

to reveal students' learning processes receives less attention. The central issue of this study is whether errors occurring during practical project work, as well as students' responses to those errors, can be used as evidence for assessing learning in Work and Technology education. The present study aims to analyze students' errors in practical projects and develop a model for assessing learning through errors. A qualitative approach based on the analysis and synthesis of theoretical perspectives and relevant studies concerning errors, learning from errors, productive failure, problem solving, and project-based learning is adopted. Within this framework, an error is not considered merely as an undesirable outcome of performance; rather, the processes of identifying an error, analyzing its causes, selecting an appropriate corrective action, retesting the solution, and reflecting on the experience are examined as potential indicators of learning. The analysis is expected to distinguish between the occurrence of an error and learning from an error. Accordingly, a lower number of errors does not necessarily indicate greater learning, whereas the way students respond to errors may provide valuable evidence regarding their abilities in observation, analysis, decision making, problem solving, and performance improvement. Finally, the proposed model organizes error-based assessment around five main processes: error identification, causal explanation, corrective action, retesting, and student reflection. The model may help Work and Technology teachers transform errors and subsequent corrective processes from merely undesirable outcomes into meaningful sources of evidence for understanding students' learning.

Keywords: Student Errors; Learning from Errors; Practical Projects; Work and Technology Education; Learning Assessment; Productive Failure; Problem Solving

۱. مقدمه

آموزش معاصر، یادگیری را صرفاً به دستیابی دانش‌آموز به پاسخ درست محدود نمی‌کند، بلکه فرایندهایی مانند حل مسئله، تصمیم‌گیری، بازبینی، اصلاح عملکرد و استفاده از بازخورد را نیز بخش مهمی از یادگیری می‌داند (Metcalf, 2017; Narciss & Alemdag, 2025). از این منظر، موقعیت‌هایی که دانش‌آموز در آنها با مسئله، ابهام، پاسخ نادرست یا شکست در اجرای یک راحل مواجه می‌شود، لزوماً موقعیت‌های نامطلوب آموزشی نیستند و می‌توانند در شرایط مناسب به فرصت‌هایی برای شکل‌گیری و اصلاح دانش تبدیل شوند (Metcalf, 2017; Kapur & Bielaczyc, 2012). پژوهش‌های انجام‌شده درباره یادگیری از خطا نشان می‌دهند که ارزش آموزشی خطا به خود وقوع آن وابسته نیست، بلکه به چگونگی پردازش خطا، دریافت بازخورد، تحلیل علت اشتباه و اصلاح راهبرد بستگی دارد (Metcalf, 2017; Narciss & Alemdag, 2025). از این رو، خطا را می‌توان نه فقط به عنوان نتیجه‌ای نامطلوب، بلکه به عنوان بخشی از شواهدی در نظر گرفت که می‌تواند اطلاعاتی درباره مسیر یادگیری دانش‌آموز در اختیار معلم قرار دهد (Metcalf, 2017).

اهمیت این موضوع در فعالیت‌های عملی و پروژه‌محور بیشتر آشکار می‌شود؛ زیرا در چنین فعالیت‌هایی، دانش‌آموز معمولاً با یک فرایند خطی و ازپیش‌تعیین‌شده مواجه نیست و باید در مراحل مختلف، بین مواد، ابزارها، روش‌ها،

اندازه‌ها، طرح‌ها و راحل‌های مختلف انتخاب کند. (Guo et al., 2020; Aranzabal et al., 2020) در فرایند طراحی و ساخت، امکان دارد دانش‌آموز اندازه‌گیری نادرستی انجام دهد، ابزار نامناسبی انتخاب کند، اتصال یا ساختار یک قطعه را اشتباه اجرا کند، فرضیه‌ای نادرست درباره عملکرد محصول داشته باشد یا پس از آزمایش متوجه شود که راحل اولیه او پاسخ‌گوی مسئله نیست (Engström & Lennholm, 2025; Svärd et al., 2024). چنین خطاهایی در صورتی که در یک محیط آموزشی مناسب رخ دهند، می‌توانند دانش‌آموز را به مشاهده دقیق‌تر، بازنگری در تصمیم قبلی، جست‌وجوی علت و آزمون راحل جایگزین وادار کنند (Metcalf, 2017; Kapur & Bielaczyc, 2012). بنابراین، در پروژه عملی، «اشتباه کردن» و «یاد نگرفتن» الزاماً مترادف نیستند و میان وقوع خطا و چگونگی مواجهه با آن باید تمایز قائل شد. (Narciss & Alemdag, 2025)

درس کار و فناوری به دلیل ماهیت عملی، مهارت‌محور و پروژه‌ای خود، یکی از زمینه‌های مناسب برای بررسی این مسئله است. در اسناد آموزشی مرتبط با این درس، فرایند طراحی و ساخت به‌صورت مرحله‌ای تعریف شده و از دانش‌آموز انتظار می‌رود فرایند انجام پروژه را تجربه کند، محصول خود را کنترل کیفیت نماید و در صورت نیاز آن را اصلاح کند (دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش، بی‌تا). همچنین، ارزشیابی فعالیت‌های عملی در این درس بر عملکرد و پروژه استوار است و برای فعالیت پایانی، معیارهای مشخصی برای قضاوت درباره عملکرد دانش‌آموز در نظر گرفته می‌شود (وزارت آموزش و پرورش، ۱۴۰۴). این ویژگی‌ها نشان می‌دهد که در کار و فناوری، آنچه دانش‌آموز در جریان انجام کار انجام می‌دهد، تنها مقدمه‌ای برای رسیدن به محصول نهایی نیست، بلکه خود فرایند انجام کار نیز دارای ارزش آموزشی و ارزشیابی است (دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش، بی‌تا). با وجود این، هنگامی که محصول نهایی به محور اصلی قضاوت درباره عملکرد دانش‌آموز تبدیل شود، ممکن است بخش مهمی از اطلاعات مربوط به چگونگی شکل‌گیری آن محصول از دست برود (Guo et al., 2020; Fawns et al., 2025). (Guo et al., 2020; Fawns et al., 2025). اما یکی از آنها از ابتدا مسیر درست را انتخاب کرده باشد و دیگری پس از چندین خطا، آزمون و اصلاح به همان نتیجه رسیده باشد (Aranzabal et al., 2020; Engström & Lennholm, 2025). اما نتواند توضیح دهد چرا راحل انتخاب‌شده کار کرده است یا چگونه در صورت تغییر شرایط، مشکل ایجاد شده را برطرف خواهد کرد. (Fawns et al., 2025; Sotiriadou et al., 2020) بنابراین، کیفیت محصول نهایی به‌تنهایی نمی‌تواند همیشه تصویری کامل از کیفیت یادگیری، فرایند حل مسئله و توانایی اصلاح عملکرد دانش‌آموز ارائه دهد (Guo et al., 2020).

از سوی دیگر، نگاه صرفاً منفی به خطا ممکن است دانش‌آموزان را به پنهان کردن اشتباهات، اجتناب از آزمون راحل‌های جدید یا وابستگی بیش از حد به راهنمایی معلم سوق دهد. (Metcalf, 2017; Steuer et al., 2025) پژوهش‌های مربوط به «یادگیری از خطا» نشان داده‌اند که محیط آموزشی، باورهای دانش‌آموز، هیجانات مرتبط با اشتباه، نوع بازخورد و میزان حمایت آموزشی، همگی می‌توانند تعیین کنند که خطا به یادگیری منجر شود یا صرفاً به تجربه‌ای منفی تبدیل گردد. (Narciss & Alemdag, 2025; Steuer et al., 2025) از این رو، هدف آموزشی نباید صرفاً کاهش تعداد خطاها باشد، بلکه باید ایجاد شرایطی باشد که دانش‌آموز بتواند خطای خود را تشخیص دهد، علت آن را بررسی کند، راه اصلاحی انتخاب کند و نتیجه اصلاح خود را ارزیابی نماید (Metcalf, 2017; Kapur & Bielaczyc, 2012).

این دیدگاه، مفهوم «خطا» را نیز از یک مفهوم ساده و یک‌بعدی خارج می‌کند. خطایی که دانش‌آموز بلافاصله آن را تشخیص می‌دهد و با تحلیل علت آن روش خود را اصلاح می‌کند، از نظر آموزشی با خطایی که دانش‌آموز آن را نمی‌بیند یا پس از دریافت پاسخ درست صرفاً همان پاسخ را تقلید می‌کند، یکسان نیست. (Metcalf, 2017) همچنین، شکست کامل یک پروژه با یک خطای جزئی در اندازه‌گیری، انتخاب ابزار یا اجرای یک مرحله یکسان نیست و این تفاوت باید در تحلیل آموزشی خطا مورد توجه قرار گیرد. (Narciss & Alemdag, 2025) بر همین اساس، بررسی خطا در درس کار و فناوری نیازمند توجه هم‌زمان به نوع خطا، علت آن، نحوه تشخیص، واکنش دانش‌آموز، اقدام اصلاحی و نتیجه حاصل از اصلاح است. (Narciss & Alemdag, 2025; Aranzabal et al., 2020) در چنین چارچوبی، ارزشیابی می‌تواند از یک ابزار صرفاً برای تعیین میزان موفقیت یا شکست دانش‌آموز به ابزاری برای شناخت فرایند یادگیری تبدیل شود. (Black & Wiliam, 2009; Metcalf, 2017) اگر دانش‌آموز هنگام ساخت یک پروژه مرتکب خطا شود، توضیح دهد که چرا خطا رخ داده است، راحل اصلاحی پیشنهاد کند، آن را اجرا و دوباره آزمایش کند، مجموعه این رفتارها می‌تواند اطلاعاتی درباره توانایی او در حل مسئله، نظارت بر عملکرد و یادگیری از تجربه فراهم آورد. (Metcalf, 2017; Narciss & Alemdag, 2025) در این حالت، معلم به جای اینکه صرفاً بپرسد «محصول درست ساخته شده است یا نه؟»، می‌تواند بررسی کند «دانش‌آموز چگونه متوجه مشکل شد؟»، «علت آن را چگونه توضیح داد؟» و «برای اصلاح آن چه تصمیمی گرفت؟» (Narciss & Alemdag, 2025). (2025) چنین تغییری، ارزشیابی را به فرایند یادگیری نزدیک‌تر می‌کند و امکان استفاده از خطا به‌عنوان یک منبع تشخیصی و تکوینی را افزایش می‌دهد. (Black & Wiliam, 2009; Metcalf, 2017)

اهمیت این مسئله زمانی بیشتر می‌شود که به ماهیت ارزشیابی درس کار و فناوری در مدرسه توجه شود. منابع آموزشی رسمی این درس، ارزشیابی را با فعالیت عملی، پروژه، مشاهده فرایند کار و بررسی نمونه‌کار مرتبط می‌دانند و در راهنمای فعالیت‌های طراحی و ساخت نیز بر تجربه فرایند، کنترل کیفیت و اصلاح محصول تأکید شده است (دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، بی‌تا). بنابراین، می‌توان استدلال کرد که خود فرایند مواجهه با مشکل و اصلاح عملکرد، از نظر ماهیت آموزشی با اهداف این درس سازگار است (دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، بی‌تا). با این حال، تبدیل این ایده به یک چارچوب منظم برای ارزشیابی خطا و یادگیری حاصل از آن، نیازمند مشخص کردن مؤلفه‌هایی است که معلم بتواند آنها را در جریان فعالیت پروژه‌های مشاهده و ارزیابی کند (Narciss & Alemdag, 2025).

مروار ادبیات جدید نشان می‌دهد که پژوهش درباره یادگیری از خطا و شکست در آموزش در سال‌های اخیر توسعه یافته است، اما همچنان درباره چگونگی تعریف و اندازه‌گیری فرایند یادگیری از خطا، تفاوت میان خطا و شکست، نقش شرایط آموزشی و شیوه‌های حمایت از دانش‌آموزان، مسائل مفهومی و روش‌شناختی مهمی وجود دارد (Narciss & Alemdag, 2025). همچنین، بخش قابل توجهی از این ادبیات در حوزه‌هایی مانند روان‌شناسی یادگیری، آموزش علوم، حل مسئله و آموزش عالی شکل گرفته است و انتقال مستقیم آن به موقعیت‌های عملی و پروژه‌محور مدرسه، به‌ویژه درس کار و فناوری، نیازمند توجه به ویژگی‌های خاص این محیط آموزشی است (Metcalf, 2017; Rawle et al., 2026). از این منظر، مسئله پژوهش حاضر صرفاً بررسی «خطاهای دانش‌آموزان» نیست، بلکه تلاش برای پیوند دادن مفهوم خطا با فرایند انجام پروژه عملی و منطق ارزشیابی در درس کار و فناوری است (Narciss & Alemdag, 2025).

بر این اساس، پژوهش حاضر با تمرکز بر پروژه‌های عملی درس کار و فناوری، در پی آن است که مشخص کند خطاهای دانش‌آموزان در فرایند طراحی و ساخت چه ماهیتی دارند، دانش‌آموزان چگونه با این خطاها مواجه می‌شوند و کدام بخش از فرایند تشخیص، تحلیل و اصلاح خطا می‌تواند به‌عنوان شاهی از یادگیری مورد توجه قرار گیرد (Metcalf, 2017; Narciss & Alemdag, 2025). هدف نهایی پژوهش، ارائه الگویی برای ارزشیابی یادگیری از طریق خطا است؛ الگویی که در آن خطا به‌تنهایی ملاک قضاوت درباره عملکرد دانش‌آموز نباشد، بلکه نحوه تشخیص خطا، تبیین علت، انتخاب راه اصلاح، آزمون مجدد و بازاندیشی درباره نتیجه نیز در فرایند ارزشیابی مورد توجه قرار گیرد (Narciss & Alemdag, 2025). چنین الگویی می‌تواند زمینه‌ای برای حرکت از ارزشیابی صرفاً محصول‌محور به ارزشیابی فرایند‌محور در پروژه‌های عملی فراهم کند، بدون آنکه وقوع خطا به‌صورت ساده و بدون توجه به زمینه، معادل یادگیری یا موفقیت آموزشی تلقی شود (Metcalf, 2017; Fawns et al., 2025).

۲. بیان مسئله و اهمیت و ضرورت پژوهش

۲-۱. بیان مسئله

درس کار و فناوری در دوره متوسطه اول، از جمله درس‌هایی است که بخش مهمی از یادگیری آن از طریق فعالیت عملی، طراحی، ساخت، کار با ابزار و مواد، حل مسئله و اجرای پروژه شکل می‌گیرد و از این جهت، یادگیری در آن با بسیاری از موقعیت‌های صرفاً نظری و پاسخ‌محور تفاوت دارد (وزارت آموزش و پرورش، بی‌تا؛ Guo et al., 2020). در چنین محیطی، دانش‌آموز صرفاً دریافت‌کننده یک دستورالعمل نیست، بلکه باید در جریان انجام فعالیت درباره انتخاب ابزار، مواد، اندازه، روش اجرا و نحوه برطرف کردن مشکلات تصمیم بگیرد و پیامد تصمیم‌های خود را در عمل مشاهده کند (Engström & Lennholm, 2025). بنابراین، وقوع خطا در این فرایند تا حد زیادی بخشی طبیعی از مواجهه دانش‌آموز با یک مسئله عملی است و نمی‌توان همه خطاها را صرفاً نشانه ضعف یا شکست یادگیری تلقی کرد (Metcalf, 2017; Narciss & Alemdag, 2025).

با وجود این، یکی از مسائل اساسی در ارزشیابی فعالیت‌های عملی آن است که خطا معمولاً در نقطه مقابل عملکرد مطلوب قرار می‌گیرد و تلاش برای رسیدن سریع به محصول صحیح ممکن است موجب شود خود فرایند خطا و اصلاح آن کمتر مورد توجه قرار گیرد (Metcalf, 2017). این مسئله در شرایطی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که ارزشیابی پروژه عمدتاً بر محصول نهایی متمرکز شود؛ زیرا در این حالت، ممکن است دو دانش‌آموز محصولی مشابه ارائه کنند، اما تفاوت قابل توجهی در میزان درگیری ذهنی، توانایی حل مسئله، تشخیص مشکل و اصلاح عملکرد آنان وجود داشته باشد (Guo et al., 2020; Aranzabal et al., 2020). به بیان دیگر، محصول نهایی می‌تواند نتیجه یک فرایند یادگیری عمیق و همراه با آزمون و اصلاح باشد یا حاصل پیروی از دستورالعملی باشد که دانش‌آموز بدون درک کافی اجرا کرده است؛ اما مشاهده محصول به‌تنهایی الزاماً امکان تمایز میان این دو وضعیت را فراهم نمی‌کند (Fawns et al., 2025).

این مسئله از آن جهت مهم است که پژوهش‌های حوزه یادگیری از خطا نشان می‌دهند «وقوع خطا» و «یادگیری از خطا» دو مفهوم یکسان نیستند (Metcalf, 2017; Narciss & Alemdag, 2025). خطا زمانی می‌تواند به فرصتی برای یادگیری تبدیل شود که دانش‌آموز بتواند آن را تشخیص دهد، درباره علت آن فکر کند، بازخورد دریافت کند و بر اساس شواهد موجود، عملکرد خود را اصلاح نماید (Metcalf, 2017). پژوهش‌های جدید نیز فرایند یادگیری از خطا

را فرایندی چندمرحله‌ای می‌دانند که عوامل فردی، هیجانی، محیطی و آموزشی بر کیفیت آن اثر می‌گذارند و در عین حال تأکید می‌کنند که هنوز درباره نحوه سنجش دقیق این فرایند چالش‌های روش‌شناختی وجود دارد (Narciss & Alemdag, 2025). اگر خطاً صرفاً با برجسب «درست/غلط» یا «موفق/ناموفق» ارزیابی شود، بخش مهمی از اطلاعاتی که درباره فرایند یادگیری در اختیار معلم قرار می‌گیرد، از دست خواهد رفت. (Metcalf, 2017). در پروژه‌های عملی درس کار و فناوری، این مسئله شکل عینی‌تری پیدا می‌کند. برای مثال، دانش‌آموز ممکن است در اندازه‌گیری یک قطعه دچار خطا شود، ابزار نامناسبی انتخاب کند، ترتیب اجرای مراحل را اشتباه انجام دهد، اتصال یک مدار یا قطعه را نادرست برقرار کند یا پس از آزمایش متوجه شود که محصول ساخته‌شده عملکرد مورد انتظار را ندارد. (Engström & Lennholm, 2025) ارزش آموزشی این موقعیت‌ها تنها به این بستگی ندارد که دانش‌آموز در نهایت محصول را اصلاح کرده یا خیر، بلکه به این نیز وابسته است که آیا توانسته است منشأ مشکل را تشخیص دهد، علت را توضیح دهد و راه اصلاحی متناسب با آن انتخاب کند (Aranzabal et al., 2020; Narciss & Alemdag, 2025). بنابراین، ممکن است دانش‌آموزی با چند خطای اولیه، در نهایت به درک عمیق‌تری از مسئله برسد، در حالی که دانش‌آموز دیگری بدون تجربه خطا، تنها یک روش آماده را اجرا کند و در مواجهه با شرایط جدید دچار مشکل شود. (Metcalf, 2017).

از سوی دیگر، نباید از این واقعیت غافل شد که همه خطاها ارزش آموزشی یکسانی ندارند (Narciss & Alemdag, 2025). برخی خطاها ممکن است ناشی از بی‌دقتی ساده باشند، برخی حاصل برداشت نادرست از یک مفهوم یا دستورالعمل، برخی ناشی از انتخاب نامناسب راهبرد و برخی نیز نتیجه آزمایش آگاهانه یک راحل جدید باشند (Metcalf, 2017). بنابراین، شمارش تعداد خطاها نمی‌تواند به‌تنهایی شاخص مناسبی برای سنجش یادگیری باشد؛ بلکه لازم است نوع خطا، علت آن و نحوه واکنش دانش‌آموز نسبت به آن نیز مورد توجه قرار گیرد (Narciss & Alemdag, 2025). این تمایز به‌ویژه برای درس کار و فناوری اهمیت دارد، زیرا ماهیت طراحی و ساخت به دانش‌آموز اجازه می‌دهد راحل‌های مختلف را آزمایش کند و در بسیاری از موارد، نتیجه ناموفق یک آزمایش می‌تواند اطلاعاتی درباره محدودیت یک راحل یا ضرورت تغییر آن در اختیار دانش‌آموز قرار دهد (Engström & Lennholm, 2025).

در این میان، نقش معلم نیز بسیار تعیین‌کننده است. اگر واکنش معلم به خطا صرفاً اعلام پاسخ درست یا اصلاح مستقیم محصول باشد، ممکن است فرصت تحلیل و حل مسئله از دانش‌آموز گرفته شود. (Metcalf, 2017) در مقابل، بازخوردی که دانش‌آموز را به شناسایی مشکل، بررسی علت، مقایسه راحل‌ها و اصلاح عملکرد هدایت کند، می‌تواند فرایند یادگیری از خطا را تقویت کند. (Narciss & Alemdag, 2025) مرور نظام‌مند (Dieterich & Rumann, 2025) نیز نشان می‌دهد که فعالیت‌هایی مانند شناسایی، توضیح، اصلاح و بازاندیشی درباره خطا می‌تواند یادگیری عمیق‌تری ایجاد کنند، هرچند میزان اثربخشی آنها به دانش‌پیشین، طراحی راهنماها و میزان پیچیدگی تکلیف وابسته است. (Dieterich et al., 2025) بنابراین، مسئله فقط «اجازه دادن به دانش‌آموز برای اشتباه کردن» نیست، بلکه مسئله اصلی طراحی شرایطی است که در آن خطا بتواند به یک فرایند قابل مشاهده و قابل یادگیری تبدیل شود (Narciss & Alemdag, 2025).

این موضوع با وضعیت ارزشیابی درس کار و فناوری در ایران نیز ارتباط مستقیم دارد. در منابع تخصصی دفتر انتشارات و فناوری آموزشی، ارزشیابی این درس ماهیتی مستمر و عملکردی دارد و در عین حال به این مسئله اشاره شده است که گاهی یک پروژه به‌تنهایی به‌عنوان ملاک ارزشیابی دانش‌آموز مورد استفاده قرار می‌گیرد (دفتر انتشارات و فناوری آموزشی، ۱۴۰۱). چنین رویکردی می‌تواند موجب شود تفاوت میان «محصول نهایی» و «فرایند رسیدن به محصول» کمتر دیده شود؛ در حالی که بخش مهمی از شایستگی‌های مورد انتظار در فعالیت‌های فناورانه، در جریان تصمیم‌گیری، آزمایش، اصلاح و حل مشکلات آشکار می‌شوند (Guo et al., 2020; Engström & Lennholm, 2025). (2025) بنابراین، توسعه شیوه‌ای برای مشاهده و ارزشیابی فرایند مواجهه دانش‌آموز با خطا می‌تواند با ماهیت عملکردی این درس هم‌راستا باشد. (Narciss & Alemdag, 2025)

با وجود رشد ادبیات پژوهشی درباره یادگیری از خطا، یک خلأ مهم همچنان قابل مشاهده است. مرور Narciss و Alemdag (2025) نشان می‌دهد که پژوهش‌های این حوزه درگیر چالش‌هایی مانند تمایز مفهومی میان خطا و شکست، تفاوت میان عوامل فردی و زمینه‌ای، و دشواری استفاده از شاخص‌های اختصاصی برای سنجش فرایند یادگیری از خطا هستند. (Narciss & Alemdag, 2025) از سوی دیگر، مرور نظام‌مند Dieterich و همکاران (2025) که ۴۰ مطالعه را در رشته‌های مختلف بررسی کرده است، نشان می‌دهد بخش قابل‌توجهی از پژوهش‌ها در ریاضیات و پزشکی متمرکز بوده‌اند و تنها شمار محدودی از مطالعات به آموزش حرفه‌ای یا زمینه‌های نزدیک به آن پرداخته‌اند (Dieterich et al., 2025). بنابراین، اگرچه اصل «یادگیری از خطا» در ادبیات آموزشی موضوع شناخته‌شده‌ای است، نحوه تبدیل آن به یک چارچوب مشخص برای ارزشیابی یادگیری دانش‌آموز در پروژه‌های عملی درس کار و فناوری همچنان نیازمند صورت‌بندی دقیق‌تر است (Dieterich et al., 2025; Narciss & Alemdag, 2025).

این خلأ در پژوهش‌های مرتبط با فناوری و آموزش پروژه‌ای نیز اهمیت دارد. مطالعات مربوط به آموزش فناوری بر اهمیت فعالیت‌های طراحی، ساخت، آزمایش و اصلاح تأکید دارند، اما تمرکز بسیاری از آنها بر اصالت فعالیت، پیامدهای

یادگیری، فرایند طراحی یا ارزیابی کلی پروژه است و نه لزوماً بر اینکه چگونه می‌توان «خطا و اصلاح خطا» را به‌صورت نظام‌مند به‌عنوان شاهد یادگیری دانش‌آموز ارزیابی کرد (Guo et al., 2020; Engström & Lennholm, 2025). از این رو، مسئله پژوهش حاضر در نقطه اتصال سه حوزه قرار می‌گیرد: یادگیری از خطا، پروژه‌های عملی و ارزشیابی عملکردی در آموزش کار و فناوری (Metcalf, 2017; Narciss & Alemdag, 2025). بر همین اساس، پرسش اساسی پژوهش حاضر این است که خطاهای دانش‌آموزان در جریان انجام پروژه‌های عملی درس کار و فناوری چه ویژگی‌هایی دارند و چگونه می‌توان از فرایند مواجهه، تحلیل و اصلاح این خطاها برای ارزشیابی یادگیری دانش‌آموزان استفاده کرد؟ (Narciss & Alemdag, 2025). پاسخ به این پرسش مستلزم آن است که خطا نه به‌عنوان یک نمره منفی مستقل، بلکه به‌عنوان یک رویداد آموزشی در نظر گرفته شود که می‌تواند اطلاعاتی درباره تشخیص مسئله، استدلال، تصمیم‌گیری، حل مسئله و اصلاح عملکرد دانش‌آموز فراهم کند (Metcalf, 2017; Dieterich et al., 2025).

۲-۲. اهمیت و ضرورت پژوهش

اهمیت نظری پژوهش حاضر در این است که می‌کوشد مفهوم «یادگیری از خطا» را از سطح یک توصیه کلی آموزشی به سطح یک چارچوب قابل استفاده در ارزشیابی پروژه‌های عملی نزدیک کند (Narciss & Alemdag, 2025). ادبیات موجود نشان می‌دهد که خطا می‌تواند منبع ارزشمندی برای یادگیری باشد، اما اثر آموزشی آن به نحوه پردازش خطا، نوع بازخورد، ویژگی‌های تکلیف و شرایط یادگیری وابسته است (Metcalf, 2017; Dieterich et al., 2025). بنابراین، ضرورت دارد میان «وقوع خطا»، «تشخیص خطا»، «تحلیل علت خطا»، «اصلاح عملکرد» و «بازاندیشی درباره خطا» تمایز قائل شویم و برای هرکدام جایگاهی در فرایند ارزشیابی تعریف کنیم (Narciss & Alemdag, 2025).

اهمیت عملی پژوهش نیز به نیاز معلمان کار و فناوری به شواهدی فراتر از محصول نهایی مربوط می‌شود (دفتر انتشارات و فناوری آموزشی، ۱۴۰۱). در یک پروژه عملی، معلم معمولاً فرصت مشاهده مراحل مختلف کار دانش‌آموز را دارد و می‌تواند ببیند دانش‌آموز چگونه با یک مشکل مواجه می‌شود، چه فرضی درباره علت مشکل دارد و چگونه برای رفع آن اقدام می‌کند (Engström & Lennholm, 2025). تبدیل این مشاهده‌های پراکنده به معیارهای مشخص می‌تواند به معلم کمک کند ارزشیابی خود را منظم‌تر، شفاف‌تر و نزدیک‌تر به فرایند واقعی یادگیری انجام دهد (Aranzabal et al., 2020).

از منظر دانش‌آموز نیز چنین رویکردی می‌تواند پیام مهمی داشته باشد: هدف پروژه عملی صرفاً «بی‌خطا بودن» نیست، بلکه توانایی مواجهه منطقی با مشکل و اصلاح عملکرد نیز بخشی از یادگیری است (Metcalf, 2017). این نگاه می‌تواند فضای آموزشی را از تأکید افراطی بر اجتناب از هرگونه اشتباه به سمت استفاده آموزشی از خطا سوق دهد، مشروط بر آنکه معلم از خطا به‌صورت هدفمند و همراه با بازخورد مناسب استفاده کند (Steuer et al., 2025; Dresel et al., 2025). Dresel et al., 2025 پژوهش طولی Dresel و همکاران (2025) نیز نشان داده است که کیفیت «اقلیم خطا» در کلاس با چگونگی واکنش دانش‌آموزان به خطا ارتباط دارد؛ بنابراین، نحوه برخورد محیط آموزشی با اشتباه صرفاً یک موضوع حاشیه‌ای نیست، بلکه بخشی از شرایط یادگیری از خطاست (Dresel et al., 2025). در نهایت، ضرورت پژوهش حاضر از اینجا ناشی می‌شود که اگرچه «یادگیری از خطا» و «ارزشیابی پروژه» هر دو در ادبیات آموزشی سابقه دارند، پیوند نظام‌مند این دو مفهوم در بستر مشخص درس کار و فناوری هنوز به چارچوبی روشن و ساده برای استفاده معلم تبدیل نشده است (Narciss & Alemdag, 2025; Dieterich et al., 2025). پژوهش حاضر می‌کوشد با ترکیب شواهد نظری و پژوهشی، الگویی ارائه کند که در آن خطا به‌عنوان یک رویداد قابل مشاهده در فرایند پروژه، و واکنش دانش‌آموز به آن به‌عنوان یکی از شواهد یادگیری در نظر گرفته شود؛ الگویی که در عین حفظ جایگاه محصول نهایی، توجه بیشتری به فرایند تشخیص، تحلیل، اصلاح و بازاندیشی دانش‌آموز داشته باشد (Metcalf, 2017; Aranzabal et al., 2020).

مجله پیشروان علوم تربیتی و آموزشی

۳. پیشینه پژوهش

۳-۱. پژوهش‌های مرتبط با یادگیری از خطا

پژوهش درباره نقش خطا در یادگیری، در دهه‌های اخیر از نگاه سنتی «خطا به‌عنوان نشانه ضعف» فاصله گرفته و به بررسی شرایطی پرداخته است که تحت آن، خطا می‌تواند به یادگیری منجر شود. در این رویکرد، ارزش آموزشی خطا نه در خود اشتباه، بلکه در فرایندی است که پس از وقوع آن شکل می‌گیرد؛ یعنی تشخیص اشتباه، توجه به علت،

دریافت یا جست‌وجوی بازخورد، اصلاح راحل و بازاندیشی درباره عملکرد. متکالف (2017) در مرور پژوهش‌های یادگیری از خطا نشان می‌دهد که خطاهای خودساخته، در شرایط مناسب، می‌توانند فرصت‌هایی برای اصلاح دانش و ایجاد یادگیری پایدار فراهم کنند.

پژوهش‌های جدیدتر نیز این موضوع را پیچیده‌تر از یک رابطه ساده میان «خطا» و «یادگیری» می‌دانند. ناریس و آلمداگ (2025) با بررسی مجموعه‌ای از پژوهش‌های معاصر، چهار حوزه اصلی را در یادگیری از خطا و شکست برجسته می‌کنند: عوامل زمینه‌ای، عوامل فردی، فرایندهای یادگیری مرتبط با خطا و راهبردهای آموزشی مانند بازخورد و راهنماها. آنان همچنین تأکید می‌کنند که هنوز درباره تمایز مفهومی میان خطا و شکست و نیز چگونگی سنجش اختصاصی یادگیری از خطا، چالش‌های مهمی وجود دارد.

مرور نظام‌مند Dieterich ، Rumann و Rodemer (2025) نیز تصویری دقیق‌تر از این حوزه ارائه می‌دهد. این پژوهش ۴۰ مطالعه را در رشته‌ها و موقعیت‌های آموزشی مختلف بررسی کرده و نشان داده است که استفاده آموزشی از خطا می‌تواند به یادگیری کمک کند، اما اثربخشی آن به عواملی مانند نحوه توضیح خطا، نوع راهنما، بازخورد، دانش پیشین و بار شناختی وابسته است. نکته مهم برای پژوهش حاضر آن است که در این مرور، مطالعات بیشتر در حوزه‌هایی مانند ریاضیات و پزشکی متمرکز بوده‌اند و مطالعات مرتبط با سایر حوزه‌ها، از جمله آموزش حرفه‌ای، سهم بسیار کمتری داشته‌اند.

این یافته نشان می‌دهد که نمی‌توان اصول عمومی یادگیری از خطا را بدون توجه به ماهیت رشته و نوع فعالیت به همه محیط‌های آموزشی تعمیم داد. خطایی که دانش‌آموز در حل یک مسئله ریاضی مرتکب می‌شود، از نظر ماهیت و پیامد با خطایی که هنگام اندازه‌گیری، انتخاب ابزار، ساخت یک قطعه یا آزمایش یک محصول رخ می‌دهد، یکسان نیست. در پروژه‌های عملی، دانش‌آموز با یک شیء، ابزار، ماده یا محصول واقعی درگیر است و نتیجه تصمیم او می‌تواند بلافاصله در عملکرد محصول آشکار شود؛ بنابراین، خطا در این محیط علاوه بر جنبه شناختی، دارای یک نمود عملی و قابل مشاهده نیز هست.

از سوی دیگر، پژوهش‌های جدید نشان می‌دهند که صرفاً قرار دادن دانش‌آموز در معرض خطا یا اجازه دادن به او برای اشتباه کردن، الزاماً به یادگیری منجر نمی‌شود. در فرایند یادگیری از خطا، نوع حمایت آموزشی اهمیت زیادی دارد و فعالیت‌هایی مانند شناسایی، توضیح، اصلاح و بازاندیشی می‌توانند در شرایط مناسب به پردازش عمیق‌تر منجر شوند، در حالی که تکالیف بیش از حد پیچیده یا راهنمایی نامتناسب ممکن است بار شناختی ایجاد کنند و اثر مطلوب خطا را کاهش دهند.

۳-۲. پژوهش‌های مرتبط با شکست، اصلاح و یادگیری

یکی از مفاهیم نزدیک به یادگیری از خطا، «شکست مولد» است. در این رویکرد، دانش‌آموز پیش از دریافت آموزش مستقیم، تلاش می‌کند مسئله‌ای را حل کند و در جریان این تلاش ممکن است به راحل ناقص یا ناموفق برسد؛ سپس آموزش رسمی به او کمک می‌کند فاصله میان راحل اولیه و راحل علمی‌تر را درک کند. اهمیت این رویکرد در آن است که شکست در آن به عنوان پایان فرایند یادگیری تلقی نمی‌شود، بلکه می‌تواند مرحله‌ای برای آشکار شدن محدودیت‌های دانش موجود و آماده شدن برای یادگیری بعدی باشد.

باین‌حال، پژوهش‌های جدید نشان می‌دهند که «شکست» و «خطا» را نباید به‌سادگی مترادف دانست. ناریس و آلمداگ (2025) نیز تمایز میان این دو مفهوم را یکی از چالش‌های مفهومی مهم در ادبیات معاصر معرفی می‌کنند. خطا می‌تواند یک اشتباه محدود در یک مرحله از کار باشد، در حالی که شکست ممکن است به نتیجه کلی ناموفق یک تلاش اشاره کند. بنابراین، در پژوهش حاضر تمرکز اصلی بر خطاهای رخ داده در فرایند انجام پروژه و نحوه مواجهه دانش‌آموز با آنها است، نه صرفاً شکست یا موفقیت نهایی پروژه.

این تمایز از نظر ارزشیابی اهمیت زیادی دارد. اگر محصول نهایی یک پروژه موفق باشد، نمی‌توان از این موضوع نتیجه گرفت که تمام تصمیم‌های دانش‌آموز در طول مسیر صحیح بوده‌اند؛ همان‌طور که یک محصول ناقص نیز الزاماً نشان‌دهنده فقدان یادگیری نیست. دانش‌آموز ممکن است در مسیر رسیدن به محصول مناسب، چندین فرضیه را آزمایش کرده و پس از مشاهده نتایج، تصمیم‌های خود را اصلاح کرده باشد. بنابراین، برای ارزشیابی یادگیری در فعالیت‌های عملی، بررسی «مسیر رسیدن به نتیجه» می‌تواند در کنار «خود نتیجه» اهمیت داشته باشد.

۳-۳. پژوهش‌های مرتبط با پروژه‌های عملی و آموزش فناوری

پروژه‌محوری در آموزش، به‌ویژه در فعالیت‌هایی که نیازمند طراحی و ساخت هستند، امکان مشاهده فرایند یادگیری دانش‌آموز را فراهم می‌کند Guo و همکاران (2020) در مرور پژوهش‌های یادگیری پروژه‌محور نشان دادند که برای بررسی پیامدهای چنین فعالیت‌هایی از ابزارهای متنوعی مانند پرسشنامه، روبریک، مصاحبه، مشاهده، خودبازتابی، مصنوعات تولیدشده و داده‌های فرایندی استفاده شده است. این تنوع نشان می‌دهد که پروژه را نمی‌توان صرفاً از طریق محصول نهایی ارزیابی کرد.

در آموزش فناوری نیز فرایند طراحی و ساخت معمولاً با تصمیم‌گیری، آزمایش، بازنگری و اصلاح همراه است. Engström و Lennholm (2025)، در مطالعه آموزش اصیل در برنامه فناوری دوره متوسطه، نشان دادند که فعالیت‌های فناورانه زمانی امکان مشاهده بهتر یادگیری را فراهم می‌کنند که معلم در طول فرایند پروژه، پیگیری و مشاهده مستمر داشته باشد و شواهد یادگیری را از منابع مختلف جمع‌آوری کند. این یافته با ماهیت درس کار و فناوری همخوان است، زیرا بسیاری از فعالیت‌های این درس نیز دانش‌آموز را درگیر فرایند طراحی، ساخت و آزمون محصول می‌کند.

پژوهش‌های مربوط به ارزشیابی پروژه‌های طراحی نیز بر ضرورت توجه به مراحل مختلف فعالیت تأکید دارند. برای مثال، Aranzabal، Epelde و Artetxe (2020) نشان دادند که ترکیب شیوه‌های مختلف ارزشیابی در یک دوره پروژه‌محور می‌تواند تصویر جامع‌تری از عملکرد دانش‌آموزان ارائه کند. اهمیت این مطالعات برای پژوهش حاضر در این است که نشان می‌دهند ارزشیابی فعالیت پروژه‌ای می‌تواند از سطح بررسی محصول نهایی فراتر رود و فرایند انجام کار را نیز دربرگیرد.

با وجود این، مسئله مورد توجه پژوهش حاضر با مطالعات عمومی درباره ارزشیابی پروژه تفاوت دارد. هدف این پژوهش صرفاً ارائه یک روبریک برای ارزیابی فرایند طراحی یا تقسیم نمره میان مراحل مختلف پروژه نیست؛ بلکه پرسش اصلی این است که آیا خود خطا و نحوه مواجهه دانش‌آموز با آن می‌تواند به یک منبع اطلاعاتی برای ارزشیابی یادگیری تبدیل شود؟ این تمایز، نقطه اتصال میان ادبیات یادگیری از خطا و ادبیات ارزشیابی پروژه‌های عملی است.

۳-۴. جایگاه پژوهش حاضر در ادبیات موجود

بررسی مجموع مطالعات نشان می‌دهد که سه حوزه پژوهشی نسبتاً شناخته‌شده وجود دارد: نخست، پژوهش‌هایی که یادگیری از خطا و شکست را از منظر روان‌شناسی یادگیری بررسی کرده‌اند؛ دوم، مطالعاتی که از خطاهای از پیش طراحی‌شده یا نمونه‌های خطادار برای آموزش استفاده کرده‌اند؛ و سوم، پژوهش‌هایی که فرایند پروژه، طراحی و ساخت را در آموزش فناوری و آموزش پروژه‌محور بررسی کرده‌اند. با این حال، این سه حوزه الزاماً به یکدیگر متصل نشده‌اند.

برای مثال، مرور Dieterich و همکاران (2025) عمدتاً بر نمونه‌های خطادار آموزشی تمرکز دارد؛ یعنی موقعیت‌هایی که خطا در ماده آموزشی یا مثال ارائه‌شده به یادگیرنده قرار داده می‌شود، نه الزاماً خطایی که خود دانش‌آموز هنگام ساخت یک محصول عملی مرتکب شده است. نویسندگان نیز در معیارهای ورود و خروج خود، مطالعات مربوط به برخی رویکردهای دیگر مانند شکست مولد و مدیریت خطای محیط کار را از دامنه مرور خود خارج کرده‌اند.

در مقابل، پژوهش‌های آموزش فناوری بیشتر به فرایند طراحی، ساخت، همکاری، اصالت فعالیت و ارزشیابی پروژه پرداخته‌اند و کمتر مسئله «خطا» را به عنوان واحد مستقلی برای تحلیل یادگیری در نظر گرفته‌اند. این وضعیت، امکان طرح یک پرسش متفاوت را فراهم می‌کند: اگر دانش‌آموز در حین انجام پروژه مرتکب خطا شود، کدام ویژگی آن خطا و کدام رفتار پس از خطا می‌تواند برای معلم اطلاعاتی درباره یادگیری دانش‌آموز فراهم کند؟

از این منظر، پژوهش حاضر قصد ندارد ادعا کند که «خطا همیشه مفید است» یا اینکه افزایش خطا به معنای افزایش یادگیری است؛ چنین برداشتی با شواهد پژوهشی موجود سازگار نیست. شواهد موجود نشان می‌دهند که اثر خطا بر یادگیری به شرایط آموزشی، نحوه پردازش خطا، دانش پیشین، بازخورد و ویژگی‌های تکلیف وابسته است. بنابراین، مسئله پژوهش حاضر دقیق‌تر از «یادگیری از خطا» به معنای کلی است و بر ارزشیابی فرایند مواجهه دانش‌آموز با خطا در پروژه عملی تمرکز دارد.

بر این اساس، خلأ مورد توجه پژوهش حاضر را می‌توان در سه سطح صورت‌بندی کرد:

1. خلأ زمینه‌ای: بخش قابل توجهی از پژوهش‌های یادگیری از خطا در حوزه‌هایی مانند ریاضیات، پزشکی و آموزش عمومی انجام شده و سهم پژوهش‌های مرتبط با محیط‌های عملی و فناورانه محدودتر است.
2. خلأ مفهومی: در ادبیات موجود هنوز تمایز میان خطا، شکست، اصلاح و یادگیری از خطا نیازمند صورت‌بندی دقیق‌تر است و پژوهشگران بر این چالش مفهومی تأکید کرده‌اند.
3. خلأ کاربردی و ارزشیابی: اگرچه مطالعات متعددی بر اهمیت فرایند در پروژه‌های عملی تأکید کرده‌اند، نیاز به چارچوبی وجود دارد که به صورت مشخص نشان دهد چگونه می‌توان تشخیص خطا، تحلیل علت، اقدام اصلاحی، آزمون مجدد و بازاندیشی دانش‌آموز را به شواهد قابل استفاده در ارزشیابی تبدیل کرد.

از این رو، پژوهش حاضر درصدد است این فاصله را با تمرکز بر درس کار و فناوری پر کند و الگویی ارائه دهد که در آن خطا نه به عنوان یک نمره منفی مستقل، بلکه به عنوان رویدادی در فرایند یادگیری بررسی شود. در این الگو، ارزش ارزشیابی خطا بیش از آنکه به تعداد اشتباهات دانش‌آموز وابسته باشد، به کیفیت مواجهه او با مشکل و توانایی‌اش در اصلاح عملکرد وابسته خواهد بود.

این صورت‌بندی همچنین کمک می‌کند مقاله حاضر با پژوهش قبلی درباره «اصالت عملکرد دانش‌آموز» خلط نشود. در مقاله قبلی مسئله اصلی این بود که چگونه می‌توان اطمینان حاصل کرد محصول و عملکرد ارائه‌شده واقعاً متعلق به دانش‌آموز است؛ اما در پژوهش حاضر، فرض بر این است که دانش‌آموز در حال انجام پروژه است و پرسش اصلی

این است که فرایند خطا و اصلاح او چه اطلاعاتی درباره یادگیری‌اش در اختیار معلم قرار می‌دهد. بنابراین، دو پژوهش از نظر مسئله، سازه اصلی و منطق مدل ارزشیابی مستقل از یکدیگر هستند.

جمع‌بندی پیشنهادی

در مجموع، ادبیات موجود از یک سو نشان می‌دهد که خطا می‌تواند در شرایط مناسب به یادگیری عمیق‌تر منجر شود و از سوی دیگر تأکید می‌کند که این اثر خودکار نیست و به نحوه پردازش خطا و حمایت آموزشی وابسته است. مطالعات پروژه‌محور و آموزش فناوری نیز اهمیت مشاهده فرایند طراحی، ساخت، آزمایش و اصلاح را نشان داده‌اند. با این حال، پیوند منظم میان این دو حوزه، یعنی یادگیری از خطا و ارزشیابی پروژه عملی در آموزش فناوری، هنوز نیازمند صورت‌بندی روشن‌تر است.

بر همین مبنا، پژوهش حاضر به جای پرسش کلی «آیا دانش‌آموز از خطا یاد می‌گیرد؟»، مسئله دقیق‌تری را دنبال می‌کند: چه مؤلفه‌هایی از مواجهه دانش‌آموز با خطا در پروژه عملی می‌توانند به‌عنوان شواهد یادگیری در ارزشیابی مورد استفاده قرار گیرند؟ پاسخ به این پرسش، زمینه نظری لازم را برای بخش بعدی مقاله، یعنی مبانی نظری و چارچوب مفهومی پژوهش فراهم می‌کند.

۴. مبانی نظری و چارچوب مفهومی پژوهش

۴-۱. مفهوم خطا در فرایند یادگیری

خطا در فرایند یادگیری را نمی‌توان صرفاً به معنای ارائه یک پاسخ نادرست یا دستیابی به نتیجه نامطلوب در نظر گرفت. خطا در بسیاری از موقعیت‌های یادگیری، حاصل فاصله میان دانش، تصور، تصمیم یا راهبرد فعلی یادگیرنده و الزامات واقعی مسئله است و از این رو می‌تواند اطلاعاتی درباره نحوه تفکر و عملکرد او فراهم کند. متکالف (2017) در مرور پژوهش‌های یادگیری از خطا نشان می‌دهد که خطاهای ایجادشده توسط خود یادگیرنده، در شرایط مناسب، می‌توانند زمینه‌ای برای اصلاح دانش و ایجاد یادگیری پایدار فراهم کنند.

در فعالیت‌های عملی، خطا معمولاً شکل عینی‌تری پیدا می‌کند. دانش‌آموز ممکن است در اندازه‌گیری، انتخاب ابزار، انتخاب ماده، طراحی، اجرای یک مرحله، اتصال اجزا، آزمایش محصول یا پیش‌بینی عملکرد آن دچار اشتباه شود. ویژگی مهم این نوع خطا آن است که پیامد تصمیم دانش‌آموز اغلب در خود محیط عملی قابل مشاهده است و می‌تواند دانش‌آموز را با شواهدی مواجه کند که با انتظار اولیه او سازگار نیست. بنابراین، پروژه عملی می‌تواند محیطی فراهم کند که در آن رابطه میان تصمیم، نتیجه و اصلاح عملکرد برای دانش‌آموز قابل مشاهده باشد.

با این حال، صرف وقوع خطا به معنای شکل‌گیری یادگیری نیست. مرور نظام‌مند *Rumann*، *Dieterich* و *Rodemer* (2025) نشان می‌دهد که تأثیر آموزشی خطا به عواملی مانند نوع راهنمایی، بازخورد، نحوه پردازش خطا، دانش پیشین و میزان پیچیدگی فعالیت وابسته است. این یافته برای پژوهش حاضر اهمیت اساسی دارد؛ زیرا نشان می‌دهد که هدف نباید افزایش یا کاهش ساده تعداد خطاها باشد، بلکه باید بررسی شود دانش‌آموز پس از مواجهه با خطا چه می‌کند و چگونه از آن برای اصلاح عملکرد خود استفاده می‌کند.

۴-۲. تمایز میان خطا، شکست و ناکامی

یکی از مسائل مهم در تبیین نظری پژوهش حاضر، تمایز میان «خطا»، «شکست» و «ناکامی» است. خطا می‌تواند در یک مرحله محدود از فرایند رخ دهد؛ برای مثال، دانش‌آموز ممکن است در اندازه‌گیری یک قطعه اشتباه کند اما پس از تشخیص اشتباه، آن را اصلاح کند. در مقابل، شکست معمولاً به نتیجه ناموفق یک تلاش یا راهحل اشاره دارد و ممکن است حاصل مجموعه‌ای از خطاها یا انتخاب یک راهبرد نامناسب باشد.

این تمایز اهمیت زیادی دارد؛ زیرا اگر هر نتیجه ناموفق را «خطا» تلقی کنیم، امکان تحلیل دقیق فرایند یادگیری از بین می‌رود. در ادبیات یادگیری از خطا نیز تمایز میان خطا و شکست همچنان یکی از مسائل مفهومی مورد توجه است و پژوهشگران تأکید دارند که پیامد آموزشی یک اشتباه به شرایطی که در آن رخ می‌دهد و نحوه پردازش آن وابسته است. (Narciss & Alemdag, 2025)

از این منظر، پژوهش حاضر «خطا» را به یک نتیجه نادرست محدود نمی‌کند، بلکه آن را به‌عنوان رخدادی در جریان انجام پروژه که نشان می‌دهد تصمیم، روش اجرا یا پیش‌بینی دانش‌آموز با نتیجه مورد انتظار او مطابقت نداشته است در نظر می‌گیرد. چنین تعریفی امکان می‌دهد خطاهای کوچک و قابل اصلاح نیز در کنار شکست‌های بزرگتر مورد بررسی قرار گیرند، بدون آنکه این دو مفهوم با یکدیگر یکسان فرض شوند.

۴-۳. یادگیری از خطا

یادگیری از خطا به فرایندی اشاره دارد که در آن یادگیرنده پس از مواجهه با عملکرد نادرست یا نتیجه نامطلوب، اطلاعات مربوط به خطا را پردازش می‌کند و بر اساس آن دانش، راهبرد یا عملکرد خود را تغییر می‌دهد. بنابراین،

یادگیری از خطا یک اتفاق لحظه‌ای نیست، بلکه فرایندی است که از تشخیص یک ناهماهنگی آغاز می‌شود و می‌تواند به توضیح علت، اصلاح راهبرد و استفاده از تجربه در موقعیت‌های بعدی منجر شود. از دیدگاه نظری، خطا می‌تواند دو نوع دانش در اختیار یادگیرنده قرار دهد: دانش درباره اینکه «چه چیزی درست است» و دانش درباره اینکه «چه چیزی کار نمی‌کند و چرا». ادبیات یادگیری از نمونه‌های خطادار نیز نشان می‌دهد که مواجهه هدفمند با خطا می‌تواند به شکل‌گیری چنین دانش منفی در کنار دانش صحیح کمک کند؛ البته این اثر به نحوه طراحی فعالیت و حمایت آموزشی وابسته است. (Dieterich et al., 2025) در پروژه‌های عملی، این فرایند می‌تواند به شکل طبیعی‌تری رخ دهد. برای مثال، اگر دانش‌آموز یک روش ساخت را انتخاب کند و محصول مطابق انتظار او عمل نکند، نتیجه نامطلوب می‌تواند او را به بررسی رابطه میان روش انتخاب‌شده و عملکرد محصول وادار کند. اگر دانش‌آموز بتواند علت مشکل را شناسایی و راحل دیگری را آزمایش کند، تجربه خطا از یک نتیجه ناموفق به منبعی برای یادگیری تبدیل می‌شود. بنابراین، در چارچوب پژوهش حاضر، یادگیری از خطا با تعداد خطاهای دانش‌آموز سنجیده نمی‌شود، بلکه با کیفیت مواجهه او با خطا و تغییر ایجادشده در عملکرد یا درک او پس از مواجهه با آن مرتبط است.

۴-۴. خطا به عنوان منبع اطلاعاتی برای ارزشیابی

ارزشیابی در فعالیت‌های عملی زمانی می‌تواند تصویر مناسبی از یادگیری ارائه کند که شواهد کافی درباره فرایند عملکرد دانش‌آموز در اختیار معلم قرار دهد. در پروژه‌های عملی، محصول نهایی تنها یکی از این شواهد است و مشاهده فرایند طراحی، ساخت، آزمایش و اصلاح می‌تواند اطلاعات تکمیلی فراهم کند. این موضوع با یافته‌های پژوهش‌های پروژه‌محور نیز سازگار است. Guo و همکاران (2020) در مرور مطالعات یادگیری پروژه‌محور نشان دادند که پژوهشگران برای ارزشیابی یادگیری از مجموعه‌ای از ابزارها مانند روبریک، مشاهده، مصاحبه، خودبازتابی، محصولات دانش‌آموزان و داده‌های مربوط به فرایند استفاده کرده‌اند. بنابراین، ارزشیابی پروژه الزاماً نباید به بررسی محصول نهایی محدود شود. بر این اساس، خطا نیز می‌تواند به عنوان یکی از منابع اطلاعاتی ارزشیابی مورد توجه قرار گیرد. البته «ارزشیابی خطا» به معنای نمره دادن منفی برای هر اشتباه نیست؛ بلکه منظور بررسی این است که خطا چگونه ایجاد شده، دانش‌آموز چگونه آن را تشخیص داده، چه توضیحی درباره علت آن ارائه کرده و برای اصلاح آن چه تصمیمی گرفته است.

این تمایز برای درس کار و فناوری اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا اگر دانش‌آموز بداند که صرفاً «بی‌خطا بودن» ملاک موفقیت است، ممکن است از آزمودن راحل‌های جدید اجتناب کند، در حالی که فعالیت‌های طراحی و ساخت ذاتاً با آزمون، اصلاح و بازنگری همراه هستند. در مقابل، اگر فرایند اصلاح خطا نیز بخشی از شواهد یادگیری باشد، دانش‌آموز می‌تواند بدون آنکه خطا به‌خودی‌خود نشانه شکست تلقی شود، مسئولیت بیشتری در قبال تحلیل و اصلاح عملکرد خود بر عهده بگیرد.

۴-۵. نقش بازخورد در یادگیری از خطا

بازخورد یکی از عوامل مهم در تبدیل خطا به فرصت یادگیری است. اطلاعاتی که صرفاً به دانش‌آموز می‌گوید پاسخ او درست یا نادرست است، با بازخوردی که علت نادرستی و مسیر احتمالی اصلاح را روشن می‌کند، از نظر ظرفیت آموزشی یکسان نیست. مرور Dieterich و همکاران (2025) نیز نشان می‌دهد که نوع بازخورد و نحوه ارائه آن می‌تواند بر کیفیت پردازش خطا و میزان یادگیری تأثیر بگذارد. در پروژه‌های عملی، بازخورد می‌تواند مستقیماً با عملکرد واقعی دانش‌آموز ارتباط داشته باشد. برای مثال، معلم به جای اصلاح مستقیم محصول می‌تواند از دانش‌آموز بخواهد مشخص کند در کدام مرحله نتیجه با انتظار او متفاوت شده است. چنین بازخوردی دانش‌آموز را از دریافت یک پاسخ آماده به سمت بررسی فرایند عملکرد خود هدایت می‌کند. از این منظر، نقش معلم در ارزشیابی خطا محور، الزاماً پیدا کردن و اصلاح تمام اشتباهات دانش‌آموز نیست؛ بلکه فراهم کردن شرایطی است که دانش‌آموز بتواند بخش قابل‌توجهی از خطاهای خود را شناسایی و تحلیل کند. این مسئله با ماهیت تکوینی ارزشیابی نیز همخوان است؛ زیرا اطلاعات حاصل از عملکرد باید برای اصلاح فرایند یادگیری مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۶. اصلاح و بازآزمایی به عنوان حلقه یادگیری

یکی از تفاوت‌های اساسی میان «خطا» و «یادگیری از خطا»، وجود یا نبود مرحله اصلاح است. اگر دانش‌آموز خطا را مشاهده کند اما هیچ تغییری در روش خود ایجاد نکند، نمی‌توان صرفاً از مشاهده خطا نتیجه گرفت که یادگیری اتفاق افتاده است. اصلاح عملکرد، حلقه‌ای است که تجربه ناموفق را به فرصتی برای آزمودن یک راحل جدید تبدیل می‌کند. در یک پروژه عملی، این فرایند می‌تواند به شکل چرخه‌ای رخ دهد:

طراحی → اجرا → مشاهده نتیجه → شناسایی خطا → تحلیل علت → اصلاح → بازآزمایی → بازاندیشی

این چرخه با ماهیت فعالیت‌های طراحی و ساخت سازگار است، زیرا در چنین فعالیت‌هایی راحل اولیه الزاماً آخرین راحل نیست و محصول می‌تواند بر اساس نتایج آزمون و مشاهده عملکرد اصلاح شود. پژوهش‌های آموزش فناوری نیز بر اهمیت فرایندهای طراحی، آزمایش و اصلاح در یادگیری فناورانه تأکید دارند. نکته مهم آن است که «اصلاح موفق» نیز نباید تنها بر اساس رسیدن به محصول درست ارزیابی شود. ممکن است دانش‌آموز به‌صورت آزمون و خطای تصادفی به نتیجه برسد، بدون آنکه علت مشکل را فهمیده باشد. در مقابل، دانش‌آموز دیگری ممکن است بتواند رابطه میان علت و معلول را توضیح دهد و بر اساس یک استدلال مشخص، راه اصلاحی را انتخاب کند. از منظر یادگیری، وضعیت دوم شواهد قوی‌تری از فهم فرایند در اختیار معلم قرار می‌دهد.

۴-۷. بازاندیشی درباره خطا

بازاندیشی مرحله‌ای است که در آن دانش‌آموز صرفاً مشکل را اصلاح نمی‌کند، بلکه درباره تجربه خود فکر می‌کند و تلاش می‌کند از آن برای موقعیت‌های بعدی استفاده کند. پرسش‌هایی مانند «چه چیزی اشتباه شد؟»، «چرا این اتفاق افتاد؟»، «اگر دوباره انجام دهم چه چیزی را تغییر می‌دهم؟» و «از این تجربه چه چیزی یاد گرفتم؟» می‌توانند دانش‌آموز را از اصلاح یک محصول مشخص به فهم یک راهبرد عمومی‌تر نزدیک کنند. اهمیت بازاندیشی در ادبیات یادگیری از خطا نیز مورد توجه قرار گرفته است. مرور Dieterich و همکاران (2025) نشان می‌دهد که فعالیت‌هایی مانند شناسایی، توضیح، اصلاح و بازاندیشی درباره خطا می‌توانند پردازش عمیق‌تر را تحریک کنند، هرچند میزان حمایت و پیچیدگی فعالیت باید متناسب با دانش و توانایی یادگیرنده باشد. در درس کار و فناوری، بازاندیشی می‌تواند به‌صورت بسیار ساده و عملی انجام شود و الزاماً نیازمند نوشتن گزارش‌های طولانی نیست. دانش‌آموز می‌تواند پس از پایان پروژه در چند جمله توضیح دهد که مهم‌ترین خطای او چه بوده، چرا رخ داده و اگر پروژه را دوباره انجام دهد چه چیزی را تغییر خواهد داد. همین اطلاعات می‌تواند برای معلم شواهد ارزشمندی درباره میزان درک دانش‌آموز از فرایند کار فراهم کند.

۴-۸. مبنای مفهومی الگوی پیشنهادی پژوهش

بر اساس مباحث نظری فوق، در پژوهش حاضر فرض می‌شود که ارزش آموزشی خطا را نمی‌توان صرفاً با وقوع یا عدم وقوع آن تعیین کرد. آنچه اهمیت بیشتری دارد، فرایند مواجهه دانش‌آموز با خطا است. این فرایند از زمانی آغاز می‌شود که دانش‌آموز متوجه تفاوت میان نتیجه مورد انتظار و نتیجه واقعی می‌شود و در صورت فراهم بودن شرایط مناسب، می‌تواند به تحلیل علت، انتخاب راه اصلاح، اجرای اصلاح، بازآزمایی و بازاندیشی منجر شود. بر این اساس، چارچوب مفهومی اولیه پژوهش از پنج مؤلفه اصلی تشکیل می‌شود:

1. تشخیص خطا: دانش‌آموز بتواند وجود مشکل یا تفاوت میان نتیجه واقعی و مورد انتظار را شناسایی کند.
2. تبیین علت: دانش‌آموز بتواند درباره چرایی وقوع خطا توضیح یا فرضیه‌ای ارائه کند.
3. اقدام اصلاحی: دانش‌آموز بر اساس تحلیل خود، راهی برای اصلاح عملکرد انتخاب و اجرا کند.
4. بازآزمایی: دانش‌آموز راحل اصلاح‌شده را دوباره آزمایش و نتیجه آن را بررسی کند.
5. بازاندیشی: دانش‌آموز بتواند از تجربه خطا برای بهبود عملکرد آینده خود استفاده کند.

این پنج مؤلفه در این مرحله به‌عنوان چارچوب مفهومی اولیه در نظر گرفته می‌شوند و نه به‌عنوان یافته قطعی پژوهش. در بخش یافته‌ها، این مؤلفه‌ها با یافته‌های منابع بررسی‌شده تطبیق داده خواهند شد و در صورت وجود شواهد کافی، مدل نهایی پژوهش بر اساس آنها شکل خواهد گرفت.

در نتیجه، منطق اصلی پژوهش حاضر را می‌توان چنین خلاصه کرد:

وقوع خطا ← تشخیص خطا ← تحلیل علت ← اصلاح عملکرد ← بازآزمایی ← بازاندیشی ← شواهد یادگیری
بر مبنای این چارچوب، خطا در ارزشیابی نه به‌عنوان یک امتیاز منفی مستقل، بلکه به‌عنوان نقطه آغاز جمع‌آوری شواهد درباره نحوه یادگیری و حل مسئله دانش‌آموز در نظر گرفته می‌شود. چنین رویکردی می‌تواند ارزشیابی پروژه‌های عملی را از تمرکز صرف بر نتیجه نهایی به سمت توجه هم‌زمان به فرایند، تصمیم‌ها، اصلاحات و یادگیری حاصل از تجربه سوق دهد.

۵. روش پژوهش

۵-۱. رویکرد و طرح پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر رویکرد، کیفی است و با استفاده از روش تحلیل و ترکیب مطالعات و منابع علمی انجام شده است. انتخاب این رویکرد با ماهیت مسئله پژوهش تناسب دارد؛ زیرا هدف اصلی، اندازه‌گیری میزان وقوع خطا در میان دانش‌آموزان یا آزمون تجربی اثربخشی یک مداخله آموزشی نیست، بلکه شناسایی و صورت‌بندی مؤلفه‌هایی است که می‌توانند برای ارزشیابی یادگیری دانش‌آموز از طریق خطا در پروژه‌های عملی درس کار و فناوری مورد استفاده قرار گیرند.

در این پژوهش، منابع مرتبط با پنج حوزه اصلی مورد بررسی قرار گرفتند: «یادگیری از خطا»، «خطا و بازخورد»، «شکست و شکست مولد»، «یادگیری پروژه محور و فعالیت های عملی» و «ارزشیابی فرایند طراحی و ساخت در آموزش فناوری». سپس یافته های مرتبط این مطالعات با یکدیگر مقایسه و مفاهیم مشترک، تفاوت ها و مؤلفه های قابل انتقال به محیط درس کار و فناوری استخراج شدند.

این انتخاب روش همچنین با وضعیت ادبیات موجود درباره یادگیری از خطا سازگار است. برای نمونه، Dieterich و همکاران (2025) در یک مرور نظام مند، ۴۰ مطالعه را درباره شرایط اثربخشی نمونه های خطا دار بررسی کرده اند و نشان داده اند که عواملی مانند نوع بازخورد، نوع راهنما، دانش پیشین و بار شناختی می توانند بر پیامد یادگیری اثر بگذارند. این یافته نشان می دهد که برای صورت بندی یک چارچوب مناسب، بررسی مجموعه ای از مطالعات و مقایسه شرایط مختلف ضروری است.

۵-۲. جامعه پژوهش و منابع مورد بررسی

جامعه پژوهش در معنای متعارف مطالعات کمی، شامل دانش آموزان یا معلمان نیست؛ بلکه مجموعه منابع علمی و اسناد آموزشی مرتبط با موضوع پژوهش را دربرمی گیرد. این منابع شامل مقالات پژوهشی داوری شده، مطالعات مروری و نظام مند، کتاب ها و منابع نظری معتبر و اسناد رسمی مرتبط با آموزش و ارزشیابی درس کار و فناوری بوده اند. در بخش منابع خارجی، تمرکز اصلی بر مطالعات منتشر شده در بازه زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۶ قرار گرفت؛ با این حال، در مواردی که یک اثر قدیمی تر نقش بنیادی در شکل گیری مفهوم یا نظریه مورد بررسی داشته است، منبع کلاسیک آن نیز مورد استفاده قرار گرفت. این شیوه به پژوهش اجازه می دهد ضمن حفظ تازگی منابع، از مبانی نظری اصلی حوزه نیز فاصله نگیرد.

در بخش منابع داخلی نیز مقالات علمی مرتبط با آموزش کار و فناوری، آموزش پروژه محور، ارزشیابی عملکردی، فعالیت های عملی، یادگیری از خطا و فرایند طراحی و ساخت بررسی شدند. علاوه بر مقالات علمی، اسناد رسمی و تخصصی وزارت آموزش و پرورش و منابع دفتر انتشارات و فناوری آموزشی نیز برای تعیین جایگاه پروژه، فعالیت عملی و ارزشیابی در درس کار و فناوری مورد استفاده قرار گرفتند.

۵-۳. راهبرد جستجوی منابع

جستجوی منابع در دو بخش فارسی و انگلیسی انجام شد. در جستجوی منابع انگلیسی، ترکیب هایی از کلیدواژه های مرتبط با موضوع پژوهش، از جمله موارد زیر مورد استفاده قرار گرفت:

"error-based learning"، "student errors"، "learning from mistakes"، "learning from errors"، "productive failure"، "learning from failure"، "error correction"، "feedback and errors"، "project-based learning"، "technology education"، "design education"، "technology project"، "assessment of practical projects"، "assessment" و ترکیب های نزدیک به آنها.

در جستجوی منابع فارسی نیز کلیدواژه هایی مانند «یادگیری از خطا»، «خطاهای دانش آموزان»، «خطا و یادگیری»، «خطا و بازخورد»، «یادگیری از اشتباه»، «شکست مولد»، «پروژه های عملی»، «کار و فناوری»، «ارزشیابی پروژه»، «ارزشیابی عملکردی»، «فرایند طراحی»، «فرایند ساخت» و ترکیب های مرتبط مورد استفاده قرار گرفتند. در جستجوی خارجی، پایگاه ها و ناشران علمی معتبر از جمله ScienceDirect، Springer، ERIC، Web of Science و پایگاه های ناشران دانشگاهی مورد توجه قرار گرفتند و برای منابع فارسی، پایگاه های علمی و تخصصی داخلی و منابع رسمی آموزش و پرورش بررسی شدند.

۵-۴. معیارهای انتخاب منابع

برای افزایش ارتباط و اعتبار منابع، انتخاب مطالعات بر اساس چند معیار انجام شد. نخست، منبع باید ارتباط مستقیم یا قابل دفاعی با یکی از محورهای اصلی پژوهش، یعنی خطا، یادگیری از خطا، بازخورد، اصلاح عملکرد، پروژه های عملی، طراحی و ساخت یا ارزشیابی فعالیت های فناورانه داشته باشد. دوم، در اولویت قرار گرفتن منابع پژوهشی معتبر و مقالات منتشر شده در مجلات علمی داوری شده بود. در مطالعات مروری نیز ترجیح با مرورهای نظام مند و مطالعاتی بود که روش جستجو و انتخاب منابع را به صورت شفاف گزارش کرده اند.

سوم، در استفاده از منابع خارجی جدید، تلاش شد مطالعات سال های اخیر سهم بیشتری داشته باشند؛ زیرا هدف پژوهش صرفاً بازخوانی ادبیات کلاسیک خطا نیست، بلکه بررسی وضعیت معاصر این حوزه و ارتباط آن با آموزش پروژه ای و فناوری است.

چهارم، منابعی که صرفاً درباره خطا در محیط های شغلی، خطاهای پزشکی، خطاهای سازمانی یا موضوعات فاقد ارتباط روشن با یادگیری دانش آموزان بودند، به عنوان مبنای مستقیم مدل پژوهش در نظر گرفته نشدند. این تفکیک اهمیت دارد؛ زیرا مفهوم «مدیریت خطا» در محیط کار با «یادگیری از خطا» در یک پروژه آموزشی یکسان نیست.

۵-۵. فرایند تحلیل منابع

پس از گردآوری منابع، محتوای مطالعات مرتبط بر اساس محورهای مفهومی پژوهش بررسی شد. در مرحله نخست، مفاهیم و یافته‌های مرتبط با ماهیت خطا و شرایط یادگیری از آن استخراج شد. در مرحله دوم، مؤلفه‌های مربوط به نحوه مواجهه یادگیرنده با خطا، از جمله تشخیص، توضیح، اصلاح و بازاندیشی، شناسایی شدند. در مرحله سوم، این مؤلفه‌ها با ادبیات مربوط به فعالیت‌های پروژه‌محور و آموزش فناوری تطبیق داده شدند. در این مرحله، هدف صرفاً شمارش تعداد مطالعاتی که یک مفهوم را به کار برده‌اند نبود؛ بلکه تلاش شد مشخص شود هر مفهوم در چه زمینه‌ای مطرح شده، چه معنایی داشته و تا چه اندازه قابلیت انتقال به محیط پروژه‌های عملی درس کار و فناوری را دارد.

این موضوع به‌ویژه در مورد مفهوم «خطا» اهمیت دارد. برای مثال، مرور Dieterich و همکاران (2025) نشان می‌دهد که در بخش بزرگی از مطالعات، خطا در قالب «نمونه خطا» در مواد آموزشی قرار گرفته است و این وضعیت با خطایی که دانش‌آموز شخصاً هنگام انجام یک فعالیت عملی مرتکب می‌شود، تفاوت دارد. در آن مرور، ۴۰ مطالعه بررسی شده‌اند و بخش عمده مطالعات به ریاضیات و پزشکی مربوط بوده است؛ بنابراین، یافته‌های آنها باید با احتیاط و پس از بررسی زمینه آموزشی، به درس کار و فناوری منتقل شوند.

۵-۶. استخراج مؤلفه‌های الگوی پیشنهادی

پس از مقایسه یافته‌های مطالعات، مفاهیمی که در چند منبع با نقش مشابه در فرایند یادگیری از خطا ظاهر شدند، در قالب مؤلفه‌های اولیه دسته‌بندی شدند. در این مرحله، توجه ویژه‌ای به چهار نوع شواهد شد: شواهد مربوط به تشخیص خطا، تحلیل علت، اصلاح عملکرد و بررسی نتیجه اصلاح. در ادامه، مفهوم بازاندیشی نیز به‌عنوان مؤلفه‌ای مستقل مورد توجه قرار گرفت؛ زیرا اصلاح یک محصول بدون درک علت خطا الزاماً نشان‌دهنده یادگیری پایدار نیست. در واقع، هدف این است که مشخص شود دانش‌آموز از تجربه یک خطا چه چیزی را برای عملکرد بعدی خود آموخته است.

در نتیجه این فرایند، پنج مؤلفه به‌عنوان چارچوب اولیه برای مدل پیشنهادی در نظر گرفته شدند:

تشخیص خطا → تبیین علت → اقدام اصلاحی → بازآزمایی → بازاندیشی

این پنج مؤلفه در این مرحله «نتیجه نهایی پژوهش» محسوب نمی‌شوند، بلکه به‌عنوان مقوله‌های اولیه حاصل از چارچوب نظری و مرور منابع در نظر گرفته شده‌اند و در بخش یافته‌ها با شواهد مطالعات بررسی‌شده تطبیق داده خواهند شد.

۵-۷. کنترل اعتبار تحلیل

برای افزایش اعتبار تحلیل، یافته‌های یک منبع به‌تنهایی مبنای ایجاد یک مؤلفه قرار نرفت، مگر آنکه منبع مورد نظر دارای جایگاه نظری یا پژوهشی برجسته‌ای در حوزه مربوط باشد. همچنین میان مفاهیمی که مستقیماً در مطالعات بیان شده‌اند و استنباط‌هایی که از ترکیب چند مطالعه حاصل شده‌اند، تمایز گذاشته شد.

به‌علاوه، هنگام انتقال مفاهیم عمومی یادگیری از خطا به درس کار و فناوری، ویژگی‌های خاص پروژه عملی مورد توجه قرار گرفت. برای مثال، در آموزش فناوری، فرایند طراحی و ساخت می‌تواند شامل تعامل با ابزار، مواد، نمونه اولیه و آزمون محصول باشد؛ از این‌رو، مؤلفه‌های ارزشیابی باید قابلیت مشاهده در چنین محیطی را داشته باشند.

این ملاحظه با پژوهش‌های جدید آموزش فناوری نیز همخوان است. برای نمونه، Aarnio و همکاران (2025) در مطالعه‌ای طولی درباره ارزشیابی مشارکتی در یک پروژه طراحی فناوری در مدرسه ابتدایی نشان دادند که ارزشیابی در مراحل مختلف پروژه به شکل‌های متفاوتی ظاهر می‌شود و تعامل معلم و دانش‌آموز در طول فرایند طراحی اهمیت دارد. این یافته از توجه به فرایند در کنار نتیجه نهایی پروژه حمایت می‌کند، هرچند پژوهش مذکور مستقیماً درباره یادگیری از خطا نیست.

۵-۸. ملاحظات روش‌شناختی

پژوهش حاضر از نوع مطالعه مروری - تحلیلی است؛ بنابراین، یافته‌های آن نباید به‌عنوان شواهد تجربی درباره میزان وقوع خطا یا میزان اثربخشی الگوی پیشنهادی در میان دانش‌آموزان تلقی شود. به عبارت دیگر، پژوهش حاضر ادعا نمی‌کند که مدل ارائه‌شده قبلاً در یک نمونه واقعی از دانش‌آموزان ایرانی اجرا و اعتبارسنجی شده است.

مدل پیشنهادی بر پایه تحلیل و ترکیب یافته‌های پژوهش‌های موجود و انطباق آنها با ویژگی‌های آموزشی درس کار و فناوری طراحی خواهد شد. از این‌رو، اعتبار تجربی مدل نیازمند پژوهش‌های بعدی، از جمله مطالعات میدانی، بررسی روایی محتوایی توسط متخصصان و آزمون مدل در کلاس‌های واقعی خواهد بود.

این تفکیک از نظر علمی اهمیت دارد؛ زیرا حتی در ادبیات جدید یادگیری از خطا نیز پژوهشگران بر وجود محدودیت‌های روش‌شناختی و نیاز به مطالعات بیشتر درباره پیامدهای بلندمدت و شرایط اثرگذاری تأکید کرده‌اند.

Dieterich و همکاران (2025) نیز در پایان مرور نظام‌مند خود، انجام پژوهش‌های تجربی بیشتر را برای تعیین شرایطی که تحت آنها استفاده آموزشی از خطا بیشترین اثربخشی را دارد، ضروری دانسته‌اند. در نتیجه، خروجی اصلی پژوهش حاضر یک الگوی مفهومی - کاربردی برای ارزشیابی یادگیری از طریق خطا در پروژه‌های عملی درس کار و فناوری است، نه یک ابزار استاندارد شده که اعتبار تجربی آن از پیش اثبات شده باشد. این الگو پس از تحلیل یافته‌های پژوهش‌های موجود، در بخش یافته‌ها به صورت دقیق‌تر صورت‌بندی خواهد شد و سپس محدودیت‌ها و مسیرهای اعتبارسنجی تجربی آن ارائه خواهد شد.

۶. یافته‌های پژوهش

تحلیل و ترکیب منابع بررسی‌شده نشان داد که در پروژه‌های عملی، صرف وقوع خطا نمی‌تواند به عنوان نشانه یادگیری یا یادگیری نکردن دانش آموز تفسیر شود. ارزش آموزشی خطا بیش از آنکه به خود خطا وابسته باشد، به نحوه مواجهه دانش آموز با آن، نوع پردازشی که پس از خطا انجام می‌دهد و تغییری که در عملکرد بعدی او ایجاد می‌شود، وابسته است. بر این اساس، می‌توان فرایند یادگیری از خطا را به عنوان یک فرایند چندمرحله‌ای در نظر گرفت که از مشاهده نتیجه نامطلوب آغاز می‌شود و در صورت تحقق شرایط مناسب، به تشخیص خطا، تبیین علت، اصلاح عملکرد، بازآزمایی و بازاندیشی منتهی می‌شود.

این برداشت با ادبیات جدید یادگیری از خطا همخوان است (Metcalf (2017). نشان می‌دهد که خطا زمانی می‌تواند به یادگیری منجر شود که پس از آن فرصت مناسبی برای پردازش، دریافت بازخورد و اصلاح فراهم شود. همچنین مرور جدید Narciss و Alemdag (2025) نشان می‌دهد که فرایند یادگیری از خطا تحت تأثیر عوامل فردی، شرایط محیطی، فضای حاکم بر خطا و حمایت‌های آموزشی قرار دارد. بنابراین، نمی‌توان هر خطایی را به صورت خودکار یک «فرصت یادگیری» تلقی کرد.

۶-۱. خطا به عنوان نقطه آغاز فرایند ارزشیابی

نخستین یافته حاصل از تحلیل منابع آن است که خطا در پروژه عملی می‌تواند اطلاعاتی درباره وضعیت یادگیری دانش آموز فراهم کند. هنگامی که محصول ساخته شده با هدف اولیه، نقشه، دستورالعمل یا معیار عملکرد مورد انتظار مطابقت ندارد، این عدم انطباق می‌تواند نقطه آغاز بررسی فرایند یادگیری باشد.

برای مثال، در یک پروژه ساخت، ممکن است دانش آموز اندازه‌گیری را نادرست انجام دهد، ترتیب اجرای مراحل را رعایت نکند، ابزار نامتناسب انتخاب کند یا پس از ساخت اولیه با نقص عملکردی مواجه شود. مشاهده این وضعیت به تنهایی مشخص نمی‌کند که دانش آموز چه چیزی آموخته یا نیاموخته است. آنچه ارزش ارزشیابی بیشتری دارد، واکنش دانش آموز پس از مشاهده نتیجه نامطلوب است.

از این منظر، ارزشیابی نباید صرفاً به این پرسش محدود شود که «آیا محصول درست ساخته شده است؟»، بلکه می‌تواند پرسش‌های دیگری را نیز دربرگیرد: آیا دانش آموز متوجه وجود مشکل شده است؟ آیا می‌تواند محل یا نوع خطا را مشخص کند؟ آیا می‌تواند علت احتمالی آن را توضیح دهد؟ برای اصلاح آن چه تصمیمی می‌گیرد؟ آیا اصلاح انجام شده نتیجه را تغییر می‌دهد؟ و آیا دانش آموز می‌تواند از این تجربه برای عملکرد بعدی خود استفاده کند؟ بنابراین، خطا می‌تواند از یک «نتیجه نامطلوب» به یک «منبع شواهد یادگیری» تبدیل شود؛ مشروط بر آنکه فرایند پس از خطا نیز در معرض مشاهده و ارزشیابی قرار گیرد.

۶-۲. تشخیص خطا؛ نخستین مؤلفه یادگیری از خطا

تحلیل منابع نشان داد که نخستین تمایز مهم در ارزشیابی یادگیری از خطا، تفاوت میان وقوع خطا و تشخیص خطا است. ممکن است دانش آموز در فرایند ساخت یا اجرای پروژه مرتکب خطا شود، اما تا زمانی که نتواند وجود مشکل را تشخیص دهد، شواهد محدودی از یادگیری مبتنی بر خطا در اختیار معلم قرار می‌گیرد.

تشخیص خطا می‌تواند شکل‌های مختلفی داشته باشد. دانش آموز ممکن است از طریق مشاهده مستقیم محصول، مقایسه نتیجه با نقشه یا معیار، آزمایش عملکرد، اندازه‌گیری مجدد، دریافت بازخورد از معلم یا مقایسه نتیجه با هدف اولیه متوجه مشکل شود. بنابراین، توانایی تشخیص خطا صرفاً به «دیدن خراب شدن محصول» محدود نیست، بلکه شامل توانایی مقایسه وضعیت موجود با وضعیت مورد انتظار نیز می‌شود.

در این مرحله، معلم می‌تواند به جای اعلام مستقیم پاسخ، از پرسش‌های هدایت‌کننده استفاده کند؛ برای مثال: «کدام قسمت با طرح اولیه مطابقت ندارد؟»، «نتیجه به چه دلیل با چیزی که انتظار داشتی متفاوت شده است؟» یا «اگر دوباره این مرحله را انجام دهی، کدام قسمت را بررسی می‌کنی؟»

این نوع حمایت اهمیت دارد، زیرا پژوهش‌های مربوط به یادگیری از خطا نشان داده‌اند که راهنماها و بازخوردهای مناسب می‌توانند به دانش‌آموز در شناسایی و پردازش خطا کمک کنند؛ در عین حال، حمایت آموزشی باید متناسب با سطح دانش و پیچیدگی تکلیف باشد (Dieterich et al., 2025). می‌توان این مؤلفه را با شاخص‌هایی مانند تشخیص مستقل مشکل، تعیین محل خطا، مقایسه نتیجه با معیار و بیان وجود عدم انطباق مشاهده کرد.

۳-۶. تبیین علت؛ عبور از تشخیص به فهم

دومین مؤلفه‌ای که از ترکیب یافته‌ها به دست آمد، توانایی دانش‌آموز در تبیین علت خطا است. تشخیص اینکه «کار درست نشده است» با فهمیدن اینکه «چرا درست نشده است» تفاوت دارد.

برای مثال، ممکن است دانش‌آموز مشاهده کند که دو قطعه ساخته‌شده با یکدیگر هم‌راستا نیستند. اگر صرفاً بگوید «اندازه‌ها اشتباه شده‌اند»، هنوز مشخص نیست که علت را فهمیده است. اما اگر توضیح دهد که «هنگام اندازه‌گیری نقطه شروع را درست تعیین نکردم و همین باعث شد طول قطعه دوم متفاوت شود»، شواهد دقیق‌تری از درک فرایند ارائه می‌کند.

در این مرحله، خطا به ابزاری برای آشکارشدن فرایندهای شناختی دانش‌آموز تبدیل می‌شود. بررسی علت خطا به معلم اجازه می‌دهد میان یک اشتباه اتفاقی، فقدان دانش، سوءبرداشت مفهومی، بی‌دقتی اجرایی، انتخاب نامناسب راهبرد یا مشکل در استفاده از ابزار تمایز قائل شود.

این تمایز از نظر آموزشی اهمیت زیادی دارد؛ زیرا دو دانش‌آموز ممکن است محصولی با نقص مشابه تولید کنند، اما علت خطای آنها کاملاً متفاوت باشد. بنابراین، ارزشیابی صرفاً بر اساس محصول نهایی ممکن است این تفاوت را آشکار نکند.

(Metcalf, 2017) نیز بر اهمیت پردازش خطا و بررسی فرایندهای منتهی به پاسخ نادرست تأکید می‌کند. بر این اساس، در الگوی پیشنهادی، «تبیین علت» نسبت به صرف شناسایی خطا، سطح عمیق‌تری از شواهد یادگیری محسوب می‌شود.

۴-۶. اقدام اصلاحی؛ تبدیل فهم به عمل

سومین مؤلفه، اقدام اصلاحی است. دانش‌آموز پس از تشخیص خطا و بررسی علت آن باید بتواند برای اصلاح وضعیت تصمیم بگیرد و این تصمیم را در عمل اجرا کند.

اقدام اصلاحی ممکن است شامل اندازه‌گیری مجدد، تغییر روش ساخت، تعویض ابزار یا ماده، اصلاح نقشه، تغییر ترتیب مراحل، تنظیم مجدد یک قطعه یا تکرار بخشی از فرایند باشد. نکته مهم این است که اصلاح باید با علت شناسایی‌شده ارتباط داشته باشد.

برای نمونه، اگر دانش‌آموز علت ناهماهنگی قطعات را اندازه‌گیری نادرست تشخیص داده است، صرفاً تکرار همان عملیات بدون تغییر روش، شواهد محدودی از یادگیری فراهم می‌کند. در مقابل، اگر روش اندازه‌گیری خود را اصلاح کند و از معیار یا ابزار مناسب‌تری استفاده کند، می‌توان شواهد بیشتری از تغییر راهبرد مشاهده کرد.

از این رو، در ارزشیابی پیشنهادی، سؤال اساسی فقط این نیست که «آیا دانش‌آموز خطا را اصلاح کرد؟»، بلکه باید بررسی شود که آیا اقدام اصلاحی با علت خطا ارتباط منطقی دارد یا خیر.

این موضوع با یافته‌های پژوهش‌های مربوط به یادگیری از خطا سازگار است. مرور Dieterich و همکاران (2025) نشان می‌دهد که فعالیت‌هایی مانند شناسایی، توضیح، اصلاح و بازاندیشی درباره خطا می‌توانند در شرایط مناسب به پردازش عمیق‌تر کمک کنند، هرچند میزان اثربخشی آنها به عواملی مانند دانش پیشین و سطح حمایت آموزشی وابسته است.

۵-۶. بازآزمایی؛ آزمون اثربخشی اصلاح

چهارمین مؤلفه، بازآزمایی است. در پروژه‌های عملی، اصلاح یک خطا پایان فرایند یادگیری نیست؛ زیرا دانش‌آموز باید بررسی کند که آیا اصلاح انجام‌شده واقعاً مشکل را برطرف کرده است یا خیر.

بازآزمایی می‌تواند از طریق اجرای دوباره یک مرحله، آزمایش عملکرد محصول، اندازه‌گیری مجدد، مقایسه نتیجه جدید با معیار یا بررسی نمونه اصلاح‌شده انجام شود.

اهمیت بازآزمایی از آنجا ناشی می‌شود که ممکن است دانش‌آموز علت خطا را به‌درستی تشخیص دهد اما راهکار اصلاحی مناسبی انتخاب نکند. همچنین ممکن است راهکار مناسبی انتخاب شود، اما اجرای آن همچنان با مشکل همراه باشد. بنابراین، تنها مشاهده «اقدام اصلاحی» برای قضاوت درباره یادگیری کافی نیست.

در این مرحله، معلم می‌تواند بررسی کند که آیا دانش‌آموز پس از اصلاح توانسته است:

۱. نتیجه جدید را با نتیجه قبلی مقایسه کند؛

۲. تغییر ایجادشده را تشخیص دهد؛

۳. درباره موفقیت یا ناکامی اصلاح قضاوت کند؛

۴. در صورت باقی ماندن مشکل، راهکار دیگری انتخاب کند.

به این ترتیب، بازآزمایی حلقه‌ای میان «تصمیم اصلاحی» و «نتیجه واقعی» ایجاد می‌کند و پروژه را از یک فعالیت خطی به یک فرایند تکرارشونده طراحی، آزمون و اصلاح تبدیل می‌سازد. این برداشت با ماهیت پروژه‌های طراحی و ساخت در آموزش فناوری نیز سازگار است؛ زیرا در چنین فعالیت‌هایی محصول اولیه لزوماً پایان فرایند نیست و بررسی کیفیت، اصلاح و بهبود می‌تواند بخشی از خود فرایند یادگیری باشد.

۶-۶. بازاندیشی؛ تبدیل تجربه خطا به یادگیری قابل انتقال

پنجمین مؤلفه، بازاندیشی است. تحلیل منابع نشان داد که اگر فرایند ارزشیابی در مرحله اصلاح یک محصول متوقف شود، ممکن است مشخص نباشد که دانش‌آموز از تجربه خطا چه چیزی آموخته است.

بازاندیشی به معنای بازگشت آگاهانه دانش‌آموز به تجربه خطا و پاسخ به پرسش‌هایی درباره علت، پیامد و راه جلوگیری از تکرار آن است. برای مثال، دانش‌آموز می‌تواند توضیح دهد: «چه اشتباهی رخ داد؟»، «علت اصلی چه بود؟»، «برای اصلاح آن چه کردم؟»، «آیا اصلاح مؤثر بود؟» و «اگر دوباره پروژه را انجام دهم، چه چیزی را تغییر می‌دهم؟»

بازاندیشی همچنین می‌تواند به انتقال یادگیری به موقعیت‌های بعدی منجر شود. اهمیت این مرحله در آن است که دانش‌آموز صرفاً یک خطای خاص را اصلاح نکند، بلکه از آن یک قاعده یا راهبرد برای عملکردهای آینده استخراج کند.

از این منظر، تفاوت مهمی میان اصلاح یک خطا و یادگیری از یک خطا وجود دارد. اصلاح نشان می‌دهد که وضعیت فعلی تغییر کرده است؛ اما بازاندیشی می‌تواند نشان دهد که دانش‌آموز درباره تجربه خود چه فهمی به دست آورده و چگونه قصد دارد این فهم را در فعالیت‌های بعدی به کار گیرد.

پژوهش‌های جدید درباره بازتاب‌نویسی خطا نیز نشان داده‌اند که کیفیت پردازش و بازاندیشی درباره خطا می‌تواند با کیفیت یادگیری ارتباط داشته باشد؛ بنابراین، ثبت توضیح دانش‌آموز درباره خطا می‌تواند در کنار مشاهده عملکرد عملی، به عنوان یک منبع مکمل شواهد ارزشیابی مورد استفاده قرار گیرد.

۶-۷. نقش بازخورد معلم در چرخه یادگیری از خطا

یافته دیگر پژوهش آن است که یادگیری از خطا را نمی‌توان صرفاً به ویژگی‌های فردی دانش‌آموز نسبت داد. نحوه مواجهه معلم و فضای حاکم بر کلاس نسبت به خطا نیز در شکل‌گیری رفتار دانش‌آموز پس از خطا اهمیت دارد. اگر خطا در کلاس صرفاً به عنوان نشانه ضعف، بی‌دقتی یا ناتوانی تلقی شود، احتمال دارد دانش‌آموز تلاش کند خطای خود را پنهان کند یا از تجربه دوباره و آزمون راحل‌های جدید اجتناب کند. در مقابل، اگر خطا به عنوان بخشی قابل بررسی از فرایند طراحی و یادگیری در نظر گرفته شود، دانش‌آموز فرصت بیشتری برای آشکارکردن، بررسی و اصلاح آن خواهد داشت.

مطالعه طولی Dresel و همکاران (2025) درباره کلاس‌های ریاضی نیز نشان داده است که ادراک دانش‌آموزان از «فضای خطا» با تحول سازگاری آنها در مواجهه با خطا ارتباط دارد. هرچند زمینه این پژوهش ریاضی بوده است، یافته آن برای چارچوب نظری حاضر اهمیت دارد؛ زیرا نشان می‌دهد که رفتار دانش‌آموز در برابر خطا صرفاً محصول خود خطا نیست و محیط آموزشی نیز در آن نقش دارد.

بنابراین، در الگوی پیشنهادی، نقش معلم نباید به اعلام درست یا غلط بودن محصول محدود شود. معلم می‌تواند با طرح پرسش، ارائه بازخورد هدفمند، فراهم کردن فرصت اصلاح و جلوگیری از تبدیل خطا به برجسته منفی، شرایط لازم برای تبدیل خطا به شواهد یادگیری را فراهم کند.

۶-۸. تمایز میان «خطادادن» و «یادگیری از خطا»

یکی از مهم‌ترین یافته‌های مفهومی پژوهش، ضرورت تفکیک سه وضعیت زیر است:
الف) وقوع خطا:

دانش‌آموز در فرایند پروژه به نتیجه یا عملکرد نادرست می‌رسد.

ب) اصلاح خطا:

دانش‌آموز یا با کمک معلم یا به صورت مستقل، وضعیت نادرست را تغییر می‌دهد.

ج) یادگیری از خطا:

دانش‌آموز بتواند علت خطا را بفهمد، راهبرد خود را تغییر دهد، نتیجه اصلاح را بررسی کند و از تجربه به دست آمده برای عملکرد بعدی استفاده کند.

این تمایز مانع از آن می‌شود که ارزشیابی به یک برداشت ساده‌انگارانه منجر شود؛ برای مثال، اینکه «دانش‌آموزی که خطا می‌کند، یاد گرفته است» یا برعکس، «دانش‌آموزی که خطا کرده است، یادگیری ضعیفی دارد». هر دو برداشت می‌توانند نادرست باشند. بر اساس مدل پیشنهادی، خطا یک رویداد است؛ اما یادگیری از خطا یک فرایند است.

۶-۹. الگوی پیشنهادی ارزشیابی یادگیری از طریق خطا

با ترکیب یافته‌های نظری و پژوهشی، الگوی پیشنهادی پژوهش به‌صورت یک چرخه شش مرحله‌ای صورت‌بندی شد: وقوع خطا → تشخیص خطا → تبیین علت → اقدام اصلاحی → بازآزمایی → بازاندیشی. در این مدل، «وقوع خطا» نقطه شروع فرایند است، اما خود آن امتیاز مثبت یا منفی مستقلی برای یادگیری محسوب نمی‌شود. شواهد اصلی یادگیری از مرحله تشخیص و سپس در تحلیل علت، اصلاح، بازآزمایی و بازاندیشی آشکار می‌شوند.

به‌صورت مفهومی می‌توان این مدل را چنین نمایش داد:



نکته مهم در این مدل آن است که فرایند الزاماً خطی نیست. اگر بازآزمایی نشان دهد که مشکل برطرف نشده است، دانش‌آموز می‌تواند دوباره به مرحله تحلیل علت یا اقدام اصلاحی بازگردد. بنابراین، الگو ماهیتی چرخه‌ای دارد و امکان تکرار و اصلاح چندباره را فراهم می‌کند.

۶-۱۰. ابعاد قابل مشاهده الگوی پیشنهادی

برای تبدیل الگوی مفهومی به یک الگوی قابل استفاده در ارزشیابی کلاسی، هر مرحله باید به شواهد قابل مشاهده تبدیل شود.

مؤلفه	پرسش اساسی ارزشیابی	نمونه شواهد قابل مشاهده
تشخیص خطا	آیا دانش‌آموز متوجه مشکل شده است؟	اشاره دقیق به بخش معیوب یا نتیجه نامطلوب
تبیین علت	آیا می‌تواند علت خطا را توضیح دهد؟	بیان ارتباط میان علت و نتیجه
اقدام اصلاحی	آیا راهکار متناسب انتخاب و اجرا می‌کند؟	تغییر روش، ابزار، اندازه، ترتیب یا فرایند
بازآزمایی	آیا اثربخشی اصلاح را بررسی می‌کند؟	آزمون مجدد و مقایسه نتیجه جدید با نتیجه قبلی
بازاندیشی	آیا از تجربه خطا نتیجه‌ای برای عملکرد بعدی استخراج می‌کند؟	بیان آموخته، راه جلوگیری از تکرار یا راهبرد جدید

این جدول نشان می‌دهد که الگوی پیشنهادی می‌تواند ارزشیابی را از «محصول نهایی» به سمت مجموعه‌ای از شواهد فرایندی گسترش دهد. چنین رویکردی با ماهیت فعالیت‌های پروژه‌ای سازگارتر است؛ زیرا در پروژه عملی، بخشی از یادگیری ممکن است در تصمیم‌هایی آشکار شود که پیش از دستیابی به محصول نهایی اتخاذ شده‌اند.

۶-۱۱. جمع‌بندی یافته‌ها

در مجموع، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که ظرفیت آموزشی خطا در پروژه‌های عملی درس کار و فناوری را باید در فرایند مواجهه با خطا جست‌وجو کرد، نه صرفاً در وجود یا نبود خطا. دانش‌آموزی که خطا را تشخیص می‌دهد، علت آن را توضیح می‌دهد، راهکار اصلاحی متناسب انتخاب می‌کند، نتیجه اصلاح را بازآزمایی می‌کند و درباره تجربه خود بازاندیشی می‌کند، شواهد کامل‌تری از یادگیری در اختیار معلم قرار می‌دهد. بر این اساس، الگوی پیشنهادی پژوهش از پنج مؤلفه اصلی تشکیل می‌شود:

۱. تشخیص خطا
۲. تبیین علت
۳. اقدام اصلاحی
۴. بازآزمایی
۵. بازاندیشی

این مؤلفه‌ها باید در ارزشیابی به‌صورت پیوسته و مرتبط با یکدیگر دیده شوند. به بیان دیگر، هدف ارزشیابی این نیست که برای «اشتباه کردن» دانش‌آموز امتیاز مثبت در نظر گرفته شود، بلکه باید بررسی شود که دانش‌آموز پس از مواجهه با خطا چه می‌کند و از آن چه می‌آموزد.

از این منظر، الگوی حاضر می‌تواند مبنایی برای طراحی ابزارهای ارزشیابی فرایندی، چک‌لیست مشاهده، سیاهه ثبت خطا، گزارش کوتاه دانش‌آموز از فرایند اصلاح، پوشه کار پروژه و روبریک‌های ارزشیابی قرار گیرد. البته اعتبارسنجی تجربی این ابزارها و تعیین وزن دقیق هر مؤلفه، نیازمند پژوهش‌های میدانی بعدی است و در چارچوب پژوهش حاضر به‌عنوان نتیجه قطعی تلقی نمی‌شود.

۷. بحث و تفسیر یافته‌ها

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که خطا در پروژه‌های عملی درس کار و فناوری را نمی‌توان صرفاً به‌عنوان نتیجه‌ای نامطلوب و نشانه‌ای از ضعف عملکرد دانش‌آموز در نظر گرفت. ارزش آموزشی خطا به فرایندی وابسته است که پس از وقوع آن شکل می‌گیرد. بر اساس الگوی به‌دست‌آمده، هنگامی که دانش‌آموز بتواند خطا را تشخیص دهد، علت آن را تبیین کند، برای اصلاح آن اقدام کند، نتیجه اصلاح را بازآزمایی کند و درباره تجربه خود بازاندیشی نماید، خطا می‌تواند به منبعی برای تولید شواهد یادگیری تبدیل شود.

این برداشت با دیدگاه (Metcalfe (2017 درباره یادگیری از خطا همسو است. بر اساس این دیدگاه، خطا به خودی خود تضمین‌کننده یادگیری نیست و بهره‌گیری آموزشی از آن به فرایندهای پس از خطا، از جمله پردازش، بازخورد و اصلاح، وابسته است. همچنین یافته‌های مرور Narciss و Alemdag (2025) نشان می‌دهد که یادگیری از خطا پدیده‌ای چندعاملی است و عواملی مانند ویژگی‌های یادگیرنده، فضای حاکم بر خطا، تعامل آموزشی و نوع حمایت ارائه‌شده می‌توانند در نتیجه آن نقش داشته باشند.

۷-۱. تفاوت الگوی پیشنهادی با ارزشیابی محصول‌محور

یکی از مهم‌ترین دلالت‌های یافته‌های پژوهش، ضرورت بازنگری در نسبت میان «محصول» و «فرایند» در ارزشیابی پروژه‌های عملی است. در ارزشیابی محصول‌محور، بخش عمده قضاوت معلم بر اساس کیفیت نتیجه نهایی صورت می‌گیرد؛ برای مثال، اینکه محصول ساخته‌شده تا چه اندازه با معیار مورد انتظار مطابقت دارد، آیا درست کار می‌کند و آیا ویژگی‌های تعیین‌شده را دارد.

این نوع ارزشیابی برای بررسی کیفیت محصول ضروری است، اما به‌تنهایی نمی‌تواند تمام شواهد یادگیری دانش‌آموز را آشکار کند. ممکن است دو دانش‌آموز به محصولی با کیفیت مشابه دست پیدا کنند، در حالی که یکی از آنها در طول مسیر چندین بار خطای خود را تشخیص داده و با آزمون و اصلاح به نتیجه رسیده باشد و دیگری بدون درک فرایند، صرفاً از راهنمایی مستقیم دیگران استفاده کرده باشد. همچنین ممکن است محصول نهایی دانش‌آموزی به دلیل یک خطای اجرایی کوچک دچار نقص شود، در حالی که او در تشخیص، تحلیل و اصلاح خطا عملکرد مناسبی داشته است. از این‌رو، یافته‌های پژوهش حاضر از حرکت از ارزشیابی صرفاً به سوی ارزشیابی فرایند رسیدن به نتیجه حمایت می‌کند. در این رویکرد، محصول نهایی همچنان اهمیت خود را حفظ می‌کند، اما تنها منبع قضاوت درباره یادگیری نیست.

این برداشت با مطالعات مربوط به یادگیری پروژه‌محور نیز سازگار است Guo و همکاران (2020) در مرور خود درباره یادگیری پروژه‌محور نشان دادند که برای سنجش پیامدهای یادگیری پروژه‌ای، از مجموعه‌ای از روش‌ها مانند مشاهده، روبریک، مصاحبه، خودبازتابی و بررسی محصولات استفاده شده است. بنابراین، ماهیت چندبعدی پروژه‌های عملی، استفاده از شواهد چندگانه را توجیه می‌کند.

۷-۲. چرا «خطا» نباید مستقیماً به نمره منفی تبدیل شود؟

یکی از پیامدهای مهم الگوی پیشنهادی، بازنگری در شیوه برخورد ارزشیابی با خطا است. منظور از این الگو حذف خطا از معیارهای ارزشیابی یا اعطای امتیاز مثبت صرفاً به دلیل اشتباه‌کردن نیست. چنین برداشتی می‌تواند مفهوم یادگیری از خطا را تحریف کند. آنچه باید مورد ارزشیابی قرار گیرد، کیفیت مواجهه دانش‌آموز با خطا است. برای مثال، دانش‌آموزی که متوجه می‌شود اندازه‌گیری او نادرست بوده، علت را پیدا می‌کند، روش اندازه‌گیری را اصلاح می‌کند و سپس نتیجه جدید را بررسی می‌کند، شواهدی از یادگیری ارائه می‌دهد که در تعداد خطاهای اولیه او قابل مشاهده نیست. در مقابل، دانش‌آموزی ممکن است خطایی را بارها تکرار کند، اما علت آن را تشخیص ندهد یا صرفاً منتظر بماند تا معلم روش صحیح را برای او انجام دهد. در چنین وضعیتی، صرف وقوع خطا نباید به عنوان شواهد یادگیری تلقی شود. بنابراین، پیشنهاد پژوهش حاضر آن است که در ارزشیابی پروژه، میان «وجود خطا» و «نحوه مدیریت و پردازش خطا» تمایز گذاشته شود.

۷-۳. اهمیت تشخیص علت خطا در قضاوت درباره یادگیری

یافته‌های پژوهش نشان داد که یکی از نقاط تمایز مهم میان اصلاح سطحی و یادگیری عمیق، توانایی دانش‌آموز در توضیح علت خطاست. اگر دانش‌آموز تنها نتیجه نامطلوب را مشاهده کند و با آزمون‌های تصادفی به نتیجه بهتر برسد، مشخص نیست که آیا رابطه میان علت و پیامد را درک کرده است یا خیر. در مقابل، توضیح علت خطا می‌تواند به معلم اجازه دهد فرایند تفکر دانش‌آموز را بهتر بشناسد. برای مثال، در یک پروژه ساخت، ممکن است نقص محصول ناشی از اندازه‌گیری نادرست، انتخاب ابزار نامناسب، درک نادرست دستورالعمل، بی‌دقتی در اجرای یک مرحله یا تصمیم طراحی نامناسب باشد. تشخیص این تفاوت‌ها برای آموزش بعدی اهمیت دارد. در نتیجه، در الگوی پیشنهادی، «تبیین علت» صرفاً یک فعالیت نوشتاری نیست، بلکه یکی از منابع مهم برای شناخت کیفیت یادگیری محسوب می‌شود. این بخش از مدل همچنین با ادبیات یادگیری از خطا همخوان است که بر اهمیت پردازش و توضیح خطای رخ داده تأکید می‌کند. (Metcalf, 2017; Narciss & Alemdag, 2025)

۷-۴. بازخورد؛ شرط تسهیل‌کننده، نه جایگزین تفکر دانش‌آموز

تفسیر یافته‌ها نشان می‌دهد که نقش معلم در این مدل از «تصحیح‌کننده خطا» به «تسهیل‌کننده فرایند اصلاح» تغییر می‌کند. اگر معلم بلافاصله پس از مشاهده خطا پاسخ صحیح را ارائه کند و خود او تمام مراحل اصلاح را انجام دهد، ممکن است محصول نهایی بهبود یابد، اما فرصت دانش‌آموز برای تحلیل خطا و تصمیم‌گیری کاهش پیدا کند. بنابراین، بازخورد مناسب در الگوی پیشنهادی لزوماً به معنای ارائه پاسخ نهایی نیست. در برخی موقعیت‌ها، پرسش هدایت‌کننده می‌تواند از اعلام مستقیم راحل آموزشی‌تر باشد؛ برای مثال: «کدام اندازه با نقشه مطابقت ندارد؟»، «چه چیزی باعث شده این قسمت درست جا نیفتد؟» یا «اگر بخواهی فقط یک مرحله را دوباره بررسی کنی، کدام مرحله را انتخاب می‌کنی؟» البته این موضوع به معنای نفی آموزش مستقیم یا بازخورد اصلاحی نیست. نوع و میزان حمایت باید با سطح دانش دانش‌آموز و پیچیدگی فعالیت متناسب باشد. مرور Dieterich و همکاران (2025) نیز نشان می‌دهد که راهنماها و بازخوردهای مرتبط با خطا می‌توانند به یادگیری کمک کنند، اما اثر آنها به شرایط آموزشی وابسته است. بنابراین، می‌توان گفت نقش بازخورد در این الگو، فعال‌کردن فرایند تشخیص و اصلاح است، نه اینکه الزاماً جایگزین آن شود.

۷-۵. بازآزمایی و شکل‌گیری چرخه حل مسئله

یکی دیگر از دلالت‌های مهم یافته‌ها این است که پروژه عملی نباید به صورت فرایندی خطی از «دستورالعمل → اجرا → محصول نهایی» دیده شود. وجود خطا این امکان را ایجاد می‌کند که پروژه به چرخه‌ای از طراحی، اجرا، آزمون، تشخیص مشکل، اصلاح و آزمون مجدد تبدیل شود. این چرخه از نظر آموزشی اهمیت دارد، زیرا دانش‌آموز را از اجرای منفعل دستورالعمل به سمت حل مسئله هدایت می‌کند. در چنین شرایطی، دانش‌آموز باید بر اساس شواهد حاصل از عملکرد محصول تصمیم بگیرد که چه چیزی را تغییر دهد و آیا تغییر انجام‌شده نتیجه مطلوب ایجاد کرده است یا خیر.

به همین دلیل، «بازآزمایی» در الگوی پیشنهادی جایگاه مستقلی دارد. بدون بازآزمایی، ممکن است اصلاح صرفاً یک تغییر ظاهری باشد و مشخص نباشد که آیا مشکل اصلی برطرف شده است. این ویژگی با ماهیت آموزش فناوری و طراحی مهندسی نیز همخوانی دارد؛ زیرا طراحی و ساخت معمولاً فرایندی تکرار شونده است که در آن راحل اولیه می‌تواند مورد آزمون و بازنگری قرار گیرد.

۷-۶. بازاندیشی و تبدیل تجربه به یادگیری قابل انتقال

یافته‌های پژوهش همچنین نشان می‌دهد که اگر هدف از پروژه فقط تولید یک محصول باشد، ممکن است بخش مهمی از یادگیری حاصل از تجربه خطا از دست برود. دانش‌آموز ممکن است محصول خود را اصلاح کند، اما نتواند توضیح دهد که چه چیزی باعث ایجاد مشکل شده و چگونه می‌تواند از تکرار آن جلوگیری کند. بازاندیشی می‌تواند این شکاف را کاهش دهد. هنگامی که دانش‌آموز تجربه خود را مرور می‌کند، می‌تواند میان اقدام، نتیجه و اصلاح ارتباط برقرار کند. برای مثال، ممکن است پس از یک پروژه به این نتیجه برسد که «قبل از برش، باید اندازه‌ها را دوباره کنترل کنم» یا «وقتی ابزار جدیدی استفاده می‌کنم، ابتدا باید روش استفاده از آن را بررسی کنم». چنین گزاره‌هایی از جنس یادگیری قابل انتقال هستند؛ زیرا محدود به همان خطای خاص نیستند و می‌توانند در فعالیت‌های بعدی مورد استفاده قرار گیرند. از این منظر، بازاندیشی را می‌توان حلقه‌ای دانست که تجربه عملی را به دانش قابل استفاده در موقعیت‌های آینده متصل می‌کند.

۷-۷. جایگاه فضای خطا در کلاس کار و فناوری

یکی از نکات مهم در تفسیر یافته‌ها، نقش فرهنگ و فضای کلاس در امکان پذیرش مدل پیشنهادی است. اگر دانش‌آموز احساس کند هر خطا بلافاصله موجب سرزنش، تمسخر یا کاهش شدید نمره خواهد شد، ممکن است به جای آشکارکردن خطا، آن را پنهان کند یا از آزمودن راحل‌های جدید خودداری نماید. در مقابل، وجود فضایی که در آن خطا قابل بررسی و اصلاح باشد، می‌تواند مشارکت دانش‌آموز در فرایند حل مسئله را افزایش دهد. البته «پذیرش خطا» به معنای بی‌اهمیت دانستن دقت یا کیفیت عملکرد نیست؛ بلکه به معنای ایجاد شرايطی است که دانش‌آموز بتواند خطا را آشکار کند، علت آن را بررسی کند و برای اصلاح آن مسئولیت بپذیرد. Dresel و همکاران (2025) نیز در یک مطالعه طولی، ارتباط میان ادراک دانش‌آموزان از فضای خطا و رشد سازگاری آنان در مواجهه با خطا را بررسی کرده‌اند. هرچند زمینه مطالعه آنان کلاس ریاضی بوده است، این یافته می‌تواند برای درس کار و فناوری نیز به عنوان یک اصل قابل توجه در طراحی محیط یادگیری در نظر گرفته شود.

۷-۸. دلالت‌های الگو برای ارزشیابی معلم در درس کار و فناوری

الگوی پیشنهادی می‌تواند شیوه مشاهده و ثبت عملکرد دانش‌آموز توسط معلم را نیز تغییر دهد. به جای اینکه معلم تنها در پایان پروژه درباره کیفیت محصول قضاوت کند، می‌تواند در نقاط حساس پروژه شواهد فرایندی را ثبت کند. برای نمونه، معلم می‌تواند هنگام مشاهده یک خطا، ابتدا ثبت کند که آیا دانش‌آموز خود متوجه آن شده است یا خیر. سپس مشخص کند آیا دانش‌آموز قادر به توضیح علت بوده، چه راهکاری برای اصلاح انتخاب کرده و آیا نتیجه اصلاح را بررسی کرده است.

این رویکرد می‌تواند به طراحی یک رویکرد ارزشیابی یادگیری از خطا منجر شود. در چنین رویکردی، هر یک از پنج مؤلفه مدل می‌تواند در چند سطح عملکردی تعریف شود؛ برای مثال:

- سطح پایین: دانش‌آموز خطا را تشخیص نمی‌دهد یا صرفاً پس از اعلام معلم واکنش نشان می‌دهد.
- سطح متوسط: خطا را با کمک تشخیص می‌دهد و برای اصلاح اقدام می‌کند، اما در توضیح علت یا ارزیابی نتیجه نیازمند حمایت است.
- سطح مطلوب: خطا را به صورت مستقل تشخیص می‌دهد، علت را توضیح می‌دهد، راهکار متناسب انتخاب می‌کند و نتیجه اصلاح را بررسی می‌کند.
- سطح پیشرفته: علاوه بر موارد فوق، از تجربه خطا برای پیش‌بینی و جلوگیری از خطاهای مشابه در فعالیت‌های بعدی استفاده می‌کند.

این سطوح در این پژوهش به عنوان نمونه‌ای برای عملیاتی‌سازی مدل پیشنهاد می‌شوند و تعیین روایی، پایایی و وزن نهایی آنها نیازمند پژوهش‌های تجربی بعدی است.

۷-۹. قابلیت استفاده از شواهد چندگانه در ارزشیابی

تفسیر یافته‌ها همچنین نشان می‌دهد که برای ارزشیابی یادگیری از خطا، اتکا به یک منبع اطلاعاتی کافی نیست. مشاهده مستقیم عملکرد دانش‌آموز می‌تواند نشان دهد که او چگونه با خطا مواجه می‌شود؛ توضیح شفاهی یا کتبی می‌تواند فرایند استدلال او را آشکار کند؛ و محصول اصلاح‌شده می‌تواند نتیجه اقدامات اصلاحی را نشان دهد.

از این رو، می‌توان سه دسته شواهد را در کنار یکدیگر قرار داد: شواهد عملکردی: آنچه دانش‌آموز هنگام کار انجام می‌دهد؛ شواهد توضیحی: آنچه دانش‌آموز درباره خطا و علت آن بیان می‌کند؛ شواهد محصولی: تغییر ایجادشده در محصول پس از اصلاح و بازآزمایی. ترکیب این شواهد می‌تواند تصویر دقیق‌تری از یادگیری ایجاد کند. چنین رویکردی با ماهیت چندبعدی ارزشیابی یادگیری پروژه‌محور نیز همخوان است؛ زیرا در پروژه‌های عملی، یک محصول نهایی معمولاً تمام فرایند یادگیری را آشکار نمی‌کند. (Guo et al., 2020)

۷-۱۰. تفاوت «یادگیری از خطا» با «تجربه شکست»

یکی از نکات نظری مهمی که از یافته‌های پژوهش به دست می‌آید، ضرورت تفکیک میان یادگیری از خطا و مفهوم گسترده‌تر شکست است. شکست ممکن است به معنای نرسیدن به نتیجه مورد انتظار باشد، در حالی که خطا می‌تواند به یک اقدام، تصمیم یا مرحله مشخص از فرایند اشاره داشته باشد. همه تجربه‌های شکست نیز الزاماً به یادگیری منجر نمی‌شوند. پژوهش‌های مرتبط با «شکست مولد» نشان داده‌اند که اثربخشی تجربه شکست به شرایط آموزشی و نحوه حمایت از یادگیرنده وابسته است و نمی‌توان فرض کرد که قرار گرفتن دانش‌آموز در موقعیت شکست، خودبه‌خود موجب یادگیری عمیق می‌شود (Nachtigall et al., 2020; Margulieux et al., 2025).

بنابراین، در درس کار و فناوری نیز هدف نباید ایجاد عمدی شکست برای دانش‌آموز باشد. هدف آن است که خطاهای طبیعی و اجتناب‌ناپذیر فرایند طراحی و ساخت، به فرصت‌هایی برای تشخیص، اصلاح و یادگیری تبدیل شوند. این تمایز از نظر عملی بسیار مهم است؛ زیرا الگوی پیشنهادی از معلم نمی‌خواهد عمداً پروژه را دشوار یا شکست‌زا طراحی کند، بلکه از او می‌خواهد هنگام وقوع خطا، از ظرفیت آموزشی آن استفاده کند.

۷-۱۱. نسبت الگوی پیشنهادی با ماهیت درس کار و فناوری

یکی از دلایل تناسب الگوی حاضر با درس کار و فناوری، ماهیت فرایندی این درس است. در فعالیت‌های طراحی و ساخت، دانش‌آموز با مسئله‌ای مواجه می‌شود، راحل پیشنهاد می‌دهد، آن را اجرا می‌کند، نتیجه را مشاهده می‌کند و در صورت نیاز تغییر ایجاد می‌کند. بنابراین، خطا در بسیاری از پروژه‌ها بخشی طبیعی از مسیر رسیدن به راحل است. از این منظر، الگوی پیشنهادی درصدد وارد کردن یک مفهوم کاملاً بیگانه به درس کار و فناوری نیست؛ بلکه تلاش می‌کند یکی از رخدادهای طبیعی پروژه، یعنی خطا، را به شکل منظم‌تری وارد فرایند ارزشیابی کند. این نکته با اسناد آموزشی مرتبط با درس کار و فناوری نیز سازگار است که بر اهمیت فرایند طراحی و ساخت، کنترل کیفیت محصول، اصلاح و مستندسازی فعالیت پروژه تأکید دارند. بنابراین، مدل حاضر می‌تواند به‌عنوان تکمیل‌کننده رویکرد فرایندمحور موجود در آموزش کار و فناوری در نظر گرفته شود، نه جایگزینی کامل برای ارزشیابی محصول یا معیارهای رسمی درس.

۷-۱۲. جمع‌بندی بحث

در مجموع، بحث یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که ارزش آموزشی خطا در پروژه‌های عملی نه در «اشتباه کردن» بلکه در فرایند مواجهه آگاهانه با اشتباه قرار دارد. دانش‌آموز زمانی شواهد قوی‌تری از یادگیری ارائه می‌کند که بتواند میان نتیجه نامطلوب و علت آن ارتباط برقرار کند، راهکار اصلاحی انتخاب کند، اثربخشی آن را بیازماید و از تجربه حاصل برای عملکرد آینده استفاده نماید.

بر این اساس، الگوی پیشنهادی پژوهش را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

خطا → تشخیص → تبیین → اصلاح → بازآزمایی → بازاندیشی → شواهد یادگیری

این الگو دو تغییر اساسی در نگاه به ارزشیابی پروژه ایجاد می‌کند: نخست، توجه به فرایند در کنار محصول؛ و دوم، تبدیل خطا از یک صرفاً «نقص عملکرد» به یک «منبع بالقوه شواهد یادگیری». بالاین‌حال، تحقق این ظرفیت به شرایطی مانند بازخورد مناسب، فرصت اصلاح، فضای مناسب کلاس و مشارکت فعال دانش‌آموز وابسته است.

در نتیجه، الگوی حاضر را باید یک چارچوب مفهومی - کاربردی دانست که می‌تواند مبنای طراحی ابزارهای ارزشیابی و مطالعات میدانی آینده قرار گیرد. آزمون تجربی این مدل در کلاس‌های واقعی کار و فناوری می‌تواند در پژوهش‌های بعدی مشخص کند که کدام مؤلفه‌ها از قدرت تمایزبخشی بیشتری برخوردارند و چگونه می‌توان برای آنها معیارهای دقیق و قابل اعتماد ارزشیابی تدوین کرد.

۸. نتیجه‌گیری و الگوی نهایی ارزشیابی یادگیری از طریق خطا

پژوهش حاضر با هدف واکاوی خطاهای دانش‌آموزان در انجام پروژه‌های عملی درس کار و فناوری و ارائه الگویی برای ارزشیابی یادگیری از طریق خطا انجام شد. بررسی و ترکیب مطالعات مرتبط نشان داد که خطا در فعالیت‌های عملی را نمی‌توان صرفاً به‌عنوان نشانه‌ای از ضعف یا عدم موفقیت دانش‌آموز تلقی کرد. در محیطی که دانش‌آموز درگیر طراحی، ساخت، آزمون و اصلاح است، بروز خطا می‌تواند بخشی طبیعی از فرایند حل مسئله باشد. باین‌حال، صرف وقوع خطا نیز به معنای یادگیری نیست؛ ارزش آموزشی آن به نحوه مواجهه دانش‌آموز با خطا وابسته است. یافته‌های پژوهش نشان داد که می‌توان این فرایند را در قالب پنج مؤلفه اصلی صورت‌بندی کرد: تشخیص خطا، تبیین علت، اقدام اصلاحی، بازآزمایی و بازاندیشی. این مؤلفه‌ها در کنار یکدیگر چرخه‌ای را شکل می‌دهند که در آن خطای اولیه به فرصتی برای تولید شواهد یادگیری تبدیل می‌شود. بر این اساس، الگوی نهایی پژوهش به شکل زیر پیشنهاد می‌شود: پروژه عملی → اجرا → مشاهده نتیجه → تشخیص خطا → تبیین علت → اقدام اصلاحی → بازآزمایی → بازاندیشی → شواهد یادگیری. در این الگو، «وقوع خطا» خود معیار ارزشیابی نیست؛ بلکه نقطه آغاز فرایندی است که می‌تواند شواهد ارزشمندی درباره یادگیری فراهم کند.

۸-۱. مؤلفه نخست: تشخیص خطا

در مرحله نخست، دانش‌آموز باید بتواند وجود یک مشکل یا عدم انطباق را در عملکرد یا محصول خود تشخیص دهد. این تشخیص می‌تواند از طریق مشاهده، اندازه‌گیری، آزمایش، مقایسه با نقشه یا معیار، یا بررسی عملکرد محصول انجام شود. در ارزشیابی این مرحله، میزان وابستگی دانش‌آموز به معلم اهمیت دارد. دانش‌آموزی که بدون اعلام مستقیم معلم متوجه مشکل می‌شود، شواهد بیشتری از خودنظارتی و پایش عملکرد ارائه می‌کند. شواهد قابل ارزشیابی:

- تشخیص وجود مشکل؛
- تعیین محل یا مرحله وقوع خطا؛
- مقایسه نتیجه با معیار مورد انتظار؛
- اعلام مستقل خطا به معلم یا گروه.

۸-۲. مؤلفه دوم: تبیین علت خطا

پس از تشخیص، دانش‌آموز باید بتواند علت احتمالی خطا را بررسی و توضیح دهد. این مرحله اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا تفاوت میان «دیدن مشکل» و «فهمیدن مشکل» را مشخص می‌کند. تبیین علت الزاماً نباید همیشه کاملاً صحیح و قطعی باشد. در پروژه‌های پیچیده ممکن است دانش‌آموز ابتدا فرضیه‌ای درباره علت ایجاد کند و سپس آن را از طریق آزمون بررسی نماید. بنابراین، آنچه اهمیت دارد، وجود یک استدلال قابل دفاع و ارتباط منطقی میان علت پیشنهادی و نتیجه مشاهده‌شده است. شواهد قابل ارزشیابی:

- بیان علت احتمالی؛
- ارتباط دادن علت با نتیجه؛
- ارائه شواهد برای توضیح خود؛
- اصلاح فرضیه علت در صورت ناکافی بودن آن.

۸-۳. مؤلفه سوم: اقدام اصلاحی

در این مرحله، دانش‌آموز باید بر اساس تشخیص و تحلیل خود، برای رفع مشکل اقدام کند. اصلاح می‌تواند شامل تغییر روش، ابزار، اندازه، ماده، ترتیب مراحل یا بخشی از طرح باشد. نکته اساسی این است که اقدام اصلاحی باید با علت تشخیص داده‌شده تناسب داشته باشد. بنابراین، معلم نباید صرفاً نتیجه نهایی را بررسی کند، بلکه باید منطق انتخاب راهکار را نیز مورد توجه قرار دهد. شواهد قابل ارزشیابی:

- انتخاب راهکار متناسب با علت؛
- اجرای مستقل یا نسبتاً مستقل اصلاح؛
- تغییر آگاهانه در روش یا فرایند؛
- توانایی توضیح دلیل انتخاب راهکار.

۸-۴. مؤلفه چهارم: بازآزمایی

اصلاح زمانی ارزش بیشتری به عنوان شواهد یادگیری دارد که دانش آموز بتواند نتیجه آن را بررسی کند. از این رو، در الگوی حاضر، بازآزمایی بخش جدایی ناپذیر فرایند ارزشیابی است. در این مرحله، دانش آموز نتیجه جدید را با نتیجه قبلی یا معیار مورد انتظار مقایسه می کند و مشخص می سازد که آیا اقدام اصلاحی موفق بوده است یا خیر. شواهد قابل ارزشیابی:

- اجرای دوباره مرحله یا آزمون محصول؛
- مقایسه قبل و بعد از اصلاح؛
- تشخیص موفقیت یا ناکامی راهکار؛
- انتخاب راهکار جدید در صورت برطرف نشدن مشکل.

۸-۵. مؤلفه پنجم: بازاندیشی

در آخرین مرحله، دانش آموز تجربه خود را مرور می کند و از آن برای عملکرد آینده نتیجه می گیرد. بازاندیشی می تواند شفاهی، کتبی یا در قالب گزارش پروژه انجام شود. در این مرحله، پرسش اصلی این است که آیا دانش آموز توانسته است تجربه یک خطای مشخص را به یک یادگیری قابل استفاده در موقعیت های بعدی تبدیل کند. شواهد قابل ارزشیابی:

- بیان آموخته حاصل از خطا؛
- توضیح اینکه در فعالیت بعدی چه چیزی تغییر خواهد کرد؛
- ارائه راهکار برای جلوگیری از تکرار خطای مشابه؛
- انتقال آموخته به یک موقعیت جدید.

۸-۶. روبریک پیشنهادی برای ارزشیابی یادگیری از طریق خطا

بر اساس پنج مؤلفه فوق، می توان یک روبریک چهارسطحی اولیه برای استفاده معلم طراحی کرد. این روبریک در پژوهش حاضر به عنوان چارچوب پیشنهادی ارائه می شود و برای استفاده رسمی، نیازمند اعتبارسنجی تجربی است.

سطح ۴: پیشرفته	سطح ۳: مطلوب	سطح ۲: در حال شکل گیری	سطح ۱: نیازمند حمایت زیاد	مؤلفه
علاوه بر تشخیص، عدم انطباق های احتمالی را پیش بینی می کند	به طور مستقل تشخیص می دهد	با راهنمایی تشخیص می دهد	خطا را تشخیص نمی دهد	تشخیص خطا
علت را با شواهد بررسی و فرضیه خود را اصلاح می کند	علت منطقی و قابل دفاع ارائه می کند	توضیح ناقص یا غیرمستند ارائه می کند	علت را نمی تواند توضیح دهد	تبیین علت
چند راهکار را مقایسه و مناسب ترین را انتخاب می کند	راهکار متناسب را انتخاب و اجرا می کند	با کمک راهکار را اجرا می کند	منتظر راحل آماده است	اقدام اصلاحی
نتیجه را مقایسه و بر اساس شواهد تصمیم بعدی می گیرد	اثر بخشی اصلاح را بررسی می کند	با راهنمایی آزمون مجدد انجام می دهد	نتیجه اصلاح را بررسی نمی کند	بازآزمایی
آموخته را به موقعیت جدید تعمیم می دهد	آموخته مشخص و قابل استفاده بیان می کند	آموخته ای کلی بیان می کند	از تجربه نتیجه مشخصی استخراج نمی کند	بازاندیشی

این روبریک یک نکته مهم را نیز روشن می کند: دانش آموزی که بیشترین خطا را مرتکب شده، الزاماً پایین ترین سطح یادگیری را ندارد و دانش آموزی که کمترین خطا را داشته، الزاماً بالاترین سطح یادگیری را نشان نمی دهد. معیار اصلی، کیفیت فرایند مواجهه با خطاست.

۸-۷. شیوه پیشنهادی استفاده معلم از الگو

برای استفاده عملی از این مدل، معلم می تواند در طول اجرای پروژه، به جای ارزیابی صرفاً نهایی، نقاط کنترل مشخصی در فرایند ایجاد کند.

برای مثال، در یک پروژه ساخت می توان فرایند را به چهار نقطه مشاهده تقسیم کرد: نقطه اول: طراحی

بررسی درک مسئله، طرح اولیه و پیش بینی مشکلات احتمالی.

نقطه دوم: اجرای اولیه
مشاهده نحوه استفاده از ابزار و مواد و تصمیم‌های دانش‌آموز.
نقطه سوم: مواجهه با خطا
ثبت نحوه تشخیص، تحلیل علت و انتخاب راهکار اصلاحی.
نقطه چهارم: پس از اصلاح
بررسی بازآزمایی، نتیجه اصلاح و بازاندیشی دانش‌آموز.
این روش باعث می‌شود ارزشیابی در دل فرایند یادگیری قرار گیرد و صرفاً به پایان پروژه موقوف نشود.

۸-۸. پیشنهاد برای مستندسازی خطا

یکی از راه‌های عملیاتی‌کردن مدل، استفاده از «برگه ثبت خطا و اصلاح» در کنار پروژه است. این برگه می‌تواند بسیار کوتاه باشد و دانش‌آموز پس از مواجهه با یک خطای مهم، اطلاعات زیر را ثبت کند:

۱. چه مشکلی ایجاد شد؟
۲. فکر می‌کنم علت آن چه بود؟
۳. برای اصلاح چه کاری انجام دادم؟
۴. نتیجه اصلاح چه شد؟
۵. اگر دوباره پروژه را انجام دهم، چه چیزی را تغییر می‌دهم؟

این ابزار می‌تواند در کنار مشاهده مستقیم معلم قرار گیرد و به ثبت شواهدی کمک کند که از طریق مشاهده محصول نهایی قابل دستیابی نیستند.

۸-۹. جایگاه محصول نهایی در الگوی پیشنهادی

الگوی حاضر به معنای حذف ارزشیابی محصول نیست. کیفیت محصول همچنان یکی از مؤلفه‌های مهم ارزشیابی پروژه‌های عملی است. تفاوت در این است که محصول نهایی دیگر تنها منبع قضاوت درباره یادگیری دانش‌آموز محسوب نمی‌شود. به‌صورت مفهومی می‌توان ارزشیابی را به سه بخش مرتبط تقسیم کرد:

کیفیت محصول + کیفیت فرایند + کیفیت یادگیری از خطا

در این چارچوب، محصول نشان می‌دهد دانش‌آموز در نهایت به چه نتیجه‌ای رسیده است؛ فرایند نشان می‌دهد چگونه به آن نتیجه رسیده و یادگیری از خطا نشان می‌دهد چگونه از مشکلات و عدم موفقیت‌های میان مسیر برای بهبود عملکرد خود استفاده کرده است.

این ترکیب می‌تواند تصویر جامع‌تری از عملکرد دانش‌آموز ایجاد کند.

۸-۱۰. نوآوری و ارزش افزوده الگوی پیشنهادی

ارزش افزوده اصلی الگوی پیشنهادی در ایجاد پیوند میان سه حوزه‌ای است که معمولاً جدا از یکدیگر بررسی می‌شوند: یادگیری از خطا، پروژه‌های عملی و ارزشیابی یادگیری.

بخش قابل توجهی از ادبیات یادگیری از خطا، خطا را در زمینه‌هایی مانند یادگیری مفاهیم، حل مسئله یا استفاده از نمونه‌های خطادار بررسی کرده است. در مقابل، ادبیات آموزش پروژه‌محور بیشتر بر محصول، فرایند پروژه، همکاری و پیامدهای یادگیری تمرکز داشته است. پژوهش حاضر تلاش می‌کند این دو حوزه را در زمینه مشخص پروژه‌های عملی درس کار و فناوری به یکدیگر متصل کند.

از این منظر، نوآوری مقاله را نباید در ادعای «کشف مفهوم جدید خطا» دانست؛ بلکه ارزش آن در صورت‌بندی یک چارچوب ارزشیابی متناسب با ویژگی‌های پروژه عملی درس کار و فناوری است؛ چارچوبی که خطا را از یک نتیجه صرفاً منفی به یک منبع بالقوه برای مشاهده و قضاوت درباره یادگیری تبدیل می‌کند.

۸-۱۱. محدودیت‌های الگوی پیشنهادی

الگوی حاضر با وجود ظرفیت کاربردی، محدودیت‌هایی دارد که باید در تفسیر نتایج مورد توجه قرار گیرد. نخست، مدل بر پایه تحلیل منابع و ترکیب مفهومی آنها شکل گرفته و هنوز در یک نمونه واقعی از کلاس‌های درس کار و فناوری به‌صورت تجربی اعتبارسنجی نشده است.

دوم، ممکن است اهمیت نسبی پنج مؤلفه در پروژه‌های مختلف یکسان نباشد. برای مثال، در یک پروژه طراحی دیجیتال، نوع خطا و شیوه بازآزمایی ممکن است با یک پروژه ساخت فیزیکی تفاوت داشته باشد.

سوم، کیفیت اجرای مدل می‌تواند تحت تأثیر دانش و مهارت معلم، زمان در اختیار، تعداد دانش‌آموزان، امکانات کارگاه و نوع پروژه قرار گیرد.

چهارم، استفاده بیش از حد از ثبت خطا یا فرم‌های ارزیابی می‌تواند بار اضافی برای دانش‌آموز و معلم ایجاد کند. بنابراین، ابزارهای مبتنی بر این مدل باید تا حد امکان ساده، کوتاه و متناسب با ماهیت فعالیت باشند. در نهایت، نباید از الگوی حاضر برای تشویق دانش‌آموزان به ایجاد عمدی خطا استفاده کرد. هدف مدل، بهره‌گیری آموزشی از خطاهای طبیعی فرایند یادگیری است، نه افزایش تعداد خطاها.

۸-۱۲. نتیجه‌گیری نهایی

در مجموع، پژوهش حاضر نشان داد که در پروژه‌های عملی درس کار و فناوری، خطا می‌تواند بیش از آنکه صرفاً نشانه شکست باشد، به عنوان یک نقطه ورود برای ارزشیابی فرایند یادگیری مورد استفاده قرار گیرد. شرط اصلی آن است که معلم از ارزیابی صرف «درست یا غلط بودن محصول» فراتر رود و نحوه مواجهه دانش‌آموز با مشکل را نیز مشاهده و ثبت کند.

بر اساس الگوی پیشنهادی، پنج فرایند اصلی یعنی تشخیص خطا، تبیین علت، اقدام اصلاحی، بازآزمایی و بازاندیشی می‌توانند شواهدی از کیفیت یادگیری فراهم کنند. در این چارچوب، خطا امتیاز مثبت یا منفی مستقلی ندارد؛ بلکه آنچه اهمیت دارد، فرایندی است که دانش‌آموز برای فهم و اصلاح آن طی می‌کند.

منابع

- Aarnio, H., Kangas, K., Clavert, M., & Toom, A. (2025). Collaborative assessment in design-based technology education. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 46, 100779. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2025.100779>
- Aranzabal, A., Epelde, E., & Artetxe, M. (2020). Integration of different assessment approaches: Application to a project-based learning engineering course. *Education for Chemical Engineers*, 31, 62–75. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.04.006>
- Dieterich, S., Rumann, S., & Rodemer, M. (2025). Conditions for effective learning from erroneous examples: A systematic review. *Educational Psychology Review*, 37, 94. <https://doi.org/10.1007/s10648-025-10071-x>
- Dresel, M., Daumiller, M., Spear, J., Janke, S., Dickhäuser, O., & Steuer, G. (2025). Learning from errors in mathematics classrooms: Development over 2 years in dependence of perceived error climate. *British Journal of Educational Psychology*, 95(1), 180–196. <https://doi.org/10.1111/bjep.12697>
- Engström, S., & Lennholm, H. (2025). You just have to take a big leap! Authentic teaching and learning in the technology program at an upper secondary school. *International Journal of Technology and Design Education*, 35, 151–170. <https://doi.org/10.1007/s10798-024-09902-9>

- Guo, P., Saab, N., Post, L. S., & Admiraal, W. (2020). A review of project-based learning in higher education: Student outcomes and measures. *International Journal of Educational Research*, 102, 101586. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2020.101586>
- Loibl, K., & Leuders, T. (2019). How to make failure productive: Fostering learning from errors through elaboration prompts. *Learning and Instruction*, 62, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.03.002>
- Margulieux, L., Prather, J., & Rahimi, M. (2025). The biological benefits of failure on learning and tools to manage the fallout. *Educational Psychology Review*, 37, 33. <https://doi.org/10.1007/s10648-025-10013-7>
- Metcalfe, J. (2017). Learning from errors. *Annual Review of Psychology*, 68, 465–489. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010416-044022>
- Nachtigall, V., Serova, K., & Rummel, N. (2020). When failure fails to be productive: Probing the effectiveness of productive failure for learning beyond STEM domains. *Instructional Science*, 48, 651–697. <https://doi.org/10.1007/s11251-020-09525-2>
- Narciss, S., & Alemdag, E. (2025). Learning from errors and failure in educational contexts: New insights and future directions for research and practice. *British Journal of Educational Psychology*, 95(1), 197–218. <https://doi.org/10.1111/bjep.12716>
- Svärd, J., Schönborn, K., & Hallström, J. (2024). Students' perceptions of authenticity in an upper secondary technology education innovation project. *Research in Science & Technological Education*, 42(2), 467–487. <https://doi.org/10.1080/02635143.2022.2116418>