Journal of Management, Education and Development in Digital Age

Submission Date: 2026-02-20 Revision Date: 2026-05-23 Accept Date: 2026-05-30 Initial Publish Date: 2026-06-26 Final Publish Date: 2026-12-22

Collapse of Agency or Evolution of Learning? A Foresight Study of Adolescents' Cognitive Independence in the Age of Artificial Intelligence Using System Dynamics

1. Abas Najafi*: MA, Department of Psychology, Qo.C., Islamic Azad University, Qom, Iran

2. Zainab Arefi: PhD, Department of Educational Sciences, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Allameh Tabatabaei University, Tehran, Iran

***Corresponding Author's Email Address: abbasnk73@gmail.com**

Abstract:

This study aimed to analyze the long-term effects of artificial intelligence integration into learning processes on adolescents' agency and cognitive independence and to explore potential future trajectories of cognitive development or decline. This qualitative study employed a system dynamics approach. The system boundaries were defined around adolescents' cognitive interactions with AI-based educational technologies. Causal Loop Diagrams (CLDs) were used to model the relationships among key variables, including AI usage, mental effort, critical thinking, response speed, and cognitive agency. Model validity was assessed through structure verification, extreme-condition testing, and alignment with established theories of developmental and educational psychology. The model identified two major reinforcing feedback loops. The first, termed the "Adaptive Decline Loop" (R1), demonstrated that excessive dependence on AI increases response efficiency while reducing mental effort, weakening critical thinking skills and cognitive agency, and subsequently increasing reliance on AI. The second, termed the "Symbiotic Evolution Loop" (R2), indicated that strategic use of AI as a cognitive scaffold enhances critical thinking, strengthens cognitive agency, and promotes deeper learning. Foresight analysis further suggested that, in the absence of effective educational interventions, a substantial cognitive divide may emerge by 2030 between passive AI consumers and strategic AI users. The findings suggest that the cognitive consequences of artificial intelligence are determined less by the technology itself and more by the structure of human–AI interaction. Educational systems that emphasize process-oriented assessment, metacognitive literacy, and strategically delayed feedback can mitigate the erosion of cognitive agency and foster adolescents' intellectual autonomy in the AI era.

Keywords: Artificial Intelligence; Cognitive Agency; Cognitive Independence; System Dynamics; Foresight Studies; Adolescents; Critical Thinking.

How to Cite: Najafi, A. & Arefi, Z. (2026). Collapse of Agency or Evolution of Learning? A Foresight Study of Adolescents' Cognitive Independence in the Age of Artificial Intelligence Using System Dynamics. *Management, Education and Development in Digital Age*, 3(5), 1-15.

Copyright: © 2026 by the authors. Published under the terms and conditions of Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

نشریه مدیریت، آموزش و توسعه در عصر دیجیتال

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۴/۱۲/۰۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۹ تاریخ انتشار اولیه: ۱۴۰۵/۰۴/۰۵ تاریخ انتشار نهایی: ۱۴۰۵/۱۰/۰۱

سقوط عاملیت یا تکامل یادگیری؟ آینده‌پژوهی استقلال شناختی نوجوانان در عصر هوش مصنوعی با استفاده از روش پویایی سیستم

۱. عباس نجفی*: کارشناسی ارشد، گروه روانشناسی، واحد قم، دانشگاه آزاد اسلامی، قم، ایران

۲. زینب عارفی: دکتری، گروه علوم تربیتی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: abbasnk73@gmail.com

چکیده

هدف این پژوهش، تحلیل آینده‌پژوهانه تأثیرات بلندمدت ادغام هوش مصنوعی در فرایندهای یادگیری بر عاملیت و استقلال شناختی نوجوانان و شناسایی مسیرهای احتمالی تحول یا تضعیف این توانمندی‌ها در افق آینده بود. این پژوهش با رویکرد کیفی و بر پایه روش پویایی سیستم انجام شد. ابتدا مرزهای سیستم شامل تعاملات شناختی نوجوانان با فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در محیط‌های آموزشی تعیین گردید. سپس با استفاده از نمودارهای حلقه‌های علّی، روابط میان متغیرهای کلیدی شامل میزان استفاده از هوش مصنوعی، تلاش ذهنی، تفکر انتقادی، سرعت پاسخ‌دهی و عاملیت شناختی مدل‌سازی شد. اعتبار مدل از طریق آزمون ساختار، آزمون شرایط حدی و تطبیق با نظریه‌های روان‌شناسی رشد و یادگیری بررسی گردید. تحلیل مدل دو حلقه تقویت‌کننده اصلی را آشکار ساخت. حلقه نخست، «زوال انطباقی (R۱) «بود که در آن افزایش استفاده وابسته‌محور از هوش مصنوعی موجب کاهش تلاش ذهنی، افت تفکر انتقادی و کاهش عاملیت شناختی شده و در نتیجه وابستگی بیشتری به هوش مصنوعی ایجاد می‌کند. حلقه دوم، «تکامل همزیستانه (R۲) «بود که در آن استفاده راهبردی از هوش مصنوعی به عنوان داربست شناختی موجب تقویت تفکر انتقادی، افزایش عاملیت شناختی و ارتقای یادگیری عمیق می‌شود. همچنین نتایج آینده‌پژوهی نشان داد در صورت نبود مداخلات آموزشی مناسب، تا سال ۲۰۳۰ شکاف شناختی معناداری میان کاربران مصرف‌کننده و کاربران راهبردی هوش مصنوعی شکل خواهد گرفت. یافته‌ها نشان دادند که پیامدهای شناختی هوش مصنوعی نه به خود فناوری، بلکه به نحوه طراحی و الگوی استفاده از آن وابسته است. تقویت بازخوردهای فرآیندمحور، آموزش سواد فراشناختی و ایجاد تأخیرهای راهبردی در ارائه پاسخ می‌تواند از تضعیف عاملیت شناختی جلوگیری کرده و زمینه ارتقای استقلال فکری نوجوانان را در عصر هوش مصنوعی فراهم سازد.

کلیدواژگان: *هوش مصنوعی، عاملیت شناختی، استقلال شناختی، پویایی سیستم، آینده‌پژوهی، نوجوانان، تفکر انتقادی*

نحوه استناددهی: نجفی، عباس.، و عارفی، زینب. (۱۴۰۵). سقوط عاملیت یا تکامل یادگیری؟ آینده‌پژوهی استقلال شناختی نوجوانان در عصر هوش مصنوعی با استفاده از روش پویایی سیستم. *مدیریت، آموزش و توسعه در عصر دیجیتال*، ۳(۵)، ۱۵-۱.

مجوز و حق نشر: © ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

مقدمه

تحولات فناورانه دهه‌های اخیر، به‌ویژه ظهور و گسترش هوش مصنوعی مولد، یکی از عمیق‌ترین تغییرات تاریخ آموزش و یادگیری را رقم زده است. در حالی که فناوری‌های دیجیتال پیشین عمدتاً نقش ابزارهای کمکی در دسترسی به اطلاعات را ایفا می‌کردند، نسل جدید سامانه‌های هوش مصنوعی قادر است در تولید محتوا، حل مسئله، تصمیم‌گیری، استدلال و حتی شبیه‌سازی تعاملات انسانی مشارکت کند. این تحول سبب شده است که بسیاری از مفاهیم سنتی آموزش، یادگیری، استقلال فکری و عاملیت شناختی مورد بازاندیشی قرار گیرند. پژوهشگران معتقدند که هوش مصنوعی نه‌تنها محیط‌های آموزشی را دگرگون ساخته، بلکه ماهیت تعامل یادگیرندگان با دانش، معلمان و منابع اطلاعاتی را نیز تغییر داده است (Allison et al., 2025; Yim & Su, 2024). در چنین شرایطی، نوجوانان به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین کاربران فناوری‌های نوظهور در مرکز توجه قرار گرفته‌اند؛ زیرا این دوره رشدی زمان شکل‌گیری مهارت‌های تفکر انتقادی، خودتنظیمی، هویت شناختی و استقلال ذهنی است.

گسترش استفاده از ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی در میان کودکان و نوجوانان فرصت‌های متعددی برای شخصی‌سازی یادگیری، تسهیل دسترسی به اطلاعات و افزایش مشارکت آموزشی فراهم کرده است. مرورهای نظام‌مند اخیر نشان داده‌اند که سامانه‌های هوشمند می‌توانند با ارائه بازخوردهای فوری، سازگار کردن محتوا با نیازهای فردی و حمایت از یادگیری خودراهبر، کیفیت تجربه آموزشی را بهبود بخشند (Klašnja-Milićević & Ivanović, 2021; Yim & Su, 2024). همچنین توسعه فناوری‌های دیجیتال هوشمند در حوزه‌های مختلف آموزشی از جمله آموزش علوم، ریاضیات، تربیت بدنی و سلامت، افق‌های جدیدی را برای ارتقای عملکرد یادگیرندگان ایجاد کرده است (Akingbola et al., 2025; Jiang et al., 2025). با این حال، همزمان با گسترش این ظرفیت‌ها، نگرانی‌های فزاینده‌ای نیز درباره پیامدهای شناختی و روان‌شناختی استفاده گسترده از هوش مصنوعی در میان نوجوانان مطرح شده است.

یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های پژوهشگران، احتمال تضعیف استقلال شناختی در نتیجه اتکای بیش از حد به سامانه‌های هوشمند است. استقلال شناختی به توانایی فرد در تحلیل، ارزیابی، تصمیم‌گیری و حل مسئله بدون وابستگی افراطی به منابع بیرونی اشاره دارد و یکی از شاخص‌های کلیدی رشد شناختی سالم در دوره نوجوانی محسوب می‌شود. اگرچه هوش مصنوعی می‌تواند نقش یک داربست شناختی را ایفا کند، اما استفاده غیراصولی از آن ممکن است به کاهش تلاش ذهنی، افت مهارت‌های تفکر انتقادی و وابستگی فزاینده به پاسخ‌های تولیدشده توسط ماشین منجر شود (Rubio, 2024; Swindell et al., 2024). این نگرانی زمانی اهمیت بیشتری می‌یابد که بسیاری از ابزارهای جدید مبتنی بر هوش مصنوعی پاسخ‌های سریع و آماده را جایگزین فرایندهای زمان‌بر تحلیل و استدلال می‌کنند.

مطالعات مرتبط با سواد هوش مصنوعی نشان داده‌اند که آموزش صرف استفاده از فناوری برای آماده‌سازی نوجوانان کافی نیست و آنان باید درک عمیقی از سازوکارهای فنی، اجتماعی، اخلاقی و شناختی این فناوری‌ها کسب کنند. در سال‌های اخیر مفهوم «سواد هوش مصنوعی» به‌عنوان یکی از شایستگی‌های بنیادین قرن بیست‌ویکم مطرح شده است. این مفهوم فراتر از مهارت‌های فنی، شامل توانایی ارزیابی انتقادی خروجی‌های هوش مصنوعی، درک محدودیت‌های آن و تصمیم‌گیری آگاهانه درباره نحوه استفاده از این ابزارها است (Otero et al., 2023; Zhang et al., 2022). پژوهش‌های انجام‌شده در مدارس نشان می‌دهد که ترکیب آموزش مهارت‌های فنی با مباحث اخلاقی، اجتماعی و آینده شغلی می‌تواند به شکل‌گیری نگرش مسئولانه‌تر نسبت به فناوری‌های هوشمند منجر شود (Morales-Navarro et al., 2021; Zhang et al., 2022).

از منظر روان‌شناسی رشد، دوره نوجوانی مرحله‌ای حساس برای شکل‌گیری هویت شناختی و اجتماعی است. در این دوره، افراد به تدریج از وابستگی به منابع بیرونی فاصله گرفته و ظرفیت‌های خودتنظیمی، استدلال انتزاعی و تصمیم‌گیری مستقل را توسعه می‌دهند. ورود هوش مصنوعی به این فرایند می‌تواند آثار دوگانه‌ای داشته باشد. از یک سو، ابزارهای هوشمند قادرند یادگیری را شخصی‌سازی کرده و فرصت‌های بیشتری برای کاوش و خلاقیت فراهم کنند. از سوی دیگر، اگر نوجوانان به جای درگیر شدن فعال در فرایند یادگیری صرفاً مصرف‌کننده پاسخ‌های آماده باشند، امکان دارد رشد برخی مهارت‌های شناختی با اختلال مواجه شود (Baker et al., 2023; McBride et al., 2024). به همین دلیل، بسیاری از صاحب‌نظران بر ضرورت حفظ تعادل میان بهره‌گیری از فناوری و پرورش عاملیت انسانی تأکید کرده‌اند.

Copyright: © 2026 by the authors. Published under the terms and conditions of Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

مفهوم عاملیت شناختی در سال‌های اخیر به یکی از محورهای اصلی مباحث مرتبط با هوش مصنوعی و آموزش تبدیل شده است. عاملیت شناختی به توانایی فرد برای تعیین اهداف، انتخاب راهبردها، نظارت بر عملکرد و ارزیابی نتایج اشاره دارد. مطالعات جدید نشان می‌دهد که آینده آموزش نه در رقابت میان انسان و ماشین، بلکه در شکل‌دهی الگوهای همزیستی هوشمندانه میان آن‌ها نهفته است (Allison et al., 2025; Morales-Navarro et al., 2026). در چنین الگویی، هوش مصنوعی باید به عنوان ابزاری برای تقویت تفکر و نه جایگزینی آن عمل کند. با این حال، دستیابی به این هدف مستلزم درک دقیق سازوکارهای تعامل میان نوجوانان و فناوری‌های هوشمند است.

در ادبیات پژوهشی موجود، بخش قابل توجهی از مطالعات بر اثربخشی آموزشی ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی تمرکز داشته‌اند. پژوهش‌هایی در زمینه شخصی‌سازی آموزش، سیستم‌های توصیه‌گر، یادگیری ماشین در مدارس و محیط‌های یادگیری تطبیقی نشان داده‌اند که استفاده هدفمند از این فناوری‌ها می‌تواند موجب بهبود عملکرد تحصیلی و افزایش انگیزش یادگیری شود (Choi & Lee, 2022; Marques et al., 2020; Martins & Wangenheim, 2022). همچنین بررسی‌های انجام‌شده در حوزه سلامت نوجوانان نشان داده‌اند که سامانه‌های هوشمند قادرند در ارتقای رفتارهای سلامت‌محور و مداخلات پیشگیرانه نقش مؤثری ایفا کنند (Giovanelli et al., 2023; Isaacs et al., 2024; Rowe & Lester, 2020). با این وجود، اکثر این مطالعات به پیامدهای کوتاه‌مدت پرداخته‌اند و کمتر به بررسی دینامیک‌های بلندمدت تعامل نوجوانان با هوش مصنوعی توجه داشته‌اند.

از سوی دیگر، مطالعات حوزه اخلاق فناوری بر ضرورت توجه به پیامدهای اجتماعی و انسانی هوش مصنوعی تأکید دارند. پژوهشگران هشدار داده‌اند که اتکای بیش از حد به راه‌حل‌های فناورانه می‌تواند به نابرابری‌های جدید آموزشی، کاهش مشارکت فعال یادگیرندگان و شکل‌گیری شکاف‌های شناختی منجر شود (Bulathwela et al., 2024; Vries, 2022). همچنین چارچوب‌های اخلاقی جدید برای استفاده از هوش مصنوعی در آموزش بر حفظ کرامت انسانی، خودمختاری یادگیرندگان و تقویت تفکر انتقادی تأکید می‌کنند (Swindell et al., 2024; Williams et al., 2024). این دیدگاه‌ها نشان می‌دهند که ارزیابی پیامدهای هوش مصنوعی نباید صرفاً بر اساس شاخص‌های عملکردی انجام شود، بلکه باید ابعاد شناختی، اجتماعی و اخلاقی نیز مورد توجه قرار گیرد.

در کنار این مباحث، پژوهش‌های مرتبط با شهروندی دیجیتال و سواد داده اهمیت ویژه‌ای یافته‌اند. نوجوانان امروزی در محیطی زندگی می‌کنند که حجم عظیمی از داده‌ها، الگوریتم‌ها و سامانه‌های هوشمند در آن حضور دارند. توانایی درک، تحلیل و ارزیابی انتقادی این محیط دیجیتال یکی از الزامات اساسی مشارکت مؤثر در جامعه آینده محسوب می‌شود (Cortesi et al., 2020; Seymoens et al., 2020). این مسئله به‌ویژه در عصر هوش مصنوعی اهمیت بیشتری یافته است؛ زیرا بسیاری از تصمیمات روزمره افراد تحت تأثیر الگوریتم‌هایی قرار می‌گیرد که نحوه عملکرد آن‌ها برای کاربران کاملاً شفاف نیست.

تغییرات گسترده ایجادشده توسط هوش مصنوعی همچنین ضرورت بازنگری در نظام‌های آموزشی را آشکار ساخته است. مطالعات متعددی بر لزوم اصلاح برنامه‌های درسی، توانمندسازی معلمان و توسعه رویکردهای جدید یادگیری تأکید کرده‌اند (Muttaqin, 2022; Sihag & Vibha, 2024; Tanveer et al., 2020). معلمان و سیاست‌گذاران آموزشی باید بتوانند محیط‌هایی طراحی کنند که در آن‌ها فناوری در خدمت رشد شناختی قرار گیرد، نه اینکه جایگزین فرایندهای تفکر و یادگیری شود. همچنین توسعه شایستگی‌های مرتبط با هوش مصنوعی در میان معلمان و دانش‌آموزان به عنوان یکی از پیش‌نیازهای اساسی موفقیت در این مسیر شناخته می‌شود (Ilić et al., 2021; Sanusi et al., 2022).

علاوه بر این، برخی پژوهش‌ها بر اهمیت ابعاد اجتماعی و هیجانی یادگیری در عصر هوش مصنوعی تأکید کرده‌اند. آموزش مؤثر تنها به انتقال دانش محدود نمی‌شود، بلکه شامل توسعه مهارت‌های ارتباطی، همدلی، اعتماد، مسئولیت‌پذیری و آگاهی اجتماعی نیز هست (Gomez & Omandam, 2023; Mori, 2023). اگرچه هوش مصنوعی می‌تواند بسیاری از وظایف شناختی را تسهیل کند، اما جایگزین تعاملات انسانی و تجربه‌های اجتماعی غنی نخواهد شد. از این رو، حفظ پیوند میان فناوری و ابعاد انسانی آموزش یکی از چالش‌های مهم آینده محسوب می‌شود (Baker et al., 2023; McBride et al., 2024).

مجوز و حق نشر: © ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

بررسی مطالعات جدید نشان می‌دهد که کاربردهای هوش مصنوعی به حوزه آموزش محدود نبوده و در روان‌درمانی، سلامت روان، ارتقای رفاه و توسعه مهارت‌های زندگی نیز گسترش یافته است (Beg et al., 2024; Williams et al., 2024). این گستردگی کاربردها بیانگر آن است که نوجوانان در آینده بیش از هر زمان دیگری با سامانه‌های هوشمند در تعامل خواهند بود. بنابراین، شناخت پیامدهای بلندمدت این تعامل و شناسایی سازوکارهای مؤثر بر رشد یا تضعیف استقلال شناختی از اهمیت راهبردی برخوردار است.

با وجود گسترش سریع پژوهش‌ها درباره هوش مصنوعی در آموزش، هنوز شکاف مهمی در ادبیات علمی وجود دارد. بیشتر مطالعات بر پیامدهای مستقیم و کوتاه‌مدت فناوری تمرکز داشته‌اند و کمتر به بررسی روابط متقابل، حلقه‌های بازخورد و پیامدهای تجمعی بلندمدت پرداخته‌اند. همچنین بخش عمده‌ای از پژوهش‌ها از رویکردهای خطی استفاده کرده‌اند، در حالی که تعامل میان نوجوان، یادگیری و هوش مصنوعی ماهیتی پویا، پیچیده و چندبعدی دارد (Chiu & Chai, 2020; Giambruno et al., 2024; Колесникова, 2020). از این منظر، رویکرد پویایی سیستم می‌تواند چارچوبی مناسب برای تحلیل ساختارهای زیربنایی و پیش‌بینی رفتار آینده این سیستم پیچیده فراهم سازد.

بر این اساس، هدف پژوهش حاضر مدل‌سازی و تحلیل آینده‌پژوهانه تعامل میان هوش مصنوعی و استقلال شناختی نوجوانان با استفاده از رویکرد پویایی سیستم و شناسایی حلقه‌های بازخوردی مؤثر بر تضعیف یا تقویت عاملیت شناختی در افق آینده است.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نوع مطالعات نظری و آینده‌پژوهانه بوده و با بهره‌گیری از روش مدل‌سازی کیفی سیستم در چارچوب رویکرد پویایی سیستم انجام شد. برخلاف پژوهش‌های تجربی که بر جمع‌آوری داده‌های میدانی از نمونه‌های انسانی متمرکز هستند، واحد تحلیل در این مطالعه «سیستم تعامل شناختی نوجوانان با فناوری‌های هوش مصنوعی» بود. مرزهای سیستم به‌گونه‌ای تعریف شد که تمامی تعاملات شناختی نوجوانان در محیط‌های آموزشی رسمی و غیررسمی، فرایند انجام تکالیف درسی، فعالیت‌های حل مسئله، یادگیری خلاقانه و استفاده از ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی را در بر گیرد. در مرحله نخست، مرور نظام‌مند ادبیات نظری مرتبط با روان‌شناسی رشد، نظریه بار شناختی، عاملیت شناختی، خودتنظیمی یادگیری و مطالعات آینده‌پژوهی فناوری انجام شد. سپس بر اساس شواهد استخراج‌شده از منابع علمی معتبر، متغیرهای کلیدی سیستم شناسایی و روابط علّی میان آن‌ها تعیین گردید. تمرکز اصلی مدل بر نوجوانان به‌عنوان گروهی بود که در مرحله حساس شکل‌گیری مهارت‌های تفکر انتقادی، استقلال شناختی و خودکارآمدی قرار دارند و بیشترین میزان مواجهه با فناوری‌های نوظهور هوش مصنوعی را تجربه می‌کنند. از آنجا که هدف پژوهش پیش‌بینی الگوهای رفتاری بلندمدت سیستم و شناسایی سازوکارهای زیربنایی تغییرات شناختی بود، از نمونه‌گیری انسانی استفاده نشد و تحلیل در سطح ساختار سیستم صورت گرفت.

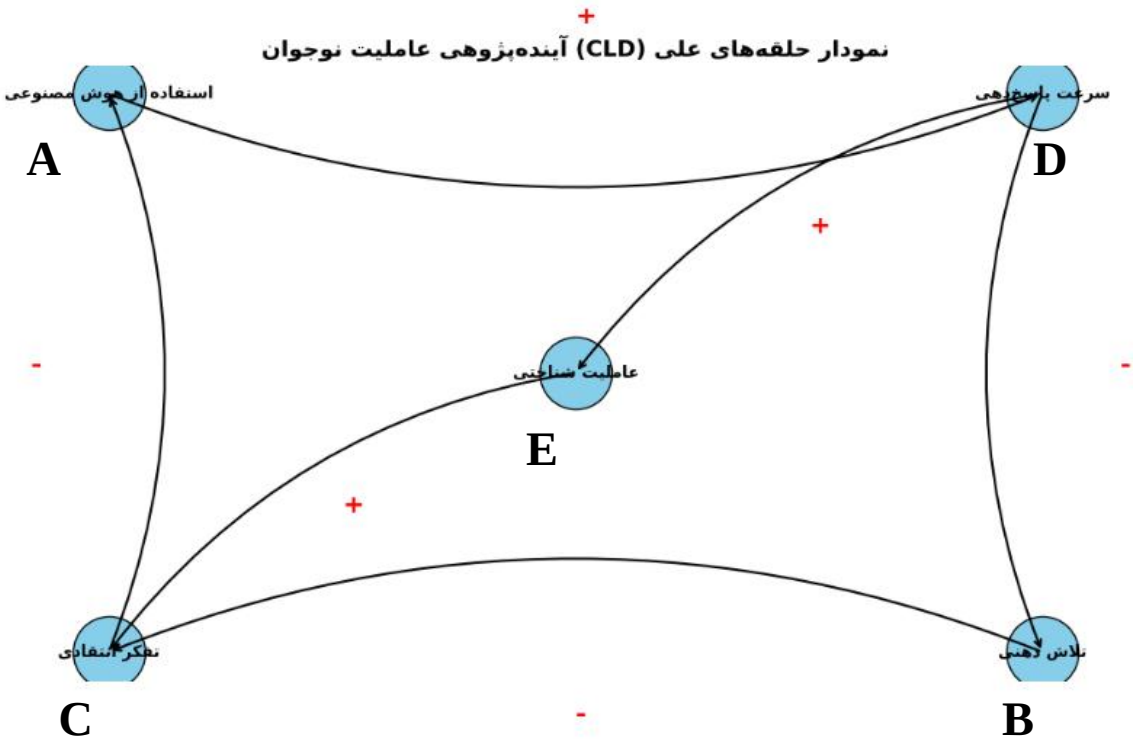
ابزار اصلی گردآوری و سازمان‌دهی داده‌ها در این پژوهش، تکنیک نمودار حلقه‌های علّی (Causal Loop Diagram) بود که یکی از ابزارهای بنیادی در روش پویایی سیستم محسوب می‌شود. این ابزار امکان نمایش روابط علّی میان متغیرهای مختلف و شناسایی حلقه‌های بازخورد تقویت‌کننده و متعادل‌کننده را فراهم می‌سازد. در فرایند مدل‌سازی، ابتدا متغیرهای کلیدی شامل ظرفیت پردازش درونی، نرخ وابستگی به هوش مصنوعی، عاملیت شناختی، تلاش ذهنی، سرعت پاسخ‌دهی و تفکر انتقادی استخراج و تعریف عملیاتی شدند. ظرفیت پردازش درونی به توانایی فرد در رمزگذاری، پردازش و بازیابی اطلاعات اشاره داشت؛ نرخ وابستگی به هوش مصنوعی بیانگر میزان اتکای نوجوان به سامانه‌های هوشمند در مواجهه با مسائل و چالش‌های شناختی بود؛ عاملیت شناختی به سطح خودکارآمدی و توانایی تصمیم‌گیری مستقل فرد در فرایند یادگیری اشاره داشت؛ و تلاش ذهنی نیز میزان درگیری فعالانه فرد در پردازش اطلاعات و حل مسئله را نشان می‌داد. پس از تعریف متغیرها، روابط میان آن‌ها بر اساس مبانی نظری روان‌شناسی شناختی، نظریه بار شناختی، نظریه داربست‌بندی ویگوتسکی و مطالعات مرتبط با تعامل انسان و هوش مصنوعی ترسیم شد. در ادامه، دو حلقه بازخورد تقویت‌کننده اصلی شامل حلقه «زوال عاملیت» و حلقه «تکامل یادگیری» شناسایی و مدل‌سازی گردید. همچنین برای اطمینان از اعتبار ساختاری مدل، از روش‌های رایج اعتبارسنجی در پویایی سیستم شامل آزمون ساختار، آزمون سازگاری نظری و آزمون شرایط حدی استفاده شد. در این مرحله، منطق درونی روابط ترسیم‌شده با نظریه‌های معتبر رشد شناختی، پردازش اطلاعات و یادگیری خودتنظیم مقایسه و بازبینی شد تا از همخوانی مدل با شواهد علمی موجود اطمینان حاصل شود.

Copyright: © 2026 by the authors. Published under the terms and conditions of Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

تحلیل داده‌ها بر اساس اصول پویایی سیستم و با تمرکز بر شناسایی الگوهای بازخوردی حاکم بر تعامل نوجوانان با هوش مصنوعی انجام شد. در این فرایند، ابتدا ساختار علّی سیستم از طریق ترسیم نمودار حلقه‌های علّی شکل گرفت و سپس نوع روابط میان متغیرها به صورت مثبت یا منفی تعیین شد. در مرحله بعد، حلقه‌های بازخورد تقویت‌کننده و سازوکارهای ایجادکننده تغییرات بلندمدت در سیستم مورد بررسی قرار گرفتند. تحلیل سیستم بر شناسایی تأخیرهای شناختی متمرکز بود؛ تأخیرهایی که در آن‌ها پیامدهای استفاده گسترده از هوش مصنوعی بلافاصله ظاهر نمی‌شوند، بلکه در بازه‌های زمانی میان‌مدت و بلندمدت خود را نشان می‌دهند. بر اساس ساختار مدل، دو سناریوی اصلی شامل «زوال انطباقی» و «تکامل همزیستانه» استخراج و پیامدهای هر یک برای آینده استقلال شناختی نوجوانان تحلیل شد. همچنین نقاط اهرمی سیستم که می‌توانند موجب تغییر مسیر رفتار آن شوند شناسایی گردیدند. این نقاط شامل نحوه ارائه بازخورد آموزشی، میزان تأخیر در پاسخ‌دهی سامانه‌های هوش مصنوعی، سطح آموزش فراشناختی و شیوه طراحی محیط‌های یادگیری مبتنی بر هوش مصنوعی بودند. در نهایت، با استفاده از منطق آینده‌پژوهی و تحلیل رفتار سیستم در طول زمان، پیامدهای احتمالی تداوم روندهای موجود تا افق ۲۰۳۰ بررسی شد و سناریوهای محتمل تحول یا تضعیف عاملیت شناختی نوجوانان تبیین گردید. این تحلیل امکان شناسایی فرصت‌ها، تهدیدها و راهبردهای مداخله‌ای مؤثر برای حفظ و ارتقای استقلال شناختی در عصر هوش مصنوعی را فراهم ساخت.

یافته‌ها

مدل‌سازی پویایی سیستم در این پژوهش بر پایه ۵ متغیر کلیدی شکل گرفته است که تعامل آن‌ها در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱: نمودار حلقه‌های علّی *(CLD)* تعامل هوش مصنوعی و استقلال شناختی نوجوان

این نمودار بازنماییِ پویاییِ دو مسیر متناقض در رشد شناختی است. علائم (+) نشان‌دهنده تغییر در جهت موافق (هم‌سو) و علائم (–) نشان‌دهنده تغییر در جهت مخالف (ناهم‌سو) میان متغیرهاست.

مجوز و حق نشر: © ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

- **حلقه *R1* (حلقه زوال انطباقی):** نشان‌دهنده یک «چرخه معیوب» است که در آن استفاده افراطی از هوش مصنوعی (*A*) و افزایش سرعت دستیابی به پاسخ (*D*)، منجر به کاهش تلاش ذهنی (*B*) و فرسایش تفکر انتقادی می‌شود. این روند با ایجاد «وابستگی ابزاری»، نیاز به هوش مصنوعی را مجدداً افزایش داده و عاملیت فرد را در یک مارپیچ نزولی قرار می‌دهد.
- **حلقه *R2* (حلقه تکامل هم‌زیستانه):** نشان‌دهنده یک «چرخه فضیلت» است که در آن سرعتِ فراهم شده توسط هوش مصنوعی (*D*)، به عنوان فرصتی برای تقویت عاملیت (*E*) و گسترش افق‌های تفکر انتقادی عمل می‌کند. در این الگو، هوش مصنوعی نه به عنوان جایگزینِ فکر، بلکه به عنوان کاتالیزوری برای ورود به سطوح عالی‌ترِ تحلیل عمل می‌نماید.

در ادامه، جدول ۱ تعاریف عملیاتی این متغیرها را برای درک بهتر دینامیک سیستم ارائه می‌کند تا بستری مناسب برای تحلیل حلقه‌ها فراهم شود.

جدول ۱: تعریف متغیرهای مدل و نقش آن‌ها در سیستم

متغیر	نام	نقش در سیستم	واحد/شاخص اندازه‌گیری
A	استفاده از AI	محرک اصلی (Driver)	نرخ تعامل روزانه
B	تلاش ذهنی	متغیر میانجی (تعدیل‌کننده)	نرخ انرژی مصرفی شناختی
C	تفکر انتقادی	متغیر خروجی (State Variable)	توانایی تحلیل و ارزیابی
D	سرعت پاسخ‌دهی	متغیر واسط	زمان تا رسیدن به پاسخ
E	عاملیت شناختی	متغیرِ غایی (هدف)	توان تصمیم‌گیری مستقل

تحلیل رفتار سیستم: حلقه زوال (*R1*)

حلقه *R1* با الگوی *A(+) C(-) B(-) D(+) A(+)* تعریف می‌شود. این چرخه نشان‌دهنده یک «تله‌ی ساختاری» است. در این سناریو، هوش مصنوعی با افزایش مصنوعیِ سرعت پاسخ‌دهی (*D*)، پاداشِ آنی (نتیجه) را بدونِ پرداختِ هزینه‌ی شناختی (*B*) فراهم می‌کند. تحلیل سیستم نشان می‌دهد که در صورت تداوم این حلقه، متغیرِ تفکر انتقادی دچار فرسایش شده و منجر به «زوال انطباقی» می‌شود. این یک سیستمِ خودتخریب‌گر است که در آن «کاهشِ توانمندی» باعث «افزایشِ نیاز به کمک» می‌شود.

تحلیل رفتار سیستم: حلقه تکامل (*R2*)

حلقه *R2* با الگوی *A(+) D(+) E(+) C(+) A(+)* نشان‌دهنده «هم‌زیستی هوشمندانه» است. در اینجا، هوش مصنوعی نقش «داربست» (*Scaffolding*) را ایفا می‌کند. متغیرِ (*D*) به جای حذفِ (*B*)، فرآیند یادگیری را تسریع می‌کند تا زمانِ آزاد شده (*E*) صرفِ پرورشِ تفکر انتقادی شود. این حلقه، یک سیستمِ تکاملی است که در آن «افزایش عاملیت» باعثِ «استفاده‌ی استراتژیک‌تر از ابزار» می‌شود.

نقاط اهرمی (*Leverage Points*) و شکاف شناختی ۲۰۳۰

بر اساس تحلیل این دو حلقه، سیستمِ عاملیتِ شناختی دارای دو نقطه اهرمی حیاتی است:

۱. اثرِ تأخیرِ بازخورد (*Feedback Delay*): سیستم آموزشی فعلی بازخوردِ سریعِ نتیجه را تشویق می‌کند. نقطه اهرمی این است که بازخورد را از «نتیجه‌محوری» به «فرآیندمحوری» تغییر دهیم تا حلقه *R2* فعال شود.

شکافِ دوقطبی: مدل پیش‌بینی می‌کند که تا سال ۲۰۳۰، نوجوانان به دو دسته تقسیم می‌شوند: گروهی که در «تله‌ی *R1*» محصور شده و دچار کاهش شدید عاملیت شناختی می‌شوند، و گروهی که با گذار از حلقه *R2*، به سطح جدیدی از «*Cognitive Mastery*» یا تسلط شناختی می‌رسند.

Copyright: © 2026 by the authors. Published under the terms and conditions of Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش که با استفاده از رویکرد پویایی سیستم و مدل‌سازی حلقه‌های بازخوردی انجام شد، نشان داد تعامل نوجوانان با هوش مصنوعی می‌تواند در دو مسیر متفاوت و حتی متضاد حرکت کند. نخست، مسیر «زوال انطباقی» که در آن استفاده مکرر و وابسته‌محور از سامانه‌های هوش مصنوعی به کاهش تلاش ذهنی، افت تفکر انتقادی و تضعیف عاملیت شناختی منجر می‌شود. دوم، مسیر «تکامل همزیستانه» که در آن هوش مصنوعی به‌عنوان ابزاری برای گسترش ظرفیت‌های شناختی عمل کرده و موجب افزایش تفکر انتقادی، یادگیری عمیق و تقویت استقلال شناختی می‌شود. همچنین تحلیل آینده‌پژوهانه مدل نشان داد که در صورت تداوم روندهای کنونی و فقدان مداخلات آموزشی مؤثر، احتمال شکل‌گیری شکاف شناختی میان کاربران مصرف‌کننده و کاربران راهبردی هوش مصنوعی تا سال‌های آینده افزایش خواهد یافت. این یافته‌ها بیانگر آن است که آثار شناختی هوش مصنوعی نه به ماهیت فناوری، بلکه به شیوه طراحی، استفاده و ادغام آن در فرایندهای یادگیری وابسته است.

نخستین یافته مهم پژوهش، شناسایی حلقه «زوال انطباقی» بود که در آن افزایش وابستگی به هوش مصنوعی به کاهش تلاش شناختی و فرسایش تدریجی مهارت‌های تحلیل و حل مسئله منجر می‌شود. این نتیجه با دیدگاه‌هایی همسو است که نسبت به جایگزینی تدریجی فعالیت‌های ذهنی انسان توسط سامانه‌های هوشمند هشدار داده‌اند. پژوهش Rubio نشان داد که استفاده بی‌رویه از ابزارهای هوش مصنوعی در میان کودکان و نوجوانان می‌تواند وابستگی شناختی ایجاد کرده و انگیزه درگیری فعال در فرایند یادگیری را کاهش دهد (Rubio, 2024). همچنین چارچوب اخلاقی ارائه‌شده توسط Swindell و همکاران تأکید می‌کند که اگر هوش مصنوعی صرفاً به ابزاری برای تولید پاسخ‌های فوری تبدیل شود، فرصت‌های یادگیری مبتنی بر تأمل، کاوش و استدلال تدریجاً تضعیف خواهند شد (Swindell et al., 2024). یافته‌های پژوهش حاضر این نگرانی را در قالب یک چرخه بازخوردی نشان داد؛ چرخه‌ای که در آن کاهش تلاش ذهنی موجب افت توانمندی شناختی شده و همین افت توانمندی، وابستگی بیشتر به هوش مصنوعی را به دنبال دارد.

این نتیجه را می‌توان از منظر نظریه‌های یادگیری نیز تبیین کرد. بر اساس نظریه خودتعیین‌گری، یادگیری زمانی پایدار و عمیق خواهد بود که فرد نقش فعالی در فرایند ساخت دانش ایفا کند. Chiu و Chai تأکید کرده‌اند که آموزش هوش مصنوعی باید به‌گونه‌ای طراحی شود که خودمختاری، شایستگی و احساس کنترل یادگیرندگان را تقویت کند (Chiu & Chai, 2020). زمانی که نوجوانان پاسخ‌های آماده را بدون مشارکت فعال دریافت می‌کنند، این مؤلفه‌های بنیادی تضعیف می‌شود. همچنین Baker و همکاران معتقدند که ظهور چت‌بات‌ها و سامانه‌های مولد می‌تواند مفهوم سنتی هوش و یادگیری را دگرگون سازد و در صورت استفاده نادرست، به مصرف‌گرایی شناختی منجر شود (Baker et al., 2023). یافته‌های مدل حاضر نیز نشان داد که در غیاب راهبردهای آموزشی مناسب، نوجوانان ممکن است به جای تولید دانش، به مصرف‌کنندگان منفعل اطلاعات تبدیل شوند.

یافته دوم پژوهش، شناسایی حلقه «تکامل همزیستانه» بود که در آن هوش مصنوعی به‌عنوان یک داربست شناختی عمل می‌کند. بر اساس این الگو، افزایش سرعت دسترسی به اطلاعات به جای کاهش تلاش ذهنی، زمان و انرژی بیشتری را برای تفکر انتزاعی، ارزیابی انتقادی و تصمیم‌گیری فراهم می‌سازد. این نتیجه با مطالعات جدیدی که بر نقش توانمندساز هوش مصنوعی تأکید دارند همسو است. Allison و همکاران بیان می‌کنند که آینده آموزش در تعامل سازنده میان هوش مصنوعی، واقعیت توسعه‌یافته و توانایی‌های انسانی شکل خواهد گرفت و فناوری می‌تواند بستری برای یادگیری عمیق‌تر فراهم کند (Allison et al., 2025). همچنین Morales-Navarro و همکاران نشان دادند که مشارکت نوجوانان در ساخت و فهم مدل‌های زبانی مولد موجب ارتقای درک فنی، اخلاقی و اجتماعی آنان از فناوری می‌شود و عاملیت شناختی را تقویت می‌کند (Morales-Navarro et al., 2026).

یافته‌های حاضر همچنین با پژوهش‌های مرتبط با سواد هوش مصنوعی همخوانی دارد. مطالعات انجام‌شده در مدارس نشان داده‌اند که زمانی که دانش‌آموزان علاوه بر مهارت‌های فنی، با ابعاد اخلاقی، اجتماعی و آینده‌نگر فناوری آشنا می‌شوند، تعاملی فعال‌تر و انتقادی‌تر با هوش مصنوعی برقرار می‌کنند (Otero et al., 2023; Zhang et al., 2022). به همین ترتیب، Morales-Navarro و همکاران گزارش کردند که مشارکت خلاقانه و انتقادی نوجوانان در فعالیت‌های محاسباتی می‌تواند تفکر تأملی و

مجوز و حق نشر: © ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

استقلال شناختی را افزایش دهد (Morales-Navarro et al., 2021). بنابراین، یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که تأثیر هوش مصنوعی بر استقلال شناختی لزوماً منفی نیست، بلکه به نوع تعامل یادگیرنده با فناوری بستگی دارد.

یکی دیگر از نتایج مهم این مطالعه، پیش‌بینی شکل‌گیری «شکاف شناختی» میان نوجوانان در آینده بود. مدل نشان داد گروهی از نوجوانان که از هوش مصنوعی صرفاً برای دریافت پاسخ‌های سریع استفاده می‌کنند، در مسیر کاهش عاملیت شناختی قرار خواهند گرفت؛ در حالی که گروه دیگری که از این فناوری برای گسترش تحلیل، کاوش و یادگیری استفاده می‌کنند، به سطوح بالاتری از تسلط شناختی دست خواهند یافت. این نتیجه با انتقادات مطرح‌شده نسبت به رویکردهای فناورانه ساده‌انگارانه همخوانی دارد. Bulathwela و همکاران تأکید کرده‌اند که هوش مصنوعی به‌تنهایی قادر به دموکراتیک‌کردن آموزش نیست و حتی می‌تواند نابرابری‌های جدیدی ایجاد کند (Bulathwela et al., 2024). همچنین Giambruno و همکاران در بررسی نظام‌های آموزشی مناطق محروم نشان دادند که دسترسی نابرابر به فناوری و مهارت‌های استفاده از آن می‌تواند شکاف‌های آموزشی و شناختی را تشدید کند (Giambruno et al., 2024).

این شکاف شناختی را می‌توان در پرتو مفهوم سواد داده و شهروندی دیجیتال نیز تبیین کرد. Cortesi و همکاران معتقدند که موفقیت در جهان دیجیتال مستلزم برخورداری از مجموعه‌ای از مهارت‌های شناختی، اجتماعی و اخلاقی است که فراتر از مهارت‌های فنی قرار می‌گیرند (Cortesi et al., 2020). Seymoens و همکاران نیز نشان دادند که سواد داده نقش مهمی در توانایی افراد برای تحلیل انتقادی اطلاعات و تصمیم‌گیری آگاهانه دارد (Seymoens et al., 2020). بنابراین، نوجوانانی که فاقد این مهارت‌ها باشند، احتمالاً بیشتر در معرض وابستگی به سامانه‌های هوشمند قرار خواهند گرفت.

نتایج پژوهش حاضر همچنین اهمیت نقش معلمان و نظام آموزشی را برجسته ساخت. مدل نشان داد که یکی از نقاط اهرمی کلیدی برای جلوگیری از زوال عاملیت شناختی، اصلاح شیوه‌های آموزشی و بازخورددهی است. این یافته با مطالعاتی همسو است که بر ضرورت بازطراحی برنامه‌های درسی و توسعه شایستگی‌های مرتبط با هوش مصنوعی تأکید کرده‌اند (Sihag & Vibha, 2024; Tanveer et al., 2020). Sanusi و همکاران نشان دادند که نگرش و آمادگی معلمان برای آموزش مفاهیم مرتبط با یادگیری ماشین نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت این فرایند دارد (Sanusi et al., 2022). همچنین Muttaqin بر ضرورت ارتقای صلاحیت‌های حرفه‌ای معلمان برای مواجهه با عصر هوش مصنوعی تأکید کرده است (Muttaqin, 2022). در نتیجه، آموزش معلمان باید از سطح مهارت‌های فنی فراتر رفته و به توسعه توانایی هدایت تفکر انتقادی و یادگیری مستقل در دانش‌آموزان بپردازد.

یافته‌های این پژوهش با مطالعات مربوط به شخصی‌سازی یادگیری نیز قابل تفسیر است. سیستم‌های یادگیری تطبیقی و شخصی‌سازی‌شده می‌توانند در صورت طراحی صحیح، استقلال یادگیرندگان را افزایش دهند (Klašnja-Milićević & Ivanović, 2021). همچنین بررسی‌های انجام‌شده در زمینه آموزش یادگیری ماشین در مدارس نشان داده‌اند که مشارکت فعال دانش‌آموزان در فرایند طراحی، تحلیل و حل مسئله موجب افزایش درک مفهومی و انگیزش یادگیری می‌شود (Marques et al., 2020; Martins & Wangenheim, 2022). یافته‌های پژوهش حاضر نیز مؤید آن است که فناوری زمانی به رشد شناختی کمک می‌کند که در خدمت فرایندهای تفکر قرار گیرد، نه اینکه جایگزین آن‌ها شود.

از سوی دیگر، نتایج مطالعه با پژوهش‌های حوزه سلامت و رفاه نوجوانان نیز ارتباط دارد. Rowe و Lester بر ظرفیت هوش مصنوعی برای ارائه مراقبت‌های شخصی‌سازی‌شده در حوزه سلامت نوجوانان تأکید کرده‌اند (Rowe & Lester, 2020). مطالعات Giovanelli و همکاران و نیز Isaacs و همکاران نشان داده‌اند که فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند مشارکت نوجوانان در مداخلات سلامت را افزایش دهند (Giovanelli et al., 2023; Isaacs et al., 2024). با این حال، یافته‌های پژوهش حاضر یادآور می‌شود که اثربخشی چنین فناوری‌هایی به حفظ نقش فعال کاربران وابسته است. اگر نوجوانان صرفاً دریافت‌کننده منفعل توصیه‌های الگوریتمی باشند، احتمال کاهش خودتنظیمی و مسئولیت‌پذیری فردی وجود خواهد داشت.

در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که آینده استقلال شناختی نوجوانان در عصر هوش مصنوعی نه توسط فناوری، بلکه توسط ساختار تعامل انسان و فناوری تعیین می‌شود. هوش مصنوعی می‌تواند هم به عاملی برای وابستگی شناختی و هم به بستری برای رشد عاملیت تبدیل شود. تفاوت میان این دو مسیر در نحوه طراحی محیط‌های

Copyright: © 2026 by the authors. Published under the terms and conditions of Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

یادگیری، سطح سواد هوش مصنوعی، کیفیت راهبردهای آموزشی و میزان مشارکت فعال نوجوانان نهفته است. بنابراین، مهم‌ترین چالش پیش روی نظام‌های آموزشی در دهه‌های آینده، نه پذیرش یا رد هوش مصنوعی، بلکه هدایت آن در مسیر تقویت تفکر انتقادی، خودتنظیمی و استقلال شناختی خواهد بود (Akingbola et al., 2025; Jiang et al., 2025; Williams et al., 2024; Yim & Su, 2024).

این پژوهش مبتنی بر مدل‌سازی کیفی سیستم و تحلیل نظری بوده و از داده‌های تجربی و میدانی برای آزمون روابط میان متغیرها استفاده نکرده است. همچنین ساختار مدل بر اساس ادبیات علمی موجود طراحی شد و ممکن است برخی عوامل فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی مؤثر بر تعامل نوجوانان با هوش مصنوعی در آن لحاظ نشده باشند. علاوه بر این، ماهیت پویای فناوری‌های هوش مصنوعی سبب می‌شود که برخی فرضیات مدل در آینده نیازمند بازنگری و به‌روزرسانی باشند.

پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده با استفاده از روش‌های ترکیبی، یافته‌های نظری این مطالعه را در محیط‌های واقعی آموزشی مورد آزمون قرار دهند. همچنین طراحی مدل‌های کمی پویایی سیستم و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف استفاده از هوش مصنوعی در مدارس می‌تواند به درک دقیق‌تر پیامدهای بلندمدت این فناوری کمک کند. بررسی تفاوت‌های فردی، جنسیتی، فرهنگی و اقتصادی در شکل‌گیری الگوهای وابستگی یا عاملیت شناختی نیز از دیگر حوزه‌های مهم پژوهشی محسوب می‌شود.

نظام‌های آموزشی باید برنامه‌های درسی مبتنی بر سواد هوش مصنوعی، تفکر انتقادی و فراشناخت را توسعه دهند. طراحی ابزارهای هوش مصنوعی آموزشی باید به‌گونه‌ای باشد که دانش‌آموزان را به تحلیل، استدلال و حل مسئله تشویق کند و صرفاً پاسخ‌های آماده ارائه ندهد. همچنین آموزش معلمان برای استفاده آگاهانه از فناوری‌های هوشمند، ایجاد فرصت‌های یادگیری مبتنی بر پروژه و تأکید بر ارزیابی فرایندمحور می‌تواند نقش مهمی در حفظ و تقویت استقلال شناختی نوجوانان در عصر هوش مصنوعی ایفا کند.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در طی مراحل این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

موازین اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازین و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

Extended Summary

Introduction

مجوز و حق نشر: © ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

The rapid proliferation of artificial intelligence (AI), particularly generative AI technologies, has transformed educational ecosystems and redefined how adolescents interact with information, knowledge production, and learning environments. Unlike previous digital tools that primarily facilitated information access, contemporary AI systems increasingly participate in cognitive processes such as content generation, problem-solving, decision-making, and personalized feedback. Consequently, educational researchers have begun to question whether AI functions as a catalyst for cognitive development or as a mechanism that gradually diminishes learners' intellectual autonomy (Allison et al., 2025; Yim & Su, 2024).

Adolescence represents a critical developmental period characterized by the formation of self-regulation, critical thinking, identity construction, and cognitive agency. During this stage, educational experiences significantly influence the development of independent reasoning and lifelong learning competencies. AI-based educational technologies offer unprecedented opportunities for personalized learning, adaptive instruction, and immediate feedback, potentially enhancing learning effectiveness and accessibility (Jiang et al., 2025; Klašnja-Milićević & Ivanović, 2021). At the same time, scholars have expressed concerns regarding excessive reliance on AI-generated responses, arguing that reduced cognitive effort may undermine problem-solving abilities, critical reflection, and autonomous decision-making (Rubio, 2024; Swindell et al., 2024).

The growing literature on AI literacy emphasizes that future learners must not only know how to use AI tools but also understand their technical, ethical, and social implications. Educational initiatives integrating AI literacy have demonstrated the importance of fostering critical engagement with technology rather than passive consumption of algorithmically generated content (Otero et al., 2023; Zhang et al., 2022). Similarly, research highlights that adolescents benefit most when AI is used as a scaffold supporting inquiry, creativity, and reflection rather than as a substitute for thinking itself (Morales-Navarro et al., 2026; Morales-Navarro et al., 2021).

Beyond educational outcomes, AI has become increasingly embedded in adolescent health, well-being, counseling, and behavioral interventions, further expanding its influence on youth development (Giovanelli et al., 2023; Isaacs et al., 2024; Rowe & Lester, 2020). Researchers have noted that AI-driven systems can enhance engagement, personalize support, and improve service accessibility; however, concerns remain regarding dependency, diminished human agency, and inequitable outcomes (Beg et al., 2024; Williams et al., 2024).

Current studies predominantly focus on short-term educational outcomes, technology acceptance, or instructional effectiveness. Comparatively little attention has been paid to the long-term systemic consequences of AI integration on adolescents' cognitive independence. Furthermore, existing research often relies on linear models of cause and effect, despite the inherently dynamic and recursive nature of interactions between adolescents, educational systems, and intelligent technologies (Bulathwela et al., 2024; Giambruno et al., 2024; Vries, 2022). System dynamics offers a valuable framework for addressing this gap by examining feedback structures, delayed effects, and emergent patterns over time.

The present study therefore sought to explore the future trajectory of adolescents' cognitive agency in the age of artificial intelligence by employing a qualitative system dynamics approach. Specifically, the study aimed to identify reinforcing and balancing feedback mechanisms that may either weaken or strengthen cognitive independence under different patterns of AI utilization. The investigation was grounded in contemporary debates surrounding AI education, teacher readiness, curriculum reform, digital citizenship, data literacy, educational sustainability, and human-centered technology design.

Methods and Materials

Copyright: © 2026 by the authors. Published under the terms and conditions of Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

This study adopted a qualitative system dynamics methodology to investigate the long-term interaction between artificial intelligence and adolescents' cognitive independence. Rather than examining isolated variables through conventional correlational methods, the study focused on identifying the underlying structural relationships that shape system behavior over time.

The boundaries of the system were defined to encompass adolescents' interactions with AI technologies in educational environments, creative learning tasks, and problem-solving activities. A Causal Loop Diagram (CLD) was developed to represent the relationships among key variables. The primary state variables included internal processing capacity, AI dependency rate, cognitive agency, mental effort, critical thinking, and response speed.

The modeling process involved identifying causal connections among these variables and examining how they formed feedback loops capable of reinforcing or transforming behavioral patterns over time. Particular attention was given to delayed effects, recognizing that the cognitive consequences of AI use may emerge gradually rather than immediately.

Model validation was conducted through structure verification and extreme-condition testing. The conceptual structure of the model was compared with established theories of learning, cognitive development, self-regulation, and educational technology to ensure theoretical consistency and plausibility.

Findings

The analysis identified two dominant reinforcing feedback loops that shape the future trajectory of adolescents' cognitive independence.

The first loop, termed the **Adaptive Decline Loop (R1)**, represents a self-reinforcing cycle of increasing dependency. In this pathway, greater reliance on AI leads to reduced mental effort during learning tasks. Lower cognitive engagement subsequently weakens critical thinking and problem-solving capabilities. As these capabilities deteriorate, learners perceive tasks as increasingly difficult, which further strengthens their dependence on AI-generated assistance. Over time, this cycle creates a progressive decline in cognitive agency and intellectual autonomy.

The second loop, termed the **Symbiotic Evolution Loop (R2)**, represents a constructive developmental pathway. In this scenario, AI functions as a cognitive scaffold rather than a substitute for thinking. Enhanced access to information and increased response efficiency free cognitive resources for higher-order analytical activities. As adolescents devote more time to reflection, synthesis, and abstract reasoning, their critical thinking skills improve. Enhanced critical thinking strengthens cognitive agency, enabling more strategic and purposeful engagement with AI technologies. This creates a virtuous cycle of intellectual growth and adaptive learning.

The model further revealed that educational systems constitute a critical leverage point influencing which pathway becomes dominant. Feedback structures emphasizing process-oriented learning, delayed gratification, and metacognitive reflection tend to activate the symbiotic evolution pathway. In contrast, environments prioritizing immediate results and rapid answer production increase the likelihood of adaptive decline.

Future-oriented scenario analysis suggested the emergence of a significant cognitive divide by 2030. One group of adolescents may become increasingly dependent on AI systems for routine cognitive tasks, exhibiting declining autonomy and reduced critical engagement. Another group may develop advanced forms of cognitive mastery by strategically integrating AI into reflective and self-directed learning processes. This divergence represents a potential structural inequality in future educational and cognitive outcomes.

Discussion and Conclusion

مجوز و حق نشر: © ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

The findings indicate that the impact of artificial intelligence on adolescent cognitive development cannot be understood through simplistic assumptions that technology is inherently beneficial or harmful. Instead, the consequences of AI emerge from the interaction between technological capabilities, educational structures, and learner behaviors.

The Adaptive Decline Loop demonstrates how convenience-oriented AI use can unintentionally erode the very cognitive capacities required for independent learning. When AI replaces rather than supports mental effort, learners risk becoming passive consumers of knowledge rather than active constructors of understanding. This pattern highlights the importance of preserving productive cognitive struggle as a central component of educational practice.

Conversely, the Symbiotic Evolution Loop illustrates the transformative potential of AI when employed as a tool for extending human cognition. In this pathway, technology amplifies rather than replaces intellectual activity. Adolescents leverage AI to access information efficiently while dedicating greater cognitive resources to interpretation, evaluation, and innovation. Such interactions strengthen rather than weaken cognitive agency.

A particularly significant implication of the model is the projected emergence of a cognitive polarization effect. The future may witness increasing differences between strategic AI users who cultivate higher-order thinking and dependent users who gradually relinquish cognitive responsibility to intelligent systems. Educational institutions therefore play a crucial role in determining which developmental trajectory becomes dominant.

The study suggests that future educational policies should prioritize AI literacy, critical thinking, metacognitive awareness, and process-oriented assessment. Educational technologies should be designed to encourage inquiry, reflection, and analytical reasoning rather than merely providing immediate solutions. Similarly, teacher preparation programs must emphasize the pedagogical and ethical dimensions of AI integration, enabling educators to foster meaningful human-AI collaboration.

In conclusion, adolescents' cognitive independence in the age of artificial intelligence is not determined by technological advancement alone. Rather, it is shaped by the feedback structures governing how technology is used, taught, and embedded within educational systems. Artificial intelligence can either contribute to the erosion of agency or facilitate the evolution of learning. The decisive factor lies in whether educational environments cultivate dependency or empower learners to remain active, reflective, and autonomous participants in their own cognitive development.

References

Akingbola, A., Benson, A. E., Makinde, A. O., Shekoni, M., Animashaun, K., & Fakiyesi, T. (2025). Post-Pandemic Era: Global Trends, Benefits, and Barriers in Integrating Artificial Intelligence Into Public Health Education. *Frontiers in Public Health*, *13*. https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1648970

Allison, J., Hwang, G. J., Mayer, R. E., Πέλλας, N., Karnalim, O., Freitas, S. d., Ng, O. L., Huang, Y.-M., Hooshyar, D., Seidman, R. H., Al-Emran, M., Mikropoulos, T. A., Schroeder, N. L., Roscoe, R. D., & Sanusi, I. T. (2025). From Generative AI to Extended Reality: Multidisciplinary Perspectives on the Challenges, Opportunities, and Future of Educational Computing. *Journal of Educational Computing Research*, *63*(6), 1327-1363. https://doi.org/10.1177/07356331251359964

Baker, B., Mills, K. A., McDonald, P., & Wang, L. (2023). AI, Concepts of Intelligence, and Chatbots: The "Figure of Man," the Rise of Emotion, and Future Visions of Education. *Teachers College Record*, *125*(6), 60-84. https://doi.org/10.1177/01614681231191291

Beg, M. J., Verma, M., Vishvak Chanthar, K. M. M., & Verma, M. (2024). Artificial Intelligence for Psychotherapy: A Review of the Current State and Future Directions. *Indian Journal of Psychological Medicine*, *47*(4), 314-325. https://doi.org/10.1177/02537176241260819

Bulathwela, S., Pérez-Ortiz, M., Holloway, C., Cukurova, M., & Shawe-Taylor, J. (2024). Artificial Intelligence Alone Will Not Democratise Education: On Educational Inequality, Techno-Solutionism and Inclusive Tools. *Sustainability*, *16*(2), 781. https://doi.org/10.3390/su16020781

Chiu, T. K. F., & Chai, C. S. (2020). Sustainable Curriculum Planning for Artificial Intelligence Education: A Self-Determination Theory Perspective. *Sustainability*, *12*(14), 5568. https://doi.org/10.3390/su12145568

Choi, H., & Lee, M.-J. (2022). Analysis of Prerequisite Relation in Knowledge Graph Using ARM and MSMM: Focusing on Problem Evaluation Data of K-12 Math. *Journal of Digital Contents Society*, *23*(6), 1131-1140. https://doi.org/10.9728/dcs.2022.23.6.1131

Copyright: © 2026 by the authors. Published under the terms and conditions of Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

Cortesi, S., Hasse, A., Lombana-Bermúdez, A., Kim, S., & Gasser, U. (2020). Youth and Digital Citizenship+ (Plus): Understanding Skills for a Digital World. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.3557518

Giambruno, C., Carolina, J., Cardozo, H., Paulo, J., Fernandes, C., Bourroul, M., Perez-Alfaro, M., Pérez, M., Bolivia, A., Marotta, L., Alejandro, S., Bustamante, M., Carolina, C., Méndez, P. M., Ecuador, C. M., Guyana, M., Rieble-Aubourg, S., Elacqua, G., Margitic, J. F., . . . Lyra, T. (2024). Education in the Amazon Region. https://doi.org/10.18235/0012989

Giovanelli, A., Rowe, J., Taylor, M., Berna, M., Tebb, K., Penilla, C., Pugatch, M., Lester, J. C., & Ozer, E. M. (2023). Supporting Adolescent Engagement With Artificial Intelligence–Driven Digital Health Behavior Change Interventions. *Journal of medical Internet research*, *25*, e40306. https://doi.org/10.2196/40306

Gomez, L., & Omandam, M. J. B. (2023). Teachers' Initiated Ways in Handling Teenage Pregnancy Cases. *Edukasiana Jurnal Inovasi Pendidikan*, *2*(4), 294-307. https://doi.org/10.56916/ejip.v2i4.459

Ilić, M., Păun, D., Šević, N. P., Hadžić, A., & Jianu, A. (2021). Needs and Performance Analysis for Changes in Higher Education and Implementation of Artificial Intelligence, Machine Learning, and Extended Reality. *Education Sciences*, *11*(10), 568. https://doi.org/10.3390/educsci11100568

Isaacs, N., Ntinga, X., Keetsi, T., Bhembe, L., Mthembu, B., Cloete, A., & Groenewald, C. (2024). Are mHealth Interventions Effective in Improving the Uptake of Sexual and Reproductive Health Services Among Adolescents? A Scoping Review. *International journal of environmental research and public health*, *21*(2), 165. https://doi.org/10.3390/ijerph21020165

Jiang, J., Bai, W., Yin, Z., Liao, Z., & Zhong, X. (2025). Application of Digital-Intelligent Technologies in Physical Education: A Systematic Review. *Frontiers in Public Health*, *13*. https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1626603

Klašnja-Milićević, A., & Ivanović, M. (2021). E-Learning Personalization Systems and Sustainable Education. *Sustainability*, *13*(12), 6713. https://doi.org/10.3390/su13126713

Marques, L. S., Wangenheim, C. G. v., & Hauck, J. C. R. (2020). Teaching Machine Learning in School: A Systematic Mapping of the State of the Art. *Informatics in Education*, 283-321. https://doi.org/10.15388/infedu.2020.14

Martins, R. M., & Wangenheim, C. G. v. (2022). Findings on Teaching Machine Learning in High School: A Ten - Year Systematic Literature Review. *Informatics in Education*. https://doi.org/10.15388/infedu.2023.18

McBride, C., Lee, C. H., & Soep, E. (2024). “Gotta Love Some Human Connection”: Humanizing Data Expression in an Age of <scp>AI</Scp>. *Reading Research Quarterly*, *59*(4), 678-689. https://doi.org/10.1002/rrq.550

Morales-Navarro, L., Noh, D. J., Servat, L., Netting, C., Kafai, Y. B., & Metaxa, D. (2026). Building to Understand: Examining Teens' Technical and Socio-Ethical Pieces of Understandings in the Construction of Small Generative Language Models. https://doi.org/10.48550/arxiv.2603.25852

Morales-Navarro, L., Kafai, Y. B., Jayathirtha, G., & Shaw, M. S. (2021). Investigating Creative and Critical Engagement With Computing in the Hour of Code (Practical Report). 1-6. https://doi.org/10.1145/3481312.3481314

Mori, L. (2023). Woke in the Dark: Embracing Diversity and Trust Through Social and Emotional Learning in Education in the Age of Artificial Intelligence. *International Journal of Didactical Studies*. https://doi.org/10.33902/ijods.202321482

Muttaqin, I. (2022). Necessary to Increase Teacher Competency in Facing the Artificial Intelligence Era. *Al-Hayat Journal of Islamic Education*, *6*(2), 549. https://doi.org/10.35723/ajie.v6i2.460

Otero, L. C., Catalá, A., Fernández-Morante, C., Taboada, M., López, B. C., & Barro, S. (2023). AI Literacy in K-12: A Systematic Literature Review. *International Journal of Stem Education*, *10*(1). https://doi.org/10.1186/s40594-023-00418-7

Rowe, J., & Lester, J. C. (2020). Artificial Intelligence for Personalized Preventive Adolescent Healthcare. *Journal of Adolescent Health*, *67*(2), S52-S58. https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2020.02.021

Rubio, M. D. N. (2024). Generative Artificial Intelligence in Children and Adolescents: Impact and Future Directions. *Glob J Pediat*, *3*(1), 1-3. https://doi.org/10.54026/gjp/1013

Sanusi, I. T., Oyelere, S. S., & Omidiora, J. O. (2022). Exploring Teachers' Preconceptions of Teaching Machine Learning in High School: A Preliminary Insight From Africa. *Computers and Education Open*, *3*, 100072. https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100072

Seymoens, T., Audenhove, L. V., Broeck, W. V. d., & Mariën, I. (2020). Data Literacy on the Road: Setting Up a Large-Scale Data Literacy Initiative in the DataBuzz Project. *Journal of Media Literacy Education*, *12*(3), 102-119. https://doi.org/10.23860/jmle-2020-12-3-9

Sihag, P., & Vibha, V. (2024). Transforming and Reforming the Indian Education System With Artificial Intelligence. *Digital Education Review*(45), 98-105. https://doi.org/10.1344/der.2024.45.98-105

Swindell, A., Greeley, L., Farag, A., & Verdone, B. (2024). Against Artificial Education: Towards an Ethical Framework for Generative Artificial Intelligence (AI) Use in Education. *Online Learning*, *28*(2). https://doi.org/10.24059/olj.v28i2.4438

Tanveer, M., Hassan, S., & Bhaumik, A. (2020). Academic Policy Regarding Sustainability and Artificial Intelligence (AI). *Sustainability*, *12*(22), 9435. https://doi.org/10.3390/su12229435

Vries, P. d. (2022). The Ethical Dimension of Emerging Technologies in Engineering Education. *Education Sciences*, *12*(11), 754. https://doi.org/10.3390/educsci12110754

Williams, R., Alghowinem, S., & Breazeal, C. (2024). Dr. R.O. Bott Will See You Now: Exploring AI for Wellbeing With Middle School Students. *Proceedings of the Aaai Conference on Artificial Intelligence*, *38*(21), 23309-23317. https://doi.org/10.1609/aaai.v38i21.30379

Yim, I. H. Y., & Su, J. (2024). Artificial Intelligence (AI) Learning Tools in K-12 Education: A scoping Review. *Journal of Computers in Education*. https://doi.org/10.1007/s40692-023-00304-9

مجوز و حق نشر: © ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

Zhang, H., Lee, I., Ali, S., DiPaola, D., Cheng, Y., & Breazeal, C. (2022). Integrating Ethics and Career Futures With Technical Learning to Promote AI Literacy for Middle School Students: An Exploratory Study. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, *33*(2), 290-324. https://doi.org/10.1007/s40593-022-00293-3

Колесникова, И. А. (2020). Innovative Changes in Education of the 2010s: Pro and Cons. *International Dialogues on Education Journal*, *7*(1). https://doi.org/10.53308/ide.v7i1.6

Copyright: © 2026 by the authors. Published under the terms and conditions of Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.