Journal of Educational Sciences *(JES)*

Original Article

Spring & Summer, 2026, 33(1), 51-70.
DOI: 10.22055/EDUS.2025.48104.3663

ISSN (E): 2588-672x
https://education.scu.ac.ir/

The Hermeneutics of Virtual Physics Education: A Postphenomenological Inquiry into Students' Experiences with Simulations and Virtual Labs

Nazila Niazi[1], Saeid Zarghami-Hamrah[2], Ramazan Barkhordari[3], Yahya Ghaedi[4]

1. Ph.D. Student, Department of Philosophy of Education, Kharazmi University, Tehran, Iran.
2. Associate Prof., Department of Philosophy of Education, Kharazmi University, Tehran, Iran.
3. Associate Prof., Department of Philosophy of Education, Kharazmi University, Thran, Iran.
4. Associate Prof., Department of Philosophy of Education, Kharazmi University, Thran, Iran.

Article Info

Received: 30 Mar 2025
Revised: 13 Aug 2025
Accepted: 28 Aug 2025
Published: 20 Apr 2026

Corresponding Author:
Saeid Zarghami-Hamrah

Email:
szarghami@khu.ac.ir

Keywords:
Physics Education, Learning Experience, Postphenomenology, Digital Technology, Hermeneutic

Abstract

Virtual Virtual education has expanded rapidly since COVID-19, yet concerns remain about deep conceptual learning in physics, where embodied engagement with physical phenomena is essential. Drawing on postphenomenology and Ihde's hermeneutic relations, this qualitative study explored high school students' experiences of virtual physics education through digital technology mediation. Twenty-five Grade 10 and 11 students with at least one year of virtual physics experience participated in semi-structured online interviews. Thematic analysis, supported by member checking, expert review, and collaborative validation, revealed two dimensions of digital technologies' affordances: technology use, including expanded laboratory opportunities, accessibility, repeatability, reduced experimental errors, and learner agency; and digital content representation, including attractiveness, focused attention, visualization of abstract concepts, and detailed scientific processes. However, participants identified three irreplaceable characteristics of real laboratories: simultaneity with authentic classroom events, direct physical engagement with natural phenomena, and greater realism and credibility of observations. Thus, while digital technologies enrich physics instruction, meaningful conceptual understanding remains dependent on embodied, situated experiences. Effective physics education should integrate digital technologies with face-to-face experimentation to preserve embodied cognition while benefiting from digital affordances.

How to Cite: Nazila Niazi, N., Saeid Zarghami-Hamrah, S., Ramazan Barkhordari, R., Yahya Ghaedi, Y. (2026). The Hermeneutics of Virtual Physics Education: A Postphenomenological Inquiry into Students' Experiences with Simulations and Virtual Labs**,** *Journal of Educational Sciences* ***(JES)***, *33*(1), 51-70**.** https://doi.org/10.22055/edus.2025.48104.3663 [Persian]

Authors retain the copyright and full publishing rights. Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This article is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY NC)

علوم تربیتی

مقاله پژوهشی

بهار و تابستان ۱۴۰۵، دوره ششم، سال ۳۳، شماره ۱، ص‌ص: ۵۱-۷۰.
شاپا آنلاین: ۶۷۲X-۲۵۸۸
DOI: 10.22055/EDUS.2025.48104.3663
https://education.scu.ac.ir/

هرمنوتیک آموزش مجازی فیزیک: پژوهشی پساپدیدارشناختی درباره تجارب دانش‌آموزان با شبیه‌سازی‌ها و آزمایشگاه‌های مجازی

نازیلا نیازی[۱]، سعید ضرغامی همراه[۲]، رمضان برخورداری[۳]، یحیی قائدی[٤]

۱. دانشجوی دکتری فلسفه تعلیم و تربیت، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۲. دانشیار، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۳. دانشیار، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
٤. دانشیار، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱٤۰٤/۰۱/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱٤۰٤/۰۵/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱٤۰٤/۰٦/۰٦
تاریخ انتشار: ۱٤۰۵/۰۱/۳۱

نویسنده مسئول:
سعید ضرغامی همراه
ایمیل:
szarghami@khu.ac.ir

واژه‌های کلیدی:
آموزش فیزیک، تجربه یادگیری، پساپدیدارشناسی، فناوری‌های دیجیتال، هرمنوتیک.

چکیده

هدف از پژوهش حاضر شناسایی و توصیف تجربیات یادگیری دانش‌آموزان دبیرستانی در کلاس فیزیک با استفاده از ابزارهای آزمایشگاهی دیجیتال در راستای درک بهتر پدیده‌های طبیعی است. بدین منظور رویکرد کیفی پساپدیدارشناسی مبتنی بر روابط هرمنوتیکی Ihde برگزیده شد. برای دریافت تجربه شرکت کنندگان از مصاحبه نیمه ساختاریافته استفاده و با کدگذاری باز، محوری و گزینشی، موضوعات اساسی مشترک از بین داده‌های حاصل از مصاحبه استخراج و تحت عناوین کلی ۱- امکان‌های فضای دیجیتال در آموزش فیزیک و ۲- ویژگی‌های حضور و انجام بدنمند آزمایش دسته‌بندی شدند. سپس تحلیل داده‌ها با توجه به نظریه شناخت زمینه، بدنمند و موقعیت‌مند در رابطه هرمنوتیکی کاربر با ابزار دیجیتال به انجام رسید. یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد با وجود وجوه افزایشی ابزارهای دیجیتال، پیش نیاز درک صحیح و عمیق مفاهیم فیزیک، ادراک بدنمند از پدیده‌های طبیعی و اشیاء است؛ لذا در تدریس فیزیک، توجه به تجربه زیسته و مواجهه انضمامی با جهان در کنار استفاده از فناوری‌های دیجیتال و در نظر داشتن تأثیر آن بر عناصر نظریه شناخت پیشنهاد می‌شود.

استناد به این مقاله: نیازی، ن.، ضرغامی همراه، س.، برخورداری، ر.، قائدی، ی. (۱٤۰۵). هرمنوتیک آموزش مجازی فیزیک: پژوهشی پساپدیدارشناختی درباره تجارب دانش‌آموزان با شبیه‌سازی‌ها و آزمایشگاه‌های مجازی ، علوم تربیتی، (۱)۳۳، ص‌ص: ۵۱-۷۰. https://doi.org/10.22055/edus.2025.48104.3663

Authors retain the copyright and full publishing rights. Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This article is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY NC)

مقدمه

دانش فیزیک به عنوان یکی از عوامل اصلی توسعه در نظر گرفته می‌شود و نقشی محوری در هدایت کشورها به سمت پیشرفت فناوری، صنعتی شدن و ارتقای ثروت ملی دارد و این اهمیت آموزش مؤثر این دانش را در مدارس روشن می‌سازد (Argaw et al., 2016). درس فیزیک و آزمایشگاه و فرایند تدریس آن درهم تنیده با ابزارهای مختلف آموزشی است. این درس از دروس دشوار مقطع متوسطه دوره دوم و شامل مفاهیمی که غالبشان انتزاعی‌اند، حل مسئله و انجام آزمایش است (Daniel, et al., 2019; Delavar et al., 2024). با توسعه فناوری‌های آموزشی بخصوص در حوزه دیجیتال (ICT)[1]، در آموزش فیزیک نیز امکانات متعدد نوینی طراحی و بکار گرفته شد. ابزارهای دیجیتال آموزشی فیزیک شامل نرم‌افزارها، وب‌سایت‌ها و شبیه‌سازهای آزمایش‌های فیزیکی مثل PhET، Gizmos و ... هستند که به کاربران اجازه می‌دهند تا آزمایش‌های علمی را به صورت مجازی و بدون نیاز به تجهیزات فیزیکی انجام دهند، پدیده‌های فیزیکی را شبیه‌سازی کنند و نتایج را به صورت تعاملی مشاهده کنند. پژوهش‌های متعددی تأثیرات مثبت استفاده از ابزارهای دیجیتال بر یادگیری در آموزش فیزیک را گزارش کرده‌اند (Ebrahimi_Dabbagh, et al., 2023; Farahmand, 2021; Khodadadi_Azadboni & Kamali, 2024).

اما با وجود فراهم گشتن زمینه‌ی بکارگیری بیش‌تر آزمایشگاه‌های مجازی و شبیه‌سازها در چند سالی که به دلیل همه‌گیری کرونا آموزش به‌صورت مجازی به انجام رسید، چالش‌های یادگیری و درک مفاهیم در آموزش فیزیک متوسطه دوره دوم، هم در تجربه تدریس پژوهشگر و دیگران نیز خود را نمایان ساختند و حتی پررنگ‌تر ظاهر شدند (Marisda & Maruf, 2021; Nurliani et al., 2021; Kumas & Kan, 2021; Noori & Ebrahimi, 2021). در پژوهشی که بر یادگیری مفهوم کار و انرژی در تدریس برخط در کشور اندونزی صورت گرفت، نتایج ضعیفی گزارش شد (Haqiqi et al., 2021). Tan and Chen (2021) نیز ضمن بیان مزایای فناوری‌های دیجیتال قابل استفاده در کلاس برخط نظیر نظرسنجی‌ها و امکانات متنوع، در توجیه مشکلات یادگیری این نوع کلاس معتقدند اگرچه نمایش‌های ویدئویی برخط ممکن است برای برخی آزمایش‌ها ترجیح داده شوند، اما نمایش‌های زنده که تئوری را با تجربیات دنیای واقعی مرتبط می‌کنند، جزء اصلی و مؤثرتر درس فیزیک هستند. Bernhard (2018) نیز در مورد کاربری فناوری در آزمایشگاه‌های فیزیک، معتقد است که آن‌ها می‌توانند تجربه دانش‌آموزان را از پدیده‌های مورد نظر در تعامل انسان– ابزارهای میانجی– جهان، با قرار دادن برخی از جنبه‌های واقعیت در پیش‌زمینه، برخی دیگر در پس‌زمینه و تصویرسازی از جنبه‌های خاصی که در در حالت عادی نامرئی هستند، دگرگون سازند؛ برخلاف باور سنتی که ابزارهای آزمایش را فی نفسه فاقد ارزش شناختی می‌دانند. ابزارهای دیجیتال، به بهای تقویت برخی ابعاد تجربه دانش‌آموزان، برخی ابعاد دیگر تجربه آنان از یادگیری را تضعیف می‌کنند و این همان معنای خنثی نبودن فناوری‌ها از دیدگاه Ihde (1990) است. در همین راستا «مطالعات فناوری آموزشی نمی‌تواند تنها منعکس کننده میزان

1- Information and Communication Technology

فناوری اطلاعات و ارتباطات: استفاده از فناوری‌ها، سیستم‌ها و ابزارهای محاسباتی و مخابراتی برای تسهیل نحوه ایجاد، جمع‌آوری، پردازش، انتقال و ذخیره‌سازی اطلاعات است.

https://www.techopedia.com/definition/24152/information-and-communications-technology-ict

تأثیرات آن‌ها در یادگیری باشد؛ بلکه حوزه فناوری آموزشی باید در کنار توجه به این موضوع، در بخشی عمیق‌تر، رابطه دگرگون‌شده متربیان با جهان را مورد توجه قرار دهد» (Mozaffaripour, 2021, p. 12). Don Ihde (1990) با رویکرد پساپدیدارشناسی خود، چارچوب مؤثری برای مفهوم‌سازی این رابطه دگرگون شده با میانجیگری فناوری ترسیم کرده است. پساپدیدارشناسی نشأت گرفته از پدیدارشناسی کلاسیک و فلسفه پراگماتیسم به دنبال بیان توصیفی عمیق از راه‌های مختلفی است که تجربه انسان از طریق کاربرد فناوری دگرگون می‌شود. این تمرکز بر میانجیگری فناورانه وجه تمایز رویکرد پساپدیدارشناسی از پدیدارشناسی کلاسیک است و این امکان را فراهم می‌سازد تا تحلیل‌هایی در مقیاس خرد از نقش‌های واسطه‌ای فناوری‌ها در روابط انسان- جهان صورت گیرد. Ihde ماهیت این روابط را به چند شکل تفسیر نموده است: ۱- روابط بدنمندی: (انسان-فناوری)- جهان؛ که در آن فناوری بصورتی نسبتاً شفاف (نامرئی) به بدن ضمیمه شده و تعامل با جهان از طریق فناوری انجام می‌شود، مثل عینک ۲- روابط هرمنوتیک: انسان- (فناوری- جهان)، که فهم و تفسیر جهان به واسطه فناوری رخ می‌دهد؛ یکی از مثال‌هایی که Ihde برای این شکل رابطه می‌زند نمودار است که خود نمودار تبدیل به ابژه ادراک شده، درحالی‌که همزمان به چیزی ورای خود که در لحظه مشاهده نمی‌شود ارجاع می‌دهد. او هرمنوتیک را به مثابه یک کنش تفسیری خاص در بستر فناورانه در نظر می‌گیرد. ۳- روابط تغیر یا دگرگونی: انسان-فناوری-(جهان)؛ مثال تعامل با رایانه یا ابزار هوش مصنوعی به عنوان یک دیگری، مثالی از این نوع رابطه است. ٤- رابطه زمینه: انسان — ((فناوری) — جهان) که در آن فناوری به پس زمینه می‌رود؛ مثل وسیله گرمایش اتاق (Ihde, 1990).

چالش‌های استفاده از فناوری‌های دیجیتال در آموزش فیزیک با محدود شدن آن به شیوه مجازی در دوره همه‌گیری کرونا به‌صورت پررنگ‌تری ظاهر شدند. پس از بازگشت آموزش به شیوه حضوری، ابزارهای دیجیتال این بار غالباً در نقش مکمل فرایندهای آموزشی حضوری بکار گرفته شدند، اما از نظر محققین این پژوهش، لازمه تجمیع کارآمد آن با فرایندهای آموزشی، فهم ابزار آزمایشگاهی دیجیتال در رابطه میانجیگری هرمنوتیکی آن با یادگیرنده و تغییراتی است که در تجربه یادگیری او ایجاد می‌کند که پژوهش‌های قبلی به آن نپرداخته‌اند. لذا این پژوهش، با توصیف تجربیات مواجهه دانش‌آموزان با شبیه‌سازها و آزمایشگاه‌های مجازی درس فیزیک پایه‌های دهم و یازدهم متوسطه دوره دوم و ساختار افزایشی و کاهشی آن‌ها[1] در ادراک جهان، بر پایه روابط هرمنوتیک Ihde به دنبال فهم بهتر مواجهه فناورانه فراگیران با مفاهیم و پدیدارهای فیزیک است. به این ترتیب امید است با بهره‌گیری از رویکرد فلسفی پساپدیدارشناسی و شناخت بهتر مشکلات، آن‌ها را به حداقل رساند و بر کارآمدی این شیوه افزود (Zarghami_Hamrah, 2017). در راستای این هدف، پرسش‌های زیر مطرح است:

۱- نحوه مواجهه هرمنوتیکی فراگیران درس فیزیک متوسطه دوره دوم، با ابزارهای دیجیتال و وجوه افزایشی و کاهشی آن در مقایسه با مواجهه بدنمند با ابزارهای مادی موجود در آزمایشگاه‌های فیزیک در یادگیری چگونه است؟

۲- برای بهبود شیوه‌های تدریس درس فیزیک متوسطه دوره دوم، با استفاده از فناوری‌های دیجیتال در زمینه شبیه‌سازی و آزمایشگاه مجازی، چه راهکارهایی می‌توان ارائه داد؟

1- magnification/reduction structure

روش

پساپدیدارشناسی، زیر پارادایم پژوهش کیفی است. در این روش، یک نوع فناوری در نظر گرفته می‌شود و سپس با انجام یک کار تجربی به بررسی تغییراتی که این فناوری به عنوان میانجی در تجربه یادگیرندگان و درک آنان از جهان و انسان ایجاد می‌کند، پرداخته می‌شود (Kiran & Verbeek, 2010). «این شرح تجربی می‌تواند براساس کار تجربی دیگران یا مطالعات خود فرد یا تحلیل تجربه اول شخص که دربردارنده فناوری خاصی است به دست آید» (Rosenberger & Verbeek, 2015, p. 31-32).

هرمنوتیک شاخه‌ای از فلسفه کلاسیک است و به تفسیر و معنا و افشای جهان می‌پردازد و پدیدارشناسی هرمنوتیکی، رابطه انسان و جهان را بر حسب روشی که جهان می‌تواند خود را به انسان نشان دهد و معنادار شود، تحلیل می‌کند (Verbeek, 2005). پژوهش حاضر بر روابط هرمنوتیک انسان- (فناوری- جهان) Ihde متمرکز است که در آن مواجهه‌ی انسان به جای جهان با فناوری‌هایی مثل دماسنج، تصویر رادیولوژی و ... بوده و این‌ها دریچه‌ی فهم جهان برای انسان هستند. از آن‌جا که در آموزش فیزیک با استفاده از شبیه‌سازها و آزمایشگاه‌های مجازی، ادراک جهان و پدیدارهای فیزیکی از طریق خوانش و مواجهه تفسیری با این ابزارها رخ می‌دهد، محققان این پژوهش، استفاده از این چارچوب مفهومی را برای توصیف نحوه ادراک فراگیران از پدیده‌های جهان با میانجیگری ابزارهای دیجیتال آموزشی فیزیک و وجوه افزایشی یا کاهشی آن‌ها مناسب دانستند. برای انجام این کار، روش مصاحبه نیمه ساختاریافته جهت هدایت پاسخ‌ها به سؤالات پژوهشی برگزیده شد. لذا پس از مطالعه پیشینه پژوهشی و استخراج مؤلفه‌های مربوطه و مشاوره با اساتید راهنما و مشاور و دبیران باتجربه فیزیک سؤالات مصاحبه استخراج و نهایی شدند. برای دریافت تجربه زیسته یادگیری فیزیک با استفاده از ابزارها، در تابستان ۱۴۰۲ مشارکت کنندگان از طریق نمونه‌گیری در دسترس، از میان همه دانش‌آموزان پایه‌های دهم یا یازدهم تجربی و ریاضی – به جهت نزدیکی محتوای آموزشی این دو رشته- در همه‌گیری کرونا با حداقل تجربه یک سال تحصیلی آموزشی با سامانه مدیریت یادگیری (LMS)[1] به عنوان بستری مناسب برای استفاده از فناوری‌ها و ابزارهای دیجیتال آموزشی، توسط پژوهشگران انتخاب شدند. این مصاحبه‌ها از طریق نرم‌افزار اسکایپ[2] در زمان مناسب هر مشارکت کننده از جهت فرصت و وضعیت اینترنت به انجام رسید. به جهت ملاحظات اخلاقی، شرکت‌کنندگان پیش از شروع مصاحبه در جریان هدف و اهمیت پژوهش قرار گرفتند. سپس با اجازه ایشان، مصاحبه‌ها بصورت فایل صوتی ضبط و سپس به متن تبدیل شدند. تمرکز این مقاله بر بخشی از هر مصاحبه است که به نوعی اشاراتی به نحوه ادراک و یادگیری فیزیک با استفاده از ابزارهای آموزشی دارد. این مصاحبه‌ها پس از ۲۵ مورد به حد اشباع رسید و در سه مورد پایانی نکته جدیدی یافت نشد. سپس محتوای بدست آمده در سه مرحله کدگذاری باز، محوری و انتخابی با روش Corbin and Strauss (2008) تحلیل شد. یعنی متن مصاحبه‌ها به دقت مطالعه و با تفکیک آن به عناصر دارای پیام کدهای باز استخراج شدند. در کدگذاری محوری، این مقوله‌ها با ترکیب جدیدی به یکدیگر ارتباط یافتند و نهایتاً در قالب خوشه‌های بزرگ دسته‌بندی شدند. برای بررسی روایی و پایایی و استحکام پژوهش‌های کیفی، چهار مفهوم اعتبار یا باورپذیری، قابلیت انتقال، تأییدپذیری و اعتماد مورد نظر است (Lincoln & Guba, 1985). برای حصول این چهارگانه در این پژوهش ثبت

1- Learning Management System
2- Skype

دقیق محتوا انجام شد و یافته‌ها در اختیار مصاحبه شوندگان قرار گرفت و ایشان هماهنگی آن را با تجربه زیسته خود تأیید نمودند. کدگذاری‌ها بصورت استقرایی و صرفاً براساس مفاهیم مطرح شده و روابطشان و حتی‌الامکان بدون سوگیری محقق انجام شد و نهایتاً تحلیل‌ها و استخراج موضوعات نیز توسط سه نفر از دبیران مجرب دارای تجربه زیسته آموزش حضوری و مجازی فیزیک به عنوان تحلیل‌گران مستقل و اساتید راهنما و مشاور تأیید شد.

یافته‌ها

در انجام این پژوهش، تجربه زیسته دانش‌آموزان در ادراک پدیده‌های فیزیک با بکارگیری ابزارهای دیجیتال، مورد نظر بود. این کار با استفاده از چند سؤال کلی که هدایت کننده مسیر مطالعه است، نظیر «حس و دریافت شما در انجام آزمایش با برنامه شبیه‌سازی تعاملی مثلاً در موضوع چگالی یا الکتریسیته و مغناطیس چگونه بود؟» انجام شد. سپس از متن مصاحبه‌ها ۷۶ گزاره مفهومی اولیه استخراج و پس از ایجاد ارتباط معنایی در کدگذاری محوری و مقوله‌بندی، نهایتاً در دو مضمون کلی دسته‌بندی شدند (کدگذاری انتخابی): امکان‌هایی که فضای دیجیتال برای کاربر در حوزه یادگیری فیزیک می‌گشاید و ویژگی‌های حضور و انجام بدنمند آزمایش. شکل ۱ در انتهای بخش یافته‌ها این دسته‌بندی‌ها را به تصویر کشیده است. در جدول ۱ نیز نمونه‌ای از کدگذاری داده‌ها نشان داده شده است و در ادامه، یافته‌ها براساس کدهای استخراجی ارائه شده‌اند:

جدول ۱. نمونه فرایند کدگذاری داده‌ها Table 1. Data Coding Process

کدگذاری باز Open Coding	کدگذاری محوری Axial Coding	کدگذاری انتخابی Selective Coding
جذابیت محتوا و گرافیک بی‌حاشیه بودن و تمرکز بر موضوع نمایش مفاهیم انتزاعی نمایش جزییات و فرایندها بزرگنمایی	ب) ویژگی‌های محتوایی	۱) امکان‌های فضای دیجیتال در آموزش فیزیک

۱) امکان‌های فضای دیجیتال در آموزش فیزیک

الف- بعضی از این امکان‌ها درباره نحوه کاربری فضای دیجیتال است که شیوه تعامل با جهان را دگرگون ساخته و با ساده‌سازی تعامل با پدیده‌های فیزیکی و حذف دشواری‌هایی که در عمل و در آزمایشگاه رخ می‌دهد، تفسیر و نگرش متفاوتی از جهان در چارچوب روابط هرمنوتیکی Ihde شکل می‌گیرد. از آن‌چه مصاحبه‌شوندگان مطرح نمودند، موارد زیر استخراج شده‌اند:

- **ارائه امکانات متعدد آزمایشگاهی**

«توی آزمایشگاه حضوری وسایل کمتر پیدا میشه، ولی در مجازی هرچیزی که می‌خواستید می‌شد با یک کلیک فراهم کنید.» (دانش‌آموز ۱)

«یه سری آزمایش‌ها که داشتیم و توی اینترنت انجام می‌دادیم، مثل پایستگی انرژی و این‌ها، در آزمایشگاه قابل انجام نیست. ولی این‌که مجازی شد و این امکانات اومد، باعث شد بتونیم این‌ها رو هم انجام بدیم و بهتر بتونیم درک کنیم.» (دانش‌آموز ۳)

«این که میشد همه چیزش رو تغییر داد. اکثر چیزهایی که قبلا در دسترس داشتیم، میشد فقط یک آیتم رو تغییر داد. ولی این اینطوری بود که میشد همه چیز را تغییر داد.» (دانش‌آموز ۹)

«ما در حضوری [برای آزمایش چگالی] اون آب و مکعب رو داشتیم، ولی این‌که بخوایم همه سایز مکعب رو امتحان کنیم، خیلی سخت می‌شد، ولی مجازی با موس می‌زدیم و با دست می‌نوشتیم، خیلی راحت‌تر بود.» (دانش‌آموز ۱۰)

«یک چیزهایی رو که ما در زندگی عادی خیلی نمی‌بینیم، مثلاً ما که نمی‌تونیم خودمون بریم روی اسکیت برد ولی در آنلاین می‌تونستیم این هارو تغییر بدیم، اصطکاک رو کم می‌کردیم و نتیجه رو می‌دیدیم.» (دانش‌آموز ۱۵)

«در آزمایش حضوری، مثلا، یک پره‌ای بود که باید می‌چرخید، برای بار الکتریکی بود. ما خیلی تلاش کردیم که حرکتش رو ببینیم ولی خب اونقدر آزمایش‌مون دقیق نبود. بعد چون گروه‌ها جابه‌جا می‌شدند، یک هو یک میز حین آزمایش وسیله‌اش خراب میشد و به گروه‌های بعدی نمی‌رسید، ولی با شبیه ساز همه رو می‌تونستیم انجام بدیم.» (دانش‌آموز ۱۸)

- **افزایش دقت و کاهش خطا**

«... در آزمایش واقعی میتونه خطا داشته باشه و خیلی وقت بگیره، ولی در آزمایش مجازی میشه انجام داد.» (دانش‌آموز ۳)

«به‌نظرم مجازی مؤثرتره چون امکان خطا و اشتباهش میاد پایین‌تر. توی آزمایشگاه امکان خطا شدن خیلی بالا هست. شده یک آزمایش انجام بدیم و انجام نشه یا نتیجه‌ای که میخوایم رو نگیریم.» (دانش‌آموز ۹)

«از یک جهت آزمایش حضوری، اینکه خود آدم انجام بده یک خوبی هست، ولی آزمایش حضوری خیلی امکان خطا داره و ممکنه ما نتونیم اون آزمایش رو درست دربیاریم ولی وقتی با شبیه‌ساز انجام بدیم، هرچقدر هم کم تغییر بدیم، میتونیم اثرش رو در برنامه ببینیم.» (دانش‌آموز ۱۸)

- **قابلیت دسترسی و تکرارپذیری آزمایش‌ها**

«من خودم با آزمایشگاه ارتباط برقرار نمی‌کردم. این‌جا [آزمایشگاه مجازی] دست خودمون بود. چیزی خراب نمی‌شد. وسایل شاید در آزمایشگاه به اندازه کافی نباشه که بتونی فردی باهاش ساعت‌ها کار کنی و راحت باشی. تایم محدوده و شاید مجبور باشیم چند نفری با یک چیزی کار کنیم.» (دانش آموز ۷)

«مزیتش [آزمایشگاه مجازی] این بود که هرتعداد باری که آدم می‌خواست می‌تونست اون رو انجام بده و محدودیت تایمی نداشتیم. یک سری ابزارها که در آزمایشگاه نداشتیم، اون‌جا بود و می‌تونستیم با اون‌ها هم تست کنیم.» (دانش‌آموز ۸)

«... در مجازی چون فیلم و آزمایش رو اگر یک‌بار میدیدیم و نمیفهمیدیم، میتونستیم بزنیم از اول و دوباره ببینیم ...» (دانش‌آموز ١٤)

«در حضوری اگر بخوایم انجام بدیم، ممکنه بعضی از بچه‌ها دید کاملی به شرایط آزمایش نداشته باشن، این برای اون‌ها نقص میشه، اگر آدم بتونه نزدیک میز باشه و کامل ببینه، طبیعتاً حضوری تأثیر بیشتری داره، این‌که همه بچه‌ها

بتونن بهره ببرن، در مجازی همه یک دیوایس جدا برای خودشون دارند و می‌تونن از نزدیک تماشا کنن، برای همین در تعداد زیاد فکر می‌کنم اینکه شبیه‌ساز باشه یا فیلم پلی کنند، فکر کنم مؤثرتر باشه.» (دانش‌آموز ۲۱)

- **افزایش عاملیت کاربر**

«این‌که می‌شد خودمون بالا و پایینش کنیم، میشد هرطور می‌خواستیم تغییرش بدیم و آثارش رو ببینیم در شبیه‌ساز [باهاش ارتباط می‌گرفتم] » (دانش‌آموز ۷)

«[آزمایشگاه] مجازی این‌طور بود که آدم هرموقع دلش بخواد، میتونه تایم زیادی پشتش باشه و چیزای زیادی رو کشف کنه.» (دانش‌آموز ۹)

ب- برخی از امکان‌های فضای دیجیتال در آموزش فیزیک ذیل عنوان ویژگی‌های محتوایی کدگذاری شد. جذابیت محتوا و گرافیک، بی‌حاشیه‌بودن و تمرکز بر موضوع، نمایش مفاهیم انتزاعی، نمایش جزییات و فرایندها و نیز بزرگنمایی، ویژگی‌هایی هستند که ذیل عنوان مذکور با دست‌کاری محتوا و ابژه‌ی مورد مطالعه، ادراک متفاوتی از پدیده فیزیکی (جهان) را در پس رابطه کاربر- ابزار شکل می‌دهند:

- **جذابیت محتوا و گرافیک**

«[انیمیشن‌ها] چون جنبه فان هم داشت ما خیلی جذب می‌شدیم که اون رو نگاه کنیم، تمام تمرکزمون رو میذاشتیم تا ببینیم چیکار میکنه. هم فان بود و هم درس بود.» (دانش‌آموز ۱۴)

«به‌نظرم مدلش و گرافیکش، رنگ‌هایی به‌کار برده که تو ناخودآگاه، آدم جذبشون میشه. ممکنه در آزمایشگاه خیلی رنگ‌های خنثی داشته باشند، یک‌کم حوصله سربر هست برای کسی که فیزیک دوست نداره، ولی وقتی رنگ میاد توی کار و چیزهای بامزه داره، فکر کنم کسی که فیزیک دوست نداشته باشه هم لذت ببره و ارتباط برقرار کنه.» (دانش‌آموز ۱۵)

«[انیمیشن] به خاطر اون گرافیکی که داره، آدم رو بیشتر جذب میکنه که به ادامه‌اش نگاه کنه.» (دانش‌آموز ۸)

«[شبیه‌سازها] فکر می‌کنم رنگ‌هاش مهم بودن. یک سری رنگ‌های خاص، رنگ‌های پررنگی بودند که الان می‌تونم قشنگ ببینمشون، یا اون‌هایی که خلوت‌تر بودند رو بهتر یادم هست.» (دانش‌آموز ۲۲)

- **بی‌حاشیه بودن و تمرکز بر موضوع**

«فکر میکنم خیلی منظم یک کاری رو انجام میدن و ذهن ما به موضوعات دیگه‌ای نمیره.» (دانش‌آموز ۵)

«... وقتی توی شبیه‌ساز انجام میدیم، اثر واقعاً مشهود هست...» (دانش‌آموز ۷)

«... از اونجایی که سایت‌ها خیلی مهندسی شده هستن، اتفاق‌ها رو خیلی دقیق نشون میدن. [مثلاً] تغییر حجم‌های دقیق میدن.» (دانش‌آموز ۱۲)

- **نمایش مفاهیم انتزاعی**

«... مخصوصاً در دهم، انرژی جنبشی که شاید مفاهیم جدیدتری بود، یا مغناطیس که مفاهیم انتزاعی‌تری بود، خیلی عملی نبود که لمسش کنیم. این‌ها [شبیه‌سازها] خیلی کمک می‌کرد که تصویر ذهنی ما درست بشه و یک درک و

مفهومی ازش داشته باشیم.» (دانش‌آموز ۷)

« ... خود من یکی از درس‌های فیزیک رو که جزء سخت‌ترین فصل‌های فیزیک بود، فصل دوم سال یازدهم، درباره مدار و این حرف‌ها بود، این رو من از زمانی که یک سری آموزش‌های انیمیشنی دیدم، جرقه در ذهنم خورد که مفهومی بفهمم، بعد که شروع کردم به تست زدن و خیلی بهتر شد.» (دانش‌آموز ۱۶)

«درس یازدهم درسی بود که بیشتر ذهنی بود؛ چیزی نبود که قابل مشاهده باشه، همه‌شون چیزهای انتزاعی بودن و قابل دیدن خیلی نبودن. شبیه‌سازی ولی کمک می‌کرد ما این رو ببینیم ... فکر می‌کنم [مثلاً] برای بار الکتریکی همین شبیه‌ساز بهتر باشه... مثلاً خطوط میدان که مفهوم انتزاعی بود و ساخته پرداخته ذهن انسان بود...» (دانش‌آموز ۲۱)

- **نمایش جزییات و فرایندها**

«با جزئیات داشت توی مدار رو به ما توضیح می‌داد. یا مثلاً توی یک آونگ رو توضیح می‌داد که مثلاً دوتاشون به هم برخورد می‌کنند چه اتفاقی میفته و به جای این‌که ما یک آزمایشی از بیرون ببینیم، اون شبیه‌ساز داشت تلاش می‌کرد اتفاقات داخل رو نشون بده و تو تا اعماقش رو درک می‌کردی.» (دانش‌آموز ۲)

«[انیمیش‌ها] خیلی دقیق بودن و جزئیات رو خیلی خوب نشون می‌دادن نسبت به فیلم واقعی. چون توی موتور ماشین که نمی‌تونه بره فیلم بگیره ولی در انیمیشن از بیرون نشون میده و بعد وارد بخش داخلی میشه، هر قطعه رو معرفی می‌کنه و توضیحاتش هم خیلی شفاف بود. وضوح و توضیحاتی که توش نشون داده میشد، خیلی به‌نظرم کمک‌کننده بود.» (دانش‌آموز ۱۹)

«من خیلی با انیمیشن ارتباط می‌گیرم. انیمیشن سعی میکنه محیط سه بعدی ایجاد بکنه و دوربین می‌تونه توش حرکت بکنه و بچرخه و همه ابعاد رو نشون بده، خیلی می‌تونه کمک کننده باشه تا این‌که آدم بخواد روی صفحه دو بعدی یک چیزی رو بکشه و توضیح بده. ما در حالت عادی نمی‌تونیم داخل موتور درون سوز خودرو رو ببینیم ولی در انیمیشن میشه وارد موتور شد، از هر لحظه و زاویه دیدش و متوجه کار شد، خیلی کمک کننده هست.» (دانش‌آموز ۲۱)

- **بزرگنمایی**

«خب فیلم یک سری مزیت‌هاش اینه که اون انرژی درونی که ما مثلاً نمی‌تونیم خودمون ببینیم رو بزرگنمایی می‌کنه یا با یک مثال دیگه نشون میده تا درک بشه.» (دانش‌آموز ۸)

۲) ویژگی‌های حضور و انجام بدنمند آزمایش

تمرکز این پژوهش بر نحوه میانجیگری ابزارهای دیجیتال در فهم موضوعات فیزیک است، اما از آن‌جا که این میانجیگری برای فهم جهانی ورای ابژه دیجیتال مورد مطالعه طراحی شده، ناگزیر از مقایسه آن با مواجهه اصیل با پدیده طبیعی است. اصالت پدیده مورد مطالعه و کنش بی‌واسطه با آن و ارتباط این نوع مواجهه با فهم موضوع و یادگیری با عبارت‌های مختلف مورد توجه دانش‌آموزان قرار گرفته است:

برخی از دانش‌آموزان تقارن اتفاقات مختلف در تجربه حضوری از مدرسه با انجام آزمایش‌های فیزیک را عاملی در یادسپاری فرایند آزمایش می‌دانستند:

«... من خیلی چیزها رو از روی تجربیاتم هست که یادم مونده. مثلاً درس‌ها رو روز مدرسه یک اتفاقی افتاده حضوراً که من از اون صحنه یک چیزی یادم مونده، این به من کمک کرده.» (دانش‌آموز ۱۱)

تعدادی از دانش‌آموزان در صورت فراهم بودن امکان انجام آزمایش‌ها به صورت حضوری، آن را بر مجازی با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز ترجیح می‌دادند و غالب ایشان بر این‌که وقتی آزمایش توسط «خودشان» انجام گیرد، به‌واسطه شکل‌گیری یک تجربه شخصی بدنمند و ملموس، باورپذیرتر و به یاد ماندنی‌تر است تأکید داشتند:

«به نظرم اگر در آزمایشگاه واقعی انجام می‌دادیم خیلی بهتر بود. شاید همین‌که در فضا باشه و خودش بتونه همه چیزو انجام بده، خیلی بهتره که در سایت یک سری اطلاعات وارد کنه و به آدم نشون بده.» (دانش‌آموز ۸)

«فکر می‌کنم چیزی که حضوری باشه برای دانش‌آموزش، مثلاً در چگالی، اگر من سنگ رو بندازم تو استوانه مدرج و این آب بیاد بالا، این خیلی قشنگ یاد من می‌مونه تا این‌که من یک روز تو یک سایتی یک آزمایش انجام بدم و این اتفاق بیفته. شاید این یادم نمونه. ولی اون روزی که رفتیم آزمایشگاه حضوری و این تغییرات رو مشاهده کردم، قطعاً بهتر یادم می‌مونه.» (دانش‌آموز ۱۲)

«به نظرم آزمایش حضوری بهتره چون اون شیء رو خودت لمس می‌کنی و می‌بینیش و همه کارها رو خودت انجام میدی. ولی در اون سایت جسم رو انتخاب می‌کردی و کلیک می‌کردی و خود سیستم می‌گفت اطلاعات رو؛ ولی در حضوری خودت باید انجام بدی. به نظرم یادگیریش بهتره و توی حافظه بیشتر می‌مونه.» (دانش‌آموز ۱۴)

«[در مقایسه آزمایش حضوری و مجازی] برای من که فیزیک دوست دارم، جفتشونم اوکی بود. ولی باز همون ملموس بودنه هست. اگر خودمون انجام بدیم فکر کنم بهتر تو ذهنمون بمونه، تا این‌که مجازی باشه. » (دانش‌آموز ۱۵)

«آزمایش حضوری بهتره. مثلاً توی بحث ترمودینامیک، معلممون ماشین رو آوردن به حیاط مدرسه و رفتیم و بهمون نشون دادن کامل. اون رو واقعاً دوست داشتیم و جذاب بود. توی یازدهم هم آزمایش که می‌کردیم، همه از نزدیک می‌دیدیم چون تعدادمون هم زیاد نبود. معلم می‌داد خودمون امتحان کنیم، اینش خیلی بهتر بود ... مبحث مغناطیس هم خودمون آهنربا آوردیم و خودمون امتحان می‌کردیم .» (دانش‌آموز ۱۷)

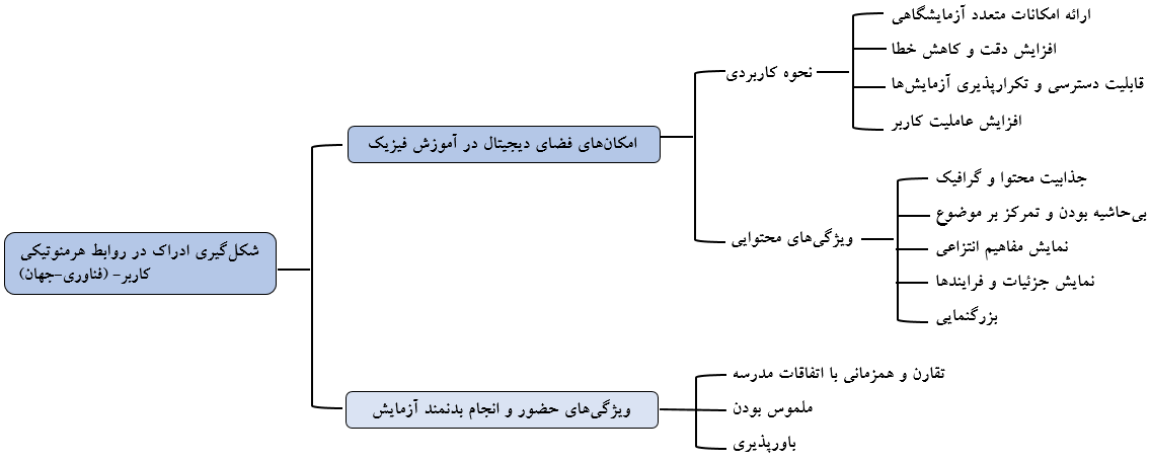
«... وقتی آدم خودش انجام می‌داد با کمک بقیه، بهتر یادش می‌موند. همین میدان‌ها با براده آهن، من قشنگ هنوز یادم هست.» (دانش‌آموز ۱۹)

بعضی از دانش‌آموزان حتی در مورد فیلم‌های آزمایش‌های فیزیک، به اهمیت مشاهده حضور بدنمند فرد اجرا کننده آزمایش در باورپذیری و یادسپاری آن اشاره کردند؛ شبیه چیزی که درباره انجام حضوری آزمایش توسط خودشان مطرح می‌کردند:

«اون آزمایش‌هایی که نمی‌تونستیم خودمون انجام بدیم، مثل پایستگی انرژی که یک گوی رها می‌کردیم، این رو یک استاد فیزیک که اسمشون رو نمی‌دونم، خودشون جلوی این گوی ایستاده بودند وقتی که رهاش کردن، من خودم این‌طوری خیلی دوست دارم و بیشتر خوشم میاد؛ چون اون فضای آزمایشگاه که کوچیک باشه، یک سری چیزهای اعجاب برانگیز رو نمی‌بینه. ولی این‌که یک انسان زنده اینجا ایستاده و مطمئنید که این قانون عمل می‌کنه، به نظرم از

نظر جذابیت و این‌که بیشتر یادمون می‌مونه بهتر بود، ... بعضاً شده در مسئله‌ها از همون مفاهیمی که توی آزمایش‌ها یادم مونده استفاده کردم.» (دانش‌آموز ۲۰)

«شما وقتی آزمایشگاه مجازی رو نگاه می‌کنی، انگار یک کمی درک این‌که مطمئن بشی این اتفاق در واقعیت هم میفته یا نه، برات عجیبه. مطمئن نیستی اگر همین کار رو خودت هم بکنی این‌طور میشه یا این صرفاً کامپیوتری هست. ولی وقتی همون آزمایش رو فیلمشو می‌بینی که یک نفر داره انجام میده، اون رو راحت‌تر درک و باور می‌کنی.» (دانش‌آموز ۲۲)



شکل ۱. شکل‌گیری ادراک در روابط هرمنوتیکی کاربر- (فناوری- پدیده‌های فیزیکی/جهان)

Figure 1. Perception Formation in the Hermeneutic Relationships of the user- (technology-physical phenomena/world)

بحث و نتیجه‌گیری

ساخت دانش علمی درباره پدیده‌های طبیعی به معناسازی یادگیرندگان بر اساس تجارب شخصی و بازتاب آن تجربیات و همچنین تعاملات اجتماعی در رخدادها، زندگی روزمره و کلاس درس وابسته است (Margetts et al., 2018). برای فهم پدیده‌ها Ihde به دوگانگی ذاتی در روابط هرمنوتیک اشاره دارد که از یک سو، این روابط شبیه ادراک بیواسطه‌اند، زیرا ما از طریق ابزار، جهان را «میدانیم» (مثلاً دمای هوا را از طریق عدد دماسنج درک می‌کنیم) و از سوی دیگر، این ادراک همواره تفسیری و غیرمستقیم است، زیرا تمرکز اولیه آن به جای پدیده مورد نظر، بر ابزار (مثلاً نمایشگر) و خوانش آن است (Ihde, 1990; p. 85). مثلاً با نگاه به دماسنج، ابتدا عدد توسط کاربر دیده می‌شود (تمرکز بر ابزار)، سپس این عدد به عنوان نشانه‌ای از دمای محیط تفسیر می‌شود (ارجاع به فراتر از ابزار). این فرایند، همان دیدن به مثابه چیزی است که در روابط هرمنوتیکی رخ میدهد. بنابراین در این نوع رابطه، کاربر ابتدا با یک فرایند ادراکی در مرحله خوانش ابزار و بعد یک خوانش تفسیری مواجه است و لذا برای فهم صحیح پدیده در روابط هرمنوتیکی دو مرحله چالش وجود دارد که هریک بر شناخت پدیده اثرگذار است.

پزولو و همکاران سه عنصر شکل‌دهنده‌ی شناخت را که بر شکل‌گیری معنا در ذهن فراگیرنده مؤثرند، زمینه[1] (ویژگی‌های فیزیکی جهان)، بدنمندی[2] (بدن، مغز، حالت‌ها، فرایندهای ادراکی، حرکتی، احساسی و داخلی) و

1- Grounded theories
2- Embodiment

موقعیت‌مندی[1] (ویژگی‌های خاص محیط و بافتار، شامل جنبه‌های اجتماعی و فرهنگی) تعریف می‌کنند (Pezzulo et al., 2013). این سه عنصر می‌تواند برای توضیح آن‌چه بر کاربران آموزش مجازی ذیل مفهوم هرمنوتیک Ihde در هر دو مرحله ادراکی و تفسیری پدیدار گشته، بینش مناسبی در فهم یافته‌ها و نحوه معناسازی برای دانش‌آموزان فراهم سازد.

نظریه‌های زمینه و بدنمند شناخت با تأکید بر «نقش بدن در شناخت» شکل گرفته‌اند (به عنوان مثال، رابطه جهت‌گیری بدن با پردازش فضایی یا استدلال استعاری). دیدگاه زمینه با ارائه‌ی یک رویکرد یکپارچه از شناخت بر تعاملات پویای مغز- بدن- محیط و پیوندهای ادراک- کنش به عنوان مبانی مشترک برای رفتارهای ساده و نیز مهارت‌های پیچیده شناختی و اجتماعی تاکید می‌کند (Glenberg, 2010). در دیدگاه زمینه، فرآیندهای شناختی در ساختارهای ذهنی انسان به اشیاء خارجی پیرامون مرتبط می‌شود. این معنا در تبیین فرایندهای آموزشی نیز کاربرد دارد (Glenberg et al., 2008, as cited in Nathan, 2021). از نظر Black (2010) حتی درک متن هم علاوه بر درگیرکردن شبکه گزاره‌ای نمادین در مغز طبق دیدگاه زمینه، اثرات فضایی ادراکی را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، تغییر زاویه دید در یک داستان، زمان خواندن طولانی‌تر و خطاهای حافظه بیشتری ایجاد می‌کند؛ زیرا خواننده باید چشم‌انداز فضایی‌ای را که از آن، صحنه‌ی روایت را مشاهده می‌کند در تخیل خود تغییر دهد. بازی‌های ویدیویی نیز به همین ترتیب می‌توانند با ایجاد تجربیات مبتنی بر ادراک به افزایش یادگیری و درک نمادین فضایی کمک کنند (Black, 2010). موقعیت‌مندی نیز عنصر دیگری است که تأثیر مهمی بر شناخت دارد و می‌گوید محیط نقش اصلی را در شکل‌دادن به مکانیسم‌های شناختی ایفا می‌کند (Gibson, 1979, as cited in Barsalou, 2008). موقعیت محوری هستی انسان نیز بدین گونه مورد توجه مرلوپونتی قرار گرفته است که از نظر او عبارت از ربط یافتگی‌اش با دیگر موجودات و اجازه دادن به معنای هستی است که خود را با توجه به واقعیت انضمامی موجوداتی که در تجاربمان با آن‌ها مواجهیم آشکار کند (Merleau_Ponty, 2024).

در میانجیگری هرمنوتیک Ihde، درک جهان از طریق مواجهه با فناوری و خوانش آن رخ می‌دهد و میانجیگری فناورانه می‌تواند عناصر سه‌گانه در نظریه شناخت را هم در مرحله ادراک و هم تفسیر دچار تحول نماید. بخش مهمی از فرایند تدریس در آموزش فیزیک انجام آزمایش با استفاده از ابزارهای مختلف است و فراگیران با درگیرشدن در فرایند انجام آزمایش و شکل‌گیری یک تجربه بدنمند، درکی از مفاهیم فیزیک را در ذهن خود شکل می‌دهند. اما همان‌طور که اشاره شد در آموزش فیزیک به شیوه‌های حضوری و مجازی و ابزارهای مرتبط، با ارائه امکان‌های مختلف، زمینه، بدنمندی و موقعیت متفاوتی شکل می‌گیرد.

در بخش یافته‌های پژوهش به ویژگی‌های محتوایی ابزارهای دیجیتال آموزش مجازی فیزیک و وجوه افزایشی آن‌ها از نظر شرکت کنندگان، اشاره شد. در آموزش به شیوه مجازی بستر مناسب‌تری برای استفاده از سایت‌ها و نرم‌افزارهای آموزشی که ارائه‌دهنده‌ی آزمایشگاه مجازی، فیلم‌ها و انیمیشن‌های آموزشی مفاهیم فیزیک هستند فراهم است. این ابزارها با تقویت حس بینایی و گاه شنیداری تجربه کاربر از فرایندها و پدیده‌های فیزیکی، ایجاد تجربه بدنمندی متفاوت هنگام اِعمال تغییرات و تعامل با نرم‌افزار، مثل بزرگنمایی تصویر، در تقویت مرحله ادراکی مواجهه هرمنوتیکی با پدیده‌های فیزیک بخصوص در مفاهیم انتزاعی تأثیرگذارند. ابزارهای دیجیتال عموماً با بهره‌گیری از گرافیک و رنگ‌های جذاب، حس

1- Situatedness

بینایی را به خود متمرکز و ماندگاری خوبی در حافظه ایجاد می‌کنند. از طرفی با نمایش جزییات، مراحل و قسمت‌های پنهان پدیده، درک مفاهیم فیزیک را ساده‌تر می‌سازند.

در نحوه کاربری ابزارهای دیجیتال آموزشی فیزیک هم مصاحبه شوندگان مزایایی را برشمردند؛ از جمله این‌که عموماً در دسترس هستند و هریک می‌توانند به صورت فردی و مکرر آن‌ها را بکارگیرند و با توجه به تعاملی بودن غالب این ابزارها، عاملیت فراگیر این‌جا پررنگ می‌شود. بعلاوه، با توجه به زمینه مهیا و از پیش‌آماده آن‌ها برای آزمایش، از خطاهای آزمایش‌های حضوری اجتناب می‌شود و این مزایا در آزمایش‌های واقعی فیزیک دیده نمی‌شود.

آن‌چه در یافته‌های پژوهش حاضر، همسو با پیشینه تحقیقاتی آن در آموزش فیزیک ذکر شد، دال بر وجود ابعاد کاهشی ابزارهای دیجیتال در کنار وجوه افزایشی آن در یادگیری است. توجه عمیق‌تر به نحوه ظهور وجوه کاهشی در این میانجیگری با توجه به زمینه، موقعیت و شیوه بدنمندی می‌تواند منجر به استفاده هوشمندتر از آن شود. در واقع فرایند معناسازی درس فیزیک در محیط کلاس و انجام آزمایش، نسبت به قرارگرفتن در مقابل صفحه نمایشگر که پدیده فیزیکی را با تبدیل آن به نمادها و علائم گرافیکی در خود جای داده به گونه‌ای متفاوت رقم می‌خورد. طبق یافته‌های پژوهش، بخشی از ویژگی‌های محتوایی برنامه‌های شبیه‌سازی، معطوف به دخل و تصرف‌هایی در واقعیت پدیده مثل بزرگنمایی، تمرکز بر موضوع، نمایش مفاهیم انتزاعی و جزییات فرایندها جهت برجسته‌سازی موضوعات درسی مورد نظر است. از یک‌سو فناوری، گستره ادراکی انسان را با تقویت برخی وجوهِ پنهان از محدودیت‌های زیستی‌اش فراتر برده و از سوی دیگر، با خلق ساختارهای تفسیری جدیدی که چندان بازتابنده واقعیت نیستند، الگوهای ادراکی نوینی می‌سازد و فهم پدیده طبیعی را دگرگون می‌کند. آزمایش‌های فیزیک در آزمایشگاه مجازی شبیه نوشتن روی تخته مجازی، دوبعدی می‌شود. چشم‌انداز هندسی در فیلم و عکس نیز با چشم‌انداز زیسته متفاوت است؛ بازنمایی عکاسی یا فیلم، ثبات اندازه در ادراک واقعی را از بین می‌برد (Carman, 2012). اما این دخل و تصرف، بخشی از ماهیت این نرم‌افزارها و شیوه واسطه‌گری‌شان است و این همانی صددرصد با پدیده طبیعی یا به بیان Ihde شفافیت مطلق آن نه ممکن و نه مطلوب است که خود نقض غرض خواهد بود (Ihde, 1990, p. 76). آن‌چه که اهمیت دارد، توجه به این دوگانگی در طراحی و یا انتخاب نرم‌افزار از سوی معلم براساس اهداف آموزشی است.

درباره نحوه کاربری ابزار دیجیتال هم که در یافته‌ها بدان اشاره شد، می‌توان گفت انجام آزمایش در محیط نمادین دیجیتال با قابلیت دسترسی فراوان، تکرار نامحدود و خطای حداقلی و عاملیت کاربر که با قابلیت‌های ذکرشده پررنگ‌تر از آزمایشگاه واقعی است، تفسیر و نگرشی متفاوت و تا حدی غیرواقعی و فانتزی را در کاربر نسبت به آزمایشگاه حضوری با محدودیت‌های ناگزیر آن شکل می‌دهد.

این‌جا در چارچوب روابط هرمنوتیکی Ihde ، فناوری به مثابه متن‌هایی عمل می‌کند که نیازمند تفسیر است و همزمان هم شفافیت (ارجاع به جهان) و هم کدری (ساختارهای خود ساخته) دارد. اختلاف وضعیت محیط آزمایشگاه و چینش آزمایش و خود پدیده در آموزش حضوری از زاویه چشمان غیرمسلح (زمینه) در کنار معلم و هم‌کلاسی‌ها (موقعیت‌مندی) و مواجهه حسی- حرکتی مستقیم با پدیده‌های فیزیکی (بدنمندی) مثل درک حرارت و صدای سوت آب پیش از به دمای

جوش رسیدن با مواجهه نمادین[1] (از طریق تصویر و ...) در آزمایشگاه مجازی مشهود است و طبق نظریه شناخت، ادراک این‌ها متفاوت خواهد بود.

در آموزش حضوری فیزیک، دانش‌آموزان در تعامل مستقیم چهره‌به‌چهره با معلم و همکلاسی‌ها، در فرایند انجام آزمایش سهیم می‌شوند. این فرایند همان‌گونه که مصاحبه‌شوندگان مطرح نمودند، به صورت سه‌بعدی، ملموس و اصیل است و چون خود دانش‌آموز در آن حضور دارد، ارتباط‌های شناختی متعددی ذیل مفهوم موقعیت‌مندی برای او شکل گرفته (Asgari et al., 2025)، همه حواس او مستقیماً درگیری فضایی ادراکی داشته و برای او به یادماندنی و باورپذیر است (Rohl, 2015). مثلاً در آموزش مفهوم چگالی، معمولاً از مکعب‌های چگالی که یک سری مکعب‌های هم‌حجم مشابه اما با جنس‌های متفاوتند در آزمایشگاه فیزیک استفاده می‌شود. دانش‌آموزان آن‌ها را در دست خود می‌گیرند و تفاوت جرم آن‌ها را حس می‌کنند و به درکی از مفهوم جرم حجمی که همان چگالی است و تفاوت آن در مواد مختلف می‌رسند. سپس اعداد مربوط به چگالی همین مکعب‌ها و نیز اشیاء دیگر را در آزمایشگاه با اندازه‌گیری جرم و حجمشان بدست می‌آورند. این فرایند محاسبه چگالی، در آزمایشگاه مجازی نیز با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انجام می‌شود؛ اما تفاوت بنیادین آن‌ها این است که بخش اول کار که درکی بدنمند از مفهوم چگالی را در تعامل مستقیم با شیء برای فراگیرنده حاصل می‌سازد، غایب است و درواقع فرایند تفسیر پدیده را دچار مشکل می‌کند. برای بخش دوم کار هم در آزمایشگاه فیزیک، دانش‌آموزان ناگزیرند ابزار آزمایشگاهی را خوب بشناسند، کار با آن‌ها را مثلاً نحوه کاربری انواع ترازو یاد بگیرند؛ صفرش را تنظیم کنند؛ ظروف و وسایل مورد نیاز و با دقت اندازه‌گیری مناسب را انتخاب کنند و نهایتاً در یک فرایند صحیح به پاسخ مورد نظر برسند. اما در آزمایشگاه مجازیِ محاسبه چگالی، همه‌ی ابزارهای دیجیتال با شکل‌های شماتیک خود آماده استفاده هستند و لذا بخشی دیگر از فرایند یادگیری، این‌جا از دست می‌رود. مرلوپونتی بدن را به لولایی[2] بین خود و دیگران، بین ادراک و جهان تشبیه می‌کند. اما این لولا با حذف بخشی از کنش‌ها و دگرگونی برخی عادات بدنی در آموزش مجازی، قسمتی از اتصالاتش را به جهان گویی از دست می‌دهد و ادراک جهان را دچار آشفتگی می‌سازد. در جهان طبیعی ما فقط رنگ‌ها و اَشکال را نمی‌بینیم، بلکه چیزهایی را می‌بینیم؛ در واقع چیزهایی را که می‌بینیم سخت، نرم، مرطوب، خشک، گرم، سرد، سنگین، متراکم، سبک و غیره هستند (Carman, 2012). شناخت بدنمند با تأکید بر استفاده از بدن در عمل آموزشی، نقطه شروعی برای توسعه فهم ما از چگونگی شکل‌گیری و تسهیل رویکردهای ادراکی، حسی–حرکتی و چندحسی در طول عمر است (Macrine & Fugate, 2020). این عمل در آموزش مجازی فیزیک صرفاً در محدوده‌ی اِعمال تغییرات در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مورد استفاده احتمالی، قابل اجراست و ابعاد متنوع مواجهه تنانه در یادگیری حضوری فیزیک، همان قابلیت لمس کردن و لمس شدن، دیدن و دیده شدن دچار اختلال است (Ebrahimi, 2022, Pourjamshidi & Zangane, 2022). از نظر Ihde مثلاً تجربه دیدنِ بدون ابزار، یک ادراک تماماً بدنی است؛ «من نه تنها با چشمانم، بلکه با تمام وجودم در قالب یک تجربه‌ی حسی یکپارچه اشیا را می‌بینم» (Ihde, 1990, p.77)؛ درواقع از نظر او فناوری‌هایی که واسطه مواجهه انسان با طبیعت هستند، علی‌رغم وجوه افزایشی مثل بزرگنمایی پدیده‌ها و غیره که دارند، قادر نیستند گشتالتِ حسیِ تمامیتِ تجربه انسانی (ترکیب حواس، حرکت بدن، و زمینه موقعیتی) را به طور کامل

1- symbolic
2- hinge

بازتولید کنند و با تقویت یک حس (مانند بینایی)، سایر ابعاد حسی (لمس، حرکت، بافتار موقعیتی) را حذف یا کمرنگ میکند. بنابراین به نظر می‌رسد که اگر یادگیری‌ای با استفاده از فناوری‌های دیجیتال، برای برخی از دانش‌آموزان حاصل شده، بر مبنای پیشینه‌ی ایشان در مواجهه با پدیده‌های طبیعی مورد مطالعه بوده است و در واقع درکی ابتدایی و پیشاتأملی به واسطه بودن در زیست- جهان داشته‌اند. درغیراین‌صورت بعید به نظر می‌رسد که مثلاً بدون هیچ درکی از مفهوم سنگینی، صرفاً با استفاده از ابزار دیجیتال فهمی از چگالی بدست آورد. در خوانش دمای بیرون از خانه با استفاده از نرم‌افزار هواشناسی، اگر کاربر تفسیر صحیحی از اعداد منتسب به دما، با تجربه زیسته خود نداشته باشد، شناخت درستی رخ نمی‌دهد. کودک خردسالی که درک درستی از زمان ندارد، بستن ساعت به دستش مواجهه‌ای هرمنوتیکی برای او شکل نخواهد داد. اصولاً علم فیزیک، علم مطالعه پدیده‌های طبیعی است و با قطع تماس بدنمند با جهان طبیعی و تغییر زمینه درک درستی حاصل نخواهد شد.

انجام حضوری آزمایش نیز، نقص‌هایی بسته به شرایط و موقعیت انجام آزمایش دارد که در این مورد دانش‌آموزان به کمبود امکانات و ابزار آزمایش که لزوماً همه نمی‌توانند خود مستقیماً درگیر انجام آن شوند و گاه به تماشای آن باید اکتفا کنند، یا مشاهده آزمایش از یک زاویه و عدم اشراف به همه زوایای وقوع پدیده و یا بزرگی یا کوچکی پدیده که امکان وقوف به جزییات را سلب می‌نماید و یا انتزاعی بودن برخی مفاهیم مثل نیرو که ممکن است در انجام آزمایش مرتبط، باز هم بینش صحیحی از آن مفهوم بدست نیاید، اشاره کردند.

از آن جا که استفاده از فناوری‌های دیجیتال مزایای بسیاری بخصوص در کاهش نقائص انجام حضوری آزمایش دارد، تقویت آن امری ضروری است؛ اما نتایج ضعیف‌تر آموزش مجازی که در پیشینه مطالعات پژوهش به آن اشاره شد و نیز اقبال کمتر مصاحبه شوندگان به آن، نشان داد که برای یادگیری مفاهیم فیزیک دچار کاستی‌هایی است. این‌جا لازم است با توجه به وجوه افزایشی و کاهشی که برای کاربری ابزارهای حضوری و مجازی توصیف شد، با اجتناب از این دوگانه، شیوه‌های بهبود کیفیت یادگیری را در استفاده از همه ابزارهای ممکن و تلفیق آن‌ها، مورد توجه قرار داد. مثلاً در فناوری‌های دیجیتال، استفاده هوشمند معلم از ادراک بصری توسعه یافته می‌تواند جبران کننده‌ی بخشی از نواقص آموزش مجازی باشد و شرکت‌کنندگانی که مسئله تمرکز خود را حل کرده بودند، پس از گذشت زمان و انس با فناوری، یادگیری عمیقی در آموزش مجازی با معلم مسلط بر آن تجربه کردند (Zare_Sheykhkolaio et al., 2023). تأثیر افزایش عاملیت دانش‌آموزان و درگیر ساختن وجوه ادراکی مختلف، با استفاده از ابعاد افزایشی فناوری‌های دیجیتال و همزمان حرکت به سمت مواجهه ادراکی بدنمند و مستقیم با پدیده در پژوهش‌های متعددی مورد توجه قرار گرفته است. در پژوهش Black (2010) و Chan and Black (2006) در چندین مورد از جمله آموزش مبحث پایستگی انرژی با نرم‌افزارهای شبیه‌ساز حرکت قطار تفریحی[1]، در مقایسه‌ی نسخه تعاملی انیمیشن شبیه ساز رایانه‌ای مثلاً ترن هوایی شامل یک متغیر مستقل (ارتفاع ترن در میدان گرانش) که مستقیماً با حرکت (دست دانش‌آموز و ماوس) دستکاری می‌شود و دو متغیر وابسته (انرژی جنبشی و پتانسیل) با نمایش تغییرات انیمیشنی روی نمودار میله‌ای، با نسخه‌های دیگر که فقط شامل متن یا متن و تصاویر (اسکرین‌شات‌های شبیه‌سازی) و نمایش اسکرین شات‌ها بصورت اسلاید بودند، نسخه شبیه‌ساز رایانه‌ای قابل

1- roller coaster

دستکاری بدنمند، بهترین به‌خاطرسپاری و حل مسئله و توانایی انتقال توانمندی حل مسئله به زمینه دیگر را از خود نشان داد (Chan & Black, 2006; Black, 2010). به همین ترتیب، هنگامی که تجربه یادگیری به طور کامل با استفاده از فعالیت‌های عملی، بدنمند می‌شود، افزودن این نوع شبیه‌سازهای گرافیکی تعاملی می‌تواند یادگیری و درک دانش‌آموزان را افزایش دهد (Pezzulo et al., 2013). نیز در بررسی یادگیری دانش‌آموزان در دسکتاپ ۲ بعدی در مقایسه با فعالیت STEM[1] در ۳ بعد واقعیت مجازی (VR)[2]، دانش‌آموزان گروه VR با تجربه بدنمندی بالا، بیشترین یادگیری را داشتند (Johnson_Glenberg et al., 2021) و مشخص شد که اثر پلت‌فرم به طور قابل توجهی توسط نوع حضور، عاملیت و میزان تعامل میانجیگری می‌شود. بدین معنی که با افزایش کیفیت حضور و درگیری حواس بیش‌تر، عاملیت یادگیرنده و تعامل او با محتوای آموزشی، یادگیری عمیق‌تری حاصل می‌شود. محققان آموزشی بسیاری در سال‌های اخیر با رویکرد شناخت بدنمند، به طراحی و ارزیابی محیط‌های یادگیری با ایجاد فرصت‌هایی بیش‌تر برای دانش‌آموزان با اتخاذ روش حل مسئله‌ی حسی–حرکتی به‌عنوان یک شیوه آموزشی حتی در آموزش حضوری برای بهبود درک مفهومی پرداخته‌اند. آن‌ها این ایده‌ها را با بازنمایی‌های ملموس، به دنیای فراگیران و علایق شخصی‌شان مرتبط می‌کردند (Zohar et al., 2017). از سویی با گسترش فناوری‌های آموزشی سطح بالاتر نظیر VR و AR[3] با ارائه داده (متن) و وجوه ادراکی دقیق‌تر جهت تفسیر هرمنوتیکی و امکان پرکردن بخشی از شکاف میان شاکله بدنی حضوری و مجازی و ظهور عصر پارادایم‌های آموزشی جدید با ایجاد محیط‌ها و تجربه‌های یادگیری فراگیر، پویا، تعاملی و شخصی‌تر با ابزارهای دیجیتال مبتنی بر هوش مصنوعی که در کلاس حضوری هم قابل استفاده است می‌توان بخشی از مشکلات و نقص‌های هردو شیوه‌ی آموزش حضوری و مجازی را با تلفیق هوشمندانه و مؤثرتر ابزارهای مربوطه برطرف نمود (Tiwari et al., 2023; Familoni & Onyebuchi, 2024).

دانش باید در فرایند معناسازی بر تجربه زیسته فراگیرنده، مواجهه اصیل با پدیدارهای طبیعی و نیز تعاملات اجتماعی در کلاس درس استوار شود و مثلاً در آموزش مجازی، مدرّس باید حتماً دانش‌آموزان را به دانش و فهم پیشین آنان از پدیده‌های مرتبط ارجاع دهد و در صورت امکان با توجه به نظریه شناخت، فضای دست‌ورزی و مواجهه مستقیم با پدیده و تجربه بدنمند آن را هرچه بیش‌تر فراهم ساخته و پیشنهاد دهد؛ همچنین فضای همفکری، کارگروهی و پژوهش گروهی را از طریق ابزارهای مختلف ایجاد نماید (Ansarizadeh et al., 2025). در بکارگیری ابزارهای دیجیتال نیز انتخاب مناسب نرم‌افزار آموزشی از سوی معلم اهمیت زیادی دارد؛ مثلاً در بحث جذابیت محتوای دیجیتال و رنگ‌های افزوده به آن که در بخش یافته‌ها مطرح شد، ویژگی‌های زیبایی‌شناسی نرم‌افزار و نحوه طراحی این علائم، وضوح و رابط کاربری، باید مورد توجه قرار گیرد و یا در بازنمایی دیجیتال پدیده، رعایت صحت و ظرافت‌های قوانین علمی در برنامه نویسی و طراحی نرم‌افزار ضروری است. ناموری و همکاران نیز شیوه یادگیری معکوس را که به نوعی ترکیب ابزارهای آموزش حضوری و مجازی است، با استفاده از مهارت‌های دانش‌آموزان در بکارگیری ابزارهای دیجیتال، برای آموزش کارآمدتر فیزیک و آزمایشگاه پیشنهاد می‌دهند و معتقدند با استفاده از فناوری‌های برپایه‌ی وب[4]، موقعیت مناسبی برای تغییر فرهنگ آموزش

1- Science, technology, engineering, and mathematics
2- Virtual Reality
3- Augmented Reality
4- web

و جابجایی محل تدریس و تکلیف در این درس فراهم شده که می‌تواند میزان یادگیری، ماندگاری دروس در ذهن و همچنین فعالیت دانش‌آموزان را در امر آموزش افزایش دهد (Namvari et al., 2018).

در کل به نظر می‌رسد بذل توجه ویژه به نحوه میانجیگری ابزارهای آموزشی در آموزش فیزیک و اثر آن بر عناصر شناخت، می‌تواند شرایط بهینه‌ای را برای یادگیری آن که شامل مفاهیم، مسائل، مشاهدات و آزمایش‌هاست فراهم سازد. بنابراین نقش معلم در این میان در طراحی و اجرای فعالیت‌های آموزشی دربردارنده عناصر شناخت بسیار برجسته است (Awuor & Okono, 2022). او می‌تواند با آگاهی از عناصر تغییر دهنده زمینه، موقعیت‌مندی و بدنمندی در بکارگیری ابزارهای مختلف آموزشی و استفاده از روش‌های تقویت کیفیت حضور، عاملیت و تعامل یادگیرنده و ابزارهای به‌روز و کارآمد موجب بهبود فرایندهای یادگیری شود. فناوری‌های آینده امکان‌های بیشتری را جهت تلفیق مؤثرتر ابزارهای آموزشی حضوری و دیجیتال یادگیری گشوده می‌سازند؛ اما همچنان به جهت ماهیت ابزاری و میانجیگری خود، نیازمند مطالعات پساپدیدارشناسی پیوسته هستند.

پیشنهادات

این پژوهش صرفاً به مطالعه تجربه زیسته دانش‌آموزان پایه‌های دهم و یازدهم بدون تفکیک پایه یا رشته و توجه به سطح آموزشی، جنسیت یا وضعیت فرهنگی، اقتصادی و اجتماعی آنان و با استفاده از روش مصاحبه پرداخته است. برای افزایش اعتبار و روایی یافته‌ها می‌توان از پرسشنامه و مشاهده و نیز محققان مستقل بیش‌تر برای کاهش امکان سوگیری محقق در نتیجه‌گیری استفاده نمود. هم‌چنین توجه به عوامل فردی (سبک یادگیری، انگیزه و ...)، سطح آموزشی، پایه و رشته تحصیلی، جنسیت یا وضعیت فرهنگی، اقتصادی و اجتماعی دانش‌آموزان و نیز شیوه استفاده معلمین مختلف از ابزارهای دیجیتال، می‌تواند راهگشای بینش عمیق‌تری در مواجهه هرمنوتیکی دانش‌آموزان با جهان از طریق این ابزارها باشد.

تمرکز پژوهش حاضر بیشتر روی تجربیات ذهنی دانش‌آموزان بوده است. برای بررسی جنبه‌های فنی ابزارهای مختلف و متنوع دیجیتال و نحوه‌ی میانجیگری هر یک از آن‌ها در یادگیری دانش‌آموزان، انجام پژوهش‌های مستقل دیگری به‌صورت کیفی یا کمی با انتخاب گروه‌های شاهد و کنترل، توصیه می‌شود. توجه به تجمیع ابزارهای نوین نظیر هوش مصنوعی در فرایند آموزش نیز که می‌تواند تحول بخش پارادایم آموزش و یادگیری در عصر حاضر باشد، در مطالعات آتی ضروری به نظر می‌رسد.

مشارکت نویسندگان: در پژوهش حاضر نویسنده دوم، به عنوان استاد راهنما، مسئولیت هدایت کلی روند پژوهش را بر عهده داشت. نویسنده اول مسئول تدوین طرح تحقیق، فرآیند گردآوری، تحلیل و تفسیر یافته‌ها و نگارش متن مقاله را بوده است و در مجموع نتیجه‌گیری از یافته‌ها و بسط و تفسیر به صورت مشترک و با بحث و تبادل نظر کلیه همکاران و با همراهی نویسنده سوم و چهارم، به عنوان اساتید مشاور پایان‌نامه انجام شد.

قدردانی: نویسندگان از تمامی دانش‌آموزان عزیزی که در انجام این پژوهش با ما همکاری کردند، صمیمانه قدردانی می‌کنند.

تعارض منافع: نویسندگان اذعان دارند که در این مقاله هیچگونه تعارض منافعی وجود ندارد.

تأمین مالی: پژوهش حاضر از هیچ مؤسسه و نهادی حمایت مالی دریافت نکرده است.

بیانیه دسترس‌پذیری داده‌ها: داده‌های پشتیبان یافته‌های این پژوهش، بنا به درخواست منطقی از طریق نویسنده مسئول در دسترس خواهند بود.

بیانیه استفاده از هوش مصنوعی: در تهیه این مقاله، از هوش مصنوعی صرفاً برای ترجمه بخش‌های منتخب متن از فارسی به انگلیسی استفاده شده است. تمامی ترجمه‌ها توسط نویسندگان بازبینی شده و مسئولیت کامل محتوای مقاله بر عهده آنان است.

تأییدیه اخلاقی: کلیه ملاحظات اخلاقی لازم در انجام این پژوهش رعایت شده است.

References

Ansarizadeh, F., Keramati, M. R., fazllolahi, S., & Gillies, R. M. (2025). The Process and Solutions of Implementing Cooperative Learning Approach in Elementary Schools: A Meta-Synthesis Study. *Journal of Educational Sciences, 32*(1), 25-46. https://doi.org/10.22055/edus.2024.44854.3511 [Persian]

Argaw, A. S., Haile, B. B., Ayalew, B. T., & Kuma, S. G. (2017). The effect of problem based learning (PBL) instruction on students' motivation and problem solving skills of physics. Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 13(3), 857–871. https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00647a

Asgari, M., liaghatdar, M., Esfijani, A. & heshmatifar, L. (2025). Identification and Validation of Teaching Techniques to Enhance Sense of Presence in Online Learning. *Journal of Educational Sciences, 32*(2), 53-80. https://doi.org/10.22055/edus.2025.45116.3644 [Persian]

Awuor, F., & Okono, E. (2022) ICT Integration in Learning of Physics in Secondary Schools in Kenya: Systematic Literature Review. *Open Journal of Social Sciences*, 10, 421-461. https://doi.org/10.4236/jss.2022.109027

Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annu. Rev. Psychol., 59*(1), 617-645. https://doi.org/10.1146/annurev.psych. 59.103006.093639.

Bernhard, J. (2018). What matters for students' learning in the laboratory? Do not neglect the role of experimental equipment! *Instr Sci* 46, 819–846. https://doi.org/10.1007/s11251-018-9469-x

Black, J. B. (2010). An embodied/grounded cognition perspective on educational technology. *New Science of Learning: Cognition, Computers and Collaboration in Education*, 45-52. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5716-0_3

Carman, T. (2012). Merleau-Ponty on body, flesh, and visibility. In S. Crowell (Ed.), *The Cambridge Companion to Existentialism* (pp. 274–288). chapter, Cambridge: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CCOL9780521513340.014

Chan, M. S., & Black, J. B. (2006). Direct-manipulation animation: Incorporating the haptic channel in the learning process to support middle school students in science learning and mental model acquisition. ICLS 2006 - *International Conference of the Learning Sciences, Proceedings, 1*, 64-70. https://doi.dx.org/10.22318/icls2006.64

Corbin, J., & Strauss, A. (2008). Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory (3rd ed.). Sage Publications, Inc. https://doi.org/10.4135/9781452230153

Mulhall, P., & Daniel, S. (2019). Changing attitudes to learning physics through participation in the Victorian Young Physicists' Tournament. In Deakin STEM Education Conference 2016 Proceedings

Delavar, M., Ahmadi, F., & Hamidi, F. (2024). Investigating the Effectiveness of Virtual Physics Education with a Cognitive Approach on Academic Achievement and Students' Learning Strategies. *The Journal of Educational Innovations (JEI), 23*(2), 33-55. https://doi.org/10.22034/jei.2024.379037.2536 [Persian]

Ebrahimi_Dabagh, M., Mirshojaan Hosseini, S. A., & Habibi, A. (2023). Multimedia design and its effect on the academic progress of eleventh-grade experimental physics students at Hazrat Qaem

School in Fariman. *Education in Basic Science*, *9*(31), 61-68. ISSN: 2588-4824 https://share.sid.ir/paper/1147306/en?media=1 [Persian]

Ebrahimi, S. (2022). The Role of Teachers' Digital Competencies, Use Intention of Online Teaching, and Students' Online Learning Difficulties in Predicting online Teaching Behavior. *Journal of Educational Sciences*, 29(2), 105-126. https://doi.org/10.22055/edus.2022.40050.3335 [Persian]

Familoni, B. T., & Onyebuchi, N. C. (2024). Augmented and virtual reality in us education: a review: analyzing the impact, effectiveness, and future prospects of ar/vr tools in enhancing learning experiences. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, *6*(4), 642-663. https://doi.org/10.51594/ijarss.v6i4.1043

Farahmand, A. (2021). The impact of using physics experiment simulation software on students' learning and performance. *Research in Experimental Science Education*, *1*(1), 15-21. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.27834387.1400.1.1.3.6 [Persian]

Glenberg, A. M. (2010). Embodiment as a unifying perspective for psychology. *Wiley Interdiscip. Rev. Cogn. Sci. 1*, 586–596. https://doi.org/10.1002/wcs.55

Haqiqi, K. T., Hariyono, E., & Lestari, N. A. (2021). The effectiveness of online based physics learning in the covid-19 pandemic period on the material of work and energy. *PENDIPA Journal of Science Education*, *5*(3), 451-458. https://doi.org/10.33369/pendipa.5.3.451-458

Ihde, D. (1990). Technology and the Lifeworld: From Garden to Earth. Indiana University Press. http://www.jstor.org/stable/jj.33903449

Johnson_Glenberg, M. C., Bartolomea, H., & Kalina, E. (2021). Platform is not destiny: Embodied learning effects comparing 2D desktop to 3D virtual reality STEM experiences. *Journal of Computer Assisted Learning*, *37*(5), 1263-1284. https://doi.org/10.1111/jcal.12567

Khodadadi_Azadboni, F., & Kamali, J. (2024). The Effect of Education based on Modeling with COMSOL Simulation Software on Correcting Misunderstandings and Misconceptions of Electricity Physics Concepts. *Technology of Education Journal (TEJ)*, 1-26. https://doi.org/10.22061/tej.2024.10084.2982 [Persian]

Kiran, A. H., & Verbeek, P. P. (2010). Trusting ourselves to technology. *Knowledge, Technology & Policy*, *23*(3-4), 409-427. https://doi.org/10.1007/s12130-010-9123-7

Kumas, A., & Kan, S. (2021). Assessment and Evaluation Applications and Practices of Science and Physics Teachers in Online Education during COVID-19. *International Journal of Education and Literacy Studies*, *9*(4), 163-173. http://doi.org/10.7575/aiac.ijels.v.9n.4p.163

Lincoln Y. S., Guba E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Thousand Oaks, CA: Sage. https://doi.org/10.1016/0147-1767(85)90062-8

Macrine, S. L., & Fugate, J. M. B. (2020). Embodied cognition. Oxford Research Encyclopedia of Education. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190264093.013.885

Marisda, D. H., & Maruf, M. (2021, March). Situation analysis of mathematical physics learning with online learning during the COVID-19 pandemic. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1806, No. 1, p. 012034). IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012034

Merleau_Ponty, M. (2024). *Phenomenology of perception* (M. Olya, Trans.). Tehran: Nashre Ney. (Original work published 1962). Isbn: 9786220605867 https://www.iranketab.ir/book/139375-phenomenology-of-perception [Persian]

Mozaffaripour, R. (2021). Postphenomenological research method; Pragmatic phenomenology. *Methodology of Social Sciences and Humanities*, *27*(108), 19-32. https://doi.org/10.30471/mssh.2021.7391.2162. [Persian]

Namvari, E., Jalilian, B., Fonoun, F., & Rezaei, S. (2018). Teaching Physics and Laboratory Using the Flipped Classroom Method. *Progress in Science Education*, *4*(12), 13-20. https://sid.ir/paper/269527/fa [Persian]

Nathan, M. J. (2021). *Foundations of Embodied Learning: A Paradigm for Education* (1st ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780429329098.

Noori, B., & Ebrahimi, M. (2021). Challenges of physics education and academic decline during the COVID-19 pandemic. https://civilica.com/doc/1700917 [Persian]

Nurliani, R., Sinaga, P., & Rusdiana, D. (2021, March). Problems of online learning and the use of information and communication technology (ICT) in physics learning at Sumedang, West Java. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1806, No. 1, p. 012043). IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012043

Pezzulo, G., Barsalou, L. W., Cangelosi, A., Fischer, M. H., McRae, K., & Spivey, M. J. (2013). Computational grounded cognition: a new alliance between grounded cognition and computational modeling. *Frontiers in psychology*, *3*, 612. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00612

Pourjamshidi, M., & Zangeneh, H. (2022). The study of Students Satisfaction with a Flipped Learning Approach (FTA) During COVID-19 from Pedagogical flexibility (Media, Method & Evaluation). *Journal of Educational Sciences*, *29*(1), 203-220. https://doi.org/10.22055/edus.2022.38558.3295 [Persian]

Roehl, T. (2012). From witnessing to recording – Material objects and the epistemic configuration of science classes. Pedagogy, Culture & Society, 20(1), 49–70. https://doi.org/10.1080/14681366.2012.649415

Rosenberger, R., & Verbeek, P. P. (2015). *Postphenomenological investigations: essays on human-technology relations*. Lexington Books. Ebook isbn: 978-0-7391-9437-9 https://www.are.na/block/16403484

Tan, D. Y., & Chen, J. M. (2021). Bringing physical physics classroom online–challenges of online teaching in the new normal. The Physics Teacher, 59(6), 410–413. https://doi.org/10.1119/5.0028641

Tiwari, C. K., Bhaskar, P., & Pal, A. (2023). Prospects of augmented reality and virtual reality for online education: a scientometric view. *International Journal of Educational Management*, *37*(5), 1042-1066. https://doi.org/10.1108/IJEM-10-2022-0407

Verbeek, P. P. (2005). *What things do: Philosophical reflections on technology, agency, and design. Penn State Press.* https://doi.org/10.5325/j.ctv14gp4w7.1

Margetts, Kay & Woolfolk Hoy, Anita & P. Ed Australia. (2018). Educational Psychology eBook / Kay Margetts, Anita Woolfolk Hoy. Port Melbourne: Pearson Education Australia https://nla.gov.au/nla.cat-vn7864684

Zare_Sheikhkolaio, F., Javadipour, M., & Keramati, M. (2023). Reviewing Digital Competence of Teachers in the Post-Corona Era. *Educational Sciences*, *30*(2), 161-188. https://doi.org/10.22055/edus.2023.42871.3428 [Persian]

Zarghami_Hamrah, S. (2017). Analysis and evaluation of the nature of virtual communication between teachers and learners in the new generation of e-learning: a case study of mocks. *The Journal of Foundations of Education*. *7*(2), 25-36. https://doi.org/10.22067/fedu.v7i2.66937 [Persian]

Zohar, R., Bagno, E., Eylon, B. S., & Abrahamson, D. (2017). Motor skills, creativity, and cognition in learning physics concepts. In 1st annual meeting of Movement: Brain, Body, Cognition, July (9-11). https://edrl.berkeley.edu/wp-content/uploads/2019/06/ZoharBagnoEylonAbrahamson.2017.Movement.pdf