

## الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد للنماذج الأولية لمفردات أدوات المائدة

نهلة محمد رشوان

مدرس بقسم الخزف - كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلوان - مصر.

Submit Date: 2023-07-10 12:48:49 | Revise Date: 2023-09-12 11:24:20 | Accept Date: 2023-09-13 06:56:22

DOI:10.21608/jdsaa.2023.222165.1338

### ملخص البحث:-

### الكلمات المفتاحية:-

تقنيات التصنيع بالإضافة - الطباعة الخزفية  
ثلاثية الأبعاد بالبيثق - أدوات المائدة الخزفية  
- النماذج الأولية.

تطورت تكنولوجيا التصنيع بالإضافة بشكل كبير في السنوات الأخيرة وتبعاً لتقرير شركة Smartech Publishing أنه سيصل حجم استخدام تقنيات التصنيع بالإضافة السيراميكية في الصناعات المختلفة عام 2028 إلى 3.6 مليار دولار في العالم، وبالرغم من أن التقنيات السيراميكية لم تنتشر بعد مثل تقنيات البلاستيك أو المعادن، إلا أنه ووفقاً للتقرير فإن الصناعات السيراميكية ستصل إلى مرحلة من النضج في عام 2025 كأسلوب تصنيع في الصناعات المختلفة. وتستخدم العديد من الصناعات الخزفية برامج CAD والطباعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج نماذج أولية لتقييم التصميمات، ولكن تعتبر نتائج الطباعة مازلت محدودة في صناعة أدوات المائدة الخزفية بسبب نوع المواد التي يمكن طباعتها مما يجعل النتائج غير واقعية لأنها تستخدم مواد أخرى مثل البلاستيك والمواد الراتنجية، وتعتبر طرق النمذجة الأولية بخامات خزفية مباشرة من غير اللجوء إلى خامات أخرى تمكن من تقصير المسافة على المصمم لرؤية المنتج النهائي بأقل وقت وجهد. وتعتبر تقنيات الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لها خصائص تصعب مقارنتها بطرق التصنيع التقليدية، فتتميز بالسرعة والدقة العالية في التشكيل وتنوع التصميم، لذلك يحاول البحث توضيح كيفية الاستفادة من المميزات الكبيرة لتقنية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد من حيث تقليل الوقت، وتكلفة، بالإضافة إلى مرونة التصميم والأداء الوظيفي بالمقارنة بطرق التصنيع التقليدية أو حتى باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد باستخدام خامات أخرى مثل البلاستيك. فيهدف البحث إلى إلقاء الضوء على تقنيات التصنيع الحديثة في مرحلة النماذج الأولية في مجال الخزف (أدوات المائدة)، على أن تكون حدود البحث في الجانب التطبيقي هو الوصول إلى طباعة نماذج أولية لأحد مفردات أدوات المائدة من خلال الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد بالبيثق. ويفترض البحث أن الاستفادة من مميزات وإمكانيات الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد تساعد في تقييم النتائج الأولية للتصميم من حيث الأبعاد ونسب الانكماش بحيث يمكن اختصار المسافة بين التصميم والنموذج الأولي في مجال الخزف في خطوة واحدة ويعتمد البحث على المنهج التجريبي التحليلي من خلال التجارب التطبيقية ثم التحليل للوصول إلى نتائج أفضل.

## المقدمة:

ونظراً للخصائص المتنوعة للمواد الخزفية والسيراميكية مثل : القوة الميكانيكية العالية والصلابة، والاستقرار الحراري والكيميائي، والأداء البصري، والكهربائي، والمغناطيسي التي تمكن من استخدامها في مجموعة واسعة من التطبيقات مثل الصناعات الكيميائية، والمعدات، والإلكترونيات، والفضاء، والهندسة الطبية الحيوية، وغيرها من المجالات، ومن تقنيات التصنيع بالإضافة المستخدمة بشكل كبير للمواد السيراميكية الحقن في قوالب injection moulding، الكيس في قوالب die pressing، صب الشرائح tape casting، وفي صناعة أدوات المائدة الخزفية تعتبر تقنية تليد المسحوق binding powder، والبتق Extrusion هما الأكثر شيوعاً.

(Chen, et al, 2019, pp. abstract)

قبل التركيز على تقنيات التصنيع بالإضافة، يقدم البحث لمحة عامة عن طرق تصنيع النماذج الأولية التقليدية لإنتاج أدوات المائدة الخزفية، حتى يسهل عمل المقارنة بين الطريقتين.

(Chen, et al, 2019, pp.664–665)

اشتدت المنافسة في السوق العالمية على المنتجات المصنعة وطرحها بسرعة في الأسواق، فالعديد من عمليات التصميم واختباره تم اختصارها من حيث الوقت والموارد، ونتيجة لذلك يجب أن يتحول قطاع التصنيع إلى صناعات تقنية ويستثمر في تغيير طريقة التصميم وتنفيذها وطرق تصنيع المنتجات بحيث تكون أكثر إبداعاً وإنتاجية.

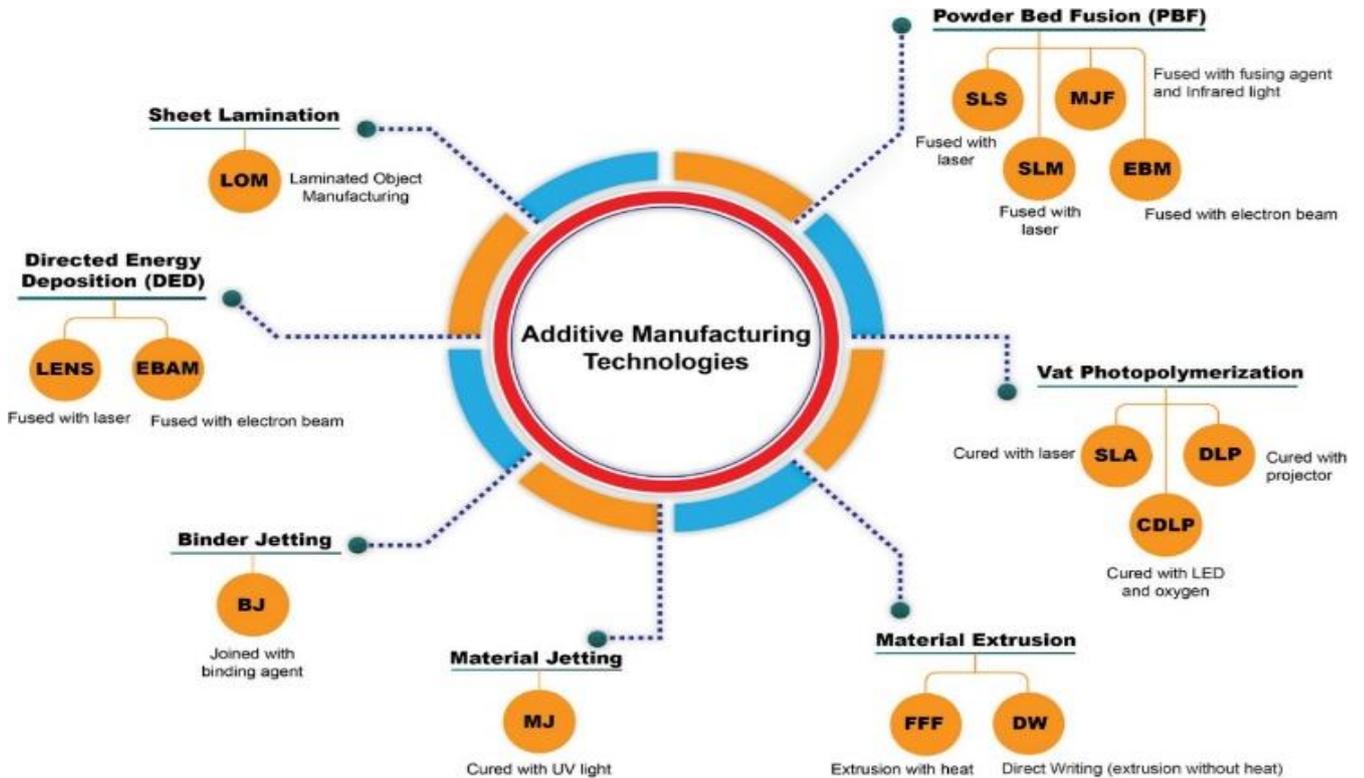
(Lee, 2017, abstract)

تمكن تكنولوجيا التصنيع بالإضافة من الاستجابة السريعة لمتطلبات السوق الحالية من خلال اعتماد الاستراتيجيات المختلفة في التصميم والإنتاج التي تمكن من الوصول إلى التصميم والإنتاج المرن والفعال بسرعة بالإضافة إلى تقليل التكلفة من خلال الصناعات المختلفة، فيعتبر التصنيع بالإضافة من التقنيات المستدامة التي تنتج نفايات أقل من تقنيات التصنيع الطرحي أو الطرق التقليدية في التصميم، فمن خلال تحويل التصميم إلى البيانات الرقمية التي تمكن من الوصول إلى النموذج الأولي في غضون دقائق أو حتى ساعات قليلة بالإضافة إلى الأثر الإيجابي من الناحية البيئية والاقتصادية مع توفير مرونة في التصميم.

(Castro e Costa, et al, 2017, pp.954–956)

وتنوع مواد الطباعة ثلاثية الأبعاد يأتي من تنوع أنظمة الطباعة ثلاثية الأبعاد، ويمكن طباعة جميع المواد من خلال سبع تقنيات محددة في معيار

ISO / ASTM، كما يوضحها المخطط رقم ١



المخطط رقم ١ يوضح تقنيات التصنيع بالإضافة السبع (دمج المسحوق - البلمرة الضوئية - بتق المواد - نفق المواد - التليد بنفق المواد - ترسيب الطاقة الموجه - التصنيع من خلال الطبقات) حسب معيار ISO / ASTM

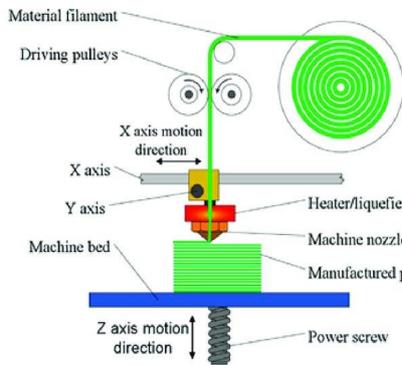
(Rafiee, 2020, p.3)

## تقنيات التصنيع بالإضافة التي تستخدم في صناعات أدوات المائدة:

يُعرف التصميم بمساعدة الكمبيوتر (CAD) جيداً منذ عدة عقود ويستخدم في الصناعات الخزفية المختلفة في الجزء الأول من عمليات التفكير، ولكن في النمذجة الأولية الذي تليها مراحل التصنيع (CAM) تأتي أجهزة تصنيع النماذج الأولية السريعة المعروفة باسم الطابعات ثلاثية الأبعاد، وتعتبر تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد بالبلاستيك من تقنيات النمذجة الأولية المستخدمة في صناعة أدوات المائدة.

(Velazco, et al, 2014, pp. abstract)

وتعتمد هذه التقنية (Fused Deposition Modeling) FDM طباعة نماذج ثلاثية الأبعاد باستخدام خيوط بلاستيكية بشكل مستمر حيث يتم تغذية فوهة الباتق بخيوط بلاستيكية يتم صهرها من خلال الحرارة ثم ترسيبها بشكل انتقائي طبقة تلو الأخرى بناءً على التصميم، كما في الرسم التوضيحي رقم ١.

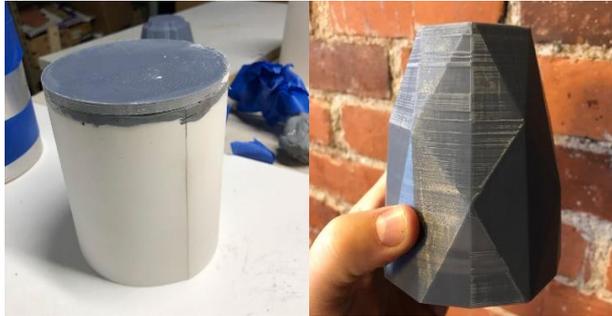


الرسم التوضيحي رقم ١ يوضح تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد بالبلاستيك FDM ويوضح الرسم ٣ اتجاهات الحركة والتغذية من خلال خيوط البلاستيك ثم صهرها من خلال فوهة البتق على منصة التشكيل

(Angelopoulos, et al, 2020)

وتقوم العديد من المصانع أدوات المائدة الخزفية باستخدام الطباعة البلاستيكية ثلاثية الأبعاد لنمذجة التصميم بشكل سريع و يمكن استكمال باقي الخطوات للوصول إلى نموذج خزفي من خلال عمل قوالب الجبس ولكن مع مراعاة نسب الانكماش في النموذج الأول كما توضحها مجموعة الصور رقم ١

<https://claybucket.com/3d-printed-and-slipcast-cup>



## التقنيات التقليدية لتصنيع النموذج الأول في صناعة أدوات المائدة الخزفية:

تختلف الخطوات التقليدية لتصنيع النموذج الأول فتبدأ من عمل تصور للتصميم من خلال الكمبيوتر بأبعاد التصميم النهائية ثم استخدام أدوات التشكيل المختلفة مثل المخارط لعمل النموذج الأولي من الجبس في حالة أن يكون النموذج متماثل ثم تطوير وتعديل التصميم على النحو المطلوب يدوياً، وإذا كان النموذج غير متماثل يمكن محاولة بناء النموذج بطرق مختلفة، ثم عمل قوالب الجبس لإنتاج أول نموذج خزفي من خلال صب الطينيات السائلة لتمر بمرحلتين الحريق والطلاء الزجاجي حتى تتمكن من رؤية المنتج النهائي، وعبوب هذه الطريقة التقليدية كثيرة مثل: بطينة للغاية وتتطلب عمالة يدوية على قدر كبير من المهارة، وصعوبة التعبير أو التعديل في النموذج مما يعني الرجوع إلى البداية في تشكيل النموذج الأول، بالإضافة إلى كثرة النفايات الناتجة عن مراحل تشكيل النموذج الأول وخاصة من عند استخدام خامات مثل الجبس.

(Huson, D., 2011, pp.816.)

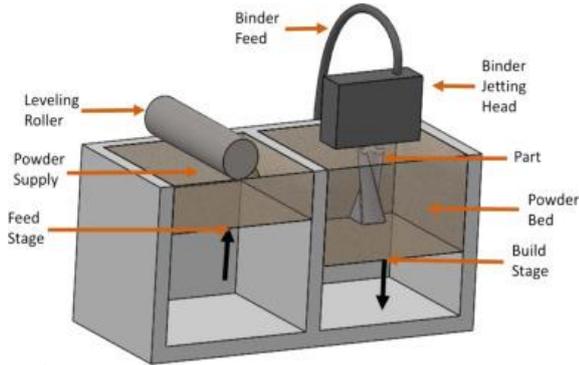
ويعتمد الاختيار بين الطرق التقليدية والحديثة في تصنيع النماذج الأولية لأدوات المائدة الخزفية على عوامل مثل المستوى الفني المطلوب، وقبوع الوقت، وتعقيد التصميم، والموارد المتاحة، والأهداف المحددة لعملية النماذج الأولية، ويوضح الجدول رقم ١ مقارنة بين عيوب ومميزات الطريقتين:

المميزات	الطريقة الحديثة في التشكيل النموذج الأولي (الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد)	الطرق التقليدية في التشكيل النموذج الأولي
المميزات	النمذجة الأولية السريعة والتعديلات السريعة للوصول إلى تصميمات مطورة.	الحرية والإبداع.
العيوب	الدقة العالية من حيث تنفيذ التصميم المطلوب بأبعاده مع مستوي جيد من التعقيد مثل (Undercut)	العمل اليدوي وتنمية المهارات.
العيوب	إنتاج فعال من حيث تقليل السرعة والتكلفة والمواد والعمالة اليدوية.	تصميمات متخصصة بشكل كبير.
العيوب	يوجد صعوبة في إظهار التفاصيل الكثيرة كما في القطع النحتية، فيغلب إحساس الماكينة ويفقد الحس اليدوي.	عملية تستغرق وقتاً طويلاً، مع صعوبة الوصول إلى نموذج متكررة بأبعاد دقيقة.
العيوب	النتيجة معتمدة على التقنية المستخدمة ونوع الطباعة وإمكانيتها وصيانتها وتوافر المهارة لدي مشغل الطباعة.	متطلبات عالية من حيث المهارة والخبرة.
العيوب	ستؤدي في مرحلة ما إلى ندرة الخبرة والمهارة اليدوية.	قابلية التوسع في الإنتاج محدودة جداً.

جدول رقم ١ يوضح المقارنة بين الطرق التقليدية والحديثة لعمل النموذج الأولي في صناعة أدوات المائدة الخزفية

الطابعة الدوارة بدلاً من الحبر، تستخدم مادة رابطة سائلة لربط جزيئات المسحوق معاً في هذه الطبقة، ثم يتم وضع طبقة جديدة من المسحوق واحدة تلو الأخرى ودمجها معاً من خلال المواد الرابطة، حيث تتحرك طبقة المسحوق لأسفل طبقة واحدة في اتجاه z بعد كل عملية طباعة، ويتم تطبيق الطبقات الجديدة بواسطة بكرة دوارة في الاتجاه x، ويتحرك رأس الطباعة في الاتجاه xy. وهكذا يتم الطباعة من الأسفل إلى الأعلى، والمسحوق غير المستخدم يعتبر داعم أثناء عملية الطباعة ويمكن استخدامه مرة أخرى، كما في الرسم التوضيحي رقم ٢

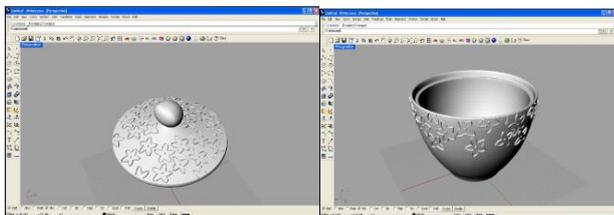
<https://wzr.cc/en/binder-jetting-2>



رسم توضيحي رقم ٢ لتقنية نفث المواد الرابطة Binder Jetting من خلال أسطوانة دوارة لتغذية المواد السيراميكية لتشكيلها من خلال رأس الطباعة بنفث المواد الرابطة في الاتجاهين (X,Y) وتتحرك منصة التشكيل في الاتجاه (Z)

(Gonzalez, 2016)

وقد قام فريق بحثي في مركز الطباعة الدقيقة في قسم الفنون والتصميم بجامعة West of England, Bristol بانجلترا باستخدام طباعة ثلاثية من خلال نفث المواد الرابطة لعمل النموذج الأول لأحد مفردات أدوات المائدة وهو سكرية بغطاء لتشجيع استخدام هذه التقنية في الصناعة، حيث استخدم برنامج Rhino في عمل التصميم السكرية و الغطاء وتم عمل زخارف بارزة في التصميم علي جسم السكرية و الغطاء واستخدمت الطباعة بنفث المواد الرابطة لمسحوق من البورسلين لعمل السكرية وتوضح الصور (٢-٤) لمراحل تنفيذ النموذج الأول:



صور رقم ٢ تصميم لسكرية باستخدام برنامج Rhino



مجموعة الصور رقم ١ توضح عمل نموذج لكوب من خلال الطباعة ثلاثية الأبعاد من البلاستيك ثم عمل قالب من الجبس ثم النموذج النهائي من الخزف

لكن يعيب هذه التقنية أن النموذج الأولي يكون من خامة مختلفة وليس من الخزف مما يجعل من النموذج الأول تصور غير مكتمل عن المنتج النهائي خاصة في الصناعة لأن تحتاج إلي دقة من حيث قياس الاختبارات مثل: نسب امتصاص الماء والانكماش وغيرها من الاختبارات.

**تقنيات التصنيع بالإضافة الخزفية التي يمكن استخدامها في صناعات أدوات المائدة:**

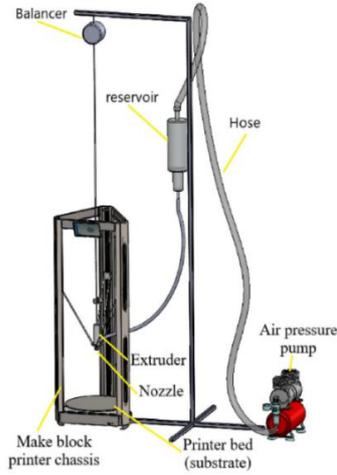
طرق تصنيع النموذج الأولي الخزفي تنتج نماذج أولية حقيقية في غضون دقائق أو ساعات قليلة باستخدام مواد خزفية، ويكون النموذج الأولي بدقة كبيرة ويحاكي النموذج المتصور بشكل كبير، بالإضافة إلى إمكانية عمل الاختبارات علي المنتج لمعرفة إمكانيات المنتج تبعاً للمواصفات، وتقدم تقنيات الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد فوائد كثيرة لصناعة أدوات المائدة في عمل النموذج الأول مثل: خفض التكلفة وتقليل وقت الإنتاج، وتحسين إمكانية وجود تماثل في الأشكال وتكرارها، والدقة العالية في الأشكال الهندسية، وتطوير أشكال لا يمكن تنفيذها من خلال عملية ميكانيكية أو يدوية تقليدية، واستخدام خامات خزفية تقرب بشكل كبير النتائج المتوقعة من المنتج النهائي من حيث التصميم والأبعاد ونسب الانكماش، وغيرها. والهدف الرئيسي من إدخال مثل هذه التقنيات في صناعة أدوات المائدة هو تطوير المنهجية المستخدمة في العملية ككل ثم إيجاد علاقة متبادلة بين التقنيات التقليدية والجديدة لتصنيع النماذج الأولية.

وللاستفادة من الفوائد التقنية الجديدة لإنتاج النموذج الأول يتم استخدام البيانات الرقمية من برامج (CAD) ثم استخدامها في الطريقتين الأكثر شيوعاً في للنمذجة الأولية في الخزف و هما: نفث المواد الرابطة Binder jetting ، بتق الطينيات اللدنة (LDM) Extrusion ، ثم تأتي خطوة تصنيع قوالب من الجبس أو مواد راتنجية للنموذج الأول لاستكمال مراحل إنتاجه، وسيتم ذكر تجربتين في هذا المجال لتقنيات الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لأدوات المائدة.

(Velazco, et al, 2017, pp. abstract & conclusion)

#### **نفث المواد الرابطة: Binder Jetting**

تعتمد تقنية Binder Jetting على غرار الطباعة النافثة للحبر، فمن خلال النموذج المراد طباعته كملف CAD يتم تقسيمه رقمياً إلى شرائح بسُمك الطبقة المرغوبة (عادةً ٥٠-٢٠٠ ميكرومتر)، ولكن في هذه الحالة يستخدم سطح من مسحوق المواد السيراميكية يتم وضعه من خلال رأس



رسم توضيحي رقم ٣ لطباعة خزفية ثلاثية الأبعاد بالبتق

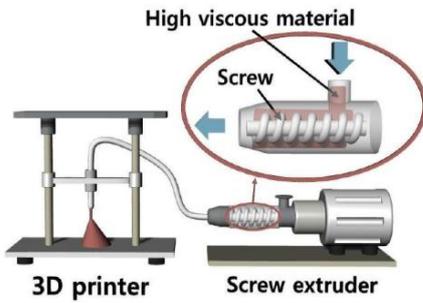
<https://www.voxelmatters.com/additive-manufacturing/am-#/technologies/what-is-liquid-deposition-modeling>



صورة رقم ٣ لسكرية من البورسلين مطبوعة باستخدام تقنية نفث المواد الرابطة



صورة رقم ٤ لسكرية بعد الحريق والطلاء الزجاجي



رسم توضيحي رقم ٤ يوضح نظام يساعد على إزالة الهواء من الطينيات في الطابعات ثلاثية الأبعاد

(Kim, 2019, pp.29)

وتستخدم الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد بشكل كبير حالياً في استوديوهات الخزف في التشكيل والإنتاج النصف كمي مثل استوديو madexbinary في ولاية يوتا الأمريكية الذي يعتمد على تصنيع أكواب القهوة كمنتج أساسي وتستغرق ٨ دقائق في الطباعة و٣ أيام للتجفيف والحرق ويصنع منتجات أخرى مثل زجاجات الزيت، كما يظهر في الصور رقم ٥، ٦.



صور رقم ٥ نموذج من أكواب قهوة منتجة بالطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد بالبتق من استوديو madexbinary

ثم تم عمل الاختبارات اللازمة للمنتج لمعرفة إمكانية إنتاجه تبعاً للمواصفة من حيث اختبار امتصاص الماء لمدة أربع ساعات، قياس الانكماش الجاف وبعد الحرق وصلت إلى ١٥٪ لأن جسم الطينيات من البورسلين، وتم حرق المنتج عند درجة حرارة ١٢٢٥°م.

(Huson, D., 2011, pp.818-819)

### البثق: Extrusion

البثق هو نوع من الطباعة ثلاثية الأبعاد كما في رسم التوضيحي رقم ٣ وهي عملية يتم فيها بثق الطينيات اللدنة بشكل مستمر من خلال فوهة يمكن تحريكها في الثلاث اتجاهات Z و X و Y تبعاً لملف CAD الخاص بالنموذج ثم تتم الطباعة من خلال بناء طبقة تلو الأخرى إلى أن يكتمل النموذج النهائي، كما في الرسم التوضيحي رقم ٣

<https://wzr.cc/en/materialexttrusion-2>

وتختلف الأنظمة التي تسمح للطينيات الخزفية بالاندفاع من خلال مضخة سواء باستخدام دفع الهواء أو مضخة ميكانيكية تقوم بدفع الطينيات اللدنة إلى فوهة التشكيل، ويصل هذا النظام إلى مستوى من الدقة قريب جداً من أجهزة بثق البلاستيك، فيمكن التحكم بدقة في تدفق الطينيات ويمكن إضافة أنظمة أخرى تقوم بتفريغ الهواء من الطينيات قبل الخروج من فوهة التشكيل مباشرة كما في الرسم التوضيحي رقم ٤



صور رقم ٦ نموذج من زجاجات الزيت منتجة بالطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد بالبثق من استوديو madexbinary

<https://www.madexbinary.com/shop>

وقامت إحدى المصممات Valissa Butterworth بالعمل مع مجموعة The Mod Collective للتصميم ونفذت مجموعة من مفردات أدوات المائدة الخزفية من البورسلين الملون المصنوعة عن طريق الطباعة ثلاثية الأبعاد الخزفية والطباعة بالمواد البلاستيكية والقوالب اليدوية كما في الصورة رقم ٧ ، بحيث تم الدمج بين التكنولوجيا التصنيع بالإضافة وتقنيات الخزف التقليدية، حيث تم تطوير التصميم باستخدام برنامج CAD ثم طباعته على طابعات ثلاثية الأبعاد بوسائل مختلفة.



صورة رقم ٧ لنموذج من أدوات المائدة منتجة بمزيج من تكنولوجيا الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد والطباعة بالمواد البلاستيكية والطرق التقليدية في القوالب

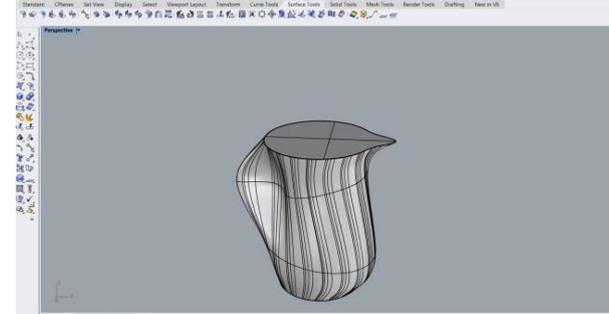
<https://www.finedininglovers.com/article/3d-printed-porcelain-kitchenware>

يتوقف الاختيار بين الطباعة ثلاثية الأبعاد بالمواد البلاستيكية أو الخزفية لعمل النموذج الأولي على المتطلبات التصميم المحددة سواء من ناحية التطبيق والوظيفة بالإضافة إلى الناحية الجمالية، وكل هذا يندرج تحت الخصائص المطلوبة للنموذج الأولي، فيما يلي جدول رقم ٢ يبين مقارنة بين مميزات وعيوب الطباعة ثلاثية الأبعاد بالمواد البلاستيكية والطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد:

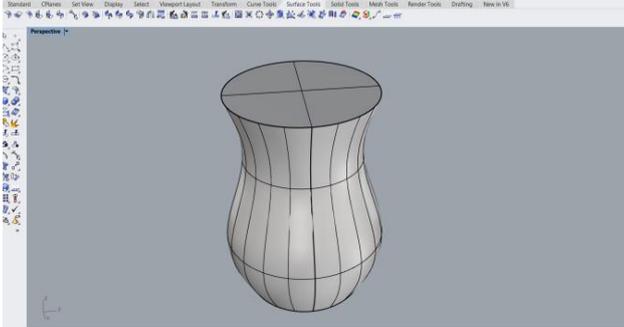
الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد Ceramic 3D printing	الطباعة ثلاثية الأبعاد بالمواد البلاستيكية Fused deposition modelling (FDM)	
القدرة على إنتاج تصميمات خزفية ذات أشكال هندسية معقدة.	توافر مجموعة واسعة من المواد البلاستيكية التي يمكن استخدامها مثل: PLA، وABS، وPETG، وغيرها، كل منها له خصائصه تناسب تطبيقات مختلفة	<b>المميزات</b>
عمل نموذج أولي خزفي منتهي يمكن الاعتماد عليه مباشرة في مراحل الإنتاج اللاحقة.	أسرع في الطباعة مقارنة بالخزف	
التمتع بخصائص المواد الخزفية من حيث مقاومة الحرارة العالية والمقاومة الكيميائية وغيرها.	انخفاض تكلفة المواد البلاستيكية وماكينات الطباعة.	
	سهولة عمليات المعالجة بعد الطباعة مثل: تنعيم السطح، مما يمكن من الحصول على نموذج منتهي بسهولة.	
ارتفاع تكلفة الطابعات مقارنة بالبلاستيك والمواد في بعض الأحيان في التقنيات المتطورة	مقاومة كيميائية وحرارة محدودة للغاية	<b>العيوب</b>
لا يوجد تطور وتنوع كبير في المواد الخزفية مقارنة بالمواد البلاستيكية	عدم متانة	
وجود عمليات لاحقة مثل: التجفيف والحرق.	انخفاض الجاذبية الجمالية مقارنة بالخزف.	
أبطى في الطباعة مقارنة بالبلاستيك	لا يمكن الاعتماد على نموذج أولي من البلاستيك في الصناعة لعمل تصور دقيق للتصميم من الناحية الوظيفية والجمالية.	
أبطى في الطباعة مقارنة بالمواد البلاستيكية، ولكن في الأدوات المائدة يعتبر الطباعة الخزفية أسرع من الطباعة البلاستيكية لأن معظم النماذج الأولية مفرغة ولا تحتوي على تفاصيل كثيرة.	أسرع في الطباعة مقارنة بالخزف، ولكن في الأدوات المائدة تعتبر أبطى من الطباعة الخزفية لأن معظم النماذج الأولية مفرغة ولا تحتوي على تفاصيل كثيرة.	<b>الوقت</b>
ارتفاع سعر الطابعات بشكل عام، انخفاض تكلفة المواد في التقنيات المعتمدة على البثق، ارتفاع تكلفة المواد في بعض التقنيات الأكثر تطوراً التي تعتمد على مساحيق مثل تقنية نفث المواد الرابطة.	انخفاض تكلفة المواد والطابعات.	<b>التكلفة</b>

مفردات أدوات المائدة	زمن التشكيل (دقيقة)	سمك الفوهة الطباعة (مم)	السمك بعد الطباعة (مم)	ارتفاع الطبقات (مم)
لبانة لفرد واحد	٤٢	٢	٤	١,٥
سكرية	٥١	٢	٤	١,٥

جدول رقم ٣ يوضح بيانات الطباعة



صورة رقم ٨ لتصميم اللبانة لفرد واحد باستخدام برنامج Rhino



صورة رقم ٩ لتصميم سكرية باستخدام برنامج Rhino

مفردات أدوات المائدة	الأبعاد الجفاف (سم)	الأبعاد بعد الحريق (سم)	السعة (ملي)
اللبانة لفرد واحد	١٢ * ٩,٦	١١,٥ * ٩	١٦٠
سكرية	١٣ * ٧,٥	١٢,٥ * ٧	٢٠٠

جدول رقم ٤ يوضح أبعاد وسعة اللبانة والسكرية



صور رقم ١٠ تظهر اللبانة والسكرية أثناء الطباعة

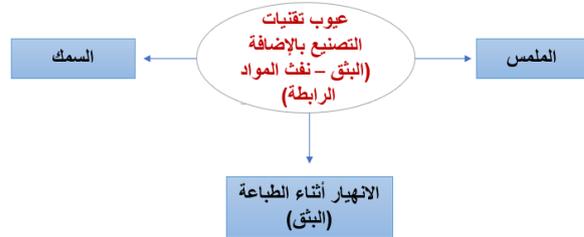
تم الحرق الأول عند درجة حرارة ١٠٠٠م والحرق الثاني عند درجة حرارة ١٠٠٠م أيضاً، واستخدام لونين في الطلاء الزجاجي، طلاء زجاجي شفاف من الخارج، وطلاء زجاجي أخضر من الداخل كما في الصور رقم ١٢،١١، وقد أثر الطلاء الزجاجي علي ملمس الطبقات

## عيوب تقنيات التصنيع بالإضافة في النمذجة الأولية في طباعة أدوات المائدة الخزفية:

يوجد بعض العيوب التي تحدث من تقنيات التصنيع بالإضافة في النمذجة الأولية في طباعة أدوات المائدة الخزفية مثل تقنية نفاث المواد الرابطة ينتج من الطباعة خشونة في الملمس بسيطة جداً ناتجة عن تليد المسحوق أثناء الطباعة ويمكن التغلب علي ذلك من خلال مرحلة الطلاء الزجاجي فيختفي الملمس تماماً، وأيضاً في تقنية البثق ينتج ملمس واضح من الطبقات أثناء الطباعة ويمكن التغلب علي ذلك من خلال مرحلة الطلاء الزجاجي ولكن يعتمد ذلك علي ارتفاع وسمك طبقات الطباعة إذا كان كبير يصعب التغلب عليه ولكن في الغالب مفردات أدوات المائدة لا تحتاج إلي ارتفاع كبير في طبقات الطباعة فيمكن أن تختفي من خلال مرحلة الطلاء الزجاجي أيضاً.

توجد أيضاً بعض المعوقات أثناء التشكيل من حيث التصميم في تقنية البثق للطين اللدنة فيجب عمل حسابات الجاذبية لأنه من الممكن أن يحدث انهيار للشكل أثناء الطباعة خصوصاً في التصميمات التي تحتوي على منحنيات واضحة أثناء الارتفاع وأيضاً في تصميم اليد والمصب للبراد أو اللبانة مثلاً.

ويختلف سمك النموذج المطبوع عن سمك المنتج النهائي في الطباعة بالبثق فإذا كان النموذج الأولي سيتم عمل اختبارات عليه كمنتج نهائي يجب مراعاة اختلاف السمك، ويمكن التحكم في سمك النموذج المطبوع في تقنية نفاث المواد الرابطة ليوافق المنتج النهائي، ولكن في تقنية البثق يمكن الوصول إلي سمك قريب بشكل كبير من المنتج النهائي.



مخطط رقم ٢ يوضح بعض العيوب لتقنيات التصنيع بالإضافة

## الجانب التطبيقي:

من خلال الجانب التطبيقي تم تنفيذ سكرية ولبانة لفرد واحد كأحد مفردات أدوات المائدة من خلال الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد بالبثق باستخدام طينات بيضاء، وتم اختيار اللبانة لأنها تمثل أحد المفردات الأساسية المستخدمة لتقديم الحليب وتحتوي علي إضافات مختلفة مثل اليد والمصب، فتم عمل التصميم من خلال برنامج Rhino كما في الصور رقم ٨،٩ واستخدام برنامج Cura لتقسيم الطبقات الأفقية وتحويل نموذج CAD إلي G-Code، ثم تم الطباعة واستغرق وقت تشكيل اللبانة ٤٢ دقيقة، وقت طباعة السكرية ٥١ دقيقة، وكانت أبعاد اللبانة بعد الجفاف بأبعاد ١٢\*٩,٦سم، والسكرية بأبعاد ١٣\*٧,٥سم بعد الجفاف، وكانت أبعاد اللبانة بعد الحريق ١١,٥\*٩سم، والسكرية ١٢,٥\*٧سم تقريباً، وتم عمل غطاء من الخشب للسكرية.

- استكمال باقي الخطوات من قوالب وغيرها للوصول إلي نموذج أولي خزفي يمكن من تصور المنتج النهائي بشكل جيد خاصة في الصناعة.
- ٣- عمل النماذج الأولية من الخزف مباشرة دون اللجوء إلى خامات أخرى يساعد المصمم بشكل كبير على رؤية التصميم بصورة واقعية وسريعة وقريبة جدا للمنتج النهائي.
- ٤- يمكن التغلب على ملمس الطبقات الناتج عن الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد من خلال زيادة سمك تطبيق الطلاء الزجاجي حتى يصبح النموذج الأولي يقارب بشكل كبير المنتج النهائي.
- ٥- تمكن الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لإنتاج النماذج الأولية في أدوات المائدة من عمل اختبارات المواصفات القياسية كالانكماش وامتصاص الماء وغيرها مباشرة، مما يعطي صورة واضحة ليس فقط عن التصميم من الناحية الجمالية، ولكن أيضا عن المنتج النهائي من الناحية الوظيفية.
- ٦- يمكن استخدام تقنية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد بنفث المواد الرابطة في إنتاج النماذج الأولية في صناعة أدوات المائدة حيث تتطلب الصناعة دقة عالية وقياسات واختبارات.
- ٧- يمكن استخدام تقنية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد بالبنق في النماذج الأولية في الصناعات الصغيرة أو خزف الاستوديو وأيضا يمكن استخدامها في الإنتاج النصف كمي.

#### المستخلص:

تقنيات التصنيع بالإضافة الخزفية يمكن أن يكون لها دور فعال في إنتاج النماذج الأولية في صناعة أدوات المائدة أو الإنتاج النصف كمي نظرا للخصائص الكثيرة التي تقدمها هذه التكنولوجيا مثل منتجات ذات تصميم فريدة ومتنوعة علي مستوي جيد من التعقيد، ودقة عالية، وجودة بشكل أكثر كفاءة واستدامة، مع تقليل التكاليف والوقت، وتتميز الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد عن الطرق التقليدية في إنتاج النماذج الأولية لأدوات المائدة بشكل يصعب مقارنته ولكن مع الأخذ في الاعتبار عوامل مختلفة مثل حجم والتصميم الذي يتم إنتاجه ونوع المواد الخزفية المستخدمة ومدى تناسبها مع التقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد المستخدمة.

الناتج عن الطباعة وأدي إلي اختفائه خاصة من الداخل ويعتمد ذلك علي سمك تطبيق الطلاء وطريقة التطبيق فقد تم تطبيق الطلاء عن طريق الرش للطلاء الشفاف من الخارج والسكب من الداخل، فتعتبر طريقة السكب أو التغطيس من الطرق التي ستؤدي إلي اختفاء ملمس طبقات الطباعة لزيادة سمك تطبيق الطلاء الزجاجي، أما طريقة الرش فيمكن التحكم في سمك تطبيق الطلاء بشكل أفضل للتحكم في إظهار أو إخفاء ملمس الطبقات.

ويمكن تنعيم السطح للنموذج الأولي قبل الحريق مع مراعاة أنه قد يؤثر علي سلامة النموذج لأن الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد تمكن من الحصول علي سمك رفيع جدا فقد يؤدي التنعيم لتقليل السمك مما يؤثر علي متانة النموذج، كما أنه التدخل اليدوي قد يؤثر علي أبعاد النموذج الأولي وبالتالي تفقد الدقة الناتجة عن عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد.



صور رقم ١١ تظهر اللبنة بعد الحريق واستخدم طلاء زجاجي شفاف من الخارج وطلاء زجاجي أخضر من الداخل



صور رقم ١٢ تظهر السكرية بعد الحريق واستخدم طلاء زجاجي شفاف من الخارج وطلاء زجاجي أخضر من الداخل، وتم عمل غطاء من الخشب.

#### نتائج البحث:

- ١- استخدام تقنية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد في النمذجة الأولية في إنتاج أدوات المائدة الخزفية ذات مزايا يصعب مقارنتها بطرق الإنتاج التقليدية، من حيث السرعة والدقة العالية في التشكيل، بالإضافة إلى المرونة في التصميم.
- ٢- يمكن استخدام الطباعة البلاستيكية ثلاثية الأبعاد لعمل تصور ليس نهائي للنموذج الأول نظرا لاختلاف الخامات ويتطلب

مراجع البحث:  
أولا المراجع الأجنبية:

Extrusion (STE) for ceramics using the Taguchi method. *Ceramics International*, 45(2), pp.29. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.10.152>.

ثانيا مواقع الانترنت:

[9] 3D PRINTED AND SLIP CAST CUP, Accessed: (10/6/2023) ,URL: <https://claybucket.com/3d-printed-and-slipcast-cup/>

[10] Binder Jetting with Ceramics, Accessed: (16/6/2023) ,URL: <https://wzr.cc/en/binder-jetting-2/>

[11] Material Extrusion of Ceramics, Accessed (3/6/2023)<https://wzr.cc/en/material-extrusion-2/>

[12] Liquid Deposition Modeling (LDM), Accessed: (20 /6/2023) ,URL:

<https://www.voxelmatters.com/additive-manufacturing/am-technologies/what-is-liquid-deposition-modeling/#>

[13] MadeXBinary, Accessed: (1/6/2023) URL: <http://www.madexbinary.com/shop>

3D Printed Porcelain Kitchenware, Accessed: (21/6/2023) URL: <https://www.finedininglovers.com/article/3d-printed-porcelain-kitchenware>

[1] Lee, J.-Y., An, J. and Chua, C.K. (2017). Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials. *Applied Materials Today*, 7, pp.abstract,doi:<https://doi.org/10.1016/j.apmt.2017.02.004>

[2] Castro e Costa, E., Duarte, J.P. and Bártolo, P. (2017). A review of additive manufacturing for ceramic production. *Rapid Prototyping Journal*, 23(5), pp.954–956. doi:<https://doi.org/10.1108/rpj-09-2015-0128>.

[3] Rafiee, M., Farahani, R.D. and Therriault, D. (2020). Multi-Material 3D and 4D Printing: A Survey. *Advanced Science*, 7(12), p.3 doi:<https://doi.org/10.1002/advs.201902307>.

[4] Chen, Z., Li, Z., Li, J., Liu, C., Lao, C., Fu, Y., Liu, C., Li, Y., Wang, P. and He, Y. (2019). 3D printing of ceramics: A review. *Journal of the European Ceramic Society*, 39(4), pp.abstract, pp.664–665,doi:<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.11.013>.

[5] Huson, D. (2011). 3D Printing of Ceramics for Design Concept Modeling. NIP & Digital Fabrication Conference, [online] 27(1), pp.816,818,819

doi:[https://doi.org/10.2352/ISSN.2169-4451.2011.27.1.art00104\\_2](https://doi.org/10.2352/ISSN.2169-4451.2011.27.1.art00104_2).

[6] Velazco, D.P.C., Sancet, E.F., Urbaneja, F., Piccico, M., Serra, M.F., Acebedo, M.F., Suárez, G. and Rendtorff, N.M. (2014). Rapid prototyping of a complex model for the manufacture of plaster molds for slip casting ceramic. *Cerâmica*, 60(356), pp. (abstract). doi:<https://doi.org/10.1590/s0366-69132014000400003>.

[7] Gonzalez, J.A., Mireles, J., Lin, Y. and Wicker, R.B. (2016). Characterization of ceramic components fabricated using binder jetting additive manufacturing technology. *Ceramics International*, [online] 42(9), pp.10559–10564. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.03.079>.

[8] Kim, N.P., Cho, D. and Zielewski, M. (2019). Optimization of 3D printing parameters of Screw Type