

# TRÍ TUỆ NHÂN TẠO: CÔNG CỤ HỖ TRỢ NHẬN THỨC TRONG QUY TRÌNH THIẾT KẾ KỸ THUẬT STEM PHÁT TRIỂN NĂNG LỰC GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ CỦA HỌC SINH THPT

Bùi Thị Thu Trà<sup>1</sup>, Lê Chí Nguyễn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường THPT Lương Sơn, Phú Thọ

<sup>2</sup>Trường ĐHQG – ĐHQG Hà Nội

Email: lechinguyen@vnu.edu.vn, traibui@gmail.com

**Tóm tắt:** Nghiên cứu này khảo sát vai trò của trí tuệ nhân tạo (AI) như một công cụ hỗ trợ nhận thức trong quy trình thiết kế kỹ thuật STEM nhằm phát triển năng lực giải quyết vấn đề của học sinh THPT. AI không được sử dụng như công cụ tạo đáp án tự động mà chỉ được tích hợp ở hai giai đoạn quan trọng gồm: (1) so sánh và lựa chọn phương án thiết kế; (2) hỗ trợ cải tiến nguyên mẫu sau thử nghiệm. Nghiên cứu sử dụng thiết kế thực nghiệm đối chứng trước – sau với 124 học sinh tham gia hoạt động STEM “Chế tạo động cơ điện một chiều đơn giản”. Dữ liệu được thu thập thông qua rubric đánh giá năng lực giải quyết vấn đề, năng lực thực hiện thiết kế kỹ thuật và năng lực cải tiến nguyên mẫu. Kết quả cho thấy học sinh nhóm thực nghiệm đạt kết quả cao hơn có ý nghĩa thống kê so với nhóm đối chứng ở tất cả các thành phần đánh giá. AI hỗ trợ học sinh phân tích phương án thiết kế, phân tư kỹ thuật và cải tiến nguyên mẫu dựa trên minh chứng thực nghiệm thay vì suy luận cảm tính. Nghiên cứu góp phần đề xuất một mô hình tích hợp AI trong giáo dục STEM theo định hướng hỗ trợ suy luận kỹ thuật và tư duy phản biện của học sinh.

**Từ khóa:** AI hỗ trợ nhận thức; giáo dục STEM; quy trình thiết kế kỹ thuật; năng lực giải quyết vấn đề; phân tư kỹ thuật.

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A COGNITIVE SUPPORT TOOL IN THE STEM ENGINEERING DESIGN PROCESS FOR DEVELOPING HIGH SCHOOL STUDENTS' PROBLEM-SOLVING COMPETENCE

**Abstract:** This study investigated the role of artificial intelligence (AI) as cognitive scaffolding within the STEM Engineering Design Process (EDP) in developing secondary students' problem-solving competence. AI was not used as an automatic answer generator but was integrated only during two critical stages: (1) comparing and selecting design alternatives and (2) improving prototypes after the testing. A quasi-experimental pretest–posttest control group design was conducted with 124 high school students participating in the STEM activity “Designing a Simple Direct Current Motor.” Data were collected using performance-based rubrics to assess problem-solving competence, engineering design performance, and prototype improvement competence. The results indicated that the experimental group significantly outperformed the control group in all assessment dimensions. AI supports students in analyzing design alternatives, engaging in reflective engineering reasoning, and improving prototypes based on experimental evidence rather than intuitive judgments. The findings suggest that conversational AI can function effectively as cognitive scaffolding to enhance engineering reasoning and reflective redesign in STEM education. This study contributes a pedagogically controlled framework for integrating AI into STEM engineering design education.

**Keywords:** AI-supported cognition; STEM education; engineering design process; problem-solving competence; technical reflection.

Nhận bài: 07/04/2026

Phản biện: 10/05/2026

Duyệt đăng: 14/05/2026

### I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Giáo dục STEM nhấn mạnh phát triển năng lực giải quyết vấn đề, tư duy kỹ thuật, sáng tạo và tư duy bậc cao thông qua các hoạt động gắn với thực tiễn. Trong đó, quy trình thiết kế kỹ thuật (EDP) là khung dạy học quan trọng, giúp học sinh xác định vấn đề, đề xuất giải pháp, chế tạo, kiểm tra và cải tiến sản phẩm. Tuy nhiên, khi triển khai EDP, học sinh thường gặp khó khăn ở giai đoạn phân tích lỗi, đánh giá phương án và cải tiến nguyên mẫu; các em dễ tập trung vào hoàn thành sản phẩm hơn là phân tư kỹ thuật. Theo quan điểm hỗ trợ nhận thức, công nghệ có thể giúp học sinh thực hiện nhiệm vụ phức hợp hiệu quả hơn. Trí tuệ nhân tạo,

đặc biệt AI hội thoại, có khả năng cung cấp phản hồi, gợi ý suy luận và đặt câu hỏi phản tư. Nghiên cứu này xem AI là công cụ hỗ trợ nhận thức trong hai giai đoạn: lựa chọn phương án thiết kế và cải tiến nguyên mẫu, nhằm đánh giá ảnh hưởng đến năng lực giải quyết vấn đề, thiết kế kỹ thuật và cải tiến sản phẩm của học sinh.

### II. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

#### 2.1. Cơ sở lý luận

2.1.1. Quy trình thiết kế kỹ thuật trong giáo dục STEM

Quy trình thiết kế kỹ thuật (Engineering Design Process – EDP) được xem là thành phần cốt lõi

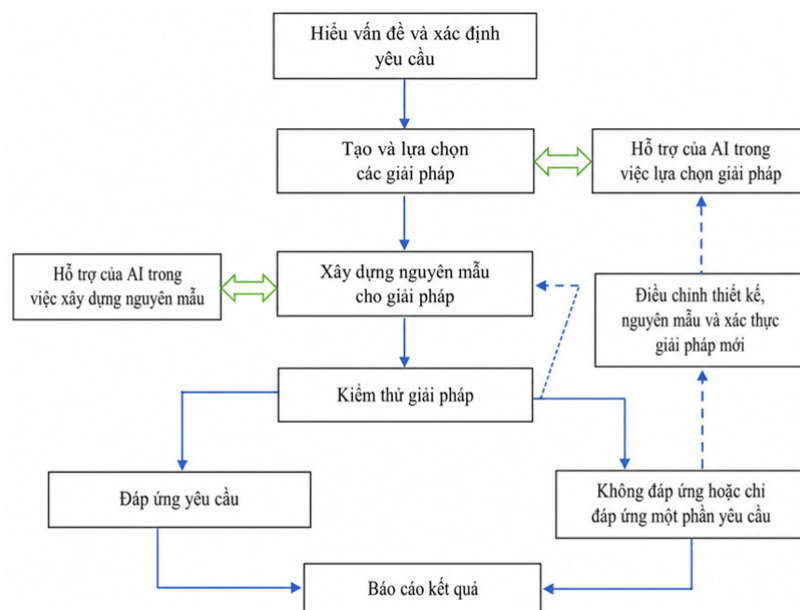
của giáo dục STEM nhằm giúp học sinh giải quyết các vấn đề thực tiễn thông qua hoạt động thiết kế, thử nghiệm và cải tiến sản phẩm kỹ thuật (Dym et al., 2005; National Research Council, 2012). Theo Dym và cộng sự (2005), EDP là một quá trình giải quyết vấn đề mang tính lặp, trong đó người học phải liên tục xác định yêu cầu, đề xuất giải pháp, đánh giá tính khả thi và điều chỉnh thiết kế dựa trên kết quả thử nghiệm. Không giống các hoạt động học tập tái hiện kiến thức, EDP đòi hỏi học sinh huy động kiến thức liên môn, suy luận kỹ thuật và tư duy phản biện để đưa ra các quyết định thiết kế phù hợp (Crismond & Adams, 2012). Vì vậy, EDP không chỉ hướng tới việc tạo ra sản phẩm mà còn đóng vai trò quan trọng trong phát triển năng lực giải quyết vấn đề và tư duy kỹ thuật của học sinh.

Trong thực tiễn dạy học STEM, học sinh thường gặp khó khăn ở nhiều giai đoạn của EDP, đặc biệt trong hoạt động đề xuất giải pháp, đánh giá tính khả thi của thiết kế và cải tiến sản phẩm sau thử nghiệm. Nhiều học sinh có xu hướng lựa

chọn giải pháp theo cảm tính hoặc sao chép ý tưởng mà chưa thực sự hiểu nguyên lý hoạt động của sản phẩm. Bên cạnh đó, học sinh còn hạn chế trong việc phân tư, theo dõi và điều chỉnh quá trình học tập của bản thân khi gặp các tình huống thiết kế mở (Kolodner et al., 2003). Điều này cho thấy nhu cầu cần có các hình thức hỗ trợ nhận thức phù hợp nhằm giúp học sinh phát triển suy luận kỹ thuật và điều tiết quá trình giải quyết vấn đề trong giáo dục STEM. Ngoài ra, khi phải đồng thời xử lý kiến thức khoa học, quyết định thiết kế và đánh giá nguyên mẫu, học sinh dễ gặp quá tải nhận thức trong quá trình học tập (Sweller, 1988).

### 2.1.2. Mô hình AI- EDP trong giáo dục STEM

Trong nghiên cứu này, AI được tích hợp trực tiếp vào quy trình thiết kế kỹ thuật STEM ở hai giai đoạn quan trọng: (1) đề xuất và lựa chọn giải pháp; (2) chế tạo và cải tiến nguyên mẫu. Mô hình AI-supported EDP được xây dựng dựa trên các nghiên cứu của Dym và cộng sự, Kolodner và National Research Council về quy trình thiết kế kỹ thuật trong giáo dục STEM.



**Hình 1.** AI- EDP trong giáo dục STEM

(Dym et al., 2005; Kolodner, 2002; National Research Council, 2012).

Mô hình bắt đầu từ hoạt động xác định vấn đề và yêu cầu thiết kế. Ở giai đoạn này, học sinh phân tích nhiệm vụ, xác định tiêu chí sản phẩm và các ràng buộc thiết kế. Sau đó, học sinh chuyển sang giai đoạn đề xuất và lựa chọn giải pháp với sự hỗ trợ của AI. AI hỗ trợ học sinh mở rộng ý tưởng thiết kế, gợi ý các phương án khác nhau và phân tích ưu nhược điểm của từng giải pháp. Thông

qua các phản hồi mang tính gợi mở, AI giúp học sinh xem xét vấn đề dưới nhiều góc độ khác nhau thay vì lựa chọn giải pháp theo trực giác.

Sau khi lựa chọn giải pháp, học sinh tiến hành chế tạo nguyên mẫu. Trong giai đoạn này, AI tiếp tục hỗ trợ thông qua việc gợi ý vật liệu, cấu trúc thiết kế và cách tối ưu hóa sản phẩm. Khi nguyên mẫu được hoàn thành, học sinh tiến hành thử

nghiệm và đánh giá mức độ đáp ứng yêu cầu của sản phẩm. Nếu sản phẩm chưa đạt yêu cầu hoặc chỉ đáp ứng một phần yêu cầu, học sinh tiếp tục điều chỉnh và cải tiến thiết kế với sự hỗ trợ phản hồi từ AI trước khi thử nghiệm lại.

Mô hình AI- EDP trong giáo dục STEM, nhấn mạnh bản chất lặp của quá trình thiết kế kỹ

thuật, trong đó hoạt động thử nghiệm – đánh giá – cải tiến được thực hiện liên tục nhằm tối ưu hóa sản phẩm. AI đóng vai trò như một công cụ hỗ trợ nhận thức giúp học sinh phân tư, điều chỉnh chiến lược và đưa ra các quyết định thiết kế dựa trên phân tích và bằng chứng thay vì cảm tính.

**Bảng 1. Hoạt động dạy học STEM có hỗ trợ AI trong quy trình thiết kế kỹ thuật**

Giai đoạn EDP	Hoạt động của học sinh	Vai trò hỗ trợ của AI
Xác định vấn đề	Phân tích yêu cầu thiết kế, xác định tiêu chí sản phẩm	Học sinh tự xác định vấn đề và yêu cầu thiết kế
Đề xuất giải pháp	Đưa ra các ý tưởng thiết kế và lựa chọn phương án phù hợp	AI gợi ý ý tưởng, hỗ trợ phân tích ưu nhược điểm và lựa chọn giải pháp
Chế tạo nguyên mẫu	Thiết kế và chế tạo sản phẩm	AI gợi ý cách xây dựng nguyên mẫu và tối ưu hóa cấu trúc thiết kế
Thử nghiệm sản phẩm	Kiểm tra khả năng hoạt động của sản phẩm	Học sinh tự tiến hành thử nghiệm và đánh giá kết quả
Cải tiến thiết kế	Điều chỉnh và hoàn thiện sản phẩm sau thử nghiệm	Học sinh tự điều chỉnh thiết kế dựa trên kết quả thử nghiệm
Báo cáo kết quả	Trình bày sản phẩm và giải thích nguyên lý hoạt động	Học sinh tự báo cáo và phân tư quá trình thiết kế

**2.1.3. Năng lực giải quyết vấn đề của học sinh trong giáo dục STEM**

Năng lực giải quyết vấn đề được xem là một trong những năng lực cốt lõi của giáo dục STEM. Trong bối cảnh thiết kế kỹ thuật, năng lực này thể hiện ở khả năng xác định vấn đề, đề xuất giải pháp, thực hiện thiết kế, đánh giá kết quả và cải tiến sản phẩm dựa trên bằng chứng thực nghiệm. Không giống các bài toán có cấu trúc cố định, các vấn đề trong STEM thường mang tính mở và có nhiều phương án giải quyết khác nhau. Vì vậy, học sinh cần huy động kiến thức liên môn, tư duy phản biện và suy luận kỹ thuật để đưa ra quyết định phù hợp.

Trong nghiên cứu này, năng lực giải quyết vấn

đề của học sinh được đánh giá thông qua các thành phần: (1) hiểu và phân tích vấn đề; (2) đề xuất và lựa chọn giải pháp; (3) thực hiện thiết kế và chế tạo; (4) đánh giá kết quả thử nghiệm; (5) cải tiến sản phẩm. Các thành phần này phản ánh đầy đủ quá trình giải quyết vấn đề trong EDP và phù hợp với đặc trưng của giáo dục STEM.

Việc tích hợp AI vào EDP được giả định sẽ hỗ trợ học sinh phát triển năng lực giải quyết vấn đề thông qua việc tăng cường điều tiết siêu nhận thức, hỗ trợ suy luận kỹ thuật và thúc đẩy phản tư trong quá trình thiết kế. AI không thay thế hoạt động tư duy của học sinh mà đóng vai trò hỗ trợ nhận thức nhằm giúp học sinh đưa ra quyết định thiết kế hiệu quả hơn.

**Bảng 2. Tiêu chí đánh giá năng lực giải quyết vấn đề của học sinh trong chủ đề STEM “Chế tạo khung dây quay trong từ trường nam châm vĩnh cửu”**

Thành phần năng lực	Tiêu chí	Mức 1	Mức 2	Mức 3	Mức 4
Hiểu vấn đề và yêu cầu thiết kế	Xác định yêu cầu hoạt động của khung dây quay trong từ trường nam châm vĩnh cửu	Chưa xác định đúng yêu cầu	Xác định được một phần yêu cầu	Xác định đúng yêu cầu cơ bản	Phân tích đầy đủ yêu cầu và các điều kiện hoạt động của hệ thống

Đề xuất giải pháp thiết kế	Đưa ra phương án chế tạo khung dây quay	Giải pháp chưa phù hợp	Có giải pháp nhưng còn hạn chế	Đề xuất giải pháp phù hợp	Đề xuất nhiều giải pháp và giải thích được cơ sở lựa chọn
Giải thích	Giải thích nguyên lý hoạt động của khung dây quay và quá trình thiết kế	Giải thích còn rời rạc	Giải thích được một phần	Giải thích rõ quá trình thiết kế	Giải thích logic, có phân tư và đánh giá giải pháp
Lựa chọn giải pháp	Phân tích và lựa chọn phương án thiết kế phù hợp	Lựa chọn theo cảm tính	Có phân tích nhưng chưa rõ căn cứ	Lựa chọn giải pháp phù hợp dựa trên phân tích	So sánh rõ ưu nhược điểm và lựa chọn giải pháp tối ưu
Chế tạo nguyên mẫu	Thiết kế và lắp ráp mô hình khung dây quay	Sản phẩm chưa hoàn chỉnh	Sản phẩm hoạt động chưa ổn định	Sản phẩm hoạt động cơ bản đúng yêu cầu	Sản phẩm hoạt động ổn định và có tính tối ưu
Thử nghiệm sản phẩm	Kiểm tra khả năng quay của khung dây trong từ trường	Chưa đánh giá được kết quả	Đánh giá còn mang tính mô tả	Đánh giá được mức độ đáp ứng yêu cầu	Phân tích được nguyên nhân ảnh hưởng đến chuyển động quay của khung dây
Cải tiến thiết kế	Điều chỉnh sản phẩm sau thử nghiệm	Chưa cải tiến sản phẩm	Có cải tiến nhưng chưa hiệu quả	Cải tiến phù hợp với kết quả thử nghiệm	Cải tiến hiệu quả và giải thích rõ cơ sở điều chỉnh

*Ghi chú:* AI chỉ hỗ trợ học sinh trong hoạt động lựa chọn giải pháp và gợi ý xây dựng nguyên mẫu trong quá trình thiết kế kỹ thuật STEM.

## 2.2. Kết quả

Nghiên cứu này đã khảo sát vai trò AI như một công cụ hỗ trợ nhận thức trong dạy học STEM theo quy trình thiết kế kỹ thuật EDP. Kết quả thực nghiệm cho thấy việc tích hợp

AI trong các hoạt động STEM đã góp phần nâng cao năng lực giải quyết vấn đề, năng lực thực hiện thiết kế kỹ thuật và năng lực cải tiến nguyên mẫu của học sinh so với dạy học STEM thông thường.

**Bảng 3. Kết quả năng lực giải quyết vấn đề**

Nhóm	Pre-test Mean $\pm$ SD	Post-test Mean $\pm$ SD	Gain score	t/F	p	Effect size
Thực nghiệm	2.81 $\pm$ 0.42	3.69 $\pm$ 0.39	0.88	8.42	< .001	$\eta^2 = .35$
Đối chứng	2.79 $\pm$ 0.40	3.17 $\pm$ 0.44	0.38			

Phân tích ở Bảng 3, học sinh nhóm thực nghiệm đạt điểm post-test và gain score cao hơn rõ rệt so với nhóm đối chứng về năng lực giải quyết vấn đề. Hiệu quả tác động lớn ( $\eta^2 = .35$ ) cho thấy AI hỗ trợ nhận thức có ảnh hưởng tích cực đến quá trình phân tích vấn đề, lựa chọn giải pháp và thực hiện nhiệm vụ STEM của học sinh. Kết quả này xác nhận giả thuyết H1 của nghiên cứu.

Kết quả ở Bảng 4, AI hỗ trợ học sinh cải thiện đáng kể năng lực thực hiện thiết kế kỹ thuật ở tất cả các thành phần gồm đề xuất giải pháp, lựa chọn giải pháp và chế tạo nguyên mẫu. Điều này cho thấy AI có vai trò như một công cụ hỗ trợ suy luận kỹ thuật và ra quyết định trong quá trình thực hiện hoạt động STEM. Kết quả này phù hợp với giả thuyết H2.

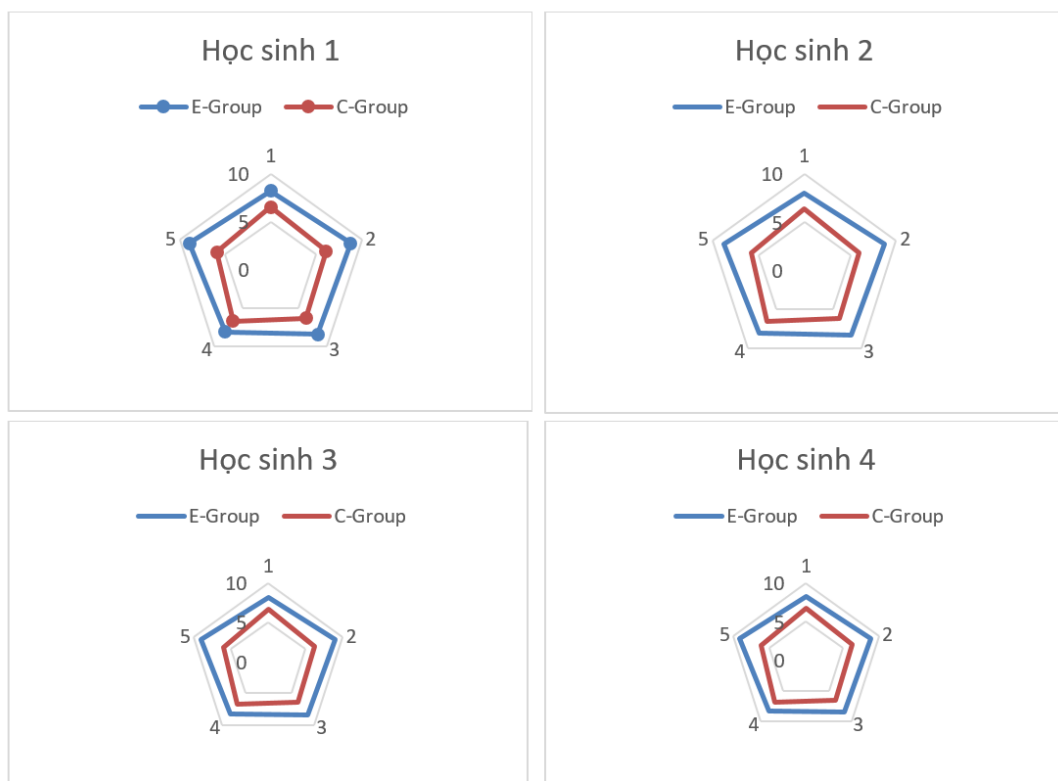
**Bảng 4. Kết quả năng lực thực hiện thiết kế kỹ thuật**

Thành phần đánh giá	Nhóm thực nghiệm Mean $\pm$ SD	Nhóm đối chứng Mean $\pm$ SD	t	p
Đề xuất giải pháp	3.82 $\pm$ 0.48	3.21 $\pm$ 0.51	5.64	< .001
Lựa chọn giải pháp	3.76 $\pm$ 0.44	3.09 $\pm$ 0.55	6.08	< .001
Chế tạo nguyên mẫu	3.83 $\pm$ 0.46	3.17 $\pm$ 0.49	6.09	< .001
Tổng năng lực thiết kế kỹ thuật	3.80 $\pm$ 0.41	3.16 $\pm$ 0.45	6.85	< .001

Ngoài ra, học sinh nhóm thực nghiệm có năng lực phân tích lỗi kỹ thuật, đề xuất điều chỉnh và cải tiến nguyên mẫu tốt hơn nhóm đối chứng. Điều này chứng tỏ AI có thể hỗ trợ hiệu quả quá trình phản tư kỹ thuật (tự đánh giá và điều chỉnh) trong dạy học STEM. Kết quả nghiên cứu xác nhận giả thuyết H3 và cho thấy AI không chỉ đóng vai trò cung cấp thông tin mà còn hỗ trợ học sinh trong quá trình đánh giá và cải tiến sản phẩm kỹ thuật.

Để xem xét ảnh hưởng của AI hỗ trợ nhận thức

đối với năng lực suy luận kỹ thuật, bốn học sinh đại diện được lựa chọn ngẫu nhiên từ nhóm thực nghiệm và nhóm đối chứng để so sánh bằng biểu đồ radar (Hình 2). Biểu đồ radar thể hiện năm thành phần năng lực liên quan đến hoạt động STEM có hỗ trợ AI, bao gồm: hiểu yêu cầu thiết kế (S1), so sánh các phương án thiết kế (S2), ra quyết định kỹ thuật (S3), chế tạo nguyên mẫu (S4) và cải tiến lặp lại nguyên mẫu (S5).

**Hình 2.** Đồ thị kỹ năng của học sinh nhóm đối chứng E và nhóm thực nghiệm C

Hình 2 cho thấy nhóm thực nghiệm có diện tích biểu đồ radar lớn hơn đáng kể so với nhóm đối chứng ở tất cả các học sinh đại diện. Dựa trên ước lượng hình học, diện tích trung bình của biểu đồ radar ở nhóm thực nghiệm đạt khoảng 170,8 đơn vị tương đối, trong khi nhóm đối chứng chỉ đạt khoảng 94,2 đơn vị. Chênh lệch diện tích khoảng 76,6 đơn vị cho thấy học sinh trong nhóm có hỗ

trợ AI phát triển được hồ sơ năng lực suy luận kỹ thuật toàn diện và cân bằng hơn.

Sự khác biệt lớn nhất được quan sát ở S2 (so sánh phương án thiết kế) và S5 (cải tiến lặp lại nguyên mẫu). Kết quả này cho thấy AI hỗ trợ nhận thức đặc biệt hiệu quả trong các giai đoạn có yêu cầu nhận thức cao của Quy trình thiết kế kỹ thuật (Engineering Design Process). Thông

qua các tương tác phản tư với AI, học sinh có khả năng đánh giá tốt hơn các phương án thiết kế, xác định điểm hạn chế của nguyên mẫu và điều chỉnh thiết kế dựa trên minh chứng thử nghiệm. Ngược lại, nhóm đối chứng thể hiện kết quả thấp hơn ở các thành phần liên quan đến cải tiến nguyên mẫu, cho thấy dạy học STEM truyền thống có thể chưa hỗ trợ đầy đủ cho hoạt động đánh giá phản tư và cải tiến kỹ thuật mang tính lặp lại.

Nhìn chung, nghiên cứu góp phần đề xuất một mô hình tích hợp AI trong giáo dục STEM theo hướng kiểm soát sự phạm, trong đó AI không tạo lời giải thay học sinh mà đóng vai trò hỗ trợ nhận thức ở các giai đoạn quan trọng của quy trình thiết kế kỹ thuật, đặc biệt là so sánh phương án thiết kế và cải tiến nguyên mẫu. Kết quả nghiên cứu cho thấy AI có tiềm năng trở thành công cụ hỗ trợ hiệu quả cho việc phát triển tư duy kỹ thuật, giải quyết vấn đề và học tập STEM ở trường phổ thông.

### III. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này cho thấy việc tích hợp AI như một công cụ hỗ trợ nhận thức trong quy trình thiết kế kỹ thuật STEM có tác động tích cực đến năng lực giải quyết vấn đề, tư duy kỹ thuật và năng lực cải tiến nguyên mẫu của học sinh. AI không đóng vai trò tạo lời giải tự động mà hỗ trợ học sinh phân tích phương án thiết kế, phản tư và điều chỉnh sản phẩm dựa trên kết quả thử nghiệm. Kết quả nghiên cứu góp phần khẳng định tiềm năng của AI hội thoại như một công cụ cognitive scaffolding trong giáo dục STEM.

Nghiên cứu đã đề việc tích hợp AI trong giáo dục STEM cần được kiểm soát về mặt sự phạm và định hướng theo hỗ trợ suy luận kỹ thuật thay vì thay thế hoạt động tư duy của học sinh. Trong thực tiễn dạy học, giáo viên nên sử dụng AI ở các giai đoạn học sinh gặp khó khăn như phân tích giải pháp, đánh giá nguyên mẫu và iterative redesign nhằm tăng cường phản tư và giải quyết vấn đề trong hoạt động STEM.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Belland, B. R., Walker, A. E., Kim, N. J., & Lefler, M. (2017). Synthesizing results from empirical research on computer-based scaffolding in STEM education: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 87(2), 309–344. <https://doi.org/10.3102/0034654316670999>
- Bybee, R. W. (2010). Advancing STEM education: A 2020 vision. *Technology and Engineering Teacher*, 70(1), 30–35.
- Crismond, D., & Adams, R. (2012). The informed design teaching and learning matrix. *Journal of Engineering Education*, 101(4), 738–797. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2012.tb01127.x>
- Dwivedi, Y. K., Kshetri, N., Hughes, L., Slade, E. L., Jeyaraj, A., Kar, A. K., et al. (2023). “So what if ChatGPT wrote it?” Multidisciplinary perspectives on opportunities, challenges and implications of generative conversational AI for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 71, 102642. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102642>
- Dym, C. L., Agogino, A. M., Eris, O., Frey, D. D., & Leifer, L. J. (2005). Engineering design thinking, teaching, and learning. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 103–120. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00832.x>
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning. *Center for Curriculum Redesign*.
- Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H. (Eds.). (2014). STEM integration in K–12 education: Status, prospects, and an agenda for research. *National Academies Press*. <https://doi.org/10.17226/18612>
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the wild*. MIT Press.
- Kasneji, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., et al. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Kolodner, J. L., Camp, P. J., Crismond, D., Fasse, B., Gray, J., Holbrook, J., et al. (2003). Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle-school science classroom: Putting learning by design into practice. *Journal of the Learning Sciences*, 12(4), 495–547. [https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1204\\_2](https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1204_2)
- National Research Council. (2012). A framework for K–12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. *National Academies Press*. <https://doi.org/10.17226/13165>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202\\_4](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4)
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89–100. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>