

بررسی و شناخت چالش‌های موجود برای استفاده از پرینترهای سه‌بعدی ساختمان

حمید راستگویان¹، علی نازک‌تبار²، عرفان سلطانی و شنوه³

¹ دانشجوی مهندسی مکانیک مقطع کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین (ع) hamidr.rastgo@gmail.com

² دانشجوی مهندسی مکانیک مقطع کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین (ع) alinazoktabar@gmail.com

³ دانشجوی مهندسی مکانیک مقطع کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین (ع) veshnave4@gmail.com

چکیده

فرایند پرینتر سه‌بعدی یا تولید افزایشی در چند سال اخیر پیشرفت چشم‌گیری در صنایع مختلف مانند ساخت و تولید تا پزشکی داشته است، صنعت ساخت‌وساز یکی از صنایعی است که از این تکنولوژی تأثیر گرفته است، متأسفانه امروزه با توجه به افزایش قیمت مواد اولیه و کمبود مصالح مختلف جهت ساخت ساختمان‌هایی با کاربردهای مختلف این صنعت با مشکلات زیادی روبرو است، از این رو پرینترهای سه‌بعدی ساختمان با مزایایی همچون کاهش قیمت تمام‌شده مسکن، کاهش زمان ساخت و استفاده از مواد اولیه سازگار با محیط‌زیست می‌توانند زمینه‌ساز حل مشکلات ناشی از ساخت مسکن‌ها، به روش سنتی باشند، اما دو چالش پیش‌روی این صنعت مواد اولیه و دستگاه مورد استفاده می‌باشد در این مقاله به بررسی اثر ترکیبات افزودنی بتن، راهکارهای افزایش مقاومت بتن در برابر بارهای وارده، و همچنین به بررسی انواع پرینترهای چاپ ساختمان پرداخته می‌شود.

واژه‌های کلیدی

پرینت سه‌بعدی ساختمان، ترکیبات افزودنی بتن، تقویت بتن، تست اسلامپ بتن

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

1. مقدمه

اولین چاپگر سه بعدی در سال ۱۹۸۴ اختراع شد و در طول دهه های گذشته، چاپ سه بعدی به یکی از سریع ترین تکنولوژی های در حال رشد تبدیل شده است. [1] در ابتدا بسیار پیچیده بود و تکنولوژی بسیار گران قیمتی بود. در طول سال ها، چاپ سه بعدی شروع به حضور در زندگی روزمره کرد و چاپگرها معمولاً در همه انواع زمینه های صنعتی مورد استفاده قرار می گرفتند و دستاوردهای زیادی در زمینه پزشکی، خودروسازی یا هوافضا به دست آوردند. با توجه به نمونه سازی محصول جدید و کاربردهای نوآورانه چاپ سه بعدی در زمینه های مختلف برای همه در دسترس است. در سال ۲۰۱۴، انقلاب واقعی در صنعت ساخت و ساز آغاز شد، چرا که اولین خانه چاپ شد و فصل جدیدی در فناوری ساخت و ساز را آغاز کرد. [2] اصل چاپ سه بعدی ساخت سازهایی لایه ای است که در آن اجزای سه بعدی از یک مدل دیجیتال چاپ می شوند برای ایجاد شکل سه بعدی، برنامه با دستگاه شروع به تجزیه و تحلیل فایل داده ها با توصیف هندسه سه بعدی می کند که پس از آن شکل به تعداد زیادی از لایه های افقی تقسیم می شود. این بخش با شروع از لایه پایین و اضافه کردن لایه های متوالی بر روی دیگری تا رسیدن به بالا ساخته می شود. [3] دو چالش عمده در پرینترهای سه بعدی ساختمان، مواد و دستگاه مورد استفاده است اولین و مهم ترین چالش به دست آوردن فرمول مخلوط مناسب برای مواد چاپ می باشد. مواد که در اغلب موارد برخی از انواع مخلوط های بتنی هستند باید به منظور پشتیبانی و تحمل وزن هر یک از لایه های بعدی به اندازه کافی مقاوم بوده و یا با سرعت کافی خشک شوند، دومین چالش صرف نظر از اینکه چاپ در محل و یا خارج از محل انجام شود چاپگر سه بعدی ساخت و ساز باید قادر به تزریق مداوم و یکنواخت هر لایه از ماده باشد برای ساخت و ساز در محل، سازه باید پس از تکمیل چاپ و بدون هیچ گونه آسیب به سازه نصب شود [4] در این مقاله ابتدا به بررسی انواع ترکیبات افزودنی به بتن جهت رسیدن به بتن مورد نیاز برای چاپ پرداخته می شود و سپس راه حل های موجود برای تقویت بتن و دیوارهای چاپ شده و در انتها به بررسی چالش دوم یعنی دستگاه های موجود در این زمینه و نحوه چاپ آن ها پرداخته می شود.

2. ترکیبات افزودنی

بتن های سنتی الزامات رئولوژیکی مورد نیاز برای استفاده در چاپگرهای سه بعدی را برآورده نمی کنند؛ بنابراین، محققان و تولیدکنندگان به دنبال بهینه سازی ویژگی های حالت تازه بتن برای قابل چاپ شدن هستند. کنترل خواص رئولوژیکی بتن و نقش ترکیبات شیمیایی برای چاپ آن ها از اهمیت خاصی برخوردار است، [5] خواص رئولوژیکی در طول چاپ بتن ها تأثیر زیادی دارند و همیشه با توجه به فرایند مداوم هیدراسیون در حال تغییر هستند. حتی اگر بتن تازه به راحتی اکستروژد شود، کارایی یا زمان بازبودن بتن برای چاپ در مقایسه با کاربردهای سنتی کوتاه تر است. با افزایش پیوسته ویسکوزیته در طول زمان، قابلیت کار کاهش می یابد تا اینکه در نهایت، ماده برای اکستروژد شدن بسیار سفت می شود. با این حال، اگر از یک سو سخت شدن ماتریس سیمانی باعث دشوار شدن چاپ شود، از سوی دیگر، همین پدیده می تواند به بهبود مقاومت مکانیکی لایه های اول برای پشتیبانی از رسوب لایه های بعدی کمک کند؛ بنابراین، اندازه گیری های رئولوژیکی به تنظیم ویژگی های ریخته گری بتن در حالت تازه، مانند قابلیت کار، جریان پذیری، و به ویژه قابلیت چاپ، کمک می کنند. [6] ترکیبات شیمیایی مانند فوق روان کننده ها، عوامل تغییر دهنده ویسکوزیته، کندکننده تنظیم و شتاب دهنده ها می توانند پارامترهای رئولوژیکی بتن های تازه را بهبود بخشند، ثبات ایده آل را تنظیم کنند و کارایی و قابلیت ساخت را برای دوره های طولانی تر حفظ کنند.

1.2. فوق روان کننده ها (SPs)

در فناوری بتن، به روان کننده ها و فوق روان کننده ها کاهنده آب با برد بالا نیز گفته می شود. این مواد وقتی که به مخلوط بتن اضافه می شود تعدادی از خصوصیات از جمله بهبود کارایی و مقاومت را به آن می بخشند [7] فوق روان کننده ها (SPs)، پراکنش کننده های پلیمری هستند که در مخلوط هایی با پایه سیمانی به منظور افزایش کارایی آن ها برای مخلوط کردن و ریخته گری به کار می روند. جذب سطحی این فوق روان کننده ها بر روی سطوح سیمان، مکانیزم عمل است که یک نیروی بین ذره ای دافعه را معرفی می کند که نیروی

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

جاذب کلی بین ذرات سیمان و در نتیجه تنش تسلیم و ویسکوزیته را کاهش می‌دهد. SPSها برای بهبود قابلیت کار، ساخت بتن با سیال بیشتر برای پر کردن فرم لغزشی در حین ریخته‌گری و حفظ شکل آن پس از حذف فرم لغزشی طراحی شده‌اند که تا حد امکان مطلوب می‌باشند؛ بنابراین، با استفاده از SPS برای چاپ سه‌بعدی، انتظار می‌رود که تعلیق سیمان در طول پمپاژ روان‌تر شود و شکل خود را پس از چاپ به اندازه کافی سریع بازیابی کند تا رشته چاپ‌شده زیر را پشتیبانی کند. در این حالت، آن‌ها زمان باز چاپ را کوتاه‌تر می‌کنند، و به تغذیه ثابت بتن نیاز دارند. با این حال، برخی از انواع فوق روان‌کننده‌ها ممکن است اثر کندکنندگی ایجاد کنند؛ بنابراین، انتخاب نوع فوق روان‌کننده به این بستگی دارد که آیا چاپ در محل یا خارج از محل باشد [6,8].

2.2. کندگیر کننده‌ها (SRS)

افزودنی‌های کندگیر کننده، مواد آلی و یا ترکیبی هستند که برای حفظ کارایی بتن و یاملات تازه به مخلوط اضافه می‌شوند. افزودنی‌های کندگیر کننده روند کسب مقاومت‌های مکانیکی کوتاه‌مدت بتن را به تأخیر انداخته اما پس از عمرهای 5 و 7 روزه رشد مقاومت جبران شده و در اغلب موارد با ایجاد ناخیز در روند گیرش باعث حصول نتایج مقاومتی بهتر و تولید محصولاتی با تخلخل کمتر نسبت به نمونه‌های فاقد افزودنی می‌گردند، تأخیر درگیرش در دمای زیاد یا زمانی که بین ساختن و ریختن بتن تأخیر وجود دارد به‌ویژه در دمای زیاد هوا پیش از 30 درجه سانتی‌گراد مطلوب است، عملکرد اصلی مواد افزودنی کندگیر کننده‌ها تأخیر درگیرش خمیر سیمان و همچنین کند شدن روال سخت شدن اولیه است و حالت خمیری شکل بتن دارد، زمان بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد با استفاده از مواد کندگیر کننده‌ها درشرایطی خاص، مقاومت بتن را نیز افزایش یابد [9]

3.2. شتاب‌دهنده‌ها

به‌منظور ارتقا استحکام بتن در سنین بسیار پایین، مانند استفاده از پوشش ضخیم در کاربردهای بالاسری، کار تعمیر فوری، برای تسریع سرعت واکنش بتن در محیط‌های سرد و یا سرعت تولید در یک کارخانه بتن پیش‌ساخته به‌منظور دور کردن بتن از مسیر ممکن برای چاپ سه‌بعدی، شتاب‌دهنده‌ها به‌ویژه در ساختارهای با مقیاس کوچک با طول مسیر چاپ کوتاه‌تر مفید هستند که در آن فاصله زمانی بین هر لایه چاپ‌شده کوتاه‌تر است. انواع مختلفی از شتاب‌دهنده‌ها مانند سیلیکات سدیم، شتاب‌دهنده‌های مبتنی بر آلومینات، کربنات‌های فلزات زمینی، هیدرات‌ها و نمک‌های غیر آلی وجود دارند که مؤثرترین آن‌ها کلرید کلسیم است که به طور گسترده برای به‌دست‌آوردن بتن‌های با استحکام بالا در سنین پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، به دلیل واکنش‌پذیری بالا با میله‌های فولادی، این ماده شیمیایی در بسیاری از کشورها محدود و یا حتی ممنوع شده است [10].

4.2. مواد حباب‌ساز

اختلاط هوا تکنیکی است که در آن یک عامل به مخلوط‌های سیمان اضافه می‌شود تا حباب‌های هوا را بر روی خمیر سیمان وارد کنند چنان‌چه بتن به‌صورت اشباع یا نزدیک به اشباع باشد در هنگام یخبندان آسیب می‌بیند، استفاده از مواد حباب ساز در بتن باعث ایجاد حباب‌هایی در خمیر سیمان می‌شود، که نیروی ناشی از افزایش حجم یخ خنثی گردد در بتن حباب‌دار به دلیل وجود فضاهای خالی و بسته در داخل سیمان، تنش ناشی از افزایش حجم یخ زدن اب در بتن خنثی و آسیبی به بتن وارد نخواهد شد [9]

3. تست اسلامپ بتن (Concrete slump test)

سنجش اسلامپ بتن آزمایشی است که در آن میزان کارایی و روانی (شل بودن یا سفت بودن آن) بتن تازه پیش از گیرش بتن تعیین می‌شود. این کار برای بررسی کارایی بتن تازه و در نتیجه روانی جریان بتن و سهولت ریخته شدن بتن و جا گرفتن آن در قالب انجام می‌شود. از این سنجش همچنین برای یافتن نشانه‌ای از وجود احتمالی بخشی از سیمان موجود در انبار با اختلاط نامتناسب استفاده می‌شود. به دلیل سادگی دستگاه‌های مورد استفاده و روال ساده آن روشی محبوب است. از این آزمون برای اطمینان از یکنواختی بارهای

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

مختلف بتن در شرایط ویژه محلی نیز استفاده می شود انجام این آزمایش به این صورت است که ابتدا مخروط اسلامپ بر روی سینی مربوطه و در محل خود مستقر می شود. سپس با یک بیلچه دستی اقدام به پرکردن مخروط می شود. این عمل در سه مرحله و هر مرحله با ۲۵ بار کوبش بتن (جهت فشرده سازی) انجام می شود. پس از اتمام سه مرحله فوق و پرشدن مخروط، با یک خطکش فلزی یا هر نوع وسیله ممکن، سطح بتن را صاف کرده تا با لبه قاعده بالایی در یک تراز قرار گیرد. سپس مخروط را در عرض سه ثانیه بالا می آورند پس از برداشتن مخروط، بتن مقداری افت خواهد کرد، به وسیله خطکش این مقدار افت اندازه گرفته می شود، عدد به دست آمده همان مقدار اسلامپ بتن است که معمولاً به سانتی متر بیان می شود [11]

4. راهکارهای افزایش تقویت بتن:

اضافه کردن ترکیبات افزودنی به بتن تا حد قابل قبولی مقاومت بتن را افزایش می دهد، اما این مقدار کافی نیست و دیوار ساخته شده از بتن تحمل اضافه شدن طبقه های بعدی ساختمان را ندارد و یا حتی ممکن است تحمل لایه های بعدی بتن را نیز نداشته باشند، از این رو راهکارهای زیادی برای افزایش مقاومت بتن پیشنهاد شده است که در ادامه به آنها پرداخته می شود.



شکل 1. یک نمونه از لایه های چاپ شده که تحمل وزن لایه ی بعدی را نداشته اند [6]

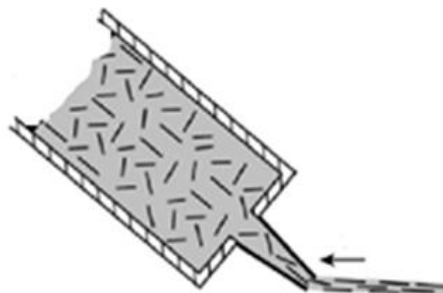
1.4. استفاده از الیاف

از جمله مواد جدیدی که جایگاه ویژه ای در ساخت و ساز به خود اختصاص داده، افزودنی های بتن و الیاف تقویت کننده می باشد. استفاده از افزودنی های بتن باعث بهبود خواص مطلوب بتن، همچون مقاومت آن می گردد و در بعضی موارد با کاهش وزن بتن، مصالح بسیار سبکی را فراهم می دهد. این الیاف که بیشتر شامل الیاف شیشه، پلی پروپیلن و گاه کربن نیز می شود، در ساخت انواع بتن های الیافی کاربرد فراوانی دارند بسیاری از آنها برای استفاده به عنوان تقویت سازه ای و افزایش خواص مکانیکی کامپوزیت مانند چقرمگی، شکل پذیری، مقاومت در برابر خستگی، مقاومت در برابر ضربه و به ویژه مقاومت کششی طراحی شده اند [6,12]، هم چنین استفاده از الیاف می تواند به کاهش انقباض با از دست دادن سریع آب کمک کند.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



شکل 2. استفاده از الیاف در بتن جهت چاپ [12]

2.4. استفاده از میلگردهای فولادی

مناسبترین استراتژی به ویژه برای شرکتها، ساخت ساختارهایی مانند کانالها برای در بر گرفتن میلگردهای تقویتی مشابه با قالببندی است. در این کانالها، میلههای فولادی را می توان به صورت عمودی برای ستونها قرار داد یا در موقعیت قرار داد. پس از چاپ هر لایه به صورت افقی (دستی یا دیجیتالی) پایداری سازه را تقویت می کنند. این کانالها با بتن قابل جریان سنتی نیز پر می شوند. [6]



شکل 3. استفاده از میلگردهای فولادی جهت تقویت سازه ی بتنی [3]

3.4. استفاده از کابل انعطاف پذیر:

یکی دیگر از راه های افزایش مقاومت بتن استفاده از کابل های فولادی انعطاف پذیر است، این کابل ها همراه با بتن از نازل خارج شده و در هر لایه همراه با بتن بر روی سطح قرار میگیرد.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



شکل 4. استفاده از کابل انعطاف پذیر جهت تقویت سازه ی بتنی [13]

5. مکانیزم ها و انواع ساختارهای پرینترهای سه بعدی ساختمان

روش ها و شیوه های متفاوتی برای حرکت دادن و کنترل نازل برای پرینت ساختمان وجود دارد، در این بخش به بررسی انواع ساختارهای موجود در زمینه پرینترهای سه بعدی ساختمان پرداخته میشود، و معایب و مزایای هر کدام از این روشها بررسی میشود.

1.5. پرینترهای چهار ساپورت (دکارتی)

در این نوع از پرینترها، نازل در سه محور X, Y, Z حرکت میکند، این مدل از چاپگرها که به دکارتی نیز معروف هستند دارای سه ریل اصلی است که با سه محور صفحه دکارتی مطابقت دارند. روی هر ریل اتصالاتی کشویی یا پیچ هایی وجود دارند که نازل چاپگر را، مطابق با فایل مدل سه بعدی، در موقعیت های مختلف قرار می دهند از مزایای مهم این روش دقت بالای چاپ، ساده بودن سیستم حرکتی است همچنین از معایب چاپگرهایی با این سیستم نیاز به سطحی صاف، برای قرارگیری ریل های دستگاه و محدود بودن اندازه ساختمان به اندازه ی چاپگر میتوان برشمرد. از نمونه چاپگر های موجود با این سیستم میتوان به COBOD BOD2-111 و با سرعت چاپ m/min 12 اشاره کرد. [14,15]



یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

شکل 5. نوعی از پرینتر ساختمان شرکت cobod [14]

2.5. جرثقیل-پل (Gantry)

این ساختار در امتداد یک جفت ریل که از هم جدا هستند، حرکت می‌کند. حالت گانتی خیلی شبیه سیستم سنتی پرینت سه بعدی دکارتی است. با این تفاوت که برای چاپ لایه بعدی، باید کل واحد جابجا شود، که وزن زیادی دارد از جمله مزایای این روش نبودن محدودیت در راستای X است که توسط اضافه کردن ریل در این محور انجام می‌گیرد و از این رو مناسب برای چاپ خانه‌هایی زیاد در یک راستا میباشند از معایب این روش این است که برای نصب چنین ساختاری، لازم است که سطحی که نصب بر روی آن انجام می‌شود را قبل از نصب تجهیزات تنظیم کنیم تا از معماری صحیح ساختمان آینده اطمینان حاصل شود. با توجه به طراحی محدود، امکان تغییر به ساخت‌وساز چند طبقه وجود ندارد. عنصر متحرک بسیار حجیم است و در نتیجه به انرژی زیادی نیاز دارد. [15]



شکل 6. پرینتر سه بعدی ساختمان، با ساختار گانتی [15]

3.5. پرینتر سه بعدی رباتیک

از لحاظ بصری، تقریباً شبیه به یک جرثقیل برج معمولی است، اما در واقع یک بازوی تلسکوپی است که در اطراف محور خود حرکت می‌کند. پرینتر سه بعدی رباتیک در حوزه صنعتی، ایده‌آل‌ترین پلتفرم در چاپ سه بعدی خانه و پل‌های بتونی و محسوب می‌شود، اما این فناوری هنوز در مرحله توسعه باقی مانده است و هم اکنون بطور قطعی تجاری نشده اند ولی شرکت‌های زیادی در کشورهای صنعتی با این تکنیک روز به روز بیشتر در حال ظهور هستند؛ احتمالاً به این دلیل که روند کار به یک بستر ثابت وابسته نیست و این امر قابلیت تحرک و جابجایی را افزایش می‌دهد. از جمله مزایای این سیستم چاپ، این امکان وجود دارد که با انتقال تجهیزات به طبقه بعدی به ساخت‌وساز چند طبقه تبدیل شود. و همچنین نصب آسان، بدون تنظیم قبلی، توانایی چاپ اشکال معماری پیچیده شیب‌دار از ویژگی‌های مثبت این پرینتر است. از جمله معایب آن انتقال تجهیزات هنگام چاپ که از حداکثر شعاع نمونه‌های اولیه موجود چاپگر تجاوز می‌کند ضروری است و همچنین رزولوشن نهایی چاپ در ساخت سازه‌های بزرگ به این روش، ضعیف بوده و محل قرارگیری لایه‌ها روی یکدیگر کاملاً قابل دید است. از جمله دستگاه‌های ساخته شده در این زمینه Apis Cor AC-03 است که دارای شعاع چاپی به طول 6500 mm است [15].

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



شکل 7. پرینتر سه بعدی شرکت Apis Cor در حال پرینت خانه.

4.5. پرینتر سه بعدی دلتا

از روشی کاملاً متفاوت برای جهت دهی به نازل چاپ استفاده می کنند در این سیستم، سه ریل بلند یا تعداد بیشتری عمودی وجود دارد که روی هر کدام یک حامل به سمت بالا و پایین حرکت می کند. هر کدام از این حامل ها از طریق یک بازو به اکسترودر متصل هستند. این بازوها به طور مستقل بالا و پایین می روند و نازل را دقیقاً در محل مورد نظر قرار می دهند. پرینترهای دلتا به دلیل ارتفاع چاپگر و بازوهای بلند از توانایی ساخت اشیاء بلندتری برخوردار هستند. پرینترهای دلتا، به جای استفاده از هندسه ساده دکارتی برای موقعیت دهی به نازل، با استفاده از توابع مثلثاتی پیچیده تری موقعیت پرینت هد را تخمین می زنند پرینترهای سه بعدی دلتا از نظر مکانیکی با چاپگرهای سنتی دکارتی تفاوت دارند زیرا حرکت پرینت، به جای محورهای ثابت، از طریق بازوهای معلق کنترل می شود یکی از تولیدکنندگان بزرگ این نوع از پرینترها شرکت ایتالیایی WASP است که یک چاپگر سه بعدی بتونی ایجاد کرده است که یکی از بزرگ ترین فروش های فعلی در بازار است. پرینتر سه بعدی 12 متر طول و 7 متر عرض دارای بازوهای قابل تنظیم تا طول 6 متر است. [14]

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



شکل 8. پرینتر سه بعدی شرکت WASP در حال پرینت خانه

6. نتیجه گیری

پرینترهای سه بعدی ساختمان از جدیدترین تکنولوژیهای موجود، در صنعت ساخت و ساز خانه هستند و باتوجه به مزایای فراوانی از جمله کاهش زمان ساخت، کاهش ضایعات ساختمانی، هزینه های کم، امکان طراحی های متفاوت که نسبت به روش سنتی دارند از قابلیت رشد و نمو فراوانی برخوردارند. همچنین باتوجه به جدید بودن این صنعت، با مشکلات و چالش هایی نیز همراه خواهد بود، هرچند این چالش ها روند تکمیل و توسعه پرینترهای سه بعدی ساختمان را با کندی روبرو کرده است اما به نظر می رسد این صنعت در آینده ای نه چندان دور صنعت ساخت و ساز را متحول کرده و بخش فراوانی از مشکل نبود مسکن را برطرف خواهد کرد.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

منابع

- [1] Sakin, M. and Kiroglu, Y.C., 2017. 3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM. *Energy Procedia*, 134, pp.702-711.
- [2] Hager, I., Golonka, A. and Putanowicz, R., 2016. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction?. *Procedia Engineering*, 151, pp.292-299.
- [3] Shakir, Q.M., 2019. 3D-printing of Houses
- [4] <https://www.constructconnect.com>
- [5] Yin, H., Qu, M., Zhang, H. and Lim, Y., 2018. 3D printing and buildings: A technology review and future outlook. *Technology| Architecture+ Design*, 2(1), pp.94-111.
- [6] Souza, M.T., Ferreira, I.M., de Moraes, E.G., Senff, L. and de Oliveira, A.P.N., 2020. 3D printed concrete for large-scale buildings: An overview of rheology, printing parameters, chemical admixtures, reinforcements, and economic and environmental prospects. *Journal of Building Engineering*, p.101833
- [7] Bye, G., 2011. Admixtures and special cements. In *Portland Cement: Third edition* (pp. 185-195). ICE Publishing.
- [8] Lu, B., Weng, Y., Li, M., Qian, Y., Leong, K.F., Tan, M.J. and Qian, S., 2019. A systematical review of 3D printable .cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 207, pp.477-49
- .
- [9] آرام، علی و سلیم دهکردی، بهزاد، 1396، لزوم استفاده از افزودنی های شیمیایی در بتن و تاثیر آن بر روی مشخصات بتن تازه و سخت شده، پنجمین کنفرانس ملی پژوهشهای کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران
- [10] Ramachandran, V.S., Lowery, M.S., Wise, T. and Polomark, G.M., 1993. The role of phosphonates in the hydration of Portland cement. *Materials and structures*, 26(7), pp.425-432
- [11] Previte, R. W. (1977, August). Concrete slump loss. In *Journal Proceedings* (Vol. 74, No. 8, pp. 361-367).
- [12] Hambach, M., Rutzen, M. and Volkmer, D., 2019. Properties of 3D-printed fiber-reinforced Portland cement paste. In *3D Concrete Printing Technology* (pp. 73-113). Butterworth-Heinemann
- [13] Mechtcherine, V., Nerella, V.N., Will, F., Näther, M., Otto, J. and Krause, M., 2019. Large-scale digital concrete construction–CONPrint3D concept for on-site, monolithic 3D-printing. *Automation in Construction*, 107, p.102933
- [14] <https://3dird.ir>
- [15] Zharebtsov Nikita, V., ANALYSIS OF EXISTING TYPES OF CONSTRUCTION 3D-PRINTERS AND METHODS USED FOR THE CONSTRUCTION OF BUILDINGS USING ADDITIVE TECHNOLOGIES. Chief Editor-Andrew Adams, Doctor of Technical Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA Assistant Editor-Samanta ..Brown, Doctor of Physical Sciences, American Institute of Physics, Maryland, USA, p.16