دراسة تحليلية لمكونات الصور الجدارية المنفذة على حامل من الطوب اللبن بمقبرة "كاى" حديثة الاكتشاف بالجبانة الغربية لهرم خوفو، وخطوات العلاج السريع فور الاكتشاف.•

ملخص البحث:

تهدف دراسة الصور الجدارية بمقبرة الكاهن كاي – بمنطقة الجبانة الغربية لهرم خوفو – لمعرفة مكونات طبقاتها وتأثرها بالظروف البيئية المحيطة خاصة التفاوت في درجات الحرارة والرطوبة بصورها المختلفة. وعن طريق أخذ بعض عينات المقبرة تم إجراء الفحوص والتحاليل المعملية باستخدام حيود الأشعة السينية XRD، التحليل الحراري التفاضلي DTA, TG والفصل المعدني للمعادن الطينية الداخلة في تركيب الصور الجدارية.

ومن خلال النتائج وجدت نسب كبيرة من المعادن الطينية clay minerals الداخلة في تركيب كل من حامل التصوير المبني من الطوب اللبن وكذلك أرضيات التصوير التحضيرية. هذا بجانب وجود بعض الأملاح قابلة للذوبان في الماء. وهذه المكونات أثرت على طبقات الشيد بما تحمله من طبقة التصوير مما أدى إلى تشققها وانفصالها وفي الحالات القصوى سقوط طبقة التحضير (الشيد) بما تحمله من طبقة التصوير وانفصالها عن حامل التصوير خاصة في بدايات الكشف عن المقبرة. وقد تم إجراء العلاج المبدئي السريع أثناء الكشف عن المقبرة. ووضع سقيفة خشبية مبدئية لحجب المقبرة عن الظروف الجوية المحيطة.

مقدمة:

استخدم الطوب اللبن كمادة للبناء منذ آلاف السنين، وقد شاع استخدامه في شتي بقاع الأرض، وهذا الشيوع في الاستخدام أوجد تضارباً لدى علماء الآثار وعلماء التاريخ والأنثربولوجي فيما يتعلق بالفترات المحددة تاريخياً لاستخدام الطوب اللبن.

وإذا نظرنا إلي ما هو موجود من الآثار المشيدة مما تكشف عنه الحفائر بمصر لأيقنا أن أرض وادي النيل قد شهدت استخدامات مبكرة جداً من الطوب اللبن حيث كانت مادة الطوب هي المادة الأساسية التي شيد منها المصري القديم مبانيه، وقد استخدم المصري القديم الطوب اللبن منذ عصر ما قبل الأسرات ثم بعد ذلك في عصر الأسرات المبكر وحتى الدولة الحديثة، ولازال الطوب اللبن يستخدم في ريف مصر حتى يومنا هذا.

ويشير لوكاس إلي أن أقدم لبنات من الطوب اللبن وجدت بمصر ترجع إلي عصر ما قبل الأسرات في حضارة نقاده الأولي والثانية وأيضاً الطوب المستخدم في مقابر الأسرتين الأولى والثانية بسقارة.(١)

ويتفاوت حجم الطوب اللبن المصري القديم في العادة مع الطوب الحديث، حيث يوجد بالمتحف المصري لبنات تتراوح أبعادها على وجه التقريب ٩٦,٥ × ٥٣,٣ × ٣٠,٥ سم، أيضاً وجد أن أبعاد الطوب اللبن في بعض المناطق مثل منطقة أبو صير ويرجع تاريخها إلي الأسرتين الخامسة والسادسة والعشرين تتراوح بين ٢٧ × ١٣ × ٩ سم، ٣٣ × ١٦ × ١١ سم على التوالي(٢) وفي الجيزة كانت أبعاد الطوب الذي شيدت منه المقبرة موضوع البحث ٤٠ × ١٦ × ١٣ سم.

• أ.د محمد عبد الهادي كلية الآثار – جامعة القاهرة – قسم ترميم الآثار.
د. أحمد سيد شعيب: كلية الآثار – جامعة القاهرة – قسم ترميم الآثار.
د. زاهي حواس : المجلس الأعلى للآثار.
نهي أبو ليله: المجلس الأعلى للآثار.

وقد كشفت الحفائر التي قام بها المجلس الأعلى للآثار تحت إشراف زاهي حواس بالجبانة الغربية لهرم خوفو عن إحدى المقابر ذات الطابع المعماري المتميز وذلك في عام ١٩٩٨ ويرجع تاريخ هذه المقبرة إلي عصر الأسرة الخامسة، الدولة القديمة وترجع أهمية هذه المقربة إلى أنها شيدت بالطوب اللبن وتحتوي على صور جدارية نفذت على طبقات مختلفة من الشيد، بجانب أنها لم يتم الكشف عنها من قبل وأن بها مناظر فريدة من عصر الدولة القديمة.

وصف المقبرة:

تتكون المقبرة من حجرة واحدة أبعادها ٢,٨٠ × ٢,١٠ × ٢,١٥ متر مربع، شيدت من الطوب اللبن (أبعاد كل وحدة منها ٤٠ × ١٦ × ١٣ سم) ويتراوح سمك الجدران كالآتي:-

الجدار الغربي ٦٢سم -٦٠ سم، الجدار الشرقي ١,٥٦ سم، الشمالي ٦٠ سم، الجنوب ٦٢ سم. والمقبرة لها مدخلين أحدهما يقع إلي الشرق في نهاية الجدار الشرقي من جهة الجنوب، والأخر يقع في نهاية الجدار الجنوبي من جهة الغرب (شكل ١).

العناصر المعمارية بالمقبرة:

- بابين وهميين بالجدار الغربي.
- بئرين للدفن بجوار الجدار الشمالي من الداخل ويمتدان بطوله من الشرق إلي الغرب.
- وجد بوسط المقبرة لوحة من الحجر الجيري الجيد مستديرة الشكل وجد بوسطها حفرة مستديرة يعتقد أنها كانت قاعدة لعمود من الخشب يحمل سقف المقربة حيث وجد بهذه الحفرة أجزاء من بقايا خشبية، وقد نقش على هذه القاعدة اسم صاحب المقبرة وألقابه حيث وجد أنها تخص الكاهن "كاى".
- وجد حوض للقرابين (من الحجر الجيري) أمام الباب الوهمي الجنوبي أبعاده ٢٠ × ١٦ × ٦ سم.

ظروف الكشف عن المقبرة وخطوات الترميم والإسعافات الأولية (علاج سريع):

وضعت خطة لترميم هذه المقبرة أثناء الكشف عنها وبعده، وقد راعت الخطة عدة اعتبارات منها الخصائص الفيزيوكيميائية للمواد المشيدة منها المقربة وهي الطوب اللبن كحامل للتصوير وأيضاً مكونات الشيد الحامل للصور الجدارية- أيضاً اختيار الوقت المناسب لبدء عملية الحفر والتي بدأت في نوفمبر ١٩٩٨ حيث اعتدال درجات الحرارة في هذا الوقت وثبات الظروف المناخية حيث أن درجات الحرارة العالية تعمل على سرعة تبخر المحتوى المائي بما يحمله من أملاح للطوب اللبن في حالة الكشف المفاجئ وبالتالي إلي سرعة الجفاف والانكماش والتشقق خاصة عند الأسطح الخارجية مما ينتج عنه انفصال طبقات الشيد الحاملة للصور الجدارية – أيضاً إجراء المعالجات الفورية أثناء الكشف، وكانت خطوات الكشف كالتالي:

- بدأ إزالة الرديم من أعلى إلي أسفل حيث أن سقف المقبرة متهدم، أنظر صورة رقم (١) .
- إزالة الرديم طبقة بعد الأخرى، وقد تراوح سمك كل طبقة ما بين ٥ سم-١٠ سم.
- ولتجنب تعرض الطبقات المصورة للعوامل الجوية بصورة مباشرة كانت تغطي مرة ثانية برمال ناعمة جافه ونظيفة (بمثابة كمادة)، وذلك بعد تأمينها وتثبيتها بغرض الجفاف التدريجي حيث كانت تترك لليوم الثاني ثم تكشف ثانية تدريجيا بعد ذلك يتم تنظيفها وتثبيت القشور المنفصلة باستخدام البريمال Primal AC33 .
- أثناء إزالة الرديم وجد كثير من الأجزاء المتساقطة والمنفصلة من طبقات الشيد بما تحمله من الطبقة المصورة بجوار الجدران فكان يتم معالجتها في مكانها أولاً ثم ترفع بعد ذلك ويتم مطابقتها بالرسوم

الموجودة بالجدار ليتم استرجاعها مرة أخرى إلي مكانها ولصقها عن طريق البريمال AC33 أو باستخدام مستحلب خلات الفينيل أنظر صورة رقم (٢) .

- احتوت طبقات الرديم على كسر الفخار والحجر الجيري والطوب اللبن والرمل الخشن مما أدى إلي تساقط أجزاء من الشيد نتيجة التصاق الرديم الخشن بها فكان يتم إزالتها ميكانيكياً بحرص شديد ثم إعادة الأجزاء المنفصلة مرة أخرى إلي مكانها بنفس الأسلوب السابق.
- أثناء عمليات الحفر فقد تم إقامة سقف مؤقت من الخشب لحماية المقبرة من الظروف المناخية والجوية غير المتوقعة، أيضاً كان يتم تغطية الأجزاء التي تم الكشف عنها ومعالجتها بغطاء من البولي إثيلين.[٣]

الفحص والتحليل:

من خلال التحليل باستخدام حيود الأشعة السينية XRD والدراسة البتروجرافية والفصل لمعادن الطين Clay minerals واستخدام التحليل الحراري التفاضلي (TG, DTA) أمكن التعرف على نسب ومكونات التركيب البنائي للصور الجدارية للمقبرة موضوع البحث. وقد تم تجميع عينات من أماكن مختلفة تمثل الطبقات المختلفة من المقبرة موضوع البحث. ومن خلال الفحص الميكروسكوبي لطبقات الشيد فقد تم التعرف على الألياف العضوية النباتية (تبن مقرط Chopped Straw) حيث كان الهدف من استخدام هذه الألياف هو إعطاء تماسك لطبقات الشيد بجانب عدم تشققها وانفصالها (صورة ٣).

- طبقة البطانة الداخلية: Rough coat (Arriccio)

وهي الطبقة الأولى التي عالجت خشونة وعدم تجانس واستواء حامل التصوير المشيد من الطوب اللبن، وهذه الطبقة تتكون من حبيبات كبيرة نسبيا وغير متجانسة ذات لون مائل للاصفرار وسمك يتراوح ما بين ٤ سم – ١,٣ سم، هشة تتفكك بسهولة عند الضغط الخفيف بأصابع اليد.

- طبقة البطانة الخارجية: Finer coat (Intonaco)

وهي الطبقة الثانية التي عالجت خشونة وعدم تجانس الطبقة السابقة حيث أنها ذات حبيبات أدق وسمك أقل من ٣,٤سم – ١,٢سم ولون رمادي، وهي هشة وتتفكك أيضاً بسهولة.

- طبقة الغسول الأبيض: White-Wash

وهي الطبقة التي تم الرسم والتلوين عليها مباشرة، ذات حبيبات دقيقة للغاية ويميل لونها للون الأصفر المائل للبيج وذات سمك قليل حوالي ٣مم وهذا واضح من العينات التي تم تجميعها وتم فحصها من المقبرة موضوع البحث. شكل (٢)، صورة (٤).

الطبقة المصورة: Painted layer

وهي الطبقة المصورة والملونة التي تم تنفيذها مباشرة على طبقة الغسول الأبيض وقد ظهرت بهذه الطبقة ألوان صفراء وحمراء وبيضاء وزرقاء وسوداء.

التحليل باستخدام حيود الأشعة السينية XRD

تمت دراسة التركيب المعدني ومكونات الألوان المنفذة في طبقة التصوير وكذلك طبقات الشيد التحضيرية (بطانة داخلية وخارجية والغسول الأبيض) باستخدام حيود الأشعة السينية، وقد تم الاستعانة بالكروت (ASTM cards) للتعرف على المعادن المختلفة المكونة للعينات التي تم تحليلها والمكونة للعينات السابقة، والكروت التي تم استخدامها هي على النحو التالي:

كالسيت	05- 0586	No.	Card	ASTM	Calcite
كوارتز	46- 1045	No.	Card	ASTM	Quartz
جبس	33- 0311	No.	Card	ASTM	Gypsum
أنهيدريت	06- 0226	No.	Card	ASTM	Anhydrite
هاليت	05- 0628	No.	Card	ASTM	Halite
هيماتيت	13- 534	No.	Card	ASTM	Hematite
جوثيت	17- 0536	No.	Card	ASTM	Goethite

وقد تم التعرف على الألوان المستخدمة بالمقبرة ودلت النتائج على ما يلي:

اللون الأبيض عبارة عن كبريتات الكالسيوم المائية $CaSO_4.2H_2O$ (جبس) (33-0311) (شكل رقم ٣) وكذلك كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ (كالسيت) (05-0586)، واللون الأحمر المستخدم وهو المعزه الحمراء– Fe_2O_3 (هيماتيت) (13-534)، واللون الأصفر عبارة عن أكسيد حديد مائي $FeO(OH)$ (17- 0536)، أما اللون الأسود فكان عبارة عن كربون ذو أصل عضوي. أما اللون الأزرق فقد تعزر عمل تحليل لهذا اللون نظراً لصعوبة أخذ عينات كافية من المقبرة.

طبقة البطانة الداخلية: Rough coat (Arriccio)

ظهر من التحليل باستخدام حيود الأشعة السينية XRD لعينات طبقة البطانة الداخلية أن هذه الطبقة تتكون أساساً من الكوارتز α quarte يليه الكالسيت $CaCO_3$ هذا بجانب مكونات ضئيلة من الجبس $Ca\ SO_4.2H_2O$ هذا بجانب معادن الطين Clay minerals. (شكل رقم٤)

طبقة البطانة الخارجية: Finer coat (Intonaco)

وتتكون هذه الطبقة (ذات الحبيبات الدقيقة) طبقاً لتحليل حيود الأشعة السينية أنها تتكون أساساً من الكوارتز α quarte SiO_2 (1045 -46) وكالسيت $CaCO_3$ (0586 -05) وجبس في بعض العينات هذا بجانب معادن الطين Clay minerals . (شكل رقم٥).

طبقة الغسول الأبيض: White wash layer

وجد أن هذه الطبقة تتكون من الكوارتز α quarte (1045-46) والكالسيت (0586-05) لمكونين أساسيين بجانب وجود الجبس في بعض العينات (0311 -33) وهاليت Halite NaCl (05- 0628)بنسب ضئيلة. (شكل ٦) وجدول (١).

Sample No.	Layer No.	Mineral Constituents		Traces of
		Major	Minar	
1	White Wash	Quartz - Calcite	Halite	
	Finer coat	Quartz - Calcite	Flisbar	Clay M
	Rough coat	Quartz - Calcite	Gypsum	Clay M
2	White wash	Quartz – Calcite - Gypsum	Halite	
	Finer coat	Quartz – Calcite - Gypsum		Clay M
	Rough coat	Quartz – Calcite - Gypsum		Clay M
3	White wash	Quartz – Calcite - Gypsum	Halite	
	Finer coat	Quartz – Calcite - Gypsum		Clay M
	Rough coat	Quartz – Calcite - Gypsum		Clay M

جدول رقم (١) يوضح مكونات طبقات التصوير الجداري لمقبرة كاي من خلال التحليل باستخدام حيود الأشعة السينية.

التحليل الحراري التفاضلي Differential Thermal Analysis (DTA)

يهدف هذا التحليل إلي معرفة نسب المكونات الداخلة في تركيب طبقات الشيد المختلفة، حيث أجريت التحاليل على العديد من هذه العينات وكانت النتائج في الجدول كالتالي:

طبقة البطانة الداخلية: Rough coat (Arriccio)

وجد أن متوسط نسبة الكالسيت ٢٩% والمونتموديللبنت ٢٧% والجبس ٢٤% (شكل ٧).

طبقة البطانة الخارجية: Finer coat (Intonacco)

وجد أن نسبة المونتموريللنينت ٥٢% والجبس ١٢% ثم الكالسيت ١١% هذا والباقي عبارة عن فقد للرطوبة وغاز CO_2 وSiO_2. (شكل ٨)

طبقة الغسول الأبيض: White wash

المونتموريللينيت ٤٠% والكالسيت ٢١% ثم الجبس ١٧%. (شكل ٩) وجدول (٢).

حامل التصوير: Wall Support

وهو الطوب اللبن. فقد وجد أن نسبة معدن المونتموريللونيت هو ٨٨% والباقي نسبة من الرطوبة والفاقد في الوزن نتيجة للتسخين لدرجة حرارة ١٠٢٠°م.

ومن التحليل السابق يتضح تواجد معادن الطين ممثلة في المونتموريللونيت بنسبة كبيرة جداً وكمكون أساسي يليه وبنسب متوسطة كل من الكالسيت ثم الجبس.

التحليل المعدني للمكونات الطينية (فصل المعادن الطينية):

تم تعيين المعادن الطينية للمحتوي الطيني لكل من حامل التصوير وطبقات الشيد التحضيرية المختلفة والتي لم يتم تحديد نسبتها التقديرية في طريقة التحليل بحيود الأشعة السينية وذلك باستخدام طريقة الترسيب بعد معالجة العينات بحمض الهيدوكلوريك المخفف HCl (١:١).

وللتفريق بين أنواع المعادن الطينية المختلفة تم إعداد ثلاث شرائح موجهه Oriented Samples لكل عينة من العينات المختبرة، إحداهما غير معالجة Untreated والثانية معالجة بالإيثلين جليكول Glycolated والثالثة تم تسخينها في دراجة حرارة ٥٥٠م° لمدة ساعتين Heated Sample وقد دلت النتائج على أن المكون الطيني لحامل التصوير هو معدن المونتموريللنيت بنسب كان متوسطها ٦٦% ومعدن الكاولنييت ٢٢% ثم الإليت بنسبة متوسطها ١١%.

وفي البطانة الداخلية وجد أن متوسط معدن المونتموريللينيت ٧٥% ومعدن الكاولينيت ٢٢% والأليت وجد بنسبة ضئيلة للغاية بمتوسط ٢% في حين وجد أن متوسط معدن المونموريلليت في طبقة البطانة الخارجية ٦٤% والكاولينت ٢٦% والأليت ١٠%.

أما طبقة الغسول الأبيض فوجد المونتموريلليت بنسبة متوسطها ٤٨% والكاولينت ٣٩% والأليت ١٣ %. (شكل ١٠).

Serial No.	Samp No.	Central Lab. Nos	Mineral Constituents		Wt.% of hydroxyl water of montmorillonite	Wt.% of montmorillonite	Wt.% of CO_2 gas Calcite	Wt.% of Calcite	Wt.% of hydroxyl water of Plaster	Wt.% of Plaster	Total loss in Wt. due to heating up to 1020°C
			Major	Minor							
1	1	9571	Montmorillonite, quartz, Calcitte, and Plaster	--	2.18	40	9.3	21	1.07	17	14.79%
2	2	9572	Montmorillonite and quartz	Plaster and Calcitte	2.83	52	4.98	11	0.77	12	11.99%
3	3	9573	Calcitte, montmorillonite nite plaster, and quartz	--	1.45	27	12.9	29	1.5	24	18.33%
4	4	9574	montmorillonite	--	4.75	88	--	--	--	--	17.48%

الخلاصة ومناقشة النتائج:

- من الدراسات التحليلية السابقة تتضح النسب المرتفعة للمعادن الطينية Clay minerals سواء بحامل التصوير (الطوب اللبن) بطبقة الحال – ثم في طبقات الشيد الثلاث حيث تم التعرف على المونتموريللنيت كمكون أساس يلية الكاولينيت ثم نسب متوسطة أو ضئيلة من الإليت، وهذا يتوافق مع الدراسات النظرية السابقة(٤).

- ويتضح من النتائج التي تم الحصول عليها أن أهم عوامل تلف كل من حامل التصوير وطبقات الشيد بالمقبرة موضوع البحث هو المواد المستخدمة والمنفذة في تركيبها ثم الرطوبة بصورها المختلفة. وكانا السبب الرئيسى لسقوط وانفصال وتفكك طبقات الشيد بما تحمله من طبقة التصوير.

- فتواجد نسب كبيرة من معدن المونتموريللينت بحامل التصوير وكذلك طبقات الشيد يتأثر بشدة بالرطوبة حيث ينتفش ويكبر حجم هذا المعدن بما يتسبب عند انفصال وتساقط للشيد بما يحمله من طبقة التصوير. أما في ظروف الجفاف فينكمش هذا المعدن وبالتالي يتشقق بصورة مفاجئه فتنفصل وتتشقق بل وتتساقط طبقات الشيد وكذلك طبقة التصوير المنفذة عليها.

- المقبرة موضوع البحث كانت قريبة جدا من سطح الهضبة وبالتالي فإنها وبالرغم من كونها كانت مغطاه بالرديم إلا أنها تأثرت بالرطوبة والأمطار بجانب درجات الحرارة وتفاوتها بالمنطقة.

- تأثرت الصور الجداريه المنفذة على الأسطح الخارجية للمقبرة –من جراء دفنها في بيئة الدفن– بالأملاح قابلة الذوبان في الماء مثل كالهاليت NaCl خاصة عند تعريضها (في البداية بصورة) مفاجئة لبيئة التعريض.

- كما أن الألياف النباتية المستخدمة والممزوجة مع الشيد الطيني في حامل التصوير وكذلك في طبقات الشيد كان لها تأثيرها المتلف للأثر حيث أن هذه الألياف (التبن المفرط) بالرغم من أنها تساعد على تماسك قوالب الطوب اللبن وطبقات الشيد وتحسن من خواصهما إلا أنها كانت سبباً في الاحتفاظ بالرطوبة ولفترة طويلة ثم عرضة لنمو الكائنات الحية الدقيقة وهذا ما أكدته دراسات مماثلة على مقابر من نفس الطراز(٥).

- بمجرد التأكد عند الكشف عن المقربة أن بها صور جداريه ملونه تم عمل سقيفة خشبية لحمايتها من الظروف الجوية المختلفة، ثم تم الردم التدعمى للطبقات المنفصلة وتم الكشف عنها بصورة متدرجة وبطيئة.

- تم العلاج السريع عند الكشف باستخدام البريمال Primal AC33 في إعادة تثبت الأجزاء المفقودة من الشيد وكذلك تثبت القشور المنفصلة من طبقة التصوير.

- استخدمت كذلك مادة مستحلب خلات الفينيل في إعادة تثبت الأجزاء المنفصلة لطبقات الشيد لتثبيتها في أماكنها بما عليها من طبقة تصوير. وجاري عمل عينات معملية تحاكي طبقات الشيد المختلفة الأثرية وبنفس مكونتها مع ظروف مماثلة للتلف ومظاهرة وذلك بغرض اختبار أنسب مواد التثبيت والتقوية.

المصادر والمراجع:

١- الفريد لوكاس: المواد والصناعات عند قدماء المصريين. ترجمة زكي اسكندر. محمد غنيم القاهرة،١٩٩١ص٨٨.

2- Fatma M. Hemi. Deterioration and Conservation of some mud brick in Egypt. In 6th International conference on the Conservation of Earthen Architecture, Adobe 90 preprints New Mexico90, pp. 277-282.

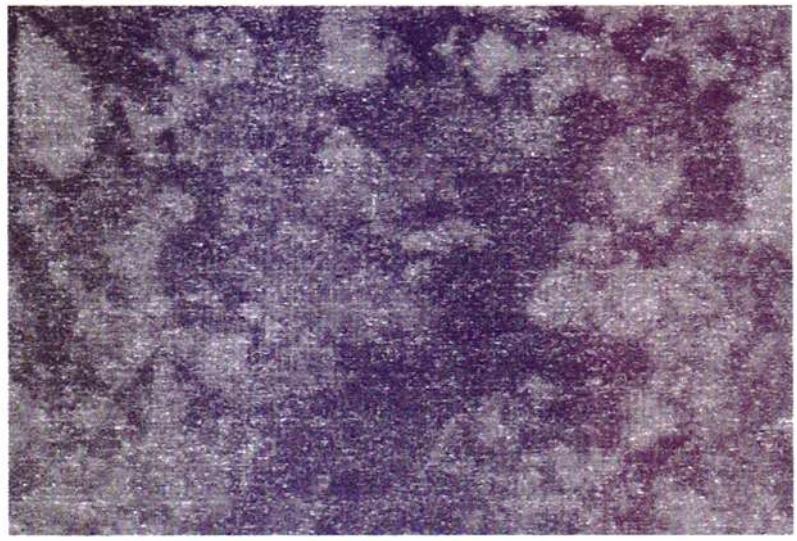
3- Abd el Hady. M. shoeib, A., Hawas, Z. and Abou Lila, N., "Scientific Methods used In Excavating and Conserving a Wall painted, Mud brick Tomb from Giza plateau". In Eighth International Congress of Egyptologists. Cairo 28 March- 3 April 2000.

4- Jiri, S., and Ludvik, L., Outline of Mud Brick Structures at Abusir, Egypt. In 6th International conference on the conservation of Earthen Architecture, Adobe 90, preprints, New Mexico 90, pp. 449-454.

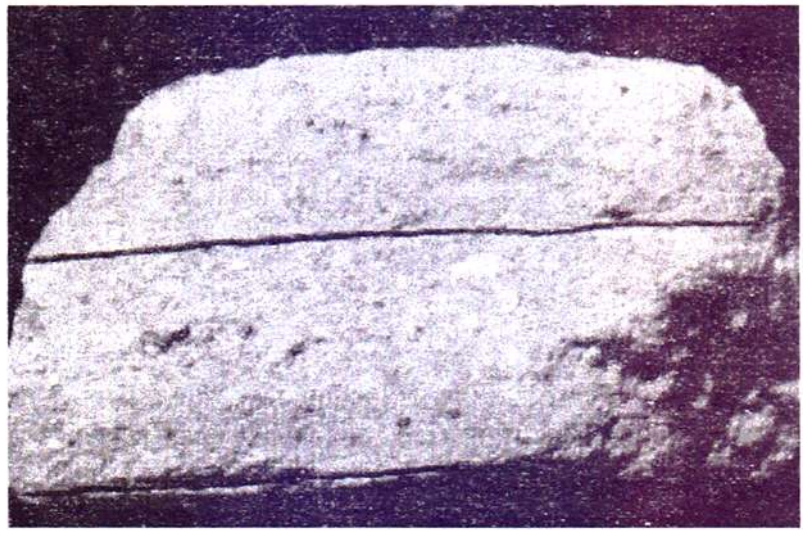
5- Strzelczyk, A., Microbial Biodeterioration, in: Stone in Rose, Academic press, London, 1981.

صورة (١) توضح موقع المقبرة قبل الكشف عليها.

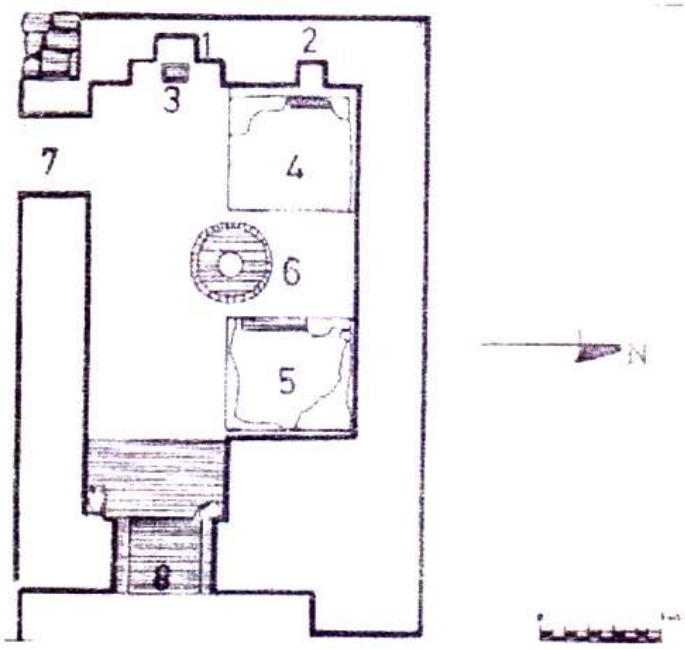
صورة (٢) توضح حالة المقبرة بعد الكشف عليها وتثبيت قشور الألوان والطبقات



صورة (٣) توضح الأياف النباتية بطبقات الشيد تحت الميكروسكوب.

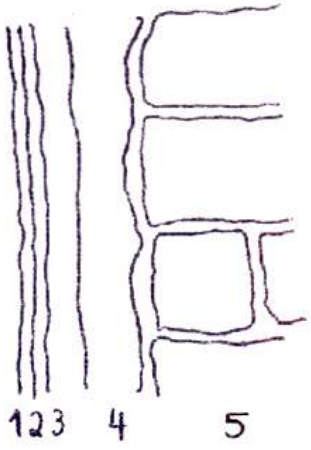


صورة (٤) توضح تتابع وسمك طبقات الشيد.

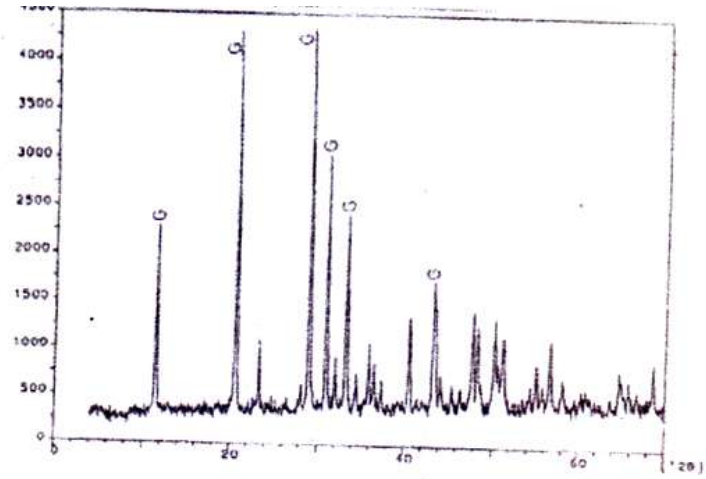


شكل (١) مسقط أفقي للمقبرة.

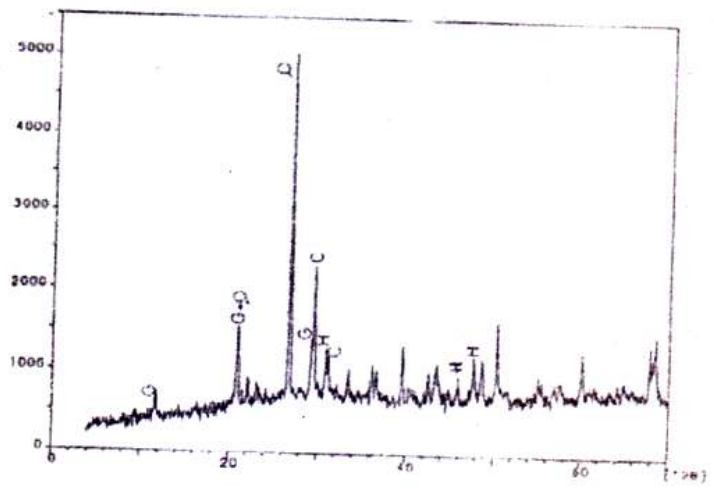
1- Mud brick support.
2- Rough coat (Arriccio).
3- Finer coat (Intonaco).
4- White wash layer.
5- Painted layer.



شكل (٢) يوضح تتابع طبقات التصوير الجداري وسمكها من مقبرة الكاهن كاي.

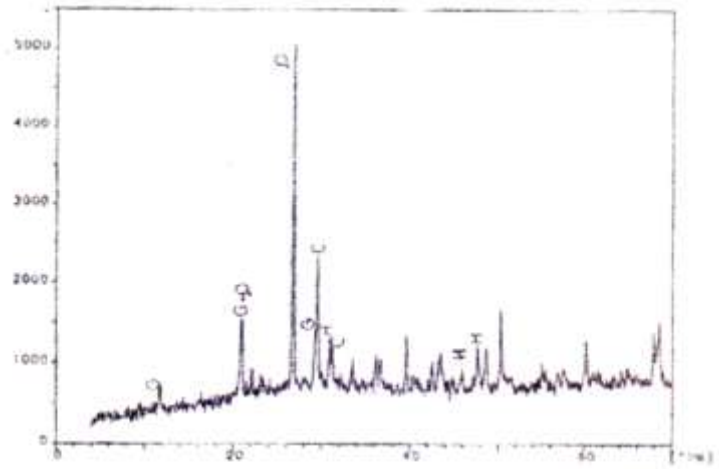


شكل (٣) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لطبقة اللون الأبيض الجبسي من الشريط الفاصل بين منتصفي المقبرة.



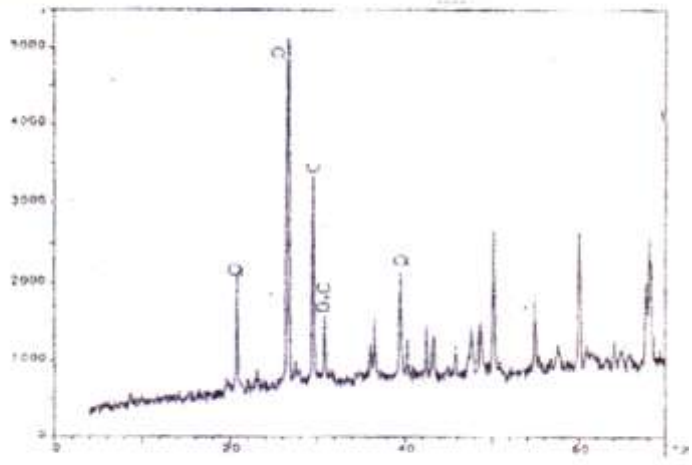
شكل (٤) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لطبقة البطانة الخارجية.

Q: quartz
C: calcite



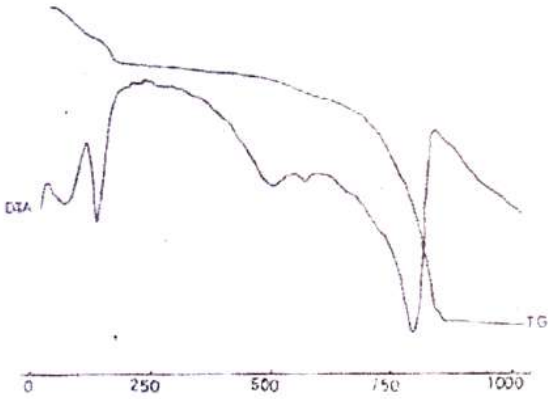
شكل (٥) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لطبقة البطانة الداخلية.

G: Gypsum
Q: quartz

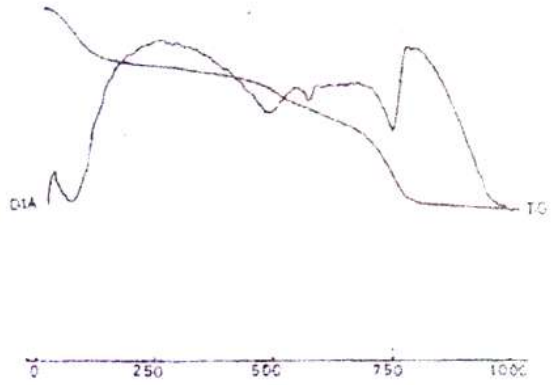


شكل (٦) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لطبقة الغسول الأبيض.

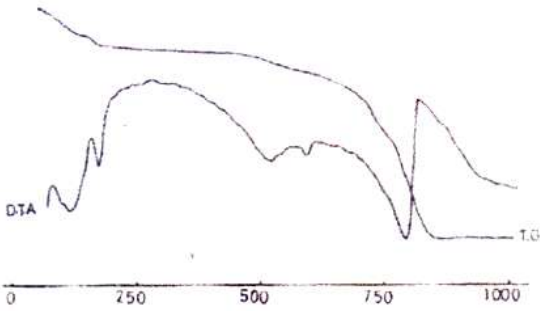
G: Gypsum **C: calcite**
Q: quartz **H: Halite**



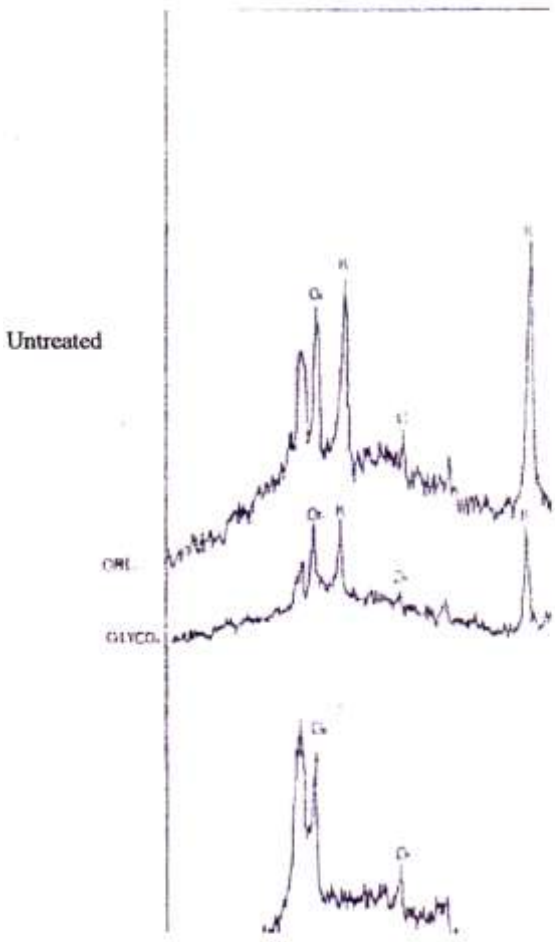
شكل (٧) يوضح منحنى التحليل الحراري التفاضلي (TG, DTA) لطبقة البطانة الداخلية .



شكل (٨) يوضح منحنى التحليل الحراري التفاضلي (TG, DTA) لطبقة البطانة الخارجية.



شكل (٩) يوضح منحنى التحليل الحراري التفاضلي (TG, DTA) لطبقة الغسول الأبيض .



شكل (١٠) نمط حيود الأشعة السينية **XRD** لفصـــل
المعادن الطينية (طبقة البطانة الخارجية).