

Exploring the Evolution of Contemporary Museum Interactions Through Convergence With Technology, With an Emphasis on New Contemporary Arts*

Abstract

Some of Contemporary museums are undergoing a profound transformation by integrating emerging digital technologies to enhance visitor experiences, preserve cultural heritage, and redefine their social roles. This convergence represents a fundamental change in how museums conceptualize, present, and interpret contemporary art. However, despite growing scholarly interest in digital museology, comprehensive research remains limited on how multiple technologies—particularly robotics, the Internet of Things (IoT), virtual reality (VR), augmented reality (AR), and artificial intelligence (AI)—simultaneously affect museum practices and the emergence of new forms of contemporary art. This study addresses that gap through three questions: 1) How have these technologies transformed the exhibition and interpretation of contemporary art? 2) How has the convergence of technology and art reshaped the audience's role in artistic experience? 3) What are the applications, benefits, and challenges of each technology in contemporary museums? This applied-developmental, descriptive-analytical research adopted a qualitative approach. Data were collected through a comprehensive literature review. The search strategy included Google Scholar, specialized museum journals, institutional reports, and related scholarly sources. The findings indicate that AI-based personalization algorithms enable museums to tailor content and visitor journeys according to individual preferences, prior knowledge, and behavioral patterns. Virtual reality and augmented reality facilitate immersive, multilayered interpretation and allow visitors to experience artworks beyond physical constraints, including entering a painter's perspective or visualizing creative processes. Robotics, particularly interactive guide robots, introduces new forms of physical interaction, especially in performance and movement-based art. Collectively, these technologies transform audiences from passive observers into active participants, co-creators of meaning, and, in some contexts, temporary artists. IoT-based intelligent monitoring systems equipped with distributed sensor networks continuously track temperature, humidity, light levels, and airborne pollutants, providing real-time alerts for preventive conservation. Such systems help protect collections from biological threats, including insects and fungi, as well as chemical degradation. Advanced AI security systems further integrate facial recognition, anomaly detection, and predictive analytics to safeguard collections against theft, vandalism, and natural disasters such as earthquakes and floods. In museum education, emerging technologies have transformed teaching by enabling experiential, situated, and multimedia learning beyond traditional educational models. VR supports immersive programs in which learners explore reconstructed historical contexts and artistic processes from first-person perspectives. AR overlays supplementary information, including artists' biographies, technical details, and critical interpretations, directly onto displayed works through mobile devices or smart glasses. Remote-visit technologies, accelerated by pandemic-era adaptations, allow global audiences to access collections despite geographic limitations, thereby expanding inclusive cultural engagement. Most importantly, digital technologies have become generative forces in contemporary art rather than merely presentation tools. AI algorithms can generate artworks, collaborate with human artists, and transform existing themes. VR and AR also enable virtual reconstructions of damaged or destroyed works, including self-destructive art associated with Gustav Metzger, thereby reviving ephemeral artistic forms in immersive environments. Comparative analysis shows that AI is the only technology with an active presence across all major areas of museology—audience engagement, conservation, education, access, and creativity—and across diverse branches of contemporary art, from performance to

Received: 30 Jul 2025

Received in revised form: 31 May 2026

Accepted: 10 Jun 2026

Seyed Mahmood Mirazizi¹ 

PhD in Visual Arts, Department of Advanced Art Studies, School of Visual Arts, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.
E-mail: m_mirazizi@shirazartu.ac.ir

Mostafa Goudarzi²  (Corresponding Author)

Professor, Department of Advanced Art Studies, School of Visual Arts, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.
E-mail: mostafagoudarzi@ut.ac.ir

<https://doi.org/10.22059/jfava.2026.399519.667535>

self-destructive practices. The study concludes that each technology offers distinct value: robotics enables physical interaction; IoT supports intelligent monitoring and sustainable management; AR enriches contextual and immersive experiences; VR expands experiential interpretation; and AI provides integrated intelligence capable of personalizing, predicting, and creating. Their convergence is not merely additive but synergistic. AI combined with IoT enables predictive preservation, AI with VR produces responsive immersive environments, and robotics with AR facilitates interactive physical-virtual arrangements. Together, these technologies support multilayered interpretation, contextual enrichment, and the reconstruction of damaged or ephemeral works. The audience's role has consequently shifted from passive receiver to active agent, participant in meaning-making, and co-creator of artistic significance. Nevertheless, important challenges remain, including implementation costs, the digital divide, technological obsolescence, privacy and ethical concerns, and the risk that authentic museum experiences may be reduced to entertainment. This research contributes a comprehensive framework for understanding technology-driven changes in museology and their implications for contemporary art production, exhibition, curation, and reception. Future research should examine longitudinal effects on visitor behavior, institutional readiness, ethical governance, accessibility, and changing patterns of authorship. Comparative studies across cultural contexts may further identify sustainable models for technologically mediated artistic engagement and participation. These developments also challenge established assumptions about curatorial authority, authenticity, and the boundaries between artwork, interface, and institutional infrastructure. As digital systems increasingly mediate encounters with collections, curators must consider how algorithmic selection, personalization, and automated interpretation influence what visitors see and how they understand it. Consequently, technological integration should not be evaluated solely in terms of efficiency or novelty, but also according to its cultural, ethical, and aesthetic implications. Museums need interdisciplinary strategies that bring together curators, artists, conservators, educators, designers, and technology specialists. Such collaboration can ensure that innovation remains aligned with institutional missions while preserving critical reflection, accessibility, and meaningful human participation across museum contexts.

Keywords: AI and robotics in art, audience engagement, contemporary art and digital technology, contemporary museums, emerging visual technologies.

Citation: Mirazizi, Seyed Mahmood, & Goudarzi, Mostafa. (2026). Exploring the evolution of contemporary museum interactions through convergence with technology, with an emphasis on new contemporary Arts. *Journal of Fine Arts: Visual Arts*, 31(3), 21-35. (In Persian)



© Authors retain full copyright and publishing rights.

Publisher: University of Tehran Press.

*This article is derived from the first author's doctoral dissertation, entitled "Ontology of contemporary museums with emphasis on their interactive role with new arts," under the supervision of the second author at the University of Tehran.

تحول تعاملات موزه‌های معاصر از طریق همگرایی با فناوری با تأکید بر هنرهای معاصر*

چکیده

همگرایی فناوری‌های دیجیتال با موزه‌های معاصر، تحولی بنیادین در شیوه‌های نمایش، تفسیر و تعامل با هنرهای معاصر پدید آورده است و این نهادها برای حفظ جایگاه خود و پاسخگویی به انتظارات جدید مخاطبان، ناگزیر از درک عمیق این تحولات و انطباق با آنها هستند. پژوهش پیش‌رو با هدف تحلیل چستی و چگونگی تأثیر فناوری‌های نوین همچون ربات‌ها، اینترنت اشیا (IoT)، واقعیت مجازی (VR)،

واقعیت افزوده (AR) و هوش مصنوعی (AI) بر تعاملات موزه‌ای و دگرگونی هنر معاصر، به این پرسش اساسی می‌پردازد که این فناوری‌ها چگونه شیوه‌های نمایش و تفسیر آثار را متحول ساخته‌اند و در این میان، نقش مخاطب به عنوان کنشگری فعال در فرآیند تجربه هنری چه دگرذیسی یافته است. این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت توصیفی-تحلیلی است که با روش کیفی و با بهره‌گیری از راهبرد تحلیل محتوا انجام شده و داده‌های آن از طریق مطالعه کتابخانه‌ای و مرور اسناد و منابع جمع‌آوری شده است. یافته‌ها و نتایج نشان می‌دهد که بهره‌گیری از این فناوری‌ها به تحولاتی چندوجهی در حوزه‌های شخصی‌سازی تجربه و افزایش مشارکت مخاطب، حفاظت هوشمندانه و پیشگیری از آسیب آثار، یادگیری تجربی و آموزش موقعیت‌محور چندرسانه‌ای، امکان بازدید از راه دور، خلاقیت در خلق شیوه‌های نوآورانه در ارائه و نیز بازسازی آثار تخریب‌شده انجامیده است.

واژه‌های کلیدی: تعامل مخاطب، فناوری‌های نوظهور بصری، موزه‌های معاصر، هنر معاصر و فناوری دیجیتال، هوش مصنوعی و رباتیک در هنر

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۵/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۰

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۵/۰۳/۲۰

سید محمود میرعزیزی^۱: دکتری هنرهای تجسمی، گروه مطالعات عالی هنر، دانشکده هنرهای تجسمی، دانشکده‌گان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
E-mail: m_mirazizi@shirazartu.ac.ir

مصطفی گودرزی^۲ (نویسنده مسئول): استاد گروه مطالعات عالی هنر، دانشکده هنرهای تجسمی، دانشکده‌گان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
E-mail: mostafagoudarzi@ut.ac.ir

<https://doi.org/10.22059/jfava.2026.399519.667535>

استناد: میرعزیزی، سید محمود و گودرزی، مصطفی. (۱۴۰۵). تحول تعاملات موزه‌های معاصر از طریق همگرایی با فناوری با تأکید بر هنرهای معاصر. نشریه هنرهای زیبا: هنرهای تجسمی، ۳۱(۳)، ۲۱-۳۵.

مقدمه

با توجه به گسترش چشمگیر فناوری‌های دیجیتال پس از جنگ جهانی دوم (Manovich, 2002) و توسعه انبوه آن‌ها در دهه‌های اخیر ضرورت دارد که نگاهی جامع به بررسی نحوه همگرایی این دانش‌های دیجیتالی نوین در فضای موزه‌های معاصر در جهت ارائه بهتر هنرهای معاصر داشته باشیم. در دنیای امروز، انتقال از فناوری‌های آنالوگ که بر نمادها و نمایش‌های مستقیم تکیه داشتند، به فناوری‌های دیجیتال مفاهیم زمان، مکان و سرعت را تغییر داده و فضاهای تجربی جدیدی (Bautista, 2013) را شکل داده‌اند. همچنین این فناوری‌های نوین و دانش دیجیتالی چهره فرهنگ، هنر و جامعه را به‌طور اساسی متحول ساخته‌اند و به‌عنوان ابزارهای قدرتمند در قدرت نرم و ایجاد تفاهم میان ملت‌ها (Raymond, 2001)، اهمیت یافته است. بروز تحولات دیجیتالی و فناوریانه، از جمله واقعیت مجازی (VR)، واقعیت افزوده (AR)، اینترنت اشیا (IoT)، ربات‌ها و هوش مصنوعی (AI)، جایگاه و نحوه تعاملات میان موزه‌ها (Giannini & Bowen, 2022)، هنرها، هنرمندان و مخاطبان را دگرگون کرده است. این فناوری‌ها فرصت‌هایی نوین در ایجاد تجربیات چندحسی، تعاملی و شخصی‌شده برای بازدیدکنندگان فراهم نموده و فرآیندهای حفاظت، آموزش و خلق اثرات هنری در حوزه هنرهای معاصر را به سمت نوآوری سوق می‌دهند. در نتیجه، مفاهیم سنتی هنر و موزه، به‌ویژه در راستای تغییرات فناوری، نیازمند بازنگری و تحول هستند؛ چالشی که ضرورت بررسی و ارزیابی آن را در قالب پژوهشی علمی نشان می‌دهد. مطالعات پیشین نشان می‌دهند که همگرایی فناوری و هنر، می‌تواند ظرفیت‌های جدیدی برای توسعه فضای موزه‌ای، ارتقاء تجربه‌های بازدیدکنندگان و ترویج هنرهای معاصر فراهم آورد. بر این اساس، هدف این مقاله شناسایی ابعاد مسئله، تحلیل چستی و چگونگی تأثیر فناوری‌های نوین بر تعاملات موزه‌ای و تحول هنرهای معاصر است. در این راستا پرسش‌های اصلی پژوهش این است که فناوری‌های نوین چه تأثیری بر شیوه‌های نمایش و تفسیر هنرهای معاصر در موزه‌های معاصر داشته‌اند؟ همگرایی فناوری و هنر چگونه نقش مخاطب را در فرآیند تجربه هنری دگرگون کرده است؟ همچنین هر یک از فناوری‌های مذکور چه کاربردها، مزایا و چالش‌هایی در موزه‌های معاصر دارند؟ علاوه بر آن، تلاش می‌شود نمونه‌های عملی و استراتژیک برای بهره‌برداری اثربخش از فناوری در توسعه و ترویج هنرهای جدید در موزه‌های معاصر ارائه شود؛ به‌نحوی که مشخص شود که چگونه این رویکردهای دیجیتالی می‌توانند نقش مؤثری در تحکیم جایگاه موزه‌های معاصر به‌عنوان فضاهای پویا، فراگیر و تأثیرگذار در جامعه ایفا کنند.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، توصیفی-تحلیلی است که با روش کیفی و با بهره‌گیری از راهبرد تحلیل محتوا انجام شده است. داده‌ها با استفاده از روش کتابخانه‌ای و با مرور اسناد و منابع شامل مقالات علمی، کتب تخصصی، گزارش‌های موزه‌ای، مجموعه مقالات کنفرانس‌های بین‌المللی و پایگاه‌های داده معتبر گردآوری شده است. جامعه پژوهش شامل موزه‌های معاصر پیشرو در به‌کارگیری فناوری‌های دیجیتال در سطح بین‌المللی است که در بازه زمانی ۱۹۴۷ تا ۲۰۲۶ م، تجارب شاخصی در همگرایی فناوری و هنرهای معاصر داشته‌اند انتخاب شده

است. این بازه زمانی به دلیل ضرورت بررسی روند تاریخی شکل‌گیری نظریه‌های همگرایی هنر و فناوری از نخستین اندیشه‌های نظری پس از جنگ جهانی دوم (موهولی-ناگی، ۱۹۴۷) تا تحولات معاصر و آخرین دستاوردهای فناوریانه از جمله افتتاح موزه دیتالند در سال ۲۰۲۶ به‌عنوان نخستین موزه جهان در حوزه هنرهای مبتنی بر هوش مصنوعی انتخاب شده است. معیارهای انتخاب شامل دارا بودن مجموعه‌های شاخص از هنرهای معاصر، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در نمایش و تعامل با مخاطب و مستندسازی و انتشار نتایج این تجارب در منابع معتبر علمی است. از نظر محدوده مکانی، پژوهش حاضر به تحلیل تجارب موزه‌های معاصر در سطح جهانی می‌پردازد که از نظر جغرافیایی شامل موزه‌های اروپا (مانند موزه دوپچه مونپخ، آمریکای شمالی (مانند موزه دالی فلوریدا، موزه هنر انتاریو) و آسیا (مانند موزه سانشینگدوی چین) می‌شود. دلیل انتخاب این موزه‌ها، پیشگامی آن‌ها در به‌کارگیری فناوری‌های نوین و دسترسی به اسناد و گزارش‌های معتبر درباره تجارب آن‌هاست.

پیشینه پژوهش

فناوری‌های نو ظهور در دوره معاصر نقش حیاتی و فزاینده‌ای در توسعه و تحول موزه‌ها ایفا می‌کنند، اما بی‌شک این تحول‌گرایی در حوزه موزه‌شناسی چندان به سمت بهره‌برداری وسیع از فناوری‌های نوین سوق پیدا نکرده است. بررسی ادبیات موجود نشان می‌دهد که بسیاری از کتاب‌ها و مطالعات در این حوزه، اغلب بر جنبه‌های تاریخی، آموزشی یا مدیریتی فناوری تمرکز دارند، اما کمتر به کاربردهای عملی و فناوری‌های علمی و فناوری‌های دیجیتال در محیط‌های موزه‌ای پرداخته‌اند.

برای نمونه، او. پی. اگرالوار در کتاب مبانی حفاظت و موزه‌شناسی (۲۰۰۷) فناوری‌های مدیریت و کنترل شناختی مانند سیستم‌های روشنایی، تهویه مطبوع و دزدگیرهای امنیتی را مورد بررسی قرار داده است که نشان‌دهنده درک عمیق و کاربردی او از اهمیت فناوری در موزه‌ها است، اما تمرکز چندان بر فناوری‌های دیجیتال و نو ظهور ندارد. کونو فیستر در کتاب شروع کار با اینترنت اشیا (۲۰۱۵) نقش و کاربردهای عملی اینترنت اشیا، شامل دستگاه‌ها، پروتکل‌های شبکه و برنامه‌نویسی را آموزش می‌دهد، اما این آموزش‌ها بیشتر به سمت راه‌اندازی و اجرای پروژه‌های خاص متمایل است. این در حالی است که گراهام بلک در کتاب دگرگونی موزه‌ها در قرن بیست و یکم (۲۰۱۲)، به‌ضرورت تحول موزه‌ها و نقش فناوری‌های دیجیتال در جذب مخاطبان و ایجاد تجربیات فراگیر اشاره می‌کند. او بر اهمیت تلفیق خدمات حضوری، آنلاین و موبایلی موزه‌ها و بهره‌مندی از رسانه‌های اجتماعی تأکید می‌ورزد و این تحول سراسری را برای بقا و اثربخشی موزه‌ها در عصر دیجیتال ضروری می‌داند، اما هنوز بحث فناوری‌محور و کاربردهای عملی فناوری‌های نو ظهور مانند اینترنت اشیا، در این پژوهش‌ها جایگاهی ندارد. در کتاب موزه‌ها و فرهنگ دیجیتال (۲۰۱۹)، تولا جیانینی و جانانان پی. بوون نشان می‌دهند چگونه فرهنگ دیجیتال در قرن بیست و یکم، موزه‌ها را متحول می‌کند. این اثر تصویری دقیق و جامع از وضعیت کنونی موزه‌ها، به‌ویژه آن‌هایی که در فرآیند تحول هستند، ارائه می‌دهد. تمرکز بر فرهنگ، هنر، رفتار دیجیتال و تعامل میان زندگی واقعی و مجازی از محورهای اصلی این مطالعه است که بر مسیر آینده‌نگر موزه‌ها تأثیرگذار است. علاوه بر آن، پژوهش‌های فالک و دیرکینگ در مدل زمینه‌ای یادگیری

عناصر چندحسی، آگاهی جدیدی را در مخاطبان ایجاد کردند و زمینه را برای همکاری بین انسان و تکنولوژی در فرآیند آفرینش هنری فراهم ساختند (استایلز، ۱۳۸۲/۱۹۹۶، ۱۶۱). در نقطه مقابل این تحولات، گوستاو متسگر^{۲۳} در سال ۱۹۵۹ که هم یک هنرمند بود، هم یک فعال سیاسی و هم آغازگر اعتصابات هنری، در بیانیه هنر خودتخریب‌گر^{۲۴} به نقد روند و شکل‌گیری، رشد و توسعه هنرهای رسانه‌ای پرداخت و معتقد بود استفاده از ابزارهای تکنولوژیک و فناورانه در خلق آثار هنری به معنای نابودی هنر از درون است.

موزه‌های معاصر و دانش تعاملی دیجیتال

فناوری‌های تعاملی دیجیتال برای اولین بار در موزه‌های علمی اروپا در دهه ۱۹۲۰ مورد استفاده قرار گرفتند، همچنین روش انتقال اطلاعات از طریق تعامل مستقیم با اشیای موجود نیز در سال ۱۹۳۳ در موزه‌های علمی در امریکا توسعه یافتند (Bedno & Bedno, 1999). در سال‌های اخیر، سیستم‌های تعاملی با فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند سطوح چندلمسی، واقعیت افزوده و واقعیت مجازی به‌طور فزاینده‌ای در بخش‌های مختلف موزه‌های هنری به کار گرفته شده‌اند. این فناوری‌ها که نوعی سیستم‌های حسی-محور هستند، رویکردی نوآورانه ارائه می‌دهند و امکان تجربه‌های تعاملی را فراهم می‌آورند. اگرچه سیستم‌های نمایشگاهی ایستاهنوز جایگاه خود را در فضاهای موزه حفظ کرده‌اند، اما در حال حاضر، سیستم‌های نمایشگاهی ترکیبی نیز در حال اجرا هستند (Karayılanoglu & Arabacıoglu, 2020, p. 427). از طریق این سیستم‌های نمایشگاهی و بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال، موزه‌ها می‌توانند به تقویت دیپلماسی فرهنگی و ایجاد شناخت بهتر از خود و سایر ملت‌ها نیز بپردازند و شرایط را برای فهم حداکثری هنرهای معاصر مهیا و به دموکراتیزه کردن همه هنرها کمک کنند. در این چارچوب، موزه‌های معاصر به‌عنوان نهادهای دانش‌بنیاد و اندیشه‌محور، برای حفظ جایگاه و توسعه خود در رقابت جهانی، در راستای تقویت تعامل با جامعه به استفاده راهبردی از فناوری‌های دیجیتال در حوزه‌های نمایش، ارتباطات عمومی، تبلیغات، بازاریابی و فعالیت‌های اجتماعی به‌عنوان کاتالیزوری برای تغییرات روی آورده‌اند. فناوری‌های دیجیتال با تسهیل دسترسی و فراهم کردن امکانات تعاملی، نقش مؤثری در جذاب‌تر کردن این فعالیت‌ها دارند و باعث افزایش مشارکت مجازی، بصری و صوتی مردم در فعالیت‌های موزه شده‌اند، با این تغییرات درک ما از فضای موزه هم تحول یافته است. لذا مطالعه و توسعه روش‌ها و تکنیک‌های نوآورانه در مدیریت و نمایش موزه‌ها به‌وسیله فناوری که از آن به‌عنوان «موزه‌شناسی تجربی»^{۲۵} نام برده می‌شود، کیفیت تعاملات را ارتقا می‌بخشد و در مسیر ارائه تجربیات به‌یادماندنی، همه‌جانبه و مشارکتی را در موزه‌های معاصر بهتر فراهم می‌آورد. فناوری‌ها، طراحی نمایشگاه‌های چندحسی در موزه‌های معاصر را تسهیل کرده و تجربیات متنوعی را در طول بازدید از موزه ارائه می‌دهند. همچنین این همگرایی در به‌کارگیری عناصر و تجهیزاتی مانند نور، حرکت^{۲۶} و صدا به‌منظور ساخت آثار هنری معاصر متفاوت نیز صورت گرفته است. به‌طور کلی، تجهیز فناوری موزه‌های معاصر شامل همه مراحل برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و اداره آن‌ها می‌شود و از این رو، توجه به تمام ابعاد شکل‌گیری آن ضروری است. این تجهیز در نحوه تحقق مهم‌ترین هدف موزه معاصر، یعنی

(۲۰۰۶) بر سه مرحله‌ای بودن تجربه بازدیدکننده تأکید دارند و نقش فناوری در بهبود و توسعه این تجربه‌های فناوری محور را مطرح می‌سازند. این مدل، رابطه مستقیم میان فناوری، نیازهای مخاطب و تجربه کلی در موزه‌ها را برجسته می‌کند و بر ضرورت تجدیدنظر در استراتژی‌های فناوری موزه‌ها تأکید دارد. در نتیجه، اگرچه در سال‌های اخیر توجه بیشتری به فناوری‌های دیجیتال و نوظهور در موزه‌ها افزایش یافته است، اما هنوز کمبود پژوهش‌های عملی و نمونه‌های کاربردی که به‌طور خاص به پیاده‌سازی فناوری‌های پیشرفته مانند واقعیت افزوده، واقعیت مجازی، اینترنت اشیا، و هوش در محیط‌های موزه‌ای می‌پردازند، محسوس است. این موضوع نیازمند توسعه مطالعات میان‌رشته‌ای است که هم فناوری‌های علمی و هم نیازهای آموزشی و حفاظتی موزه‌ها را به هم پیوند دهند تا امکان بهره‌برداری مؤثرتر و هم‌زمان از فناوری‌ها و دانش دیجیتال نوین فراهم شود و موزه‌های معاصر بتوانند نقش خود را در دنیای پویای علوم، فرهنگ و فناوری به‌خوبی ایفا کنند...

مبانی نظری پژوهش

از نخستین نظریه پردازانی که بعد از جنگ دوم جهانی به بررسی مضامین همگرایی و پیوندهای عمیق بین هنرها و فناوری پرداختند، موهولی-ناگی^۱ در سال ۱۹۴۷ با انتشار کتاب *بیش در حرکت*^۲ و *لوچیو فوتانا*^۳ در سال ۱۹۶۰ با اثر *محیط نور سیاه*^۴ بودند (Orford, 2008)، فرانک پوپر^۵ مورخ هنر و فناوری و استاد زیبایی‌شناسی دانشگاه پاریس نیز در اوایل دهه ۱۹۶۰ به تحلیل ساختارهای تعاملی هنر معاصر با رویکرد مشارکتی و رابطه بین مخاطب و اثر هنری از طریق فناوری پرداخت. در همین دوره و در اوایل دهه ۱۹۶۰ برخی دانشمندان مانند مایکل نول^۶ استاد دانشگاه کالیفرنیا جنوبی و هنرمندانی چون ولد کوهن^۷ بریتانیایی، الگورتم‌های هنرهای انتزاعی را خلق کردند و توسعه دادند که این اتفاق را می‌توان آغاز رابطه بین هوش مصنوعی و هنر دانست (Nake, 2019). در ادامه، ویلهلم کلار^۸ در سال ۱۹۶۶ نخستین مرکز «تجربیات هنر و فناوری»^۹ را تأسیس کرد که دسترسی هنرمندان به فناوری‌های جدید را فراهم می‌ساخت و آنان را در برابر تحولات فناورانه مقاوم می‌کرد. از دستاوردهای مهم این مرکز، برگزاری نمایشگاه *نه شب: تئاتر و مهندسی*^{۱۰} در موزه هنرهای مدرن نیویورک^{۱۱} در سال ۱۹۶۶ و نمایشگاه *هنر و فناوری*^{۱۲} در موزه هنرلس آنجلس^{۱۳} بین سال‌های ۱۹۷۱-۱۹۶۷، توسط نخستین کیوریتور هنر در قرن بیستم موریس تاجمن^{۱۴} سرپرست وقت این موزه است. فرانک مالینا^{۱۵} در سال ۱۹۶۷ با تأسیس یکی از معتبرترین منابع بین‌المللی در زمینه هنرهای دیجیتال یعنی *نشریه لئوناردو*^{۱۶} در پاریس، بستری علمی برای تعامل بین هنر معاصر، علوم و فناوری‌های جدید ایجاد کرد. در سال ۱۹۶۸ نیز رایشارت^{۱۷} کیوریتور موزه، بابرپای نخستین نمایشگاه هنرهای سایبرنتیک در موسسه هنرهای معاصر لندن^{۱۸}، گام مهمی در معرفی این هنر برداشت. دهه ۱۹۶۰ را می‌توان مرحله انتقالی هنر به دوران پست‌مدرنیسم با ساختارهای تعاملی گسترده در فضاهای رایانه‌ای دانست. از سال ۱۹۷۹، مؤسسه «آرس الکترونیکا»^{۱۹} در کشور اتریش با برگزاری نمایشگاه‌های سالانه هنر و فناوری، به یکی از مهم‌ترین مراکز هنر رسانه‌های جدید تبدیل شد. در دهه ۱۹۹۰، جفری شاول^{۲۰} با خلق اثر *ویدئویی شهر خوانا*^{۲۱} و تأسیس انجمن بین‌المللی هنر الکترونیک^{۲۲} در هلند، نقش به‌سزایی در توسعه هنرهای تعاملی ایفا کرد (جدول ۱). این محیط‌های فناورانه با توسعه

جدول ۱. تحولات همگرایی هنر و فناوری، از نظریه پردازی تا تعامل با دانش دیجیتال از ۱۹۴۷ تا ۱۹۹۰

تحولات همگرایی هنر و فناوری (از نظریه پردازی تا تعامل با دانش دیجیتال از ۱۹۴۷ تا ۱۹۹۰)			
سال	رویداد/شخصیت	مشارکت/دستاورد	تأثیر بر هنر معاصر
۱۹۴۷	لازلو موهولی-ناگی / کتاب <i>Vision in Motion</i>	نظریه پردازی ادغام فناوری در هنر	پایه گذاری مبانی هنر فناورانه و تعاملی
۱۹۵۹	گوستاو متسگر / بیانیه <i>Auto-Destructive Art</i>	انتقاد به استفاده از فناوری در هنر به عنوان «نابودی هنر از درون»	ایجاد جریان فکری انتقادی نسبت به هنر دیجیتال
۱۹۶۰	لوچینو فونتانا، کتاب <i>Black Light Environment</i>	کاوش در نور و فضا با فناوری	توسعه هنرهای محیطی و نورپردازی تعاملی
۱۹۶۰	مایکل نول استاد دانشگاه کالیفرنیا جنوبی و ولد کوهن هنرمند بریتانیایی	الگوریتم‌های هنرهای انتزاعی را خلق و توسعه دادند	آغاز رابطه بین هوش مصنوعی و هنر
۱۹۶۶	یوهان ویلهلم کلاور / تأسیس مرکز هنر و فناوری	ارائه مشاوره فنی به هنرمندان و برگزاری نمایشگاه‌های مشترک	تسهیل همکاری هنرمندان با مهندسان
۱۹۶۶	نمایشگاه <i>Nine Nights: Theater and Engineering</i> (MoMA)	ادغام تئاتر و مهندسی در هنر	گسترش مرزهای هنرهای اجرایی با فناوری
۱۹۶۷-۱۹۷۱	موريس تامچن / نمایشگاه <i>Art and Technology</i> (LACMA)	نمایش پروژه‌های مشترک هنرمندان و شرکت‌های فناوری	الهام بخش پروژه‌های بین‌رشته‌ای در هنر معاصر
۱۹۶۸	فرانک مالینا، تأسیس نشریه <i>لئوناردو پاریس</i>	انتشار پژوهش‌های میان‌رشته‌ای هنر و علم	تبدیل به مرجع معتبر در هنر دیجیتال و رسانه‌ای
۱۹۶۸	جاسپار ایشارت / نمایشگاه هنرهای سایبرنتیک لندن	نخستین نمایشگاه تخصصی هنرهای تعاملی	معرفی هنرهای دیجیتال به عنوان جریان اصلی
۱۹۷۹	تأسیس آرس الکترونیکا اتریش	برگزاری سالانه‌ترین جشنواره هنر و فناوری	ایجاد پلتفرمی جهانی برای هنر رسانه‌های جدید
۱۹۹۰	جفری شاول / اثر <i>Legible City</i>	استفاده از رایانه و ویدئو برای هنر تعاملی	پیشگامی در هنرهای دیجیتال و واقعیت مجازی
۱۹۹۰	تأسیس انجمن بین‌المللی هنر الکترونیک هلند	شبکه‌سازی هنرمندان و متخصصان فناوری	توسعه جوامع هنری دیجیتال در سطح جهانی
۱۹۸۰-۱۹۹۰	هنرهای تعاملی	مشارکت فعال مخاطب در خلق اثر	تبدیل مخاطب به «کاربر» و تغییر نقش موزه‌ها

و موزه‌های معاصر افزایش یابد، میزان مشارکت مخاطبان نیز به عنوان شرکت کنندگان «فعال و متعهد» به طور قابل توجهی افزایش یافته و آنان را به خالقان آثار تبدیل می‌کند. به طور کلی، میزان فناوری پذیری در تجربیات نمایشی موزه‌های معاصر، نحوه واکنش بازدید کنندگان - چه فعال و چه منفعل - در مواجهه با نمایشگاه‌های هنرهای جدید (Chen et al., 2021) را نه تنها در فرآیند کسب دانش سریع، بلکه در شکل دهی بنیادی زندگی اجتماعی و شخصی افراد، از جمله هنرمندان و مخاطبان، تغییر داده است؛ بنابراین، آینده موزه‌های معاصر در گرو بهره گیری هوشمندانه از فناوری و نوآوری در ارائه تجربیات موزه‌ای است. این روند که بخشی از موج تمدنی دیجیتالی شدن از دهه ۱۹۹۰ به شمار می‌رود، به توسعه «موزه مجازی»^{۲۸} انجامیده است. با این حال، ریشه‌های این مفهوم بسیار قدیمی‌تر است و می‌توان آن را در اندیشه‌های آندره مارلو جستجو کرد؛ او ابتدا در مقاله‌ای با عنوان «موزه بدون دیوار» (۱۹۴۷) این ایده را مطرح ساخت و سپس در کتاب «روانشناسی هنر» (۱۹۴۹-۱۹۵۰) مفهوم «موزه خیالی» را به عنوان فرایند تکمیلی آن اندیشه بسط داد (Malraux, 1996 & Herington, 2020). با این حال، باید توجه داشت که موزه مجازی صرفاً به معنای داشتن یک صفحه وب برای نمایش آثار مجموعه موزه نیست، بلکه نمایانگر بالاترین سطح بهره گیری از فناوری‌های نوین در یک موزه محسوب می‌شود. این نوع موزه‌ها امکان ارائه اطلاعات دیجیتال، یکپارچه و به راحتی قابل دسترسی را فراهم می‌آورند و با استفاده از فناوری‌های چندرسانه‌ای می‌توانند گفت‌وگوهای تعاملی و پویایی را شکل داده و

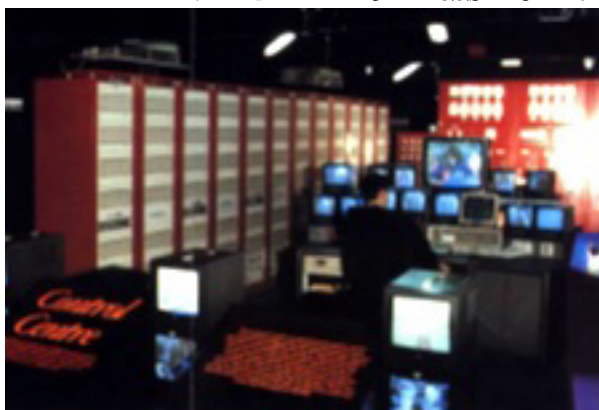
تعامل با هنرهای جدید و طراحی انواع نمایشگاه‌های نوآورانه با استفاده از امکانات رایانه، تأثیر بسزایی دارد. در کل، به کارگیری عناصر تکنولوژیک در موزه‌های معاصر، دورنمایی قابل قبول را برای پیشرفت نمایشگاه‌های هنرهای معاصر جدید و ایجاد محیطی شورانگیز و برانگیزنده، فراهم آورده است (هایز نبرگ، ۱۳۷۰/۱۹۵۸، ۴۲). همچنین، رشد فناوری سبب شده تا موزه‌های معاصر برای ارائه اطلاعات و آگاهی‌های مورد نیاز عموم بازدید کنندگان از طریق سیستم‌های شنیداری مانند رادیو، ضبط صوت قابل حمل، نوارهای شنیداری و غیره در زمینه وسایل بصری، نمایش اسلاید، انواع تصاویری چون کاریکاتور، نقشه‌ها و نمودارها، همراه با صدا، پخش فیلم و کلیپ و نرم افزارهای طراحی شده مخصوص موزه‌ها، برای توضیح در بازدیدهای گروهی و فردی استفاده کنند و به مثابه «منبع باز» هستند که دسترسی آنلاین و رایگان به اطلاعات را برای مخاطبان فراهم می‌کنند و این موضوع ماهیت جوامع را نیز تغییر داده است (Raymond, 2001) در این شرایط، بازدید کنندگان محتوای هنرهای جدید را بهتر درک کرده و هنرمندان این امکان را پیدا کرده‌اند تا در شکل دهی چیدمان‌های تعاملی خود، محدودیت‌های گذشته را نداشته باشند. از دیدگاه مارک دوز^{۲۹}، استاد مطالعات رسانه‌ای دانشگاه آمستردام، کاربرد فناوری و رسانه‌های دیجیتالی در نمایش هنرهای جدید علاوه بر بعد تعاملی، بُعد مشارکتی نیز دارند که تجربه مخاطبان در تعامل با فناوری به گونه‌ای ساده و یکسان خواهد بود (Deuze, 2009, p. 467). به این ترتیب، فناوری‌ها تعامل و مشارکت را گسترش داده و نهادینه می‌کنند. هر چه سطح تعامل میان هنرهای جدید

بارسلونا^{۲۰} (Macba) اقدام به نصب کدهای QR در مکان‌ها و سطوح مختلف موزه کرد و با استفاده از برنامه دیجیتال موزه، به نام MacbaAPP، بازدیدکنندگان قادر بودند این کدهای QR را با دوربین تلفن همراه خود فعال کرده و به ویدیوهای کوتاهی دسترسی پیدا کنند که فرآیند جمع‌آوری و ساخت آثار هنری در مجموعه را نشان می‌دادند. در ادامه، به بررسی و تحلیل روند تحولات فناوری و دیجیتالی شدن فعال موزه‌های معاصر، از جمله استفاده از ربات‌ها، واقعیت مجازی، واقعیت افزوده، اینترنت اشیا و هوش مصنوعی خواهیم پرداخت.

تصویر ۱. سیستم‌های لمسی موزه جنگ سلطنتی لندن (۱۹۹۴) (Erbay, 2017, p. 264)



تصویر ۲. موزه تصویربرداری لندن (۱۹۹۴) (Erbay, 2017, p. 262)



مدیریت کنند (Schweibenz, 2004). چون که امروزه، تکنیک‌های نمایش دیجیتال و فعالیت‌های پشتیبانی شده توسط پروژه‌های فناوری محور نقش مهمی در تحول نحوه نگاه و تعامل بازدیدکنندگان با رویدادهای هنری معاصر ایفا می‌کنند و به جای تمرکز تنها بر داخل و خارج فضاهای موزه، امکان مستندسازی و نمایش رویدادهای هنری معاصر در بستر رسانه‌ای را فراهم می‌سازد و مرزهای فیزیکی رویدادهای هنری را از بین می‌برد. بر این اساس، دانش دیجیتالی رایج در موزه‌های معاصر، قابل دسته‌بندی به فناوری‌های تعاملی «غیرفعال» و «فعال» هستند، زیرا این تحولات، سطح تعامل و مشارکت عمومی در موزه‌های معاصر را به شکل قابل توجهی افزایش داده‌اند.

۱. فناوری‌ها و دانش دیجیتالی تعاملی غیرفعال (جدول ۲): سیستم‌های هستند که بدون نیاز به اقدام مستقیم و فعال بازدیدکنندگان، تعامل غیرمستقیم و مؤثری با آن‌ها برقرار و نقش مهمی در بهبود تجربه بازدید از موزه ایفا می‌نمایند. این فناوری‌ها اغلب به صورت خودکار عمل کرده و اطلاعات و نمایش‌های دیجیتال را در اختیار بازدیدکنندگان قرار می‌دهند یا محیط را برای آنان غنی‌تر و جذاب‌تر می‌سازند. نمونه‌های رایج این نوع فناوری‌ها شامل سیستم‌های نقشه‌برداری پروجکشن، سیستم‌های صوتی، نمایشگرهای دیجیتال و حسگرها هستند.

۲. فناوری‌ها و دانش دیجیتالی تعاملی فعال: این سیستم‌های نیاز به مشارکت فعال دارند که می‌توان آن‌ها در قالب صفحه‌نمایش‌های لمسی، ربات‌ها، پیاده‌سازی کدهای QR، واقعیت مجازی، واقعیت افزوده، واقعیت ترکیبی، اینترنت اشیا و برنامه‌های هوش مصنوعی طبقه‌بندی کرد. به عنوان نمونه، موزه جنگ سلطنتی (iwm)^{۲۱} لندن در سال ۱۹۹۴ (تصویر ۱)، زمانی که برای نخستین بار در موزه از سیستم‌های لمسی استفاده کرد توجه اکثر بازدیدکنندگان را به خود جلب کرد (Imperial War Museums, n.d.). همچنین در همان سال، موزه تصویربرداری لندن (تصویر ۲) اولین بار اتاق‌های خود را با سیستم‌های نظارتی از طریق دوربین‌های مدار بسته مجهز کرد تا ایمنی بازدیدکنندگان را تضمین کند. در این سیستم، اتاق کنترل به بازدیدکنندگان نمایش داده شده و اطلاعات مربوط به نظارت و امنیت ارائه می‌شد (Erbay, 2014, p. 3). در سال ۲۰۱۴، موزه هنرهای معاصر

جدول ۲. فناوری‌ها و دانش دیجیتالی تعاملی غیرفعال در موزه‌ها

فناوری‌های دیجیتال تعاملی غیرفعال در موزه‌ها				
معایب/محدودیت‌ها	مزایا	نمونه‌های کاربردی	تعریف و عملکرد	دانش دیجیتالی
- ممکن است تعامل عمیقی ایجاد نکند - خطر یکنواختی تجربه	- ارائه اطلاعات بصری جذاب - عدم نیاز به مشارکت فعال - بازدیدکننده	- نمایش‌های دیجیتالی مانند، نمایشگاه جف وال با عنوان «زمان متوقف می‌شود» در موزه هنر، معماری و فناوری (MAAT) لیسبون	سیستم‌های نمایش تصاویر، ویدیوها یا اطلاعات بدون نیاز به تعامل فیزیکی مستقیم	صفحه‌نمایش‌های دیجیتال
- وابستگی به کیفیت سخت‌افزار صوتی - محدودیت در محیط‌های شلوغ	- تقویت جو فضایی - انتقال اطلاعات چندحسی	- نمایشگاه «گراش» (۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸) در موزه ملی هنرهای قرن بیست و یکم ماکسی در رم، به کیورینوری لوئجیا لوناردی، وینچنزو ناپلانو و آندره آ زانینی	فناوری‌های پردازش و پخش صدا به صورت دیجیتال، اغلب همراه با نمایش‌های بصری	سیستم‌های صوتی دیجیتال
- نیاز به فضای تاریک برای کیفیت مطلوب - هزینه بالای اجرا	- انعطاف‌پذیری در طراحی فضایی - امکان بازسازی آثار تخریب‌شده (مثل بودای بامیان افغانستان)	- نمایش‌های موزه مهاجرت ایرلند و موزه دریانوردی آمستردام - نمایش‌های هنری مانند «شب‌های کلیمت» در وین، آمستردام، نیویورک و آنتورپ	تابش تصاویر دیجیتال بر سطوح مختلف برای تغییر موقت فضای نمایش	نقشه‌برداری پروژکتوری
- نیاز به سنجش و تنظیم مطابق با استانداردها - احتمال خطا در تشخیص حرکات	- افزایش امنیت آثار - جمع‌آوری داده‌های رفتاری - بازدیدکنندگان	- ردیابی حرکت بازدیدکنندگان و سیستم‌های هشدار ضدلش آثار، مانند موزه علوم شهر بوفالو نیویورک و موزه بورگزه رم	سیستم‌های واکنش‌گر به حرکت، صدا، نور یا فشار برای تعامل غیرمستقیم	حسگرها

موزه ملی تاریخ آمریکا^{۳۳} در واشنگتن دی سی معرفی شد. این ربات راهنمای خودران پیشرفته‌ای بود که توسط محققان دانشگاه کارنگی ملون و دانشگاه بن آلمان توسعه یافته بود و در موزه ملی تاریخ آمریکا در مجموعه اسمیتسونیان مستقر شد، در طول فقط دو هفته فعالیت، این ربات با بیش از پنجاه هزار بازدیدکننده تعامل داشت و بیش از چهار و چهار کیلومتر را طی کرد (Thrun et al., 1999). این پروژه که یکی از تجربیات پیشگامانه در حوزه رباتیک تعاملی، مشارکت عمومی و دسترسی راه دور به حساب می‌آید، فناوری‌های پیشرفته رباتیک را مستقیماً در اختیار بازدیدکنندگان موزه قرار داد و نمونه‌ای از کاربردهای عملی هوش مصنوعی در محیط‌های عمومی شد. در بیستم ژوئن ۲۰۲۵، موزه هنر معاصر^{۳۴} کپنهاک نمایشگاهی تحت عنوان «ربات‌های نرم» (تصویر ۵) افتتاح کرد که به بررسی تأثیر فناوری‌های نوین خصوصاً هوش مصنوعی بر هنر معاصر و زندگی انسان می‌پردازد. این رویداد بر ارتباط بین انسان و ماشین و به سؤالاتی درباره روح داشتن ماشین‌های آینده و قابلیت دوست بودن آن‌ها برای انسان می‌پردازد، تمرکز دارد. هدف از این نمایشگاه، بر پایداری هنر به عنوان فضایی برای تأمل و کاوش در نقش فناوری در شکل‌گیری هویت انسان تأکید کرده و مرزهای بین واقعیت و مجاز، زندگی و مرگ را در فضای معاصر به چالش می‌کشد.

تصویر ۴. ربات مینروا (۱۹۹۸)، موزه ملی تاریخ آمریکا، واشنگتن دی سی (Thrun et al., 1999)



ربات‌ها

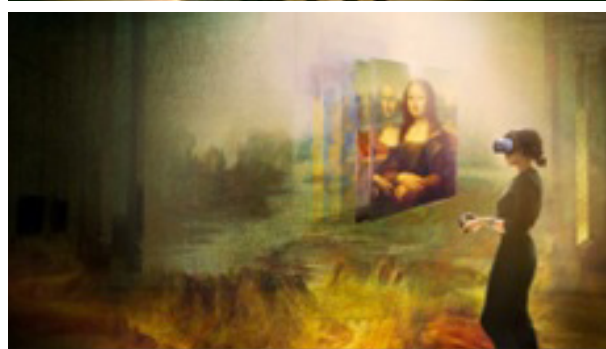
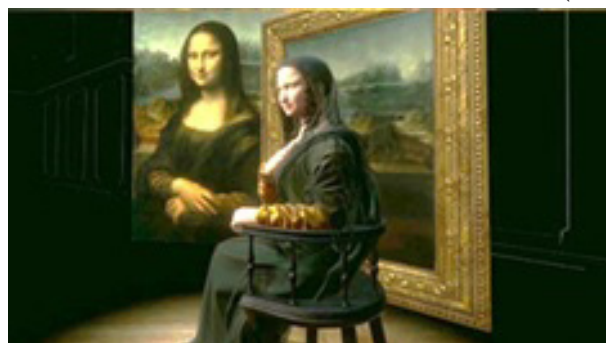
از نمونه‌های اولیه و پیشرفته فناوری‌های هوشمند در فضاهای موزه‌ای ربات‌های راهنما هستند که نقش مهمی در جذب بازدیدکنندگان و ارتقای تجربه آن‌ها ایفا می‌کنند. این ربات‌ها نه تنها به عنوان راهنما، بلکه به عنوان ابزارهای آموزشی، فرصت‌هایی را برای آشنایی با فناوری‌های نوین، مفاهیم هوش مصنوعی و نوابری خودکار فراهم می‌کنند و نقش بسیار مهمی در توسعه رباتیک و هوش مصنوعی ایفا کرده‌اند. در سال ۱۹۹۷، ربات «کرگدن» یا «راینو» (RHINO) (تصویر ۳) برای اولین بار در موزه تخصصی علوم و فناوری دویچه^{۳۵} در بن، آلمان به عنوان ربات راهنمای تعاملی مورد استفاده قرار گرفت. این ربات به صورت خودکار در داخل موزه حرکت می‌کرد و اطلاعاتی درباره آثار موجود در مجموعه ارائه می‌داد. طی سال‌های ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸، این ربات در قالب یک برنامه منسجم و پیوسته در شش روز فعالیت داشت و بیش از دو هزار بازدیدکننده را راهنمایی کرد (Burgard et al., 1999)، اگرچه این ربات دیگر فعالیت ندارد، اما محل قرارگیری آن به یک نمایشگاه در موزه دویچه تبدیل شده است که از طریق تجربه واقعیت مجازی به نام RHINO-VR قابل تعامل است، به بازدیدکنندگان امکان می‌دهد با نسخه مجازی ربات تعامل داشته و مفاهیم رباتیک سیار را بیاموزند. این ربات نمونه‌ای عملی از کاربردهای اولیه هوش مصنوعی و نوابری خودکار در محیط‌های عمومی بود. همچنین در سال ۱۹۹۸، ربات «مینروا»^{۳۶} (تصویر ۴) به عنوان نسل دوم ربات‌ها در

تصویر ۳. ربات کرگدن با نام RHINO (راینو)، موزه دویچه، بن آلمان (Deutsches Museum Bonn, 2023)



دیدن تابلوی مونا لیزا، امکان دسترسی به مجموعه دائمی لوور را نیز داشتند؛ بنابراین، این تجربه با بهره گیری از تصویر متحرک، صدا و طراحی تعاملی، نه تنها فرآیند دسترسی به اطلاعات را آسان تر کرد، بلکه دسترسی عمومی به این اثر هنری را دموکراتیک ساخت.

تصویر ۶. واقعیت مجازی، نمایشگاه مونا لیزا: آن سوی شیشه ها، موزه لوور (jahshaka, 2019)



واقعیت افزوده (AR)

اصطلاح «واقعیت افزوده»^{۴۰} و ویژگی های آن برای نخستین بار در سال ۱۹۹۷ توسط رونالد آزوما^{۴۱} در مقاله «بررسی واقعیت افزوده» معرفی شد. وی واقعیت افزوده را فناوری ای تعریف کرد که در آن اشیاء مجازی سه بعدی با یک محیط واقعی سه بعدی در زمان واقعی ادغام می شوند (Azuma, 1997). برخلاف واقعیت مجازی که کاربران را در یک محیط کاملاً شبیه سازی شده غوطه ور می کند، واقعیت افزوده ترکیبی از فضای مجازی و صحنه های فیزیکی است (Carmigniani et al., 2019; Garzón et al., 2011). به بیان دیگر، این فناوری اشیاء دنیای واقعی یا نمایش های دیجیتالی آن ها را با عناصر مجازی اضافی همچون متن، صدا و ویدیو که «تقویت های دیجیتالی» نامیده می شوند، همپوشانی می کند. (Azuma, 1997). این فرآیند معمولاً از طریق نمای دوربین در پلتفرم های موبایل یا نمایشگرهای شفاف مانند عینک های هوشمند تحقق می یابد. (Scavarelli et al., 2021). مثلاً با هدایت تلفن همراه به سمت یک اثر، اطلاعات با توضیحات تعاملی مربوط به آثار هنری و جزئیات زندگی هنرمند به نمایش درمی آید؛ بنابراین، در یادگیری موزه ای، واقعیت افزوده می تواند دسترسی آسان به پدیده های غیر قابل مشاهده یا اطلاعات دیجیتال در نمایشگاه ها را برای یادگیرندگان موزه فراهم کند و درک آن ها را از دنیای واقعی ارتقا دهد (Danaei et al., 2020). واقعیت افزوده در موزه ها کاربردهای متنوعی دارد؛ برای نمونه، موزه تاریخ طبیعی لندن از این فناوری برای طراحی مسیرهای تعاملی و بازی گونه برای کودکان بهره می برد.

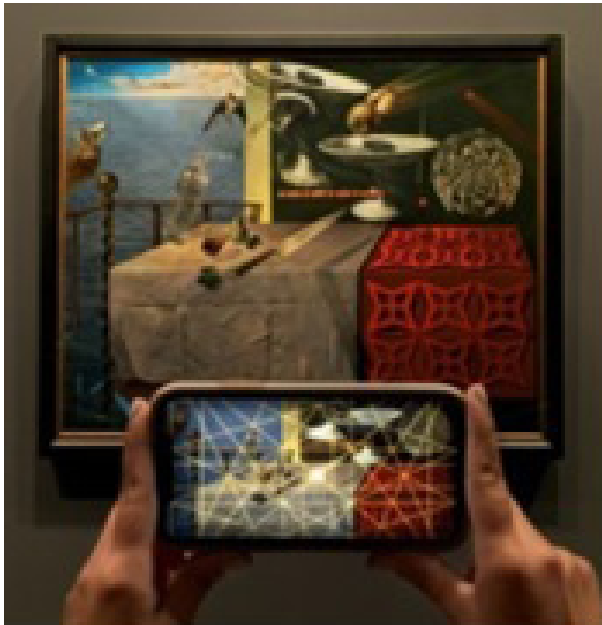
تصویر ۵. نمایشگاه ربات های نرم، دانمارک، موزه هنرهای معاصر کپنهاک (Copen-hagen Contemporary, 2025)



واقعیت مجازی (VR)

ایده اصطلاح «واقعیت مجازی»^{۴۲} که نخستین بار در سال ۱۹۶۵ توسط ساترلند^{۴۳} در مقاله «نمایشگر نهایی»^{۴۴}، مطرح گردید (Mazuryk & Gervautz, 1999)، در موزه های معاصر عمدتاً به عنوان هنر رسانه ای جدید، به موزه داران موزه اجازه می دهد تا به راحتی نمایشگاه های مجازی موزه ای از آثار دوبعدی و سه بعدی ایستا و پویا راه اندازی کنند؛ زیرا که این فناوری کاری می کند که همه چیز «شبهه به واقعیت به نظر برسد، شبیه به واقعیت عمل کند، شبیه به واقعیت تعامل داشته باشد و شبیه به واقعیت احساس شود.» (Sutherland, 1965, p. 506). بازدید کنندگان می توانند در اتاق های مجازی حرکت کنند، آثار را بررسی کنند و به روش های بدیع با آن ها تعامل داشته باشند. شرکت کنندگان می توانند با ایجاد نمایشگاه های خود که به عنوان بازدید کننده از آن ها بازدید می کنند، از این سیستم استفاده کنند (Giangreco et al., 2019) و با هدست هایی مانند Oculus Rift یا HTC Vive که آن ها را از دنیای واقعی جدا می کند تا در فضای دیجیتال غوطه ور شوند. این فناوری شرایط بازسازی مجازی مکان های تاریخی از دست رفته (Carrozzino & Bergamasco, 2010)، مانند تخت جمشید که امکان مشاهده آن ها در شکل و شمایل اصلی نیست را فراهم می کند. همچنین، به بازدید کنندگان اجازه می دهد آثار هنری را به صورت تعاملی، در ابعاد واقعی و در محیط های اصلی مشاهده کنند (LaValle, 2023). افزون بر این، این فناوری فرصت سفرهای مجازی به دوره ها و وقایع تاریخی را فراهم می آورد و امکان دسترسی به موزه های دیگر کشورها بدون رفتن به موزه، از طریق تورهای مجازی فراهم می شود. مزایای این فناوری شامل خلق تجربیاتی عمیق و فراموش نشدنی، بازسازی آثار و بناهای تخریب شده و کاهش محدودیت های فیزیکی است که به افراد کم توان و ساکنان کشورهای دیگر امکان بازدید و بهره برداری همزمان از برنامه ها را می دهد. برای نمونه، موزه لوور از ۲۴ اکتبر ۲۰۱۹ تا ۲۴ فوریه ۲۰۲۰ در تالار ناپلئون، نخستین برنامه واقعیت مجازی خود را برگزار کرد. این برنامه با عنوان «مونا لیزا: آن سوی شیشه»^{۴۵} و به عنوان بخشی از نمایشگاه «لئوناردو داوینچی»^{۴۶} به مناسبت پانصدمین سالگرد درگذشت این هنرمند ارائه شد (تصویر ۶). بر اساس تحقیقات، تابلو مونا لیزا در حالت سنتی روزانه بیش از بیست هزار بازدید کننده دارد. با توجه به تعداد زیاد بازدید کنندگان و شکنندگی اثر، هر فرد تنها می تواند به مدت سی ثانیه و از فاصله معین آن را مشاهده کند. در این تجربه واقعیت مجازی، بازدید کنندگان علاوه بر

تصویر ۸. نمایشگاه «جادوی بصری: شاهکارهای دالی در واقعیت افزوده»، سن پترزبورگ فلوریدا (۲۰۱۹) (nfcatalyst, 2019)



آدرس IP مجهز شده و قابلیت انتقال داده از طریق شبکه را دارا باشند، در اصطلاح «اشیاء هوشمند» نامیده می‌شوند. در ادامه توسعه این فناوری اینترنتی، نسل جدیدتری با عنوان «اینترنت اشیا» (IoT)^{۴۷} شکل گرفت که دسترسی به داده‌های حسگر و کنترل از راه دور دنیای فیزیکی را در موزه‌ها ممکن ساخت. این فناوری نقش مهمی در حفاظت بهتر از آثار ارزشمند، غنی‌سازی و شخصی‌سازی تجربه بازدیدکنندگان و ساده‌سازی فرآیندهای مدیریتی ایفا کرد (Kopetz & Steiner, 2022). حسگرهای محیطی مبتنی بر اینترنت اشیا با نظارت مداوم بر شرایط نگهداری آثار، از آسیب‌های ناشی از تغییرات دما، رطوبت و نور جلوگیری می‌کنند. همچنین این حسگرها می‌توانند عواملی چون حشرات، آفات، رشد قارچ‌ها و مواد شیمیایی را در فضای موزه یا حتی درون ویترین‌ها کنترل و تنظیم نمایند. از سوی دیگر، سیستم‌های امنیتی مبتنی بر اینترنت اشیا، دارایی‌های موزه را در برابر سرقت و آسیب محافظت می‌کنند. این سیستم‌ها قادرند هرگونه فعالیت مشکوک و نیز بلایای طبیعی مانند زلزله و طوفان را به سرعت شناسایی و هشدار دهند (Rose et al., 2015). اگر این فناوری‌ها هوشمندانه و با دقت اجرا شوند، می‌توانند تحولات شگرفی را برای موزه و حوزه‌های مرتبط از جمله موزه‌شناسی و مدیریت موزه به ارمغان آورند. این فناوری‌ها علاوه بر کاهش هزینه‌ها، به بهبود حفاظت از آثار، ارائه محرک‌های سریع و پاسخ‌گویی بهینه سیستم، کاهش وابستگی به نیروی انسانی و مدیریت بهتر منابع کمک می‌کنند؛ و در نهایت باعث می‌شوند موزه‌ها فضای امن‌تر، کارآمدتر و جذاب‌تری برای بازدیدکنندگان باشند. برای نمونه، برخی کشورها با استفاده از سیستم پردازش Raspberry Pi 4B در حال تحقیقات و طراحی نمونه اولیه آزمایشی اینترنت اشیا برای تشخیص جابجایی غیرمجاز آثار موزه‌ای هستند (Shaikat et al, 2024). در ادامه، جدول ۳ ارائه شده است که اطلاعات مربوط به کاربرد فناوری اینترنت اشیا در موزه‌های مختلف را به صورت ساختار یافته نمایش می‌دهد.

این فناوری همچنین امکان بازسازی مجازی اشیاء آسیب‌دیده را فراهم می‌کند؛ مانند نمایش کامل مجسمه‌های شکسته یا احیای رنگ‌های اصلی آثار تاریخی که در طول زمان محو شده‌اند. افزون بر این، بازدیدکنندگان می‌توانند با شخصیت‌های تاریخی ارتباط تعاملی برقرار کنند و فرآیند خلق یک اثر را از نزدیک مشاهده نمایند. به این ترتیب، واقعیت افزوده به ابزاری مؤثر برای اطلاع‌رسانی و افزایش مشارکت مخاطبان در موزه‌ها تبدیل شده است. برای نمونه، در ژوئیه ۲۰۱۷، موزه هنر انتاریو^{۴۸} در تورنتو یک چیدمان واقعیت افزوده به نام ReBlink^{۴۹} را با هنرمند دیجیتال می‌هو^{۴۴} (Awadalla, 2023) راه‌اندازی کرد (تصویر ۷) که از آن به عنوان یکی از اولین آزمایش‌های برجسته واقعیت افزوده در یک موزه بزرگ نام می‌برند. این پروژه از بازدیدکنندگان دعوت می‌کرد تا آثار هنری را از طریق لنز فناوری دیجیتال مانند تبلت و موبایل «بازتصور» و نسخه‌های مختلفی از نقاشی‌ها را به همراه نسخه‌های اصلی آن‌ها مشاهده کنند که در آن‌ها تصاویر بصری متحرک شده‌اند. در نظرسنجی انجام شده موزه تا قبل از این بازدیدکنندگان به طور متوسط حدود سه ثانیه در مقابل هر نقاشی قرار می‌گرفتند، ولی با کاربرد این فناوری مشخص شد که آن‌ها زمان زیادی را می‌توانند صرف بازدید از موزه نمایند. نمونه دیگر در موزه دالی در سن پترزبورگ فلوریدا (تصویر ۸)، در نمایشگاه «زندگی دالی»، «جادوی بصری: شاهکارهای دالی در واقعیت افزوده» در سال ۲۰۱۹ اتفاق افتاد که در آن بازدیدکنندگان توانستند از طریق یک صفحه دیجیتال با نسخه مجازی سالوادور دالی هنرمند سورئالیست تعامل داشته باشند.

تصویر ۷. نمایشگاه الکس میهيو، ری‌بلینک (۲۰۱۷)، گالری هنر انتاریو (CBC News, 2018)



اینترنت اشیا (IoT)

از سال ۱۹۹۱، پرسشی بنیادین در دنیای فناوری شکل گرفت که عبارت بود از: «چه اتفاقی رخ می‌داد اگر اینترنت می‌توانست فراتر از رایانه‌های رومیزی، به دستگاه‌های پیرامون ما نیز متصل شود؟» (Bhattacharya & Afkham, 2014) تا اینکه در سال ۱۹۹۹ اصطلاح «اشیاء هوشمند» برای موزه‌ها توسط کوین اشتون^{۴۵} از دانشگاه ماساچوست^{۴۶} ابداع شد (Norris, 2015) یعنی، اشیاء طبیعی یا مصنوعی موجود در موزه که به

جدول ۳. کاربرد اینترنت اشیا در موزه‌های جهان

کاربرد اینترنت اشیا (IoT) در موزه‌های جهان			
اهداف اصلی	کاربرد اینترنت اشیا IoT	کشور/شهر	موزه
جلوگیری از آسیب، کاهش هزینه‌های مرمت، نظارت خودکار محیطی	حسگرهای بی‌سیم برای نظارت بر دما، رطوبت و نور در آثار حساس (مثل Cloisters)	نیویورک، آمریکا	موزه هنر متروپولیتن
افزایش امنیت، مدیریت بهتر مجموعه‌ها، جلوگیری از سرقت	سیستم‌های ردیابی مبتنی بر اینترنت اشیا (مانند RFID) برای مکان‌یابی و وضعیت آثار	لندن، انگلیس	موزه بریتانیا
بهینه‌سازی محیط نمایشگاه، تجربه بهتر بازدیدکنندگان، نگهداری پیشگیرانه	حسگرهای اینترنت اشیا برای ردیابی دی‌اکسید کربن، دما، رطوبت و فاصله‌گذاری اجتماعی	دیترویت، آمریکا	موزه چارلز اچ. رایت
بهبود دسترسی دیجیتال، نمایشگاه‌های هوشمند (تمرکز کم بر نظارت مستقیم آثار)	استفاده از اینترنت اشیا در نمایشگاه‌های تعاملی و مدیریت دیجیتال آثار	واشنگتن، آمریکا	موزه و مؤسسه اسمیتسونیان
افزایش تعامل بازدیدکنندگان (اطلاعات کم درباره نظارت داخلی آثار)	نمایش‌های تعاملی اینترنت اشیا در فضای باز	کانادا	موزه سلطنتی بریتیش کلمبیا

هوش مصنوعی (AI)

هوش مصنوعی (AI)^{۴۸} به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین فناوری‌های دیجیتال، تحولی چشمگیر در صنعت موزه‌داری ایجاد کرده است. امروزه نمایشگاه‌های موزه‌ای با بهره‌گیری از این فناوری و سیستم‌های پیشرفته مرتبط با آن، غنای بیشتری یافته‌اند؛ به گونه‌ای که موزه‌ها علاوه بر جذب بازدیدکنندگان بیشتر، تجربه مخاطبان خود را نیز به صورت معناداری ارتقا می‌دهند. هوش مصنوعی می‌تواند نمایشگاه‌ها را بر اساس سلیقه‌های شخصی بازدیدکنندگان سفارشی‌سازی کند و با ارائه پیشنهادها، هوشمند، سطح تعامل را افزایش دهد. همچنین، یکپارچه‌سازی هوش مصنوعی با آرشیوهای دیجیتال و نمایشگاه‌های آنلاین، تعامل مخاطبان را با آثار هنری و تاریخی عمیق‌تر کرده است. برای نمونه، بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال همچون پلتفرم *MuBot* که با بهره‌گیری از چت‌بات‌های هوش مصنوعی (*Varitim*- *iadis et al., 2020*) امکان داستان‌سرایی پویا و تعاملات شخصی‌سازی شده را فراهم می‌کند و می‌تواند برای جذاب‌تر کردن تجربه‌های حواس پنج‌گانه و یادگیری مؤثرتر و به یادماندنی‌تر، کمک کند (*Peng et al., 2024, p.* 346). این فناوری امکان برقراری تعامل گسترده‌تر با بازدیدکنندگان در نمایشگاه‌ها با ایجاد «نمایشگاه هوشمند» با ارائه پاسخ‌های چندوجهی در قالب متن، گفتار شنیداری، صدا و تصویر را فراهم ساخته و موجب درک و ارتباط عمیق‌تر آنان با آثار نمایش داده شده می‌شود. از مهم‌ترین موزه‌هایی که از این پلتفرم استفاده می‌کند موزه هراکلیون^{۴۹} در کرت یونان است که در آن به بازدیدکنندگان این امکان را می‌دهد تا مستقیماً با آثار تعامل داشته باشند و در صورت نیاز پاسخ‌های محاوره‌ای و گزینش شده دریافت کنند (*heraklionmuseum, n.d.*). همچنین، هیون-کیونگ لی^{۵۰} از پژوهشگران پیشرو در تلفیق هوش مصنوعی و فناوری‌های دیجیتال با هنر و موزه در کره جنوبی، یک سیستم آرشیو مبتنی بر هوش مصنوعی طراحی کرده که احساسات موجود در طراحی‌ها را به داده تبدیل می‌کند و با پردازش ابر داده‌ها، تصاویر موزه‌ها را تفسیر می‌نماید (*Kim, & Lee, 2022, p. 2467*). موزه ملی دانمارک^{۵۱} در کپنهاگ نیز از یک چت‌بات هوشمند هوش مصنوعی به عنوان راهنمای دیجیتال استفاده می‌کند که به سؤالات بازدیدکنندگان، از ساعت کاری موزه تا جزئیات نمایشگاه‌های جاری، پاسخ می‌دهد (*National Museum of Denmark, n.d.*). موزه سانشینگدوی^{۵۲} چین نیز با ترکیب هوش مصنوعی و چاپ سه‌بعدی، آثار

تاریخی را بازآفرینی می‌کند (*memormuseum, 2025*). همان گونه که در بخش واقعیت افزوده درباره نمایشگاه «زندگی دالی» در موزه دالی، در سال ۲۰۱۹، درباره کاربرد واقعیت افزوده توضیح دادیم، بازدیدکنندگان در این نمایشگاه علاوه بر آن توانستند از طریق یک نمایشگر دیجیتال با استفاده از فناوری هوش مصنوعی با سالوادور دالی ارتباط برقرار کنند. این یک برنامه هوش مصنوعی بود که می‌توانست دالی را در زمان واقعی شبیه‌سازی کند که در آن شش هزار تصویر از ویدیوهای دالی از طریق یک نرم‌افزار تجسم می‌شوند (*The Dalí Museum, 2024*) که بازدیدکنندگان می‌توانند با فشار دادن دکمه‌ای روی صفحه نمایش دیجیتال، سیستم را فعال کرده و با یک دالی جعلی ارتباط برقرار کنند که هر بار دیالوگ شامل ترکیبی متفاوت ایجاد می‌کند. در پایان این تجربه، در این نمایشگاه یک سلفی نیز توسط دالی مصنوعی گرفته شده و به ایمیل بازدیدکنندگان ارسال می‌شود (*Karaylanoglu & Arabacioglu, 2020*). همچنین در موزه هنرهای مدرن^{۵۳} نیویورک، رفیک آنادول^{۵۴} هنرمند رسانه‌ای و پیشگام در هنرهای مبتنی بر داده و هوش مصنوعی در زمینه تلفیق هنر، فناوری، علم و معماری، در اثر «بدون نظارت»^{۵۵}، با تحلیل بیش از دویست سال تاریخ هنر، تفسیری جدید از هنر ارائه داد (*Anadol, & Kivrak, 2023*). در کل، این گونه نمایشگاه‌ها یک تجربه هوش مصنوعی سرگرم‌کننده و واقع‌گرایانه در موزه‌ها ایجاد می‌کند (*Kiouraxidou, & Stamou, 2025*). در بررسی نقش هوش مصنوعی در موزه‌ها، باید بین تأثیر آن بر تجربه بازدیدکنندگان و نقش آن در مدیریت تمایز قائل شد. واضح است که اگرچه هوش مصنوعی پتانسیل بهبود تجربیات بازدیدکنندگان را دارد، اما هیچ شواهد مستقیمی مبنی بر ارتباط آن با افزایش حضور یا تبدیل آن به یک انگیزه اصلی برای بازدید وجود ندارد. در عوض، در حوزه مدیریت موزه، این فناوری بیشتر به عنوان یک عامل توانمندساز در نظر گرفته می‌شود تا یک وسیله اصلی. باین حال، کاربرد هوش مصنوعی در تعامل با هنرهای جدید و موزه‌های معاصر، فرصت‌های بزرگی ایجاد می‌کند، اما در عین حال نگرانی‌هایی را نیز به همراه دارد؛ از جمله مسائلی مانند حفظ حریم خصوصی کاربران، دقت داده‌های تاریخی و جلوگیری از سوگیری‌های الگوریتمی. این نگرانی‌ها زمانی تشدید می‌شود که ساختارهای نابرابر درون موزه‌ها (مانند حذف روایت‌های حاشیه‌ای یا تمرکز تصمیم‌سازی در محیط‌های مدیریتی) با معیارهای بهره‌وری و تعامل

یافته‌های پژوهش

به‌منظور ارائه یافته‌های پژوهش که حاصل از تحلیل محتوای منابع تخصصی در زمینه کاربرد فناوری‌های نوین در موزه‌های معاصر است، سه جدول طراحی شده است که هر یک به جنبه‌ای خاص از این تأثیرگذاری می‌پردازند؛ جدول ۴ به تحلیل کاربردها و اثرات هر یک از فناوری‌های در موزه‌های معاصر اختصاص دارد. جدول ۵ تأثیر این فناوری‌ها را بر دو مؤلفه اصلی نمایش و حفاظت هنرهای معاصر در موزه‌ها بررسی می‌کند. همچنین جدول ۶ نقش فناوری‌های نوین را در تحول و شکل‌گیری شاخه‌های مختلف هنرهای معاصر جدید نشان می‌دهد. در ادامه، هر یک از این جداول به تفصیل ارائه و با رویکرد تطبیقی تحلیل می‌شوند تا ضمن بررسی کاربردها و اثرات فناوری‌ها، امکانات جدیدی که برای تعامل با بازدیدکنندگان، حفاظت از آثار و فرآیندهای آموزشی فراهم آورده‌اند، مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین، تأثیر این فناوری‌ها بر سبک‌ها و توسعه شاخه‌های گوناگون هنرهای معاصر جدید تحلیل خواهد شد.

الگوریتمی هدایت شوند. در چنین شرایطی، ممکن است از پتانسیل واقعی نمایشگاه‌ها کاسته شود. در واقع، اگر هوش مصنوعی صرفاً برای تکرار دانش پیشین، خودکارسازی رفتارها و تقویت ساختارهای قدرت موجود به کار گرفته شود، نمی‌تواند نوآوری واقعی ایجاد کند؛ بنابراین، استفاده از این فناوری در موزه‌ها نیازمند رویکردی محتاطانه و آگاهانه است. در پایان، باید گفت که موزه دیتالند^{۵۶} به‌عنوان نخستین موزه جهان در حوزه هنرهای مبتنی بر هوش مصنوعی شناخته می‌شود و نقش پل ارتباطی بین هنر، علم و فناوری را ایفا می‌کند. این موزه که به‌طور خاص به آثار خلق‌شده با هوش مصنوعی و الهام‌گرفته از آن اختصاص یافته، در ماه مارس سال ۲۰۲۶ در شهر لس‌آنجلس و در مجاورت موزه هنرهای معاصر، تئاتر براد و سالن کنسرت والت دیزنی افتتاح خواهد شد. پروژه‌ای نوآورانه و منحصر که توسط فرانک گری، طراح و توسط هنرمند رسانه‌ای رفیک آنادول و کارآفرین افسون‌ار کیلیچ^{۵۷} تأسیس شده است.

جدول ۴. تحلیل کاربردها و اثرات فناوری‌های نوین در موزه‌های معاصر

تحلیل کاربردها و اثرات فناوری‌های نوین در موزه‌های معاصر				
تأثیر بر تجربه بازدیدکننده	چالش‌ها	مزایا	کاربردهای کلیدی	فناوری
افزایش جذابیت برای کودکان و علاقه‌مندان به ریاتیک	- محدودیت در انعطاف‌پذیری - هزینه نگهداری بالا	- تعامل فیزیکی مستقیم - کاهش هزینه‌های نیروی انسانی	- راهنمای خودکار تورها (مثل راینو و مینروا)	ربات‌ها
تجربه‌ای عمیق و فراموش‌نشدنی	- نیاز به تجهیزات گران‌قیمت - عوارض جانبی	- غوطه‌وری کامل در محیط - دسترسی جهانی	- بازسازی آثار تخریب‌شده - تورهای مجازی	واقعیت مجازی (VR)
شخصی‌سازی و افزایش مدت تعامل با آثار	- وابستگی به دستگاه‌های همراه - محدودیت در پوشش فضایی	- تعامل بدون جداسازی از محیط واقعی - هزینه پایین‌تر نسبت به واقعیت مجازی	- افزودن لایه‌های اطلاعاتی به آثار - بازی‌های تعاملی (مثل موزه لندن)	واقعیت افزوده (AR)
بهبود غیرمستقیم (از طریق حفظ بهتر آثار)	- خطر امنیت سایبری - نیاز به زیرساخت پیچیده	- حفاظت پیشگیرانه از آثار - بهینه‌سازی انرژی	- نظارت بر شرایط محیطی (دما، رطوبت) - امنیت هوشمند	اینترنت اشیا (IoT)
تعامل هوشمند و یادگیری تطبیقی	- سوگیری الگوریتمی - نگرانی‌های حریم خصوصی	- پاسخگویی - تحلیل رفتار بازدیدکنندگان	- چت‌بات‌های راهنما (مثل موزه دانمارک) - سفارشی‌سازی نمایشگاه‌ها	هوش مصنوعی (AI)

جدول ۵. تأثیر فناوری‌های نوین بر نمایش و حفاظت هنرهای معاصر در موزه‌های معاصر

تأثیر فناوری‌های نوین بر نمایش و حفاظت هنرهای معاصر در موزه‌های معاصر						
چالش‌ها و محدودیت‌ها	خلاقیت و ارائه نوآورانه	دسترسی و شمولیت	یادگیری و آموزش	حفاظت از آثار	تعامل با مخاطب	فناوری
هزینه بالا، نگهداری پیچیده، محدودیت در تعامل عمیق	نمایش پویای آثار با راهنمایی ربات‌ها	کمک به افراد کم‌توان برای دسترسی بهتر	ارائه اطلاعات دقیق و شخصی‌سازی‌شده	نظارت بر شرایط محیطی (در برخی مدل‌ها)	راهنمایی خودکار، پاسخ به سؤالات، تعامل فیزیکی با بازدیدکنندگان	ربات‌ها
نیاز به تجهیزات گران‌قیمت، احتمال ایجاد سرگیجه	بازسازی آثار تخریب‌شده یا خلق محیط‌های تخیلی	امکان بازدید از راه دور برای همه افراد	تجربه یادگیری تعاملی و چندحسی	کاهش تماس فیزیکی با آثار واقعی	غوطه‌وری کامل در محیط مجازی، تعامل با آثار به‌صورت سه‌بعدی	واقعیت مجازی (VR)
وابستگی به دستگاه‌های همراه، محدودیت در پوشش کامل فضای موزه	ترکیب هنر معاصر با عناصر دیجیتال پویا	مناسب برای افراد کم‌توان (مثل متن‌خوان صوتی)	یادگیری موقعیتی با اطلاعات تکمیلی	کمک به نمایش آثار تخریب‌شده یا تغییر یافته	افزودن لایه‌های اطلاعاتی به آثار، بازی‌های تعاملی	واقعیت افزوده (AR)
نگرانی‌های امنیتی، هزینه راه‌اندازی بالا	امکان نمایش هوشمند آثار بر اساس ترفیک بازدید	بهبود دسترسی برای افراد با نیازهای ویژه	ارائه اطلاعات خودکار بر اساس موقعیت بازدیدکننده	نظارت لحظه‌ای بر دما، رطوبت، نور و امنیت	شخصی‌سازی تجربه بازدید از طریق داده‌های رفتاری	اینترنت اشیا (IoT)
سوگیری الگوریتمی، نگرانی‌های اخلاقی و حریم خصوصی	خلق هنر جدید با الگوریتم‌های هوش مصنوعی	ترجمه زنده، توصیف صوتی برای نابینایان	آموزش تطبیقی و پاسخ به سؤالات پیچیده	تحلیل داده‌های حفاظتی و پیش‌بینی آسیب‌ها	چت‌بات‌های هوشمند، پیشنهاد آثار بر اساس سلیقه فرد	هوش مصنوعی (AI)

جدول ۶. نقش فناوری‌های نوین در تحول هنرهای معاصر جدید

نقش فناوری‌های نوین در تحول هنرهای معاصر جدید					
هوش مصنوعی (AI)	اینترنت اشیا (IoT)	واقعیت افزوده (AR)	واقعیت مجازی (VR)	ربات‌ها	هنرهای جدید
خلاقیت در اجرا با الگوریتم‌های هوش مصنوعی	نظارت بر شرایط محیطی	افزودن لایه‌های دیجیتال به اجرا	بازسازی اجراها در فضای مجازی	تعامل ربات‌ها با اجراگران	هنر اجرایی (Performance Art)
طراحی چیدمان‌های پویا با هوش مصنوعی	کنترل محیطی هوشمند	تعامل دیجیتال با چیدمان فیزیکی	تجربه غوطه‌وری در چیدمان‌های مجازی	تأثیر کمی دارد	هنر چیدمان (Installation Art)
تولید ایده‌های جدید با هوش مصنوعی	تأثیر کمی دارد	افزودن تفسیرهای دیجیتال	بازنمایی مفاهیم انتزاعی در واقعیت مجازی	تأثیر چندانی ندارد	هنر مفهومی (Conceptual Art)
تحلیل و بهینه‌سازی فرآیند با هوش مصنوعی	ثبت داده‌های فرآیند با حسگرها	نمایش مراحل تکامل اثر	شبیه‌سازی فرآیندها در واقعیت مجازی	مستندسازی فرآیند با ربات‌ها	هنر فرایندی (Process Art)
تولید ویدئوهای مولد با هوش مصنوعی	تأثیر کمی دارد	ادغام ویدئو با عناصر واقعیت افزوده	نمایش در محیط‌های ۳۶۰ درجه	تأثیر چندانی ندارد	هنر ویدئویی (Video Art)
تحلیل داده‌های محیطی	پایش شرایط محیطی	افزودن اطلاعات زمین‌شناسی	بازدید مجازی از آثار دورافتاده	تأثیر کمی دارد	هنر زمینی/خاکی (Land Art)
پیش‌بینی تأثیرات زیست‌محیطی با هوش مصنوعی	مدیریت هوشمند محیط	تعامل با طبیعت از طریق واقعیت افزوده	شبیه‌سازی اکوسیستم‌ها در واقعیت مجازی	تأثیر کمی دارد	هنر محیطی (Environmental Art)
تحلیل سبک‌شناسی با هوش مصنوعی	تأثیر چندانی ندارد	تأثیر چندانی ندارد	نمایش آثار در فضای دیجیتال	تأثیر چندانی ندارد	هنر خام (Raw Art/Art Brut)
تولید حرکات جدید با هوش مصنوعی	تأثیر چندانی ندارد	افزودن افکت‌های دیجیتال	تجربه مجازی از هنر بدنی	ربات‌ها به عنوان بخشی از اجرا	هنر کشی و بدنی (Body Art)
پیش‌بینی الگوهای تخریب با هوش مصنوعی	ثبت داده‌های تخریب با حسگرها	مستندسازی فرآیند تخریب	بازسازی آثار از بین رفته	تأثیر چندانی ندارد	هنر خودویرانگر (Auto-Destructive Art)

بررسی تطبیقی جداول نشان می‌دهد که هوش مصنوعی تنها فناوری است که در تمامی حوزه‌های موزه‌داری (تعامل با مخاطب، حفاظت از آثار، یادگیری، دسترسی، خلاقیت) و در همه شاخه‌های هنرهای معاصر جدید (از هنر اجرایی تا هنر خودویرانگر) حضور فعال دارد. این فناوری با قابلیت‌هایی چون چت‌بات‌های هوشمند، تحلیل داده‌های حفاظتی، آموزش تطبیقی، ترجمه زنده، خلق آثار هنری جدید و پیش‌بینی الگوهای تخریب، به یک راه‌حل جامع و چندمنظوره در موزه‌های معاصر تبدیل شده است. در مقابل، سایر فناوری‌ها کاربردهای متمرکزتری دارند؛ واقعیت مجازی در غوطه‌وری و بازسازی آثار تخریب‌شده ممتاز است، واقعیت افزوده در افزودن لایه‌های اطلاعاتی و تعامل بدون جداسازی از محیط واقعی تخصص دارد، اینترنت اشیا در حفاظت پیشگیرانه و نظارت محیطی منحصربه‌فرد است و ربات‌ها در تعامل فیزیکی و راهنمایی خودکار تمایز یافته‌اند.

بحث

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که گنجاندن دانش دیجیتالی در موزه‌های معاصر می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر نوع و فرآیندهای یادگیری از جمله یادگیری تجربی، موقعیتی، فعال و چندرسانه‌ای داشته باشد. چون که در یادگیری بر مبنای تجربی، یادگیرندگان از طریق تجربه مستقیم، مشاهده، تأمل، مفهوم‌سازی و آزمایش فعال، درک عمیقی از محتواهای آثار هنری پیدا می‌کنند (Behrendt & Franklin, 2014; Kolb, 2014). همچنین، در چارچوب یادگیری موقعیتی که شامل آموزش در زمینه‌ای خاص است و دانش در آن زمینه کاربرد دارد

(Falk et al., 2006; Johnson, 2002)، اهمیت گسترده پیدا می‌کند. در کنار آن، یادگیری فعال که بر مشارکت فعال مخاطب در فعالیت‌های معنادار و تأمل در فرآیند یادگیری تأکید می‌کند (Prince, 2004)، نقش مهمی دارد. افزون بر این، فناوری‌های چندرسانه‌ای که ارائه متن، تصاویر و محتوای صوتی را ترکیب می‌کنند، توانسته‌اند پردازش شناختی یادگیرندگان را تقویت کرده و یادگیری را جذاب‌تر و تعاملی‌تر سازند. اخیراً، محققان با افزودن عناصر احساسی به طراحی‌های چندرسانه‌ای در موزه‌های معاصر، راهکارهای مؤثر برای تشویق افراد به تلاش بیشتر در فهم مطالب ارائه داده‌اند (Mayer, 2020; Mayer & Estrella, 2014). فناوری‌های دیجیتال در موزه‌های معاصر به‌خصوص در ترکیب چندین نوع محتوا، فضای آموزشی تعاملی و جذابی ایجاد می‌کنند که نه تنها یادگیری تجربی و موقعیتی را تقویت می‌کند، بلکه مخاطب را به جست‌وجوی بیشتر اطلاعات و معنا سازی ترغیب می‌نماید. لذا بهره‌مندی از این دانش دیجیتالی امکان ارائه اطلاعات درباره نمایشگاه‌ها، برنامه‌ها، رویدادهای جاری و آینده و هنرمندان معرفی شده در موزه‌های معاصر را فراهم می‌آورد و همچنین نظرسنجی‌هایی که از بازدیدکنندگان به عمل می‌آید، اطلاعات ارزشمندی درباره تجربیات آن‌ها را جمع‌آوری می‌کند. نمونه‌ای از اهمیت و اثربخشی این فناوری‌ها در دوران همه‌گیری کرونا (کوید-۱۹) نشان داده شد، زمانی که بسیاری از موزه‌ها با بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال، توانستند تعداد زیادی بازدیدکننده را جذب نمایند. علاوه بر این، برای ارتقاء تجربه بهتر، دسترسی و دموکراتیک کردن آثار هنری، موزه هنر تولدو^{۵۸} در اوهایو، برنامه‌ای رایگان و قابل دانلود طراحی و ارائه کرده است که شامل راهنماهای چندرسانه‌ای،

نمایش هنرهای معاصر را متحول کرده‌اند، بلکه امکان خلق رویکردهای جدید هنری در تقاطع دیجیتال و فیزیک را نیز فراهم کرده‌اند.

نتیجه‌گیری

با توجه به روند رو به رشد تحول تعاملات موزه‌های معاصر از طریق همگرایی با فناوری، نتایج حاصل از تحلیل محتوای منابع تخصصی نشان می‌دهد که ابزارهای دیجیتال نقش اساسی در شکل‌گیری و توسعه این نهادها ایفا می‌کنند. همگرایی فناوری‌هایی چون ربات‌ها، اینترنت اشیا، واقعیت مجازی، واقعیت افزوده و هوش مصنوعی با موزه‌های معاصر، نه تنها ابزارهای جدیدی برای نمایش فراهم آورده که خود به بخشی از فرآیند خلق هنرهای معاصر جدید تبدیل شده‌اند. این تحول، هم‌زمان با دگرگونی در ماهیت هنرهای معاصر جدید رخ داده است؛ آثاری که خود نیز به‌طور فزاینده‌ای با فناوری تلفیق شده و در بستر دیجیتال معنا می‌یابند. موزه‌های معاصر به سمت تبدیل شدن به فضاهای بی‌مکان و مجازی حرکت می‌کنند که در آن‌ها ارزش هویت، رابطه و دسترسی بدون محدودیت جغرافیایی و زمانی تقویت می‌شود. در پاسخ به پرسش‌های پژوهش، نتایج به شرح زیر قابل تبیین است: فناوری‌های نوین با ایجاد امکان بازسازی دیجیتال آثار تخریب‌شده، افزودن لایه‌های اطلاعاتی به واسطه واقعیت افزوده و خلق تجربیات غوطه‌ور در واقعیت مجازی، تفسیرهای چندلایه از هنرهای معاصر را ممکن ساخته‌اند. ربات‌ها تعامل فیزیکی و آموزش تعاملی ایجاد می‌کنند، اینترنت اشیا نیز با امکان نظارت هوشمند، حفاظت پیشگیرانه و مدیریت پایدار از مجموعه‌ها از آثار را فراهم آورده است، هوش مصنوعی شخصی‌سازی تجربه بازدید، تحلیل رفتار مخاطبان و حتی خلق آثار هنری جدید را فراهم می‌آورد. همچنین، این فناوری‌ها مخاطب را از یک ناظر منفعل به کنشگری فعال، مشارکت‌کننده در خلق معنا و حتی خالق اثر تبدیل کرده است. این دگردیسی، تجربه بازدید را از دریافت یک‌سویه به تعاملی دوسویه بدل می‌سازد که به تفسیرهای چندلایه از آثار هنری معاصر می‌انجامد. در کل بهره‌مندی مؤثر از فناوری‌ها و پلتفرم‌های دیجیتال، نشان می‌دهد که موزه‌های معاصر توانسته‌اند از این ابزارها برای نمایش هنرهای معاصر جدید از طریق حرکت به سمت تبدیل شدن به موزه‌های هوشمند، تحول در طراحی و ساختار خود متناسب با نسل‌های جدید، همچنین همکاری‌های بین‌موزه‌ای، تغییر در سبک‌های مدیریتی و بازتعریف مدل‌های کسب و کار، بهره‌گیرند و آن‌ها را متناسب با نیازهای هر دوره به مزایای ارزشمندی تبدیل کنند. با وجود این دستاوردها، چالش‌هایی چون هزینه‌های بالای پیاده‌سازی فناوری‌های نوین و خطر تقلیل تجربه اصیل موزه‌ای به سرگرمی صرف، وجود دارد.

تفسیرهای صوتی، کنترل صوتی و تبدیل گفتار به متن است. این برنامه‌ها به‌ویژه برای افراد معلول، کم‌شنوا و کسانی که نیازمند متن‌های موجود در تصاویر هستند، طراحی شده و امکاناتی مانند صفحات لمسی برای افراد دارای مشکلات و اختلالات بینایی و شنوایی فراهم می‌آورد. در یک تحلیل کلی؛ ربات‌ها، واقعیت مجازی و افزوده، اینترنت اشیا و هوش مصنوعی، موزه‌های معاصر را به فضایی پویا، تعاملی و فراگیر تبدیل کرده‌اند، اما نیازمند مدیریت هوشمندانه برای کاهش چالش‌ها هستند؛ زیرا که در زمینه تعامل با مخاطب؛ فناوری‌هایی مانند واقعیت افزوده و مجازی تجربه‌های غنی‌تری ایجاد می‌کنند، درحالی‌که ربات‌ها و هوش مصنوعی تعامل شخصی‌سازی شده را ممکن می‌سازند. در زمینه حفاظت از آثار؛ اینترنت اشیا و هوش مصنوعی بیشترین تأثیر را در نظارت و پیشگیری از آسیب‌ها دارند. در زمینه یادگیری؛ همه فناوری‌ها به‌ویژه واقعیت مجازی و هوش مصنوعی یادگیری تعاملی و عمیق‌تر را تقویت می‌کنند. در زمینه دسترسی؛ واقعیت افزوده و مجازی امکان بازدید مجازی را فراهم می‌کنند، درحالی‌که هوش مصنوعی و اینترنت اشیا به افراد کم‌توان کمک می‌کنند. در زمینه خلاقیت؛ هوش مصنوعی و واقعیت مجازی امکان خلق آثار و محیط‌های جدید را فراهم می‌کنند و همچنین در مباحث چالش‌ها؛ مسائل امنیتی اینترنت اشیا، هزینه بالا ربات‌ها و واقعیت مجازی و نگرانی‌های اخلاقی هوش مصنوعی از محدودیت‌های اصلی هستند؛ و اینکه؛ واقعیت مجازی و هوش مصنوعی بیشترین تأثیر را بر هنرهای معاصر جدید دارند، به‌ویژه در هنر اجرایی (اجراهای مجازی)، هنر چیدمان (تجربه‌های غوطه‌وری)، هنر محیطی (شبیه‌سازی اکوسیستم‌ها) و هنر خودرئانگر (مستندسازی و بازآفرینی تجربه مجازی آثار نابودشده). همچنین واقعیت افزوده بیشتر در هنر چیدمان و هنر محیطی کاربرد دارد و امکان تعامل دیجیتال-فیزیکی را فراهم می‌کند، اینترنت اشیا نیز در هنر فرایندی، هنر زمینی و هنر خودرئانگر مفید است، زیرا داده‌های محیطی و تغییرات را ثبت می‌کند در نهایت اینکه ربات‌ها کم‌ترین تأثیر را دارند، اما در هنر اجرایی و هنر کنشی می‌توانند به‌عنوان بخشی از اثر حضور داشته باشند. همچنین، هنرهای مبتنی بر فضا و محیط مانند هنر چیدمان، هنر زمینی و هنر محیطی بیشترین بهره را از واقعیت مجازی، واقعیت افزوده و اینترنت اشیا می‌برند، هنرهای مبتنی بر فرآیند و تخریب مانند هنر فرایندی و هنر خودرئانگر به هوش مصنوعی و اینترنت اشیا وابسته‌اند، هنرهای دیجیتال‌محور مانند هنر ویدئویی و هنرهای اجرایی با واقعیت افزوده و هوش مصنوعی پیشرفت چشمگیری داشته‌اند و اینکه این فناوری‌ها نه تنها

پی‌نوشت‌ها

1. László Moholy-Nagy (1822-1946).
2. Vision in Motion.
3. Lucio Fontana (1899-1968).
4. Black Light Environment.
5. Frank Popper (1918-2020).
6. A. Michael Noll.
7. Harold Cohen (1928-2016).
8. Johan Wilhelm Klüver (1927-2004).
9. Experiments in Art and Technology (E.A.T.).
10. Nine Nights: Theater and Engineering.
11. Museum of Modern Art (MOMA).
12. Art and Technology.
13. Los Angeles County Museum of Art (LACMA).

در سال ۱۹۶۱ تأسیس شد.

14. Maurice Tuchman (1930).
15. Frank Joseph Malina (1912-1981).
16. Leonardo.
17. Jasja Reichardt (1933).
18. Institute of Contemporary Arts (ICA).

در سال ۱۹۰۳ تأسیس شد.

19. Ars Electronica.
20. Jeffrey Shaw (1944).
21. Legible City.
22. Formerly Inter-Society for the Electronic Arts (ISEA).
23. Gustav Metzger (1926-2017).

24. Auto-Destructive Art (ADA).
 25. Experimental Museology.
 26. Movement.
 27. Mark Deuze.
 28. Virtual Museum.
 29. Imperial War Museum (iwm).
 30. Museu d'Art Contemporani de Barcelona (Macba).
 31. Deutsches Museum.
 32. Minerva.
 33. National Museum of American History.
 34. Copenhagen Contemporary Museum (cc).
 35. Virtual Reality (VR).
 36. Ivan E. Sutherland.
 37. Ultimate Display.
 38. Mona Lisa: Beyond the Glass.
 39. Leonardo di ser Piero da Vinci.
 40. Augmented Reality (AR).
 41. Ronald Azuma.
 42. Art Gallery of Ontario (AGO).
۴۳. این نمایشگاه هنر تاریخی را با فناوری واقعیت افزوده تلفیق می‌کرد. این امکان به بازدیدکنندگان داده شده بود که با دانلود اپلیکیشن مخصوص بر روی گوشی یا تبلت خود، دوربین دستگاه را به سمت نقاشی‌های تاریخی موجود هدایت کنند و در نتیجه، نقاشی‌ها را از زوایای تازه و زنده مشاهده نمایند و ارتباطی معاصر با آن‌ها برقرار کنند (Rosa, 2020).
44. Alex Mayhew.
 45. Kevin Ashton.
 46. Massachusetts Institute of Technology (MIT).
 47. Internet of Things.
 48. Artificial intelligence (AI).
 49. Heraklion Archaeological Museum.
 50. Hyun-Kyung Lee.
 51. Nationalmuseum.
 52. Sanxingdui Museum.
 53. The Museum of Modern Art (MoMA).
 54. Refik Anadol.
 55. Unsupervised.
 56. Dataland museum.
 57. Efsun Erkiliç.
 58. Toledo Museum of Art.

References

- Afkham, A. (2014). *A reference architecture for IoT* [Slides]. SlideShare. <https://www.slideshare.net/wso2.org/io-t-referencearchitecturewebinar>
- Agrawal, O. P. (2007). *Essentials of conservation and museology*. Sundeep Prakashan.
- Anadol, R., & Kivrak, P. (2023). AI, Architecture, and Performance: Walt Disney Concert Hall Dreams. In *Choreomata* (pp. 379-389). Chapman and Hall/CRC.
- Awadalla, R. R. (2023). The application of mixed reality technology as innovative approach in museums. *Journal of Design Sciences and Applied Arts*, 4(2), 275–283. <https://doi.org/10.21608/jdsaa>
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355–385. <http://www.macs.hw.ac.uk/~ruth/year4VEs/Resources/ARpresence.pdf>
- Bautista, S. S. (2013). *Museums in the digital age: Changing meanings of place, community, and culture*. Bloomsbury Publishing USA.
- Bedno, J., & Bedno, E. (1999). Museum exhibitions: Past imperfect, future tense. *Museum News*, 78(5), 38-43. <https://mps.uchicago.edu/docs/articles/Past%20Imperfect%2C%20Future%20Tense.pdf>
- Behrendt, M., & Franklin, T. (2014). A review of research on school field trips and their value in education. *International Journal of Environmental and Science Education*, 9(3), 235–245. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1031445.pdf>
- Bhattacharya, I. (2019). Scientific technology: Relevance and role of 'Internet of Things (IoT)' in museum. *Journal of Indian Museums*, 72(1), 135–139. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13764.37762>
- Black, G. (2012). *Transforming museums in the twenty-first century*. Routledge.
- Burgard, W., Cremers, A. B., Fox, D., Hähnel, D., Lakemeyer, G., Schulz, D., ... & Thrun, S. (1999). Experiences with an interactive museum tour-guide robot. *Artificial Intelligence*, 114(1-2), 3–55. https://publications.ri.cmu.edu/storage/publications/pub_files/pub1/burgard_w_1999_2/burgard_w_1999_2.pdf
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., & Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 51(1), 341–377. <https://doi.org/10.1007/s11042-010-0660-6>
- Carrozzino, M., & Bergamasco, M. (2010). Beyond virtual museums: Experiencing immersive virtual reality in real museums. *Journal of Cultural Heritage*, 11(4), 452–458. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2010.04.001>
- CBC News. (2018, January 28). *Art exhibit combines augmented reality and classic paintings*. <https://www.cbc.ca/news/canada/toronto/art-exhibit-combines-augmented-reality-and-classic-paintings-1.4452158>
- Chen, S., Han, X., Bilgihan, A., & Okumus, F. (2021). Customer engagement research in hospitality and tourism: A systematic review. *Journal of Hospitality Marketing & Management*, 30(7), 871–904. <https://doi.org/10.1080/19368623.2021.1903644>
- Copenhagen Contemporary. (2025). *Soft robots*. <https://copenhagen-contemporary.org/en/soft-robots/>
- Danaei, D., Jamali, H. R., Mansourian, Y., & Rastegarpour, H. (2020). Comparing reading comprehension between children reading augmented reality and print storybooks. *Computers & Education*, 153, Article 103900. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103900>
- Deutsches Museum. (n.d.). *Homepage*. <https://www.deutsches-museum.de>
- Deutsches Museum Bonn. (2023, May 5). *Erlebnisraum zu Robotik und Mobilität*. <https://www.deutsches-museum.de/bonn/presse-meldung/erlebnisraum-robotik-und-mobilitaet>
- Deuze, M. (2009). Media industries, work and life. *European Journal of Communication*, 24(4), 467–480. <https://doi.org/10.1177/0267323109345523>
- Erbay, M. (2017). Yeni nesil teknolojiler ile müzelerde eğitim. *Milli Eğitim Dergisi*, 46(214), 255–268. <https://dergipark.org.tr/en/pub/milliegitim/article/405935>
- Falk, J. H., Dierking, L. D., & Adams, M. (2006). Living in a learning society: Museums and free-choice learning. *A Companion to Museum Studies*, 323–339. <https://doi.org/10.1002/9780470996836.ch19>
- Garzón, J., Pavón, J., & Baldiris, S. (2019). Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings. *Virtual Reality*, 23(4), 447–459. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00379-9>
- Giargreco, I., Sauter, L., Parian, M. A., Gasser, R., Heller, S., Rossetto, L., & Schuldt, H. (2019). Virtue: A virtual reality museum experience. In *Companion Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces* (pp. 119–120). Association for Computing Machinery.
- Giannini, T., & Bowen, J. P. (2022). Museums and digital culture: From reality to digitality in the age of COVID-19. *Heritage*, 5(1), 192–214. <https://doi.org/10.3390/heritage5010011>
- Heisenberg, W. (1991). *Physics and philosophy* (M. Khatami, Trans.). Elmi Publications. (Original work published 1958) (In Persian)
- Heraklion Museum. (n.d.). *Homepage*. <https://www.heraklionmuseum.gr>

- Hetherington, K. (2020). Foucault and the museum. In A. Witcomb & K. Message (Eds.), *Museum theory* (pp. 21–40). Wiley-Blackwell.
- Imperial War Museums. (n.d.). Homepage. <https://www.iwm.org.uk/>
- Jahshaka. (n.d.). HTC recreated the Mona Lisa in 3D for the Louvre's Da Vinci exhibition. <https://www.jahshaka.com/htc-recreated-the-mona-lisa-in-3d-for-the-louvre-da-vinci-exhibition/>
- Johnson, E. B. (2002). *Contextual teaching and learning: What it is and why it's here to stay*. Corwin Press.
- Karaylanoglu, G., & Arabacioglu, B. C. (2020). Digital interactive experiences in contemporary art museums. *Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, 10(4), 423–440. <https://doi.org/10.7456/11004100/007>
- Kim, H. J., & Lee, H. K. (2022). Emotions and colors in a design archiving system: Applying AI technology for museums. *Applied Sciences*, 12(5), 2467. <https://doi.org/10.3390/app12052467>
- Kioureixidou, M., & Stamou, S. (2025). Interactive heritage: The role of artificial intelligence in digital museums. *Electronics*, 14(9), Article 1884. <https://doi.org/10.3390/electronics14091884>
- Kolb, D. A. (2014). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development* (2nd ed.). FT Press.
- Kopetz, H., & Steiner, W. (2022). Internet of things. In *Real-time systems: Design principles for distributed embedded applications* (pp. 325–341). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89828-1_13
- LaValle, S. M. (2023). *Virtual reality*. Cambridge University Press.
- Malraux, A. (1996). *Le musée imaginaire*. Gallimard. (Original work published 1947)
- Manovich, L. (2001). *The language of new media*. MIT Press.
- Mayer, R. E. (2021). Evidence-based principles for how to design effective instructional videos. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 10(2), 229–240. <https://doi.org/10.1016/j.jar-mac.2021.03.007>
- Mayer, R. E., & Estrella, G. (2014). Benefits of emotional design in multimedia instruction. *Learning and Instruction*, 33, 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.02.004>
- Mazuryk, T., & Gervautz, M. (1996). *Virtual reality: History, applications, technology and future* (Technical Report TR-186-2-96-06). Vienna University of Technology. <https://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/1996/mazuryk-1996-VRH/>
- Memor Museum. (2024). *Sanxingdui: Encounter*. <https://www.memor-museum.com/exhibition/sanxingdui-encounter>
- Memor Museum. (n.d.). *Exhibition*. <https://www.memormuseum.com/exhibition>
- Museum of Modern Art. (n.d.). *Exhibitions* (5535). <https://www.moma.org/calendar/exhibitions/5535>
- Nake, F. (2019). Georg Nees & Harold Cohen: Retracing the origins of digital media. In O. Grau, J. Hoth, & E. Wandl-Vogt (Eds.), *Digital art through the looking glass: New strategies for archiving, collecting and preserving in digital humanities* (pp. 27–48). Edition Donau-Universität. <https://doi.org/10.25969/mediarep/13340>
- National Museum of Denmark. (n.d.). *Museums and palaces*. <https://en.natmus.dk/museums-and-palaces/>
- NCF Catalyst. (n.d.). *Exploring new exhibits at the Dali Museum*. <https://ncfcatalyst.com/exploring-new-exhibits-at-the-dali-museum/>
- Norris, D. (2015). *The Internet of Things: Do-it-yourself at home projects for Arduino, Raspberry Pi and BeagleBone Black*. McGraw-Hill Education.
- Orford, E. J. H. (2008). *The creative spirit: Stories of 20th century artists*. Baico Publishing.
- Peng, Y., Chen, C., & Huang, G. (2024). Universal visual decomposer: Long-horizon manipulation made easy. In *2024 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 4756–4762). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICRA57147.2024.10610198>
- Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223–231. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>
- Raymond, E. (2001). *The cathedral and the bazaar: Musings on Linux and open source by an accidental revolutionary*. O'Reilly Media.
- Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). The internet of things: An overview. *The Internet Society (ISOC)*, 80(15), 1–53. <https://www.internet-society.org/wp-content/uploads/2017/08/ISOC-IoT-Overview-20151221-en.pdf>
- Scavarelli, A., Arya, A., & Teather, R. J. (2021). Virtual reality and augmented reality in social learning spaces: A literature review. *Virtual Reality*, 25(1), 257–277. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00444-8>
- Schweibenz, W. (2004). *The development of virtual museums*. *ICOM News Magazine*, 3(3), 1–2. <https://icom-museum/en/ressource/the-development-of-virtual-museums/>
- Shaikat, A. S., Hussein, M. R., Tasnim, R., Zonayed, M., Jhara, S. S., Rahman, M. M., & Mokhter, A. H. (2024). An IoT enabled artifact protection system for museum using computer vision. *Journal of Engineering Advancements*, 5(4), 123–131. <https://doi.org/10.38032/jea.2024.04.004>
- Stiles, K. (2003). *Art and technology* (A. Ameri, Trans.). Binab, (2), 144–161. <https://B2n.ir/re6392> (Original work published 1996) (In Persian)
- Sutherland, I. E. (1965, May). The ultimate display. In *Proceedings of the IFIP Congress* (Vol. 2, No. pp. 506–508).
- Thrun, S., Bennewitz, M., Burgard, W., Cremers, A. B., Dellaert, F., Fox, D., ... & Schulz, D. (1999). MINERVA: A second-generation museum tour-guide robot. In *Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (Vol. 3). IEEE.
- Varitimadias, S., Kotis, K., Skamagis, A., Tzortzakakis, A., Tsekouras, G., & Spiliotopoulos, D. (2020). Towards implementing an AI chatbot platform for museums. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Cultural Informatics, Communication & Media Studies* (pp. 1–12). <https://doi.org/10.12681/cicms.2732>
- استایلز، کریستین. (۱۳۸۲). هنر و فناوری (علی عامری، مترجم). نشریه بیناب، ۲، ۱۴۴–۱۶۱. <https://B2n.ir/re6392> (چاپ اثر اصلی ۱۹۹۶)
- هایزنبرگ، ورنر (۱۳۷۰). فیزیک و فلسفه (محمود خاتمی، مترجم). انتشارات علمی. (چاپ اثر اصلی ۱۹۵۸)