تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للأبنية وأثرها في المنتج المعماري السكني

إعداد: م. ادوار انطوان موسى إشراف: أ.د. معتز عبارة

كلية الهندسة المعمارية – جامعة حمص

ملخص البحث:

مع التطور التقني الكبير المصاحب للتيارات المعاصرة في المجال المعماري، شكلت الطباعة ثلاثية الأبعاد للأبنية قفزة نوعية في عالم الهندسة المعمارية والإنشائية، فظهرت الأبنية المطبوعة كعلامات فارقة في تاريخ البناء مما أدى إلى العديد من التساؤلات حول تقنيات التصميم والتنفيذ للأبنية الناتجة عن هذه التقنية وخاصة السكنية منها كونها تمس الإنسان في حياته اليومية أكثر من الأبنية الأخرى، لذلك تناول البحث مفهوم الطباعة ثلاثية الأبعاد ومن ثم تم الاطلاع على مفهوم الطباعة في مجال في البناء، وطرق انتاج المبنى من التصميم وحتى التنفيذ النهائي. ثم تم تناول العديد من الأبنية السكنية المطبوعة في الدراسة التحليلية من اجل استنتاج التأثيرات التي نتجت عن استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في المباني السكنية الإيجابية منها والسلبية، وصولاً إلى مقترحات يمكن الاستفادة منها في المستقبل في تفعيل دور هذه التقنية وتحسين نتائجها.

الكلمات المفتاحية:

تقنية–طباعة ثلاثية الأبعاد– المنتج المعماري –أبنية سكنية–تصميم معماري.

3D printing technology for buildings and its impact on the residential architectural product

Abstract:

With the great technical development accompanying contemporary trends in the architectural field, 3D printing of buildings constituted a qualitative leap in the world of architecture and construction. Printed buildings appeared as milestones in the history of construction, which led to many questions about the design and implementation techniques for buildings resulting from this technology, especially residential ones. Because it affects people in their daily lives more than other buildings, so the research dealt with the concept of 3D printing and then looked at the concept of printing in the field of construction, and the methods of producing the building from design to final implementation. Then, several printed residential buildings were discussed in the analytical study in order to deduce the effects that resulted from the use of 3D printing technology in residential buildings, both positive and negative, to arrive at proposals that can be used in the future to activate the role of this technology and improve its results.

key words: technology– 3D printing – architectural product– residential buildings – architectural design.

المقدمة:

لم يعد من الخيال محاكاة أي نموذج ثلاثي الأبعاد أو مجسم وتحويل كل ما يخطر في بال المصممين من أشكال متنوعة لتكوين صوره طبق الأصل منه على ارض الواقع. وخاصة المباني السكنية التي تصمم بعناية وبشكل متفرد خاص باحتياجات كل عائلة، فبظهور الطباعة ثلاثية الأبعاد للأبنية أصبح من الممكن تنفيذ أي مبنى بسهولة وبسرعة وبكافة التفاصيل الدقيقة مهما بلغ تعقيدها. مما نتج عن هذه التقنية العديد من التغيرات التي من الممكن ان تؤثر على مفهوم تصميم وتنفيذ المباني السكنية حالياً وفي المستقبل.

أهمية البحث:

إلقاء الضوء على تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في عالم الهندسة المعمارية، ودورها في التصميم المعماري للأبنية السكنية، والإحاطة بجوانبها الإيجابية والسلبية وذلك لعدم وضوح أثرها في المنتج المعماري السكني.

هدف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للأبنية وأثرها في المنتج المعماري للوصول إلى اعتبارات لاستخدامها في الأبنية السكنية المعاصرة.

منهجية البحث:

-المنهج النظري

-المنهج الوصفي التحليلي الاستنتاجي

1-مفهوم تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد:

الطباعة ثلاثية الأبعاد هي تقنية مبتكرة تمكن من إنشاء المجسمات من خلال نموذج رقمي. حيث تعرف الطباعة ثلاثية الأبعاد باسم التصنيع التراكمي(Additive Manufacturing) وهو ينطوي على عملية أخذ النموذج الرقمي، وترجمته إلى سلسلة من شرائح أفقية في لغة الآلة، ثم طباعته عن طريق إضافة طبقات متعاقبة ودقيقة جداً (لا يتجاوز سمكها أجزاء من الميليمتر) من المواد حتى يتم إنشاء المجسم ثلاثي الأبعاد باستخدام عدد من التقنيات المختلفة .كما أن الطباعة ثلاثية الأبعاد تجلب اثنين من الابتكارات الأساسية: التلاعب في المجسمات في شكلها الرقمي وتصنيع أشكال جديدة عن طريق إضافة المواد [15].

2-استخدامات تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد:

ما يجعل الطباعة ثلاثية الأبعاد فريدة من نوعها هو قدرتها على تصنيع مجسمات صلبة كاملة ومعقدة. حيث تستطيع طباعة (صناعة) المجسمات والأدوات بطرق لا محدودة، وبمختلف المواد والمعادن. دخلت الطباعة ثلاثية الأبعاد العديد من المجالات منها الفنية، والتراثية والاثرية، والألعاب والسيارات والمباني وأيضاً المجال الطبي تمكنت الطباعة ثلاثية الأبعاد من توفير أطراف صناعية مطبوعة للذين فقدوا أيديهم أو أرجلهم فى حوادث [14].

الشكل1: منتجات متنوعة باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد[14]

وقد أثرت هذه التكنولوجيا على التاريخ الإنساني الحديث ربما أكثر من أي مجال آخر. حيث جعلت الحياة أفضل من نواحي كثيرة، وفتحت آفاقا وإمكانيات جديدة. بالنسبة لمعظم الصناع، هي اختصار قوي لعمل مجسمات دقيقة ومعقدة لأغراض مختلفة.

هناك أنواع مختلفة من تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد، والتي تعالج مواد مختلفة بطرق مختلفة

لصنع المجسم النهائي. فاللدائن، والمعادن، والسيراميك، والرمال، تستخدم الآن بشكل روتيني للتطبيقات الصناعية الأولية وإنتاجها. البلاستيك هو حاليا من المواد المستخدمة على نطاق واسع، ولكن هناك عدد متزايد من البدائل، بما في ذلك النايلون. وهناك عدد متزايد من الآلات التي تم تكييفها للمواد الغذائية، مثل السكر والشوكولا. [14]

3- استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في عمليات البناء:

تحظى تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد، وهي إحدى مجالات التصنيع الرقمي، باهتمام متزايد في البناء والتشييد، وخاصة بالنسبة للمباني السكنية. تتضمن هذه الطريقة بناء طبقة تلو الأخرى، مما يسمح بعمليات بناء دقيقة وفعالة من حيث التكلفة. يعد ظهور الطباعة ثلاثية الأبعاد في البناء بإحراز تقدم كبير من حيث مرونة التصميم وكفاءة المواد والاستدامة.

للطباعة ثلاثية الأبعاد تأثير عميق على النجاح الإجمالي للمشروع (OPS) لمشاريع البناء السكنية من خلال تحسين الأبعاد المتعلقة بالمشروع مثل التكلفة والوقت والجودة والسلامة والاستدامة مما يدل على آثار إيجابية للغاية في الأبعاد البيئية والسلامة. [10]

يمكن تحقيق التنوع المعماري من خلال الطباعة ثلاثية الأبعاد جنبًا إلى جنب مع التصميم الرقمي والبناء الآلي. وذلك عن طريق منهج برمجة حدودي يستوعب الاحتياجات السكنية المتنوعة على أساس الاختلافات الثقافية والمناخية والمهنية. تهدف هذه المنهجية إلى التغلب على تجانس تصاميم المساكن التقليدية من خلال تعزيز التخصيص والقدرة على التكيف. [11]

الشكل2: عش الدبور [12]

مصدر الوحي لاختراع الطابعة ثلاثية الأبعاد في البناء هو حشرة الدبور، الذي يبني عشه عن طريق مراكمة عدد كبير من طبقات الطين فوق بعضها البعض، ليشكل عشاً يشبه وعاء الفخار، وبهذا فإن هذه الحشرة ربما تكون أصغر طابعة ثلاثية الأبعاد صديقة للبيئة في العالم. [18]

إن ظهور الطابعات ثلاثية الأبعاد الكبيرة، وطباعة المنازل والمنشآت فعلياً باستخدام هذه التقنية سبب ضجة كبيرة في علم البناء والتشييد حيث نجد أن فكرة طابعة المباني لا تختلف كثيراً عن الطابعات ثلاثية الأبعاد الصغيرة .حيث يتم بناء المنازل طبقة تلو الأخرى من أسفل إلى أعلى عن طريق نفث المادة الخام (غالبا ما يكون الاسمنت المضاف إليه مواد أخرى تعزز من سهولة استخدامه في الطابعة، من رأس الطابعة والتي يتم التحكم بها عن طريق تصميم معد مسبقاً على الحاسوب).

تم تطوير طابعات المباني الكبيرة من عدة شركات أشهرهم شركة win sun الصينية، حيث قامت هذه الشركة بطباعة العديد من المباني وأشهرهم مكتب دبي المطبوع بالكامل الذي تميز بطابعه الخاص بالإضافة إلى توفير الوقت والتكلفة والعمالة والتصميم المميز [1]

3-2-مراحل المنتج المعماري السكني المطبوع من الفكرة إلى الاستخدام:

إن استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في البناء يعني إعادة النظر في الطريقة التي نصنع بها المنازل والمباني الأخرى، حيث تسمح بإنشاء تصميمات معقدة ومخصصة أو مرنة وقد تكون حساسة أو غير قابلة للتحقيق باستخدام أساليب البناء التقليدية. [13]

فيما يلي الخطوات والمراحل لطباعة الأبنية السكنية:

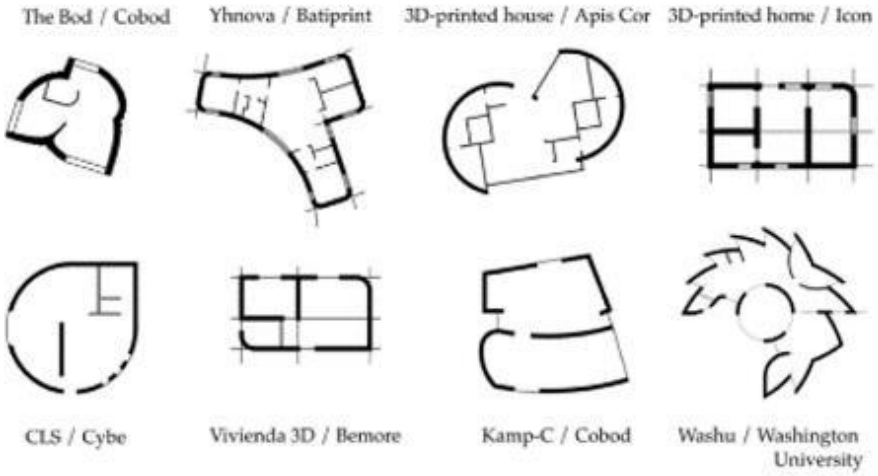
الشكل 3: المرونة والتخصيص في التشكيل[20]

3-2-1-التصميم:

تعتبر عملية التصميم أمرًا محوريًا لنجاح المشروع المطبوع، لأنها تحدد تخطيط ومظهر ووظيفة المبنى. يجب أن يراعي التصميم المعلومات حول حجم المنزل وشكله والتجهيزات التي سيتم استخدامها وأي ميزات خاصة، من أجل ضمان تلبية المنتج المعماري السكني النهائي لمتطلبات وتطلعات صاحب المنزل.

هناك العديد من الاعتبارات والتحديات التي يجب وضعها في الاعتبار عند تصميم منزل مطبوع ثلاثي الأبعاد. أحد التحديات الرئيسية هو حجم التصميم وتعقيده. نظرًا لأن المنزل يتم تشييده

طبقة تلو الأخرى، فهناك قيود على حجم وشكل الهيكل الذي يمكن تحقيقه باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد. من المهم التفكير بدقة في التصميم والتأكد من إمكانية تنفيذه بالطباعة ثلاثية الأبعاد. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤثر اختيار التجهيزات والامتدادات على تكلفة المنزل النهائي واستمراريته ومظهره. من المهم فحص هذه الخيارات والنظر فيها بعناية قبل اتخاذ القرار النهائي.[13]

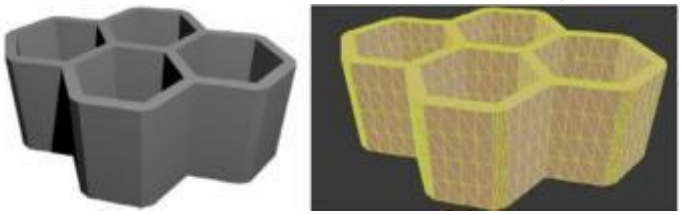


الشكل 4: عدد من المساقط الأفقية لمباني سكنية المنفذة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد[8]

بعد الإنتهاء من عملية التصميم يتم إنشاء نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد للمبنى. ويمكن القيام بذلك باستخدام برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد المختلفة حيث يحدد النموذج الرقمي شكل المسكن النهائي وأبعاده ومواصفاته. [21] يمكن أيضًا استخدام هذه البرامج لتحديد التحديات أو المشكلات التي قد تنشأ أثناء الطباعة.[13]

3-2-2-التقطيع:

بمجرد اكتمال النموذج ثلاثي الأبعاد، يتم تقطيعه إلى طبقات أفقية رفيعة ليشكل شبكة مسارات إفتراضية. وتتم هذه العملية باستخدام برنامج مخصص للتقطيع حيث يقوم بإنشاء مجموعة من التعليمات (G-code) التي توجه الطابعة ثلاثية الأبعاد حول كيفية إنشاء كل طبقة. [21]



الشكل 5: نموذج لعملية تقطيع الجدران [14]

3-2-3- عملية طباعة المسكن:

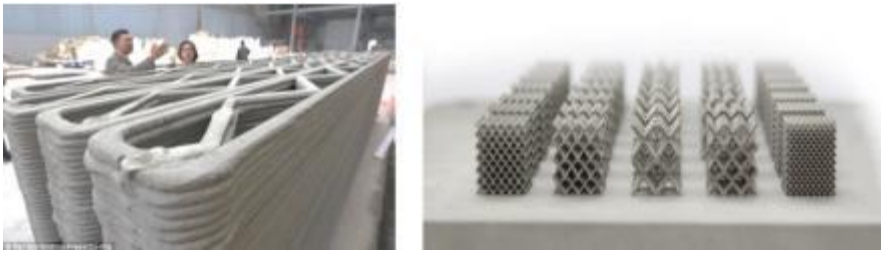
تقرأ الطابعة ثلاثية الأبعاد رمز (G-code) وتبدأ في البناء طبقة تلو الأخرى. وتقوم ببثق المواد بدقة وفقًا لمواصفات التصميم حيث تقوم باتباع هذه التعليمات لإنتاج الشكل والمميزات المطلوبة للمنزل. [21]

المبدأ العام في الطباعة ثلاثية الأبعاد واحد، حيث تتم عملية الطباعة من خلال رص طبقات خليط البناء فوق بعضها البعض حتى يكتمل بناء المنشأ.

الفكرة الأساسية في هذه الطابعات هي الطبقات Layers ، فيمكن طباعة أي منشأ ثلاثي الأبعاد من خلال وضع طبقات فوق بعضها البعض بالشكل المطلوب ليتكون في النهاية منشأ ثلاثي الأبعاد [4]

يتم اختيار شكل مقطع الجدار المطبوع من قبل المهندسين المختصين حسب مساحة المنشأ والحمولات التي سيتعرض لها حيث من الممكن أن تكون الجدران مصمتة أو شبكية أو

متكونة من طبقات بمواد متعددة كما يمكن أن تضاف لها عناصر التسليح.[6]



الشكل 6 : مقاطع الجدران المتنوعة [1]

ومن المهم استخدام مواد رابطة للخامات لتربط الحبيبات فيتم تشكيل النموذج ، ويقوم رأس الطابعة بضخ خليط البناء ومن ثم يرتفع ليقوم بضخ الثانية ويستمر في إنشاء طبقات حسب ما هو مطلوب بعدها يتم نفث كميات حسب الطلب فيقوم النافث بتوزيع كميات منفصلة أو مستمرة من المواد طبقة فوق طبقة، وبتكرار النفث للخامات والمواد الرابطة تتكون الطبقة تلو الأخرى حتى يتم الحصول على الشكل النهائي .

الشكل 7 :عملية طباعة الجدار عن طريق بثق الخرسانة من فوهة الطابعة [22]

فيما بعد تتم المعالجة النهائية حيث يتم التخلص من الزيادات غير المرغوبة وكذلك المواد الرابطة الغير مرغوب فيها، ويتم الإكساء بالمواد المطلوبة لإنهاء العمل بالشكل المناسب [4]

تعتبر عملية البناء بواسطة الطبقات طريقة ذات آفاق متعددة الجوانب بشكل كبير، كل ما يمكن تصميمه باستخدام الحاسوب يمكن في نهاية المطاف أن يتحول إلى عنصر مطبوع.

بالإضافة إلى ذلك فإن هذه العملية تعتبر كفؤ من ناحية المصادر والمواد الخام التي تحتاجها، بالمقارنة مع طرق التصنيع التي يتم فيها إزالة أجزاء كبيرة من مادة التصنيع للحصول على الشكل أو العنصر المرغوب به. وبذلك فإن الطابعة ثلاثية الأبعاد توفر % 50 إلى % 95 من

المادة الخام. حيث أن خلال عملية البناء بواسطة تجميع الطبقات يتم فعلياً استخدام المادة الضرورية فقط في البناء بدون هدر للمواد تقريباً [7] .

الشكل 8 استخدام الدعامات في أماكن الفتحات أثناء عملية الطباعة[1]

يبلغ إجمالي وقت البناء للمبنى الذي تبلغ مساحته 200 متر مربع المبني من الخليط الاسمنتي يوم واحد فقط، تتضمن عملية الطباعة هذه طباعة أجزاء متفرقة لوحدها ومن ثم تجميعها كقطع المكعبات(الليغو) أي بسرعة تفوق سرعة البناء التقليدية بنسبة50% خبراء في مجال التشييد والبناء وجدوا أن الأثر الحقيقي لهذه التكنولوجيا يكمن في قدرتها على توفير كلفة البناء بنسبة تتراوح بين 50% إلى 70 % وكلفة العمالة بنسبة تتراوح بين 50% إلى 80 % وأشاروا إلى أنه في حال استخدام النفايات الإنشائية والزجاج والاسمنت والفولاذ كمواد إنشائية، أي كحبر للطابعات ثلاثية الأبعاد يمكن تصنيع مبان سكنية يبلغ ارتفاعها 6,5 متر وطولها 152,4 متر وعرضها 9,7 متر خلال 24ساعة [3]

3-2-4-التجميع:

تتضمن هذه العملية وضع الأجزاء المطبوعة في مواقعها الصحيحة وتأمينها معًا لإنتاج المنزل النهائي. يعتمد جزء كبير من العمل اليدوي في عملية التجميع على تصميم المنزل وقدرات الطابعة ثلاثية الأبعاد. في بعض الحالات، قد تتمكن الطابعة من إنتاج هيكل المنزل بالكامل، بما في ذلك الجدران والأسقف، في قطعة واحدة. وفي حالات أخرى، قد تتم طباعة المنزل في أقسام منفصلة تحتاج إلى تجميعها في موقع البناء. تتطلب عملية التجميع النظر في العديد من التحديات والاعتبارات. أحد التحديات الرئيسية هو ضمان محاذاة الأجزاء المطبوعة وربطها ببعضها البعض بشكل آمن لضمان السلامة الهيكلية للمنزل. تتضمن العملية أيضاً إضافة التمديدات المنزلية (مثل

الصرف الصحي والكهرباء) لجعل المنزل صالحًا للسكن. وتتطلب هذه العملية مهارات فنية ومعرفة متخصصة.[13]

الشكل 9: مباني سكنية مطبوعة متنوعة في التشكيل والطابع بعد الانتهاء من التجميع [8]

الشكل 10: الفراغ الداخلي النهائي المميز للمباني السكنية المنفذة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد بعد الانتهاء من التجميع وتجهيزها للاستخدام[8]

وفيما يلي مسطرة قياس الدراسة التحليلية:

توصيف المسكن	اسم المسكن	
	تصنيف المسكن	
	عدد الطوابق	
	المساحة	
	ارتفاع المبنى	
	سنة البناء	
	نوع الطابعة المستخدمة	
	وقت التنفيذ	

انعكاس استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على المنتج المعماري السكني	العامل المدروس		محقق	غير محقق	محقق جزئياً	ملاحظات
	مرونة التصميم	المرونة في التشكيل بمواد البناء				
		مرونة التشكيل بعناصر المبنى				
		إمكانية التعديل بعد المباشرة بعملية الطباعة				

	استدامة المبنى	استدامة عناصر البناء والتقنيات المستخدمة				
		إمكانية إعادة استخدام مواد البناء بعد الهدم				
	تأدية الوظيفة					
	ملائمة الطابع المعماري					
	الراحة الحرارية					
	التكلفة الاقتصادية					
	الجودة والمتانة					

الجدول 1: مسطرة قياس الدراسة التحليلية-إعداد الباحث

4-دراسة تحليلية لأبنية سكنية مبنية بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد:

معايير اختيار الأمثلة في الدراسة التحليلية:

1. جميع الأبنية السكنية المدروسة مبنية بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد.
2. الأبنية السكنية من ثقافات ومدارس معمارية مختلفة.
3. الأبنية السكنية من مناطق جغرافية متنوعة.

4-1 منزل TECLA:

أكملت الشركة الإيطالية Mario Cucinella Architects نموذجًا أوليًا لمنزل يجمع بين بعض أحدث التقنيات وأقدم مواد الإسكان. المسكن المسمىTECLA ، هو أول منزل مطبوع ثلاثي الأبعاد مصنوع من الطين ويأمل مؤسسه ماريو كوتشينيلا أن يصبح تصميم برنامجه خيارًا قابلاً للتطبيق لإيواء الأشخاص الذين يفتقرون إلى السكن الملائم بسبب المشكلات المالية أو النزوح.

الشكل 9: منزل تيكلا [16]

الشكل 10: منزل TECLA اثناء الطباعة[16]

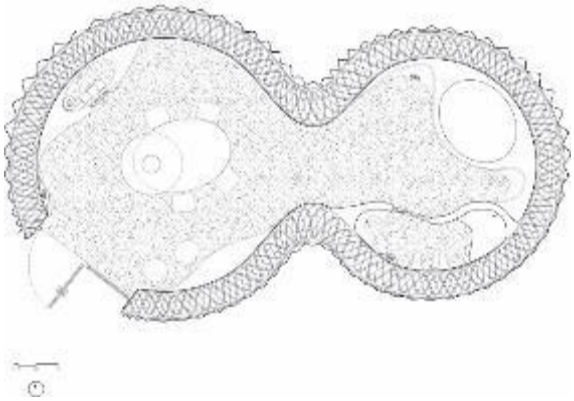
المنزل عبارة عن شكل عضوي يشبه الكهف يبدو قديمًا ومنحوتًا من الطبيعة، ويتناقض بصريًا مع التكنولوجيا المبتكرة التي تقف وراءه. إنها نموذجية لممارسة شركة Cucinella التي تركز على الهندسة المعمارية "الإنسانية" وهي تقاطع بين عوالم التكنولوجيا المنخفضة والعالية.

تم بناء منزل TECLA من التربة الموجودة في الموقع ممزوجًا بالماء وألياف من قشور الأرز (أقل من 5٪ من الحجم الإجمالي). هذا النهج يمكن تكراره في أجزاء مختلفة من العالم باستخدام أي مواد محلية متاحة ويمكن أن يكون مفيدًا بشكل خاص في المناطق الريفية المحرومة، حيث قد يكون من الصعب الحصول على مواد البناء الصناعية.

الطباعة بالطين لها عيوبها إنها عملية أبطأ بكثير من الخرسانة سريعة التجفيف يمكن طباعة التصميم في 200 ساعة ولكن يمكن أن يستغرق خليط الطين أسابيع حتى يجف حسب المناخ وأيضًا تفرض قيوداً على الارتفاع.

تم إنشاء المبنى بأحدث تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد الحالية ونتيجة لذلك تمكن الفريق من بناء 60 مترًا مربعًا في غضون 200 ساعة فقط. وقد ساعد على ذلك حقيقة أن الهيكل قد تم تصميمه ليكون مدعومًا ذاتيًا بالكامل – فهو لا يتطلب أي هيكل إطار آخر ويمكنه تحمل ثقله. يتم إنشاء المنزل بأكمله من مادة واحدة دفعة واحدة – يعني أن خطر حدوث مضاعفات في موقع البناء منخفض. [5]

الاستدامة في هذا المنزل المطبوع ثلاثي الأبعاد:



الشكل 11: المسقط الأفقي لمنزل تيكلا [5]

تم بناء Tecla في الموقع باستخدام مواد من مصادر محلية وهو نموذج مثالي لمنتج خالٍ من النفايات. تم استخدام التربة المحلية للمواد الخام للطباعة ثلاثية الأبعاد علاوة على ذلك فإن الغلاف القوي الملموس قابل للتحلل البيولوجي تمامًا – مما يوضح كيف يمكن للهندسة المعمارية الذكية أن تبدو جيدة ولكن أيضًا في الطليعة التكنولوجية وتدعم نهجًا منخفض الكربون في نفس الوقت. تم إنشاء تركيبة خليط الأرض المستخدمة في البناء كاستجابة مباشرة للظروف المناخية المحلية. وهذا يعني أن الأداء الحراري قد تم تحسينه أيضًا" موازنة الكتلة الحرارية والعزل وتهوية الجدار داخل الغلاف". [5]

جمالية البناء:

ينعكس النهج الانسيابي مع البناء في جمالية قوية بشكل مناسب. يبدو المنزل متماسكًا بنفس النمط المرئي من الداخل والخارج. تبدو البيئة طبيعية ودافئة مع ألوان لطيفة. تتميز المساحات الداخلية – منطقة المعيشة وغرفة النوم والحمام – بأثاث مدمج مصمم خصيصًا ليتناسب مع

الجمالية العامة، مما يتيح في نفس الوقت مساحة كافية خالية من التخصيص من اجل المرونة إذا لزم الأمر.

يتم إنتاج المفروشات الجاهزة كجزء من عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد التي تتيح للساكنين الاستفادة الفورية من هذه المساكن. كان هذا اعتبارًا مهمًا لمهندسي Mario Cucinella لأن الاستوديو أراد استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد لمعالجة كل من حالات الطوارئ السكنية الحادة، والتي يكون البناء السريع لمساكن TECLA مناسبًا لها بشكل خاص وأزمة الإسكان طويلة الأجل حول العالم. [5]

توصيف المسكن	اسم المسكن	تيكلاTecla				
	تصنيف المسكن	سكن مؤقت				
	عدد الطوابق	طابق واحد				
	المساحة	60 م^2				
	ارتفاع المبنى	4.2م				
	سنة البناء	2021				
	نوع الطابعة المستخدمة	Crane WASP				
	وقت التنفيذ	استغرقت عملية الطباعة 200 ساعة				
انعكاس استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على المنتج المعماري	العامل المدروس		محقق	غير محقق	محقق جزئياً	ملاحظات
	مرونة التصميم	المرونة في التشكيل بمواد البناء	✓			تعتبر مواد البناء المستخدمة مرنة وسهلة التشكيل
		مرونة التشكيل	✓			يتكون المبنى من وحدة متكاملة لا يمكن إعادة تشكيله

		بعناصر المبنى				ساعدت تقنية الطباعة بتنفيذ المبنى انطلاقاً من فكرة عش الدبور والعمارة المحلية وبشكل مقبب و منحني لا يمكن التعديل على الجدران والاسقف لأنها تشكل وحدة متكاملة.
		إمكانية التعديل بعد المباشرة بعملية الطباعة		✓		
	استدامة المبنى	استدامة عناصر البناء والتقنيات المستخدمة	✓			يعتبر المبنى مستدام تماماً بسبب استخدام مواد طبيعية في طباعته، ويتم معالجة المياه الرمادية وتجميع مياه الأمطار لاستخدامها في الحديقة. بالإضافة لوجود ألواح شمسية تزود المنزل بالطاقة النظيفة.
		إمكانية إعادة استخدام مواد البناء بعد الهدم	✓			
	تأدية الوظيفة		✓			يتكون من منطقة معيشة مفتوحة مع غرفة نوم وحمام ويعبر مؤدي للوظيفة للغاية التي تم إنشاؤه من اجلها
	ملائمة الطابع المعماري		✓			تم استلهام Tecla من دبور الخزاف، الذي يبني عشه بطريقة مماثلة من الطين وفي شكل دائري. وبالتالي

					ينسجم المبنى مع العمارة المحلية
	الراحة الحرارية	✓			الجدران معزولة
	التكلفة الاقتصادية	✓			بحدود 1000$ يعتبر سكن لذوي الدخل المحدود والنازحين والفقراء.
	الجودة والمتانة	✓			تم انشاء الجدران من الطين وقشور الأرز التي تستغرق وقت حتى تجف لكنها قادرة على تحمل الاحمال المختلفة بشكل مدروس.

جدول 2: مسطرة قياس منزل تيكلا- المصدر: إعداد الباحث بالاستناد إلى [5]

4-2 منازل مطبوعة في الصين من شركة winsun:

قامت شركة winsun الصينية بطباعة منازل تتمتع بكفاءة أكبر وبتكلفة أقل بكثير من استخدام أساليب البناء التقليدية بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام المواد المعاد تدويرها كحبر لبناء المنازل، مما يجعلها ميسورة التكلفة ومستدامة وصديقة للبيئة.

استخدمت شركة WinSun تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد لبناء 10 منازل، مساحة كل منزل 200 متر مربع في المنطقة، فقط في 24ساعة.

الشكل 12: احدى أنماط المنازل المطبوعة في الصين [12]

تستخدم شركة WinSun عملية طباعة ثلاثية الأبعاد تصنع فيها الأجسام الصلبة من تصميمات رقمية، لإنتاج جدران معيارية مصممة مسبقاً مشابهة للجدران المصنوعة باستخدام الطوب او الإسمنت، ولكن مع وجود اختلافات كبيرة [6]

يتم إنتاج الأجزاء المعيارية للمباني باستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد يبلغ ارتفاعها 21 قدماً وعرضها 32 قدما وطولها 132 قدماً.

تعتبر هذه الطابعة أول طابعة للطباعة ثلاثية الأبعاد في العالم وأكبر طابعة منزلية، يتم إدخال رسم ثلاثي الأبعاد CAD من إعداد المهندس المعماري أو الاختصاصي في الطابعة الضخمة، التي تستخدم حبر تم إنتاجه خصيصاً، والذي يتكون من نفايات البناء والإسمنت والألياف الزجاجية والرمل وعامل تصلب. يمكن الحصول على جميع هذه المكونات من المواد المستخدمة في البناء العام والتي تم إعادة تدويرها. [12]

توصيف المسكن	اسم المسكن	**المنزل المطبوع في الصين من شركة winsun**
	تصنيف المسكن	سكن عائلة واحدة
	عدد الطوابق	طابق واحد
	المساحة	200 م^2
	ارتفاع المبنى	4 م
	سنة البناء	2014
	نوع الطابعة المستخدمة	Vulcan
	وقت التنفيذ	استغرقت عملية الطباعة 25 ساعة. استغرق اكساء المبنى بنفس الطريقة التقليدية 23 يوم.

انعكاس استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد	العامل المدروس		محقق	غير محقق	محقق جزئياً	ملاحظات
	مرونة التصميم	المرونة في التشكيل بمواد البناء	✓			مادة البناء الأساسية هي الالياف الزجاجية وتعتبر من اكثر العناصر سهلة

		مرونة التشكيل بعناصر المبنى	✓			التشكيل المبنى سهل التشكيل لأنه مكون من عدة قطع يمكن تركيبها في الموقع كما
		إمكانية التعديل بعد المباشرة بعملية الطباعة		✓		تستخدم شركة البناء الطباعة لإنشاء اجسام صلبة من تصميمات رقمية لإنتاج جدران معيارية مصممة مسبقا مشابهة لجدران المصنوعة باستخدام الطوب والإسمنت لا يمكن التعديل بسبب طباعة الهيكل بشكل متكامل
	استدامة المبنى	استدامة عناصر البناء والتقنيات المستخدمة	✓			تقلل المواد المستخدمة في المبنى من انبعاثات الكربون ويمكن إعادة تدوير مواد البناء عند هدمه يتم تفتيت عناصر البناء ماعدا الحديد وإضافة مواد كيميائية خاصة ثم تعريضه لدرجة حرارة معينة ويعاد استخدامها في البناء(الطباعة)
		إمكانية إعادة استخدام مواد البناء بعد الهدم	✓			

	تأدية الوظيفة	✓			المنزل عبارة عن استديو يتضمن ركن نوم وركن جلوس ودورة مياه وبذلك حقق المبنى المطلوب منه كمبنى سكني.
	ملائمة الطابع المعماري	✓			العمارة في المباني السكنية في الصين تعتمد على الخطوط المستقيمة في البناء وهذا ما اعتمدته الشركة المنفذة
	الراحة الحرارية			✓	لا يوجد معالجات واضحة
	التكلفة الاقتصادية	✓			4800$ بدلا من 10الف$
	الجودة والمتانة	✓			يستطيع المنزل تحمل زلزال بقوة 8 ريختر وصالح للسكن حسب تصريح الشركة لمدة 150 سنة

جدول 3: مسطرة قياس لمنزل الصين WinSun – المصدر :عمل الباحث بالاستناد إلى [1]

3-4 بناء مطبوع مكون من خمس طوابق في الصين:

اتخذت شركة WinSun الصينية خطوة كبيرة أخرى للأمام في مجال الطباعة ثلاثية الأبعاد، عندما نجحت في إنشاء أول مبنى سكني مكون من خمسة طوابق في حديقة سوتشو في مقاطعة جيانغسو حيث قام مطور صيني بذلك باستخدام نفس التقنية. يعتبر هذا المبنى أعلى مبنى مطبوع ثلاثي الأبعاد في العالم، وأحد الإنجازات الأكثر إثارة للإعجاب حتى الآن في مجال الطباعة ثلاثية الأبعاد حيث يبلغ ارتفاعه حوالي 90 قدم أي ما يعادل تقريبا 27 متر.

أقيم المبنى على أساس خرساني مسبق الصنع، قامت على أثره طابعة ثلاثية الأبعاد ببناء جدران مجوفة باستخدام مزيج سريع الجفاف من أنقاض مباني معاد تدويرها، والاسمنت والجبس ومركبات أخرى، حيث تعتبر مواد الطباعة ثلاثية الأبعاد أخف بنسبة % 50 تقريباً من الخرسانة التقليدية وأكثر متانة إلى حد كبير. بعد اكتمال الجدران، تتولى العمال استكمال عملية البناء من تركيب السقف والنوافذ وملئ الجدران بالمواد العازلة.

إن الجدران المطبوعة ثلاثية الأبعاد أخف بنسبة 50 في المائة تقريباً من الجدران الخرسانية، ولكن لديها قوة وصلابة أعلى بكثير ولديها مقاومة قوية للماء، بالإضافة إلى تحسين نفاذية الهواء والاحتفاظ بالحرارة مقارنة بالجدران المصنوعة من مواد البناء الشائعة.

الشكل 13: المبنى المطبوع في الصين من5طوابق [9]

حيث يبلغ ارتفاع الطابعة المستخدمة في عملية التصنيع 21 قدماً وعرضها 32 قدماً وطولها 500 قدم .وتبلغ تكلفتها 2.3 مليون دولار، حيث استغرقت الشركة المصنعة 12 سنة للانتهاء من تصنيعها وإدخالها في مجال العمل.

أما الحبر المستخدم فهو مزيج من بقايا مواد البناء والزجاج والفولاذ والإسمنت الذي يتم رشه على كل طبقة مستقلة حتى يتكون الحائط السميك.

إن عملية تصنيع مواد البناء عادة ينتج عنها انبعاثات كربونية هائلة، أما الطابعة ثلاثية الأبعاد فيمكنها إعادة تدوير مواد البناء والتخفيف من الانبعاثات السامة.

كما أن العمال لا يتعرضون للمواد السامة أثناء عملية التجهيز، ونجد أيضا أن تلك التقنية تقلل من الضوضاء الناتجة عن عملية البناء التقليدية، إضافة إلى أنها أنظف.

وبالرغم من أن تكلفة المبنى المكون من خمسة طوابق قد تصل إلى حوالي 100 ألف جنيه إسترليني أي حوالي 150 ألف دولار أميركي، إلا أن ثمن الوحدة السكنية سيكون أقل بكثير من الوحدة المبنية بالطريقة التقليدية. [1]

توصيف المسكن	اسم المسكن	**المبنى ذو الخمس طوابق المطبوع في الصين**
	تصنيف المسكن	سكن متعدد العائلات
	عدد الطوابق	5 طوابق
	المساحة	1500 م^2
	ارتفاع المبنى	27 م
	سنة البناء	2016
	نوع الطابعة المستخدمة	Stroybot2
	وقت التنفيذ	استغرقت عملية الطباعة مع الإكساء الداخلي والخارجي والديكور حوالي30يوم.

انعكاس استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على المنتج المعماري	العامل المدروس		محقق	غير محقق	محقق جزئياً	ملاحظات
	مرونة التصميم	المرونة في التشكيل بمواد البناء	✓			تعتبر مواد البناء المستخدمة مرنة وسهلة التشكيل بعد إضافة المواد الكيميائية المناسبة وأخف بنسبة 50% تقريباً من الخرسانة
		مرونة التشكيل		✓		

		بعناصر المبنى				التقليدية يتكون المبنى من وحدة متكاملة لا يمكن إعادة تشكيله لا يمكن التعديل على الجدران والاسقف لأنها تشكل وحدة متكاملة
		إمكانية التعديل بعد المباشرة بعملية الطباعة		✓		
	استدامة المبنى	استدامة عناصر البناء والتقنيات المستخدمة	✓			لا ينتج عن عملية البناء انبعاثات سامة ويمكن اعادة تدوير مواد البناء وتخفيف الانبعاثات السامة
		إمكانية إعادة استخدام مواد البناء بعد الهدم	✓			
	تأدية الوظيفة		✓			تتكون الشقة الواحدة من غرفتي نوم ومعيشة ومطبخ ودورة مياه وحمام وبذلك حققت المطلوب منها كوظيفة.
	ملائمة الطابع المعماري		✓			العمارة في المباني السكنية في الصين تعتمد على الخطوط المستقيمة في

					البناء وهذا ما اعتمدته الشركة المنفذة
	الراحة الحرارية	✓			الجدران معزولة
	التكلفة الاقتصادية	✓			150الف$ بدلا من 600الف$ فإذا تم استثناء سعر الطابعة يعتبر سكن لذوي الدخل المحدود.
	الجودة والمتانة	✓			تتمتع الجدران بقوة وصلابة أعلى بكثير ولديها مقاومة قوية للماء بالإضافة الى تحسين نفاذية الهواء والاحتفاظ بالحرارة مقارنة بالجدران المصنوعة من مواد البناء الشائعة. صالح للسكن حسب تصريح الشركة لمدة 165 سنة

جدول 4:مسطرة القياس لمنزل الصين ذو ال5 طوابق–المصدر: إعداد الباحث بالاستناد إلى [1]

4-4-فيلا دبي (اول فيلا منفذة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد):

الشكل 14: الفيلا المطبوعة في دبي [2]

الشكل 15: مراحل طباعة الفيلا في دبي[2]

أعمال تنفيذ مشروع تشييد أول فيلا سكنية بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في دبي بدأت في نيسان 2018م، لتكون الإمارة الأولى على مستوى الوطن العربي في الاستفادة من هذه التقنية في بناء مساكن للمواطنين، حيث تم تشييد أول فيلا سكنية بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد ضمن برنامج مسرعات دبي المستقبل.

يبلغ ارتفاع الفيلا حوالي 9.5 متر، وتبلغ المساحة الإجمالية 640 متر مربع، وبعد الانتهاء من أعمال البناء تبين أن استخدام الطابعة ثلاثية الأبعاد خفض التكاليف في البناء من 680ألف دولار إلى 275 ألف دولار .واستخدمت الشركة المنفذة كلا من طرق البناء التقليدي والطباعة ثلاثية الأبعاد، حيث كانت ألواح السقف مصنوعة من مواد البناء التقليدية [9].

توصيف المسكن	اسم المسكن	**الفيلا المطبوعة في إمارة دبي**
	تصنيف المسكن	فيلا سكنية
	عدد الطوابق	طابقين
	المساحة	640م^2
	ارتفاع المبنى	9.5 م
	سنة البناء	2018
	نوع الطابعة المستخدمة	Apis cor

	وقت التنفيذ		استغرقت عملية الطباعة ثلاثة أيام استغرق الإكساء الداخلي والخارجي والديكور 3أشهر تقريباً			
انعكاس استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على المنتج المعماري السكني	العامل المدروس		محقق	غير محقق	محقق جزئياً	ملاحظات
	مرونة التصميم	المرونة في التشكيل بمواد البناء	✓			يمكن بواسطة خليط البناء طباعة أكثر العناصر المعقدة تم طباعة الأشكال المستقيمة والمنحنية بسهولة تامة. تعتبر هذه الفيلا من أوائل المباني المطبوعة في إمارة دبي، كان لابد من إعطائها تصميم أكثر ابداع يميزها بالتفاصيل وبذلك لم تُستغل قدرة الطابعة. لا يمكن، أثناء الطباعة يترك فتحات خاصة مدروسة لتمديدات المياه والكهرباء، يتم تركيبها لاحقا بعد الطباعة.
		مرونة التشكيل بعناصر المبنى	✓			
		إمكانية التعديل بعد المباشرة بعملية الطباعة		✓		
	استدامة المبنى	استدامة عناصر البناء	✓			يتميز البناء بنظام عزل مبتكر يساعد على تخفيف استهلاك الطاقة يتم تفتيت عناصر البناء ماعدا

	والتقنيات المستخدمة				الحديد وإضافة مواد كيميائية خاصة ثم تعريضه لدرجة حرارة معينة ويعاد استخدامها في البناء(الطباعة)
	إمكانية إعادة استخدام مواد البناء بعد الهدم	✓			
تأدية الوظيفة		✓			تتكون الفيلا من غرفة معيشة وغرفتي نوم واستقبال وبذلك حققت الغرض المطلوب منها
ملائمة الطابع المعماري		✓			يتماشى شكل الفيلا مع المباني المتطورة في دبي
الراحة الحرارية		✓			تساعد المواد المستخدمة في تأمين الراحة الحرارية
التكلفة الاقتصادية		✓			275 ألف$ بدلا من 680 ألف$ وإذا تم استثناء سعر الطابعة(250ألف$ كمبيع) يعتبر سكن لذوي الدخل المحدود.
الجودة والمتانة				✓	اساساته ضعيفة ولكن تم تدعيمه بأسياخ حديد ضمن الجدران. صالح للسكن حسب الأبحاث لمدة 125 سنة

الجدول 5: مسطرة قياس الفيلا المطبوعة في دبي _ المصدر :إعداد الباحث بالاستناد إلى [1]

4-5- منزل مطبوع في الرياض/السعودية بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد:

الشكل 16: الواجهة الأمامية للمنزل المطبوع في السعودية [9]

يقع المنزل على أرض وزارة الإسكان غرب مطار الملك خالد الدولي بالرياض، وتمت طباعته عن طريق شركة (Cybe) الهولندية، التي تعد من أبرز الشركات التي تمتلك هذه التقنية في العالم.

تم البناء بواسطة روبوت بإشراف ومتابعة ستة أشخاص فقط، اقتصر دورهم تقريبا على المرحلة التأسيسية للبناء. وبعد اكتمال الهيكل تبقى مرحلة تشطيب المنزل التي تتم بنفس طريقة المنازل العادية بهذا الحجم، وتستغرق من ثلاثة أسابيع إلى شهر، وقد أنجزها فريق العمل في 17 يوم. [1]

توصيف المسكن	اسم المسكن	**المنزل المطبوع في السعودية**
	تصنيف المسكن	سكن عائلة واحدة
	عدد الطوابق	طابق واحد
	المساحة	80 م^2
	ارتفاع المبنى	4 م
	سنة البناء	2018
	نوع الطابعة المستخدمة	Cybe
	وقت التنفيذ	استغرقت عملية الطباعة 25 ساعة. استغرق اكساء المبنى بنفس الطريقة التقليدية 23 يوم.

	العامل المدروس		محقق	غير محقق	محقق جزئياً	ملاحظات
انعكاس استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على المنتج المعماري السكني	مرونة التصميم	المرونة في التشكيل بمواد البناء	✓			فوهة الطابعة بقطر2 سم ومزيج البناء المرن يستطيع طباعة أي شكل
		مرونة التشكيل بعناصر المبنى		✓		لا تتمتع عناصر المبنى بمرونة كبيرة في التشكيل نظراً لقصر ذراع الطابعة الروبوتية. وحسب الشركة يمكن بناء طابقين فوق الطابق الأرضي الحالي بنفس طريقة الطباعة
		إمكانية التعديل بعد المباشرة بعملية الطباعة	✓			المبنى مكون من قطع خرسانية بطول 275(طول ذراع الروبوت)، يمكن فصل القطعة المطلوبة والتعديل على المنشأ.
	استدامة المبنى	استدامة عناصر البناء والتقنيات المستخدمة	✓			يتميز البناء بنظام عزل مبتكر يساعد على تخفيف استهلاك الطاقة ويعتبر الاسمنت الهولندي المستخدم صديق للبيئة، كما تم عزل المبنى بمواد عزل خاصة للحرارة والصوت.
		إمكانية إعادة استخدام مواد البناء بعد الهدم	✓			يتم تفتيت عناصر البناء ماعدا الحديد وإضافة مواد كيميائية خاصة ثم تعريضه لدرجة حرارة

						معينة ويعاد استخدامها في البناء(الطباعة)
	تأدية الوظيفة		✓			مخطط المنزل عبارة عن غرفة نوم وغرفة معيشة ومطبخ وركن طعام بالإضافة للحمام ودورة المياه. وبذلك حقق المبنى الغرض المطلوب منه كفيلا سكنية
	ملائمة الطابع المعماري		✓			خطوط المبنى مستقيمة والواجهات الخارجية تحاكي المنازل التقليدية في السعودية.
	الراحة الحرارية		✓			تساعد المواد المستخدمة في تأمين الراحة الحرارية
	التكلفة الاقتصادية		✓			140ألف$ بدلا من 280 ألف$. إذا تم استثناء سعر الطابعة يعتبر سكن لذوي الدخل المحدود.
	الجودة والمتانة		✓			يحتاج المبنى بعد طباعته ل 6ساعات حتى يتصلب ويصبح بصلابة المبنى التقليدي. صالح للسكن حسب تصريح الشركة لمدة 50 سنة

جدول 6: مسطرة قياس لمنزل السعودية المطبوع –المصدر :عمل الباحث بالاستناد إلى [1]

5-نتائج الدراسة التحليلية:

1. استخدام الطابعات ثلاثية الأبعاد أعطى مرونة في تصميم الأبنية السكنية بسبب إمكانية إنشاء أي شكل مهما كان بسيط أو معقد، بخطوط مستقيمة أو منحنية، على عكس طرق البناء التقليدية، كما في الأمثلة السابقة.
2. حدّت عملية طباعة الأبنية من الحجوم الكبيرة والمرتفعة للأبنية السكنية بسبب ارتباط حجم المبنى بحجم الطابعة وارتفاع ذراعها، لكن كون الأبنية السكنية بطبيعة الحال يجب أن تراعي المقياس الإنساني في أبعادها من أجل راحة المستخدمين، لم يشكل هذا الجانب مشكلة في حالة الأبنية السكنية متوسطة الارتفاع، كما في مسمن تيكلا والمنزل المطبوع في السعودية.
3. المساكن المطبوعة يمكن أن تراعي الطابع المحلي المعماري في المناطق التي بنيت فيها، لأن الطابعة تتمكن من تنفيذ أي تصميم ولا تشترط أشكال محددة. كما في الأمثلة السابقة.
4. تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمساكن ساعدت في إنتاج تكوينات مستمدة ومرتبطة بالطبيعة كما في مثال منزل تيكلا.
5. إمكانية التعديل على المساكن المطبوعة تختلف حسب نوع الطابعة المستخدمة في التنفيذ وبحسب تكوين المسكن، كما في الأمثلة السابقة.
6. لم تؤثر تقنية طباعة المباني على الأداء الوظيفي في الأبنية السكنية، كما في الأمثلة السابقة.
7. المواد المستخدمة في طباعة المباني تؤمن العزل الحراري للمبنى السكني وأيضا تؤمن عزل للرطوبة مما يخفف من استخدام وسائل التكييف العديدة والمكلفة، كما في منزل تيكلا، المنزل ذو الخمس طوابق في الصين، فيلا دبي والمنزل المطبوع في الرياض.
8. المباني السكنية المنتجة بواسطة الطباعة ثلاثية الأبعاد تعتبر ذات تكاليف منخفضة واقتصادية مقارنة بالأساليب التقليدية للبناء، إذا تم استثناء سعر الطابعة، كما في الأمثلة السابقة.
9. تمكن الطباعة من تنفيذ المباني بسرعة قياسية وبأعداد كبيرة جداً عند الحاجة. بالإضافة لتقليل احتمالية الخطأ اثناء التنفيذ، كما في الأمثلة السابقة.
10. ان المواد المستخدمة في الطباعة ناتجة عن عمليات إعادة التدوير ويمكن أيضا عند هدم المنازل يمكن إعادة استخدام هذه المواد بعد معالجتها بالإضافة لخصائصها العازلة للحرارة

والماء، كما أن عملية البناء لا يصدر عنها انبعاثات سامة كما في الطرق التقليدية. مما يجعل المباني المطبوعة مستدامة بيئياً، كما في الأمثلة السابقة.

6-النتائج العامة:

1. الطباعة ثلاثية الأبعاد قدمت مرونة في تصميم الأبنية السكنية من حيث التشكيل المعماري. فيمكن بواسطتها تنفيذ أي مبنى مهما بلغ تعقيده، مما سيؤدي إلى اشكال جديدة للأبنية السكنية التي كان من الصعب تنفيذها بواسطة الطرق التقليدية.
2. لا يؤثر تعقيد التصميم وصعوبته على كفاءة المنشأ وعلى تكلفته. لأن عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد ليست مقيدة بإمكانيات عمل الشكل في أساليب البناء التقليدية.
3. تتميز تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد بمدى مطابقة التصميم مع التنفيذ والقدرة على تنفيذ تصميمات على درجة عالية من التعقيد
4. إن حجم الأبنية المطبوعة محدود بحجم الطابعة، مما أدى إلى حصر استخدام الطابعة في الأبنية السكنية ذات الحجوم الصغيرة والمتوسطة.
5. تختصر عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد للأبنية وقت التنفيذ بشكل كبير جداً، مما يجعل هذه التقنية مناسبة جداً للعصر الحالي وخاصة لسكن الكوارث وللوحدات السكنية الصغيرة (مثل الشاليهات).
6. تعتبر الأبنية السكنية المطبوعة مناسبة لذوي الدخل المحدود بسبب انخفاض تكاليف إنشائها إلى النصف مقارنة بالتقنيات التقليدية بالإضافة لاختصارها عدد الأيدي العاملة في البناء.
7. تعد الأبنية السكنية المطبوعة مستدامة بيئياً، بسبب استخدام مواد غير ملوثة في إنشائها بالإضافة لخصائصها في العزل الحراري وعزل الرطوبة، وأيضا إمكانية إعادة تدويرها بعد الانتهاء من استخدام المبنى.
8. من الممكن استخدام مواد طبيعية في عملية البناء بالطباعة مثل مادة الطين ولكن بعد معالجتها لتصبح صلبة وقادرة على تحمل الأحمال كافة.
9. إن استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في البناء يؤدي إلى التقليل من الأخطاء أثناء التنفيذ بسبب سير العملية بشكل آلي ومنتظم ومستمر لا يتوقف إلا عند الحاجة.

10. من سلبيات البناء باستخدام الطباعة هي صعوبة التعديل على المبنى عندما تكون الجدران منفذه بشكل متصل.
11. يعتبر سعر الطابعة ثلاثية الأبعاد للبناء مرتفع، وهذا من اهم معوقات استخدامها في اغلب البلدان مما أدى الى قلة انتشار استخدامها.
12. يمكن استخدام تقنية الطباعة لإحياء العناصر التراثية والتقليدية في المساكن بسبب القدرة على تنفيذ كافة العناصر التراثية بتفاصيلها ومن دون جهد.

7-التوصيات:

1. تشجيع شركات البناء والاستثمار لاستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للأبنية السكنية، فكل طابعة يمكن ان تنفذ عشرات المباني اسبوعياً مما يؤدي إلى تقليل التكلفة الناتجة عن الطابعة بالمقارنة مع استخدامها بشكل فردي او على نطاق صغير.
2. تسهيل إجراءات استيراد الطابعات ثلاثية الابعاد لتشجيع قطاعات البناء على استخدامها.
3. تشجيع تصنيع الطابعات ثلاثية الأبعاد للأبنية بشكل محلي في المستقبل للتقليل من كلفتها.
4. استخدام تقنية الطباعة في إعادة الإعمار وفي حالات سكن الكوراث بسبب سرعتها في الإنشاء والتوفير في تكلفة انشائها.
5. إقتراح إدخال مفهوم الطباعة ثلاثية الأبعاد للأبنية في مناهج الجامعات السورية لإعداد كوادر مؤهلة لاستخدام هذه التقنية في المستقبل.
6. تناول ودراسة هذه التقنية بشكل معمق في الأبحاث الأكاديمية مستقبلاً.

8-المراجع:

1. AL Sammou.S. Study of Building Techniques By Using the Three Dimensional Printer in Architecture. Faculty of Architectural.AL Baath University.2021(In Arabic)

2. Eraallstar Properties, Apis Cor Is the First Company to Develop a Specialized Equipment for 3D Printing in Construction Which Is Capable of Printing Whole Buildings Completely.
3. Hambach M, Volkmer D. Properties of 3D-printed fiber-reinforced Portland cement paste. Cem Concr Compos. 2017.
4. How is 3D Printing Beneficial for the Construction Industry, https://hamiltonlabs.co/. Retrieved April 21, 2019.
5. Mario,Cucinella. "TECLA Technology and Clay 3D Printed House Architects" 27 Apr 2021. ArchDaily. Accessed 19 Jul 2024. <https://www.archdaily.com/960714/tecla-technology-and-clay-3d-printed-house-mario-cucinella-architects> ISSN 0719-8884
6. Peng Feng, Xinmiao Meng, Jian –Fei Chen, Leiping Ye, China, 2015.
7. Shakor P, Sanjayan J, Nazari A, Nejadi S. Modified 3D printed powder to cement-based material and mechanical properties of cement scaffold used in 3D printing. Constr Build Mater. 2017.
8. https://www.archdaily.com
9. The best 11 3D Printed House Companies- 3D Printing Entire Buildings, https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-house-companies-120220184/.
10. Waqar A, Othman I, Pomares JC. Impact of 3D Printing on the Overall Project Success of Residential Construction Projects Using Structural Equation Modelling. *International Journal of*

Environmental Research and Public Health. 2023; 20(5):3800. https://doi.org/10.3390/ijerph20053800

11. Rodrigo, García-Alvarado. Architectural Diversity of Residential Buildings through Digital Design and Robotic Construction. Blucher Design Proceedings, (2023). doi: 10.5151/sigradi2022-sigradi2022_66
12. http://www.winsun3d.com/
13. https://medium.com/@roccojames84/from-concept-to-reality-the-step-by-step-process-of-3d-printing-a-house-dbd117efd1d9
14. https://geeksvalley.com/tutorial/3d-printer-software/?view=all
15. https://geeksvalley.com/tutorial/introduction-3d-printing/?view=all
16. https://luxuryav.net/TECLA%27s-first-3D-printed-house
17. https://mawdoo3.com/سلبيات_الطباعة_ثلاثية_الأبعاد
18. https://www.archdaily.com/517378/iaac-invents-a-family-of-robots-to-3d-printstructures-of-any-size
19. https://www.archdaily.com/960714/tecla-technology-and-clay-3d-printed-house-mario-cucinella- architects> https://www.designboom.com/technology/tu-eindhoven-concrete/
20. https://www.designboom.com/technology/tu-eindhoven-concrete-3d-printer-06-28-2016/
21. https://www.alphasand.in/blog/3d-printed-house
22. https://www.xometry.com/resources/3d-printing/3d-printing-in-construction/