استخدام طينات الورق لإنتاج وحدات إضاءة خزفية بالطباعة ثلاثية الأبعاد

Using paper clay to produce 3D-printed ceramic lighting units

م.د/ نهلة محمد حامد رشوان
مدرس بكلية الفنون التطبيقية، قسم الخزف، جامعة حلوان، مصر
Dr. Nahla Mohamed Hamed Rashwan
Lecturer, Ceramic Department, Faculty of Applied Arts, Helwan University (Egypt)
nahla_rashwan@hotmail.com

الملخص:

- تتميز الأجسام الخزفية بخواص كثيرة من خلال التراكيب والإضافات المختلفة، فإضافة الأنواع المختلفة من الورق إلي الطينات تحسن من خواص الجسم حيث تعمل ألياف السيليلوز علي زيادة قوة الكسر الخضراء، وتقلل من وزن المنتج، بالإضافة إلي إمكانية تشكيل الأحجام الكبيرة بسمك قليل بسبب تجانس ألياف السليلوز مع حبيبات الجسم، وكما أنها تحسن من قدرة الجسم على امتصاص الماء مما يسهل ويسرع عملية الجفاف ، كما أنها تزيد من قوة تحمل الضغط والالتواء، والتغيرات السريعة في درجات الحرارة مما يقلل من وقت الحريق ويوفر الطاقة ، كل هذه الإمكانيات لأجسام طينات الورق تفتح المجال أمام طرق التشكيل و تقنيات الإنتاج للاستفادة منها في مجالات الخزف المختلفة سواء التصميمية أو الفنية، وتعتبر تقنيات التصنيع بالإضافة مثل الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد بالبثق من التقنيات الناشئة المفضلة نظرا لسهولة الاستخدام مع عدم هدر الخامة، والقدرة الجيدة على التكيف مع الخامات الخزفية المختلفة بشرط تعديل تركيبتها وطريقة تحضيرها وتشغيلها لتوافق هذه التقنية، مما يعطي حرية في التصميم غير محدودة.

- لذلك يحاول البحث الدمج بين الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد القائمة علي البثق وطينات الورق لمحاولات الاستفادة من مميزاتيهما مثل: قدرة طينات الورق علي بناء الأحجام الكبيرة والتي تعتبر من الصعوبات التي تواجه الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد أثناء الارتفاع بطبقات البناء، كما أن قوة الكسر الأخضر وسرعة الجفاف لطينات الورق تعتبر من المتطلبات الأساسية لسلامة القطع الخزفية في الطباعة ثلاثية الأبعاد، كما أن طينات الورق تتحمل الضغط و الالتواء مما يعطي حرية أكبر في طباعة التصميمات وغيرها من الإمكانيات التي تعتبر أساسية في البناء بالطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد.

- وقد تم اختيار وحدات الإضاءة كمنتج وظيفي لتنفيذه نظرا لأن المتطلبات الأساسية في وحدات الإضاءة كتوزيع الضوء وشدته والسمك القليل وخفة الوزن وغيرها من المتطلبات التي يمكن توفيرها من خلال الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد بطينات الورق.

مشكلة البحث:

- إمكانية الطباعة ثلاثية الأبعاد لمنتج خزفي وظيفي وهو وحدات الإضاءة باستخدام طينات الورق.

هدف البحث:

- الوصول إلى طباعة وحدة إضاءة خزفية من خلال الطباعة ثلاثية الأبعاد من خلال تراكيب مختلفة لطينات الورق.

فروض البحث:

- اقتراح تراكيب جسم من طينات الورق وتقييم إمكانيات ونتائج الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد.
- الاستفادة من مميزات طينة الورق وإمكانيات الطباعة ثلاثية الأبعاد بالبثق لإنتاج وحدات إضاءة خزفية.

منهجية البحث:

- يعتمد البحث على المنهج التجريبي التحليلي من خلال مجموعة من التجارب التطبيقية ثم يتم التحليل للوصول إلى نتائج أفضل.

الكلمات المفتاحية:

- تقنيات التصنيع بالإضافة - الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد بالبثق – طينات الورق – وحدات الإضاءة.

Abstarct:

- Ceramic bodies properties vary through different compositions and additives, cellulose fibers can be added to make paper clay bodies, which are characterized by high green strength, lightweight, forming large size with less thickness, the ability to absorb water which accelerates the clay drying, the ability to stand twisting and pressure, homogeneity with shape and particle size of the ceramic body, and withstanding rapid changes in firing temperature which reduces the firing time and saves energy.
- All these possibilities of paper clay open horizons for production techniques and formation methods in different ceramic fields such as additive manufacturing technologies especially ceramic 3D printing (extrusion-based).
- Ceramic 3D printing (extrusion-based) is considered as one of the preferred techniques thanks to its easy use without wasting the material, and good ability to adapt to different ceramic materials as long as their composition, preparation, and operation methods are modified to fit this technology, which eliminates barriers in front of the design.
- Therefore, the research tries to combine ceramic 3D printing extrusion-based and paper clay due to their advantages like the ability of paper clay to build large sizes which is one of the difficulties facing ceramic 3D printing during building layers, and the green strength and drying speed of paper clay are the basic requirements for the ceramic pieces safety 3D printing, paper clay can withstand pressure and twisting which allows better designs, and other possibilities that are essential in building with ceramic 3D printing.
- The lighting units were chosen as a functional product for implementation due to the basic requirements in the lighting units such as the lighting distribution, lighting intensity, small thickness which reduces the weight so that they can be hung, suitability to the environment, and other requirements that can be provided through ceramic 3D printing with paper clay.

Research problem:

- The possibility of 3D printing of ceramic functional product (lighting unit) using paper clays.

Research objectives:

-Printing of ceramic lighting units through 3D printing using different compositions of paper clays.

Research hypotheses:

- Developing a proposed paper clay body to fit ceramic 3D printing, then evaluating the possibilities and results of printing.

- Utilizing the advantages of paper clay and the capabilities of 3D printing to produce ceramic lighting units.

Research Methodology:

- The research depends on the analytical experimental method through applied experiments to reach better results.

Keywords:

Additive manufacturing techniques - ceramic 3D printing (extrusion-based) - paper clays - lighting units.

مقدمة:

تطورت تقنيات التصنيع والإنتاج الخزفية المختلفة فأصبحت الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد من التقنيات المشهورة التي أضفت حيوية جديدة إلي طرق التشكيل التقليدية في الخزف، فتتمثل عملية التصميم وتنفيذ المنتجات الخزفية التقليدية في الخطوة الأولى وهي رسم الفكرة الرئيسية ثم محاولة معرفة كيفية تنفيذها بالطرق اليدوية ثم إيجاد المواد الخام المناسبة لتنفيذ ذلك، فمجرد تخيل و تنفيذ فكرة واحدة تستهلك الكثير من الوقت والجهد، ولكن مع التطور في أدوات وبرامج التصميم المختلفة والتقدم في تقنيات الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد فتح المجال أمام للخزافين الوصول إلي النموذج الأول بسهولة أكبر مع إمكانيات التحكم في دقة التصميم والخامات بشكل كبير للوصول إلي نموذج أول يتميز بدقة عالية بوقت وجهد أقل، فيحاول البحث استخدام مميزات الطباعة الخزفية ثلاثة الأبعاد و طينات الورق لمحاولة الاستفادة من خواصهما لإنتاج منتج وظيفي كوحدة إضاءة.

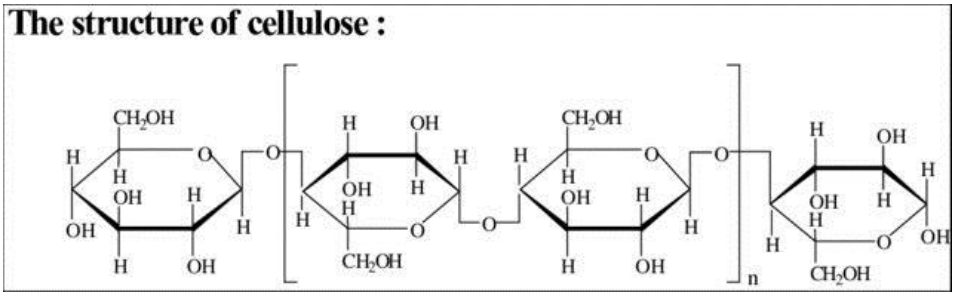
(Bin Zhao, 2021, Abstract)

أجسام طينات الورق:

هي أجسام طينية يضاف إليها أنواع الورق المختلفة كمصدر لألياف السليلوز ويعتبر الورق هو الأكثر شيوعًا، (net 1) ويمكن إضافة ألياف السيليلوز إلى أي نوع من أنواع الطينات (الخزف الأرضي، الخزف الحجري، البورسيلين وغيرها) لتكون طينات ورق، وكلما زادت نسبة الألياف إلى الجسم الطيني، كلما كان الجسم أقوي وهو غير محروق وأضعف وهو محروق، ويعتبر الورق المصنوع من لب الخشب أو القطن ليس المصدر الوحيد لألياف السليلوز ولكن أيضا الكتان المعالج والنباتات الأخرى تستخدم كمصدر لألياف السليلوز لعمل طينات الورق.(net2)

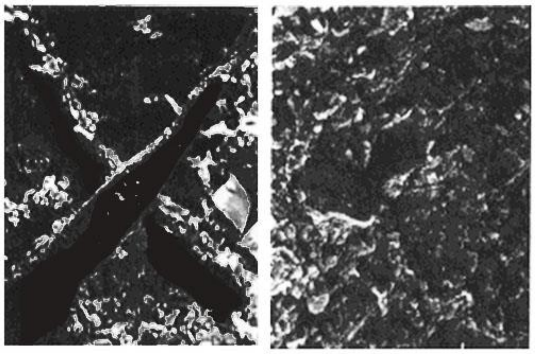
الورق بشكل عام يتكون من السليلوز $(C_6H_{10}O_5)_n$ وهو أحد أكثر البوليمرات العضوية انتشارًا على سطح الأرض. وهو الهيكل الأساسي للجدار للخلية في النباتات الخضراء، وأشكال مختلفة من الطحالب والأوميسيتات. وهو عبارة عن سلسلة خطية من عدة مئات إلى عدة آلاف من وحدات الجلوكوز المترابطة $\beta\ (1 \rightarrow 4)$. وتتعدد عمليات استخراج السليلوز مثل الأكسدة والأسترة وغيرها التي تحول السليلوز المحضر إلى مشتقات السليلوز، ونظرًا لأنه بوليمر غير سام وقابل للتحلل الحيوي ويتميز بقوة شد وضغط عالية، فإنه يستخدم على نطاق واسع في المجالات المختلفة مثل النانو تكنولوجي، وصناعة الأدوية، وصناعة الأغذية، ومستحضرات التجميل، وصناعة النسيج والورق، وعلاج الأمراض، وغيرها.

(Praveen, Kumar Gupta,2019, P.1)



مخطط رقم ١ يوضح التركيب الكيميائي للسليلوز

ألياف السليلوز هي المكون الأساسي للنباتات والأشجار وهي عبارة عن هيكل مجوف يشبه الأنبوب له قدرة مذهلة على امتصاص الرطوبة فتجعله كالإسفنج، وعند رؤية جسم طينات الورق تحت المجهر يظهر أن جزيئات الطينات صغيرة بالمقارنة بألياف السليلوز، فيحدث التصاق والتحام لحبيبات الطينات بسهولة في هيكل أنابيب ألياف السيليلوز، وبفضل القوي الشعيرية تتشكل رابطة فورية أقوى بكثير من الروابط التي تنتج بين حبيبات الطين وبعضها البعض عند إضافة الماء.



صورة رقم ١ توضح على اليمين جسم طيني تم تكبيره ٣٠٠ مرة تحت المجهر، ويلاحظ السطح الخشن لحبيبات الجسم الذي يحد من تغلغل الماء وخروجه من الجسم الطيني، أما على اليسار صورة توضح جزيئات الطين الملتصقة بألياف السيليلوز ومن خلال القوي الشعيرية التي تسمح بالامتصاص والخروج الماء بسهولة من الجسم الطيني.(net 3)

خواص أجسام طينات الورق وتأثيرها على طرق التشكيل التقليدية:

تعتبر طريقة الإنتاج ودرجة حرارة الحريق من أهم المؤثرات في طينات الورق، وتختلف بعض الخواص لطينات الورق عن الطينات التقليدية حيث تقل لدونة طينات الورق مما يؤثر على طريقة الإنتاج والتشكيل، ولكن يمكن استخدام تقنيات التشكيل والبناء اليدوية مع طينات الورق التي تحتوي علي ألياف ورقية ناعمة جدا ويمكن تشكيلها أيضا بعجلة الخزاف ولكن مع نسب قليلة من الألياف المضافة، و طينات الورق يمكن تشكيلها بأحجام كبيرة وسمك أقل، ويمكن عمل طينات صب من طينات الورق بشرط اتباع طرق الإعداد و التحضير الجيدة من تجهيز الألياف و تفكيكها لتندمج جيدا مع تركيبة الجسم وحتي لا تسبب انسداد لمسام القوالب أثناء زمن الصب.

تعد إعادة تشغيل طينات الورق الجافة أسرع مقارنة بالطينات الأخرى حيث تمتص ألياف الورق الماء بسرعة كبيرة وتنقلها إلى حبيبات الطينات، كما أن التجفيف يكون أسهل لأن الألياف تفقد الماء بشكل أسرع من حبيبات الطين، كلما زادت نسبة الألياف إلي الطينات كلما زادت سرعة التجفيف مع إمكانية حدوث الالتواء والتشقق أقل، وكما أن طينات الورق تستخدم لإصلاح التشققات والشروخ في الأجسام الطينة سواء و هي رطبة أو جافة . (net 1)

قوة وحريق أجسام طينات الورق:

يجب تجفيف طينات الورق تمامًا قبل الحريق حتى لا يتسبب ذلك في حدوث كسور أو شروخ للجسم وتحرق في نفس درجات حرارة حريق الطينات، ولكن يوصي برفع درجات حرارة الحريق أعلى قليلاً إذا كانت قوة الجسم مطلوبة لأن طينات الورق أكثر مسامية مما يقلل من قوة الجسم، وتتميز طينات الورق بزيادة قوة الكسر الأخضر نظرا لأن قوة الشد والقص أكبر من الطينات الأخرى وبالتالي يقلل من حدوث الكسور والشروخ أثناء التناول والحمل في مرحلة الجفاف والحريق ويمكن عمل حرقة واحدة للجسم والطلاء الزجاجي لأجسام لطينات الورق.(net 3)

ويوضح الجدول رقم (١) عينات من الخزف الحجري مضاف إليها تسع نسب من ألياف الورق بالتدريج من ١٠ % إلي ٩٠% ليتم عمل عليها اختبار معامل مقاومة الكسر لمعرفة مدي قوة الجسم.

The parameter stoneware and paper mixed

Test bar	Stoneware % (g)	Paper pulp % (g)	Total % (g)
A	90	10	100
B	80	20	100
C	70	30	100
D	60	40	100
E	50	50	100
F	40	60	100
G	30	70	100
H	20	80	100
I	10	90	100

ويوضح الجدول رقم ٢ عينات من أجسام طينات الورق من الخزف الحجري بعد الحريق عند ١٢٠٠ °م وثم إجراء اختبار معامل مقاومة الكسر لمعرفة مدي قوة الجسم.

Evaluation result strength of the test bar by modulus of rupture (MOR)

Batch	Average test bar (b), cm	Average of thickness (h), cm	Original line length (L), cm	Force of rapture (F)	MOR N/ mm^2
A	10.5	0.5	8.5	291	4.9
B	10.5	0.5	8.5	195	3.3
C	10.5	0.5	8.5	139	2.3
D	10.5	0.5	8.5	130	2.2
E	10.5	0.5	8.5	89	1.5
F	10.5	0.5	8.5	85	1.4
G	10.5	0.5	8.5	73	1.2
H	10.3	0.5	8.5	59	1.0
I	10	0.5	8.5	56	0.9

يظهر نتائج تقييم البيانات لاختبار معامل مقاومة الكسر MOR أن قوة الكسر لأجسام طينات الورق تتناقص مع كل ١٠٪ نسبة إضافية من ألياف الورق جسم الخزف الحجري حيث تتدرجت من ٤,٩ نيوتن/مم٢ إلى ٠,٩ نيوتن / مم٢.

(Mohd Tazul Akmal Talib,2015, P.385,368)

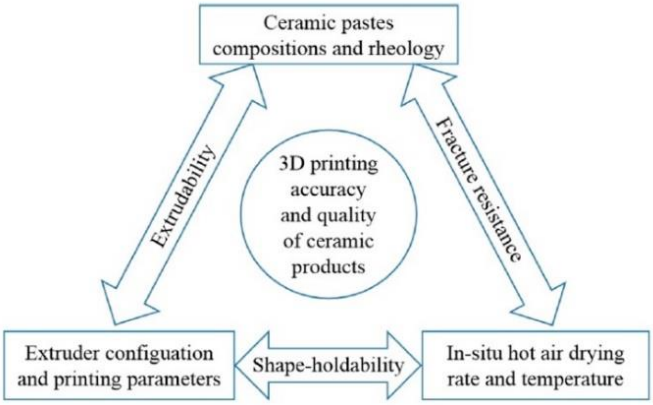
كما أنه يمكن الحصول على الألياف من خلال إعادة تدوير الورق أو أي نوع من المواد التي تحتوي على الألياف واستخدامها لعمل طينات الورق مما يقلل من تكلفة الخامة حيث إنها تعتبر بديل للمواد الخام الخزفية، ولكن بتكلفة أقل كما أنه يقلل التأثير الضار على البيئة، حيث يؤدي استبدال نسبة من الطينات بالألياف إلى تقليل درجة حرارة حريق الطينات، وبالتالي تقليل الطاقة اللازمة للحريق مما يوفر في الطاقة بشكل كبير.(net 4)

إمكانيات الطباعة ثلاثية الأبعاد الخزفية:

تطورت التقنيات الخزفية للتصنيع والإنتاج خلال السنوات الماضية تطورا كبيرا لتفتح أفاقا جديدة، وتعرف تقنيات التصنيع بالإضافة بشكل عام حسب ISO / ASTM 17296بأنها مجموعة متنوعة من عمليات التشكيل للمواد من خلال بناء طبقة تلو طبقة بواسطة بيانات نموذج ثلاثي الأبعاد، تختلف تمامًا عن منهجيات التصنيع التقليدية أو بالحذف، وفقًا للمعيار لهذا التعريف يمكن تقسيم عمليات التصنيع بالإضافة إلى سبع فئات: بثق المواد، ونفث المواد، وصهر المواد أثناء الترسيب، ونفث المواد الرابطة، وربط صفائح من مادة، وترسيب مواد رابطة، والبلمرة الضوئية. (Fuwen Hu,2015, P.1)

وتعتبر طرق الطباعة ثلاثية الأبعاد القائمة على البثق واحدة من أكثر الأساليب شيوعًا بين تقنيات التصنيع بالإضافة الخزفية، ولكن لا يزال هناك مجال كبير تحسين هذا النوع من الطباعة من حيث قابلية الأجسام الخزفية المختلفة للطباعة.

وللتحكم في الطباعة الخزفية هناك عوامل كثيرة يوضحها المخطط رقم ٢ ومنها: سلوك البثق، وسرعة البثق، و ارتفاع طبقات الطباعة، ريولوجيا الأجسام الخزفية، وقابلية الأجسام للتشكل، و طرق تجفيفها، مما يفتح المجال أمام هذه التقنية للاستيعاب والتكيف مع التراكيب المتنوعة لأجسام الطينات المختلفة من خلال المتغيرات لكل من إعدادات الطباعة وتراكيب الأجسام الخزفية. (Fuwen Hu,2015, P.19)



مخطط رقم ٢ يوضح العوامل التي تؤثر علي نجاح الطباعة ثلاثية الأبعاد الخزفية القائمة علي البثق مثل: تركيبة الجسم الخزفي، ريولوجيا الجسم، قابلية الجسم للبثق، ضبط متغيرات الطباعة والبثق، مقاومة الانهيار أثناء الطباعة، وطرق التجفيف بمصادر خارجية أوالتحكم في درجة الحرارة. (Fuwen Hu,2015, p.15)

الدمج بين الطباعة ثلاثية الأبعاد وطينات الورق:

تتميز طينات الورق كما ذكر سابقا بإمكانيات التشكيل بسمك رفيع مع إمكانية بناء الاحجام الكبيرة دون انهيار نظرا لزيادة قوة الكسر الأخضر التي تسهل من التعامل والنقل مع النماذج المشكلة قبل الحريق، كما تتميز بخفة الوزن بعد الحريق نتيجة لفقدان نسبة الورق المضافة إلي الجسم الخزفي مما يزيد من مسامية الجسم (Mohd Tazul Akmal Talib,2015,P.381)، وتعتبر قوة الكسر الأخضر التي تميز طينات الورق من الخواص المطلوبة في الجسم في الطباعة ثلاثية الأبعاد الخزفية حيث أن انهيار النماذج المشكلة من أصعب المشكلات التي تواجه طبقات الطباعة أثناء الارتفاع كما في الصورة رقم ٢ لأن نسبة الماء المضاف التي تسمح باللدونة الجيدة للبثق تؤثر بشكل سلبي علي القطع ذات الأحجام الكبيرة في الطباعة وهو ما يمكن تفادية عند استخدام طينات الورق وبالتالي الاستفادة من خواص جسم طينات الورق في الطباعة ثلاثية الأبعاد للوصول إلي استمرارية في الطباعة والزيادة في أحجام القطع المشكلة بالإضافة إلي سهولة التعامل والنقل قبل الحريق.

صورة رقم ٢ توضح انهيار أحد القطع المشكل أثناء الطباعة ثلاثية الأبعاد (net 5)

وحدات الإضاءة الخزفية:

يجب تحديد عدة عوامل عند التفكير في تصميم وتنفيذ وحدات الإضاءة الخزفية هل الإضاءة داخلية أم خارجية هل هي معلقة أم حائطية هل الإضاءة مباشرة أم غير مباشرة من خلال فتحات أو من خلال شفافية الجسم مثل البورسلين وطريقة التثبيت سمك ووزن وحدة الإضاءة، وشدتها وتوزيعها، فبالنسبة للإضاءة الداخلية التي سوف يتم تنفيذ الجانب التطبيقي منها يجب أولا اختيار المكان ثم تحديد أماكن الجلوس أو الطعام التي يجب إضاءتها، حيث يمكن تقسيم أماكن وضع الإضاءة إلى أربع مجموعات حسب نوع ومستوي الإضاءة:

1- إضاءة عامة: وهي إضاءة علوية الغرض الرئيسي منها هو جعل الغرفة منارة بشكل جيد.

2- إضاءة متوسطة: ويسمى ضوء العمل، لإضاءة مكان معينة لغرض معين مثل القراءة، والهوايات وغيرها مما يجعل الغرف تبدو أكثر اتساعا.

3- إضاءة منخفضة: يكون وضع الإضاءة على ارتفاع أقل من مستوى النظر، وغالبا ما تستخدم لإلقاء الضوء على السلم، أو عند الانتقال من غرفة أخرى مثلا.

4- إضاءة داخلية: يستخدم عند تسليط الضوء على الخزائن، غرف خلع الملابس، مجموعات مثل الهدايا التذكارية، عناصر زخرفية داخلية وغيرها. (net 6)

صورة رقم ٣ توضح أنواع لوحدات إضاءة بمستويات مختلفة لإنارة الداخلية(net 6)

تصميم وحدة الإضاءة:

- تم اختيار الإضاءة العامة (العلوية) لتكون نوع الإضاءة المصمم منه وحدة الإضاءة في الجزء التطبيقي، وحيث أن هذا النوع يوفر إضاءة بمستوى مريح من السطوع بحيث تمكن من استخدام ورؤية المكان وفقا لوظيفته، حيث يتناسب هذا النوع من الإضاءة مع مجموعة متنوعة من البيئات (مطبخ، غرفة معيشة، ردهات، مكتب.... إلخ).
- ويجب أن تكون الإضاءة العامة معلقة ومباشرة وتكرار حسب المكان والاستخدام لكي توفر المستوي المناسب من الإضاءة، وذات فتحة متسعة لخروج الإضاءة. (net 7)
- الوظيفة المقترحة للإضاءة العامة هي الإضاءة المنزلية لمنضدة طعام.

صورة رقم ٤ توضح إضاءة عامة فوق منضدة طعام(net 8)

الجانب التطبيقي: طباعة طينات الورق طباعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج وحدات إضاءة خزفية:

تركيبة جسم طينة الورق وطريقة تجهيزها:

اقترحت ثلاث تراكيب من طينات الورق تختلف فيها نسب ألياف السيليلوز المضاف من ٢٠ %، ٣٠ % ، ٤٠ % ثم يتم تجربتهم من خلال طباعتهم لمعرفة أنسب التراكيب للطباعة، استخدمت طينة الكرة لأنها تتميز بحجم حبيبي دقيق مما يعطي لدونة عالية تناسب البثق في الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد وفي التركيبة المقترحة اختلفت من ٤٠%إلي ٥٠%، استخدم الكاولين بنسبة أقل لأنه ذات حجم حبيبي أكبر فلدونته أقل بنسبة من ١٠ % إلي ٢٠ %، كما استخدم البنتونيت بنسبة عالية ٥% لزيادة لدونة الجسم لتناسب الطباعة أيضا، وأضيفت سيليكات الصوديوم لزيادة تفكيك الجسم لتسهيل بثقه بنسبة ٠،١%.

جدول رقم ٣ يوضح التراكيب المقترحة لجسم طينات الورق للطباعة ثلاثية الأبعاد:

الخامة	التركيبة ١	التركيبة ٢	التركيبة ٣
طينة كرة %	٥٠	٤٥	٤٠
كاولين %	٢٠	١٥	١٠
تلك %	٥	٥	٥
بنتونيت %	٥	٥	٥
ورق %	٢٠	٣٠	٤٠
إضافات (سيليكات صوديوم)%	٠،١	٠،١	٠،١
إضافات (الماء)%	٢٠-٢٥	٢٠-٢٥	٢٠-٢٥

تحضير وتجهيز طينات الورق:

- يقطع الورق ثم يضاف الماء المغلي ويترك الورق في الماء لمدة ٢٤ ساعة ويستخدم خلاط لتقطيع ألياف الورق جيدا.
- التخلص من الماء الزائد في الورق ثم يوزن تجهيزا لإضافته إلى تركيبة الجسم.
- تحضر تركيبة الجسم عن طريق إضافة نسبة سيليكات الصوديوم إلى نسبة الماء أولا ثم تضاف التركيبة ويتم الخلط الجيد وأخيرا إضافة نسبة الورق ثم الخلط الجيد مرة أخري كما في الصور رقم من ٥ إلي ٨.

الصور رقم ٥ توضح تقطيع الورق ثم إضافة الماء المغلي

الصور رقم ٦ توضح ترك الورق في الماء لمدة كافية ٢٤ ساعة ثم التقطيع باستخدام الخلاط

الصور رقم ٧ توضح عصر الورق للتخلص من الماء الزائد ثم إضافة تركيبة الجسم مضاف إليها سيليكات الصوديوم

صورة رقم ٨ توضح الخلط الجيد لتركيبة جسم طينات الورق

وأثناء إضافة نسبة سيليكات الصوديوم إلي التراكيب الثلاث، تم ملاحظة أن التركيبة رقم ١ (الورق ٢٠%) و سيليكات الصوديوم (٠،١%) حدث تفكك زائد لحبيبات الطينات بينما التركيبة رقم٣ (الورق ٤٠%) و سيليكات الصوديوم (٠،١%) كنسبة ثابتة لدونة الطينة كانت جيدة، وبالتالي كلما قلة نسبة الطينات وزادت نسبة الورق تقل نسبة سيليكات الصوديوم حتى لا تؤدي إلى تفكك زائد لحبيبات الجسم.

وطبعت عينات من التراكيب ٣،٢،١ وهي عبارة عن تقاطع بين أسطوانة ومكعب (٨ سم * ٩سم) لمعرفة إمكانيات الطباعة بطينة الورق في الخطوط المنحنية والمستقيمة و مدي نجاح البثق والبناء بالطبقات أثناء الطباعة، وتم طباعة العينات من التراكيب الثلاث بنسب الورق المختلفة ولكن شرط تجهيز الورق وتقطيعه جيدا ودمجه مع الجسم الطيني جيدا لأن عدم التجهيز الجيد يسبب انسداد في أجزاء الباثق وخاصة الفوهة، وظهر أثناء الطباعة ملمس خشن ناتج عن وجود الورق في التركيبة وكلما زادت نسبة الورق زاد الملمس كما توضح الصورة رقم ١٠، ومن خلال طباعة العينات الأولية للتراكيب المختلفة ظهر أن يمكن طباعة المنحنيات بدقة و سهولة من الهندسة ذات التفاصيل الدقيقة نتيجة لوجود الورق حيث يسبب خشونة في ملمس الحبل أثناء الطباعة ولكن عند طباعة التصميمات الهندسية الدقيقة يفضل تقليل نسبة الورق في تركيبة الجسم.

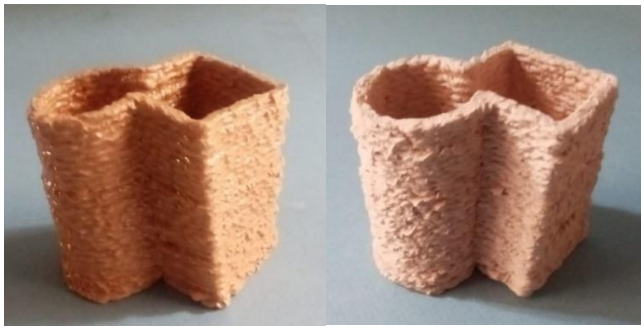
صورة رقم ٩ توضح طباعة العينات من التراكيب ٣،٢،١

جدول رقم ٤ يوضح بيانات الطباعة ثلاثية للتراكيب المقترحة لجسم طينات الورق:

كما يوضح الجدول رقم ٤ أبعاد العينات ونسب الانكماش بعد الجفاف والحريق عند درجة حرارة ١٠٠٠°م التي تتراوح بين ١٠% - ١٢% فلابد من مراعاة أبعاد رسم النماذج ثلاثية الأبعاد قبل الطباعة.

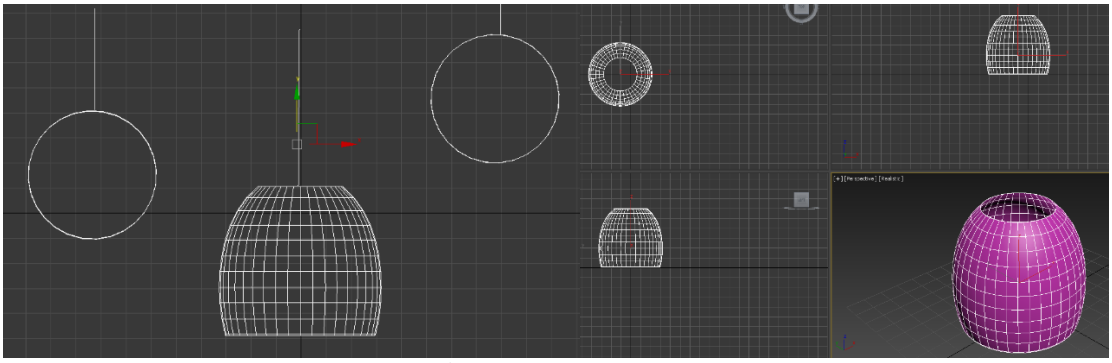
رقم التركيبة	أبعاد العينة أثناء الطباعة	قطر فوهة الطباعة	زمن الطباعة	انكماش الجفاف	انكماش الحريق
١	٨ سم * ٩سم	٢,٥ ملم	١٥ دقيقة	%١٠	%٢٠
٢	٨ سم * ٩سم	٢,٥ ملم	١٥ دقيقة	%١١	%٢١
٣	٨ سم * ٩سم	٢,٥ ملم	١٥ دقيقة	%١٢	%٢٢

صورة رقم ١٠ توضح الاختلاف في الحبل أثناء الطباعة حيث نلاحظ زيادة الخشونة في الحبل المبثوق كلما زادت نسبة الورق بين التركيبة رقم ١ على اليمين (٢٠% ورق) والتركيبة رقم ٢ على اليسار (٤٠% ورق).

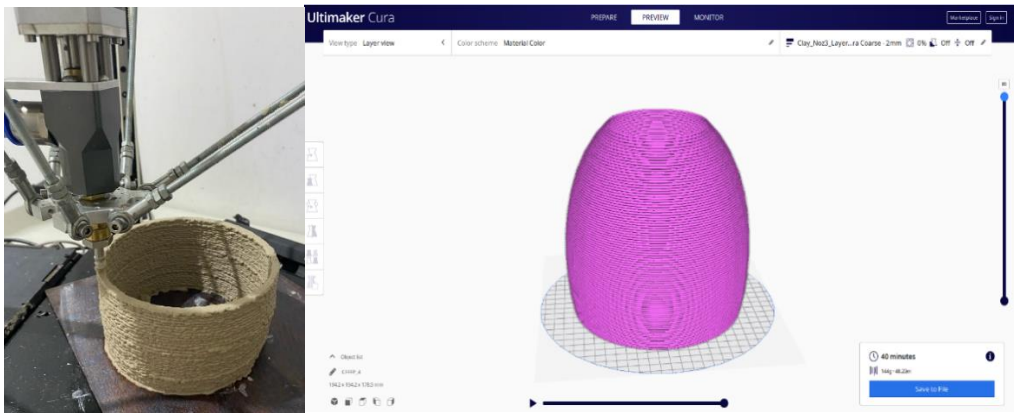


صورة رقم ١١ توضح العينة من التركيبة ٣ بعد الحريق الأول عند درجة حرارة ١٠٠٠°م ثم بعد طلائها بطلاء زجاجي شفاف

ثم تم طباعة التصميم المقترح لوحدة الإضاءة كما في الصورة رقم ١٢ وهي وحدة إضاءة عامة فوق منضدة طعام لتوفير مستوي مريح من السطوع بحيث تمكن الفرد من رؤية جيدة.



صورة رقم ١٢ توضح التصميم وحدة الإضاءة المقترحة باستخدام برنامج 3D Max



صورة رقم ١٣ توضح التصميم المقترح لوحدة الإضاءة مقطع إلى طبقات باستخدام برنامج Cura تجهيزا لطباعته ثم طباعته من خلال الطباعة ثلاثية الأبعاد من التركيبة رقم ٣ (٤٠% ورق).

جدول رقم ٥ يوضح بيانات الطباعة ثلاثية للوحدة الإضاءة:

كما يوضح الجدول رقم ٥ الأبعاد ونسبة الانكماش عند درجة حرارة ١٠٠٠°م والوزن وحدة الإضاءة قبل وبعد الحريق حيث يظهر نسبة الفرق في الوزن ١٨% لذلك يفضل استخدام طينات الورق في المنتجات التي تتطلب خفة الوزن.

وحدة الإضاءة (رقم التركيبة)	أبعاد العينة أثناء الطباعة	قطر فوهة الطباعة	زمن الطباعة	انكماش الجفاف	انكماش الحريق	وزن القطعة قبل الحريق	وزن القطعة بعد الحريق	نسبة الوزن المفقود بعد الحريق
٣	١٥*١٥*٢٠ سم	٢,٥ ملم	١٥ دقيقة	١٢%	٢٢%	٤٢٥جم	٣٤٨جم	١٨%

صورة رقم ١٤ توضح وحدة الإضاءة بعد الحريق عند درجة حرارة ١٠٠٠°م ثم الطلاء بطلاء زجاجي شفاف وأخضر

صورة رقم ١٥ توضح الشكل النهائي لوحدة الإضاءة

نتائج البحث:

1- إمكن بثق وطباعة طينات الورق من خلال الطباعة ثلاثية الأبعاد بالنسب التالية لإضافة الورق ٢٠%، ٣٠%، ٤٠%.

2- تزداد خشونة ملمس الحبل المبثوق مع زيادة نسبة الورق في تركيبة الجسم.

3- تعتبر طباعة الخطوط المنحنية أسهل من المستقيمة ويصعب طباعة الخطوط المستقيمة ذات التفاصيل الدقيقة.

4- نسب انكماش عينة طينات الورق بعد الجفاف حوالي من ١٠% إلى ١٢% حسب نسب الورق المضافة وهي (٢٠%،٣٠%،٤٠%)، ونسبة انكماش الحريق التي وصلت إلى ٢٢ % عند إضافة ٤٠% ورق فلابد من مراعاة أبعاد الرسوم ثلاثية الأبعاد قبل الطباعة.

5- تتناسب قوة كسر الخضراء لطينات الورق تناسبا طرديا مع نسبة الورق في تركيبة الجسم.

6- طينات الورق تمكن من الحمل والتناول بسهولة بعد الطباعة وقبل الحريق والتي تعتبر من المراحل الهامة والصعبة في الطباعة ثلاثية الأبعاد الخزفية نظرا للسمك القليل، لذلك يفضل استخدام طينات الورق في الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لتزيد من سلامة القطع المطبوعة.

7- بشكل عام يمكن إضافة نسبة من الورق إلى طينات الطباعة ثلاثية الأبعاد حوالي ١٠ % إلي ٢٠ % حيث أنها تزيد من قوة الكسر الأخضر وتمكن من الارتفاع بالطبقات بشكل أمن.

8- يمكن استخدام طينات الورق في الطباعة ثلاثية الأبعاد في المنتجات الخزفية التي تتطلب خفة الوزن مثل وحدات الإضاءة.

التوصيات:

1- زيادة الأبحاث الخاصة بالطباعة ثلاثية الأبعاد باستخدام طينات الورق.

2- يمكن إضافة أنواع الورق المختلفة في الطباعة ثلاثية الأبعاد لتحقيق الاستدامة من خلال إعادة تدوير الورق وتقليل استخدام الخامات الخزفية.

المراجع:

- Bin Zhao, March 2021, Research on The Application of Ceramic 3D Printing Technology, Journal of Physics Conference Series.
- DOI: 10.1088/1742-6596/1827/1/012057
- https://www.researchgate.net/publication/350112472_Research_on_The_Application_of_Ceramic_3D_Printing_Technology
- Fuwen Hu , Tadeusz Mikolajczyk, Danil Yurievich Pimenov and Munish Kumar Gupta, 2021 Feb 28, Extrusion-Based 3D Printing of Ceramic Pastes: Mathematical Modeling and In Situ Shaping Retention Approach, National Library of Medicine, Basal.
- doi: 10.3390/ma14051137
- https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33670904/
- Mohd Tazul Akmal Talib , Verly Veto Vermol , Abdul Rahim Jalil , and Rusmadiah Anwar, 2015, Paper Clay Study Development for Ceramic Art Form Design, International Colloquium of Art and Design Education Research, Springer. P(381,302)
- DOI 10.1007/978-981-287-332-3_40
- https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-287-332-3_40

- Praveen Kumar Gupta, Shreeya Sai Raghunath, Deepali Venkatesh Prasanna, Priyadharsini Venkat, Vidhya Shree, Chandrananthi Chithananthan, Shreya Choudhary, Krithika Surender and Keerthana Geetha, May 2019, An Update on Overview of Cellulose, Its Structure and Applications, Cellulose, intake publisher.
- DOI: 10.5772/intechopen.84727
- https://www.researchgate.net/publication/333238435_An_Update_on_Overview_of_Cellulose_Its_Structure_and_Applications
- https://paperclay.com/
- https://www.academia.edu/11662210/A_Paperclay_Update
- https://www.grahamhay.com.au/miller1994.html
- http://www.lmau.com/article.html
- https://www.alterfact.net/projects2
- https://www.modernchandeliers.eu/five-tips-for-creating-the-right-multi-level-lighting/
- https://www.lumenpulse.com/applications/5/general-lighting
- https://www.brosa.com.au/dining-room-furniture/guides/dining-table-styles-small-spaces