Journal of Applied Arts & Sciences
مجلة الفنون والعلوم التطبيقية
جامعة دمياط Damietta University
كلية الفنون التطبيقية

دور التصميم الداخلى للمبانى المطبوعة باستخدام تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في الحفاظ على البيئة

The Role of the Interior Design for Printed Buildings Using 3D Printing Technology in Protecting the Environment

عمر عبد الفتاح غنيم	فريدة عبد الرحيم الهوارى	سارة فتحى أحمد فهمى
أستاذ تاريخ الفن عميد كلية الفنون الجميلة جامعة المنصورة	دارسة بقسم التصميم الداخلى والأثاث - كلية الفنون التطبيقية جامعة دمياط	أستاذ المساعد بقسم التصميم الداخلى والأثاث - كلية الفنون التطبيقية جامعة دمياط

ملخص البحث:

تواجه صناعة البناء الحالية مشكلات خطيرة، حيث تنبعث كميات هائلة من الغازات الدفيئة ويتم استهلاك كميات كبيرة من الطاقة والمواد الخام في أثناء عملية البناء. كما أن طرق البناء الحالية والمواد المستخدمة ليست صديقة للبيئة. ومن هنا ظهرت **مشكلة البحث** والتي تكمن في التساؤل التالي: ما مدى تأثير إدخال التحكم الرقمي والروبوتات من خلال الطباعة ثلاثية الأبعاد على إحداث تغيير في عمليات البناء والتشييد؟ **ويفترض البحث** أن استخدام تكنولوجيا التصنيع بالإضافة و المعروفة باسم الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال البناء و التشييد سيعمل على تقليل تكلفة ووقت البناء مما سيساهم بشكل كبير في حل مشكلات تلوث البيئة ومشاكل الإسكان في مصر. و**يهدف البحث** إلى توظيف اتجاه تصميمى مبتكر في البناء سيؤدى إلى تحول كبير في صناعة البناء، مما يساهم في حل العديد من المشاكل البيئية و المجتمعية في مصر. بالإضافة إلى دراسة الأساليب المتنوعة للطباعة ثلاثية الأبعاد التي تتبعها الشركات في مجال البناء حول العالم. وتكمن **أهمية البحث** في أنها تساعد على تغيير طريقة البناء التقليدي ومواكبة طرق البناء الحديثة للتصدى لمشاكل البيئة ومشاكل الإسكان في مصر. وتعتبر **أهم نتائج البحث** أن استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال البناء والتشييد سيعمل على توفير التكلفة والمواد الخام وتقليل الوقت والعمالة والحفاظ على البيئة، ويزيد من الوعى بأهمية استخدامها كبديل لعمليات البناء التقليدية. **ويوصى البحث** بضرورة العمل الجاد نحو التحول التدريجي لاستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد, وأيضاً يلزم عمل برامج تدريبية و مزيد من البحوث لمواكبة هذا التحول الكبير في مجال البناء.

الكلمات المفتاحية: الطباعة ثلاثية الأبعاد- التصنيع بالإضافة – التصميم الداخلى- الاستدامة - التصميم البيئي- الاتجاهات الحديثة في التصميم.

المقدمة:

يتطور التصميم المعماري باستمرار، مدفوعًا بالبحث الإبداعي عن الابتكار. كما أن الظروف الثقافية المتغيرة والإمكانيات التكنولوجية تعرف بالاتجاهات المعمارية المقابلة. اليوم، يركز جزء كبير من التصميم المعماري التجريبي على فهم ما يمكن أن تفعله الثقافة الرقمية للبيئة المبنية[١٣]. ونظرًا لأن العالم يتجه نحو حلول صديقة للبيئة ومستدامة وأكثر كفاءة في استخدام الطاقة، تقدم الطباعة ثلاثية الأبعاد والمعروفة باسم التصنيع بالاضافة (AM) Additive Manufacturingتقنية المباني الخضراء[٥]. حيث تعد الطباعة ثلاثية الأبعاد تقنية مزدهرة يُنظر إليها على نطاق واسع على أنها ثورة صناعية[٦].ولقد ارتبطت الثورة الصناعية الرابعة (IR4) والتي يُزعم أنها بدأت بعد عام ٢٠٠٠ بالتصنيع بالإضافة والذكاء الاصطناعي. ومع ذلك فبداية التصنيع بالإضافة أقدم

(ISSN 2537-1061) (Print)
(ISSN 2537-107X) (Online)

مما نتخيل. حيث نشأت تقنيات التصنيع بالإضافة في الخمسينيات من ا'لقرن الماضي[٢٠]. ومن عام ١٩٨٦ إلى ٢٠٠٠، ظهر عدد من تقنيات وعمليات النماذج الأولية السريعة Rapid Prototyping (RP) المختلفة، بهدف تقديم حلول أقل تكلفة وأسرع لتصنيع نماذج أولية ثلاثية الأبعاد للصناعة. وتوسعت تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد نحو مجال لا حدود له من التطبيقات، وهذا نتيجة لتطور تكنولوجي ملئ بالتحديات, نشأ منذ ما يقرب من ثلاثة عقود ولا يزال في تقدم مستمر حتى وقتنا هذا[١٤].

وتُستخدم تقنيات التصنيع الإضافي (AM) في العديد من الصناعات لإنشاء نماذج أولية مادية بالإضافة إلى أجزاء الاستخدام النهائي. في قطاع البناء، تم إنشاء النماذج المعمارية بهذه الأساليب لأكثر من عقد من الزمان. علاوة على ذلك، شهدت السنوات الأخيرة زيادة كبيرة في الأبحاث حول طرق الطباعة لمكونات المبنى. يمكن أن يعزى هذا التطور إلى الفرص التي تقدمها (AM). حيث يسمح (AM) لشركات البناء بإنتاج هياكل معقدة هندسيًا، ولتغيير المواد داخل المكون وفقًا لوظائفه، ولأتمتة عملية البناء بدءً من نموذج رقمي. يمكن استغلال هذه المزايا إذا تم تصميم مكونات المبنى وعمليات التصنيع بالإضافة بشكل مناسب في مرحلة التخطيط. وتحقيقا لهذه الغاية، تم تطوير العديد من الأساليب الرقمية لتصميم الأجزاء القابلة للطباعة ولتخطيط عمليات التصنيع بالإضافة [٤].

مشكلة البحث:

تكمن مشكلة البحث في التساؤل التالي:

ما مدى تأثير إدخال التحكم الرقمي والروبوتات من خلال الطباعة ثلاثية الأبعاد على إحداث تغيير في عمليات البناء والتشييد؟

أهداف البحث:

يهدف البحث إلى توظيف اتجاه تصميمى مبتكر في البناء سيؤدى إلى تحول كبير في صناعة البناء، مما يساهم في حل العديد من المشاكل البيئية و المجتمعية في مصر. بالإضافة إلى دراسة الأساليب المتنوعة للطباعة ثلاثية الأبعاد التي تتبعها الشركات في مجال البناء حول العالم.

أهمية البحث:

الحاجة إلى تغيير أسلوب البناء التقليدي ومواكبة أساليب البناء الحديثة للوقوف في وجه مشاكل الإسكان والمشاكل البيئة في مصر.

فروض البحث:

أن استخدام تكنولوجيا التصنيع بالإضافة و المعروفة باسم الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال البناء و التشييد سيعمل على تقليل تكلفة ووقت البناء مما سيساهم بشكل كبير في حل مشكلات تلوث البيئة ومشاكل الإسكان في مصر.

منهجية البحث:

يتبع البحث المنهج الوصفي التحليلي لاستكشاف أهمية الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال البناء والتشييد وكيف ستوفر التكلفة والمواد الخام وتقليل الوقت والعمالة والحفاظ على البيئة.

حدود البحث:

الحدود المكانية: الفراغات السكنية.

محاور البحث الرئيسية:

أولاً: ماهية التصنيع بالإضافة، دورة التصميم، خصائص التصنيع بالإضافة.

ثانيًا: عمليات البناء باستخدام الطباعة الخرسانية ثلاثي الأبعاد (3DCP) وعناصرها ومزاياها وعيوبها.

ثالثًا: تطبيقات البناء باستخدام الطباعة الخرسانية ثلاثية الأبعاد (3DCP).

١- مصطلحات البحث:

١/١- التصميم البيئى:

تم تعريفه على أنه " شكل من أشكال التصميم التي تحد من التأثيرات المدمرة للبيئة عن طريق دمجها في عمليات معينة" كما تم تعريفه على أنه " اصطلاح يشير الى المنتجات التى تراعى العوامل الطبيعية والاقتصادية والاجتماعية وتحد من التأثيرات السلبية على صحة الانسان وأمانه كما تهتم بالاختيار المناسب للخامات الصديقة للبيئة وأساليب الانتاج الملائمة بهدف تحقيق التوافق بين الانسان والمنتج والبيئة" .

٢/١- إعادة التدوير:

الفكرة الجوهرية لإعادة التدوير هي استحداث أو استكمال الدوائر المغلقة للاستفادة من المنتجات والمخلفات بإعادة استخدامها أو تصنيعها مرة أخرى[١] .

٣/١- التكنولوجيا:

هى علم الصناعة والتقنية، وهى مجموعة من الخبرات والمهارات المتاحة والمتراكمة والمستنبطة لتشغيل الآلات والاساليب والنظم المرتبطة بالإنتاج والخدمات، والتكنولوجيا والتى يجب أن تتناسب مع بيئة المكان الذي يطبقها.

٤/١ - التطور التكنولوجي:

منظومة أساليب عمل وأداء متبادل ما بين الإنسان والآلة وتحوى فى مضمونها ذكاءً متراكمًا. وهو مجموعة الأساليب والأدوات التى يستخدمها المجتمع

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

فى إنتاج احتياجاته ومتطلباته وفى إنجاز وظائفه. ويعرف أيضاً بأنه مقدار الإستفادة من الفكر الإنسانى لتطويع المادة واستخدامها فى خدمة العلم والبشرية.

١/٥- تكنولوجيا المعلومات:

يمكن تعريف تكنولوجيا المعلومات على أنها " مجموعة من التطبيقات العلمية و العملية (Hardware and Software) ، أجهزة الحاسب الآلى، و الاقمار الصناعية ، و الالياف الضوئية ، الميكروفيلم و خلافه ، التى تتناول المعلومات بالجمع والتخزين والتحليل والتنظيم والتوليد والاسترجاع و ذلك بالطريقة المتاحة) لاشك إن تكنولوجيا الملائمة للمستخدم، يفوق ماسبقها من تكنولوجيا المعلومات احدثت تغييرا حيث أصبحت المعلومات فى هذا العصر المصدر الرئيسى للقوة الاقتصادية و من أبرز مظاهر الألفية الثالثة، تطور تكنولوجيا المعلومات من أنظمة معالجة البيانات إلى معالجة المعلومات والتكنولوجيا، ثم المرحلة الأخيرة التى اعتمدت على تكنولوجيا المعلومات كمقوم أساسى ومغذى للمراحل المختلفة للعملية التصميمية).[٢]

٦/١- تعريف التصنيع بالإضافة:

يعرف التصنيع بالإضافة (AM) بانه عملية يتم فيها تكوين أجسام ثلاثية الأبعاد عن طريق إضافة طبقة تلو طبقة من المواد. حيث يمكن أن تكون هذه المواد من البلاستيك أوالمعدن أوالخرسانة وما إلى ذلك. وتعتمد تقنيات AM المستخدمة بشكل شائع على استخدام الكمبيوتر، وبرامج النمذجة ثلاثية الأبعاد (CAM أو CAD)، والمعدات والآلات والمواد المستخدمة في الطبقات[٣].

٢- <u>دورة التصميم والتصنيع بالإضافة:</u>

عملية التصنيع بالإضافة لتحويل عنصر من مجرد تصميم علي برنامج CAD إلى منتج فعلي تتضمن عدد من الخطوات، والتي تختلف من منتج لآخر حيث تستخدم المنتجات الصغيرة والبسيطة نسبيًا التصنيع بالإضافة فقط للنماذج الأولية، في حين أن المنتجات الأكبر والأكثر تعقيدًا ذات المحتوى الهندسي الأكبر قد تمر بالعديد من المراحل والتكرارات خلال عملية الطباعة. ولكن في المجمل تتضمن معظم عمليات التصنيع بالإضافة، الخطوات الثماني التالية:

١/٢- النمذجة الرقمية: تبدأ عملية التصنيع بالإضافة عن طريق إنشاء نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد، باستخدام برنامج CAD، أو عن طريق المسح الضوئي أو الليزر لمجسم حقيقي.

٢/٢- تصدير الملف إلى صيغة STL: تقبل معظم آلالات التصنيع بالإضافة تقريبًا تنسيق STL. حيث يحتوي على جميع المعلومات الهندسية اللازمة لتمثيل النموذج الرقمي. ويشكل الأساس لحساب الطبقات.

٣/٢- التحويل إلى ماكينة الطباعة ومعالجة ملف STL: تحويل النموذج الرقمي إلى قائمة أوامر يمكن للطابعة ثلاثية الأبعاد فهمها وتنفيذها. من خلال معالجة ملف STL وتحديد الحجم والاتجاة الصحيحين.

٤/٢- إعداد ماكينة الطباعة: يجب تحضير الطابعة ثلاثية الأبعاد بشكل صحيح قبل عملية الطباعة. والتى تشمل عوامل مثل نوعية المواد المستخدمة، وسمك الطبقة، والوقت، وما إلى ذلك.

٥/٢- عملية البناء أو الطباعة: وهي عملية آلية بشكل كامل، حيث يمكن تشغيل آلة الطباعة دون إشراف. ولكن يجب مراقبتها بين الحين والآخر لضمان عدم نفاد المواد أو الطاقة أو حدوث أى الخلل في البرامج، وما إلى ذلك.

٦/٢- عملية الإزالة: بمجرد انتهاء الآلة من عملية البناء، يجب إزالة المجسم بالكامل. والتأكد من أن درجة حرارة التشغيل منخفضة بدرجة كافية أو أنه لا توجد أجزاء متحركة.

٧/٢- مرحلة التشطيب أو المعالجة: بعد الإنهاء من طباعة المنتج، قد تتطلب بعض الأجزاء قدرًا من المعالجة الإضافية قبل أن تصبح جاهزة للاستخدام. لذلك غالبًا ما يتطلب ذلك وقتًا ومعالجة يدوية.

٨/٢- استخدام المنتج: يتم الآن استخدام المنتج النهائي[١٥].

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

شكل(١) يوضح دورة التصميم والتصنيع بالإضافة.

Ian Gibson, others, **Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing**, op.cit

٣- منهجيات التصنيع بالإضافة:

تم تصنيف التصنيع بالإضافة من قبل الجمعية الأمريكية لاختبار والمواد (ASTM)، إلى الفئات السبع التالية[١٧]:

١/٣- الطباعة ثلاثية الأبعاد بالتلين الحراري Material Extrusion :

يتم بثق المادة من خلال فوهة لتشكيل أنماط متعددة الطبقات. تُستخدم هذه الطريقة بشكل شائع للمواد البلاستيكية، والتي تُعرف بتقنية النمذجة بالترسيب المنصهر (FDM)[٦]. التكلفة المنخفضة والسرعة العالية وبساطة العملية هي الفوائد الرئيسية لـ FDM. من ناحية أخرى، فإن الخواص الميكانيكية الضعيفة والمظهر طبقة تلو الأخرى وسوء جودة السطح والعدد المحدود من المواد البلاستيكية الحرارية هي العوائق الرئيسية لـ FDM. أدى تطوير المركبات المقواة بالألياف باستخدام FDM إلى تعزيز الخواص الميكانيكية للأجزاء المطبوعة ثلاثية الأبعاد. ومع ذلك ، فإن اتجاه الألياف والترابط بين الألياف والمصفوفة وتشكيل الفراغ هي التحديات الرئيسية التي تنشأ في الأجزاء المركبة المطبوعة ثلاثية الأبعاد[٢٤].

٢/٣- الطباعة عبر البلمرة الضوئية VAT Photopolymerization:

ترتبط هذه الفئة بعملية الليثوجرافيا الفراغية (SLA) Stereolithography. إنها إحدى الطرق الأكثر استخدامًا في التصنيع الإضافي[٦]. حيث يطبع SLA عناصر عالية الجودة بدقة عالية. من ناحية أخرى، فهي بطيئة نسبيًا ومكلفة ونطاق المواد للطباعة محدود للغاية. كما أن حركية التفاعل وعملية المعالجة معقدة. وتعد طاقة مصدر الضوء والتعرض من العوامل الرئيسية التي تتحكم في سمك كل طبقة. يمكن استخدام SLA بشكل فعال للتصنيع الإضافي للمركبات النانوية المعقدة[٢٤].

٣/٣- الترسيب بالطاقة الموجهه Direct energy deposition :

تم استخدام الترسيب بالطاقة الموجهه (DED) لتصنيع سبائك فائقة وعالية الأداء. حيث تستخدم هذه التقنية بشكل شائع مع التيتانيوم، والفولاذ المقاوم للصدأ، والألمنيوم والسبائك. بشكل عام، تتميز DED بسرعات عالية ومجسمات عمل كبيرة جدًا. ومع ذلك ، تتميز بدقة أقل، وجودة سطح أقل، ويمكنها تصنيع أجزاء أقل تعقيدًا مقارنة بـ SLS أو SLM. لذلك، يتم استخدام DED بشكل شائع للمكونات الكبيرة ذات التعقيد المنخفض وأيضًا لإصلاح
المكونات الكبيرة. يمكن أن تقلل من دائرة التنمية الاقتصادية من وقت التصنيع وتكلفته، وتوفر خصائص ميكانيكية ممتازة، وبنية دقيقة يتم التحكم فيها والتحكم الدقيق في التركيب. يمكن استخدام هذه الطريقة لإصلاح المحركات التوربينية والتطبيقات المتخصصة الأخرى في مختلف الصناعات مثل السيارات والفضاء[٢٤].

٤/٣- التصنيع بنفث الرابط السائل (Injection of binder: binder jetting):

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

يتكون هذا النظام من طبقتين كالمهاد: طبقة مسحوق وطبقة بناء. يمكن معالجة العديد من المواد باستخدام هذه التقنية بما في ذلك المعادن والرمال والسيراميك[١٧].

٥/٣- التصنيع بنفث المواد Materials jetting:

على غرار عملية الطباعة النافثة للحبر ثنائية الأبعاد. في نفث المواد. تحتوى عملية نفث المواد على العديد من التقنيات بما في ذلك، تقنية الإسقاط عند الطلب Drop on demand (DOD)، وتقنية PolyJet (PJ)، وتقنية بثق الجزيئات النانونية Nanoparticle jetting (NPJ). ويمكن لهذه التقنية طباعة المعادن و السيراميك. ويتميز الجزء المصنع بدقة عالية وسطح أملس ولكن خواص ميكانيكية رديئة نسبياً[١٧].

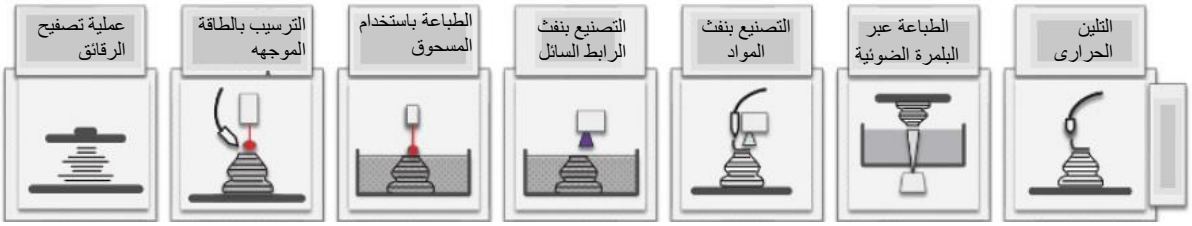
٦/٣- الطباعة باستخدام المسحوق Powder bed fusion:

يمكن استخدام عملية التلبيد بالليزر الانتقائي (SLS) لمجموعة متنوعة من البوليمرات والمعادن ومساحيق السبائك[٢٤]. وتتمثل عيوب (SLS) في قيود الدقة حسب حجم جزيئات المسحوق وعمليات التسخين والتبريد الطويلة واستخدام غاز النيتروجين داخل بيئة معزولة[٢٥]. ويمكن أيضاً استخدام تقنية تلبيد الليزر الإنتقائي (SLM) فقط مع معادن معينة مثل الفولاذ والألمنيوم[٢٤]. حيث قامت MCP Group بتسويق آلة Realizer التي تستخدم الليزر لإذابة أجزاء الفولاذ المقاوم للصدأ بالكامل بطريقة مماثلة للتلبيد بالليزر. هذه العملية بارعة بشكل خاص في إنتاج مكونات صغيرة جدًا، بما في ذلك المكونات ذات الهياكل الشبكية المعقدة. وتم أيضاً تسويق آلات للصهر بالليزر للمعادن حيث أنها يمكن أن تحقيق كثافة بنسبة ١٠٠ ٪. بالإضافة إلى ذلك، طورت شركة D Micromac AG٣ عملية التلبيد الدقيق لإنتاج أجزاء معدنية بدقة مميزة تصل إلى ٢٠ مم باستخدام مسحوق بحجم أقل من الميكرومتر يتم تلبيده بواسطة الليزر[٢١]. ويعد الفرق بين التقنيتين أن، المسح بالليزر في (SLS) لا يؤدي إلى إذابة المساحيق تمامًا وتؤدي درجة الحرارة المرتفعة على السطح إلى اندماج المساحيق جزئياً. من ناحية أخرى، فإن المساحيق ذابت بالكامل ودمجت معًا بعد المسح بالليزر في (SLM)، مما ينتج عنه خصائص ميكانيكية فائقة[٢٤].

٧/٣- عملية تصفيح الرقائق Lamination of sheets):

يشترك تصفيح الرقائق في مبادئ مماثلة لعمليات البناء باستخدام التصنيع بالإضافة الأخرى، ولكن بدلا من استخدام المسحوق أو الأسلاك، يستخدم تصفيح الرقائق المعدنية لصنع المجسمات. تم تطوير تقنية التصنيع بالإضافة هذه لأول مرة بواسطة Helisys Inc. هناك ثلاثة أنواع من العمليات التي تستخدم تقنية تصفيح الرقائق بما في ذلك التصفيح الورقي والتصفيح المركب والتصفيح الانتقائي. في التصفيح الورقي، يتم لصق الأوراق / الرقائق معا طبقة تلو الأخرى وقطعها بدقة لتكوين المنتج النهائي طبقاً للتصميم الموضح مسبقاً. التصفيح المركب له مبدأ مماثل، ولكن يمكن إضافة بعض التعزيز إلى مادة حاملة لتحسين قوة الجزء المركب. بدلا من وضع الغراء لإضافة طبقات معا، في عملية التصفيح الانتقائي، يمكن تطبيق الرباط بشكل انتقائي في مواقع معينة لتصنيع الجزء[١٧].

وترتبط عمليات AM ارتباطًا وثيقًا بالمواد التي يتم التعامل معها. فيما يتعلق بطباعة أجزاء البناء، كان تركيز البحث على المواد القائمة على الركام مثل الخرسانة.



الشكل(٢):تصور طرق الطباعة ثلاثية الأبعاد المختلفة.

Arnaud Perrot, Sofiane Amziane, Chapter1- **3DPrinting in concrete: General Considerations and Technologies**, In: Arnaud Perrot, 3D Printing of Concrete: State of Art and Challenges of the Construction Revolution, ISTE Ltd and Wiley&sons Inc, 2019.

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

4-البناء باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد الخرسانية 3D concert printing (3DCP):

يصل الإنتاج السنوي من الخرسانة إلى ما يقرب من ٣٠ مليار طن في جميع أنحاء العالم، مما يجعلها أكثر مواد البناء استخدامًا. ومع ذلك، فإن الخرسانة نفسها تلعب دورًا جزئيًا فقط لأن القوالب تمثل ٣٥٪ -٦٠٪ من التكلفة الإجمالية لبناء الخرسانة. القوالب هي الهيكل والقالب المؤقت لصب الخرسانة الرطبة وعادة ما يتم بناؤها بالخشب. تمثل القوالب مصدرًا مهمًا للنفايات، نظرًا لأنه يتم التخلص من جميع القوالب عاجلاً أو آجلاً، مما يساهم في زيادة كمية النفايات بشكل عام في جميع أنحاء العالم. وفقًا لدراسة من عام ٢٠١١، يتم إنشاء ٨٠٪ من إجمالي النفايات في جميع أنحاء العالم في صناعة البناء. علاوة على ذلك، فإن صب الخرسانة في القوالب يحد من إبداع المهندسين المعماريين للبناء في أشكال هندسية مختلفة ما لم يتم دفع تكاليف باهظة للغاية للقوالب المخصصة.

على عكس النهج التقليدي للصب في قالب، تعد الطباعة الخرسانية ثلاثية الأبعاد (3DCP) تقنية ناشئة تجمع بين التقنيات الرقمية والرؤى الجديدة من تقنيات المواد للسماح بالبناء الحر دون استخدام القوالب[١٦]. حيث اكتسبت تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد قوة جذب في مختلف الصناعات مع تطور التكنولوجيا. وتبنت بعض الصناعات الطباعة ثلاثية الأبعاد بسرعة أكبر بكثير من غيرها[١٢].

إن إدخال التحكم الرقمي والروبوتات في صناعة البناء لديه القدرة على إحداث تغيير كبير في طريقة تصميم المباني والهياكل. حيث تدفعنا هذه التقنية على إعادة النظر في الطريقة التي يتم بها تصميم المباني، من أجل الحصول على هياكل تعمل على تحسين أشكال وكميات المواد المستخدمة[٧]. وتم استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد الخرسانية منذ التسعينات باعتبارها "طريقة أسهل وأرخص لبناء المباني والهياكل الأخرى"[١٢]. وكان (Pegna) أول باحث ناجح حاول اعتماد التصنيع بالإضافة في تطبيقات البناء. كانت العملية على شكل إنشاء هياكل بالرمل ثم استخدام الأسمنت كمادة لاصقة[١٦].

١/٤- منهجيات الطباعة ثلاثية الأبعاد للمواد القائمة على الركام (Aggregate-based materials):

بشكل أساسي، يتم تطبيق عمليات بثق المواد و الطباعة باستخدام المسحوق لطباعة الخرسانة، ولكن تمت أيضًا دراسة الأساليب التوليدية الأخرى مثل الصب الديناميكي الذكي (Smart Dynamic Casting). نظرًا لأن الخرسانة تتمتع بقوة شد منخفضة نسبيًا، فقد تم تطوير حلول لتكامل التعزيز لإنتاج هياكل أكثر ثباتًا.

٢/٤- الطباعة ثلاثية الأبعاد بالتلين الحراري للخرسانة Material Extrusion :

في بثق الخرسانة، يتم إنشاء هيكل بطبقة مع فوهة، ترسب مادة أسمنتية جديدة على طول مسار محدد كما موضح بالصوره(١).

من أجل ضمان جودة جيدة للمكونات المطبوعة، يجب أن تتمتع المادة بخصائص معينة:

- يجب أن يكون من الممكن ضخ المزيج الطازج في الفوهة. على سبيل المثال ، يجب ألا يحدث فصل للجسيمات في الخرطوم لمنع الانسدادات (قابلية الضخ Pumpability).
- تحتاج الخرسانة إلى التدفق عبر الفوهة، ويجب أن يحتفظ الفتيل المترسب بشكله (قابلية البثق extrudability).
- يجب أن ترتبط الطبقة الجديدة بالطبقة الأساسية (التصاق الطبقة البينية interlayer adhesion).
- لا ينبغي أن يحدث أي تشوه كبير تحت وطأة الطبقات التي تعلوها (قابلية البناء buildability).

تم تطوير العديد من عمليات بثق الخرسانة المختلفة في السنوات الماضية، يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أنواع، حسب حجم الخيط:

- ترسيب خيوط رفيعة قطرها أقل من ١ سم. مثال على هذا النوع هو طباعة الخرسانة ثلاثية الأبعاد (3DCP) في جامعة لوبورو، حيث يتم استخدام روبوت عملاق ثلاثي المحاور.
- ترسيب خيوط رفيعة متوسطة ذات أبعاد مقطعية تصل إلى عدة سنتيمترات. مثل تقنية Contour Crafting في جامعة جنوب كاليفورنيا إلى هذه المجموعة. حيث يكون رأس الطباعة جزءًا من روبوت جسري ثلاثي المحاور.
- ترسيب الخيوط الخشنة في عدة مقاسات. تقع تقنية CONPrint3D في جامعة Technical of Dresden ضمن هذه الفئة. إنها تسعى جاهدة من أجل الاستخدام المكثف للمعايير المعمول بها للخرسانة ومعدات البناء الحالية. تحقيقا لهذه الغاية، يجري التحقيق في تعديل مضخة الخرسانة الآلية للطباعة.

تتمثل إحدى ميزات الخيوط الدقيقة في دقة الطباعة العالية، مما يسمح بمزيد من الدقة والتعقيد الهندسي.

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

من ناحية أخرى، تؤدي الخيوط ذات المقطع العرضي الأكبر إلى إنتاجية أعلى وتتيح استخدام الخرسانة ذات

يتم تصنيف أنظمة AM المناسبة لعمليات بثق الخرسانة وفقًا لحجم المجسم المطبوع، وسمك الطبقة، وبيئة الطباعة، واستراتيجية التجميع، واستخدام الهياكل الداعمة، والتعقيد الروبوتي. وتم استنتاج أن أجهزة الطباعة ثلاثية المحاور هي الأكثر شيوعًا وأنه يتم إنتاج طبقات بسماكة قليلة في الغالب. تم تنفيذ مشاريع مختلفة باستخدام أنظمة AM ومنها مبنى مكاتب دبي الذى قامت بطباعته شركة winson، حيث تمت عملية الطباعة التي تشبه عملية Contour Crafting، في الشركة، بعد ذلك، تم نقل الأجزاء إلى دبي وتجميعها هناك في يومين[٤].

٣/٤- عمليات الطباعة الخرسانية باستخدام المسحوق (Particle-bed processes):

يتم خلط الركام والسائل والمنشط مثل الرمل والأسمنت والماء، على التوالي، قبل الترسيب في عمليات بثق الخرسانة. على النقيض من ذلك، في عمليات عمليات الطباعة باستخدام المسحوق. في الحبيبات الخشنة، مما يؤدي إلى تقليل الحاجة إلى الأسمنت وتقليل الانكماش.

عمليات بثق الخرسانه يتم تجميع المواد الخام فقط على منصة البناء. هنا، يتم إنشاء طبقة من الجزيئات الجافة أولاً. بعد ذلك، يتم ترسيب السائل بشكل انتقائي بحيث ترتبط الجسيمات ببعضها البعض في مناطق معينة، كما يتضح من الصورة(٢). تتكرر هذه العملية حتى تكتمل كل الطبقات، كل واحدة فوق بعضها البعض. بعد ذلك، يتم كشف الجسم المطبوع عن طريق إزالة جميع الجسيمات السائبة، والتي يمكن إعادة استخدامها. يمكن أن تزيد عمليات ما بعد التصنيع مثل الترشيح والمعالجة الحرارية من قوة ومتانة الهيكل المطبوع. مساحة البناء بشكل عام محدودة أكثر مما كانت عليه في حالة عمليات بثق الخرسانة لأنها تحتاج إلى أن تمتلئ بالكامل بالجزيئات. ومع ذلك ، تسمح عمليات طبقة الجسيمات بمزيد من حرية التصميم ، بسبب الدعم من الجسيمات غير المرتبطة. على سبيل المثال، يمكن طباعة البروزات بدون هياكل دعم إضافية. علاوة على ذلك، من الممكن أن يصل سمك الطبقة إلى ٠,١ مم. وبالتالي، يمكن طباعة التفاصيل الصغيرة بدقة عالية.

صورة (١): يوضح بثق الخرسانه باستخدام تقنية التلين الحرارى.

Alexander Paolini, Stefan Kollmannsberger, Ernst Rank, **Additive manufacturing in construction: A review on processes, applications, and digital planning methods,** OP.CIT.

صوره(٢): تم إنتاج مقطع عرضي باستخدام طابعة D-Shape

Alexander Paolini, Stefan Kollmannsberger, Ernst Rank, **Additive manufacturing in construction: A review on processes, applications, and digital planning methods,** OP.CIT.

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

هناك ثلاثة أنواع من عمليات الطباعة الخرسانية باستخدام المسحوق:

١/٣/٤- تفعيل الرابط الانتقائي (Selective binder activation): تتكون طبقة الجسيمات من ركام ناعم والرابط، على سبيل المثال رمل مدمج مع الأسمنت. المنشط السائل، مثل الماء مع المواد المضافة، يضاف إليه بشكل انتقائي.

٢/٣/٤- إدخال المعجون الانتقائي (Selective paste intrusion): تحتوي طبقة الجسيمات فقط على الركام، والسائل المترسب انتقائيًا عبارة عن عجينة رابطة تتكون من الأسمنت والماء والمضافات.

٣/٣/٤- التصنيع بنفث الرابط السائل (Binder jetting): طبقة الجسيمات عبارة عن مزيج من الركام والمنشط. يتم تطبيق الرابط السائل بشكل انتقائي عليه. على سبيل المثال ، تُستخدم هذه الطريقة لإنتاج قوالب رملية عن طريق إضافة الراتنج على طبقات الجسيمات المكونة من الرمل والمواد الصلبة.

من التطبيقات واسعة النطاق لنظام عمليات الطباعة باستخدام المسحوق هو D Shape، الذي طوره Enrico Dini. تم تصنيع العديد من الهياكل الخرسانية المختلفة على مدار السنوات الماضية من خلال تطبيق عمليات الطباعة باستخدام المسحوق:

تم استخدام قوالب الرمل المصنعة باستخدام التصنيع بنفث الرابط السائل في العديد من المشاريع البحثية لإنشاء هياكل خرسانية معقدة: قامت Züblin و voxeljet و MEVA Formwork Systems بطباعة قالب لعمود خرساني لمحطة شتوتغارت الرئيسية الجديدة وتم اختباره بنجاح. في مشروع Smart Slab التابع لـ ETH Zurich، تم بناء سقف يتكون من عناصر خرسانية سابقة الإجهاد لمنزل DFAB HOUSE في سويسرا. تم تحسين القوالب المطبوعة لتقليل استخدام المواد وتبسيط عملية الإنتاج للعناصر الخرسانية[٤].

٤/٤- أساليب FreeFAB, Smart Dynamic Casting and Mesh Mould:

غالبًا ما يمكن استخدام القوالب المؤقتة المعقدة مرة واحدة فقط. من أجل توفير النفايات والتكاليف، قامت مجموعة (Engineering Excellence) في سيدني بدراسة إنتاج قالب العمل من الشمع القابل لإعادة التدوير باستخدام روبوت جسري سداسي المحاور.

في ETH Zurich، تمت دراسة تقنيات أخرى لإنشاء هياكل خرسانية مع عمليات مضافة. تقنية Smart Dynamic Casting (SDC) منخفضة لطباعة أعمدة معقدة الشكل مع تغيير المقاطع العرضية. لهذا الغرض، يتم تحريك القوالب المنزلقة المرنة على طول المسار بواسطة ذراع روبوت بينما يتم صب الخرسانة الطازجة فيه. أثناء العملية، تتم مراقبة الترطيب باستخدام نظام استشعار لضبط إضافة المواد المضافة وسرعة الانزلاق. في طريقة Mesh Mould، يقوم روبوت متحرك مستقل يُدعى In-position Fabricator بإنشاء شبكة معدنية عن طريق ثني ولحام الأسلاك الفولاذية. تعمل الشبكة كقالب، عندما يتم وضع الخرسانة، وكتعزيز، بعد تجفيف الخرسانة. تم تطبيق كلتا الطريقتين لتكوين منزل DFAB. تم استخدام Smart Dynamic Casting لبناء للواجهة عالية بارتفاع ٣ أمتار عبارة عن إطار مقسم إلى مقاطع متغيرة لا تقل عن ٧٠ × ١٠٠ مم ٢. يمكن إنتاج كل إطار في ٤ ساعات. وفي Mesh Mould أيضاً، تم تصنيع جدار مزدوج منحني وحامل بطول ١٢ مترًا. [٤]

الشكل(٣): أجزاء البناء ل DFAB HOUSE وتطبيقات DFAB

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

شكل(١): أجزاء البناء لـ DFAB HOUSE وتطبيقات DFAB
المرتبطة بها: (A) Mesh Mould، (c) Smart Dynamic Casting .
Konrad Graser, Aniko Kahlert, Daniel M. Hall, DFAB HOUSE: implications of a building-scale demonstrator for adoption of digital fabrication in AEC, construction management and economics, vol. 39, no. 10, 2021.

٤/٥- تكامل التعزيز (Integration of reinforcement):

تم فحص عدة طرق لتقوية الأجزاء الخرسانية المطبوعة ثلاثية الأبعاد من أجل تحسين أدائها الإنشائي. يمكن تصنيفها حسب ما إذا كان التسليح خارجي أو داخلي وسواء تم تركيبه بعد أو أثناء أو قبل ترسيب الخرسانة:

١/٥/٤- التعزيز الخارجي: مع التعزيز الخارجي، لا يتم قطع عملية الطباعة، حيث يتم تجميع الهيكل الذى هو عبارة عن مقاطع مطبوعة منفصلة. ومثال على ذلك تم بناء عارضتين مع تعزيز خارجي سلبي، بطول ٣ م و ٤ أمتار.

٢/٥/٤- تقوية داخلية مثبتة في قوالب مطبوعة: يمكن استخدام التعزيز الداخلي التقليدي إذا تم صب الخرسانة العادية في قوالب صب مطبوعة ثلاثية الأبعاد والتي يمكن أن تكون مؤقتة، أو دائمة، كما هو مطبق بواسطة WinSun أو Api sCore.

٣/٥/٤- التسليح الداخلي المغلف بالخرسانة المطبوعة: مفهوم آخر مناسب للتعزيز الداخلي التقليدي هو البدء بتثبيت التسليح قبل تغليفه بالخرسانة المطبوعة. تم تنفيذ ذلك بواسطة HuaShang Tengda .

٤/٥/٤- دعم داخلي يتم تركيبه أثناء الطباعة: يمكن تثبيت التعزيزات الموازية لاتجاه الطبقة أثناء عملية الطباعة.

٥/٥/٤- تقوية الألياف: يمكن زيادة مقاومة الشد والليونة للخرسانة نفسها بإضافة الألياف إلى المزيج الطازج..

٦/٥/٤- التعزيزات المصنعة بالاضافة: بالنسبة للهياكل الخرسانية المعقدة هندسيًا، قد يكون من المفيد تصنيع بالإضافة لعنصر التعزيز نفسه كما هو الحال في مشروع Mesh Mould[٤].

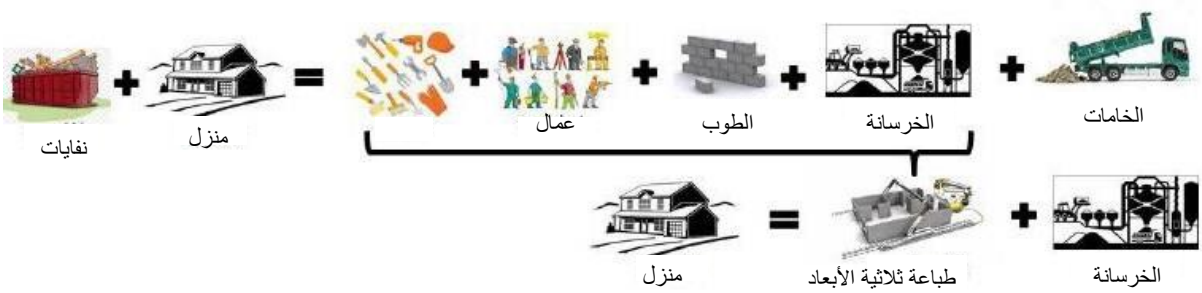
٦/٤- مميزات البناء باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد الخرسانية:

عند مقارنة الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال البناء بعمليات البناء التقليدية، قد يوفر تطبيق تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في البناء الخرساني مزايا ممتازة بما في ذلك:

١. تقليل تكاليف البناء عن طريق القضاء على صب الخرسانة.
٢. الحد من معدلات الإصابة من خلال القضاء على الأعمال الخطرة (مثل العمل على ارتفاعات)، والتي من شأنها أن تؤدي إلى زيادة مستوى السلامة في البناء.

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)



الشكل(٤): مقارنة بين عملية البناء التقليدي و البناء باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد.

Dr. Ahmed Saleh Abd Elfatah, 3D Printing in Architecture, Engineering and Construction: Concrete 3D printing, Engineering Research Journal, V. 162. June 2019.

٣. خلق وظائف راقية قائمة على التكنولوجيا.
٤. تقليل وقت البناء في الموقع من خلال التشغيل بمعدل ثابت.
٥. التقليل من فرصة الأخطاء عن طريق الترسيب المادي الدقيق.
٦. زيادة الاستدامة في البناء من خلال تقليل الفاقد من القوالب.
٧. زيادة الحرية المعمارية مما يتيح المزيد من التصاميم المتطورة للأغراض الإنشائية والجمالية.
٨. تمكين إمكانية تعدد الوظائف للعناصر الإنشائية / المعمارية من خلال الاستفادة من الهندسة المعقدة[١٦].

٧/٤- عناصر الطباعة ثلاثية الأبعاد الخرسانية (3DPC):

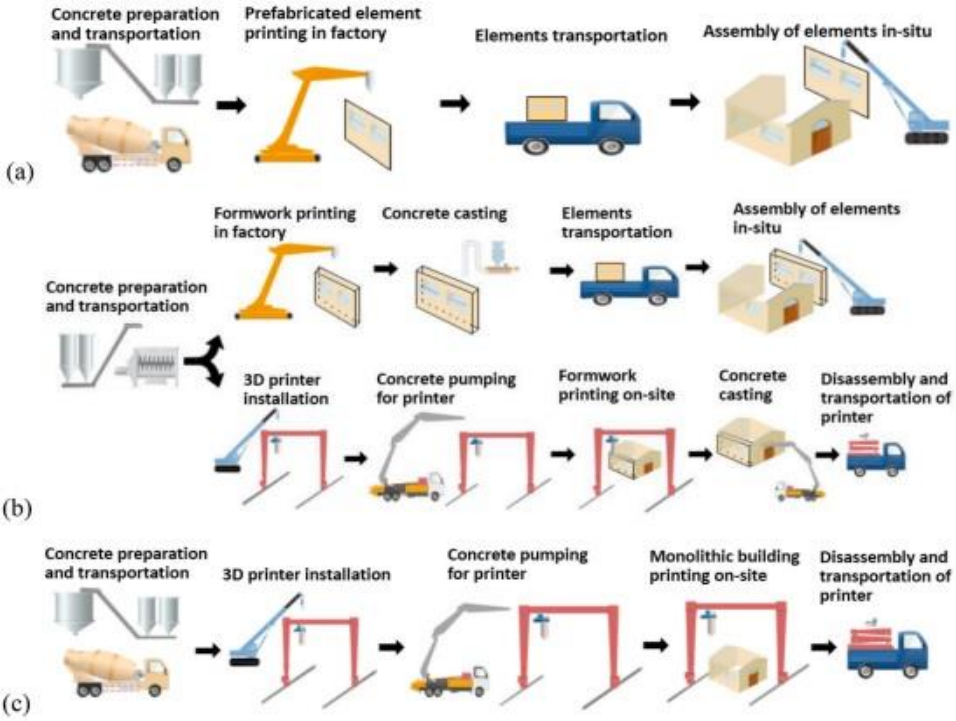
يمكن تقسيم (3DPC) إلى ثلاثة أنواع:

١. عناصر الطباعة ثلاثية الأبعاد (3D printing elements)
٢. قوالب الطباعة ثلاثية الأبعاد (3D printing formworks)
٣. البناء الكامل (3DPC) في الموقع(monolithic 3DPC on-site)

ويتضمن الشكل (٥) عناصر الطباعة ثلاثية الأبعاد تحضير ونقل الخرسانة الجاهزة. طباعة العناصرفي المصنع ونقل العناصر وتجميع العناصر[١٨].

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)



الشكل(٥): ثلاثة أنواع من 3DPC: (أ) عناصر الطباعة ثلاثية الأبعاد ، (ب) قوالب الطباعة ثلاثية الأبعاد ، و (ج) البناء الكامل (3DPC) في الموقع.

Jianzhuang Xiao, Guangchao Ji, YMEI Zhang, et.al, Large-scale 3D printing concrete

٥-تطبيقات البناء باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد:

الطباعة ثلاثية الأبعاد في البناء لديها مجموعة واسعة من التطبيقات في القطاعات السكنية والتجارية والصناعية والعامة. وفيما يلي عرض لبعض التطبيقات باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال البناء:

١/٥- الشركة الصينية Winsun:

تعمل شركة Winsun الصينية في السوق منذ عام ٢٠٠٣ وتمكنت من تسجيل ٢٢٥ براءة اختراع خلال هذا الوقت. هدفها العملي هو توفير مساكن ميسورة التكلفة للفقراء، وخفض تكاليف البناء إلى النصف، واستخدام مواد مستدامة[٣٥]. تمكنت الشركة في عام ٢٠١٤ من طباعة ١٠ منازل في شنغهاي مساحة كل منهم ٢٠٠م^{٢} - في أقل من ٢٤ ساعة باستخدام الخرسانة التي تم تعديلها لتكون قابلة للاستخدام بواسطة الطابعات ثلاثية الأبعاد. تمت طباعة المكونات باستخدام طابعة ضخمة يبلغ طولها ١٥٠ مترًا وعرضها ١٠ أمتار وارتفاعها ٦,٦ متر. كان للجدران نمط قطري تم استخدامه لتقوية الجدار وتوفير العزل باستخدام هياكل مجوفة بداخله. قدرت تكلفة المنزل بحوالي ٤٨٠٠ دولار أمريكي أي ما يعادل ٨٥٨٠٠ جنيه مصري تقريبًا.

في عام ٢٠١٥، قامت الشركة بطباعة مبنى مكون من خمسة طوابق والذي يقف الآن كأعلى هيكل مطبوع ثلاثي الأبعاد في العالم. استخدمت الشركة مزيجًا خرسانيًا يتضمن، الأسمنت عالي الجودة ومخلفات البناء والمخلفات الصناعية والألياف الزجاجية، مما يعزز المزيج ويزيد من قوته وعمر خدمته، مقارنة بالخرسانة المسلحة التقليدية. في هذا المشروع، تم طباعة ونقل وتجميع مكونات المبنى في الموقع. سمح الحجم الضخم للطابعة بزيادة كفاءة الإنتاج عشر مرات. تقدر الشركة أنه في المستقبل القريب يمكن لتقنية ٣DCP توفير ما يصل إلى ٣٠-٦٠٪ من مواد البناء مع تقليل وقت الإنتاج وتكلفة العمالة بنسبة ٥٠-٧٠٪[٢٢].

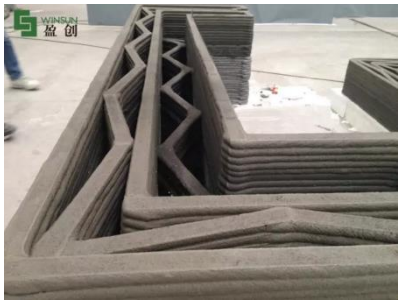
(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

صوره(٣،٤): طباعة ١٠ مساكن متناهية الصغر في ٢٤ ساعة بواسطةالشركة الصينية Winsun
https://www.bbc.com/news/blogs-news-from-elsewhere-27156775

صوره(٥،٦):أطول مبنى مطبوع ثلاثي الأبعاد في العالم يتكون من ٦ طوابق - ٥ طوابق فوق الأرض ، ١ بدروم.
http://www.winsun3d.com/En/News/news_inner/id/552

صوره (٧:١١):منزلين مطبوعتين بتقنية ثلاثية الأبعاد في قرية في بينزهو بمقاطعة شاندونغ بشرق الصين.
https://www.chinadaily.com.cn/bizchina/2016-09/23/content_26875022.htm



صوره(12): الجدار المجوف، لإضافة مادة العزل في التجويف لجعل الجدار أكثر تأثيرًا في العزل الحراري.
http://www.winsun3d.com/En/News/news_in

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

صوره (15:13): أمثلة متعددة للجدار العازل للصوت المتعدد الوظائف شركة Winsun
http://www.winsun3d.com/En/News/news_inner/id/270

اتخذت Winsun تكنولوجيا الابتكار البيئي الأخضر كقوة دافعة أساسية، والعمل مع مؤيدي وممارسي البناء الأخضر في الداخل والخارج وفي الصناعة، باستخدام تقنية إنشاء الطباعة ثلاثية الأبعاد لتوفير مجموعة كاملة من الحلول لإنتاج المباني الخضراء، وأخذت زمام المبادرة في تنفيذ استراتيجية مجتمع التنمية العالمية المستدامة لإنشاء صناعة جديدة لحماية البيئة[٣٨]. ويظهر ذلك عندما طبعت Winsun منزل بفناء على الطراز الصيني في عام ٢٠١٦. حيث شملت الطباعة ثلاثية الأبعاد للديكور الداخلي والخارجي، والطباعة ثلاثية الأبعاد للجدار الأخضر والصديق للبيئة، والطباعة ثلاثية الأبعاد لجدار المناظر الطبيعية المجوف، والطباعة ثلاثية الأبعاد لأرضية حجر winsun والطباعة ثلاثية الأبعاد لأثاث الفناء أيضاً.

وفي الوقت نفسه، تمت طباعة الجدار مجوفاً، مما لا يقل من وزن الجدار فحسب، بل لإضافة مادة العزل في التجويف لجعل الجدار أكثر تأثيرًا في العزل الحراري، ويقلل من سمك الجدار، ويمكّن السكان من الاستمتاع ببيئة معيشية أكثر راحة[٣٩]. تم بناء المنزل بمتوسط تكلفة ٥٠٠٠ يوان (٧٥٠ دولارًا) للمتر المربع[٢٩].

كما قامت Winsun بتطوير وطباعة عدد من الجدران الصديقة للبيئة، متعددة الوظائف فهى تتميز بشكلها الفنى الجميل، كما أنها جدارن خضراء وعازلة للصوت[٤٢]. حيث أن حواجز الضوضاء التقليدية المصنوعة من مواد مثل الزجاج الرقائقي، الاكريليك الشفاف، نشارة الخشب له تأثير على تقليل الضوضاء من ٢٠ إلى ٢٢ ديسيبل. يتميز حاجز الصوت المطبوع ثلاثي الأبعاد من Winsun بتأثير تقليل الضوضاء بمقدار ٣٠ ديسيبل، مما يقلل بشكل فعال الضوضاء حول الطرق السريعة ويحسن الظروف المعيشية للسكان. في الوقت نفسه، تم تصميم وعاء نباتات لحاجز الصوت، والذي يمكنه زراعة نباتات مخففة للضوضاء مثل الزهور ونباتات التسلق لتشكيل جدار أخضر رأسي يعمل على تقليل الضوضاء[٤٠].

تتطلع Winsun اليوم إلى توسيع تقنيتها في جميع أنحاء العالم، وقد وقعت بالفعل صفقة مع الحكومة المصرية تتضمن شحن ٢٠,٠٠٠ وحدة مطبوعة ثلاثية الأبعاد إلى مصر. كما أعلنت الشركة عن تعاونها مع شركة النيل لمواد الرمال المحدودة. إنشاء ١٢ مصنعًا خلال العامين المقبلين في الصحراء باستخدام الرمال كمادة طباعة لتوفير المواد والطاقة وحماية البيئة. من المتوقع أن تنشئ الشركة مصانع خلال السنوات الثلاث القادمة في أكثر من ٢٠ دولة من أجل تشجيع ٣DP في جميع أنحاء العالم، مع التركيز بشكل خاص على منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، لتوفير مساكن منخفضة التكلفة وفعالة لذوي الدخل المنخفض. وعلى الرغم من أن تجارب Winsun كانت ناجحة جدًا وزادت الاهتمام في جميع أنحاء العالم، فقد تم تحديد بعض أوجه القصور العملية في تلك التجارب، والتي تضمنت: طباعة المكونات خارج الموقع بدلاً من الموقع، والمواد التي

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

أضافت قيودًا فيما يتعلق بطباعة الحمل الأفقي الطويل العناصر، واستبعاد خدمات البناء مثل مجاري الكهرباء والسباكة من عملية الطباعة[٢٢].

صوره (١٦): فيلا مطبوعة من طابقين تم بناؤها بالكامل في الموقع ، يقع المنزل في تونغتشو ، إحدى مقاطعات بكين.
https://www.thestructuralengineer.info/news/this-two-storv-3d-printed-villa-was-constructed-in-

صوره (١٧): دمج التعزيزات الفولاذية التقليدية مع طباعة الخرسانة الهيكلية ثلاثية الأبعاد.
Behzad Nematollahi, Ming Xia, Jay Sanjaya**n, Current Progress of 3D Concrete Printing Technologies** - op.cit.

٢/٥- الشركة الصينية Huashang Tengda:

طبعت شركة Huashang Tengda الصينية في بكين فيلا كاملة من طابقين تبلغ مساحتها ٤٠٠ م٢ "في الموقع" في ٤٥ يومًا. على عكس شركة Winsun، تستخدم شركة Huashang Tengda عملية فريدة تسمح بطباعة "منزل كامل" "في الموقع" في "دفعة واحدة". تم إنشاء إطار المنزل الذي يشتمل على التعزيزات الفولاذية وأنابيب السباكة. بعد ذلك، تم بثق خليط الخرسانية فوق الإطار وحول القضبان من خلال استخدام تصميم فوهة جديد وطباعة ثلاثية الأبعاد عملاقة . يبدو أن مشروع Huashang Tengda قد أزال أحد التحديات الرئيسية لـ ٣DCP وهو دمج التعزيزات الفولاذية التقليدية مع طباعة الخرسانة الهيكلية ثلاثية الأبعاد. ذكرت الشركة أن الفيلا المكونة من طابقين متينة بما يكفي لتحمل زلزال بقوة ٨,٠ درجات على مقياس ريختر. وتحتوي الطابعة ثلاثية الأبعاد العملاقة الخاصة بهم على نوع من الفوهة المتشعبة التي تضع الخرسانة في نفس الوقت على جانبي قضبان التسليح، وتغلفها بإحكام داخل الجدران[١١].

٣/٥- البناء باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في دبي:

تمت طباعة أول مبنى مكتبي ثلاثي الأبعاد في العالم في دبي في عام ٢٠١٦ في غضون ١٧ يومًا فقط، وباستخدام طابعة عملاقة تستخدم مزيجًا خاصًا من مواد الطباعة التي تشتمل على(الجبس المقوى بالألياف الزجاجية والخرسانة والبلاستيك المقوى بالألياف). كانت التكلفة المتوقعة ١٤٠،٠٠٠ دولار أمريكي (حوالي ٢،٥٠٠،٠٠ جنيه مصري) وهو ما يقرب من نصف سعر مشاريع مماثلة تم تحقيقها باستخدام الطرق التقليدية. تطلب الأمر ١٩ موظفًا بما في ذلك التركيب والكهربائي والمهندسون الميكانيكيون، مع وجود شخص واحد فقط مطلوب لتشغيل الطابعة ثلاثية الأبعاد الضخمة[٢٢]. بعد إكتمال البناء تمت إضافة التشطيبات الداخلية والخارجية. وبعد إفتتاح المكتب المطبوع مباشرة، أعلنت حكومة دبي أنها ستسعى جاهدة نحو بناء ٢٥% من مباني دبي باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد بحلول عام ٢٠٢٣. وتتوقع الحكومة أن تتخلل الطباعة ثلاثية الأبعاد يوماً ما جميع جوانب الحياة لصالح البشرية وتهدف إلي أن تصبح مركزاً للبحث في الطباعة ثلاثية الأبعاد[١٢].

واجتذب اهتمام دبي بالطباعة ثلاثية الأبعاد شركات مثل كازا إلى المنطقة التي نقلت مقرها الرئيسي إلي الإمارات. وأصدرت خطها الخاص من الطابعات ثلاثية الأبعاد للبناء الروبوتي في يونيو ٢٠١٧ والتي تأمل أن تزيد من سرعة البناء والسلامة مع تقليل التكاليف والأضرار التي تلحق بالبيئة. وأعلنت كازا أيضاً عن خطط لبناء ناطحة سحاب في دبي باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد الخاص الخاصة بهم وذلك بحلول عام ٢٠٢٣[١٢].

٤/٥- طابعات Rudenko 3D للخرسانة:

قام أندري رودينكو ببناء وضبط طابعة FDM في الفناء الخلفي الخاص به. بحلول أغسطس ٢٠١٤، نجح رودينكو في طباعة قلعة في طبقات من الخرسانة. وبعد عامين من بدء العمل في قلعته المطبوعة ثلاثية الأبعاد. وتغلب رودينكو على التحديات المتعلقة بالبرمجة، خليط المونة, فضلاً عن مشاكل الخصائص الفزيائية للأسمنت، وانسداد الفوهة. كان قادراً على طباعة طبقات متفاوتة الارتفاعات والعروض.

بعد الانتهاء من القلعة، أعاد تصميم الطابعة.
وتعاون مع فندق لويس جراند في الفلبين لبناء فيلا بمساحة ١٣٠م٢ في الفندق باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد والتي اكتملت في سبتمبر ٢٠١٥، والتى تضم حمام سبا مطبوع ثلاثي الأبعاد. وتم اضافة مواد مثل (الرمل والرماد البركاني) من أجل تحسين القوة وزيادة

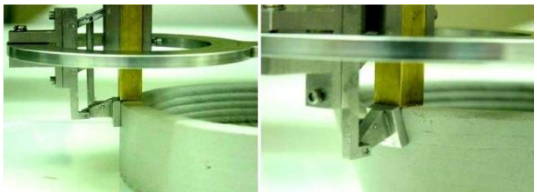
(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

الترابط بين الطبقات المطبوعة، على الرغم من صعوبة البثق. قدر رودنيكو أنه مع وجود المعدات وضبطها، يمكن طباعة منزل متوسط الحجم في غضون أسبوع تقريباً بما يناسب الأشخاص ذوى الدخل المنخفض[١٢].

صوره (١٨): مبنى مكتب حكومة دبي تم بناءة باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد.
/https://digital.hbs.edu/platform-rctom/submission/winsun-print-into-the-future

صوره (١٩،٢٣): فيلا Rudenko المطبوعة في الفلبين.
https://imgur.com/gallery/eKrwo



صوره (٢٤،٢٥): يوضح بثق الخليط من الفوهة معلق عليها مجرفة محورية تنعم جوانب الهيكل أثناء الطباعة .
B. Khoshnevis, G. Bekey, Automated Construction Using Contour Crafting -- Applications on Earth and Beyond, Proceedings of the 19th ISARC, Washington, USA, 2002.

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

٥/٥- شركة Contour Crafting (CC):

تستخدم طريقة Contour crafting (cc) الخرسانة الكبريتية Sulfur Concrete(SCCC) ، والتي تتميز بأنها لا تحتاج إلى الماء لتكوينها ولها قوة عالية ومقاومة عالية للأحماض / الملح ومتانة طويلة. وتتكون آلة (SCCC) من روبوت من ستة محاور وجهاز بثق الخرسانة الكبريتية الجديدة كما أنها يمكنها البناء على تضاريس معقدة. هذه التكنولوجيا لديها القدرة على البناء في الفضاء الخارجي وفي بيئات مثل المريخ أو القمر. في عملية SCCC، يتم صهر المواد المركبة الخرسانية الكبريتية (الكبريت الأولي، ومعدل الكبريت، والركام الخشن والركام الناعم) مسبقًا وخلطها عند ١٥٠ درجة مئوية، ويتم الاحتفاظ بها في الخزان لمدة ساعة واحدة حتى يصل عنصر الكبريت إلى المستوى المرغوب فيه. ثم يتم تسليم الخرسانة الكبريتية المحضرة جيدًا وترسبها بواسطة خلاط / بثق خاص مثبت على روبوت ذي ستة محاور. يتم ترسيب الخرسانة الكبريتية على المسار المحسوب وعلاجها في أقل من ١٠ دقائق. بعد ٢٤ ساعة، يصل البناء المصنوع من الخرسانة الكبريتية إلى أعلى مقاومة للضغط [٩].

وتتبع طريقة طباعة contour crafting (CC) نظام طباعة ثلاثي الأبعاد يتم فيه بثق الخليط من الفوهة بطريقة مماثلة لتقنية FDM. معلق على الفوهة مجرفة محورية تنعم جوانب الهيكل أثناء طباعتها. فهى تدور بحيث يمكن انتاج هياكل منحنية باسطح ناعمة. في أنظمة الطباعة winsun و Andrey Rudenko تظهر الطبقات المطبوعة بشكل فردى وتحتاج إلى خطوة تشطيب إضافية لتحسين جاذبيتها الجمالية. بالنظر إلى نظام (cc) فإن الجمع بين تقنية (CC) والمواد الأسمنتية يمكن أن يؤدي إلى نظام طباعة ثلاثي الأبعاد عالي الجودة للبناء. في يونيو ٢٠١٧ بدأت (cc) في إنتاج سلسلة من الطابعات الروبوتية التى تم تصميمها لتكون خفيفة الوزن و سهلة النقل[١٢]. تعد تقنية (cc) واعدة أكثر من تلك المستخدمة في Winsun. حيث يجمع الصينيون بين التقنيات ثلاثية الأبعاد والنهج التقليدي، وتسعى Contour Crafting جاهدة لأتمتة العملية بالكامل، وبالتالي تسريع وتقليل التكلفة قدر الإمكان. لا يلزم تجميع المنزل في أجزاء: ستقوم الطابعة ببنائه في طبقات من الأسمنت في موقع البناء مباشرةً[٣٤].

٦/٥- شركة Apis cor:

في عام ٢٠١٧ ، نجحت الشركة الروسية Apis Cor في بناء أول منزل مطبوع ثلاثي الأبعاد في العالم في الموقع. تم طباعة المنزل المكون من طابق واحد على مساحة ٣٨ مترًا مربعًا في مدينة ستوبينو ، موسكو ، روسيا. على عكس المشاريع المطبوعة ثلاثية الأبعاد الأخرى ، تمت طباعة هذا المنزل ككل في الموقع بدلاً من تجميعه بعد طباعته خارج الموقع. اختارت الشركة تصميمًا غير عادي للمنزل لإظهار المرونة التي توفرها تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد. أثناء تشييد المنزل، تم استخدام خيمة لحماية مهمة الطباعة من درجات الحرارة الخارجية شديدة الانخفاض.

تم بناء المنزل في يوم واحد فقط شاملاً التشطيبات الخارجية والداخلية. وذكرت الشركة أن تكلفة المشروع بأكمله بلغت ١٠١٣٤ دولارًا أمريكيًا (١٨٣,٦٨٠ جنيهًا مصريًا) أي ما يقرب من ٢٧٥ دولارًا أمريكيًا (٤٩٨٣ جنيهًا مصريًا) للمتر المربع.

لا يوجد فائز واضح في هذه المرحلة. حيث أن مزيد من البحث في المواد والأشكال الهيكلية سيقرر في النهاية اتجاه التكنولوجيا للمستقبل. لذلك، من المهم للباحثين تجربة كل من تقنيات 3DCP الرائدة [١٦].

صوره (٢٦): بناء منزل باستخدام تقنية contour crafting
/https://www.isi.edu/about/history/isi-timeline

استخدمت الشركة الأسمنت الجيوبوليمر كمواد طباعة، هذا مصنوع من المنتجات الثانوية الصناعية مثل الرماد المتطاير. بالإضافة إلى ذلك، ينتج عنه انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة ٩٠٪ أقل من تلك التي ينتجها الأسمنت البورتلاندي. بخلاف كونه صديقًا للبيئة، فإن استخدام الأسمنت الجيوبوليمر له فوائد أخرى مثل العزل الحراري، ومقاومة الحريق، والتطوير السريع للقوة؛ حيث أنها تطور ٥٠٪ من قوتها في الأيام الثلاثة الأولى فقط. حل هذا المشروع العديد من أوجه القصور المعروضة في مشاريع ٣DCP السابقة ؛ مثل الطباعة في الموقع، وإدراج الفتحات في مهمة الطباعة. ومع ذلك، لا يزال يتعين معالجة بعض القيود مثل إمكانية تطبيق طباعة الهياكل الأفقية؛ في المشروع، لم يتم تضمين السقف في مهمة الطباعة ، فقد تم تصنيعه مسبقًا ونقله إلى الموقع[٢٢].

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

جدول(١): منهجيات التصنيع بالاضافة المختلفة المطبقة في صناعة البناء الخرسانى.						
تسمية التكنولوجيا	المطور	المعالجة	المادة	النظام	إمكانية التنقل	hgبناء
Contour Crafting	جامعة جنوب كاليفورنيا	التلين الحراري	الخرسانة	جسر	ثابتة	خارج الموقع
Winsun	Winsun	التلين الحراري	الخرسانة	جسر	ثابتة	خارج الموقع
Total Kustom	Andrey Rudenko	التلين الحراري	الخرسانة	جسر	ثابتة	بالموقع
HuaShang Tengd	HuaShang Tengd	التلين الحراري	الخرسانة	جسر	ثابتة	بالموقع
Apis Cor	Apis Cor	التلين الحراري	الخرسانة	ذراع	ثابتة	بالموقع
D-Shape	Monolite UK	التصنيع بنفث الرابط السائل	الخرسانة الدقيقة	جسر	ثابتة	خارج الموقع

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

صوره (٢٧،٣٠): أول منزل متناهى الصغر مطبوع ثلاثي الأبعاد في روسيا، استغرق بناؤه ٢٤ ساعة فقط.
https://www.engadget.com/2017-03-07-apis-cor-3d-printed-house.html

S. Pessoa a, A.S. Guimaraes, S.S. Lucas, N. Simoes, **3D printing in the construction industry - A systematic review of the thermal performance in buildings**, Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 141, May 2021.

نتائج البحث:

- أهمية ادخال تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال البناء في مصر، لما له من مميزات ستساهم بشكل كبير في حل مشاكل الإسكان والشباب واللاجئين في مصر.
- تختصر الطِباعة ثلاثية الأبعاد خطوات كثيرة مقارنة بالبناء التقليدي، مما يوفر في وقت البناء والعمالة المستخدمة.
- أصبح من الممكن إنشاء مباني بتصاميم معقدة، وبكميات كبيرة والتي كان يصعب تنفيذها بطرق البناء التقليدي، وذلك لزيادة الوقت والعمالة مما يزيد من التكلفة النهائية.
- تعمل تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد تحقيق الاستدامة في صناعة البناء والتشييد. من خلال تقليل النفايات و إمكانية إعادة التدوير.
- التوفير في استخدام المواد الخام أثناء الطباعة من خلال تحديد كميتها بدقة متناهية.
- التنوع الكبير في خامات ومواد الطباعة مما يتيح للمصممين فرصاً للابداع والابتكار.
- تمنح الطباعة ثلاثية الأبعاد الحرية في التصميم وذلك لإمكانية تنفيذ أفكار تصميمية قد تكون مستحيل تنفيذها بالطرق التقليدية.
- تعتبر الطباعة ثلاثية الأبعاد حل مثالي وسريع لبناء المنازل الصغيرة و المتناهية الصغر.
- لا تزال التكنولوجيا تواجه قيودًا متعددة تقف في طريق استخدامها على نطاق واسع وهي، قيود الحجم بسبب أحجام الطابعة، وصعوبة طباعة الهياكل الأفقية، والحاجة إلى تطوير أكواد بناء خاصة تناسب استخدام التكنولوجيا، وإنهاء سطح ما بعد الطباعة إذا لزم الأمر، الجهد المستمر المطلوب لتطوير مواد طباعة فعالة وسهلة الاستخدام ولا تتطلب معالجة وتأتي بسعر مناسب، سعر الطابعات الباهظ الثمن وذلك لقلة انتشارها على مستوى العالم.

توصيات البحث:

- التعاون الجاد بين التخصصات المختلفة و الحكومات والشركات من أجل التحول التدريجي نحو استخدام تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال البناء.
- ضرورة عمل المزيد من الأبحاث و الدراسات لتفادى مشاكل الطباعة ثلاثية الأبعاد أثناء البناء، وامكانيات استخدام مواد بناء صديقة للبيئة.
- إعداد برامج تدريبية للمهندسين والمصممين والعمالة للتدريب على برمجة الطابعات وكيفية العمل مع هذه التكنولوجيا الحديثة.
- الاهتمام بتوعية الشعب المصرى بأهمية البناء المستدام و دوره في الحفاظ على البيئة.
- تشجيع الدولة للشباب من خلال توفير التسهيلات اللازمة لاستخدام هذه التكنولوجيا الجديدة في مجال البناء.

المراجع العربية:

١. ايمان محمد أحمد هاشم، خالد فاروق السنديونى، **الاتجاهات الحديثة فى التصميم ودورها فى الحد من المخلفات البيئية الصلبة الناتجة عن استخدام المنتجات**، مجلة الفنون والعلوم التطبيقية، المقالة٥،

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

المجلد ٢، العدد ٢، يوليو ٢٠١٥. ٢٧:٣٩. ص ٢٩,٣٠.

ayman m7md a7md hashm٥ ،ald faro8 alsndyony ،**alatgahat al7dytha fy altsmym w dorha fy al7d mn alm5lfat alby2ya alslba alnatga 3n ast5dam almntgat** ،mgla alfnon wa l3lom alt6by8ya ،alm8ala5 ،almgld 2 ،al3dd 2 ، yolyo 2015. 27:39. s 29,30.

٢. . رحاب عبد الفتاح نصير ، **اثر الاستدامة و التقنية المتطورة في التصميم الداخلي و الاثاث للمنشآت المؤقتة**، مجلة الفنون والعلوم التطبيقي، المجلد ٤، العدد ٣، يوليو ٢٠١٧، الصفحة 70-55. ص ٥٧.

r7ab 3bd alfta7 nsyr **،athr alastdamaw alt8nya almt6ora fy altsmym alda5lyw alathath llmnshat alm28ta** ،mgla alfnonwal3lom alt6by8y ،almgld 4 ، al3dd 3 ،yolyo 2017 ،alsf7a 55-70. s 57.

المراجع الأجنبية:

3. Ahmed Saleh Abd Elfatah, **3D Printing in Architecture, Engineering and Construction(Concrete 3D printing)**, Engineering Research Journal, Vol. 162, (June 2019). P.120.
4. Alexander Paolini, Stefan Kollmannsberger, Ernst Rank, **Additive manufacturing in construction: A review on processes, applications, and digital planning methods**, Additive Manufacturing, V. 30, December (2019). P. 1,2,3,4
5. Ammar Alkhalidi, Dina Hatuqay, **Energy efficient 3D printed buildings: Material and techniques selection worldwide study**, Journal of Building Engineering, V. 30, (2020). P.2
6. Arnaud Perrot, **State of the Art and Challenges of the Digital Construction Revolution**, John Wiley & Sons, 2019. P. 3,4,5
7. Arnaud Perrot, Damien Rangeard, Chapter5- **3DPrinting with concrete: Impact and Design of structures**, In: Arnaud Perrot, 3D Printing of Concrete: State of Art and Challenges of the Construction Revolution, ISTE Ltd and Wiley&sons Inc, 2019. P. 125
8. B. Khoshnevis, G. Bekey, Automated Construction Using Contour Crafting -- Applications on Earth and Beyond, Proceedings of the 19th ISARC, Washington, USA, 2002.
9. Behrokh Khoshnevis, Xiao Yuan, Behnam Zahiri, et al**, Construction by Contour Crafting using sulfur**
10. **concrete with planetary applications,** Rapid Prototyping Journal**,** Volume 22 , Number 5 ,2016 · P. 848
11. Behzad Nematollahi, Ming Xia, Jay Sanjaya**n, Current Progress of 3D Concrete Printing Technologies,** 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC, Taipei, Taiwan, 2017. P. 263,264.
12. Camille Holt, Laurie Edwards, Louise Keyte, Farzad Moghaddam, and Belinda Townsend, Chapter 17: **Construction 3D Printing**,In: Jay G. Sanjayan, Ali Nazari, Behzad Nematollahi, 3D Concrete Printing Technology: Construction and Building Applications, Elsevier Inc, 2019. P. 349:358
13. Carlos Bañón, Félix Raspall, **3D Printing Architecture Workflows, Applications, and Trends**, Springer Nature Singapore Pte Ltd , Singapore,2021. P.١٤
14. Elena Provaggi, Deepak M.Kalaskar, **3D printing families: Powder, nozzle based techniques**, In: Deepak M.Kalaskar, **3d printing in medicine**, Elsevier, 2017. P.21&22.
15. Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker, **Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital**

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

Manufacturing, Springer, New York, Second Edition, 2015. P. 4&5.
16. Jay G.Sanjayan, Behzad Nematollahi,chapter 1: **3D Concrete Printing for Construction Applications**, In: Jay G. Sanjayan, Ali Nazari, Behzad Nematollahi, 3D Concrete Printing Technology: Construction and Building Applications, Elsevier Inc, 2019. P. 1,2,3
17. J. Paulo Davim, Antonio Riveriro, Juan Pou, **Additive Manufacturing: Handbooks in Advanced Manufacturing**, Elsevier,2021. P.5,8,10,12
18. Jianzhuang Xiao, Guangchao Ji, YMEI Zhang, et.al, **Large-scale 3D printing concrete technology: Current status and future opportunities**, Cement and Concrete Composites, V. 122, 2021. P.2
19. Konrad Graser, Aniko Kahlert, Daniel M. Hall, DFAB HOUSE: implications of a building-scale demonstrator for adoption of digital fabrication in AEC, construction management and economics, vol. 39, no. 10, 2021.
20. Korpela M., Riikonen N., Piili H., Salminen A., Nyrhilä O. **Additive Manufacturing—Past, Present, and the Future. In: Collan M., Michelsen KE. (eds) Technical, Economic and Societal Effects of Manufacturing 4.0.** Palgrave Macmillan, Cham, Switzerland 2020. P. 17&18
21. Neil Hopkinson, Richard Hague, Philip Dickens, Rapid manufacturing, an industrial revolution for digital age, Wiley, 2006. P.68
22. Omar Geneidy, Walaa S.E. Ismaeel, **INVESTIGATING THE APPLICATION OF THE THREE DIMENSIONAL WALL BUILDING TECHNOLOGY IN EGYPT,** GREEN HERITAGE CONFERENCE, The British University in Egypt, 6-8 March 2018. P. 169, 170,171,173,174
23. S. Pessoa a, A.S. Guimaraes, S.S. Lucas, N. Simoes, 3D printing in the construction industry - A systematic review of the thermal performance in buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 141, May 2021.
24. Tuan D. Ngo, Alireza Kashani, Gabriele Imbalzano, Kate T.Q. Nguyen, David Hui, **Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges**, Composites Part B: Engineering, Volume 143, 15 June 2018. P. 174,175
25. Valentin Dolhan, 3D Printing in Arcitecture: A current State of the industry with past and future Perspective, 7th Sem. Bsc of ATCoM, May 13th 2013. P.22

المواقع الإلكترونية:

26. https://www.bbc.com/news/blogs-news-from-elsewhere-27156775
27. https://www.chinadaily.com.cn/bizchina/2016-09/23/content_26875022.htm
28. https://digital.hbs.edu/platform-rctom/submission/winsun-print-into-the-future
29. http://www.ecns.cn/m/hd/2016-09-23/detail-ifytxtex5099292.shtml
30. https://www.engadget.com/2017-03-07-apis-cor-3d-printed-house.html
31. https://imgur.com/gallery/eKrwo
32. https://www.isi.edu/about/history/isi-timeline
33. https://www.thestructuralengineer.info/news/this-two-story-3d-printed-villa-was-constructed-in-just-45-days

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

34. https://vektorus.ru/blog/3d-printer-dlya-stroitelstva-doma.html#cybe-construction
35. https://vektorus.ru/blog/3d-printer-dlya-stroitelstva-doma.html#winsun
36. http://www.winsun3d.com/En/News/news_inner/id/225
37. http://www.winsun3d.com/En/News/news_inner/id/270
38. http://www.winsun3d.com/En/News/news_inner/id/451
39. http://www.winsun3d.com/En/News/news_inner/id/464
40. http://www.winsun3d.com/En/News/news_inner/id/518
41. http://www.winsun3d.com/En/News/news_inner/id/552
42. http://www.winsun3d.com/En/News/news_inner/id/569

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)

The Role of the Interior Design for Printed Buildings Using 3D Printing Technology in Protecting the Environment

Abstract:

The current construction industry faces serious problems, as huge amounts of greenhouse gases are emitted and large amounts of energy and raw materials are consumed during the construction process. Also, the current construction methods and materials are not environmentally friendly. Hence the research problem emerged, which lies in the following question: What is the impact of introducing digital control and robotics through 3D printing on making a change in building and construction processes? The research assumes that the use of additive manufacturing technology known as 3D printing in the field of building and construction will reduce the cost and construction time, which will contribute significantly to solving the housing problem in Egypt. The research aims to employ an innovative design trend in construction that will lead to a major transformation in the construction industry, and contribute to solving many environmental and societal problems in Egypt. In addition to studying the various methods of 3D printing used by construction companies around the world. The importance of the research lies in the need to change the traditional construction method and keep up with modern construction methods to stand up against the housing problems in Egypt. The most important results of the research are that the use of 3D printing in the field of building and construction will save cost and raw materials, reduce time and labor, and preserve the environment. The expansion and diffusion of the use of this modern technology in construction will help eliminate many initial obstacles such as the high price of printers, and raise awareness to the importance of using it as an alternative to traditional construction processes. The research recommends the need to work hard towards the gradual transition to the use of 3D printing, and training programs and more research are required to keep up with this major transformation in the field of construction.

Key words: 3D printing - additive manufacturing - interior design - sustainability - environmental design- new design trends.

(ISSN 2537-1061) (Print)

(ISSN 2537-107X) (Online)