# منهجية للتصميم بتكنولوجيا التصنيع بالإضافة في مجال الخزف

# A Methodology of Additive Manufacturing Technology in Ceramic Field

أ. د/ تهاني محمد العادلي
أستاذ بقسم الخزف – كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلوان- مصر.
**Prof. Tahany Mohamed El-Adly**
**Professor, Ceramic Department, Faculty of Applied Arts, Helwan University (Egypt).**
Tahanya1@gmail.com
أ. د/ علا حمدي السيد
أستاذ بقسم الخزف – كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلوان – مصر.
**Prof. Ola Hamdy El Sayed**
**Professor, Ceramic Department, Faculty of Applied Arts, Helwan University (Egypt).**
drolahamdy90@gmail.com
م. م/ نهلة محمد رشوان
مدرس مساعد بقسم الخزف – كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان – مصر.
**Assist. Lect. Nahla Mohamed Rashwan**
**Assistant Lecturer, Ceramic Department, Faculty of Applied Arts, Helwan University (Egypt).**
Nahla_rashwan @hotmail.com

## مخلص البحث

الأفكار التصميمية لا يمكن اعتبارها مبدعة إلا إذا كانت قابلة للتطبيق، فالإبداع يتمثل في التوصل إلى حل خلاق لمشكلة ما أو إلى فكرة جديدة ثم التطبيق الخلاق الملائم لها لتكون ابتكارا، فالعمل محكوم بإمكانية تطبيق الأفكار المبدعة، فليس من المهارة دائماً أن يحمل الإنسان أفكار مثالية مجردة عن الواقع وأكبر من قدرة البشر، بل المهارة في أن يحمل أفكــاراً مبدعة خلاقه قابلة للتطبيق، و هو ما تمكن منه تكنولوجيا التصنيع بالإضافة من خلال الامكانات الجديدة التي تضيفاها للعملية التصميمية و مميزاتها الكثيرة من حيث الدقة المتناهية مع التفاصيل المعقدة وسرعة الحصول علي الفكرة في صورة نموذج نهائي ، وهو ما لم يكن ممكن قبل استخدام الوسائل التكنولوجية الحديثة في إنتاج وتطبيق الأفكار المختلفة في التصميم.

تعتبر عملية التصنيع بالإضافة أكثر من مجرد التصميم والمنهجية خاصة به، بل إنها عملية متكاملة يلعب فيها كل عنصر دورًا أساسيًا. فقبل البدء في عملية التنفيذ الفعلي والطباعة، يجب العمل بشكل كبير علي التصميم ومتطلباته وتكنولوجيا الإنتاج والمواد المستخدمة وفهم الاحتمالات والتحديات لمثل هذا النوع من التكنولوجيا واختلافتها عن طرق التصنيع التقليدية، ولقد أثرت تكنولوجيا التصنيع بالإضافة علي مجال الخزف بشكل كبير، ففتحت أفاق جديدة في التصميم و اتجاهاته، ويحاول البحث إلقاء الضوء علي تطور هذا النوع من التكنولوجيا و أثره في منهجية التصميم من خلال تحليل بعض النماذج الفنية الخزفية.

ويعرض البحث منهجية لجميع تقنيات التصنيع بالإضافة بشكل عام ، مع الاخذ في الاعتبار إن التصنيع بالإضافة يشمل العديد من التقنيات والمواد المختلفة، بدءًا من البوليمرات و السيراميك والمعادن وبالتالي سيكون لكل تقنية ومواد خصائصها ومتطلباتها الخاصة ، وهذه المنهجية نقطة انطلاق جيدة يتم تكييفها مع متطلبات كل تقنية والسيراميك بشكل خاص.

## الكلمات المفتاحية:

الخزف – منهجية- تصميم.

## Abstract

The application of design ideas determines whether they are creative or not. Creativity is about finding a solution to a problem or a new idea and its appropriate application or tendency to be an innovation. It is not a skill to create ideal ideas greater than the ability of human beings, but the skill is to find creative applicable ideas, which is enabled now by additive manufacturing technology, its new trends in the design process and its various advantages as precision with complex details and speed of achieving the idea in virtual model which was not possible before using AM technologies in production and application of different ideas in design.

It is important to know that additive manufacturing comprises much more than just design and methodology. It is a complete process in which every building block has an essential role to play. Before getting started with the part-printing process, Ceramists have to work with a design that appropriately considers the requirements, the production technology and the material, and they must have a clear understanding of the possibilities, challenges and potential added value of additive manufacturing technology.

AS additive Manufacturing development has a significant impact in ceramic field, AM opened up new horizons in design trends, so this research attempts to shed light on the development of this type of technology and its effect on the design methodology through analyzing of ceramic artistic examples.

The research present a general methodology aimed at covering all AM technologies in general, taking into account that AM manufacturing includes many different techniques and materials, ranging from polymers, ceramics and metals and therefore each technology and materials will have their own characteristics and requirements, but this methodology is a good starting point adapted to the requirements of ceramics in particular.

## Keywords:

Ceramic – Design – Methodology.

### مقدمة:

تتميز تكنولوجيا التصنيع بالإضافة بخواص كثيرة تدفع الخزاف إلي الابداع لإنتاج أفكار وتصميمات جديدة لحل مشكلات قائمة وتطوير هذه الأفكار كي تتناسب مع الإمكانيات الكثيرة والمعقدة لهذه التكنولوجيا أي تحويل الفكرة الإبداعية إلي تصميم يمكن تطبيقه، حيث أن الإبداع هو حالة متميزة من النشاط الإنساني تمكن الشخص من التفكير خارج الصندوق مما يؤدي إلي إنتاج يتميز بالأصالة من خلال استغلال الموارد لإنتاج أفكار جديدة والتوصل إلي حل خلاق لمشكلة ما ثم الحاجة إلي تطوير الأفكار المبدعة لتصبح أبتكارا بواسطة الوسائل المختلفة مثل تكنولوجيا التصنيع بالإضافة، فتأتي مرحلة تطوير الفكرة أو العمل أو التصميم أو أي شيء جديد بطريقة أفضل وأيسر وقابلة للتكرار والاستخدام بتكلفة اقتصادية تلبي حاجة معينة من خلال تكنولوجيا التصنيع بالإضافة ليصبح ابتكارا، أي تحويل الفكرة الإبداعية إلي عمل يمكن تطبيقه في الفنون التطبيقية المختلفة وخاصة في مجال الخزف.

### مشكلة البحث:

مع التطور الكبير لتكنولوجيا التصنيع بالإضافة كإحداي التكنولوجيات الإبداعية وخاصة في مجال الخزف تمكن المصميين من تحويل الفكرة الإبداعية التي كان يستحيل تنفيذها إلي تصميم مطبق علي أرض الواقع فأصبح من الضروري دراسة منهجية وأنماط التصميم الجديدة للتصنيع بالإضافة.

**هدف البحث:**

- الوصول إلي منهجية في خطوات بسيطة للتصميم للتصنيع بالإضافة .
- القاء الضوء علي افكار جديدة باستخدام تقنيات مستحدثة بخامات الخزف.

**أهمية البحث:**

- التأكيد علي أهمية التقنيات الحديثة في ابتكار افكار جديدة.
- تيسير وتبيسط مراحل العملية التصميمية للتصنيع بالإضافة.
- ابراز دور تقنية التصنيع بالإضافة في مجال الخزف.

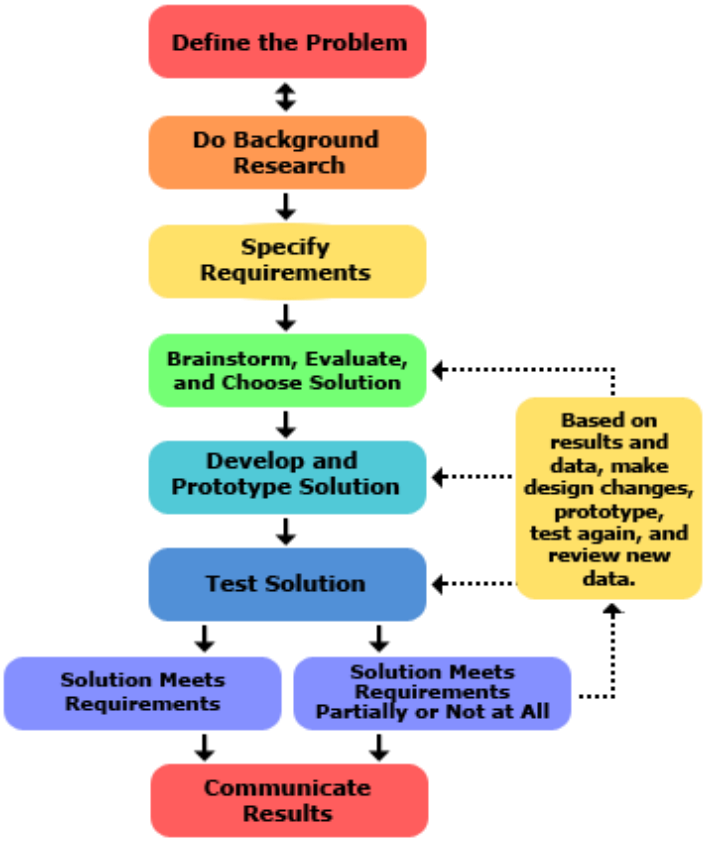
**منهجية البحث:**

- يعتمد البحث على: الطريقة التحليلية الوصفية من خلال عمل دراسة مبسطة لمنهجية التصميم للتصنيع بالإضافة.

## 1- العملية التصميمية وتكنولوجيا التصنيع بالإضافة في الخزف:

تعتبر وسائل تطبيق الأفكارفي الفنون والعلوم التطبيقية المختلفة من أهم العوامل لنجاح وإظهار التصميم وهو ما تمكن منه تكنولوجيا التصنيع بالإضافة Additive Manufacturing (AM) بشكل كبير في المجالات المتعددة ومنها الخزف سواء صناعيا أو فنيا، فتكنولوجيا التصنيع بالإضافة تصنف ضمن **التكنولوجيات الإبداعية Creative Technologies** وهي نوع من التكنولوجيات في مجالات و تخصصات متعددة تجمع بين الحاسب والتصميم والفن والعلوم الإنسانية وتشمل مجالات الفن ، وتصميم المنتجات الرقمية ، والوسائط الرقمية أو الإعلان والوسائط المصنّعة بواسطة البرامج والبيانات، حيث أن التكنولوجيا الإبداعية تجمع بين حواس متعددة وتستخدم رسومات وبرامج الكمبيوتر وإنتاج الفيديو والتصوير السينمائي الرقمي والواقع الافتراضي والواقع المعزز وهندسة البرمجيات والطباعة ثلاثية الأبعاد و CAD / CAM، ويهدف هذا النوع من التكنولوجيا إلي تطوير منتجات وتطبيقات جديدة ومبتكرة وخدمات مصممة للاستخدام اليومي والتي تعمل على تحسين جودة الحياة بكل أشكالها و جوانبها المختلفة في العمل والترفيه ،والصحة ، والتعليم و الفن والتصميم، وتعتبر طرق التصميم التقليدية هي حجر زاوية يتم البناء عليه في هذا المجال، حيث تتداخل التكنولوجيا الإبداعية مع عدد من تخصصات التصميم المختلفة مثل التصميم: الصناعي والإعلان والجرافيك التفاعلي، وتعمل التكنولوجيات الإبداعية علي دمج خطوات وأساليب التصميم في هذه التخصصات المتداخلة، حيث يري البعض أن "الإبداع لديه القدرة على إحداث ثورة في التكنولوجيا" ، ويري البعض الأخر أن مجال التكنولوجيا الإبداعية دفعت وساعدت بشكل كبير على تطوير الأفكار الإبداعية للدخول في تجربة أكثر تكاملاً وواقعية.(6)

ويوضح المخطط رقم 1 خطوات تحويل الأفكار المختلفة إلي عمل إبداعي قابل للتطبيق ليكون ابتكارا، حيث يجب أولا تحديد وتعريف المشكلة التصميمة وثانيا البحث بكل الوسائل لجميع المعلومات المفيدة والمطلوبة لحل هذه المشكلة وثالثا تحديد متطلبات التصميم ثم يأتي العصف الذهني والتقييم لاختيار أفضل الحلول كخطوة خامسة، وسادسا تطوير الحلول المختلفة واختيار النموذج الأول، وسابعا اختبار هذه الحلول المختلفة كخطوة لعمل النموذج الأول واختبار النموذج مرة أخري لمعرفة مدي توافقه مع متطلبات التصميم الموضوعة سابقا ثم أخيرا تجميع النتائج المختلفة و الوصول للنموذج النهائي أم الرجوع مرة أخري إلي خطوات التقييم واختيار حلول أخري للتجربة والتعديل علي التصميم ثم الاختبار مرة أخري.




**المخطط رقم 1 يوضح مراحل العملية الإبداعية (7)**

## 2- اتجاهات جديدة في التصميم للتصنيع بالإضافة:

منذ بداية الثورة الصناعية الأولى والتقدم التكنولوجي الذي حدث في القرن التاسع عشر ، واجه المهندسون والمصنعون قيودًا في تكنولوجيا التصنيع بالإضافة الجديدة فيما يتعلق بما يمكنهم إنتاجه وكيف ينتجونه. اليوم ، في بداية ثورة التصنيع الرقمي ، مع تقدم تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد والتصنيع بالإضافة (AM) في الخزف ، لا تزال هناك قيود كثيرة أبرزها الطبيعة التقليدية للأدوات التي نستخدمها لإنشاء نماذج رقمية ثلاثية الأبعاد، فبدأت الطباعة ثلاثية الأبعاد كعملية بطيئة ومكلفة تستخدم في النماذج الأولية الخزفية في مجالات معينة مثل صناعة أدوات المائدة والأعمال الفنية، وتطورت الأجهزة منذ ذلك الحين وزادت سرعتها بشكل كبير واقتربت من سرعات طرق التصنيع التقليدية ثم أصبحت أكثر دقة وسرعة ، مما أدى إلى تزايد أعداد الشركات التي تتبني الطباعة ثلاثية الأبعاد كحل للتصنيع.

وتوفر إمكانيات AM للخزافيين قدرًا أكبر من الحرية عند مقارنتها بعمليات التصنيع التقليدية ، مما يتيح إنشاء أشكال هندسية معقدة لا يمكن تصورها قبل ظهور AM مثل: الهياكل الشبكية خفيفة الوزن والمنتجات الوظيفية أكثر تخصصا وأعمال فنية أكثر إبداعا. ويعتبر المفتاح وراء الاستخدام الكامل لإمكانات لـ AM من خلال مرحلة التصميم قبل عملية التنفيذ، وهذه ليست مجرد عملية تعتمد علي خيال المصمم والمهارات والأدوات التي يستخدمها ، ولكن لابد من تعليم المصممين والمهندسين الذين يستخدمون الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد اليوم طريقة التفكير مختلفة ليس وفقًا لإمكانيات أساليب التصنيع التقليدية التي تفرض نوع معين من التفكير يحد من إبداع المصممين، ولكن وفقا للإمكانيات اللانهائية التي يوفرها هذا النوع من التكنولوجيا.

وجد الفنانون حرية لإنشاء تصاميم مبتكرة يمكن تحقيقها فعليًا باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد، فهناك حاجة إلى تعلم واستخدام أدوات تصميم سريعة ومرنة مثل برامجCAD ثلاثية الأبعاد ، مع عدم الانغماس فقط في تفاصيل البرامج التي يمكن أن تستغرق وقتًا طويلاً في إنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد عالي الجودة ونسيان التصميم ككل ومدي نجاحه.

إن استخدام برامج النمذجة التقليدية المتوفرة على نطاق واسع غالبًا ما يؤدي إلى ضياع المصممين في هذه العملية ، وفي حدود البرنامج نفسه ، يفقدون في النهاية التركيز علي القصد الفعلي للتصميم ، والسبب في ذلك هو أن سير عمل هذه البرامج يركز على كيفية الإنشاء الهندسية بدلاً من التركيز على التصميم نفسه.

ولكن اليوم أصبح متاح برامج متخصصة للتصميم من أجل التصنيع بالإضافة Design for Additive Manufacturing (DfAM) ويمكن تعريف التصميم للتصنيع بالإضافة بأنه "تصميم قابل للتصنيع يطبق عملية التصنيع بالإضافة (AM) وهو نوع عام من أساليب أو أدوات التصميم التي يمكن من خلالها تحسين الأداء الوظيفي واعتبارات دورة حياة المنتج الرئيسية مثل: قابلية التصنيع والدقة والتكلفة مع مراعاة إمكانيات تقنيات التصنيع الإضافة."

يتيح هذا نوع من البرامج أدوات لتحسن من هندسة الإنشاء من الناحية الهيكلية ، فينتج عنه أشكال عضوية غير مسبوقة فهو ينشئ نموذجًا مثاليًا استنادًا إلى المواد والقيود المحددة ثم مرحلة التحليل وبدون هذه الأداوات الرقمية يقوم المصممون بإنشاء التصميم والتحليل والتحقق منه بعد مرحلة الإنشاء، وتعديل التصميم وفقا لنتائج التحليل وتكرار العملية عدة مرات حتى يتم تحقيق النتائج المثلى. (2)

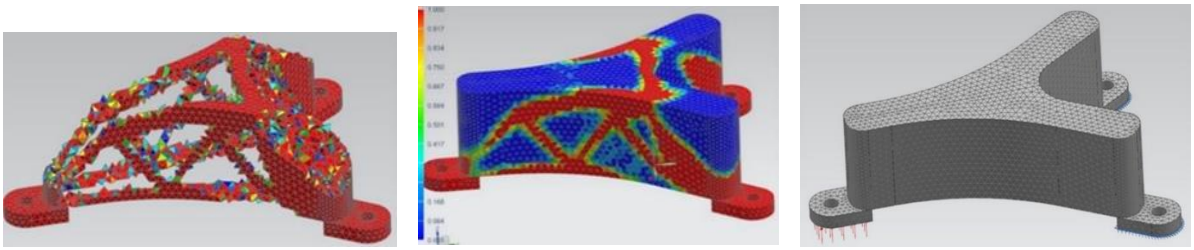
علي سبيل المثال أنماط التصميم الشبكي **Lattice design** كأحد أنماط التصميم بالبارامتري حيث يتسم هذا النوع من التصميم بالتعقيد و الترابط علي خلاف المداخل الكلاسيكية للتصميم(1)، وتستخدم كأداة لتصميم وإنشاء أجزاء خفيفة الوزن مع الحفاظ على مستوى عالٍ من الأداء والمتانة، وتستخدم برنامج هندسة الأجزاء لإجراء تحليل بناءً على مجموعة أولية من الشروط والقيود ، ثم يزيل جميع المواد غير الضرورية ويستبدلها بهيكل شبكي يتم إنشاؤه. ويمكن تطبيق هياكل الشبكات على كل من الأحجام أو الأسطح أو الاثنين معا، مما يؤدي إلى انخفاض الوزن الكلي للمكونات واستهلاك أقل للمواد، كما في الصورة رقم 1 التي توضح عمل فني خزفي للفنان Emre Can.

**صورة رقم 1 توضح عمل فني خزفي للفنان Emre Can منتج بواسطة ماكينات ثلاثية الأبعاد (9)**

والجيل الحالي من أدوات برنامج الذكاء الاصطناعي من خلال التصميم بمساعدة الكمبيوتر AI CAD(Artificial Intelligence) تدعم بالفعل عملية التصميم ، حيث يحدد المصمم مجموعة من الأهداف والقيود ومعايير العمل ، وتستكشف خوارزميات البرنامج حلول التصميم المثلى لهذه القيود والمعايير الموضوعة من قبل المصمم ، هذا يعني في الأساس أن

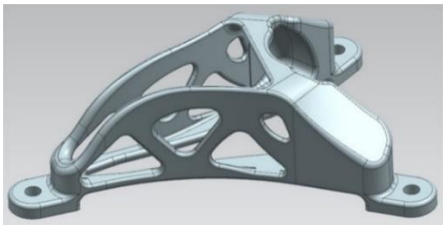
وظيفة النمذجة الفعلية سيتم تنفيذها بواسطة البرنامج وليس المصمم، وبهذه الطريقة سيتمكن المصممون من استكشاف عدد من الحلول المختلفة لمشكلة واحدة في إطار زمني أقصر بكثير وتقيمها لاختيار الأفضل منها. (9)

وتتيح هذه البرامج الخاصة بالتصميم إنشاء أجزاء خفيفة الوزن وذات أداء أفضل باستخدام منهج التصميم القائم على المحاكاة ، والتطور في تكنولوجيا التصنيع التقليدية قد ينتج مثل هذه التصميمات المعقدة باستخدام العمليات التقليدية مثل: الصب ، الحقن وغيرها ولكن تقنيات التصنيع بالإضافة على عكس تقنيات التصنيع التقليدية تتيح إنتاج أجزاء ذات أشكال هندسية معقدة للغاية بدقة عالية وبوزن أخف ومن هذه الأنماط نمط تهيئة السطح "topology optimisation"، وتعتمد هذه التقنية علي "إزالة" المناطق التي لا توجد فيها جهود أو أحمال باستخدام برامج رقمية كما في نموذج الرسوم ثلاثية الأبعاد رقم 1، من بين أشهرها برنامج DesignSpace من Ansys و Tosca من Dassault Systèmes و Autodesk Within Labs و SolidThinking Inspire.



**رسوم ثلاثية الأبعاد رقم 1 النموذج مصمت خلال مرحلة التصميم ثم تطبيق الأحمال والجهود خلال كل الأجزاء ثم إزالة الأجزاء التي لا يقع عليها أي أحمال**

يتم إنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد مصمت عن طريق استخدام البرامج ومن خلال Topology Optimization ويتم تطبيق الأحمال والضغوط والقوى المختلفة التي تقع علي كل جزء، ثم يبدأ البرنامج في حساب جميع القيود المطبقة ، ممثلة باللون الأحمر وهي الأجزاء التي لا يمكن الاستغناء عنها وباللون الأزرق الاجزاء التي يمكن الاستغناء عنها كما في رسوم ثلاثية الأبعاد رقم 1 وفي هذه المرحلة يمكن إزالة الأجزاء الغير خاضعة لجهود أو أحمال، ثم تصور القطعة في صورة شبه نهائية، ويأتي التصميم النهائي بعد تهذيب الأسطح ليلبي كل من المتطلبات التصميمية والوظيفية.



**رسم ثلاثي الأبعاد رقم 2 القطعة في صورتها النهائية**

توضح الرسم الثلاثي الأبعاد رقم 2 القطعة التي يبلغ وزنها الأولي يبلغ 2 كيلوجرام وبعد تهيئة السطح topology optimization يمكن تقليله لوزن 327 جم فقط ، بزيادة القوة الميكانيكية بقدر 83.4 ٪ لتفي بالمواصفات.

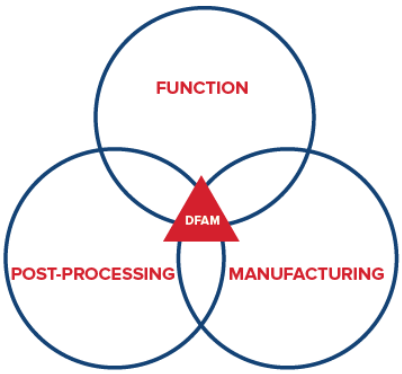
ويوفر هذا الأسلوب في الصناعات الثقيلة مثل صناعة السيارات وصناعة السيراميكات المتقدمة مثل المستخدمة في صناعة الفضاء والطائرات و السيارات لتقليل استهلاك الخامات بشكل كبير كما يظهر في الصورة رقم 2، فمثلا في صناعة السيارات إذا كان يتم تقليل بضع كيلوجرامات في كل سيارة ففي إنتاج عدة ملايين من السيارات يمثل ذلك أطناناً من المواد والخامات المستهلكة ، وكذلك في صناعة الطائرات فتستهلك الطائرة الأخف وزناً وقود أقل مما يوفر على المدى الطويل مدخرات كبيرة لشركات الطيران، وبالطبع يصعب تحقيق ذلك مع طرق التصنيع التقليدية حيث يعد أسلوب الصب هو

أسلوب التصنيع السائد، وفي صناعة الطائرات يعتبر أسلوب القطع في الكتل هو المستخدم بشكل رئيسي ، ولكن بالتقنيات الحديثة في التصنيع بالإضافة يمكن التغلب على هذه المشكلات ليعطي المصممين حرية أكبر في التصميم مع تقليل تكاليف المواد والوقود. (10)

صورة رقم 2 توضح مجموعة من الأجزاء السيراميكية من فلاتر وأجزاء في الماكينات ذات أوزان أقل و أداء أفضل مطبوعة بواسطة شركة Canon بتقنية التلبيد الانتقائي بالليزر Selective Laser Melting (SLM) من خامات الألومينا و الزركونيا (11)

## 3- اعتبارات التصميم للتصنيع بالإضافة:

لابد من وجود منهجية خاصة للتصنيع بالإضافة تراعي اعتبارات التصميم وتواكب تطبيق الاتجاهات الجديدة في التصميم ، وهناك ثلاث اعتبارات رئيسية وهي الوظيفة و التصنيع و المعالجة اللاحقة كما يوضحها المخطط رقم 2 حتي يمكن إنتاج أجزاء ومنتجات تلبي جميع الاحتياجات.




**مخطط رقم 2 يوضح اعتبارات التصميم للتصنيع بالإضافة**

### 3-1 تصميم للوظيفة:

نظرًا للطريقة المتبعة في التصنيع بالإضافة عن طريق الطبقات يمكن إنشاء أجزاء معقدة للغاية ذات أحجام صغيرة جدا أو كبيرة، وبالتالي فإن القيمة الوظيفية تزداد بشكل كبير وتتعقد، وبعيدا عن قواعد التصميم وتقنيات التصنيع التقليدية التي كان يصعب بواسطتها إنتاج التجاويف الداخلية المعقدة ودمج أجزاء متعددة في جزء واحد لتقليل وقت التجميع والتكلفة وغيرها، ولكن مع تكنولوجيا التصنيع بالإضافة أصبح ذلك من السهل تنفيذه.

### 2-3 تصميم للتصنيع:

يعتبر الالمام بكل اعتبارات التصميم لتكنولوجيا التصنيع بالإضافة التي تتضمن تقنيات كثيرة جدا أمرًا صعبًا ، حيث يوجد أمور كثيرة يجب مراعاتها ما بين العمليات والمواد المختلفة **ولكن هناك اعتبارات عامة يجب مراعاتها أثناء عملية التصميم وهي:**

- تقليل كمية المواد وهياكل الدعم المستخدمة.
- إزالة الزائد من المواد ووسائط الدعم.
- حجم الطابعة ثلاثية الأبعاد والمساحة المتاحة للطباعة.
- تصميم التفاصيل الصغيرة وفقا لمواصفات الطابعة.
- الخواص الميكانيكية قد تختلف بسبب تباين بعض العمليات و التقنية المستخدمة.

وبشكل عام قواعد التصميم لتكنولوجيا التصنيع بالإضافة يجب أن تكون الأكثر تحديدًا بشكل كبير بناءا علي نوع التكنولوجيا والمواد والطابعة المستخدمة. (6)

### 3-3 المعالجات اللاحقة:

على الرغم من أن عملية الطباعة تتم بطريقة تلقائية تقريبًا، إلا أن المعالجة اللاحقة تتضمن الكثير من العمل اليدوي، ويشمل ذلك إزالة المسحوق أوالدعائم أو التشطيب أو غيره، وكلما زاد العمل اليدوي المطلوب كلما ارتفعت التكلفة النهائية للجزء، لذلك يجب التصميم مع الوضع في الاعتبار تقليل عمليات المعالجة اللاحقة قدر الإمكان، ويجب تحديد متطلبات المعالجة اللاحقة مبكرا مع تحديد متطلبات التصميم والمواد المستخدمة، فهناك مواد لها قوة شد وضغط ومتانة عالية فيجب معرفة الطريقة الصحيحة للمعالجة لمثل هذه المواد، وهناك مواد مثل المواد السيراميكية يجب عمل المعالجة اللاحقة بدقة عالية لتقليل خطر التلف. وبشكل عام ، ينبغي النظر في مثل هذه القرارات عند تصميم وإنتاج الأجزاء بتكنولوجيا التصنيع بالإضافة. (12)

## 4- منهجية تصميم للتصنيع بالإضافة:

تتألف منهجية تصميم للتصنيع بالإضافة، من 6 مراحل مختلفة كما في المخطط رقم 3 كالتالي : المواصفات ، توليد الأفكار، التحقق من المفهوم واختياره، توليف المفهوم، تفاصيل التصميم ، التصميم النهائي ومقارنته.

**المخطط رقم 3 يوضح منهجية تصميم للتصنيع بالإضافة تتألف من 6 مراحل مختلفة**

### 4-1 تحليل المواصفات: Analyzing specifications

قبل البدء في التصميم الفعلي ، نحتاج إلى الحصول على أكبر قدر ممكن من المعلومات ومتطلبات المنتج، عن طريق وضع كل الأسئلة التي لها علاقة بمتطلبات التصميم و غالبا ما يتم الاستفادة من التصميمات السابقة في التصميم المطلوب للإجابة علي كل الأسئلة وتحليل مواصفات المطلوبة بشكل صحيح حتي يتم التوصل إلي تصور وفكرة أولية. (6)

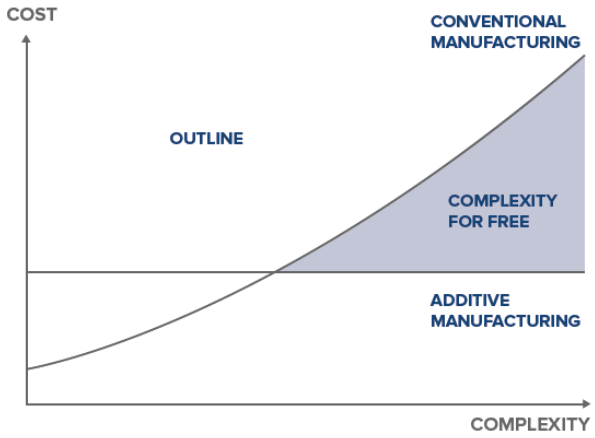
### 4-2 توليد الأفكار: Idea and concept generation

في التصنيع بالإضافة كما هو الحال في عمليات التصميم التقليدية تكون المرحلة الثانية هي توليد الأفكار والمفاهيم الجديدة، ولكن في تقنيات التصنيع بالإضافة يمكن بناء أجزاء بدرجة عالية من الحرية الهندسية والتعقيد بهدف زيادة القيمة الوظيفية لذلك أثناء عملية توليد الأفكار يجب الاهتمام بالجزء الوظيفي ومتطلباته قدر الإمكان بإستخدام مجموعة البرامج الجديدة التي

تساعد في التوفيق بين المتطلبات الوظيفية والتصميم حيث تعطي نظرة عامة واضحة علي مسارات التحميل الخاصة بالتصميم ومدي توافقه مع المتطلبات الوظيفية والشكل المقترح من حيث : الصلابة ، الحد الأدنى للوزن ، وتهيئة السطح Topology Optimization ، إلخ ، كل ذلك مع استخدام أقل قدر من المواد.(13)

ولاتزال اعتبارات التصميم التصنيع بالإضافة غير مألوفة لكثير من المصممين حيث يجب التفكير من خلال إمكانياتها، حتي يستفيد المصمم بشكل كبير من هذهس التكنولوجيا، فيجب علي المصمم التطوير من الاحتمالات بدلا من التفكير في القيود، وتجاهل قواعد التصميم التقليدية كالنتوءات الداخلية Undercuts فالتصنيع بالإضافة له اعتبارات تصميم محددة خاصة به يجب مراعتها.

فيجب الاهتمام بوظيفة كل جزء مراد تصميمه وتعقيداته مع الاهتمام بمواصفات التصميم ككل باعتبار كل جزء محركًا رئيسيًا لاكتشاف ما إذا كان يمكن دمج أجزاء أو وظائف أخرى في جزء واحد أم لا وبالتالي يقل وقت التجميع والتكلفة ، استخدام أقل قدر ممكن من المواد لتقليل وقت الإنتاج و مخاطر التشوه وخفض التكاليف ، فالتصميم يمكن أن يؤثر على 91٪ من هذه التكلفة الإجمالية بتقليل المواد المستخدمة وبالتالي تقل تكاليف الإنتاج واستهلاك الطاقة، وكل ذلك مع درجات عالية من التعقيد حيث أن التصنيع بالإضافة هو عملية يتم فيها بناء طبقة فوق الأخري فيمكن إنشاء أشكال معقدة للغاية عن طريق هذه الطبقات ثنائية الأبعاد الدقيقة جدا وكل هذا التعقيد المتزايد لا يؤدي إلى ارتفاع تكاليف الإنتاج كما في الرسم بياني رقم 1 الذي يوضح تكلفة درجة التعقيد العالية في التصنيع التقليدي في مقابل التصنيع بالإضافة. (6)




**رسم بياني رقم 1 يوضح تكلفة درجة التعقيد العالية في التصنيع التقليدي في مقابل التصنيع بالإضافة**

ويوضح الرسم البياني رقم (1) درجة تعقيد المنتجات في التصنيع التقليدي والتصنيع بالإضافة في مقابل التكلفة، حيث يختلف التصميم التقليدي من حيث تقليل صعوبات وتكاليف التصنيع والتجميع، أما التصميم للتصنيع بالإضافة فيهدف إلى الاستفادة من إمكانيات التصنيع بالإضافة لتصميم المنتج وتحسينه ، والاستفادة من خصائص AM لتحسين وظائف المنتج وفقًا لإمكانيات هذه التكنولوجيا. (14)

ومن خلال مجموعة من الحلول الفرعية والكلية يمكن التوصل إلى العديد من مفاهيم التصميم الجديدة لتناسب تقنيات AM.

### 4-3 التحقق من المفهوم واختياره: Concept Reflection and Selection

في هذه المرحلة ، يتم دمج المفاهيم والأفكار المنتجة من المرحلة السابقة مع متطلبات محددة مسبقًا ، ثم يجب الإجابة علي بعض الأسئلة الأساسية :

- هل التصميم يفي بالمتطلبات؟ المقارنة بين المفاهيم الجديدة والمواصفات لمعرفة ما إذا كانت تفي بالمتطلبات.
- ما هي المادة التي يجب استخدامها لتفي بالمتطلبات؟

- هل تحتاج إلى معالجات لاحقة؟ بعض تقنيات التصنيع بالإضافة تنتج جودة السطح أقل دقة فتحتاج بذلك إلي عمليات معالجة لاحقة مع الأخذ في الاعتبار التكلفة والوقت المستهلك.

### 4-4 توليف المفهوم: Concept optimization

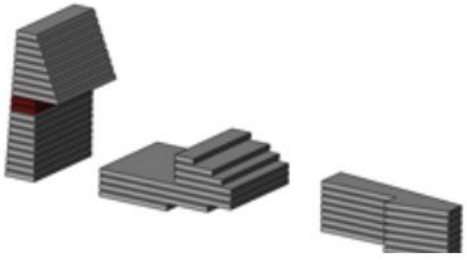
بعد اختيار أفضل مفهوم وتحديد المتطلبات العامة ، يحتاج المفهوم إلى مزيد من التعديل فتأتي هذه المرحلة والهدف منها زيادة الناحية الوظيفية لمكون أو للتصميم ككل وإمكانية دمج أكثر من جزء، وهل سيحتاج التصميم إلى هياكل دعم؟ لأن استخدامها سيزيد من التكلفة ووقت البناء وتنفيذها بشكل صحيح كما في الصورة رقم 3، لذلك يجب تقليلها مع مراعاة قيود الإنتاج عن طريق التعديل في التصميم أو عن طريق تنفيذها كعناصر دائمة وهيكلية حتى لا تتم إزالتها للتقليل من الوقت المعالجة اللاحقة والتكلفة، فبمجرد أن يتم اختيار المواد يجب تحديد تكنولوجيا الإنتاج الأكثر ملاءمة لكل من التصميم و الخامة. (6)

**صورة رقم 3 توضح براد خزفي للفنان Johanthan Keep منتج بواسطة ماكينات ثلاثية الأبعاد يوضح هياكل الدعم في يد البراد (8)**

ولابد في هذه المرحلة أيضا معرفة الاتجاه الأمثل للطباعة ويعتمد على عدد من العوامل ، بما في ذلك تكنولوجيا الإنتاج والمواد حيث أنه يؤثر على جودة سطح وعلى الخواص الميكانيكية ووظيفة الجزء بشكل كبير نظرًا لطريقة تصنيع الطبقة فوق الأخري على سبيل المثال إذا كان اتجاه الطباعة أفقي يبني بقوة ودقة كبيرين، وإذا كان اتجاه الطباعة رأسي فسيكون ذو شكل أفضل ولكن ضعيف، وأما إذا كان اتجاه الطباعة أفقيا علي أحد الجوانب فسوف تكون الطباعة أسرع.

يتطلب توجيه التصميم أثناء الطباعة حد أقصى من التواصل بين العمليات الهندسية والأشخاص، فالأشخاص الذين يديرون الطابعات علي دراية أكثر بالزاويا التي تدعم نفسها بشكل أفضل . (15)

ومثال علي ذلك التصميم البسيط التالي:



**رسم ثلاثي الأبعاد رقم 3 يوضح اتجاهات الطباعة ثلاثية الأبعاد**

الاحتمال الأول هو طباعة الجزء بشكل عمودي كما هو موضح في اليسار رسم ثلاثي الأبعاد رقم (3) ، وفي هذه الحالة ستكون جودة السطح للجزء مقبولة ، ولكن ستكون الخواص الميكانيكية ضعيفة لأن عند الجهود العالية قد ينكسر الجزء في المنطقة الحمراء.

الاحتمال الثاني هو طباعة الجزء كما هو موضح في الوسط رسم ثلاثي الأبعاد رقم (3) ، وسوف تكون الخواص الميكانيكية أفضل ولكن جودة السطح أقل.

أما الاحتمال الثالث سيوفر أفضل الخواص الميكانيكية وجودة سطح وهو الاختيار الأفضل.

### 4-5تفاصيل التصميم: Detailed design

في هذه المرحلة الأخيرة من منهجية التصميم يجب ضبط تفاصيل التصميم استعدادًا للتصنيع، وتطبيق قواعد التصميم الخاصة بالتكنولوجيا المستخدمة وتكييف التصميم لاستيعاب خطوات ما بعد المعالجة إذا كانت هناك خطوات أخري.

نظرًا لوجود مثل هذا التنوع الكبير بين قواعد التصميم ومتطلبات تقنيات التصنيع بالإضافةAM ، فمن المستحيل تقريبًا وضع قواعد عامة ولكن هناك بعض تفاصيل التصميم التي يجب مراعاتها.

### 4-6التصميم النهائي ومقارنته :

تعتبر مقارنة التصميم النهائي مع المتطلبات المحددة في البداية خطوة مهمة خلال عملية التصميم

و قبل الانتهاء من التصميم يجب معرفة:

- هل تم دمج أكبر عدد ممكن من الوظائف أو الأجزاء؟
- هل تم اختيار أنسب التقنيات للتطبيق؟
- هل ستتم الطباعة ثلاثية الأبعاد كما هو محدد لها؟

إذا كانت الإجابات بنعم، فيجب البدء مباشرة في ضبط إعدادات الماكينة تجهيزا للبدء في عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد. (4)

## 5- تحليل لبعض الأعمال الخزفية منفذة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد:

### 1-5 العمل الأول:

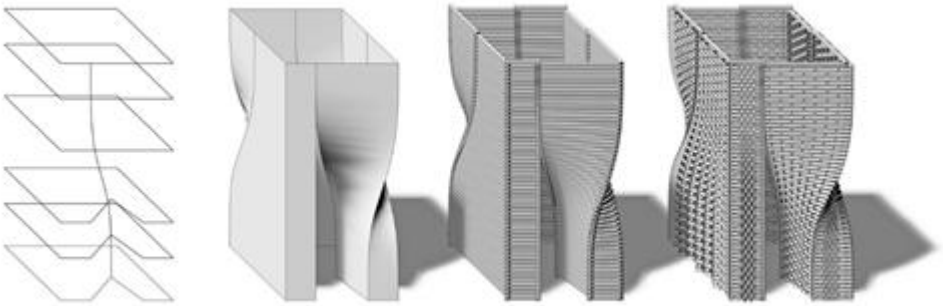
**صورة رقم 4 توضح عمل فنني خزفي للفنان Emre Can**

توضح الصورة رقم 4 عمل فني للفنان Emre Can ، مساعد باحث في جامعة الأناضول في تركيا ، مجموعة من الأعمال الفنية المنفذة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد كجزء من بحث الدكتوراة، واستلهم كل أعماله من الوحدات الزخرفية الإسلامية واستغل امكانيات الطابعة بتمكن عالي ليظهر تصميماته المختلفة بهدف تحويل الأشكال الهندسية البحتة إلى بنية عضوية ذات لمسات مختلفة لإظهار التباين بين الهندسي والعضوية فأنتج أشكال جديدة. (8)

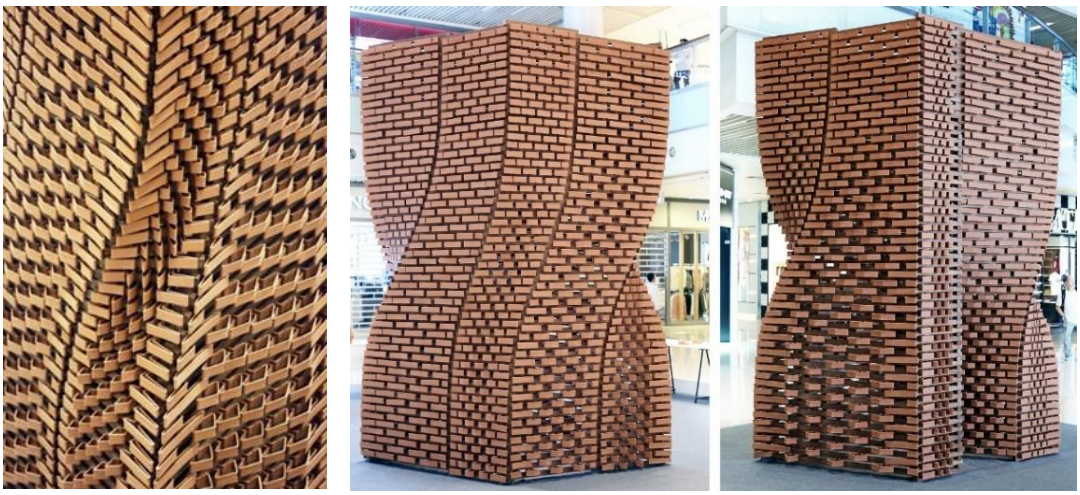
- **منهجية التصميم:** يعتمد العمل الفني علي إبراز القيم الجمالية و الرمزية، حيث استخدم الطابعة ثلاثية الأبعاد في تنفيذ تصميم يصعب تنفيذه بالطرق التقليدية اعتمادا علي امكانيات الماكينة، وإبراز التفاصيل الدقيقة بدرجة عالية من الحرية والتعقيد نظرًا للطريقة المتبعة في التصنيع بالإضافة عن طريق الطبقات تمكن إنشاء أجزاء معقدة للغاية ذات أحجام صغيرة جدا أو كبيرة، وبالتالي فإن القيمة الجمالية تزداد بشكل كبير وتتعقد، وعلي خلاف قواعد التصميم وتقنيات التصنيع التقليدية التي كان يصعب بواسطتها إنتاج التجاويف الداخلية المعقدة ودمج أجزاء متعددة في جزء واحد، فتكنولوجيا التصنيع بالإضافة أصبحت تمكن من تنفيذ ذلك بالإضافة إلي زيادة القيمة الجمالية وعملية توليد الأفكار بإستخدام إمكانيات الطباعة التي تساعد في التوفيق بين المتطلبات الجمالية والتصميمية.
- **الهيئة الخارجية:** يتألف التصميم من مجموعة من الوحدات الإسلامية الهندسية لتكون العنصر الرئيسي حيث استخدم الشبيكة الداخلية للوحدات الزخرفية لتكون هي الخط الرئيسي للتصميم فتبدأ من تكون نقطة ثم خط ثم مساحة ثم تشكل الكتلة الخارجية لتظهر قيمة جمالية جديدة للزخارف الإسلامية، كما أنه استخدم الخط العضوي ليكون هو الوحدة الخارجية المشكل لكتلة الزخارف مما حقق وحدة الشكل Unity of Form.
- **معالجة السطح :** يظهر الملمس من قطع الوحدة الزخرفية الإسلامية بشكل عضوي و الناتج من الاتصال الرأسي والأفقي من أول القطعة إلي نهايتها لينتج شبكية من ملمس بصري وحسي توحي بالانتظام والعضوية في نفس الوقت.
- **القيمة اللونية:** استخدم لون أبيض وهو لون جسم البورسيلين ليوضح من خلاله الظل والنور الناتج من اتصال جدران الوحدات الزخرفية.
- **التقنية المستخدمة:** استخدم طريقة بثق الحبال الدقيقة جدا بسمك لا يتعدي أجزاء من الميللمترات لعمل تصميماته المستمدة من الزخارف الإسلامية ذات الشبكية الداخلية المعقدة التي لايمكن تنفيذها بمثل هذه الدقة إلا من خلال الطباعة الثلاثية الأبعاد التي سهلت إظهار أفكار تصميماته المختلفة من خلال إمكانيتها المتعددة.

**2-5 العمل الثاني:**

توضح الصورة رقم 5 مشروع لجناح من بناء مكون من حوالي 2000 وحدة تم تطويره من قِبل باحثين وطلاب من كلية الهندسة المعمارية في جامعة هونغ كونغ وبدعم من مجموعة Sino ، تم بناء "Ceramic Constellation Pavilion" عام 2017، وتم تركيبه على هيكل خشبي ليشكل جدران مكونه من حوالي 2000 وحدة من طينات التيراكوتا وبارتفاع 3830سم وبعرض 1580 سم ، كل عنصر من هذه المكونات الفردية فريد من نوعه وتم تصنيعه باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد ، وهو نتيجة لتعاون جديد بين كلية الهندسة المعمارية في جامعة هونغ كونغ ومجموعة الصين، وتهدف المبادرة البحثية التي تدعم الفنون والثقافات والتكنولوجيا إلى تعزيز الوعي الثقافي بالتكنولوجيات الجديدة للبيئة المعمارية ، ويسعى المشروع إلى التغلب على قيود الإنتاج المعماري من خلال إدخال وحدات معمارية غير مكررة فأمكن الخروج من الروابط التقليدية في البناء من خلال الوحدات ، ويبلغ طول المشروع 3.8 متر مركبا علي هيكل خشبيب حيث يكون كل وحدة ثلاثية الأبعاد المطبوعة بشكل وهيئة مختلفة ، مما يتيح درجات مختلفة من الشفافية والظلال والتحولات المورفولوجية والإنشائية. تم عرض المشروع مؤخرًا في North Atrium of Olympian City, West Kowloon ، وسيتم نقله إلي مقره الجديد في حرم جامعة هونج كونج. (16)



**رسوم ثلاثية الأبعاد رقم 4 توضح مشروع لبناء مكون من حوالي 2000 وحدة**



**صورة رقم 5 توضح المشروع بعد طباعته و تجميعه**

وقد تطورت الطباعة ثلاثية الأبعاد في العمارة بشكل كبير وخاصة بالأسمنت، واهتم المهندسين والعلماء في المختبرات في الجامعات الكبرى والمحترفين في هذه التقنية باختراع الروبوتات والطابعات ثلاثية الأبعاد وتطوير تركيبات جديدة للخليط الخرساني، فطور الطلاب في جامعة Bartlett في لندن طريقة تصنيع تجمع بين طريقتي الطباعة ثلاثية الأبعاد من خلال الطباعة بالبثق والطباعة بالمسحوق حيث يقوم الذراع الآلي بإخراج مسار خطي من الخرسانة ، ودعمه بعد ذلك بواسطة مساحيق مواد لمعالجة الخرسانة. (3)

- **منهجية التصميم:** يعتبر التصميم للتصنيع من أهم اعتبارات منهجية التصميم لتكنولوجيا التصنيع بالإضافةالتي تتضح في هذا العمل المعماري، حيث تم دراسة حجم الطابعة ثلاثية الأبعاد التي ستستخدم والمساحة المتاحة في الطباعة، وتقليل كمية الخامة وهياكل الدعم المستخدمة، الاهتمام بتصميم التفاصيل الصغيرة لحوالي2000 وحدة معمارية مختلفة بكل تعقيداتها مع الاهتمام بمواصفات التصميم ككل باعتبار كل جزءا رئيسيًا في العمل ككل وبشكل عام التصميم للاعتبارات التصينعية علي وجه التحديد يعتمد علي نوع التكنولوجيا والمواد والطابعة المستخدمة.
- **الهيئة الرئيسية:** يتألف التصميم من مجموعة من عناصر منفردة مختلفة في الهيئة والشكل الخارجي لترتبط مع بعضها البعض مكونتا قيمة جمالية متميزة ناتجة عن تنوع السطح و الخطوط الخارجية وتتلاقي سواء أكانت خطوطا مستقيمة أو منحنية أو متموجة لتتحرك في اتجاه ما فتعطي الإحساس بإستمرارية الحركة ، فالخط المستقيم القصير يعطينا احساس بأنه قد امتد في أحدي جانبيه أو في كليهما حتى يصير خطا مستقيما أطول، كما أن الخط المنحني يعطينا احساس بأنه قد

امتد انحناؤه وان هذا الخط المموج قد زاد تكرار وحداته المتموجة ، وبذلك نجح التصميم في إظهار التنوع في الخط الخارجي و استمراره.

- **الهيئة الثانوية :** ملمس بسيط مكون من خطوط أفقية ناتجة عن طريقة التشكيل بالطباعة ثلاثية الأبعاد مما اضاف قيمة جمالية عند الاقتراب من كل وحدة علي حدي.
- **القيمة الوظيفية:** كحوائط وفواصل جدارية خزفية يعتبر هذه التكوين مؤدي للوظيفة بطريقة مبدعة وجديدة حيث استغل طريقة التركيب المختلفة كصمدر للإضاءة لتزيد من القيمة الجمالية والبصرية للحوائط.
- **اللون:** استخدم لون بني واحد من ألوان التيراكوتا ليأكد من خلاله علي الظل والنور الناتج من اختلاف و تنوع التشكيل و الخطوط.
- **التقنية المستخدمة:**طباعة ثلاثية الأبعاد في طباعة حوالي 700 كجم من طين التيراكوتا على مدى فترة 3 أسابيع تم حريقه بعد ذلك عند درجة 1025 درجة مئوية بمتوسط وقت الطباعة لكل وحدة من 2-3 دقائق ، تمت طباعة جميع الوحدات في معمل البروبوت المجهز حديثًا في كلية الهندسة في جامعة هونغ كونغ من خلال ماكينة طباعة ثلاثية الأبعاد عن طريق بثق الطينة وتم تجميعها خلال ورشة عمل مدتها عشرة أيام قام بها طلاب من قسم الهندسة المعمارية.

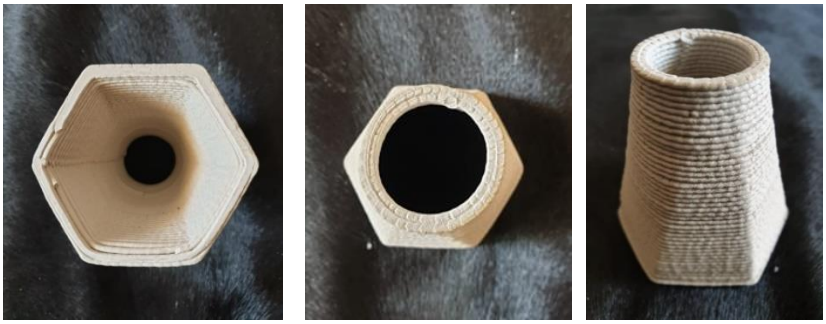
## 6. الجانب التطبيقي:

– تم اختيار تصميم بسيط لوحدة معمارية وتنفيذها بالطباعة ثلاثية الأبعاد كما في الصورة رقم 6 والتصميم عبارة عن وحدة ذات قاعدة سداسية وفوهة دائرية تنتهي بها الوحدة، ويظهر الجدول رقم 1 وكل من أبعاد الوحدات وعددها و تراكيب الأجسام المستخدمة في الطباعة وقطر فوهة الطباعة و ضغط الهواء المطلوب والزمن المستغرق في الطباعة وعدد وارتفاع طبقات البناء :

| Part No. | Dimensions (mm) | Recipe No. | Nozzel Thickness (mm) | Total Thickness (mm) |
|---|---|---|---|---|
| middel part 3 | 80*70*65 | 12 | 2.5 | double(5) |

| Part No. | Air Pressure (bar) | Time (min) | Layer Height (mm) | Layer Numbers | Number of Parts |
|---|---|---|---|---|---|
| middel part 3 | 5 | 12.15 | 1.5 | 43 | 12 |

**صورة رقم 6 توضح الوحدة أثناء الطباعة**



**صورة رقم 7 توضح الوحدة بعد الطباعة**

## 7- نتائج البحث:

- أدت تكنولوجيا التصنيع بالإضافة لتطور كبير في الاحتمالات التصميمية بدلا من التفكير في قيود التصميم.
- الاتجاهات والبرامج الجديدة في التصميم لتكنولوجيا التصنيع بالإضافة توفر قدر كبير من المرونة في تنفيذ التصميمات الخزفية التي كان يصعب تنفيذها.
- توفر تكنولوجيا التصنيع بالإضافة الكثير من الوقت والجهد في مراحل التصميم وصولا إلي النموذج النهائي.

## 8- توصيات البحث:

- الاستفادة من دراسة وتطبيق الاتجاهات الجديدة في العملية التصميمة للتصنيع بالإضافة في مجال الخزف.
- العمل علي نشر الوعي بتكنولوجيا التصنيع بالإضافة في المجالات الأكاديمية.

## المراجع

**مقالات علمية**

**1** راشد، أحمد يحيي، محمد، أسامة يوسف، صعيدي، إسلام، تصميم البارامترى كمدخل لإستلهام الطبيعة فى تصميم المنتجات، مجلة العمارة والفنون والعلوم الانسانية، المقالة 2، المجلد 4، العدد 14، مارس و إبريل 2019

Rashed, Yehia Ahmad, Mohamed, Osama Yusuf, El-Saeidy, Isalam, El Tasmem El barametry kamadkhal lastalham El tabe3a fy tasmem Al montagat, The Arab Association of Civilization and Islamic Arts Magazine, Article 2, Vol 4, No.14, P.22, March & April, 2019.

**Books**

**2** Chee Kai Chua, Kah Fai leong, "3D Printing And Additive Manufacturing (Principles And Applications)" , Nanyang Technological University, Singapore, World Scientific

Publishing Co. Pte. Ltd., The 5Th edition of Rapid Prototyping: Principles and Applications, P.9, 2017.

3 Ronald Rael, Virginia San Fratello, "Printing Architecture, innovative Recipes for 3D Printing", Princeton Architectural Press, New York, P.148.(2018) ,

4 Simon Vermeir , Design for Additive manufacturing: a methodology in 6 steps for manufacturing design, ebook, Design Engineer Additive Manufacturing, by Sirri, March 13, 2018.
https://www.sirris.be/methodology-6-steps-additive-manufacturing-design

**Researches**

**5** Tang, Yunlong. "A survey of the design methods for additive manufacturing to improve functional performance". Rapid Prototyping Journal. 22, 2016 (3): 569–590. doi:10.1108/RPJ-01-2015-0011

**Websites**

**6** https://www.businessinsider.in/Creative-technology-is-key-for-connecting-the-next-billion/articleshow/46946247.cms
"Creative technology is key for connecting the next billion". Business Insider India, 16 April 2015. Retrieved 1 May 2015, Article 2019/9/15

7 http://artedgeek.com/wp-content/uploads/2014/10/2013-updated_engineering-method-steps_v6b_noheader.png
2019/9/11

8 http://www.3ders.org/articles/20180122-3ders-interview-with-ceramic-3d-printing-artist-emre-can.html
2019/9/20

9 https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/topology-optimization
2019/9/13

10 https://www.3dnatives.com/en/topology-optimisation140820184/
2019/9/16

11 https://manufactur3dmag.com/canon-develops-ceramic-3d-printing-technology-releases-proprietary-ceramic-materials/
2019/9/25

12 https://www.engineersrule.com/design-additive-manufacturing/
2019/9/17

13 https://www.digitalengineering247.com/article/how-to-design-for-additive-manufacturing-first-steps/
2019/9/27

14 https://www.d4am.eng.cam.ac.uk/research
2019/9/26

15 https://www.fisherunitech.com/blog/7-design-additive-manufacturing-dfam-principles
2019/10/2

16 https://www.archdaily.com/878419/more-than-2000-unique-robotically-manufactured-bricks-generate-variable-walls-in-this-pavilion
2019/10/9