تنفيذ المبانى بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد نحو تحقيق أهداف التنمية المستدامة فى مصر

Building Construction by 3D Printing Technology Towards Achieving the Goals of Sustainable Development in Egypt

م.د/ عادل فتحى عباس
مدرس بقسم الهندسة المعمارية - معهد القاهرة العالى للهندسة وعلوم الحاسب والإدارة
Dr. Adel Fathy Abbas
Lecturer, Architecture Department, Cairo Higher Institute for Engineering, Computer Science and Management
a_f_abbas@hotmail.com

ملخص البحث:

تتناول هذه الورقة البحثية أسلوب تنفيذ المباني بواسطة تقنية الطباعة ثلاثية الابعاد من حيث مزاياها وعيوبها وذلك بالمقارنة مع الطرق التقليدية المستخدمة في صناعة البناء والتي لم يطرأ عليها أي تطوير يذكر على مدار أكثر من قرن منذ بداية إستخدام الخرسانة المسلحة في البناء على يد رجل الصناعة الفرنسى فرانسوا كونيه كبديل لنظام الحوائط الحاملة وذلك بالمقارنةً بالمجالات الصناعية المتنوعة الأخرى على الرغم من التطور المستمر في إتجاهات التصميم المعمارى منذ بدايات القرن العشرين و ظهور رواد ومدارس العمارة الحديثة وصولاً الى العمارة المعاصرة والعمارة البارامترية.

ومن خلال دراسة إستقرائية يتم استعراض مجموعة متنوعة من المباني الحديثة المنفذة بتلك التقنية سواء على المستوى العالمى أو على مستوى الوطن العربى حيث يوجد توجه عالمى متسارع نحو الإعتماد على تلك التقنية في تنفيذ المباني بصورة كاملة في خلال العشرة سنوات المقبلة.

وتواجه صناعة البناء في جمهورية مصر مجموعة من التحديات التي تتطلب دراسة كيفية تطبيق تلك التقنية كحل أمثل للمشكلات العديدة المتعلقة بتلك الصناعة الهامة والتي تتمثل في عدم مواكبة طرق البناء التقليدية مع السرعة ودقة التنفيذ المطلوبة ونقص العمالة الماهرة خاصة في الريف الذى يشهد حركة تنموية متزايدة ، والمخاطر المتعددة التي تتعرض اليها تلك العمالة في مواقع البناء و المخاطر البيئية المتنوعة المتمثلة في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والنفايات الخطره الناتجة عن تلك الصناعة والكميات الضخمة من الأخشاب المستخدمة في القوالب الخرسانية بالإضافة إلى الطاقة المهدرة في نقل المواد الخام إلى مواقع البناء مما يعطى مؤشراً واضحاً عن عدم ملاءمة أساليب البناء التقليدية المستخدمة حالياً مع متطلبات الإستراتيجية الشاملة للتنمية المستدامة - مصر ٢٠٣٠ - بما لها من أهداف بيئية وتنموية واقتصادية.

الكلمات المفتاحية:

صناعة البناء، الطباعة ثلاثية الأبعاد، الأستدامة، التنمية المستدامة في مصر

Abstract:

The construction industry is one of the most important and largest industries in the world, and studies estimate that the total cost of the construction industry in the world is about 10 trillion dollars annually, which represents 13% of the gross domestic product in the world.

Despite the amazing progress in various industrial fields due to the use of modern technologies and computer applications, the construction industry has not kept pace with that progress compared to other industries, due to its direct dependence on the human element.

Over the course of the last century until the present time, the steps for building construction

are still done manually, starting with the excavation process, despite the equipment that has been developed, but it needs trained labor to operate that equipment, passing through insulation and regular and reinforced concrete works, building works, sanitary works and electricity until reaching the finishing stage.

Which prompted the international research centers specialized in the construction industry to study the development of new methods of construction characterized by sustainability and environmental preservation - by reducing waste resulting from traditional construction methods while recycling a large part of that waste and using it again in the construction process - on the one hand, and it is also a fast technology And labor-saving on the other hand, which will directly reflect on the quality of the final product and reduce the implementation time significantly in addition to reducing the total cost of the building.

The technology of 3D printing of buildings is the latest of these methods, which can achieve these goals.

Construction industry experts expect this technology to impose itself strongly in the coming years and to replace traditional building methods within a period of time not exceeding ten years.

This research paper deals with this technology in terms of its advantages and disadvantages compared to traditional methods, with a review of a group of Arab and international buildings implemented by 3D printing in order to reach how to apply it in the Arab Republic of Egypt in line with the ambitious comprehensive development plan that is currently being implemented in full swing.

1.مقدمة:

تعد صناعه التشيد من اهم واكبر الصناعات على مستوى العالم، وتقدر الدراسات بان التكلفه الاجماليه لصناعه التشييد على مستوى العالم تبلغ حوالي ١٠ تريليونات دولار سنويا بما يمثل نسبه ١٣ % من الناتج المحلي الاجمالي على مستوى العالم. وعلى الرغم من التقدم المذهل في مختلف المجالات الصناعيه بفعل استخدام التقنيات الحديثه وتطبيقات الحاسب الآلى الا ان عمليه تنفيذ المباني لم تواكب ذلك التقدم مقارنة بالصناعات الاخرى وذلك بفعل أعتمادها المباشر على العنصر البشرى. وعلى مدار القرن الماضى وحتى الوقت الراهن لازالت عملية تشييد المبانى بمختلف مراحلها تتم بطريقة يدوية وذلك على الرغم مما تم أستحداثة من معدات إلا أنها تحتاج لعمالة مدربة لتشغيلها.

الأمر الذى دفع مراكز البحث العالمية المختصة بصناعة البناء إلى دراسة إبتكار تقنيات جديدة للبناء تتميز بالإستدامة والحفاظ على البيئة - بتقليل النفايات الناتجة عن طرق الإنشاء التقليدية مع إعادة تدوير جزء كبير من تلك النفايات واستخدمها مرة أخرى فى عملية البناء - من جهة ، كما انها تقنية سريعة وموفرة للعمالة من جهة أخرى، الأمر الذى سينعكس بصورة مباشرة على جودة المنتج النهائى وتقليل زمن التنفيذ بصورة كبيرة بالإضافة إلى تخفيض التكلفه الإجمالية لتشييد المبنى.

وتعد تقنية تنفيذ المبانى بالطباعة ثلاثية الأبعاد أحدث تلك الطرق والتى من الممكن أن تحقق تلك الأهداف.

ويتوقع خبراء صناعة البناء أن تفرض تلك التقنية نفسها بقوة فى السنوات المقبلة وأن تحل محل طرق البناء التقليدية فى غضون فترة زمنية لاتتجاوز عشر سنوات.

وتتناول هذه الورقة البحثية تلك التقنية من حيث مميزاتها وعيوبها مقارنة بالطرق التقليدية، مع أستعراض مجموعة من المبانى العربية والعالمية المنفذة بالطباعة ثلاثية الأبعاد بهدف الوصول إلى كيفية تطبيقها فى جمهورية مصر العربية بما يتوافق مع خطة التنمية الشاملة التى يتم يتنفيذها حالياً على قدم وساق.

2.المشكلة البحثية:

عدم ملائمة طرق البناء التقليدية مع متطلبات الأستراتيجة الشاملة للتنمية المستدامة في مصر ٢٠٣٠ من حيث سرعة ودقة التنفيذ وعدم توافر العماله الماهرة خاصة في الريف وما يصاحب تلك العمالة من مخاطر متعددة في مواقع البناء، هذا بخلاف المخاطر البيئية الناتجة عن طرق البناء التقليدية والتي تتمثل في الإنبعاثات الكربونية والهالك الكبير في الاخشاب المستخدمة في الشدات الخرسانية، إضافة إلى الطاقة المهدرة في نقل المواد الخام إلى مواقع البناء.

3.منهجية البحث

تناول البحث من خلال دراسة إستقرائية المشكلات المتعلقة بصناعة البناء في مصر، ثم تطرق إلى تقنية البناء بالطباعة ثلاثية الابعاد مع إستعراض مجموعة من النماذج العالمية والعربية وصولاً إلى أهمية إستخدام تلك التقنية في مصر تماشياً مع خطة التنمية الشاملة ٢٠٣٠ بما تستهدفه من إعتبارات بيئية وتنموية وأقتصادية.

4.تطور صناعة البناء على مر العصور:

منذ فجر التاريخ وبدء الاستيطان البشرى تطورت طرق تشييد المبانى على مر العصور المختلفة بداية من عمارة الكهوف حتى الوصول إلى ناطحات السحاب.

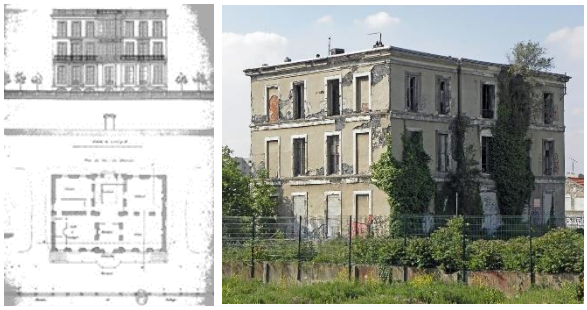
وقد أهتم الأنسان بالبحث والتنقيب فى الطبيعة المحيطة به عن مواد مختلفة لأستخدامها فى تشييد المنازل بهدف توفير المأوى والحماية من تقلبات الطبيعة وما يسكنها من حيوانات مفترسة إضافة إلى تحقيق الخصوصية المطلوبة.

قام الإنسان بالبناء بالحجارة والأخشاب و جذوع النخيل، ثم استخدم الطوب بأنواعه المختلفة حتى الوصول إلى إستخدام قطاعات الحديد المصبوب cast iron حيث يعد مبنى قصر الكريستال crystal palace 1851 وبرج إيفل ١٨٨٧ أشهر المبانى المشيدة بتلك الطريقة، شكل رقم (١)

وتزامناً مع عصر الثورة الصناعية وما واكبها من توسع في العمران وظهور إستخدامات جديدة للمبانى تلبى المتطلبات الصناعية والتجارية والأقتصادية قدم رجل الصناعة الفرنسى فرانسوا كونيه François Coignet عام ١٨٥٣ طريقة جديدة لإنشاء المبانى عبارة عن خلطة من الأسمنت مدعومة بقطاعات من الحديد يتم صبها فى فورم خشبية وقام بإستخدمها فى تشييد منزله الخاص المطل على نهر السين فى باريس، شكل رقم (٢) .

ومنذ بدايات ظهور تلك التقنية والتى أطلق عليها الخرسانة المسلحة تم تشييد معظم المباني بتلك الطريقة لفترة تزيد عن ١٥٠ عاماً بدون أى تطور ملموس يتواكب مع تطور أشكال المبانى وفقاً لتطور المدارس المعمارية المختلفة بداية من العمارة الحديثة حتى الوصول إلى العمارة المعاصرة contemporary architecture ، شكل رقم (٣)

شكل (١) قصر الكريستال وبرج إيفل
المصدر/https:// www.history.com



شكل (٢) منزل فرانسوا كونيه
المصدر/https://www.amusingplanet.com

شكل (٣) تطور المدارس المعمارية منذ العمارة الحديثة حتى العمارة المعاصرة
المصدر/https://www.archdaily.com

5.المشكلات الناجمة عن صناعة البناء في مصر :

لازالت صناعة البناء في مصر تتم بالطريقة التقليدية التى تعتمد بصورة مباشرة على الايدى العاملة والتي ينتج عنها العديد من المشكلات المتنوعة سواء على مستوى العمالة من جهة أو على مستوى البيئة من جهة أخرى - شكل رقم (٤) - الأمر الذى يتطلب مواكبة الإتجاه العالمى نحو الأستعانة بتقنيات حديثة متقدمة لاتتطلب عماله كثيفة وتحقق مفهوم الإستدامة بمعناه الشامل من حيث تقليل الأنبعاثات الكربونية والنفايات وتخفيض معدل إستهلاك الطاقة.

شكل (٤) المشكلات الناجمة عن صناعة البناء في مصر – المصدر:الباحث.

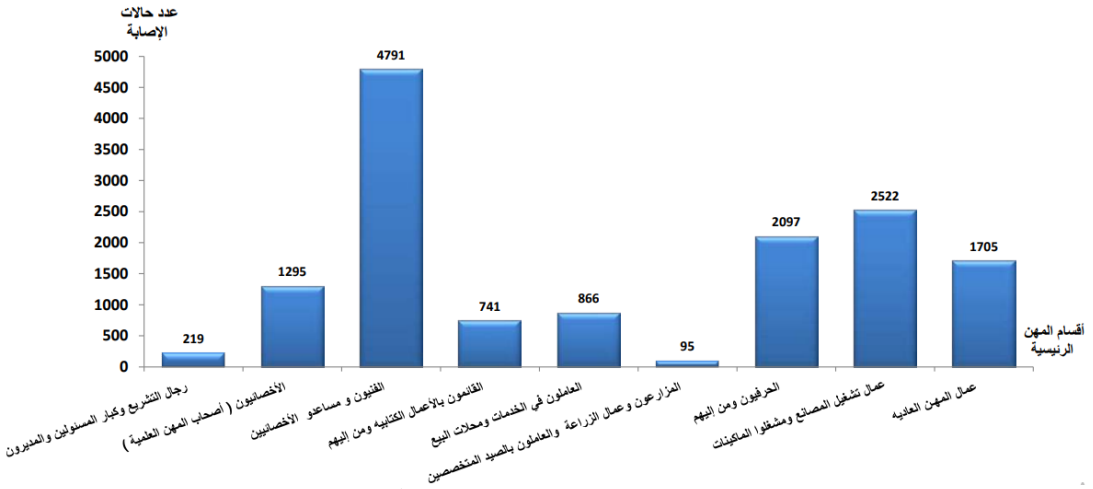
- **أرتفاع معدلات أصابة العمالة داخل مواقع البناء**

بلغت نسبة إصابات العمل المرتبطة بصناعة البناء والتشييد في جمهورية مصر العربية عام ٢٠٢٠ حوالى ٥٠ إصابة لكل ١٠٠٠ عامل وذلك وفقاً لبيانات الجهاز المركزى للتعبئة العامة والأحصاء، شكل رقم (٥).

وتتنوع مخاطر إصابات العمل فى مواقع البناء مابين الإجهاد الشديد جراء زيادة عدد ساعات العمل وإصابات العين والجلد والجهاز التنفسى، بالإضافة إلى مخاطر السقوط من أعلى السقالات.

وعالمياً تشير الدراسات إلى أن معدل الأصابات بفعل الطرق التقليدية المستخدمة فى صناعة البناء من أعلى معدلات إصابات العمل بمعدل متوسط يبلغ ٥٩ أصابة لكل ١٠٠٠ عامل فى أستراليا وفقاً لمكتب الإحصاءات الأسترالى، و٤٥

إصابة لكل ١٠٠٠ عامل فى المملكة الأردنية وفقاً لبيانات نقابة مقاولى الأنشاءات الأردنيين، فيما سجلت المملكة العربية السعودية نحو ٧١٧٩ إصابة عمل فى عام ٢٠١٩ وفقاً لبيانات المؤسسة العامة للتأمينات الاجتماعية بالمملكة.



شكل (٥) إصابات العمل بجمهورية مصر العربية وفقاً للمهن المختلفة
المصدر:النشرة السنوية لأحصاءات إصابات العمل – الجهاز المركزى للتعبئة العامة والإحصاء

- **العمالة الكثيفة التى تطلبها مشروعات البناء**

تحتاج مشروعات البناء إلى أعداد كبيره من العمالة فى كافة مراحل العمل، وتتدرج تلك العمالة من مشرفين إلى عماله متخصصة إلى مساعدين، وتطلب تلك الأعداد تنسيق دقيق ومتابعة دورية لتحقيق الجودة المطلوبة الأمر الذى يزيد من الفترة الزمنية اللازمة للمشروع.

هذا بخلاف التراجع الملحوظ فى أعداد العمالة الماهرة المتخصصة فى كافة مجالات صناعة البناء بمصر.

- **تزايد معدلات أستهلاك الطاقة فى مشروعات البناء**

تستهلك صناعة البناء حوالى ٣٢ % من إجمالي استخدامات الطاقة على مستوى العالم، بالإضافة الى أن قطاع المباني والإنشاءات هو المصدر الأقل استغلالًا لكفاءة استخدام الطاقة حيث لا تتحقق كفاءة الاستخدام إلا بنسبة ٢٠ % فقط.

ويهدف المجلس العالمي للبناء الأخضر (world green building council) بحلول عام ٢٠٣٠ إلى تقليل نسبة الطاقة المستخدمة فى تلك الصناعة سواء فى مرحل تشييد المبانى أو فى مرحلة التشغيل[١].

- **الأضرار البيئية الناجمة عن صناعة البناء والتشييد**

تشير الدراسات العالمية إلى أن صناعة البناء والتشييد ينتج عنها أنبعاثات كبيرة من الكربون بالإضافة إلى مجموعة مختلفة من النفايات تقدر بحوالى ٨٠% من إجمالى النفايات فى العالم هذا بخلاف كمية الهالك من الأخشاب المستخدمة فى الفورم الخاصة بصب الخرسانة المسلحة والتى يصعب إعادة تدويرها مرة أخرى.

وفى مصر تصل نسبة الفاقد في المواد أثناء تنفيذ المباني إلى ٢٥ % وهو يمثل معدل الهالك في الخامات المستخدمة سواء بفعل ظروف العمل أو في صورة إهمال متعمد [١].

ووفقاً لتقرير الحالة العالمية للمباني والتشييد لعام ٢٠٢٠، الصادر عن التحالف العالمي للمباني والتشييد (Global ABC) - وهو المنصة العالمية الخاصة بجعل قطاع التشييد خالياً من الأنبعاثات الكربونية وتم انشاؤه عقب مؤتمر الأمم المتحدة

للمناخ المنعقد عام ٢٠١٥ - أنه في حين بقاء الاستهلاك العالمي للطاقة المستخدمة في المباني ثابتًا إلا أن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بتلك الصناعة قد زادت إلى ٩,٩٥ جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون في عام ٢٠١٩.[١]

وبإضافة الانبعاثات الناجمة عن مصانع الأسمنت، والأنبعاثات الناتجة أثناء خلط مكونات الخرسانة وكذلك أثناء عملية الصب، إلى جانب الانبعاثات الناجمة بعد تشغيل المبانى فان قطاع البناء يمثل حوالى ٣٨ % من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون على مستوى العالم، بالإضافة إلى ٨٠% من إجمالى النفايات على مستوى العالم.

الأمر الذى دعى دول العالم إلى الإتجاه إلى تقنية جديدة في تنفيذ المبانى يمكنها التقليل من البصمة الكربونية المتعلقة بصناعة البناء سواء فيما يتعلق بالنفايات الناتجة منها أو الطاقة المستهلكة فى عملية نقل مواد البناء وهو مايجب مواكبته في صناعة البناء في مصر تماشياً مع أستراتيجية التنمية المستدامة ٢٠٣٠.

6.الطباعة ثلاثية الأبعاد

الطباعة ثلاثية الابعاد هى تقنية متقدمة يمكنها انتاج مجسمات بالغة التعقيد وذلك بالأستعانة بكمية قليلة من الخامات مقارنة بطرق التصنيع الأخرى.

وبأستخدام برامج حاسب آلى متخصصة يتم تصميم شكل المنتج المطلوب بصورة مجسمة ومن ثم طباعة هذا المنتج من خلال طابعة خاصة تسمى الطابعة ثلاثية الأبعاد 3D Printer

وتتم عملية الطباعة فى صورة طبقات حيث تتم طباعة طبقة تلو الأخرى حتى الإنتهاء من طباعة المجسم بالكامل، لذا يطلق على تلك التقنية : التصنيع بالإضافة (additive manufacturing) وهو مصطلح يشير إلى تصنيع المجسمات عن طريق إضافة طبقات من المادة طبقة تلو الأخرى [٦].

وتتميز تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد عن تقنيات تصنيع المجسمات التقليدية مثل النحت أو صب المواد داخل قوالب بالسرعة والدقة المتناهية بالإضافة الى تقليل الكميات المهدرة من المادة الخام اللازمة لتصنيع المجسم.

- **تاريخ الطباعة ثلاثية الأبعاد**

عام ١٩٨١م حصل الياباني هيديو كوداما على براءة اختراعٍ خاصة بتقنية الطباعة اثلاثية الأبعاد حيث أبتكر جهاز يطلق الأشعة فوق البنفسجية على خامة البوليمرات الضوئية فيحولها إلى مادة صلبة، وبالتالي تمكن من تصنيع أشكال مجسمة بالغة التعقيد، وتعد تلك الخطوة البداية الفعلية لتلك التقنية والتي تم تطويرها تدريجياً حتى أصبحت الآن تدخل في كافة المجالات الصناعية، ومنذ ذلك الحين تطورت تلك التقنية بصورة مذهلة واتجهت الشركات الكبرى حالياً إلى استخدامها كبديل لخطوط الإنتاج التقليدية وذلك فى مجالات متنوعة منها الصناعات الطبية (الطباعة الحيوية) حيث تتم طباعة أجزاء تعويضية من جسم الإنسان مثل الأطراف كبديل عن الأطراف الصناعية كذلك فى المجالات العسكرية والصناعات المرتبطة بعلوم الفضاء والطيران [٦].

شكل (6) الأستخدامات المختلفة للطابعة ثلاثية الأبعاد.

7.تنفيذ المباني بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد:

بدأت أولى الدراسات الخاصة بتلك التقنية عام ٢٠٠٤ على يد بيهروخ خوشنيفز(Behrokh Khoshnevis) الأستاذ بجامعة جنوب كاليفورنيا والفائز بمسابقة مبتكر المستقبل التابعة لوكالة الفضاء الإمريكية ناسا، وسميت في بادئ الأمر (Contour Crafting) وأستمر خوشنيفر في التطوير حتى توج عام ٢٠١٤ كرائد لطباعة المباني بتقنية ثلاثية الأبعاد.

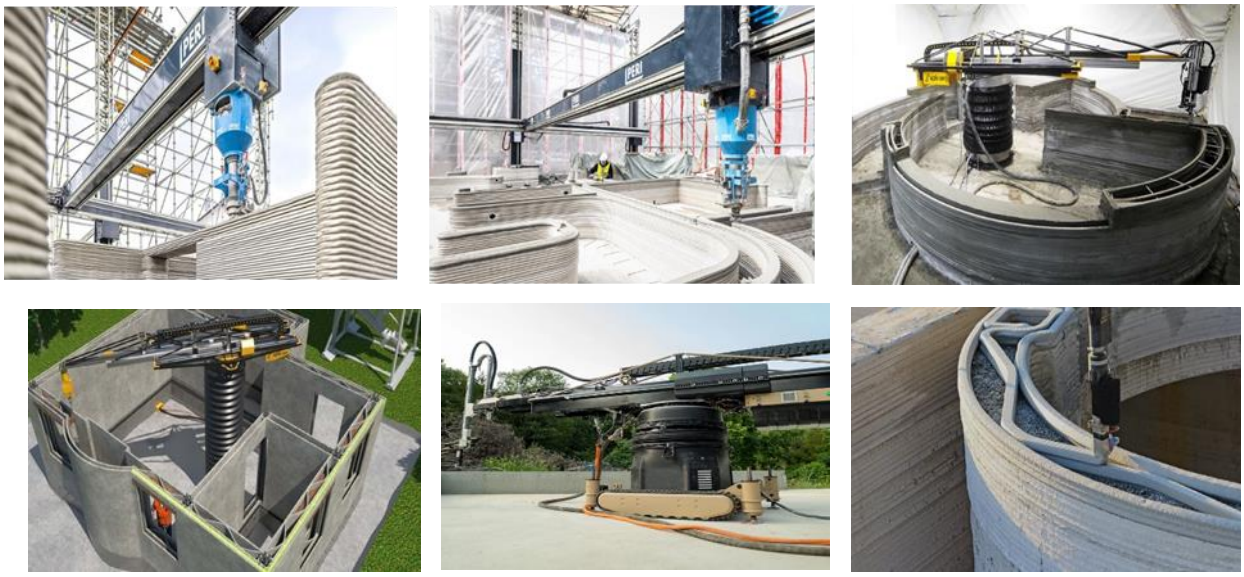
- **كيفية تنفيذ المبنى بإستخدام الطابعة ثلاثية الأبعاد:**

يطلق على هذة التقنية Digital Construction Platform (DCP) [١٥] تعتمد تلك التقنية على نفس الطريقة الخاصة بطباعة المجسمات ثلاثية الأبعاد، مع أختلاف حجم الطابعة حيث يبلغ متوسط ارتفاعها حوالى ٦,٦ متر، وعرضها ١٠ أمتار حتى تتمكن من طباعة أكبر قدر ممكن من مساحة الطابق دون الحاجة إلى نقلها من جزء إلى أخر.

يتم رسم المبنى مجسماً من خلال إحدى البرامج المتخصصة مثل الأوتوكاد أو الريفيت وفقاً للتصميم المقترح ثم تبدأ عملية التنفيذ بإصدار أمر للطابعة التي تبدأ في العمل وعندما تنتهي من طباعة المبنى بالكامل تتوقَّف تلقائياً.

تقوم الطابعة بصبّ خلطة أسمنتية في صورة طبقات وتخرج الخلطة من فوهة الطابعة على شكل حرف Z ، مما يزيد من قوّة وصلابة الحوائط المطبوعة ويجعلها غير قابلة للانهيارأو الإنحناء.

ويمكن أن تتم عملية البناء داخل الموقع، كذلك يمكن أن تكون خارجه ثم يتم نقل المبنى إلى الموقع، وفى حالة المباني ذات المسطحات الكبيرة يمكن طباعة المبنى على أجزاء ثم نقل تلك الأجزاء إلى الموقع وتجميعها وتركيبها.



شكل (7) تنفيذ المبانى بإستخدام الطابعة ثلاثية الأبعاد

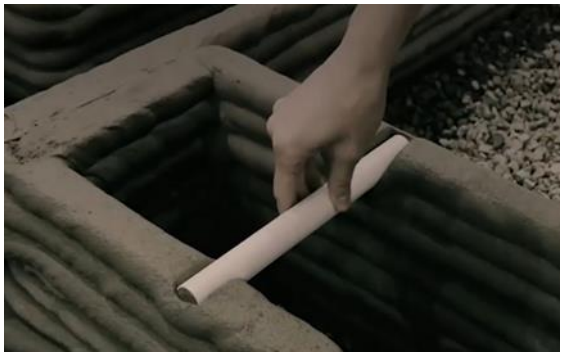
المصدر: ٢٠-١٠-٢٠٢١ https://byarchlens.com/3d-brinted-new-building-technology/

- **مكونات الخلطة الخرسانية المستخدمة فى تلك التقنية**

تتطلب تلك التقنية خلطة خرسانية ذات طبيعة خاصة حيث أنها لاتحتوى على كمية كبيرة من الماء مثل الطريقة التقليدية، كما أنها تتدفق من خلال فوهة الطباعة بصورة أنسيابية لضمان عدم حدوث أى إنسداد وبالتالى توقف عملية الطباعة.

تستخدم خلطة مكونة من الأسمنت والرمل واللدائن التى تعطى الخلطة القوة اللازمة وتكون بديلاً عن حديد التسليح المستخدم فى الطريقة التقليدية، كذلك مجموعة من الإضافات التى تزيد من سرعة تصلب الخلطة بمجرد طباعتها، ويطلق على تلك الخلطة الأسمنت الجيولوجى صديق البيئة[٤].

من خلال تلك التقنية يتم طباعة جميع خوائط المبنى الداخلية والخارجية وتكون بديلاً عن الهيكل الخرسانى التقليدي ويتم وضع مواسير بلاستيك أثناء الطباعة (sleeves) لتمرير توصيلات الكهرباء والصحى من خلالها بعد إنتهاء الطباعة.
يتم تنفيذ الأسقف بالطرق التقليدية ومنها نظام (metal deck) باستخدام الصاج المعرج و عمل شبكة حديد تسليح خفيفه أعلاه ثم يتم صب الخرسانة .

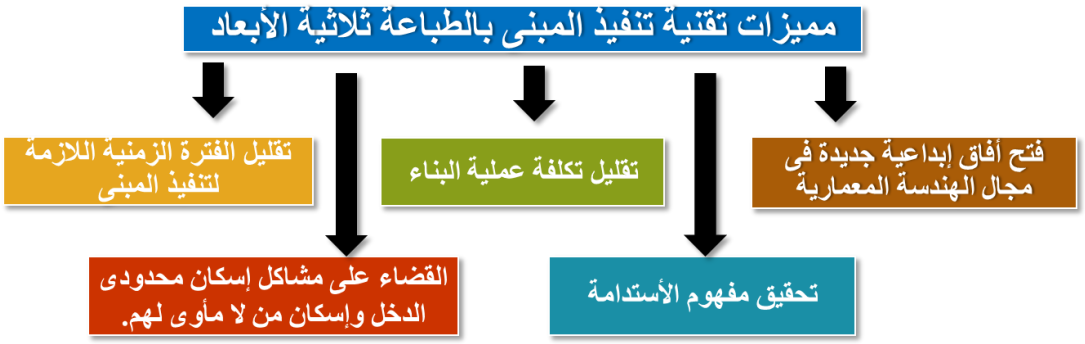


شكل (8) عمل sleeve داخل الحائط المطبوع

شكل (9) تفصيلة لنظام metal deck

8. إمكانيات تقنية طباعة المبانى ثلاثية الأبعاد:

تتفوق تلك التقنية عن الطرق التقليدية بصورة كبيرة سواء من الناحية الأبداعية أو تقليل وقت التنفيذ وتكلفة المبنى، بالإضافة إلى الحفاظ على البيئة وتحقيق مفهوم الإستدامة.



شكل (١٠) مميزات تقنية تنفيذ المبانى بالطباعة ثلاثية الأبعاد –المصدر:الباحث.

- **فتح أفاق إبداعية جديدة فى مجال الهندسة المعمارية**

تتيح تلك التقنيه مجالاً أوسع للأبداع المعمارى خاصة فى تقنيات التصميم الحدودى Parametric Design حيث تتم دراسة كتل وتشكيلات المبنى ورسمها على البرامج المتخصصة مثل Autodesk fusion 360 وبرامج Lumion، Grasshopper حيث يمكن طباعة أية تشكيلات معمارية معقدة دون التقيد بالفورم الخشبية التى لاتعطى المرونة الكافية لتحيق ذلك بخلاف التكلفة الباهظة والوقت اللازم لعمل تلك الفورم.

- **تقليل تكلفة عملية البناء**

وفقاً للدراسات فأن تقنية البناء ثلاثى الأبعاد تؤدى إلى تقليل التكلفة الإجمالية للمبنى بصورة كبيرة تصل إلى ٤٠% مقارنة بالطرق التقليدية وذلك من خلال تقليل عدد العمالة بالموقع بالإضافة إلى الإستغناء عن الفورم والشدات الخشبية، حيث تمثل تكلفة الشدات الخشبية حوالى٦٠٪ من التكلفة الإجمالية للبناء.

- **تقليل الفترة الزمنية اللازمة لتنفيذ المبنى:**

تعمل تلك التقنية على تقليل مدة التنفيذ بصورة كبيرة حيث أنها تعمل بدون توقف وتنتهى من طباعة حوائط المبنى فى زمن أقل ٣٠% من الطرق التقليدية [١١]، وقد قامت إحدى شركة المقاولات الصينية ببناء عشرة منازل كاملة في ٢٤ ساعة بإستخدام طابعات ثلاثية الأبعاد، ومع التوسع في الإستخدام سيحدث تطوير كبير فى تلك الطابعات ما سيؤدى إلى تقليل زمن وتكلفة التنفيذ بصورة ملحوظة.

- **تحقيق مفهوم الأستدامة**

- الدمج بين الهيكل الإنشائى للمبنى والغلاف الخارجى building envelope حيث يمكن أستغلال الفراغ داخل الحائط الخارجى المطبوع فى عمل المعالجات اللازمة للعزل الحرارى وبالتالى تقليل الطاقة المستنفذة فى أجهزة التكييف والتبريد.
- تقليل الأنبعاثات المتولدة أثناء صب الخرسانة المسلحة وأعمال المبانى .
- تقليل النفايات المتولدة جراء عملية التشييد.
- إعادة تدوير النفايات المتنوعة مثل الزجاجات والأكياس البلاستيكية - والتى تعد حالياً من أخطر مصادر التلوث البيئى نظراً لعدم تحللها وعدم القدرة على التخلص منها إضافة لتراكمها على الشواطئ وضررها البالغ على الكائنات البحرية – بحيث يتم استخدامها كمواد مضافة فى الخلطة الخرسانية المستخدمة فى الطباعة فى صورة لدائن تعمل على سرعة تماسك تلك الخلطة.
- إستخدام مخلفات البناء بالطرق التقليدية بإعادة تدويرها وإضافتها إلى مكونات خلطة الطباعة.
- توفير كميات الإخشاب المستهلكة فى عمل الفورم اللازمة لصب الخرسانة المسلحة.

- **القضاء على مشاكل إسكان محدودى الدخل وإسكان من لا مأوى لهم.**

مع إنتشار تلك التقنية سيتم القضاء تدريجياً على مشكلات عديدة منها على سبيل المثال توفير مسكن ملائم لمحدودي الدخل يحقق متطلباتهم المعيشية ويتميز بتكلفتة المنخفضة من خلال سرعة التنفيذ حيث تم بناء منزل في الصين بتكلفة لم تتعدى ال٥ آلاف دولارخلال فترة زمنية لم تتجاوز ٢٤ ساعة.

كذلك في حالات الكوارث الطبيعية مثل الزلازل والأعاصير والسيول والتي تؤدي إلى تشريد الآلاف من البشر يمكن إغاثة هؤلاء فى فترة زمنية قليلة بتنفيذ مساكن لإيوائهم بإستخدام تلك التقنية.

شكل (١١) سرعة التنفيذ بإستخدام الطابعة ثلاثية الأبعاد مقارنة بالطرق التقليدية – المصدر:الباحث

9.نماذج عالمية لمبانى نفذت بتلك التقنية

- **كوبرى لعبور الدراجات - هولندا**

فى هولندا أستخدمت تلك التقنية عام ٢٠١٧ فى بناء كوبرى لعبور الدراجات الهوائية أعلى قناة مائية بطول ١٢ متر وطبقات طباعة بلغت ٨٠٠ طبقة وأستخدمت خامة الطباعة من حديد الزهر المنصهر، وأستغرقت عملية التنفيذ حوالى ٣ شهور داخل المصنع وتم نقل الكوبرى وتركيبة فى الموقع.

شكل (١٢) كوبرى الدراجات، هولندا – المصدر:www.dezeen.com

- **منزل amt السكنى – موسكو**

قامت شركة Amt-Specavia المتخصصة في صناعة طابعات المجسمات ثلاثية الأبعاد منذ عام ٢٠٠٩ والتي تعد من أوائل الشركات المصنعة لتلك الطابعات بتنفيذ هذا المبنى في موسكو عام ٢٠١٧ كمرحلة إنتقالية من طباعة المجسمات الصغيرة إلى طباعة المبانى بحجمها الحقيقى.

تبلغ مساحة المبنى ٢٥٠م٢ وأستغرقت عملية طباعته وتشطيبه ٧ أيام بتكلفة إجماليه ١١٠٠٠ دولار أمريكى.

منزل apis cor السكنى – موسكو

قامت شركة apis cor الأمريكية المتخصصة في صناعة طابعات البناء ثلاثية الأبعاد بتنفيذ هذا المبنى في موسكو عام ٢٠١٨، تبلغ مساحة المبنى ١٢٠م٢ وبلغت تكلفته ٤٠٠٠ دولار وتمت طباعته في ٢٤ ساعة.

شكل (١٣) منزل amt، موسكو
المصدر:www.3dprintingmedia.network

شكل (١٤) منزل apis cor، موسكو
المصدرwww.businessinsider.com

- **مجموعة مبانى سكنية - الصين**

فى الصين تم بناء منزل مكون من دورين على مساحة ٤٠٠ متر مربع في أقل من شهر باستخدام تلك التقنية.

وفي عام ٢٠١٤ قامت شركة وين صن الصينية ببناء عشرة منازل كاملة في خلال يوم واحد بإستخدام نفس التقنية.

شكل (15) نموذج من ١٠ مبانى تمت طباعتها بالصين
المصدر:www.dezeen.com

- **منزل سكنى - إيطاليا**

يعتبر هذا المنزل والذى أطلق عليه أسم "Tecla" أول منزل مطبوع بتلك التقنية بأستخدام الطين كخامة للطباعة، والهدف الأساسى من تنفيذ هذا النموذج هو أستخدامه في مشروعات إيواء اللائجين ومتضررى الكوراث الطبيعية و إسكان من لامأوى لهم.

وأستخدمت خامة التربة الطينية المتوفرة في موقع المنزل بعد خلطها بالماء وألياف من قش الأرز وإضافات من اللدائن. أستغرقت طباعة المبنى ٧ أيام حيث تم تشغيل الطابعة بسرعة بطئية نظراً لسرعة تصلد خامة الطين المستخدمة في الطباعة.

ويتكون المنزل من غرفة معيشة، وغرفة نوم، وحمام ويعتبر تجربة متميزة في إعادة إستخدام خامات بناء قديمة تاريخياً مع الأستعانة بتقنية بناء حديثة و متطورة للغاية الأمر الذى يحقق مفهوم الأصالة والمعاصرة.

شكل (16) منزل Tecla ، إيطاليا – المصدر: arabic.cnn.com/style/article/2021/05

وحالياً يكعف الخبراء بالوكالة القومية الأمريكية لعلوم الفضاء Nasa على تطوير تلك التقنية بحيث يمكن نقل مكونات الطابعة إلى سطح القمر وتجميعها هناك ومن ثم أستخدامها فى تنفيذ مبانى مستدامة وتحقيق الرغبة المتجددة فى إقامة مجتمعات بشرية خارج الكرة الأرضية سواء على سطح القمر أو كوكب المريخ حيث يتعذر إستخدام طرق الإنشاء التقليدية هناك.

شكل (17) تصور لتنفيذ المبانى بإستخدام الطابعة ثلاثية الأبعاد على سطح القمر

10.نماذج عربية لمبانى نفذت بتلك التقنية

تعتبر دولة الأمارات العربية المتحدة من أوائل الدول العربية التى أتجهت إلى البناء بتلك التقنية ومن المستهدف بحلول عام ٢٠٢٥ ألا تقل نسبة المبانى المنفذة بتلك التقنية عن ٢٥% من إجمالى ما يتم تشييده من مبانى على مستوى الدولة.

- **منزل سكنى - دبى**

في دبي تم تنفيذ منزل سكنى مساحته ٦٤٠م٢ ويعد أكبر مبنى في العالم يتم تنفيذه بتلك التقنية ويتكون من طابقين بارتفاع ٩,٥م ، وصرح المختصين بصناعة البناء فى دولة الإمارات العربية المتحدة بأن تلك التقنية خفضت تكاليف البناء من ٦٨٠ ألف دولار إلى ٢٧٥ ألف دولار أى حوالى ٤٠% من تكلفة التنفيذ بالطرق التقليدية، وسيتم إدراج المبنى في موسوعة غينيس للأرقام القياسية.

شكل (18) أكبر مبنى سكنى بالعالم تم تنفيذه بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد – دبى

- **مبنى إدارى - دبى**

تم تنفيذ مبنى مكتب المستقبل الإدارى فى خلال ١٧ يوماً فقط بإستخدام تلك التقنية بمساحة٢٥٠ م٢, وارتفاع ٦,٥م واستغرقت عملية تشطيب الواجهات وتركيب الأبواب والشبابيك يومين فيما أستغرقت أعمال التشطيبات الداخلية حوالى ٣ شهور.

شكل (١٩) مبنى المستقبل الإدارى بدبى

11.توظيف تقنية تنفيذ المبانى بالطباعة ثلاثية الأبعاد للمساهمة فى تحقيق التنمية المستدامة في مصر

قامت الأمم المتحدة بصياغة أهداف التنمية المستدامة من خلال مجموعة من الأهداف والأهداف الفرعية والمؤشرات في إطار تحديد أولويات التنمية العالمية في الفترة من ٢٠١٥-٢٠٣٠.

ومن تلك الأهداف ما يتعلق بحماية البيئة من خلال جعل المدن والمستوطنات البشرية شاملة للجميع وآمنة وقادرة على الصمود ومستدامة هدف رقم: (١١).

ومن خلال ذلك الهدف وتحديداً الهدف الفرعي (١-١١) الذى يؤكد على أن الحق في سكن ملائم يجب أن يعدّ أساسا لكل مبادرات الإسكان، و حق سكان المناطق غير الرسمية في تطوير منازلهم وضعت جمهورية مصر العربية أستراتيجية شاملة للتنمية المستدامة يكتمل تحقيق كافة أهدافها بحلول عام ٢٠٣٠، و يأتي على رأس تلك الأستراتيجية المشروع القومي لتطوير قرى الريف المصري و يهدف المشروع إلى تطوير القرى المصرية (٤٧٤١ قرية وتوابعها ٣٠٨٨٨ عزبة وكفر ونجع) .

ومن أهم أهداف هذا المشروع تحسين مستوى الخدمات العامة مثل: التعليم والصحة و الإرتقاء بالمستوى المعيشى لأهل الريف ويإتى على رأس ذلك تطوير المنازل القائمة وتشييد منازل جديدة تحقق حياة كريمة لقاطنيها مما يعنى أن تلك الأستراتيجية تتطلب بناء عدة الاف من المنازل والوحدات الصحية والمدارس والمبانى الخدمية المختلفة.

شكل (٢٠) أهداف التنمية المستدامة

المصدر: https://www.eg.undp.org/content/egypt

ويوضح جدول رقم (١) أهمية الاستعانة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في تحقيق الأهداف الخاصة بالأستراتيجية الشاملة للتنمية المستدامة في جمهورية مصر العربية - ٢٠٣٠ بما يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة.

الهدف	التفاصـيل
٣ الصحة الجيدة والرفاه	بإستخدام تلك التقنية يمكن التوسع في الوحدات والمراكز الصحية داخل القرى والمدن والتي تؤدى الخدمات العلاجية والتشخيصية وجراحات اليوم الواحد مما يخفف من العبء الواقع على المستشفيات العامة و ينعكس بصورة مباشرة على جودة الخدمات الصحية المقدمة للمواطنين .
٤ التعليم الجيد	للقضاء على مشكلة النقص في عدد الفصول الدراسية والتي تؤثر مباشرة في جودة العملية التعليمية يمكن الاستعانة بتلك التقنية في إضافة أكبر عدد ممكن من الفصول في أسرع وقت.
٨ العمل اللائق ونمو الاقتصاد	يمكن إتاحة العديد من فرص العمل عن طريق التوسع في صناعة إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية لتوفير الخامات الخاصة بخلطة الطباعة بالإضافة الى تدريب العمالة على استخدام ماكينة الطباعة ثلاثية الابعاد وفتح مجالات جديدة للعمل داخل وخارج مصر.
٩ الصناعة والابتكار والهياكل الأساسية	تمثل تلك التقنية إضافة جديدة ومتطورة لصناعة البناء، ويمكن من خلال ماتملكه مصر من عقول وخبرات الابتكار والتطوير في ذلك المجال سواء على مستوى ماكينات الطباعة أو الخامات المستخدمة في خلطة الطباعة.
١١ مدن ومجتمعات محلية مستدامة	ينص هذا الهدف على ضمان حصول الجميع على مساكن وخدمات أساسية ملائمة وآمنة ومنخفضة التكلفة، ورفع مستوى الاحياء الفقيرة بحلول عام ٢٠٣٠، وهو مايمكن تحقيقه بالاستعانة بتلك التقنية التي توفر في الوقت والتكلفة بنسبة لاتقل عن ٣٠% عن الطرق التقليدية.

جدول (١) أهمية أستخدام تقنية البناء بالطباعة ثلاثية الأبعاد فى مصر

شكل (٢١) مجالات الأستفادة من تقنية تنفيذ المبانى بالطباعة ثلاثية الأبعاد فى مصر

12.التحديات التى تواجه تلك التقنية فى مصر:

لاتزال تلك التقنية تحت التطويروبالتالى شأنها شأن أى تقنية جديدة يمكن أن تواجهها مجموعة من المشكلات التى يتم تداركها بمرور الوقت وإتساع نطاق الاستخدام .

شكل (٢٢) التحديات التي تواجه تقنية تنفيذ المباني بالطباعة ثلاثية الأبعاد في مصر - المصدر:الباحث.

- **محدودية الخامات المستخدمة فى طباعة المبنى**

تعتمد خامة الطباعة أساساً على الأسمنت إلا أن المواد المضافة مثل اللدائن ونفايات البلاستيك والمواد المعاد تدويرها ومخلفات البناء لازالت تحت الدراسة ويتم تطويرها بصفة دورية داخل المعامل المتخصصة، وبالتالى يتطلب الأمر مزيداً من المصانع المتخصصة في إعادة تدوير المخلفات الأمر الذى سيسهم بشكل ملحوظ في حل المشكلة التي تواجه مصر منذ سنوات في كيفية التخلص من تلك المخلفات.

- **التكلفة الباهظة لطابعات المبانى ثلاثية الأبعاد**

ثمن آلات الطباعة باهظ جداً لما بها من تكنولوجيا متطورة حيث يبدأ من مئات الآلاف من الدولارات، فضلاً عن تكلفة نقلها من موقع لآخر وتخزينها في كل موقع.

ويمكن التغلب على أرتفاع سعر الطابعات بتعظيم الأستفادة بتنفيذ أكبر عدد ممكن من المبانى مما يؤدى بالتبعية إلى تخفيض التكلفة كما يمكن الحصول على تلك الطابعات بأسعار مخفضة كمنح دولية تماشياً مع الهدف رقم (١٧) من أهداف التنمية المستدامة والذى يوصى بعقد الشراكات لتحقيق الأهداف.

ويمكن لمصر- من خلال دورها الريادى فى العالم العربى وماتملكه من خبرات متنوعة فى مجال صناعة البناء - تصدير تلك التكنولوجيا إلى كافة الدول العربية ومن ثم التسويق للشركات المنتجة لتلك الطابعات الأمر الذى يؤدى بالتبعية إلى الحصول على تلك الطابعات بأسعار مخفضة.

- **الأنبعاثات السامة الناجمة عن عملية الطباعة**

من الممكن أن تؤدي المواد المستخدمة فى خلطة الطباعة إلى انبعاث مخلفات سامة على شكل جزيئات دقيقة و هذة المشكلة ما زالت محل الدراسة ، و بصفة عامة فإن تلك الانبعاثات تعتبر أقل كثيراً من مثيلتها فى طرق البناء التقليدية.

الخلاصة:

1. بالرغم من أن صناعه التشييد من اهم واكبر الصناعات على مستوى العالم إلا أنها تعد الصناعة الوحيدة التى لازالت تعتمد على العنصر البشرى ولم تشملها الثورة التقنية التى غطت كافة المجالات الصناعية.
2. على مدار القرن الماضى وحتى الوقت الراهن لم تواكب عملية التنفيذ التطور الكبير فى شكل المبانى منذ بدايات العمارة الحديثة حتى العمارة المعاصرة والعمارة البارامترية .

3. طورت مراكز البحث العالمية المختصة بصناعة البناء تقنية جديدة لطباعة المبانى تتميز بالإستدامة والحفاظ على البيئة بتقليل نفايات البناء و إعادة تدوير جزء كبير منها واستخدمها مرة أخرى فى عملية البناء.

4. كما انها تقنية سريعة وموفرة للعمالة الأمر الذى سينعكس بصورة مباشرة على جودة المنتج النهائى وتقليل زمن التنفيذ بصورة كبيرة بالإضافة إلى تخفيض التكلفه الإجمالية لتشييد المبنى.

5. يتوقع خبراء صناعة البناء أن تفرض تلك التقنية نفسها بقوة فى السنوات المقبلة وأن تحل محل طرق البناء التقليدية فى غضون فترة زمنية لاتتجاوز عشر سنوات.

6. تختصر تلك التقنية المراحل الخاصة بعمل الشدات الخشبية ووضع حديد التسليح واعمال المبانى.

7. تعطى تلك التقنية للمعمارى حرية غير مطلقة فى الأبداع حيث يتم تنفيذ المبنى بصورة مطابقة تماماً للتصميم وبدقة متناهية للغاية بعكس أعمال الفرم والشدات الخشبية وما يصاحبها من تكاليف باهظة وأهدار كميات كبيرة من الأخشاب.

8. تتسارع وتيرة إستخدام تلك التقنية عالمياً وعربياً فعلى سبيل المثال قررت دولة الأمارت العربية المتحدة تنفيذ ٢٥% من إجمالى المبانى الجديدة بتلك التقنية بحلول عام ٢٠٢٥.

9. تلائم تلك التقنية خطة التنمية المستدامة لجمهورية مصر العربية حيث يمكن الأستعانة بها لتشييد المبانى المطلوبة لتطوير الريف والتى يقدر عددها بالألاف مما يحقق الجودة المطلوبة فى أسرع وقت ممكن.

10. كذلك فإن تلك التقنية تعد البديل الأمثل للعمالة الماهرة المدربة التى يتقلص عددها بصورة سريعة وخاصة فى الريف.

11. تحقق تلك التقنية مفاهيم الإستدامة فى مصرحيث تنتج مبانى منخفضة البصمة الكربونية من حيث تقليل الإنبعاثات الضارة الناتجة من الخرسانة فى صورتها التقليدية كما إنها تقلل من كمية النفايات الناتجة عن طرق البناء التقليدية بالإضافة الى التخلص من الاكياس والزجاجات البلاستيكية بإعادة تدويرها وتحويلها إلى لدائن وبوليمرات تدخل كعنصر أساسى من عناصر خلطة الطباعة.

12. يمكن لمصر الإستفادة إقتصادياً من تلك التقنية بما لديها من كوادر بشرية ومن خلال التطبيق فى مشروع تنمية القرى المصرية يتم أكتساب الخبرات والمهارات اللازمة ومن ثم تصدير تلك التقنية إلى الدول العربية الشقيقة.

13. القضاء على الفقر والبطالة عن طريق توفير فرص عمل جديدة خاصة في مجال إعادة التدوير.

المراجع

المراجع العربية:

1- كمال شمس الدين، أمل، ترشيد استهلاك الطاقة في مرحلة تشييد المبنى، رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة عين شمس، ٢٠٠٣

-١kamal shams aldiyn , 'amal , tarshid aistihlak altaaqat fi marhalat tashyid almabani , risalat majistir , kuliyat alhandasat , jamieat eayn shams , 2003.

2- ويلز، جيل، دراسة أستكشافية للسياسات الجيدة لحماية عمال الأنشاءات فى الشرق الأوسط، منظمة العمل الدولية، ٢٠١٨

-٢wylz , jil , dirasat aistikshafiat lilsiyasat aljayidat lihimayat eumaal albina' fi alsharq al'awsat , munazamat aleamal alduwaliat , 2018

3- رشيد عبد العزيز، حسان، الطباعة ثلاثية الأبعاد، كلية المعلمين بجدة،٢٠١٣.

-٣rashid eabd aleaziz , hasan , tibaeat thulathiat al'abead , kuliat almuealimin bijidat , 2013.

المراجع الأجنبية:

4- Anna Sobotka2, Characteristic of materials for the 3D printed building constructions by additive printing
5- 1,2.3AGH University of Science and Technology, al. Mickiewicza 30, 30-059 Cracow, PolandAustin, S., Lim, S., & Le, T. (2012). Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. Materials and Structures, 45(8), 1221.
6- Bak, D. (2003). Rapid Prototyping or rapid production 3D printing processes move industry towards the latter. Rapid Prototyping Journal, 23(4), 340-345.
7- Buswell, R. (2008). Design, data and process issues for mega-scale rapid manufacturing machines used for construction. Automation in Construction , 923–929.
8- Cesaretti, G., Dini, E., & Kestelier, X. (2014). Building components for an outpost on the Lunar soil by means of a novel 3D printing technology. Acta Astronautica, 93, 430-450.
9- Hayam, Omayer,3D printed house: the digital transformation in architecture and construction of the Sustainable Houses, journal of architecture, arts, and humanistic sciences, 2020
10- Hodson, H. (2013). Robo-builders deliver architects' dreams. . New Scientist, 22-23.
11- Hugo Rodrigues ،Florindo Gaspar ،Paulo, Sustainability and Automation in Smart Constructions
12- Hwang, D., & Khoshnevis, B. (2004). Concrete Wall Fabrication By Contour Crafting. Los Angeles: University Of Southern California.
13- Khoshnevis, B. (2003). Toward Total Automation of On-Site Construction An Integrated Approach based on contour crafting. Los Angeles: University of Southern California.
14- Pegna, J. (1997). Exploratory investigation of solid freeform construction. Automation in *Construction, 5*(5), 427-437.
15- Smith, D. (2012). Printed buildings: an international race for the ultimate in automation. Construction Research and Innovation, 3(2), 26-31.
16- Tibaut, A., & Rebolj, D. (2014). Interoperability requirements for automated manufacturing systems in construction. *Journal of Intelligent Manufacturing*.
17- Vähä, P. (2013). Extending automation of building construction — Survey on potential sensor technologies and robotic applications. Automation in Construction, 36, 168–178.
18- Vinodh, S., Sundararaj, G., Devadasan, S. R., Kuttalingam, D., & Rajanayagam, D. (2009). Agility through rapid prototyping technology in a manufacturing environment using a 3D printer. Journal of Manufacturing Technology Management, 1023-1041.
19- Wainwright, O. (2014, March 29). Work begins on the world's first 3D-printed house. Retrieved 04 10, 2014, from The Guardian: http://www.theguardian.com/artanddesign/architecture-design-blog/2014/mar/28/work-begins-on-the-worlds-first-3d-printed-house
20- Ying Zhang, Jian Kang, Review of Green Building Development in China from the Perspective of Energy Saving, university college London, 2018
21- Zhang, J. (2013). Optimal machine operation planning for construction by Contour Crafting. Automation in Construction, 50-67