحقائق ما شاهدَهُ الباحثون من قدرة للطلبة في المجموعة التجريبية على توظيف التمثيلات والقوانين الرياضية المناسبة في أنشطة التصميم الهندسي كالقياس والربط الرياضي بين القوانين، فمثالًا في حساب مساحة المظلة (شكل 3) التي تُحقِّق معايير تصميمها استخدم الطلبة قوانين المساحة والحجوم وتحويلاتها وتحويل البيانات بالجداول إلى تمثيلات رياضية وقوانين تخدم حل المشكلة الهندسية، فضلًا عنِ القيام بالتنبؤات الكمية لدعم التفسيرات الرياضية؛ وهو ما يُعَزِّزُ القدرات الرياضية، واستخدم الطلبة الرياضيات في التعبير عن المتغيرات الفيزيائية وعلاقاتها بحل المشكلة وفقًا لِمَا حدثَ في درس دبوس الحائط المدرسي، فقد تطلب توظيف مهارات رياضية خاصة لإنتاج دبوس بمواصفات ومعايير متفق عليها، كاستدعاء قانون الضغط (من خلال حساب القوة والمساحة)، والقدرة على إجراء المقارنات الرياضية وربطها بالمفاهيم الفيزيائية.

سادسًا/ الاندماج في الجدل القائم على الأدلة

يشير الجدول 6 إلى فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسِّطَي المجموعتين التجريبية والضابطة في اختبار الممارسات العلمية والهندسية بممارسة الاندماج في الجدل القائم على الأدلة، بحجم أثرٍ متوسط لصالح المجموعة التجريبية يُعْزَى لطريقة التدريس، ويمكن تفسير ذلك من خلال أنَّ اندماج الطلبة في أنشطة التصميم الهندسي يُسهم في إيجاد مستوى تفاوض اجتماعي عالٍ يستثمر في النقاشات والمحاججة ضمن سياقِه الطبيعي عبر دمج المعرفة بالخبرة الاستكشافية وتكاملهما معًا (Hsu et al., 2019)؛ وهو ما أشار إليه برونر في الكثير من دراساتِه في التَّعلُّم بالاستكشاف (Bruner, 2009)، وكذلك خلال الاشتغال بأنشطة التصميم الهندسية التي تتَّسم بالتجريب، وتُتاح للطلبة فرصة مشاركة أفكارهم ويلخِّصون عبرها عن فهمهم لمنتوجاتهم المادية الناتجة عن حل المشكلات الهندسية في

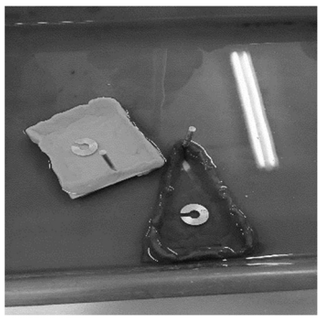
التصميم الهندسي؛ وهو ما يوفر وجهات نظر مختلفة تُستعرَض من خلال اندماجهم في الحجج والجدل العلمي مستندين للمشكلة الهندسية ذاتها (Hsu et al., 2019).

سابعًا/ بناء التفسيرات وتصميم الحلول

يشير الجدول 6 إلى فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسِّطَي المجموعتين التجريبية والضابطة في اختبار الممارسات العلمية والهندسية بممارسة بناء التفسيرات وتصميم الحلول بحجم أثرٍ صغير لصالح المجموعة التجريبية يُعْزَى لطريقة التدريس، وتُعْزَى تلك النتيجة إلى أنَّ الطلبة في المجموعة التجريبية يستطيعون انتقاء المعرفة العلمية السابقة التي تتفق مع المشكلة الهندسية، إضافةً لِنُمُو مفهوم "الكفاءة الهندسية" لديهم، فَهُمَا يُعَدَّانِ أمرين حاسمين في اكتساب الطلبة لقدرة تصميم الحلول الهندسية (Zhang et al., 2019)، وعندما تتَّسم تصاميم الطلبة للحلول الهندسية بالمنهجية الواضحة، ويقضي فيه الطلبة وقتًا كافيًا؛ فإنَّ ذلك مدعاة أَنْ ينتهي تصميمهم للحلول بنتائج مُرْضِية مقبولة، وهو ما يتقاطع مع مشاهدات الباحثين في الدراسة الحالية؛ ففي درس تصميم نظام كهربائي باستخدام المقاومات الضوئية أو الحرارية لحل مشكلة الانقطاع الفجائي للكهرباء عن مخزن مواد غذائية صمَّمت 4 مجموعات طلابية من أصل 6 النظام الكهربائي باستخدام المقاومة الحرارية وليس الضوئية اعتماداً إلى تحليلهم لبيئة المخزن وظروف التخزين فيه، وهو ما يَدُلُّ على توظيف الطلبة للمعرفة العلمية المُسبَقة بالإضافة لقضاء وقت طويل نسبيًا لتصميم الحل استنادًا للمعايير.

ثامنًا/ ممارسة الحصول على المعلومات وتقييمها ومشاركتها

يشير الجدول 6 إلى ظهور فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسِّطَي المجموعتين التجريبية والضابطة في مقياس الممارسات العلمية والهندسية بممارسة الحصول على المعلومات وتقييمها ومشاركتها بحجم أثرٍ صغير لصالح المجموعة التجريبية يُعْزَى لطريقة التدريس، ويمكن تفسير هذه النتيجة استنادًا إلى أنَّ هذه الممارسة تتطلب فهمًا عميقًا لمحتوى النشاط الهندسي بالتصميم الهندسي، فضلًا عن اكتساب الطلبة للتأصيل في اللغة المنطوقة المكتوبة (Swanson et al., 2013) المُستخدَمة في التواصل مع قرنائهم الطلبة في المجموعة ذاتها أو مع المجموعات الأخرى، وهو ما يتوازى مع الأنشطة القائمة على التصميم الهندسي في الدراسة الحالية؛ فمرحلة المشاركة وتبادل الأفكار مع الآخرين كانت واحدة من الخطوات الرئيسة للتصميم الهندسي المُعتمَد في الدراسة الحالية، والتي من خلالها تدرُّب الطلبة على مشاركة الجداول والرسوم البيانية والتخطيطية وكذلك اللغة الرياضية كالتمثيلات في إثبات وجهات نظرهم وتقييم وجهات نظر الآخرين في المنتوجات الهندسية ذاتها؛ ففي درس صناعة قارب يتحمل ثِقَلًا بمقدار 200 جرامًا (الشكل 4) كانتِ النقاشات اللغوية تتمحور في: كيف يمكن توزيع الثقل على سطح القارب بطريقة تجعله يتزن ويقاوم الغرق، وقد تنوعت مصادر المعلومات والبيانات لدى الطلبة بين المعلم والباحث ومواقع إنترنت.



الشكل (4): تصميم قوارب الاتزان

التوصيات

توصي الدراسة الحالية بالآتي مع نهاية استعراض النتائج:

1. اعتماد تدريس الفيزياء بالتصميم الهندسي، وتكيِّيف المحتوى العلمي لِيَتَّسِقَ مع أهداف ومخرجات هندسة المناهج ما قبل الجامعي.
2. القيام بدمج الممارسات العلمية والهندسية في تدريس مناهج الفيزياء بكثافة، وكذلك في أدوات تقييم الطلبة.

المقترحات

1. تصميم دراسات لمتغيرات تابعة أخرى كمهارات حل المشكلات، والتفكير الإبداعي، ومهارات التصميم الهندسي، والعادات العقلية الهندسية، والهُوِيَّة الهندسية، والشغف الأكاديمي، ومهارات التَّعلُّم المُنظَّم ذاتيًا.
2. المقارنة بين فاعلية التصميم الهندسي في تدريس العلوم وأدوات تدريسية أخرى كالتَّعلُّم القائم على المشكلات، أو القائم على مهارات ريادة الأعمال، أو الاقتصاد المعرفي الرقمي.
3. تصميم برنامج تدريبي قائم على التصميم الهندسي يستهدف المعلمين، ويتم تقييم البرنامج بأدوات متعددة.
4. دراسة نوعية تبحث في الصعوبات التي تواجه المعلمين في تطبيقهم للتصميم الهندسي بِعَدِّهِ أداةً للتدريس.

References

Abdurrahman, A., Maulina, H., Nurulsari, N., Sukamto, I., Umam, A.N., & Mulyana, K.M. (2023). Impacts of integrating engineering design process into STEM makerspace on renewable energy unit to foster students' system thinking skills. *Heliyon*, *9*(4). e15100. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15100

Alahmad, N. & Albaqami, M. (2017). An analysis of the physics textbook content within the next generation science standard (NGSS). *Jordan Journal of Educational Sciences, 13*(3), 309-326. https://jjes.yu.edu.jo/index.php/jjes/article/view/696

Al-Omary, W. (2015). The reality of using co-curricular model-based teaching strategies activities by the teachers of physics with its practice specifications. *Jordan Journal of Educational Sciences*, *11*(4), 511–523. Retrieved from https://jjes.yu.edu.jo/index.php/jjes/article/view/633

Aranda, M.L., Lie, R., & Guzey, S. (2020). Productive thinking in middle school science students' design conversations in a design-based engineering challenge. *International Journal of Technology and Design Education, 30*, 67–81. https://doi.org/10.1007/s10798-019-09498-5

Arık, M. & Topçu, M.S. (2024). Development and implementation of engineering-based aircraft unit: Middle school students' engineering design process skills. *International Journal of Technology and Design Education*, *34*(2), 603-628. https://doi.org/10.1007/s10798-023-09829-7

Asunda, P.A. & Hill, R.B. (2007). Critical features of engineering design in technology education. *Journal of Industrial Teacher Education, 44*(1), 25–48.

Atman, C.J., Adams, R.S., Cardella, M.E., Turns, J., Mosborg, S., & Saleem, J. (2007). Engineering design processes: A comparison of students and expert practitioners. *Journal of Engineering Education*, *96*(4), 359-379. https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2007.tb00945.x

Ausubel, D.P. (1960). The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. *Journal of Educational Psychology, 51*(5), 267–272. https://doi.org/10.1037/h0046669

Batayneh, S. & Al-Omary, A. (2024). The effectiveness of physics teaching using the flipped classroom strategy in developing twenty-first century skills among basic tenth grade students. *Jordan Journal of Educational Sciences*, *20*(2), 359–373. https://doi.org/10.47015/20.2.8

Beck-Winchatz, B., Beck, K., & Medintz, T. (2013). *High-Altitude Ballooning in Middle School: Focusing on Science and Engineering Practices* [Paper presentation]. Academic High-Altitude Conference. https://doi.org/10.31274/ahac.5590

Belanger, E., Moller, J., & She, J. (2022). Challenges to Engineering Design Teamwork in a Remote Learning Environment. *Education Sciences*, *12*(11), 741. https://doi.org/10.3390/educsci12110741

Brand, B.R. (2020). Integrating science and engineering practices: outcomes from a collaborative professional development. *International Journal of STEM Education* 7, 1-13 https://doi.org/10.1186/s40594-020-00210-x

Bruner, J. (1974). *Toward a theory of instruction*. Harvard University Press.

Bruner, J.S. (2009). *Actual minds, possible worlds*. Harvard University Press.

Bybee, R.W. (2011). Scientific and engineering practices in k-12 classrooms: Understanding a framework for k- 12 science education. handbook of conversation design for instructional applications. *Science Scop*, *35(4)*, 41–82.

Chen, Y.C., Wu, H.K., & Hsin, C.T. (2024). A systematic review of assessments for young children's scientific and engineering practices. *Research in Science & Technological Education*, *42*(3), 658-677. https://doi.org/10.1080/02635143.2022.2121693

Cohen, R.J. & Swerdlik, M.E. (2010). *Psychological testing and assessment: An introduction to tests and measurement*. McGraw Hill.

Driver, M.K. & Powell, S.R. (2017). Culturally and linguistically responsive schema intervention: improving word problem solving for english language learners with mathematics difficulty. *Learning Disability Quarterly, 40*(1), 41-53. https://doi.org/10.1177/0731948716646730

Duong, X.Q., Nguyen, N.H., Nguyen, M.T., & Thao-Do, T.P. (2022). Applying STEM engineering design process through designing and making of electrostatic painting equipment in two rural schools in vietnam. *Journal Pendidikan IPA Indonesia*, *11*(1), 1–10. https://doi.org/10.15294/jpii.v11i1.31004

Duschl, R.A. & Bybee, R.W. (2014). Planning and carrying out investigations: An entry to learning and to teacher professional development around NGSS science and engineering practices. *International Journal of STEM Education*, *1*(1), 1-9. https://doi.org/10.1186/s40594-014-0012-6

English, L.D. & King, D. (2019). STEM integration in sixth grade: Designing and constructing paper bridges. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *17*, 863–884 https://doi.org/10.1007/s10763-018-9912-0

Fan, S.C. & Yu, K.C. (2017). How an integrative STEM curriculum can benefit students in engineering design practices. *International Journal of Technology and Design Education*, *27*, 107-129. https://doi.org/10.1007/s10798-015-9328-x

Freeman, S., Eddy, S.L., McDonough, M., Smith, M.K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M.P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(23), 8410-8415. https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111

Guzey, S.S., Ring-Whalen, E.A., Harwell, M., & Peralta, Y. (2019). Life STEM: A case study of life science learning through engineering design. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *17*, 23-42. https://doi.org/10.1007/s10763-017-9860-0

Haik, Y. & Shahin, T. (2010). *Engineering Design Process*. Stamford, USA: Cengage Learning.

Hayes, A.F. & Krippendorff, K. (2007). Answering the call for a standard reliability measure for coding data. *Communication Methods and Measures*, *1*(1), 77–89. https://doi.org/10.1080/19312450709336664

Hong, O. (2021). STEM/STEAM education research in South Korea. In T. W. Teo, A.-L. Tan, & P. Teng (Eds.), *STEM education from Asia trends and perspectives* (pp. 211-227). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003099888-11

Hsu, P.S., Lee, E.M., Ginting, S., Smith, T.J., & Kraft, C. (2019). A case study exploring non-dominant youths' attitudes toward science through making a scientific argumentation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *17*, 185-207. https://doi.org/10.1007/s10763-019-09997-w

Kim, H. (2015). Effects of science and engineering practices on science achievement and attitudes of diverse students including ELLs. *NABE Journal of Research and Practice*, *6*(1), 231–253. https://doi.org/10.1080/26390043.2015.12067789

Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2014). Research on educational standards in German science education - towards a model of student competencies. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *10*(4), 257–269. https://doi.org/10.12973/eurasia.2014.1081a

Lachapelle, B.C.P., Sargianis, K., & Cunningham, C.M. (2013). Engineer it, learn it: Science and engineering practices in action. *Science and Children*, *51*(3), 70–77.

Lachapelle, C.P., Cunningham, C.M., Jocz, J., Kay, A.E., Phadnis, P., Wertheimer, J., & Arteaga, R. (2011). *Engineering is elementary: An evaluation of years 4 through 6 field testing*. Boston, MA: Museum of Science.

Larnell, G.V., Bullock, E.C., & Jett, C.C. (2016). Rethinking teaching and learning mathematics for social justice from a critical race perspective. *Journal of Education*, *196*(1), 19–29. https://doi.org/10.1177/002205741619600104

Leonard, M.J., Kalinowski, S.T., & Andrews, T.C. (2014). Misconceptions yesterday, today, and tomorrow. *CBE Life Sciences Education*, *13*(2), 179–186. https://doi.org/10.1187/cbe.13-12-0244

Leppävirta, J., Kettunen, H., & Sihvola, A. (2011). Complex problem exercises in developing engineering students' conceptual and procedural knowledge of electromagnetics. *IEEE Transactions on Education, 54*(1), 63–66. https://doi.org/10.1109/TE.2010.2043531

Mangold, J. & Robinson, S. (2013). *The Engineering Design Process as A Problem Solving and Learning Tool In K-12 Classrooms* [Paper presentation]. ASEE Annual Conference & Exposition, Atlanta, Georgia, USA.

Masnick A.M. & Morris B.J. (2022). A model of scientific data reasoning. *Education Sciences.*, *12*(2), 1–19. https://doi.org/10.3390/educsci12020071

Mesutoglu, C. & Baran, E. (2020). Examining the development of middle school science teachers' understanding of engineering design process. *International Journal of Science and Mathematics Education, 18*(8), 1509–1529. https://doi.org/10.1007/s10763-019-10041-0

Miranda, R. & Hermann, R. (2013). Integrating science and engineering practices in an inquiry-based lesson on wind-powered cars. *Science Scope*, *36*(6), 54–60.

Muslihah, F., Winarno, N., Fajarwati, A., & Sujito, S. (2024). Enhancing students' nature of science using stem engineering design process in elements, compounds, and mixtures topic. *Didaktika: Journal Kependidikan*, *13*(2), 1479-1498. https://doi.org/10.58230/27454312.567

Nadelson, L.S., Pfiester, J., Callahan, J., & Pyke, P. (2015). Who is doing the engineering, the student, or the teacher? The development and use of a rubric to categorize level of design for the elementary classroom. *Journal of Technology Education*, *26*(2), 22–45. https://doi.org/10.21061/jte.v26i2.a.2

National Academy of Engineering [NAE] and National Research Council [NRC]. (2009). *Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects.* National Academies Press. https://doi.org/10.17226/12635

National Research Council. (2009). *Engineering in K-12 education: Understanding the Status and Improving the Prospects.* National Academies Press. https://doi.org/10.17226/12635

National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press. https://doi.org/10.17226/13165

NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For States, By States.* National Academies Press. https://doi.org/10.17226/18290

Papakonstantinou, M. & Skoumios, M. (2021). Science and engineering practices in the context of Greek middle school physics textbooks about forces and motion. *Journal of Technology and Science Education*, *11*(2), 457–473. https://doi.org/10.3926/jotse.1286

Piaget, J. (1983). *Psychogenesis and the history of science*. New York: Columbia University Press

Putra, P.D.A., Ahmad, N., Budiarso, A.S., Indrawati, & Lestari, E.A. (2023). Development of argumentation tools based on the engineering design process to improve students' argumentation skills. *The New Educational Review*, *71*, 114-125. https://doi.org/ 10.15804/tner.2023.71.1.09

Putra, P.D.A., Sulaeman, N.F., & Wahyuni, S. (2021). Exploring students' critical thinking skills using the engineering design process in a physics classroom. *The Asia-Pacific Education Researcher*, *32*(1), 141-149. https://doi.org/10.1007/s40299-021-00640-3

Rahmanto, T. & Wilujeng, I. (2024). Development of student worksheets using the engineering design process to practice physics problem-solving skills for vocational school students. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, *10*(2), 545-556. https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i2.4969

Ramirez, G., Shaw, S.T., & Maloney, E.A. (2018). Math anxiety: Past research, promising interventions, and a new interpretation framework. *Educational Psychologist*, *53*(3), 145–164. https://doi.org/10.1080/00461520.2018.1447384

Reiser, B.J., Berland, L.K., & Kenyon, L. (2012). Engaging students in scientific practices of explanation and argumentation. *The Science Teacher*, *79*(4), 34-40.

Roehrig, G.H., Moore, T.J., Wang, H.H., & Park, M.S. (2012). Is adding the E enough? Investigating the impact of K-12 engineering standards on the implementation of STEM integration. *School science and mathematics*, *112*(1), 31-44. https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00112.x

Safitri, W., Suyanto, S., & Prasetya, W.A. (2024). The influence of the stem-based engineering design process model on high school students' creative and critical thinking abilities. *Journal Penelitian Pendidikan IPA*, *10*(2), 662-673. 10.29303/jppipa.v10i2.4765

Sawaftah, W. & Rudwan, M. (2014). The effect of teaching physics by using the 5e learning cycle based on the learning management system "blackboard" and interactive multimedia program on the achievement of engineering students at king saud university. *Jordan Journal of Educational Sciences*, *10*(2), 161–176. Retrieved from https://jjes.yu.edu.jo/index.php/jjes/article/view/573

Schwarz, C.V., Passmore, C., & Reiser, B.J. (2017). *Helping students make sense of the world using next generation science and engineering practices*. NSTA Press.

Schwarz, C.V., Reiser, B.J., Davis, E.A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(6), 632-654. https://doi.org/10.1002/tea.20311

Smith, S., Talley, K., Ortiz, A., & Sriraman, V. (2021). You Want Me to Teach Engineering? Impacts of recurring experiences on k-12 teachers' engineering design self-efficacy, familiarity with engineering, and confidence to teach with design-based learning pedagogy. *Journal of Pre-College Engineering Education Research, 11*(1), 26–41. https://doi.org/10.7771/2157-9288.1241

Swanson, L.H., Bianchini, J.A., & Lee, J.S. (2013). Engaging in argument and communicating information: A case study of english language learners and their science teacher in an urban high school. *Journal of Research in Science Teaching*, *51*(1), 31-64. https://doi.org/10.1002/tea.21124

Syukri, M., Halim, L., Mohtar, L.E., & Soewarno, S. (2018). The impact of engineering design process in teaching and learning to enhance students' science problem-solving skills. *Journal Pendidikan IPA Indonesia*, *7*(1), 66-75. https://doi.org/10.15294/jpii.v7i1.12297

Taber, K.S. (2018). The use of Cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education. *Research in Science Education, 48*, 1273–1296. https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2

Thomas, J. & Kavanaugh, T. (2018). Project Connect: Creating a STEM community partnership. *Children's Technology & Engineering*, *22*(3), 7–11.

Tversky, B. & Suwa, M. (2009). Thinking with sketches. In A. B. Markman & K. L. Wood (Eds.), *Tools for innovation: The science behind the practical methods that drive new ideas* (pp. 75–84). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195381634.003.0004

Van horne, K.A., Penuel, W.R., & Bell, P. (2016). Integrating science practices into assessment tasks. *STEM Teaching Tools*, *30*(2), 1-16.

Wan, Z.H., So, W.M.W., & Zhan, Y. (2022). Developing and validating a scale of STEM project-based learning experience. *Research in Science Education*, *52*(2), 599–615. https://doi.org/10.1007/s11165-020-09965-3

Xi, F., Ma, H., Pi, Z., Dong, Y., Sun, J., & Jin, R. (2024). Integrating the engineering design process into the conceive-design-implement-operate model for promoting high school students' STEM competence. *Educational technology research and development*, *72*, 2267-2295. https://doi.org/10.1007/s11423-024-10377-7

Zhang, N., Biswas, G., Chiu, J.L., & McElhaney, K.W. (2019). *Analyzing students' design solutions in an NGSS-aligned earth sciences curriculum* [paper presentation]. 20th international conference in artificial intelligence in education, Chicago, IL, USA. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23204-7_44