دراسة تحسين خواص المونة الجيرية بالإضافات البوزولانية

د. على الترهوني[1]، م.هيفاء ابوحليقة[2]، م.عبد الله قريصيعة[3]،م.علي ابورويص[4]
[1]جامعة طرابلس، طرابلس، ليبيا
[2]جامعة طرابلس، طرابلس، ليبيا
[3] جامعة طرابلس، طرابلس، ليبيا
[4] جامعة طرابلس، طرابلس، ليبيا
bomnadi@yahoo.com[1]، eng.haifa.ali@gmail.com[2]، greseaaabdu@gmail.com[3]،
ali_aburwees@hotmail.com[4]

الملخص: تعاقب على المدينة القديمة عدة حضارات وتركت بصمة تمثلت في المباني القديمة، والتي يتطلب المحافظة عليها وصيانتها وترميمها لتبقى كثروة أثرية، ولكن من الملاحظ تدهور هذه المباني نتيجة العوامل الجوية وتدخل الإنسان مع عدم الصيانة لبعضها وصيانة البعض الأخر بطرق خاطئة كاستخدام مواد الاسمنت أو الطوب بدل من الأحجار والجير والطين المستخدم قديما ، بالإضافة إلي استيراد مواد الترميم من الخارج مما دفع بالباحثين لمحاولة إيجاد مواد محلية بديلة تكون مناسبة للترميم، ومما شجع علي ذلك توفر مادتي الجير والطين بكميات كبيرة داخل ليبيا. لذلك انطلقت هذه الدراسة بحرق عينتين من الطين تمثلت في طين يفرن وسبها لتحويلها إلى مواد بوزولانية تتفاعل مع الجير من خلال تحضير عينات من المونة المحتوية على الجير والرمل مع نسب من البوزولان تراوحت من 0% إلى 50% من وزن الرمل الطبيعي لتحديد مقاومة الضغط، وأظهرت النتائج المتحصل عليها قيم مشجعة وفتحت بابا للدراسات المستقبلية بهذا المجال، وأعطت أملاً للحصول على مواد الترميم من الخامات المحلية والاستغناء عن الاستيراد.

الكلمات المفتاحية: (المباني القديمة، المواد البوزلانية، مواد الترميم، المونة الجيرية)

1. المقدمــة

تعتبر المباني القديمة تراث وكنز قومي باعتباره ركيزة من الركائز الدالة على ثقافة وتاريخ المجتمع. لهذا دعت الحاجة إلى البحث عن طرق ممكنة لترميمها وصيانتها وذلك للحفاظ عليها لكونها تمثل كيان وتجسيد لتاريخ المجتمعات التي مرت بها. وعلى الرغم من شيوع تعبير أهمية الحفاظ على التراث إلا أن هذا التعبير مازال شكليا إلى حد كبير بسبب تخلف ثقافة الدول النامية وذلك يرجع إلى تأخرهم في إدراك أهمية الحفاظ على التراث والمباني القديمة. وتحتوي مدينة طرابلس القديمة على العديد من المعالم الأثرية والمباني القديمة، ونتيجة لظهور علامات التدهور والانهيار بهذه المباني في الآونة الأخيرة، أجريت دراسات وذلك للبحث عن مواد محلية لاستخدامها في أعمال الترميم.

ودعما للبحوث السابقة في هذه المجال سوف يعرض هذا البحث إمكانية استعمال طين يفرن المحروق والميتاكاولين الموجود بوفرة في الجنوب الليبي وتأثير كل منها على خواص المونة الجيرية من حيث المتانة والمقاومة لغرض استعمالها في أعمال اللياسة والترميمات بالمدن الأثرية والقديمة.

2. مشكلة الدراسة

تحوي المدينة القديمة على العديد من المعالم الأثرية والتي جسدت ثقافة وتاريخ المجتمعات عبر العصور ونتيجة لتعاقب الأزمان والظروف البيئية تدهورت حالة المباني والمعالم الأثرية بالمدينة.

بدأت هذه المشاكل بالظهور في ستينيات القرن الماضي وازدادت بشكل ملحوظ خلال فترة التسعينات، وظهرت

المشاكل بصورة واضحة بعد 2001م وما بعده، وبمقارنة مع حالة المدينة في ثلاثينات القرن الماضي كما في الشكل (1) حيث قامت مصلحة الآثار بالمدينة القديمة بدراسة إحصائية أكدت من خلالها بان 15% من المباني قد تدهورت حالتها ما بين هذه الفترة مع توقع استمرار تدهور المعالم الأخرى خلال العقود القليلة الماضية [1].

الشكل (1) تدهور وانهيار مباني ومعالم المدينة مع مرور الزمن [1].

3. أهداف الدراسة

بشكل عام تسعى هذه الدراسة إلى استخدام إضافة مواد طبيعية من طين يفرن المحروق والميتاكاولين لإنتاج مونة جيرية ذات خصائص وظيفية محسنة ومتانة قادرة على مقاومة العوامل والظروف المختلفة وذلك للاستفادة منها في أعمال اللياسة والصيانة للمدن الأثرية وذلك لامتيازها بلون ملائم مشابه إلى حد كبير للمواد الداخلة في تشييد المباني القديمة ولتوافق خواصها مع هذه المواد.

ومن هذا المنطلق فإن الدراسة تسلط الضوء على بعض النقاط ذات العلاقة:

- تقييم إمكانية استخدام المواد البوزولانية كنسبة مضافة لمواد البناء الأساسية للحد والتقليل من التكاليف المطلوبة مع المحافظة على خصائصها الوظيفية أو تحسينها.
- تقييم مدي قدرة المواد البوزولانية على التفاعل مع الجير وتحديد مؤشر قوة نشاط البوزولانا.
- الحد والتقليل من الأضرار البيئية بإعادة تدوير مخلفات طوب الآجر والمصنوعة من طين يفرن المحروق وذلك بإعادتها إلى دورة مواد البناء.
- دعم القاعدة العلمية التي تخص تقنية مواد البناء البديلة لاستخدامها من قبل الباحثين وشركات البناء والتشييد.
- تشجيع استخدام مواد الخام المحلية في صناعة المباني والمنشئات الموجودة داخل الأراضي الليبية.
- توظيف نتائج هذه الدراسة بشكل عام في تطوير وتحسين صناعة البناء.
- تعزيز وعي المواطنين بأهمية المدينة القديمة والتراث التي تحويه.
- الحفاظ على التراث المعماري الذي يجمع ما بين القيمة الروحية والجمالية بالمدينة القديمة لكونها تجسد ثقافة وتاريخ المجتمع الليبي عبر العصور.
- مراعاة الجانب الجمالي والمعماري للمباني القديمة أثناء عملية الصيانة والترميم والمحافظة عليها.
- خدمة الجانب الاقتصادي للدولة في المدينة القديمة

4. المواد المستخدمة

واعتمدت خطة البحث دراسة واستخدام نوعين من المواد البوزولانية الصناعية وهي:

- طين يفرن المحروق.

- الميتاكاولين بمنطقة سبها.

1.4 طين يفرن المحروق

هو أحد الخامات الطينية الطبيعية بمدينة يفرن والتي تقع في غرب ليبيا على بعد 130 كم من جنوب العاصمة طرابلس. يتم تحويلها إلى مواد بوزولانية ذات خواص إسمنتية وذلك بحرقها عند درجات حرارة معينة تتراوح مابين 500 - 800 درجة مئوية والجداول (1)(2) توضح التركيب الكيمائي لطين يفرن الخام والمحروق[2].

الجدول (1) التركيب الكيمائي لطين يفرن الخام [2].

التركيب الكيمائي للخام	%
الفقد بالحرارة	5.54
السيليكا	72.4
أكسيد الكالسيوم	1.85
أكسيد الماغنسيوم	0.269
أكسيد الحديد	5.31
أكسيد الألومنيوم	10.31
أكسيد الصوديوم	0.52
أكسيد البوتاسيوم	2.78
ثالث أكسيد الكبريت	0.8

الجدول (2)التركيب الكيمائي لطين يفرن المحروق [3][4]

التركيب الكيمائي للمحروق (%)		حدود المواصفات ASTM C618-89a (%)	
الفقد بالحرارة	0.69	الفقد بالحرارة	لايزيد عن %5
أكسيد الصوديوم	0.32	السيليكا	لايقل عن %40
أكسيد الكالسيوم	1.96	أكسيد الكالسيوم	لايزيد عن %10
أكسيد الحديد	5.6	السيليكا + أكسيد الالومنيوم + أكسيد الحديد	لايقل عن %70
أكسيد الالومنيوم	10.0		
السيليكا	76.9		
أكسيد الماغنسيوم	0.28		
أكسيد البوتاسيوم	2.94		
ثالث أكسيد الكبريت	0.28	ثالث أكسيد الكبريت	لا يزيد عن %3

2.4. الميتاكاولين

يعتبر الميتاكاولين أحد الخامات الطينية الطبيعية بمدينة سبها والتي تقع في جنوب البلاد على بعد 750 كم عن العاصمة طرابلس. حيث تزخر مدينة سبها والمناطق المجاورة لها بوجود كميات كبيرة من الصخور الطينية التي تحتوي على معدني الميتاكاولين والكوارتز.

وبمراجعة التحاليل الكيمائية للطين الخام والمحروق، أظهرت هذه التحاليل النتائج الموضحة في الجدول (3) و (4) ومطابقتها لحدود المواصفات الامريكية ومع حدود مواصفة الليبية (إضافات معدنية) 816/2016

الجدول (3) التركيب الكيمائي للطين الخام (الميتكاولين)[5].

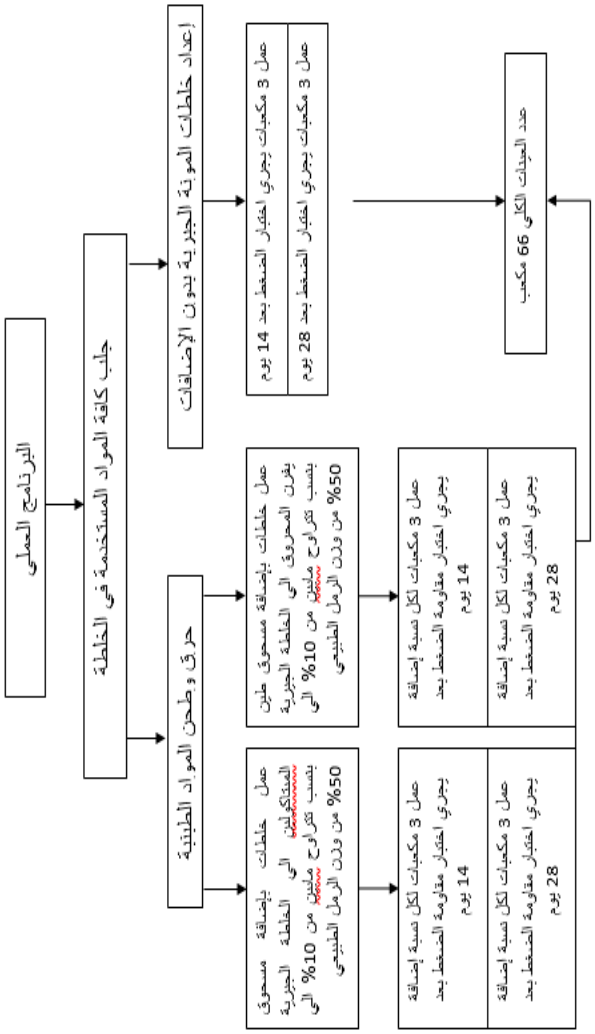
التركيب الكيمائي للخام	%
السيليكا	51.6
أكسيد الكالسيوم	0.323
أكسيد الماغنسيوم	0
أكسيد الحديد	2.03
أكسيد الالومنيوم	38.6
أكسيد الصوديوم	0
أكسيد البوتاسيوم	0.18
ثالث أكسيد الكبريت	0.525
اكاسيد أخري	6.792

جدول (4) التركيب الكيمائي للطين المحروق (الميتاكاولين) [3][4].

التركيب الكيمائي للمحروق (%)		حدود المواصفات ASTM C618-89a (%)	
أكسيد الصوديوم	0	أكسيد الصوديوم	لا يزيد عن %1.5
أكسيد الكالسيوم	0.294	السيليكا + أكسيد الالومنيوم + أكسيد الحديد	لايقل عن %70
أكسيد الحديد	2.7		
أكسيد الألومنيوم	36		
السيليكا	53.7		
أكسيد الماغنسيوم	0		
أكسيد البوتاسيوم	0.281		
ثالث أكسيد الكبريت	0.547	ثالث أكسيد الكبريت	لا يزيد عن %3

5. البرنامج العملي

يشمل هذا الجزء من البحث كل ما يتعلق بالاختبارات والتجارب المعملية التي تم اعتمادها في خطة هذا البحث. والمخطط الموضح بالشكل (2) يتضمن البرنامج العملي وقد تم تجهيز القوالب المستخدمة بإبعاد 70×70×70 وتوضح الجدول (5) نسب وأوزان مكونات الخلطات باستخدام إضافات طين يفرن المحروق والجدول (6) نسب وأوزان مكونات الخلطات باستخدام إضافات الميتاكاولين



الشكل (2) البرنامج العملي

- إضافة مسحوق طوب اجر السواني إلي الخلطة الجيرية لعدد 36 مكعب.

الجدول (5) نسب وأوزان مكونات الخلطات باستخدام إضافات طين يفرن المحروق

المواد	الوحدة	أوزان مكونات الخلطات					
		1	2	3	4	5	6
الرمل	جرام	3000	3000	3000	3000	3000	3000
الجير	جرام	1000	1000	1000	1000	1000	1000
الماء	جرام	1200	1200	1200	1200	1200	1200
طين يفرن	جرام	-	300	600	900	1200	1500
نسبة الإضافة	%	%0	%10	%20	%30	%40	%50

- إضافة مسحوق الميتاكاولين إلي الخلطة الجيرية لعدد 30 مكعب.

الجدول (6) نسب وأوزان مكونات الخلطات باستخدام إضافات الميتاكاولين.

المواد	الوحدة	أوزان مكونات الخلطات					
		1	2	3	4	5	6
الرمل	جرام	-	3000	3000	3000	3000	3000
الجير	جرام	-	1000	1000	1000	1000	1000
الماء	جرام	-	1200	1200	1200	1200	1200
الميتاكاولين	جرام	-	300	600	900	1200	1500
نسبة الاضافة	%	-	%10	%20	%30	%40	%50

6. مناقشة النتائج

من خلال مقارنة نتائج التحليل الكيميائي للطين المحروق والموضحة بالجدول (2) و (4) ومقارنتها بالمواصفات ذات العلاقة والتي أوضحت أن هذه الطينات تحتوي على نسبة عالية من مادة السيليكا النشطة والتي تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الموجود في مادة الجير كما موضح بالمعادلة (1)

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 \rightarrow C-S-H + H_2O \ldots\ldots\ldots (1)$$

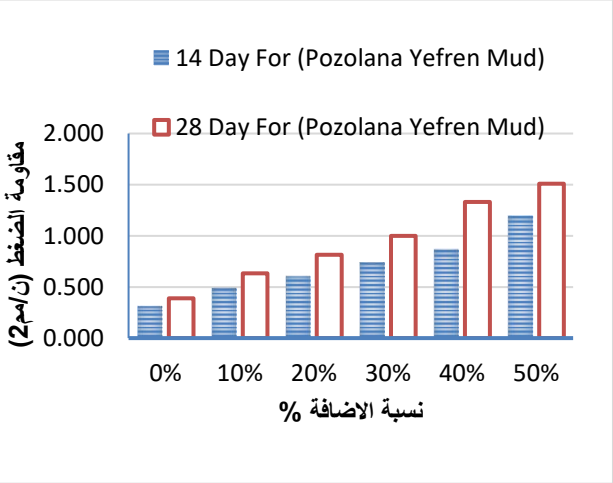
لتعطي مقاومة تتزايد مع نسبة المواد البوزولانية والزمن وهذا ما تم ملاحظته من خلال النتائج المتحصل عليها.

1.6 - نتائج مقاومة الضغط للخلطة المحتوية على طين يفرن المحروق

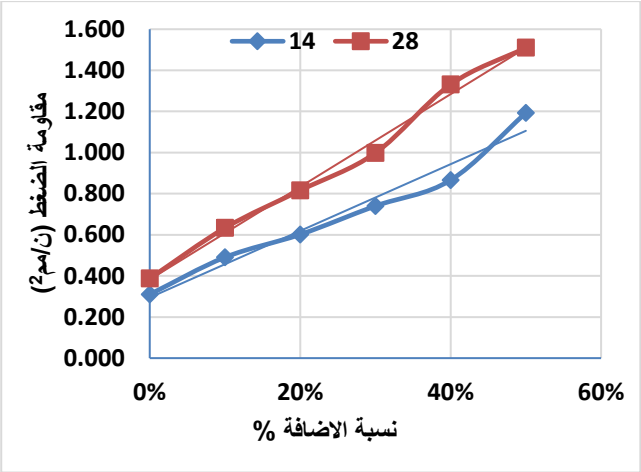
الجدول (7) والأشكال (3)، (4) توضح نتائج مقاومة الضغط لعمر14، 28 يوم لنسب مضافة من طين يفرن المحروق تراوحت من 0% إلي 50%.

الجدول (7) متوسط مقاومة الضغط ونسبة الزيادة لطين يفرن عند عمر 14و28 يوم.

نسبة الإضافة (%)	14 يوم		28 يوم	
	متوسط مقاومة الضغط (نيوتن\مم^2)	نسبة الزيادة %	متوسط مقاومة الضغط (نيوتن\مم^2)	نسبة الزيادة %
0	0.310	0	0.388	0
10	0.490	58	0.633	63
20	0.601	94	0.816	110
30	0.740	138	0.998	157
40	0.866	179	1.331	243
50	1.193	284	1.510	289



الشكل (3) العلاقة لمقاومة الضغط بين 14 و28 يوم لطين يفرن المحروق



الشكل (4) نتائج مقاومة الضغط لطين يفرن المحروق عند عمر 14، 28يوم.

بدارسة العلاقة الخاصة بمقاومة الضغط لطين يفرن المحروق عند 14و28 يوم، يلاحظ ان سلوك العينات من حيث المقاومة كان في علاقة خطية تقريبا وهي متزايدة لجميع النسب، مما يدل على انه كلما زادت الإضافة الطينية من النوع المستخدم سوف تزداد المقاومة وذالك يعود الي التفاعل بين البوزولانا والجير فحيث إن البوزولانا ذات خواص إسمنتية كلما زادت نسبتها في الخلطة كلما زاد التفاعل بينها وبين الجير واكتساب مقاومة أعلى مع زيادة العمر.

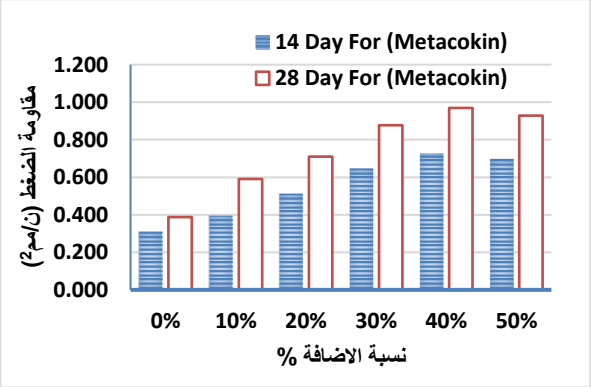
وبحساب معامل الانحدار للمنحنى عند 14 و28 يوم وبدرجة ثقة 95% وجد إن هناك ترابط بقوة 88% عند 14 يوما وترابط بقوة 99.3% عند عمر 28 يوما.

2.6. نتائج مقاومة الضغط للخلطة المحتوية على الميتاكولين

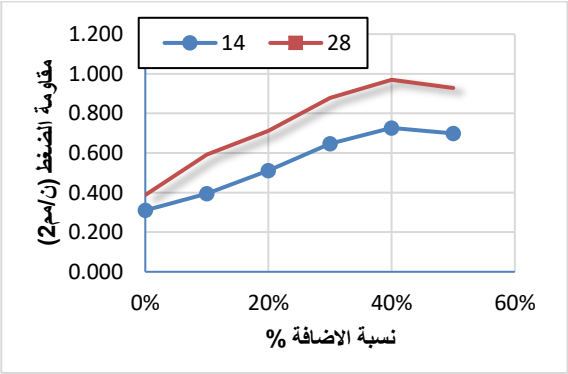
الجدول (8) والأشكال (5)، (6) توضح نتائج مقاومة الضغط لعمر 14 و28 يوم لنسب مضافة من الميتاكولين تراوحت بين 0% إلى 50%.

الجدول (8) متوسط مقاومة الضغط ونسبة الزيادة للميتاكولين عند 14و28 يوم

نسبة الإضافة (%)	14 يوم		28 يوم	
	متوسط مقاومة الضغط (نيوتن\مم^2)	نسبة الزيادة%	متوسط مقاومة الضغط (نيوتن\مم^2)	نسبة الزيادة %
0	0.310	0	0.388	0
10	0.394	27	0.591	52
20	0.512	65	0.711	83
30	0.646	108	0.878	126
40	0.727	134	0.969	150
50	0.699	125	0.928	139



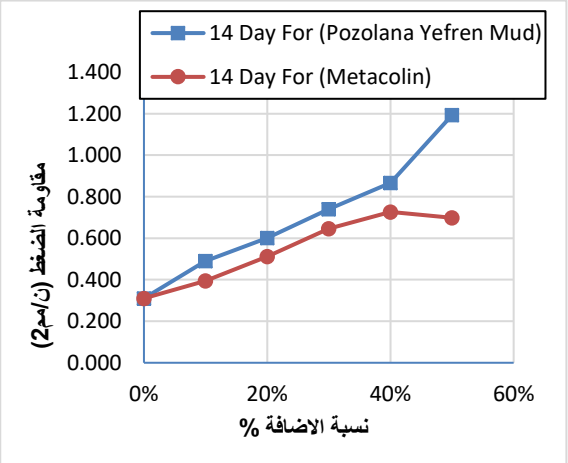
الشكل (5) العلاقة لمقاومة الضغط بين 14، 28 يوم للميتاكولين



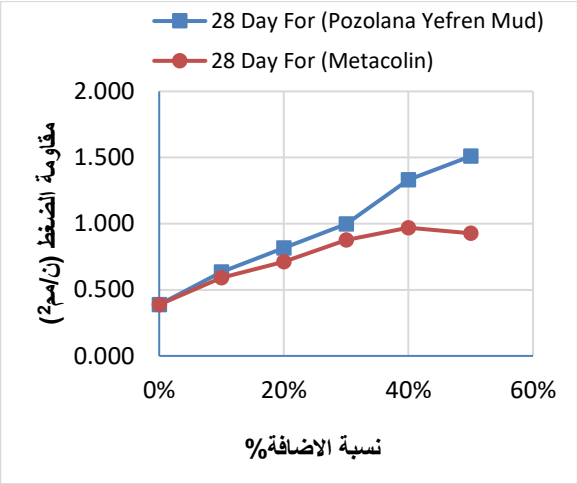
الشكل (6) نتائج مقاومة الضغط للميتاكولين عند عمر 14, 28 يوم.

بدراسة العلاقة الخاصة بمقاومة الضغط للميتاكولين عند عمر 14, 28 يوم. يلاحظ عند 14, 28 يوم وجود علاقة خطية متزايدة حتى الوصول إلى نسبة إضافة 40% من وزن الركام الناعم، ومن ثم تبدأ في الهبوط عند نسبة 50%. وقد يعود هذا بسبب الي وجود خلل ما في الخلطة مما يتطلب التأكد من هذه النتائج باجراء أبحاث أخرى، وبحساب معامل الانحدار والارتباط للمنحنى عند 14, 28 يوم وبدرجة ثقة 95% وجد إن هناك ترابط بقوة 91.8% عند عمر 14 يوما وترابط بقوة 92% عند عمر 28 يوما.

ومن الملاحظ أيضا إن المقاومة المتحصل عليها بإضافة طين يفرن المحروق أعلى من تلك المتحصل عليها بإضافة طين سبها (الميتاكولين) كما موضح بالأشكال (7), (8).



الشكل (7) الفرق في مقاومة الضغط بين طين يفرن والميتاكولين عند عمر 14 يوم



الشكل (8) الفرق في مقاومة الضغط بين طين يفرن والميتاكولين عند عمر 28 يوم

ومن خلال الفحص الدقيق للنتائج المتحصل عليها يعتقد ان سبب الاختلاف في مقدار المقاومة بين النوعين يرجع إلى ثلاثة أسباب:

- إختلاف درجة الحرق حيث تم حرق طين سبها عند حدود درجات الحرق المسموحة والتي قد اثرت في الخواص الإسمنتية الموجودة فيها لتحولها من ميتاكاولين الي ميلايت .
- احتواء طين يفرن المحروق علي ثلاثة معادن وهي (الكوارتز, الميتاكاولين, إيلايت) في حين يحتوي طين سبها علي معدني الكوارتز والميتاكاولين فقط.

7. الخلاصة

1. إمكانية استخدام الطين المحروق النشط كإضافة للجير لتنفيذ مونة ترميم.
2. طين يفرن المحروق أعطى مقاومة أكبر من تلك المتحصل عليها من طين سبها.
3. المقاومة تزيد مع زيادة الإضافة وكذلك عمر العينة في كل الحالات.

8. التوصيات

1. الدراسة قد فتحت الباب وأعطت مؤشراً جيداً لمواصلة البحث في هذا المجال.
2. هذه الدراسة اقتصرت على مقاومة الضغط لعمر لا يتجاوز 28 يوما فيتطلب مواصلة البحث لأعمار أطول.
3. إجراء دراسة على أنواع أخرى من الطينات حيث إن الخامات الطينية تختلف في تركيبها الكيميائي عن بعضها البعض.

9. المراجع

1. جهاز تنمية وتطوير المراكز الإدارية" مشروع إعادة تأهيل المدينة القديمة طرابلس مدونة المدينة القديمة " 2010 م.
2. الصديق محمد الزنداح وآخرون" الاستفادة من الخواص البوزولانية لبقايا طوب آجر السواني فصناعة الإسمنت المخلوط (الإسمنت البوزولاني) " مركز بحوث الصناعية / تاجوراء/ طرابلس ليبيا. 1993م.
3. ASTM-C618-89a [Classification and Properties of Fly-Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete].
4. BS 38-92, Part1,1982 and Part2, 1984 [Classification and Properties of Fly-Ash for use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete in Accordance with British Standard].
5. Ruben P Borg[1], Ahmed M M Hamed[1], Ramadan Edreis[2] and Ali M Mansor " Characterization of Libyan metakaolin and its effects on the mechanical properties of mortar" Faculty for Built Environment, University of Malta, Malta, Industrial Research Center Tripoli – Libya., Faculty of Engineering, Unversity of Tripoli Libya 2005