Journal of
Design Sciences and Applied Arts

" تكنولوجيا اعادة التدوير بتقنية الطباعة ثلاثية الابعاد بين الفن والتطبيق"

[١]-منة الله محمود احمد محمود رزق [٢]- م.د / نسرين يوسف [٣]- أ.د/ نيفين فرغلى [٤]- أ.د / عبد الخالق حسين

١- مدرس مساعد بقسم الزخرفة – كلية الفنون التطبيقية- جامعة حلوان
٢- مدرس بقسم الزخرفة– كلية الفنون التطبيقية- جامعة حلوان
٣- استاذ التشكيل فى الفراغ ورئيس قسم الزخرفة
٤- استاذ بقسم الزخرفة– كلية الفنون التطبيقية- جامعة حلوان

الملخص:

مع التطور المتسارع والعصر الصناعي الكمي ومع زيادة الانتاج والاستهلاك وتغير اسلوب حياة الانسان ، اصبح من اصعب التحديات التى تواجه المتطلبات البيئية هو التعامل مع معضله استنزاف الموارد الغير متجددة وازدياد التلوث البيئى ، فالفكره الاساسية للبحث تتمحور حول استحداث للدوائر المغلقة للاستفادة من المخلفات واعادة استخدامها فى عمل فنى تشكيلى فى البيئة الخارجية وهو التخلص الملائم بيئيا من المخلفات والنفايات.
وتكمن مشكلة البحث فى التخلص من التلوث الذى يسببة عدم استغلال لمخلفات الخامات، وخاصا البلاستيك الذى يساهم فى استنفاذ البيئة، حيث يظهر الهدف من البحث والذى يتمثل فى الوصول الى افضل النتائج التى تساهم فى تطوير العملية التصميمية وللوصول إلى اعادة صياغة استخدام لتلك الخامات المهدرة فى عمل فنى تركيبى.
حيث توفر الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D PRINTING للمصممين تقنيات فريدة لجلب إبداعاتهم إلى الحياة لا يمكن تحقيقهما عن طريق الطرق التقليدية، وأصبحت آفاق المستقبل تحمل فرصًا ومساحات إبداعية أكبر بكثير مما عرفه العالم، بل وربما أكبر مما يمكن تخيله، في الواقع "نحن لا نتحدث عن تقنية جديدة، بل عن ثورة تكنولوجية ستغير شكل العالم.
حتى ظهرت تقنية جديدة الطباعة رباعية الابعاد 4D printing التى تطرح تحديات عديدة، لاستغلال الخامات الغير متجددة فى الحد من التلوث البيئى، وتحقيقا للمتطلبات البيئية للوصول إلى تصميم عناصر فنية متحركة فى البيئة الخارجية أكثر استدامة من الناحية البيئية، ويتطلب بناء نماذج ثلاثية الأبعاد ذات أشكال يجري انتقاؤها وظائف محددة، بحسب الطلب، توفير عدد كبير من المواد ومنصات طباعة لهذه المواد، حيث تحوّل الطابعات الثلاثية الأبعاد مخرَجات التصميمات الحاسوبية إلى مجسمات ملموسة باستخدام أجهزة لصناعة النماذج تتحرك في عدة اتجاهات في الفراغ.
ويشمل الاطار النظرى للورقة البحثية دراسة حول الخامات الى يمكن اعادة تدويرها واستخدامها بتقنية الطباعة ثلاثية الابعاد وامكانية تطويعها لتصميم عمل فنى متحرك فى البيئة الخارجية.

الكلمات المفتاحية:Keywords

Sustainable kinetic sculpture, 3D Printing, 4D Printing, Recyclable materials.

المقدمة: Introduction

ظهرت الطباعة الثلاثية الابعاد 3D Printing من ما يقرب من الثلاثة عقود ولم تنتشر كتطبيق بستحوذ علي اهتمام ملايين الاشخاص الا من عدة اعوام فقط، وقد احدثت الكثير من التغيير في مفهوم الصناعة والتصنيع، مما انتج انعكاسات عميقة علي المجتمع والاقتصاد وبيئة العمل العالمية. فمع ظهور الطباعة ثلاثية الابعاد اصبح التطوير في تقنياتها وخاماتها مستمرا ويتوسع يوما بعد يوم، ومجالات التطبيق المستقبلية المستدامة تتسع رقعتها بشكل مطرد. بعد الثورة الصناعية واستهلاكنا لعناصر بلاستيكية غير متجددة، اصبحت الطبيعة تستنفز طاقتها من التلوث، فبدأ من هنا دور المهندس والمصمم بإعادة تلك العلاقة والاستفادة من التطور التكنولوجى بالتفكير الجديد لاستغلال تلك المخلفات فى عمل فنى متناغم مع الطبيعة واستدامتها. مع الإمكانات والفرص المتزايدة التي تأتي جنبا إلى جنب مع تكنولوجيا الطباعة، يدرك الكثير من الناس أهمية تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد. في الوقت الحاضر، تشق الطابعات ثلاثية الأبعاد طريقها إلى المكاتب والمؤسسات التعليمية والمصانع والمؤسسات الطبية وحتى في المنازل. فمشكلات التصميم والمواد الذكية متعددة الوظائف وبرمجة المواد والتكلفة هي التحديات الأساسية التى تشغل تفكير المصمم البيئى دائما من اجل الوصول الى تصميم بيئى مستدام من خلال استغلال لتلك المواد الغير متجددة وكيفية تحويلها لعمل فنى.

آلية تطوير تاريخ تقنية الطباعة ثلاثية الابعاد:

كانت تقنية التصنيع المضافة (Additive Manufacturing (AM ، والمعروفة أيضًا باسم الطباعة ثلاثية الأبعاد، حيث سمحت للمستخدمين بتصنيع مجسمات ثلاثية الأبعاد مخصصة باستخدام برامج الكمبيوتر والتصميم بمساعدة الكمبيوتر (CAD). في السنوات الأخيرة، كان لهذه التكنولوجيا تأثيرات هائلة على مختلف الصناعات والقطاع العام وكذلك التصنيع الذكي. حيث اعتمدت تلك التقنية على استخدام تكنولوجيا AM والمواد القابلة للبرمجة لتحويل المعلومات الرقمية في العالم الافتراضي إلى مجسمات في العالم المادي لتوفير الابتكار والوظائف غير المسبوقة. حيث ابتكرتها المجموعة البحثية Tibbits في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (MIT) في عام ٢٠١٣ ومنذ ذلك الحين، تم فحص ودراسة المواد النسبية والطابعات ثلاثية الأبعاد وآلية التحفيز وقواعد التصميم والتطبيقات المبتكرة. أتاحت الطباعة رباعية الأبعاد إضافة بُعد إضافي إلى الطباعة ثلاثية الأبعاد حيث يمكن تغيير الشكل أو الخاصية أو الوظيفة كدالة للوقت. من خلال تنشيط التحفيز للضوء، الرطوبة، درجة الحموضة، المذيبات، المغناطيسية، الاستجابة الكهربائية أو الانضغاط، حيث يمكن تحويل المجسم الثابت ثلاثي الأبعاد المطبوع إلى هيكل آخر متوقع. تشتمل الطباعة ٤D على خمسة عناصر، هي: الطباعة ثلاثية الأبعاد، المواد الذكية المستجيبة للمحفزات، النمذجة الرياضية، وآلية التفاعل. يتضمن هذا المفهوم أنه يمكن طباعة المواد ذات نسب التمدد الحراري المختلفة عبر مرافق الطباعة ثلاثية الأبعاد وتعديلها وفقًا لسلوكيات تغيير الشكل. بالإضافة إلى ذلك ، يمكن أيضًا تعريف الطباعة رباعية الأبعاد على أنها مواد ذكية نشطة تستجيب للتحفيز والتي يتم تحويلها ميكانيكياً في أشكال أخرى ذات صلة باستخدام محفز خارجي.

الطباعة رباعية الابعاد 4D Printing:

تعتبر الطباعة رباعية الابعاد هى توفير قدرات جديدة وغير مسبوقة في تحويل المعلومات الرقمية للعالم الافتراضي إلى كائنات ملموسة للعالم المادي في استجابة مبرمجة مسبقًا للظروف الخارجية المتغيرة مثل درجة الحرارة أو الضغط أو الرياح أو المطر.

يشير البعد الرابع في الطباعة ثنائية الأبعاد إلى قدرة الكائنات المادية على تغيير الشكل والوظيفة بعد إنتاجها، وبالتالي توفير إمكانيات إضافية وتطبيقات تعتمد على الأداء. تُعد طباعة 4D تقنية تجمع بين العلوم والهندسة وقد اجتذبت الكثير من الاهتمامات نظرًا لقدرتها الفريدة على إجراء تحولات هيكلية أو وظيفية بمرور الوقت استجابة للمحفزات الخارجية. الجوانب العلمية للطباعة 4D تنطوي على تطوير البحوث الأساسية في النمذجة الرياضية والمواد الذكية الجديدة. مع تقدم التكنولوجيا، يجري باستمرار تطوير وتحسين أساليب الطباعة ، والبرمجيات، والمواد والآلات الجديدة.

الخامات المستحدثة للطباعة:

تعد مواد الطباعة شرطًا إلزاميًا، لإكمال عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد، حيث ان لتلك المواد الخاصة بالطباعة ثلاثية الأبعاد لها تأثير مباشر على النتيجة النهائية. تعمل تلك التقنية على معالجة المواد من خلال مصادر الطاقة الخارجية مثل الحرارة والضوء والليزر والكهرباء وغيرها من الطاقات الموجهة. إن جودة عناصر المطبوعات ثلاثي الأبعاد تعتمد على التركيب الميكانيكي والكيميائي للمواد بالإضافة إلى مزيج أفضل للطاقة المستخدمة. يعزز توافق المواد مع مصدر الطاقة والتكنولوجيا والتقنيات المتقدمة بتشجيع مزيد من التكيف الإيجابي للمواد تجاه التطوير في التصنيع ثلاثية الأبعاد، وفتح مزيد من اختيار مواد جديدة لم يكن تستخدم من قبل. تتوفر انواع مختلفة من مواد الطباعة ثلاثية الأبعاد إلى جانب حالاتها المختلفة. من أجل تحقيق نتيجة جيدة، تم تطوير أنواع المواد وخصائصها بدقة لتكيف العملية. تستخدم المواد كمسحوق ، راتنج ، كريات ، حبيبات مطلوبة حسب عملية الطباعة.

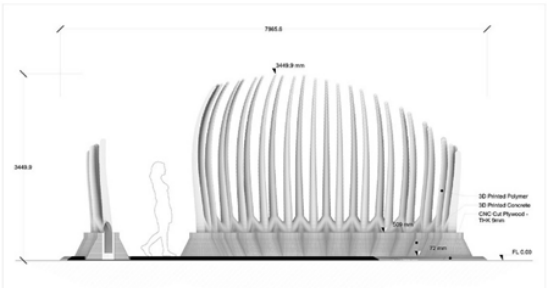
البلاستيك:

نظرًا لأن منتجات البلاستيك (النايلون يسمى أيضا مادة البولي أميد هي المادة البلاستيكية الأكثر استخداما) موجودة في كل مكان وتستخدم بشكل يومى، في يومنا الحالى نحتاج للتفكير بشكل كبير فى كيفية معالجة تلك المواد المتزايدة بشكل كبير، حيث تتميز مادة البلاستيك بالمقاومة درجات الحرارة العالية ولديها ميزة امتصاص الصدمات مع مقاومة عالية التأثير.مادة البولي بروبيلين صعبة ومرنة ودائمة، تستخدم على شكل خيوط filament form اثناء الطباعة ثلاثية الابعاد. من المعروف ان البلاستيك مادة سهلة التشكيل تتكون أساسا من مجموعة من العلاقات الكيميائية الدقيقة وبأنه منتج يستغرق قرون من الزمن للتحلل، كما أن حرقه يؤدى إلى انتشار غازات سامة صعب التحلل و دفنها في الأرض لا يحل المشكلة، وقد تؤثر على صحة ادنسان لذا إعادة تدويرة هو الحل الأمثل للتخلص من الكم الهائل من المخلفات البلاستيكية . من الامثلة المعمارية التى استطاع فيها المصمم فتح افاق اوسع لاستخدام الطباعة ثلاثية الابعاد باستخدام البلاستيك:

لاستكشاف إمكانيات التكنولوجيا المستدامة تم تركيب عمل فنى « Deciduous» أمام مركز دبي المالي العالمي (دبي)، تم إنشاؤه بالكامل باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد التي حولت ٣٠،٠٠٠ زجاجة ماء تم التخلص منها إلى بوليمر بلاستيكي لاستخدامها كمواد أساسية،

والذي يشير إلى الأشجار التي تترك الأوراق في نهاية موسم الخريف. يهدف المشروع النباتي المصمم من قبل شبكة الهندسة المعمارية للشرق الأوسط (MEAN) إلى إعادة ربط الزائرين بالطبيعة. (الشكل١)

يمثل الجناح المتساقط مثالاً مذهلاً على كيفية كون الطباعة ثلاثية الأبعاد ليست فقط وسيلة بناء قابلة للتطبيق ولكن أيضًا نظام ثوري يمكن أن يساعد في تقليل النفايات البلاستيكية. يتكون الجناح من ثلاث مواد مستدامة مختلفة - أرضيات من خشب البتولا، وقاعدة خرسانية مطبوعة ثلاثية الأبعاد، وسلسلة من البوليمرات البلاستيكية المطبوعة ثلاثية الأبعاد، تم تركيبها دون الحاجة إلى أي آلات ثقيلة، كل جزء من الأجزاء معياري ومجهز مسبقًا. في ضوء تركيز دبي على الطباعة ثلاثية الأبعاد كتقنية مستدامة.

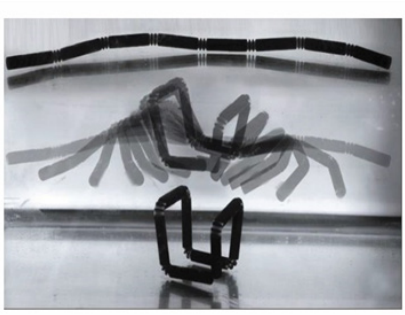


شكل (1) عمل فنى للتنسيق البيئى بتقنية الطباعة ثلاثة الابعاد أمام مركز دبي المالي العالمي.

التحول الهيكلى للطباعة رباعية الابعاد:

كان الهدف من برنامج المواد القابلة للبرمجة «Programmable» "PM» Matter هو انشاء مواد قابلة للبرمجة من خلال مزج البحوث الاكاديمية مع الممارسات المعمارية مع التصنيع الرقمي المتطور الذى سيسمح بالتغييرات في خصائص المواد (مثل المرونة والمسامية والتوصيلية والخواص البصرية والخصائص المغناطيسية) ، لذلك الطباعة ٤D هي طباعة بنية ثلاثية الأبعاد قادرة على تغيير شكلها بمرور الوقت ، يمكن تجميعها وتفكيكها لتشكيل كائنات ذات الشكل المطلوب ومتعدد الوظائف. ان احد التحديات الرئيسة لتكنولوجيا الطباعة رباعية الابعاد فى البناء التصميمى المتمثل فى برمجة مواد معقدة ومتقدمة، يتمثل فى القدرة على معالجة عملية الطى والانكماش والالتواء والتغيير النسبى فى المادة المستخدمة، فيأتى هنا دور التكنولوجيا فى المحاولات لتحسين تصميم الاجهزة، والمحاكاه المتطورة، وتحسين المواد و معالجة التحويل الهيكلى عند تعرض المادة لاى مصدر من مصادر الطاقة. مثل الهواء والحرارة وغيرها من التفاعلات الكيميائية الناجمة بسبب المواد المستخدمة في تصنيع هذه الأشياء، فيوضح التفسير التالي التحول الهيكلي فيما يتعلق بزاوية المفصل والطي والشباك والانحناء:

تصنيع **Fabrication**	إنشاء مجسم ثلاثي الأبعاد كامل يقوم عن طريق إيداع بوليمر قابل للعلاج بالأشعة فوق البنفسجية طبقة تلو الأخرى وبالتالي لديها القدرة على طباعة مواد مركبة متعددة ذات خصائص مختلفة مثل نمط الألوان .وصلابة المواد والشفافية، مما يسمح بإنشاء أجزاء مركبة متعددة معقدة في عملية واحدة يمكن طباعة المواد الرقمية فى هذه المرحلة من تلك العملية، حيث يلعب الجمع بين المواد الرقمية و الترتيبات المكانية والنسبية المختلفة دورًا مهمًا في توفير مرونة إضافية. تتكون الأجزاء المطبوعة رباعية الابعاد، عمومًا من مواد بلاستيكية ورقمية صلبة تتفاعل مع مصدر طاقة خارجي.في حالة تعرضه للماء يمتص الهيكل ويصنع هيدروجيل بنسبة تصل إلى ١٥٠ في المائة من كتلتها. يكون تحول شكل الهيكل .خطيًا في هذه الحالة

الزاويات المشتركة والقابلة للطي **Joint and folding angle strands**	بالنسبة لأي مجسم منحني أو قابل للطي، يلعب المفصل دورًا مهمًا حيث أن التحكم في المفاصل يضبط الشكل المطلوب للهيكل. تتضمن الطباعة 4D طبقات متعددة من المواد، يتم التحكم فى توسيع المواد او تحديد اتخاه الطى اعتمادًا على نوع التحول. إذا تم وضع المركب الموسع فوق بوليمر صلب، فإن السطح سوف ينزلق لأسفل وإذا تم وضعه أدناه، فسيتم طي السطح لأعلى. يحدث هذا الطي بسبب القوة الهبوطية أو التصاعدية المطبقة على المواد الصلبة مع مركب البوليمر الرقمي.  الشكل(2) ذاتية الطي (مختبر التجميع الذاتي، 2016) المصدر: Thomas Campbell, "The Next Wave: 4D Printing - Programming the Material World, Technical Report Atlantic Council, January 2014.
أسطح الزوايا المخصصة **Custom Angle Surfaces**	أظهر Skyler Tibbits في بحثه تحول زاوية مجسم ثمانى الاسطح، تم إنشاء سلسلة من الهياكل ثنائية الأبعاد مسطحة مع مفاصل. يحدد موضع الطى وتباعد المواد في كل من زاوية المفصل وبالتالي يتم وضعها وفقًا لذلك. وإقامة اختبار المعايرة الرقمية، تم إرسال النموذج لطباعته ثم غمر النموذج المادي في الماء ، حيث حدثت عملية التحول في غضون فترة زمنية محددة مع وجود النموذج النهائي المطلوب بحواف ملتصقة ببعضها البعض بشكل ممتاز - باستخدام هذه التقنية - تم طي شكل متعدد السطوح ثنائي الأبعاد وتحويله ذاتيًا إلى بنية ثلاثية الأبعاد دقيقة. الشكل(3) المجسم ذاتي الطي الثنائي (مختبر التجميع الذاتي 2016، MIT)
سطح منحني قابل للطي **Curved surface Folding**	تعتمد آلية طي السطح المنحني على تقنية تسمى التجويف المنحني اوريغامي، حيث يتم طي صفائح مسطحة ثنائية الأبعاد على طول سطح منحني مزدوج مع نمط خطي على شكل الجبل.(الشكل ، ٢٠١٦) يمكن توضح هذه الآلية بمثال دوائر متحدة المركز مصنوعة من بوليمرات، يؤدي وضع توسيع البوليمر أعلى أو أسفل البوليمر الصلب في كل دائرة مع أن تكون الحلقة محايدة، طباعة التصميم في الماء، وبعد فترة زمنية معينة، يحول الهيكل نفسه من سطح ثنائي الأبعاد إلى هيكل منحني مضاعف. الشكل (4) منحنى تجعد اوريغامي (مختبر التجميع الذاتي ، 2016)

مجال التطبيق والتنمية المستقبلية:

ان آلية الطباعة رباعية الابعاد لديها القدرة على تغيير بيئة الأعمال الحالية. ولا يزال يركز التقدم المستقبلي لهذه الآلية على مجموعة متنوعة من القدرات. على سبيل المثال، العملية الحالية التي تسمح للبنية المطبوعة ذات الابعاد الرباعية بالتمدد عند تعرضها للماء وعندما يسمح للبنية بالجفاف فإنها تميل إلى أن تستعيد شكلها الأصلي. يشير هذا التطور إلى تغيير مستقبل العلوم والفنون، من خلال دراسة الهياكل والنماذج الحالية ذاتية التغيير، يمكن اختبار تجربة جديدة مع خصائص المواد الجديدة والسلوكيات الوظيفية وقدرة تغيير المواد ذاتيا تؤدي إلى مجموعة من التطبيقات في مختلف الصناعات والحفاظ على بيئة مستدامة. فمن هنا من بعد الدراسات البحثية توصلت الباحثة لاكثر ما يميز الطباعة ثلاثية ورباعية الابعاد:

المزايا التي تزيد علي التصنيع التقليدي Advantages over Traditional Manufacturing	الطباعة الثلاثية الأبعاد 3D Printing (3DP)	الطباعة الرباعية الأبعاد 4D Printing (4DP)
درجة حرية تصميم المنتج	تصميمات المنتج دائماً ما يقيدها، الحدود المفروضة على الآلات التي ستنتجها. تتجلي الفائدة المباشرة من الطباعة الثلاثية الأبعاد في قدرتها علي إنشاء الأشكال المعقدة التي يصعب إنتاجها بأي وسيلة أخرى. تسمح عمليات 3DP للمصممين بوضع المواد بشكل انتقائي فقط عند الحاجة إليها، وبالتالي توفير الوزن والمواد، فبالتالى تمتد حرية التصميم إلى الهيكل الداخلي للمنتج ، وليس فقط شكله الخارجي.	تتميز الطباعة الرباعية الأبعاد بدرجة من حرية التصميم. وبقدرتها على تغيير شكل- الأشياء- المادية من نموذج لآخر حسب الطلب، وهذا عن طريق إضافتها لديناميكيات وقدرات الأداء علي المادة نفسها. النتائج الأولية أثبتت بالفعل قابليتها المرتفعة للتكيف مع الشكل فور إنتقالها إليه من شكل آخر. علاوة على ذلك، فالـ 4DP تمكن الأجزاء من التكيف مع هندسيتها وبنياتها الخاصة، وحسب الطلب، فور تغيير القوى والمتطلبات، مما يزيد من كفاءة المادة.
التعقيد و تكلفة الطباعة	فتصنيع شكل مزخرف و معقد في الـ 3DP لا يتطلب وقت أو مهارة أو تكلفة أكثر." فالـ 3DP عبارة عن عملية "فردية الأداة"، يتم تشغيلها- وبغض النظر عن أبعادها الهندسية- دون الحاجة إلي إجراء أي تغيير علي أي جانب من جوانبها. وهكذا لا يوجد هناك أي تكاليف إضافية أو فرق زمني بين تصنيع مادة بسيطة أو معقدة.	بمجرد تبسيط العمليات، فلن تحتاج الطباعة الرباعية الأبعاد 4DP إلي أي تكلفة إضافية أو وقت إضافي لإدراج المحرك، المنطق والإستشعار في الأجزاء القابلة للطباعة. هذه الميزة لها بالغ التأثير علي القدرات الشبه إلكترونية وعلي عمليات تصنيع و والأجهزة الكهروميكانيكية الأخرى.
الإنتاج حسب الطلب وعلى دفعات.	وسيلة التصنيع قادرة علي طباعة مجموعة كبيرة من المنتجات بدون إعادة تجهيز ، حيث يمكن تشغيل كل عملية طباعة حسب الطلب وبدون تكلفة إضافية و دون الحاجة إلى زيادة مخزون المنتجات وقطع الغيار.	ومثلها مثل الـ 3DP، فيمكن تخصيص المنتجات على دفعة أو أكثر، لأن الـ 4DP لن تضيف أي تعقيدات أو تكاليف علي عملية الطباعة نفسها.
من الإنتاج الكمى إلى المنتج الواحد	نظراً لأن تكاليف طباعة المنتجات الفريدة من نوعها لا تزيد علي تكاليف إنتاج نفس الشيء علي نطاق واسع، فتقنية الطباعة الثلاثية الأبعاد تمكن من التصميم والتصنيع الفعال المنتجات الشخصية.	تخصيص المنتجات سيكون أقوى مع الطباعة الرباعية الأبعاد 4DP. فقطع الغيار الشاملة، الإلكترونيات العالمية، المنتجات المستجيبة للمستخدم، الهياكل المتكيفة مع البيئة، الخ، يمكن تحقيقهم جميعاً مع الـ 4DP.
تبسيط عملية التصنيع	الطباعة الثلاثية الأبعاد تقوم بإنشاء منتجات مادية من ملف رقمي معياري، فهذه العمليات الحاسوبية- التحكم فيها لا يحتاج الى مستوى عالى من خبرة المشغل، مما يقلل مقدار التفاعل البشري اللازم لإنشاء أي كيان أو شكل مادي وتقلل إلي أقصى درجة من الوقت والدقة البشرية المطلوبين لإنتاج المنتجات التقليدية ومن ثم تقلل الفاقد الزمني بين عمليات تكرار التصميم الواحد.	ومع الطباعة الرباعية الأبعاد 4DP، تصبح عمليات التصنيع أبسط كثيراً مقارنة بالطباعة الثلاثية الأبعاد. يمكن طباعة هياكل بسيطة للغاية ثم تفعيلها عن طريق التحفيز الخارجي لتحويلها إلي هياكل وأنظمة معقدة الوظائف. علاوة على ذلك، فيمكن الآن إنتاج الجزء المطبوع، شحنه وتركه دون مراقبة، وهذا لأنه يستشعر ويستجيب بالفعل إلي البيئة المحيطة به.

القضاء على سلاسل توريد وخطوط تجميع العديد من المنتجات	يمكن إنتاج المنتج النهائي بواسطة الـ 3DP في عملية واحدة، وهذا على العكس من التصنيع التقليدي الذي يتم فيه تجميع مئات أو آلاف الأجزاء.	وكما هو الحال في الـ 3DP، فسلاسل التوريد وخطوط التجميع، قد تتغير بشكل درامي، أو تصبح قديمة في بعض الحالات، وهذا بسبب التبني الواسع للطباعة الرباعية الأبعاد.
التصميمات هي التي تتنقل في جميع أنحاء العالم وليس المنتجات	يمكن طباعة الملفات الرقمية في أي مكان بواسطة أي طابعة يتوافر فيها البارامترات Param-eters المصممة. وكما أنه يمكن إرسال ملف تصميم "STL" وعلي الفور عبر الإنترنت ويمكن طباعته ككيان مادي متطابق ثلاثي الأبعاد.	التصميمات والبرامج من شأنها تحويل عالمنا إلي مجرد أرقام باستخدام الطباعة الرباعية الأبعاد، فقدرتها علي أخذ مجموعة من وحدات الفوكسل voxels ، ثم إصدار أمر إلي تلك الوحدات الفوكسل بتكوين كيان متعدد الوظائف وتتبع مراحل تصميمها وإنتهاء من إنتاجها.
دعم الإبتكار	من المحتمل أن يؤدي ظهور الطباعة الثلاثية الأبعاد 3DP إلي تجديد العديد من المنتجات القديمة، وإلى المزيد من الإبتكارات الجديدة الإستثنائية- ومن ثم التخلص من القيود التي تفرضها أدوات الماكينة - ومن ثم وضع تصميماتهم الخاصة بمنتهي الحرية.	الطباعة الرباعية الأبعاد 4DP ستدعم الإبتكار تلقائياً. وسيشكل تصميم وتصنيع وحدات الفوكسل تلك الصناعة الجديدة التي ستتجاوز فيها قدرات المواد والوظائف الجديدة كل قدرات عمليات التصنيع التقليدية.

(جدول1) جدول يوضح اهم النقاط لاكثر ما يميز الطباعة ثلاثية ورباعية الابعاد

النتائج:

- فقد توصل البحث الى ان الطباعة ثلاثية الابعاد ستفتح مجالات مستقبلية لمجال التنسيق البيئى المستدام ومدى الاستفادة منها فى تحويل تلك النفايات ومخلفات المواد الغير متجددة وتحويلها لمفردات تصميمية لعناصر التنسيق البيئى وحل لمشكلة التلوث البيئي والتشوه العمراني في مصر .
- الاستفادة من الدراسات البحثية المقدمة للمواد القابلة للبرمجة بتقنية الطباعة 4D, للوصول الى عمل فنى للتنسيق البيئى يعتمد على تطبيقات في مجال آلية التكيف البيئي، ومراقبة الصحة الهيكلية ، والآلية المرنة والأنظمة القابلة للنشر الذاتي(The field of environmental adaptive mechanism, structural health monitoring, flexible mechanism and self-deployable systems).

المراجع:

- مُرنا محمد حسّن كامل مرعى، التصمُّم لإعادة التدوّر كأحد المتطلبات البيئية فى تصميم المنتج، مجلة العمارة والفنون، العدد الحادى عشر، قسم تصمُّم منتجات، كلية الفنون التطبيقية، جامعة السادس من اكتوبر.
- اية سالم حافظ، «تكنولوجيا إعادة التدوير بين أساليب الابداع والتغيرات المعاصرة في التصميم الداخلي»، - قسم ديكور- عمارة داخلية، كلية الفنون الجميلة، جامعة الاسكندرية.
- David A. Dornfeld • Barbara S. Linke Editors: Leveraging Technology for a Sustainable World ١٩th CIRP Conference on - Proceedings of the Life Cycle Engineering, University of California at Berkeley, Berkeley, USA, May ٢٣–٢٥, ٢٠١٢.
- ٤D Printing :Thomas Campbell, The Next Wave - Programming the Material World, Atlantic Council, Institute for Critical Technology and Applied Science (ICTAS), January ٢٠١٤.
- Dilip Gurung, Technological comparison of ٤D printing, Degree Thesis Degree ٣D and Programme in Plastics, Technology ,٢٠١٧.
- Suryani ,٣,٤ Yu-Fang Shen , ١,٢,٣ Ming-You Shie Shu- , ٢,٦ Alvin Kai-Xing Lee , ٥ Dyah Astuti and Yi- ٣,٥ Ni Luh Bella Dwijaksara , ٢ Hsien Lin ٤D Wen Chen, Review of Polymeric Materials in Printing Biomedical Applications, November ٢٠١٩.
- recycled water ٣٠,٠٠٠ ,Nicole Jewell, Habitat ٣D-printed pavilion,URL:: bottles make up this recycled-water--٣٠٠٠٠/https://inhabitat.com ,/٣d-printed-pavilion-bottles-make-up-this ٢٠١٩.
- ٣D printed pavilion Designboom, MEAN* designs in dubai to reconnect visitors with nature, URL:: ٣d--https://www.designboom.com/architecture/mean ,/٢٠١٩-١٨-١٢-printed-pavilion-dubai-nature ٢٠١٩.
- Joanne Ee Mei Teoh *, Jia An ID , Xiaofan Feng, Yue Zhao, Chee Kai Chua ID and Yong Liu, Design and ٤D Printing of Cross-Folded Origami Structures: A :Preliminary Investigation, Published ٣ March ٢٠١٨.