



Application of the STEM Project-Based Learning Approach in Enhancing Students' Understanding of Biological Concepts Related to Antibiotic Resistance

Roya Osanlou ^{1,*}, Zahra Kokabiyan ² Somayeh Janatifar ³

¹ PhD in Biology (Microbiology), Biology Education Department, General Directorate of Education, Tehran, Iran.

² PhD in Biology (Animal Physiology), Biology Education Department, General Directorate of Education, Tehran, Iran.

³ MSc in Microbiology, Biology Education Department, General Directorate of Education, Tehran, Iran.

* Corresponding author: ( roya.osanlou@gmail.com)

ABSTRACT

Background and Objectives: This study examined the impact of a project-based STEM education approach on enhancing secondary school students' understanding of biological concepts related to antibiotic resistance—a topic often difficult to comprehend through traditional instruction due to its interdisciplinary nature and the complexity of microbial mechanisms. To examine the effectiveness of this approach, a quasi-experimental design using pretest–posttest with a control group was employed. **Methods:** The study sample consisted of 80 tenth-grade science students who were randomly assigned to an experimental group (STEM instruction) and a control group (traditional teaching). Data were collected through conceptual understanding tests and observations of students' practical laboratory performance. Statistical analyses included independent samples t-tests, and one-way ANOVA. **Findings:** Findings showed that the conceptual understanding mean score of the STEM group increased from 13.25 to 18.45, whereas the control group mean showed only a slight improvement from 13.10 to 14.05. The difference between the two groups was statistically significant. Engagement in authentic laboratory experiments, such as culturing bacteria and measuring inhibition zones, enabled students to visualize and better comprehend the mechanisms underlying antibiotic resistance. **Conclusion:** The results indicate that integrating science, technology, engineering and mathematics into hands-on project-based learning can deepen conceptual understanding and strengthen scientific analytical skills. These findings highlight the value of interdisciplinary and experiential learning in teaching complex biological concepts and suggest that the STEM approach can serve as an effective model for science education in secondary schools.

Keywords: Biological concept understanding, STEM, antibiotic resistance, inquiry-based learning, Secondary Biology Education.

RESEARCH ARTICLE

Received: 15 November 2025

Revised: 06 December 2025

Accepted: 06 December 2025

Published online: 15 December 2025

ISSN (Online): [2717-2252](https://doi.org/10.2717/2252)

Citation Osanlou, R; Kokabiyan, Z; Janatifar, S (2025). Application of the STEM Project-Based Learning Approach in Enhancing Students' Understanding of Biological Concepts Related to Antibiotic Resistance. *Research in Biology Education*, 5(1), 80-91.

© The author(s): Roya Osanlou, Zahra Kokabiyan, Somayeh Janatifar
Publisher: Farhang University



پژوهش در آموزش زیست‌شناسی

<https://Bioedu.cfu.ac.ir>

کاربست رویکرد آموزش پروژه‌محور STEM در ارتقای درک مفاهیم زیستی مرتبط با مقاومت آنتی‌بیوتیکی

رویا اصائلو^۱، زهرا کوکبیان^۲، سمیه جنتی‌فر^۳

۱. دکترای زیست‌شناسی (میکروبیولوژی)، گروه‌های آموزشی، گروه زیست‌شناسی، اداره کل شهر تهران، تهران، ایران.
 ۲. دکترای زیست‌شناسی (فیزیولوژی جانوری)، گروه‌های آموزشی، گروه زیست‌شناسی، اداره کل شهر تهران، تهران، ایران.
 ۳. کارشناسی ارشد (میکروبیولوژی)، گروه‌های آموزشی، گروه زیست‌شناسی، اداره کل شهر تهران، تهران، ایران.
- * نویسنده مسئول: (✉) roya.osanlou@gmail.com

چکیده

پیشینه و اهداف: این پژوهش با هدف بررسی تأثیر رویکرد آموزش پروژه‌محور مبتنی بر STEM بر بهبود درک دانش‌آموزان از مفاهیم زیستی مرتبط با مقاومت آنتی‌بیوتیکی انجام شد؛ مفهومی که به دلیل ماهیت میان‌رشته‌ای و سازوکارهای پیچیده میکروبی، در آموزش سنتی به دشواری فهمیده می‌شود. **روش‌ها:** برای ارزیابی اثر این رویکرد، از طرح شبه آزمایشی پیش‌آزمون - پس‌آزمون با گروه کنترل استفاده شد. جامعه پژوهش شامل ۸۰ دانش‌آموز پایه دهم علوم تجربی بود که به‌صورت تصادفی در دو گروه آزمایش (STEM) و کنترل (آموزش سنتی) قرار گرفتند. داده‌ها از طریق آزمون‌های درک مفاهیم و مشاهده عملکرد عملی، گردآوری و با آزمون t مستقل و تحلیل واریانس یک‌طرفه تحلیل شد. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد میانگین نمرات درک مفاهیم در گروه STEM از ۱۳/۲۵ به ۱۸/۴۵ افزایش یافت، در حالی که گروه کنترل تنها افزایش ناچیزی از ۱۳/۱۰ به ۱۴/۰۵ نشان داد. تفاوت میان دو گروه از نظر آماری معنادار بود. در نتیجه اجرای آزمایش‌های واقعی مانند کشت باکتری‌ها و اندازه‌گیری هاله عدم رشد، درک سازوکارهای مقاومت آنتی‌بیوتیکی را برای دانش‌آموزان ملموس‌تر و قابل مشاهده‌تر ساخت. **نتیجه‌گیری:** یافته‌ها تأیید می‌کند که ادغام علم، فناوری، مهندسی و ریاضیات در قالب پروژه‌های عملی می‌تواند یادگیری مفهومی را ژرف‌تر کرده و مهارت‌های تحلیل علمی را تقویت کند. این نتایج بر اهمیت یادگیری میان‌رشته‌ای و مبتنی بر تجربه در آموزش مفاهیم پیچیده زیستی تأکید دارد و بیان می‌کند که استفاده از رویکرد STEM می‌تواند به‌عنوان الگویی مؤثر برای آموزش علوم در دوره متوسطه مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: درک مفاهیم زیستی، STEM، مقاومت آنتی‌بیوتیکی، یادگیری پژوهش‌محور، آموزش زیست‌شناسی متوسطه.

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۵

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۹/۲۴

شاپا الکترونیکی: ۲۷۱۷-۲۲۵۲



ارجاع: اصائلو، رویا؛ کوکبیان، زهرا؛ جنتی‌فر، سمیه (۱۴۰۴). کاربرد رویکرد آموزش پروژه‌محور STEM در ارتقای درک مفاهیم زیستی مرتبط با مقاومت آنتی‌بیوتیکی. پژوهش در آموزش زیست‌شناسی، (۱)، ۵، ۸۰-۹۱.

© نویسندگان. رویا اصائلو، زهرا کوکبیان، سمیه جنتی‌فر

ناشر: دانشگاه فرهنگیان

مقدمه

مقاومت آنتی‌بیوتیکی یکی از مهم‌ترین چالش‌های سلامت جهانی در قرن بیست و یکم به شمار می‌رود و تهدیدی جدی برای سلامت عمومی و تحقیقات زیست‌پزشکی محسوب می‌شود (World Health Organization, 2023). با وجود اهمیت این پدیده، درک مفهوم مقاومت آنتی‌بیوتیکی برای بسیاری از دانش‌آموزان متوسطه دشوار است؛ زیرا این مفهوم دربرگیرنده تعاملات پیچیده‌ای میان ژنتیک میکروبی، عوامل محیطی و رفتار انسانی است (Ventola, 2015). آموزش زیست‌شناسی سنتی که غالباً بر حفظیات و انتقال نظریه‌های کلی تمرکز دارد، در تقویت درک عمیق از این سامانه‌های زیستی پویا کارایی محدودی دارد. از این‌رو، ضرورت دارد روش‌های آموزشی جایگزینی به کار گرفته شود که یادگیرندگان را درگیر فرایندهای واقعی، پژوهش‌محور و بین‌رشته‌ای سازد. در این میان، آموزش STEM¹ به‌ویژه در قالب رویکرد آموزش پروژه‌محور²، چارچوبی کارآمد برای پرورش سواد علمی، تفکر انتقادی و درک مفاهیم پیچیده‌ای چون مقاومت آنتی‌بیوتیکی فراهم می‌آورد. پژوهشگران بر این باور هستند که آموزش STEM بر تلفیق دانش علمی با کاربردهای فناوریانه، طراحی مهندسی و استدلال ریاضی تأکید دارد تا زمینه‌ای برای یادگیری فعال، حل مسئله و نوآوری فراهم سازد (Baibie, 2013). رویکرد آموزش پروژه‌محور در STEM بر پایه‌ی نظریه یادگیری تجربی بنا شده و دانش‌آموزان را تشویق می‌کند تا از طریق مشاهده، آزمایش و همکاری گروهی، دانش خود را بسازند (Bell, 2010). یافته‌های پژوهشی نشان می‌دهد که این شیوه سبب افزایش انگیزش، خلاقیت و توانایی انتقال مفاهیم علمی به موقعیت‌های واقعی زندگی می‌شود (Kaparo et al., 2018). در حوزه آموزش زیست‌شناسی، چنین رویکردی می‌تواند شکاف میان نظریه و تجربه را کاهش دهد و فرصت طراحی و اجرای آزمایش‌ها، جمع‌آوری داده و استنتاج علمی را برای یادگیرندگان فراهم کند. بدین ترتیب، تلفیق یادگیری پروژه‌محور در چارچوب STEM می‌تواند به شکل مؤثری درک مفهومی و فرایندی دانش‌آموزان از پدیده‌های میکروبی مرتبط با مقاومت آنتی‌بیوتیکی را بهبود بخشد.

در راستای تلفیق یادگیری، محققان بیان کردند که، مقاومت آنتی‌بیوتیکی زمانی رخ می‌دهد که میکروارگانیسم‌ها سازوکارهایی برای بقا در برابر عوامل ضدمیکروبی کسب می‌کنند و این امر منجر به شکست درمانی و تداوم عفونت‌ها می‌شود (Davis & Davis, 2010). درک این پدیده مستلزم تلفیق دانش در زمینه‌های میکروبیولوژی، ژنتیک، شیمی و بوم‌شناسی است؛ حوزه‌هایی که در نظام آموزشی سنتی معمولاً به‌صورت جداگانه آموزش داده می‌شوند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که دانش‌آموزان غالباً دارای برداشت‌های نادرستی درباره‌ی سازوکارهای مقاومت باکتری‌ها، عملکرد

¹ (Science, Technology, Engineering, Mathematics)

² (Project-Based Learning)

آنتی‌بیوتیک‌ها و فرآیندهای سازگاری میکروبی هستند (Kelly et al., 2019). بنابراین، آموزش مؤثر باید فراتر از انتقال اطلاعات باشد و بر تفکر سامانه‌ای، جست‌وجوی علمی و استدلال داده‌محور تمرکز کند. محیط‌های یادگیری مبتنی بر STEM با رویکرد پروژه‌محور این امکان را فراهم می‌سازند که دانش‌آموزان از طریق اجرای آزمایش‌های واقعی مانند کشت باکتری، مشاهده‌ی هاله‌ی عدم رشد، و تحلیل داده‌ها با ابزارهای دیجیتال، مفاهیم نظری زیست‌شناسی را به تجارب عینی و قابل مشاهده تبدیل کنند.

پیشینه پژوهش

در این راستا، پژوهش‌های متعددی به بررسی مزایای آموزش STEM و یادگیری پروژه‌محور به صورت جداگانه پرداخته‌اند، اما تعداد اندکی از مطالعات به بررسی تأثیر تلفیقی این دو رویکرد در درک مفاهیم میکروبیولوژیکی از جمله مقاومت آنتی‌بیوتیکی توجه کرده‌اند. بخش عمده‌ای از تحقیقات موجود بر پیامدهای شناختی در حوزه‌هایی مانند فیزیک، شیمی یا ریاضیات متمرکز بوده‌اند (English, 2016; Lou, 2017) و کمتر به علوم زیستی پرداخته‌اند. همچنین شواهد تجربی اندکی در مورد اثربخشی پروژه‌های آزمایشگاهی مبتنی بر STEM که ترکیبی از آزمایش علمی، فناوری و تحلیل داده‌ها هستند وجود دارد. این کمبود پژوهش‌های بین‌رشته‌ای که بتوانند تلفیق زیست‌شناسی، مهندسی و فناوری را در یک مدل آموزشی منسجم نشان دهند، خلأ مهمی در ادبیات پژوهش محسوب می‌شود. بنابراین، انجام این مطالعه برای توسعه‌ی چارچوب شواهدمحور و جامع از آموزش STEM که بازتاب‌دهنده‌ی ماهیت بین‌رشته‌ای علم مدرن و چالش‌های سلامت جهانی باشد، ضروری به نظر می‌رسد.

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثربخشی رویکرد آموزش پروژه‌محور STEM در ارتقای درک مفاهیم زیستی مرتبط با مقاومت آنتی‌بیوتیکی دانش‌آموزان دوره متوسطه انجام شده است. در این راستا، نتایج یادگیری دانش‌آموزانی که در فرآیند آموزش مبتنی بر پروژه و تلفیق علوم STEM مشارکت داشتند، با گروهی که از روش‌های سنتی آموزش استفاده کردند، مقایسه گردید. این پژوهش می‌کوشد تا به کارگیری تلفیقی از آزمایش‌های علمی، ابزارهای فناورانه (نظیر میکروسکوپ و نرم‌افزارهای تحلیل داده SPSS) و روش‌های تحلیلی آماری را مشخص سازد و به بهبود درک مفهومی و توانایی استدلال علمی منجر شود.

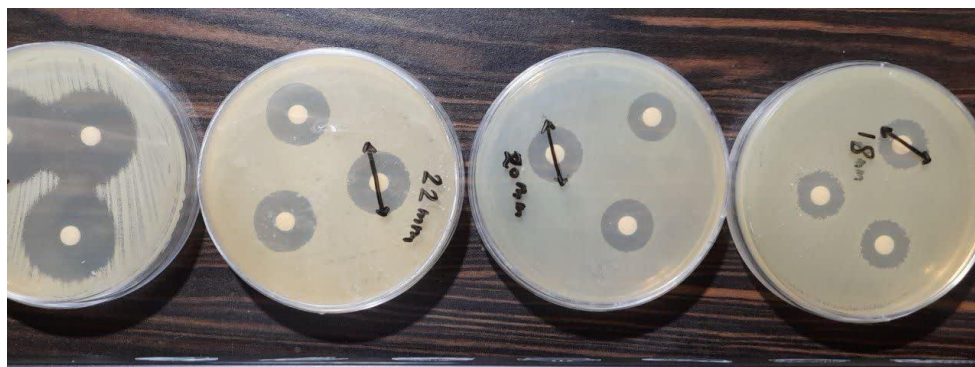
روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع شبه آزمایشی کاربردی با طرح پیش‌آزمون - پس‌آزمون با گروه کنترل است که به منظور بررسی اثربخشی رویکرد آموزش پروژه‌محور مبتنی بر STEM در درک مفاهیم زیستی مرتبط با مقاومت آنتی‌بیوتیکی

طراحی شد. چارچوب نظری پژوهش بر اساس مدل‌های یادگیری سازنده‌گرایی و آموزش یکپارچه STEM شکل گرفت که بر تعامل میان علم، فناوری، مهندسی و ریاضیات در حل مسائل واقعی تأکید دارند. جامعه‌ی آماری شامل دانش‌آموزان پایه‌ی دهم رشته علوم تجربی در آموزش‌وپرورش شهر تهران بود که از میان آن‌ها ۸۰ نفر به صورت تصادفی در دو گروه آزمایش و کنترل گمارده شدند گردآوری داده‌ها از طریق ترکیبی از روش‌های کمی و کیفی شامل مشاهده عملکرد دانش‌آموزان در پروژه و تحلیل آماری داده‌های کمی انجام شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Excel مورد تحلیل قرار گرفتند تا ارتباط بین روش تدریس و بهبود درک مفاهیم زیستی بررسی گردد. این طراحی به پژوهشگران اجازه داد تا اثر روش آموزشی مبتنی بر STEM را بر درک مفاهیم زیستی واقعی با تکیه بر داده‌های تجربی ارزیابی کنند. ابزارهای مورد استفاده در این پژوهش، سنجش سطح دانش و درک مفاهیم مقاومت آنتی‌بیوتیکی و پرسشنامه نگرش به یادگیری (STEM SLAQ) با ۲۰ گویه بر اساس مقیاس لیکرت برای سنجش نگرش و انگیزش دانش‌آموزان استفاده شد.

روش اجرای پژوهش

بعد از انتخاب نمونه آماری، دانش‌آموزان به دو گروه کنترل و آزمایش تقسیم شدند. تدریس در کلاس کنترل به صورت سخنرانی ارائه شد و در کلاس آزمایش به صورت اجرای پروژه با رویکرد STEM صورت گرفت. مراحل اجرای پروژه علاوه بر آزمون‌های آموزشی، تست‌های آزمایشگاهی با استفاده از چهار گونه باکتری (*Salmonella typhimurium*, *E. coli* و *Bacillus cereus*) به ترتیب شامل ۲ گونه باکتری گرم منفی و ۲ گونه باکتری گرم مثبت انجام شد. در آزمایشگاه، دانش‌آموزان گروه آزمایش کار کشت و اندازه‌گیری هاله عدم رشد را انجام دادند. به عبارت دیگر، اندازه‌گیری هاله عدم رشد ناشی از ماده ضد عفونی کننده از ترکیبات آمونیوم چهارتایی انجام شد تا زمینه‌ای واقعی برای یادگیری علمی فراهم گردد. داده‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون دانش‌آموزان با آزمون‌های آماری t مستقل و تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) مورد تحلیل قرار گرفت و برای مقایسه میانگین گروه‌ها از آزمون تعقیبی Tukey استفاده شد. در تحلیل نتایج، مفروضه‌های نرمال بودن و همگنی واریانس‌ها بررسی شدند. رعایت اصول اخلاق پژوهش از جمله کسب رضایت آگاهانه از دانش‌آموزان و کنترل ایمنی زیستی در آزمایشگاه مورد توجه قرار گرفت. در نهایت، داده‌ها با رویکرد تفسیر تلفیقی (آموزشی - تجربی) تحلیل شدند تا ارتباط بین آموزش پروژه‌محور و فهم عمیق مفاهیم زیستی مرتبط با مقاومت آنتی‌بیوتیکی مشخص گردد.



شکل ۱- هاله عدم رشد باکتریهای گرم مثبت و گرم منفی در برابر ترکیبات چهارتایی آمونیوم از راست به چپ، هاله عدم رشد باکتری اکولای ۱۸ میلی متر، سالمونلا تایفیی موریوم ۲۰ میلی متر، باسیلوس سرئوس ۲۲ میلی متر و استافیلوکوکوس ارئوس ۳۵ میلی متر

یافته‌ها

نتایج کلی پژوهش نشان داد که اجرای رویکرد آموزش پروژه‌محور مبتنی بر STEM تأثیر معناداری بر بهبود درک مفاهیم زیستی مرتبط با مقاومت آنتی‌بیوتیکی در میان دانش‌آموزان متوسطه داشته است. مقایسه میانگین نمرات پیش آزمون و پس‌آزمون با استفاده از آزمون t وابسته نشان داد که در گروه آموزش STEM، میانگین نمره درک مفاهیم (جدول ۱-)، از ۱۳/۲۵ به ۱۸/۴۵ افزایش یافته است ($p < ۰/۰۰۵$ ، $t(۳۹) = ۶۲/۸$). در مقابل، گروه آموزش سنتی افزایش اندکی از ۱۳/۱۰ به ۱۴/۰۵ نشان داد که از نظر آماری معنادار نبود ($p > ۰/۰۰۵$ ، $t(۳۹) = ۴۲/۱$). این یافته‌ها بیانگر نقش قابل توجه آموزش مبتنی بر پروژه در ارتقای تفکر تحلیلی، درک مفاهیم بین‌رشته‌ای و کاربرد عملی مفاهیم زیستی توسط دانش‌آموزان است.

پرسش اصلی پژوهش به بررسی میزان تأثیر آموزش پروژه‌محور STEM بر درک مفاهیم زیستی مقاومت آنتی‌بیوتیکی اختصاص داشت. داده‌های به‌دست‌آمده از پس‌آزمون (نمودار ۲-)، نشان داد که دانش‌آموزان گروه آزمایش در مقایسه با گروه کنترل، توانایی بالاتری در تشخیص سازوکار عملکرد آنتی‌بیوتیک‌ها و عوامل مؤثر بر مقاومت باکتری‌ها داشتند. تحلیل توصیفی نتایج نیز حاکی از آن بود که میانگین امتیاز درک مفاهیم در گروه STEM برابر با ۱۸/۴۶ (انحراف معیار = ۱/۲۲) و در گروه سنتی برابر با ۱۰/۱۴ (انحراف معیار = ۱/۸۷) بود. این نتایج تأیید می‌کند که آموزش مبتنی بر پروژه با ترکیب فعالیت‌های عملی آزمایشگاهی (از جمله مشاهده باکتری‌ها با میکروسکوپ و اندازه‌گیری هاله عدم رشد)، موجب درک عمیق‌تر مفاهیم زیستی در دانش‌آموزان شده است.

یافته‌های پژوهش حاضر به‌طور کلی فرضیه اصلی را تأیید می‌کند مبنی بر اینکه آموزش پروژه‌محور مبتنی بر STEM در مقایسه با روش‌های سنتی، موجب بهبود قابل توجه در یادگیری مفاهیم زیستی مرتبط با مقاومت آنتی

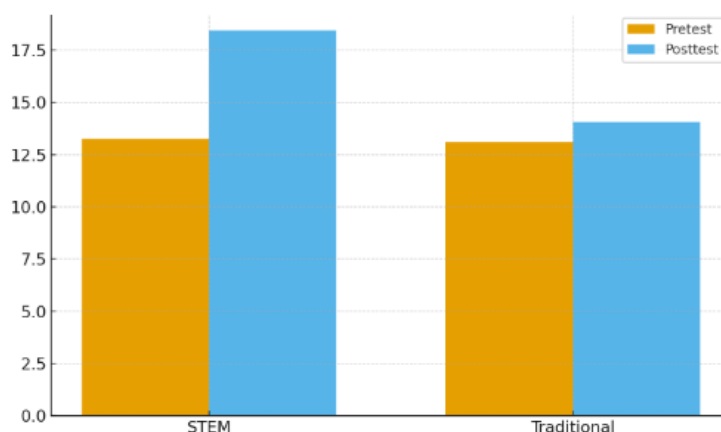
بیوتیکی می‌شود. نتایج تحلیل‌ها نشان داد که دانش‌آموزان گروه STEM نه‌تنها در آزمون‌های شناختی عملکرد بهتری داشتند، بلکه نگرش مثبت‌تری نسبت به یادگیری علوم زیستی از خود نشان دادند.

میانگین و انحراف معیار نمرات یادگیری دانش‌آموزان را در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون در دو گروه آموزشی STEM و سنتی نشان می‌دهد (جدول - ۱). علاوه بر گزارش میانگین و انحراف معیار، درصد بهبود عملکرد یادگیری نیز برای درک بهتر اثر مداخله محاسبه شد. نتایج نشان داد که گروه آموزش پروژه‌محور STEM افزایش قابل توجهی در نمرات یادگیری داشت، به‌طوری‌که میانگین نمرات از ۱۳/۲۵ در پیش‌آزمون به ۱۸/۴۵ در پس‌آزمون رسید که معادل ۳۹/۲ درصد بهبود نسبی است. در مقابل، گروه آموزش سنتی تنها ۷/۲۵ درصد افزایش نسبی در نمرات را تجربه کرد (افزایش از ۱۳/۱۰ به ۱۴/۰۵). این تفاوت چشمگیر در درصد بهبود نشان می‌دهد که رویکرد STEM تأثیر بسیار قوی‌تری در ارتقای درک مفاهیم زیستی مرتبط با مقاومت آنتی‌بیوتیکی نسبت به روش‌های متداول دارد و موجب جهش معنی‌دار در سطح یادگیری دانش‌آموزان شده است.

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار نمرات یادگیری در پیش‌آزمون و پس‌آزمون

گروه	پیش‌آزمون ($M \pm SD$)	پس‌آزمون ($M \pm SD$)	t(df)	p-value
آزمایش	13.25 $\pm$ 1.30	18.45 $\pm$ 1.15	8.62	<0.001
کنترل	13.10 $\pm$ 1.40	14.05 $\pm$ 1.22	1.42	0.163

در (شکل - ۲) مقایسه میانگین نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون در دو گروه آموزشی STEM و سنتی را به‌صورت نمودار ستونی نمایش می‌دهد. همان‌طور که در نمودار مشخص است، گروه آموزش پروژه‌محور STEM در پس‌آزمون افزایش قابل ملاحظه‌ای در نمرات یادگیری داشته، در حالی که گروه آموزش سنتی تغییر چندانی را تجربه نکرده است. اختلاف ارتفاع ستون‌ها در گروه STEM بیانگر اثربخشی قابل توجه فعالیت‌های پروژه‌محور، انجام آزمایش‌های عملی و مشارکت فعال دانش‌آموزان در فهم سازوکارهای مقاومت آنتی‌بیوتیکی است. این روند افزایشی نشان می‌دهد که تلفیق علوم، فناوری، مهندسی و ریاضیات در قالب پروژه‌های واقعی، سبب تقویت یادگیری مفهومی و ایجاد درک پایدارتر در میان دانش‌آموزان شده است.



شکل ۲- مقایسه میانگین نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون بین دو گروه آموزشی

بحث

یافته‌های این پژوهش نشان داد که به‌کارگیری رویکرد آموزش پروژه‌محور مبتنی بر STEM تأثیر چشمگیری در بهبود درک دانش‌آموزان از مفاهیم زیستی مرتبط با مقاومت آنتی‌بیوتیکی داشته است. تلفیق علوم، فناوری، مهندسی و ریاضیات در قالب چارچوبی عملی و مبتنی بر پرسشگری، به دانش‌آموزان کمک کرد تا دانش نظری خود را به کاربردهای واقعی پیوند دهند. افزایش قابل توجه نمرات پس‌آزمون در گروه آموزش STEM در مقایسه با گروه سنتی نشان می‌دهد که یادگیری پروژه‌محور نه تنها موجب بهبود درک مفهومی می‌شود، بلکه توانایی‌های تحلیلی و حل مسئله را نیز تقویت می‌کند. همچنین نتایج بیانگر آن بود که انجام فعالیت‌های تجربی – مانند مشاهده و تحلیل هاله عدم رشد باکتری‌ها – به دانش‌آموزان کمک کرد تا سازوکارهای زیستی پیچیده را به‌صورت عمیق‌تر درک کنند. این نتایج تأیید می‌کند که محیط‌های یادگیری تجربی و میان‌رشته‌ای، درگیرسازی شناختی بیشتری ایجاد کرده و موجب یادگیری عمیق‌تر در میان دانش‌آموزان مقطع متوسطه می‌شوند.

نتایج این پژوهش با یافته‌های مطالعات پیشین که بر تأثیر مثبت آموزش یکپارچه STEM بر سواد علمی و درک مفهومی تأکید داشته‌اند، همسو است (English & King, 2019; Baker & Park, 2011; Kimberly, 2014). مشابه با یافته‌های (Tasi et al., 2020)، پژوهش حاضر نشان داد که یادگیری پروژه‌محور مبتنی بر STEM توانایی دانش‌آموزان را در ترکیب و به‌کارگیری دانش علمی در حوزه‌های مختلف تقویت می‌کند. با این حال، برخلاف بسیاری از پژوهش‌های پیشین که بر فیزیک یا مهندسی متمرکز بودند، مطالعه حاضر این رویکرد را به حوزه زیست‌میکروبی و به‌ویژه مقاومت آنتی‌بیوتیکی گسترش می‌دهد که نوعی نوآوری پژوهشی محسوب می‌شود. در حالی که رویکردهای سنتی بر حفظیات و آموزش انتقالی تکیه دارند، مدل آموزشی STEM بر کنجکاوی، آزمایش و همکاری تأکید می‌کند و با نظریه‌های یادگیری سازنده‌گرایی (Vygotsky, 1978) همخوان است. همچنین، این نتایج در تضاد با مطالعاتی

است که اثرات اندکی برای آموزش STEM در محیط‌های غیرآزمایشگاهی گزارش کرده‌اند، که نشان می‌دهد موفقیت این رویکرد به زمینه‌های واقعی و پروژه‌محور وابسته است.

نتایج این پژوهش نشان داد که به‌کارگیری رویکرد آموزش پروژه‌محور مبتنی بر STEM تأثیر معناداری بر بهبود درک دانش‌آموزان از مفاهیم زیستی مرتبط با مقاومت آنتی‌بیوتیکی داشته است. یافته‌ها فرضیه اصلی پژوهش را تأیید کرد مبنی بر اینکه تلفیق علوم، فناوری، مهندسی و ریاضیات در چارچوبی پروژه‌محور، موجب یادگیری عمیق‌تر مفاهیم و ارتقای مهارت‌های تفکر سطح بالا می‌شود. دانش‌آموزانی که در آموزش مبتنی بر STEM شرکت داشتند، پیشرفت چشمگیری در نمرات پس‌آزمون خود، به‌ویژه در درک سازوکارهای عملکرد آنتی‌بیوتیک‌ها و فرآیندهای مقاومت باکتری‌ها نشان دادند.

با وجود یافته‌های امیدبخش، این پژوهش دارای محدودیت‌هایی است. حجم نمونه محدود به یک منطقه آموزشی بود و این امر می‌تواند تعمیم‌پذیری نتایج را کاهش دهد. همچنین، پژوهش حاضر تنها تأثیرات کوتاه‌مدت آموزش STEM را بررسی کرد و پایداری یادگیری در بلندمدت مورد ارزیابی قرار نگرفت. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده با نمونه‌های بزرگ‌تر و متنوع‌تر انجام شود و از طراحی‌های طولانی مدت برای بررسی ماندگاری یادگیری استفاده گردد. به‌کارگیری ابزارهای دیجیتال و پلتفرم‌های هوش مصنوعی برای ارتقای تلفیق میان‌رشته‌ای و افزایش درگیری یادگیرندگان نیز می‌تواند مفید باشد. افزون بر این، بررسی دیدگاه معلمان، میزان وفاداری اجرایی به مدل آموزش پروژه‌محور و امکان‌پذیری تعمیم آن به سایر حوزه‌های علمی، چشم‌اندازهای جدیدی برای پژوهش فراهم خواهد کرد. در مجموع، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که آموزش میان‌رشته‌ای و مبتنی بر پرسشگری می‌تواند نقشی کلیدی در ارتقای سواد علمی و آگاهی دانش‌آموزان نسبت به چالش‌های جهانی مانند مقاومت آنتی‌بیوتیکی ایفا کند.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این مطالعه فراتر از کلاس‌های زیست‌شناسی قابل تعمیم است و نشان می‌دهد که یادگیری پروژه‌محور مبتنی بر STEM می‌تواند به‌عنوان مدلی تحول‌آفرین در ارتقای سواد علمی و تفکر انتقادی در زمینه‌های مختلف آموزشی مورد استفاده قرار گیرد. ادغام مسائل علمی واقعی - همچون مقاومت آنتی‌بیوتیکی - در برنامه‌های درسی، فاصله میان نظریه و عمل را کاهش داده و دانش‌آموزان را برای مواجهه با چالش‌های جهانی آماده می‌کند. این نتایج ضرورت توجه به آموزش معلمان در زمینه طراحی میان‌رشته‌ای و به‌کارگیری رویکردهای مبتنی بر پرسشگری را برجسته می‌سازد. پژوهش‌های آینده می‌توانند آثار بلندمدت یادگیری مبتنی بر STEM را بر عملکرد تحصیلی، علاقه‌مندی به رشته‌های علمی و مهارت‌های پژوهشی دانش‌آموزان بررسی کنند. همچنین، بهره‌گیری از ابزارهای

دیجیتال، شبیه‌سازی‌های مجازی و محیط‌های یادگیری تعاملی می‌تواند موجب ارتقای درگیری یادگیرندگان و گسترش دامنه اجرای این مدل شود. در مجموع، این پژوهش بر نقش کلیدی آموزش پروژه‌محور STEM در پرورش نسل‌های خلاق، آگاه و مسئول در قبال مسائل علمی و اجتماعی تأکید دارد.

مشارکت نویسندگان

میزان مشارکت نویسندگان در نگارش مقاله بصورت مساوی می باشد.

تشکر و قدردانی

از همه عزیزانی که در مدارس و اداره شهر تهران به ویژه خانم سحر مقصودی، که همکاری علمی و آزمایشگاهی داشتند تشکر و قدردانی می شود.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است»

منابع

- Barcelona, K. (2014). 21st century curriculum change initiative: A focus on STEM education as an integrated approach to teaching and learning. *American Journal of Educational Research*, 2(10), 862–875. <https://doi.org/10.12691/education-2-10-4>
- Becker, K., Park, K. (2011). Effects of integrative approaches among science, technology, engineering, and mathematics (STEM) subjects on students' learning: A preliminary meta-analysis. *Journal of STEM Education*, 12(5–6), 23–37.
- Baker, K. A., Galanti, T. M., Morrow-Leong, K. (2020). Using real-world data to teach antibiotic resistance: An inquiry-based approach for high school biology. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 21(1), 1–8.
- Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: Skills for the future. *The Clearing House*, 83(2), 39–43.
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Press.
- Capraro, R. M., Capraro, M. M., Morgan, J. R. (Eds.). (2018). *STEM project-based learning: An integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach* (2nd ed.). Springer
- Chang, Y., Li, B., Chen, H. (2021). Impact of an integrated STEM-PjBL curriculum on students' conceptual understanding and scientific practices in a marine science context. *International Journal of Science Education*, 43(5), 789–810.
- Davies, J., Davies, D. (2010). Origins and evolution of antibiotic resistance. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 74(3), 417–433. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00016-10>.
- English L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), Article 3. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- English, L. D., King, D. T. (2019). STEM integration in primary schools: Theory, implementation and impact. *International Journal of Science Education*, 41(10), 1301–1318. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1608565>.
- Han, S., Yalvac, B., Capraro, M. M. (2016). In-service teachers' implementation and understanding of STEM project-based learning. *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(1), 1–22.
- Kelly, A. M. (2019). Student misconceptions about antibiotic resistance: A systematic review. *Journal of Biological Education*, 53(4), 345–359.
- Lou, S. J. (2017). The effect of STEM project-based learning on students' scientific creativity. *Journal of Science Education and Technology*, 26(4), 360–370.
- Tsai, C. W. (2020). The effect of online STEM project-based learning on students' motivation and self-efficacy. *Educational Technology & Society*, 23(3), 16–28.
- Ventola, C. L. (2015). The antibiotic resistance crisis: Part 1: Causes and threats. *Pharmacy and Therapeutics*, 40(4), 277–283.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- World Health Organization. (2023). Antimicrobial resistance. <https://www.who.int/health-topics/antimicrobial-resistance>.