

استفاده از هوش مصنوعی در پروژه‌های ساخت و ساز: یک مطالعه مروری

سپهر مظاهری تهرانی^{۱*}، سید مجتبی سجادی^۲

۱- کارشناسی ارشد سازه - دانشگاه صنعتی شریف - sepehr.mazaheri@sharif.edu

۲- کارشناسی ارشد سازه - دانشگاه شیراز - mojtaba.sajjadi@hafez.shirazu.ac.ir

خلاصه

امروزه هوش مصنوعی نه به عنوان یک گزینه بلکه به عنوان یکی از ابزارهای لازم در پروژه‌های عمرانی بالاخص پروژه‌های ساخت و ساز کاربرد دارد. می‌توان گفت هوش مصنوعی در طول عمر یک پروژه از مراحل ابتدایی تشکیل آن تا زمان بهره‌برداری و حتی بعد از آن امکان استفاده دارد. تکنولوژی Artificial Intelligence به کارفرمایان، ذی‌نفعان، مهندسان و حتی کارگران این امکان را می‌دهد که با کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری و از طرفی افزایش ایمنی و سلامت کار باعث بهبود روند ساخت پروژه‌ها شوند. هرچند بسیاری از منتقدان معتقد هستند که هوش مصنوعی جایگزین نیروی کار خواهد شد و سدی بالفعل برای اشتغال زایی خواهد بود، در این مقاله به بررسی انواع مختلفی از شغل‌های ایجاد شده توسط هوش مصنوعی نیز پرداخته شده است تا با رد این ادعا به اهمیت حضور تکنولوژی به عنوان یک سرمایه‌گذاری مطمئن در پروژه‌های ساخت و ساز اشاره کند. هم چنین در ادامه سعی شده است با بیان چند نمونه از کاربرد عملی هوش مصنوعی در مهندسی عمران به اهمیت حضور این فناوری در پروژه‌های به روز دنیا اشاره شود.

کلمات کلیدی: هوش مصنوعی، پروژه‌های عمرانی، مدیریت پروژه، پایداری و بهره‌وری

۱. مقدمه

جهان امروز با چالش‌های بسیاری مانند بحران کمبود مسکن مواجه است که با رشد جمعیت و مشکلات زیست‌محیطی، بحرانی‌تر می‌شود [1]. هوش مصنوعی یک راهکار پایدار برای رفع بسیاری از این چالش‌هاست به نحوی که به محیط زیست آسیبی وارد نشود [2]. از طرفی بهره‌گیری از این تکنولوژی بستر افزایش سرعت در کارهای تکراری را نیز میسر می‌سازد [3]. هوش مصنوعی علاوه بر افزایش سرعت و بهره‌وری می‌تواند به عنوان یک سیستم کنترل کننده، فعالیت‌های اجرایی را از نظر کیفی و کمی کنترل کرده و با گزارشات منظم کارفرما و پیمانکار را از وضعیت کلی پروژه مطلع سازد [4]. تحقیقات نشان داده‌اند سیستم‌های پیشنهاد دهنده[†] نسخه‌ای پیشرفته‌تر از سیستم‌های کنترل کننده هستند و با استفاده از دیتای ذخیره شده توسط سنسورهای نصب شده در سایت پروژه بسیاری از وقایع آینده را پیش بینی و پیشنهاد خود را اعلام می‌کنند [5]. این سیستم‌ها می‌توانند کنترل کننده‌ی محیط کارگاه از لحاظ ایمنی، کنترل کننده‌ی مصالح و تجهیزات ورودی و خروجی به پروژه و ارائه‌ی پیشنهادات جهت زمان و مقدار خریدهای آتی و باشند.

از مهم‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی در صنعت ساخت و ساز می‌توان به موارد برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه، برآورد

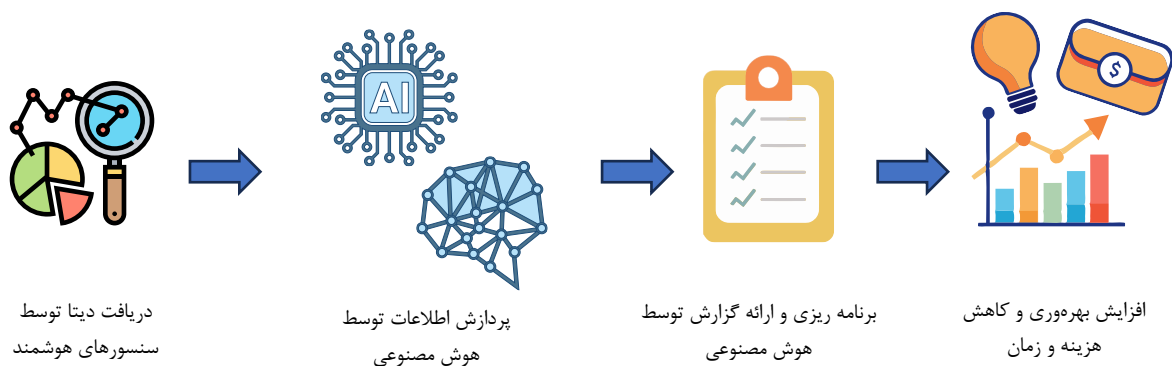
[†] Recommender systems

هزینه و بودجه پروژه، کنترل کیفیت و پایش پیشرفت پروژه، بررسی ایمنی کارگاه، مدیریت تجهیزات و ماشین آلات موجود در کارگاه، مدیریت مصالح و زنجیره تأمین، استفاده در ربات های ساختمانی و پیش بینی ریسک های پروژه اشاره کرد.

۲. کاربردهای هوش مصنوعی در صنعت عمران

۲.۱. برنامه ریزی و زمان بندی پروژه

یکی از رایج ترین کاربردهای هوش مصنوعی در اجرای پروژه های صنعتی و عمرانی پیش بینی زمان بندی پروژه و برنامه ریزی برای آن با استفاده از دیتای موجود از نوع کار، حجم نیروی کار موجود، مختصات و شرایط پروژه و حتی با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی می باشد [6]. تحقیقات نشان داده است که هوش مصنوعی با استفاده از دیتای موجود از پروژه های قبلی توانایی زمان بندی پروژه را دارد و با افزایش کمی دیتای موجود و تکرار استفاده از آن در پروژه ها، دقت پیش بینی ها و برنامه ریزی ها نیز بیشتر خواهد شد [7]. علاوه بر برنامه ریزی می توانند تاخیرهای ممکن در پروژه را از قبل پیش بینی کنند و تا حد امکان آن را با یک برنامه ی هوشمند منقطع رفع کنند [8]. شکل ۱ تصویر کلی از نحوه ی برنامه ریزی توسط هوش مصنوعی را با استفاده از دیتای موجود نمایش می دهد. همانطور که مشخص است شرط استفاده از هوش مصنوعی وجود بستر مناسبی از اطلاعات و دیتا می باشد. برای دریافت اطلاعات لحظه ای از سنسورهای هوشمند استفاده می شود [9].



شکل ۱- تصویر شماتیک از عملکرد هوش مصنوعی در پروژه های عمرانی

۲.۲. برآورد هزینه و بودجه پروژه*

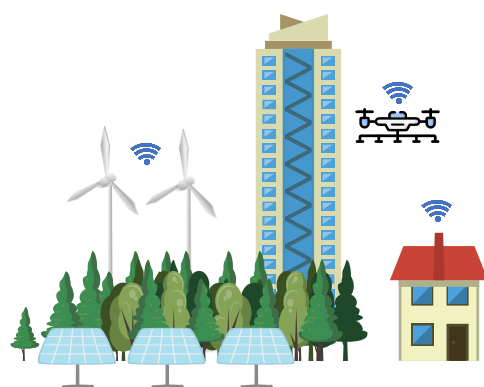
پژوهش ها نشان می دهد هوش مصنوعی با در نظر گرفتن الگوهای افزایش قیمت مواد اولیه در بازار با استفاده از شبکه عصبی توانایی برآورد هزینه ی پروژه به صورت بلند مدت را دارد [10]. بسیاری از شرکت ها از این روش برای تعیین قیمت مناسب جهت شرکت در مناقصات پروژه های عمرانی استفاده می کنند [11]. این روش با کاهش زمان محاسبات و افزایش دقت می تواند برآوردهای دقیق تری از هزینه پروژه به ذی نفعان آن بدهد [12]. در یک تحقیق انجام شده در هلند، پژوهشگران با دریافت اطلاعات قیمت مصالح ساختمان مانند سیمان، شن و ... به مدت چهار سال توانسته اند با دقت بالایی قیمت مصالح مورد استفاده در یک پروژه را تخمین بزنند [13]. در پژوهش دیگری با در نظر گرفتن حرفه های مورد نیاز در پروژه و به

* Project Cost Estimation

کارگیری هوش مصنوعی توانسته‌اند برنامه‌ی دقیقی جهت جذب نیروی کار ارائه دهند و از کمبود نیروی کار و طولانی شدن پروژه جلوگیری کنند [14].

۲،۳ کنترل کیفیت ساخت و پایش پیشرفت پروژه

با استفاده از بینایی ماشین* و دوربین‌ها، هوش مصنوعی این توانایی را بدست آورده است که کیفیت اجرا پروژه را بررسی کند [15]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این فناوری امکان برقراری ایمنی محیط کارگاه را نیز میسر می‌سازد [16]. از دیگر مزایای استفاده از بینایی ماشین در پروژه‌های ساخت و ساز می‌توان به تشخیص و تحلیل ترک‌های ایجاد شده در بتن اشاره کرد [17]. تحقیقات نشان داده است که بینایی ماشین این امکان را به مهندسان می‌دهد تا آرماتوربندی سازه را بعد از وقوع حادثه‌ی زلزله بررسی کنند و از خطرات محتمل جلوگیری کنند [18]. امروزه در بسیاری از پروژه‌ها با استفاده از پهبادهای مجهز به تکنولوژی هوش مصنوعی، امکان کنترل کیفیت اجرای پروژه وجود دارد و این امر باعث افزایش دقت، ایمنی و عملکرد اجرایی می‌شود (شکل ۲) [19,20].



شکل ۲- تصویر شماتیک از عملکرد پهبادهای کنترل کننده کیفیت در پروژه‌های عمرانی

یکی دیگر از کاربردهای پهبادها و هوش مصنوعی بررسی میزان پیشرفت پروژه است که همواره یکی از پارامترهای اختلاف برانگیز بین کارفرما و پیمانکار می‌باشد [20,21]. این پهبادها با اسکن سه بعدی ساختمان و بررسی میزان پیشرفت پروژه به نسبت مدلسازی سه بعدی انجام شده تشخیص می‌دهند که پروژه چند درصد پیشرفت کرده است و حتی می‌توانند پیشنهاداتی درباره‌ی مدیریت پروژه نیز بدهند و اینگونه می‌توانند مانع بروز بسیاری از دعاوی حقوقی در میزان پیشروی پروژه‌ها شوند. [23,24,25].

۲،۴ افزایش ایمنی کارگاه‌های پروژه‌های ساختمانی

امروزه کارگاه‌های ساختمانی به عنوان یکی از پر مخاطره‌ترین محیط‌های صنعتی با به کار بردن تکنولوژی‌های هوش مصنوعی وارد مرحله‌ی جدیدی از ایمنی شده‌اند. تحقیقات نشان داده است که با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری عمیق† و بینایی ماشین امکان بررسی خودکار و لحظه‌ای محیط کارگاه با به کارگیری تجهیزات حفاظت فردی مثل کلاه و جلیقه‌ی

* Computer vision

† Deep learning

ایمنی با دقت بالا فراهم شده است [26]. هم چنین، سیستم‌های هوشمند با تحلیل فضا و موقعیت اشیاء در کارگاه‌های ساختمانی، می‌توانند ورود کارگران به مناطق پرخطر* را شناسایی کرده و هشدار پیشگیرانه صادر کنند [27,28,29]. در بسیاری از سایت‌های ساختمانی از این تکنولوژی به عنوان سیستم هشدار دهنده به کارگران به دلیل عدم استفاده از کلاه ایمنی استفاده می‌شود (شکل ۳) [30,31].



شکل ۳- استفاده از بینایی ماشین برای کنترل استفاده کارگران از کلاه ایمنی

۲،۵ مدیریت تجهیزات و مصالح

امروزه در بیشتر پروژه‌های ساختمانی از BIM[†] به عنوان ابزاری برای مدیریت، کنترل و پیش بینی محیط کارگاه استفاده می‌شود [32]. تکنولوژی نوین با استفاده از هوش مصنوعی در BIM تحولی در نحوه‌ی مدیریت پروژه، مصالح و ماشین آلات ورودی و خروجی و ... داشته است به نحوی که امکان مدیریت پروژه به صورت از راه دور[‡] و هم چنین پیش بینی سفارشات مصالح و تجهیزات مورد نیاز بدون محاسبات دستی را فراهم کرده است [25,33]. با استفاده از این فناوری می‌توان جریان هزینه‌ی مصرفی در یک پروژه را پیش بینی و بهینه کرد و از هزینه‌های دوباره کاری، نیروی کار مازاد و ... جلوگیری کرد [34,35].

۲،۶ ربات‌های ساختمانی

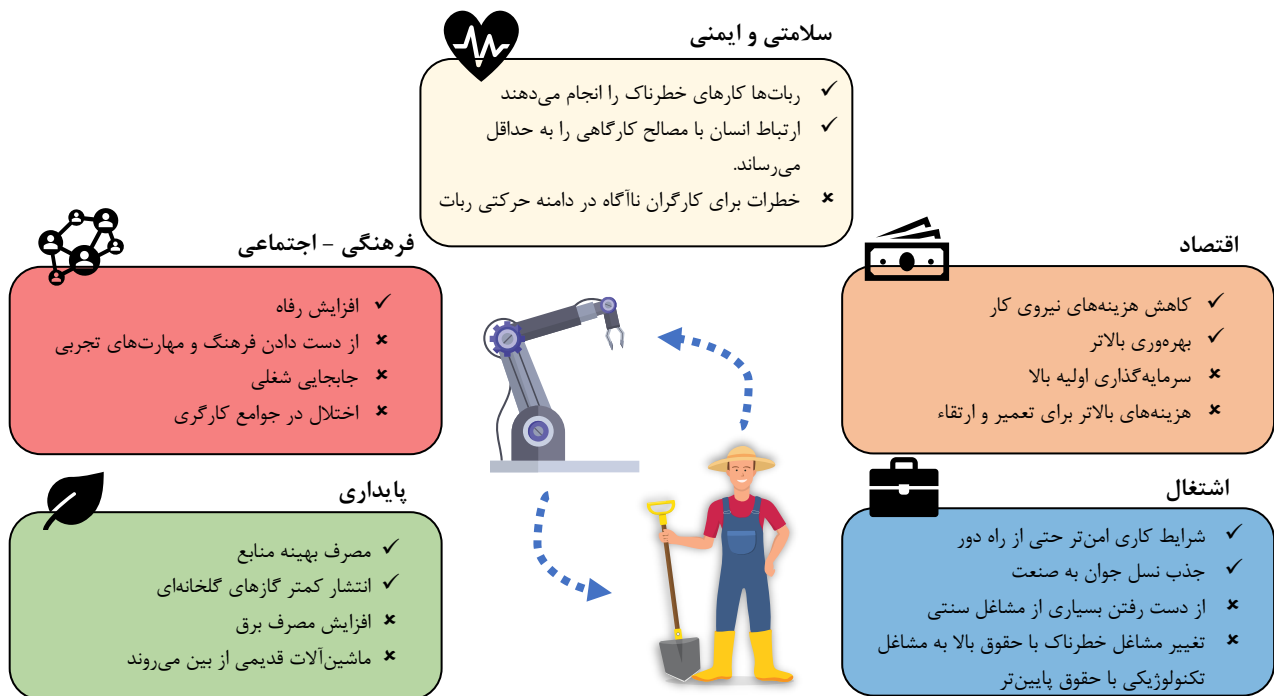
استفاده از ربات‌ها در صنعت ساخت‌وساز به عنوان یکی از کاربردهای نوین هوش مصنوعی با هدف افزایش بهره‌وری، بهبود دقت اجرا و کاهش خطرات انسانی در سال‌های اخیر مورد توجه گسترده قرار گرفته است [36]. انواع مختلفی از ربات‌های ساختمانی وجود دارند که شامل آجرچین، بتن‌ریز، چاپگر سه‌بعدی سازه‌ها، جوشکار، نصب کننده‌ی اجزا و ... می‌باشد. یکی از مزایای مهم ربات‌ها در صنعت ساختمان این است که آن‌ها می‌توانند به هنگام انجام فعالیت‌ها، فعالیت‌های بعدی را پیش بینی کنند و برای انجام آن‌ها به بهترین صورت برنامه ارائه دهند که باعث کاهش زمان و هزینه می‌شود [37]. شکل ۴ مزایا و معایب استفاده از ربات‌ها در صنعت ساخت و ساز را نمایش می‌دهد. با وجود آنکه ربات‌ها خطراتی نظیر کاهش اشتغال زایی، افزایش هزینه‌های مستقیم مانند خرید ربات و سیستم‌های جانبی آن و افزایش هزینه‌های غیر مستقیم مانند هزینه‌ی تعمیرات ربات، زمان‌بر بودن آموزش کاربری ربات‌ها و ... را در پی دارند اما مزایایی شامل افزایش دقت،

* Danger zones

† Building Information Modeling

‡ Remote

سودآوری در بلند مدت، انجام کارهای خطرناک توسط ربات به جای انسان و .. را نیز دربر دارند. هم چنین در بسیاری از پروژه‌های عمرانی خطرانی کارگران را تهدید می‌کند که ممکن است آسیب‌های جانی و مالی جبران ناپذیری به آنها وارد کند، در این میان ربات‌ها جایگزین مناسبی برای انجام کارهای سخت یا در مکان‌هایی با دسترسی سخت هستند.



شکل ۴- مزایا و معایب استفاده از ربات‌ها در صنعت ساخت و ساز

۳. اشتغال زایی با هوش مصنوعی

با ورود هوش مصنوعی به حوزه مهندسی عمران، بسیاری از شغل‌های سنتی دگرگون شده‌اند یا به کلی حذف شده‌اند و نقش‌های جدیدی در صنعت به جای آنها ایجاد شده است [38]. فعالیت‌هایی مانند امکان سنجی، برنامه‌ریزی، پایش پیشرفت پروژه، کنترل کیفیت، ایمنی کارگاهی و حتی طراحی و اجرا، که پیش‌تر اغلب به صورت دستی و با استفاده از نیروی کار به صورت حضوری انجام می‌شدند، اکنون با کمک الگوریتم‌های هوشمند و ابزارهای خودکار دقیق‌تر و سریع‌تر و گاه به صورت غیر حضوری انجام می‌شوند [39]. در عین حال، این تغییرات نیازمند آموزش مهارت‌های جدید به کارگران و مهندسان است و گاهی با چالش‌هایی مانند نیاز به داده‌های دقیق، سرمایه‌گذاری اولیه بالا و مخالفت‌های سازمانی و فرهنگی در برابر تغییرات روبرو است [40]. برای مثال، در پروژه‌های بزرگ به دلیل وجود فعالیت‌های تکرار شونده، نقش هوش مصنوعی بسیار پررنگ‌تر است اما هزینه‌ی راه‌اندازی و آموزش آن نیز به مراتب بیشتر خواهد بود [41]. جدول ۱ لیستی از شغل‌های سنتی را نشان می‌دهد که با استفاده از هوش مصنوعی دچار تحول شده‌اند.

جدول ۱- تعدادی از شغل‌های متحول شده در صنعت مهندسی عمران با ورود هوش مصنوعی با ذکر مزایا و معایب آنها

ردیف	مقاله	عنوان شغل سنتی در مهندسی عمران	شغل تحول یافته با هوش مصنوعی	مزایا	معایب
۱	Adejumobi et al. [14]	مهندس برنامه‌ریزی پروژه	تحلیل و پیش‌بینی پیشرفت و تخمین ریسک با AI	دقت بیشتر در پیش‌بینی و برنامه‌ریزی، کاهش خطاها	نیاز به داده‌های بزرگ و کیفیت داده‌ها
۲	Xu, Shuyuan et al., [15]	مهندس ناظر	کنترل کیفیت با بینایی ماشین و نظارت خودکار	افزایش ایمنی، کاهش هزینه‌های بازسازی	نیاز به فناوری‌های پیچیده و آموزش نیروی انسانی
۳	Liao, Wenjie et al., [42]	مهندس طراح سازه	طراحی هوشمند با کمک الگوریتم‌های جستجو و بهینه‌سازی	بهینه‌سازی مصالص و سازه، کاهش زمان طراحی	نیاز به نرم‌افزارهای تخصصی و مهارت‌های فنی بالا
۴	Anwar, Naveed et al., [21]	مدیر پروژه	پایش پیشرفت و تحلیل ریسک خودکار	تصمیم‌گیری سریع‌تر و دقیق‌تر	وابستگی زیاد به فناوری و داده‌های بی‌عیب و نقص
۵	Mohammadpour et al., [9]	مجری پروژه (پیمانکار)	بهره‌گیری از ربات‌ها و سیستم‌های خودکار در ساخت	کاهش خطرات جانی، بهره‌وری بالا	هزینه اولیه خرید و نگهداری سیستم‌ها
۶	Pannooon, Parinda et al., [43]	نقشه بردار	اسکن‌های سه‌بعدی، پردازش تصویر	دقت و سرعت بالا، کاهش زمان کار	نیاز به تجهیزات گران‌قیمت
۷	Han, Xuewen et al., [44]	مشاور اقتصادی	برآورد هزینه و تحلیل سناریوهای پروژه با AI	تصمیم‌گیری اقتصادی بهینه‌تر	نیاز به داده‌های دقیق مالی و اقتصادی

۴. نمونه‌های اجرا شده هوش مصنوعی در صنعت ساخت و ساز

۴.۱. کاهش ریسک و افزایش ایمنی

در یکی از شرکت‌های فعال در کشور چین از هوش مصنوعی در پروژه‌های زیرساختی بزرگ برای بهبود ایمنی، پیگیری پیشرفت و کاهش ریسک در محل استفاده می‌کند. از جمله‌ی این کاربردها می‌توان به تشخیص خودکار تخلفات مربوط به تجهیزات حفاظت فردی (PPE*) و مناطق نا امن، پیوند دادن تصاویر سایت با فناوری BIM برای تأیید میزان پیشرفت پروژه، استفاده از رادار هوش مصنوعی برای یافتن تأسیسات زیرزمینی قبل از حفاری و ... اشاره کرد. سیستم مورد استفاده در این پروژه‌ها به یک پلتفرم مرکزی متصل می‌شود و از طریق یک داشبورد واحد، رویدادهای لحظه‌ای را در کل محل کار به مدیران ارائه می‌دهد. این ابزارهای هوش مصنوعی مستقیماً نه فقط در برنامه‌های آزمایشی بلکه در عملیات روزانه سایت کارگاه تعبیه شده‌اند. این امر پروژه‌های پیچیده را طبق برنامه نگه می‌دارد و با قابلیت مشاهده کامل داده‌ها از تلفن همراه تا اتاق کنترل، نظارت سایت‌های هوشمند را سریع‌تر، ایمن‌تر و دقیق‌تر می‌کند [45].

۴.۲. افزایش سرعت و بهبود کیفیت اجرا

در شرکتی دیگر واقع در کشور انگلیس از هوش مصنوعی برای سرعت بخشیدن به نظارت سایت کارگاه، بهبود کیفیت و نقشه‌برداری دقیق از تأسیسات زیرزمینی استفاده می‌کند. این شرکت با طراحی ابزاری که از دوربین‌های ۳۶۰ درجه و بینایی کامپیوتر برای ثبت پیشرفت سایت استفاده می‌کند، وابستگی به گرفتن عکس به صورت دستی برای ثبت وقایع را از بین برده است. هوش مصنوعی اغلب کارهای نظارتی پروژه نظیر نقشه‌برداری، برچسب‌گذاری و مقایسه کار با برنامه‌های تدوین شده را انجام می‌دهد. از جمله دیگر کاربردهای هوش مصنوعی در این شرکت مقایسه تصاویر زنده سایت با مدل‌های BIM و مشخص کردن عدم انطباق‌ها، تشخیص عیوب یا نقص‌های اجرایی و کنترل مصالح اجرایی منطبق بر مفاد قراردادهای می‌باشد. در ۲۵ پروژه‌ی این شرکت تنها با خودکارسازی عکس‌های پیشرفت، بیش از ۵۲۰۰ ساعت کاری صرفه‌جویی شده است. مهندسان و مدیران پروژه سایت کارگاه را از راه دور بررسی می‌کنند، کارهای انجام شده را تحلیل می‌کنند و بدون نیاز به حضور در محل، عقب افتادگی‌های برنامه را تشخیص می‌دهند [46].

۴.۳. کاهش ضایعات و ردیابی مصالح و تجهیزات

شرکتی واقع در کشور هند از هوش مصنوعی برای کاهش ضایعات، بهبود ایمنی و ردیابی مصالح و تجهیزات در بیش از ۳۰۰ سایت ساختمانی استفاده می‌کنند. آن‌ها پلتفرم دیجیتال خود را با ابزارهای هوش مصنوعی ساختند تا نحوه استفاده از موادی مانند فولاد، سوخت و سیمان را در پروژه‌های جاری نظارت کنند. برای مثال یکی از ابزارها با پیش‌بینی کارآمدترین روش برای برش میلگرد بر اساس مشخصات طراحی، ضایعات فولاد را کاهش می‌دهد. از طرفی سیستم برنامه‌ریزی می‌کند که هر قطعه را کجا برش دهد و ضایعات باقی مانده را به حداقل برساند. این امر مصرف فولاد در پروژه‌ها چند درصد کاهش داده است. هم چنین آن‌ها مصرف سوخت را با اینترنت اشیا و هوش مصنوعی ردیابی می‌کنند. اگر مصرف سوخت در پروژه‌ای افزایش یابد سیستم نشتی، سرقت یا سوء استفاده از تجهیزات را بررسی می‌کند. آنها این سیستم یکپارچه را در ۲۰۰ پروژه

* Personal Protective Equipment

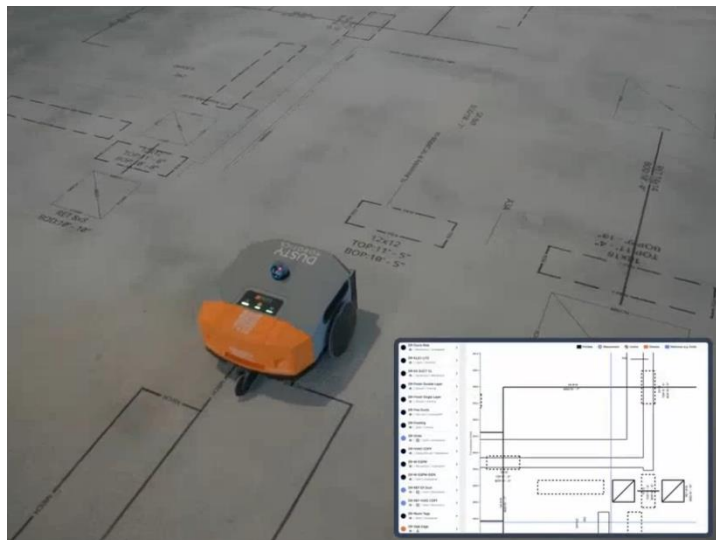
پیاده کرده‌اند و معتقد هستند این سیستم در پروژه‌های بزرگ بسیار در زمان، هزینه و تولید کربن صرفه جویی می‌کند [47].

۴،۴. تسهیل برنامه‌ریزی با توجه به توالی فعالیت‌ها

بسیاری از شرکت‌های مهندسی نیز نه به عنوان یک پیمانکار بلکه به عنوان یک دستیار مهندسی در کنار پروژه هستند. برای مثال شرکتی در آمریکا با اجرای میلیون‌ها برنامه‌ی تولید شده توسط هوش مصنوعی قبل از شروع کار، به تیم‌های اجرایی کمک می‌کند تا بهتر برنامه‌ریزی کنند. این نرم‌افزار مدل BIM، محدودیت‌های سایت و روش‌های ساخت را دریافت کرده و سپس از هوش مصنوعی برای آزمایش هر توالی اجرایی ممکن استفاده می‌کند. این نرم‌افزار نشان می‌دهد که کدام طرح سریع‌تر، با هزینه کمتر یا ریسک کمتر به پایان می‌رسد. در پروژه‌ی راه‌آهن پرسرعت HS2 در بریتانیا از این تکنولوژی استفاده شده است؛ این تیم تنظیمات، شیفت‌ها و استراتژی‌های توالی مختلف پیمانکاران را شبیه‌سازی کرد. در این پروژه هوش مصنوعی با ایجاد یک تغییر (اضافه کردن یک گروه دیگر برای نصب کلاhek شمع‌ها) به آنها کمک کرد تا ریسک پروژه را کاهش داده و شنواری آن فعالیت را بدون افزایش زمان‌بندی کل پروژه افزایش دهند [48].

۴،۵. افزایش دقت اجرا با استفاده از ربات‌ها

یکی از شرکت‌های رباتیک فعال در صنعت ساختمان از یک ربات برای رسم نقشه‌های کاغذی در محل پروژه استفاده می‌کند. این ربات با استفاده از سنسورهایش می‌تواند موانع را تشخیص دهد و نقشه را با دقت بسیار بالا در سایت کارگاه ترسیم کند. از مزایای این ربات می‌توان به افزایش سرعت، دقت و کاهش دوباره کاری‌ها اشاره کرد. شکل ۵ تصویر این ربات را نمایش می‌دهد [49].



شکل ۵- ربات نقشه کش بر پایه‌ی بر هوش مصنوعی

۴،۶. ساختاردهی به اسناد و ایجاد یک پایگاه داده

یکی دیگر از کاربردهای هوش مصنوعی که در پروژه‌ی واقعی پیاده شده است، تبدیل اسناد بدون ساختار پروژه‌های گذشته در یک شرکت ساختمانی به یک پایگاه داده قابل پرس‌وجو برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های آتی است. در این نمونه، یک شرکت ساختمانی برای دسترسی و استفاده از اطلاعاتی که طی هزاران پروژه در قالب گزارش‌ها، مطالب آموزشی و سایر اسناد غیرساختاریافته ذخیره کرده بود، با چالش بهره‌برداری از دانش سازمانی خود مواجه شد. برای حل این مشکل، هوش مصنوعی با استفاده از پردازش زبان طبیعی، ابتدا مفاهیم و دیتای مهم را از اسناد استخراج و دسته‌بندی کرده است و سپس با کمک مدل‌های آماری، ارتباط میان این داده‌ها شناسایی و در قالب یک نمودار دانش ارائه داده است. نتیجه این فرآیند، ایجاد یک پایگاه دانش متمرکز و قابل جست‌وجو بود که کارکنان و مهندسان این شرکت می‌توانستند از آن برای یافتن اطلاعات مرتبط با مسائل، پروژه‌ها و حوزه‌های تخصصی مختلف استفاده کنند. این تجربه نشان داد که هوش مصنوعی می‌تواند دانش پنهان و پراکنده در اسناد سازمانی را به دانشی ساختاریافته و قابل استفاده تبدیل کند و از این طریق، کیفیت تصمیم‌گیری، سرعت دسترسی به اطلاعات و بهره‌وری نیروی انسانی را در صنعت ساخت‌وساز به‌طور چشمگیری افزایش دهد. هم‌چنین از این فناوری برای تعیین مفاد قراردادهای بعدی این شرکت استفاده شده است و منجر به افزایش سودآوری پروژه‌های آتی و کاهش ریسک شده است [50].

۴،۷. سازمان دهی داده‌ها و کمک به تصمیم‌گیری

هوش مصنوعی در فرودگاه نیوکاسل تحولی بزرگ در نظام گزارش‌دهی و پایش پروژه‌های سرمایه‌گذاری بزرگ از طریق ایجاد یک پلتفرم یکپارچه و هوشمند ایجاد کرده است. در این فرودگاه، مدیریت هم‌زمان پروژه‌ها با چالش‌هایی مانند گزارش‌های پراکنده، تأخیر در ارائه اطلاعات، نبود عناصر بصری جهت تفسیر گزارش‌ها برای تصمیم‌گیری سریع‌تر مدیران و ناهماهنگی در کیفیت گزارش‌ها میان مدیران پروژه همراه بوده است. این وضعیت موجب دشواری در تفسیر داده‌ها، کندی تصمیم‌گیری اجرایی و اتلاف زمان تیم‌ها در فرآیندهای اجرایی می‌شد. از سال ۲۰۲۲، با استقرار یک پلتفرم گزارش‌دهی هوشمند، این فرودگاه توانست تمامی گزارش‌های پیشرفت پروژه‌ها، وضعیت مالی، بررسی ریسک‌ها و فرصت‌ها را در قالبی بصری، استاندارد و یکپارچه جمع‌بندی کند به نحوی که امکان دسترسی سریع به اطلاعات و تصمیم‌گیری به‌موقع را برای مدیران فراهم کند و در نهایت منجر به افزایش بهره‌وری زمانی و بهبود انسجام گزارش‌دهی در کل ساختار مدیریتی فرودگاه شود [51].

۵. نتیجه گیری

استفاده از هوش مصنوعی در صنعت ساخت و ساز، رویکرد مدیریت و برنامه ریزی سنتی را به رویکردی داده محور و سیستماتیک تبدیل کرده است. این فناوری با بهره‌گیری از بینایی ماشین برای کنترل ایمنی پروژه، استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی هزینه‌ها، و به‌کارگیری رباتیک برای بهبود فرآیندهای اجرایی، کارایی و کیفیت ساخت‌وساز را به طور چشمگیری ارتقا داده است و توانسته بسیاری از نقاط ضعف روش‌های قدیمی را رفع کند و با چالش‌های دیرینه مقابله کند. در واقع هوش مصنوعی نه به عنوان یک جایگزین برای نیروی کار، بلکه به عنوان یک راهکار و ابزار بالقوه برای افزایش دقت در تصمیم‌گیری‌ها، ایمنی و سلامتی نیروی کار و بهره‌وری کلی پروژه استفاده می‌شود. هرچند سرمایه‌گذاری اولیه برای راه اندازی یک شبکه هوشمند برای جمع‌آوری اطلاعات پروژه مانند مدلسازی BIM، سنسورها و ... بالا به نظر می‌رسد اما تحقیقات نشان داده‌اند که در بلند مدت بازگشت این سرمایه سودآوری خود را اثبات خواهد کرد. هم‌چنین، این تکنولوژی با استفاده از دیتای بدست آمده در پروژه‌های پیشین خود می‌تواند پیشنهادات دقیق‌تری برای پروژه‌های بعدی ارائه دهد.

از سوی دیگر، تحول دیجیتال ناشی از هوش مصنوعی در صنعت ساخت و ساز به معنای حذف نقش علم مهندسی نیست، بلکه نویدبخش دوران جدیدی از «هم‌افزایی»^{*} میان تخصص نیروی کار و قدرت محاسباتی^{*} است. بنابراین موفقیت در مسیر مستلزم بازتعریف مهارت‌های مهندسی و پذیرش ابزارهای هوشمند به عنوان بازوی اجرایی و تحلیلی جهت افزایش بهره‌وری است. هر چند این مسیر با چالش‌هایی مانند کیفیت داده‌ها، مخالفت‌های فرهنگی و سازمانی و ... مواجه است، تحقیقات نشان می‌دهد که روند جهانی پذیرش هوش مصنوعی در صنعت ساخت و ساز را یک انتخاب تجمعاتی نمی‌داند، بلکه آن را ضرورتی اجتناب ناپذیر برای بقا در شرایط رقابتی بازار ساخت و ساز و دستیابی به روندی پایدار در مدیریت منابع پروژه‌های کلان می‌انگارد. نمونه‌های ارائه شده از پیاده‌سازی هوش مصنوعی در پروژه‌های ساخت و ساز نشان می‌دهد هوش مصنوعی توانایی بهبود عملکرد پیمانکاران را با کاهش خطا و افزایش سرعت به همراه دارد. در جایگاه مدیریت این پروژه‌ها نیز پایش پیشرفت پروژه از لحاظ کیفی و کمی بسیار سریع‌تر، کم هزینه‌تر و با دقت بالاتر انجام می‌شود.

^{*} Synergy

۶. مراجع

1. Koseoglu-Imer, Derya Y., Hasan Volkan Oral, Cristina Sousa Coutinho Calheiros, Pawel Krzeminski, Serkan Güçlü, Sofia Almeida Pereira, Joanna Surmacz-Górska et al. "Current challenges and future perspectives for the full circular economy of water in European countries." *Journal of Environmental Management* 345 (2023): 118627.
2. Lu, Pengzhen, Shengyong Chen, and Yujun Zheng. "Artificial intelligence in civil engineering." *Mathematical Problems in Engineering* 2012, no. 1 (2012): 145974.
3. Alsanabani, Naif, Khalid Al-Gahtani, Ayman Altuwaim, and Abdulrahman Bin Mahmoud. "A Hybrid AI-Stochastic Framework for Predicting Dynamic Labor Productivity in Sustainable Repetitive Construction Activities." *Sustainability* 17, no. 24 (2025): 11097.
4. Rane, Nitin, Saurabh Choudhary, and Jayesh Rane. "Artificial Intelligence (Ai) and Internet of Things (Iot)-based sensors for monitoring and controlling in architecture, engineering, and construction: Applications, challenges, and opportunities." *Engineering, and construction: applications, challenges, and opportunities (November 20, 2023)* (2023).
5. Sangannagari, Sukruthi Reddy. "Smart Roofing Decisions: An AI-Based Recommender System Integrated into RoofNav." *International Journal of Humanities and Information Technology* 5, no. 02 (2023): 8-16.
6. Wauters, Mathieu, and Mario Vanhoucke. "A comparative study of Artificial Intelligence methods for project duration forecasting." *Expert systems with applications* 46 (2016): 249-261.
7. Pal, Dheeraj Kumar Dukhiram, Subrahmanyasarma Chitta, Venkata Sri Manoj Bonam, Pranadeep Katari, and Shashi Thota. "AI-assisted project management: enhancing decision-making and forecasting." *J. Artif. Intell. Res* 3 (2023): 146-171.
8. James, Micheal. "AI-Powered Schedule Forecasting and Delay Mitigation Strategies in Infrastructure Projects." (2026).
9. Mohammadpour, A., E. Karan, and S. Asadi. "Artificial intelligence techniques to support design and construction." In *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, vol. 36, pp. 1282-1289. IAARC Publications, 2019.
10. Nguyen, Tuan Thanh, Dam Duc Nguyen, Son Duc Nguyen, Indra Prakash, Phong Van Tran, and Binh Thai Pham. "Forecasting construction price index using artificial intelligence models: support vector machines and radial basis function neural network." *Journal of Science and Transport Technology* (2022): 9-19.
11. Chou, Jui-Sheng, Chih-Wei Lin, Anh-Duc Pham, and Ji-Yao Shao. "Optimized artificial intelligence models for predicting project award price." *Automation in construction* 54 (2015): 106-115.
12. Ma, Mingxue, Vivian WY Tam, Khoa N. Le, and Robert Osei-Kyei. "A systematic literature review on price forecasting models in construction industry." *International journal of construction management* 24, no. 11 (2024): 1191-1200.

13. Fouad, Abdelrahman Mohamed, Hossam Wefki, and Hanan Kouta. "AI-driven raw material demand forecasting: Towards project management practices." *Journal of Supply Chain Management Science* 6, no. 1-2 (2025).
14. Adejumobi, Adeyemi Michael. "Addressing Construction Workforce Shortages Through AI-Augmented Planning, Skills Forecasting, and Knowledge Retention Amid an Aging Labour Force Crisis."
15. Xu, Shuyuan, Jun Wang, Wenchi Shou, Tuan Ngo, Abdul-Manan Sadick, and Xiangyu Wang. "Computer Vision Techniques in Construction: A Critical Review: S. Xu et al." *Archives of Computational Methods in Engineering* 28, no. 5 (2021): 3383-3397.
16. Seo, JoonOh, SangUk Han, SangHyun Lee, and Hyoungkwan Kim. "Computer vision techniques for construction safety and health monitoring." *Advanced Engineering Informatics* 29, no. 2 (2015): 239-251.
17. Liu, Zhenqing, Yiwen Cao, Yize Wang, and Wei Wang. "Computer vision-based concrete crack detection using U-net fully convolutional networks." *Automation in Construction* 104 (2019): 129-139.
18. Xu, Yang, Yi Li, Xiaohang Zheng, Xiaodong Zheng, and Qiangqiang Zhang. "Computer-vision and machine-learning-based seismic damage assessment of reinforced concrete structures." *Buildings* 13, no. 5 (2023): 1258.
19. Stephen, Seyi, and Clinton Aigbavboa. "AI-Driven Quality Control in the Built Environment: A Machine Learning and Expert." In *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC) 2025, Volume 2*, p. 432. Springer Nature, 2025.
20. Hasan, Md Morshedul, Mohammad Kasedullah, Md Baki Billah Ripon, and Md Miraj Hossen Khan. "AI-driven quality control in manufacturing and construction: enhancing precision and reducing human error." *Applied IT & Engineering* 3, no. 1 (2025): 1-10.
21. Anwar, Naveed, Muhammad Amir Izhar, and Fawad Ahmed Najam. "Construction monitoring and reporting using drones and unmanned aerial vehicles (UAVs)." In *The Tenth International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-10)*, vol. 8, no. 3, pp. 2-4. Colombo, Sri Lanka: CITC Global, 2018.
22. Bang, Sofie, and Nils Olsson. "Artificial Intelligence in Construction Projects: A Systematic Scoping Review." *Journal of Engineering, Project & Production Management* 12, no. 3 (2022).
23. ElQasaby, Ahmed R., Fahad K. Alqahtani, and Mohammed Alheyf. "Automated schedule and cost control using 3D sensing technologies." *Applied Sciences* 13, no. 2 (2023): 783.
24. Mariniuc, Alexandru Marin, Dorian Cojocaru, and Marian Marcel Abagiu. "Building surface defect detection using machine learning and 3D scanning techniques in the construction domain." *Buildings* 14, no. 3 (2024): 669.
25. Pan, Yue, and Limao Zhang. "Integrating BIM and AI for smart construction management: Current status and future directions." *Archives of Computational Methods in Engineering* 30, no. 2 (2023): 1081-1110.

26. Fang, Weili, Lieyun Ding, Hanbin Luo, and Peter ED Love. "Falls from heights: A computer vision-based approach for safety harness detection." *Automation in construction* 91 (2018): 53-61.
27. Chandu, K. P., K. Hemantha Raja, and N. Naveen Kumar. "From reactive to proactive: The role of wearable technology, AI, and digital training in construction safety management." *Libr. Prog. Int* 44 (2024): 22858-22864.
28. Sina, Fakhar. "Enhancing Construction Safety Behavior: AI-Based Strategies for Workplace Hazard Prevention and Risk Mitigation." *Research Gate: Berlin, Germany* (2025).
29. Shawe, Robb. "From Reactive to Proactive: Artificial Intelligence and Predictive Safety Systems in OSHA-Regulated Environments."
30. Vo, Quoc Bao, Thuy-Hien Thi Nguyen, Thu-Hien Thi Hoang, Duy Tuan Tran, and Hai-Bang Ly. "Enhancing construction safety management efficiency with AI-Powered real-time helmet detection." *Journal of Science and Transport Technology* (2025): 77-91.
31. Jassim, Salem, Khaled Mirfaei, Affan Alkim, Hamad Al-Nuaimi, Ali Bin Khalifa, and Latifa Bint Ahmed. "AI-Based Decision Support for Helmet Detection and Safety Monitoring in Construction Sites." *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics* 16, no. 3 (2025): 323.
32. Rane, Nitin. "Integrating building information modelling (BIM) and artificial intelligence (AI) for smart construction schedule, cost, quality, and safety management: challenges and opportunities." *Cost, Quality, and Safety Management: Challenges and Opportunities (September 16, 2023)* (2023).
33. Adejumobi, Adeyemi Michael. "AI-driven construction management systems integrating BIM, real-time analytics, and automation to boost productivity and minimise cost overruns risks." *Int J Civ Eng Archit Eng* 5, no. 2 (2024): 87-96.
34. Du, Xingliang. "Construction cost simulation based on artificial intelligence and BIM." *Scientific Programming* 2021, no. 1 (2021): 9744286.
35. Alzara, Majed, Yehia Abdelhamid Attia, Sameh Youssef Mahfouz, Ahmed M. Yosri, and Ahmed Ehab. "Building a genetic algorithm-based and BIM-based 5D time and cost optimization model." *IEEE Access* 11 (2023): 122502-122515.
36. Elattar, S. M. S. "Automation and robotics in construction: opportunities and challenges." *Emirates journal for engineering research* 13, no. 2 (2008): 21-26.
37. Wing, R. D. "ROBOTICS IN CONSTRUCTION-A STATE OF THE ART REVIEW." *Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 86, no. 5 (1989): 937-952.
38. Regona, Massimo, Tan Yigitcanlar, Bo Xia, and Rita Yi Man Li. "Opportunities and adoption challenges of AI in the construction industry: A PRISMA review." *Journal of open innovation: technology, market, and complexity* 8, no. 1 (2022): 45.
39. Rane, Nitin. "Role of ChatGPT and similar generative artificial intelligence (AI) in construction industry." Available at SSRN 4598258 (2023).

40. Winsor, John, Jin Paik, Mike Tushman, and Karim Lakhani. "Overcoming cultural resistance to open source innovation." *Strategy & Leadership* 47, no. 6 (2019): 28-33.
41. Aziz, Remon Fayek, Sherif Mohamed Hafez, and Yasser Ragab Abuel-Magd. "Smart optimization for mega construction projects using artificial intelligence." *Alexandria Engineering Journal* 53, no. 3 (2014): 591-606.
42. Liao, Wenjie, Xinzheng Lu, Yifan Fei, Yi Gu, and Yuli Huang. "Generative AI design for building structures." *Automation in construction* 157 (2024): 105187.
43. PANNOON, Parinda. "IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR CREATING MAPS." PhD diss., PALACKÝ UNIVERSITY OLOMOUC, 2024.
44. Han, Xuewen, Neng Wang, Shangkun Che, Hongyang Yang, Kunpeng Zhang, and Sean Xin Xu. "Enhancing investment analysis: Optimizing AI-Agent collaboration in financial research." In *Proceedings of the 5th ACM International Conference on AI in Finance*, pp. 538-546. 2024.
45. https://www.csci.com.hk/en/sus_technology_csmart.php
46. <https://vinci-construction.com/en/initiatives/how-vinci-construction-harnesses-artificial-intelligence-to-further-performance/>
47. <https://www.lts.com/services/artificial-intelligence>
48. <https://www.alicetechnologies.com/home>
49. <https://www.dustyrobotics.com/>
50. www.synaptiq.ai
51. <https://www.masstt.com/customer-story/newcastle-airport-gains-10-time-efficiency-visual-consistent-reporting>