نموذج مقترح لتدريس الفيزياء في المرحلة الثانوية قائم على التصميم الهندسي الموجه بالجدل العلمي

أ. مشاعل بنت عبدالله الدوسري

مرشح دكتوراه – قسم المناهج وطرق التدريس
كلية التربية – جامعة الملك سعود

أ.د. فهد بن سليمان الشايع

أستاذ المناهج وتعليم العلوم- قسم المناهج وطرق التدريس
كلية التربية – جامعة الملك سعود

نموذج مقترح لتدريس الفيزياء في المرحلة الثانوية قائم على التصميم الهندسي الموجه بالجدل العلمي

المستخلص:

هدف البحث إلى تصميم نموذج لتدريس الفيزياء في المرحلة الثانوية قائم على التصميم الهندسي الموجه بالجدل العلمي، واستخدم المنهج النوعي، وتحديدًا دراسة الحالة. وبني النموذج وطور على مرحلتين، ففي المرحلة الأولى؛ طور النموذج في ضوء تحليل نوعي للمقابلات شبه المقننة مع (١٧) خبيرا؛ (٥) من ذوي الخبرة البحثية والأكاديمية و(٦) من ذوي الخبرة الميدانية و(٦) من ذوي الخبرة في المراكز العلمية لتعليم ستيم (STEM). وفي المرحلة الثانية؛ طُور النموذج من خلال تطبيقه على (٣٥) طالبة يدرسن مقرر الفيزياء(٣) بالثانوية الخامسة بالرياض، خلال العام الدراسي (٢٠٢٢/٢٠٢١)، وذلك في ضوء التحليل النوعي للمقابلات شبه المقننة مع (١٠) طالبات، بالإضافة لتحليل الحوارات الصفية، وتقارير الطالبات. وتوصلت نتائج البحث أن النموذج المقترح يرتكز في صورته النهائية على خمسة مبادئ أساسية، هي: يستند على التعلم القائم على التصميم، ويُظهر التصميم كممارسة هندسية، ويؤكد على دور الطلاب في اتخاذ القرار أثناء عملية التصميم الهندسي، ويُعزز الفعّالية الذاتية في التصميم الهندسي لدى الطلاب، وينمي عادات العقل الهندسية. ويتكون النموذج من ثلاثة أبعاد أساسية هي؛ أولا: التخطيط؛ وذلك بتحديد أهداف لتعلم الفيزياء وللتصميم الهندسي، وبناء سياق للتحدي الهندسي، وتطوير أنشطة للممارسات الهندسية تدعم التحدي، وتهيئة البيئة الصفية. ثانيا: عمليات وإجراءات التدريس، وتشمل: التهيئة للتصميم الهندسي، ودورة التعلم الثلاثية، واستكشاف التصميم، وتطوير التصميم، والتواصل حول التصميم. ثالثا: تقويم نواتج التعلم، وذلك باستخدام سلم تقييم التصاميم، وبتكليف الطلاب بكتابة تقرير.

الكلمات المفتاحية: نموذج تدريسي للفيزياء، التصميم الهندسي، الجدل العلمي، التعلم القائم على التصميم.

A Proposed Physics Teaching Model at Secondary Schools based on Argument-Driven Engineering Design

Abstract:

The research aimed to design physics teaching model based on Argument-Driven Engineering design at secondary schools. A qualitative approach, specifically a case study, was used. The model was developed in two phases, in the first phase, the model was developed through a qualitative analysis of semi-codified interviews with (17) experts; (5) with research and academic experience, (6) with field experience and (6) with experience in STEM scientific centers. In the second phase, the model was developed during the application of the proposed model on 35 female students studied the physics course (3) at 5th Secondary School in Riyadh, during the academic year (2021/2022), in light of the qualitative analysis of semi-codified interviews with (10) students, and analysis of classroom dialogues and students reports. The results showed that the proposed model is finalized on five basic principles: design-based learning, design as an engineering practice, students decision-making during the engineering design process, students' self-efficacy in engineering design, and engineering habits of mind. The model consists of three basic dimension. First: Planning, by setting goals for learning physics and engineering design, constructing context for the engineering challenge, develop engineering practice activities that support the challenges, and create a classroom environment. Second: Teaching processes and procedures, which including preparation for engineering design, the triple learning cycle, design exploration, design development, and design communication. Third: Evaluating learning outcomes, using the design evaluation scale, and assigning students to write a report.

Keywords: Physics Teaching Model – Engineering Design – Scientific argumentation – Design-Based Learning.

المقدمة:

تغيرت الاحتياجات التعليمية في هذا القرن تبعًا لتطور التقنية وتعقيدها، فسعت الأنظمة التعليمية لتبني مداخل تلبي متطلبات التنمية. فظهرت من حركات الإصلاح في التعليم؛ المدخل التكاملي لتعليم العلوم والتقنية والهندسة والرياضيات "تعليم ستيم" STEM Education، الذي يسهم بدور محوري في بناء الاقتصاد القائم على المعرفة. ويوظف الطلاب من خلاله معارفهم حول العلوم والتقنية والهندسة والرياضيات في حل المشكلات وتلبية الاحتياجات باستخدام التصميم الهندسي (Capraro & Slough, 2013). ويمكن أن يحدث التكامل من خلال التصميم الهندسي، الذي يُعد عملية منهجية منظمة ومتكررة لتصميم الأشياء والعمليات والأنظمة لتلبية الاحتياجات البشرية (National Research Council, 2009). وأشارت دراسة الدغيدي وآخرون (٢٠٢٢) إلى أن التصميم الهندسي يمثل مهارة رئيسة في تطبيق مدخل تعليم STEM.

عرّف إطار التربية العلمية للجيل التالي من معايير العلوم في الولايات المتحدة الأمريكية Next Generation Science Standards - NGSS عملية التصميم الهندسي بأنها عملية منظمة تتكون من عدد من الخطوات، وتتميز بأسلوب التكرار. تبدأ الخطوة الأولى بتحديد المشكلة ومعايير حلها، والقيود ذات الصلة. وتتمثل الخطوة الثانية بإنتاج الأفكار لكيفية حل المشكلة. في حين تختبر الحلول في الخطوة الثالثة عن طرق محاكاة نماذج رياضية أو فيزيائية أو تجريبية، للوصول إلى بيانات تُمكن المهندسون من تحليل تلك الحلول، وتقييم جودتها للتحقق من مناسبتها، ومن ثم تقييم ما تحتاجه من تطوير أو تقديم مقترح أفضل (NGSS, 2013a).

وفي ضوء هذا الإطار؛ صدر الجيل التالي من معايير العلوم NGSS، والتي تهدف إلى تنمية قدرة الطلاب على انتاج واستخدام المعرفة العلمية، وذلك بدمج التصميم الهندسي في بنية تعليم العلوم ورفعه إلى مستوى الاستقصاء العلمي، لأن تزويد الطلاب بأسس التصميم الهندسي سيسمح لهم بالمشاركة بشكل أفضل في حل التحديات التي يواجهها العالم (NGSS, 2013a). وهذا ما أكدته دراسته القسيم وآخرون (٢٠٢٢) بأن استخدام التصميم الهندسي لحل المشكلات المستهدفة يكون وفق أنشطة استقصائية تحفز التفكير مع توفير المصادر التعليمية المناسبة، مع التركيز على تقويم الأداء، وإيجاد حلول للمشكلات بطريقة واقعية.

ولم يكن التعليم في المملكة العربية السعودية بعيد عن تلك التوجهات، حيث سعت هيئة تقويم التعليم والتدريب بالتعاون مع وزارة التعليم لبناء معايير مناهج التعليم العام؛ بهدف تثقيف جميع المتعلمين عبر تقديم المعارف التأسيسية في فروع العلوم المختلفة، وتمكينهم من الممارسات العلمية والهندسية، وتطبيقاتها المرتبطة بالقضايا المتعلقة بالإنسان والمجتمع والبيئة؛ لإعداد علماء ومهندسين وتقنيين (هيئة تقويم التعليم والتدريب، ١٤٤٠هـ). وفي عام ٢٠٢١ تحول نظام التعليم

الثانوي في المملكة إلى نظام المسارات ليساعد في تحقيق متطلبات التنمية الوطنية المستقبلية في المملكة وفق رؤية ٢٠٣٠ من خلال إيجاد البدائل والفرص أمام المتعلم؛ ليختار مساراً يناسب ميوله وقدراته، ويمده بالمهارات والكفايات الحديثة، التي تساعده في الإعداد للحياة، وإكمال تعليمه بعد الثانوي، كما تمنحه فرصة المشاركة في سوق العمل. كما أكد هذا النظام على تعلم الهندسة حيث اشتمل على خمس مسارات رئيسة منها مسار علوم الحاسب والهندسة، كما أُستحدثت مادة التصميم الهندسي كمادة تخصصية مشتركة بين مساري الصحة والحياة وعلوم الحاسب والهندسة (وزارة التعليم، ٢٠٢٢).

إن تضمين الممارسات الهندسية كأحد أبعاد التعلم المستهدفة، يزيد من اهتمام الطلاب بالمهارات الهندسية ومعرفتهم لها (NGSS, 2013a). فالتصميم الهندسي يساعدهم على تطوير عادات العقل الهندسية (Lucas & Hanson, 2014؛ الداود، ٢٠١٧؛ والنجار، ٢٠١٧؛ والمقبل، ٢٠٢٠؛ الهنائية وأمبوسعيدي٢٠٢٠)، ويُمكنهم من فهم دور المهندسين، وزيادة فعّاليتهم الذاتية (Russo, 2011; Usher et al., 2015; Jackson, 2015; Major & Kirn, 2016; 2019). وتوصل ماير (Meyer, 2018) إلى أن طبيعة دروس الهندسة توفر فرصًا لتقديم أنشطة تستدعي من الطلاب اتخاذ قرارات حول كيفية تنفيذ التصميم الهندسي، وإيجاد الحلول التقنية للمشكلات.

قدم الباحثون نماذج تدريسية تدمج التصميم الهندسي مع الاستقصاء العلمي، مثل: نموذج التعلم القائم على التصميم Design-Based Learning-DBL لأبدو وزملاؤه (Apedoe et al., 2008)، ونموذج آيزنكرافت (Eisenkraft, 2011)، ونموذج جروبس وستريميل (Grubbs & Strimel, 2015)، ونموذج التصميم الهندسي لباري (Barry, 2018)، ونموذج مؤسسة نولز لتدريس العلوم Knowles Science Teaching Foundation- KSTF (Johnson et al., 2015)، ودورة التصميم من برنامج الدبلوما الدولية Design Cycle from International Baccalaureate- IB (Kersten, 2013)، ونموذج عملية التصميم الهندسي في المرحلة الثانوية لمناهج ولاية ماساتشوستس (Hynes et al., 2011).

طُور أبدو وزملائه (Apedoe et al., 2008) نموذجا للتعلُّم القائم على التصميم Design-Based Learning DBL، بدعم من مركز الأبحاث في جامعة بيتسبرغ University of Pittsburgh، وهو نموذج قائم على المشروع من خلال الدمج بين الاستقصاء العلمي والتصميم الهندسي، حيث يُكلف الطلاب بأنشطة تعليمية يستخدمون فيها معرفتهم بمحتوى العلوم والرياضيات والموارد المتاحة لديهم لتطوير حل تقني لمشكلة هندسية، ويمر الطلاب في

عملية التصـــميم بثلاث مراحل؛ مرحلة التخطيط للتصـــميم، ثم مرحلة الأنظمة الفرعية، وأخيرًا تقديم التصميم.

واقترح آيزنكرافت (Eisenkraft, 2011) وحدات تعليمية في الفيزياء Active Physics بدعم من مؤسسة العلوم الوطنية الأمريكية NSF، تتبنى التعلُّم القائم على التصميم الهندسي والاستقصاء، حيث تُنظم الوحدة في فصول، ويُعرض في بداية كل فصل تحدِّي تصميم هندسي يؤطر محتوى الفيزياء. وتستخدم دورة التصميم الهندسي لحل التحدي، وتتكون من خمس مراحل كالتالي: مرحلة الهدف، ويحدد فيها المشكلة والموارد المتاحة، مع اقتراح مسودة للحلول الممكنة، وقائمة القيود على الإجراءات الممكنة. وفي مرحلة المدخلات، تدرس المفاهيم والمبادئ الفيزيائية في كل فصل من الوحدة. أما مرحلة العمليات؛ فتعتمد على الموازنة بين الأفكار والطرق لتقييم الحلول المقترحة سلفا، ثم ينشأ النموذج، وتصمم التجارب لاختباره. وفي مرحلة المخرجات؛ يقدم تحدٍ مصغر، ثم تقديم تحدي رئيسي بناءً على التغذية الراجعة من التحدي المصغر. وفي المرحلة الأخيرة؛ يحصل على استجابات الجمهور المستهدف للتعديل، ومن ثم تحديد القيود الإضافية التي تتطلب إعادة العمل على المدخلات والعملية.

أما في مناهج الهندسة بولاية ماساتشوستس الأمريكية؛ تقوم عملية التصميم الهندسي على تسـع خطوات كالتالي، وهي: تحديد المشـكلة وتعريفها، والبحث عن الحاجة أو المشـكلة، تقديم الحلول الممكنة، واختيار الحل الأفضـل أو الحلول الممكنة، وإنشـاء نموذج أولي، واختبار الحل وتقويمه، والتواصـــل بالحل أو الحلول الممكنة، وإعادة التصـــميم، والإتمام ومغادرة الدورة (Hynes et al., 2011). وتتكون دورة التصـــميم من برنامج الدبلوما الدولية IB من أربع مراحل: الاستقصاء، والتخطيط، والإنشاء، والتقويم. تعد مرحلة الاستقصاء خطوة أساسية، فعلى الطالب أن يكون قادرًا على تحديد المشكلة، وتحديد مصادر البحث الموثقة بشكل صحيح، وجمع الملاحظات والمعلومات. وفي مرحلة التخطيط؛ على الطالب صياغة العديد من حلول التصـميم، واقتراح طرق متعددة لحل المشـــكلة لتقديم أفضـــل الحلول، واقتراح خطة العمل. أما في مرحلة الإنشـــاء (البناء)؛ فيســتخدم الطالب التقنيات والمواد لتنفيذ الخطة، وإذا حصـــل أي تغييرات في الخطة لا بد من تقديم المبررات. وفي مرحلة التقويم؛ يقوِّم الطالب المنتج باستخدام نموذج التقويم المقدم في المشروع (Kersten, 2013).

وقدم جروبس وستريميل (Grubbs & Strimel, 2015) إستراتيجية لتخطيط درس قائم على التصميم الهندسي، تتكون من خمس مراحل، هي: مرحلة الانخراط؛ ويحدد فيها سياق ما سيتعلمه الطلاب، بالإضافة إلى اكتساب اهتمامهم بالموضوع. وفي مرحلة الاكتشاف يُمكّن الطلاب من بناء معرفتهم الخاصة أثناء الاتصال بمعرفتهم المفاهيمية والإجرائية السابقة. أما في مرحلة

الشرح؛ فتلخص المعرفة الجديدة والسابقة أثناء معالجة أي تصورات خاطئة لدى الطلاب. وفي مرحلة المهندس؛ يتحتم على الطلاب تطبيق معارفهم ومهاراتهم لتحديد المشكلة ووضع الحل. ومرحلة التقييم؛ يسمح للطالب بتقييم تعلّمه أو تطوير مهاراته بطريقة تمكنه من اتخاذ الخطوات اللازمة لإتقان محتوى الدرس.

ويتكون نموذج عملية التصميم الهندسي لمؤسسة نولز لتدريس العلوم KSTF من أربع دوائر متداخلة، وهي: تحديد المشكلة، واستكشاف التصميم، وتحسين التصميم، وتوصيل التصميم. وتعد كل مرحلة دورة تكرارية في حد ذاتها، والنظام بأكمله هو تكراري أيضًا. وتأخذ الدوائر شكل مُعين لتمثيل "التصميم كحلقة تكرارية من التفكير المتشعب المتقارب"، بمعنى التفكير الواسع الذي يليه الاقتصار على حل واحد، وتداخل الدوائر يعني أن المصمم يمكنه التحرك ذهابًا وإيابًا بين المراحل حتى بعد اتخاذ قرار التصميم النهائي وتوصيله (Johnson et al., 2015).

وطورت باري (Barry, 2018) في دراستها على المرحلة الثانوية نموذج عملية التصميم الهندسي الخاص بمؤسسة العلوم الوطنية الأمريكية NSF، وبسطت دورة التصميم بدمج بعض المراحل لمساعدة الطلاب على استيعاب كيفية التفكير وحل المشكلات على غرار المهندسين، واستخدمت كلمات بديلة سهلة للتعبير عن الإجراءات التي يقوم بها المهندس، ووضعت مرحلة التواصل في مركز الدورة نظرًا لضرورة إدراجها في كل مرحلة ليتمكن الطلاب من نقل آرائهم وأفكارهم وتوصيلها. ويتكون نموذج باري (Barry, 2018) من ست مراحل؛ يبدأ الطلاب بفهم المشكلة أولا، ثم القيام بعصف ذهني لطرح الحلول الممكنة ثانيا، ويعد مصطلح العصف الذهني مصطلحًا ملائمًا للطلاب، ويسهل عليهم فهمه، كما أنه يشمل البحث، في حين يعد البحث في الدورات الأخرى مرحلة قائمة بذاتها، وفي المرحلة الثالثة يبدأ الطلاب بالتخطيط؛ وفيها يختار الطلاب فكرة ما ويبدؤون في التخطيط لها، ثم تأتي مرحلة التصميم ، حيث يقوم الطلاب بتصميم نماذجهم، وبعد هذه المرحلة يأتي التقويم، حيث يعمل الطلاب على فحص واختبار نماذجهم الأولية، حتى يصلوا إلى المرحلة السادسة والأخيرة، وهي التحسين، ويتم فيها إعادة التصميم عند الحاجة.

يدعو التوجه الحديث في تعليم العلوم إلى انخراط الطلاب في الاستدلال وإعمال العقل تجاه الظواهر وحل المشكلات المبنية على الممارسات العلمية والهندسية، واعتبر الجدل العلمي من الممارسات الأساسية للطلاب (NGSS, 2013a). ويُعرّف الجدل العلمي في مجال التربية العلمية بأنه محاولة للتحقق من صحة أو دحض ادعاء على أساس من الأدلة بطريقة تعكس قيم المجتمع العلمي (Grooms et al., 2015). وضّح شحات والشايع (٢٠٢٢) أهمية الجدل العلمي في تكوين الثقافة العلمية للطلاب؛ إذ يسهم في مساعدة الطلبة على توليد الأفكار، والبحث عن المعلومات،

والاستقراء والاستدلال، وتقديم الحجج والبراهين المعززة للأفكار مما يؤثر إيجابيًا على عملية تعلمهم للعلوم، وعليه أصبح تعزيز الحوار والجدل العلمي هدفًا أساسيًا لتعلم العلوم وتعليمها.

يُعرف الجدل العلمي في مجال التربية العلمية بأنه محاولة للتحقق من صحة أو دحض ادعاء على أساس من الأدلة بطريقة تعكس قيم المجتمع العلمي (Grooms et al., 2015). وحدد إطار التربية العلمية للتعليم في الولايات المتحدة الأمريكية ثلاث عناصر أساسية للحجة العلمية وهي؛ الادعاء والذي يمثل تخمين أو استنتاج أو إجابة على سؤال، والعنصر الثاني من عناصر الحجة هو الأدلة التي تدعم الادعاء وتمثل الأدلة الملاحظات والبيانات، أما العنصر الثالث للحجة فهو الاستدلال الذي يمثل القدرة على شرح كيف يدعم الدليل الادعاء (NRC, 2012).

اقترح سمبسون وزملاؤه (Sampson et.al., 2011) نموذجا للاستقصاء الموجه بالجدل Argument-Driven Inquiry ADI ADI بهدف تمكين الطلاب من بناء الحجج من خلال المشاركة في الأنشطة المعملية، بالتركيز على قضايا داخل مختبر العلوم بالمدرسة، مثل: كيف نعرف ما نعرفه؟ ولماذا نعتقد ما نعرفه؟ وماذا يجب أن نفعل لمعرفة ذلك؟ مع الأخذ بعين الاعتبار أن مكون المنطق في الحجج هو التبرير الذي يوضح: لماذا تدعم الأدلة الادعاء؟ ولماذا يجب أن تحسب الأدلة المقدمة كدليل؟ واستنادًا لهذا النموذج قدم آل محي والشايع (٢٠٢٠) نموذجا لتدريس الكيمياء، قائم على الاستقصاء المعّزز بالجدل العلمي Argument-Driven Inquiry, ADI، يتكون من أربع خطوات هي: الاستقصاء العلمي، وجلسة الجدل، ومناقشة الاستقصاء، وكتابة تقرير الاستقصاء.

يختلف غرض الجدل العلمي في العلوم عنه في الهندسة، إذ يستخدم العلماء الحجج لتقويم الظواهر الطبيعية وتفسيرها، بينما يستخدم المهندسون الحجج لإيجاد أفضل الحلول لمشكلة ما مع مجموعة معينة من القيود والمعايير (NRC, 2012). وفي هذا السياق، طوّر باز وزملاؤه (Baze et al, 2018) نموذجًا تعليميًّا يسمى الهندسة الموجهة بالجدل Argument Driven Engineering ADE. يمكن المعلّمين من دمج الهندسة في فصول العلوم من دون إهمال لمحتوى العلوم.

مشكلة البحث:

إن تعزيز عملية التصميم الهندسي بالجدل يُوفر للطلاب فرصًا متعددة لتقديم واستقبال التغذية الراجعة، التي تساعدهم على تحسين النماذج الأولية للتصميم وتقديم الحجج للوصول لأفضل بدائل للتصميم (Baze et al., 2018)، ولقد أشارت دراسة ماثز وزملاؤه (Mathis et al., 2017) إلى أن الجدل العلمي تم بحثه في تعليم العلوم خلال العقدين الماضيين، ولكن لم تتم دراسته

في سياق التعليم الهندسي. وتؤكد دراسة ألتان وآخرون (Altan et al., 2018) على أن ممارسة الجدل العلمي في فصول العلوم مهمة إلا أنه لا يُعرف الكثير عن كيفية استخدامه في التعليم الهندسي.

ومما يميز دروس الهندسة أنها توفر فرصًا لتقديم أنشطة صنع القرار التي تستدعي من الطلاب اتخاذ قرارات حول كيفية تنفيذ التصميم الهندسي، وإيجاد الحلول التقنية للمشكلات (Meyer, 2018). ويرى جوناسن (Jonassen, 2012) أيضًا أن استخدام الجدل من الطرق المنظمة للتعبير عن عملية صنع القرار في التصميم الهندسي، فبدلاً من اتخاذ القرارات بناءً على الاحتمالات والأوزان فقط، فيمكن أن يُطلب من الطلاب إنشاء حجج تسمح لهم بحل النزاعات بين الخيارات المتنافسة.

حاول الباحثون تقييم واقع تطبيق عملية التصميم الهندسي في الفصول الدراسية، فأشارت بورزر وزملاؤها (Purzer et al., 2014) إلى أن استخدام الهندسة كمحتوى يتم تغطيته في صفوف العلوم، أو استخدامه كطريقة تدريس فكرة جديدة بالنسبة للعديد من معلّمي العلوم، والتحدي الواضح والحاسم هنا هو أن معظم المعلّمين لا يمتلكون التدريب الكافي على التصميم الهندسي. وكذلك توصل تشو وزملائه (Chu et al., 2018) من دراستهم التي هدفت إلى الكشف عن صعوبات تدريس الهندسة في فصول العلوم؛ إلى أنه من ضمن الصعوبات افتقار المعلّمين لفهم كيفية دمج الممارسات الهندسية في الفصول الدراسية. وأوصت باري (Barry, 2018) إلى أنه ما زال هناك حاجة إلى أبحاث في التقنيات والأساليب التعليمية المستخدمة لتعليم الطلاب كيفية الإلمام بالهندسة في فصول العلوم.

كما حاول الباحثون على المستوى المحلي الكشف عن واقع تطبيق عملية التصميم الهندسي في الفصول الدراسية، فتوصل مراد (٢٠١٤) من دراسته إلى أن هناك حاجة كبيرة لبرنامج تدريبي لتنمية مهارات التدريس لدى معلمات الفيزياء بالمرحلة الثانوية في ضوء مدخل تعليم ستيم. وذكرت دراسة الدوسري (٢٠١٥) أن من مواطن الضعف التي تواجه تجربة المملكة العربية السعودية في تعليم ستيم في ضوء التجارب العالمية، نقص المعرفة بتدريس الهندسة لدى معلمي العلوم. وأجرى العنزي والجبر (٢٠١٧) دراسة تهدف للكشف عن تصورات معلمي العلوم نحو تعليم ستيم، وظهرت النتائج أن مستوى تصور معلمي العلوم جاء مرتفعًا نحو المعرفة بمتطلبات تدريب الطلاب على التصميم الهندسي. في حين كشفت دراسة القرني والأحمد (٢٠١٨) أن معرفة معلمات العلوم في المرحلة الثانوية للتصميم الهندسي وممارسة كانت أقل مستوى للكفاءة الذاتية في ضوء توجه ستيم. كما بينت دراسة الجلال (٢٠١٨) أن المعلمين في بحاجة للدعم الذي يمكنهم من تضمين التصميم الهندسي في دورس العلوم في إطار التعليم

الرسمي. وتوصلت دراسة أبو عاذرة (٢٠١٩) التي هدفت لاستقصاء واقع ممارسة معلمات الفيزياء للمرحلة الثانوية للجيل التالي من معايير العلوم، أن المعلمين لا يمتلكون فهم كافٍ للممارسات الهندسية وكيفية تطبيقها. وهدفت دراسة العمري (٢٠٢١) إلى التعرف على مستوى الأداء التدريسي لمعلمات العلوم وفق متطلبات تعليم STEM في مدارس المرحلة الثانوية، وتوصلت إلى أن مستوى تدريب المعلمات لطالباتهن على عملية التصميم الهندسي جاء بمستوى منخفض نظرا لقلة خبرة المعلمات، وضعف تركيز كتب العلوم على التصميم الهندسي.

واستجابة لدعوات الإصلاح التربوي، وفي ظل قلة الأبحاث التي تقدم نماذج تدريسية قائمة على التصميم الهندسي الموجه بالجدل العلمي، جاء هذا البحث ليسهم في سد هذه الفجوة البحثية، بتقديم نموذج مقترح لتدريس الفيزياء قائم على التصميم الهندسي الموجه بالجدل العلمي.

هدف البحث وسؤاله:

يهدف هذا البحث إلى تقديم نموذج مقترح لتدريس الفيزياء قائم على التصميم الهندسي الموجَّه بالجدل العلمي. وذلك من خلال الإجابة على السؤال التالي: ما النموذج المقترح لتدريس الفيزياء في المرحلة الثانوية القائم على التصميم الهندسي الموجَّه بالجدل العلمي؟

أهمية البحث:

تتمثل الأهمية النظرية للبحث في أنه يُسهم في تقديم إضافة معرفية توضح كيفية استخدام السياق الهندسي في تعليم الفيزياء. أما الأهمية التطبيقية للبحث فتظهر في أن التصميم الهندسي يمثل اتجاه حديث في تعليم العلوم يُفيد مخططي مناهج العلوم عند صياغة وتطوير المناهج في كيفية توظيف التصميم الهندسي في دروس الفيزياء، وتدريب المعلمين عليه. كما يُقدم للمعلمين نموذجًا تدريسيًا يمكن أن يساعدهم في تخطيط دروس قائمة على التصميم الهندسي الموجَّه بالجدل.

مصطلحات البحث:

التصميم الهندسي: يعرف إجرائيًا في هذا البحث بأنه: عملية منهجية نمطية غير خطية تقوم طالبات المرحلة الثانوية فيها بسلسلة من الخطوات بشكل دوري ككل، أو تكرار بعض الخطوات داخل العملية؛ حيث يتم تعريف وتحديد المشكلة، والبحث عن خلفيتها العلمية، ثم استخدام العصف الذهني لإنتاج مجموعة من بدائل التصميم، ثم المفاضلة بينها في ضوء احتياجات أصحاب المصلحة والقيود الاقتصادية والاجتماعية والبيئية. ثم إنشاء النماذج واختبارها لتحليل جودة الحلول المختلفة، وتطويرها للوصول للمنتج المناسب للعميل.

التصميم الهندسي الموجه بالجدل العلمي: يُعرّف إجرائيًا بأنه عملية التصميم الهندسي المدعومة بحوار منطقي بين طالبات المرحلة الثانوية لتبرير قرارات التصميم؛ لاختيار أفضل الحلول لمشكلة هندسية تقوم على مفاهيم فيزيائية.

النموذج المقترح لتدريس الفيزياء القائم على التصميم الهندسي الموجَّه بالجدل: يُعرّف إجرائيًا بأنه تمثيل مخطط لتوجيه تدريس الفيزياء، يتكون من ثلاثة عناصر هي: التخطيط، وعمليات وإجراءات التدريس، وتقويم نواتج التعلم، ويستند النموذج إلى التعلم القائم على التصميم من خلال الدمج بين الاستقصاء العلمي والتصميم الهندسي، والموجه بالمنطق القائم على الأدلة من خلال الممارسات الهندسية لتنمية مهارة اتخاذ القرار أثناء عملية التصميم، وتعزيز الفعّالية الذاتية في التصميم الهندسي وتنمية عادات العقل الهندسية لدى طالبات المرحلة الثانوية.

منهج البحث:

أُستخدم المنهج النوعي؛ وتحديدًا دراسة الحالة لجمع بيانات وصفية مع التركيز على الخصائص المحددة للنموذج والسياق والأحداث التي تنطوي عليها الحالة (Lodico et al., 2010). والحالة المستهدفة في هذا البحث هي بناء وتطوير نموذج تدريسي قائم على التصميم الهندسي الموجه بالجدل العلمي. وتبنى البحث التحليل الطوبولوجي (النمطي) Typological Analysis الذي يهدف إلى تحليل وتصنيف البيانات إلى فئات بناءً على معالم مستمدة من أهداف البحث أو النظرية التي يقوم عليها البحث أو حس الباحث (Hatch, 2002).

مجتمع البحث وعينته:

تألف مجتمع البحث من فئتين:

الفئة الأولى: مجتمع الخبراء من ذوي الخبرة الأكاديمية والبحثية والميدانية في مجال تعليم العلوم والتقنية والهندسة والرياضيات "تعليم ستيم". ونظرا لطبيعة البحث؛ فقد اختيرت عينة قصدية، بلغت (١٧) خبيرا، متنوعي الخبرة في مجال تعليم ستيم بغرض تطوير النموذج، وكان من بينهم (٥) من ذوي الخبرة البحثية والأكاديمية، و(٦) من ذوي الخبرة الميدانية، و(٦) من ذوي الخبرة في المراكز العلمية لتعليم ستيم. وفيما يلي وصف للخبراء المشاركين:

- المشاركون ذوو الخبرة البحثية والأكاديمية: حاصلون على مؤهلات عُليا في تعليم العلوم، ويعملون في جامعات عربية، ولهم أبحاث منشورة أو كتب في مجال تعليم ستيم، وأشرف البعض منهم على طلاب دراسات عُليا، في مجال تعليم ستيم.

- المشاركون ذوو الخبرة في المراكز العلمية في تعليم ستيم: حاصلون على بكالوريوس في العلوم أو مؤهلات عُليا في تعليم العلوم، وقدموا دورات تدريبية عن تعليم ستيم في المراكز العلمية، والبعض منهم متعاون مع مؤسسة موهبة في تدريب الطالبات الموهوبات.
- المشاركون ذوو الخبرة الميدانية في تعليم ستيم: حاصلون على بكالوريوس في العلوم أو مؤهلات عُليا في تعليم العلوم، ويعملون مشرفون في إدارات التعليم أو معلمون في المدارس الحكومية.

الفئة الثانية: يتمثل المجتمع المستهدف بالطالبات اللاتي يدرسن مقرر الفيزياء(٣) في الثانوية الخامسة التابعة لمكتب تعليم المعذر بالرياض في الفصل الدراسي الأول خلال العام الدراسي ١٤٤٣ه (٢٠٢٢/٢٠٢١)، وعددهن (٩٥) طالبة. ويرجع سبب اختيار هذه المدرسة إلى تعاون الإدارة المدرسية ومعلماتها، وتوفر معمل حاسب، بالإضافة إلى أن الباحث الأول تعمل مشرفة في المكتب التابع للمدرسة. وتكونت عينة البحث من أحد صفوف المدرسة، والذي اختير عشوائيا، وبلغ عدد طالبات اللاتي طبقن التجربة (٣٥) طالبة. في حين بلغ عدد الطالبات المشاركات في المقابلة التي هدفت إلى تطوير النموذج (١٠) طالبات، تنوعت مستوياتهن الدراسية وتحصيلهن العلمي (مرتفع، متوسط، منخفض).

تصميم النموذج المبدئي:

بني نموذج التدريس المبدئي بعد مراجعة العديد من نماذج التصميم الهندسي التي استعرضت في مقدمة البحث (Apedoe et al., 2008; Eisenkraft, 2011; Hynes et al., 2011; Kersten, 2013; Grubbs & Strimel, 2015; Johnson et al., 2015; Barry, 2018; Baze et. al, 2018). وتكون من ثلاثة أبعاد أساسية هي: ١) شروط التدريس التي توضح كيفية التخطيط، وذلك بتحديد: أهداف لتعلُّم الفيزياء وللتصميم الهندسي، وبناء سياق للتحدي الهندسي للمرحلة الثانوية، وتطوير أنشطة للممارسات الهندسية تدعم التحدي، وتهيئة البيئة الصفية بحيث يظهر الطلاب في فرق عمل على غرار المهندسين. ٢) عمليات وإجراءات التدريس والتي تشمل: التهيئة للتصميم الهندسي، وإستراتيجيات التعلُّم التي تهدف إلى استكشاف المفاهيم العلمية والهندسية والمهن الهندسية، وتنفيذ عملية التصميم الهندسي. ٣) تقويم نواتج التعلُّم، وذلك بتكليف الطالبات بكتابة: تقرير للمستفيد من التصميم الهندسي يوضح فيه الادعاءات والأدلة النظرية والتجريبية التي يعتمد عليها في اتخاذ قرارات التصميم. وبناء على النموذج المبدئي.

تطوير الوحدة الدراسية:

لتطوير وحدة الضوء في المقرر اتبع الباحثان الخطوات التالية:

أولاً: تحديد أهداف الوحدة المطورة وذلك من خلال الخطوات التالية:

١- تحديد أهداف تعلم وحدة الضوء من دليل المعلم.

٢- تحليل محتوى الوحدة لتحديد المفاهيم والمهارات العلمية المستهدفة.

٣- اقتراح أهداف تعلم للتصميم الهندسي تدعم أهداف تعلم المحتوى.

الأهداف المقترحة لتعلم التصميم الهندسي:

٣-١ توضيح كيف تؤثر زاوية سقوط أشعة الشمس على تصميم المباني العمرانية في مدينة الرياض.

٣-٢ تصميم نظام الإضاءة النهارية الطبيعية لتصميم معماري.

٣-٣ تبرير استخدام المهندسون للضوء الطبيعي فيي التصاميم المعمارية.

ثانياً: تصميم سياق التحدي الهندسي للوحدة من خلال الخطوات التالية:

حللت أنشطة الكتاب المدرسي لتحديد الأنشطة الهندسية وتطويرها إلى تحدي تصميم هندسي للوحدة التعليمية، وفق الشروط التالية:

١- المشكلة مرتبطة بالعالم الواقعي وتلبي حاجات المجتمع.

٢- تكون المشكلة جيدة التنظيم يُحدد فيها معايير وقيود الحلول.

٣- يعتمد حل مشكلة التصميم الهندسي على محتوى الفيزياء والرياضيات معاً.

٤- يتضمن التحدي الهندسي تحديد الجهة المستفيدة من المنتج.

بعد تحليل أنشطة الكتاب المدرسي لتحديد الأنشطة الهندسية، طُور تحدي هندسي يؤطر وحدة الضوء، وفق الشروط بناء التحدي السابق ذكرها بالشكل التالي:

١- المشكلة مرتبطة بالعالم الواقعي وتلبي حاجات المجتمع: التحدي هو تصميم مركز تعليمي لوزارة التعليم يعتمد على الإضاءة النهارية (Daylighting)، لخفض استهلاك الكهرباء، وتُعد الاستفادة من الإضاءة الطبيعية في المباني هدف استراتيجي تعتمد عليه العمارة الحديثة للوصول إلى عمارة مستدامة وتكون ملائمة لمدن المستقبل.

٢- تكون المشكلة جيدة التنظيم يُحدد فيها معايير وقيود الحلول من المعايير المطلوب تحقيقيها في التصميم مناسبة الواجهة للموقع الجغرافي، وتوزيع الغرف بحسب طبيعة النشاط، ومناسبة موقع وحجم النوافذ، توظيف تقنيات الإضاءة، الالتزام بموقع ومساحة الأرض التي حددتها الوزارة، ومراعاة الجانب الجمالي والإبداعي، ويتم تقديم التصميم في الوقت المحدد.

٣- أن يعتمد حل مشكلة التصميم الهندسي على محتوى الفيزياء والرياضيات معًا: حلول تصاميم الإضـــاءة النهارية في لمركز التعليمي تعتمد على الطبيعة الموجية للضـــوء، وعلى مفاهيم انعكاس وانكسار الضوء.

ثالثاً: تطوير أنشطة ممارسات هندسية وفق الخطوات التالية:

١- اقتراح أنشـطة أو البحث في أنشـطة في الكتاب المدرسـي لتطوير ممارسـات هندسـية تدعم التصميم الهندسي.

٢- يراعى عند بناء الأنشـطة أن تركز على ثلاثة عناصـر أسـاسـية وهي: تحديد المعرفة العلمية والمعرفية إجرائية وتوضيح طبيعة الممارسة الهندسية.

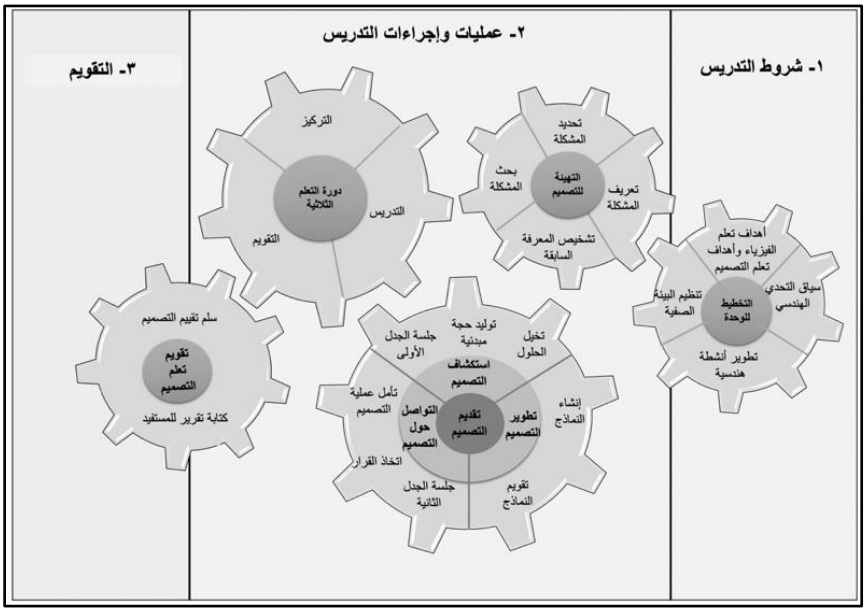
٣- إضـافة أنشـطة عن المهن الهندسـية توضـح الأهداف التي يسـعي المهندسـون إلى تحقيقها، والتعرف على الأدوات والتقنيات التي يستخدمها المهندسون أثناء أداء مهامهم.

رابعًا: أساليب تقويم التصميم في الوحدة المطورة يتضمن:

١- تقويم على مستوى المجموعة: باستخدام مصفوفة اتخاذ القرار لاختيار التصميم الأنسب.

٢- تقويم فردي: كتابة تقرير فردي تُخلص فيه الطالبة كيف تمت عملية التصميم، وتحديد المفاهيم العلمية التي يقوم عليها التصـميم، ووصـف مشـكلة واجهت الفريق أثناء العمل، مع توضـيح كيف تم اتخاذ القرار لحلها.

عرضت الصورة المبدئية على (١١) محكما؛ (٥) من ذوي الخبرة في تعليم ستيم، و(٢) في الفيزياء، و(٢) في الهندســـة، و(٢) في تعليم الفيزياء في الميدان التربوي. وقدم المحكمون ملاحظات قيمة، عدل بناء عليها النموذج والوحدة. ويوضـــح الشـــكل (١) النموذج المبدئي بعد التعديل.



شكل (١) النموذج المبدئي.

أدوات البحث:

تُعد المقابلة نوعاً من أدوات جمع البيانات النوعية، التي يُسمح فيها للمشاركين بالتعبير عن أفكارهم بشأن موضوع معين بكلماتهم الخاصة، ومن أنواعها المقابلة الفردية التي يهدف فيها الباحث إلى استكشاف أفكار كل مشارك بعمق (Lodico et. al, 2010). وللإجابة عن سؤال البحث أُستخدمت بطاقتي مقابلة الأولى موجهة للخبراء والثانية موجهة للطالبات، وفيما يلي وصف لهما.

- بطاقة مقابلة شـــبه مقننة موجهة للخبراء: هدفت لتطوير النموذج المقترح والوحدة المطورة من الصورة المبدئية إلى الصورة المطورة. واشتملت على ثلاثة أقسام رئيسة: ١) الهدف من المقابلة وتعليماتها، ٢) المعلومات الديمغرافية عن الخبير وخبراته في مجال تعليم سـتيم، ٣) أسئلة حول نموذج التدريس المقترح.
- بطاقة مقابلة شـــبه مقننة موجهة للطالبات: هدفت لتطوير النموذج المقترح والوحدة من الصـــورة المطورة إلى الصـــورة النهائية. وتكونت من قســـمين: ١) الهدف من المقابلة وتعليماتها، ٢) **أســـئلة** لمعرفة رأي الطالبات حول طريقة التدريس والوحدة المطورة من حيث دور التصـميم الهندســي في اسـتيعاب المفاهيم العلمية، ودور الأنشـطة المنفذة في فهم طبيعة الهندســـة، ودور الجدل في فهم حلول التصـــميم الهندســـي، وكفاية التوجيهات التي حصلت عليها أثناء تنفيذ التصميم الهندسي.

مصداقية البيانات النوعية وموثوقيتها:

للتحقق من مصـــداقية البيانات النوعية للأداة وموثوقيتها؛ تبنى البحث عدد من مصـــادر الأدلة ذات الصلة بطبيعة أداة البحث الحالي، منها:

- الأدلة القائمة على فحص محتوى بطاقتي المقابلة شـــبه المقننة، حكمت البطاقتان لمعرفة مدى مناســبة الأســئلة ووضــوحها وشــموليتها، ولم تكن هناك ملاحظات جوهرية على البطاقة.
- روعي تعدد مصـــادر الخبرة لدى الخبراء المشـــاركين ما بين؛ خبرة بحثية، وخبرة في مراكز علمية، وخبرة ميدانية. وكذلك تنوع المستوى الأكاديمي للطالبات المشـاركات في المقابلات.
- لتعزيز مصـــداقية المقابلات وموثوقيتها، أُلتزم بعدة إجراءات، منها: المدة الزمنية لجمع البيانات كانت كافية؛ حيث اسـتغرق إجراء المقابلة مع كل خبير ما بين (٧٥-٩٠) دقيقة، ومع كل طالبة ما بين (٢٠-٣٠) دقيقة، وبلغ مجموعها أكثر من (١٦٠٠) دقيقة. وقبل

إجراء المقابلات ذُكّر المشـــاركون بالهدف من المقابلة، وبإمكانية الانســـحاب منها. كما أُرسـل نسـخة من نموذج التدريس المقترح للخبراء قبل إجراء المقابلة، بالإضـافة إلى أنه في بداية كل مقابلة قدم عرض موجز عن النموذج، كما أُشـعِر المشـاركون بأن المقابلات والحوارات الصـفية مسـجلة صـوتيًا، وبعد الانتهاء من كل مقابلة تفرغ كتابيًا. واتسـمت المقابلة بالمرونة في طرح الأسـئلة، وذلك بتعديلها حسـب اسـتجابة المشـارك بشـرط ألا تحيد عن أهداف المقابلة، وألا تحكم على آراء المشـــاركين أو معتقداتهم وذلك بالحفاظ على سلوك محايد.

- حرص الباحثان على توضـيح تصـميم البحث وإجراءات تطبيقه ومحدداته، وتصـميم دليل معلم لاسـتخدام نموذج التدريس، وتوضـيح كيفية جمع البيانات وتحليلها، وتقديم وصـف للعينة.

معالجة البيانات النوعية:

حولت البيانات من بيانات مســـجلة إلى مكتوبة، ثم حللت ورمزت باســـتخدام البرنامج الحاســوبي MAXQDA، وصـــنفت إلى ملفات وفقًا لكل من مصـــادر جمع البيانات (مقابلات- حوارات صفية)، وبلغ عدد صفحات تفريغ البيانات (١٦٠) صفحة. ومرت عملية تحليل البيانات بمســـتويين: ١) أثناء جمع البيانات: تقرأ البيانات بعد تفريغها كتابيًا، وتســـجيل التفاصـــيل التي تعذرت كتابتها أثناء المقابلة، ومقارنة البيانات الســـابقة بالبيانات الأحدث، للكشـــف عن الجوانب غير الواضحة في البيانات قبل العودة إلى موقع البحث. ٢) بعد الانتهاء من جمع البيانات: رمزت البيانات من خلال عملية اســـتقرائية لتضـــييق البيانات في موضـــوعات محددة (Creswell, 2012)، حيث قسمت البيانات إلى أجزاء صغيره وتسميتها، وقد تكون التسمية بكلمات المشاركين أنفســهم وتكون معبرة عن البيانات، أو بلغة الباحث نفســه، أو بمصــطلح تربوي حســب ما يراه الباحث مناسباً، مع أهمية تنقيح الرموز باستمرار في مراحل البحث والتحليل المتعاقبة. وتبنى في هـذا البحـث الترميز المفتوح والمغلق، وتبنى البحـث التحليـل الطوبولوجي (النمطي) Typological Analysis الذي يهدف إلى تحليل وتصـــنيف البيانات إلى فئات بناءً على معالم مسـتمدة من أهداف البحث أو النظرية التي يقوم عليها البحث أو حس الباحث (Hatch, 2002)، وفق الخطوات الآتية:

- بالاســـتناد إلى الأدبيات الســـابقة؛ اختيرت المعالم الآتية: ١) يســـتند على التعلُّم القائم على التصـميم، ٢) يُظهر التصـميم كممارسـة هندسـية، ٣) يؤكد على دور الطلاب في اتخاذ القرار أثناء عملية التصميم الهندسي، ٤) يُعزز الفعّالية الذاتية في التصميم الهندسي لدى الطلاب.

- قراءة البيانات وتحديد البيانات المرتبطة بكل معْلم على حدة، وتصنيفها حسب طبيعة العينة والمشاركين، واستخدم الترميز المغلق وفق المعالم المحددة مسبقا، ثم رمزت البيانات التي لم يتمكن من تصنيفها في أحد المعالم المحددة سابقًا.
- قراءة البيانات لكل معْلَم، وتسجيل الأفكار الرئيسة للمعْلم في ملخصات، مع مراعاة عدم تفسير البيانات أو تخمين ما يعنيه المشاركون، وإنما الالتزام بالتلخيص وفق كلماتهم فقط.
- البحث عن الأنماط والعلاقات والموضوعات داخل كل معْلم، ومحاولة اكتشاف الأنماط أو العلاقات أو الموضوعات في هذه البيانات، ثم تصنيفها في فئات فرعية، تم تكرار هذا الإجراء مع كل مشارك من العينة على حدة.
- قراءة البيانات الخام وترميزها وفقًا للأنماط المحددة سابقًا، وعمل قائمة بالفئات وما يتناسب معها من الأنماط، من خلال العودة لقراءة البيانات الخام لكل معْلَم لمعرفة مدى مناسبة (الأنماط أو العلاقات أو الموضوعات المحورية) التي تم التوصل إليها من الملخصات في الخطوة السابقة، وبعد التأكد من سلامة التصنيف تُكتب (الأنماط أو العلاقات أو الموضوعات المحورية) مقابل كل مقتطف في البيانات الخام، ويُعمل أيضًا قائمة توضح العلاقات بين البيانات أو الأنماط أو الموضوعات التي تم التوصل إليها بداخل كل معْلَم.
- تحدد ما إذا كانت الأنماط مدعومة بالبيانات، والبحث في البيانات عن أمثلة مناقضة للأنماط، بهدف تقييم مدى تقديم البيانات معنى داعماً أو مناقضاً للأنماط، حيث حددت المقتطفات المميزة للمشاركين، والأفكار المناقضة للأنماط.
- البحث عن علاقات بين الأنماط المحددة، حيث درست الروابط بين الأنماط للمشاركين على مستوى معْلم واحد وعبر جميع المعالم.
- كتابة الأنماط في تعميم جملة واحدة، حيث كتابة التعميم يجبر الباحث على تنظيم أفكاره في شكل يمكن أن يفهمه هو ومن يقرأ البحث، إذا تعذر التعبير عن النتائج كتعميمات، فمن المحتمل أن يكون تحليل البيانات غير مكتمل.
- اختيار اقتباسات من البيانات تعزز تعميم النتائج، حيث استعدادًا لكتابة النتائج فإن الخطوة الأخيرة هي العودة إلى البيانات لتحديد أمثلة قوية يمكن استخدامها لدعم التعاميم.

إجراءات البحث:

مرت الإجراءات بعدد من المراحل بهدف الإجابة عن سؤال البحث، وفق الآتي:

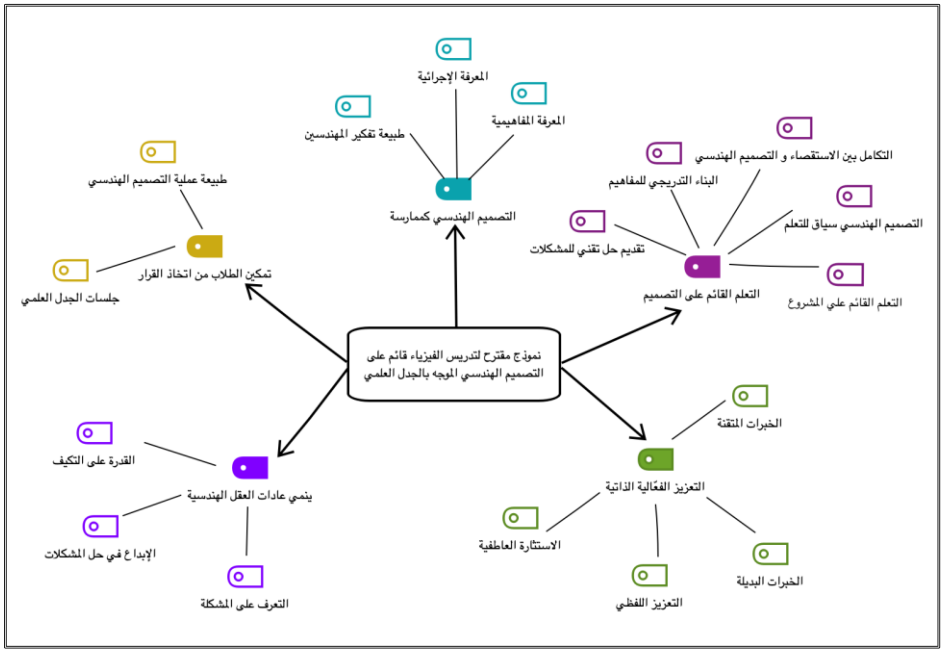
- الرجوع إلى الأطر النظرية والدراسات السابقة ذات العلاقة بمصطلحات البحث؛ كالتصميم الهندسي، والفعّالية الذاتية في التصميم الهندسي، والجدل العلمي، واتخاذ القرار.
- تصميم نموذج التدريس المقترح في صورته المبدئية، وإعداد دليل المعلم لاستخدام النموذج.
- تطوير وحدة تعليمية في الضوء معنونه بـ "الإضاءة النهارية في المباني العمرانية".
- بناء أدوات البحث؛ بطاقتي مقابلة شبه المقننة (للخبراء، للطالبات).
- الحصول على الموافقة الرسمية من لجنة أخلاقيات البحث العلمي بالجامعة.
- عرض الصورة المبدئية للنموذج وللوحدة، وأدوات البحث على مجموعة من المحكمين المختصين في تعليم العلوم والفيزياء والهندسة، وتعديله في ضوء آرائهم.
- إجراء المقابلات شبه المقننة مع الخبراء خلال ستة اسابيع، وتفريغها كتابيا، ثم تحليلها، بغرض تطوير النموذج ووحدة الضوء ودليل المعلّم، وصولا للنموذج المطور.
- تنفيذ الوحدة المطورة على الطالبات، بعد استكمال الموافقات الرسمية وموافقة الطالبات واولياء أمورهم، واستغرق تطبيق النموذج سبعة أسابيع.
- إجراء المقابلات شبه مقننة الطالبات خلال أسبوع واحد، وتفريغها كتابيا، ثم تحليلها، بغرض تطوير النموذج ووحدة الضوء ودليل المعلّم، وصولا للنموذج النهائي.

نتائج البحث:

للإجابة عن سؤال البحث؛ طور النموذج على مرحلتين متعاقبتين، هما: تطوير النموذج المبدئي إلى المطور وفق رأي الخبراء، ثم إلى النموذج النهائي بناء على التطبيق الصفي للنموذج.

أولا: النموذج المطور:

جمعت البيانات النوعية في هذه المرحلة من خلال تحليل البيانات التي توصـــل إليها من المقابلات مع الخبراء، وتوصـــل إلى عدد من الفئات والرموز الناتجة من تحليل المقابلات، حيث يتضح أن نموذج التدريس المطور يقوم على خمسة مبادئ أساسية، كما يوضحها الشكل (٢).



شكل (٢) مبادئ النموذج المطور

يتضح من الشكل (٢) استناد النموذج إلى خمسة مبادئ، هي: ١) التعلّم القائم على التصميم، الذي يتضمن خمس فئات هي: التعلُّم القائم على المشروع، والتصميم الهندسي سياق للتعلُّم، والتكامل بين الاستقصاء والتصميم الهندسي، والبناء التدريجي للمفاهيم، وتقديم حل تقني للمشكلات. ٢) التصميم الهندسي، الذي يتضمن ثلاث فئات هي: المعرفة المفاهيمية، والمعرفة الإجرائية، وطبيعة تفكير المهندسين. ٣) يُمكّن النموذج الطلاب من اتخاذ القرار، ويتضمن فئتين هما؛ طبيعة عملية التصميم الهندسي، وجلسات الجدل العلمي. ٤) يُعزز الفعّالية الذاتية في التصميم الهندسي لدى الطلاب، ويتضمن أربع فئات هي: الخبرات المتقنة، والخبرات البديلة، والتعزيز اللفظي، والاستثارة العاطفية. ٥) ينمي عادات العقل الهندسية، ويتضمن ثلاث فئات هي: التعرف على المشكلة، والإبداع في حل المشكلات، والقدرة على التكيف.

المبدأ الأول: يستند نموذج التدريس على التعلُّم القائم على التصميم.

يعتمد النموذج المقترح على التعلُّم القائم على التصميم الذي يُعد تعلُّمًا قائمًا على المشروع؛ حيث إن التصميم هو المشروع الذي يُستخدم كسياق للتعلم. ويحدث التعلُّم في هذا النموذج من خلال التكامل بين الاستقصاء العلمي وعملية التصميم الهندسي، فبواسطة الاستقصاء العلمي يتمكّن المتعلّم من البناء التدريجي لتعلُّم المفاهيم العلمية ذات الصلة بالتصميم؛ وبواسطة عملية التصميم الهندسي يتمكّن المتعلّم من ابتكار أو تطوير حلول تقنية للمشكلات الهندسية. ومن النماذج الذي تبنت هذا المبدأ؛ نموذج أبدو وزملاؤه (Apedoe et al., 2008)، ونموذج آيزنكرافت (Eisenkraft, 2011)، ونموذج جروبس وستريميل (Grubbs & Strimel,

(2015، ودورة التصـــميم من برنامج الدبلوما الدولية (Kersten, 2013)، ونموذج الهندســـة الموجهة بالجدل ADE (Baze et. al, 2018). ويتضمن هذا المبدأ الفئات الآتية:

- التعلُّم القائم على المشروع: ومع أن أسئلة المقابلة لا تتضمن سؤال صريح عن التعلُّم القائم على المشـروع، ولكن أظهرت البيانات أن خمسـة من الخبراء اسـتخدموا مصـطلح التعلُّم القائم على المشروع لوصف النموذج. عبّر الخبير (س ش، خبرة بحثية) بأن "الذي أراه في النموذج أنه عندي مفاهيم فيزيائية وتم تعلمها في سياق التعلم بالمشـروع". وذكرت الخبيرة (م ط، خبرة ميدانية) أن النموذج يتوافق مع المتطلبات التي على المعلم القيام بها "أصـــبح الآن التعلم بالمشاريع من المتطلبات التي على المعلم أن يمارسه مع طلابه". ورأت الخبيرة (س ل، خبرة مراكز علمية) أن "تعريض الطالبات لهذا المشاريع من مراحل مبكرة أفضل حتى يتدرج في اكتساب المهارات".
- التصـميم الهندسـي سـياق لتعلُّم الفيزياء: من مميزات النموذج المقترح أنه حدد أهداف تعلُّم للتصـميم الهندسـي ذات علاقة بأهداف تعلُّم الوحدة. ولقد عبّر أربعة من الخبراء عن أهمية هذا الإجراء؛ فأشـارت الخبيرة (م ط، خبرة ميدانية) "يتميز النموذج بأنه بدأ بتحليل الكتاب ثم وضع الأهداف". ورأى الخبير (ع ص، خبرة بحثية) "عندك في النموذج تفصيل أهداف تعلم الفيزياء وأهداف تعلم الهندســـة". وذكرت الخبيرة (م ح، خبرة ميدانية) "وأنا اقرأ النموذج وأقول الطالبة طول ماهي تشتغل على التصميم هي تحقق أهداف الوحدة." ولاحظ جميع المشاركين أن النموذج المقترح بدأ بالتهيئة للتحدي الهندسي، واتفق (١٢) من الخبراء على مناسـبة هذه البداية كسـياق لتعلُّم الفيزياء، في حين اقترح اثنان من الخبراء أن يؤخر عرض التحدي.
- التكامل بين الاستقصاء العلمي والتصميم الهندسي: اتفق جميع الخبراء على ظهور التكامل بين الاستقصـاء والتصـميم الهندسـي في النموذج، وقد برر خمسـة من الخبراء أهمية طريقة التكامل المقترحة بالنموذج لعدة أسـباب منها: ١) أن طريقة التفكير المسـتخدمة في الاسـتقصـاء تتشـابه مع الطريقة المسـتخدمة في عملية التصـميم، ٢) أن التكامل بين الاستقصاء والهندسة يُعطي مخرجات تعلُّم أفضل، ٣) مناسبة دمج الهندسة مع مادة الفيزياء تحديدًا، وذلك لمسـاعدة الطالبة على الفهم أكثر، والمتعة أثناء التعلُّم، وربط المادة بسـياق واقعي. ومع أن جميع الخبراء اتفقوا على أن النموذج يقوم على التكامل بين الاسـتقصـاء والتصـميم الهندسـي، إلا أنهم لم يتفقوا على شـكل الهيكل لنموذج التدريس، كما رأى أربعة من الخبراء أن شكل الهيكل معقد ويحتاج للتبسيط، ولكل منهم مبرراته.

- البناء التدريجي لتعلُّم المفاهيم العلمية ذات الصلة بالتصميم: تُشير البيانات إلى أن النموذج المقترح عالج مفهوم الأنظمة من خلال البناء التدريجي للمفاهيم ذات العلاقة بالتصميم، حيث عبّر (١١) من الخبراء عن هذه النتيجة بطرق مختلفة، وبرّر بعض الخبراء مناسبة الطريقة المستخدمة في النموذج المقترح لعدد من الأسباب، منها: ١) ظهور التكامل بين المفاهيم العلمية، ٢) تسهيل تعلُّم عملية التصميم الهندسي، ٣) الإسهام في تحقيق الغاية من استخدام عملية التصميم الهندسي في تعليم الفيزياء وهو الوصول لابتكارات تقنية تحل مشكلات واقعية، ٤) ضمان نجاح الطالب في تنفيذ عملية التصميم الهندسي.
- تمكن المتعلّم من ابتكار أو تطوير حلول تقنية للمشكلات الهندسية: يسعى النموذج المقترح إلى أن يتمكن الطلاب من ابتكار أو تطوير تقنيات؛ وذلك بتكليفهم بحل مشكلات، يستخدمون فيها معرفتهم بالعلوم والرياضيات وعملية التصميم الهندسي. وهذا ما عبّر عنه بعض الخبراء بطريقة صريحة، أو بذكر أهمية عملية التصميم في تعليم الفيزياء، ومن ذلك: ١) للهندسة دور في إنتاج التقنية، ٢) تعتمد الهندسة على مفاهيم الفيزياء، ٣) الهندسة تجعل من الطلاب منتجين للمعرفة وليس مستهلكين لها، ٤) سيدرك الطلاب الفرق بين عمل العالم وعمل المهندس.

المبدأ الثاني: يتبنى نموذج التدريس التصميم كممارسة هندسية.

يسعى نموذج التدريس المقترح إلى وصول الطلاب لمستوى الممارسة في التصميم الهندسي، وهو المستوى الذي يتمكّن فيه الطلاب من المعرفة بعناصر عملية التصميم الهندسي (ماذا نعرف؟)، والمعرفة بإجراءاتها (كيف نعرف؟)، والمعرفة بطبيعة تفكير المهندسين وتصرفاتهم عند حل المشكلات (متى نثق بالمعرفة؟). ولقد توصل الباحثان لهذه النتيجة من الفئات والرموز الناتجة من تحليل المقابلات، وفق الآتي:

- معرفة عناصر عملية التصميم الهندسي (ماذا نعرف؟): تمر عمليات وإجراءات نموذج التدريس المقترح بالمراحل التالية: التهيئة للتحدي الهندسي، واستكشاف بدائل التصميم، وتطوير التصميم، والتواصل حول التصميم. تضمنت هذه المراحل العناصر التفصيلية لعملية التصميم الهندسي، وهي: تحديد المشكلة وبحثها، وتخيل الحلول والجدل حولها، وإنشاء النماذج وتقويمها، وعرض التصميم والتأمل في العملية. واتفق خمسة من الخبراء على أن نموذج التدريس وضّح عناصر عملية التصميم الهندسي، فذكر الخبير (ع ي، خبرة ميدانية) "واضح من النموذج أن الطلاب استخدموا طريقة المهندسين في حل المشكلة، مثلًا

لما يكتشف التصميم ولما يطور التصميم ويتواصل حول التصميم، وهذا هي ممارسات المهندسين يستخدمها الطالب في الحصة".

- المعرفة الإجرائية لعملية التصميم الهندسي (كيف نعرف؟): يُقصد بالمعرفة الإجرائية هي فهم الإجراء الصحيح للمهارة، فمعرفة الطالب بعناصر عملية التصميم الهندسي لا تعني أنه يعرف كيف يقوم بهذه العملية. إن المعرفة الإجرائية تساعدنا في التحول من مستوى الأداء الآلي إلى مستوى الأداء الواعي بالمهارة، ونكون بذلك قاربنا على الوصول لمستوى الممارسة؛ أي ممارسة المهارة كالعلماء والمهندسين. فلا يُقصد بالممارسة تكرار المهارة إلى حد الاتقان. واعترض ثلاثة من الخبراء على المفهوم الذي قدمه النموذج لتعريف الممارسة، لعدة أسباب منها: ١) الممارسة هي معرفة ومهارة فقط، ولا يتفق الباحثان مع هذه الفكرة؛ لأن الممارسة أعمق من المهارة، ولا تتوقف الممارسة على معرفة بمحتوى ومهارة فقط. ٢) استهلاك وقت الحصة مع وجود أعداد كبيرة من الطلاب، ولا يتفق الباحثان مع هذا الرأي؛ لأن هذه المشكلة تعد تحدي رئيس لمعظم إستراتيجيات التعلُّم النشط، وينبغي التعامل معها. ٣) مناسبتها للطلاب الموهوبين فقط، ولا يتفق مع هذه الفكرة، لأن التعريف الذي قدمه النموذج للممارسة لا يتطلب عمقًا في المحتوى العلمي ودرجة معينة من التعقيد، وإنما يركز على كيف يفكر ويعمل الطالب عندما يمارس المهارات.
- المعرفة بطبيعة تفكير وتصرف المهندسين في حل المشكلات (متى تكون المعرفة موثوقة؟): أكد (١٥) مشاركًا أن سياق نموذج التدريس يساعد الطلاب على أن يتصرفوا كمهندسين، وبرر اثنان من الخبراء هذه النتيجة، نظرًا لطبيعة التحدي الهندسي المقدم للطلاب في الوحدة. ونبه اثنان من المشاركين على ضرورة أن يُوضّح للمعلّمين أن الغاية من تعليم الهندسة للطلاب ممارسة طريقة تفكير المهندسين، وليس بالضرورة توجيه الطلاب لمهنة الهندسة. كما تبين من آراء الخبراء إلى أن الطبيعة التحليلية في التفكير هي التي تقود عمل الطلاب كمهندسين أثناء حل المشكلة. وظهرت هذه الطبيعة في المنهجية التي قدمها نموذج التدريس المقترح لإدارة عملية التصميم الهندسي داخل البيئة الصفية، حيث وجّه نموذج التدريس إلى الاتصال الفعّال بين الطلاب ضمن فرق عمل، وذلك لطرح العديد من الحلول للمشكلة الهندسية. واستخدام النماذج العلمية التي تُجسد هذه الحلول، واختبار النماذج وتوقع احتمال عدم نجاحها من المحاولات المبدئية، وتطويرها لتلبي معايير وقيود التصميم، وذلك وصولًا لرضى المستفيدين، مع الأخذ بعين الاعتبار تقييم الآثار الاجتماعية للمنتجات.

المبدأ الثالث: يؤكد نموذج التدريس دور الطلاب في اتخاذ القرار أثناء عملية التصميم الهندسي.

إن الغاية من نموذج التدريس المقترح هو تعزيز الثقافة العلمية والتقنيّة التي تمُكّن الطلاب من المشاركة في اتخاذ القرارات في القضايا العلمية؛ لذا سعى النموذج لتوفير فرص تعليمية يمارس فيها الطلاب التصميم الهندسي معتمدا على الحجج العلمية لإيجاد أفضل الحلول للمشكلات الهندسية، بما يتفق مع عدد من الدراسات (Jonassen, 2012; Baze et al, 2018; Meyer, 2018). ولقد توصلت البحث لهذه النتيجة من الفئات والرموز الناتجة من تحليل المقابلات، وفق الآتي:

- طبيعة عملية التصميم الهندسي: طرح على الخبراء في المقابلة سؤالًا: كيف ساعد نموذج التدريس المقترح الطلاب على تقديم أفضل الحلول للمشكلة الهندسية؟ جاءت إجابات (١٣) من الخبراء بأن طبيعة عملية التصميم الهندسي هيأت للطلاب فرصًا تمكنهم من اختيار أفضل الحلول. وعبروا عن آرائهم بطرق مختلفة منها: ١) من مبررات الاتجاه إلى دمج الهندسة في تعليم العلوم هو تعزيز الثقافة العلمية، ٢) طبيعة عملية التصميم الهندسي تتطلب إيجاد بدائل الحلول ثم المفاضلة بينها، ٣) من محكات نجاح نموذج التدريس المقترح هو قدرة الطلاب على طرح العديد من بدائل الحلول واختيار الأنسب منها لحل المشكلة الهندسية، ٤) الأنشطة المحددة في النموذج تساعد الطلاب على تنمية مهارة اتخاذ القرار؛ كبناء مصفوفة اتخاذ القرار، وممارسة الجدل لاختيار أفضل الحلول.
- دور الجدل في اتخاذ القرار: ومن الأسئلة السابرة المتعلقة بالسؤال السابق؛ طرح السؤال التالي: ما رأيك بالدور الذي يمكن أن يقدمه الجدل العلمي للطلاب أثناء ممارستهم لعملية التصميم الهندسي؟. جاء تركيز إجابات الخبراء في ثلاث محاور هي: ١) جلسات الجدل في النموذج تدعم اتخاذ القرار في إيجاد أفضل الحلول للمشكلة، حيث وضّحت الخبيرة (ن ع، خبرة ميدانية) "الجدل أساسي في الهندسة، ووسيلة لتقويم التصميم". ٢) ضرورة ضبط إدارة جلسات الجدل لتؤدي الغرض منها. ٣) اعترض اثنان من الخبراء على استخدام الجدل في عملية التصميم الهندسي؛ حيث ذكر أحدهما (ع غ، خبرة بحثية) "الجدل في العلوم في العادة نربطه بالقضايا العلمية الاجتماعية"، وذكر الآخر (ش ف، خبرة ميدانية) "دورة التصميم الهندسي كدورة تعلم فكرة جميلة، ولكن عندي تحفُظ على كلمة جدل هل يمكن استخدامها تربويًا، ما أظن يسمى بالجدل". وهذا يؤكد ما أبداه بعض الخبراء في مرحلة تحكيم النموذج المبدئي بربط مفهوم الجدل العلمي بالقضايا العلمية المجتمعية فقط. ويعد هذا مفهوما ضيقا للجدل العلمي، فالجدل العلمي ممارسة أساسية يتطلبها الاستقصاء

العلمي من خلال ممارسة "الانخراط في الحجة القائمة على الأدلة"، وكذلك في ممارسات "تحليل وتفسير البيانات"، و"الحصول على المعلومات وتقويمها والتواصل بها" (Grooms et al., 2015).

المبدأ الرابع: يعزز نموذج التدريس الفعّالية الذاتية في التصميم الهندسي لدى الطلاب.

أظهر التحليل النوعي للبيانات أربع فئات لهذا المبدأ، وهي: الخبرات المقننة، والخبرات البديلة، والاستثارة العاطفية، والإقناع اللفظي، وفيما يلي توضيح ذلك:

- الخبرات المتقنة: اتفق جميع الخبراء على أن نموذج التدريس وفّر للطلاب فرصًا لاكتساب خبرة في التصميم الهندسي، وحدد ستة من الخبراء نوع الخبرة التي قد يكتسبها الطلاب، وهي طريقة تفكير المهندسين في حل المشكلات، فعلى سبيل المثال، وضحت الخبيرة (م ح، خبرة ميدانية) "طبعًا وفر لهم فرصة التصميم، طالما إنه عندهم مشكلة ومشو على خطوات التصميم الهندسي وتوصلوا للمنتج فهم فكروا كالمهندسين". وهذا ما أكدته دراسة ماجور وكيرن (Major & Kirn, 2016) بأن التعلُّم القائم على المشروع يسمح للطلاب بابتكار هوية مهمة التصميم، التي بدورها تنمي الفعّالية الذاتية في التصميم.
- الخبرات البديلة: وفّر نموذج التدريس مصادر للخبرات البديلة وهي: التعريف بمهنة الهندسة ذات العلاقة بنوع المنتج، تسليط الضوء على سيرة مهندس أو مهندسة يكون لهم منجزات عالمية في مجالهم. وتوفير روابط لمواقع إلكترونية تعرض كيف يعمل المهندسون على إنتاج تقنيات معينة. وأيد اثنان من الخبراء التغيير الذي تم في فقرة المهن في الكتاب المدرسي، حيث تم استبدال مهنة اختصاصي النظارات بتوضيح لعمل المهندسين المعمارين والتعريف بالمهندسة زها حديدي. وأيد ثلاثة من الخبراء أهمية تزويد الطالبات بالمواقع الإلكترونية التي تعرض كيف يعمل المهندسون على الابتكار وإنتاج التقنيات، ولكن لابد من مراعاة جودة المحتوى بحيث يعكس طبيعة عمل المهندسين. وبالنسبة لاستضافة المهندسين داخل الفصول الدراسية؛ جاءت استجابات (١٥) من الخبراء بالتأييد لهذه الفكرة، فذكر الخبير (ع ص، خبرة بحثية) من واقع خبرته من الدورات التدريبية "مهم جدًا فكرة الخبرات البديلة أو الاستعانة بالخبراء في تعليم ستيم، أنا حضرت دورة في الاتحاد الأوربي يركز على استضافة الخبراء لتعليم ستيم، وكذلك في جامعة أحمد زويل يستضيفوا علماء في تخصصات مختلفة يتكلموا عن تجاربهم". وهذا يؤكد ما توصلت إليه نتائج دراسة مارتن (Martin, 2011) أنه كلما زاد تعرض الطالب للخبرات الهندسية وللأفراد المؤثرين زادت فعّاليته الذاتية.

- الاستثارة العاطفية: سعى نموذج التدريس المقترح إلى تقديم إجراءات تدعم الطلاب للمثابرة وتحمل صعوبات التصميم. ومن هذه الإجراءات مراعاة مناسبة مستوى التحدي للمرحلة العمرية للطلاب، وتزويد المعلّم بدليل إجرائي عند استخدام نموذج التدريس المقترح. وفيما يلي رأي الخبراء في مدى مناسبة هذه الإجراءات: ١) مستوى التحدي الهندسي: اتفق أربعة من الخبراء على صعوبة التحدي، وذلك لأن خبرة التصميم الهندسي جديدة على الطلاب، وقُدم لهم في المرحلة الثانوية دون أن يكون لديهم خبرات سابقة في مراحل التعليم المبكرة. وفي المقابل عبّر أربعة من الخبراء عن مناسبة التحدي لمستوى الطلاب، وكانت من مبرراتهم: الحلول المحتملة للتحدي الهندسي تعتمد على المعرفة العلمية في كتاب الطالب، والآلية التي اتبعها النموذج لوصول الطلاب للحلول؛ وذلك بالتدرج في تقديم المعرفة العلمية ذات العلاقة بالتحدي الهندسي، وتنوع الأنشطة الهندسية المطورة بحيث راعت الفروق الفردية بين الطلاب، والتحدي الهندسي المقدم للطلاب يستثير تفكيرهم لإيجاد الحلول. ٢) توجيهات المعلّم: ذكر خمسة من الخبراء على أن دليل المعلّم وصف بدقة دور المعلّم والطالب. وهذا يتفق مع ما توصلت إليه نتائج دراسات السابقة (Usher et al., 2015; Russo, 2019).
- الإقناع اللفظي: إن التعزيز الإيجابي من الزملاء والمعلّم يسهم في تنمية الفعّالية الذاتية في التصميم لدى الطلاب؛ لذلك كان من إجراءات نموذج التدريس المقترح أن يعمل الطلاب في مجموعات تعاونية لإيجاد الحلول، وأن تشارك هذه المجموعات في جلسات الجدل العلمي. وفيما يلي آراء الخبراء في مدى مناسبة هذه الإجراءات: ١) التعزيز من الزملاء داخل المجموعة، حيث ركّز النموذج تعلُّم الأقران من خلال عمل الطلاب في مجموعات، حيث أشارت الخبيرة (ش ف، خبرة ميدانية) "يظهر في النموذج دعم للعمل الجماعي، وتوضيح كيف سيتم التعامل مع النماذج بعضها لم ينجح وبعضها نجح وبعضها تحتاج تعديل حتى تنجح. هذا الشي في التفكير رائع جدا". ٢) جلسات الجدل العلمي: أسهم الجدل العلمي في منح الطلاب فرصًا للمناقشة مع أقرانهم في كيفية التعديل والتطوير على نماذجهم، وأكد النموذج فكرة التعلُّم من الفشل، فوضّحت الخبيرة (ز ص، خبرة بحثية) "كان التأكيد على تعزيز فكرة التعلم من الفشل والقيمة المضافة منها من خلال الجدل العلمي مثلًا لما يبرر التعديلات على التصاميم الخاصة بهم في جلسات الجدل". كما أكد النموذج دور التعزيز اللفظي في رفع الفعّالية الذاتية من خلال تكرار جلسات الجدل، كما أشارت الخبيرة (أ ع، خبرة مراكز العلمية) إلى أن "من النقاط المميزة بالنموذج هو التقرير التأملي المطلوب من الطالبة بمعنى الطالبة تراجع عملية التعلم من بداية المشروع إلى

نهايته". ولقد توصل جاكسون (Jackson, 2015) إلى أن عمل الطلاب ضمن فرق تعاونية متنوعة في تنفيذ الأنشطة، وتزويدهم بالتغذية الراجعة يزيد من فعّاليتهم الذاتية في الهندسة. وأكدت نتائج دراسة يوشر وزملائها (Usher et al., 2015) أنه عندما يتبع الخبرة الناجحة تعزيز فإن ذلك يكسب شعورًا بالفعّالية والدافعية، وخاصة عند طلب الأصدقاء منهم المساعدة في المهام الهندسية فإن ذلك يعزز ثقتهم في قدراتهم الهندسية.

المبدأ الخامس: ينمي نموذج التدريس عادات العقل الهندسية.

يسعى نموذج التدريس المقترح إلى أن يمارس الطلاب الأنماط الفكرية التي يُفضلها المهندسون عند مواجهة التحديات الهندسية، ومن الأنماط التي عزّزها النموذج من وجهة نظر الخبراء؛ التعرف على المشكلة، والإبداع في حل المشكلات، والقدرة على التكيف. وهي تمثل بعض من العادات العقلية الهندسية التي حددها لوكاس وهانسون (Lucas & Hanson, 2014). اتفقت نتائج هذا البحث مع دراسة النهائية وأمبوسعيدي (٢٠٢٠) التي كشفت عن الأثر الإيجابي لتضمين التصميم الهندسي في مناهج العلوم، على تنمية عادات العقل الهندسية. في حين اتفقت جزئياً مع نتائج دراسة النجار (٢٠١٧) التي توصلت إلى فاعلية الحقائب التدريبية القائمة على منحى STEM بالمراكز العلمية في تنمية عادات العقل لدى طالبات الصف السادس الابتدائي، ودراستي الداود (٢٠١٧) والمقبل (٢٠٢٠) حيث أظهرتا أثر مدخل تعليم STEM في تدريس العلوم على تنمية عادات العقل لدى طالبات الصف الثالث المتوسط في مدينة الرياض. وتوصل الباحثان لهذه النتيجة من الفئات والرموز الناتجة من تحليل المقابلات، وفق الآتي:

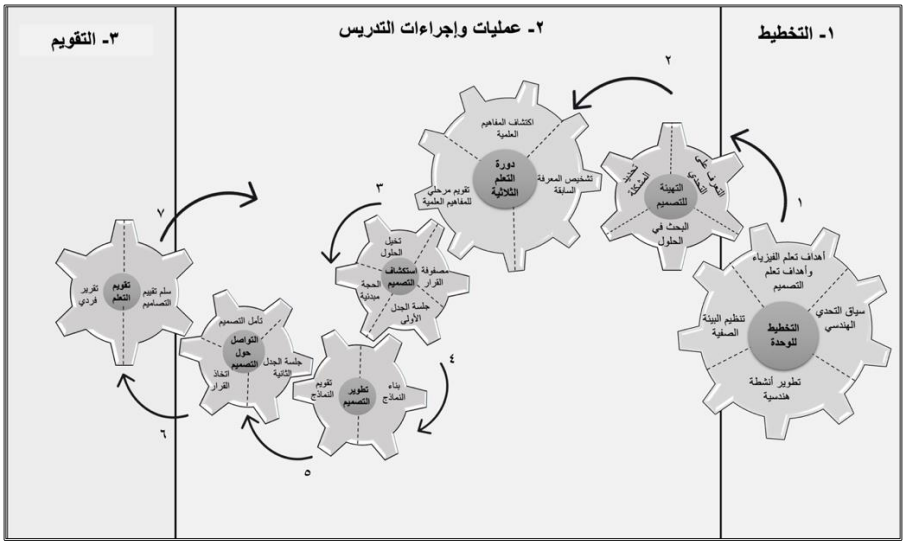
- التعرف على المشكلة: يوفر نموذج التدريس المقترح سياق تعلُّم للطلاب، يساعدهم في تنمية النمط الفكري الذي يستخدمه المهندسون في التعرف على المشكلة بنجاح، فأشار (٦) من الخبراء أن النموذج مكّن الطلاب من التعرف على المشكلة وتحديد معايير وقيود الحلول لها، واستخدام المواقع الإلكترونية للتعرف على تقنيات تم ابتكارها لحل مشكلات سابقة ذات علاقة بالتحدي الهندسي المطروح. وساعدت توجيهات المعلّم المذكورة في الدليل على تمكين الطلاب من تحديد المشكلة. ووفرت الوحدة المطورة مصادر تعلُّم تساعد الطلاب في البحث في المشكلة، فذكرت على سبيل المثال الخبيرة (ب ج، خبرة بحثية) "الروابط الالكترونية الي وضعتيها في الوحدة أعطت للطالبات الفرصة للبحث بتوسع".
- الإبداع في حل المشكلات: ساعد نموذج التدريس المقترح الطلاب وفق رأي الخبراء على تنمية النمط الفكري الذي يستخدمه المهندسون للإبداع في حل المشكلات، وذلك بعدة أساليب منها: ١) أن النموذج أعطى للمعلّم توجيهات بتنظيم الطلاب في مجموعات

لممارسة العصف الذهني، فذكرت الخبيرة (ب ج، خبرة بحثية) "لاحظت مثلًا نشاط العصف الذهني علشان الجانب الإبداعي والخروج بحلول التصميم". ٢) نظّم النموذج جلستين للجدل العلمي لاختيار الحل المناسب. ٣) وفّر النموذج للطلاب فرصة بناء مصفوفة اتخاذ القرار، حيث أشارت الخبيرة (س ل، خبرة مراكز علمية) إلى أن "مصفوفة اتخاذ القرار هل يشارك الطالب في إعدادها؟ هذا يساعدها كثير في الحلول المناسبة".

- القدرة على التكيف: هيأ نموذج التدريس المقترح الفرص للطلاب لتنمية النمط الفكري الذي يستخدمه المهندسون لاختبار وتعديل تصاميمهم، مع ضرورة أن الحلول المقدمة تكون متكيفة مع حاجة المستفيد منها. كما أن وجود جلسات الجدل أعطت انطباعًا بأن هناك حلولًا متعددة وسيتم الاختيار بينها حسب تحقيقها لمعايير وقيود التصميم. وهذا ما أشارت إليه الخبيرة (م ج، خبرة مراكز علمية) "أنت اعطيتهم أوراق وأنشطة تشارك الطالبة برأيها في نموذجها ونموذج الفريق الآخر، وتحدد نقاط الضعف والقوة، وعلى أساسها تختار وتقرر".

تعديل النموذج:

بناء على تحليل المعالم والفئات السابقة وفق وجهة نظر الخبراء؛ توصل إلى عدد من الملاحظات، وأبرزها أن هيكل النموذج معقد، ويوجد تكرار وتداخل بين مراحله، وقد يتسبب في تشكيل تصورات خاطئة لدى المعلّم. ولحل مشكلة التداخل بين مرحلة التهيئة للتصميم ودورة التعلُّم وتقويم التصميم؛ نُقلت خطوة تشخيص المعرفة السابقة من مرحلة التهيئة للتصميم إلى مرحلة دورة التعلُّم الثلاثية، وأصبحت مرحلة التهيئة للتصميم تتضمن التّعرف على التحدي الهندسي، وتحديد المشكلة، والبحث في الحلول التقنية. أما مرحلة دورة التعلُّم الثلاثية؛ فاستبدل مصطلح "التركيز" بمصطلح "تشخيص المعرفة السابقة"، وتحديد التقويم في دورة التعلُّم بالتقويم المرحلي للمفاهيم العلمية، لأن النموذج يحتوي على مرحلة لتقويم التصميم. وبذلك، أصبحت مرحلة دورة التعلم الثلاثية تتضمن: تشخيص المعرفة السابقة، واكتشاف المفاهيم العلمية، والتقويم المرحلي للمفاهيم العلمية. كما أعطيت مرحلة دورة التعلُّم حجمًا أكبر في الهيكل، للدلالة على أن الغاية من النموذج هو تعلم المفاهيم الفيزيائية في سياق هندسي. وهذا الأسلوب في تنظيم النموذج يتفق مع النماذج الآتية (Apedoe et al., 2008; Eisenkraft, 2011; Kersten, 2013; Grubbs & Strimel, 2015; Johnson et al., 2015)، و لتبسيط شكل النموذج عدل كما يظهر بالشكل (٣).



شكل (٣) النموذج المطور.

يتضح من الشكل (٣) أن النموذج يتكون من ثلاثة أبعاد أساسية هي:

- التخطيط: وذلك بتحديد: أهداف لتعلم الفيزياء وللتصميم الهندسي، وبناء سياق للتحدي الهندسي، وتطوير أنشطة للممارسات الهندسية تدعم التحدي، وتهيئة البيئة الصفية.
- عمليات وإجراءات التدريس: التي تشمل: ١) التهيئة للتصميم الهندسي، وتتضمن: التعرف على التحدي، وتحديد المشكلة، والبحث عن الحلول التقنية. ٢) دورة التعلم الثلاثية، وتتكون من: تشخيص المعرفة السابقة، واكتشاف المفاهيم العلمية، وتقويم مرحلي للمفاهيم العلمية. ٣) استكشاف التصميم، وتشمل: تخيل الحلول، وتوليد حجة مبدئية، وجلسة الجدل الأولى حول بدائل التصميم. ٤) تطوير التصميم، ويضم: بناء النماذج، وتقويم النماذج. ٥) التواصل حول التصميم، وتحوي: جلسة الجدل الثانية، اتخاذ القرار، تأمل عملية التصميم.
- تقويم نواتج التعلم: وذلك باستخدام سلم تقييم التصاميم، وبتكليف الطالبات بكتابة تقرير.

ثانيا: النموذج النهائي:

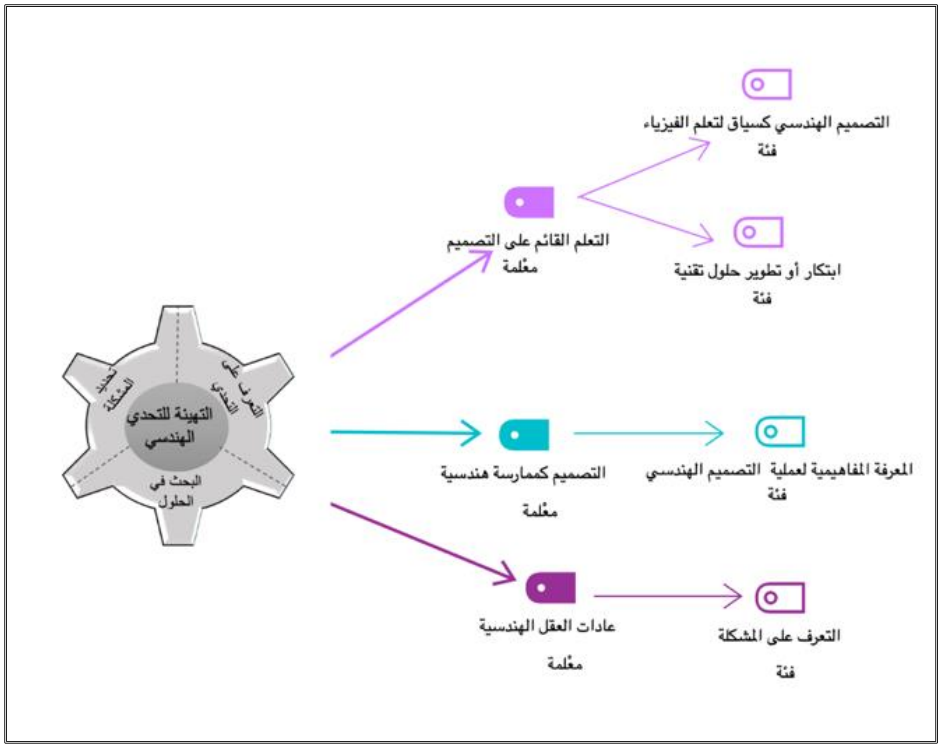
طبق النموذج المعدل في تدريس وحدة الضوء لمدة سبعة أسابيع. سعت هذه المرحلة لتحليل ما يحدث داخل الفصل الدراسي، فجمعت البيانات من خلال تسجيلات الحوارات داخل الحصص الدراسية، وتحليل أوراق العمل والتقارير والعروض التي تقدمها الطالبات، ومقابلة (١٠) طالبات. وحللت البيانات النوعية في ضوء المبادئ (المعالم) الخمسة التي يقوم عليها نموذج التدريس المقترح، وهي: ١) يستند النموذج على التعلُّم القائم على التصميم، ٢) يُظهر النموذج التصميم كممارسة هندسية، ٣) يؤكد النموذج دور الطلاب في اتخاذ القرار أثناء عملية

التصميم الهندسي، ٤) يعزز النموذج الفعّالية الذاتية في التصميم الهندسي لدى الطلاب، ٥) ينمي النموذج عادات العقل الهندسية لدى الطلاب. وسردت الأحداث حسب تسلسلها الزمني، وحللت في ضوء المبادئ الخمسة؛ مما أدى إلى تكرار ظهور بعض المبادئ حسب طبيعة مراحل نموذج التدريس. وركز التحليل على بعدي: عمليات وإجراءات التدريس، والتقويم.

البعد الأول: عمليات وإجراءات التدريس:

١. مرحلة التهيئة للتصميم الهندسي:

تضمنت هذه المرحلة ثلاث خطوات: التعريف بالتحدي الهندسي، وتحديد المشكلة، والبحث في الحلول التقنية. واستغرقت هذه المرحلة ثلاث حصص (حصة لكل خطوة). ويتضح من التحليل النوعي للبيانات؛ ظهور ثلاثة من المبادئ (المعالم) التي يقوم عليها نموذج المقترح للتدريس وهي: استناد النموذج على التعلُّم القائم على التصميم، وظهور التصميم الهندسي كممارسة، وتنمية عادات العقل الهندسية. وتوصل إلى هذه النتيجة من الفئات والرموز الناتجة من تحليل البيانات النوعية لتسجيلات الحصص وأوراق العمل ومقابلات الطالبات، كما تظهر في الشكل (٤).



شكل (٤) نتائج التحليل النوعي لمرحلة التهيئة للتحدي الهندسي

يبين الشكل (٤) الفئات التي تعبر عن المبادئ التي تقوم عليها المرحلة، وهي:

المبدأ الأول: يستند نموذج التدريس على التعلُّم القائم على التصميم.

يعتمد النموذج على التعلم القائم على التصميم الذي يُعد المشروع سياقاً للتعلُّم لتتمكن فيه الطالبات من ابتكار أو تطوير حلول تقنية للمشكلات الهندسية، وفق الاتي:

- التصميم الهندسي سياق لتعلُّم الفيزياء: يتضح في هذه المرحلة أن الطالبات يمارسن التعلُّم لأجل حل مشكلة حقيقية، وتمكنت الطالبات من تحديد المشكلة، ويظهر من الإجابة أن الطالبات تمكّنَّ من تحديد المشكلة بدقة من خلال تحديد معايير وقيود الحلول. ومن جانبٍ آخر كان مستوى تحفيز المشكلة الهندسية بالنسبة للطالبات مناسبًا، حيث عبّرت خمس طالبات خلال المقابلات عن أهمية الموضوع بالنسبة لهن. ووضحت طالبتان سبب قلقهن من التحدي أنه يعود لعدم معرفتهن بالتصميم الهندسي وليس لموضوع التحدي. وعند سؤال الطالبات عن مدى مناسبة التوجيهات التي تم تلقيها من المعلّمة أثناء تحديد المشكلة، عبّرت (٧) طالبات عن مناسبة التوجيهات. كما وضحت بعض الطالبات أن التنوع في أوراق العمل أثناء تحديد المشكلة أسهم في فهم المشكلة فهمًا أفضل، وكذلك تصميم ورقة عمل جماعية يتم فيها تلخيص المشكلة بأسلوب الطالبات.
- في عملية التصميم الهندسي يتمكن المتعلّم من ابتكار أو تطوير حلول تقنية للمشكلات الهندسية: من أهداف الوحدة المطورة أن تصبح الطالبة قادرة على تصميم نظام للإضاءة النهارية في مركز تعليمي. وهذا ما وُضح الطالبات بنهاية مرحلة التهيئة للتحدي الهندسي، ولكن أثناء عرض التحدي على الطالبات في الفصل سألت إحدى الطالبات عن كيفية تحديد المشكلة، وكان من الأفضل لحل هذا الارتباك الذي حصل عند الطالبات تقديم صور عن تقنيات الإضاءة قبل تحديد المشكلة، وبهذا تتعرف الطالبة مبدئيًا وبشكل مبسط على تقنيات الإضاءة النهارية. ومن المميزات التي ذكرها بعض الخبراء عن أهمية عملية التصميم في تعليم الفيزياء هو أن الطلاب سيدركون الفرق بين عمل العالم وعمل المهندس، وفعلًا هذا ما حدث في خطوة تحديد المشكلة عندما استفسرت إحدى الطالبات عن ضرورة استخدام جميع تقنيات الإضاءة عند تقديم حلول للمشكلة، حيث إنها لا ترى ضرورة لاستخدام الأنابيب الضوئية في المنازل. ووضح للطالبات أن ما يميز عمل المهندسين هو أن التصميم يكون حسب حاجة المستفيد منه. ويتضح مما سبق؛ أن الطالبات من مرحلة التهيئة للوحدة أصبح لديهن تصور بأن الحلول التي يقدمها المهندسون تكون بحسب حاجة المستفيدين منها.

المبدأ الثاني: يظهر نموذج التدريس التصميم كممارسة هندسية.

يسعى نموذج التدريس المقترح إلى وصول الطالبات لمستوى الممارسة في التصميم الهندسي، ولكن في مرحلة التهيئة للتحدي الهندسي كان التركيز على المعرفة المفاهيمية، التي تعني معرفة الطالبة بعناصر عملية التصميم الهندسي. ومن خلال مقابلات الخبراء، ذكر بعضهم أن عملية التصميم الهندسي معقدة وقد تواجه الطالبات صعوبة في فهمها. لذلك، قامت المعلّمة قبل البدء بالتحدي الهندسي، بتعريف الطالبات بخطوات عملية التصميم الهندسي، وبماذا يختلف عن الاستقصاء العلمي. ولتسهيل تعلُّم عملية التصميم على الطالبات؛ قدمت المعلمة لهن عرض بوربوينت يوضح كيف يمكن استخدام عملية التصميم الهندسي لحل مشكلة عمل الشطائر في حفلة عشاء. وبعد عرض المقطع ظهر الارتياح على بعض الطالبات، ولكن البعض منهن كان قلقًا من الطبيعة التكرارية في عملية التصميم، وطمأنت المعلّمة الطالبات بأنه إذا تم تحديد معايير وقيود التصميم بدقة، لن يكون التعديل بالكامل على التصميم، وإنما في الجزء الذي يحتاج ذلك. بالإضافة إلى أنه لن يتم تقديم التصميم بالشكل النهائي، إلا بعد بناء النماذج الأولية التي تمكنهم من اكتشاف الأخطاء مبكرًا. واستخدم تصميم انفوجرافيك لعملية التصميم الهندسي مثبت على الحائط، تستعين به الطالبات أثناء تصميم نماذجهن لتذكر خطوات عملية التصميم الهندسي. ولقد كان من أساليب التقويم في النموذج أن تقدم كل طالبة تقريرًا فرديًا يتكون من عدة محاور، من ضمنها أن تصف الطالبة خطوات عملية التصميم الهندسي التي نفذتها لتصميم مركز تعليمي صديق للبيئة يعتمد على الإضاءة النهارية. واتضح من التقارير أن الطالبات تمكّنَّ من وصف عملية التصميم الهندسي، ولكن بمستويات متفاوتة من الدقة العلمية.

المبدأ الثالث: ينمي نموذج التدريس المقترح عادات العقل الهندسية

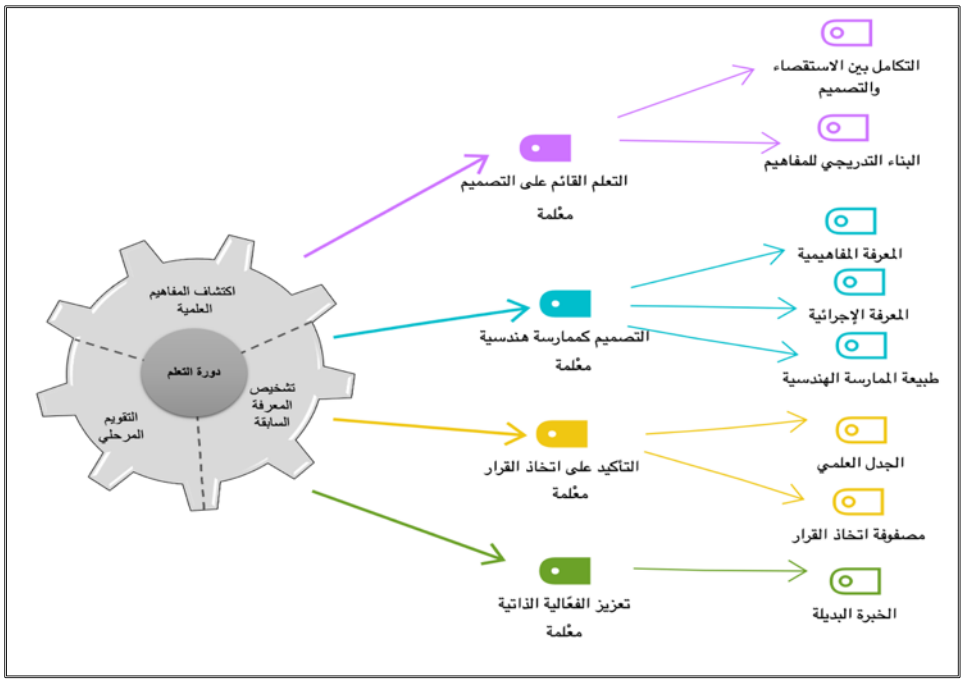
سعى نموذج التدريس المقترح إلى أن تمارس الطالبات الأنماط الفكرية التي يُفضلها المهندسون عند مواجهة التحديات الهندسية، ومن الأنماط التي عززها النموذج في مرحلة التهيئة للتصميم هو التّعرف على المشكلة. ولم تتمكن الطالبات في بداية عرض المشكلة من تحديد المشكلة، ولكن بعد المناقشة على مستوى المجموعات تطور مستوى الطالبات في صياغة المشكلة؛ وذلك لتأثير التغذية الراجعة. وتمكنت الطالبات من التعرف على المشكلة وتحديد معايير وقيود الحلول لها.

٢. مرحلة دورة التعلُّم

بعد أن حددت الطالبات مشكلة التصميم في المركز التعليمي، تم الانتقال إلى مرحلة دورة التعلم، لتنمية المفاهيم والممارسات العلمية والهندسية التي تدعم الطالبات في المرحلة التالية من

عملية التصميم الهندسي، التي يقمن فيها الطالبات باستكشاف حلول لتصميم الإضاءة النهارية في المركز التعليمي. وتتضمن دورة التعلُّم ثلاث خطوات هي: تشخيص المعرفة العلمية السابقة عن ظاهرة الضوء، واستكشاف المفاهيم العلمية ذات العلاقة بطبيعة الضوء، والتقويم المرحلي لما تم تعلُّمه خلال هذه المرحلة. واستغرق تنفيذ الأنشطة المطورة (٩) حصص دراسية. وتمت التهيئة لهذه الأنشطة بتقييم المعرفة السابقة التي حصلت عليها الطالبات.

وتبين من تحليل البيانات؛ ظهور أربعة من المبادئ (المعالم) التي يقوم عليها النموذج، وهي: استناد النموذج على التعلُّم القائم على التصميم، وظهور التصميم الهندسي كممارسة، والتأكيد على دور الطلاب في اتخاذ القرار أثناء عملية التصميم الهندسي، وتعزيز الفعّالية الذاتية في التصميم الهندسي. وتوصلت الباحثان إلى هذه النتيجة من الفئات والرموز الناتجة من تحليل البيانات النوعية لتسجيلات الحوارات وتحليل أوراق العمل ومقابلات الطالبات، كما يظهر في الشكل (٥).



شكل (٥) نتائج التحليل النوعي مرحلة دورة التعلُّم

يظهر في الشكل (٥) الفئات التي تعبر عن المبادئ التي تقوم عليها دورة التعلُّم، وهي:

المبدأ الأول: يستند نموذج التدريس على التعلُّم القائم على التصميم.

يحدث التعلُّم في هذا النموذج من خلال التكامل بين الاستقصاء العلمي وعملية التصميم الهندسي، فبواسطة الاستقصاء العلمي يتمكن المتعلّم من البناء التدريجي لتعلُّم المفاهيم العلمية ذات الصلة بالتصميم. وفق الآتي:

- التكامل بين الاستقصاء العلمي والتصميم الهندسي: تضمنت الوحدة المطورة أنشطة تدعم الطالبات في استيعاب المفاهيم العلمية، وتصميم الحلول لمشكلة الإضاءة النهارية في المركز التعليمي. ووفرت هذه الأنشطة سياقات واقعية لاستخدام تقنيات الإضاءة النهارية، التي تعتمد في عملها على القوانين العلمية في وحدة الضوء. وعند تنفيذ الأنشطة كانت المعلمة تهيئ الطالبات لهذه الأنشطة بتقييم المعرفة السابقة، واتضح أن لديهن صعوبة في استيعاب بعض المفاهيم والقوانين، فتبنت عدد من الأساليب مثل: فيديو تعليمي، رسوم توضيحية. وهذا ما عبّرت عنه الطالبات عند سؤالهن في المقابلة عن رأيهن في الأنشطة المطورة، حيث أكدن أن دمج الأنشطة المطورة مع مقرر الفيزياء يُعطي مخرجات تعلُّم أفضل، ويجعل تعلّم الفيزياء أكثر متعة وربط بالسياق الواقعي.
- البناء التدريجي لتعلُّم المفاهيم العلمية ذات الصلة بالتصميم: طُورت أربعة أنشطة عن تقنيات الإضاءة النهارية، بحيث إن التكامل بين هذه التقنيات الأربعة يمثل نظام الإضاءة النهارية في المركز التعليمي. وأبدت الطالبات تفاعلا إيجابيا مع تنفيذ الأنشطة، وظهر ذلك في تعبيراتهن أثناء إجراء المقابلات الشخصية. كما أتضح تمكنهن من ذلك من خلال ما أظهرته أساليب التقويم في نموذج التدريس، تمكنت الطالبات من خلال التقارير الفردية تفسير تقنيات الإضاءة النهارية التي استخدمنها في تصاميمهن الهندسية، وإن كان بمستويات متفاوتة من الدقة العلمية.

المبدأ الثاني: يظهر نموذج التدريس المقترح التصميم كممارسة هندسية

سعى نموذج التدريس المقترح إلى وصول الطالبات لمستوى الممارسة في التصميم الهندسي، ولكن في مرحلة دورة التعلُّم وتحديدًا في الأنشطة المطورة ظهرت ممارستان فقط هما: بناء التفسيرات العلمية وتصميم الحلول الهندسية، والمشاركة في الحجة القائمة على الدليل العلمي. وعندما صُممت أوراق العمل للوحدة المطورة وضعت في مقدمة كل ورقة توضيحاً للممارسة المستهدفة في النشاط بغرض تطوير فهم الطالبات. وذلك بإبراز طرق المعرفة لهن من خلال، توجيههن أثناء تنفيذ النشاط إلى أن تساعدهم المعرفة الإجرائية في الوصول للمعرفة العلمية، وأن لممارسات المهندسين طبيعة تُمكنهم من الوثوق في هذه المعرفة التي تقوم عليها حلول التصميم. وتوصل الباحثان من تحليل سيناريوهات تنفيذ الأنشطة الصفية إلى أن ممارسات الطالبات وصلت إلى حدّ ما لمستوى الممارسات العلمية والهندسية في ضوء التعريف الذي تبناه البحث.

المبدأ الثالث: يؤكد نموذج التدريس دور الطلاب في اتخاذ القرار أثناء عملية التصميم الهندسي

إن الغاية من نموذج التدريس هو تعزيز الثقافة العلمية والتقنيّة التي تمُكّن الطالبات من المشاركة في اتخاذ القرارات في القضايا العلمية. لذا، سعى النموذج خلال دورة التعلُّم إلى توفير فرص تعليمية تمارس فيها الطالبات الجدل العلمي، وبناء مصفوفة اتخاذ القرار. وفق الآتي:

- دور الجدل في اتخاذ القرار: يُعد استخدام الجدل من الطرق المنظمة للتعبير عن عملية صنع القرار في التصميم الهندسي، فبدلاً من اتخاذ القرارات بناءً على الاحتمالات والأوزان فقط، فيمكن أن يُطلب من الطلاب إنشاء حجج تسمح لهم بحل النزاعات بين الخيارات المتنافسة (Jonassen, 2012). لذا، سعى النموذج في مرحلة دورة التعلُّم إلى توفير أنشطة تعليمية يمارس فيها الطلاب الجدل بشكل ضمني أو صريح، ومن الممارسات العلمية والهندسية التي ركّزت عليها الأنشطة المطورة في دورة التعلُّم؛ بناء التفسيرات العلمية وتصميم الحلول الهندسية التي يُمارس فيها المتعلّم الجدل بشكل ضمني. ومن الأساليب أيضًا التي اتبعها النموذج في التقويم المرحلي من دورة التعلُّم لتعزيز ممارسة الجدل العلمي، توزيع الطالبات في مجموعات، وعرض عليهن مخطط المركز التعليمي. وحدد لهن وقتًا للمناقشة داخل المجموعات للإجابة عن السؤال التالي: حددي الأخطاء في تصميم الإضاءة النهارية في المركز التعليمي مع ذكر السبب؟. وبعد انتهاء الوقت، طلبت المعلّمة من كل مجموعة عرض الأخطاء التي توصلت إليها، وعلى باقي المجموعات متابعة العرض وتقييم الإجابات، وفي حال عدم الاقتناع بالإجابة عليهم كتابة حجتهم العلمية وتوضيحها للمجموعة التي عرضت تقييمها للمبنى. وكان عدد المجموعات التي تشكلت عشر مجموعات، وعرض على كل مجموعة الأخطاء التي توصلت إليها وحددت الأسباب. واتضح من خلال العرض أن أربع مجموعات فقط تمكنت من تحديد جميع الأخطاء في مخطط المركز التعليمي، وثلاث مجموعات حددت معظم الأخطاء، ومجموعتين حددت خطأين فقط في المخطط، ومجموعة لم تقم بالمهمة.
- بناء مصفوفة اتخاذ القرار: من الأساليب التي اتبعتها المعلّمة مع الطالبات لتنمية قدرتهن على اتخاذ القرار، توفير فرصة المشاركة في بناء مصفوفة اتخاذ القرار لتقييم التصاميم الهندسية للمجموعات، واختيار التصميم الأفضل، فقد حددت المعلّمة مع الطالبات معايير وقيود التصميم من التحدي الهندسي، ثم ناقشت معهن درجات ومستويات التقييم، ولاحظت المعلّمة قلق بعض الطالبات من التقييم. فوضحت لهن أن درجات المصفوفة غير مرتبطة بدرجات المقرر، وأكدت عليهن بتجنب الذاتية في تقييم المشاريع، وأن التقييم يعتمد على الحجج

العلمية، وأنه لن يتم تقييم التصاميم إلا بعد أن تزود كل مجموعة بتغذية راجعة على تصميمها في جلسات الجدل العلمية.

المبدأ الرابع: يعزز نموذج التدريس الفعّالية الذاتية في التصميم الهندسي لدى الطلاب.

من أبرز مصـــادر الفعّالية الذاتية في مرحلة دورة التعلُّم؛ هي الخبرة البديلة. وتم ذلك باستضافة مهندسة معمارية عبر منصة زوم. لتشارك الطالبات خبرتها الأكاديمية في تخصص الهندسة، وتجيب عن استفساراتهن، حيث بدأت المهندسة بالتعريف عن علم الهندسة، وعرضت المهندسة على الطالبات رسماً توضيحياً لخطوات عملية التصميم الهندسي، ثم وضحت طريقة سوات لتقييم المشاريع، كما وضحت العلاقة المتبادلة بين الهندسة والمجتمع، وتحديدًا كيف تطور شكل النوافذ في التصاميم العمرانية من بداية بيوت الطين، وقارنت التصميم القديم بالتصميم الحديث للمباني الذي أثر سلبًا على تصميم النوافذ ولم تؤد الغرض منها. وأشارت المهندسة إلى تأثير جائحة كورونا في اتجاه المجتمع إلى تعديل مشكلة إهمال نوافذ المنزل. وأكدت المهندسة العلاقة المتبادلة بين الهندسة والمجتمع. وظهر حماس الطالبات بلقاء المهندسة وطرحن عليها عدة أسئلة، وبعد ذلك عبّرت الطالبات خلال مقابلتهن مع الباحثة عن استفادتهن من لقاء المهندسة؛ لأنهن كنا بحاجة للتعرف على متطلبات دراسة تخصص الهندسة. وجاءت نتائج لقاء المهندسة بالطالبات مؤيده لتبرير الخبراء في مرحلة النموذج المطور، حيث أشاروا إلى التأثير الإيجابي على دافعية الطلاب عند استضافة المهندسين داخل الفصول الدراسية.

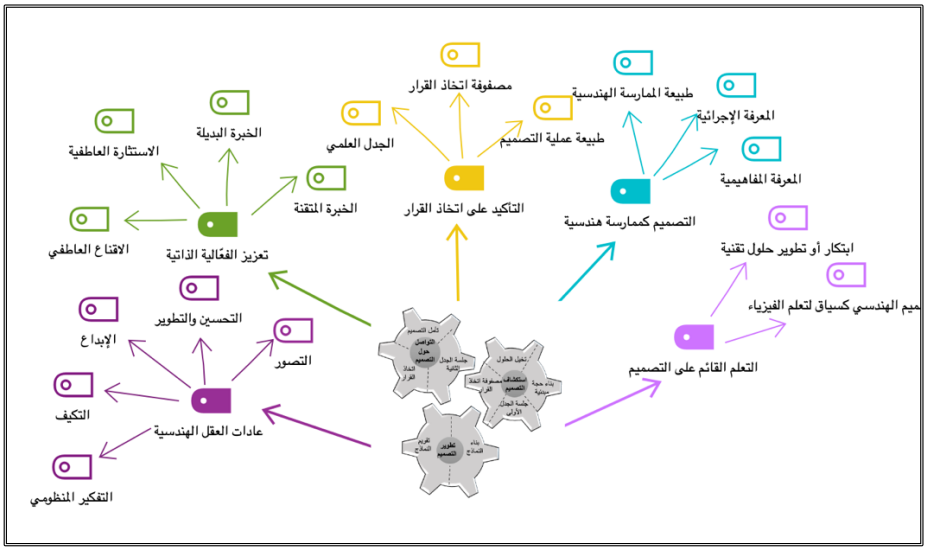
٣. مراحل استكشاف بدائل التصميم، وتطوير التصميم، والتواصل حول التصميم:

تتضمن مرحلة استكشاف حلول لتصميم الإضاءة النهارية في المركز التعليمي، ثلاث خطوات هي: تخيل الحلول، وتوليد حجة مبدئية، وجلسة الجدل الأولى حول بدائل التصميم. نفذت الخطوتان الأوليتان خارج الصف الدراسي، حيث وجهت المعلّمة الطالبات للعمل في مجموعات والعودة إلى المعلومات التي سبق جمعها عن مشكلة التصميم الهندسي ومراجعتها، والتفكير في حلول للمشكلة في ضوء معايير وقيود التصميم. واستغرق عرض النماذج الأولية للتصاميم الهندسية أربع حصص دراسية. وتضمنت الخطوة الثالثة جلسة الجدل الأولى حول بدائل التصميم، حيث حدد زمن لعرض كل مجموعة، بحيث تقدم المجموعة نموذجها الأولي مُدعمًا بالحجج العلمية أمام الفصل، ثم تمنح باقي المجموعات الفرصة لتقييم النموذج والحجج، واستمر العرض لمدة أربع حصص، وبعد الانتهاء وجّهت المعلّمة المجموعات للعودة للنماذج الأولية وتطويرها حسب ما يراه الفريق في ضوء الحجة العلمية. وبذلك، انتهت مرحلة استكشاف التصميم، وتم الانتقال بالطالبات لمرحلة تطوير التصميم.

وتضمنت مرحلة تطوير التصميم خطوتين؛ إنشاء النماذج، وتقويم النماذج، حيث استخدم برنامج افتراضي لتنفيذ النماذج، ووجهت المعلّمة الطالبات للبدء باستخدام البرنامج الافتراضي وتنفيذ تصاميمهن، قضت الطالبات حصتين دراسيتين لتنفيذ النموذج النهائي. وفي تقويم النماذج؛ وجهت المعلمة الطالبات لاستخدام مصفوفة اتخاذ القرار التي سبق بناؤها لتقييم نماذجهن، وتشجعهن على التعلم من الفشل أثناء تكرار الحلول، واعتبار فشل التصميم جزء من عملية اختبار التصميم. ومن ميزات البرنامج الافتراضي أنه يسمح باختبار الإضاءة النهارية للنماذج. وجهت المعلّمة الطالبات لاستخدام هذه الميزة لاختبار نماذجهم.

وتضمنت مرحلة التواصل حول التصميم ثلاث خطوات: جلسة الجدل الثانية، اتخاذ القرار، تأمل عملية التصميم. ففي جلسة الجدل الثانية حول التصميم؛ حدد زمن لعرض كل مجموعة، بحيث تقدم المجموعة نموذجها النهائي مدعمًا بالحجج العلمية أمام الفصل، ثم تقوم المجموعات بتقييم حجج التصميم التي عُرضت إما بالقبول أو الاعتراض مع التبرير، بعد ذلك تمنح المجموعة التي عرضت نموذجها فرصة للرد، ثم تستخدم المجموعات بطاقة تقييم النماذج. واستمر العرض لمدة ثلاث حصص، وبعد الانتهاء وجهّت المعلّمة المجموعات لمراجعة بطاقات التقييم لاستخدامها في خطوة اتخاذ القرار. وفي خطوة اتخاذ القرار؛ استخدمت المجموعات مصفوفة اتخاذ القرار لترشيح التصميم الذي يمكن تقديمه لوزارة التعليم. وللموازنة بين بدائل التصميم التي قدمتها المجموعات، اعتمدت الطالبات على بطاقات تقييم المجموعات التي تم استخدامها خلال جلسة الجدل الثانية. ووضّحت المعلّمة كيف تتم الموازنة بين بدائل التصميم التي قدمتها المجموعات. وخلال حصة واحدة فقط عرضت المعلّمة تقييمات المجموعات على الفصل، لاختيار التصميم المناسب. أما في خطوة تأمل عملية التصميم، وبعد الانتهاء من تقييم المجموعات؛ طلبت المعلّمة من كل مجموعة تُجيب عن السؤال التالي: ماذا لو أعدت التصميم؟ قدمت كل مجموعة عدداً من الأفكار لتطوير تصميمها. وأثناء المناقشة ظهرت قدرة الطالبات على تطوير حلولهن من خلال تبريراتهن، وأصبحن يفكرن في الآثار الناتجة من هذه الحلول. كما كلفت الطالبات بكتابة تقرير فردي يتضمن ثلاثة محاور؛ المحور الأول أن تصف الطالبة تجربتها في المشاركة في عملية تصميم الإضاءة النهارية في المركز التعليمي، والمحور الثاني أن تحدد تقنيات الإضاءة النهارية التي تم استخدامها في التصميم، وأن تحدد المفاهيم أو القوانين العلمية التي تقوم عليها كل تقنية، والمحور الثالث أن تكتب أحد المواقف التي حدثت مع فريقها عند اتخاذ القرار باختيار أحد الحلول التي تم طرحها أثناء عملية التصميم؛ على أن توضح بالتفصيل الخطوات التي قاموا بها عند اختيار الحل.

ومن خلال التحليل النوعي للمراحل الثلاث من عملية التصميم الهندسي؛ استكشاف التصميم، وتطويره، والتواصل حوله؛ ظهرت المبادئ (المعالم) الخمسة التي يقوم عليها النموذج المقترح للتدريس وهي: استناد النموذج على التعلُّم القائم على التصميم، وظهور التصميم الهندسي كممارسة، والتأكيد على دور الطلاب في اتخاذ القرار أثناء عملية التصميم الهندسي، وتعزيز الفعّالية الذاتية في التصميم الهندسي، وتنمية عادات العقل الهندسية. وتوصل الباحثان إلى هذه النتيجة من الفئات والرموز الناتجة من تحليل البيانات النوعية لتسجيلات الحصص وأوراق العمل ومقابلات الطالبات حول طريقة التدريس كما تظهر في الشكل (٦).



شكل (٦) نتائج التحليل النوعي مرحلة استكشاف وتطوير التصميم والتواصل حوله

يُشير الشكل (٦) إلى الفئات التي تعبر عن المبادئ التي تقوم عليها مراحل عملية التصميم الهندسي، وهي:

المبدأ الأول: يستند نموذج التدريس على التعلّم القائم على التصميم.

يحدث التعلُّم في هذا النموذج بواسطة عملية التصميم الهندسي التي يتمكّن فيها المتعلّم من ابتكار أو تطوير حلول تقنية للمشكلات الهندسية، حيث كان من أهداف الوحدة المطورة أن تصبح الطالبة قادرة على تصميم نظام الإضاءة النهارية في مركز تعليمي. ولقد تمكنت جميع المجموعات من تحقيق هذا الهدف بعد أن حاولت استكشاف بدائل حلول التصميم، وتطويرها، ثم التواصل حولها. وتحقّق هذا الهدف جاء مؤيدًا لآراء بعض الخبراء الذين عبرّوا عن أهمية دمج الهندسة مع تعليم الفيزياء؛ لأن الهندسة تُمكّن من الوصول لتطبيقات تقنية قائمة على مفاهيم علمية. ظهر في جلسات الجدل في مرحلتي استكشاف وتطوير التصميم؛ كيف استطاعت المجموعات اقتراح حلول التصميم وتطويرها بالاستناد على المفاهيم العلمية لطبيعة الضوء.

المبدأ الثاني: يتبنى النموذج للتدريس التصميم كممارسة هندسية.

يسعى النموذج المقترح إلى وصول الطالبات لمستوى الممارسة في التصميم الهندسي. وفي هذه المرحلة تحديدًا؛ يهدف النموذج إلى أن تتمكن الطالبات من المعرفة المفاهيمية؛ بمرحلة استكشاف بدائل التصميم، ومرحلة تطوير التصميم، ومرحلة التواصل حول التصاميم، والمعرفة الإجرائية التي على الطالبات معرفتها حتى يتمكّنَّ من استكشاف بدائل التصميم، وتطوير التصميم، والتواصل حوله. كما تتطلب الممارسات الهندسية أن يعرفن طبيعة تفكير وتصرفات المهندسين عند حل المشكلات. وفيما يلي توضيح لكيفية ظهور المعرفة المفاهيمية، والمعرفة الإجرائية، والمعرفة بطبيعة تفكير وتصرفات المهندسين.

- معرفة عناصر عملية التصميم الهندسي (ماذا نعرف؟): تمر عمليات وإجراءات نموذج التدريس المقترح بالمراحل التالية: التهيئة للتحدي الهندسي، واستكشاف بدائل التصميم، وتطوير التصميم، والتواصل حوله. ففي مرحلة التهيئة للتحدي الهندسي كان التركيز على معرفة الطالبة بعناصر عملية التصميم الهندسي. ولتعريف الطالبات بهذه العملية؛ قامت المعلّمة بعدة إجراءات منها: مناقشة الطالبات في الفرق بين خطوات عملية التصميم والاستقصاء العلمي، واستخدام تصميم انفو جرافيك لعملية التصميم الهندسي مثبت على أحد جدران الفصل لتذكير الطالبات بخطوات عملية التصميم خلال رحلة تعلمهن. أما في مراحل استكشاف بدائل التصميم، وتطوير التصميم، والتواصل حوله، التي كانت الطالبات خلالها يعملن في مجموعات لأجل إعادة هيكلة وتنظيم الإضاءة النهارية في المركز التعليمي، فقدت اتفقت المعلّمة مع الطالبات على الخطة التي سوف يقمن بها للوصول للتصميم النهائي، وأن هذه الخطة تمثل الخطوات التي يتبعها المهندسون. ومن أسئلة المقابلات الفردية التي طُرحت على بعض الطالبات سؤالهن عن الصعوبات التي واجهتن أثناء تنفيذ عملية التصميم، فقد اتفقت جميع الطالبات على أن الصعوبة كانت خلال العملية هي تنفيذ النموذج على البرنامج الافتراضي.
- المعرفة الإجرائية لعملية التصميم الهندسي (كيف نعرف؟): يُقصد بالمعرفة الإجرائية هي فهم الإجراء الصحيح للمهارة، فمعرفة الطالب بعناصر عملية التصميم الهندسي لا تعني أنه يعرف كيف يقوم بهذه العملية. إن المعرفة الإجرائية تساعدنا في التحول من مستوى الأداء الآلي إلى مستوى الأداء الواعي بالمهارة. إن وصول الطالبات للمعرفة المفاهيمية في عملية التصميم الهندسي وتحديدًا في المراحل الثلاث: استكشاف بدائل التصميم، وتطوير التصميم، والتواصل حوله، يتطلب منهن معرفة إجرائية بهذه المراحل، وهي أن تعرف الطالبات أن

تفسير الظواهر وحل مشكلات التصميم مع الأخذ بعين الاعتبار الآثار المحتملة؛ يكون بالاعتماد على الأفكار والمبادئ العلمية. ومعرفة أن النماذج تستخدم لدعم التفسيرات والتنبؤ بنتائج الحلول، ومعرفة أن بعض الحلول الهندسية يعتمد على المعادلات الرياضية. ومعرفة أن اثبات فعّالية الحلول يكون بالدفاع عنها بالأدلة العلمية، وأن اختيار التصميم المناسب يكون بعد تقييم بدائل التصميم بناء على الحجج العلمية.

- المعرفة بطبيعة تفكير وتصرف المهندسين في حل المشكلات (متى تكون المعرفة موثوقة؟): تتطلب الممارسات الهندسية أن معرفة الطالبات للممارسات المعرفية التي تمكّن المهندسين من الوثوق في تصاميمهم. فالممارسات المعرفية هي الطرق المنظمة اجتماعيًا التي يقوم فيها أعضاء المجموعة باقتراح ادعاءات المعرفة وتوصيلها وتبريرها وتقييمها وإضفاء الشرعية (Kelly, 2008). كان من آراء الخبراء في النموذج المقترح للتدريس أنه يساعد الطلاب على التفكير والتصرف كمهندسين، وجاءت البيانات النوعية من تحليل البيئة الصفية مؤيدة لهذه الفكرة. وظهرت عدد من الشواهد الصفية التي أظهرت الطالبات كمهندسات عند مواجهة التحدي الهندسي في تصميم الإضاءة النهارية في المركز التعليمي، ومن ذلك: الاتصال الفعّال ضمن فريق العمل، استخدام النماذج العلمية، والإصرار والتعلُّم من الفشل حيث يتوقع المهندسون أن يكون الفشل جزءًا مهمًّا من ممارساتهم لأنهم يبتكرون حلولاً إبداعية في ضوء معايير وقيود الحلول، والبحث عن رضا المستفيدين من المنتج حيث اتضح من حوارات الطالبات أنه أصبح لديهن تصور بأن المهندسين يصلون لرضا المستفيدين عن المنتج، بتحقيق معايير وقيود الحلول في تصاميمهم، وتقييم الآثار الاجتماعية للمنتجات حيث لا يتوقف عمل المهندسين على ابتكار أو تطوير التقنيات فقط وإنما على دراسة الآثار المترتبة من استخدامها على المجتمع، لأن الغاية من عمل المهندسين هو حل المشكلات التقنيّة التي تواجه العالم.

المبدأ الثالث: يؤكد النموذج دور الطلاب في اتخاذ القرار أثناء عملية التصميم الهندسي.

إن الغاية من نموذج التدريس المقترح هو تعزيز الثقافة العلمية والتقنيّة التي تمُكّن الطالبات من المشاركة في اتخاذ القرارات في القضايا العلمية. لذا، سعى النموذج خلال الثلاث مراحل من عملية التصميم الهندسي؛ (استكشاف بدائل التصميم، وتطوير التصميم، والتواصل حوله). إلى توفير فرص تعليمية تمارس فيها الطالبات الجدل العلمي، واستخدام مصفوفة اتخاذ القرار لتقييم التصاميم واختيار التصميم المناسب، وفق الآتي:

- طبيعة عملية التصميم الهندسي: تعد عملية التصميم الهندسي عملية صنع قرار متكررة من خلال إنتاج خطط تستهدف الاحتياجات البشرية وحل المشكلات، فخطوات صنع القرار (مهارة توليد البدائل، وتقويم واختيار البديل، وتنفيذ القرار)، تتشابه على التوالي مع خطوات عملية التصميم الهندسي (تطوير الحلول الممكنة، تحديد أفضل حل ممكن، إنشاء واختبار وتقويم النموذج الأولي)، وهذا ما قامت به الطالبات، ففي مرحلة استكشاف التصميم، وجهت المعلّمة الطالبات للقيام بعصف ذهني لإنشاء بدائل تصميم ثم المفاضلة بينها، واختيار المناسب منها بناءً على معايير وقيود التصميم. وفي مرحلة تطوير التصميم طورت الطالبات نماذجهن من الصورة الأولية إلى النهاية. وفي مرحلة التواصل حول التصميم، قيمت الطالبات بدائل التصميم لاختيار المناسب منها.
- بناء مصفوفة اتخاذ القرار: في مرحلة التواصل حول التصميم وبعد الانتهاء من جلسة الجدل الثانية؛ استخدمت الطالبات مصفوفة اتخاذ القرار التي شاركن في بنائها سابقًا قبل البدء في استكشاف حلول التصميم. وعند سؤال الطالبات أثناء المقابلات الفردية عن رأيهن في أهمية مصفوفة اتخاذ القرار؛ ذكرت إحدى الطالبات بشكل صريح أن المصفوفة ساعدتهن في اتخاذ القرارات، وذكرت طالبة أُخرى أن المصفوفة ساعدتهن أثناء تطوير التصميم، وعبّرت إحدى الطالبات بأن درجات المصفوفة كانت تقلقها، وأشارت طالبتان أن المصفوفة وفرت لهن فرصة في معرفة كيف يفكر الآخرون في حل المشكلة نفسها.
- دور الجدل في اتخاذ القرار: مارست الطالبات الجدل بشكل صريح على مدى جلستين؛ في الجلسة الأولى لتطوير النماذج الأولية، وفي الجلسة الثانية لتقييم التصاميم واختيار الأنسب منها. وعند سؤال الطالبات في المقابلات الفردية عن دور خطوة بناء الحجة العلمية في تقديم أفضل تصميم؛ أوضحن أثر استخدام الحجة العلمية في قرارات التصميم لديهن، كما كتبت بعض الطالبات في تقاريرهن أن من أسباب نجاح تصاميمهن، ممارسة الجدل أثناء اقتراح الحلول.

المبدأ الرابع: يعزز النموذج الفعّالية الذاتية في التصميم الهندسي لدى الطلاب.

أظهرت المقابلات مع الطالبات؛ تحسن الفعّالية الذاتية لديهن من خلال معالجة المفاهيم الذاتية الأربعة؛ (الثقة، والدافعية، وتوقع النجاح، والقلق). فأظهرت الطالبات ارتفاع شعورهن بالثقة في قدرتهن على التصميم الهندسي؛ أشارت معظم الطالبات إلى زيادة ثقتهن في قدرتهن على التصميم عدا خطوة اختيار أفضل تصميم لقلة خبرة الطالبات في إيجاد الحلول للمشكلات المفتوحة التي يمكن أن تحتمل أكثر من إجابة صحيحة. أما مفهوم الدافعية؛ فقد أشارت معظم

الطالبات إلى زيادة حماسهن للتصميم الهندسي، عدا إعادة التصميم، واتضح من مبررات الطالبات أن عدم حماسهن عائد لعدم معرفتهن بالطبيعة التكرارية لعملية التصميم الهندسي. أما مفهوم توقع النجاح؛ فبعد تنفيذ التصميم الهندسي تغير شعور الطالبات للأفضل في توقع نجاحهن عند القيام بالتصميم الهندسي، ومع أن خطوة إعادة التصميم من الخطوات التي قلّ حماس الطالبات تجاهها بعد المشاركة في عملية التصميم، إلا أنهن يتوقعن نجاحهن في هذه الخطوة، وقد يكون ذلك عائداً لدور جلسات الجدل العلمي التي ساعدتهن على التفكير بطرق مختلفة لإيجاد الحلول. ومع أن مستوى القلق عند الطالبات انخفض بعد المشاركة في مشروع التصميم إلا أنه استمر الشعور بالقلق لدى الطالبات في خطوتي اختيار أفضل تصميم، وإعادة التصميم، وقد يكون قلق الطالبات مرتبط بعدم معرفتهن بطبيعة عملية التصميم الهندسي.

المبدأ الخامس: ينمي النموذج عادات العقل الهندسية.

يسعى نموذج التدريس إلى أن يمارس الطلاب الأنماط الفكرية التي يُفضلها المهندسون عند مواجهة التحديات الهندسية. ومن الأنماط التي عززها النموذج: التصور، والتحسين والتطوير، والإبداع في حل المشكلات، والقدرة على التكيف، والتفكير المنظومي. واستخدمت الطالبات مهارة التصور عند بناء واختبار نماذج تصميم الإضاءة النهارية في المركز التعليمي. واعتمدت الطالبات في مهارة التحسين والتطوير على الحجج العلمية عند الدفاع عن حلولهم لمشكلة التصميم الهندسي. وتفاوتت الطالبات في مهارة الإبداع في إيجاد الحلول الهندسية. كما ظهرت مهارة التكيف لدى معظم الطالبات عند الالتزام بمعايير وقيود التصميم لاختيار التصميم الأنسب. واعتمد معظم الطالبات على التفكير المنظومي عند تصميم نظام الإضاءة النهارية، بحيث تم تحديد مواقع تقنيات الإضاءة في المركز التعليمي بحسب وظيفتها.

البعد الثاني: التقويم في نموذج التدريس:

سعى نموذج التدريس إلى تقويم الأهداف التعليمية التي تم إضافتها للوحدة المطورة، وهي أن تصبح الطالبة قادرة على: ١) توضيح كيف تؤثر زاوية سقوط أشعة الشمس على المباني العمرانية. ٢) تفسير آلية عمل تقنيات الإضاءة النهارية، مثل النوافذ- والأرفف الضوئية- والأنابيب الضوئية. ٣) تبرير استخدام المهندسين لضوء النهار في التصاميم المعمارية. ٤) تصميم نظام الإضاءة النهارية في مركز تعليمي. ومن المبادئ التي يقوم عليها نموذج التدريس المقترح هو التعلُّم القائم على التصميم، الذي يحدث التعلُّم فيه من خلال التكامل بين الاستقصاء العلمي وعملية التصميم الهندسي. وعليه، قامت المعلمة عند تقديم الأنشطة الهندسية، بتقييم المعرفة السابقة في الضوء وذات العلاقة بالنشاط. ومن المفاهيم التي ظهر لدى الطالبات لبس فيها

مفهومي شدة الإضاءة وشدة الاستضاءة. ولحل هذه المشكلة تم عرض مقطع فيديو يشرح الفرق بين المفاهيم في قانون التربيع العكسي لشدة الاستضاءة. بعد ذلك، تم استخدام رسم تخطيطي يوضح اختلاف شدة الاستضاءة للمصدر الضوئي نفسه.

ونظرًا لفقدان عنصر التزامن بين تعلُّم الفيزياء والهندسة، لم تستطع المعلمة تطبيق التقويم المرحلي الذي وضعته في نهاية كل فصل من الوحدة، الذي كان هدفه تمكين الطالبة من توظيف محتوى وحدة الضوء في حل المشكلة الهندسية. وكان نص السؤال هو: خلال رحلتك التعليمية في هذا الفصل اكتشفتِ مفاهيم وقوانين خاصة بطبيعة الضوء، حدديها ثم اختاري منها ما يساعدك على إيجاد حلول لتصميم الإضاءة النهارية في المركز التعليمي. وعوضًا عن السؤال السابق، وللقيام بعملية تقويم مرحلي للمعرفة التي اكتسبتها الطالبات من الأنشطة الهندسية، خصصت المعلمة حصة دراسية هدفها تقييم المعرفة السابقة، وكذلك تدريب الطالبات على ممارسة الجدل العلمي. وزعت المعلّمة الطالبات في مجموعات، وعرضت عليهن مخطط المركز التعليمي، وحددت لهن وقتاً للمناقشة داخل المجموعات للإجابة عن السؤال التالي: حددي الأخطاء في تصميم الإضاءة النهارية في المركز التعليمي مع ذكر السبب؟.

بعد انتهاء الوقت المحدد؛ عرضت كل مجموعة الأخطاء التي توصلت إليها، وعلى المجموعات الأخرى متابعة العرض وتقييم الإجابات، وفي حال عدم الاقتناع بالإجابة عليهم كتابة حجتهم العلمية وتوضيحها للمجموعة التي عرضت تقييمها للمركز التعليمي. وكانت عدد المجموعات التي تشكلت عشر مجموعات، عرضت كل مجموعة الأخطاء التي توصلت إليها وحددت الأسباب. اتضح من خلال العرض أن أربع مجموعات فقط تمكنت من تحديد جميع الأخطاء في مخطط المركز التعليمي، وثلاث مجموعات حددت معظم الأخطاء، ومجموعتين حددتا خطأين فقط في المخطط، ومجموعة لم تقم بالمهمة، فظهر الاختلاف بين مستوى المجموعات في تحديد الأخطاء في مخطط المركز التعليمي. كما ظهر تباين في مستوى الطالبات في كتابة الحجج العلمية، حيث أن بعض المجموعات لا تميز بين الدليل والتبرير.

وبالنسبة للتقويم النهائي؛ فقد نفذ على مستوى المجموعة وعلى المستوى الفردي. وأجري التقويم الجماعي باستخدام مصفوفة اتخاذ القرار، ومن خلال تقييم الأقران للتصاميم الهندسية التي قدمتها المجموعات. ولقد ظهر في خطوة تأمل التصميم قدرة معظم المجموعات على تطوير تصاميمها وفق مبررات علمية. واتضح أن النموذج قدم أساليب متنوعة للتقويم؛ سعيًا للكشف عن مدى تحقق الأهداف التي تم تطويرها في الوحدة. كما أن هذه الأساليب جاءت لتقيس مدى تحقق المبادئ التي يقوم عليها النموذج المقترح للتدريس، فظهر مبدأ التعلُّم القائم على التصميم في التقويم المرحلي، الذي كُلفت فيه الطالبات بتحديد أخطاء التصميم في المركز التعليمي وفق

المبادئ العلمية التي درستها في وحدة الضوء. وظهر مبدأ تبني التصميم كممارسة هندسية في التقويم النهائي، حيث اقتصر التقويم فقط على المعرفة المفاهيمية لعملية التصميم الهندسي، الذي كُلفت فيه الطالبات بوصف لعملية تصميم الإضاءة النهارية التي قُمنَ بها. كما ظهر في أساليب التقويم تأكيد النموذج على دور الطلاب في اتخاذ القرار، خلال التقويم المرحلي الذي مارست فيه الطالبات تقويم الأقران باستخدام الحجج العلمية. وكذلك في التقويم النهائي الذي كُلفت فيه الطالبات بكتابة أحد المواقف التي حدثت معهن أثناء عملية التصميم؛ لوصف الإجراءات التي قُمنا بها لاتخاذ القرار باختيار إحدى هذه الحلول. كما أنه في مرحلة التقويم النهائي ومن خلال التقارير التي كُلفت بها الطالبات ظهر أن النموذج أسهم في بناء حس الطالبات بفعّاليتهن في التصميم الهندسي، حيث أشار بعض الطالبات إلى أنهن اعتمدن على طريقة تفكير المهندسين لإيجاد الحلول.

التعديلات للوصول للنموذج النهائي:

بناء على التحليل السابق؛ توصل الباحثان لعدم الحاجة لأي تعديلات جوهرية على خطوات ومراحل النموذج، وإنما التعديلات جاءت في محتوى الوحدة المطورة، وتتضمن تعديلات على دليل المعلم، وذلك بإضافة خطوة التعريف بالتحدي الهندسي من خلال صورة يتأملن فيها الطالبات عن التقنيات القائمة على مفاهيم الوحدة، ثم توضيح أهمية هذه التقنيات وتأثيرها على المجتمع، بعد ذلك يُقدم عرض سريع (مقاطع فيديو) لأهم التطبيقات من بيئة الطالبات، وأشهر المهندسين الذين شاركوا في ابتكارها أو تطويرها. وفي مرحلة استكشاف بدائل التصميم، ومرحلة تطوير التصميم، ومرحلة التواصل حول التصاميم، تبنى البحث تعريفًا للممارسات العلمية والهندسية، وطبق هذا التعريف للممارسات على الأنشطة الهندسية المطورة. فصممت أوراق العمل للوحدة المطورة ووضعت في مقدمة كل ورقة توضيحاً للممارسة المستهدفة في النشاط بغرض تطوير فهم الطالبات. وذلك بإبراز طرق المعرفة لهن من خلال توجيههن أثناء تنفيذ النشاط إلى أن المعرفة الإجرائية تساعدهم في الوصول للمعرفة العلمية، وأن لممارسات المهندسين طبيعة تُمكنهم من الوثوق في هذه المعرفة العلمية التي تقوم عليها حلول التصميم. كما تبني أساليب تدريسية للممارسات الهندسية؛ فبالإضافة لاستخدام طريقة المناقشة المباشرة، أضيف استخدام التفكير فوق المعرفي حتى تدرك الطالبات بأنفسهن المتطلبات التي تمكنهن من الوصول إلى مستوى الممارسة الهندسية. كما طور المحتوى المعرفي للوحدة وفق نتائج تحليل البيانات، وحدث دليل المعلم بشكل كامل وكذلك الوحدة المطورة.

توصيات البحث:

من نتائج البحث يمكن التوصية بالآتي:

- تبني نموذج التدريس المقترح والوحدة المقترحة، وذلك بتطوير أنشطة للممارسات الهندسية تدعم تعلم المفاهيم العلمية.
- تطوير فقرة المهن في كتب العلوم؛ بحيث توضح طبيعة المهن الهندسية، وإضافة سيرة حياة المهندسين المحليين والعالميين.
- تطوير دليل معلّم الفيزياء لتتسق مع التوجهات الحديثة في تكامل الهندسة مع العلوم.

مقترحات البحث:

من نتائج البحث يمكن التوصية بالدراسات الآتية:

- مقارنة أثر اختلاف طريقة التكامل بين العلوم والهندسة في تدريس الفيزياء؛ نموذج تدريس يقوم على التعلُّم القائم على التصميم يُقدم في بداية الوحدة، ونموذج تدريس يقوم على تعزيز التعلم يُقدم التصميم في نهاية الوحدة.
- الكشف عن أثر نموذج التدريس المقترح والوحدة المطورة على متغيرات تابعة أخرى، مثل: فهم الطبيعة الابستمولوجية للهندسة لدى الطلاب، ومهارات التواصل، ومهارات التفكير.
- الكشف عن العلاقة بين الفعّالية الذاتية في التصميم الهندسي، والفهم المفاهيمي لعملية التصميم الهندسي.

المراجع:

آل محي، سعيد؛ الشايع، فهد. (١٤٤٢ه). نموذج مقترح لتدريس الكيمياء قائم على الاستقصاء المعزّز بالجدل العلمي. المجلة السعودية للعلوم التربوية -الجمعية السعودية للعلوم التربوية والنفسية، (٦٩)، ٤١-٦٦.

أبو عاذرة، سناء محمد (٢٠١٩). واقع ممارسة معلمات الفيزياء بالمرحلة الثانوية لمعايير الجيل القادم. مجلة جامعة أم القرى للعلوم التربوية والنفسية، ١٠ (٢)، ١٠٠-١٣٥.

الجلال، محمد بن علي (٢٠١٨). بناء نموذج لتطوير وحدات العلوم للمرحلة المتوسطة وتدريسها وفق اتجاه العلوم والتقنية والهندسة والرياضيات(STEM) (رسالة دكتوراه غير منشورة). جامعة الملك سعود، الرياض.

الداود، حصة بنت محمد (٢٠١٧). برنامج تدريسي مقترح قائم على مدخل "STEM في التعليم" في مقرر العلوم وفاعليته في تنمية عادات العقل ومهارات اتخاذ القرار لدى طالبات

الصف الثالث المتوسط. (رقم النشر ٩٣٩٥٧٧) [رسالة دكتوراه، جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية]. دار المنظومة.

الدغيدي، هبه فتحي؛ سيد، شرين على؛ النجدي، محمد علي. (٢٠٢٢). العلوم والتقنية والهندسة والرياضيات (STEM) : مدخلٌ تكامليٌ للتعلُّم (الفصل ١٥). في فهد الشايع، وسليمان البلوشي، وناصر منصور (محررون). المرجع في تعلم العلوم وتعليمها: من النظرية إلى الممارسة (ص ص ٤٠١-٤١٦). دار جامعة الملك سعود للنشر.

الدوسري، هند (٢٠١٥). واقع تجربة المملكة العربية السعودية في تعليم STEM على ضوء التجارب الدولية. مؤتمر التميز في تعليم وتعلم العلوم الأول توجه العلوم والرياضيات والتقنية والهندسة STEM. جامعة الملك سعود، ٥-٧ مايو ٢٠١٥. ص ص. ٥٩٩-٦٤٠.

شحات، محمد علي؛ الشايع، فهد. (٢٠٢٢). تعلم وتعليم العلوم القائم على الحوار والجدل العلمي (الفصل ٧). في فهد الشايع، وسليمان البلوشي، وناصر منصور (محررون). المرجع في تعلم العلوم وتعليمها: من النظرية إلى الممارسة، ١٦٧-١٩٢. دار جامعة الملك سعود للنشر.

العمري، نورة بنت عبدالله (٢٠٢١). مستوى الأداء التدريسي لمعلمات العلوم فيي مدارس المرحلة الثانوية التي تطبق تعليم STEM بمنطقة عسير ومعوقات تنفيذه. [رسالة ماجستير، جامعة الملك سعود]. قاعدة معلومات دار المنظومة.

العنزي، عبد الله بن موسى والجبر، جبر بن محمد (٢٠١٧). تصورات معلمي العلوم في المملكة العربية السعودية نحو توجه العلوم والتقنية والهندسة والرياضيات "STEM". مجلة كلية التربية- جامعة أسيوط، ٣٣(٢)، ٣١٢- ٦٤٧.

القرني، نوره والأحمد، نضال (٢٠١٨). الكفاءة الذاتية لمعلمات العلوم في المرحلة الثانوية للتدريس في ضوء توجه العلوم والتقنية والهندسة والرياضيات. المجلة الدولية التربوية المتخصصة، ٧(١١١)، ١٥-٢٨.

القسيم، محمد محمود؛ القبلان، فايزة يوسف؛ الجراح، زياد عبد الكريم؛ الزغيبي، محمد عبد الله. (٢٠٢٢). تعلم وتعليم العلوم القائم على الحوار والجدل العلمي (الفصل ١٣). في فهد الشايع، وسليمان البلوشي، وناصر منصور (محررون). المرجع في تعلم العلوم وتعليمها: من النظرية إلى الممارسة (ص ص ٣٤٩-٣٧٤). دار جامعة الملك سعود للنشر.

مراد، سـهام (٢٠١٤). تصـور مقترح لبرنامج تدريبي لتنمية مهارات التدريس لدى معلمات الفيزياء بالمرحلة الثانوية في ضـوء مبادئ ومتطلبات التكامل بين العلوم والتقنية والهندسـة والرياضـيات (STEM) بمدينة حائل بالمملكة العربية السـعودية. المجلة الدراسات العربية في التربية وعلم النفس، (٥٦)، ١٧-٥٠.

المقبل، نوره بنت صالح. (٢٠٢٠). أثر مدخل العلوم والتقنية والهندسة والرياضيات في تدريس العلوم على تنمية عادات العقل المنتجة لدى طالبات الصـف الثالث المتوسـط. مجلة أم القرى للعلوم التربوية والنفسية، ١٢(١)، ١١٥-١٥٠. http://search.mandumah. com/ Record/ 1102288

النجار، فاتن فؤاد. (٢٠١٧). فاعلية الحقائب التدريبية القائمة على منحى STEM بالمراكز العلمية في تنمية عادات العقل والتحصـيل الدراسـي لتلاميذ الصـف السـادس الابتدائي بمحافظة جدة [ورقة علمية]. المؤتمر التربوي الدولي الأول للدراسات التربوية والنفسية: نحو رؤية عصـرية لواقع التحديات التربوية والنفسـية، جامعة المدينة العالمية- كلية التربية، سيلانجور، ماليزيا.

الهنائية، مروة بنت محمد، البلوشـي، سـليمان بن محمد، وأمبوسـعيدي، عبد الله بن خميس (٢٠٢٠). فاعلية التصميم الهندسي في تنمية عادات العقل الهندسية لدى طالبات الصف الثامن من التعليم الأساسي في سلطنة عمان. مجلة الدراسات التربوية والنفسية- جامعة السـلطان قابوس، ١٤ (٢)، ٣٦٢-٣٨٠. http://doi.org/ 10.24200/jeps. vol14iss2pp362-380

هيئة تقويم التعليم والتدريب (١٤٤٠هـ). الإطار التخصصي لمجال تعلم العلوم الطبيعية. الرياض: هيئة تقويم التعليم والتدريب.

وزارة التعليم (٢٠٢٢). الأدلة الإرشادية لنظام المسارات التعليم الثانوي. الرياض: وزارة التعليم.

Altan, E. B., Yamak, H., Kirikkaya, E. B., & Kavak, N. (2018). The use of design-based learning for STEM education and its effectiveness on decision making skills. *Universal Journal of Educational Research, 6* (12), 2888-2906. doi: 10.13189/ujer.2018.061224

Apedoe, X. S., Reynolds, B., Ellefson, M. R., & Schunn, C. D. (2008). Bringing engineering design into high school science classrooms:

The Heating/Cooling unit. *Journal of Science Education and Technology, 17* (5), 454- 465. doi: 10.1007/s10956-008-9114-6.

Barry, K. L. (2018). *Acting like an engineer in high school* [Doctoral dissertation, California University]. ProQuest Dissertations Publishing.

Baze, C. L., Hutner, T. L., Crawford, R. H., Sampson, V., Chu, L., Rivale, S., & Hannah, S. B. (2018, July*). An instructional framework for the integration of engineering into middle school science classrooms*.2018 ASEE Annual Conference & Exposition, Utah. In: American Society for Engineering Education, Retrieved from https://search-proquest-com.sdl.idm.oclc.org/conference-papers.

Capraro, R. M., & Slough, S. W. (2013). Why PBL? Why STEM? Why now? an Introduction to STEM Project-Based Learning. In R. M. Capraro, M. M. Capraro, & J. R. Morgan (Eds.), STEM Project-Based Learning An Integrated Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Approach (2nd ed., pp. 1-5). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.

Chu, L., Sampson, V., Hutner, T. L., Rivale, S., Crawford, R. H., Baze Baze, C. L., & Brooks, H. S. (2018, June 24- 27). *Argument-driven engineering in middle school science classrooms: The study of engineering attitudes and efforts to broaden engineering participation by exposing all students to multiple engineering design tasks (RTP, diversity)* [presented paper]. 2018 ASEE Annual Conference & Exposition, American Society for Engineering Education, Utah, USA.

Creswell, J. W. (2012). *Qualitative inquiry & research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). Sage Publications.

Eisenkraft, A. (Ed.). (2011). *Engineering design challenges in a science curriculum.* National Center for Engineering and Technology Education.

Grubbs, Michael & Strimel, Greg (2015). Engineering Design: The Great Integrator. *Journal of STEM Teacher Education*, 50. doi: 10.30707/JSTE50.1.

Hatch, J. Amos (2002). *Doing Qualitative Research in Education Settings.* State University of New York Press.

Hynes, Morgan, Portsmore, Merredith, Dare, Emily, Milto, E., Rogers, Chris, Hammer, David & Carberry, Adam, & National Center for Engineering and Technology Education (NCETE). (2011). *Infusing Engineering Design into High School STEM Courses*. https://digitalcommons.usu.edu/ncete_publications.

Jackson, A. M. (2015). *Instructional design considerations promoting engineering design self-efficacy* [Master of Science, Purdue University]. ProQuest Dissertations Publishing.

Johnson, K., Murphy, S., O'Hara, C., & Shirey, K. (2015). Four phases of the engineering design process in math and science classrooms. *Kaleidoscope: Educator Voices and Perspectives*, *1*(2), 19-

Jonassen, D. H. (2012). Designing for decision making. *Educational Technology, Research and Development, 60* (2), 341-359. doi: 10.1007/s11423-011-9230-5.

Kersten, J. A. (2013). *Integration of engineering education by high school teachers to meet standards in the physics classroom* [Doctoral dissertation, Minnesota University]. ProQuest Dissertations Publishing.

Lodico, Marguerite G., Spaulding, Dean T. & Voegtle, Katherine H. (2010). *Methods in educational research : from theory to practice (2nd ed)*. Jossey-Bass.

Lucas, B., & Hanson, J. (2014, sep). *Thinking like an engineer: Using engineering habits of mind to redesign engineering education for global competitiveness*. 42nd Annual Conference, Birmingham, UK. In: SEFI Annual Conference 2014. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/271853837.

Major, J. C., & Kirn, A. (2016, Jun). *Engineering design self-efficacy and project-based learning: How does active learning influence student attitudes and beliefs?*. 2016 ASEE Annual Conference & Exposition, New Orleans. In: American Society for Engineering Education-ASEE. Retrieved from https://search-proquest-com.sdl.idm.oclc.org/conference-papers.

Martin, B. R. (2011). *Factors influencing the self-efficacy of black high school students enrolled in PLTW pre-engineering courses* [Doctoral dissertation, Capella University]. ProQuest Dissertations Publishing.

Mathis, Corey, Siverling, Emilie, Glancy, Aran & Moore, Tamara (2017). Teachers' Incorporation of Argumentation to Support Engineering Learning in STEM Integration Curricula. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 7(1), 76-89. doi: 10.7771/2157-9288.1163.

Meyer, H. (2018). Teachers' thoughts on student decision making during engineering design lessons. *Education Sciences*, 8, 1-11. doi.org.sdl.idm.oclc.org/10.3390/educsci8010009.

National Research Council (2009). *Engineering in K-12 Education: Understanding the Status and Improving the Prospects*. Washington, DC: The National Academies Press. doi.org/10.17226/12635.

National Research Council [NRC]. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. The National Academies Press. https:// doi.org/10.17226/13165.

Next Generation Science Standards NGSS. (2013a). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, D.C.: The National Academies Press.

Purzer, S., Moore, T., Baker, D., & Berland, L. (2014, June 20). *Supporting the implementation of the Next Generation Science Standards (NGSS) through research: Engineering. NARST*. Retrieved from https://www.narst.org/blog/ngss-engineering.

Russo, J. (2019). *The Perceptions of Female High-School Students Regarding Their Engineering Self-Efficacy* (Publication No. 22583126) [Doctoral dissertation, Concordia University]. ProQuest Dissertations Publishing.

Sampson, V., Grooms, J., & Walker, J. (2011). Argument-Driven Inquiry as a Way to Help Students Learn How to Participate in Scientific Argumentation and Craft Written Arguments: An Exploratory Study. *Science Education*, *95*, 217–257.. http:// doi.org/10.1002/sce.20421.

Usher, E., Mamaril, N., Li, C., Economy, D., & Kennedy, M. (2015, Jun 14- 17). *Sources of Self-Efficacy in Undergraduate Engineering* [presented paper]. 2015 ASEE Annual Conference & Exposition American Society for Engineering Education-ASEE, Washington. USA.