

أثر الملدنات "المولاس" والمواد الرابطة "الصمغ العربي" على فاعلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة) بمحافظة قنا

د/ رشا فوزي أحمد

مدرس الخزف بكلية التربية النوعية - جامعة جنوب الوادي

ملخص البحث:

يهدف البحث إلى دراسة أثر الملدنات "المولاس" والمواد الرابطة "الصمغ العربي" على فاعلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة) بمحافظة قنا، واتباع البحث المنهج الوصفي والمنهج التجريبي في قياس أثر الملدنات "المولاس" والمواد الرابطة "الصمغ العربي" على فاعلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة) بمحافظة قنا. وتوصل البحث إلى العديد من النتائج منها، أنه يوجد أثر للملدنات "المولاس" والمواد الرابطة "الصمغ العربي" على فاعلية الطباعة ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة) بمحافظة قنا، وإمكانية تنفيذ نماذج خزفية باستخدام هذه الطينة (الحبيبة) وبتقنية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد. وأوصى البحث بناءً على نتائجه بإجراء دراسات حول تجريب طرق معالجات مختلفة للطينات في ضوء تقنية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد؛ القيم الجمالية والوظيفية للمنتجات الخزفية في ضوء هذه التقنية أيضاً؛ وإمكانية استخدام الطينات المحلية في تكنولوجيا الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد؛ وإتاحة الفرصة للحرفين لاستخدام تقنية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد وتوظيفها في إنتاجهم الخزفي.

الكلمات المفتاحية:

الملدنات "المولاس"؛ المواد الرابطة "الصمغ العربي"؛ الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد؛ طينة السيل بقنا.

The Effect of Plasticizers “Molasses” and Binders “Gum Arabic” on The Effectiveness of Ceramic 3D Printing of Flood Clay (Al-Hayba) In Qena Governorate.

Abstract:

The research aims to study the effect of the plasticizers “molasses” and the binder materials “gum arabic” on the effectiveness of three-dimensional ceramic printing of Flood clay (Al-Hayba) in Qena Governorate. The research followed the descriptive approach and the experimental approach in measuring the effect of the plasticizers “molasses” and the binders “gum arabic” on the effectiveness 3D ceramic printing of Flood clay (Al-Haiba) in Qena Governorate. The research reached many results, including that there is an effect of the plasticizer “molasses” and the binding material “gum arabic” on the effectiveness of 3D printing of Flood clay (Al-Hayba) in Qena Governorate, and the possibility of implementing ceramic models using this clay (Al-Hayba) and with 3D ceramic printing technology. Based on its results, the research recommended conducting studies on experimenting with different processing methods for clays in light of 3D ceramic printing technology. The aesthetic and functional values of ceramic products in light of this technology as well; The possibility of using local clays in 3D ceramic printing technology; Providing the opportunity for craftsmen to use 3D ceramic printing technology and employ it in their ceramic production.

key words:

Applied Study; Plasticizers "Molasses", Binder Materials “Gum Arabic”, Ceramic 3D Printer , Flood Clay in Qena.

مقدمة:

يعتمد العمل الفني بدرجة كبيرة على إدراك الفنان الخزاف لماهية الطين، ونوعه وخصائصه، فعليه يتوقف استمراره أو عدمه، فإذا بحثنا في أنواع الطين نجد منه ما يسمح بتأوله، ويذهب إلى أبعد الحدود حيث يعيش الفنان في خبرات متصلة نامية، ومنه ما هو عكس ذلك فينهي العمل الفني أو القطعة الفنية عند حد معين-(أحمد، ٢٠١٠م، ص٢٢:٣٤)-وتعد محافظة قنا من أقدم وأكثر المحافظات صلة بإنتاج الفخار على مر العصور؛ كما تتميز بتنوع

وتعدد الطينيات الموجودة بها، والتي تتميز بأنها ضعيفة التماسك، خشنة الملمس، ذات خواص حرارية منخفضة.

وطينة السيل "الحبيبة" بمحافظة قنا من تلك الطينيات والتي تمتاز بلدونها العالية مما يجعلها غير صالحة للتشكيل وحدها وإنما تضاف إلى أنواع من الطينيات الأخرى للحصول على عجائن طينية صالحة للتشكيل، لذلك يجب أن يخضعها الفنان لحاجاته بعد إلمامه بخصائصها المختلفة سواء استخدمت بصورة منفردة أو مجتمعة حيث إن لكل خامة حدود، وإمكانيات، ونواحي قوى، ونواحي قصور طبيعية؛ ولهذا السبب فهي تقبل تشكيلاً وترفض أحر، ونتيجة لما يشهده عصرنا الحالي من تغيراً مستمراً وتطوراً سريعاً، ظهرت تقنيات وأساليب تشكيلية متنوعة أتاحت للخزاف فرصاً للاستغلال الأمثل للخامة، وتنفيذ أعمال خزفية مبتكرة يصعب تنفيذها بطرق التشكيل التقليدية مما يتيح للخزاف بيئة خصبة للإبداع، ومن تلك التقنيات الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد (3D Printing).

ويعتبر ظهور تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد، التي يشار إليها أيضاً باسم "التصنيع الإضافي AM"، بمثابة ثورة في تقنيات التشكيل، كما تعد كونها فلسفة تشكيل فريدة تتيح الإعداد المرن للهياكل شديدة التعقيد والدقة التي يصعب تحقيقها باستخدام طرق التشكيل التقليدية كالصب والتشكيل الآلي - (Chen & et.al., 2019, p. 661).

وتعد الطباعة ثلاثية الأبعاد "3D Printing" تقنية مبتكرة لإنتاج نماذج دقيقة للغاية، حيث تتيح إنتاج النماذج المطبوعة ثلاثية الأبعاد بدقة وفقاً للمواصفات الموجودة في الملف الرقمي Digital File. وظهرت هذه التقنية في ثمانينيات القرن العشرين في اليابان حيث ظهرت تقنية الطباعة الحجرية ستيريوليثوغرافي Stereolithography (SLA) لأول مرة في عام ١٩٨٣، وبعد ذلك تلتها عشرات التقنيات الأخرى تحت الاسم الشائع للطباعة ثلاثية الأبعاد، منها التلييد الانتقائي بالليزر selective laser sintering (SLS) في عام ١٩٩٠م (Kocovic, 2017, p. 1).

وتوسعت تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد بشكل كبير في مطلع القرن الجديد نتيجة انتشار هذه الابتكارات؛ والتي تميزت بالنقد العلمي والتكنولوجي المتسارع، والرقمنة في دورة التصميم والإنتاج، والاهتمام المتزايد بالسوق، والاستخدام والتطبيق والتطوير والتجريب في إطار نموذج الابتكار المفتوح في سياق العولمة الرقمية (Ruscitti & et.al., 2020, p. 354)؛ وانخفاض التكاليف، وسهولة استخدام البرامج، وتوافر برامج مفتوحة المصدر (Menano & et.al., 2019, p. 222).

مشكلة البحث:

تتيح الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد إنتاج أشكالاً أكثر تعقيداً وإبداعاً وتنوعاً من الخزفيات التي لا يمكن إنتاجها بواسطة عمليات التشكيل التقليدية، كما أنها تطرح العديد من التحديات بالنسبة لمستخدميها بسبب متطلبات المعالجة، وحقيقة أنه لا يمكن استخدام كل الطينات لإنتاج الخزف بهذه التقنية، مما يترك جهوداً كبيرة في البحث والتطوير لتوظيف تلك التقنية بشكل فعال لإنتاج خزفيات معاصرة تحمل رؤى فلسفية، وتتيح أفق جديدة لإثراء الإبداع الفني في مجال الخزف من خلال استخدام طينة السيل (الحبيبة) بمحاظفة قنا وهي من الطينات التي لا تصلح لطرق التشكيل اليدوية وتحتاج إلى تحسين خصائصها لكي تصلح للتشكيل الخزفي.

بالإضافة إلى ما أشارت إليه دراسة **العامري (٢٠١٦)** بأن استخدام التكنولوجيا الحديثة في المجالات الفنية المختلفة يعد أمراً حتمياً لمواجهة المفاهيم الجديدة في ظل فنون الحداثة وما بعدها، وأوصت به دراسة **المعداوي وحسين (٢٠٢١)** حيث إن تنفيذ تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد والاستفادة منها في تنفيذ أفكار مبتكرة وإضافة قيم جمالية وتصميمية وتكنولوجية متنوعة وأكثر دقة لتحقيق العالمية في العمل الفني، وكذلك أوصت دراسة **سالم والسيد (٢٠١٤)** بالاهتمام بالطباعة ثلاثية الأبعاد كونها مفيدة في مجالات مختلفة في مجال التربية الفنية بشكل عام كالنحت والتشكيل المجسم والحرف الفنية والخزف والفنون التركيبية وغيرها، عليه وجب الاهتمام بها من قبل المتخصصين، كما أكدت عليه دراسة **Menano & et.al., (2019)** على أن دمج الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجالات الفنون والتصميم، يمكن الفنانين والمعلمين من استخدام أداة جديدة تماماً لتنمية إبداع الفني للفنانين وكذلك طلاب الفنون.

وفي ضوء ما سبق تكمن مشكلة البحث في دراسة أثر الملدنات "المولاس" والمواد الرابطة "الصمغ العربي" على فاعلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة) بمحاظفة قنا.

ويمكن تحديد مشكلة البحث في التساؤلات التالية:

١. ما أثر الملدنات "المولاس" والمواد الرابطة "الصمغ العربي" على فاعلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة) بمحاظفة قنا ؟

فرض البحث:

١. يوجد أثر للملدنات "المولاس" والمواد الرابطة "الصمغ العربي" على فاعلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة) بمحاظفة قنا.

هدف البحث:

١. قياس أثر الملدنات "المولاس" والمواد الرابطة "الصمغ العربي" على فاعلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة) بمحافظه قنا.

أهمية البحث:

١. القاء الضوء على تقنية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد التي لا تزال مصدر اهتمام الباحثين وموضوع حديث وفعال في تكنولوجيا الخامات والتشكيل الخزفي.

٢. يمكن أن تستفيد من معالجة طينة السيل (الحبيبة) بمحافظه قنا وفعاليتها للطباعة ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة) مؤسسات تعليم الفنون وتطوير الفنون والحرف كأداة لتنمية الصناعة المحلية والإبداع الفني.

٣. تقدم هذه الدراسة إطار نظري وأدوات يمكن توظيفهما لإجراء دراسات أخرى تتناول متغيرات جديدة غير المتغيرات التي تناولتها الدراسة الحالية. وفي ضوء ما تقدم يمكننا تحديد أهمية الدراسة فيما يلي:

١. الأهمية العلمية (النظرية):

١. يشكل البحث نموذجًا نظريًا لنظم معالجة الطينات في قابلية الطباعة ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة) بمحافظه قنا.

٢. يسهم في التعرف على آليات قياس قابلية الطباعة خزفية ثلاثية أبعاد.

٢. الأهمية العملية (التطبيقية):

١. تقديم توصيف وتحليل لطينة السيل (الحبيبة) بمحافظه قنا من حيث الخصائص الكيميائية والفيزيائية (الدونة).

٢. تأكيد أثر الملدنات "المولاس" والمواد الرابطة "الصمغ العربي" على فاعلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة) بمحافظه قنا.

٣. بيان فاعلية طينة السيل (الحبيبة) بمحافظه قنا في الطباعة الخزفية ثلاثية وعلاقتها بتطوير وتنمية إبداع الطالب والفنان.

٤. يساعد هذا البحث في تطور خامات وتكنولوجيا الإنتاج اللازمة لتقنية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد مما يتيح أفاق جديدة في مجال الخزف الفني والصناعي المحلي.

٥. للبحث أهمية اقتصادية تتضح من خلال استغلال خامات البيئة المحيطة.

محددات البحث:

تقتصر الدراسة الحالية على:

١. محددات موضوعية:

١. قياس أثر الملدنات "المولاس" والمواد الرابطة "الصمغ العربي" على فاعلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة) بمحافظه قنا.
٢. تنفيذ نموذج خزفي ثلاثي الأبعاد باستخدام طينة السيل (الحبيبة) بمحافظه قنا.

منهجية البحث:

يتبع البحث المنهج الوصفي والمنهج التجريبي في قياس أثر الملدنات "المولاس" والمواد الرابطة "الصمغ العربي" على فاعلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة) بمحافظه قنا.

مصطلحات البحث:**الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد Ceramics 3D Printing:**

وعرف (Klusáček, 2017) الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد على أنها "نوعاً من التكنولوجيا التي تولد منتجاً مباشراً من نموذج افتراضي عن طريق إضافة طبقة مادة فوق طبقة، ويتم تغذية المادة الخزفية لعملية الطباعة على شكل مسحوق أو معجون أو مُعلق". (p. 13)

وتعرفها الباحثة اجرائياً: بأنها تقنية إنتاج خزفيات معاصرة عن طريق وضع طبقات من طينة السيل "الحبيبة" بمحافظه قنا فوق بعضها البعض حتى يكتمل شكل الجسم الخزفي.

معالجة الطين clay Processing:

عرفها (Eramo, 2020) معالجة الطين بأنها "تحويل المادة الخام الأولية للطين إلى عجينة، أي أن تكون النتيجة النهائية للتعديل التركيبي / التكويني للطين من أجل الحصول على كتلة قابلة للتطبيق جاهزة للتشكيل". (p. 164)

كما عرفها عبد الجواد و آخرون، (٢٠١٥) بأنها "التجريب على خامة الطين بإضافة بعض المواد لمعالجة بعض خواص الطينات ومعالجة صعوبات التشكيل وإيجاد طرق تشكيلية جديدة تختلف عن طرق التشكيل التقليدية مما يسهل عملية التعبير عند الفنان". (ص ٣٤٢)

وتعرفها الباحثة اجرائياً: بأنها عملية تعديل وتحسين خواص طينة السيل (الحبيبة) بمحافظه قنا لكي تتوافق مع تقنية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لإنتاج خزفيات معاصرة.

الإطار النظري

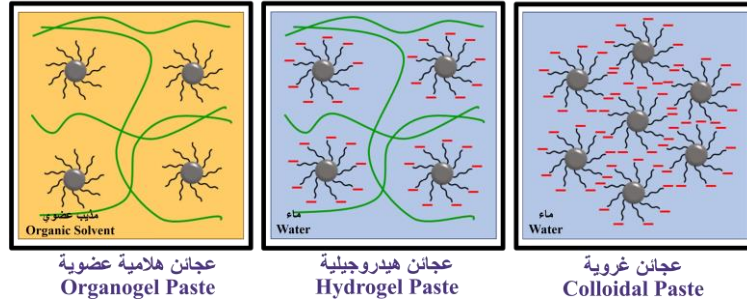
تتخذ معالجة المواد في الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد القائمة على البثق نهجين رئيسيين، يتمثل النهج الأول في المعالجة القائمة على الخصائص الريولوجية "الانسيابية" للمادة، أما النهج الثاني يتمثل في المعالجة القائمة على قابلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد 3D printability للعجائن الطينية.

أولاً: المعالجة القائمة على الخصائص الريولوجية "الانسيابية":

استُخدمت العجائن الطينية على نطاق واسع للعديد من تقنيات الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد القائمة على البثق لكونها تقدم سلوكاً لدناً يسمح بالبثق، وتتكون تلك العجائن من أنظمة متجانسة أو غير متجانسة من مواد صلبة، وماء، وإضافات، وتتكون المواد الصلبة عادة من الطين، والمخاليط غير الطينية، وقد تكون المواد المضافة عبارة عن ملدنات أو مشتتات بوليمرية حيث تحتوي العجائن الطينية على مكونات غير عضوية (مثل المعادن الطينية، والكوارتز، والفلسبار)، والماء، والمواد المضافة العضوية الأكثر شيوعاً (مثل الملدنات Plasticizers، والمميّعات Fluidizers، ومانع الرغوة Defoamers، والمزلقات Lubricants). (Stempkowska & et.al., 2017, p. 147)

تُظهر العجائن الطينية سلوكاً ريولوجياً معقداً، يرجع إلى خصائص الوسيط وتدفق العجينة هي عوامل أساسية لتحقيق الجودة في عملية التشكيل، وتؤثر أيضاً على الاحتفاظ بالشكل وقابلية البثق حيث يجب أن تكون العجائن الطينية خلال البثق لها القدرة على الاحتفاظ بالشكل، والدعم ذاتي؛ ولتحقيق ذلك بشكل مثالي، يجب أن تتصرف العجائن الطينية كسائل أثناء عملية البثق، وأن يُظهر سلوكاً مرناً بمجرد أن يكون في حالة سكون وتتوقف الضغوط المطبقة، وللحصول على هذا السلوك الريولوجي يتم اتباع نهجين رئيسيين في تحضير العجائن الطينية، وهما المعلقات الغروانية Colloidal Suspensions والمعلقات المضمنة بالهلام (Gel-Embedded Suspensions)، والتي تتضمن إما هيدروجيل (Hydrogel) أو على الهلام العضوي (organogel). (del-Mazo-Barbara & Ginebra, 2021)؛ والتي من خلالهما يمكن إنتاج ثلاثة أنواع رئيسية من عجائن غروية "Colloidal Paste"، وهيدروجيلية "Hydrogel Paste"، وهلامية عضوية "Organogel Paste". (Peng & et.al., 2018)

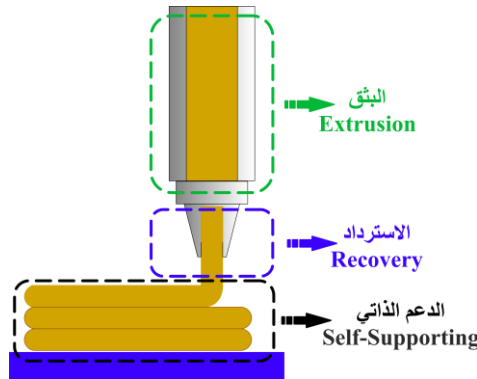
شكل (١).



شكل (١): أنواع العجانن الطينية.

تعد الريولوجيا للعجانن الطينية ذات أهمية كبرى في استقرار وصلابة النماذج المطبوعة؛ لذلك يجب دراسة وفهم المعاملات الأساسية التي تؤثر على ريولوجيا العجانن الطينية، كاللزوجة (μ) Viscosity، وإجهاد الخضوع Yield Stress (γ) ، ومعامل التخزين Storage (G') Modulus، ومعامل الفقد Loss Modulus (G'') ، والتي يجب مراعاتها في الريولوجيا للعجانن الطينية المحضرة، كما تحدد هذه الخصائص العجانن الطينية المناسبة لطباعة الهياكل المثالية. (Paul & et.al., 2023, p. 2)

ويمكن من خلال الخصائص الريولوجية للعجانن الطينية تقسيم عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد القائمة على البثق إلى ثلاث مراحل وهي البثق Extrusion، والاسترداد Recovery، والدعم الذاتي Self-Supporting - شكل (٢) - (Bercea, 2023)، (Liu & et.al., 2019)



شكل (٢): مراحل عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد وفق الخصائص الريولوجية.

آليات تحسين الخصائص الريولوجية للعجانن الطينية:

إن الريولوجيا "الانسيابية" الجيدة هي السلوك الذي تظهره العجانن الطينية، عند تصرفها كسائل ذو لدونة كاذبة Pseudoplastic Fluid، أو كسائل بينغهام Bingham Fluid، قابل للبثق عند ضغط منخفض وقادر على الحفاظ على شكله بعد عملية الترسيب (التشكيل). (Ordoñez & et.al., 2019, p. 2)

أ. معالجة خصائص العجانن الطينية:

يمكن تحقيق تحسين خصائص الريولوجيا للعجانن الطينية بطرق مختلفة، كالمعالجة القائمة على المُعدّلات Modifiers؛ فبعض النظر عن طريقة التشكيل، فإن الخصائص

الريولوجية للعجائن الطينية ذات أهمية كبيرة، وغالبًا ما تكون هذه الخصائص بعيدة المنال عن طريق الخلط الطبيعي لمواد الطين بالماء فقط؛ لذلك يتطلب تحقيق الخصائص الريولوجية "الانسيابية" ممارسات خاصة قائمة على استخدام المُعدِّلات Modifiers، كإضافات Additives للحصول على الخصائص الريولوجية المطلوبة.

تعتبر الإضافات مهمة جدًا في تحسين الخصائص المتنوعة للعجائن الطينية؛ كالخواص الحرارية والميكانيكية (Nigay & et.al., 2017, p. 375)، والريولوجيا "الانسيابية" (Teh & et.al., 2009, p. 3817)، والتفاعل بين الجسيمات (Leong & at.al., 2012, p. 658). ويعد استخدام الإضافات Additives، كالملدنات Plasticizers، والمواد الرابطة Dispersants، و مواد التكتيف Thickeners، ومُعد اللزوجة Viscosifier، ضروريًا لإضفاء خصائص ريولوجية محددة.

• **الملدنات Plasticizers:** تستخدم الملدنات Plasticizers لتحسين الخصائص الريولوجية "الانسيابية" للعجائن الطينية؛ كما تسهل عملية البثق، وتقلل من محتوى الماء، مما يزيد من جودة المنتج والكفاءة الاقتصادية لعملية التصنيع. (Turlova & et.al., 2012, p. 92). فالجلسرين Glycerol لديه إمكانية العمل كملدنات في العجائن الطينية، حيث يقلل الاحتكاك في العجائن الطينية عن طريق التليين، وكذلك إنتاج سطح أفضل للأجزاء المطبوعة. (Hossain & et.al., 2023, p. 4867)، (Kim & et.al., 2020, p. 2)

• **المواد الرابطة Binder:** يعتبر الصمغ العربي مادة عضوية متاحة على نطاق واسع (بوليمر حيوي)؛ ويعد استخدام المواد الرابطة، ضروريًا لصياغة العجائن الطينية مترابطة جيدًا؛ حيث يساعد استخدام الصمغ العربي على جعل العجائن الطينية أكثر مرونة. ويساعد أيضًا تقادي التشقق أثناء التشكيل، وجعل الجسم الخزفي أكثر صلابة عندما يجف. (Rimbarngaye, et.al., 2022, pp.1-2)

ثانيًا: قابلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد Ceramics 3D printability:

صاغت العديد من الدراسات مؤخرًا منها (Kim & et.al., 2019, p. 2354) و (Li & et.al., 2016, p. 55) مصطلح "قابلية الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D Printability"، لوصف هذه العلاقات المعقدة غير الخطية بين ريولوجيا العجائن الطينية وقابلية الانبثاق وإمكانية الاحتفاظ بالشكل أثناء الترسيب ومعاملات المعالجة.

حيث عرف (Hou & et.al., 2021, p. 2) قابلية الطباعة ثلاثية الأبعاد بأنها قدرة المادة على البثق بشكل مستمر والترسب مع تشوه معين قبل الإعداد، وعرفها Nerella &

(2019) Mechtcherine بأنها مزيج من القدرة على الضخ Pumpability وقابلية البثق Extrudability وقابلية البناء Buildability. (p. 338).

حيث تُعرّف قابلية الضخ Pumpability بأنها قدرة المادة على التدفق عبر أنبوب تحت الضغط مع الحفاظ على خصائصها الأولية (Nair & et.al., 2020, p. 2). وتُعرّف قابلية البثق Extrudability: على أنها القدرة على نقل المادة من خلال جيب تغذية الطارد ونظام الضخ إلى الفوهة حيث تبتثق كخيوط مستمر (Le & et.al., 2012, p. 1222). وتشير قابلية البناء Buildability: إلى قدرة المادة على الاحتفاظ بشكلها المبتثق ومقاومتها للتشوه تحت التحميل (Long & et.al., 2019, p. 2)؛ وهي قدرة الخيط المطبوع على الحفاظ على شكله بعد البثق وعدم تشوّهه تحت وطأة الطبقات المترسبة. (Al-Tamimi & et.al., 2023, p.5)

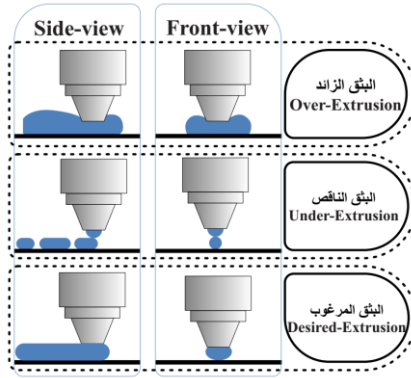
قياس قابلية الطباعة 3D printability للعجائن الطينية:

١. قياس قابلية البثق Extrudability:

يجب أن يكون للعجائن الطينية الناجحة قدرة على البثق بشكل مستمر متحكم فيه (Paul & et.al., 2023, p. 3). ويتم إجراء اختبارات قابلية البثق باستخدام طباعة الخيط Line Printing لتقييم جودة المواد المطبوعة، ويمكن تصنيف حالات البثق إلى ثلاث حالات مختلفة كالبثق الزائد Over-Extrusion إذا كان سمك الخط أكبر بكثير من قطر الفوهة، سوف ينتفخ الجسم وستفقد التفاصيل الدقيقة للتصميم، وستعمل الفوهة أيضاً على تسطيح الخط والسحب عبر المناطق المطبوعة مسبقاً؛ والبثق الناقص Under-Extrusion إذا لم يكن هناك خط مستمر، ويكون الخط المطبوع متقطع لأن الفوهة تتحرك بسرعة كبيرة ولا ينبثق الملاط/المعاجين بمقدار كافٍ؛ والبثق المرغوب فيه Desired-Extrusion إذا كان عرض الخط المطبوع يساوي أو أكبر قليلاً من قطر الفوهة؛ يكون مرغوب فيه لأن الخط السميك قليلاً يساعد في الالتصاق بين الطبقات المطبوعة- شكل (٣):

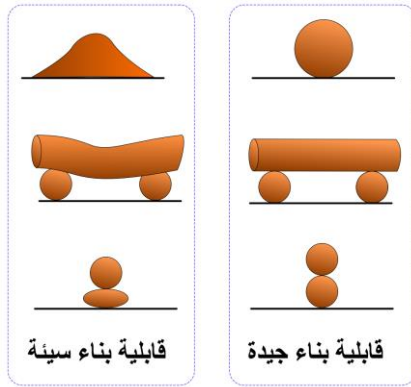
٢. قياس قابلية البناء Buildability:

أشارت دراسة كلاً من (Buswell & et.al., 2018)، و (Panda & et.al., 2019)، إلى أنه يمكن تقييم قابلية الطباعة من حيث تشوه المكونات المطبوعة، شكل (٤)، في عدد معين من الطبقات وهو ما يعرف بقابلية البناء Buildability.



شكل (٣): اختبار طباعة الخط Line Printing

.Test



شكل (٤): قابلية البناء Buildability.

الإطار التطبيقي للبحث:

لتحقيق الفرض الأول من البحث ونصه "يوجد أثر الملدنات "المولاس" والمواد الرابطة "الصمغ العربي" على فاعلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة)", حيث يتطلب ثلاث إجراءات، كالتالي:

الإجراء الأول: توصيف وتحليل طينة السيل "الحبيبة" بمحاظفة فنا:

يتضمن توصيف وتحليل طينة السيل "الحبيبة" بمحاظفة فنا-شكل (٥)-على الخصائص الكيميائية والفيزيائية (اللدونة) لها عن طريق:



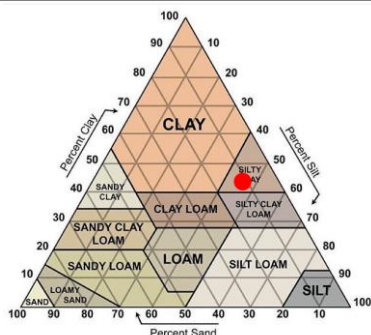
شكل (٥): طينة السيل "الحبيبة" بمحاظفة فنا

(أ). تصنيف نسيج التربة:

تم تحديد تصنيف الطين ونسيج التربة من خلال النسب المئوية من الرمل والطين والطين

لعينة من طينة السيل "الحبيبة" بمحافظة قنا ، وفق نظام وزارة الزراعة الأمريكية (USDA)، وتتضح النتائج في الجدول (١).

جدول (١): وصف وتصنيف نسيج التربة لطينة السيل "الحبيبة" بمحافظة قنا وفق (USDA).



مكونات التربة	طينة السيل
طين	%٤٤,٦
طمي	%٤٣,٥
رمل	%١١,٩
تصنيف نسيج التربة	طين طمي

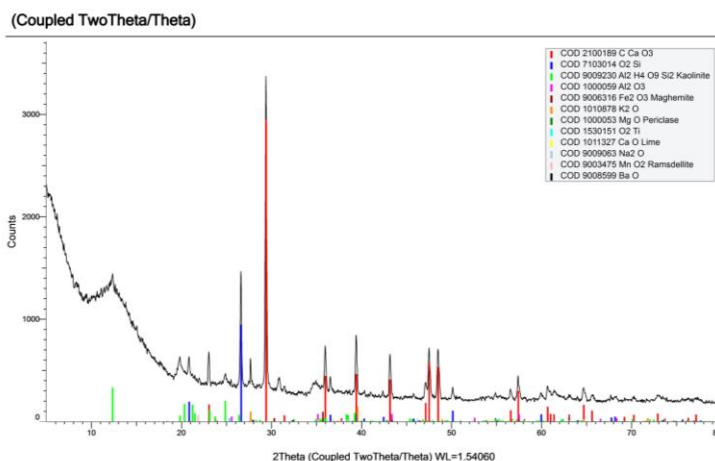
(ب). الخصائص الكيميائية لطينة السيل "الحبيبة" بمحافظة قنا:

تم إجراء التحليل الكيميائي لطينة السيل "الحبيبة" بمحافظة قنا باستخدام مطيافية تشتت الطاقة بالأشعة السينية (ED-XRF) والفقد الناتج عن اشتعال (حرق) لعينات الطين السيلي عند ١٠٠٠ م° وتتضح النتائج في الجدول (٢).

جدول (٢): التحليل الكيميائي (ED-XRF) لطينة السيل "الحبيبة" بمحافظة قنا (نسبة مئوية بالوزن)

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	Cl	SrO	MnO	LOI
32.73	40.08	11.59	8.98	2.33	1.30	0.69	0.72	1.15	0.13	0.12	0.15	0.073

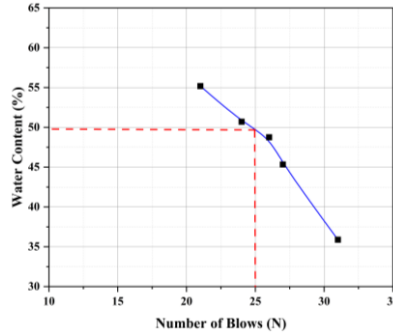
يتضح من جدول (٢)، أن طينة السيل "الحبيبة" غنية بالسيليكا تليها كميات أقل من أكسيد الكالسيوم "الجير الحي" والألومينا وأكسيد الحديد الثنائي وآثار من أكاسيد العناصر الأخرى. ويؤكد ذلك دراسة البلورات بالأشعة السينية من خلال تحليل حيود الأشعة السينية X Ray Diffraction Analysis (XRD) لعينة طينة السيل "الحبيبة" بمحافظة قنا- شكل (٦).



شكل (٦): مخطط نتائج تحليل XRD لعينة طينة السيل "الحبيبة" بمحافظة قنا.

(ج). الخصائص الفيزيائية (اللدونة والسيولة) لطينة السيل "الحبيبة" بمحافظة قنا:

تم قياس حد السيولة، وحد اللدونة، ومؤشر اللدونة، ومؤشر فاعلية الطين، وجاءت النتائج في - شكل (٧)، وجدول (٣):



شكل (٧): منحنى حد السيولة لطينة السيل "الحبيبة" بمحافظة قنا.

جدول (٣): نتائج قياس خصائص اللدونة والسيولة لعينة طينة السيل "الحبيبة" بمحافظة قنا.

النتائج	القانون	مصدر الاختبار	الكثافة الظاهرية
٥٠,١	—————	ASTM D4318-17	حد السيولة
متوسط	—————		حد اللدونة
١٦,٢	—————	(Mukherjee, 2013)	مؤشر اللدونة
٣٣,٩	$PI = LL - PL$		مرتفع
٠,٧٦	$AI = \frac{PI}{Clay\ fraction\ (\%)}$	Asuri & Keshavamurthy, (2016)	فاعلية الطين
طين عادي			

حيث:

PI مؤشر اللدونة LL حد السيولة PL حد اللدونة

يتضح من جدول (٣) أن طينة "السيل" بمؤشر لدونة مرتفع بلغ (٣٣,٩) وبحد سيولة متوسط بلغ (٥٠,١) وحد لدونة (١٦,٢).

الإجراء الثاني: تجريب طينة السيل "الحبيبة" بمحافظة قنا للطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد:

تتضمن إستراتيجية تجريب طينة السيل "الحبيبة" بمحافظة قنا للطباعة ثلاثية الأبعاد على إجراء اختبارات قابلية الطباعة 3D printability، وذلك مع مراعاة خصائصها الريولوجية.

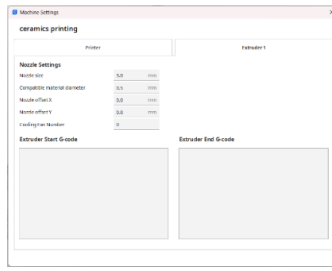
خطوات إعداد طينة السيل "الحبيبة" بمحافظة قنا للطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد:

أولاً: تحضير الخامات:

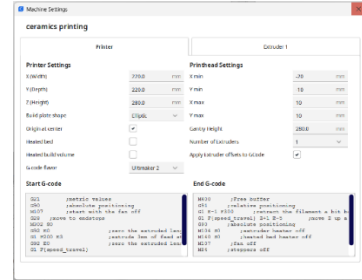
تنقى طينة السيل من الشوائب ثم تغسل وتخل بمخل ASTM #40 sieve (425µm) وتوضع في حوض من الجص للتخلص من الماء الزائد ثم عجنها وتخزينها حتى تتخمر للحصول على طينة قابلة للتشكيل.

ثانياً: تحضير برنامج حساب مسار الطباعة:

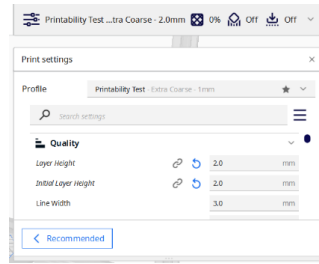
تُعرف عملية حساب مسار الطباعة بناءً على ملف نموذج ثلاثي الأبعاد باسم التقطيع Slicing، ومن أمثلة برامج التقطيع 3D Slicing Software واستخدمًا برنامج Ultimaker Cura- شكل (٨)، الطابعة ثلاثية الأبعاد المصممة والمنفذة من قبل الباحثة- شكل (٩).



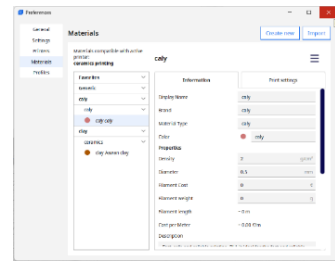
إعداد ملف تعريف وحدة البثق



إعداد ملف تعريف الطابعة



إعداد ملف تعريف الطباعة



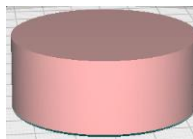
إعداد ملف تعريف المادة (الطين)

شكل (٩): الطابعة الخزفية ثلاثية الأبعاد المصممة والمنفذة من قبل الباحثة.

شكل (٨): تحضير برنامج حساب مسار الطباعة.

ثالثاً: تحضير النموذج القياسي للتجربة:

تم تصميم نموذج ثلاثي أبعاد لشكل أسطواني بقطر (٥ سم) وارتفاع (٢ سم)، شكل (١٠)، من خلال برامج إنشاء النموذج الافتراضي 3D Modeling Software ببرنامج Blender.



شكل (١٠): النموذج القياسي للتجربة.

رابعاً: ضبط معاملات الطباعة:

تم ضبط معاملات الطباعة لإنتاج نموذج خزفي ثلاثي الأبعاد باستخدام الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد كما هو موضح في جدول (٤).

جدول (٤): معاملات الطباعة.

Experiment parameters			
Injector		Wall Speed (m/s)	10
Injector Speed	1	Travel Speed (m/s)	120
extrusion Setting		Initial Layer Speed (m/s)	10
Nozzle (mm)	3	Initial Layer Print Speed (m/s)	10
Printing Setting		Travel	
Quality		Enable Retraction	<input checked="" type="checkbox"/>
Layer Height (mm)	1	Combing Mode	All
Initial Layer Height (mm)	1	Z Hop When Retracted	<input checked="" type="checkbox"/>
Line width (mm)	3	Z Hop Height (mm)	0.9
Wall line width (mm)	3	Build Plate Adhesion	
Initial Layer Line width (%)	100	Mesh Fixes	
Walls		Union Overlapping Volumes	<input checked="" type="checkbox"/>
Wall Thickness (mm)	3	Merged Meshes Overlap (mm)	0.15
Wall Line Count	1	Remove Empty First Layers	<input checked="" type="checkbox"/>
Infill		Maximum Resolution	0.5
Infill Density (%)	0	Special Modes	
Material		Surface Mode	Normal
Wall Flow (%)	100	Experimental	
Initial Layer Flow (%)	100	Use Adaptive Layers	<input checked="" type="checkbox"/>
Speed		Overhanging Wall Angle (%)	90
Print Speed (m/s)	10	Overhanging Wall Speed (%)	100
Infill Speed (m/s)	10		

تقييم قابلية الطباعة لطينة السيل "الحبيبة" بمحاظرة قنا:

يشمل تقييم قابلية الطباعة 3D printability على تقييم قابلية الضخ Pumpability وقابلية البثق Extrudability وقابلية البناء Buildability، شكل (٣، ٤) ويتم تصنيف قابلية البناء وفق مقياس (ليكرت) الثلاثي (عالي، متوسطة، ضعيف) تقابله الدرجات (٣-٢-١) على الترتيب.

تقييم الخصائص الريولوجية:

يشمل تقييم الخصائص الريولوجية على وصف سلوك طينة السيل (الحبيبة) خلال مراحل عملية الطباعة، شكل (٢)، وتتمثل تلك المراحل في البثق Extrusion، الاسترداد Recovery، الدعم الذاتي Self-Supporting؛ ويتم تصنيف الخصائص الريولوجية في كل مرحلة وفق مقياس (ليكرت) الثلاثي (عالي، متوسطة، ضعيف) تقابله الدرجات (٣-٢-١) على الترتيب لكل مرحلة.

تحديد درجة القطع:

لتحديد درجة القطع تم تحديد طول الخلايا في مقياس ليكرت الثلاثي من خلال حساب المدى بين درجات المقياس (٣-١=٢) ومن ثم قسمته على أكبر قيمة في المقياس للحصول على طول الخلية (٣/٢=١.٦٦) وبعد ذلك تم إضافة هذه القيمة إلى أقل قيمة في المقياس (بداية المقياس وهي واحد صحيح) وذلك لتحديد الحد الأعلى لهذه الخلية، وهكذا أصبح طول الخلايا كما هو موضح في جدول (٥).

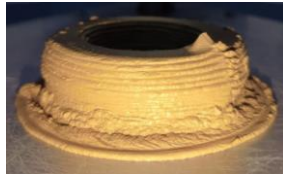
جدول (٥): تحديد درجة القطع.

التقييم	الوزن النسبي	المتوسط الحسابي
ضعيفة	من ٣٣% - ٥٥%	من ١,٠٠ - ١,٦٦
متوسطة	أكبر من ٥٥% - ٧٧%	٢,٣٢ - ١,٦٦
جيدة	أكبر من ٧٧% - ١٠٠%	٣,٠٠ - ٢,٦٠

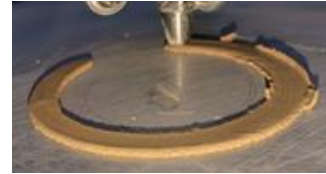
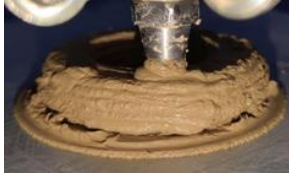
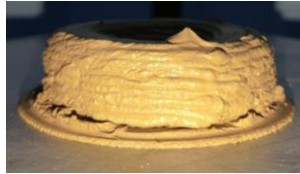
نتائج تجريب طينة السيل "الحبيبة" بمحافظة قنا للطباعة الخزفية ثلاثية الابعاد قبل المعالجة:

جاءت نتائج تجريب عينات طينة السيل (الحبيبة) للطباعة ثلاثية الابعاد، شكل (١١)،

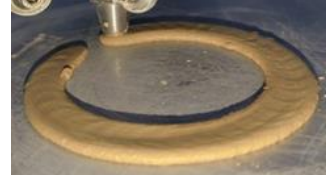
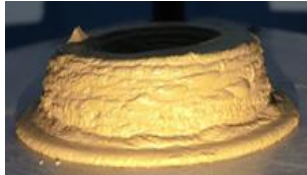
(١٢)، كما هو موضح في جدول (٦).



عينة (I) طينة السيل.



عينة (II) طينة السيل.



عينة (III) طينة السيل.

شكل (١١): نتائج تجريب عينات طينة السيل للطباعة قبل المعالجة.



شكل (١٢): نتائج اختبار قابلية الضخ لعينات طينة السيل قبل المعالجة.

جدول (٦): نتائج اختبار قابلية الطباعة لعينات طينة السيل قبل المعالجة.

التقييم	المتوسط	رقم العينة			الاختبارات	
		III	II	I		
ضعيفة	١,٣٣	٢	٢	٢	قابلية الضخ	تقييم قابلية الطباعة
		١	١	١	قابلية البثق	
		١	١	١	قابلية البناء	
		١,٣٣	١,٣٣	١,٣٣	متوسط قابلية الطباعة	
		ضعيفة	ضعيفة	ضعيفة	متوسط تقييم قابلية الطباعة	
ضعيفة	١,٢٢	١	١	٢	البثق	تقييم الخصائص الريولوجية
		١	١	٢	الاسترداد	
		١	١	١	الدعم الذاتي	
		١,٠٠	١,٠٠	١,٦٧	متوسط الخصائص الريولوجية	
		ضعيفة	ضعيفة	جيدة	متوسط تقييم الخصائص الريولوجية	

في ضوء جدول (٦)، يتضح أن المتوسط الإجمالي لتقييم قابلية الطباعة لعينات طينة السيل بلغ (١.٣٣) بتقييم ضعيفة، حيث جاءت جميع العينات بتقييم قابلية الطباعة ضعيفة؛ بينما المتوسط الإجمالي لتقييم الخصائص الريولوجية لعينات طينة السيل بلغ (١.٢٢) بتقييم ضعيفة، حيث جاءت العينات (III، II) بخصائص ريولوجية ضعيفة وجاءت العينة (I) بخصائص ريولوجية جيدة.

وتعزو الباحثة ذلك إلى أنه على الرغم من أن خصائص اللدونة والسيولة لطينة السيل في توصيف وتحليل الطين كما هو موضح في جدول (٣)، حيث بلغ مؤشر اللدونة (٣٣.٩) بمؤشر لدونة مرتفع، وفاعلية الطين بلغت (٠,٧٦) بمؤشر فاعلية طين عادي، إلا أن نسيج التربة لطينة السيل نسيج "طين طمي" يؤثر على سلوك الطين خلال الضخ مما نتج عنه حدوث هجرة للطور السائل، والذي بدوره انعكس على قابلية الطباعة والخصائص الريولوجية، ونستنتج أن طينة السيل في حالتها الطبيعية تحتاج إلى مزيد من المعالجات لزيادة فاعليتها في الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد حيث تحتاج إلى المعالجة القائمة على المُعدّلات.

معالجة طينة السيل "الحبيبة" القائمة على المُعدّلات للطباعة ثلاثية الأبعاد:

تقوم المعالجة القائمة على المُعدّلات من خلال الإضافات Additives للحصول على الخصائص الريولوجية المطلوبة، وتم في الدراسة الحالية من خلال الإضافات التالية:

أولاً: المعالجة القائمة على الملدنات *Plasticizers*:

تستخدم الملدنات لتحسين الخصائص الريولوجية "الانسيابية" للعجائن الطينية؛ كما تسهل عملية البثق، وتقلل من محتوى الماء، مما يزيد من جودة المنتج والكفاءة الاقتصادية لعملية

التصنيع حيث أن المولاس "دبس السكر" لديه إمكانية العمل كملدن، فيقلل الاحتكاك عن طريق التليين، وتتم المعالجة القائمة على الملدنات من خلال الإجراءات التالية:

أ. تحضير المواد: تم طحن طينة السيل ونخلها بمنخل ASTM #40 sieve (425µm) ثم إضافة المولاس Molasses، شكل (١٣)، بنسبة (٠,٥%) بالوزن إلى الماء ويترك معجون طينة السيل لمدة ٤٨ ساعة ليتخمر، وأخيراً تجهز الطينة وتعجن وسيط مائي (الماء) بمحتوى رطوبة (٣٠%)، ثم إيداعها بوحدة تغذية المواد.

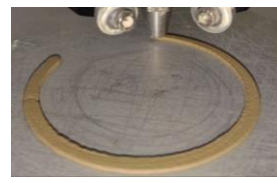
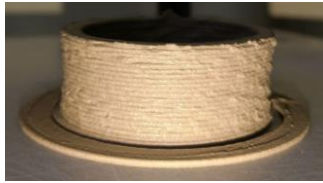
ب. ضبط معاملات الطباعة: تم ضبط معاملات الطباعة لتجارب العينات بعد إضافة الملدنات، وتنفيذ ثلاث عينات وفق متغير ارتفاع الطبقة، كما هو موضح في جدول (٧)، حتى يتسنى المقارنة وتحديد ما إن كان هناك تحسن أو عدمه.



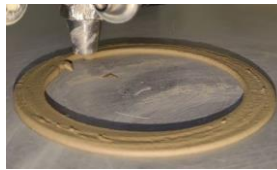
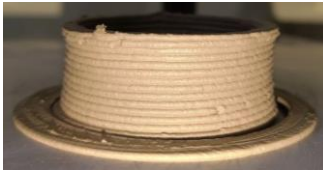
شكل (١٣): الملدنات "المولاس".

نتائج المعالجة القائمة على الملدنات Plasticizers:

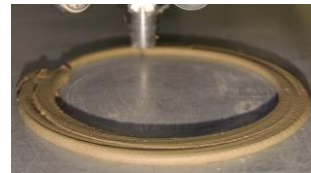
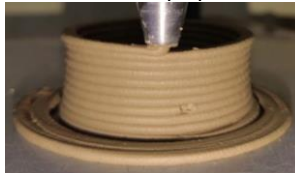
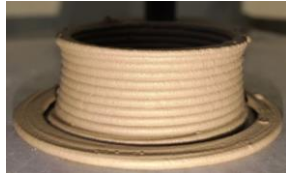
تم إجراء التجارب لعينات طينة السيل (الحبيبة) بعد المعالجة القائمة على الملدنات، في ضوء التحضيرات السابقة، وجاءت النتائج كما هو موضح في شكل (١٤)، و جدول (٧).



عينة (I) طينة السيل.



عينة (II) طينة السيل.



عينة (III) طينة السيل.

شكل (١٤): نتائج تجريب عينات طينة السيل للطباعة بعد المعالجة القائمة على الملدنات.



شكل (١٥): نتائج اختبار قابلية الضخ لطينة السيل بعد المعالجة القائمة على الملدنات.
جدول (٧): نتائج اختبار قابلية الطباعة لعينات طينة السيل بعد المعالجة القائمة على الملدنات.

التقييم	المتوسط	رقم العينة			الاختبارات	
		III	II	I		
جيدة	٢,٥٦	٣	٣	٣	قابلية الضخ	تقييم قابلية الطباعة
		٢	٢	٢	قابلية البثق	
		٣	٣	٢	قابلية البناء	
		٢,٦٧	٢,٦٧	٢,٣٣	متوسط قابلية الطباعة	
		جيدة	جيدة	جيدة	متوسط تقييم قابلية الطباعة	
جيدة	٢,٤٤	٣	٣	٣	البثق	تقييم الخصائص الريولوجية
		٣	٣	١	الاسترداد	
		٢	٢	٢	الدعم الذاتي	
		٢,٦٧	٢,٦٧	٢,٠٠	متوسط الخصائص الريولوجية	
		جيدة	جيدة	متوسطة	متوسط تقييم الخصائص الريولوجية	

في ضوء جدول (٧)، يتضح أن المتوسط الإجمالي لتقييم قابلية الطباعة لعينات طينة السيل بلغ (٢,٥٦) بتقييم **جيدة**، حيث جاءت جميع العينات بتقييم قابلية الطباعة **جيدة**؛ بينما المتوسط الإجمالي لتقييم الخصائص الريولوجية لعينات طينة السيل بلغ (٢,٤٤) بتقييم **جيدة**، حيث جاءت العينات (II، III) بخصائص ريولوجية **جيدة** وجاءت العينة (I) بخصائص ريولوجية متوسطة.

ونستنتج من ذلك أثر استخدام الملدنات "المولاس" لطينة السيل على فاعلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد.

ثانياً: المعالجة القائمة على المواد الرابطة Dispersants:

يعد استخدام المواد الرابطة المناسبة ضرورياً لصياغة العجائن الطينية متجانسة ومشتتة جيداً كالصمغ العربي على جعلها مشتتة بشكل كافٍ وذات سيولة جيدة وخصائص لزوجة ومرونة مناسبة.

أ. تحضير المواد: تم طحن طينة السيل ونخلها بمنخل (425µm) ASTM #40 sieve ثم إضافة المواد الرابطة "الصمغ العربي"، شكل (١٦)، بنسبة (٠,٥%) بالوزن إلى الماء ويترك

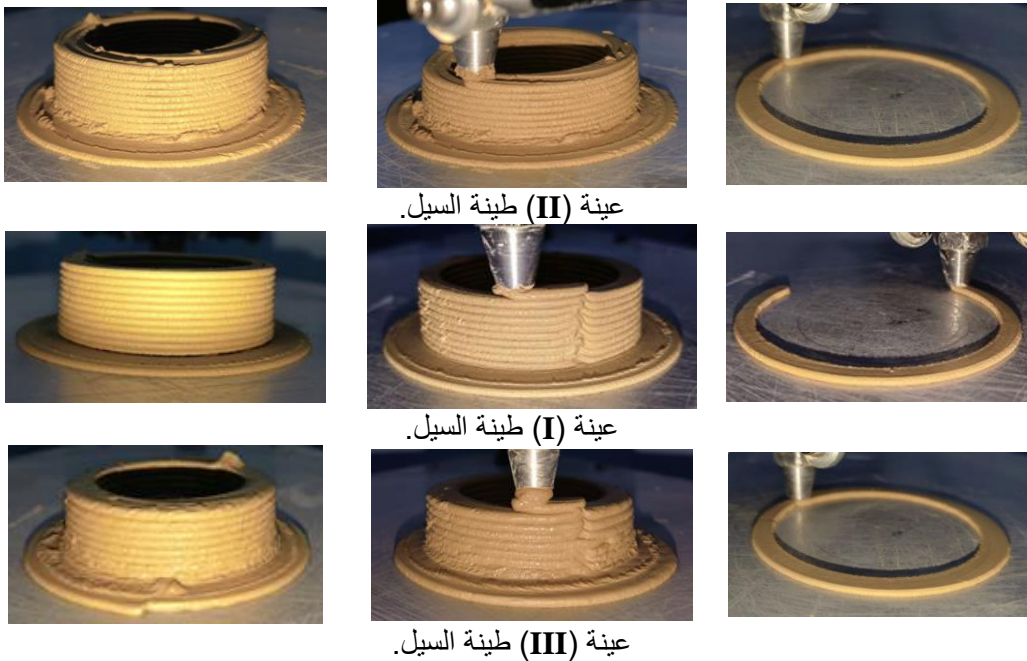
معجون طينة السيل لمدة ٤٨ ساعة ليتخمر، وأخيراً تجهز الطينة وتعجن بوسيط مائي (الماء) بمحتوى رطوبة (٣٠٪)، ثم إيداعها بوحدة تغذية المواد.
 ب. ضبط معاملات الطباعة: تم ضبط معاملات الطباعة لتجارب العينات بعد إضافة المواد الرابطة، وتم تنفيذ ثلاث عينات وفق متغير ارتفاع الطبقة، كما هو موضح في جدول (٨)، حتى يتسنى المقارنة وتحديد ما إن كان هناك تحسن أو عدمه.



شكل (١٦): المواد الرابطة "الصمغ العربي".

نتائج المعالجة القائمة على المواد الرابطة Dispersants:

تم إجراء التجارب لعينات طينة السيل (الحبيبة) بعد المعالجة القائمة على المواد الرابطة Dispersants، في ضوء التحضيرات السابقة، وجاءت النتائج كما هو موضح في شكل (١٧)، و جدول (٨).



شكل (١٧): نتائج تجريب عينات طينة السيل للطباعة بعد المعالجة القائمة على المواد الرابطة.



شكل (١٨): نتائج قابلية الضخ لعينات طينة السيل بعد المعالجة القائمة على المواد الرابطة.

جدول (٨): نتائج اختبار قابلية الطباعة لعينات طينة السيل بعد المعالجة القائمة على المواد الرابطة.

التقييم	المتوسط	رقم العينة			الاختبارات	
		III	II	I		
جيدة	٢,٦٧	٣	٣	٣	قابلية الضخ	تقييم قابلية الطباعة
		٢	٣	٢	قابلية البثق	
		٣	٣	٢	قابلية البناء	
		٢,٦٧	٣	٢,٣٣	متوسط قابلية الطباعة	
		جيدة	جيدة	جيدة	متوسط تقييم قابلية الطباعة	
جيدة	٢,٥٦	٣	٣	٣	البثق	تقييم الخصائص الريولوجية
		٣	٣	٢	الاسترداد	
		٢	٢	٢	الدعم الذاتي	
		٢,٦٧	٢,٦٧	٢,٣٣	متوسط الخصائص الريولوجية	
		جيدة	جيدة	جيدة	متوسط تقييم الخصائص الريولوجية	

في ضوء جدول (٨)، يتضح أن المتوسط الإجمالي لتقييم قابلية الطباعة لعينات طينة السيل بلغ (٢,٦٧) بتقييم جيدة، حيث جاءت جميع العينات بخصائص ريولوجية جيدة؛ بينما المتوسط الإجمالي لتقييم الخصائص الريولوجية لعينات طينة السيل بلغ (٢,٥٦) بتقييم جيدة، حيث جاءت جميع العينات بخصائص ريولوجية جيدة.

ونستنتج من ذلك أثر استخدام المواد الرابطة "الصمغ العربي" لطينة السيل على فاعلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد.

ثالثاً: المعالجة القائمة على الملدنات والمواد الرابطة معاً:

تقوم المعالجة القائمة على الملدنات والمواد الرابطة معاً على الجمع بين الملدنات والمواد الرابطة للحصول على الخصائص الريولوجية المطلوبة، ويتم ذلك من خلال الإجراءات التالية:

أ. تحضير المواد: تم إضافة المُعدّلات الملدنات "المولاس" بنسبة (٠,٥٪)، والمواد الرابطة "الصمغ العربي" بنسبة (٠,٥٪) بالوزن إلى الماء ويترك ملاط/ معجون طينة السيل لمدة ٤٨ ساعة ليتخمر، وأخيراً تجهز الطينيات وتعجن وسيط مائي (الماء) بمحتوى رطوبة (٣٠٪)، وإيداعها بوحدة تغذية المواد.

ب. ضبط معاملات الطباعة: تم ضبط معاملات الطباعة لتجارب العينات بعد المعالجة القائمة على الملدنات والمواد الرابطة معاً، وتم إجراء ثلاث عينات وفق إعدادات ملف تعريف الطباعة قبل المعالجة، كما هو موضح في جدول (٤)، حتى يتسنى المقارنة وتحديد ما إن كان هناك تحسن أو عدمه.

نتائج المعالجة القائمة على الملدنات والمواد الرابطة معاً:

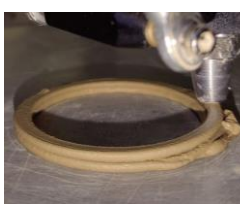
تم إجراء التجارب لعينات طينة السيل للمعالجة القائمة على الملدنات والمواد الرابطة معاً في ضوء التحضيرات السابقة، وجاءت النتائج كما هو موضح في شكل (١٩)، وجدول (٩).



عينة (I) طينة السيل.



عينة (II) طينة السيل.



عينة (III) طينة السيل.

شكل (١٩): نتائج تجريب عينات طينة السيل للطباعة بعد المعالجة القائمة على الملدنات والمواد الرابطة معاً.



شكل (٢٠): نتائج اختبار قابلية الضخ لعينات طينة السيل بعد المعالجة القائمة على الملدنات والمواد الرابطة معاً.

جدول (٩): نتائج اختبار قابلية الطباعة لعينات طينة السيل بعد المعالجة القائمة على الملدنات والمواد الرابطة معاً.

التقييم	المتوسط	رقم العينة			الاختبارات	
		III	II	I		
جيدة	٢,٨٩	٣	٣	٣	قابلية الضخ	تقييم قابلية الطباعة
		٣	٣	٣	قابلية البثق	
		٣	٣	٢	قابلية البناء	
		٢,٠٠	٣,٠٠	٢,٦٧	متوسط قابلية الطباعة	
		جيدة	جيدة	جيدة	متوسط تقييم قابلية الطباعة	
جيدة	٣,٠٠	٣	٣	٣	البثق	تقييم
		٣	٣	٣	الاسترداد	

		٣	٣	٣	الدعم الذاتي	الخصائص الريولوجية
		٣,٠٠	٣,٠٠	٣,٠٠	متوسط الخصائص الريولوجية	
		جيدة	جيدة	جيدة	متوسط تقييم الخصائص الريولوجية	

في ضوء جدول (٩)، يتضح أن المتوسط الإجمالي لتقييم قابلية الطباعة لعينات طينة السيل بلغ (٢,٨٩) بتقييم قابلية طباعة جيدة، حيث جاءت جميع العينات بقابلية طباعة جيدة؛ بينما المتوسط الإجمالي لتقييم الخصائص الريولوجية لعينات طينة السيل بلغ (٣,٠٠) بتقييم خصائص ريولوجية جيدة، حيث جاءت جميع العينات بخصائص ريولوجية جيدة.

ونستنتج من ذلك أثر استخدام الملدنات والمواد الرابطة معاً لطينة السيل في تحسين جودة الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد.

نتائج التحليل الإحصائي:

للتحقق من صحة فرض البحث والذي ينص على:

"يوجد أثر الملدنات "المولاس" والمواد الرابطة "الصمغ العربي" على فاعلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة) بمحاظفة قنا.

وللتحقق من صحة هذا الفرض تم حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لدرجات نتائج تجريب طينة السيل للطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد، حيث تم حساب حجم التأثير باستخدام المعادلة المعدة لذلك من خلال برنامج (SPSS)، وجاءت النتائج كما هو موضح في جدول (١٠).

جدول (١٠): نتائج قياس أثر المعالجة طينة السيل.

المعالجات	الأثر (2η)
الملدنات "المولاس"	٠,٩٩١
المواد الرابطة "الصمغ العربي"	٠,٩٩٧
المواد الرابطة والملدنات معاً	٠,٩٩٨

وبالرجوع إلى مستويات حجم التأثير الموضحة بجدول (١١). (الدريد، ٢٠٠٦، ص ٧٩-٨٠)

جدول (١١): تحديد مستويات حجم التأثير.

المؤشر	منخفض	متوسط	كبير	كبير جداً
(2η) مربع ايتا	٠.٠٠١	٠.٠٠٦	٠.١٥	٠.٢٠

يتضح من بيانات جدول (١٠، ١١) أن قيمة الأثر (2η) لمعالجات طينة السيل وفق نتائج تجريب الطينات المحلية للطباعة ثلاثية الأبعاد، للمعالجة القائمة على الملدنات "المولاس" بلغت (٠,٩٩١)، والمعالجة القائمة على المواد الرابطة "الصمغ العربي" بلغت (٠,٩٩٧)،

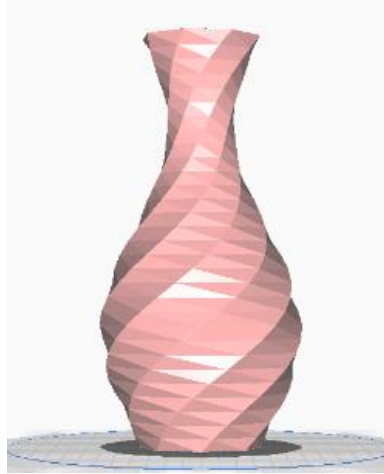
والمعالجة القائمة على المواد الرابطة والملدنات معًا بلغت (٠,٩٩٨)، جميعها أكبر من القيمة الموضحة في الجدول المرجعي لتحديد مستويات حجم التأثير (٠.٢٠)، مما يثبت أنه يوجد أثر للملدنات "المولاس" والمواد الرابطة "الصمغ العربي" على فاعلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة) بمحافظة قنا.

الإجراء الثالث: تنفيذ نموذج خزفي ثلاثي الأبعاد باستخدام طينة السيل (الحبيبة) بمحافظة قنا:

تم تنفيذ نموذج خزفي معاصر ثلاثي الأبعاد من طينة السيل (الحبيبة) المعالجة بالملدنات والمواد الرابطة معًا من خلال الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد، ويشمل هذا الإجراء على:

أ. **تحضيرات المواد:** تم تحضير الطينيات وفق إجراءات المعالجة القائمة على الملدنات والمواد الرابطة معًا.

ب. **تحضير النموذج:** تم تصميم نموذج خزفي معاصر ثلاثي الأبعاد لإناء حلزوني مضلع بقطر ١٠ سم، وارتفاع ٢٠ سم، شكل (٢١)، من خلال برامج برنامج Blender.



شكل (٢١): نموذج ثلاثي الأبعاد لإناء خزفي حلزوني.

ج. **ضبط معاملات الطباعة:** وفق إعدادات ملف تعريف الطباعة قبل المعالجة، كما هو موضح في جدول (٤).

إنتاج النموذج الخزفي ثلاثي الأبعاد:

تم تنفيذ نموذج خزفي معاصر ثلاثي الأبعاد باستخدام الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد، واستغرقت عملية الطباعة ساعة و ٢٠ دقيقة ويوضح شكل (٢٢)، خطوات تنفيذ هذا النموذج:



شكل (٢٢): خطوات تنفيذ نموذج خزفي معاصر ثلاثي الأبعاد

الحرق والطلاء الزجاجي للنموذج الخزفي ثلاثي الأبعاد:

تم تنفيذ الحرق والطلاء الزجاجي للنموذج الخزفي ثلاثي الأبعاد المطبوع باستخدام الطابعة الخزفية ثلاثية الأبعاد، وتتمثل إجراءات المعالجة البعدية في التالي:

١. حرق البسكويت: تمت عملية الحرق باستخدام فرن كهربائي عند درجة حرارة (1000°C) .

٢. الطلاء الزجاجي: تم تطبيق طلاء زجاجي ذو بريق معدني Metallic Luster، عند درجة حرارة (1000°C)

وجاءت النتائج كما هو موضح في شكل (٢٣).



شكل (٢٣): نتائج المعالجة البعدية للنماذج الخزفية ثلاثية الأبعاد المطبوعة.

النتائج:

توصلت الباحثة في ضوء الإطار النظري والجانب التطبيقي للبحث إلى:

١. يوجد أثر للملدنات "المولاس" والمواد الرابطة "الصمغ العربي" على فاعلية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد لطينة السيل (الحبيبة) بمحافضة قنا.
٢. إمكانية إنتاج النماذج الخزفية ثلاثية الأبعاد باستخدام طينة السيل (الحبيبة) بمحافضة قنا بتقنية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد.

التوصيات والمقترحات:

في ضوء ما أسفر عنه البحث من نتائج يمكن استجلاء أهم التوصيات والمقترحات التي يمكن أن تسهم فيه تكنولوجيا الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد وذلك على النحو التالي:

١. إجراء دراسات حول تجريب طرق معالجات مختلفة للطينات في ضوء تقنية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد.
٢. القيم الجمالية والوظيفية للمنتجات الخزفية في ضوء تقنية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد.
٣. إمكانية استخدام الطينات المحلية في تكنولوجيا الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد.
٤. إتاحة تكنولوجيا الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد للحرفين وتوظيفها في إنتاجهم الخزفي.

مراجع البحث:

المراجع العربية:

١. أحمد، رشا فوزي. (٢٠١٠م): قابلية الطينات المحلية لمحافضة قنا للترجيح لبناء الشكل الخزفي، اطروحة دكتوراة، كلية التربية النوعية، جامعة القاهرة، مصر.
٢. الدردير، عبد المنعم (٢٠٠٦): الاحصاء البارامترى واللابارامترى في اختبار فروض البحوث النفسية والتربوية والاجتماعية، علم الكتب، القاهرة.
٣. العامري، محمد حمود (٢٠١٦): الاتجاهات المعاصرة في التربية الفنية، جامعة السلطان قابوس، كلية الآداب والعلوم الاجتماعية، مجلة الآداب والعلوم الاجتماعية، مج ٧، ع ١، ص ٢٣٧، الصفحات ٢٢١-٢٤١، سلطنة عمان.
٤. المعداوي، غادة دسوقي. وحسين، أسماء عبد المنعم (٢٠٢١): "الطباعة الرقمية الثلاثية الأبعاد وآثارها على تطوير مهارات التفكير الإبداعي لطلاب كليات الفنون التطبيقية"، كلية الفنون الجميلة جامعة المنيا، مجلة الفنون والعلوم الإنسانية، العدد ٧، مصر.

٥. سالم، سلمان عامر، والسيد إسلام محمد. (٢٠١٤). الطباعة ثلاثية الأبعاد ودورها في تطوير المهارات العليا لدى طلبة التربية الفنية بجامعة السلطان قابوس. *المجلة العلمية لجمعية إمسيا التربوية عن طريق الفن، العدد ٢٥، ص ص. ٦٩٧-٧١٤*. doi: <https://doi.org/10.21608/amesea.2021.147992>
٦. عبد الجواد، جمعة حسين. وآخرون. (٢٠١٥). الخصائص التشكيلية للطين المعالج والإفادة منه لاستحداث حلى خزفية في ضوء حركة " الأرت نوفو، جامعة المنوفية، المجلة العلمية لكلية التربية النوعية، العدد ٤، الجزء ٢، ٣٣٩-٣٥٦، مصر.

المراجع الأجنبية:

7. Al-Tamimi, A.K., & et.al (2023): Framework of Concrete Printing Potential and Challenges. *Buildings*, vol.13, 827, pp1-27. doi: <http://doi.org/10.3390/buildings13030827>
8. Asuri, S. & Keshavamurthy, P. (2016). Expansive Soil Characterisation : An Appraisal. *INAEL 1(11)*, pp. 235-240. doi: <https://doi.org/10.1007/s41403-016-0001-9>
9. ASTM D4318-17. (2018). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. USA: ASTM Compass.
10. Bercea, M. (2023). Rheology as a Tool for Fine-Tuning the Properties of Printable Bioinspired Gels. *Molecules*, Vol. 28, pp. 1-28. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules28062766>
11. Buswell, R., & et.al. (2018). 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research. *Cement and Concrete Research*, Vol. 112, pp. 37-49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.006>
12. Chen, Z., & et.al. (2019). 3D printing of ceramics: A review. *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 39(4) 661-687. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.11.013>
13. Del-Mazo-Barbara, L., & Ginebra, M.-P. (2021). Rheological characterisation of ceramic inks for 3D direct ink writing: A review. *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 41(16), pp. 18-33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.08.031>
14. Eramo, G. (2020). Ceramic technology: how to recognize clay processing. *Archaeol Anthropol Sci* 12, 164. doi: <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01132-z>
15. Hossain, S. S., & et.al. (2023). Extrusion-based 3D printing alumina-silica inks: Adjusting rheology and sinterability incorporating waste derived nanoparticles. *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 43(11), pp. 4865-4876. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2023.03.068>

16. Hou, S., & et.al. (2021). A review of 3D printed concrete: Performance requirements, testing measurements and mix design. *Construction and Building Materials*, Vol. 273, pp. 1-19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121745>
17. Kim, D., & et.al. (2020). Biomimetic gelatin/HA biocomposites with effective elastic properties and 3D-structural flexibility using a 3D-printing process. *Additive Manufacturing*, Vol. 36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101616>
18. Kim, N. P., & et.al. (2019). Optimization of 3D printing parameters of Screw Type Extrusion (STE) for ceramics using the Taguchi method. *Ceramics International*, Vol. 45(2), Part A, pp. 2351-2360. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.10.152>
19. Klusáček, M. (2017). Využití 3D tisku k přípravě pokročilých keramických materiálů. *PhD thesis*. Česko: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
20. Kocovic, P. (2017). *3D Printing and Its Impact on the Production of Fully Functional Components: Emerging Research and Opportunities*. USA: IGI Global.
21. Le, T. T., & et.al. (2012). Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. *Materials and Structures* vol. 45, pp. 1221–1232.
22. Leong, Y. & at.al. (2012). Controlling attractive interparticle forces via small anionic and cationic additives in kaolin clay slurries. *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 90(5) pp. 658-666 .doi: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2011.09.002>
23. Li, H., & et.al. (2016). Rheological study on 3D printability of alginate hydrogel and effect of graphene oxide. *International Journal of Bioprinting*, Vol 2(2), pp. 4-66. doi: <https://doi.org/10.18063/IJB.2016.02.007>
24. Liu, Z., & et.al. (2019). Linking rheology and printability of a multicomponent gel system of carrageenan-xanthan-starch in extrusion based additive manufacturing. *Food Hydrocolloids*, Vol. 87, pp. 413-424. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.026>
25. Long, W-J.&et.al.(2019):Rheology and buildability of sustainable containing micro-crystalline cellulose for 3D printing,journal of cleaner Production.vol.239,118054. doi: <http://http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118054>
26. Menano, L., & et.al. (2019). Integration of 3D Printing in Art Education: A Multidisciplinary Approach. *Computers in the Schools, Interdisciplinary Journal of Practice, Theory, and*

- Applied Research*, Vol. 36, 222-236. doi: <https://doi.org/10.1080/07380569.2019.1643442>
27. Mukherjee, S. (2013). *Science of Clays: Applications in Industry Engineering and Environment*. USA: Springer.
28. Nair, A., & et.al. (2020). Additive Manufacturing of Concrete: Challenges and opportunities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 814, pp. 1-6. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/814/1/012022>
29. Nerella, V. N., & Mechtcherine, V. (2019). *Studying the Printability of Fresh Concrete for Formwork-Free Concrete Onsite 3D Printing Technology (CONPrint3D)*. 3D Concrete Printing Technology, Chapter 16, pp. 333-347. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815481-6.00016-6>
30. Nigay, P.-M., & et.al. (2017). Modeling of the thermal and mechanical properties of clay ceramics incorporating organic additives. *Materials Science and Engineering*, Vol. 708, pp. 375-382. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.09.131>
31. Ordoñez, E., & et.al. (2019). 3D printing via the direct ink writing technique of ceramic pastes from typical formulations used in traditional ceramics industry. *Applied Clay Science*, Vol. 182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105285>
32. Panda, B., & et.al. (2019). Improving the 3D printability of high volume fly ash mixtures via the use of nano attapulgite clay. *Composites Part B: Engineering*, Vol. 165, pp. 75-83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.109>
33. Paul, B., & et.al. (2023). Rheological Behavior and Printability Study of Tri-Calcium Phosphate Ceramic Inks for Direct Ink Writing Method. *Polymers*, Vo. 15(6),1433., pp. 1-13. doi: <https://doi.org/10.3390/polym15061433>
34. Peng, E., & et.al. (2018). Ceramic Robocasting: Recent Achievements, Potential, and Future Developments. *Advanced Materials*, Vol. 30(47), 1802404., pp. 1-14. doi: <https://doi.org/10.1002/adma.201802404>
35. Rimbarngaye, A., Mwero, J. N., & Ronoh, E. K. (2022). Effect of gum Arabic content on maximum dry density and optimum moisture content of laterite soil. *Heliyon*, 8(11), e11553. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11553>
36. Ruscitti, A. F., & et.al. (2020). A review on additive manufacturing of ceramic materials based on extrusion processes of clay pastes. *Cerâmica*, Vol. 66, pp. 354-366. doi: <https://doi.org/10.1590/0366-69132020663802918>

37. Stempkowska, A., & et.al. (2017). Stabilization of kaolin clay slurry with sodium silicate of different silicate moduli. *Applied Clay Science*, Vol. 146, pp. 147-151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.05.046>
38. Teh, E.-J., & et.al. (2009). Differences in the rheology and surface chemistry of kaolin clay slurries: The source of the variations. *chemical Engineering Science*, Vol. 64(17), pp. 3817-3825. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2009.05.015>
39. urlova, O. V., & et.al. (2012). Effect of new-generation plasticizers on the properties of clay pastes. *lass and Ceramics*, Vol. 69(3-4), pp. 92–93. doi: <https://doi.org/10.1007/s10717-012-9421-5>