

مقایسه تطبیقی پوشش‌های پیش ساخته در نماهای ساختمانی (مقایسه سیستم‌های چاپ سه بعدی و سنتی)

لیلی زمانی^۱، شایان شیرمحمدی^۲، نیلوفر عرب زاده^۳،
علیرضا مشبکی اصفهانی^{۴*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۳

کد مقاله: ۷۴۱۸۸

چکیده

روش‌های ساخت و ساز در صنعت ساختمان سازی با توجه به نیازهای انسان که همواره لازم است در کمترین زمان و با ارزان‌ترین قیمت به بهترین کیفیت ممکن دسترسی پیدا کند به محدودیت رسیده بود در نتیجه انتظار می‌رفت که همواره از تکنولوژی موجود در این صنعت بهره‌گیری می‌شد. چاپ سه بعدی یک فناوری نوینی می‌باشد که امروزه در صنایع مختلف همچون صنایع تولیدی و خدماتی به طور نمونه مبلمان سازی، تولید قطعات پزشکی، قطعات مکانیکی و ... مورد استفاده گرفته می‌شد. ساخت و ساز در عصر حاضر می‌تواند از این تکنولوژی با توجه به موفقیت دیگر صنایع استفاده کند. چاپ سه بعدی به عنوان فناوری در نظر گرفته می‌شد که برای چاپ سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفت. مواد اولیه‌ای که با چاپ سه بعدی باید استفاده شود باید الزامات مناسبی را دارا می‌بود که در مقایسه با روش سنتی مزایایی را به ارمغان می‌آورد. در این مقاله به بررسی چاپ سه بعدی در جهت فناوری مصالح ساختمانی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گردیده و مقایسه‌ای با روش سنتی صورت گرفته است.

واژگان کلیدی: واژه کلیدی، واژه کلیدی، واژه کلیدی، واژه کلیدی، واژه کلیدی،

-
- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری دیجیتال، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری دیجیتال، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری دیجیتال، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران
۴- دکترای معماری، عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

۱- مقدمه

پیشرفت‌های گسترده در صنایع ساختمان سازی به ندرت دیده می‌شود. در این مقاله، به بررسی جایگزینی برای ساختمان سازی با روش متداول و فعالیت‌های دستی در کارگاه در مقایسه با سیستم‌های ساختمانی پیش ساخته پرداخته شده و همچنین امکان استفاده، مزایا، معایب، جنبه‌های اقتصادی، الگوهای موثر، موانع و توسعه پیش ساختگی در صنعت ساختمان سازی مورد بحث قرار گرفته است. از نیازهای اولیه بشر تامین پناهگاه می‌باشد. امروزه با رشد جمعیت نیاز به ساخت سرپناه در زمان کمتر، ارزان‌تر و مقاوم‌تر مورد نیاز است و همچنین، ایمنی بیشتر در حین کار به ویژه در پروژه‌های انبوه سازی از جمله مزایای این سبک ساخت و ساز می‌باشد. (تقدیری، قنبرزاده قمی، ۱۳۹۴) این روش می‌تواند آغاز تغییر تکنولوژی ساخت و ساز باشد در واقع با افزایش احداث پروژه‌های زیرساختی عظیم به همراه توسعه روزافزون ساختمان‌های تجاری و بناهای مسکونی، بازسازی و تخریب کارگاه ساختمانی یا سایت پروژه و سازه‌های مهندسی مقدار متناهی از ضایعات ساختمانی به جای می‌ماند که این ضایعات از دیگر عوامل تخریب محیط زیست می‌باشد. از طریق به کارگیری روش‌های پیش ساختگی می‌توان ضایعات حاصل از ساخت و ساز را تا نصف کاهش داد، همچنین، استفاده از طرح‌های ساختمانی استاندارد و منظم در این زمینه مؤثر خواهد بود و با بهره‌گیری از فرآیندهای مکانیزه، استفاده از مصالح بازیافت شده یا قابل بازیافت و مونتاژ اجزای ساختمانی پیش ساخته به روش صنعتی می‌توان هزینه‌ها را تا حد چشمگیری کاهش داد. در نتیجه انتظار می‌رود صنعت ساخت و ساز تحولات بزرگی را پشت سر بگذارد، زیرا پیش‌بینی می‌شود که اتوماسیون ساخت و ساز می‌تواند به نوع آوری‌های جدیدی در جهت ساختمان سازی قدم بردارد که می‌تواند منجر به استفاده از فناوری‌های جدید چاپ بتن سه بعدی (DCP۳) شود؛ چاپ سه بعدی یک فناوری نوین برای نصب اشیاء ساختمانی است که در سرتاسر دنیا هر لحظه نمونه‌های اولیه جدیدی با استفاده از این روش ساخته می‌شود. چاپ سه بعدی به عنوان فناوری در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند برای چاپ سازه‌ها استفاده کرد در نتیجه استفاده از این روش مزایایی را به ارمغان می‌آورد.

۲- پیشینه تحقیق

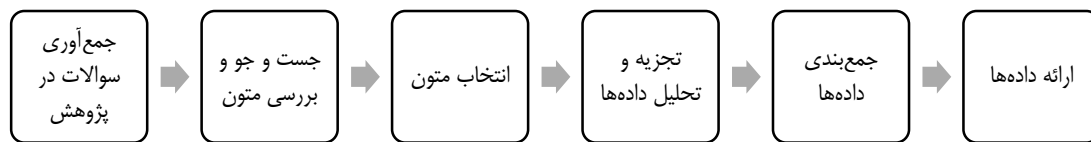
برای مطالعه پیشینه این تحقیق، از روش جست و جو منابع، در پایگاه‌های مختلف علمی استفاده شده بدین شکل که با استفاده از جستجوی کلیدواژه‌های مربوطه اعم از چاپ سه بعدی، سیستم ساختمانی پیش ساخته، تولید انبوه، ضایعات ساختمانی، تکنولوژی چاپ و ... بهره گرفته شده است؛ مقالات و منابع مرتبط با تحقیق گردآوری گردید و به مطالعه آنها پرداخته شد. در جدول شماره ۱، برخی از مطالعات پیشین صورت گرفته در خصوص موضوع مورد مطالعه بررسی و چکیده‌ای از آن‌ها گردآوری گردیده است:

جدول ۱- پیشینه تحقیق (نگارندگان)

عنوان پژوهش	محل انتشار	سال	نویسندگان	خروجی و نتیجه پژوهش
۱	مقایسه با ساخت و ساز متعارف	مقایسه با ساخت و ساز متعارف	مقایسه با ساخت و ساز متعارف	مقایسه با ساخت و ساز متعارف
۲	Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing	انتشار آنلاین	Bos, Wolfs, Ahmed & Salet	DCP به عنوان خانواده‌ای از روش‌های امیدوارکننده برای رسیدگی به چالش‌های پیش روی ساخت و ساز بتنی امروزی و همچنین برای باز کردن راه‌های جدیدی از امکانات طراحی معرفی شد.
۳	Current Progress of 3D Concrete Printing Technologies	سمپوزیوم بین المللی اتوماسیون و رباتیک در ساخت و ساز	Nematollahia , Xiab & Sanjayanc	نمونه‌های امیدوارکننده ارائه شده در این مقاله نشان می‌دهد که این فناوری به سرعت در حال پیشرفت است به گونه‌ای که چاپ سه بعدی سازه‌های بتنی در مقیاس بزرگ ممکن است در نزدیکی به واقعیت تبدیل شود.
۴	Construction Robotics enabling Innovative Disruption and Social Supportability	کرسی اجرای ساختمان و رباتیک، دانشگاه فنی مونیخ، آلمان	تیبوک	در حال حاضر، می‌توان مشاهده کرد که فناوری CA، سیستم‌های ربات خدماتی و سایر فناوری‌های میکروسیستم در حال ادغام با محیط ساخته شده‌اند و به عناصر ذاتی ساختمان‌ها، اجزای ساختمان و میلمان ساختمان تبدیل می‌شوند.
۵	Characteristic of materials for the 3D printed building constructions by additive printing	وب کنفرانس های 01013 222MATEC	Pacewicz1 , Sobotka & Golek	مخلوط طراحی شده برای چاپ شی اول از همه باید دارای ویژگی‌های خاصی باشد که چاپ و الزامات استاندارد را که باید از عناصر خاص ساختمان عبور کند را ممکن می‌کند. با توجه به اینکه کل ساختمان می‌تواند استانداردهای لازم مانند استحکام، حفاظت در برابر آتش و غیره را داشته باشد.

۳- روش تحقیق

براساس نتایج حاصل از تحقیقات و اطلاعات گردآوری شده از منابع کتابخانه‌ای با استفاده از کلید واژه چاپ سه بعدی، سیستم ساختمانی پیش ساخته، تولید انبوه، ضایعات ساختمانی، تکنولوژی چاپ و... در پایگاه علمی مختلف و بررسی مقایسه پوشش‌های پیش ساخته ساختمانی با کمک فناوری چاپ سه بعدی در برابر سیستم‌های پوشش‌های پیش ساخته نوین دیگر در نما نتایج به شرح مدل مفهومی مطالعه به شکل ذیل می‌باشد:



دیگرام ۱- مدل مفهومی تحقیق (نگارندگان)

۴- مفاهیم و اصطلاحات

۴-۱- چاپ سه بعدی

فرآیند چاپ سه بعدی در ساخت و ساز شامل هفت مرحله است. مرحله اول طراحی کامپیوتر مدل سه بعدی گرافیکی بیشتر (CAD) است. مرحله بعدی تبدیل مدل آماده شده به فرمت که با چاپگر سه بعدی قابل درک است؛ معمولاً این فرمت (STL) می‌باشد. قبل از چاپ، چاپگر برای کار و فایل طراحی برای تنظیم مقیاس چاپ و جهت اقلام چاپ شده سازگار می‌شود. مرحله بعدی پرینت سه بعدی شی است. مواد طبق مدل سه بعدی لایه به لایه با ضخامت مشخص گذاشته می‌شود. هنگامی که فرآیند چاپ به پایان رسید، چاپگر باید تمیز شود. آخرین مرحله تکمیل شی است. (Pacewicz1, Sobotka & Gołek, 2018) مخلوط طراحی شده برای چاپ شی اول از همه باید دارای ویژگی‌های خاصی باشد که چاپ و الزامات استاندارد را که باید از عناصر خاص ساختمان عبور کند را ممکن می‌سازد. با توجه به اینکه کل ساختمان باید استانداردهای لازم مانند استحکام، حفاظت در برابر آتش و غیره را داشته باشد و از طرف دیگر، مواد اولیه تولید مخلوط‌ها باید مطابق با مفهوم توسعه پایدار، یعنی صرفه جویی در منابع تجدیدناپذیر انتخاب شوند. مواد زائد قابل بازیافت، برای به حداقل رساندن احتمالی هزینه‌ها می‌باشد. (Pacewicz1, Sobotka & Gołek, 2018)

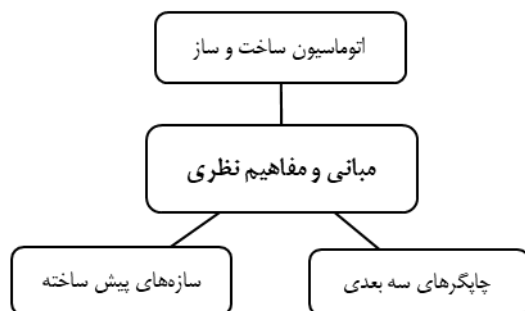
مدل سازی ویژگی‌های مخلوط، انتخاب ویژگی‌های آن نیز از عملکردی ناشی می‌شود که ساختار چاپ شده یا عنصر موجود در شی چاپ شده انجام می‌دهد. همچنین، شرایط اجراء از جمله شرایط آب و هوایی، ممکن است بر ویژگی‌های مورد نیاز مخلوط مورد استفاده تأثیر بگذارد. مخلوط‌های چاپ باید دارای ویژگی‌های قابل چاپ سودمندی باشند که می‌توان آن‌ها را در محدوده وسیعی کنترل کرد و ویژگی‌های آن‌ها را برای بهبود عملکرد در طول فرآیند چاپ سه بعدی اصلاح کرد. تهیه یک ماده سازگار برای چاپگر سه بعدی در مقیاس بزرگ کار دشواری است. (Pacewicz1, Sobotka & Gołek, 2018) عوامل مختلفی بر خواص ملات‌های تازه و سخت شده تأثیر می‌گذارد. تجزیه و تحلیل دقیق خواص با در نظر گرفتن مکانیسم‌ها به دلیل اثر افزودنی‌ها و مواد افزودنی منفرد بر کارایی مخلوط‌های چاپی قطعاً توصیه می‌شود. همچنین با توجه به قابلیت‌های چاپگر و باتوجه با اینکه این فناوری در مرحله آزمایشی است، پرینت سه بعدی از مخلوط ملات می‌تواند انقلابی را ایجاد کند که پتانسیل بخش ساخت و ساز را افزایش دهد.

۴-۲- اتوماسیون ساخت و ساز

رویکرد راه‌اندازی محیط‌های کنترل شده و کارخانه مانند در محل ساخت و ساز در قالب کارخانه‌های خودکار-رباتیک در محل را می‌توان به عنوان یک گام منطقی رو به جلو در رویکردهای پیش ساخته و فناوری STCR ها در نظر گرفت. با پیروی از مفاهیم و پیشرفت‌های دقیق فوق، در حال حاضر می‌توان مشاهده کرد که فناوری CA ، رویکردهای STCR ، سیستم‌های ربات خدماتی و سایر فناوری‌های میکروسیستم در حال ادغام با محیط ساخته شده هستند و به عناصر ذاتی ساختمان‌ها، اجزای ساختمان و مبلمان ساختمان تبدیل می‌شوند. با گذشت زمان، توانایی سیستم‌های ربات افزایش یافته است، به آن‌ها اجازه می‌دهد تا بیشتر و بیشتر در محیط‌های نسبتاً بدون ساختار کار کنند و همچنین درهای متعدد و متنوع مستقر شوند. فناوری ربات در همه جا فراگیر می‌شود و زندگی و محیط‌های ساخته شده را فرا می‌گیرد. (T. Bock, ۲۰۰۹)

۳-۴- سازه‌های پیش ساخته

اجزای ساختمانی پیش ساخته و خانه‌های پیش ساخته از نیاز به مسکن سریع است امروزه بیش از ۶۰ درصد ساختمان‌های کشورهای پیشرفته به گونه‌ای صنعتی تولید شده و در بیش از ۹۰ درصد ساختمان‌های مسکونی و تجاری آن‌ها از اجزای ساختمانی پیش ساخته و سیستم‌های خشک استفاده می‌شود. هزینه ساخت و ساز با استفاده از قطعات پیش ساخته با توجه به بازگشت سریع سرمایه، کمتر از هزینه ساخت و سازهای سنتی است.



دیاگرام ۱- دیاگرام مبانی نظری (نگارندگان)

همچنین، سبک‌سازی اجزای ساختمانی، دیوارها و سقف و غیره به نوبه خود باعث کم شدن بار مرده ساختمان و کاهش اندازه‌های شالوده و سازه، کاربرد مصالح کمتر و در نتیجه پایین آمدن هزینه ساخت از دیگر مزایای این نوع سازه‌ها است. اجرای فناوری‌های پیشرفته صنعتی در این سیستم، نیازمند نیروی انسانی ماهر، ولی به تعداد کم و در زمان کمتر است. لذا مجموعه هزینه نیروی انسانی در این سیستم، کم‌تر از روش‌های سنتی است. ابزار و مصالح مورد استفاده نیز نسبتاً کم هزینه هستند.

۵- یافته‌ها

۱-۵- تاریخچه و تعاریف

نقلاب صنعتی چهارم نشان‌دهنده آغاز تغییر عمیق در بخش ساختمان است. در دهه گذشته، چشم انداز اشکال، مواد و تکنیک‌های ساخت و ساز با توجه به فن‌آوری تولید افزایشی به سرعت در حال تکامل است. از سوی دیگر، حتی اگر تکنولوژی به سرعت در حال رشد باشد و چندین ساختمان چاپ شده سه بعدی در سراسر جهان در حال توسعه باشند، پتانسیل چاپ سه بعدی بتنی در ساخت قبل از ساخت، بررسی نشده باقی می‌ماند. در نتیجه، کاربرد فن‌آوری‌های جدید ساخت دیجیتال در صنعت ساخت و ساز نیاز به طراحی مجدد فرآیند ساخت و ساز و اجرای آن دارد. این مقاله یک مفهوم، طرح و نمونه اولیه جدید از یک پوشش پیش ساخته ساختمان را برای پیش ساخته شدن با چاپ بتن سه بعدی مبتنی بر اکستروژن (3DCP) ارائه می‌دهد. هدف از طراحی و مفهوم جدید، بهره‌برداری کامل از پتانسیل چاپ سه بعدی برای اجزای پیش ساخته، به ویژه از نظر مونتاژ خشک، سرعت اجرا، قابلیت استفاده مجدد، قابلیت بازیافت، پیمانه‌ای بودن، تطبیق پذیری، سازگاری و پایداری است. فراتر از طراحی مفهومی جدید عناصر پیش ساخته، این تحقیق مواد سیمانی قابل چاپ سه بعدی را براساس سیمان فسفات پتاسیم منیزیم (MKPC) بررسی کرد، که برای اطمینان از عملکرد خوب جز پیشنهادی طراحی و تست شد. در نهایت، یک نمونه اولیه در مقیاس با فن‌آوری تولید افزایشی به منظور تایید قابلیت چاپ و بهینه سازی مسیر اکستروژن محقق شده است. این مطالعه ما را به این باور می‌رساند که استفاده ترکیبی از سیستم‌های پیش ساخته، اتوماسیون ساخت و ساز و مواد نوآورانه جدید می‌تواند به طور قاطع پایداری صنعت ساخت و ساز را در آینده بهبود بخشد. (Volpe, Sangiorgio, Petrella, Coppola, Notarnicola & Fiorito, 2021) در میان تکنیک‌های ساخت دیجیتال، چاپ بتن سه بعدی مبتنی بر اکستروژن (3DCP) یکی از امیدبخش‌ترین فن‌آوری‌ها برای نوسازی بخش ساخت و ساز می‌باشد. در واقع، کاربردهای مختلف 3DCP برای ساخت و ساز ساختمان در چند سال گذشته برای پیشرفته سازی بخش ساخت و ساز توسعه یافته‌اند. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که، در مقایسه با فرآیندهای ساخت و ساز مرسوم، چاپ سه بعدی می‌تواند هزینه‌ها را کاهش دهد، استفاده از انرژی و مواد زائد را کاهش دهد، مشاغل خطرناک را حذف کند و شانس خطاها را به حداقل برساند، در حالی که پایداری و آزادی معماری را افزایش می‌دهد. از آنجا که فن‌آوری، عملکرد و آزادی در فرم‌های قابل چاپ ارتباط نزدیکی با مطالعه مواد دارند، بسیاری از انواع مواد سیمانی خارج از قالب در چند سال گذشته ایجاد شده‌اند. ماده مورد استفاده برای چاپ سه بعدی بتن باید دارای ویژگی‌های خاصی از جمله قابلیت خارج شدن، ویسکوزیته و قابلیت کار باشد. (Volpe, Sangiorgio, Petrella, Coppola, Notarnicola & Fiorito, 2021)

۲-۵- پیامدهای ساختاری و انرژی

بن بخش برخی از بررسی‌های اولیه در مورد عملکرد سازه‌ای و انرژی بلوک‌های پیش ساخته پیشنهادی را ارائه می‌دهد. به طور خاص، فراتر از عملکردهای ساختاری سنتی الزم برای عملیات ساخت و ساز، یک بلوک چاپ شده سه بعدی باید ویژگی‌های خوبی داشته باشد تا قابلیت چاپ صحیح را تضمین کند. مقاومت لایه‌های پایین‌تر باید بتواند به سرعت از زن لایه‌های بعدی در طول فرآیند اکستروژن پشتیبانی کند. با فرض عرض الیه ۳ سانتی‌متر، سطح مقطع المان‌های چاپ شده ۰٫۱ مترمربع و حجم آن ۰٫۰۶ مترمکعب است. وزن مخصوص فرضی با استفاده از سیمان MKPC با شن ۱٫۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب است، در

حالی که وزن مخصوص فرضی با استفاده از سیمان MKPC با شیشه گسترش یافته به عنوان سنگدانه، ۰٫۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب است. در نتیجه وزن یک بلوک به ترتیب ۸۱ کیلوگرم و ۵۷ کیلوگرم خواهد بود. با توجه به آزمایش‌های ساختاری که انجام شد، قدرت تراکم در عمل آوری ۹۰ دقیقه (می‌تواند بسته به ترکیب استفاده شده از MKPC بین ۱۴٫۳ تا ۹۹٫۱ مگاپاسکال) متغیر باشد. این مقاومت فشاری به اندازه کافی عریض است که چاپ را بدون از دست دادن شکل طراحی شده ممکن سازد. علاوه بر این، استحکام فشاری پس از ۹۰ دقیقه، امکان مونتاژ مستقیم بلوک در محل را فراهم می‌آورد تا از پشتیبانی بلوک‌های دیگر برای چاپ و پیاده سازی سریع اطمینان حاصل شود. عملکرد انرژی سیستم بستن عمودی به چینه‌شناسی بستگی دارد. پانل مواد عایق می‌تواند ضخامت متغیر تا ۱۴ سانتی‌متر داشته باشد و می‌تواند عملکرد عایق متغیر با توجه به الزامات داخلی و شرایط آب و هوایی در محل داشته باشد. ما می‌توانیم با فرض استفاده از مواد عایق مرسوم مانند پشم سنگ، برای عملکردهای جهانی ارزش قائل شویم.

۵-۳- ترکیب سیستم با دیوارهای سبز برای اهداف کاربردی و زیبایی شناختی

سیستم توسعه یافته طوری طراحی شده است که از لحاظ بصری به دیوار آجری کلاسیک نزدیک باشد، حتی اگر مواد مورد استفاده سیمان باشند. از سوی دیگر، بلوک پیشنهادی از یک مفهوم جدید، یک فن آوری تولید جدید و یک تکنیک ساخت و ساز نوآورانه استفاده می‌کند. به این ترتیب، ممکن است اولین گام به سمت پذیرش اجتماعی این فن آوری برای ساخت و ساز مسکونی برداشته شود. با توجه به اتمام، سیستم پیشنهادی نیازی به پوشش ندارد، که عملیات دستی را به حداقل می‌رساند، مونتاژ در محل را ساده می‌کند و درجه خودکارسازی را افزایش می‌دهد (به استثنای احتمال خطای انسانی). در نتیجه، برای ساختمان‌های مسکونی و یا رفع نیازهای زیبایی شناختی خاص برخی از کاربران، می‌توان طراحی کلاسیک پالستینگ یا پالستینگ برد را پیشنهاد کرد. برخلاف گچ کاری کلاسیک، بلوک‌های پیشنهادی با دیوارهای سبز به لطف MKPC پیشنهادی سازگار هستند، که به طور خاص با نفوذپذیری کم و مقاومت خورنده در برابر مواد شیمیایی توسعه داده شده است. این انعطاف پذیری می‌تواند نیازهای ذی‌نفعان مختلف و کاربردهای مختلف مورد نظر را برآورده سازد. (Volpe, Sangiorgio, Petrella, Coppola, Notarnicola & Fiorito, 2021).

۵-۴- چاپ بتن سه بعدی چگونه کار می‌کند؟

برای اطلاع از نحوه کار چاپ بتن سه بعدی، یک چاپگر غول پیکر FDM 3D را تصور کنید که به جای رشته‌های پلاستیکی از بتن استفاده می‌کند. پرینترهای سه بعدی بتنی، دقیقاً مانند چاپگرهای FDM، از طریق g-code کنترل می‌شوند که یک زبان ماشینی است که با هدایت سر چاپگر پرینتر سه بعدی تا تولید مدل مورد نظر ۳ D کار می‌کند.



شکل ۱- چاپگرهای سه بعدی
(منابع اینترنتی)

پرینترهای سه بعدی بتن و چاپگرهای FDM 3D معمولی هر دو از جهاتی مشابه هستند و در بعضی دیگر بسیار متفاوت هستند. در حقیقت، شباهت بین پرینترهای پلاستیکی FDM و پرینترهای بتنی را می‌توان در اساس به دو کلمه خلاصه کرد که این دو کلمه، اکستروژن موا می‌باشد. دقیقاً مانند چاپگرهای FDM 3D معمولی، چاپگرهای بتنی سه بعدی نیز با استفاده از محورهای X، Y و Z کار می‌کنند. محور X یک پرینتر سه بعدی بتنی با طول ریل‌هایی که برای حرکت به جلو و عقب پرینتر استفاده می‌شود، قابل تعریف می‌باشد. محور Y از پرینتر سه بعدی بتنی با فاصله بین ریل در طرف‌های مخالف تعریف می‌شود و محور Z با ارتفاع ستون‌هایی که نازل را حمل می‌کنند تعریف شده است. پرینترهای سه بعدی بتنی، نیاز کارگران ساختمانی را برطرف نکرده‌اند، اما این کار باعث شده است تا کار آنها آسان‌تر و ایمن‌تر شود.

۵-۵- معایب پرینتر سه بعدی

قوانین ساختمان: هیچ قانونی و یا فرآیندی برای تأیید ساختمان‌های ساخته شده توسط پرینتر سه بعدی برای مصارف مسکونی یا تجاری وجود ندارد. ابتدا دولت باید استانداردهای مربوط به برق، لوله‌کشی، یکپارچگی ساختاری و ایمنی عمومی را تدوین و به مراجع و عموم دست‌اندرکاران عمرانی ارجاع دهد. انواع متریل: موادی که از پرینتر قابل تحویل هستند، تقریباً به بتن و پلاستیک محدود شده است. ساختمان‌هایی که به اجزای چوب یا فولاد احتیاج دارند قادر به استفاده از چاپگر برای تکمیل قسمت‌های مورد نیاز خود نیستند.

سازگاری مهندسی: تعداد بسیار کمی از معماران و مهندسان به این فن‌آوری ساخت علاقه‌مند شده‌اند. سایر قابلیت‌های پرینتر سه بعدی که با فن‌آوری جدید همراه هستند در مرحله طراحی استفاده نمی‌شوند. طرح‌های سنتی برای استفاده با چاپگر سه بعدی سازگار نیست، بنابراین کل مراحل طراحی باید به شیوه‌ای متفاوت انجام شود. کاهش نیروی کار: کارهای ساختمانی افراد بسیاری را به ویژه کارگران مشغول می‌کند، به همین دلیل تولید کار از جمله مزایای روش سنتی ساختمان سازی است. در پرینتر سه بعدی این ماشین‌ها هستند که به طور عمده مسئولیت ساخت بنا را بر عهده دارند، بنابراین، با توسعه این روش باید با موج جدیدی از بیکاری روبرو شد.

۶- نمونه موردی

۶-۱- Tennessee Valley Federal Credit Bank

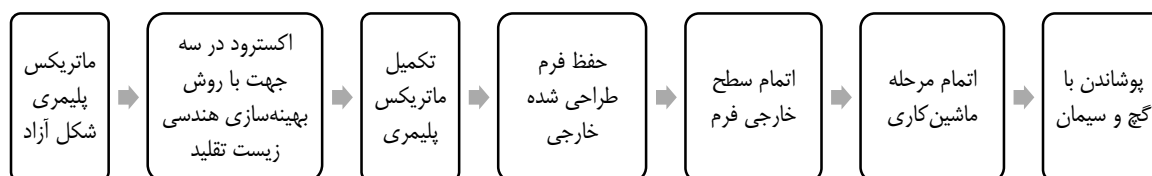
پروژه‌ی پرینت سه بعدی نمای ساختمان شعبه‌ی Tennessee Valley Federal Credit Bank در چاتانگای آمریکا به پایان رسیده است. کمپانی Branch Technology قطعات را در کارخانه‌ی چهل هزار فوت مربعی خود و با کمک ارتشی از روبات‌های ۶ محوری پرینت سه بعدی می‌کند. سیستم C-Fab از ترکیب فیبر کربن و ABS به عنوان ماده اولیه استفاده می‌کند و به شیوه‌ای آزاد پرینت را انجام می‌دهد؛ آزاد از محدودیت‌های دپوزیشن لایه‌ای سیستم‌های قدیمی‌تری چون FDM/FFF. آن‌ها الگوریتمی دارند که قادر به تولید هندسه‌ها و کدهای روباتیک جهت ساخت ماتریکسی سبک وزن است. سپس این قطعات را مانند یک سازه‌ی لگویی بزرگ در کنار هم قرار می‌دهند تا دیوار نما را شکل دهند. (Platt Boy, Branch Technology, 2020)



شکل ۳- دیاگرام سازه‌ای C-Fab (Platt Boy, Branch Technology, 2020)



شکل ۲- ربات‌های کارخانه تکنولوژی برنج (منابع اینترنتی)



دیاگرام ۳- مراحل سازه C-Fab (نگارندگان)

۶-۲- Apis Cor in Dubai

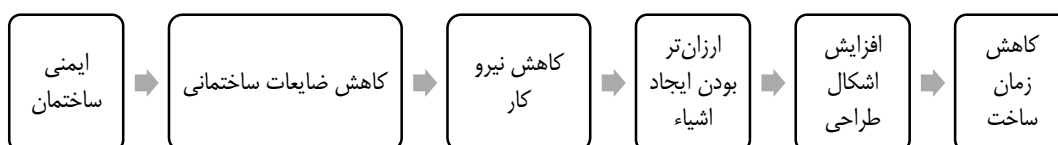
این ساختمان اداری دارای دو طبقه به ارتفاع حدود ۹٫۵ متر است و زیربنایی نزدیک به ۶۴۰ مترمربع دارد. روش ساخت این سازه نیز مشابه با سایر ساختمان‌هایی است که با روش پرینت سه بعدی ساخته شده‌اند؛ بدین صورت که ملات سیمان از طریق نازل و به صورت لایه به لایه ریخته شده و ساختار اصلی این سازه‌ی اداری را تشکیل داده است. مدت زمان ساخت این سازه سه هفته به طول انجامیده است و تنها سه نیروی انسانی از شرکت آپیس کور در اجرای این پروژه شرکت کرده‌اند. به دلیل وسعت این پروژه، پرینتر سه بعدی و قابل حمل توسط جرثقیل جابه‌جا شده است. ناگفته نماند به منظور استحکام بیشتر سازه و اجرای فونداسیون، نصب درها، پنجره‌ها، سقف، انجام سیم‌کشی و کارهای مانند آن، میل‌گرد و ملات دست‌ساز در این پروژه به کار رفته است.



شکل ۴- سازه اداری شرکت آپیس کور دوبی (ساختمانچی، پرینترهای سه بعدی)

۷- نتیجه گیری

توسعه فن آوری چاپ سه بعدی در صنعت به جهش بزرگ فن آوری کمک کرده است. به لطف روش های مختلف تولید اشیاء، چاپ سه بعدی آزمایش روی نمونه های اولیه را امکان پذیر می کند که قبلاً انجام آن با روش های تولید معمولی دشوار بود. چاپ سه بعدی مخلوط ملات، روشی امیدوارکننده است که می تواند فرآیندهای سنتی ساختمان را متحول کند.



دیاگرام ۳- مزایای استفاده از پرینترهای سه بعدی در مقابل روش های سنتی ساختمان (نگارندگان)

مسئله اساسی در پرینت سه بعدی ساختمان ها به جز چاپگر، مواد مورد نیاز چاپ است. بسیاری از مواد جدید در حال حاضر توسعه یافته اند، از جمله: منشا بیولوژیکی، فولاد، چوب و پلاستیک؛ که امکان چاپ افزودنی محصولات را فراهم می کند. با این حال، به نظر می رسد که برای هر پروژه طراحی شده برای پیاده سازی در فن آوری چاپ افزودنی، یک ترکیب جداگانه از مخلوط چاپ طراحی می شود. مخلوط طراحی شده برای چاپ شی اول از همه باید دارای ویژگی های خاصی باشد که چاپ و الزامات استاندارد را که باید از عناصر خاص ساختمان عبور کند را ممکن می کند. با توجه به اینکه کل ساختمان می تواند استانداردهای لازم مانند استحکام، حفاظت در برابر آتش و غیره را داشته باشد. (Pacewicz1, Sobotka & Gołek, 2018)

جدول ۲- مقایسه المان های تولید به روش های سنتی و صنعتی (نگارندگان)

ردیف	فاکتورها تولید	تولید سنتی	تولید صنعتی	خروجی و نتیجه مقایسه
۱	فرآیند تولید	فرآیند سری	فرآیند در کارخانه	روند فرآیند تولید در روش صنعتی به دلیل اینکه مرحله ای نیست و توان موازی کاری را دارد، بهتر از روش صنعتی است.
۲	سلسله اقدامات اجرایی	به ترتیب	جداگانه	همانند فرآیند تولید، سلسله اقدامات اجرایی نیز در روش صنعتی جداگانه و سبب افزایش روند اجرا شده، در نتیجه نمره بهتری از روش سنتی می گیرد.
۳	روند اجرا	کند	تند	با توجه به تولید قطعات در کارخانه و وابسته نبودن فرآیند اجرا به مرحله ای قبلی، روند اجرا در روش صنعتی بهتر می باشد.
۴	شیوه و مصالح	ساخت قدیمی	ساخت جدید	در شیوه و مصالح، نتیجه گیری درستی نمی توان انجام داد زیرا در هر بنا روش ساخت خاصی وجود دارد. اما در کل با توجه به نوین بودن روند ساخت در روش صنعتی، این روش پیشنهاد می گردد.
۵	هزینه و سرمایه گذاری	هزینه بالا	هزینه کم	با توجه به تولید تمام قطعات در کارخانه و کاهش نیروی انسانی متخصص و غیره، هزینه های ساخت و اجرا در روش صنعتی کم و برای سرمایه گذاران قابل توجه تر می باشد.

منابع

۱. تقدیری، قنبرزاده قمی، (۱۳۹۴)، معماری و شهرسازی آرمان شهر.
۲. جزایری مقدس، رحمانی، (۱۳۹۳)، بررسی روش ساخت و ساز نوین با چاپگرهای سه بعدی، اولین کنفرانس ملی توسعه عمرانی کلانشهرها با رویکرد سرمایه گذاری، اهواز
3. Bock, .(2015). , T. Construction Robotics enabling Innovative Disruption and Social Supportabilit, In Proceedings of the 32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), Oulu, Finland
4. Kaszynka, Olczyk, Techman, Skibicki, Zielinski, Filipowicz, Wroblewski, Hoffmann, .(2019). , ThermalHumidity Parameters of 3D Print, West Pomeranian University of Technology, Poland
5. Khoshnevis, Hwang, Yao , .(2006). , Mega-scale fabrication by contour crafting. Int. J. Ind. Syst, England
6. Nematollahi, Xia, Sanjayan, .(2017), Current Progress of 3D Concrete Printing Technologies In Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Taipei, Taiwan
7. Pacewicz, Sobotka, Gołek, Ł, .(2018). , Characteristic of materials for the 3D printed building constructions by additive printing. MATEC Web Conf
8. Pessoa, Guimarães, Lucas, Simões,, .(2021). , 3D printing in the construction industry— A systematic review of the thermal performance in buildings. Renew, Sustain. Energy Rev