

خصائص بعض الطينات المحلية بصعيد مصر : دراسة تحليلية
**Properties of Some Local Clays in Upper Egypt:
An Analytical Study**

إعداد

د/ إبراهيم دسوقي عبد الموجود سليمان

مدرس الخزف بقسم التربية الفنية - كلية التربية النوعية - جامعة جنوب الوادي

<https://orcid.org/0000-0002-5628-2612>

٢٠٢٤م

ملخص الدراسة:

هدفت الدراسة إلى توصيف وتحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية للطينات المحلية في صعيد مصر، وتقييم إمكانات الطينات المحلية في استخدامات مختلفة تشمل التطبيقات والتكنولوجيا الحديثة في الخزف، وتقديم توصيات عملية لتحسين الاستفادة من الطينات المحلية في تطبيقات متقدمة في الخزف. واتبعت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي والتجريبي لتحليل بعض الطينات باستخدام تقنيات علمية متعددة لتوصيف خصائصها الفيزيائية والكيميائية. وتمثلت عينة الدراسة في الطينات المحلية بمحافظة قنا وهي (طمي "الطين الزراعي" وطينة المارل "الطفلة" وطينة الحبيبة "السيل"). وتصلت الدراسة إلى العديد من النتائج منه: أظهرت الدراسة تبايناً في تصنيف الطينات المحلية وفقاً لنسب الطين والطمي والرمل. الطينات الثلاث تمتاز بخصائص مختلفة تجعلها ملائمة لمجموعة واسعة من الاستخدامات؛ وكشف تحليل XRD عن وجود معادن مثل الكوارتز والكاولينيت والمونتموريلونيت في الطينات المحلية. هذه المكونات عززت الليونة والصلابة، خاصة في طينة السيل والطين الزراعي؛ وأن البيانات التحليلية توفر فرصة لتطوير تقنيات إنتاج مبتكرة تستخدم المواد المحلية بشكل أكثر كفاءة وفعالية، مما يساهم في تحسين جودة المنتجات النهائية. وأوصت الدراسة بالعديد من التوصيات منها: إجراء دراسات إضافية تشمل الطينات من مواقع مختلفة لتوسيع قاعدة البيانات وتعزيز الفهم العلمي؛ وتطوير خلطات طينية مخصصة من خلال دمج أنواع مختلفة من الطينات المحلية لتحسين الخصائص المطلوبة حسب الاستخدام؛ وتشجيع استخدام الطينات المحلية في تطبيقات متقدمة لتعزيز الاستدامة وتقليل الاعتماد على المواد المستوردة.

الكلمات المفتاحية:

الطينات؛ خصائص الطينات؛ الطينات المحلية؛ صعيد مصر؛ دراسة تحليلية.

Abstract:

The study aimed to describe and analyze the physical and chemical properties of local clays in Upper Egypt, evaluate their potential for various uses, including modern applications and

technologies in ceramics, and provide practical recommendations to enhance the utilization of local clays in advanced ceramic applications. The study employed a descriptive, analytical, and experimental methodology to analyze certain clays using multiple scientific techniques to characterize their physical and chemical properties .The study sample consisted of local clays from Qena Governorate, including agricultural clay “Taffla” marl clay, “Hieba” Flood Clay, and Nile clay. The study yielded several findings, such as the variation in the classification of local clays based on the proportions of clay, silt, and sand. The three types of clay possess distinct properties that make them suitable for a wide range of applications. XRD analysis revealed the presence of minerals such as quartz, kaolinite, and montmorillonite in the local clays. These components enhanced plasticity and hardness, particularly in floodplain clay and agricultural clay. Additionally, the analytical data provided opportunities to develop innovative production techniques that utilize local materials more efficiently, thereby improving the quality of final products. The study recommended several actions, including conducting further studies on clays from different locations to expand the database and enhance scientific understanding; developing customized clay blends by combining various types of local clays to optimize desired properties for specific uses; and promoting the use of local clays in advanced applications to enhance sustainability and reduce dependence on imported materials.

Keywords:

Clay; Clay properties; local clays; Upper Egypt; analytical study.

تمهيد:

تُعد الطينات المحلية في صعيد مصر واحدة من أهم الموارد الطبيعية التي استُخدمت عبر التاريخ في صناعة الخزف والفخار والأعمال الفنية. وقد شهدت هذه المواد اهتماماً واسعاً نظراً لتوفرها وسهولة تطويعها لتلبية احتياجات الصناعات اليدوية والفنية. ورغم تعدد الطينات الموجودة على سطح الأرض، إلا أنها تختلف من حيث خصائصها الطبيعية؛ فبعضها يلائم صناعة الخزف، بينما يحتاج البعض الآخر إلى المعالجة لاستخدامه في مجال الإنتاج الخزفي.

خصائص بعض الطينات المحلية بصعيد مصر : دراسة تحليلية

(عبد الموجود، ٢٠٢٤، ص ٢) وفي الوقت الراهن، ازداد الاهتمام بتحليل وتوصيف هذه الطينات لتحديد خواصها الفيزيائية والكيميائية بما يعزز استخدامها في تطبيقات متقدمة تشمل الطباعة ثلاثية الأبعاد، التصميم الهندسي، والصناعات الخزفية ذات الطابع المستدام. تهدف هذه الدراسة إلى إجراء تحليل شامل لبعض الطينات المحلية بمصر، لتقييم إمكاناتها ومدى توافقها مع متطلبات الصناعة الحديثة. وتعتبر الطينات العنصر الأساسي في صناعة الخزف، حيث تشكل المادة الخام التي تبنى عليها هذه الصناعة التي امتدت عبر التاريخ كواحدة من أبرز الممارسات الإبداعية والوظيفية. إن الطينات ليست مجرد مواد طبيعية يتم استخدامها لصنع الأواني أو الديكورات، بل هي مادة ذات خصائص معقدة تحتاج إلى فهم عميق لتحسين أدائها وضمان جودة المنتجات النهائية. يعد توصيف وتحليل الطينات من الأمور الجوهرية التي تؤثر بشكل مباشر على نجاح العمليات الإنتاجية وتقليل الأخطاء والمشكلات التقنية التي قد تظهر في المراحل اللاحقة.

مشكلة الدراسة:

رغم وفرة الطينات المحلية في صعيد مصر، إلا أن استخداماتها غالباً ما تقتصر على التطبيقات التقليدية بسبب قلة الدراسات التحليلية الشاملة التي توضح خصائصها بشكل دقيق. هذا النقص في المعلومات يطرح التساؤلات التالية:

١. ما هي الخصائص الفيزيائية والكيميائية للطينات المحلية في صعيد مصر؟
٢. هل تمتلك الطينات المحلية خصائص تؤهلها للاستخدام في التطبيقات والتكنولوجيا الحديثة في الخزف؟
٣. ما هي التحديات المرتبطة بتوظيف الطينات المحلية في تطبيقات مبتكرة في الخزف؟

أهداف الدراسة:

١. توصيف وتحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية للطينات المحلية في صعيد مصر.
٢. تقييم إمكانات الطينات المحلية في استخدامات مختلفة تشمل التطبيقات والتكنولوجيا الحديثة في الخزف.

خصائص بعض الطينات المحلية بصعيد مصر : دراسة تحليلية

٣. تقديم توصيات عملية لتحسين الاستفادة من الطينات المحلية في تطبيقات متقدمة في الخزف.

فرض الدراسة:

- إن الطينات المحلية في صعيد مصر تمتلك خصائص فيزيائية وكيميائية مميزة تجعلها قابلة للاستخدام في تطبيقات صناعية وفنية متنوعة.

أهمية الدراسة:

تكمن أهمية الدراسة في النقاط التالية:

١. المساهمة في فتح آفاق جديدة لتطوير الصناعات المحلية المعتمدة على الموارد الطبيعية.
٢. تقدم هذه الدراسة مساهمة علمية من خلال توفير بيانات تحليلية تفصيلية للطينات المحلية، مما يساعد الباحثين والصناعيين على فهم إمكانات هذه المواد.
٣. تدعم الدراسة تطوير استخدام الطينات المحلية بشكل مبتكر، مما قد يسهم في تقليل الاعتماد على المواد المستوردة وتعزيز الصناعات الوطنية.
٤. تبرز الدراسة أهمية الطينات المحلية كموارد مستدامة يمكن استغلالها بطرق صديقة للبيئة.
٥. توفر نتائج الدراسة أساساً لتوسيع تطبيقات الطينات المحلية، خاصة في المجالات المتقدمة في الخزف.

منهجية الدراسة:

تعتمد الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي لتحليل بعض الطينات باستخدام تقنيات علمية متعددة لتوصيف خصائصها الفيزيائية والكيميائية.

عينة الدراسة:

تمثلت عينة الدراسة في الطينات المحلية بمحافظة قنا وهي (طمي "الطين الزراعي" وطينة المارل "الطفلة" وطينة الحبية "السيل").

محددات الدراسة:

تقتصر هذه الدراسة على المحددات التالية:

خصائص بعض الطينات المحلية بصعيد مصر : دراسة تحليلية

- **المحدد الموضوعي:** تقتصر الدراسة على توصيف وتحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية لبعض لطينات المحلية في صعيد مصر .
- **المحدد المكاني:** تقتصر الدراسة على الطينات المستخرجة من محافظة قنا وهي طمي "الطين الزراعي" وطينة المارل "الطفلة" وطينة الحبيبة "السيل".

مصطلحات الدراسة:

الطين (Clay):

يعرف الطين بأنه "مجموعة من الركام المعدني الطبيعي ويتكون من سيليكات الألمنيوم المائية ذات الهياكل والطبقات والتي تصبح لدنة عند ترطيبها بدرجة كافية، وتكون صلبة عند تجفيف الكتلة، ويتم تزججها عند تسخينها إلى درجة حرارة عالية بدرجة كافية. (McColm, 2013, p. 96) وعرفت أيضًا لجنة التسمية المشتركة (JNC) من الرابطة الدولية لدراسة الطين (AIPEA) وجمعية المعادن الطينية (CMS)، "الطين" بأنه "مادة طبيعية تتكون أساسًا من معادن دقيقة الحبيبات، والتي تكون بشكل عام لدنة بمحتويات مائية مناسبة وتتصلب عند تجفيفها أو حرقها". (Mukherjee, 2013, p. 4)

التحليل (Analysis):

يعرف التحليل بأنه " الفصل والقياس لمكونات مادة معينة، وتفسير هذه النتائج. ويُعرف ذلك أيضًا بالمحتوى الكيميائي، والمحتوى المعدني، والخواص الفيزيائية". (McColm, 2013, p. 21) ويعرف أيضا بأنه "طريقة لوصف المادة من خلال أجزائها المختلفة. يتم إجراء التحليل بطريقتين: نوعي (qualitative)، يحدد فقط طبيعة الأجزاء الموجودة، وكمي (quantitative)، يحدد أيضًا كمية كل جزء موجود. الطريقة الأخيرة تقدم التركيب النسبي للمادة بالنسب المئوية، ولكنها قد تجمع الأجزاء المتشابهة معًا لتسهيل التعامل". (Hamer & Hamer, 2015, p. 8)

المحور الأول: الأسس الفكرية طرق توصيف وتحليل الطين:

أولاً: توصيف وتحليل الطين:

١. الطين ونسيج التربة:

يصف نسيج التربة النسبة التقديرية لجزيئات حجم الحبيبات المختلفة في التربة وعادة ما يتم تمثيلها بالنسب النسبية لمحتويات الرمل Sand والطيني Silt والطين Clay. (Twarakavi, 2010, p. 1) وأحد الأسباب الرئيسية لشعبية تصنيف التربة القائم على النسيج هو أن الخصائص التركيبية هي من بين خصائص التربة التي يسهل قياسها، ويعد نظام وزارة الزراعة الأمريكية (USDA) والذي استند إلى الحدود الميكانيكية لجزيئات التربة الأكثر استخداماً على نطاق واسع. ويصنف نظام وزارة الزراعة الأمريكية (USDA) نسيج التربة إلى اثنتي عشرة فئة، ويتم تحديد حدود نسيج التربة من خلال النسب المئوية الثابتة من الرمل "Sand" أو الطمي "Silt" أو الطين "Clay" (خطوط مستقيمة، موازية لحواف المثلث). (Groenendyk & et.al., 2015, pp. 3-4)، شكل (١).



شكل (١): مثلث نسيج التربة التابع لوزارة الزراعة الأمريكية (USDA).

ويتم تعيين مجموعات الطين والطيني والرمل وفقاً لحجم الجسيمات المعدنية لنظام وزارة الزراعة الأمريكية (USDA) من حيث قطر الجسيمات (مم)، فيتراوح قطر الجسيمات للرمل (٠,٠٥-٢ مم) وللطيني (٠,٠٢-٠,٠٥ مم) وللطين (أقل من ٠,٠٢ مم). وأوضح Laborczi & et.al., (2019) أن هناك ثلاث مجموعات أساسية من التربة: التربة الرملية

Sandy والطفالية Loamy والطينية Clayey لوصف النسيج فيما يتعلق بالفئة النسيجية للتربة. (p. 361)؛ وفيما يلي المجموعات النسيجية، جدول (١)، لوصف نسيج التربة بالنسبة للفئات النسيجية للتربة: (Phogat & et.al., 2015, p. 140)،

خصائص بعض الطينات المحلية بصعيد مصر : دراسة تحليلية

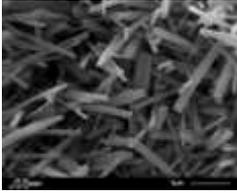
جدول (١): مجموعات تسيجية لوصف النسيج بالنسبة للفئات التسيجية للتربة (USDA). (سليمان، ٢٠٢٤)

المجموعات التسيجية	النسيج	الفئات التسيجية
رملي Sandy	خشن Coarse	رمل Sand
		رمل طفالي Loamy Sand
طفالي Loamy	متوسط الخشونة Moderately Coarse	طفال رملي Sandy Loam
		طفال Loam
	متوسط Medium	طمي طفالي Silt Loam
		طمي Silt
طيني Clayey	متوسط النعومة Moderately Fine	طفال طيني رملي Sandy Clay Loam
		طفال طيني Clay Loam
	ناعم Fine	طفال طيني طمبي Silty Clay Loam
		طين رملي Sandy Clay
		طين طمبي Silty Clay
		طين Clay

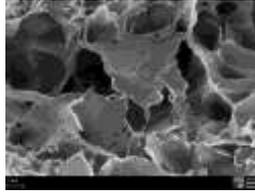
٢. شكل الجسيمات Particle shape:

تتقسم أشكال جسيمات الطين إلى ثلاث مجموعات: رقائق Flakes: صفائح ذات أبعاد متساوية في اتجاهين وسماكة ٢٠/١ في الإتجاه الآخر، شرائح Laths: صفائح ذات جانب خطي حيث يكون العرض كبيراً في اتجاه واحد وأقل بكثير في الإتجاه الآخر. السماكة دائماً أقل بكثير من الإتجاهين الآخرين، الإبر Needles: اتجاهان متشابهان في الأبعاد بينما الأخير أكبر بكثير. هذه نادرة. (Velde, 1995, p. 11). شكل (٢) (Mineralogical Society of the UK and Ireland, 2023) ويتم معرفة أحجام الجسيمات وأشكال معادن الطين من خلال الدراسات التفصيلية باستخدام المجهر الإلكتروني النافذ والماسح (TEM / SEM)، ويؤثر حجم وشكل جسيمات المعادن الطينية وخصائصها الكلية على الخصائص الفيزيائية للطين.

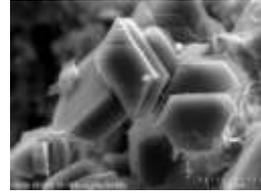
خصائص بعض الطينات المحلية بصعد مصر : دراسة تحليلية



Needles



Laths



Flakes

شكل (٢): أشكال جسيمات الطين القياسية.

• حجم الجسيمات Particle size:

تعتمد طريقة مقياس كثافة السوائل hydrometer على قانون ستوكس Stokes' law الذي يحكم السرعة التي تستقر بها الجسيمات في المُعلق، فكلما كانت الجسيمات أكبر، زادت سرعات استقرارها والعكس صحيح، ويفترض القانون أن جزيئات التربة (صلبة، كروية، وناعمة، وغير منتظمة الشكل مثل معظم الجسيمات الرملية والغرينية، أو صفيحة أو أنبوبية كجزيئات طينية. ولها كثافة ماثلة. ومستقلة عن بعضهما البعض. ولا تتفاعل أثناء الترسيب). (Wen, 2002, p. 2)

ثانياً: خصائص الطين وطرق تحليلها:

• تحليل الخصائص الكيميائية:

يتم تحديد التركيبات الكيميائية للطين من خلال إجراء التحليل الكيميائي للطين باستخدام مطيافية تشتت الطاقة بالأشعة السينية (ED-XRF)، لتحديد المكونات الكيميائية بالنسبة المئوية بالوزن (Jock & et.al., 2013, p. 190) وأيضاً تحليل حيود الأشعة السينية (XRD) الذي يستخدم لتحديد البنية المعدنية والبلورية الموجودة في الطين، والتي تؤثر على خصائصه الفيزيائية والكيميائية.

ويعد الفقد بالاشتعال (LOI) Loss on ignition أحد أكثر الطرق المستخدمة على نطاق واسع لقياس محتوى المادة العضوية في التربة. (Hoogsteen & et.al., 2015, p. 320)، حيث يتم وضع العينة في بوتقة سيليكاً موزونة مسبقاً ويتم تسخينها إلى 1000 درجة مئوية في فرن لمدة ساعة، ثم تبريدها ووزنها مرة أخرى، ثم حساب الخسارة في الوزن. (Lydia)

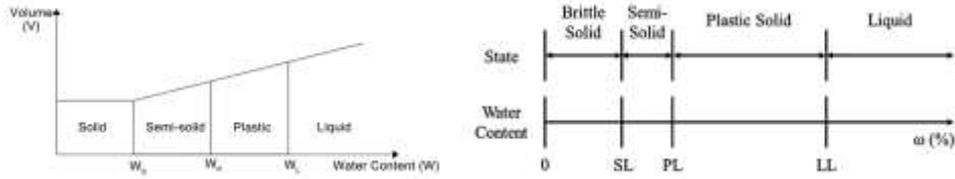
(55, p. 2019, et.al. & من خلال معادلة (1): $LOI(\%) = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$ حيث: W_i وزن العينة قبل الحرق، W_f وزن العينة بعد الحرق.

ثانياً: تحليل الخصائص الفيزيائية:

١. اللدونة Plasticity:

هي الخاصية التي تسمح للمادة بأن تتشكل بدون تشقق أو تكسر وتحفظ بشكلها الأخير عند زوال المؤثر عنها. (جرد، ٢٠١٤، ص ١١٣٢) وتقوم خاصية اللدونة للطين على تشكيل جزيئات الطين المعدنية الشبيهة بالصفائح التي تنزلق فوق الجسيمات الأخرى عند إضافة الماء، والتي تعمل كمواد تشحيم، ومع زيادة المحتوى المائي للطين تزداد اللدونة إلى أقصى حد، اعتماداً على طبيعة الطين. (Andrade & et.al., 2011, p. 1) وتلعب حدود اتربرج (Atterberg limits) دوراً كبيراً في تقييم الطين وتصنيفه من حيث سلوك الطين إلى أنواع اعتماداً على المحتوى المائي للطين. (Grønbech & et.al., 2011, p. 1) وتتضمن حدود Atterberg حد السيولة (Liquid Limit (LL) هو أدنى محتوى مائي يتصرف فيه خليط الطين والماء كسائل لزج، أي الحد الأدنى من محتوى الماء الذي تتدفق فيه جزيئات الطين تحت وزنها؛ وحد اللدونة (Plastic Limit (PL) هو أقل محتوى مائي يتصرف فيه خليط الطين والمياه كمادة لدنة، أي الحد الأدنى من محتوى الماء الذي يتم فيه تشكيل الطين دون أن ينكسر؛ مؤشر اللدونة (Plasticity index (PI) هو الفرق العددي بين حد السيولة وحد اللدونة، ويشير إلى نطاق محتويات الماء التي يتصرف الطين من خلالها كمادة لدنة. **شكل (٣)**. (Holtz & et.al., 2011, pp. 39-40)، (Gorączko & Olchawa, 2017, p. 165) ومع زيادة محتوى الماء، يتغير سلوك الطين من مادة صلبة هشة إلى شبه صلبة، إلى مادة صلبة لدنة، إلى سائل لزج، وأخيراً إلى سائل حقيقي. وتتوقف حدود اتربرج بناءً على نوع المعدن الطيني، وبنية، ونوع الكاتيونات المتغيرة، كمية المادة العضوية، شدة الحمل السطحي، مكافئ الماء، شكل الجسيمات، والخصائص الكيميائية. (Otcu & et.al., 2017, p. 166)

خصائص بعض الطينات المحلية بصعد مصر : دراسة تحليلية



شكل (٣): حدود اتبرج .Atterberg limits

• مؤشر اللدونة (PI) plasticity index:

هو مقياس لدرجة التربة وهو حجم نطاق محتويات الماء حيث يُظهر الطين خصائص لدنة، ويمثل الفرق بين حد السيولة وحد اللدونة. (Mukherjee, 2013, p. 64) ويتم حساب مؤشر اللدونة من معادلة (٢): $PI = LL - PL$ حيث PL حد اللدونة، LL حد السيولة. ويوضح جدول (٢) توصيف أنواع اللدونة وفقاً لمؤشر اللدونة.

جدول (٢): أنواع اللدونة.

مؤشر اللدونة	صفر (٥-١)	(١٠-٥)	(٢٠-١٠)	(٤٠-٢٠)	أكبر من ٤٠	
اللدونة	منعدم	ضعيف	منخفض	متوسط	مرتفع	مرتفع جداً

• مؤشر فاعلية الطين:

يتم حساب مؤشر فاعلية الطين عادة كنسبة مؤشر اللدونة للتربة إلى النسبة المئوية لحجم الطين في التربة. (Asuri & Keshavamurthy, 2016, p.31) ويتم حساب مؤشر فاعلية الطين من خلال معادلة (٣): $AI = \frac{PI}{Clay\ fraction\ (\%)}$ حيث AI مؤشر اللدونة، $Clay\ fraction\ (\%)$ نسبة حجم الطين في التربة. ويمكن تصنيف الطين بناءً على فاعليته وفقاً لمؤشرات الفاعلية. (Özdemir & Gülser, 2017, p.308) كما في جدول (٣).

جدول (٣): أنواع الطين وفقاً لقيمة الفاعلية.

نوع الطين	طين غير فعال	طين عادي	طين فعال
الفاعلية	أقل من ٠,٧٥	٠,٧٥-١,٢٥	أكبر من ١,٢٥

٢. الانكماش Shrinkage:

يُعرّف الانكماش بأنه تغيير الحجم المحدد للطين بالنسبة إلى محتواه المائي. (Boivin & et.al., 2004, p. 1145) وهو النقص في أبعاد الجسم أو المادة أثناء التجفيف

خصائص بعض الطينات المحلية بصعد مصر : دراسة تحليلية

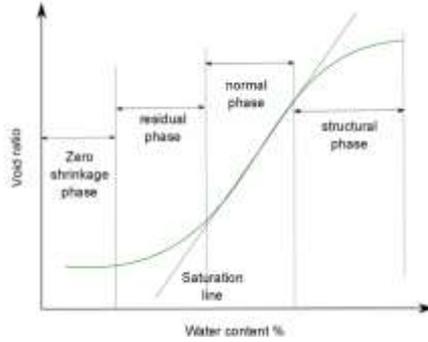
أو الحرق، وأيضاً التقلص في المادة في حالة اللدونة أو قبل أن تتطور وتصبح ذات قوام ملموس بعد أن تصبح المادة جامدة. (McColm, 2013, p. 308) ويُفقد الماء خلال الانكماش على مرحلتين، المرحلة الأولى يتبخر الماء المضاف في التكوين بحرية مما يؤدي إلى الانكماش (انكماش الجفاف)، والمرحلة الثانية يتم إزالة الماء المتحد كيميائياً من حول جزيئات الطين وتقترب من بعضها البعض حتى تتلامس في النهاية وتبدأ في الالتصاق فلا ينقلص الطين (انكماش الحريق). (Garrison, 2016, p. 188) وتتسبب القوى الدافعة للانكماش إلى فقد الماء عبر المسام أثناء فترة معدل الثبات في إعادة تنظيم الجزيئات وتغييرات في أبعاد المسام التي يتخللها الماء، وتتمثل هذه القوى في الضغط الشعري Capillary Pressure والفرق بين ضغط الماء والهواء. ويضمن هجرة الماء من الداخل إلى السطح، والضغط الاسموزي Osmotic Pressure انتقال الماء من المناطق ذات تركيز الملح المنخفض إلى المناطق ذات تركيز الملح الأعلى من خلال غشاء شبه نافذ دون أي تغيير في الطور، والضغط الفاصل Disjoining Pressure يصف حالة الأغشية السائلة أو الغازية المحصورة بين سطحين من المادة.. (Oummadi, 2019, p. 36) وينقسم الانكماش إلى نوعين هما: انكماش الجفاف Drying shrinkage، وانكماش الحريق Firing shrinkage.

• انكماش الجفاف Drying shrinkage:

هو تقلص جسم رطب أثناء عملية التجفيف، معبراً عنه بنسبة خطية من الطول أو الحجم الأصلي في الحجم الأصلي. (McColm, 2013, p. 164) ويحدث انكماش الجفاف عندما يتبخر الماء من الجسم الطيني خلال المرحلة الخضراء Greenware Stage إلى التجليد Leather-hard Stage، وكلما زادت اللدونة في جسم الطين زاد انكماش الجفاف، ويتراوح معدل الانكماش النموذجي للطين بين ٤٪ و ١٠٪. (Mat Nawi, 2013, p. 20) ويحتوي منحنى الانكماش النموذجي للطين، **شكل (٤)**، على أربع مراحل وهي الانكماش الهيكلي structural shrinkage يحدث فيه فقدان الماء من خلال المسام الكبيرة، مما يؤدي إلى انخفاض محدود في الحجم، والانكماش الطبيعي normal shrinkage يحدث خلالها معظم الانكماش حيث يكون تغيير الحجم مساوياً لفقد الماء، والانكماش المتبقي residual shrinkage يحدث أثناء الاقتراب من حد الانكماش والذي يتميز بمعدل تغيير حجم أقل،

خصائص بعض الطينات المحلية بصعيد مصر : دراسة تحليلية

والانكماش الصفري zero shrinkage يظل حجم الطين دون تغيير أثناء التجفيف الإضافي. (Wang & et.al., 2013, p. 1)، (Gapak & et.al., 2017, p. 554)



شكل (٤): منحنى الانكماش النموذجي للطين.

• انكماش الحريق Firing shrinkage:

هو التقلص أو النقص في أبعاد المادة أو الجسم أثناء المعالجة الحرارية. (McColm, 2013, p. 274) وخلال المعالجة الحرارية يحدث تفكك وإزالة للماء المتحد كيميائياً والمواد العضوية والكربونات والأملاح مع استمرار لفقدان الوزن وانكماش جسم الطين إلى ما بعد التجفيف الأولي. (Rice, 2015, p. 203) ويعد التحكم في المعالجة الحرارية عامل مهم يؤثر على درجة الانكماش أثناء عملية الحرق، فقد يؤدي الانكماش الكبير إلى حدوث تشققات وعيوب في الأبعاد. (Abdeen, 2016, p. 50) وهناك عوامل تؤثر انكماش الحريق منها اللدونة وحجم الحبيبات. (Mat Nawi, 2013, p. 11)

• حد الانكماش Shrinkage limit (SL):

هو أقل محتوى مائي تجاوزه لا يحدث أي تغيير آخر في الحجم عندما يجف خليط الطين والماء. (Holtz & et.al., 2011, p. 40) وعليه لا يؤدي الانخفاض المستمر في محتوى الماء إلى أي تغيير إضافي في الحجم. ويتم تحديد حد الانكماش من خلال معادلة (٩): $SL = W \left[\frac{(V_p - V_d) P_w}{M_2} \right] \times 100$ حيث W محتوى الرطوبة (الماء الأولي)، V_p حجم العينة لينة، V_d حجم العينة جافة، P_w كثافة الماء، M_2 وزن العينة بعد التجفيف. ويتطلب تحديد حد الانكماش في ضوء المعادلة السابقة تحديد كل من محتوى الماء (W_1) ويمكن

خصائص بعض الطينات المحلية بصعد مصر : دراسة تحليلية

الحصول عليها من خلال معادلة (١٠): $W_1 = \left[\frac{M_1 - M_2}{M_1} \right] \times 100$ حيث M_1 وزن العينة لدنة، M_2 وزن العينة بعد التجفيف. ويتم تحديد نسبة الانكماش shrinkage ratio من خلال معادلة (١١): $R = \frac{M_2}{(V_d \times P_w)}$ حيث V_d الحجم بعد التجفيف، P_w كثافة الماء، M_2 الكتلة بعد التجفيف. (ASTM D4943-08, 2018)

• مؤشر الانكماش (SI) Shrinkage Index:

هو الفرق بين حد اللدونة وحد الانكماش. (Asuri & Keshavamurthy, 2016, p. 30) ويتم حساب مؤشر الانكماش من خلال معادلة (١٢): $SI = PI - SI$ حيث PI حد اللدونة، SI حد الانكماش (Nelson & et.al., 2015) ويصنف معدل انكماش الطين وفقاً لمؤشر الانكماش، جدول (٤)، على النحو التالي:

جدول (٤): تصنف معدل انكماش الطين وفقاً لمؤشر الانكماش.

معدل انكماش الطين	ضعيف	متوسط	كبير	كبير جداً
مؤشر الانكماش	أقل من ١٥	٣٠-١٥	٦٠-٣٠	أكبر من ٦٠

يوجد طريقتان لتحديد انكماش الطين هما الانكماش الخطي Linear Shrinkage، والانكماش الحجمي volume Shrinkage.

○ اختبار الانكماش الخطي Linear shrinkage test:

يعبر الانكماش الخطي عن تناقص طول العينة أثناء التجفيف أو الحرق. (McColm, 2013, p. 247) حيث يتم حساب انكماش الجفاف الخطي من خلال معادلة (١٣): $LS_d(\%) = \left[\frac{L_p - L_d}{L_p} \right] \times 100$ ويتم حساب انكماش الحريق الخطي من خلال معادلة (١٤): $LS_f(\%) = \left[\frac{L_d - L_f}{L_d} \right] \times 100$ حيث L_p طول الخط على العينة لدنة، L_d طول الخط على العينة جافة، L_f طول الخط على العينة بعد الحرق. (ASTM C326-09, 2018)

○ اختبار الانكماش الحجمي Volumetric Shrinkage Test:

يعبر الانكماش الحجمي عن تقلص الجسم اللدن أثناء التجفيف أو عملية الحرق أو كليهما كنسبة الحجم من الحجم الأصلي. (McColm, 2013, p. 505) حيث يتم حساب

انكماش الجفاف الحجمي من خلال معادلة (١٥): $VS_d(\%) = \left[\frac{V_p - V_d}{V_p} \right] \times 100$ ويتم حساب انكماش الحريق الحجمي من خلال معادلة (١٦): $VS_f(\%) = \left[\frac{V_d - V_f}{V_d} \right] \times 100$ حيث V_p حجم العينة لدنة، V_d حجم العينة جافة، V_f حجم العينة بعد الحرق. (ASTM C326-09, 2018), (Prasanna & et.al., 2022, p. 250)

كما يمكن حساب النسبة المئوية للانكماش الحجمي عن طريق الانكماش الخطي. حيث يتم حساب انكماش الجفاف الحجمي من خلال معادلة (١٧): $VS_d(\%) = [(1 - LS_d)^3] \times 100$ ويتم حساب انكماش الحريق الحجمي من خلال معادلة (١٨): $VS_f(\%) = [(1 - SL_f)^3] \times 100$ حيث VS_d انكماش الجفاف الحجمي، LS_d انكماش الجفاف الخطي، VS_f انكماش الحريق الحجمي، SL_t انكماش الحريق الخطي. (ASTM C326-09, 2018)

٣. الكثافة الظاهرية Bulk Density:

تعرف الكثافة الظاهرية بأنها "نسبة كتلة جسم أو مادة إلى حجمه الكلي، بما في ذلك مساحة المسام". (McColm, 2013, p. 66) وتعرف أيضاً على أنها "مقياس لنسبة وزن مادة مقاومة للحرارة إلى الحجم الذي تشغله". (Janet J. Kipsanai, 2017, p. 173) وتكمن أهمية الكثافة الظاهرية في علاقتها المباشرة بالبنية المجهرية الداخلية للجسم الخزفي، سيؤدي التوزيع غير الملائم للكثافة الظاهرية إلى انكماش غير منتظم، مما قد يؤدي إلى عدم استقرار الأبعاد في المنتج النهائي، مثل الروابط غير المنتظمة أو التقوسات أو اختلافات في الحجم. (Amorós & et.al., 2010, p. 2927) وتؤدي الزيادة في الكثافة الظاهرية لمادة معينة إلى زيادة ثبات حجمها وسعتها الحرارية. (Kipsana, 2018, p. 22) ويتم قياس الكثافة الظاهرية للأشكال المقاومة للحرارة منتظمة الشكل من خلال الوزن وحجم الكتلة الذي يتم حسابه من الأبعاد المقاسة. ويعتمد إجراء اختبار الكثافة الظاهرية على النحو التالي:

خصائص بعض الطينات المحلية بصعيد مصر : دراسة تحليلية

- الكثافة الظاهرية الرطبة (BD_w): يتم حساب الكثافة الظاهرية الرطبة من خلال معادلة (١٩): $BD_w(g/cm^2) = \frac{M_1}{V_p}$ حيث V_p حجم العينة لدنة، M_1 وزن العينة الرطبة. (Ahmadi & Ghaur, 2013, p. 137)
- الكثافة الظاهرية الجافة (BD_d): يتم حساب الكثافة الظاهرية الجافة من خلال معادلة (٢٠): $BD_d(g/cm^2) = \frac{M_2}{V_d}$ حيث V_d حجم العينة جافة، M_2 وزن العينة جافة. (ASTM C830-00, 2016)
- الكثافة الظاهرية الصلبة (BD_s): يتم حساب الكثافة الظاهرية الصلبة من خلال معادلة (٢١): $BD_s(g/cm^2) = \frac{M_3}{M_4 - M_5} p_w$ حيث M_3 وزن العينة جافة، M_4 وزن العينة منقوعة، M_5 وزن العينة معلقة، p_w كثافة الماء. (ISO-18754, 2020)

٤. المسامية الظاهرية **Apparent Porosity**:

تعرف المسامية بأنها "نسبة حجم الفراغات إلى الحجم الإجمالي لكتلة التربة ، معبراً عنها كنسبة مئوية". (Bobrowsky & et.al., 2018, p. 110) وتعرف أيضاً بأنها "نسبة مساحة المسام المفتوحة للجسم إلى حجم كتلته ، معبراً عنها بالنسبة المئوية". (McColm, 2013, p. 66) وتؤثر مسامية هيكل الجسم الخزفي على سلوكه أثناء المعالجة (التجفيف، الحرق، والترجيح) وتحدد إلى حد كبير خصائص المنتج النهائي (الأبعاد، الانحناء، القوة الميكانيكية، تشطيب السطح ، إلخ.). وهذا يجعل التحكم الكامل في مسامية الجسم أمراً ضرورياً أثناء التشكيل، بهدف إجراء مزيد من المعالجة المناسبة والحفاظ على خصائص المنتج النهائي. (Amorós & et.al., 2010, p. 2927) وتزداد الكثافة الظاهرية مع زيادة قوة الانضغاط ومقاومة نفاذية الخبث مع تقليل المسامية، وتقل الموصلية الحرارية مع زيادة المسامية. (Otunniyi, 2013) ويعتمد إجراء اختبار المسامية الظاهرية من خلال طريقتين على النحو التالي:

- الطريقة الأولى: يتم حساب المسامية الظاهرية من كل عينة من خلال معادلة (٢٢): $P_a(\%) = \frac{M_4 - M_3}{V_f} \times 100$ حيث M_3 وزن العينة جافة، M_4 وزن العينة منقوعة، V_f حجم العينة بعد الحرق. (ASTM C20-00, 2022)

خصائص بعض الطينات المحلية بصعيد مصر : دراسة تحليلية

- الطريقة الثانية: يتم حساب المسامية الظاهرية من كل عينة من خلال معادلة (٢٣):

$$P_a(\%) = \frac{M_4 - M_3}{M_4 - M_5} \times 100$$
 حيث M_3 وزن العينة جافة، M_4 وزن العينة منقوعة، M_5 وزن العينة معلقة. (ASTM C20-00, 2022) كما يمكن حساب المسامية الظاهرية من كل عينة من خلال معادلة (٢٤):

$$P_a(\%) = \frac{M_4 - M_3}{M_4 - M_5} p_w$$
 حيث M_3 وزن العينة جافة، M_4 وزن العينة منقوعة، M_5 وزن العينة معلقة، p_w كثافة الماء. (ISO-18754, 2020)

نتائج توصيف وتحليل الطينات المحلية:

أولاً: نتائج توصيف الطينات المحلية:

تم تحديد تصنيف الطين ونسيج التربة من خلال النسب المئوية من الرمل والطين والطين لعينات الطينات المحلية، وفق نظام وزارة الزراعة الأمريكية (USDA)، وتوضح النتائج في الجدول (٥)، وشكل (٥).

جدول (٥): تصنيف نسيج التربة للطينات المحلية.

الطينات المحلية	مكونات الرية		
	طين	الطين الزراعي	طينة السيل
طين	٣٩,٦%	٦٣,٤%	٤٤,٦%
طمي	٣٨,٣%	٢٨,٧%	٤٣,٥%
رمل	٢٢,١	٨,٩%	١١,٩%
تصنيف نسيج التربة	طين	طين	طين
	طفالي	طميي	

شكل (٥): تصنيف نسيج التربة للطينات المحلية وفق (USDA).

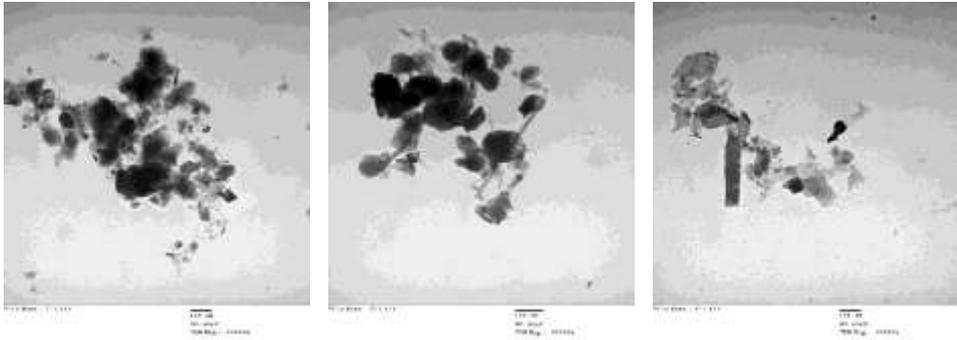
يتضح من نتائج تصنيف وصف نسيج التربة للطينات المحلية وفق (USDA) أن الطينات المحلية تظهر تنوعاً ملحوظاً في النسب المئوية للمكونات الثلاثة، مما يعكس خصائص جيولوجية وطبيعية مختلفة:

خصائص بعض الطينات المحلية بصعد مصر : دراسة تحليلية

١. طين الطفلة: يحتوي على نسبة متوسطة من الطين (٣٩,٦%) والطيني (٣٨,٣%) ونسبة معتدلة من الرمل (٢٢,١%). يُصنف كـ "طين طفالي" نظرًا لتوازن نسب الطين والطيني مع نسبة معتبرة من الرمل. يتسم بنسب متوازنة نسبيًا بين المكونات، مما يجعله مرئيًا للاستخدام في الأعمال الخزفية التي تتطلب توازنًا بين اللبونة والقوة.
٢. طينة السيل: تمتاز بنسب متوازنة بين الطين (٤٤,٦%) والطيني (٤٣,٥%) مع نسبة منخفضة من الرمل (١١,٩%). يُصنف كـ "طين طمبي"، حيث الطمي يشكل جزءًا كبيرًا إلى جانب الطين مع نسبة أقل من الرمل. تحتوي على نسبة عالية من الطمي، مما يجعله مناسبًا للمنتجات التي تحتاج إلى دقة تفاصيل جيدة بسبب لبونته العالية.
٣. الطين الزراعي: غني بالطين (٦٣,٤%)، متوسط الطمي (٢٨,٧%)، نظرًا للنسبة العالية من الطين، يُظهر خصائص لاصقة وقدرة جيدة على الاحتفاظ بالماء، مما يجعله ملائمًا لاستخدامات الخزف التقليدي والمنتجات التي تتطلب قوة ومتانة بعد التجفيف والحرق.

• شكل وحجم الجسيمات للطينات المحلية:

تم تحليل شكل وحجم جسيمات الطينات المحلية باستخدام المجهر الإلكتروني النافذ (TEM) Transmission electron microscopy والمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) Scanning electron microscope، شكل (٦)، وشكل (٧).



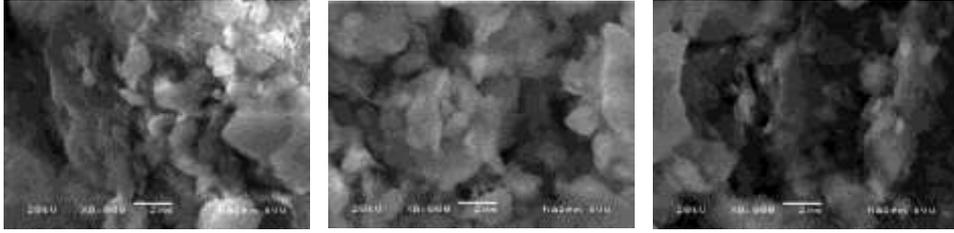
الطين الزراعي "طيني النيل"

طينة السيل "الحبية"

طين الطفلة "المرل"

شكل (٦): صور تحليل TEM لعينات الطينات المحلية وتحليل توزيع حجم الجسيمات.

خصائص بعض الطينات المحلية بصعد مصر : دراسة تحليلية



الطين الزراعي "ظمي النيل"

طينة السيل "الحيبة"

طين الطفلة "المرل"

شكل (٧): صور تحليل SEM لعينات الطينات المحلية.

يتضح من شكل (٦)، وشكل (٧) أن تحليل شكل وحجم الجسيمات كما يلي:

١. طين الطفلة: تأخذ جسيماته شكل شرائح Laths، ويبلغ متوسط حجم الجسيمات ٢٠٧،٢٢ نانومتر (nm) أي ٠،٢٠٧ ميكرومتر (μm). يشير شكل الشرائح (Laths) إلى تداخل جيد للجسيمات، مما يعزز من تماسك المادة ويقلل من التشققات أثناء الحرق.

٢. طينة السيل: تأخذ جسيماتها شكل مزيج من الإبر Needles والرقائق Flakes، ويبلغ متوسط حجم الجسيمات ٣٠٦ نانومتر (nm) أي ٠،٣٠٦ ميكرومتر (μm). يعزز مزيج الإبر والرقائق اللبونة والتشكيل السهل.

٣. الطين الزراعي: تأخذ جسيماته شكل مزيج من الإبر Needles والرقائق Flakes، ويبلغ متوسط حجم الجسيمات ٣١٤ نانومتر (nm) أي ٠،٣١٤ ميكرومتر (μm). يساهم مزيج الإبر والرقائق في تحسين التوزيع وتماسك الجسيمات أثناء الحرق.

ثانياً: نتائج تحليل الخصائص الكيميائية للطينات المحلية:

تم إجراء التحليل الكيميائي للطينات المحلية باستخدام مطيافية تشتت الطاقة بالأشعة السينية (ED-XRF) بالمعمل المركزي بجامعة جنوب الوادي، وكذلك فقد الناتج عن اشتعال عينات الطينات المحلية وتوضح النتائج في الجدول (٦).

جدول (٦): التحليل الكيميائي (ED-XRF) للطينات المحلية (نسبة مئوية بالوزن).

الاكسيد	الصيغة	طين الطفلة	طينة السيل	الطين الزراعي
أكسيد الكالسيوم	CaO	٤٠،١٣٥	٣٢،٧٢١	٦،٢٦٧
ثنائي أكسيد السيليكون	SiO ₂	٣٤،٥٨٤	٤٠،٠٧٩	٤٩،٣٧٥
أكسيد الألومنيوم	Al ₂ O ₃	١٢،٢٢٩	١١،٥٩٢	١٣،٥٢٠

خصائص بعض الطينات المحلية بصعيد مصر : دراسة تحليلية

١٤,٧٨٧	٨,٩٨٠	٦,٦٥٢	FeO	أكسيد الحديد الثنائي
٢,١٦٢	٢,٣٢٥	١,٤٧٧	MgO	أكسيد المغنيسيوم
٣,١٣٠	١,٣٠٢	١,٠٨٦	TiO ₂	ثنائي أكسيد التيتانيوم
٠,٥٤٩	٠,٦٨٧	١,٠٢١	P ₂ O ₅	خماسي أكسيد الفوسفور
٠,٦٦٢	٠,٧١٨	٠,٩٨٩	SO ₃	ثلاثي أكسيد الكبريت
١,١٠٣	١,١٤٧	٠,٩٦٢	K ₂ O	أكسيد البوتاسيوم
٠,١٨٣	٠,١٢٨	٠,٤٨٨	Cl	كلور
٠,٠٥٩	٠,١٢١	٠,١٣٥	SrO	أكسيد السترونشيوم
٧,٨٩٨	-	٠,٠٨١	Na ₂ O	أكسيد الصوديوم
٠,٢٧٥	٠,١٤٥	٠,٠٨٠	MnO	أكسيد المنجنيز (II)
٠,٠٥٠	-	٠,٠٥٨	Cr ₂ O ₃	أكسيد الكروم الثلاثي
٠,١٠٦		٠,١٩٧		الفقد بالاشتعال (LOI)

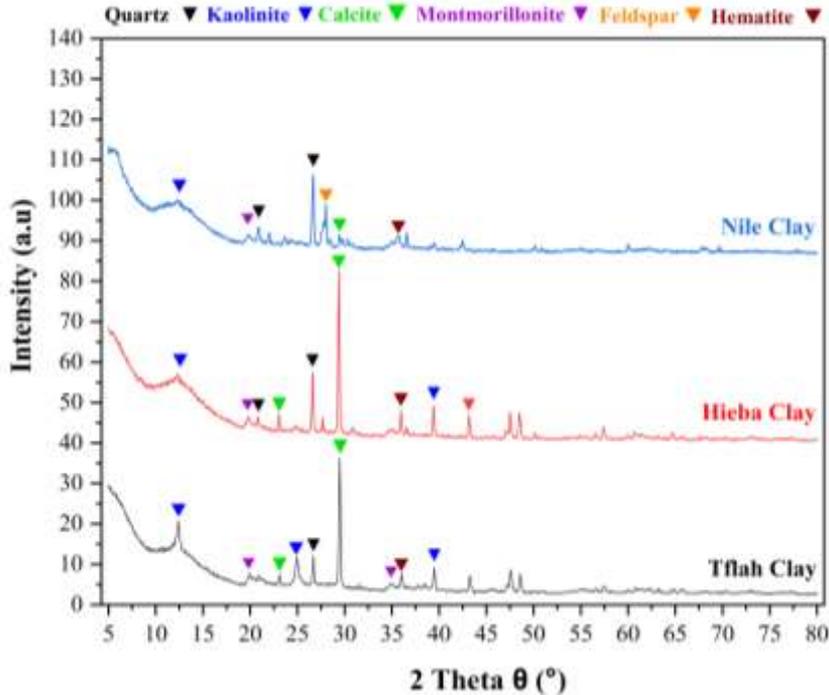
١. يتضح من جدول (٦) أن نتائج تحليل الخصائص الكيميائية للطينات المحلية ما يلي:
 طين الطفلة: غني بأكسيد الكالسيوم (٤٠,١٣٥%)، مما يدل على وجود كربونات الكالسيوم التي تعزز القابلية للحرق والتحول إلى فخار صلب. كما يحتوي على نسبة أقل من السيليكا (٣٤,٥٨٤%) والألومينا (١٢,٢٢٩%)، مما يقلل من اللدونة ويزيد من القابلية للتشقق إذا لم يتم معالجته. ويعطي أكسيد الحديد (٦,٦٥٢%) الطين خصائص لونية دافئة قليلاً (أحمر/بني فاتح) بعد الحرق. وتلك الخصائص الكيميائية تجعله مناسب لصناعة منتجات خزفية تحتاج إلى هيكل صلب وتحمل درجات حرارة مرتفعة، وتجعله أيضاً قد يتطلب إضافة مواد تزيد من اللبونة مثل السيليكا أو الطمي لتحقيق توازن في الخلطات.

٢. طينة السيل: تحتوي على توازن بين السيليكا (٤٠,٠٧٩%) وأكسيد الكالسيوم (٣٢,٧٢١%)، مما يجعلها ملائمة للاستخدام في التطبيقات التي تتطلب متانة وخصائص لونية محايدة. ونسبة معتدلة من أكسيد الحديد (٨,٩٨٠%) تضيف تأثيراً لونياً خفيفاً عند

خصائص بعض الطينات المحلية بصعيد مصر : دراسة تحليلية

الحرق. وتلك الخصائص الكيميائية تجعله مثاليًا لتطبيقات متعددة حيث تجمع بين القوة والمرونة، مما يجعلها مناسبة للأعمال الفنية والوظيفية في الخزف.

٣. **الطين الزراعي:** غني بالسيليكا (٤٩,٣٧٥%)، مما يمنحه خصائص هيكلية وقوة جيدة بعد الحرق. ويحتوي على أكسيد الحديد (١٤,٧٨٧%)، مما يجعل اللون أكثر قتامة بعد الحرق. ونسبة أقل من أكسيد الكالسيوم (٦,٢٦٧%) والألومينا (١٣,٥٢٠%)، مما يجعله أكثر مرونة مقارنة بطين الطفلة. وتلك الخصائص الكيميائية تجعله ملائم للأعمال الخزفية التي تحتاج إلى ليونة عالية وسهولة في التشكيل، وتجعله أيضًا قويًا بعد الحرق.



شكل (٨): مخطط نتائج تحليل XRD لعينات الطينات المحلية.

يتضح من **شكل (٨)** أن تحليل المعادن الموجودة بناءً على تحليل القمم الرئيسية في

بيانات XRD للطبسات المحلية جاءت كالتالي:

١. **طين الطفلة:** يحتوي على الكوارتز Quartz حيث تم تحديد قمة عند 26.68° و 39.47° ؛ والكاولينيت Kaolinite حيث تم تحديد قمم مميزة عند 12.39° و 24.93° ؛

خصائص بعض الطينات المحلية بصعد مصر : دراسة تحليلية

والكالسيت Calcite حيث تم تحديد قمة عند 29.46° ؛ والمونتموريلونيت Hematite حيث تم تحديد قمم عند 19.92° و 34.98° ؛ الهيماتيت Hematite حيث تم تحديد قمم عند 36° ؛ وجود الكوارتز والكاولينيت يعكس طيناً مناسباً لصناعة المنتجات الخزفية بسبب توازن الليونة والقوة، والمونتموريلونيت يضيف خاصية ليونة إضافية، مما يجعله مفيداً في تشكيل المنتجات الفنية أو التشكيل اليدوي، والكالسيت يعزز خصائص الحرق، مما يقلل من درجة الحرارة المطلوبة لتصلب الطين.

٢. **طينة السيل:** يحتوي على الكوارتز Quartz حيث تم تحديد قمة مميزة عند 26.68° و 20.8° ؛ والكاولينيت Kaolinite حيث تم تحديد قمم مميزة عند 24.9° و 12.3° ؛ والكالسيت Calcite حيث تم تحديد قمة عند 29.46° ؛ والماجنيثيت Magnetite حيث تم تحديد قمم مميزة حول 35° ؛ الفلسبار Feldspar حيث تظهر قممه حول $27^\circ-28^\circ$ ؛ يظهر ذلك أن طينة السيل غنية بالمعادن الطينية مثل المونتموريلونيت والكاولينيت، مما يعزز الليونة وسهولة التشكيل، وأن وجود الكوارتز والكالسيت يضيفان صلابة واستقراراً بعد الحرق.

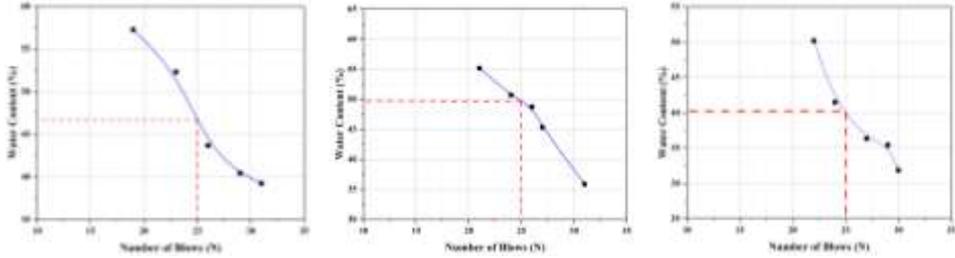
٣. **الطين الزراعي:** يحتوي على الكوارتز Quartz حيث تم تحديد قمة عند 26.66° و 20.88° ؛ والكاولينيت Kaolinite حيث تم تحديد قمة عند 12.33° ؛ والكالسيت Calcite حيث تم تحديد قمة عند 29.46° ؛ والمونتموريلونيت Montmorillonite حيث تم تحديد قمم عند 19.8° ؛ الهيماتيت Hematite حيث تم تحديد قمم مميزة حول 35° ؛ الفلسبار Feldspar حيث تظهر قممه حول $27^\circ-28^\circ$ ؛ وجود الكوارتز والكاولينيت يعكس أن الطين الزراعي غني بالمعادن الأساسية المستخدمة في صناعة الخزف، والمونتموريلونيت يضيف خصائص تشكيل جيدة، ويعزز الكالسيت خصائص الحرق.

ثالثاً: الخصائص الفيزيائية للطينات المحلية:

١. اللدونة والسيولة للطينات المحلية:

تم قياس حد السيولة، وحد اللدونة وفقاً لمعيار (ASTM D4318-17, 2018)، وتم قياس مؤشر اللدونة وفقاً لدراسة (Mukherjee, 2013)، وتم قياس مؤشر فاعلية الطين وفقاً لدراسة (Asuri & Keshavamurthy, 2016)، وجاءت النتائج كالتالي:

خصائص بعض الطينات المحلية بصعيد مصر : دراسة تحليلية



الطين الزراعي "طمي النيل"

طينة السيل "الحيبة"

طينة الطفلة "المرل"

شكل (٩): منحني حد السيولة لعينات الطينات المحلية.

جدول (٧): نتائج قياس خصائص اللدونة والسيولة لعينات الطينات المحلية.

خصائص اللدونة والسيولة	مصدر الاختبار	طين	طينة السيل	الطين الزراعي
حد السيولة	ASTM D4318-17	ضعيف	متوسط	ضعيف
حد اللدونة		٢٢,٧	١٦,٢	١١,٨
مؤشر اللدونة	(Mukherjee, 2013)	١٧,٦	٣٣,٩	٣٥,٦
فاعلية الطين	(Asuri & Keshavamurthy, 2016)	غير فعال	طين عادي	طين عادي
		٠,٤٤	٠,٧٦	٠,٧٥

٢. الانكماش للطينات المحلية:

تم قياس انكماش الجفاف الخطي والحجمي، انكماش الحريق الخطي والحجمي، الانكماش الخطي والحجمي الكلي، وعامل الانكماش لعينات الطينات المحلية وفقاً لمعيار (ASTM C326-09, 2018). وتم قياس مؤشر الانكماش لعينات الطينات المحلية وفقاً (Nelson & et.al., 2015). وتم قياس حد الانكماش ونسبة الانكماش لعينات الطينات المحلية وفقاً لمعيار (ASTM D4943-08, 2018)، وجاءت النتائج كالتالي:

خصائص بعض الطينات المحلية بصعيد مصر : دراسة تحليلية

جدول (٨): نتائج قياس خصائص الانكماش لعينات الطينات المحلية.

الانكماش Shrinkage	كود الاختبار	طين الطفلة	طينة السيل	الطين الزراعي
انكماش الجفاف الخطي		%٩.٨٥	%٦.٥٩	%٩.٩٠
انكماش الجفاف الحجمي		٢٩.٥٢ %	١٩.٧٧ %	٢٩.٦٧ %
انكماش الحريق الخطي		%٣.٦٦	%٤.٧٨	%١.٧٧
انكماش الحريق الحجمي	ASTM C326-09	١٠.٩٧ %	١٤.٣٣ %	%٥.٣١
الانكماش الخطي الكلي		١٣.١٥ %	١١.٠٦ %	%١١.٥
الانكماش الحجمي الكلي		٣٩.٤٠ %	٣٣.١٥ %	٣٤.٤٦ %
عامل الانكماش		١.١٥	١.١٢	١.١٣
حد الانكماش	ASTM D4943-08	%٥.٨٢	%٣.٥٣	%٦.٨٠
مؤشر الانكماش	Nelson & et.al., 2015	متوسط	ضعيف	ضعيف
نسبة الانكماش	ASTM D4943-08	١.٨٠	١.٨٧	١.٩٢
محتوى الماء	ASTM D4318-17	%٢٩		

• الكثافة الظاهرية للطينات المحلية:

تم قياس الكثافة الظاهرية الرطبة وفقاً لدراسة (Ahmadi & Gaur, 2013)، وتم قياس الكثافة الظاهرية الجافة وفقاً لمعيار (ASTM C830-00, 2016)، وتم قياس الكثافة الظاهرية الصلبة وفقاً لمعيار (ISO-18754, 2020)، وجاءت النتائج كالتالي:

جدول (٩): نتائج قياس خصائص الكثافة الظاهرية لعينات الطينات المحلية.

الكثافة الظاهرية	مصدر الاختبار	طين الطفلة	طينة السيل	الطين الزراعي
الكثافة الظاهرية الرطبة	(Ahmadi & Gaur, 2013)	١.٨٢	١.٩٢	١.٨٤

خصائص بعض الطينات المحلية بصعد مصر : دراسة تحليلية

الكثافة الظاهرية الجافة	ASTM C830-00	١,٧٥	١,٨٢	١,٨٧
الكثافة الظاهرية الصلبة	ISO-18754	١,٨٩	١,٧٣	١,٦٧
محتوى الماء	ASTM D4318-17	%٢٩		

٣. المسامية الظاهرية للطينات المحلية:

تم قياس المسامية الظاهرية للطينات المحلية وفقاً لمعيار (ISO-18754, 2020) ، وجاءت النتائج كالتالي:

جدول (١٠): نتائج قياس المسامية الظاهرية لعينات الطينات المحلية.

المسامية الظاهرية	مصدر الاختبار	طين الطفلة	طينة السيل	الطين الزراعي
المسامية الظاهرية	ISO-18754	%٢٥,٧٥	%٢٨,٨٥	%٢١,٢٩

نستنتج من نتائج تحليل الخصائص الفيزيائية ما يلي:

١. طينة الطفلة "المرل": الكثافة الظاهرية الصلبة العالية (١,٨٩ جم/سم^٣) والمسامية المتوسطة (%٢٥,٧٥) تسهم في إنتاج منتجات ذات صلابة ومثانة جيدة بعد الحرق. ومع ذلك، فإن مؤشر اللدونة المتوسط (١٧,٦) وحد السيولة الضعيف (٤٠,٣) يجعلان تشكيل الطينة تحدياً لبعض الشيء، مما يتطلب تقنيات دقيقة أثناء التشكيل. معدلات الانكماش الكلية المرتفعة (%١٣,١٥ خطأً و %٣٩,٤٠ حجماً) قد تزيد من احتمالية التشققات خلال الحرق، مما يستدعي مراقبة دقيقة لظروف الحرق. هذه الطينة مناسبة لتطبيقات تتطلب قوة وصلابة، مثل المنتجات الإنشائية أو النحتية الثقيلة.
٢. طينة السيل "الحبيبة": المسامية الظاهرية المرتفعة (%٢٨,٨٥) مع الكثافة الصلبة المتوسطة (١,٧٣ جم/سم^٣) تجعلها مثالية لتطبيقات تحتاج إلى امتصاص عالٍ أو نفاذية، مثل الفلاتر أو العناصر الزخرفية ذات المسام المفتوحة. مؤشر اللدونة المرتفع (٣٣,٩) وحد السيولة المتوسط (٥٠,١) يمنحانها قابلية تشكيل عالية، ما يسهل عمليات التشكيل المعقدة. مع ذلك، فإن الانكماش الحجمي الكلي المنخفض نسبياً (%٣٣,١٥) يساعد في تقليل التشققات أثناء الحرق، ولكن الأداء قد يتأثر تحت ضغط ميكانيكي أو حراري مرتفع.

خصائص بعض الطينات المحلية بصعيد مصر : دراسة تحليلية

٣. الطين الزراعي "طمي النيل": الكثافة الظاهرية الصلبة الأقل نسبياً (١,٦٧ جم/سم^٣) مع المسامية الظاهرية المنخفضة (٢١,٢٩%) توفر منتجات خفيفة الوزن ولكن ذات مقاومة ميكانيكية أقل. مؤشر اللدونة المرتفع (٣٥,٦) وحد السيولة الضعيف (٤٧,٤) يشيران إلى سهولة تشكيل جيدة، ولكن المنتجات قد تواجه تحديات في الاستقرار أثناء التجفيف والحرق. الانكماش الكلي المعتدل (١١,٥٠% خطياً و٣٤,٤٦% حجماً) يقلل من مخاطر التشققات، ما يجعلها مناسبة للمنتجات الزخرفية الخفيفة أو تلك المستخدمة في التطبيقات ذات الأحمال المنخفضة.

المناقشة:

أظهرت الطينات المحلية بصعيد مصر تبايناً ملحوظاً في الخصائص الفيزيائية والكيميائية، مما يعكس تنوعاً جيولوجياً وطبيعياً واضحاً. وقد تم تحديد طين الطفلة وطينة السيل والطين الزراعي كأنواع رئيسية لها استخدامات مختلفة في صناعة الخزف. كما أظهرت النتائج أن طينة السيل تتمتع بمرونة وتشكيل سهل بفضل مؤشر اللدونة المرتفع، بينما يوفر طين الطفلة خصائص صلابة ممتازة بعد الحرق ولكن مع تحديات في التشكيل. ويؤثر وجود كميات متفاوتة من أكسيد الكالسيوم والسيليكا على خصائص الحرق والصلابة. بينما كان للطين الزراعي تأثير لوني داكن بعد الحرق بسبب ارتفاع أكسيد الحديد. كما ساعدت الاختلافات في معدلات الانكماش والمسامية والكثافة الظاهرية على تحديد الاستخدامات المثلى لكل نوع من الطين.

الاستنتاجات:

- تُعد طين الطفلة مناسباً للتطبيقات التي تتطلب منتجات صلبة وتحمل درجات حرارة عالية، ولكن قد يحتاج إلى خلطه مع مواد تزيد من ليونته.
- تُعد طينة السيل خياراً متعدد الاستخدامات لتطبيقات فنية وزخرفية، حيث تجمع بين المتانة والمرونة.
- يتميز الطين الزراعي بسهولة التشكيل، مما يجعله مثالياً للاستخدام في المنتجات الزخرفية ذات الأحمال الخفيفة.

النتائج:

١. أظهرت الدراسة تبايناً في تصنيف الطينات المحلية وفقاً لنسب الطين والطين والرمل. الطينات الثلاث (طين الطفلة، طينة السيل، والطين الزراعي) تمتاز بخصائص مختلفة تجعلها ملائمة لمجموعة واسعة من الاستخدامات.
٢. كشف تحليل XRD عن وجود معادن مثل الكوارتز والكاولينيت والمونتموريلونيت في الطينات المحلية. هذه المكونات عززت الليونة والصلابة، خاصة في طينة السيل والطين الزراعي.
٣. الخصائص الفريدة لبعض الطينات المحلية، مثل المرونة العالية والليونة، تجعلها ملائمة للاستخدام في الصناعات المتقدمة مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد وتصميم المنتجات الهندسية.
٤. توفر الطينات المحلية موارد مستدامة يمكن استغلالها لتقليل الاعتماد على المواد المستوردة، مما يدعم الصناعات المحلية ويعزز الاقتصاد.
٥. توفر البيانات التحليلية فرصة لتطوير تقنيات إنتاج مبتكرة تستخدم المواد المحلية بشكل أكثر كفاءة وفعالية، مما يساهم في تحسين جودة المنتجات النهائية.

التوصيات:

١. إجراء دراسات إضافية تشمل الطينات من مواقع مختلفة لتوسيع قاعدة البيانات وتعزيز الفهم العلمي.
٢. تطوير خلطات طينية مخصصة من خلال دمج أنواع مختلفة من الطينات المحلية لتحسين الخصائص المطلوبة حسب الاستخدام.
٣. تشجيع استخدام الطينات المحلية في تطبيقات متقدمة لتعزيز الاستدامة وتقليل الاعتماد على المواد المستوردة.
٤. الاستثمار في تقنيات متقدمة لتحليل وتصنيع المنتجات الخزفية باستخدام الطينات المحلية، مع التركيز على الطباعة ثلاثية الأبعاد والتصميم الهندسي.
٥. تنظيم ورش عمل وتدريبات لتتقيف المصنعين والفنانين حول أفضل طرق استخدام الطينات المحلية وتحسين العمليات الإنتاجية.

المصادر والمراجع:

المصادر والمراجع العربية:

١. سليمان، ابراهيم دسوقي عبدالموجود (٢٠٢٤). طرق توصيف وتحليل خصائص الطينات ودورها في تحسين الانتاج الخزفي. مجلة جامعة جنوب الوادي الدولية للعلوم التربوية، المجلد ٧، العدد ١٣. doi:

<https://doi.org/10.21608/musi.2024.341832.1194>

٢. عبد الموجود، ابراهيم دسوقي. (٢٠٢٤). معالجة الطينات المحلية لنتاج خزفيات معاصرة باستخدام تقنية الطباعة الخزفية ثلاثية الأبعاد. رسالة دكتوراة. كلية التربية النوعية، جامعة جنوب الوادي. doi:

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.35203.11047>

المصادر والمراجع الأجنبية:

3. Abdeen, H. H. (2016). Properties of Fired Clay Bricks Mixed with Waste Glass. *Master Thesis*. Palestine: The Islamic University–Gaza.
4. Ahmadi, I., & Ghaur, H. (2013). Silage-corn harvesting machinery traffic effects on soil bulk density and water permeability. *Research in Agricultural Engineering, Vol. 59, No. 4*, pp. 136-140. doi: <https://doi.org/10.17221/2/2013-RAE>
5. Amorós, J., & et.al. (2010). Non-destructive measurement of bulk density distribution in large-sized ceramic tiles. *Journal of the European Ceramic Society, Volume 30, Issue 14*, pp. 2927-2936. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.01.033>
6. Andrade, F., & et.al. (2011). Measuring the plasticity of clays: A review. *Applied Clay Science Volume 51, Issues 1–2*, 1-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.10.028>
7. ASTM C20-00. (2022). *Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water*. USA: ASTM Compass. doi: <https://doi.org/10.1520/C0020-00R22>

8. ASTM C326-09. (2018). *Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkages of Ceramic Whiteware Clays*. USA: ASTM Compass. doi: <https://doi.org/10.1520/C0326-09R18>
9. ASTM C830-00. (2016). *Standard Test Methods for Apparent Porosity, Liquid Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Refractory Shapes by Vacuum Pressure*, ASTM Compass. USA: ASTM Compass. doi: <https://doi.org/10.1520/C0830-00R16>
10. ASTM D4943-08. (2018). *Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Wax Method*. USA: ASTM Compass. doi: <https://doi.org/10.1520/D4943-08>
11. Asuri, S., & Keshavamurthy, P. (2016). Expansive Soil Characterisation: an Appraisal. *INAEL 1*, pp. 29–33. doi: <https://doi.org/10.1007/s41403-016-0001-9>
12. Bobrowsky, P. T., & et.al. (2018). *Encyclopedia of Engineering Geology: Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Germany: Springer.
13. Boivin, P., & et.al. (2004). Relationship between Clay Content, Clay Type, and Shrinkage Properties of Soil Samples. *Soil Science Society of America, Volume68, Issue4*, pp. 1145-1153. doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1145>
14. Gapak, Y., & et.al. (2017). Laboratory determination of volumetric shrinkage behavior of bentonites: A critical appraisal. *Applied Clay Science, Volume 135*, pp. 554-566. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.10.038>
15. Garrison, E. (2016). *Techniques in Archaeological Geology: Natural Science in Archaeology* (Vol. 2nd Edition). Springer: Germany.
16. Gorączko, A., & Olchawa, A. (2017). The Amounts of Water Adsorbed to the Surface of Clay Minerals at the Plastic Limit. *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics, Vol. 64, No. 3–4, P. 165.*, 155-162. doi: <https://doi.org/10.1515/heem-2017-0010>
17. Groenendyk, D. G., & et.al. (2015). Hydrologic-Process-Based Soil Texture Classifications for Improved Visualization of

- Landscape Function. *PLoS ONE* 10(6),e0131299, 1-7. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131299>
18. Grønbech, G. L., & et.al. (2011). Comparison of Liquid Limit of Highly Plastic Clay by Means of Casagrande and Fall Cone Apparatus. *14th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering 64th Canadian Geotechnical Conference, October 2-6*. Toronto, Ontario, Canada.
 19. Hamer, F., & Hamer, J. (2015). *The Potter's Dictionary of Materials and Techniques*. USA: University of Pennsylvania Press.
 20. Holtz, R. D., & et.al. (2011). *An Introduction to Geotechnical Engineering* (2nd Edition ed.). UK: Pearson.
 21. Hoogsteen, M. J., & et.al. (2015). Estimating soil organic carbon through loss on ignition: effects of ignition conditions and structural water loss. *European Journal of Soil Science, Volume 66, Issue 2*, 320 – 328. doi: <https://doi.org/10.1111/ejss.12224>
 22. ISO-18754. (2020). *Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) Determination of density and apparent porosity*. Vernier, Geneva, Switzerland.
 23. Janet J. Kipsanai, e. (2017). A Study of Selected Kenyan Anthill Clays for Production of Refractory Materials. *International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 7, Issue 9*, pp. 169-179.
 24. Jock, A. A., & et.al. (2013). Development of Refractory Bricks from Nigerian Nafuta Clay Deposit. *International Journal of Materials, Methods and Technologies, Vol. 1, No. 10, p.190.*, 189-195.
 25. Kipsana, J. J. (2018). A Study of the Refractory Properties of Selected Clay deposit in Chavakali, Kenya. *International Journal of Scientific and Technical Research in Engineering (IJSTRE), Volume 3, Issue 1*, pp. 19-27.
 26. Lydia, J. S., & et.al. (2019). Statistical Analysis on Physico-Chemical Properties of Some Nigerian Clay Deposits. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering Vol.7 No.8*. doi: <https://doi.org/10.4236/msce.2019.78007>

27. Mat Nawi, A. (2013). Effect of waste plaster of paris on physical and mechanical properties of ceramic pottery body. *Master Thesis*. Malaysia: Universiti Tun Hussein Onn Malaysia.
28. McColm, I. (2013). *Dictionary of Ceramic Science and Engineering*. Germany: Springer Science & Business Media.
29. McColm, I. (2013). *Dictionary of Ceramic Science and Engineering*. New York: Springer.
30. Mineralogical Society of the UK and Ireland. (2023, 17). *Images of Clay*. Retrieved from Mineralogical Society of the UK and Ireland: <https://www.minersoc.org/images-of-clay.html>
31. Mukherjee, S. (2013). *Science of Clays: Applications in Industry Engineering And Environment*. USA: Springer.
32. Nelson, J. D., & et.al. (2015). *Foundation Engineering for Expansive Soils*. New Jersey, USA: Wiley & Sons, Inc.
33. Otçu, N. Ü., & et.al. (2017). Determination of the Plasticity Index of Soils with Fine-Grained Soils Using Methylene Blue Test. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 5, 165-181. doi: <https://doi.org/10.4236/gep.2017.53012>
34. Otunniyi, I. O. (2013). In Situ Determination of Surface Porosity and Pore Characterization in Refractories. *Journal of Materials and Metallurgical Engineering, Volume 3, Issue 3*, pp. 14-22.
35. Oummadi, S. (2019). Drying behaviour of ceramic green bodies: experimental characterization and numerical modelling. *Ph.D. Thesis*. France: Université De Limoges.
36. Phogat, V., & et.al. (2015). Soil Physical Properties. In e. Rattan R.K. (Ed.), *Soil Science: An Introduction*. New Delhi: Indian Society of Soil Science.
37. Prasanna, H. S., & et.al. (2022). A Study on Volumetric Shrinkage of Compacted Fine-Grained Soils Subjected to Various Energy Levels. In L. Nandagiri, & et.al., *Sustainability Trends and Challenges in Civil Engineerin*. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 162, Springer. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-16-2826-9_17

38. Rice, P. M. (2015). *Pottery Analysis* (2rd Edition ed.). USA: University of Chicago Press.
39. Twarakavi, N. K. (2010). Can texture-based classification optimally classify soils with respect to soil hydraulics? *WATER RESOURCES RESEARCH*, VOL. 46, W01501, P. 1., 1-11. doi: <https://doi.org/10.1029/2009WR007939>
40. Velde, B. (1995). *Origin and Mineralogy of Clays: Clays and the Environment*. USA: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
41. Wang, Y., & et.al. (2013). Shrinkage behaviour of a compacted lime-treated clay. *Géotechnique Letters*, Volume 10, Issue 2, pp. 1-5. doi: <https://doi.org/10.1680/jgele.19.00006>
42. Wen, B. (2002). A Comparative Study of Particle Size Analyses by Sieve-Hydrometer and Laser Diffraction Methods. *Geotechnical Testing Journal*, Dec, Vol. 25, No. 4. doi: <https://doi.org/10.1520/GTJ11289J>