الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي
الجامعة الوطنية الخاصة
كلية الهندسة المدنية

هل ستكون تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد مستقبل البناء؟

إعداد وتقديم

قصي عمار كعيد

عبيدة عبد الحليم خطاب

اشراف

الدكتورة المهندسة مجد المحمود

2025/1446

الملخص:

تقدم هذه الحلقة البحثية أحد أخر تطورات التكنولوجيا الجديدة وهي الطباعة ثلاثية الأبعاد، كما وتم وصف أهم وأحدث تقنيات الطابعة ثلاثية الأبعاد في هذه الحلقة البحثية، حيث ستكون هذه التقنيات واعدة جدا وقادرة على احداث ثورة في عالم البناء، فهي تتمتع بالعديد من المزايا، مثل تقليل التكاليف والوقت وتقليل تلوث البيئة وتقليل الإصابات والوفيات في مواقع البناء.

تم في هذه الحلقة ذكر نمذجة المعلومات(BIM) مع تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد بالمقارنة مع تقنية البناء التقليدية.

على الرغم من أن هذه التقنيات لديها العديد من المزايا والفوائد، لكن هناك بعض المخاوف التي تم تلخيصها ثم تم تقديم بعض الأمثلة عن المباني المطبوعة ثلاثية الابعاد.

المقدمة:

العديد من العلماء يتفقون بشكل قاطع على أننا حالياً على حدود ثورة صناعية رابعة. جَلبت لنا الثورة الصناعية الأولى الإنتاج الميكانيكي، والثانية الإنتاج الضخم والثالثة الإنتاج الآلي، والآن نجد أنفسنا في منعطف آخر في التاريخ، فماذا ستجلب لنا الثورة الصناعية الرابعة مع السرعة الحالية للبحث والتطوير التكنولوجي، فمن الصعب تخيل ما سيكون عليه مستقبلنا بعد 10 أو 20 أو حتى 50 عام من الآن.

من المؤكد أن ظهور هذه التقنيات الجديدة سَيُعطل كل صناعة في جميع المناطق الجغرافية بما في ذلك صناعة البناء والتشييد، في الحقيقة أدى التقدم في مجال الروبوتات إلى ظهور واعتماد تقنيات جديدة في البناء مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد، حيث أصبحت الشركات الآن قادرة على طباعة المنازل بأكملها ثلاثية الأبعاد، **فالطباعة ثلاثية الأبعاد يعرفها العلماء بأنها عملية تصنيع تخلق كائناً مادياً من تصميم رقمي.**

تعمل العملية عن طريق وضع طبقات رقيقة من المواد في شكل بلاستيك أو معدن أو إسمنت ومن ثم تدمج معاً. فالطباعة ثلاثية الأبعاد هي تقنية العصر الجديد وهي على وشك احتلال السوق حيث ستكون قادرة على إنتاج المساكن بكميات كبيرة.

تُعد الطباعة ثلاثية الأبعاد وسيلة أساسية للبناء مع الحد الأدنى من الرقابة البشرية بالإضافة إلى بناء المنازل بغضون ساعات حيث تتميز المنازل المطبوعة ثلاثية الأبعاد بأشكال منحنية حرة الشكل مصنوعة من مزيج الإسمنت، كما أنها تتطلب آلات صناعية كبيرة مثل طابعة MudBots concrete ثلاثية الأبعاد، وهناك عدة أنواع من الطابعات وأنظمة الذراع الروبوتية وأنظمة من نوع الجسر ، حيث أن هذا

التصميم يكون مبرمج مسبقاً لإيداع المواد بدقة وهذه المواد عادة ما تكون ملموسة وبمجرد اكتمال عملية الطبقات يعود المهندسون إلى طرق البناء التقليدية لمناطق أخرى من المنزل مثل التشطيبات الداخلية والأسلاك الكهربائية والعزل ، فإذا كنت تبحث عن خيار سكن فعال ولن يُكلف ذراعاً وساق للبناء ، فإن المستقبل هنا.

ترتفع المنازل المطبوعة ثلاثية الأبعاد في أوروبا منذ ما يقارب عقد من الزمان، ففي عام 2018 تم رفع أول منزل مطبوع ثلاثي الأبعاد في أوستن كانت غرفتين فقط، ومن هذه البداية المتواضعة تُرسخ هذا الاتجاه في الولايات المتحدة الأمريكية ومنها إلى جميع أنحاء العالم.[13]

المنزل المطبوع ثلاثي الأبعاد:

يعتقد الكثيرون أن الطابعات ثلاثية الأبعاد ظهرت فجأة وأصبحت شائعة، ولكن الأمر ليس كذلك؛ إذ أن قصتها تعود إلى عام 1939، عندما أنشأ المخترع ويليام إي أورشيل أول مبنى خرساني مطبوع بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد خلف مستودع صغير في ولاية إنديانا بالولايات المتحدة كما هو مبين بالشكل (1).

الشكل(1): أول منزل مطبوع عام 1939م

عرفت وقتها بما يسمى "آلة بناء الجدران" من آلية دق أوتوماتيكية تعمل على ضغط الخرسانة بين أقراص دوارة، وتثبيت وتنعيم كل طبقة أثناء ضغط المادة. وقد حدث الكثير منذ ذلك الحين في القصة التطورية للطباعة ثلاثية الأبعاد؛ ولكنها قصة لا تزال غير مكتملة. [10]

لكن من اخترع طابعة ثلاثية الأبعاد الرقمية هو تشاك هول (Chuck Hull) في عام 1984حيث قام بإنشاء تقنية تُعرف باسم التصوير ثلاثي الأبعاد (Stereolithography - SLA)، والتي تستخدم الضوء الأموني لتصلب طبقات رقيقة من الألياف الصلبة لتشكيل الأجسام ثلاثية الأبعاد .

نقطة البداية لأي عملية طباعة ثلاثية الأبعاد هي نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد والذي يمكن إنشاؤه باستخدام مجموعة متنوعة من برامج الكمبيوتر ثلاثية الأبعاد. يبدأ بمسح النموذج باستخدام ماسح ضوئي ثلاثي الأبعاد ثم يتم تقطيع النموذج إلى طبقات وبالتالي تحويل التصميم إلى ملف يمكن قراءته بواسطة الطابعة ثلاثية الأبعاد ثم يتم وضع المواد التي تعالجها الطابعة ثلاثية الأبعاد في طبقات وفقاً للمطلوب، فهناك عدد من تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد التي تعالج مواد مختلفة بطرق مختلفة لإنشاء الكائن النهائي.

فالمنزل المطبوع هو أي مسكن بهيكل يتم فيه توزيع المواد في طبقات وفقاً للتخطيطات الرقمية، غالباً ما يتم إنتاج المنزل المطبوع باستخدام إضافات آلية يتم تطبيقها على المنزل، مثل طبقات الخرسانة المفردة والتي يتم بثقها بشكل متكرر باستخدام نظام جسر ثلاثي الأبعاد، حيث يتكون خليط الخرسانة عادة من المادة الرابطة ومجموعات الرمل الناعم جنباً إلى جنب مع بعض الخلطات المعدنية أو المواد المضافة. عادةً ما يتم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي (c) والرماد المتطاير (FA) وخبث الفرن العالي الحبيبي ودخان السيليكا (SF) والسيليكا النانوية بنسب مختلفة لتشكيل المادة الرابطة (FA) وهي منتج ثانوي يتم الحصول عليه من محطة الطاقة، عادة ما يكون هذا الخليط الخرساني الطازج قادر على تحمل قيمة محدودة من الإجهاد يشير إليها باسم إجهاد الخضوع ، عند إجهاد أقل من إجهاد الخضوع يمكن التعامل مع الخرسانة على أنها مرنة لزجة أو صلبة مرنة مع زيادة الإجهاد إلى ما بعد هذه القيمة تصبح الخرسانة لدنة وهذا ما يتم في الخرسانة التقليدية. [14,9]

يسمح بناء طبقات الخرسانة فوق بعضها البعض بالتتابع بإكمال هيكل الجدار باستخدام تكنولوجيا التي تطبق المبادئ الحديثة. هذه المنازل الناتجة عن تقنية بناء الطباعة ثلاثية الأبعاد هي الأكثر احتمالية لإحداث ثورة صناعية في عالم البناء، تتمثل أهم مزاياها في تقليل التكاليف ووقت البناء وتقليل التلوث البيئي، وإمكانية زيادة كفاءة الطاقة.[12]

آلية عمل الطابعة ثلاثية الأبعاد:

قبل تشغيل الجهاز لطباعة المنزل المطلوب، هناك عملية يجب اتباعها عندما يتعلق الأمر بتقنية البناء هذه:

<u>إنشاء نموذج أولي</u>: هناك حاجة إلى مخطط أولي للكائن المراد طباعته، في الواقع هناك العديد من البرامج التي يمكن استخدامها لاستكشاف وتحديد كيفية أنشاء نموذج المطلوب.

إعداد الطابعة ثلاثية الأبعاد: تتم مشاركة المخطط مع مورد طابعة ثلاثية الأبعاد، الذي سيقوم بشحن ومعالجة التصميم باستخدام الجهاز. في مرحلة الإعداد هذه، يتم أيضا تحديد المواد الخام اللازمة لطباعة النموذج الأولي ومصادرها.

الطباعة: تبدأ الآلة في طباعة طبقة تلو الأخرى لصنع الأسس والجدران الرئيسية للمنزل. يمكن تطبيق العديد من تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة البناء والتشييد، ولكل تقنية مزاياها وقيودها، ومن تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد الأكثر استخداماً في عملية البناء ما يلي:

1- تقنية بثق المواد (Material Extrusion)

وهي التقنية الأكثر انتشاراً في صناعة البناء والتشييد، حيث يتمُّ بثق المواد من خلال فوهةٍ واحدة أو أكثر من الفوهات المُثبّتة في نهاية ذراعٍ آلية (Robot arm)، أو في نظام آليةٍ جسريه، أو على رافعة، وتستخدم هذه التقنية في النماذج الأولية للبناء، وفي الإنتاج الفعلي للبناء.

2- تقنية دمج طبقات المساحيق (Powder bed fusion)

تختلف هذه التقنية عن التقنيات الأخرى، حيث إنها تستخدم مادة المسحوق كمكونٍ أساسي لها، حيث يقوم الليزر بإذابة جزيئات مواد البناء في كل طبقةٍ مرغوبة من الجسم، ويتمُّ بالتزامن مع ذلك إضافة مادة المسحوق لتشكيل طبقةٍ جديدة، ويتمُّ تكرار العملية طبقةً بعد طبقة حتى تنتهي الطباعة، وتؤمّن هذه التقنية دقةً عالية، ويمكنها إنتاج التصاميم المُعقّدة.

3- نفث المواد الرابطة (Binder Jetting)

تستخدم تقنية نفث المادة الرابطة كدور رئيسي في الطباعة، حيث تقوم بتوزيع المادة الرابطة السائلة على طبقة المسحوق، وتقوم المادة الرابطة بدمج الجزيئات معًا، فيتمُّ تشكيل طبقة من الجسم، ثم تتمُّ إضافة طبقةٍ جديدة، وتتكرر العملية حتى تنتهي الطباعة، وتؤمّن هذه التقنية أيضاً دقةً عالية.

4- نفث المواد (الطباعة النفاثة ثلاثية الأبعاد) (Material Jetting)

وتُسمّى أحياناً الرش (Spray)، وتستخدم هذه التقنية روبوتاً مستقلاً، يقوم بنفث مواد البناء المضغوطة بطريقةٍ انتقائيةٍ للحصول على طبقةٍ من طبقات الشكل المُصمّم المطلوب، وتُكرر العملية طبقةً بعد طبقة. تترك هذه التقنية تجاويف يمكن ملؤها بعد ذلك بالخرسانة، ويتمُّ حاليًا البحث عن تطبيق هذه التقنية لإنتاج عناصر البناء الشاقولية، وعناصر بناءٍ أخرى، مثل: الواجهات، أو زخارف السقف.

5- تقنية دمج طبقات الرمل (Sand Layers)

تتضمن وضع طبقاتٍ من الرمل لإنشاء الهيكل، وتقوم الطابعة بتفريغ (بتحرير) حبيباتٍ من الرمل في المكان المطلوب حتى الوصول إلى السماكة المطلوبة، ويتمُّ بعد ذلك تحرير قطراتٍ من سائل مادةٍ رابطة بواسطة الطابعة، والتي تعمل على تقوية الرمال وربطها.

تناسب هذه التقنية إنشاء هياكل صغيرة أو أجزاء من مكونات البناء، والمواد المستخدمة في هذه التقنية غالبًا ما تكون رخيصة الثمن، ومتوفرة بسهولة، وهي أيضًا تقنيةٌ بسيطةٌ نسبيًا، وتتطلب معداتٍ أقلَّ تخصصًا من بعض طرق الطباعة ثلاثية الأبعاد.

التشطيبات الإضافية: بمجرد بناء الهيكل الرئيسي للمنزل، هناك حاجة إلى منشآت إضافية لتقديم حل سكني كامل، مثل السباكة والمنشآت الكهربائية والطلاء والنوافذ والأبواب، من بين أمور أخرى. [7]

بشكل عام، يمكن بناء الهيكل الأساسي للمنزل في حوالي 24 ساعة باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد (الأساس والجدران) ويبين الشكل (2) منزل مطبوع بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد.

الشكل (2): منزل مطبوع بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد

بعض من أنواع الطابعات ثلاثية الأبعاد:

تتطلب منازل الطباعة ثلاثية الأبعاد آلات صناعية كبيرة مثل طابعة ساركا ثلاثية الأبعاد الثقيلة (57500 دولار) أو طابعة MudBots Concrete ثلاثية الأبعاد (128،000 دولار). أرخص طابعة بناء ثلاثية الأبعاد يمكنني العثور عليها مصنوعة أيضا من قبل MudBot، وتستخدم لإنتاج منازل أصغر (35،000 دولار)، في حين أن طابعات البناء ثلاثية الأبعاد الأخرى يمكن أن تكلف أكثر من مليون دولار. هناك نوعان من طابعات البناء ثلاثية الأبعاد، وأنظمة الذراع الروبوتية والأنظمة من نوع الجسر

(هيكل الإطار الذي يدعم رأس الطابعة على طول المحور X / Y)، حيث تكون الأذرع الروبوتية عادة الأكثر تكلفة من الاثنين. [2] ويبين الشكل (3) شكل الطابعة ثلاثية الأبعاد.

الشكل (3): شكل الطابعة ثلاثية الأبعاد

BIM في الطباعة ثلاثية الأبعاد:

مجموعة منسقة من العمليات، مدعومة بالتكنولوجيا التي تضيف قيمة من خلال إنشاء وإدارة ومشاركة خصائص الأصل. طريقة عمل مبتكرة وتعاونية مدعومة بالتقنيات الرقمية التي تدعم طرقاً أكثر كفاءة لتصميم وإنشاء وصيانة البيئة المبنية. يمكن لـ BIM تسهيل عملية تصميم وبناء أكثر تكاملاً وتوليد فوائد كبيرة. على سبيل المثال، أخطاء أقل في تنسيق التصميم، وحلول تصميم أكثر كفاءة في استخدام الطاقة، وتقدير أسرع للتكاليف، وأوقات دورة إنتاج أقل وأقل. يقدم BIM نموذج عمل جديد يقدم وجهات نظر

قوية لدمج وتنسيق المجالات المختلفة والعمليات والمشاركة في تصميم المباني وإنشائها وتشغيلها. المخطط الأساسي لبياناتBIM هو Classes Foundation Industry، وهو معيار دولي لتبادل بيانات BIM، والذي يوفر مخطط بيانات عام يغطي فيها خدمات البناء والعناصر الهيكلية.

نمذجة معلومات البناء هي عملية متكاملة مصممة لتوليد وإدارة بيانات البناء من التصميم إلى البناء. يمكن أيضاً استخدام هذه العملية في دورة حياة البناء والصيانة والعمليات وتحليل التكاليف. تستخدم عملية BIM برامج ثلاثية الأبعاد لزيادة تنسيق المشروع والتواصل مع العديد من المهن لتوفير منتج نهائي أفضل للمستخدم. BIM لديها الإمكانات الواعدة لتوجيه الشركات من خلال التقييم كل خطوة من خطوات عملية البناء وحتى بعد اكتمال البناء. وفقاً للجنة مشروع معيار نموذج معلومات البناء الوطني الأمريكية، فإن BIM هو "تمثيل رقمي للخصائص المادية والوظيفية للمنشأة. BIM هو مورد معرفي مشترك للمعلومات حول المنشأة التي تشكل أساساً موثوقاً للقرارات ويتم تعريفها على أنها موجودة من التصور الأول إلى الهدم."

وفي الوقت نفسه، تشكل تقنية BIM قلب حركة البناء المطبوعة ثلاثية الأبعاد، حيث توفر البرمجيات اللازمة لإدارة عملية التصميم والبناء وبقيادة نظام BIM، ستقوم الروبوتات بتركيب وتجميع ولحام وتلميع الصفائح المعدنية. حيث قال المهندس المعماري النمساوي بريكس: إن الجمع بين الروبوتات واستخدام مكونات البناء المطبوعة ثلاثية الأبعاد سيجعل من السهل إنشاء مباني ذات أشكال معقدة. وأشار إلى أن الأمر أسرع أيضاً، "عادةً ما يستغرق هذا الجزء من المبنى ثمانية أشهر مع 160 عاملاً في الموقع"، كما قال بريكس: "الآن نحتاج إلى ثمانية عمال في الموقع، ويستغرق الأمر 12 أسبوعاً". مع البناء السريع، والعمالة الأقل، والتكلفة المنخفضة [11]

تكاليف المنازل المطبوعة ثلاثية الأبعاد:

تختلف تكلفة المنزل المطبوع ثلاثي الأبعاد من مشروع إلى آخر وتستند إلى الشركات المستأجرة والمواد المستخدمة، ناهيك عن الموقع الجغرافي والحجم ووسائل الراحة وتعقيد التصميم وما إلى ذلك. وصلت المنازل المطبوعة ثلاثية الأبعاد لأول مرة إلى السوق الأمريكية في بداية عام 2021 المنزل الذي تبلغ مساحته 1407 متر مربع، مكتمل بثلاث غرف نوم وحمامين ومرآب لسيارتين في ريفرهيد، نيويورك مدرج على أنه "أول منزل مطبوع ثلاثي الأبعاد للبيع في العالم" مقابل 299,999 دولار.

ومن الشركات الرائدة التي تحرز تقدما في المنازل المطبوعة ثلاثية الأبعاد هي شركات مثل D Wasp3 الإيطالية وCOBO ومقرها الدنمارك وApis Cor وIcon ومقرها الولايات المتحدة.

فيما يلي بعض النماذج الأولية للمنازل وأسعارها التي تم طباعتها ثلاثية الأبعاد من قبل شركات مثل WASP (منزل 1000 دولار – 215 متر مربعا)؛ ICON (10،000 دولار – 650 متر مربع)؛ WINSUN (161,000 دولار – 11،840 مبنى سكني متر مربع) وOUEST FRANCE (270،000 دولار منزل عائلي مكون من 5 غرف). حيث قالت ICON، وهي شركة إنشاءات للطباعة ثلاثية الأبعاد، أنها تستطيع إنتاج مبنى اقتصادي مساحته من 600 إلى 800 متر مربع مقابل أقل من 4000 دولار في 24 ساعة. حيث يكلف المنزل المطبوع ثلاثي الأبعاد 10000 دولار إلى 35000 دولار لطباعة الجدران والأرضية فقط. يكلف المنزل المطبوع ثلاثي الأبعاد المكتمل بالكامل مع السباكة والأسلاك الكهربائية 150،000 دولار إلى أكثر من 500،000 دولار، اعتمادا على الحجم والتصميم والميزات. معظم المنازل المطبوعة ثلاثية الأبعاد مصنوعة من الخرسانة ويمكن أن تستمر لأكثر من 50 عاما. ويعرف المنزل الفاخر على طراز المزرعة في منتصف القرن باسم House Zero، وهو عقار مساحته 2000 متر مربع مع وحدة سكنية ملحقة تبلغ مساحتها 350 متر مربعا. فقط استنادا إلى الحجم والموقع، قدرت زيلو سعر هذا العقار المكون من أربع غرف نوم وثلاثة حمامات ونصف ب 723،000 دولار إلى 908،000 دولار، وفقا لمجلة All3DP المتخصصة عبر الإنترنت. ومع ذلك، فإن تصميمه الاستثنائي الفريد من نوعه قد يدفعه إلى نطاق الأسعار المكون من سبعة أرقام. يقول الرئيس التنفيذي للتكنولوجيا في SQ4D: "على الرغم من أن الهدف هو تمرير بعض وفورات التكاليف إلى مشتري المنزل، إلا أن السوق يملي في نهاية المطاف سعر المنازل المبنية. على الرغم من أنه يمكن إدراج المنازل المطبوعة ثلاثية الأبعاد بسعر طلب أقل، إلا أن ما يرغب المستهلكون في دفعه يحدد سعر البيع لأن العروض فوق سعر الطلب هي التي تفوز بشكل عام. تم إدراج أحدث منزل SQ4D الذي تبلغ مساحته 2000 متر مربع بسعر 499،999 دولارا وتم بيعه بسعر 550،000 دولار، أي أعلى بنسبة 10٪ من سعر الطلب. "وهناك عوامل تؤثر على تكلفة المنزل المطبوع ثلاثي الأبعاد":

1.**حجم المنزل وتصميمه:** حجم المنزل وعدد الحصص والتخطيط وتعقيد التصميم له أكبر تأثير على تكلفة الطباعة ثلاثية الأبعاد للجدران والأرضية.

2.**المرافق:** بعد الطباعة ثلاثية الأبعاد لجدران المنزل وأرضيته، يجب على المهندسون تركيب أنابيب السباكة والتركيبات والأسلاك الكهربائية وقنوات التكييف. استشر شركة الطباعة ثلاثية الأبعاد للتأكد من ترك القنوات اللازمة داخل الجدران لتشغيل الأنابيب والقناة. إذا لم يكن الأمر كذلك، فقد يحتاج المهندسون إلى قطع الجدران، وزيادة التكاليف وتقليل سلامة الهيكل وكفاءة الطاقة.

3.**الأبواب والنوافذ:** باستخدام المخططات لمنزلك، ستترك شركة الطباعة ثلاثية الأبعاد فتحات للأبواب والنوافذ عند طباعة الجدران. ومع ذلك، فإن سعر الطباعة ثلاثية الأبعاد لا يشمل الأبواب والنوافذ نفسها، والتي يجب شراؤها بشكل منفصل: تكلف النوافذ الجديدة 450 دولارا إلى 1500 دولار لكل منها، بما في ذلك التركيب.تكلف الأبواب الخارجية 500 دولار إلى 1900 دولار لكل منها، في حين أن الأبواب الداخلية تكلف 225 دولارا إلى 825 دولارا لكل منها.

4.**التشطيب الداخلي:** يمكن للمنشئ استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد لبناء الأرضية والجدران، ولكن بقية الأجزاء الداخلية ستتطلب التشطيب. ستؤثر المواد التي تختارها الإضاءة والتركيبات والتشطيبات الأخرى بشكل كبير على التكلفة الإجمالية.

5.**تكاليف العمالة:** الطباعة ثلاثية الأبعاد ليست سوى الخطوة الأولى في بناء المنزل. يتطلب بناء المنازل الجديدة العديد من المهنيين الآخرين، مثل السباكين والكهربائيين ومقاولي المطابخ والحمامات والرسامين وفنيي التكييف.

6.**الموقع الجغرافي:** سيؤثر موقعك على تكاليف العمالة والمواد والطقس، والتي يمكن أن تؤثر جميعها على إجمالي وقت البناء والتكلفة. يقول الرئيس التنفيذي لشركة ألكويست D3: "بمجرد أن تشتري منزلا، فإن المشكلة الكبيرة التي أراها مع عائلتي، على سبيل المثال، هي الحفاظ على المنزل، وأشياء مثل التكلفة التي لديك في الطاقة، والتكلفة التي لديك في الصيانة". "هذه المادة لا تحترق، لا توجد نفاذية للمياه، يمكنها تحمل رياح الإعصار." تنخفض تكلفة الطاقة التي لديك مع هذه المادة بنسبة 50٪ في اليوم الذي تنتقل فيه بسبب عامل R (قيمة العزل) للمادة. يمكن أن تستمر لمئات السنين بناء على قوة المادة وهذا يغير قواعد اللعبة للعائلات. [1,3,5,6,4]

ويوضح الشكل (4) أمثلة لمنازل مطبوعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد.

إيجابيات المنازل المطبوعة ثلاثية الأبعاد:

1.القدرة على تحمل التكاليف:

كما ذكر أعلاه، يعد البناء بأسعار معقولة نقطة إضافية ضخمة عندما يتعلق الأمر بمنزل مطبوع ثلاثي

الشكل (4): منازل مطبوعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد

الأبعاد. كلما كانت هناك حاجة إلى عمالة أقل، كلما أصبح المشروع أكثر بأسعار معقولة. يدعي زاكاري مانهايمر، مؤسس ورئيس مجلس إدارة Alquist 3D أنه "مع طاقم متمرس، يمكن إجراء مشروع طباعة ثلاثية الأبعاد مع ما لا يقل عن 2 من أفراد الطاقم البشري". تلعب تكلفة المواد أيضا دورا، كما يقول هنري "يتم أيضا تقليل تكلفة مواد البناء المستخدمة إلى حد كبير لأن الخرسانة هي مادة أرخص يمكن الحصول عليها محليا، وتستخدم بالكمية الدقيقة المطلوبة".

2.أسرع في البناء: الوقت والمال يسيران جنبا إلى جنب، وهو سبب كبير في أن المنازل المطبوعة ثلاثية الأبعاد أرخص، لأنها أسرع بكثير في البناء. يقول مانهايمر: "بدون مشاكل في الطقس أو المعدات، يمكن تحقيق معظم المطبوعات لمنزل مساحته 1200 قدم مربع في أقل من 20 ساعة". في حين أنه من الممكن بناء منزل في أقل من 24 ساعة، يمكنك عادة توقع أن يستغرق الأمر حوالي 10 أيام في المجموع. يضيف راغنو: "تضمن الدقة الروبوتية أن تكون الجدران عمودية ومستوية ومربعة تماما بالإضافة إلى الوقت اللازم للفرعيات (النوافذ والأبواب والخزائن والألواح وما إلى ذلك).

3.**صديق للبيئة وفعال:** يشير هنري إلى أنه "غالبا ما يكون هناك الكثير من النفايات في البناء التقليدي حيث يجب قطع مواد مثل الصفائح الصخرية والخشب".

4.**متين:** فهي مساكن متينة للغاية يمكنها تحمل العديد من التحديات. على سبيل المثال، يقول راغنو: "تم اختبار جدراننا المطبوعة ثلاثية الأبعاد لتكون أقوى بنسبة 33٪ من جدران الكتل الخرسانية،

ومقاومة النمل الأبيض والحشرات، ولا تتعفن، وهي مقاومة للأعاصير والصدمات، ومقاومة للفيضانات، ويتم تصنيفها للحريق لمدة 2.25 ساعة". تجدر الإشارة إلى أن هذه المنازل لم يتم اختبارها بعد على نطاق واسع على المدى الطويل لمعرفة طول متانتها على مدى سنوات عديدة.[3]

سلبيات المنازل المطبوعة ثلاثية الأبعاد:

1.**ليس هناك الكثير من التوافر:** قد يجادل البعض بأن الطابعات ثلاثية الأبعاد مرحب بها في وقت يوجد فيه نقص في العمالة في هذا المجال. ومع ذلك اليوم، وفقا لراجنو، لا يوجد الكثير من الطابعات المتاحة. ويعلق قائلا إن "مصنعي الطابعات بصدد زيادة الإنتاج لتلبية الطلب الهائل، ولكن هذا سيستغرق بعض الوقت. في الوقت الحالي، لا يزال هناك الآلاف من الأشخاص ينتظرون بدء بناء منازلهم المطبوعة ثلاثية الأبعاد." يردد مانهايمر ذلك بالقول: قد تنتظر بعض الوقت للحصول على طابعة لأن سلسلة التوريد محدودة".

2.**القوانين واللوائح:** لا يتم تحديث جميع قوانين ولوائح البناء للسماح بطرق بناء الطباعة ثلاثية الأبعاد. لذلك بدون هذه اللوائح المحددة، قد تكون بعض المناطق مترددة في الموافقة على هذا النوع من البناء للاستخدام السكني والتجاري". قد يعني ذلك تأخيرات في الحصول على الموافقات والتصاريح اللازمة قبل أن يبدأ البناء. يجب على الشركات التي تخطط لبناء مثل هذه المنازل أن تتوقع التدقيق من المسؤولين. ومع ذلك، في تجربة مانهايمر، لم يكن هذا هو الحال: "بمجرد أن يفهم المسؤولون خصائص المادة والعملية، يصعد أحدهم ويؤكد ذلك الشيء بسرعة.

3.**مواد محدودة:** نظرا لحقيقة أن الطابعات ثلاثية الأبعاد يمكنها فقط بناء المنازل باستخدام الخرسانة أو مواد مختلطة بشكل خاص، فهناك قيود. أولا، التصميم الجمالي للمنازل محدود، وغالبا ما يعني وجود طبقات مرئية ومظهر عصري. المواد المستخدمة تعني أيضا عدم القدرة على بناء المباني الشاهقة، بسبب نقص القوة للتعامل مع الضغط.

4.**اعتماد أقل على الحرفية:** يمكن أن يؤدي التقدم التكنولوجي الذي يحل محل وظائف العمال المهرة إلى صعوبة العثور على عمل على الناس. بالإضافة إلى ذلك، يتم فقدان اللمسات النهائية الدقيقة التي يمكن للحرفيين إحضارها إلى البناء عند الاعتماد على الآلات.[3]

بعض المشاريع التي تم إنجازها على المدى القريب:

1. بيوهوم D3

مركز الهياكل والمركبات المتقدمة بجامعة MAIN هو هياكل سكنية مطبوعة ثلاثية الأبعاد حصريا من الراتنجات الحيوية والألياف الخشبية لمكافحة نقص العمالة وتوسيع نطاق الوصول إلى المساكن بأسعار معقولة. يبدأ المشروع التجريبي، المعروف باسم BioHome3D، بنموذج أولي مساحته 600 متر مربع يتميز بأرضية وسقف مطبوعين ثلاثي الأبعاد بالكامل. بشكل عام المبنى المكون من غرفة نوم واحدة وحمام واحد قابل لإعادة التدوير بنسبة 100 في المائة، ويتكون بالكامل من مواد قابلة للتحلل الحيوي،

الشكل (5): مشروع بيوهوم D3

بما في ذلك دقيق الخشب. تم تجهيز BioHome3D بأجهزة استشعار للمراقبة، وقياس العناصر الحرارية والبيئية والهيكلية، لجمع البيانات القائمة على المرونة لإبلاغ التصاميم المستقبلية بشكل أفضل. [6]

2. منزل المواطن في ميشيغان المطبوع ثلاثي الأبعاد

في عام 2023، قامت شركة بناء المساكن Citizen Robotics ببناء أول منزل مطبوع ثلاثي الأبعاد في ميشيغان، بمساعدة تصميم من تطوير الهندسة المعمارية ورئيس فرع ديترويت للمنظمة الوطنية لمهندسي الأقليات. تطبق Citizen Robotics تقنيات البناء الروبوتية والآلية لتقليل التكاليف والمواد اللازمة لبناء المنازل. تمت طباعة منزلها المكون من غرفتي نوم الذي تبلغ مساحته 1000 متر مربع وشرائح الجدران المرفقة ثلاثية الأبعاد في منشأة جنوب غرب ديترويت التابعة للشركة، ثم تم وضعها وتجميعها في الموقع في حي آيلاندفيو في ديترويت. أصبح المنزل متاحا للشراء في عام 2024. الشكل (6) [6] .

الشكل (6): منزل المواطن في ميشيغان.

3. مساكن شارع شرق 17

تتميز هذه العقارات الأربعة في أوستن الشكل (7)، تكساس من قبل شركة الطباعة ثلاثية الأبعاد ICON بخطط أرضية مفتوحة، والحد الأدنى من الجماليات المعمارية والساحات الخاصة. تختلف هذه المساكن في الحجم، وتحتوي على غرفتي نوم إلى أربع غرف نوم وتتراوح من 1000 إلى 2000 قدم مربع. تم بناء كل طابق أرضي بمواد خاصة تعتمد على الأسمنت، يطلق عليها اسم "Lavacrete"، لتستمر لفترة أطول من مواد البناء التقليدية، وفقا لموقع الشركة الإلكتروني. [6]

الشكل (7): مساكن شارع شرق17.

4. منزل 1.0

بمساعدة الشركة المصنعة للطباعة ثلاثية الأبعاد COBOD، قامت شركة DCP Group3 الدنماركية الناشئة ببناء أول منزل صغير مطبوع ثلاثي الأبعاد في أوروبا في عام 2022. يقع هذا الهيكل الذي تبلغ مساحته 398 متر مربعا في هوستلبرو، الدنمارك، ويتكون من ثلاثة أقسام تندمج في قلب مفتوح على شكل مثلث الشكل (8). تم تصميم المساحة اقتصاديا وتحتوي على جميع وسائل الراحة الضرورية – حمام ومطبخ مفتوح وغرفة معيشة وغرفة نوم على طراز دور علوي على مستوى مرتفع. قال سيباستيان أرسطوتليس، المهندس المعماري في Saga Space Architects الذي صمم House 1.0، إن المشروع تم بناؤه بأقل تكلفة ممكنة، حيث اختار المطورون مواد غير مكلفة، مثل الخرسانة، وبناء المشروع باستخدام نهج منخفض إلى معدوم من النفايات [6]

الشكل (8): منزل 1.0

5. مجتمع مزرعة الذئب

أنشأت ICON حيا كاملا باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد. يقع مجتمع وولف رانش في جورجتاون، تكساس، ويتكون من 100 منزل مطبوع ثلاثي الأبعاد تم بناؤه بين عامي 2022 و2024 الشكل (9).

الشكل (9): مجتمع مزرعة الذئب.

يتكون كل منزل من طابق واحد، ويحتوي على ثلاث إلى أربع غرف نوم ويمتلك جدرانا خرسانية يمكن أن تصد النمل الأبيض والمناخ القاسي في تكساس. أنجزت ICON هذا العمل باستخدام طابعة فولكان، التي تمتد بعرض 45 متر وتزن ما يقرب من خمسة أطنان. [6]

6. منزل صفر

تعاونت ICON مع شركة LakeFlato المعمارية لبناء مسكن مكون من ثلاث غرف نوم وحمامين ونصف خارج وسط مدينة أوستن، تكساس. جدرانها المنحنية وزواياها المستديرة معزولة ب Lavacrete ومعززة بالفولاذ. إلى جانب وحدة سكنية ملحقة من غرفة نوم واحدة وحمام واحد، يصمم موقع ICON العقار الذي تبلغ مساحته 2350 قدما مربعا – والذي تم طباعته في أقل من أسبوعين – على أنه "جماليات منزل مزرعة حداثية في منتصف القرن". نظرا لتصميمها لاستهلاك صافي الطاقة الصفرية، أدرجت تايم هاوس زيرو في قائمة أفضل الاختراعات لعام 2022. [6]

الشكل (10): منزل صفر

7. مكتب دبي المستقبلي

صُمم المكتب المطبوع ثلاثي الأبعاد للجنة الوطنية لدولة الإمارات العربية المتحدة كمقر لمؤسسة الامارات المستقبلية. يخدم ما يسمى " مكتب المستقبل " في المقام الأول كمساحة اجتماع للأطراف من جميع أنحاء العالم الشكل (11). المكتب المطبوع ثلاثي الأبعاد: هو مبنى يعمل بكامل قدراته ويتميز بأنظمة الكهرباء والمياه والاتصالات وتكييف الهواء. تم إنتاج المنزل المطبوع ثلاثي الأبعاد في الصين بعد

طباعته تم شحنه إلى دبي. أدى المشروع في النهاية إلى تقليل تكاليف العمالة بنسبة 50 إلى 80 بالمئة، ونفايات البناء بنسبة 30 إلى 60 بالمئة. ويعتبر هذا محفز لدولة الإمارات. **(11)**

الشكل (11): مكتب المستقبل في دبي

ما هو مستقبل المنازل المطبوعة ثلاثية الأبعاد؟

يقول هنريك: تعد الطباعة ثلاثية الأبعاد واحدة من أكثر التقنيات الواعدة في العالم. يمكن للمنازل المطبوعة ثلاثية الأبعاد الجمع بين التصميم والوظائف والتكاليف المنخفضة والفوائد البيئية. تعد تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد مغيرا للعبة في البناء نظرا لانخفاض تكلفتها وسرعة التنفيذ، في نفس الوقت الذي تجلب فيه هندسة معمارية جديدة إلى الحياة. نظرا لهذه المزايا، ستكون الطباعة الخرسانية ثلاثية الأبعاد في البناء هي التكنولوجيا المفيدة لمزيد والمزيد من المشاريع.[3]

المراجع:

[1] Cramer, K. (2024, September 20). **How much does a 3D printed house cost?https://homeguide.com/costs/ 3d-printed-house-cost**homeguide.com

[2] Dexter(2021,May 17)**3D Printed Homes: A New Concept in Home Design https://universaldesign.org/3d-printed-home** universaldesign.org

[3] raham, A.(2023,September 20) All You Need to Know About 3D-Printed Houses: The Future or a Fad? https://www.fixr.com/articles/3d-printed-houses www.fixr.com

[4] hobha.(2024,Feb 20)**What is a 3D Printed House?https://www.alphasand.in/blog/3d-printed-houswww.alphasand.in**

[5] Waterworth,K.(2024,Jan 19)**Are 3D-Printed Homes the Future of Housing? https://realestate.usnews.com/real-estate/articles/are-3d-printed-homes-the-future-of-housingrealestate.usnews.com**

[6] Becher, B. (2024, October 14). 12 examples of 3D-printed houses. Built In. https://builtin.com/articles/3d-printed-house
Valeria montjoy. https://www.archdaily.com/1005043/infograohic-the-evolution-of-3d printing-in-architecture-since-1939(2023, August 10)

[7] Xometry, T. (2023, May18).3D printing technology for construction. Xometry Retrieved. (2023, November 12)

[8] Ross, L. (2023, September 29).3D printing in construction: materials, applications, and advantages. Thomas publishing company. Retrieved (2023, November 12)

[9] خان، أ (2020) https://www.science direct .com /
https: //3d printing industry. com /3d-printing -basics-free beginners-guide/technology
https:// www.viatechnik.com/how-building-information-modeling-is-change-construction-forever

[10] Valeria montjoy (2023, August10) The Evolution of 3D Printing in Architecture, Since 1939 https://www.archdaily.com/1005043/infographic-the-evolution-of-3d-printing-in-architecture-since-1939 on August10,2023

[11] Kiroglu, Y and Sakin, M.2017 الطباعة ثلاثية الأبعاد للمباني بناء المنازل المستدامة في وقائع المؤتمر الدولي حول الاستدامة في الطاقة والمباني BIM المستقبل بواسط.

[12] يحيى ز. والعجيل س. وهاشم أ. وأورهان. 2018 جدوى تكلفة بناء منزل مطبوع بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في المملكة المتحدة

[13] إيزابيلا هاجر، آنا جولونكا، رومان بوتانوفيتش. الطباعة ثلاثية الأبعاد ومكوناتها كمستقبل للبناء المستدام ICEBMP 2016

[14] Arayici, Y and Aouad, G. 2010 تنفيذ نمذجة معلومات البناءM. Mahdi 2021 Printed house as a model for future housing
https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1067/1/012035/meta