

بررسی جایگاه تکنولوژی رباتیک و سیستم اتوماسیون در صنعت ساختمان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲

کد مقاله: ۹۸۵۵۰

امیرحسین کریمی راد^۱

چکیده

اتوماسیون از طریق ربات‌ها مفهوم جدیدی نیست. در حال حاضر، بسیاری از بخش‌های تولید و خدمات، از پیشرفته‌ترین روبات‌ها برای افزایش بهره‌وری استفاده می‌کنند. در این میان، صنعت ساختمانی نیز از این قاعده مستثنی نیست. از ربات‌ها، به منظور انجام نقشه برداری از محل ساخت پروژه، تولید قطعات بتنی پیش ساخته، تولید بتن، شاکریت و... استفاده می‌شود اما همچنان بسیاری از فعالیت‌های ساختمانی توسط نیروی انسانی انجام می‌پذیرد. لذا استفاده از ربات‌ها به منظور کار در ارتفاع و یا کار با مواد شیمیایی، باعث افزایش ایمنی کارگران و افزایش بهره‌وری می‌شود. هدف از ارائه این مقاله، بررسی نقش و جایگاه تکنولوژی رباتیک و دامنه کاربرد آن در صنعت ساختمانی می‌باشد.

واژگان کلیدی: تکنولوژی، رباتیک، صنعت ساختمانی، بهره‌وری، اجزای ساختمان.

۱- دکترای مهندسی عمران، گرایش سازه، دانشگاه UKM مالزی

۱- مقدمه

صنعت ساختمانی نقش قابل توجه و برجسته‌ای در اقتصاد ملی و جهانی ایفا می‌کند و تأثیرات مثبت آن غیر قابل انکار می‌باشد. بطوریکه در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، به ترتیب، ۱۰ و ۲۵ درصد تولید ناخالص داخلی (GDP) را به خود اختصاص می‌دهد. با این حال، دامنه گسترش تکنولوژی اتوماسیون در صنعت ساختمانی، در مقایسه با سرعت پیشرفت صنایع تولیدی، با سرعت کمتری در حال گسترش می‌باشد. این امر، منجر به کاهش بهره‌وری و شرایط کاری پر خطر می‌گردد. لذا، استفاده از تکنولوژی رباتیک، تأثیر مثبتی بر رفع مشکلات مذکور خواهد داشت. در عین حال، با گسترش فناوری‌ها، صنعت ساختمانی، شاهد پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه تکنولوژی رباتیک بوده است. در این میان، برخی از ربات‌ها نیز به صورت تک منظوره و به منظور انجام فعالیت خاصی طراحی می‌شوند. این تکنولوژی، نتایج امیدوارکننده‌ای را در خصوص انجام فعالیت‌های تکراری نشان داده است. با این حال، ممکن است بسیاری از ربات‌ها، قابلیت سازگاری و تطابق با یک محیط کاری منحصر به فرد را نداشته باشند.

برای اولین بار در دهه ۷۰ و در کشور ژاپن، از تکنولوژی رباتیک به منظور بهبود کیفیت المان‌های بتنی پیش ساخته در ساختمان‌های مسکونی مدولار استفاده گردید. از آن زمان به بعد، استفاده از ربات‌ها توسعه یافت و به تدریج از کارخانه‌ها به محل کارگاه‌های ساختمانی منتقل شد [1,2,3]. بر خلاف بسیاری از صنایع، صنعت ساختمانی هنوز انقلاب رباتیک خود را به طور کامل تجربه نکرده است. لذا در حال حاضر، بسیاری از عملیات اجرایی و ساختمانی که به قدرت و دقت بالایی نیاز دارند (نظیر لوله‌کشی و جابجایی مصالح)، همچنان توسط نیروی انسانی به روش‌های بسیار ناکارآمد و مخاطره‌آمیز انجام می‌شود. در این میان، بسیاری از تحقیقات انجام شده، بر کاهش بهره‌وری در صنعت ساختمانی اشاره می‌کنند [4]. لذا در این راستا، صنعت ساختمانی با چالش‌های عدیده‌ای مواجه خواهد شد [5].

به طور کلی، حوزه اتوماسیون صنعت ساختمانی، بر قابلیت‌های اتوماتیک (خودکار) فرآیندهای ساخت و ساز متمرکز است و استفاده از ربات‌ها تنها یکی از جنبه‌های اتوماسیون به شمار می‌رود. علاوه بر این، ربات‌ها، تأثیر قابل توجهی بر افزایش ایمنی و کیفیت در صنعت ساختمانی دارند و باعث افزایش سه برابری میزان بهره‌وری (بر حسب ارزش افزوده به ازای هر کارگر) می‌شوند [6]. با این حال، ربات‌های مورد استفاده در محل، در مقایسه با ربات‌هایی که معمولاً در صنایع تولیدی استفاده می‌شوند، با چالش‌های بیشتری مواجه هستند. ربات‌های ساختمانی، معمولاً در محیط‌های شلوغ و بدون ساختار منظم و با حضور تعداد زیادی از کارگران، مورد استفاده قرار می‌گیرند [7].

با گسترش استفاده از فناوری‌های هوشمند مصنوعی، تکنولوژی حسگرها و تکنولوژی مدلسازی اطلاعات ساختمان (BIM) [8]، استفاده از تکنولوژی ربات‌ها در کارگاه‌های ساختمانی، به تدریج توسعه یافت [9,10] و استفاده از ربات‌های تک وظیفه‌ای و یکپارچه در کارگاه‌های ساختمانی، باعث اجرای کارآمدتر، دقیق‌تر و ایمن‌تر گردید [11,12]. با بلوغ تکنولوژی راننده خودکار و فناوری تشخیص لیزر [13]، بسیاری از ربات‌های ساخت بتن، از دو تکنولوژی مذکور الهام گرفتند. زیرا تکنولوژی‌های مذکور، باعث هوشمندتر و دقیق‌تر شدن ربات‌ها می‌شوند.

۲- طبقه بندی انواع ربات‌های ساختمانی

به طور کلی، ربات‌های ساختمانی، به چهار گروه اصلی طبقه بندی می‌شوند:

الف) سیستم‌های پیش ساخته خارج از محل کارگاه

ب) سیستم‌های رباتیک خودکار در محل کارگاه

ج) پهپادها و وسایل نقلیه بدون سرنشین (AV)

د) دستگاه‌ها و تجهیزات پوشیدنی

به طور کلی، از پهپادها و وسایل بدون سرنشین (AV) به طور گسترده در کارگاه‌های ساختمانی، به منظور کمک به فرآیند نظارت استفاده می‌شود. اغلب دستگاه‌ها و تجهیزات پوشیدنی نیز تأثیر مثبتی بر تعامل ربات-انسان (HRI) و جلوگیری از آسیب دیدگی کارگران حین بلند کردن وسایل سنگین ایفا می‌کنند. در عین حال، استفاده از سیستم‌های رباتیک خودکار در محل کارگاه، در مقایسه با سیستم‌های دیگر با محدودیت‌های بیشتری مواجه است. از آنجائیکه پهپادها از راه دور کنترل می‌شوند، لذا از قابلیت‌های منحصر به فرد آنها می‌توان در به روز رسانی پیشرفت فیزیکی پروژه و چرخه عمر پروژه بدون استفاده از نیروی انسانی سود جست. همانطور که صنعت همچنان به رشد خود ادامه می‌دهد و نوآوری‌ها نیز همچنان در حال افزایش است، استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین (پهپادها) در صنعت ساختمانی همچنان رو به افزایش می‌باشد. به طور کلی، پهپادها در کارگاه ساختمانی، موقعیت هر یک از تجهیزات را ردیابی نموده و خطاهای احتمالی را ثبت می‌کنند. لذا از آنها می‌توان به عنوان هوش مصنوعی در کارگاه‌های ساختمانی استفاده کرد.



شکل ۱: نمونه ای از کاربرد پهپادها در صنعت ساختمانی

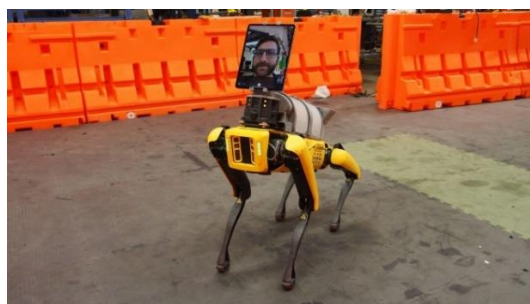
۳- تکنیک های داده محور

پیشرفت تکنیک‌های مبتنی بر داده‌ها مانند سیستم رایانه ای و یادگیری ماشین، کارایی و دقت سیستم‌های رباتیک را در زمینه‌های مختلف به طور چشمگیری بهبود بخشیده است. دامنه کاربرد این روش، طیف وسیعی را شامل می‌شود که از آن جمله می‌توان به صنایع تولیدی، وسایل نقلیه بدون سرنشین، بازرسی سازه و تعمیر نگهداری اشاره کرد که تاثیر مثبتی بر افزایش بهره‌وری و دقت کار دارند. بسته به اینکه ربات‌های ساختمانی چگونه باید در کارگاه ساختمانی مورد استفاده قرار گیرند، تحقیقات پیشین، بر روی روند اجرای اتوماسیون ربات ساختمانی تمرکز نموده‌اند: (۱) بومی سازی ربات (۲) شناسایی و انتخاب مصالح (۳) کنترل بهینه و اجرای کار (۴) نظارت و نگهداری.

۴- استفاده از تکنولوژی رباتیک در فرآیندهای نقشه برداری

در روش‌هایی که امروزه در صنعت ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند، استفاده از فرآیندهای نقشه برداری، ضروری بوده و در صورت ادغام با ابزارها و فناوری‌های مناسب، نظیر رباتیک و فناوری‌های اتوماسیونی، بهره‌وری با افزایش قابل توجهی مواجه خواهد شد. در صورت بهره‌مندی فرآیندهای مختلف نقشه برداری همچون طرح بندی نقطه ای و کنترل تغییر شکل‌های خاک از فناوری‌های رباتیک و اسکن لیزری، دقت و کیفیت ساخت افزایش خواهد یافت. به عنوان مثال، Zhao و همکاران [14]، مشخص کردند که بررسی ویژگی‌های تغییرشکلی ساختمان‌هایی که در شرایط محدب و یا مقعر نسبت به دیواره گود قرار دارند، کمک شایانی به پیش‌بینی و جلوگیری از تاثیرات منفی احتمالی وارد بر ساختمان‌های مجاور گود می‌کند. علاوه بر این، دستگاه حفاری تونل (TBM) تجهیزات پیشرفته حفاری سریع تونل‌ها به شمار می‌رود و در مقایسه با روش‌های تونل‌زنی معمولی از ایمنی بیشتری برخوردار است.

ماتو و همکاران [15] از یک ایستگاه رباتیک و الگوریتم‌های محاسباتی نوآورانه به منظور نظارت بر وضعیت تراز ماشین TBM استفاده کردند. این امر، از مشکلات مربوط به دقت و فرآیندهای کالیبراسیون به روش ایستگاه لیزری معمولی جلوگیری می‌کند.



شکل ۲: نمونه ای از کاربرد ربات‌ها در نقشه برداری

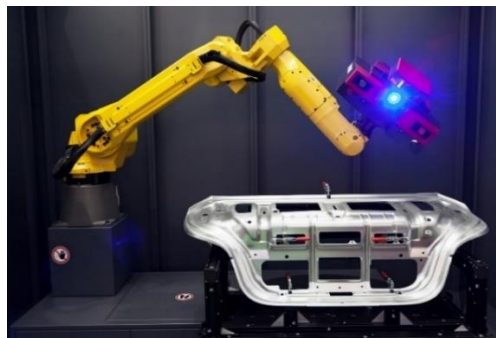
۵- استفاده از تکنولوژی رباتیک در فرآیند کنترل کیفیت

وانگ و همکاران [16] سیستمی را پیشنهاد دادند که در آن، از تکنولوژی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و فناوری تشخیص نور و محدوده (Lidar) به منظور جمع‌آوری اطلاعات در محل و کنترل کیفیت ساخت، استفاده شده است. این امر، در شناسایی عیوب و مدیریت آنها، کمک شایانی به مدیران کنترل کیفیت می‌کند. علاوه بر این، باعث بهبود بازرسی‌های زمان‌بر می‌گردد.

چی و همکاران [17]، چندین مطالعه موردی در زمینه شناسایی استفاده بالقوه از مدل ساخته شده از اسکن لیزری در فرآیندهای تضمین کیفیت ساخت در کارخانجات تولید گاز LNG انجام دادند. به طور کلی، استفاده از ربات‌ها در صنعت ساختمانی

باعث تولید محصولات ساختمانی با کیفیت بالا و مقرون به صرفه تر می شود. در عین حال، سرعت تولید قطعات را به موازات کاهش حوادث، افزایش می دهد. علاوه بر این، در سیستم های رباتیک، در تولید اجزای ساختمانی مختلف نظیر دیوارها، سقف ها، ستون ها و... به دلیل تولید در شرایط کارخانه ای و کنترل شده، نظارت بهتری صورت می پذیرد و در نتیجه، قطعات تولید شده، در مقایسه با سیستم های سنتی، دارای کیفیت بالاتر و مطلوب تری می باشند. به عبارت ساده تر، سیستم رباتیک، سیستمی است صنعتی که منجر به بهبود فرآیند تولید، استانداردسازی، مکانیزاسیون و اتوماسیون می گردد.

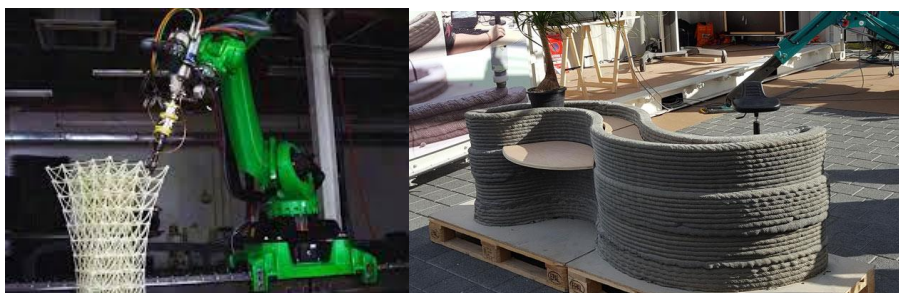
از دیگر بخش های مهم کنترل کیفیت، کنترل ابعادی اجزای تشکیل دهنده ساختمان می باشد. هر پروژه ساختمانی با اندازه و شکل اجزای تشکیل دهنده آن کنترل می شود. از این رو، برای دستیابی به کیفیت خوب در محصولات ساختمانی، باید استانداردهایی را تنظیم کرد تا هدر رفت و هزینه به حداقل برسد. به منظور اطمینان از میزان کیفیت حین ساخت، لازم است بازرسی های فنی توسط متخصصین انجام شود. بدین منظور از روش های بازرسی متفاوتی نظیر بازرسی هندسی، بازرسی لیدار (Lidar) و... استفاده می شود. در عین حال، بسته به نوع المان که بازرسی آن انجام خواهد شد، از تجهیزات مرتبط استفاده می گردد. به عنوان مثال، به منظور بازرسی ابعاد یک المان، می توان از روش لیزری سود جست. علاوه بر این، استفاده از سیستم اتوماسیون، باعث کاهش خطاهای احتمالی حین بازرسی می گردد. به منظور بازرسی فنی دقیق تر، می توان از اسکنرهای لیزری استفاده کرد. استفاده از لیزرها مزایای قابل توجهی را به دنبال دارد که از آن جمله می توان به نیاز به نظارت کمتر و امکان اتصال آنها به کامپیوتر و ذخیره سازی داده ها اشاره کرد. اسکنرهای لیزری، تصاویر (عکس ها) را به یک مدل سه بعدی تبدیل می کنند تا متخصصین بتوانند خطاهای موجود در المان های ساختمانی همچون اعضای بتنی ساخته را شناسایی کنند. حین اجرای مراحل طراحی و برنامه ریزی، بروز خطا، باعث کاهش کیفیت تولید شده و دقت ساخت را به طور قابل توجهی کاهش می دهد. این مشکل، در مرحله کنترل کیفیت قابل رفع می باشد و نیاز به تجربه کافی و ارزیابی دقیق کیفیت قطعات تولیدی دارد. بدین منظور، جهت کاهش خطاهای انسانی، از گجت ها و دستگاه های مختلفی استفاده می شود.



شکل ۳: نمونه ای از کاربرد ربات ها در کنترل کیفیت (QC)

۶- استفاده از تکنولوژی رباتیک در پرینت سه بعدی

استفاده از تکنولوژی پرینت سه بعدی، در محل کارگاه، برای المان های سازه ای و غیر سازه ای امکان پذیر می باشد. در این زمینه، تحقیقات مختلفی انجام شده است و همچنان بسیاری از محققین در این خصوص به تحقیقات خود ادامه می دهند. اغلب آنها بر این موضوع تاکید دارند که قبل از پذیرش این تکنیک، لازم است تحقیقات کافی و شناخت مناسب از مصالح بدست آید [18]. در عین حال، در این روش، باید چالش های پیش رو هنگام تعبیه داکت های برق و تاسیساتی و نیز سیستم لوله کشی و... [19] و نیز موانع پیش روی پیاده سازی سیستم اتوماسیون پرینت سه بعدی باید در نظر گرفته شود [20]. برخی از تحقیقات نیز بر کیفیت مصالح مصرفی همچون بتن [21,22] یا رس [23] یا مواد ترکیبی [24] تمرکز نموده اند.



شکل ۴: نمونه ای از کاربرد ربات ها در پرینت سه بعدی

معمولا در ساخت پرینت سه بعدی، از ربات دکارتی (Cartesian robots) استفاده می شود. به طور کلی، ربات‌های دکارتی، که تحت عنوان ربات‌های خطی یا دروازه ای نیز نامیده می شوند، رباتی است که از سه محور x ، y و z با مختصات دکارتی تشکیل شده است. از این ربات‌ها علاوه بر چاپ سه بعدی، در کارهای مختلف همچون بلند کردن وسایل، حمل و بارگیری نیز استفاده می شود. پرینت سه بعدی یکی از محبوب ترین کارها در صنعت ساختمان به شمار می رود زیرا به این روش می توان محصولات مختلفی همچون خانه های سه بعدی تولید کرد.

۷- نظارت به کمک سیستم اتوماسیون

لی [25] تاکید کرد که کامپیوترها، به دلیل مزایای قابل توجهی که در فرآیند نظارت بر تولید المان های ساختمانی ایفا می کنند (همچون افزایش ایمنی و کاهش خطرات)، به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرند. در تولید قطعات بتنی پیش ساخته، به دلیل وزن بالای المان های بتنی و عدم امکان جابجایی آنها توسط نیروی انسانی، از ربات‌ها استفاده می شود. با نظارت بر این سیستم، می توان به طور قابل ملاحظه ای هزینه ها را کاهش داد و از بروز حوادث جلوگیری نمود [26]. به طور کلی، مهمترین دلیل پیاده سازی سیستم اتوماسیون در صنعت ساختمانی، نظارت بر کاهش حوادث احتمالی در کارگاه های ساختمانی می باشد. Cooney [27] پیشنهاد کرد که از داده های مانیتورینگ می توان هنگامی که تجهیزات نیاز به تعمیر دارند و یا در شرایطی که نیاز است یکی از اجزا تغییر کند، استفاده نمود. در سیستم مانیتورینگ، با پایان یافتن عمر مفید قطعات، هشدار می بندی بر تعویض قطعه صادر می شود. این امر با استفاده از تکنولوژی حسگرها که میزان آسیب دیدگی قطعه را تحلیل می کنند، انجام می پذیرد.

۸- کاربرد تکنولوژی رباتیک در صنعت تولید بتن

به طور کلی، ربات‌های مورد استفاده در صنعت بتن، به نحوی طراحی می شوند که باعث بهینه سازی عملکرد تجهیزات، بهبود شرایط ایمنی، افزایش آگاهی ربات از فضای کاری و تضمین شرایط محیط کاری شوند. دامنه کاربرد ربات‌ها در صنعت تولید بتن رو به گسترش است زیرا تاثیر قابل توجهی بر کیفیت و کارایی قطعات تولیدی دارند. از ربات‌های مورد استفاده در این حوزه می توان به ربات‌های پخش بتن [28-30]، ربات‌های مورد استفاده در تراکم بتن و پرداخت سطحی [31-33]، ربات‌های رنگ آمیزی سطح بتن [34,35]، ربات‌های ساخت پرینت های سه بعدی بتن [36-38] و ربات‌های مورد استفاده جهت نظارت بر ساخت بتن [39-41] اشاره کرد. با این حال، ربات‌های مذکور، فاقد ارتباط واضح با فعالیت های کلیدی در صنعت ساختمان هستند. با توجه به پیچیدگی و تنوع موجود در اجرای سازه های بتنی، حجم کاری که توسط ربات‌ها قابل اجرا می باشد، همچنان با نیازهای جامعه مهندسی فاصله دارد و این امر بیانگر اینست که کاربرد ربات‌ها در صنعت ساختمانی هنوز به بلوغ نرسیده است.

۹- گسترش استفاده از ربات‌ها در صنعت ساخت بتن

تجزیه و تحلیل جامع دامنه کاربرد ربات‌های ساختمانی بتنی نیازمند تجزیه و تحلیل کاربردهای فعلی آنها می باشد. در این بخش، به طور اختصار، مطابق با جدول شماره ۱، کارخانجات مختلف و محصولات مرتبط آنها در زمینه ربات‌های ساخت بتن تشریح شده اند.

جدول ۱: کارخانجات و محصولات مختلف آنها در حیطه ربات‌های ساخت بتن

ردیف	کارخانجات	کشور	نوع تولید	وبسایت
۱	Ai Build	انگلستان	پرینت سه بعدی	https://www.ai-build.com
۲	Anex Industrial Hong Kong Limited	چین	رندرینگ	http://www.automaticrenderingmachine.com/
۳	Apis Cor	روسیه	پرینت سه بعدی	https://www.apis-cor.com
۴	CyBe Construction	هلند	پرینت سه بعدی	https://cybe.eu
۵	Hazama Ando	ژاپن	ماله کشی کف	http://www.ad-hzm.co.jp/english
۶	IHI	ژاپن	حمل و نقل بتن	https://www.ihico.jp/en
۷	Konoike Construction	ژاپن	حمل و پخش بتن	http://www.konoike.co.jp/e_konoike/
۸	Lomar SRL	ایتالیا	لکه گیری	https://www.lomarsrl.it/
۹	Maeda	ژاپن	سیستم ساخت اتوماتیک	https://www.maeda.co.jp/english.html
۱۰	M.A.i. GmbH	آلمان	پرینت سه بعدی و تراکم	https://www.m-a-i.de/en/

ردیف	کارخانجات	کشور	نوع تولید	وبسایت
۱۱	Mitsubishi Heavy Industry	ژاپن	حمل و پخش بتن	https://www.mhi.com/
۱۲	NCC	امریکا	سیستم ساخت اتوماتیک	https://www.nccconstruction.com/
۱۳	Nishimatsu	ژاپن	حمل و نقل بتن	https://www.nishimatsu.co.jp/eng/
۱۴	Obayashi	ژاپن	حمل و نقل و پخش بتن، تراکم و پرداخت سطحی بتن کف	https://www.obayashi.co.jp/en/
۱۵	Putzmeister AG	آلمان	پخش بتن	https://www.putzmeister.com/web/americas
۱۶	Shimizu	ژاپن	پرداخت سطحی بتن	https://www.shimzu.co.jp/en/
۱۷	Summerfiel	امریکا	سیستم ساخت اتوماتیک	https://summerfieldconstruction.com/
۱۸	Takenaka	ژاپن	بتن ریزی و تراکم بتن	https://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/
۱۹	Tokyo Keiki	ژاپن	ماله کشی کف	https://www.tokyoconstructions.com/
۲۰	Tokyo Construction	ژاپن	اجرای دیوار و پخش بتن	http://www.tokyokeiki.co.jp/
۲۱	Yingchuang Building Technique Co.	چین	پرینت سه بعدی	http://www.winsun3d.com/en
۲۲	Kajima	ژاپن	پخش بتن و پرداخت سطحی کف بتنی	https://www.kajima.co.jp/
۲۳	Fujita	ژاپن	تسطیح کف بتنی	https://www.fujita.com/technologies/
۲۴	Loughborough University	انگلستان	پرینت سه بعدی	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580511001221?via%3Dihub
۲۵	Materialise	بلژیک	پرینت سه بعدی	https://www.materialise.com/
۲۶	Oak Ridge National Laboratory	امریکا	پرینت سه بعدی	https://www.ornl.gov/
۲۷	COBOD	دانمارک	پرینت سه بعدی	https://cobod.com/
۲۸	Eindhoven University of Technology	هلند	پرینت سه بعدی	//dx.doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867
۲۹	Allen Engineering	امریکا	بتن ریزی، پرداخت سطحی و کفسازی بتنی	https://www.alleneng.com/
۳۰	DJI	چین	نظارت مبتنی بر پهپاد	https://www.dji.com
۳۱	Bright Dream Robotics	چین	ساخت در محل	https://www.bzlrobot.com/
۳۲	Boston Dynamics	امریکا	نظارت بر ساخت	https://www.bostondynamics.com/solutions/construction
۳۳	Georgia Institute of Technology	امریکا	نظارت بر ساخت	https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102918

۱. ربات‌های پخش کننده بتن: با توجه به نحوه توزیع و پخش بتن، ربات‌های ساختمانی، تحت عنوان ربات‌های بتن ریزی و ربات‌های شاتکریت (بتن پاش) طبقه بندی می شوند. ریختن بتن، به روند بتن ریزی قالب ها تا رسیدن به حالت پلاستیک، دلالت دارد [42]. روش سنتی پخش بتن که به روش دستی انجام می شد دارای معایب قابل ملاحظه ای همچون سرعت اجرای پایین و پخش ناهموار و بی کیفیت بتن می باشد. لذا با استفاده از ربات‌های پخش کننده بتن می توان به توزیع یکنواخت بتن در سطوح نسبتاً بزرگ دست یافت [43]. تکنولوژی شاتکریت نیز رفتاری مشابه بتن معمولی دارد، اما روند ساخت آن متفاوت است [44]. در این روش، مخلوط بتنی، با سرعت مشخص به سطوح پاشیده می شود.
۲. ربات‌های بتن ریزی: متداول ترین ربات‌های مورد استفاده جهت ریختن بتن، شامل ربات‌های پمپ کننده بتن و ربات‌های تاورکرین می باشد. در ربات‌های پمپ‌کننده بتن، مقدار اسلامپ بتن مصرفی باید بالا باشد. ارتفاع پخش بتن محدود می باشد اما باعث صرفه جویی در نیروی انسانی و زمان می شود. اغلب این ربات‌ها از سه قسمت اصلی تشکیل شده اند. بخش

پایه به زمین متصل می شود. بخش میانی از چهار مفصل حرکتی تشکیل شده است و بخش سوم شامل یک بازوی انتهایی جهت بتن ریزی می باشد [45].

۱۰- نتیجه گیری

این مطالعه، با هدف بررسی تاثیر اتوماسیون ساخت و رباتیک در صنعت ساخت و ساز انجام شد. به عنوان یک فناوری نوظهور با پتانسیل بالا، انتظار می رود ربات‌های ساختمانی باعث ساخت ایمن تر، سریع تر، کارآمدتر و هوشمندتر شوند. با استفاده از سیستم های کنترلی مستقل و سنسورهای دقیق، می توان سیستم مکتروینک یم ربات ساختمانی را ایجاد کرد. مطالعه انجام شده نشان داد که استفاده از سیستم های اتوماسیون و رباتیک در صنعت ساختمانی مزایای قابل توجهی را در بر دارد که از آن جمله می توان به کاهش هدر رفت مصالح، افزایش ایمنی و کاهش حوادث ساختمانی، بهبود شرایط کاری به دلیل افزایش ایمنی کارگاهی، کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری، کاهش دوباره کاری ها و... اشاره کرد. مطالعات بیشتری را می توان در ابعاد مختلف کاربرد اتوماسیون و رباتیک در صنعت ساخت و ساز انجام داد.

منابع

- [1] T Bock (2007) Construction robotics. *Autonomous Robots*, 22(3):201–209.
- [2] K S Saidi, T Bock and C. Georgoulas (2016) *Robotics in Construction*, pages 1493–1520. Springer International Publishing.
- [3] B Chu, D Kim, and D Hong (2008) Robotic automation technologies in construction: A review. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, pages 85–91.
- [4] T Linner (2013) *Automated and Robotic Construction: Integrated Automated Construction Sites*. PhD thesis, Technische Universität München.
- [5] Arghadeep Laskar and C. V. R. Murty (2005) Challenges before Construction Industry in India IITKanpur.
- [6] Andrews D, Criscuolo C, Gal P (2016) The global productivity slowdown, technology divergence and public policy: a firm level perspective, Lisbon. https://www.oecd.org/global-forum-productivity/events/GP_Slowdown_Technology_Divergence_and_Public_Policy_Final_after_conference_26_July.pdf.
- [7] Saidi KS, Bock T, Georgoulas C (2016) Robotics in construction. In: Siciliano B, Khatib O (eds) *Springer handbook of robotics*, 2nd edn. Springer International Publishing, pp 149–1519.
- [8] Bock, T.; Thomas, L. *Construction Robots (2016) Volume 3: Elementary Technologies and Single-Task Construction Robots*; Cambridge University Press: Cambridge, UK,; pp. 342–348.
- [9] Balaguer, C.; Abderrahim, M (2008) *Robotics and Automation in Construction*; BoD–Books on Demand: Norderstedt, Germany.
- [10] Bock T.; Thomas L. *Site Automation (2016)* Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- [11] Pan M. Linner T. Pan W. Cheng H M.; Bock, T (2020) Influencing factors of the future utilisation of construction robots for buildings: A Hong Kong perspective. *J. Build. Eng*, 30, 101220.
- [12] Choi J K.; Shiraishi T; Tanaka T (2007) Safe breakwater-following control of an autonomous underwater vehicle with non-zero forward velocity. *Automat. Constr* 16, 778–786.
- [13] Marti E ; De Miguel M A.; Garcia F ; Perez J A (2019) Review of Sensor Technologies for Perception in Automated Driving. *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag*, 11, 94–108.
- [14] Zhao W, Chen C, Li S, Pang Y (2014) Researches on the Influence on Neighboring Buildings by Concave and Convex Location Effect of Excavations in Soft Soil Area, *Journal of Intelligent & Robotic Systems*.
- [15] Mao S, Shen X , Lu M (2014) Virtual Laser Target Board for Alignment Control and Machine Guidance in Tunnel- Boring Operations, *Journal of Intelligent & Robotic Systems*.
- [16] Wang J, Sun W, Shou W, Wang X , Wu C, Chong H. Y, Liu Y, Sun C (2014) Integrating BIM and LiDAR for Real- Time Construction Quality Control, *Journal of Intelligent & Robotic Systems*.
- [17] Chi H. L, Wang J, Wang X , Truijens M , Yung P (2014) A Conceptual Framework of Quality-Assured Fabrication, Delivery and Installation Processes for Liquefied Natural Gas (LNG) Plant Construction. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*.
- [18] N Labonnote, A Ronnquist, B Manum, P Ruther (2016) Additive construction: state-of-the-art, challenges and opportunities, *Autom. Constr.* 72 347–366, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.026>.
- [19] P Wu, J Wang, X Wang (2016) A critical review of the use of 3-d printing in the construction industry, *Autom. Constr.* 68 21–31, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005>.
- [20] F Craveiroa, J P Duarte, H Bartolo, P J Bartolo (2019) Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: a perspective on Construction 4.0, *Autom. Constr.* 103 251–267, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.011>.
- [21] B Nematollahi, M Xia, J Sanjayan (2017) Current progress of 3D concrete printing technologies, *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*,

- 34 Vilnius Gediminas Technical University, , pp. 1–8, , <https://doi.org/10.22260/ISARC2017/0035>.
- [22] J Buchli, M Giffthaler, N Kumar, M Lussi, T Sandy, K Dorfler, et al (2018) Digital in situ fabrication: challenges and opportunities for robotic in situ fabrication in architecture, construction, and beyond. *Cem. Concr. Res.* 112 66–75, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.013>.
- [23] O Kontovourkis, G Tryfonos (2020) Robotic 3D clay printing of prefabricated nonconventional wall components based on a parametric-integrated design, *Autom. Constr.* 110 103005, , <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103005>.
- [24] Z Seibold, S Mhatre, J L Garcia del Castillo, M Bechthol (2019) Coextrusion based multi-material additive manufacturing for ceramics, *Proceedings of the Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture (ACADIA)*, pp. 576–585. Available at http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/acadia19_576.
- [25] Lee J and Kim J (2017) BIM-Based 4d simulation to improve module manufacturing productivity for sustainable building projects *Sustainability (Switzerland)* 9, 1–24.
- [26] Shahrubudin N, Lee T C and Ramlan R (2019) An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications *Procedia Manufacturing* 35, 1286–96.
- [27] Cooney J P (2016) Health and Safety in the Construction Industry : A Review of Procurement, Monitoring , Cost Effectiveness and Strategy. *Journal of Built Environment* 4, 107–19.
- [28] Bock, T. *Construction robotics* (2007) *Auton. Robot.*, 22, 201–209.
- [29] Li D ; Chen B ; Yu W; Shi Y Z ; Lu S (2022) Particle swarm-based optimization method for load distribution of concrete placing robot. In *Proceedings of the 2022 41st Chinese Control Conference (CCC)*, Hefei, China, 25–27; pp. 5806–5811.
- [30] Saidi K S ; Bock T ; Georgoulas C (2016) Robotics in construction. In *Springer Handbook of Robotics*; Springer: Cham, Switzerland; pp. 1493–1520.
- [31] Elattar S M S (2008) Automation and robotics in construction: Opportunities and challenges. *Emir. J. Eng. Res*13, 21–26.
- [32] Kolosov A ; Smolyaninov A ; Kargashilov D ; Spitsov D (2022) Development of an automatic control system for the position of a trowel for a robotic concrete paving complex. *Transp. Res. Procedia* 63, 1621–1630.
- [33] Seyrfar A ; Hossein A ; Ibrahim O (2022) Robotics and Automation in Construction (RAC): Priorities and Barriers Toward Productivity Improvement in Civil Infrastructure Projects. In *Automation and Robotics in the Architecture, Engineering, and Construction Industry*; Jebelli, H., Habibnezhad, M., Shayesteh, S., Asadi, S., Lee, S., Eds.; Springer: Cham, Switzerland.; pp. 59–71.
- [34] Wang G ; Hua X ; Xu J ; Song L ; Chen K (2019) A deep learning based automatic surface segmentation algorithm for painting large-size aircraft with 6-DOF robot. *Assembly*.40, 199–210.
- [35] Hack N ; Lauer W V (2014) Mesh-Mould: Robotically Fabricated Spatial Meshes as Reinforced Concrete Formwork. *Archit...*, 84, 44–53.
- [36] Mechtcherine V ; Nerella V N ; Will F ; Näther M ; Otto J ; Krause M (2019) Large-scale digital concrete construction—CONPrint3D concept for on-site, monolithic 3D-printing. *Autom. Constr.*107, 102933.
- [37] Hager, I.; Golonka, A.; Putanowicz, R (2016) 3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction? *Procedia*. 151, 292–299.
- [38] Long, W.J.; Tao, J.L.; Lin, C.; Gu, Y.C.; Mei, L.; Duan, H.B.; Xing, F (2019) Rheology and buildability of sustainable cement-based composites containing micro-crystalline cellulose for 3D-printing. *J. Clean.* 239, 118054.
- [39] Parada-Salado, J.G.; Ortega-Garcia, L.E.; Ayala-Ramirez, L.F.; Perez-Pinal, F.J.; Herrera-Ramirez, C.A.; Padilla-Medina, J.A (2018) A Low-Cost Land Wheeled Autonomous Mini-Robot for In-Door Surveillance. *IEEE Lat. Am. Trans.*16, 1298–1305.
- [40] Asadi, K.; Kalkunte Suresh, A.; Ender, A.; Gotad, S.; Maniyar, S.; Anand, S.; Noghabaei, M.; Han, K.; Lobaton, E.; Wu, T. (2020) An Integrated UGV-UAV System for Construction Site Data Collection. 112, 103068.
- [41] Ding, Y.; Xin, B.; Chen, J. A (2021) Review of Recent Advances in Coordination Between Unmanned Aerial and Ground Vehicles. 9, 97–117.
- [42] Far, H.; Nejadi, S.; Aghayarzadeh, M (2021) Experimental investigation on in-plane lateral stiffness and degree of ductility of composite PVC reinforced concrete walls. 22, 2126–2137.
- [43] Pan, W (2020) Methodological Development for Exploring the Potential to Implement On-Site Robotics and Automation in the Context of Public Housing Construction in Hong Kong. Ph.D. Thesis, Technische Universität München, Munich, Germany.
- [44] Girmscheid G.; Moser S (2001) Fully automated shotcrete robot for rock support. *Comput-Aided. Civ.*16, 200–215.
- [45] IndraMART. RV-12 Spreader Putzmeister Concrete Pumps (2022) Available online: <https://www.indiamart.com/proddetail/rv-12-spreader-putzmeister-concrete-pumps-21139195648.html>