Research Article Volume 29, No. 1, Spring 2024

The Design Innovations of 3D-Printed Houses; A Case Study Approach*

Abstract

This research project investigates the design features of houses constructed using 3D printing technology. By employing a case study research method, this study seeks to conduct an in-depth examination of the architectural attributes, construction processes, and potential benefits of 3D-printed houses. The spread of large-scale computer-aided manufacturing technologies is significantly transforming architectural design. Digital fabrication is propelling architecture into a new phase of complexity and detail previously unachievable through conventional manufacturing methods. Understanding the impact of these technologies can help guide future research, drive innovation in design and manufacturing processes, and improve the training of professionals. However, there is a scarcity of comprehensive reviews providing a holistic view of the impacts of 3D printing technologies on architecture. This article offers a systematic review of 3D-printed samples in architectural design and construction. This research adopts the case study method and employs a combined methodology. In the quantitative component of the research, numerical data were gathered, and in the qualitative component, the appearance, structural characteristics, and functional aspects of buildings were examined using case studies and analyzing the texts of related resources. To explain the principles of designing houses built with 3D printers, examples of houses constructed using 3D printing technology worldwide were identified and categorized. Items examined for each sample were described, and the samples were evaluated based on defined criteria to outline the basics of designing housing constructed with 3D printing technology. The study focuses on innovative design features, emphasizing the potential for 3D printing to provide sustainable housing solutions. Architectural attributes of 3D-printed homes are analyzed for their unique aesthetic and functional characteristics, highlighting how 3D printing can address housing shortages and affordability issues. The findings indicate that concrete and the gantry printer system are the most commonly used materials and printer types in this technology. Compared to traditional construction methods, especially for non-linear forms, 3D printing significantly reduces construction time. Manual reinforcement with rebar or the addition of materials to concrete is a prevalent practice. Elongated rectangular plans are better suited for two-way printers, while three-branch and radial plans are more suitable for robotic arm printers. Due to current limitations in 3D printing for roof construction, roofs are often still made using conventional methods. For layout expansion and complex designs, checked-linear layouts are more commonly used than radial layouts. Robotic arms allow for greater flexibility, enabling more diverse layouts and freer forms. However, for cost-efficient projects, gantry systems and linear layouts are often recommended.

Received: 30 Oct 2023
Received in revised form: 2 Jan 2024
Accepted: 15 Mar 2024

Milad Rezazadeh[1] iD
PhD Candidate of Architecture, Department of Architecture, School of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: m.rezazade@ut.ac.ir

Hamed Mazaherian[**2] iD (Corresponding Author)
Associate Professor, Department of Architecture, School of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.
E-mail: mazaheri@ut.ac.ir

Mohammad Reza Matini[3] iD
Associate Professor, Department of Architecture, School of Architecture, Art University of Iran, Tehran, Iran.
E-mail: m.matini@art.ac.ir

DOI: https://doi.org/10.22059/jfaup.2025.381117.673002

Keywords
3D Printing, Architectural Design, Additive Manufacturing Technology, Housing, Design Requirements

Citation: Rezazadeh, Milad; Mazaherian, Hamed, & Matini, Mohammad Reza (2024). The design innovations of 3D-printed houses; A case study approach, *Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning*, 29(1), 7-23. (*in Persian*)

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press

*This article is extracted from the first author's doctoral dissertation, entiteled: "Principles of architectural design for collective housing using 3D printing", under the supervision of the second and the third authors at the University of Tehran.

نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی ● دوره ۲۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳

ویژگی‌های طراحی مساکن ساخته شده با پرینترهای سه‌بُعدی با روش موردپژوهی*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵

میلاد رضازاده[۱]: دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده معماری، دانشکدگان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
E-mail: m.rezazade@ut.ac.ir

حامد مظاهریان[۲*] (نویسنده مسئول): دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری، دانشکدگان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
E-mail: mazaheri@ut.ac.ir

محمد رضا متینی[۳]: دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران.
E-mail: m.matini@art.ac.ir

DOI: https://doi.org/10.22059/jfaup.2025.381117.673002

چکیده

با توجه به کمبود مسکن در جهان و ناتوانی فناوری‌های موجود در تأمین، پرینت سه‌بُعدی به‌عنوان یک راه‌حل مطرح شده است. پژوهش حاضر به بررسی نکات طراحی مرتبط با خانه‌های ساخته شده با این فناوری می‌پردازد تا از طراحی نادرست جلوگیری کند. هدف این پژوهش بررسی توانمندی‌های فناوری پرینت سه‌بُعدی در تولید مساکن کم‌متراژ است. این مطالعه یک بررسی نظام‌مند از نمونه‌های ساخته‌شده با فناوری پرینت سه‌بُعدی در زمینه‌ی طراحی معماری و ساخت است. تحقیق بر مبنای روش موردپژوهی و با استفاده از روش تحقیق آمیخته انجام شده است. در روش پژوهش کمی به جمع‌آوری داده‌های عددی و در روش پژوهش کیفی به بررسی ویژگی‌های ظاهری و عملکردی ساختمان‌ها با استفاده از مطالعه موردی و تحلیل متون مرتبط اقدام شده است. بعد از بررسی مساکن ساخته شده نتایج نشان داد که بتن و سیستم پرینتر دروازه‌ای پرکاربردترین نوع مصالح و نوع پرینتر در این فناوری هستند. در مورد مسلح سازی، میلگردگذاری دستی و افزودن مواد به بتن از پرکاربردترین روش‌ها می‌باشد. در مورد ویژگی‌های معماری باید عنوان کرد که پلان کشیده مستطیلی برای پرینتر دروازه‌ای و پلان‌های سه‌شاخه و شعاعی برای پرینترهای بازوی رباتیک مناسبترند. بازوی رباتیک امکان ساخت فرم‌های آزادتر را به ما می‌دهد.

واژه‌های کلیدی

پرینت سه‌بُعدی، طراحی معماری، فناوری ساخت افزایشی، مسکن، ملزومات طراحی

استناد: رضازاده، میلاد؛ مظاهریان، حامد و متینی، محمدرضا (۱۴۰۳)، ویژگی‌های طراحی مساکن ساخته‌شده با پرینترهای سه‌بُعدی با روش موردپژوهی، *نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی*، ۲۹(۱)، ۷-۲۳.

© نگارنده(گان)

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

* مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری نگارنده اول با عنوان «مبانی طراحی مسکن جمعی با پرینت سه‌بُعدی» می‌باشد که با راهنمایی نگارندگان دوم و سوم در دانشگاه تهران ارائه شده است.

مقدمه

با توجه به میانگین نرخ رشد جمعیت ۰/۸۴ درصد در سال از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۵۰ انتظار می‌رود که رشد جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ به ۹/۷ میلیارد نفر افزایش یابد این رشد جمعیت مستلزم گسترش مداوم صنعت ساختمان است (Batikha et al., 2022). راه‌کارهای کنونی این صنعت نمی‌تواند پاسخگوی این رشد باشد. لذا باید به دنبال گسترش و شناخت فناوری‌هایی بود که سرعت ساخت را در عین حفظ شخصی‌سازی و کاهش هزینه بالا ببرد. استفاده از پرینت سه‌بُعدی در ساخت‌وساز ریشه در فناوری‌های تولید افزودنی دارد که در دهه ۱۹۸۰ توسعه یافتند. با این حال، پیشرفت‌های قابل توجه در علم مواد، نرم‌افزار *CAD* و ابزار روباتیک، امکان‌پذیری خانه‌های پرینت سه‌بُعدی را افزایش داده است (Tofani et al., 2019). فناوری پرینت سه‌بُعدی برای ساخت خانه یکی از گزینه‌های نوظهور برای پاسخگویی به این نیاز می‌باشد. ظهور فناوری پرینت سه‌بُعدی با ایجاد امکان ساخت ساختارهای پیچیده و سفارشی، صنایع مختلف از جمله تولید، ساختمان‌سازی و پزشکی را متحول کرده است (Petrick & Simpson, 2013). در صنعت ساخت‌وساز، چاپ سه‌بُعدی سهم قابل توجهی از پژوهش‌های حال حاضر را به دلیل پتانسیل خود برای ایجاد انقلابی در نحوه طراحی و ساخت ساختمان‌ها و خانه‌ها به خود جلب کرده است. هدف پژوهش حاضر بررسی ویژگی‌های طراحی خانه‌های ساخته شده با چاپگرهای سه‌بُعدی با تجزیه‌وتحلیل نمونه‌هایی از خانه‌های ساخته شده با استفاده از این فناوری است. با توجه به گسترش این فناوری و پتانسیل آن برای پاسخگویی به نیازهای مسکن در شرایط حال حاضر، تحقیق پیرامون بایدها و نبایدهای طراحی مسکنی که قرار است با این فناوری ساخته شود ضروری به‌نظر می‌رسد. این امر می‌تواند به جلوگیری از تکرار اشتباهات طراحی به طراحان و سازندگان کمک کند. باید توجه کرد که بکارگیری فناوری پرینت سه‌بُعدی در بخش ساخت‌وساز و دانستن قابلیت‌هایی که ساخت با این فناوری در اختیار کاربر قرار می‌دهد یا از کاربر سلب می‌کند می‌تواند به استفاده بهتر از آن کمک نماید. این مقاله می‌تواند پاسخ به سؤال پژوهش در رابطه با اینکه ویژگی‌های طراحی مسکن ساخته‌شده با پرینت سه‌بُعدی چیست؟، باشد. روش تحقیق در این مقاله مورد پژوهی بوده که با مطالعه سیستماتیک نمونه‌های موجود ساخته‌شده با این فناوری انجام گرفته است. بررسی نمونه‌هایی که تا کنون در مقیاس واقعی جهت مسکن با این فناوری ساخته شده‌اند می‌تواند به درک بهتر ویژگی‌های طراحی برای این روش ساخت کمک کند. و این دانش قدمی رو به جلو در راستای استفاده مفید از این فناوری خواهد بود. به عبارت دیگر در این پژوهش برآن هستیم تا با بررسی و مطالعه‌ی ساختمان‌های ساخته شده با این فناوری ویژگی‌های مشابه و پرتکرار در آن‌ها را جهت رعایت طراحان برای در نظر گرفتن در طراحی بناهایی که قرار است با این فناوری ساخته شود بیابیم.

پرسش پژوهش: با توجه به مساکن ساخته‌شده با فناوری پرینت سه‌بُعدی، ویژگی‌های طراحی مسکن ساخته شده با پرینت سه‌بُعدی چیست؟ (محدوده: مساکن یک طبقه تک‌خانواری با متراژ ۳۰ تا ۱۰۰ مترمربع) لازم به ذکر است محدوده‌ی پژوهش بر اساس نمونه‌های ساخته شده‌ی موجود در دنیا با فناوری پرینت سه‌بُعدی تعریف شده است.

نوآوری پژوهش: علی‌رغم ظهور فناوری ساخت با پرینت سه‌بُعدی، چهارچوب مدونی در زمینه‌ی ویژگی‌های معماری مساکنی که قرار است با این فناوری ساخته شود در پیشینه‌ی پژوهش یافت نگردید. همانطور که دیگر سیستم‌های ساخت از جمله قالب تونلی یا سیستم نورد سرد سبک نیازمند رعایت مواردی در طراحی معماری خود می‌باشند، ساخت با فناوری پرینت سه‌بُعدی ملزوماتی از باب طراحی و معماری دارد که باید مد نظر طراحان قرار گیرد که به این مورد در پژوهش‌های انجام شده کم‌تر توجه شده است و بیشتر تمرکز بر روی مسائل فنی ساخت با این فناوری بوده است.

روش پژوهش

پژوهش حاضر بر مبنای روش موردپژوهی و با استفاده از روش ترکیبی انجام شده است. در قسمت کمی پژوهش به جمع‌آوری داده‌های عددی، مانند اندازه‌گیری ویژگی‌های خاص (به‌عنوان مثال، مساحت، ارتفاع، استفاده از مواد) و انجام تحلیل‌های مرتبط پرداخته شده است. در قسمت کیفی نیز ویژگی‌های ظاهری، ساختاری و عملکردی ساختمان‌ها را با استفاده از مطالعه نمونه‌ها بررسی شده است.

در روش پژوهش موردپژوهی، محققان با مطالعه مجموعه‌ای از موقعیت‌ها با هدف تعمیم یافته‌ها به گزاره‌های نظری، پدیده را در شرایط مختلف بررسی می‌کنند تا به تعدد تکرار آن ویژگی در مساکن ساخته شده به گزاره‌ای نظری دست یابیم. در واقع ویژگی‌های پرتکرار در مساکن ساخته شده با پرینتر سه‌بُعدی مبین الگویی می‌شود که می‌توان به‌عنوان ویژگی طراحی آن گونه مسکن آن را شناخت.

به منظور تبیین مبانی طراحی مساکن ساخته شده با پرینت سه‌بُعدی چند گام ضروری به‌نظر می‌رسید. نخست: شناسایی مساکن ساخته‌شده با فناوری پرینت سه‌بُعدی در دنیا، دوم: دسته‌بندی مساکن ساخته‌شده با فناوری پرینت سه‌بُعدی و تبیین موارد مورد بررسی در مورد هر نمونه و سوم: بررسی نمونه‌ها با توجه به معیارهای تعیین شده جهت تبیین مبانی طراحی مسکن ساخته‌شده با پرینت سه‌بُعدی بود. با توجه به اینکه تعداد مساکن ساخته شده با پرینتر سه‌بُعدی در مقیاس واقعی در سطح دنیا محدود است و فرض محققان بر این است که سازندگان این بناها مواردی را جهت انطباق طرح‌های خود با محدودیت‌ها و قابلیت‌های پرینتر سه‌بُعدی اعمال نموده‌اند، لذا با مطالعه از جز به کل به دنبال پیداکردن موارد تکرار شونده در این بناها بوده‌ایم. تکرار موارد مشابه در بناهای ساخته شده با پرینتر سه‌بُعدی در نقاط مختلف دنیا و با شرایط متفاوت ما را به سمت نکاتی که باید در طرحی این خانه‌ها جهت ساخت رعایت شود هدایت می‌کند.

در بخش اول پژوهش با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و جستجوی اینترنتی در بین موسسات و شرکت‌های خصوصی و دانشگاه‌های متولی ساخت مسکن با پرینت سه‌بُعدی حدود ۴۴ مورد شناسایی گردید که در مرحله‌ی بعد با توجه به اینکه طرح اجرا شده باشد و اطلاعات مرتبط با آن در دسترس باشد ۲۹ مورد گزینش گردید. در بخش دوم تحقیق، با توجه به گستردگی معیارها، موارد مورد بررسی در نمونه‌ها با توجه به مقالات مرتبط و شیوه‌های مشابه تبیین مبانی طراحی از طریق موردپژوهی تعیین گردید. در نهایت در مرحله‌ی سوم نمونه‌ها و معیارها با استفاده از مقالات و تصاویر و متون و فیلم‌های موجود مورد بررسی قرار گرفت و نتایج در قالب

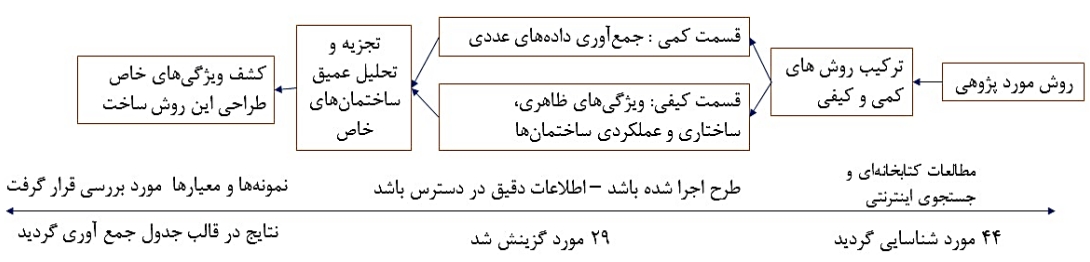
جدول گردآوری شد (تصویر ۱).

انتخاب واحد تحلیل مناسب، زمانی اتفاق می‌افتد که سؤالات پژوهش به‌طور دقیق مشخص شده باشند. در پژوهش حاضر سؤال در مورد ویژگی‌های طراحی مسکن ساخته شده با پرینتر سه‌بُعدی است. در واقع هدف پژوهش دستیابی به ویژگی‌هایی است که در طراحی این گونه خاص مسکن باید در نظر گرفت. با بررسی پژوهش‌های مرتبط در راستای تبیین ویژگی‌های طراحی به موارد مشابهی می‌رسیم که در بررسی نمونه‌ها آن‌ها را در نظر گرفته‌شده است. به‌عنوان مثال لورین آرنولد و همکاران در پژوهش خود بیان می‌دارند که هنگام بحث درباره ویژگی‌های معماری یک نوع مسکن، به شکل و فرم، مصالح، سبک ساخت سقف، موارد مرتبط با معماری و سازه اشاره می‌کنیم که نحوه ظاهر و عملکرد یک نوع مسکن خاص را مشخص می‌کنند (Arnold et al., 2022). از طرفی یینگ کو سانگ و لیائو در پژوهش خود بررسی ویژگی‌های طراحی را در مرتبط با ویژگی‌های معماری دانسته‌اند (Song & Liao, 2023). آسیا ناپاتوو و همکاران در پژوهش خود بررسی ویژگی‌های معماری را مبتنی بر ویژگی‌های خطوط پلانی و ظاهری بنا دانسته‌اند (Natapov et al., 2022). وی بولاخ در پژوهش خود بررسی ویژگی طراحی معماری را متمرکز بر بررسی اصول طراحی معماری انجام داده است (Bulakh, 2019). علاوه بر این با بررسی تمام نمونه‌های ساخته شده در محدوده‌ی این پژوهش، ویژگی‌هایی را که بیش‌ترین تکرار را داشته‌اند مورد سنجش قرار گرفته است. این تکرار ویژگی‌ها در نمونه‌های ساخته‌شده با این فناوری، آن‌ها را به جز قطعی طراحی معماری این مدل بناها تبدیل کرده است.

لذا بعد از بررسی اولیه‌ی تمامی بناهای مسکونی ساخته شده‌ی موجود با این فناوری، و مرور ادبیات پژوهش در این زمینه، موارد زیر جهت بررسی در نمونه‌ها انتخاب گردید. این موارد شامل: مصالح، سیستم پرینتر، مساحت و زمان ساخت، روش مسلح‌سازی، ویژگی‌های معماری، موارد مرتبط با مجموعه‌سازی، هزینه و روش ساخت سقف می‌شود. باید ذکر کرد که ویژگی‌های مسکن ساخته شده با پرینتر سه‌بُعدی محدود به موارد مذکور نمی‌گردد. اما با مطالعه‌ی نمونه‌های ساخته شده با این فناوری، وجود تمایز در این ویژگی‌ها، برجسته و پرتکرارتر تشخیص داده شد.

پیشینه پژوهش

رودریگو گارسیا و همکاران (Garcia-Alvarado et al., 2024) در پژوهشی با عنوان «توسعه یک سیستم طراحی مولد برای خانه‌های چاپ سه‌بُعدی در شیلی» ویژگی‌های طراحی معماری خانه‌های ساخته‌شده با پرینتر سه‌بُعدی را این‌چنین بیان می‌کنند که معمولاً مناسب یک طبقه، با مساحت حدودی ۶۰ مترمربع، هندسه راست خط و منحنی و ترکیبی، حجم کلی معمولاً ساده است، دیوارها اکثرا به‌صورت عمودی و در موارد معدودی دارای شیب بسیار کم، سقف‌ها دولایه گنبدی و شیبدار و گوشه‌ها گرد هستند. آلواردو و همکاران (García-Alvarado et al., 2021) در مقاله‌ی دیگری با عنوان «بررسی معماری ساختمان‌های ساخته شده با پرینتر سه‌بُعدی» ویژگی‌های طراحی ساختمان با بررسی نمونه‌ها و فراوانی ویژگی‌ها آن‌ها را به شرح ذیل بیان می‌کنند که مناسب برای خانواده‌های تک‌خانواری و واحدهای جدا از هم، دیوارها و نماهای خودایستا و باربر، اشکال ساده‌ی راست‌خط و منحنی، گوشه‌های گرد، ساخت سقف با روش‌های دیگر و دیوارهای دولایه. سوتلانا بسکولوا و همکاران (Besklubova et al., 2021) در پژوهشی با عنوان «عوامل مؤثر بر سازگاری فناوری چاپ سه‌بُعدی در ساخت‌وساز» بیان می‌کنند که زمانی که پیچیدگی در طرح‌های معماری افزایش یابد استفاده از پرینتر سه‌بُعدی مناسب‌تر است. در واقع طرح‌های پیچیده مناسب ساخت با پرینتر سه‌بُعدی هستند. پاتریک و سیمپسون (Petrick & Simpson, 2013) در پژوهشی با عنوان «چاپ سه‌بُعدی تولید را دگرگون می‌کنند که چگونه اقتصاد یک روش قوانین جدیدی برای رقابت ایجاد می‌کند» بیان می‌کنند که ویژگی‌های طراحی خانه‌های ساخته‌شده با چاپگرهای سه‌بُعدی با پیچیدگی، سفارشی‌سازی و پایداری آن‌ها مشخص می‌شود. فناوری پرینت سه‌بُعدی امکان ایجاد عناصر پیچیده معماری و اجزای ساختاری را فراهم می‌کند که قبلاً با استفاده از روش‌های ساخت‌وساز مرسوم دست یافتنی نبودند. پتانسیل سفارشی‌سازی پرینت سه‌بُعدی امکان ترکیب ویژگی‌های طراحی شخصی شده را فراهم می‌کند که نیازها و ترجیحات خاص صاحبان خانه را برآورده می‌کند. بوسول و همکاران (Buswell et al., 2022) در پژوهشی با عنوان «ساخت دیجیتال با مواد مبتنی بر سیمان: طبقه‌بندی فرآیند و مطالعات موردی» بیان می‌کنند که یکی از مزایای برجسته فناوری پرینت سه‌بُعدی، آزادی است که معماران و طراحان برای ایجاد هندسه‌های پیچیده که اغلب دستیابی به آن‌ها با روش‌های ساخت‌وساز سنتی دشوار یا پرهزینه است، از آن بهره می‌برند. و هم‌چنین نوآوری‌ها در طراحی پارامتریک به ویژگی‌های معماری شخصی‌سازی شده متناسب با ترجیحات فردی و زمینه‌های محیطی منجر می‌شود. مریورت سوتوبا و کالوتیت (Sovetova & Calautit, 2024) در پژوهشی با عنوان «بهره‌وری حرارتی و انرژی در ساختمان‌های پرینت سه‌بُعدی: بررسی طراحی هندسی، مواد و فرآیندهای چاپ» مواردی که باعث افزایش کارایی انرژی در ساختمان‌های پرینت‌شده می‌شود را بررسی کرده‌اند. آن‌ها بیان می‌کنند که ایجاد دیوارهای دولایه و انتخاب مصالح مناسب و هم‌چنین آرایش زیگزاکی و شش ضلعی را بین دو لایه‌ی دیوار به‌عنوان راه‌کارهایی برای این مسئله مناسب است.



تصویر ۱. نمودار روند پژوهش.

تیکسریا و همکاران (Teixeira et al., 2023) در پژوهشی با عنوان «چگونه پرینت سه‌بُعدی بتن طراحی معماری را متحول خواهد کرد»، ویژگی‌های طراحی را این‌گونه بیان می‌کنند که با این فناوری امکان تولید فرم‌های پیچیده بدون افزایش هزینه را داریم. استفاده از لبه‌ها و گوشه‌های گرد باعث کاهش تنش می‌شود. استفاده ار نماهای الهام گرفته‌شده از طبیعت مانند ساختار کاکتوس و یا برگ درخت نارگیل، به کاهش میزان انرژی جهت گرمایش و سرمایش ساختمان و نیز کاهش میزان مصالح استفاده شده کمک می‌کند. مورتی (Moretti, 2023) در پژوهشی با عنوان «*WASP* در لبه پرینت سه‌بُعدی» ویژگی‌هایی را برای طراحی معرفی می‌کند که «این ویژگی‌ها شامل استفاده از فرم‌های کروی و خمره‌ای و طاقی که ذاتاً پایدار هستند و ایجاد پترن‌های درونی دیوار که باعث ایستایی و پیوستگی و ایجاد عایق، می‌شوند است. هابر و همکاران (Huber et al., 2023) در پژوهشی با عنوان «طراحی سازه و آزمایش دال‌های آجدار بهینه‌سازی شده با مواد و قالب پرینت سه‌بُعدی» در مورد ویژگی‌هایی که برای طراحی معماری فرم‌هایی که قرار است با پرینتر سه‌بُعدی ساخته شوند بیان می‌دارند که باید سعی کرد در طراحی معماری به خطوط ایزواستاتیک تنش توجه کرد و آن‌ها را بویژه در تیرها، پل‌ها و سقف‌ها تقویت کرد. دنسل (Dancel, 2019) در پژوهشی با عنوان «خانه چاپ سه‌بُعدی برای مناطق آسیب‌دیده» اظهار می‌کند که در طراحی باید سعی کرد فرم نهایی آیرودینامیک باشد که با مقاومت کم‌تر بتواند در برابر نیروی باد و طوفان تاب بیاورد. ضمن اینکه جزئیات اجرایی مقطع دیوار و فرم کلی سقف در بازدهی سازه‌ای و آسایش حرارتی می‌تواند تأثیرگذار باشد.

مبانی نظری پژوهش

پرینت سه‌بُعدی، که به‌عنوان چاپ افزایشی نیز شناخته می‌شود، فرایند تولید اشیاء سه‌بُعدی از طریق افزودن تدریجی مواد لایه‌به‌لایه است. این تکنیک از مدل‌های دیجیتال استفاده می‌کند تا اشیاء را با دقت بالا و در اشکال پیچیده بسازد. پرینت سه‌بُعدی می‌تواند از مواد مختلفی مانند پلاستیک، فلز و حتی مواد بیولوژیکی استفاده کند. این فناوری به‌ویژه در زمینه‌های مختلفی از جمله صنعت، پزشکی و هنر کاربرد دارد (Gibson, 2021, 241). پرینت سه‌بُعدی در ساختمان‌سازی به فرایند ساخت ساختمان‌ها و سازه‌ها با استفاده از فناوری چاپ سه‌بُعدی اشاره دارد. در این روش، با استفاده از موادی مانند بتن، سازه‌ها به‌صورت لایه‌ای و بر اساس مدل دیجیتال طراحی شده، ساخته می‌شوند. این فناوری امکان تولید سازه‌های پیچیده، کاهش هزینه‌ها، و کاهش زمان ساخت را فراهم می‌سازد. هم‌چنین، به کمک پرینت سه‌بُعدی می‌توان به تأمین مسکن سریع و پایدار در مناطق کم‌برخوردار کمک کرد. این روش در تلاش است تا به چالش‌های سنتی در ساخت‌وساز پاسخ دهد و انقلابی در صنعت ساختمان ایجاد کند. تحقیق پیرامون ساخت بنا با پرینت سه‌بُعدی به بررسی تحولات نوین در فناوری‌های ساختمان‌سازی می‌پردازد که می‌توانند کارایی، دقت و سرعت ساخت‌وساز را بهبود بخشند. این فناوری با استفاده از مواد متنوع و طراحی‌های پیچیده، امکان خلق سازه‌های منحصر به فرد و سازگار با محیط زیست را فراهم می‌کند. علاوه بر کاهش ضایعات، پرینت سه‌بُعدی می‌تواند هزینه‌ها را کاهش دهد و به تسریع فرآیند ساخت کمک کند.

۱. مزایا و معایب فناوری پرینت سه‌بُعدی

تکنولوژی پرینت سه‌بُعدی در ساخت مسکن به‌عنوان یک نوآوری در صنعت ساختمان‌سازی مطرح است. این تکنولوژی به‌طور چشمگیری می‌تواند روش‌های ساخت‌وساز را تغییر دهد، اما در عین حال چالش‌ها و معایبی نیز دارد. در ادامه به بررسی مزایا و معایب این فناوری با رویکرد تحلیلی و نقادانه می‌پردازیم.

مزایا

۱. کاهش هزینه‌ها: پرینت سه‌بُعدی می‌تواند هزینه‌های ساخت مسکن را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد. با خودکارسازی فرآیند ساخت، نیاز به نیروی کار کم‌تری است و ضایعات مواد نیز به حداقل می‌رسد (Ghaffar et al., 2018)؛

۲. سرعت بالای ساخت: یکی از بزرگ‌ترین مزیت‌های این تکنولوژی، سرعت ساخت آن است. با استفاده از پرینترهای سه‌بُعدی، امکان ساخت تمام یا بخش‌هایی از یک خانه در عرض چند روز وجود دارد که در مقایسه با روش‌های سنتی ساخت، زمان کم‌تری نیاز دارد (Feng & Yuhong, 2014)؛

۳. انعطاف‌پذیری در طراحی: پرینت سه‌بُعدی امکان ایجاد اشکال و طراحی‌های پیچیده را فراهم می‌کند که با استفاده از روش‌های سنتی ساخت دشوار یا غیرممکن است. این ویژگی به معماران و طراحان این امکان را می‌دهد تا دیدگاه‌های خلاقانه‌تری را در پیاده‌سازی پروژه‌های خود اجرا کنند (Bazli et al., 2023)؛

۴. کاهش زباله‌ها: با استفاده از این فناوری، می‌توان زباله‌های ناشی از ساخت‌وساز را کاهش داد، چون فرآیند پرینت دقیق‌تر است و مواد به‌صورت هدفمند استفاده می‌شوند (Wilson et al., 2023)؛

۵. امکان ساخت در مناطق سخت‌گذر: پرینت سه‌بُعدی می‌تواند فرصت‌هایی برای ساخت مسکن در مناطقی ارائه دهد که دسترسی به منابع و نیروی کار محدود است. این قابلیت به‌ویژه در مناطق بحران‌زده یا روستاهای دورافتاده اهمیت دارد (Dörfler et al., 2024).

معایب

۱. محدودیت مواد: هنوز بسیاری از مواد مناسب برای پرینت سه‌بُعدی در صنعت ساختمان‌سازی توسعه نیافته‌اند. کیفیت و دوام مواد به‌کاررفته در پرینترهای سه‌بُعدی نیازمند تحقیق و توسعه بیشتر است (El-Sayegh et al., 2020)؛

۲. مسائل قانونی و استانداردها: قوانین و مقررات مربوط به ساخت‌وساز به‌طور سنتی بر مبنای روش‌های مرسوم است و برای فناوری‌های جدید مانند پرینت سه‌بُعدی به تعیین استانداردهای جدید نیاز است. عدم وجود چارچوب‌های قانونی مناسب می‌تواند مانع گسترش این فناوری شود (Uppala & Tadikamalla, 2017)؛

۳. قابلیت اعتماد و استحکام: سؤالاتی در مورد استحکام و قابلیت اعتماد سازه‌های ساخته‌شده با پرینت سه‌بُعدی مطرح می‌شود. هنوز شواهد کافی برای ارزیابی طول عمر و مقاومت این سازه‌ها در برابر عوامل جوی و دیگر شرایط محیطی وجود ندارد (Wu et al., 2016)؛

۴. سرمایه‌گذاری بالا: هزینه اولیه خرید و نگهداری پرینترهای سه‌بُعدی بزرگ و تجهیزات مرتبط با آن ممکن است برای بسیاری از

پیمانکاران و شرکت‌ها بالا باشد (Hwang et al., 2017)؛

۵. آسیب به شغل‌ها: با گسترش فناوری پرینت سه‌بُعدی، نگرانی‌هایی درباره از دست رفتن شغل‌ها در صنایع ساخت‌وساز وجود دارد. خودکارسازی فرایند ساخت ممکن است به کاهش نیاز به نیروی کار انسانی منجر شود (Hossain et al., 2020).

تکنولوژی پرینت سه‌بُعدی در ساخت مسکن از مزایای متعددی برخوردار است که می‌تواند چشم‌انداز ساخت‌وساز را تغییر دهد، اما معایب و چالش‌های قابل توجهی نیز وجود دارد که باید به دقت مورد توجه قرار گیرد. برای بهره‌مندی کامل از این فناوری، نیاز به توسعه مواد و استانداردها، هم‌چنین بررسی دقیق اثرات اجتماعی و اقتصادی آن می‌باشد. این رویکرد تحلیل‌گرانه می‌تواند به شناخت و بهبود فرایندهای مرتبط با آن در آینده کمک کند.

۲. هزینه ساخت و چرخه عمر بناهای ساخته‌شده با پرینت سه‌بُعدی

برای مقایسه هزینه ساخت و هزینه چرخه عمر سازه‌های ساخته‌شده با فناوری پرینت سه‌بُعدی در مقابل سایر روش‌های ساخت، به چند نکته اشاره می‌نماییم.

۲. ۱. هزینه ساخت

الف) فناوری پرینت سه‌بُعدی

- هزینه مواد: معمولاً پایین‌تر است، به خصوص با استفاده از مواد نوآورانه مانند بتن خاص یا کامپوزیت (Schuldt et al., 2021)؛

- نیروی کار: نیاز به نیروی کار کم‌تری دارد، زیرا بسیاری از مراحل ساخت خودکار می‌شوند (Leng et al., 2023)؛

- زمان ساخت: زمان کم‌تری برای ساخت سازه‌ها صرف می‌شود، که به کاهش هزینه‌های عمومی کمک می‌کند (Alami et al., 2023).

ب) روش‌های معمول ساخت

- هزینه مواد: می‌تواند بالاتر باشد، به‌ویژه با در نظر گرفتن هزینه‌های حمل‌ونقل و ضایعات (Wang & Zhou, 2023)؛

- نیروی کار: نیاز به نیروی کار بیشتری دارند، که هزینه‌های نیروی کار را افزایش می‌دهد (Iftekar et al., 2023)؛

- زمان ساخت: معمولاً زمان بیشتری می‌برد و همین موضوع باعث افزایش هزینه‌های نگه‌داری و سایر هزینه‌های مرتبط با پروژه می‌شود (Akulova & Slavcheva, 2020).

۲. ۲. هزینه چرخه عمر

الف) فناوری پرینت سه‌بُعدی

- دستیابی به طراحی‌های پیچیده: این فناوری امکان ساخت سازه‌های پیچیده و بهینه را فراهم می‌کند که می‌تواند در طول زمان به صرفه‌جویی در انرژی و نگهداری کمک کند (Chathuranga et al., 2023)؛

- پایداری: استفاده بهینه از مواد به کاهش ضایعات کمک می‌کند؛ در نتیجه، پایداری بیشتری ایجاد می‌شود (Chathuranga et al., 2023).

ب) روش‌های معمول ساخت

- نگهداری: سازه‌های ساخته شده با روش‌های سنتی معمولاً هزینه نگهداری بالاتری دارند، به‌ویژه در مواردی که متریال‌های ضعیف‌تری استفاده می‌شود (Akulova & Slavcheva, 2020)؛

- عملکرد: ممکن است در برخی موارد عملکرد و قابلیت اطمینان این سازه‌ها کم‌تر باشد، که به تبع آن هزینه‌های اضافی برای تعمیر و نگهداری را افزایش می‌دهد (Asaf et al., 2023).

به‌طور کلی، فناوری پرینت سه‌بُعدی می‌تواند گزینه‌ای اقتصادی‌تر در بلندمدت باشد، به‌ویژه در پروژه‌های بزرگ و با طرح‌های پیچیده، با این حال، هزینه‌های اولیه ممکن است در مقیاس کوچکتر بیشتر باشد. بررسی دقیق و متناسب با شرایط خاص پروژه، مانند مکان، نوع سازه و نیازهای خاص، برای رسیدن به بهترین تصمیم ضروری است.

روش ساخت با پرینتر سه‌بُعدی

فناوری پرینت سه‌بُعدی به‌عنوان یک روش نوآورانه در زمینه ساخت مسکن مطرح است و امروزه به‌طور فزاینده‌ای در صنعت ساختمان‌سازی مورد توجه قرار می‌گیرد. این فناوری به‌ویژه در شرایطی که روش‌های سنتی ممکن است ناکارآمد باشند، مانند بحران‌های مسکن، بلایای طبیعی یا نیاز به ساخت سریع، ارزش بالایی پیدا کرده است. فناوری پرینت سه‌بُعدی در حال تبدیل‌شدن به یک گزینه مهم و نوآورانه در صنعت ساخت و ساز است. هرچند هنوز در مراحل اولیه توسعه و کاربردهای عمومی است، اما به دلیل مزایای فوق، در آینده‌ای نزدیک ممکن است به یکی از روش‌های غالب در ساخت مسکن تبدیل شود، به‌ویژه در شرایطی که نیاز به کاهش هزینه و زمان وجود دارد.

اولین مزیت استفاده از پرینت سه‌بُعدی در ساخت مسکن، کاهش زمان و هزینه ساخت است (Yuan et al., 2020). پرینت سه‌بُعدی امکان ساخت سریع و مستقیم قطعات و اجزای ساختمانی را فراهم می‌کند و نیاز به مراحل ساخت سنتی را کاهش می‌دهد. هم‌چنین، این فناوری امکان ساخت اشکال پیچیده و سفارشی را با هزینه کم‌تر فراهم می‌کند (Lu et al., 2018). دومین مزیت، افزایش انعطاف‌پذیری و سفارشی‌سازی در طراحی و ساخت است (Davidson et al., 2016). پرینت سه‌بُعدی امکان ساخت قطعات با خواص مکانیکی و مواد متنوع را فراهم می‌کند و امکان طراحی و ساخت سازه‌های پیچیده و سفارشی را بهبود می‌بخشد (Na-dgorny et al., 2018). سومین مزیت، بهبود کیفیت ساخت و کاهش ضایعات است (Budiono et al., 2023). پرینت سه‌بُعدی امکان ساخت قطعات با دقت بالا و کنترل دقیق ابعاد را فراهم می‌کند و هم‌چنین امکان استفاده از مواد بازیافتی را فراهم می‌آورد که منجر به کاهش ضایعات می‌شود (Tian et al., 2021). چهارمین مزیت، امکان ساخت قطعات هوشمند و چندکاره است. پرینت سه‌بُعدی امکان ساخت قطعات دارای قابلیت‌های متنوع مانند خودترمیمی، حسگرهای تعبیه‌شده و غیره را فراهم می‌کند (Hou et al., 2015). در مجموع، فناوری پرینت سه‌بُعدی با ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود می‌تواند جایگاه ویژه‌ای در صنعت ساخت مسکن داشته باشد و به‌عنوان یک فناوری نوین و پیشرفته در این حوزه مطرح شود.

۳. بررسی نظام‌مند مساکن ساخته‌شده موجود با پرینترهای سه‌بُعدی

جهت انجام مطالعه و بررسی نظام‌مند مساکن ساخته‌شده با فناوری

پرینت سه‌بُعدی، لیستی از تمامی مساکنی که با این فناوری ساخته شده‌اند گردآوری گردید. و سپس با توجه به انطباق نمونه‌ی موردی با موضوع تحقیق و ساخته شدن آن نمونه، به ۲۹ مورد جهت بررسی رسیدیم. جهت بررسی مساکن هفت مورد را در شاخه‌های مرتبط با سؤالات تحقیق بررسی نموده‌ایم. این هفت مورد شامل مصالح مناسب جهت ساخت مسکن با پرینت سه‌بُعدی، سیستم مناسب جهت ساخت مسکن با این روش، مساحت و زمان ساخت، روش مسلح‌سازی سازه‌ای بنا، ویژگی‌های معماری، موارد مرتبط با مجموعه‌سازی و در نهایت هزینه و روش ساخت سقف بکار گرفته در بنای مورد مطالعه بوده است. همانطور که پیشتر نیز اشاره گردید، موارد مورد بررسی در نمونه‌ها با توجه به مرور ادبیات پژوهش و نمونه‌های ساخته شده تعریف شده‌اند. در ادامه به بررسی آیتم‌های مورد اشاره و داده‌های حاصل از آن می‌پردازیم. در جدول (۱) نمونه‌ها و موارد مورد بررسی آورده شده است.

۳. ۱. مصالح

ظهور موادی مانند کامپوزیت‌های بتن و ترموپلاستیک‌ها افق چاپ سه‌بُعدی را گسترش داده است و آن را به گزینه‌ای مناسب برای ساخت‌وساز مسکونی تبدیل کرده است(Volpe et al., 2024) . مصالح ساختمانی متداول مورد استفاده برای خانه‌های ساخته شده با پرینتر سه‌بُعدی عبارت از بتن و مصالح بومی شامل خاک و مشتقات چوب می‌باشد (Zhang et al., 2022). این مواد اغلب در ترکیب با فناوری‌های تخصصی چاپ سه‌بُعدی برای ایجاد اجزای بادوام و ساختاری سالم برای ساخت‌وساز ساختمان استفاده می‌شوند. بتن به دلیل مزایای بی‌شماری که دارد یک انتخاب محبوب برای خانه‌های پرینت سه‌بُعدی است (Ghosh & Karmakar, 2024). دوام و استحکام شناخته شده بتن آن را به ماده‌ای قابل اعتماد برای ساخت سازه خانه‌های چاپ سه‌بُعدی جهت مقاومت در برابر شرایط آب‌وهوایی مختلف و فرسودگی احتمالی تبدیل کرده است. بتن و مصالح بومی به آسانی در دسترس هستند و به‌طور گسترده در صنعت ساخت‌وساز استفاده می‌شوند و به راحتی برای پروژه‌های چاپ سه‌بُعدی قابل بهسازی هستند. در دسترس‌بودن بتن و مصالح بومی، تأمین پایدار مواد را تضمین می‌کند و خطر تأخیر یا عوارض در طول فرآیند ساخت‌وساز را کاهش می‌دهد.

از سوی دیگر، مواد بومی با تمرکز بر پایداری و سازگاری با محیط زیست، گزینه جایگزینی برای خانه‌های پرینت سه‌بُعدی ارائه می‌کنند. این مواد، مانند خشت یا خاک کوبیده، به‌صورت محلی و سنتی منطقه خاص تهیه می‌شوند. با استفاده از مصالح بومی، صنعت ساختمان می‌تواند ردپای کربن خود را با به حداقل رساندن حمل‌ونقل و مصرف انرژی مرتبط با واردات مواد کاهش دهد. مواد بومی هم‌چنین خواص عایق حرارتی را ارائه می‌دهند که می‌تواند در طولانی‌مدت به بهره‌وری انرژی کمک کند (Youssef & Abbas, 2023). ترکیب طبیعی این مواد باعث تنظیم بهتر دما می‌شود و نیاز به سیستم‌های گرمایش یا سرمایش بیش از حد را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، مواد بومی جذابیت زیبایی‌شناسی منحصر به‌فردی را ارائه می‌دهند که هماهنگ با محیط محلی و میراث فرهنگی می‌باشد (Kothapuram et al.). این می‌تواند حس هویت و ارتباط با جامعه اطراف را ایجاد کند و تجربه کلی زندگی در یک خانه چاپ سه‌بُعدی را بهبود بخشد.

در نهایت، انتخاب بین مصالح بتنی و بومی برای خانه‌های چاپ سه‌بُعدی به عوامل مختلفی بستگی دارد. الزامات پروژه، مانند پیچیدگی طراحی و خواسته‌های ساختاری، نقش مهمی در تعیین مناسب‌بودن هر ماده ایفا می‌کنند. ملاحظات هزینه، از جمله در دسترس بودن مواد و هزینه‌های نیروی کار، نیز بر فرآیند تصمیم‌گیری تأثیر می‌گذارد (Rahul et al., 2019). علاوه بر این، اهداف پایداری و تأثیرات زیست محیطی باید هنگام انتخاب مصالح ساختمانی در نظر گرفته شود، زیرا هم بتن و هم مصالح بومی مزایای متفاوتی در این جنبه ارائه می‌دهند.

در مطالعه و بررسی بناهای ساخته شده با فناوری پرینت سه‌بُعدی در زمینه نوع مصالح مورد استفاده، مشاهده گردید که حدود ۸۳ درصد موارد از بتن و ۱۷ درصد از مصالح بومی شامل خاک‌ها و مشتقات چوب استفاده کرده‌اند.

۳. ۲. سیستم پرینتر

پرینترهای دروازه‌ای، بازوی روباتیک و تکلا سه سیستم چاپگر هستند که در ساخت خانه‌ها با استفاده از فناوری چاپ سه‌بُعدی استفاده شده‌اند. این سیستم‌ها با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته چاپ، نقش مهمی در فرآیند ایجاد خانه‌ها ایفا می‌کنند (Jianzhuang Xiao et al., 2021). به‌عنوان مثال، سیستم دروازه‌ای از یک چهارچوب بزرگ استفاده می‌کند که در امتداد ریل‌ها حرکت می‌کند تا لایه‌هایی از مواد را دقیقاً رسوب دهد و در نتیجه خانه به تدریج ساخته شود. از سوی دیگر، سیستم بازوی رباتیک از یک بازوی رباتیک با یک نازل استفاده می‌کند که مصالح ساختمانی را به روشی کنترل شده بیرون می‌دهد و امکان طراحی‌های پیچیده و ساخت‌وساز دقیق را فراهم می‌کند. در نهایت، سیستم تکلا (Tekla) به نوعی بر مبنای مختصات تغییر یافته‌ی سیستم دروازه‌ای و بر روی یک چهارچوب شش ضلعی استوار است و جهت گسترش غیرخطی مجموعه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

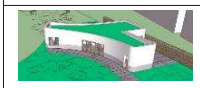
در مطالعه و بررسی بناهای ساخته‌شده با فناوری پرینت سه‌بُعدی در زمینه سیستم پرینتر مورد استفاده، مشاهده گردید که حدود ۶۹ درصد موارد از پرینتر دروازه‌ای، ۲۴ درصد از بازوی رباتیک و هفت درصد از پرینتر تکلا استفاده کرده‌اند.

۳. ۳. مساحت، زمان ساخت و هزینه

هزینه و زمان مرتبط با ساختمان‌های پرینت سه‌بُعدی بسته به عوامل مختلفی می‌تواند متفاوت باشد. اولاً، اندازه و پیچیدگی سازه نقش مهمی در تعیین هزینه کلی دارد. ساختمان‌های بزرگ‌تر و پیچیده‌تر به مواد بیشتر و زمان چاپ طولانی‌تری نیاز دارند که می‌تواند هزینه‌ها را افزایش دهد (Allouzi et al., 2020). علاوه بر این، نوع مواد مورد استفاده برای چاپ می‌تواند بر هزینه آن تأثیر بگذارد. درحالی‌که معمولاً از مصالح ساختمانی معمول مانند بتن استفاده می‌شود، فناوری‌های جدیدتر در حال بررسی استفاده از جایگزین‌های پایدار و مقرون به صرفه هستند.

زمان یکی دیگر از جنبه‌های حیاتی است که باید در مورد ساختمان‌های پرینت سه‌بُعدی در نظر گرفت. فرآیند چاپ می‌تواند در مقایسه با روش‌های ساخت‌وساز سنتی نسبتاً سریع باشد (Robayo-Salazar et al., 2023). با این حال، توجه به این نکته مهم است که مراحل آماده‌سازی و پس از پردازش می‌تواند به زمان کلی مورد نیاز بیافزاید. این شامل وظایفی

جدول ۱. بررسی نظام‌مند مساکن و بناهای ساخته‌شده با فناوری پرینت سه‌بُعدی.

ردیف	نام پروژه- سازنده	مصالح	نوع پرینتر	زمان ساخت	نوع مسلح سازی	ویژگی های معماری و پلانی	مجموعه سازی	هزینه	مساحت	سقف	تصویر
۱	خانه مسکونی در نانتس فرانسه - بت پرینت	پرینت پلی اورتان به عنوان قالب	بازوی رباتیک	۵۴ hours	پرینت پلی اورتان به عنوان قالب و میلگرد گذاری و بتن ریزی در داخلش	پلان سه شاخه با گوشه های غیر تیز و نرم	فرم بگونه‌ای است که بتوان واحد ها را کنار هم قرار داد و واحد های همسایگی ایجاد کرد	£۱۷۶,۰۰۰	۹۵ m	تیر چوبی با روکش و عایق روی تیرها صفحات ساندویچ پنل نصب شده	
	مأخذ	https://3dprintingindustry.com/news/french-batiprint3d-project-construct-house-inside-3d-printing-110099/									
۲	Danish startup 3DCP	بتن	دروازه ای cobod	۲۲ h	میلگردگذاری عمود بر صفحه بین لایه های بتن و میلگرد گذاری عمودی در برخی از قسمت ها و بتن‌ریزی در آن	پلان سه شاخه مثلثی که بصورت شعاعی سامان یافته فضای باز مرکزی دارد و یک شاخه ورودی و دو شاخه دیگر فضا ها هستند گوشه های گرد در انتهای دیوارها دولایه خط لایه پرینت به درون دیوار برمی گردد	فرم سه گوش با قرار گرفتن در کنار هم ایجاد فضاهای جمعی محصور مشترک می کند		۳۷ m	دورگیری با پرینتر و قالب‌بندی در زیر و بتن ریزی جهت سقف مثل دال بتنی -در کارگاه ساخته و بعد در محل نصب می شود	
	مأخذ	https://www.designboom.com/architecture/first-3d-printed-tiny-house-europe-3dcp-05-30-2022/									
۳	Tecla House	clay	پرینتر شش ضلعی شبه	۲۰۰ h	دیوار چند لایه و فرم گنبدی جهت ایستایی بیشتر و استفاده از فیبر های طبیعی	پلان از یک یا دو دایره تشکیل می شود بدنه ی نما متناسب با طرح می تواند موج داشته باشد سقف و بازشو ها معمولا بصورت طاقی هستند تا نیاز کمتری به تکیه گاه داشته باشند	آرایش شش ضلعی پرینتر مناسب گسترش پذیری غیر خطی مجموعه سازی می باشد	دلار ۹۰۰	۶۰ m	ساخت بصورت گنبدی با پرینتر و اتصال نورگیر در بالای آن استفاده از سقف با تیر های چوبی نیز امکان [illegible]	
	مآخذ	https://www.dezeen.com/2021/04/23/mario-cucinella-architects-wasp-3d-printed-housing/									
۴	House Zero ICON	بتن	دروازه ای ICON	۲۴۰ h	میلگرد گذاری افقی بین لایه های بتن و میلگرد گذاری عمودی و بتن ریزی در برخی قسمتها مثل شناژ عمودی	دیواره های منحنی و در برخی موار منقطع - تعریف فضایی با نیم دایره ها - یک ضلع راست خط دارد - دیوار ها دو لایه هست و درونش آرایش زیگزاگی دارد روی دیواره ها تقریبا هم ۱ متر بر آمدگی وجود دارد که به مثابه شناژ عمودی عمل می کند - پنجره ها بصورت کامل تا کف ادامه پیدا می کنند که نیاز به تمهیدات تکیه گاهی را از بین ببرند و در مسیر پرینت صرفه جویی کنند	دهانه ی حدود ۱۰ متر و طول بی نهایت اجازه ی ساخت مجموعه در یک ردیف پشت سر هم را با کمترین تغییر در ساختار پرینتر می هد قبل از پرینت زمین باید با بتن صاف گردد	دلار ۷۵۰۰۰۰	۱۸۵ m	سقف با تیر های چوبی بر روی ستون های مجزای چوبی واقع شده است	
	مآخذ	https://www.iconbuild.com/projects/house-zero									
۵	3D-Printed Multi-Home Project In Texas revealed by ICON	بتن پرینت شده و سقف و طبقه دوم ساخت با روش چوبی	دروازه ای ICON		میلگردگذاری افقی بین لایه‌های بتن و میلگرد گذاری عمودی و بتن ریزی در برخی قسمتها مثل شناژ عمودی	سقف شیروانی چوبی - طبقه دوم سازه ی سبک چوبی - پله چوبی -گوشه های گرد - بازشو های پیرامونی نسبتا زیاد - پلان با حداقل دیوار داخلی و سبک یکپارچه - نیمکت و باغچه بیرونی با پرینتر ساخته شده است	۴خانه در یک واحد همسایگی با - فضای مشترک عمومی	۴۵۰۰۰۰ $	۹۰-۱۸۵	خرپا چوبی با پوشش چوب	
	مآخذ	https://www.re-thinkingthefuture.com/architectural-news/a3765-plans-for-3d-printed-multi-home-project-in-texas-revealed-by-icon/									
۶	BIG, ICON, and Lennar- Wolf Ranch Community in Austin, Texas	بتن	دروازه ای ICON		دیوار ها از بالا تا پایین در مقطعشان صاف هستند تا مسلح سازی درونی راحتتر در داخلشان قرار گیرد	پلان کشیده مستطیلی یک طبقه با سقف شیروانی شیبدار با اسکلت چوبی سازه سقف دراز تر در نظر گرفته شده تا سایبان ورودی و پارکینگ ایجاد شود - هر ۸ متر دهانه یک مستطیل ۸ در طول زمین خالی و یک مستطیل دیگر در کنارش خانه است عدد ۸ با توجه به دهانه بهینه پرینتر های آیکان انتخاب شده است - دیواره های صاف کناری جهت اینکه ریل های پرینتر در کنارصاف هستند و برای اینکه از حداثر دهانه پرینتر استفاده شود بکار رفته اند - تا حد امکان سعی شده دیوار های کمتری در پلان بصورت صاف تمام شوند و اکثر دیوار ها هم به لحاظ معماری و هم به لحظ ساخت در انتها منحنی و فرم عصایی دارند	هشتاد خانه در قالب ۸ تیپ مسکونی در یک شهرک چیده شده اند -پلا نهایی که در کنار هم هستند با هم متفاوت می باشند	۴۷۵۰۰۰ $	۱۴۰-۱۹۵	سقف شیبدار با اسکلت خرپای چوبی با روکش زد آب بر پایه پلاستیک	
	مآخذ	https://www.archdaily.com/1004384/big-icon-and-lennar-complete-the-first-3d-printed-model-house-at-the-wolf-ranch-community-in-austin-texas/64ba4e96edf1692cd872900-big-icon-and-lennar-complete-the-first-3d-printed-model-house-at-the-wolf-ranch-community-in-austin-texas-image									
۷	۳d homes mexico Nacajuca, logan and icon	بتن	دروازه ای ICON		چون فقط یک طبقه است تمرکز بر روی مسالح خود مسلح کننده است	پلان مستطیلی بر روی پی بتنی درجا با گوشه های گرد، سقف غیر پرینت شده تقسیمات داخلی بصورت ر - است خط و موازی با دیوارها - بیرون زدگی سقف جهت سایبان	خانه های تک خانواری در کنار هم و در راستای هم هم جهت انتقال راحتتر پرینتر			با روش دیگر	
	مآخذ	https://www.iconbuild.com/media-gallery/icon-and-new-story-worlds-first-3d-printed-community-of-homes									
۸	Project Virginia	بتن	دروازه ای cobod Alquist		عناصر میله ای فولادی بین لایه های بتن	پلان با تناسبات مربعی با بازشو های زیاد و چند ورودی، سقف با سازه جدا و پی ریخته شده درجا با پیش بینی تاسیسات در پی و دیواره ها - دیوار ها و پارتیشن های داخلی بصورت دیواره سبک از جنس گچ برگ اجرا می شوند ضخات دیواره های پرینت ۵ سانتیمتر است و بین ۲ لایه دیواره فضای خالی است در آن فوم تزریق می کنند.	۷۲خانه در قالب چهار طرح مختلف در یک مجموعه ساخت شده اند	۲۳۵۰۰۰	۱۲۰	سقف شیروانی با سازه‌ی مجزا	
	مآخذ	https://www.voxelmatters.com/3-new-am-houses-being-completed-in-the-us-by-cobod-customers/									
۹	KAMP C - Belgium ۲ story building in europe	بتن	دروازه ای cobod	۴۸ h	عناصر میله ای فولادی بین لایه های بتن ، شبکه پلاستیکی یا فولادی بین لایه های بتن	خانه دو طبقه با پرینت سه بعدی - کف طبقات و سقف بصورت پیش ساخته بتنی - پلان از یک فضای نیمه منحنی و یک فضای مستطیلی یا یک راهرو واسط تشکیل شده است - پله های فلزی با کف [illegible]		۷۵۵۰۰۰	۹۰	سقف طبقه همکف بصورت بتنی پیش ساخته و بام بصورت سازه ی سبک چوبی بصورت شیبدار با روکش	
	مآخذ	https://tunnels-infrastructures.com/first-printed-house-in-europe-at-kamp-c/									
۱۰	Germany's first ۳D-printed house	بتن	دروازه‌ای cobod		عناصر میله ای فولادی بین لایه های بتن بصورت افقی میله ها و مفتول هایی به قطر کمتر از ۱ سانت بصورت پو شکل عمود به لایه پرینت در بتن فرو میگردد	پلان با گوشه های گرد ۲ طبقه و کف بتنی درجا- خطوط نرم در نما- گوشه های گرد در پلان نیز دیده می شود - در انتهای یک لایه دیواره ها در صورت منفرد بوده خم ۱۸۰ زده می شود برخی قطعاتی که نیاز به تکیه گاه دارند بصورت جدا در کارگاه پرینت گرفته و به محل منتقل می شوند قطعات انتظار تاسیسات در هنگام پرینت بین لایه ها قرار داده می شوند و پوکه معدنی بین دو دیواره جهت عایق بندی ریخته می شود- پله های چوبی - نما یکپارچه دور تا دور و یکسان با جنس دیواره ها - بدون الحاقیات	برای نصب چهارچوب دروازه ای نیاز به پایه یا پی های بتنی است بهتر است بگونه ای باشد یک بتوان از پایه ها بدون جا به جایی برای واحد بغلی نیز استفاده کرد		۱۶۰ M	سقف بصورت بتن درجا ریخته می شود	
	مأخذ	https://www.gira.com/en/en/g-pulse-magazine/building/۳d-house-germany									

۱۱	First ۳D-printed house in Netherlands	بتن	بازوی رباتیک ABB		ورق های فولادی افقی فروشده در بتن	کل خانه در قالب ۲۴ قطعه در کارگاه ساخته شده و در محل نصب گردیده است قطعات مسلح سازی و پایه جداگانه دارند ورق های به عرض ۵ سانت بصورت ذوزنقه ای بر بتن فرو می شوند- گوشه ها و اتصال رئوس بصورت یخ شده و گرد می باشند ضخامت دیوار ها نسبت به نمونه های مشابه بیشتر است شکل کلی یک چند ضلعی نا منظم با گوشه های گرد است که بیشترین میزان خروج از چهارچوب ساخته های معمولی را نشان دهد		۹۵			سازه مجزا	
	مآخذ	https://www.mirror.co.uk/news/world-news/couple-moves-europes-first-3d-24021421									
۱۲	۳D-printed Austin house	بتن	دروازه ای ICON	۲۴	توری فولادی بین لایه ها ی پرینت	دیواره های داخلی با پرینتر ساخته شده اند دو گوشه در پلان نرم و دو گوشه ی دیگر سعی شده عمود کار شود سقف شیبدار در نظر گرفته شده است و فاصله سقف تا دیواره ها برای تامین نشست شیبدار سقف روی دیواره ها با یک سازه ی چوبی پر شده است دور تا دور محل اتصال سقف ب دیواره پیرامونی پنجره ی خطی داریم - برای اتصال پنجره و درب به بنا فریم بندی اجرا شده است	۴۰۰۰	۳۵	خانه ها بصورت ردیفی پشت سر هم ساخته می شوند دلیل این کار این است که ریل پرینتر و محل رفت برگشت بازوهای اصلی آن در امتداد یک خط باشد وسهولت جابه جایی و گسترش داشته باشد	سازه مجزا - سازه سلیک چوبی بر روی پروفیل هایی با مقطع دایره ای فولادی	
	مآخذ	https://austin.curbed.com/2019/3/12/18260540/3d-print-house-austin-affordable-homeless-icon									
۱۳	Europe's Largest ۳D-Printed Building In Germany -peri	بتن	دروازه ای cobod	۱۴۰	پی یکپارچه تخت درجا بتنی - میله های افقی بین لایه ها و شناژهای عمودی پرینت گرفته شده و هندسه با عملکرد سه بعدی در برابر نیرو ها	نمای ساختمان ۱۸ درجه برآمدگی دارد که با روش های معمول امکان ساخت آن نیست- به علت طولانی بودن دیواره حدود هر ۵ متر یک حجم مانند شناژ عمودی همراه دیوار پرینت گرفته شده است تا دیوار در برابر نیروها بمعبر بر صفحه خود مقاوم باشد بدنه س اختمان مثل یک پرده ی مواج است - بنا در پلان بصورت یک مستطیل کشیده با عرض ۱۱ متر و طول ۵۵ متر است گسترش طولی بیشتر به جهت قرارا گیری و تنظیم راحتتر چهارچوب طولی پرینتر بوده است و تابع دهانه ی پرینتر های کبد است دیواره اها در قسمتهایی چه در پلان چه در نما بصورت منحنی و مواج هستند هم از نظر معماری و هم ایستایی بوده است - مواج بودن به محافظت در برابر عوامل جوی و آفتاب نیز کمک می کند		۶۰۰		همرا و در امتداد بودن محور طولی بنا برای توسعه و ساخت راحتتر و نصب پرینتر		
	مآخذ	https://materialdistrict.com/tag/additive-manufacturing/page/4/									
۱۴	Holcim's ۱۴Trees Launches The First ۳D Printer Manufactured In Africa Africa's	بتن و مصالح پومی	دروازه ای iroko	۱۸	پی گسترده با بتن در جا - مفتول های فولادی یو شکل درون بتن و بین لایه‌ها	دو خوابه - یک طبقه و سه خوابه - در قالب پلان مربعی از قرار گیری دو مستطیل در کنار هم - گوشه های گرد و تقسیمات راست خط داخلی - فاصله دیواره ها تا سقف شیدار با چوب اجرا شده است	۲۸۰۰۰	۹۰	خانه در یک مجموعه در یک راستا ۵۲ جهت ایجاد خط همراستا برای گسترش و جابه جایی پرینتر - بین ردیف خانه ها فضایی برای چهارچوب پرینتر و فضای باز جمعی در نظر گرفته شده است خانه های کنار هم جهت صرفه جویی دارای دیوار مشترک هستند	سقف چوبی شیب دار	
	مآخذ	https://www.holcim.com/media/media-releases/largest-3d-printed-affordable-housing-project-africa									
۱۵	world Largest ۳D-Printed Building In world - Wellington in Southern Florida Printed Farms' ۳D-printed horse	بتن	دروازه ای cobod	حدود دو ماه با وقفه	میله های افقی بین لایه ها و ستون ها در دیوار ها در نظر گرفته شدند در قسمتهایی شبکه میلگرد گذاشته شده و بتن ریزی شده است	یک پلان یو شکل که در یک مستطیل ۴۷ در ۲۵ محاط شده است-ارتفاع ۴ متر است و یک طبقه دارد- به علت بزرگ بودن ساختمان در چند مرحله پرینت گرفته شده است- ایجاد بازشو ها جهات تهویه طبیعی -لوله کشی و تاسیسات برقی در درون دیوار با جعبه های انتظار پیش بینی شده اند - فریم پنجری جوبی است و در بالای پنجره ها درگاه فلزی داریم. روی دیوار ها پوشش ونازک کاری نهایی با بافت نرم انجام می شود دیوارهای داخلی راست خط هستند	۳۰۰۰۰۰۰	۹۳۹		با مصالح و روش دیگر ساخته می شود	
	مآخذ	https://newatlas.com/architecture/printed-farms-horse-barn-worlds-largest-cobod/									
۱۶	Mighty Buildings	و افزودنی خاص - ۶۰ درصدش از شیشه ی بازیافتی	دروازه ای		فیبر	قطعات خانه بصورت تکه تکه در کارخانه ساخته می شوند و به محل انتقال داده شده و اسمبل می گردند یک واحد مستطیلی است که از چندین بلوک مستطیلی قابل گسترش تشکیل شده است - پنجره ها قدی می‌باشد . پنجره ها از کف شروع شده و تا سقف ادامه دارند هر بخش مستطیلی تشکیل دهنده ی مستطیل کل در پشت تریلی جا می شود		۱۵۹		چیدمان بصورت خطی صورت گرفته است - یک فرم یو شکل چیدمان کلی است که در وسط آن یک خط دیگر چیدمان آمده است ۴۰ واحد	پیش ساخته در کارخانه	
	مآخذ	https://www.mightybuildings.com/									
۱۷	BIOHOME3D	مصالح بازیافتی بر پایه چوب و ساقه ذرت	دروازه ای	یک روز زمان برپایی	رزین و فیبر طبیعی و افزودنی	چون از مصالح بر پایه چوب ساخته شده هم حس گرما دارد هم عایق حرارتی خوبی است - خانه در کارگاه بصورت چهار قطعه ساخته شد و در محل در یک روز سرپا گردید بصورت پلان مستطیلی یکپارچه ساخته شده است و حداقل دیوار های داخلی - سقف و دیوار پیرامونی بصورت یکپارچه هستند - سقف شیبدار است	۵۵		خانه ها کشیدگی شرقی غربی دارند و در جداره ی شرق و غرب تقریبا بازشو ندارند لذا کنار هم قرارگیریشان می تواند در غرب و شرق باشد و جلویشان محوطه باز هر کدام باشد چون در کارگاه با پرینتر ساخته می شوند می توانند آرایش خطی یا شطرنجی داشته باشند	با پرینت سه بعدی و در امتداد دیوار ها ساخته شده است	
	مآخذ	https://ethicalbliss.com/the-trailblazing-biohome-3d-printed-home-a-sustainable-marvel/									
۱۸	Lewis Grand Hotel Extention	بتن و خاکستر آتش فشانی	دروازه ای	ساعت ۱۰۰	میلگرد گذاری بین دو لایه پرینت و بتن ریزی	حدود ۳۰ سانتیمتر اول دیواره ها زیر کفسازی دفن می شود (این فضا جهت کفسازی و بالا بردن واحد و اجرای تاسیسات زیر کف تعبیه شده است) انحنا در سه بعد اجرا شده است		۱۳۰			با روش های دیگر	
	مآخذ	https://3dprint.com/94558/3d-printed-hotel-lewis-grand/									
۱۹	Rotor-shaped Residence apis core	بتن	بازوی رباتیک	۲۴ h	میلگرد گذاری بین دو لایه پرینت و بتن ریزی	فرم شعاعی و دایره ای که در نهایت سه شاخه می شود	۱۰۰۰۰	۳۸	قرار گیری آزادانه در کنار هم بخاطر فرم شعاعی دایره ای		با روش های دیگر	
	مآخذ	https://www.designboom.com/architecture/apis-cor-pik-3d-printed-house-24-hours-02-28-2017/									

۲۰	two-story ۳D-printed villa HuaShang Tengda	بتن	دروازه ای	۴۵ d	میلگرد گذاری در وسط و پرینت دو نازله همزمان از دو طرف	ضخامت دیوار ها ۲۵ سانت است -= نما بتن اکسپوز و در برخی موار روکش چوب است سقف ها حالت قلعه دارد در چهار گوشه - نازل بزرگی دارد و قطر دیوارها زیاد است - چون مسلح سازی خاص است ارتفاع افزایش یافته است	چیدمان خطی	۴۰۰		شیبدار - مخروطی - پرینت سه بعدی	
	مآخذ	https://www.thestructuralengineer.info/news/this-two-story-3d-printed-villa-was-constructed-in-just-45-days									
۲۱	The BOD , "Building on Demand", first ۳D printed house in europe	بتن	دروازه ای		در فاصله ی مشخص قسمتهایی مانند ستون پرینت گرفته شده اند که بصورت شناز قائم عمل می کنند. درون این قسمتها میلگرد گذاری و بتن ریزی شده است	پرینت دیوار ها بصورت دو لایه - ارتفاع دیوار ها ۴.۵ متر است گه بصورت یکپارچه در حجم عمل می کند و در برابر بارهای خارج صفحه با عملکرد سه بعدی سازه مقاومت می نماید - پلان از خطوط منحنی تشکیل شده و سه بخش دارد و فقط سرویس و حمام با دیوار از دیگر فضاها جدا شده است دیوار بیرونی که بصورت دولایه است لایه بی بیرونی با انحنا و موج بیشتر و لایه ی درونی بصورت صافتر طراحی شده است - خطوط پلانی بصورت منحنی و ارگانیک می باشند	چیدمان خطی	۵۰		سقف با روش های دیگر بصورت شیبدار طراحی شده است	
	مآخذ	https://www.planswift.com/blog/the-bod-europes-first-3d-printed-building/									
۲۲	۳D Printed House in Japan- Serendix	بتن	بازوی ربانیک	روز ۸	میلگرد افقی	یک کره ی چند وجهی با پنجره های مثلثی- سعی شده یک فرمی طراحی شود که کاملا مزایای ساخت اشکال با پرینت سه بعدی نمایش داده شود - این شکل ساختش با روش های دیگر بسیار پر هزینه و سخت است . کل کره از چهار حجم مجزا تشکیل شده که در محل به هم متصل شده اند مبلمان این فضا نیز متفاوت خواهد بود از شن و ماسه به عنوان تکیج گاه موقت برای پرینت پیش آمدگی ها استفاده شده است	امکان چیدمان های خطی، شطرنجی ، شعاعی و ... است چون فرم جهت گیری خاصی ندارد و بصورت پرینت پیش ساخته در محل به هم متصل می شود	۹		با پرینت سه بعد بیصورت کروی ساخته شده است	
	مآخذ	https://parametric-architecture.com/serendix-sphere-an-affordable-3d-printed-capsule-built-in-less-than-a-day/									
۲۳	Gaia - Wasp		دروازه ای - تکلا - بر مبنای شش ضلعی		الیاف طبیعی و هندسه مقاوم در برابر نیرو ها	فرم شعاعی و دایره ای با مصالح بومی که با الیاف فضای خالی بین دیواره های پرینت پر می شود و مقطع هندسی پلان دیوار به مقاومت و عایق بودن آن کمک می کند جعبه های انتظار برای تاسیسات قرار داده شده است - برای پنجره ها تیر چوبی گزاشته شده است تا بشود رویش پرینت گرفت	گسترش بر مبنای هندسه ۶ ضلعی و زاویه ۱۲۰ درجه با توجه به هندسه پرینتر	۱۲		سقف با سازه چوبی ساخته شده است	
	مآخذ	https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-gaia/									
۲۴	Family-Size Home – sq۴d	بتن	دروازه ای	۴۸	میلگرد گذاری	پلان راست خط با گوشه های نرم - تقسیم بندی‌های داخلی بصورت خطوط عمود بر هم شکل گرفته است - این بنا دارای سه اتاق خواب، دو حمام کامل و یک پلان باز است	گسترش خطی	۱۸۵	۲۲۹۰۰۰$	شیبدار - با روش های دیگر ساخته شده است	
	مآخذ	https://www.dwell.com/article/handsome-homebuyer-sq4d-3d-printed-home-suburbia-68b7f3c2									
۲۵	Fibonacci House - Twente Additive Manufacturing	بتن	بازوی ربانیک		میلگرد گذاری - افقی و بتن ریزی در بعضی قسمتها	خطوط منحنی - پی پرینت شده ستون ها با طراحی پارامتریک ساخته شده اند . پلان خانه بر اساس ماریچ فیبوناچی طراحی شده است. در بدنه خانه بیرون زدگی های داخلی جهت استحکام بیشتر در قالب ستون درون دیوار تعبیه شده است - پرینت اجرا در کارگاه ص.رت گرفته و در محل سر هم شده اند ایجاد برامدگی جهت ستون ها در دیوار هم رای استحکام حجم بوده است هم برای انتقال بار سقف	امکان استفاده از انواع چیدمان های به علت اینکه با بازوی ربانیک و تیکه تیکه در کارگاه ساخته می شود و با جرثقیل روی هم سوار می شوند	۲۸		شیبدار - با روش های دیگر ساخته شده است سازه چوبی	
	مآخذ	https://newatlas.com/tiny-houses/twente-fibonacci-house/									
۲۶	First in India - Tvasta	بتن	دروازه ای	روز ۲۱	میلگرد گذاری بین لایه های بتن میلگرد انتظار نیز جهت جا به جایی با جرثقیل برای سر هم کردن قرار داده شده است	ساخت بصورت تکه تکه و سر هم کردن در محل -	خطی	۵۵		با روش های دیگر	
	مآخذ	https://www.indianweb2.com/2021/04/iit-madras-startup-tvasta-builds-indias.html									
۲۷	Home for the Homeless- Icon, Architecture	بتن	دروازه ای		میلگرد گذاری بین لایه ها	طراحی معماری خانه ها بر اساس مسکن ساکنان منطقه بوده است -تیم ICON و BIG به Dezeen گفت: "با ترکیب زیبایی‌شناسی معاصر به سبک مزرعه نگراس، جامعه خانه‌های پرینت سه‌بعدی دارای طرح‌های معماری و انرژی کارآمد است که مزایای انعطاف‌پذیری و پایداری را با امکانات دیجیتالی ساخت و ساز افزودنی برجسته می‌کند."	خانه بصورت خطی و ردیفی و ۱۰۰ شطرنجی- محوطه نیمه باز محصور با دیوار کم ارتفاع پرینت دارد - واحد ها با محوطه بازشان بصورت واحد های مستطیلی در کنار هم قرار میگیرند	۱۴۰	۱۰۰۰	با روش های دیگر	
	مآخذ	https://www.iconbuild.com/									
۲۸	Casa Covina 3d printed	گل adobe walls are compound ed from ,sand	بازوی ربانیک		الیاف طبیعی	سه حجم مخروطی - بدنه با بافت گلی بافته - بالای سقف جهت تهویه و نورگیری باز است و یک سقف غشایی بر شده از هوا جهت موقع باران و ... تعبیه شده است - پلان از سه دایره در هم رفته تشکیل شده است	فرم دایره ای امکان انواع چیدمان ها را می دهد	۲۵		بصورت گنبدی	
	مآخذ	https://www.archdaily.com/963516/casa-covida-emerging-objects									
۲۹	Serendix's Barnacle House	بتن	بازوی ربانیک	ساعت ۲۴	میلگرد گذاری	طراحی معماری بنا بگونه ای بوده است که نشان دهنده ی توانایی پرینتر سه بعدی در ساخت فرم هایی باشد که با دیگر رو ها سخت و پر هزینه ساخته خواهد شد فرک گلی در پلان و نما خطوط مورب و منحنی دارد - سقف بصورت پله پله ی نرم به داخل طراحی شده برا ی ساخت سقف از اسکلت چوبی استفاده شده است بیرون زدگی حاشیه درب ها و پنجره ها با پرینت سه بعدی ساخته شه است حجم کلی از ۲ مکعب اولیه تشکیل شده است که بعد نرم شده اند	خطی و شطرنجی	۵۰	۳۸۰۰۰$	با تکنیک دیگر - ساخت استراکچر سقف با سی ان سی	
	مآخذ	https://tinyhouseblog.com/tiny-house-concept/serendix/									

مانند طراحی ساختار، آماده‌سازی مدل سه‌بُعدی و اطمینان از وجود زیرساخت‌های لازم برای فرآیند چاپ است. علاوه بر این، عواملی مانند شرایط آب‌وهوایی و در دسترس بودن اپراتورهای ماهر نیز می‌توانند بر جدول زمانی تکمیل یک پروژه ساختمانی پرینت سه‌بُعدی تأثیر بگذارند.

شایان ذکر است که با ادامه پیشرفت فناوری و پذیرش گسترده‌تر، انتظار می‌رود هزینه و زمان مرتبط با ساختمان‌های پرینت سه‌بُعدی کاهش یابد (Allouzi et al., 2020). با تحقیق و توسعه بیشتر، بهبود در سرعت چاپ، کارایی و هزینه مواد پیش بینی می‌شود. این به‌طور بالقوه می‌تواند ساختمان‌های پرینت سه‌بُعدی را به جایگزینی مقرون به صرفه تر برای روش‌های ساخت‌وساز سنتی در آینده تبدیل کند.

در بررسی خانه‌های ساخته شده با این فناوری بجز چند مورد استثنا بقیه موارد در بازه‌ی ۹ متر تا ۱۸۵ متر می‌باشند هر چه ابعاد خانه بزرگ‌تر می‌شود احتمال بکارگیری پرینترهای دروازه‌ای در محل بیشتر از بکارگیری پرینترهای بازوی رباتیک و درکارگاه است این امر به دلیل صرفه‌جویی در فرایند حمل‌ونقل می‌باشد. در مورد زمان پرینت نیز با توجه به اینکه ساخت سقف و دیگر تجهیزات و مبله‌کردن جزو زمان ساخت نهایی محسوب می‌گردد احتساب بازه‌ی زمانی پرینت به تنهایی مورد نظر نخواهد بود اما به لحاظ بررسی زمانی که فقط به پرینت دیواره‌ها و قطعات اختصاص داده شده است می‌توان گفت در مقایسه با روش‌های معمول به‌خصوص برای ساخت قطعات غیرخطی زمان کم‌تری نیاز است. زمان ساخت از ۲۲ ساعت تا ۸ روز متغیر بوده است. هزینه ساخت نیز به عوامل مختلفی بستگی دارد اما با توجه به هزینه‌ی گزارش شده توسط سازندگان هزینه ساخت از ۹۰۰ تا ۴۰۰۰۰ دلار متغیر بوده است در مواردی خاص هزینه فراتر نیز رفته است.

۳. ۴. نحوه مسلح سازی

فرآیند مسلح‌سازی ساختمان پرینت سه‌بُعدی با سه روش انجام می‌پذیرد. با اجرای تقویت دستی بین لایه‌های پرینت، سطح جدیدی از استحکام و دوام به دست می‌آید. این تکنیک نیاز به برنامه‌ریزی دقیق و دقت دارد، زیرا قرار دادن قطعات فولادی بین لایه‌های پرینت باید هم‌زمان با انجام فرایند پرینت صورت گیرد. این فرآیند لایه‌به‌لایه تکرار می‌شود و به تدریج ساختار چاپ سه‌بُعدی ایجاد می‌شود. میلگردها به‌عنوان یک اسکلت عمل می‌کنند و به پیوستگی و عملکرد یکپارچه‌سازی کمک می‌نمایند (JZ Xiao et al., 2021). در روش دیگر شبکه میلگرد را بین دو لایه بتن یا پلیمر پرینت شده قرار می‌دهند و سپس روی آن را همانند روش‌های مرسوم بتن می‌ریزند. این یک پیوند قوی بین لایه‌ها ایجاد می‌کند و استحکام و پایداری ساختار را تضمین می‌کند. بتن شکاف‌های بین میلگرد را پر می‌کند و ساختاری بدون درز و منسجم ایجاد می‌کند (Gebhard et al., 2021).

علاوه بر تقویت دستی، افزودنی‌های تقویت کننده شیمیایی و طبیعی در مخلوط بتن گنجانده شده است. این افزودنی‌ها یکپارچگی ساختاری ساختمان را بیشتر می‌کنند و آن را در برابر نیروهای خارجی مقاوم‌تر می‌کنند (Ahmed et al., 2022). این افزودنی‌ها می‌توانند شامل الیافی مانند فولاد یا کربن باشند که استحکام و انعطاف‌پذیری بتن را افزایش می‌دهند. آن‌ها هم‌چنین می‌توانند شامل افزودنی‌های شیمیایی باشند که دوام بتن، مقاومت در برابر ترک‌خوردگی و عملکرد کلی را بهبود می‌بخشند (Mechtcherine et al., 2018). ترکیبی از تقویت‌کننده‌های دستی و افزودنی‌های تقویت‌کننده این اطمینان را می‌دهد که ساختار چاپ سه‌بُعدی قوی است و قادر به مقاومت در برابر نیروهای خارجی مختلف است (JZ Xiao et al., 2021).

در مطالعه و بررسی بناهای ساخته شده با فناوری پرینت سه‌بُعدی در زمینه نحوه‌ی مسلح‌سازی بکار گرفته شده در بنا، مشاهده گردید که حدود ۵۳ درصد موارد از تکنیک میلگردگذاری دستی بین لایه‌های پرینت، ۳۰ درصد از تکنیک قرار دادن شبکه‌ی میلگرد بین دو لایه‌ی پرینت و بتن ریزی بر روی آن و ۱۷ درصد از مواد افزودنی مسلح کننده‌ی شیمیایی و طبیعی استفاده کرده‌اند لازم به ذکر است در برخی موارد تکنیک‌ها به‌صورت ترکیبی و با هم مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۳. ۵. ویژگی‌های معماری

در بررسی ویژگی‌های معماری مساکن ساخته‌شده با پرینت سه‌بُعدی ویژگی‌ها به‌صورت عمومی استخراج گردید و سپس با توجه به نوع پرینتر دسته‌بندی شده است. سه دسته‌ی پرینتر دروازه‌ای، پرینتر بازوی رباتیک و دسته‌ی ویژگی‌های مشترک را داریم که در جدول (۲) ارائه شده است.

در ادامه فراوانی ویژگی‌های شاخص برای هر نوع پرینتر مورد بررسی قرار می‌گیرد. در پرینتر دروازه‌ای با توجه به اینکه ریل‌های اطراف به‌صورت خط راست هستند الویت با ساخت دیوارهای کناری به‌صورت راست است تا از حداکثر عرض دهانه‌ی پرینتر بتوان استفاده کرد (تصویر ۲).

در خصوص پرینتر بازوی رباتیک ویژگی شاخص انحنای بیشتر و تبعیت از پلان‌های مرکزگرا و شعاعی است (تصویر ۳).

در نهایت در زمینه‌ی ویژگی‌های شاخص مشترک نمودار زیر نتیجه شد (تصویر ۴).

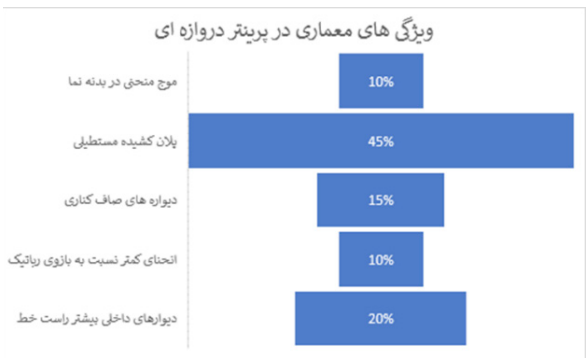
۳. ۶. روش ساخت سقف

ساخت سقف در ساختمان‌های ساخته شده با پرینتر سه‌بُعدی را می‌توان به دو روش متمایز انجام داد: یا با استفاده از قابلیت‌های خود چاپگر و یا با استفاده از روش‌های ساخت‌وساز متداول (Bici & Yunitsyna, 2023). در ساخت سقف با پرینتر، اجزای سقف لایه‌به‌لایه با استفاده از فرآیند ساخت افزودنی چاپگر ساخته می‌شوند. این رویکرد مزیت دقت و سفارشی‌سازی را ارائه می‌دهد، زیرا می‌توان به راحتی به طرح‌های پیچیده و هندسه‌های پیچیده دست یافت اما مشکل تأمین تکیه‌گاه و یا استفاده از فرم‌های مشخص خود ایستا برای این منظور می‌باشد (Bici & Yunitsyna, 2023). از سوی دیگر، روش‌های ساخت‌وساز مرسوم شامل مونتاژ اجزای سقف با استفاده از مصالح معمول مانند چوب، فولاد یا بتن است. درحالی‌که این روش ممکن است به زمان و کار بیشتری نیاز داشته باشد، یک رویکرد امتحان شده را ارائه می‌دهند که یکپارچگی و دوام ساختاری را تضمین می‌کند. در نهایت، انتخاب بین این دو روش به عواملی مانند الزامات پروژه، بودجه و نتایج زیبایی شناختی مورد نظر بستگی دارد (Hager et al., 2016).

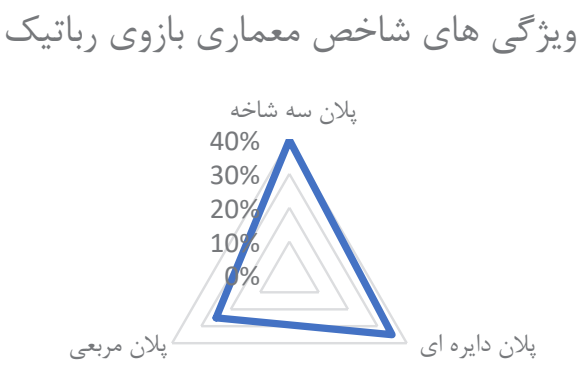
در مطالعه و بررسی بناهای ساخته‌شده با فناوری پرینت سه‌بُعدی در زمینه‌ی روش ساخت سقف، مشاهده گردید که حدود ۸۳ درصد موارد سقف را با روش‌های دیگری غیر ساخت با پرینتر می‌سازند و ۱۷ درصد سقف را هم‌زمان بعد دیوار با پرینت سه‌بُعدی تولید می‌کنند. در زمینه‌ی مواردی که سقف را با روش‌های مرسوم ایجاد می‌کنند فراوانی به شرح

جدول ۲. ویژگی‌های معماری کارهای اجراشده با پرینت سه‌بُعدی.

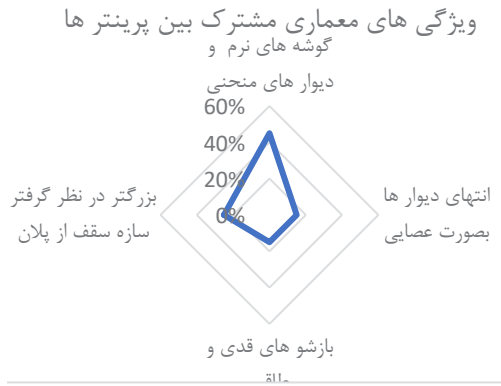
ویژگی‌های معماری کارهای اجراشده با پرینت سه‌بُعدی		
مختص پرینتر دروازه‌ای	مختص پرینتر بازوی رباتیک	ویژگی‌های مشترک
در انتهای دیوارها خط لایه پرینت فرم صافی دارد (جهت ایستایی)	پلان سه‌شاخه با گوشه‌های غیر تیز و نرم	گوشه‌های غیر تیز و نرم
دیواره‌های منحنی و در برخی موارد منقطع	پلان سه‌شاخه مثلثی که به‌صورت شعاعی سامان‌یافته	بدنه‌ی نما متناسب با طرح می‌تواند موج داشته باشد.
معمولاً دو ضلع راست خط دارد.	فضای باز مرکزی دارد و یک شاخه ورودی و دو شاخه دیگر فضاها هستند گوشه‌های گرد (پلان سه‌شاخه)	سقف و بازشوها معمولاً به‌صورت طاقی هستند تا نیاز کم‌تری به تکیه‌گاه داشته باشند.
گوشه‌های گرد	پلان از یک یا چند دایره تشکیل می‌شود.	تعریف فضایی با نیم‌دایره‌ها و دایره‌ها
پلان کشیده مستطیلی یک طبقه	پلان با تناسبات مربعی با بازشوهای زیاد و چند ورودی	دیوارها دو لایه هست و درونش آرایش زیگزاگی دارد (جهت مقاومت بیشتر و ایجاد عایق).
دیواره‌های صاف کناری جهت اینکه ریل‌های پرینتر در کنار صاف هستند و برای اینکه از حداکثر دهانه پرینتر استفاده شود به کار رفته‌اند.	حجم مخروطی	روی دیواره‌ها تقریباً هم ۱ متر بر آمدگی وجود دارد که به‌مثابه شناژ عمودی عمل می‌کند.
تقسیمات داخلی به‌صورت راست‌خط و موازی با دیوارها	عرض خانه تابع شعاع حرکتی بازوی رباتیک	پنجره‌ها به‌صورت کامل از سقف تا کف ادامه پیدا می‌کنند که نیاز به تمهیدات تکیه گاهی را از بین ببرند و در مسیر پرینت صرفه‌جویی کنند.
پلان از یک فضای نیمه منحنی و یک فضای مستطیلی تشکیل شده است.	به مکان قرار گیری بازوی رباتیک در وسط پلان و نحوه‌ی خروج آن بعد از اتمام کار باید توجه کرد.	سقف شیروانی یا شیب‌دار معمول است
عرض پلان تابع دهانه ی پرینتر		بازشوهای پیرامونی نسبتاً زیاد (اقلیم گرم)
پلان راست‌خط با گوشه‌های نرم		پلان با حداقل دیوار داخلی و سبک یکپارچه
		نیمکت و باغچه بیرونی با پرینتر ساخته‌شده
		سازه سقف درازتر در نظر گرفته‌شده سایبان ورودی و پارکینگ ایجاد شود.
		تا حد امکان سعی شده دیوارهای کم‌تری در پلان به‌صورت صاف تمام شوند و اکثر دیوارها هم به لحاظ معماری و هم به لحاظ ساخت در انتها منحنی و فرم عصایی دارند.
		بین ۲ لایه دیواره فضای خالی است که در آن فوم تزریق می‌کنند.
		تأسیسات در هنگام پرینت بین لایه‌ها قرار داده می‌شوند و پوکه معدنی بین دو دیواره جهت عایق بندی ریخته می‌شود.
		دیوار بیرونی که به‌صورت دولایه است لایه‌ی بیرونی با انحنا و موج بیشتر و لایه ی درونی به‌صورت صافتر طراحی شده است.



تصویر ۲. نمودار فراوانی ویژگی‌های معماری متناسب با پرینترهای دروازه ای بر طبق بررسی نمونه‌های ساخته‌شده با پرینترهای سه‌بُعدی.



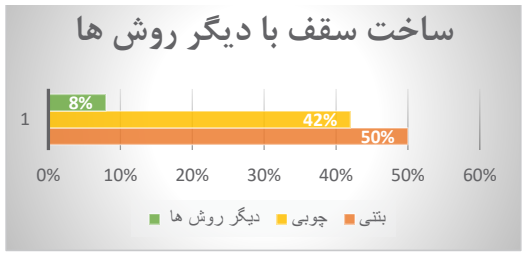
تصویر ۳ .نمودار فراوانی ویژگی‌های معماری متناسب با پرینترهای بازوی رباتیک بر طبق بررسی نمونه‌های ساخته‌شده با پرینترهای سه‌بُعدی.



تصویر ۴. نمودار فراوانی ویژگی‌های معماری متناسب با هر دو نوع پرینتر بر طبق بررسی نمونه‌های ساخته‌شده با پرینترهای سه‌بُعدی.

ذیل است ۵۰ درصد با بتن، ۴۲ درصد با چوب و هشت درصد با سازه‌های دیگر (تصاویر ۵-۶).

تصویر ۵. نمودار فراوانی نحوه ی ایجاد سقف در بناهای ساخته شده با پرینتر سه‌بُعدی.



تصویر ۶. فراوانی نحوه‌ی ایجاد سقف با روش‌های دیگر به غیر از پرینت در بناهای ساخته‌شده با پرینتر سه‌بُعدی.

۳. ۷. مجموعه سازی

مجتمع‌های مسکونی ساخته شده با فناوری چاپ سه‌بُعدی مفهوم واحدهای همسایگی را متحول خواهد کرد. این مجتمع‌ها برای ایجاد جوامع مستقل در یک ساختار واحد طراحی می‌شوند که طیف وسیعی از امکانات و خدمات را برای رفع نیازهای ساکنان ارائه می‌دهند (García-Alvarado et al., 2022). با استفاده از تکنیک‌های چاپ سه‌بُعدی، این واحدهای همسایگی با دقت و کارایی ساخته می‌شوند که منجر به راه‌حل‌های مسکن مقرون‌به‌صرفه و پایدار می‌شود. ادغام فناوری چاپ سه‌بُعدی با روش‌های مرسوم امکان سفارشی‌سازی هر واحد را فراهم می‌کند و اطمینان حاصل می‌کند که ساکنان به فضاهای زندگی منحصربه‌فرد و شخصی دسترسی دارند (Berman, 2012). این مجتمع‌های مسکونی نه‌تنها گزینه‌های مسکن راحت و مدرن را ارائه می‌دهند، بلکه حس اجتماع و تعلق را در طراحی خلاقانه خود تقویت می‌کنند.

در زمینه‌ی نوع چیدمان با توجه به اینکه بیشتر موارد ساخته شده با پرینترهای دروازه‌ای ساخته شده‌اند و این پرینترها گسترش خطی را دیکته می‌کنند، بیشتر چیدمان‌های واحد در کنار هم برای گسترش جهت مجموعه سازی به‌صورت خطی‌شطرنجی است. به‌طورکلی می‌توان فرم‌هایی که به هندسه‌ی خطی نزدیک‌ترند را به‌صورت خطی چیدمان نمود. در ذیل فراوانی این موضوع بر اساس نمونه‌های ساخته‌شده ارائه شده است (جدول۳).

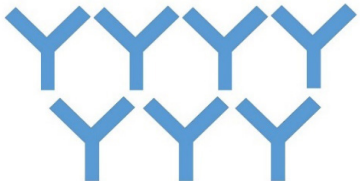
جدول ۳. فراوانی نوع چیدمان واحدهای ساخته شده با پرینتر سه‌بُعدی.

نوع چیدمان	درصد فراوانی
خطی - شطرنجی	٪۷۲
شعاعی	٪۲۸

در نهایت با توجه به بررسی‌های انجام شده بر روی نمونه‌های ساخته شده موارد مرتبط با مجموعه‌سازی به شرح ذیل منتج گردید.

در طراحی فرم برای مجموعه‌ی مسکونی، طراحی باید به گونه‌ای باشد که بتوان واحدها را کنار هم قرار داد و واحدهای همسایگی را ایجاد کرد.

از فرم‌هایی که قابلیت ایجاد فضای مجموعه‌ای مناسبی را دارند می‌توان به فرم سه‌شاخه اشاره کرد. فرم سه‌شاخه (با زاویه ۱۲۰ درجه) با قرار گرفتن در کنار هم قابلیت ایجاد فضاهای جمعی محصور مشترک را دارد (تصویر ۷).

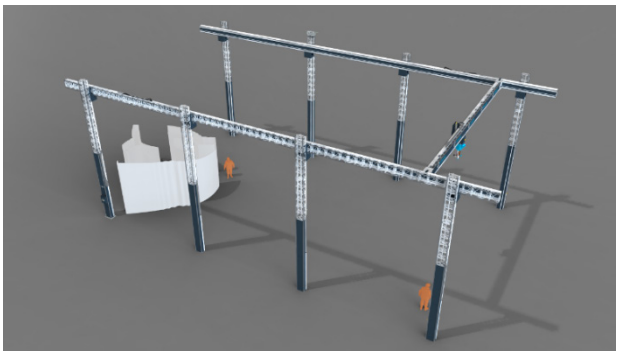


تصویر ۷. فرم سه‌شاخه مناسب برای بناهای ساخته‌شده با پرینترهای بازوی رباتیک و گسترش مجموعه‌ای.

آرایش شش ضلعی پرینترهای شرکت وسپ بر مبنای پرینتر تکلا مناسب گسترش‌پذیری غیرخطی و بر مبنای شش‌ضلعی و زاویه ۱۲۰ درجه برای مجموعه‌سازی می‌باشد (تصویر ۸).

تصویر ۸. آرایش شش ضلعی پرینترهای شرکت وسپ. مأخذ: (https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-tecla/)

پرینترهای دروازه‌ای با دهانه‌ی حدود ۱۰ متر و طول بی‌نهایت (از نظر تئوری) اجازه‌ی ساخت مجموعه در یک ردیف پشت سر هم را با کم‌ترین تغییر در ساختار پرینتر در اختیار طراح می‌گذارند (تصویر ۹).



تصویر ۹. پرینترهای دروازه ای.

در چیدمان واحدها باید دقت کرد که واحدها در کنار هم و در راستای هم، جهت انتقال راحت‌تر پرینتر باشند. برای نصب چهارچوب دروازه‌ای نیاز به پایه یا پی‌های بتنی است. لذا بهتر است چیدمان به‌گونه‌ای باشد که بتوان از پایه‌های قبلی بدون جابه‌جایی برای واحد مجاور نیز استفاده کرد. همچنین خانه‌ها باید به‌صورت ردیفی پشت سر هم ساخته شوند، دلیل این کار این است که ریل پرینتر و محل رفت‌وبرگشت بازوهای اصلی آن در امتداد یک خط باشد تا پرینتر سهولت جابه‌جایی و گسترش داشته باشد. در نتیجه همراستا و در یک امتدادبودن محور طولی بنا برای توسعه و ساخت راحت‌تر واحدها و نصب پرینتر ضروری است. یک روش مؤثر جهت صرفه‌جویی در زمان و مصالح این است که خانه‌های کنار هم دارای دیوار مشترک باشند.

جهت گسترش بهینه وقتی دیوار مشترک داریم مناسب است خانه‌ها کشیدگی شرقی-غربی داشته باشند و در جداره‌ی شرق و غرب تقریباً بازشو نداشته باشند و به هم برسند. لذا کنار هم قرارگیریشان می‌تواند در غرب و شرق باشد و جلویشان محوطه باز هر کدام ایجاد شود. اگر واحدها در کارگاه با پرینتر ساخته شوند می‌توانند آرایش خطی یا شطرنجی داشته باشند ولی اگر در محل با پرینتر دروازه‌ای ساخته شوند آرایش خطی، جهت کاهش جابه‌جایی پایه‌های پرینتر مناسب است.

فرم دایره‌ای چون جهت گیری خاصی ندارد اجازه انواع چیدمان‌ها را می‌دهد. قرارگیری آزادانه واحدها در کنارهم امکان چیدمان‌های خطی، شطرنجی و شعاعی را فراهم می‌کند. در این فرم‌ها ساخت می‌تواند به‌صورت پرینت پیش‌ساخته قطعات در کارگاه باشد و در محل به هم متصل شود.

بازوی رباتیک امکان استفاده از انواع چیدمان‌ها را در دامنه‌ی بیشتر به ما می‌دهد اما برای ساخت‌وسازهای زیاد و مجموعه‌ای جهت هزینه‌ی کم‌تر سیستم دروازه‌ای و چیدمان خطی توصیه می‌شود (Moghayedi et al., 2024).

نتیجه

در پاسخ به پرسش پژوهش در خصوص ویژگی‌های شناسایی‌شده‌ی طراحی مسکن ساخته شده با پرینت سه‌بُعدی می‌توان گفت که دیوارها در انتها فرم عصایی دارند، این امر به دلیل تأمین ایستایی می‌باشد. بارزترین شاخصه‌ی طراحی در این مدل مساکن دیوارهای منحنی و گوشه‌های گرد و نرم شده است. در طراحی به دلیل تأمین ایستایی و عایق، دیوارها به‌صورت دو لایه در نظر گرفته می‌شوند، می‌توان لایه‌ی داخلی را به‌صورت صاف جهت هماهنگی با چیدمان مبلمان و لایه‌ی بیرونی را به‌صورت موج‌دار جهت ایجاد نما طراحی کرد. در طراحی برای ساخت با پرینتر دروازه‌ای، استفاده از پلان‌های کشیده مستطیلی با دو ضلع صاف، موازی چهارچوب پرینتر جهت حداکثر بهره‌وری از دهانه‌ی چهارچوب دروازه‌ای توصیه می‌شود. در طراحی پلان به‌خصوص جهت ساخت با پرینتر دروازه‌ای بهتر است دیوارها راست‌خط و در دو جهت عمود بر هم، موازی چهارچوب پرینتر دروازه‌ای باشند. و پلان‌ها با حداقل دیوار داخلی و سبک یکپارچه طراحی شود. پنجره‌ها تا سقف ادامه میابند، این امر به دلیل کاهش نیاز به تکیه‌گاه هنگام ساخت برای بخش بالایی پنجره می‌باشد.

درحالی‌که تحقیقات موجود بینش‌های ارزشمندی را در مورد ویژگی‌های طراحی خانه‌های ساخته‌شده با چاپگرهای سه‌بُعدی ارائه می‌دهد، چندین شکاف دانش وجود دارد که تحقیقات بیشتر را ایجاب می‌کند. در مرحله اول، نیاز به بررسی یکپارچگی ساختاری و دوام طولانی مدت خانه‌های چاپ سه‌بُعدی، به‌ویژه زمانی که در معرض شرایط مختلف محیطی و نیروهای خارجی قرار می‌گیرند، وجود دارد. علاوه بر این، توسعه دستورالعمل‌های طراحی استاندارد و آیین‌نامه‌های ساختمانی برای خانه‌های پرینت سه‌بُعدی برای اطمینان از ایمنی و انطباق آن‌ها با الزامات قانونی ضروری است. علاوه بر این، تحقیقات آینده باید بر بهینه‌سازی فرآیندها و مواد پرینت سه‌بُعدی برای افزایش کارایی و مقرون‌به‌صرفه شدن ساخت خانه با این فناوری تمرکز کند. در این پژوهش بعد از بررسی نظام‌مند مساکن ساخته‌شده با فناوری پرینت سه‌بُعدی در سطح دنیا، نتایجی به شرح ذیل حاصل گردید. سیستم پرینتر دروازه‌ای و بتن پرکاربردترین نوع پرینتر و نوع مصالح در این فناوری هستند. باید توجه کرد در صورت امکان می‌توان از مصالح بومی و بازیافتی با انجام تقویت‌های لازم بهره جست. مدت زمان ساخت در این روش بویژه برای فرم‌های نامنظم و نااقلیدسی از روش‌های مشابه کم‌تر است ضمن اینکه در صورت ایجاد تمهیداتی می‌توان ۲۴ ساعته فرایند ساخت را انجام داد که این خود به افزایش بازده این روش کمک می‌کند. جهت اطمینان از عملکرد مناسب مسکن ساخته شده با این فناوری در برابر بارهای ثقلی و جانبی، علاوه بر میلگردگذاری دستی بین لایه‌های پرینت و افزودن مسلح کننده‌ها به بتن، در شرایطی فضاهایی را با پرینتر به‌عنوان شناژ می‌سازیم و در آن میلگردگذاری و بتن‌ریزی می‌نماییم. ویژگی‌های معماری شناسایی‌شده در موارد ساخته شده با این فناوری گستره‌ی وسیعی دارد که در جدولی به آن اشاره شده است اما به اختصار می‌توان گفت که پلان کشیده‌ی مستطیلی با دهانه‌ای تابع از دهانه‌ی پرینتر مناسب ساخت با پرینترهای دروازه‌ای است و پلان‌های سه‌شاخه و شعاعی، متناسب با شعاع بازوی رباتیک، مناسب ساخت با پرینتر بازوی رباتیک است. عموم مساکن ساخته شده در این روش یک طبقه و کم متراژ می‌باشد. ساخت سقف با توجه به نیاز به تکیه‌گاه برای انجام عملیات پرینت، در فرم‌های خودایستا با پرینتر صورت می‌گیرد و بقیه فرم‌ها در حال حاضر از روش‌های معمول ساخت سقف بهره می‌برند. این روش یکی از گزینه‌های مناسب برای مجموعه‌سازی است. بویژه وقتی فرم‌های متنوع و شخصی‌سازی انبوه مد نظر باشد استفاده از پرینتر سه‌بُعدی برای ساخت مجموعه‌های مسکونی یک طبقه با تمرکز بر شخصی‌سازی، بهترین گزینه خواهد بود. در زمینه‌ی مجموعه سازی و نوع گسترش چیدمان نیز می‌توان اذعان

کرد که چیدمان خطی‌شطرنجی از چیدمان شعاعی بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. در نهایت، جهت ساخت فرم‌های کوچک‌تر و با جزئیات بیشتر و با تعداد کم‌تر، پرینتر بازوی رباتیک و برای فرم‌های پیوسته با تعداد بیشتر و فرم‌های ساده‌تر، پرینتر دروازه‌ای توصیه می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1. ICON.

فهرست منابع

Ahmed, G. H., Askandar, N. H., & Jumaa, G. B. (2022). A review of largescale 3DCP: Material characteristics, mix design, printing process, and reinforcement strategies. *Structures 2022 Publisher: Elsevier*. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.06.068,

Akulova, I. I., & Slavcheva, G. S. (2020). Methodical Approach to Calculation of the Maintenance Cost for 3D Built Printing Equipment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *753*. DOI:10.1088/1757-899X/753/5/0 52056

Alami, A. H., Olabi, A. G., Ayoub, M., Aljaghoub, H., Alasad, S., & Abdelkareem, M. A. (2023). 3D Concrete Printing: Recent Progress, Applications, Challenges, and Role in Achieving Sustainable Development Goals. *Buildings*, *13*(4), 924. https://doi.org/10.3390/buildings13040924ht

Allouzi, R., Al-Azhari, W., & Allouzi, R. (2020). Conventional construction and 3D printing: A comparison study on material cost in Jordan. *Journal of Engineering*, *2020*(1), 1424682. https://doi.org/10.1155/2020/1424682

Arnold, L., Jöhnk, J., Vogt, F., & Urbach, N. (2022). IIoT platforms' architectural features- a taxonomy and five prevalent archetypes. *Electronic Markets*, *32*(2), 927-944. https://link.springer.com/article/10.1007/s12525-021-00520-0

Asaf, O., Bentur, A., Larianovsky, P., & Sprecher, A. (2023). From soil to printed structures: A systematic approach to designing clay-based materials for 3D printing in construction and architecture. *Construction and Building Materials*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133783

Batikha, M., Jotangia, R., Baaj, M. Y., & Mousleh, I. (2022). 3D concrete printing for sustainable and economical construction: A comparative study. *Automation in Construction*, *134*, 104087. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104087

Bazli, M., Ashrafi, H., Rajabipour, A., & Kutay, C. (2023). 3D printing for remote housing: Benefits and challenges. *Automation in Construction*, *148*, 104772. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104772

Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business horizons*, *55*(2), 155-162. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003

Besklubova, S., Skibniewski, M. J., & Zhang, X. (2021). Factors affecting 3D printing technology adaptation in construction. *Journal of construction engineering and management*, *147*(5), 04021026. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002034

Bici, A., & Yunitsyna, A. (2023). Analysis of 3D printing techniques for building construction: a review. *Construction Robotics*, *7*(2), 107-123. https://doi.org/10.1007/s41693-023-00108-4

Budiono, H. S., Hilmy, F., & Taufik, I. (2023). The Effect of Printing Speed Variations on Dimensional Stability of 3D Printing Results Made from Waste Bottle Filament. *Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik)*, *7*(1), 187-194. https://doi.org/10.37339/e-komtek.v7i1.1114

Bulakh, I. (2019). Common features of architectural design of the medical purpose building. *Science & Technique.* https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-4-311-318

Buswell, R. A., Bos, F. P., Silva, W. R. L. d., Hack, N., Kloft, H., Lowke, D., Freund, N., Fromm, A., Dini, E., & Wangler, T. (2022). Digital fabrication with cement-based materials: process classification and case studies. *Digital Fabrication with Cement-Based Materials: State-of-the-Art Report of the RILEM TC 276-DFC*, 11-48. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90535-4_2

Chathuranga, S., Jayasinghe, S., Antuchevičienė, J., Wickramarachchi, R., Udayanga, N., & Weerakkody, W. A. S. (2023). Practices Driving the Adoption of Agile Project Management Methodologies in the Design Stage of Building Construction Projects. *Buildings*. https://doi.org/10.3390/buildings13041079

Dancel, R. (2019). 3D printed house for disaster-affected areas. *Disaster Risk Reduction and Infrastructure Development (DRRID) Forum.* https://www.researchgate.net/profile/Robert-Dancel/publication/332833519_3D_Printed_House_for_Disaster_Affected_Areas/links/5ccbe4d54585153c8c6839f7/3D-Printed-House-for-Disaster-Affected-Areas.pdf

Davidson, J. R., Appuhamillage, G. A., Thompson, C. M., Voit, W., & Smaldone, R. A. (2016). Design paradigm utilizing reversible Diels–Alder reactions to enhance the mechanical properties of 3D printed materials. *ACS applied materials & interfaces*, *8*(26), 16961-16966. https://doi.org/10.1021/acsami.6b05118

Dörfler, K., Dielemans, G., Leutenegger, S., Jenny, S. E., Pankert, J., Sustarevas, J., Lachmayer, L., Raatz, A., & Lowke, D. (2024). Advancing construction in existing contexts: Prospects and barriers of 3d printing with mobile robots for building maintenance and repair. *Cement and Concrete Research*, *186*, 107656. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2024.107656

El-Sayegh, S., Romdhane, L., & Manjikian, S. (2020). A critical review of 3D printing in construction: Benefits, challenges, and risks. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, *20*(2), 1-25. https://doi.org/10.1007/s43452-020-00038-w

Feng, L., & Yuhong, L. (2014). Study on the status quo and problems of 3D printed buildings in China. *Global Journal of Human-Social Science Research*, *14*(5), 1-4. https://doi.org/10.3390/buildings14051216

García-Alvarado, R., Moroni-Orellana, G., & Banda-Pérez, P. (2021). Architectural evaluation of 3D-printed buildings.

Buildings, *11*(6), 254. https://doi.org/10.3390/buildings11060254

García-Alvarado, R., Moroni-Orellana, G., & Banda, P. (2022). Development of variable residential buildings with 3D-printed walls. *Buildings*, *12*(11), 1796. https://doi.org/10.3390/buildings12111796

Garcia-Alvarado, R., Soza-Ruiz, P., Valenzuela-Astudillo, E., Martuffi-Lazo, D., & Duarte, J. P. (2024). Development of a Generative Design System for 3D-Printed Houses in Chile. *Buildings*, *14*(9), 2939. https://doi.org/10.3390/buildings14092939

Gebhard, L., Mata-Falcón, J., Anton, A., Dillenburger, B., & Kaufmann, W. (2021). Structural behaviour of 3D printed concrete beams with various reinforcement strategies. *Engineering Structures*, *240*, 112380. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112380

Ghaffar, S. H., Corker, J., & Fan, M. (2018). Additive manufacturing technology and its implementation in construction as an eco-innovative solution. *Automation in Construction*, *93*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.005

Ghosh, B., & Karmakar, S. (2024). 3D Printing Technology and Future of Construction: A Review. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, https://doi.org/10.1088/1755-1315/1326/1/012001

Hager, I., Golonka, A., & Putanowicz, R. (2016). 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? *Procedia Engineering*, *151*, 292-299. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357

Hossain, M. A., Zhumabekova, A., Paul, S. C., & Kim, J. R. (2020). A review of 3D printing in construction and its impact on the labor market. *Sustainability*, *12*(20), 8492. https://doi.org/10.3390/su12208492

Hou, J.-U., Kim, D.-G., Choi, S., & Lee, H.-K. (2015). 3D print-scan resilient watermarking using a histogram-based circular shift coding structure. Proceedings of the 3rd ACM workshop on information hiding and multimedia security, https://doi.org/10.1145/2756601.2756607

Huber, T., Burger, J., Mata-Falcón, J., & Kaufmann, W. (2023). Structural design and testing of material optimized ribbed RC slabs with 3D printed formwork. *Structural Concrete*, *24*(2), 1932-1955. https://doi.org/10.1002/suco.202200633

Hwang, B.-g., Shan, M., & Supa'at, N. N. B. (2017). Green commercial building projects in Singapore: Critical risk factors and mitigation measures. *Sustainable cities and Society*, *30*, 237-247. https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.01.020

Iftekar, S. F., Aabid, A., Amir, A., & Baig, M. (2023). Advancements and Limitations in 3D Printing Materials and Technologies: A Critical Review. *Polymers*, *15*. https://doi.org/10.3390/polym15112519

Khoshnevis, B. (2004). Automated construction by contour crafting-related robotics and information technologies. *Automation in Construction*, *13*(1), 5-19. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2003.08.012

Kothapuram, S., Jiawei, S., Mei-Ling, L., & Han, L. *Digital Vernacular*. https://doi.org/10.52842/conf.acadia.2012.187

Leng, Y., Shi, X., Hiroatsu, F., Kalachev, A., & Wan, D. (2023). Automated construction for human–robot interaction in wooden buildings: Integrated robotic construction and digital design of iSMART wooden arches. *Journal of Field Robotics*, *40*(4), 810-827. https://doi.org/10.1002/rob.22154

Lu, B., Li, M., Lao, W., Weng, Y., Qian, S., Tan, M. J., & Leong, K. F. (2018). Effect of spray-based printing parameters on cementitious material distribution. *2018 International Solid Freeform Fabrication Symposium*. https://doi.org/10.32656/2018_29sff_symposium_aug13-15_01

Mechtcherine, V., Grafe, J., Nerella, V. N., Spaniol, E., Hertel, M., & Füssel, U. (2018). 3D-printed steel reinforcement for digital concrete construction–Manufacture, mechanical properties and bond behaviour. *Construction and Building Materials*, *179*, 125-137. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.202

Moghayedi, A., Mahachi, J., Lediga, R., Mosiea, T., & Phalafala, E. (2024). Revolutionizing affordable housing in Africa: A comprehensive technical and sustainability study of 3D-printing technology. *Sustainable cities and Society*, *105*, 105329. https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105329

Moretti, M. (2023). WASP in the Edge of 3D Printing. In *3D Printing for Construction with Alternative Materials* (pp. 57-65). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09319-7_3

Nadgorny, M., Collins, J., Xiao, Z., Scales, P. J., & Connal, L. A. (2018). 3D-printing of dynamic self-healing cryogels with tuneable properties. *Polymer Chemistry*, *9*(13), 1684-1692. https://doi.org/10.1039/c7py01945a

Natapov, A., Parush, A., Laufer, L., & Fisher-Gewirtzman, D. (2022). Architectural features and indoor evacuation wayfinding: The starting point matters. *Safety science*, *145*, 105483. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105483

Petrick, I. J., & Simpson, T. W. (2013). 3D printing disrupts manufacturing: how economies of one create new rules of competition. *Research-Technology Management*, *56*(6), 12-16. https://doi.org/10.5437/08956308x5606193

Rahul, A., Santhanam, M., Meena, H., & Ghani, Z. (2019). 3D printable concrete: Mixture design and test methods. *Cement and Concrete Composites*, *97*, 13-23. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.12.014

Robayo-Salazar, R., de Gutiérrez, R. M., Villaquirán-Caicedo, M. A., & Arjona, S. D. (2023). 3D printing with cementitious materials: Challenges and opportunities for the construction sector. *Automation in Construction*, *146*, 104693. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104693

Schuldt, S. J., Jagoda, J. A., Hoisington, A. J., & Delorit, J. D. (2021). A systematic review and analysis of the viability of 3D-printed construction in remote environments. *Automation in Construction*, *125*, 103642. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103642

Song, Y., & Liao, C. (2023). Research on the architectural

features and artistic elements of traditional buildings in different regions of Jiangxi, China. *Buildings*, *13*(7), 1597. https://doi.org/10.3390/buildings13071597

Sovetova, M., & Calautit, J. K. (2024). Thermal and energy efficiency in 3D-printed Buildings: Review of geometric Design, materials and printing processes. *Energy and buildings*, 114731. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114731

Teixeira, J., Zuazua-Ros, A., Jesus, M., Rangel, B., & Sofia Guimarães, A. (2023). How 3DPC Will Transform Architectural Design. In *3D Printing for Construction with Alternative Materials* (pp. 1-31). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09319-7_1

Tian, J., Yuan, J., Li, H., Yao, D., & Chen, G. (2021). Advanced surface color quality assessment in paper-based full-color 3D printing. *Materials*, *14*(4), 736. https://doi.org/10.3390/ma14040736

Tofani, L., et al. (2019). "Building the Future: 3D Printing in Architecture." *Journal of Building Technology*. page ix. https://doi.org/10.1016/b978-0-323-58118-9.05001-6

Uppala, S. S., & Tadikamalla, M. R. (2017). A review on 3D printing of concrete-the future of sustainable construction. *i-Manager's Journal on Civil Engineering*, *7*(3), 49. https://doi.org/10.26634/jce.7.3.13610

Volpe, S., Sangiorgio, V., Fiorito, F., & Varum, H. (2024). Overview of 3D construction printing and future perspectives: A review of technology, companies and research progression. *Architectural Science Review*, *67*(1), 1-22. https://doi.org/10.1080/00038628.2022.2154740

Wang, C., & Zhou, Z.-y. (2023). Optical Properties and Lampshade Design Applications of PLA 3D Printing Materials. *BioResources*, *18*(1). https://doi.org/10.15376/biores. 18.1.1545-1553

Wilson, T. T., Mativenga, P. T., & Marnewick, A. L. (2023). Sustainability of 3D Printing in Infrastructure Development. *Procedia CIRP*, *120*, 195-200. https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.08.035

Wu, P., Wang, J., & Wang, X. (2016). A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. *Automation in Construction*, *68*, 21-31. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005

Xiao, J., Ji, G., Zhang, Y., Ma, G., Mechtcherine, V., Pan, J., Wang, L., Ding, T., Duan, Z., & Du, S. (2021). Large-scale 3D printing concrete technology: Current status and future opportunities. *Cement and Concrete Composites*, *122*, 104115. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104115.

Xiao, J., Liu, H., Ding, T., & Ma, G. (2021). 3D printed concrete components and structures: An overview. *Sustain. Struct*, *1*(000006), 10-54113. https://doi.org/10.54113/j.sust.2021.000006

Youssef, M., & Abbas, L. (2023). Applying 3d printing technology in constructing sustainable houses. *Architecture and Planning Journal (APJ)*, *29*(1), 4. https://doi.org/10.54729/2789-8547.1190

Yuan, J., Chen, C., Yao, D., & Chen, G. (2020). 3D printing of oil paintings based on material jetting and its reduction of staircase effect. *Polymers*, *12*(11), 2536. https://doi.org/10.3390/polym12112536

Zhang, Y., He, M., Wang, L., Yan, J., Ma, B., Zhu, X., Ok, Y. S., Mechtcherine, V., & Tsang, D. C. (2022). Biochar as construction materials for achieving carbon neutrality. *Biochar*, *4*(1), 59. https://link.springer.com/article/10.1007/s42773-022-00182-x