



به‌رنگ سجادی  
دکترای مکانیک، دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تهران  
bsajadi@ut.ac.ir

فناوری‌های نوین در نظارت بر پروژه‌های ساختمانی:  
**از پاد تا حسگرهای هوشمند**



با رشد سریع فناوری‌های دیجیتال و ظهور ابزارهای هوشمند در صنایع مختلف، صنعت ساخت‌وساز نیز دستخوش تحولی اساسی شده است.

در پروژه‌های گسترده، بسیاری از جزئیات از دید بازرسان دور می‌ماند.

۲- عدم دقت در ثبت اطلاعات: گزارش‌های دستی مستعد خطاهای انسانی، فراموشی یا سوگیری هستند. همچنین، عکس‌های دوبعدی اغلب فاقد اطلاعات دقیق مکانی و فضایی‌اند.

۳- کندی در گردش اطلاعات: فاصله زمانی بین رخداد در محل پروژه و ثبت و انتقال آن به تصمیم‌گیرندگان می‌تواند بحرانی باشد. تصمیم‌های دیر هنگام یا اشتباه ممکن است تبعات سنگینی به دنبال داشته باشد.

۴- نبود شفافیت و قابلیت ردیابی: ثبت داده‌ها روی کاغذ یا فایل‌های پراکنده، امکان ردیابی سوابق، تحلیل روندها یا اثبات مسئولیت‌ها را دشوار می‌سازد.

۵- افزایش هزینه‌های نظارت سنتی: با افزایش تعداد نیروهای نظارتی هزینه‌ها بالا می‌رود، بدون اینکه الزاماً کیفیت نظارت ارتقا یابد.

این کاستی‌ها زمینه‌ساز استفاده از فناوری‌های نوینی شده‌اند که با بهره‌گیری از تصویربرداری هوایی، داده‌برداری سه‌بعدی، هوش مصنوعی و سیستم‌های ابری، فرایند نظارت را متحول می‌کنند.

### ۳- فناوری‌های نوین و کاربرد آن‌ها در نظارت ساختمانی

ظهور فناوری‌های نوین دیجیتال، تصویربرداری هوشمند و پردازش داده‌ها، تحولی بنیادین در نحوه نظارت بر پروژه‌های ساختمانی ایجاد کرده است. این فناوری‌ها امکان جمع‌آوری اطلاعات دقیق، به‌روز و قابل تحلیل را فراهم می‌کنند و نظارت را از حالت منفعل و واکنشی به سطحی پیش‌بین و داده‌محور ارتقا می‌دهند. در ادامه مهم‌ترین فناوری‌هایی که در این تحول نقش آفرین هستند، بررسی می‌شوند.

#### ۳-۱- پهپادها (Drones) در تصویربرداری و پایش هوایی

پهپادها یکی از شناخته‌شده‌ترین ابزارهای نوین در نظارت ساختمانی محسوب می‌شوند. این ابزارها با قابلیت پرواز خودکار، تصویربرداری با وضوح بالا و

فناورانه و داده‌محور، به تحلیل کاربردها، مزایا، چالش‌ها و آینده‌پژوهی فناوری‌های نوین در نظارت پروژه‌های ساختمانی خواهیم پرداخت.

نظارت بر فرایندهای ساخت، از عوامل کلیدی موفقیت در پروژه‌های عمرانی و ساختمانی محسوب می‌شود. کیفیت ساخت، ایمنی، زمان‌بندی و هزینه‌ها، همگی مستقیماً تحت تأثیر دقت و کارایی فرایند نظارت هستند. در محیطی که تعداد ذی‌نفعان زیاد است، از کارفرما و پیمانکار گرفته تا مشاوران، مهندسان ناظر، نیروهای اجرایی و نهادهای بازرسی، نیاز به مکانیزمی دقیق، شفاف و مداوم برای پایش وضعیت پروژه اجتناب‌ناپذیر است. مطالعات نشان داده‌اند که بخش قابل توجهی از مشکلات کیفی در ساخت‌وساز، به دلیل نقص در فرایند نظارت یا فقدان اطلاعات به موقع رخ می‌دهند. نظارت ناکافی می‌تواند منجر به اجرای نادرست، مصرف بی‌رویه مصالح، تأخیر در برنامه زمان‌بندی و حتی بروز حوادث ناگوار شود. از سوی دیگر، نظارت دقیق و لحظه‌ای، امکان شناسایی سریع انحرافات، مستندسازی پیشرفت واقعی و پیش‌بینی ریسک‌ها را فراهم می‌آورد. در پروژه‌های بزرگ مقیاس، که وسعت فیزیکی و تعداد فعالیت‌های موازی بسیار زیاد است، روش‌های دستی پاسخ‌گو نبوده و نیاز به استفاده از فناوری‌های دیجیتال بیش از پیش احساس می‌شود. اینجاست که فناوری‌های نوین می‌توانند به عنوان چشم و گوش دیجیتال پروژه عمل کرده و لایه‌ای جدید از هوشمندی و پیش‌بینی‌پذیری را به فرایند نظارت بیفزایند.

با وجود اهمیت بالای نظارت، در بسیاری از پروژه‌ها همچنان از روش‌های سنتی و دستی استفاده می‌شود. این روش‌ها شامل بازدیدهای میدانی، تهیه گزارش‌های متنی، عکس‌برداری با دوربین‌های معمولی، ثبت داده‌ها در فرم‌های کاغذی یا اکسل و تصمیم‌گیری بر پایه تجربه است. این شیوه‌ها دارای چندین محدودیت اساسی هستند:

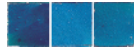
۱- محدودیت در پوشش مکانی و زمانی: یک مهندس ناظر یا تیم بازرسی نمی‌تواند به صورت هم‌زمان همه بخش‌های پروژه را پایش کند.

#### ۱- چکیده

با رشد سریع فناوری‌های دیجیتال و ظهور ابزارهای هوشمند در صنایع مختلف، صنعت ساخت‌وساز نیز دستخوش تحولی اساسی شده است. نظارت بر پروژه‌های ساختمانی که همواره از چالش‌برانگیزترین و پرخطاترین مراحل این صنعت به‌شمار می‌رود، اکنون با ابزارهایی مانند پهپادها، دوربین‌های پوشیدنی، حسگرهای سه‌بعدی، واقعیت افزوده و اینترنت اشیا، به سطح جدیدی از دقت، سرعت و شفافیت دست یافته است. این مقاله به بررسی ضرورت به‌کارگیری فناوری‌های نوین در فرایند نظارت ساخت‌وساز می‌پردازد و مزایا، چالش‌ها و راهکارهای اجرایی آن را تحلیل می‌کند. همچنین اثربخشی عملی این فناوری‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته و مسیرهای آتی توسعه فناوری در نظارت پروژه‌های ساختمانی ترسیم می‌گردد.

#### ۲- مقدمه

صنعت ساخت‌وساز از دیرباز با چالش‌هایی مانند تأخیر در اجرا، افزایش هزینه، خطاهای انسانی و عدم شفافیت در پیشرفت پروژه مواجه بوده است. یکی از عوامل کلیدی برای رفع این مشکلات، نظارت دقیق، مستمر و قابل اتکا بر پروژه‌ها است. با این حال، روش‌های سنتی نظارت که عمدتاً متکی بر بازدیدهای میدانی، گزارش‌نویسی دستی و مشاهدات چشمی هستند، دیگر پاسخ‌گوی نیازهای پروژه‌های پیچیده و عظیم امروزی نیستند. در دهه اخیر، ظهور فناوری‌های نوین دیجیتال، افق‌های تازه‌ای برای ارتقاء فرایندهای نظارتی گشوده است. ابزارهایی نظیر پهپادها، تصویربرداری، دوربین‌های پوشیدنی، حسگرهای لیزری سه‌بعدی و الگوریتم‌های هوش مصنوعی، امکان جمع‌آوری، تحلیل و مستندسازی داده‌های پروژه را با سرعت و دقت بی‌سابقه‌ای فراهم ساخته‌اند. این فناوری‌ها نه تنها موجب بهبود کیفیت نظارت می‌شوند، بلکه زمینه‌ساز افزایش ایمنی، کاهش هزینه‌ها، شفاف‌سازی فرایندها و تصمیم‌گیری بهنگام در پروژه‌ها نیز هستند. در این مقاله، با رویکردی



نظارت بر فرایند ساخت، از عوامل کلیدی موفقیت در پروژه‌های عمرانی و ساختمانی محسوب می‌شود.



جدول ۱

مزایا	کاربردها
کاهش نیاز به بازدیدهای حضوری افزایش ایمنی و سرعت پایش تولید داده‌های قابل تحلیل به صورت تصویری و عددی	تهیه نقشه‌های توپوگرافی دقیق مستندسازی پیشرفت پروژه در بازه‌های زمانی منظم بازرسی از مناطق خطرناک یا صعب‌العبور کنترل مصالح، ماشین‌آلات و فعالیت‌های نیروی انسانی هم‌پوشانی عکس‌های هوایی با مدل‌های BIM

جدول ۲

مزایا	کاربردها
کاهش اختلافات بین کارفرما و پیمانکار با ثبت شواهد ارتقاء شفافیت و پاسخ‌گویی قابلیت بازبینی حوادث یا خرابی‌ها	مستندسازی وضعیت واقعی اجزا ساختمان در زمان اجرا ارائه گزارش تصویری به دفاتر مرکزی یا نهادهای نظارتی آموزش و بازبینی عملکرد پرسنل

جدول ۳

مزایا	کاربردها
دقت بسیار بالا در برداشت و تحلیل ابعادی امکان ترکیب با مدل BIM جهت کنترل کیفی تسریع در بازرسی و مستندسازی	بررسی انحرافات و تطابق اجرای واقعی با نقشه‌های طراحی پایش تغییرات ابعادی یا نشست سازه در طول زمان اندازه‌گیری خودکار حجم خاک برداری یا بتن‌ریزی

ارسال زنده داده‌ها، امکان پایش کامل سایت‌های ساختمانی را فراهم می‌کنند. جدول (۱)

### ۲-۳- دوربین‌های پوشیدنی (Body Cameras) و ثبت شواهد میدانی

دوربین‌های پوشیدنی معمولاً روی لباس یا کلاه ایمنی نیروهای اجرایی یا ناظران نصب می‌شوند و امکان ثبت ویدیوی مداوم از محیط پروژه را فراهم می‌آورند. این فناوری، پیوندی بین حضور انسانی و داده‌برداری دیجیتال ایجاد می‌کند. جدول (۲)

### ۳-۳- حسگرهای سه‌بعدی و سیستم‌های LiDAR

LiDAR (تشخیص و تعیین فاصله با استفاده از لیزر) و حسگرهای سه‌بعدی از جمله فناوری‌هایی هستند که با دقت میلی‌متری قادر به برداشت هندسی محیط و ساخت مدل‌های سه‌بعدی دقیق از سازه‌ها هستند. جدول (۳)

### ۴-۳- واقعیت افزوده (AR) و واقعیت مجازی (VR)

فناوری AR امکان ترکیب اطلاعات دیجیتال (مدل‌های سه‌بعدی، نقشه‌ها، هشدارها) با تصویر زنده محیط واقعی را فراهم می‌کند. در حالی که VR برای شبیه‌سازی محیط پروژه در فضای مجازی استفاده می‌شود. جدول (۴)



با وجود اهمیت بالای نظارت، در بسیاری از پروژه‌ها همچنان از روش‌های سنتی و دستی استفاده می‌شود.

### ۳-۵- هوش مصنوعی و یادگیری ماشین

الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند تصاویر، فیلم‌ها و داده‌های حسگرها را تحلیل کرده و الگوهای خطر، تأخیر یا خطاهای احتمالی را شناسایی کنند. جدول (۵)

### ۳-۶- اینترنت اشیا (IoT) و حسگرهای هوشمند

با استفاده از حسگرهای متصل به اینترنت، داده‌های محیطی (دما، رطوبت، ارتعاش، جابجایی و...) به صورت زنده و پیوسته قابل جمع‌آوری هستند. جدول (۶)

### ۳-۷- مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) به عنوان بستر هماهنگی

BIM به عنوان یک پایگاه داده مرکزی برای مدل‌سازی سه بعدی پروژه و اطلاعات زمان بندی و هزینه، امکان هماهنگی میان فناوری‌های فوق را فراهم می‌آورد. جدول (۷)

### ۴- چالش‌های پیاده‌سازی فناوری‌های نوین در نظارت ساختمان

با وجود مزایای متعدد فناوری‌های نوین، پیاده‌سازی آن‌ها در پروژه‌های ساخت و ساز با چالش‌هایی مواجه است که باید به دقت مدیریت شوند:

۱- هزینه‌های اولیه بالا: تجهیزات پیشرفته مانند پهپادهای حرفه‌ای، دوربین‌های پوشیدنی و حسگرهای سه بعدی معمولاً هزینه بر هستند و نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه قابل توجه‌اند.

۲- نیاز به آموزش و تخصص: بهره‌برداری صحیح از این فناوری‌ها نیازمند دانش فنی و آموزش نیروهای انسانی است که ممکن است زمان بر و هزینه‌زا باشد.

۳- مشکلات فنی و پشتیبانی: تجهیزات پیشرفته نیاز به نگهداری، به‌روزرسانی نرم‌افزاری و سخت‌افزاری دارند که در پروژه‌های عمرانی ممکن است با کمبود امکانات روبه‌رو شود.

جدول ۴

مزایا	کاربردها
ارتقاء فهم مهندسان از وضعیت پروژه پیشگیری از خطاهای اجرایی تعامل بهترین تیم طراحی و اجرا	مشاهده تطبیقی بین مدل طراحی و وضعیت اجرای واقعی آموزش نیروهای اجرایی در محیط‌های مجازی امن شبیه‌سازی سناریوهای ایمنی یا بازرسی

جدول ۵

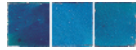
مزایا	کاربردها
کاهش نیاز به تحلیل انسانی زمان بر افزایش دقت و سرعت تشخیص انحرافات ارتقاء قابلیت پیش بینی در مدیریت پروژه	تحلیل خودکار تصاویر پهپاد یا دوربین‌ها برای تشخیص تخلف پیش بینی تأخیر بر اساس روند اجرایی تشخیص خطرات ایمنی بر مبنای حرکات افراد و ماشین‌آلات

جدول ۶

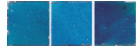
مزایا	کاربردها
ثبت داده‌ها به صورت پیوسته و بدون نیاز به مداخله انسانی تحلیل روندهای طولانی مدت ارتقاء ایمنی و کیفیت اجرا	پایش سلامت ساختمان در حین ساخت نظارت بر شرایط محیطی برای کنترل کیفیت ساخت هشداردهی زود هنگام در مواقع بحران (مثلاً نشست یا زلزله)

جدول ۷

مزایا	کاربردها
ایجاد یک مرجع واحد و قابل اشتراک برای تمام تیم‌ها کاهش تداخلات اجرایی تقویت تصمیم‌گیری با داده‌های یکپارچه	هم‌پوشانی داده‌های پهپاد، LiDAR و حسگرها با مدل سه بعدی شناسایی مغایرت‌های اجرا با مدل طراحی تسهیل گزارش‌گیری و برنامه‌ریزی



ثبت داده‌ها روی کاغذ یا فایل‌های پراکنده، امکان ردیابی سوابق، تحلیل روندها یا اثبات مسئولیت‌ها را دشوار می‌سازد.



#### ۴-۱- هزینه‌های مرتبط با فناوری‌های نوین

۱- هزینه خرید تجهیزات: پهنادهای پیشرفته با قابلیت تصویربرداری دقیق و نرم‌افزارهای تحلیل داده معمولاً قیمت بالایی دارند که می‌تواند از چند هزار تا ده‌ها هزار دلار متغیر باشد. همچنین دوربین‌های پوشیدنی با کیفیت و حسگرهای لیزری سه‌بعدی نیز جزء تجهیزات گران‌قیمت به شمار می‌روند.

۲- هزینه آموزش: کاربری صحیح این فناوری‌ها نیازمند آموزش تخصصی و پرورش نیروهای ماهر است. زمان و منابع صرف شده برای آموزش می‌تواند بخش مهمی از هزینه‌ها را شامل شود.

۳- هزینه نگهداری و به‌روزرسانی: تجهیزات دیجیتال نیازمند سرویس دوره‌ای، تعمیرات و به‌روزرسانی نرم‌افزاری هستند که هزینه‌های مکرر و پایدار ایجاد می‌کند.

۴- هزینه زیرساخت‌های فناوری: اتصال به اینترنت پرسرعت، نرم‌افزارهای ابری، سرورها و امکانات ذخیره‌سازی داده‌ها از جمله هزینه‌های جانبی هستند که باید لحاظ شوند.

#### ۴-۲- منافع و مزایای اقتصادی

۱- کاهش نیروی انسانی: استفاده از پهنادهای و سیستم‌های هوشمند باعث می‌شود که تعداد بازدیدهای حضوری کاهش یافته و نیروی انسانی کمتری برای نظارت نیاز باشد که به کاهش هزینه‌های پرسنلی منجر می‌شود.

۲- کاهش دوباره‌کاری‌ها و خطاها: به دلیل دقت بالاتر و ثبت مستندات دقیق، خطاهای اجرایی کاهش یافته و هزینه‌های اصلاح کارهای نادرست کاهش می‌یابد.

۳- کاهش تأخیر در پروژه: با نظارت پیوسته و پیش‌بینی زودهنگام مشکلات، امکان مدیریت بهتر زمان فراهم شده و تأخیرات پروژه کاهش می‌یابد که خود صرفه‌جویی مالی قابل توجهی دارد.

۴- افزایش ایمنی و کاهش هزینه‌های حوادث: کاهش حضور در محیط‌های پرخطر و پیش‌بینی

۴- مسائل حقوقی و حریم خصوصی: به‌کارگیری پهنادهای و دوربین‌های پوشیدنی ممکن است با محدودیت‌های قانونی یا نگرانی‌های مربوط به حریم خصوصی همراه باشد.

۵- تطبیق با ساختارهای سنتی: مقاومت در برابر تغییر و عادت به روش‌های سنتی در میان برخی پیمانکاران و ناظران، مانع پذیرش سریع فناوری‌های نوین می‌شود.

۶- یکپارچه‌سازی داده‌ها: ترکیب داده‌های حاصل از منابع مختلف مانند پهپاد، حسگرها و BIM به منظور تحلیل جامع نیازمند نرم‌افزارها و استانداردهای دقیق است که در بسیاری پروژه‌ها به خوبی فراهم نیست.

در دنیای امروز سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی موفقیت در پروژه‌های ساختمانی شناخته می‌شود. با وجود هزینه‌های اولیه بالا، فناوری‌های نوین نظارتی همچون پهپادها، حسگرهای سه‌بعدی و سیستم‌های هوشمند، با افزایش بهره‌وری و کاهش خطاها، می‌توانند بازگشت سرمایه قابل توجهی داشته باشند. تحلیل هزینه-فایده یکی از ابزارهای مهم در تصمیم‌گیری برای پذیرش این فناوری‌ها به شمار می‌رود. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که بهره‌برداری از فناوری‌های نوین می‌تواند هزینه‌های کل پروژه را به‌طور میانگین تا ۲۰ الی ۳۰ درصد کاهش دهد. با این حال، عدم آگاهی کافی مدیران، ترس از هزینه‌های اولیه بالا و نبود زیرساخت‌های لازم می‌تواند مانع پذیرش سریع این فناوری‌ها باشد. علاوه بر این، فقدان استانداردهای یکپارچه برای تبادل داده‌ها و تحلیل آن‌ها ممکن است هزینه‌های پیاده‌سازی را افزایش دهد. به‌طور کلی، تحلیل هزینه-فایده نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین نظارتی در بلندمدت، هم از نظر اقتصادی و هم کیفی به صرفه است. افزایش مقیاس استفاده، پیشرفت فناوری و کاهش هزینه تجهیزات در آینده نزدیک، توجیه اقتصادی این فناوری‌ها را بیش از پیش افزایش خواهد داد.

مشکلات ایمنی به کاهش هزینه‌های ناشی از حوادث کمک می‌کند.

۵- بهبود مدیریت منابع: داده‌های دقیق و لحظه‌ای به تصمیم‌گیری‌های بهینه‌تر در استفاده از مصالح، ماشین‌آلات و نیروی انسانی کمک می‌کند و از هدررفت منابع جلوگیری می‌کند.

#### ۵- روندهای آینده فناوری‌های نوین در صنعت ساخت‌وساز

با توجه به روندهای فعلی و پیش‌بینی‌ها، صنعت ساخت‌وساز در سال‌های آینده با تحولات عظیمی روبه‌رو خواهد شد که محور اصلی آن بهره‌برداری



تجهیزات پیشرفته مانند پهادهای حرفه‌ای، دوربین‌های پوشیدنی و حسگرهای سه بعدی معمولاً هزینه‌بر هستند و نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه قابل توجه‌اند.

تحول فرایند نظارت بر پروژه‌های ساختمانی ایفا می‌کنند. این فناوری‌ها با افزایش دقت، سرعت و شفافیت در جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها، امکان بهبود کیفیت ساخت، افزایش ایمنی، کاهش هزینه‌ها و جلوگیری از تأخیرات را فراهم می‌آورند. با وجود چالش‌هایی مانند هزینه‌های اولیه، نیاز به آموزش، مسائل فنی و حقوقی، مزایای اقتصادی و عملی این فناوری‌ها بسیار چشمگیر بوده و در بلندمدت توجیه‌پذیر است. به‌کارگیری فناوری‌های نوین نه تنها کیفیت نظارت را ارتقا می‌دهد، بلکه فرایند تصمیم‌گیری در پروژه‌ها را دقیق‌تر، سریع‌تر و هوشمندتر می‌کند. روندهای آینده صنعت ساخت‌وساز نیز نشان می‌دهد که فناوری‌های خودکارسازی، هوش مصنوعی پیشرفته، اینترنت اشیا و مدل‌سازی دیجیتال، به‌طور گسترده‌تری در این حوزه به کار گرفته خواهند شد و باعث تحولات اساسی در نحوه طراحی، اجرا و نظارت بر پروژه‌ها خواهند شد. در نهایت، پذیرش و به‌کارگیری فناوری‌های نوین در نظارت ساختمان، از ضروریات رشد پایدار و رقابت‌پذیری در صنعت ساخت‌وساز امروزی و آینده است و مدیران و مهندسان باید با دیدی باز و دانش کافی، این تغییرات را پذیرفته و به کار گیرند.

## ۲- مراجع

- [۱] Newaz, MT., et al., A critical review of the feasibility of emerging technologies for improving safety behavior on construction sites, *Journal of Safety Research*, 2024, vol. 89, pp. 269-287.
- [۲] Ibrahim, CKIC., et al., Design for safety (DfS) practice in construction engineering and management research: A review of current trends and future directions, *Journal of Building Engineering*, 2022, vol. 52, 104352.
- [۳] Kanade, SG., Duffy, VG., Use of Virtual Reality for Safety Training: A Systematic Review, *International Conference on Human-Computer Interaction*, 2022, Cham: Springer International Publishing.

## ۳-۵- اینترنت اشیا توسعه یافته و فناوری‌های ارتباطی نسل آینده

با توسعه شبکه‌های 5G و در آینده 6G، اتصال بی‌وقفه و با سرعت بسیار بالا بین حسگرها، دوربین‌ها، پهپادها و سیستم‌های ابری فراهم می‌شود. این پیشرفت امکان انتقال داده‌ها به صورت بلادرنگ، تحلیل سریع و واکنش آنی به رویدادهای پروژه را ممکن می‌سازد.

## ۴-۵- واقعیت افزوده و واقعیت مجازی پیشرفته

نسل‌های جدید فناوری‌های AR و VR با کیفیت بالاتر و تعامل بهتر به مدیران و مهندسان امکان می‌دهند تا وضعیت پروژه را در محیطی شبیه‌سازی شده مشاهده و تحلیل کنند. آموزش نیروها و شبیه‌سازی سناریوهای بحرانی نیز با دقت و تأثیرگذاری بیشتر انجام خواهد شد.

## ۵-۵- مدل‌سازی دوقلوی دیجیتال (Digital Twin)

ایجاد نسخه‌های دیجیتال زنده از پروژه‌های ساختمانی که به‌صورت مستمر با داده‌های واقعی به‌روزرسانی می‌شوند، امکان پایش دقیق‌تر، شبیه‌سازی و پیش‌بینی مسائل را فراهم می‌کند. دوقلوهای دیجیتال می‌توانند موجب کاهش خطاهای ساخت، بهینه‌سازی منابع و ارتقاء کیفیت پروژه شوند.

## ۶-۵- فناوری‌های پایدار و هوشمند

روندهای آینده به سمت به‌کارگیری فناوری‌هایی است که سازگار با محیط زیست بوده و مصرف منابع را بهینه می‌کنند. حسگرهای محیطی برای پایش کیفیت هوا، مصرف انرژی و مدیریت زباله در سایت‌های ساختمانی و استفاده از مواد هوشمند و بازیافت‌پذیر در ساخت از مهم‌ترین این روندها هستند.

## ۶- جمع‌بندی

فناوری‌های نوین مانند پهپادها، دوربین‌های پوشیدنی، حسگرهای سه‌بعدی، واقعیت افزوده و هوش مصنوعی، نقش بسیار مهمی در



حداکثری از فناوری‌های دیجیتال، هوش مصنوعی و خودکارسازی است. نظارت بر پروژه‌ها نیز به‌طور چشمگیری دقیق‌تر، سریع‌تر و هوشمندتر خواهد شد که منجر به کاهش هزینه‌ها، افزایش ایمنی و ارتقاء کیفیت ساخت‌وساز می‌گردد. فناوری‌های نوین در ساخت‌وساز در حال تحول سریع هستند و روندهای جدیدی شکل می‌گیرند که نویدبخش بهبودهای چشمگیر در کارایی، ایمنی و کیفیت پروژه‌ها است. در این بخش، به بررسی مهم‌ترین روندهای فناوری در حوزه نظارت ساختمانی پرداخته شده است.

## ۱-۵- خودکارسازی و رباتیک پیشرفته

ربات‌های خودران که قادر به انجام وظایف پیچیده ساختمانی و نظارتی هستند، به تدریج جایگزین نیروی انسانی در محیط‌های سخت و خطرناک خواهند شد. ربات‌های پرنده پیشرفته، ربات‌های زمینی و ماشین‌آلات هوشمند با قابلیت برنامه‌ریزی و تعامل با یکدیگر، بخش مهمی از آینده نظارت محسوب می‌شوند.

## ۲-۵- هوش مصنوعی پیشرفته و یادگیری عمیق

هوش مصنوعی به کمک الگوریتم‌های یادگیری عمیق قادر است داده‌های حجیم جمع‌آوری شده را به شکل خودکار تحلیل کند، الگوهای پیچیده را شناسایی و پیش‌بینی‌های دقیق ارائه دهد. این فناوری باعث می‌شود خطاهای انسانی کاهش یافته و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی بهینه شود.