آفاق استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في إنشاء أبنية السكن المؤقت في سورية

م. رشا علي صالح، عضو الهيئة الفنية لدى الجامعة العربية الخاصة للعلوم والتكنولوجيا

الملخص:

تواجه مرحلة إعادة الإعمار في سورية تحديات كبيرة على عدة أصعدة بيئياً واقتصادياً واجتماعياً، إذ يعدّ إنشاء المساكن المؤقتة ضرورة ملحة لتأمين سكن المهجرين والعائدين للوطن بعد الحرب أو بعد الكوارث الطبيعية، كما تشكّل الحاجة الملحة لمشاريع التشييد سواءً في مرحلة السكن المؤقت أو ما يتبعه تهديد خطير في مجال الاستدامة، إضافة لأن سورية تعاني من وجود نسبة كبيرة من مخلفات البناء نتيجة الحرب والزلزال، وتتسبب في العديد من المشاكل البيئيّة والصحيّة والاقتصادية والتي تستدعي المعالجة السريعة، لذا يجب البحث عن أساليب جديدة لمواجهة هذه التحديات بالصورة الأمثل، ومن هذه الأساليب استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمباني.

تستعرض هذه الدراسة معايير تصميم المساكن المؤقتة ومتطلباتها، والتحديات التي تواجه الإسكان المؤقت في مرحلة إعادة الإعمار، والتعريف بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد وتطبيقاتها في المجال الهندسي، وصولا لتحديد إمكانيات استخدام تقنية الإنشاء الرقمية هذه في طباعة أبنية السكن المؤقت.

كلمات مفتاحية: السكن المؤقت– الطباعة ثلاثية الأبعاد– الاستدامة.

Prospects for Using Three-Dimensional Printing Technology in the Construction of Temporary Housing Buildings in Syria

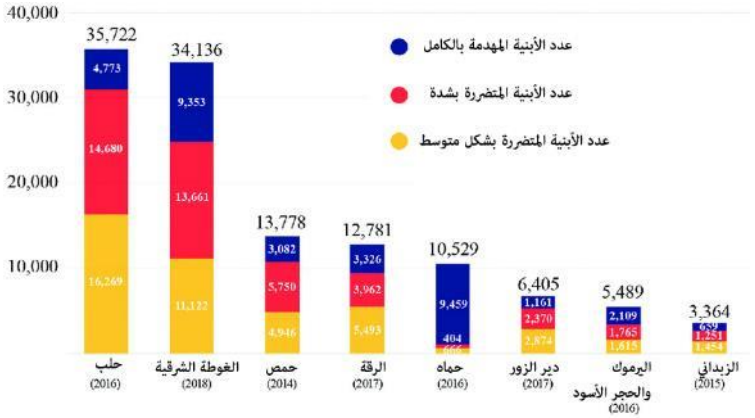
Abstract:

The reconstruction phase in Syria faces great challenges on several levels, environmentally, economically, and socially. The construction of temporary housing is an urgent necessity to secure housing for displaced people and those returning to the homeland in the next phase or after natural disasters. The urgent need for construction projects, whether in the temporary housing phase or what follows, also poses a threat. It is dangerous in the field of sustainability, in addition to the fact that Syria suffers from the presence of a large percentage of construction waste as a result of the war and earthquake, and it causes many environmental, health and economic problems that require rapid treatment. Therefore, new methods must be searched to confront these challenges in an optimal manner, and one of these methods is the use of technology. 3D printing of buildings.

This study reviews the design standards and requirements for temporary housing, the challenges facing temporary housing during the reconstruction phase, and the definition of 3D printing technology and its applications in the engineering field, leading to identifying the possibilities of using this digital construction technology in printing temporary housing buildings.

Keywords: Temporary Housing- 3D Printing- Sustainability.

المقدمة: خلفت الحرب المستمرة في سورية منذ أكثر من عقد وراءها الكثير من الدمار على صعيد كل من البنى التحتية والمباني السكنية والخدمية على حد سواء، والتي تزيد على ١٢٠ ألف مبنى مهدم، وذلك وفقا لإحصائية نشرت عام ٢٠١٩ من قبل REACH بالتعاون مع الامم المتحدة للتطوير والتدريب، والذي أوضح عدد المباني المتضررة بحسب المدينة أو المنطقة، كما هو موضح في الشكل (1) (4)



الشكل (**1**): عدد المباني المتضررة في سورية وفقاً لإحصائية REACH

الشكل (**2**): كثافة المباني المدمرة في سورية

إضافة للزلزال المدمر الذي ضربها منذ أكثر من عام، والذي أدى إلى تهدم الكثير من الأبنية في مناطق عدة منها، ويظهر الشكل (2) صوره عن حجم دمار المباني الموجودة في سورية حاليا.

وأدى هذا التدمير الكثيف للمباني إلى تهجير ملايين المواطنين داخليا وخارجيا، مما سيشكل أزمة إسكان كبيرة، إذ يجب التفكير في تأمين مساكن مؤقتة للمهجرين إلى حين إعادة الإعمار وعودتهم إلى مساكنهم الدائمة.

إضافة إلى أن كثافه المباني المهدمة تشكل أزمة حقيقية على الصحة والبيئة، مما يستدعي التفكير بطرق فعالة للتخلص من مخلفات المباني أو الاستفادة منها من خلال إعادة تدويرها واستخدامها من جديد، ومن هنا تنبع أهمية البحث.

أهمية البحث: تتمثل أهمية البحث في امكانية معالجته للتنمية المستدامة في سورية في مرحلة إعادة الإعمار من خلال النقاط الأساسية الثلاثة:

- بيئية: حيث تعتبر الحاجة الملحة لمشاريع التشييد في مرحلة إعادة الإعمار وما يسبقها، بالطرق وأنظمة الانشاء التقليدية، مصدراً أساسياً للتلوث والغازات الدفيئة، وما تشكله من خطر داهم على البيئة واستدامتها.
- اجتماعية: حيث أنه في الفترة القادمة، من الحتمي عودة ملايين المهجرين إلى عملهم الأساسي في مدنهم التي باتوا لا يملكون مسكناً ولا مأوى بها، وبالتالي من الضروري إيجاد الحلول الناجعة والسريعة لتأمين السكن المؤقت اللائق للعائدين.
- اقتصادية: حيث أن مخلفات الدمار الناتج عن الحرب والزلزال، تشكل عبئاً اقتصادياً حقيقياً، وبنفس الوقت ركيزة أساسية تنموية إن أحسن استغلالها والاستفادة منها من خلال الأساليب والمعالجات الحديثة، من إعادة التدوير وغيرها.

لذلك كان توجه البحث نحو الطباعة ثلاثية الأبعاد كتقنية إنشاء رقمية سريعة، ترتكز على مبدأ إعادة تدوير الكم الهائل من مخلفات الأبنية المدمرة دون الحاجة لإنتاج مواد البناء والانشاء الجديدة، لتأمين السكن المؤقت الذي يوفر للعائدين الحياة الكريمة.

هدف البحث: يهدف البحث إلى إلقاء الضوء على تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمساكن، ودراسة خصائصها وميزاتها وتقنيات تنفيذها، لاستخلاص مدى ملاءمتها للواقع الراهن في سورية لتكون أحد الحلول والتوجهات المثلى لإنتاج أحياء السكن المؤقت وفقاً لمبادئ التنمية المستدامة.

منهجية البحث: يتبع البحث المنهجيات البحثية التالية:

- منهج نظري: ضمن محورين رئيسيين: المساكن المؤقتة مراحلها ومتطلباتها، ومحور تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد وتطبيقاتها وإمكانيات ها وآلية عملها في المجال الهندسي.
- منهج وصفي: من خلال استعراض أنماط المساكن التي تمت طباعتها عالمياً، وتحديد السمات المميزة لكل منها.
- منهج مقارن: من خلال المقارنة بين متطلبات واعتبارات السكن المؤقت وإمكانيات تلبيتها باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمباني.

أولاً: المساكن المؤقتة بعد الحروب والكوارث:

١. **المساكن المؤقتة:** تحدد مراحل الإيواء بعد الكوارث بأربعة مراحل وهي:
- المأوى الأولي (في غضون ساعات).
- الإيواء المؤقت (خلال أسابيع).
- الإسكان المؤقت (يمتد من عدة أشهر إلى ٣ سنوات أو أكثر).
- الإسكان الدائم (في غضون بضع سنوات).

وتعرف المساكن المؤقتة بأنها المساكن التي توفر أماكن إقامة قصيرة الأمد للمتضررين من الكوارث تمتد لخمس سنوات أو أكثر، يمكنهم فيها استعادة بعض جوانب حياتهم، وتوفر لهم حياة آمنة ولائقة لحين عودتهم إلى أماكن إقامتهم الدائمة، حيث تملأ الفجوة بين مرحلة الإغاثة الفورية ومرحلة إعادة الإعمار. (2)

٢. **معايير تصميم المساكن المؤقتة:** على الرغم من أن المساكن المؤقتة لا تحتاج لاتباع معايير الإسكان الدائمة، إلا أنها يجب أن توفر للسكان الحد الأدنى من مستويات المعيشة، وبالتالي يحتاج تصميمها لعناية خاصة من حيث المعايير التالية:

- إدارة المخاطر: يجب ألا تزيد التصاميم من تعرض الشاغلين لها للمخاطر الطبيعية كالزلازل والعواصف أو التعرض للأخطار الأخرى.
- السرعة في الإنشاء: تتطلب المساكن المؤقتة إدارة سريعة للموقف، فيجب ألا تتجاوز مرحلة إنشاء التجمع السكني عدة أيام، وذلك لنقل المهجرين من مراكز الإيواء المؤقتة للمساكن المؤقتة.
- توافر المواد: يجب أن تكون المواد المستخدمة في إنشاء السكن المؤقت من الأسواق المحلية، بالإضافة إلى تحليل لشراء المواد من الأسواق المحلية والمواد التي تحتاج إلى استيراد.
- الحجم والشكل: إن مساحة المعيشة هو مقدار حاسم لعملية التصميم ويجب ألا تقل في جميع الحالات عن ١٨م٢.

- العمر الافتراضي: يجب تقدير الوقت المتوقع لاستخدام المساكن المؤقتة وبالتالي اختيار النمط الملائم لتحقيق عمرها الافتراضي، كما يجب أن يكون النمط المستخدم قابل لإعادة الاستخدام أو الارتقاء به.
- الخصوصية والملاءمة الثقافية: يجب أن يتكيف التصميم مع الثقافة المحلية للمنطقة، وأن يتمتع بالمرونة مما يسمح للسكان بإضافة بعض الأقسام الخارجية أو الانقسامات الداخلية لتحقيق الخصوصية.
- مراعاة البيئة: يتطلب بناء المساكن المؤقتة كميات كبيرة من المواد، لذا يجب الأخذ بعين الاعتبار الآثار السلبية للمواد المستخدمة على البيئة المحلية. (2)

٣. **التحديات التي تواجه الاستدامة والبيئة نتيجة عمليات التشييد:** تشكل الحاجة لتأمين المساكن المؤقتة بشكل سريع ضرورة ملحة بعد الحروب والكوارث، وتعد مشاريع التشييد هذه من أكبر المخاطر على البيئة والاستدامة في عدة مجالات، والتي يمكن تلخيصها بأربعة نقاط أساسية وهي الشكل (3):

الشكل (**3**): التحديات التي تواجه الاستدامة والبيئة

- استهلاك الموارد الطبيعية: إنّ أكبر تحدي في هذه المرحلة هو الحاجة الملحّة للعديد من مشاريع التشييد، ونتيجة هذه الحاجة سيكون هناك استهلاك للعديد من الموارد الطبيعية لإنتاج مواد بناء تساعد في عملية إعادة الإعمار، وبالتالي ستشكّل هذه الحاجة الملحّة تحدي خطير في مجال استدامة مواد البناء وقدرة الأجيال القادمة على الحصول عليها.

لذا عند التفكير بوجوب تحقيق معايير الاستدامة في المرحلة القادمة يجب التفكير بدايةً ألا يكون إنشاء هذا المبنى يؤثر سلباً على قدرة الأجيال القادمة الحصول على المصادر

الأولية التي تحتاجها لعملية الاعمار، حيث تعتبر صناعة مواد التشييد بصفة عامة والخرسانة بصفة خاصة من أكثر الصناعات المستهلكة للموارد الطبيعية في العالم.

- المخلفات الناتجة عن صناعة مواد البناء: إضافة لاستهلاك الموارد الطبيعية، تعتبر صناعة مواد التشييد بصفة عامة والخرسانة بصفة خاصة من أكثر الصناعات المنتجة للمخلفات في العالم، فعند إنتاج مادة الإسمنت ينتج عن حرق وطحن المواد الخام (مواد جيرية–مواد طينية) غبار ناعم يتطاير بسهولة بفعل الرياح مما يسبب كارثة صحية وبيئية للمناطق المحيطة بمنطقة الانتاج، وأيضا عند انتاج الحديد والرخام والجرانيت وغيرها.
- المخلفات الناتجة أثناء عمليات التشييد: والمتمثلة في كسر الطوب والخرسانة وفائض الركام والحديد وبعض الأخشاب ومخلفات المصانع الشكل (4)، ومخلفات تشكيل الخرسانة حيث يتم انتاج حوالي ١٢ بليون طن سنوياً من الخرسانة، تستهلك ١,٧ بليون طن اسمنت و ٩ طن ركام وترليون لتر ماء وأكثر من ٢بليون طن حجر جيري، وهذه المواد ينتج عنها مخلفات تقدر ب ٥٠% ولذلك نجد أن مخلفات الخرسانة هي من أهم مخلفات الإنشاء.

الشكل (4): مخلفات البناء الناتجة عن عمليات التشييد الجديدة

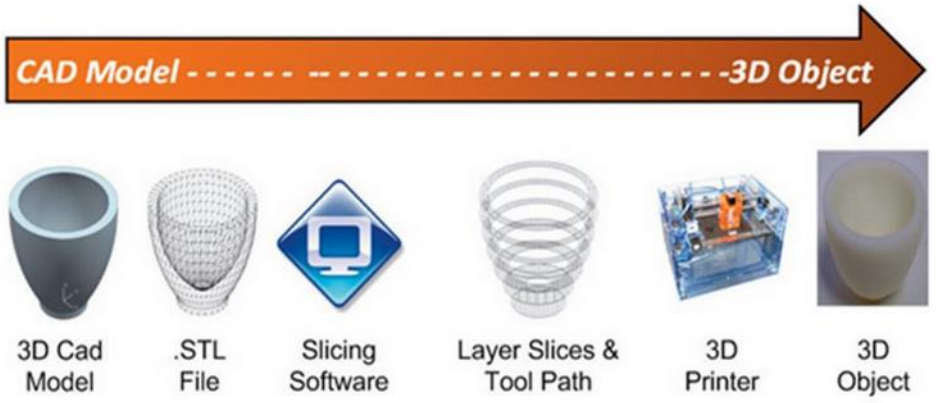
- المخلفات الناتجة عن هدم المباني: علاوة على ذلك تعاني سورية من وجود كميات كبيرة من مخلفات البناء وهدم المباني الناتجة عن الحرب وعن الزلزال الذي ضرب مناطق عدة عام ٢٠٢٣ والتي تشكل خطراً على البيئة، حيث تتكون مخلفات البناء والتشييد من ناتج الخرسانة وكسر الطوب والسيراميك والبلاط والزجاج والأخشاب والحديد وألواح الجبس وغيرها، وتختلف نسب هذه المخلفات من بلد لآخر باختلاف طريقة التشييد والمواد المستخدمة، وطبقاً لتصنيف وكالة حماية البيئة الامريكية فإن

نسب مخلفات البناء والهدم تتراوح بين ٤٠%-٥٠% خرسانة، ٢٠% كسر حجارة، ٣٠% خشب، ١٠% مواد عازلة واسفلت، ٥% معادن، ٥%طوب. (3)

استشعرت الدول الصناعية المتقدمة أخطار مخلفات البناء، خصوصا بعد الحرب العالمية الثانية حيث بدأت أولى عمليات استخدام المخلفات وإعادة تدويرها على مستوى محدود أخذ بالتطور لاحقاً، إلى أن ظهرت مفاهيم وأساليب جديدة لم تكن مألوفة من قبل في تصميم وتنفيذ المشاريع بما يقلل من المخلفات ويعتمد على إعادة تدويرها واستغلالها بشكل يحقق مفاهيم التصميم المستدام، من خلال حماية البيئة وخفض استهلاك الطاقة والاستغلال الأمثل للموارد المتاحة والاعتماد بشكل أكبر على مصادر الطاقة المتجددة، ومن أحدث هذه التقنيات هي تقنية طباعة المباني.

ثانياً: الطباعة ثلاثية الأبعاد:

١. **المفهوم العام:** هي إحدى طرق التصنيع الحديثة (التصنيع بالإضافة أو التصنيع التجميعي) حيث يمكن تصنيع منتج ثلاثي الأبعاد مجسم وملموس باستخدام طريقة الطبقة فوق الطبقة، والذي يتناقض مع الطرق التقليدية كالصب والقولبة والطرح، حيث يتم تصميم النموذج أولاً على إحدى برامج الكاد، ثم يتم تحويله لملف بصيغة STL، ثم يتم تقطيعه لطبقات وفق برنامج خاص، ونقل الناتج لآلة الطباعة التي تقوم بضخ المواد وفقاً لهذه الطبقات وصولاً للمنتج النهائي الملموس الشكل (5). (1)



الشكل (5): مراحل عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد

٢. **مجالات تطبيق تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد:** تم استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في العديد من مجالات الحياة ومنها:

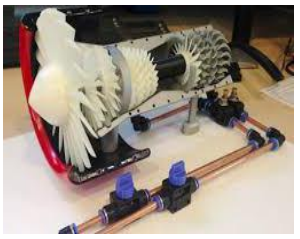
- في المجال الطبي: استخدمت هذه التقنية في صناعة المعدات الطبية والنماذج المفصلة للصب المعدني للتيجان التي تستخدم في طب الأسنان الشكل (6)، وفي صناعة الأعضاء الاصطناعية لاستخدامها في الزرع مثل الورك والركبة والمفاصل وأجهزة السمع وتقويم العظام وغيرها الشكل (7)، كما تطورت لطباعة الجلد والعظام والأنسجة والمستحضرات الصيدلانية وحتى الأعضاء البشرية الشكل (8). (7)

الشكل (6):
صب تيجان

الشكل (7):
طباعة أعضاء اصطناعية

الشكل (8):
طباعة أعضاء بشرية

- في المجال الصناعي: استخدمت هذه التقنية في طباعة معدات صناعية صغيرة أو أجزاء من معدات صناعية ثقيلة بوقت قليل الشكل (9)، وفي تطوير المنتجات وصناعة النماذج الأولية أو طباعة الأجزاء الصغيرة من الطائرة، كما تمت طباعة أول نموذج لطائرة في ألمانيا الطائرة "ثور" التي تميزت بخفة وزنها وبالتالي حاجتها قدراً أقل من الوقود ما يقلل من انبعاثات الكربون والملوثات الأخرى الشكل (10)، وفي تصنيع السيارات كالسيارة الكهربائية LSEV الشكل (11). (13)



الشكل (9):
طباعة جزء من آلة

الشكل (10):
طباعة طائرة (الطائرة "ثور")

الشكل (11):
طباعة سيارة LSEV

- في مجال الموضة: طباعة أنواع مختلفة ومعقدة من المجوهرات الذهبية أو الفضية أو اكسسوارات من معادن اصطناعية وبلاستيك الشكل (12)، وفي طباعة نماذج خاصة معقدة ومتنوعة من الملابس والأحذية الشكل (13). (16)

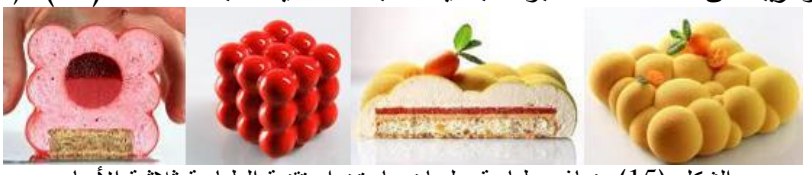
الشكل (12): طباعة مجوهرات واكسسوارات

الشكل (13): طباعة أحذية وملابس

- في مجال الفنون: طباعة تماثيل ولوحات ومنحوتات مختلفة، إضافة لإعادة عمل نسخ مطابقة للقطع الفنية القديمة التاريخية الشكل (14). (19)

الشكل (14): لوحة الموناليزا أول قطعة فنية تتم طباعتها بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد

- في مجال الطعام: تتسابق العديد من المطاعم في العالم على تقديم نماذج مميزة وغريبة من الأطعمة المطبوعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد الشكل (15). (16)



الشكل (15): نماذج طباعة حلويات باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد

- في مجال الفضاء والأقمار الاصطناعية: طرحت وكالة الفضاء الأوروبية NASA فكرة لبناء مستعمرة على القمر بواسطة الطباعة ثلاثية الأبعاد على شكل قبة تحمي السكان من الأشعة الفضائية والنيازك الصغيرة التي من الممكن أن تحلق بقربها ووفقاً لنظرية ناسا فإن ٩٠% من المواد اللازمة للبناء موجودة بالفعل على سطح القمر والأجزاء المتبقية يمكن نقلها بواسطة صاروخ فضائي الشكل (16). (28)

الشكل (16): النموذج المقترح للطباعة على سطح القمر

٣. **تطبيقات تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في المجال الهندسي:** تطورت مراحل استخدام هذه التقنية مع تطور تقنيات الطباعة والآلات والمواد المستخدمة، حيث دخلت تقنية الطباعة المجالات التالية:

- بداية تم إدخال هذه التقنية بشكل بسيط من خلال طباعة نماذج هندسية دقيقة ثلاثية الابعاد للزيادة في التوضيح واعطاء صورة مصغرة للمشروع بطريقة ثلاثية الابعاد وتحتوي على الكثير من التفاصيل الدقيقة والمعقدة على عكس الطرق التقليدية التي تقيّد من محدودية الإبداع الشكل (17). (17) الشكل (17): نموذج مجسم معماري، سورية

- ثم تم إدخال التقنية بشكل أوسع من خلال طباعة أنواع مختلفة ومتعددة من الديكورات الجبسية أو غيرها التي تحوي على تفاصيل أو زخارف، مما يعطي الحرية للمصمم للتفكير أو الابداع على عكس الطرق التقليدية التي تقيد الفكر أو ربما تتطلب العديد من الخبرات والوقت والجهد والتكلفة، ومن الأمثلة الهامة انجاز الديكورات والزخارف الداخلية في كنيسة فاميليا ساغرادا للمعماري انطونيو غاودي في برشلونة والتي تم البدء في بناءها عام ١٨٨٢م وتم إدخال الطباعة ثلاثية الأبعاد للمساهمة في إنشائها منذ عام ٢٠٠١ الشكل (18).(14)

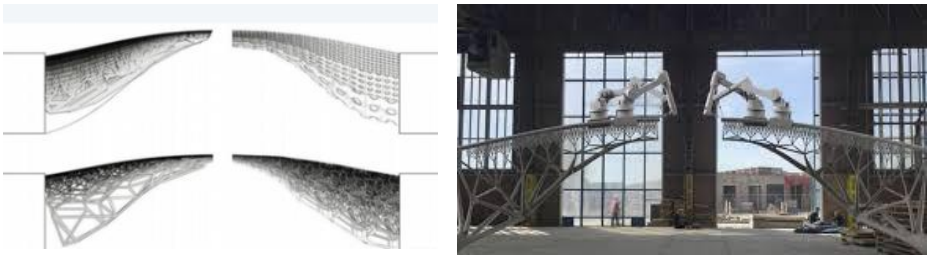
شكل (18): كنيسة فاميليا ساغرادا، برشلونة

ثم اقتحمت تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد مجال التصميم الداخلي من خلال طباعة أنواع معقدة ومختلفة من المفروشات، وخاصة الطرز التي تحوي على الكثير من التفاصيل الدقيقة التي كانت تتطلب الكثير من الوقت والخبرات لإنجازها أو الطراز المعاصر لتلبية الحاجة للإبداع وخلق النماذج العصرية المناسبة للفراغ الشكل (19). (25)

الشكل (19): نماذج طباعة مفروشات

- ثم مع تطور آلات الطباعة تم استخدامها في طباعة المنشآت الصغيرة كالجسور مثلا حيث يتم استعمال طابعات روبوتية ومن الممكن أن يتم العمل بدءا من جهة واحدة بحيث يشكل الجزء المطبوع مسار حركة للروبوت الشكل (20)، ومن الممكن البدء بالعمل من الجهتين باستخدام آلتي طباعة الشكل (21). (5) (30)

الشكل (20): نموذج جسر باستخدام ٣D Printer Robot/يمين، جسر الصين /يسار



الشكل (21): نموذج جسر باستخدام روبوتين /يمين، تصميم الجسر على الحاسب /يسار

- لاحقاً مع تطور المواد المستخدمة في الطباعة تم استخدام التقنية في صناعة المواد الأولية المستخدمة في البناء أو في طباعة عناصر البناء في حالة تقنية البناء باستخدام العناصر مسبقة الصنع، ويظهر الشكل (22) نموذج خيم تم إنشاؤها في إحدى الغابات في الولايات المتحدة الأمريكية من خلال طباعة وحدات البناء في المعمل وتجميعها لاحقاً في الموقع.(22)

الشكل (22): مراحل تجميع المواد الأولية المطبوعة لإنشاء خيم في غابة في كاليفورنيا

- إلى أن ظهر نوع جديد من الطابعات الضخمة والتي يصل ارتفاعها لـ ١٥م وبدأت ثورة جديدة في عالم الإنشاء، فبدأ استخدام هذه الطابعات في طباعة أجزاء الأبنية مسبقة الصنع ولاحقاً في طباعة الأبنية بشكل كامل، وسيتم التوسع في هذا المجال من خلال استعراض الأنماط الإنشائية المتبعة في الطباعة وأنواع الآلات وإمكانياتها.

٤. **الآلات المستخدمة في طباعة المباني وإمكانيات ها:** يختلف نوع الآلات في كل بلد وفقاً للشركة المصنعة، لكن هناك ثلاث أنماط أساسية لشكل الطابعة وطريقة عملها:

- **الطابعة ذات السكتين:** كمثال عنها طابعة VULCAN 3D printer: يسمح هذا النوع من الطابعات بطباعة منزل بارتفاع طابقين في الموقع، تتكون الطابعة من قاعدة التحكم حيث يتم إدخال معطيات المبنى عبر الحاسوب، إضافة لحاويات الإسمنت والمياه، والتي ترتبط بذراع متحركة يوجد بنهايتها جهاز النفث والذي تخرج عبره المواد، ترتبط الذراع وجهاز النفث بقاعدة متحركة على سكتين تحيطان بالمبنى، إضافة لذراع رافعة الكترونية تقوم بحمل

العناصر الانشائية الداعمة ووضعها في موقعها ضمن المبنى وفق المعطيات المدخلة عبر الحاسوب الشكل (23). (24)

الشكل (23): آلية عمل طابعة VULCAN

- **الطابعة الروبوتية المتحركة:** كمثال عنها طابعة CYBE ROBOTIC 3DP: تعد هذه الطابعة من أنواع الطابعات الروبوتية، تتكون من روبوت صغير يحتوي على دارة التحكم والتي يتم ربطها بالحاسوب للحصول على معطيات المبنى، تحتوي على ذراع الكترونية مرتبطة بجهاز النفث، والذي يقوم إضافة لدوره في نفث المواد بقياس طول الجزء الذي سيتم طباعته والذي لا يتجاوز ٢,٧٥م، إضافة لخزان مياه وحاوية الإسمنت ووحدة تتحكم بكمية الخلط بين الإسمنت والمياه، تتحرك هذه الطابعة حول المبنى لطباعته كأجزاء ملتصقة ببعضها الشكل(24). (23)

الشكل (24): طابعة CYBE ROBOTIC والأجزاء المرتبطة بها

٥. **الطابعة الروبوتية الثابتة:** كمثال عنها طابعة APIS COR PRINTER: تشبه هذه الطابعة إلى حد بعيد النموذج السابق لكنها طابعة ثابتة وليست متحركة، تحتوي على قاعدة التحكم المرتبطة بذراع أطول قابل للحركة في جميع الاتجاهات، وتعطي مدى أكبر حيث تستطيع طباعة المنزل بالكامل دون الحاجة لفصله لأجزاء بطول ٢,٧٥م، من الممكن أن تتوضع ضمن المبنى وتتم عملية الطباعة بدوران الذراع حول محورها في حال الحاجة لنقل المبنى لمكان آخر، ومن الممكن أن توضع بمكان ثابت خارج حدود المبنى

وتتولى الذراع الالكترونية التحرك لتوجيه جهاز النفث لكامل حدود المبنى الشكل(25).

(20) . الشكل (25): طابعة GPIS COR وآلية عملها

٦. العناصر الإنشائية والبنائية المستخدمة في تقنية طباعة المباني:

يختلف النمط المتبع في إنشاء المباني حسب نوع الطابعة وإمكانيات ها، حيث يوجد حتى الآن وفقاً لأنواع الطابعات الشهيرة التي تم ذكرها سابقاً نمطين من النظم الإنشائية المتبعة في إنشاء الأبنية بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد وهي:

- النمط الأول: يشبه نظام الإنشاء الهيكلي إلى حد ما حيث يعتمد على استخدام عناصر التسليح مع وجود طبقة من الاسمنت تشكل أساس تكوين المبنى، ويتم استخدام هذا النمط في الطابعات التي تسير على سكتين وفي الطابعات الروبوتية الثابتة، حيث تمنح هذه الطابعات إمكانية طباعة الجدران المستمرة مهما كان طولها، وتكون العناصر الإنشائية والبنائية في هذا النمط كالتالي:

الشكل (26): الأساسات السطحية للأبنية المطبوعة

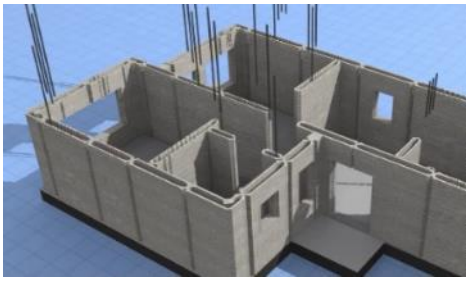
– الأساسات: لا تحتاج الأبنية المطبوعة إلى أساسات عميقة بل يتم استخدام حصيرة خرسانية يتم طباعتها فوق مستوى سطح الأرض وتعد كسطح تسوية يتم توضّع المبنى فوقه الشكل (26).(26)

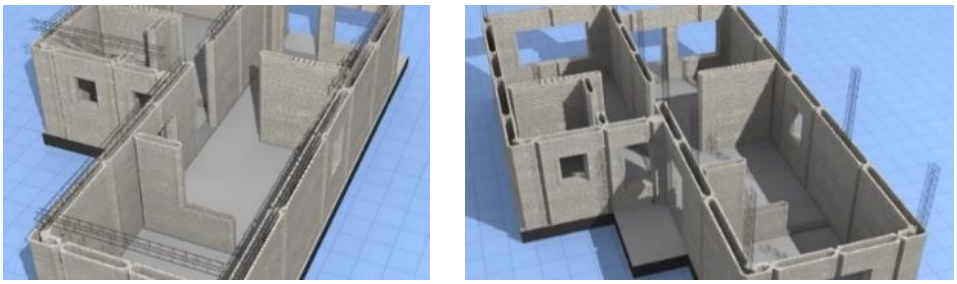
– الجدران: الجدران المطبوعة ثلاثية الأبعاد أخف بنسبة ٥٠% من الجدران الخرسانية ولكنها تتمتع بقوة وصلابة أعلى بكثير، كما أنها تتمتع بمقاومة قوية للماء، وضد الكسر بالإضافة إلى تحسين نفاذية الهواء، والاحتفاظ بالحرارة مقارنة بالجدران المصنوعة من مواد البناء الشائعة، ويعود السبب لذلك لشكل الجدران حيث تكون عبارة عن طبقتين كل طبقة بعرض ٢,٥سم (بسماكة رأس النفث)، مع فراغ ١٥سم بين الطبقتين، اللتان ترتبطان ببعضهما عن طريق شريط منكسر من مادة الطباعة ذاتها وبذات السماكة ٢,٥سم، كما أنه

في بعض الأبنية عند طباعة طوابق متعددة تم استخدام طبقة ثالثة لزيادة قدرتها على التحمل الشكل (27)، الطابعات ذات السكتين والطابعات الروبوتية الثابتة لها قدرة على طباعة الجدران المستمرة مهما كان طولها، لكن الطابعات الروبوتية المتحركة تقوم بطباعة الجدران بطول لا يتجاوز ٢,٧٥م ملتصقة ببعضها.(18) (15)

الشكل (27): شكل الجدران المطبوعة وطبقاتها

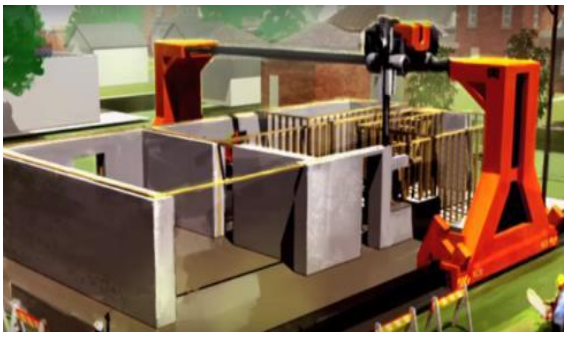
– <u>الأعمدة والجسور:</u> يتم إضافة حديد التسليح للأعمدة أولاً ثم للجسور بعد الانتهاء من طباعة الجدران، ثم تتم عملية الصب ضمن الفراغات المخصصة، يضاف فوقها طبقة من العازل (حبيبات الفوم الأبيض) لتغطية الفراغات ولتؤمن العزل الحراري قبل تركيب بلاطة السقف الشكل (28). (23)





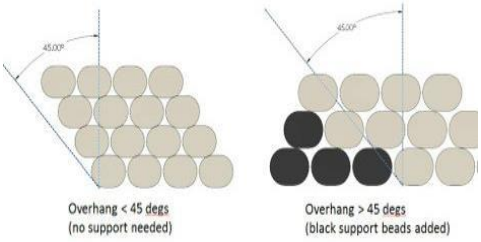
الشكل (28): مراحل تسليح المبنى

– الطباعة فوق الفتحات: تتم إضافة عناصر داعمة مسبقة التجهيز بشكل يدوي في أعلى الفتحة ثم تتابع الطابعة عملها في طباعة الجزء المتبقي من الجدار، وتحتوي بعض الطابعات على ذراع روبوتية تنقل العناصر الداعمة وتضعها في المكان المخصص عند الحاجة الشكل (29). (24)

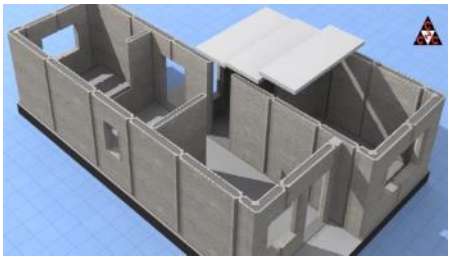


الشكل (29): إضافة العناصر الداعمة في طابعة VULCAN .

– الأسقف: في الاسقف المستوية أو المسطحة يجب استخدام دعائم أو جوائز مسبقة التجهيز أولاً بذات مبدأ الفتحات أو طباعة السقف على الأرض ثم رفعه للأعلى الشكل (30)، أما بالنسبة للأسقف المائلة أقل من ٤٥ درجة فيمكن طباعتها بسهولة، أما في الأسقف المائلة أكبر من ٤٥ درجة فيتم استخدام ما يسمى بالمادة الداعمة وهي جزء يتم بناءه (طباعته) أثناء الطباعة ولا يكون جزء من المجسم الرئيسي المراد طباعته ويمكن إزالتها بسهولة وبطرق عديدة بعد الانتهاء من عملية الطباعة حسب التقنية المستخدمة في الطباعة الشكل (31). (23) (27)

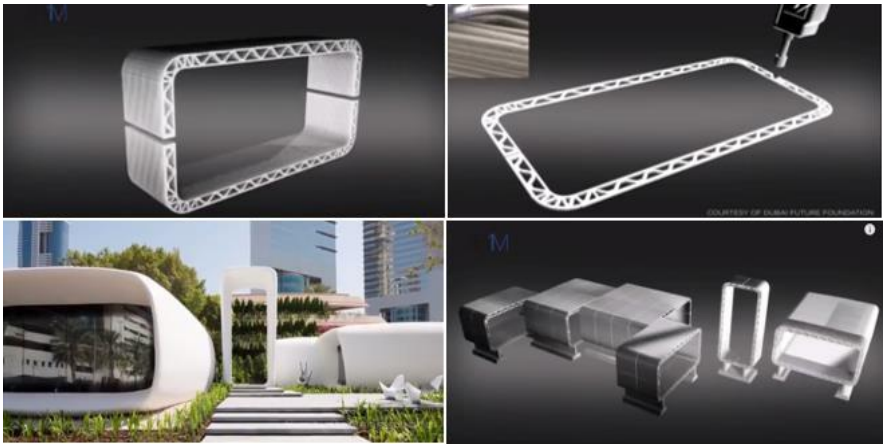


الشكل (30): استخدام عناصر داعمة قبل طباعة البلاطات المستوية



الشكل (31): استخدام مادة طباعية قابلة للإزالة قبل طباعة الأسقف المائلة

- النمط الثاني: ويختلف عن الطرق التقليدية لأنها تستخدم في حالة الطباعة في المعمل وليس على أرض الواقع، كما لا تعتمد على العناصر الإنشائية المعروفة (أعمدة وجوائز وأسقف...)، بل تتم طباعة أجزاء المبنى بشكل متكامل (الجدران مع الارضية والسقف) ويتم تجميعها وتركيبها لاحقاً في الموقع الشكل (32). (10)



الشكل (32): مراحل تجميع العناصر المكونة لمبنى مكاتب دبي في الموقع

٧. **المواد المستخدمة في الطباعة:** بشكل عام تستخدم في الطابعات ثلاثية الأبعاد البوليمرات وهي مادة كيميائية تتكون من العديد من الوحدات المتكررة ويمكن أن تكون البوليمرات ثلاثية الأبعاد أو ثنائية الأبعاد أو أحادية البعد، وتتشكل البوليمرات عن طريق عدة تفاعلات كيميائية لعدد كبير من الجزيئات التي تُسمى مونومرات (monomers) تتصل ببعضها البعض بشكل متتابع لتكوين السلسلة، هناك بعض البوليمرات التي توجد بشكل طبيعي مثل: البروتينات والنشا والسليلوز والمطّاط والتي تستخدم في الطباعة في مجالات عديدة، وهناك أيضاً تلك التي يتم تشكيلها صناعياً.
أما في طابعات المباني فمن الممكن استخدام خلطة خرسانية مكونة من الإسمنت المضاف إليه ألياف زجاجية للتقوية ومياه، أو ممكن استخدام خليط من مواد البناء المعاد تدويرها وألياف زجاجية وطلاء للتصلب ومياه الشكل(33)، حيث أثبتت التجارب العالمية أنه يمكن إعادة تدوير ٨٠–٩٠% من مخلفات الهدم حيث يتم وضع المجاميع الخرسانية التي يتم جمعها من مواقع الهدم من خلال آلة السحق والتي يجب أن تكون خالية من القمامة، الخشب، الورق وغير ذلك من المواد الأخرى، يتم قبول المعادن مثل حديد التسليح، لأنها يمكن إزالتها بواسطة المغناطيس وأجهزة الفرز الأخرى لإعادة تدويرها في مكان آخر، ثم يتم فرز القطع الإجمالية المتبقية حسب الحجم، كما يمكن ان يتم السحق في موقع البناء الفعلي باستخدام الكسارات المحمولة ذلك يقلل من تكاليف البناء والتلوث عند المقارنة مع نقل المواد من وإلى المحجر. (5) (16)

الشكل (33): مواد البناء المستخدمة في الطباعة

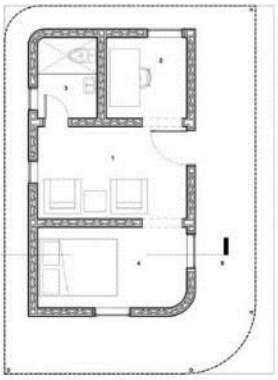
٨. أمثلة لمباني أنشئت بتقنية الطباعة ثلاثية الابعاد:

تعددت تجارب إنشاء المباني بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في مختلف أنهاء العالم، ومن أهم تلك التجارب:

١) مسكن إيواء–الولايات المتحدة الأمريكية:

البطاقة التعريفية للمبنى	
موقع المشروع	أوستن–تكساس– الولايات المتحدة الأمريكية
الشركة المصنعة	ICON
مساحة البناء	٦٠ متر مربع
ارتفاع البناء	طابق واحد
زمن البناء	١٢ ساعة
الطابعة المستخدمة	Vulcan

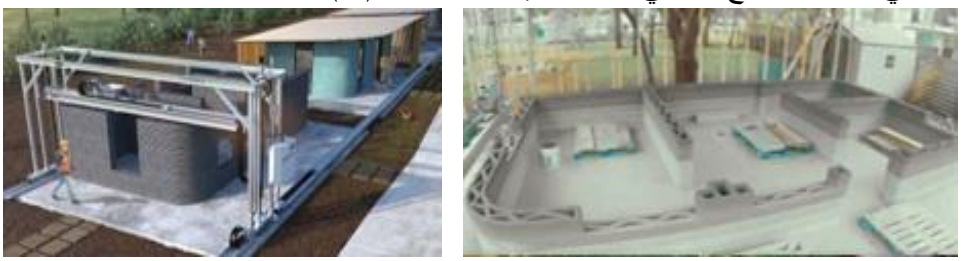
يعد هذا المبنى من أوائل المباني السكنية المطبوعة في العالم، غرض المشروع هو محاولة لتوفير سكن لائق للمشردين في المجتمعات الفقيرة في بعض الدول النامية لمواجهة أزمة الإسكان العالمية، إذ تمت طباعة المبنى التجريبي في أمريكا كجزء من خطة الشركة لبناء مجمع مكون من حوالي ١٠٠ منزل للمقيمين في السلفادور، حيث يمكن للشركة طباعة منزل بالكامل مقابل ٤٠٠٠ دولار فقط ومن المقرر خفض التكاليف لـ ٢٥٠٠ دولار عند نقلها للسلفادور، يحتوي المنزل على غرفة معيشة، نوم، حمام، مكتب وشرفة الشكل (34)،



الشكل (34): مسقط مبنى

المادة الرئيسية المستخدمة هي الاسمنت البورتلاندي، كما تم استخدام الدعائم الخشبية في السقف بشكل واضح مما ساعد على إقناع العملاء في متانة الهيكل الإنشائي، وحافظت الشركة على الشكل الناتج عن الطباعة دون تنعيم الأسطح أو إضافة مواد إكساء للمحافظة على طابع المبنى الشكل (35)، ومن المتوقع عمراً أطول لهذه المنازل من المنازل المبنية بوحدات البناء الخرسانية التقليدية، ويظهر الشكل (36) مراحل عملية الطباعة، والشكل (37–38) يوضح المنتج النهائي وشكل التجمع السكني المخطط إنشاؤه.(8) (24) (21)

الشكل (35): شكل الجدران



الشكل (36): مراحل طباعة المبنى

الشكل (37): المبنى من الداخل الشكل (38): التجمع السكني المخطط إنشاؤه في السلفادور

٢) مجموعة مخازن شنغهاي–الصين:

البطاقة التعريفية للمبنى		
موقع المشروع	المنطقة الصناعية – شنغهاي – الصين	
الشركة المصنعة	WINSUN	
مساحة البناء	٦٦ م٢ للمخزن الواحد	
ارتفاع البناء	طابق واحد في معظمه وطابقين في بعض الأجزاء	
زمن البناء	٢٤ ساعة	
الطابعة المستخدمة	نموذج مطور عن طابعة Vulcan	

مجموعة المخازن هذه هي جزء من خطة التطوير العقاري التي تنتهجها الصين، حيث قامت الشركة المصنعة بطباعة عشرة مباني وباستخدام أربعة آلات ضخمة بطول ٣٢م وطول ١٠م وطول ٦م في حديقة شنغهاي هاي تيك الصناعية بمساحة إجمالية ٦٦٠ م٢ بما لا يتجاوز ٢٤ ساعة، مما عزز قدرة المباني على الإنشاء السريع، يعتقد أن كل منزل يكلف أقل من ٥٠٠٠ دولار أي يمكن بناء مساكن بأسعار معقولة، تم استخدام مخلفات مواد البناء التي تم خلطها بالإسمنت والألياف الزجاجية وضخها إلى طبقات للبناء، وطبعت المباني باستخدام النظام الإنشائي الثاني الذي تم ذكره سابقاً عن طريق صنع أجزاء في مقر الشركة ثم تركيبها في الموقع مما طوّر من إمكانيات استخدام العناصر مسبقة الطباعة، وتظهر الأشكال(39–41) مراحل عملية الطباعة في المعمل والتجميع في الموقع والمنتج النهائي لتجمع المباني. (29) (7)

الشكل (39): مراحل عملية الطباعة في المعمل

الشكل (40): مراحل عملية التجميع في الموقع

الشكل (41): مجمع مباني شنغهاي–الصين

٣) مشروع TECLA:

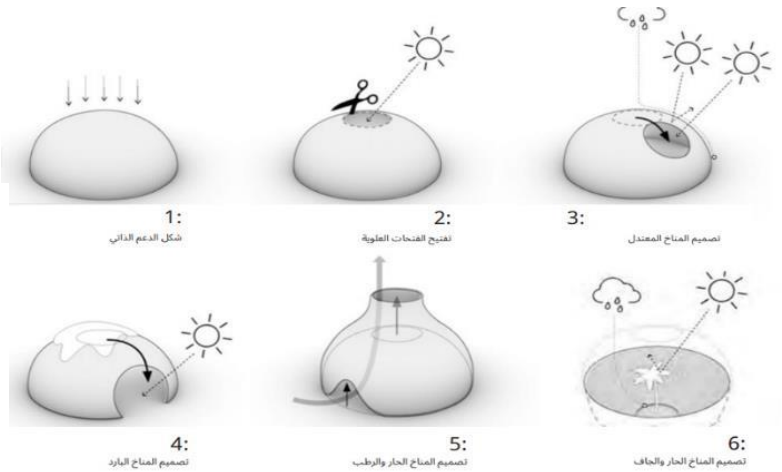
البطاقة التعريفية للمبنى		
موقع المشروع	ماسالومباردا – إيطاليا	
الشركة المصنعة	Mario Cucinella	
مساحة البناء	٦٠ متر مربع	
ارتفاع البناء	طابق واحد	
زمن البناء	٢٠٠ ساعة	
الطابعة المستخدمة	Crane WASP	

الفكرة الأساسية من المشروع هي أن الحلول للعديد من المشاكل التي تواجهنا على كوكب الأرض يمكن أن نجدها في الواقع في الأرض، لذا سعى المشروع لدمج التكنولوجيا بمواد البناء التقليدية، فمنذ آلاف السنين كانت المباني مكونة من عناصر هيكلية

الشكل (42): شكل البيوت الطينية في سورية التي تم استلهام التصميم منها

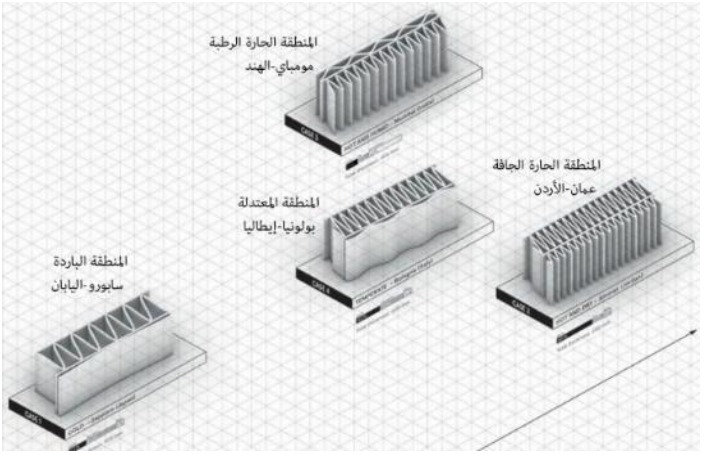
مصنوعة بالكامل من الأرض وكانت تقاوم الزلازل وعملية التآكل، إلا أن المباني التقليدية تم إنشاؤها بشكل تجريبي، بينما من الممكن اليوم تقييم تكوينها بدقة وتحسين مكوناتها، لذا تم صنع المزيج المكون للطباعة من التربة المحلية عوضاً عن الاسمنت، والألياف (قشر الأرز والقش) عوضاً عن المواد الداعمة، إضافة للمياه، من ميزات المشروع أنه أول مبنى مطبوع في العالم من الطين، ويتميز بأنه أكثر مرونة، فإذا كانت التقنيات التقليدية قد وضعت حدوداً مادية على خيال المعماريين فإن الطباعة ثلاثية الأبعاد يمكنها إنتاج أي شكل مهما كان معقداً، كما أنه يخفض الانبعاثات بنسبة ٥٠% فضلاً للمواد المشكلة له، ويخفض التكاليف بنسبة ٥٠-٦٠%، وتم بناؤه بوقت أقل بنسبة ٥٠-٧٠%، كما أنه نظراً للدقة في تحديد كمية مواد البناء اللازمة فيمكن أن يؤدي ذلك لخفض النفايات إلى الصفر، تم استلهام التصميم من شكل البيوت الطينية في سورية الشكل(42).

يشمل التصميم مساحتين دائريتين متصلتين، ويتضمن غرفة معيشة وغرفة نوم وحمام، المميز أثناء الطباعة هو أنه تم تركيب طابعتين على مساري رافعتين لبناء القبتين لتعملا في الوقت نفسه دون أن يتقاطع مسار إحداهما مع الأخرى، ومن التحديات التي واجهت الطباعة بالطين هي أنه يحتاج لوقت أطول ليجف. وقد تم دراسة تصميم المشروع بطرق مختلفة ليكون قادراً على مواجهة العوامل الجوية في مختلف الظروف الشكل (43)، وطريقة تجميع الكتل في كل مناخ الشكل (44)، وشكل الطبقات المكونة للجدار كذلك الأمر الشكل (45). (31)



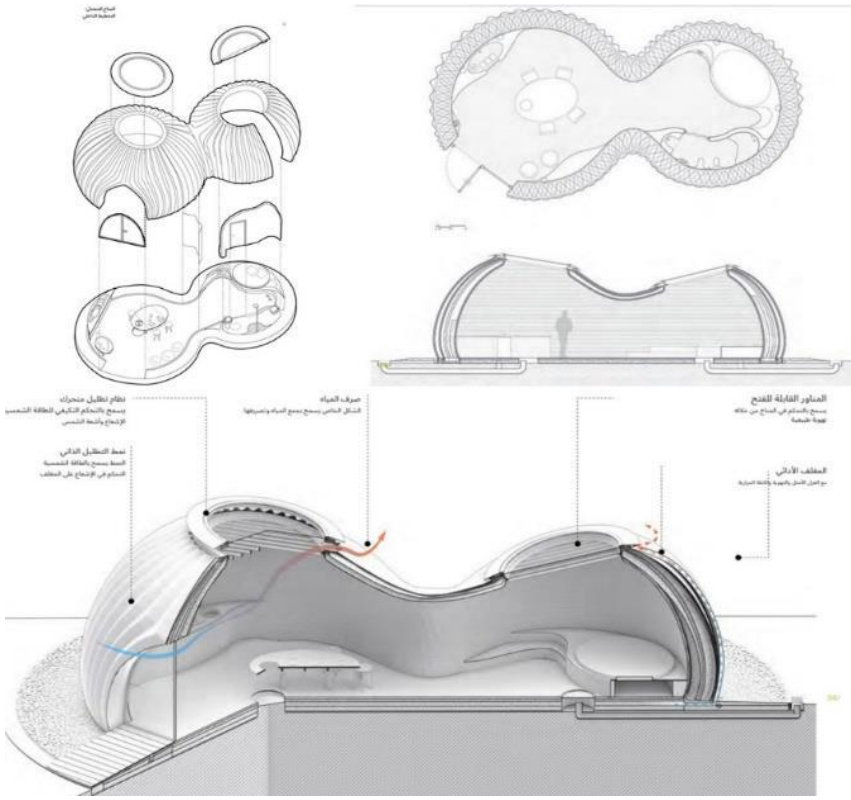
الشكل (٤٣): مقترح تصميم المبنى في مختلف الظروف المناخية

الشكل (44): طريقة تجميع الكتل في كل منطقة مناخية



الشكل (45): الطبقات المكونة للجدار في كل منطقة مناخية

النموذج التي قامت الشركة بطباعته هو النموذج الخاص بالمنطقة المعتدلة- إيطاليا، ويظهر الشكلين (46-47) مخططات المبنى ولقطات متنوعة له.



الشكل (**46**): مخططات المبنى

الشكل (**47**): لقطات مختلفة من مشروع **TECLA**

٤) مبنى سكني:

البطاقة التعريفية للمبنى		
موقع المشروع	حديقة سوتشو الصناعية في مقاطعة جيانغسو – الصين	
الشركة المصنعة	WinSun	
مساحة البناء	١٠٠ متر مربع للطابق	
ارتفاع البناء	خمسة طوابق	
زمن البناء	غير معروف	
الطابعة المستخدمة	غير معروفة	

كسر هذا المبنى حاجز الخوف لدى العالم من متانة المباني المطبوعة، بحكم وصوله لخمسة طوابق إضافة لأنه طور إمكانيات تسليحها، كشف هذا المبنى قدرة الطابعات ثلاثية الأبعاد على انجاز ارتفاعات أعلى مما هو متوقع، وفسح المجال للمصممين الصينيين للتفكير بإنجاز أول ناطحة سحاب مطبوعة في دبي، تمت طباعة المبنى ضمن المعمل وعرضت الشركة ضمن معرض خاص في حديقة سوتشو الصناعية بعض أجزاء المبنى قبل تركيبه.

حسب تصريحات رئيس الشركة فإنه لا يوجد أي مانع تقني من طباعة المبنى بالكامل في الموقع، ولكن سيكون من الصعب نقل المبنى لمكان آخر حينها، لكن الشركة تسعى لطباعة مبنى كامل في الموقع خلال الثلاث سنوات القادمة بعد إتمام بعض التجارب، لم تكشف الشركة عن نوع الطابعة المستخدمة ولا عن الزمن المستغرق في الطباعة، ولم تنشر أي صور لها أو فيديوهات أثناء عملية الطباعة، إلّا أنّها صرّحت بأنّ الطابعة يبلغ ارتفاعها ٦,٦م وعرضها ١٠ أمتار وطولها ١٥٠م، ووفقاً للشركة تتيح ١٠ أضعاف كفاءة الإنشاءات التقليدية، بالإضافة إلى انخفاض محتمل بنسبة ٣٠–٧٠٪ في استهلاك الطاقة، وتوفير تكلفة البناء بأكثر من ٥٠٪، كما أن المبنى مقاوم للزلازل القوية، المواد التي استخدمت في الطباعة هي في المقام الأول نفايات البناء والنفايات الصناعية ومخلفات المناجم، بالإضافة لإسمنت وحديد التسليح وعامل تصلب خاص، كما تميز المبنى عن جميع المباني المطبوعة التي سبقته بأن الشركة لم تحافظ على شكل التموجات الناتج عن الطباعة بل إن دقة انجاز

المبنى والتفاصيل إضافة إلى إكساء المبنى أعطى صورة جمالية عن المباني المطبوعة الشكل(48).(9) (29)

الشكل (48): لقطات للمبنى قبل وبعد الإكساء

٩. ميزات استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمباني وملاءمتها للسكن المؤقت:

وفقاً لما تم دراسته سابقاً من آلية عمل الطابعات ثلاثية الأبعاد، ومن تحليل أشهر المباني المطبوعة، يمكن تحديد ميزات استخدام هذه التقنية بما يلي:

- الاقتصاد بالتكاليف: تعتبر تكلفة المباني المطبوعة قليلة نسبياً مقارنة بطرق البناء التقليدية، وذلك يعود لقلة عدد العاملين اللازمين في الموقع، وعدم الحاجة لاستخدام أي آليات للحفر والنقل أثناء الإنشاء، إضافة لاستخدام المواد المعاد تدويرها في الطباعة، حيث تعد تكلفة شراء الطابعة هي الكلفة الوحيدة عملياً.
- المرونة الانشائية: حيث أن امكانيات الطابعات ثلاثية الأبعاد بنماذجها المختلفة وآليات عملها المتعددة، تؤمن فراغات داخلية متباينة المساحات والمجازات، بالاستعانة بالقليل من حديد التسليح أو الاستغناء عنه تماماً، تبعاً لشكل وتسقيف المبنى. إضافة إلى انتاج مباني منتشرة أفقياً أو متعددة الطوابق، حيث أنه تم التوصل لطباعة مبنى من ثمانية

طوابق، وتخطط الصين حالياً لإنشاء أول ناطحة سحاب مطبوعة بالعالم، أي أن إمكانيات هذه التقنية تتطور يوماً بعد يوم موفرة مرونة إنشائية متميزة دون اللجوء إلى أنظمة إنشائية معقدة ومكلفة اقتصادياً.

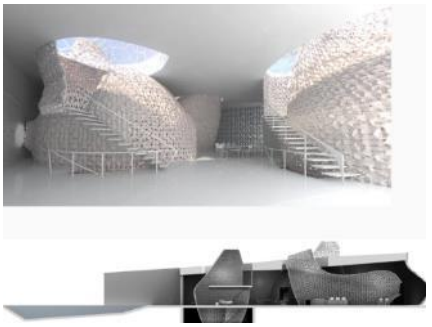
السرعة في الإنشاء: حيث يمكن طباعة المبنى في فترة زمنية أقل بكثير من طرق البناء التقليدية، إذ تم طباعة مبنى أوستن خلال ١٢ ساعة الشكل (49)، واستغرق طباعة مبنى STUPINO - روسيا ٢٠ ساعة الشكل (50)، بينما تمت طباعة مجموعة مباني–الصين بمساحة ٦٦٠م^2 خلال ٢٤ ساعة الشكل (٥١).

الشكل (49): مبنى تكساس

الشكل (50): مبنى روسي

الشكل (51): مبنى الصين

- المرونة في التشكيل: توفر تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد إمكانية انجاز أشكال أكثر تعقيداً وتحوي على تفاصيل أكثر من الطرق التقليدية مثل منزل بكين الشكل (52)، إضافة لإمكانية طباعة عناصر الفرش الداخلي وعناصر الموقع العام أيضاً كما في مشروع مكاتب دبي الشكل (53).



الشكل (52) القدرة التشكيلية– مشروع منزل بكين

الشكل (53): عناصر الفرش والموقع المطبوعة في دبي

- تحدي العوامل الجوية والتضاريس: يمكن بناء المباني بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في أي ظروف جويّة كانت، وفي درجات حرارة قاسية ارتفاعاً أو انخفاضاً، حيث تمت طباعة مبنى STUPINO تحت درجة حرارة -٣٥ درجة مئوية وعلى الثلج الشكل (54)، وفي الصحراء السعودية خلال فصل الصيف، من دون استخدام أي وسائل تبريد أو تظليل خلال العمل الشكل (55).

الشكل (54): سكن STUPINO في روسيا

الشكل (55) فيلا طابقين- السعودية

١٠. آفاق استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في إنشاء المساكن المؤقتة:

من خلال دراسة مميزات تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج المباني وخصائصها المتنوعة، يتضح مدى ملاءمتها لمعايير المساكن المؤقتة وتحقيقها لمتطلباتها التصميمية والتنفيذية، والتي يمكن تلخيصها بالجدول التالي:

معايير تصميم المساكن المؤقتة	إمكانيات تحقيقها باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمباني
إدارة المخاطر	قلة اليد العاملة والاعتماد في الإنشاء على الآلات بشكل كامل يحقق عامل الأمان أثناء الإنشاء، إضافة لإمكانيات تصميم الجدران بما يحقق عامل الأمان من الظروف المناخية والزلازل
السرعة في الإنشاء	من الممكن بناء تجمع سكني كامل خلال بضعة أيام فقط
توافر المواد	من الممكن استخدام مواد متنوعة في الطباعة كالتراب أو الخرسانة أو مخلفات البناء بعد إعادة تدويرها لكنها بحاجة لمعالجة معملية أولاً
الحجم والشكل	إمكانيات الطباعة غير محدودة بحجم معين وتظهر مرونة عالية وحرية كبيرة في التصميم

العمر الافتراضي	العمر الافتراضي للمباني المطبوعة يضاهي المباني المنشأة بطرق تقليدية، إضافة لإمكانية هدم المباني عند انتهاء الحاجة منها وإعادة استخدامها كمادة أولية لطباعة مباني جديدة
الخصوصية والملاءمة الثقافية	تقنية الطباعة غير محددة بأبعاد أو قوالب ثابتة وبالتالي يمكن تصميم أي مسكن وفق الحاجة
مراعاة البيئة	بما أن الطباعة تتم على حصيرة خرسانية فوق مستوى الأرض وبالتالي عند إزالة المبنى لا يشكل أية تأثير على البيئة الطبيعية والموقع

١١. دور تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمباني في التنمية المستدامة في سورية:

إن إنشاء المباني باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد تعتبر من التوجهات المعمارية التي من الممكن أن تواجه تحديات التنمية المستدامة بعد الكوارث والحروب، وهذا ما يجب التنبه له في الواقع الراهن في سورية بشكل خاص، نتيجة عمليات التشييد الضخمة التي ستحتاجها في مرحلة إعادة الاعمار، وذلك من حيث:

- الناحية البيئية:

– الوفر في استهلاك الموارد الطبيعية: باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمباني يمكن تقليل استنزاف الموارد الأولية والخامات من خلال استخدام مخلفات الخرسانة وإعادة تدويرها.

– انعدام المخلفات الناتجة عن صناعة المواد الأولية وأثناء عمليات التشييد: تعد تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد صديقة للبيئة حيث لا تحتاج لأي قوالب خشبية ولا يتم انتاج أية مخلفات أثناء عملية التشييد، إضافة إلى أن صناعة المواد الأولية بإعادة تدوير مخلفات المباني المهدمة يمكن أن ينتج عنه الحد الأدنى من الغبار والأتربة التي تعد أقل ضرراً على البيئة من إنتاج الاسمنت وغيره من مواد البناء التقليدية.

- الناحية الاقتصادية:

– إعادة تدوير المخلفات الناتجة عن المباني المهدمة: يمكن استخدام المخلفات الناتجة عن هدم المباني كمادة أولية في الطباعة مما يوفر أكثر من ٦٠% من المواد المطلوبة عادةً للبناء، وما يساعد ذلك في توازن الميزان التجاري من حيث

انخفاض الواردات بمجال مواد البناء، إضافة لتحقيق الوفر الاقتصادي الذي تعتبر سورية بأمس الحاجة له في مرحلة البناء وإعادة الاعمار.

- انخفاض حجم اليد العاملة في مجال البناء وتوظيفها في القطاعات الخدمية الهامة الأخرى والأقل خطورة، من خلال الاعتماد في الإنشاء على الآلات بشكل كامل بما يحقق عامل الأمان أثناء الإنشاء.
- من الممكن نقل المبنى بعد الانتهاء من الحاجة إليه كسكن إيواء إلى مكان آخر والاستفادة منه مجدداً كسكن دائم، كما يمكن هدم المباني واستخدامها في طباعة أبنية جديدة بمساحات ملائمة لسكن دائم في مناطق وتجمعات أخرى.

- الناحية الاجتماعية:

- السرعة في تأمين المسكن اللائق من حيث الخصوصية والحداثة والنظافة لاستقبال ملايين المهجرين، العائدين إلى بلدهم وعملهم الأساسي في مدنهم التي باتوا لا يملكون مسكناً ولا مأوى بها، وما ينعكس ذلك غلى الاستقرار الاجتماعي والنفسي لهم، ومحفزاً للكثيرين غيرهم للعودة.
- الاقلال من الأعباء الاجتماعية التي ستشكلها الأعداد الهائلة من الأسر العائدة على الأقارب والأصدقاء لاحتوائهم، وتأمين الأرضية المناسبة لجيل الشباب للاستقرار والارتباط وعدم الانتظار لتكوين أنفسهم وهدر الوقت بهدف تأمين مستقبلهم الذي ضاع منه الكثير.

١٢. النتائج والتوصيات:

١. تعاني سورية من وجود كمية كبيرة من مخلفات هدم المباني نتيجة الحرب والزلزال وبالتالي تشكل تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمباني فرصة للتخلص من تلك المخلفات واستغلالها كمواد خام للطباعة.
٢. إن المواد المستخدمة في طباعة المباني غير محدودة، ولا تقتصر على مخلفات الأبنية المهدمة فقط، إنما هناك إمكانية استخدام مواد محلية تناسب البيئات المختلفة في سورية، كالطين في البيئات السورية الجافة.

٣. يمكن استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في المساكن المؤقتة في مختلف المدن والمحافظات السورية وذلك لتوفر المواد الأولية المستخدمة في الطباعة، الناتجة من مخلفات الأبنية المهدمة في حلب وحمص ودمشق وريفها، ومن المواد المحلية بالريف أو المناطق الملائمة بيئيا في تدمر وريف ادلب وحلب والرقة ...

٤. تعتبر تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد هي الحل الأنسب لزيادة تعقيد تصميم المباني، حيث توفر الوقت والجهد وبالدقة المثلى، مقارنة مع استخدام الأساليب التقليدية في الانشاء.

٥. الطباعة ثلاثية الأبعاد هي أسلوب إنشاء حر غير مقيد، وبالتالي غير محدود بقوالب أو أبعاد ثابتة، مما يعطي إمكانيات كبيرة لتصميم المنازل بشكل يراعي البيئة والخصوصية الثقافية والمجتمعية.

٦. يختلف تصميم المباني المطبوعة عن الأبنية العادية مما يتطلب من النقابات الهندسية والمهنية والجهات المختصة في سورية، نشر ثقافة هذه التقنية وفهم أكبر لأسلوب الإنشاء وشكل الجدران الناتجة عن الطباعة وغيرها.

١٣. المراجع:

المراجع العربية:

1. ABDULSALAM A,2019- A study on the 3D printing technology and its future in the Arab world. Third Conference for Graduate Students, Sebha University, Libya
2. AMMAR E,2022- Temporary housing and its role in reconstruction. Al-Baath University Journal-Engineering Sciences Series. Vol. 44, no.11, 11-44.
3. AZZAM M, FAGGAL A,2007- Recycling construction and building waste and preserving the environment "applicability in Egypt". http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.36623.59048
4. JARAD F,2023- An applied study to evaluate and rehabilitate schools affected by the war on Syria. Tishreen University Journal of Engineering Sciences. Vol.45, no.3, 49-72.

المراجع الأجنبية:

5. AMBILY P.S, KALIYAVARADHAN S, RAJENDRAN N.2024- Top challenges to widespread 3D concrete printing (3DCP) adoption – A review. European Journal of Environmental and Civil engineering, vol. 28:2, pp. 300-328. http://dx.doi.org/10.1080/19648189.2023.2213294

6. AMBILY P.S, KALIYAVARADHAN S, RAJENDRAN N.2024- Top challenges to widespread 3D concrete printing (3DCP) adoption – A review. European Journal of Environmental and Civil Engineering, vol. 28:2, pp. 300-328.
7. DODZIUK H,2016- Applications of 3D printing in healthcare. Kardiochirurgia i Torakochirurgia Polska. Vol.3, no.13, pp 283-293.
8. ELNAEEM R, TAGLSIR M,2020- Applicability of using the 3D concrete printing technology in Sudan. FES Journal of Engineering Sciences, pp. 64-70.
9. HAGER I, GOLONKA A, PUTANOWICZ R,2016- 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? International Conference on Ecology and new Building materials and products, pp. 292 – 299.
10. LUHAR S, SUNTHARALINGAM TH, NAVARATNAM S, LUHAR I, THAMBOO J, POOLOGANATHAN K, GATHEESHGAR P,2020- Sustainable and renewable bio-based natural fibres and its application for 3D printed concrete: A review. Sustainability2020 -Sustainable Innovative Solutions for Material Efficient Buildings .vol. 12 (24). https://doi.org/10.3390/su122410485
11. MPOFU TH, MAWERE C, MUKOSERA M,2012- The Impact and Application of 3D Printing Technology. International Journal of Science and Research (IJSR). Vol. 3, no.6, pp 2148-2152. Paper ID: 02014675.
12. NACHAL N, MOSES J. A. , KARTHIK P, ANANDHARAMAKRISHNAN C,2019- Applications of 3D Printing in Food Processing. Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2019. (Food Engineering Reviews), vol. 11(3). https://link.springer.com/article/10.1007/s12393-019-09199-8
13. PAOLETTI I, CECCON L,2018- The Evolution of 3D Printing in AEC: From Experimental to Consolidated Techniques. IntechOpen. pp 39-69. http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.79668
14. QIU H,2024- Construction of Sagrada Famlia -Building the Architecture and Sacred Space in the Modern World-Proceedings of the 3rd International Conference on Literature, Language, and Culture Development. Communications in Humanities Research, Vols. 33(1), pp. 59-64. http://dx.doi.org/10.54254/2753-7064/33/20240051
15. SALET, T. A. M., & WOLFS, R. J. M. 2016- Potentials and Challenges In 3D Concrete Printing Proceedings of the 2nd International Conference on Progress in Additive Manufacturing (Pro-AM 2016), Published by Research Publishing, Singapore, pp 8-13. https://hdl.handle.net/10356/84592
16. SHAHRUBUDINA N, LEE T.C, RAMLAN R,2019- An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. Procedia Manufacturing-2nd International Conference on Sustainable Materials

Processing and Manufacturing (SMPM 2019). Available online at www.sciencedirect.com , Procedia Manufacturing 35, pp 1286–1296.
17. WU P, WANG J, WANG X,2016- A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. Automation in Construction. Vol. 68, pp 21-31. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005

مواقع الانترنت:

18. *3printr*. [Online] MAR 16, 2015. [Cited: JAN 6, 2024.] https://www.3printr.com/winsun-3d-prints-villa-apartment-building-3827111/.
19. *Alyawm alsabee*. [Online] AUG,8,2019. [Cited: JUN 24,2024] https://www.youm7.com/story/2019/8/8/%D9%84%D9%85%D8%B3%D8%A7%D8%B9%D8%AF%D8%A9-%D8%B6%D8%B9%D8%A7%D9%81-%D8%A7%D9%84%D8%A8%D8%B5%D8%B1-%D9%85%D8%B5%D9%85%D9%85-
20. *Apis Cor*. [Online] The original site of the printer company. [Cited: JAN 23, 2024.] https://apis-cor.com/technologies/.
21. *ArchDaily*. [Online] AUG 19, 2020. [Cited: JUN 2, 2024.] https://www.archdaily.com/946038/big-partners-up-with-3d-printing-robotics-company-icon?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all.
22. *ArchDaily*. [Online] AUG 25, 2013. [Cited: JAN 5, 2024.] https://www.archdaily.com/419306/echoviren-smith-allen/521661fce8e44e9a450000d1-echoviren-smith-allen-image.
23. *CyBe*. [Online] The original site of the printer company. [Cited: FEB 15, 2024.] https://cybe.eu/3d-concrete-printing/printers/cybe-robot-crawler/.
24. *IconBuild*. [Online] The original site of the printer company. [Cited: FEB 20, 2024.] https://iconbuild.com/robotics?_gl=1*v5cl7i*_ga*MTQ1NjgxNDY3OC4xNzE5MTgzNjk1*_ga_699HT9K481*MTcxOTE4MzY5NC4xLjEuMTcxOTE4MzkzMC42MC4wLjA.
25. *imm Cologne*. [Online] [Cited: JUN 22, 2024.] https://www.imm-cologne.com/magazine-archive/design-and-architecture/3d-moebel/.
26. *Inhabitat*. [Online] [Cited: JAN 8, 2024.] https://inhabitat.com/a-10k-tiny-house-3d-printed-in-24-hours/apis-cor-building-materials/.
27. *KJ Additive Direct manufacturing Design 3D printing*. [Online] The original site of the printer company. [Cited: JAN 14, 2024.] http://www.kjadditive.fi/fdm-3d-tulostus/.
28. NASA. [Online] OCT 1, 2020. [Cited: NOV 20, 2023.] https://www.nasa.gov/technology/manufacturing-materials-3-d-

printing/nasa-looks-to-advance-3d-printing-construction-systems-for-the-moon-and-mars/.
29. *winsun3d*. [Online] The original site of the printer company. [Cited: APR 20, 2024.] https://www.winsun3d.com/En/Product/.
30. *STRUCTURAL ENGINEERING ART AND APPROXMATION*. [Online] NOV 11, 2015. [Cited: JUN 21, 2024.] https://struartapp.com/3d-printed-structures-what-does-it-mean-for-structural-engineers/.
31. *TECLA. Sustainability report*. MASSA LOMBARDA, ITALY, EUROPE : an alternative building paradigm. [Cited: JUN 10, 2024.] https://www.bing.com/ck/a?!&&p=61d5bf2ac4c5285fJmltdHM9MTcyMTM0NzIwMCZpZ3VpZD0wZDQ2MjlkOC0yZmRlLTZjNTUtMzBjZi0zZGY3MmU2OTZkYjEmaW5zaWQ9NTI2MA&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=0d4629d8-2fde-6c55-30cf-3df72e696db1&psq=tecla+pdf&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cubWNhcmNoaXRlY3RzLml0L2VuL3Byb2plY3RzL3RlY2xhLXRlY2hub2xvZ3ktYW5kLWNsYXk&ntb=1