الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية العلوم التطبيقية

قسم الهندسة المدنية والري

مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر مهني

شعبة الهندسة المدنية

تخصص " دراسة ومراقبة العمارات والطرق "

بعنوان:

المساهمة في دراسة الأداء الميكانيكي لخليط من التوف ومخلفات الطوب المسحوق المعالج بالجير والصودا الكاوية

مقدمة من طرف:

غرمه فتيحه

جيلي يمنى

أمام اللجنة المتكونة من:

بوزوايد سامية	أستاذة محاضرة	(جامعة ورقلة)	رئيســـــــاً
عوام عبدو	أستاذ محاضر	(جامعة ورقلة)	مناقشـــــــاً
خلو عبد الرزاق	أستاذ محاضر	(جامعة ورقلة)	مؤطـــــــراً
بعيكر محمد الشريف	دكتوراه	(جامعة ورقلة)	مساعد مؤطر

السنة الجامعية: 2024/2023

إهداء

من قال **" أنا لها"** نالها

وأنا لها وإن أبت رغما عنها أتيت بها.

نلتها وعانقت اليوم مجداً عظيماً فعلتها بعد أن كانت مستحيلة كانت دروباً قاسية و ولكني وصلت والحمد لله ولهذا أهدي ثمرة جهدي إلى:

الذي لديه القدرة على فك المستحيل الى صانع الأقدار إليك يالله أقدم لك جهدي وشكري فلك الحمد الذي يحكم بالحق ويجزي كل نفس بما تسعى.

إلى صاحب السيرة العطرة والفكر المستنير إلى من شجعني على المثابرة طوال عمري إلى الرجل الأبرز في حياتي أبي حفظه الله.

إلى من أفضلها على نفسي إلى من وضعتني على طريق الحياة إلى التي ذودتني بالحنان والمحبة إلى القلب المعطاء والدتي الحبيبة حفظها الله.

إلى من عشت معهم أجمل لحظات حياتي إلى شموع دربي إلى من شهدوا معي متاعب الدراسة وسهر الليالي إخوتي حفظهم الله.

إلى عائلتي الكريمة وأخص بذكر أخوالي وخلاتي حفظهم الرحمن وشفاهم.

أهديكم جميعا هذا العمل المتواضع وثمرة جهدي والله ولي التوفيق.

غرمه فتيحه

إهداء

الحمد لله على لذة الانجاز والحمد لله عند البدء وعند الختام

إلى والدي الذي أضاء دروبي وطريقي وقدوتي في كل خطوة أخطوها.

إلى أمي الحنون الحضن الدافئ وسمائي التي لم تتركني يوماً، ولايكتمل يومي بدونها.

إلى إخواني وأخواتي الذين وقفوا معي دائماً وسندوني خلال مسيرتي التعليمية.

إلى جميع دكاترتي الأعزاء الذين علموني وأرشدوني ووجهوني.

أهديكم جميعا هذا العمل المتواضع وثمرة جهدي، والله ولي التوفيق.

جميلي يمنى

شكر وعرفان

الحمد الله على إحسانه و الشكر له على توفيقه و إمتنانه و نشهد أن لا إله إلا الله وحده لا شريك له تعظيما لشأنه و نشهد أن سيدنا و نبينا محمد عبده و رسوله الداعي إلى رضوانه صلى الله عليه و على آله و أصحابه و أتباعه و سلم.

بعد شكر الله سبحانه و تعالى على توفيقه لنا لإتمام هذا البحث المتواضع نتقدم بجزيل الشكر إلى الوالدين العزيزين الذين أعانونا و شجعونا على الإستمرار في مسيرة العلم و النجاح، وإكمال الدراسة الجامعية و البحث، كما نتوجه بالشكر الجزيل إلى من شرفونا بإشرافهم على مذكرة بحثنا الأستاذ الدكتور "خلو عبد الرزاق" ومساعده "بعيكر محمد شريف" الذين لن تكفي حروف هذه المذكرة لإيفائهم حق صبرهم وتوجيهاتهم العلمية التي لا تقدر بثمن، و التي ساهمت بشكل كبير في إتمام و إستكمال هذا العمل، ونشكر كل أساتذة قسم الهندسة المدنية والري، كما نتوجه بخالص شكرنا إلى كل من ساعدنا من قريب أو من بعيد على إنجاز و إتمام هذا العمل.

"رب أوزعني أن أشكر نعمتك التي أنعمت علي و على والدي و أن أعمل صالحاً ترضاه و أدخلني برحمتك في عبادك الصالحين"

ملخص

هذا العمل يندرج في إطار تثمين المواد المحلية، وإعادة تدوير النفايات واستخدامها في بناء الطرق، من خلال تحسين بعض الخصائص الميكانيكية للتوف، عن طريق معالجته بالجير و محلول الصود الكاوي وإضافة بقايا الطوب بحجم حبيبي مختلف (2.5/0.315 - 0/ 0.08) . تم اعتماد ثلاث خلائط بنسب مختلفة (5%، 10% و 15%) مع قياس مقاومة الضغط و مقاومة الشد عند ثلاث فترات زمنية مختلفة (7، 28، 60 يومًا).

أظهرت النتائج أن أعلى مقاومة للضغط تم تسجيلها عند إضافة 15% من مسحوق الطوب ذو الحجم الحبيبي 0.08/0 المعالج بالجير و فترة تخزين 60 يوم . كما تم تسجيل اعلى مقاومة للشد عند إضافة 15% من مسحوق الطوب ذو الحجم الحبيبي 0.08/0 المعالج بالجير و محلول الصود الكاوي لفترة تخزين 60 يوم .

الكلمات الأساسية : التوف، بقايا مخلفات الطوب ، الصود الكاوي ، الجير ، مقاومة الانضغاط ، مقاومة الشد.

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux, le recyclage des déchets et leur utilisation dans la construction des routes, en améliorant certaines propriétés mécaniques du tuf par un traitement à la chaux et à la solution de soude caustique et l'ajout des déchets de briques de granulométries différentes (0.08 / 0 et 2.5 / 0.315).

Trois mélanges avec des pourcentages différents (5%, 10% et 15%) ont été adoptés, avec la mesure de la résistance à la compression et de la résistance à la traction à trois périodes de temps différentes (7, 28, 60 jours).

Les résultats ont montré que la résistance à la compression la plus élevée a été enregistrée avec l'ajout de 15% de poudre de brique de fraction (0.08 / 0), traitée à la chaux et avec une période de conservation de 60 jours. La résistance à la traction la plus élevée a également été enregistrée avec l'ajout de 15% de poudre de brique de fraction (0.08 / 0), traitée à la chaux et à la solution de soude caustique pour une période de conservation de 60 jours.

Mots-clés : tuf, déchets de briques, soude caustique, chaux, résistance à la compression, résistance à la traction.

Abstract

This work falls within the framework of valuing local materials, recycling waste, and using it in road construction by improving certain mechanical properties of tuff through treatment with lime and caustic soda solution, and adding brick waste of different granular sizes (0.08 / 0, 2.5 / 0.315). Three mixtures with different percentages (5%, 10%, and 15%) were adopted, with measurements of compressive strength and tensile strength at three different time periods (7, 28, 60 days).

The results showed that the highest compressive strength was recorded with the addition of 15% brick powder with a grain size of 0.08 / 0, treated with lime and a conserve period of 60 days. The highest tensile strength was also recorded with the addition of 15% brick powder with a grain size of 0.08 / 0, treated with lime and caustic soda solution for a conserve period of 60 days.

Keywords: tuff, brick waste residues, caustic soda, lime, compressive strength, tensile strength.

فهرس المحتويات

المحتوى	الصفحة
الاهداء	
شكر	
الملخص	
المقدمة العامة	
الفصل الأول	
الدراسات السابقة	
I.1- عموميات حول التوف	3
I.1-1- مقدمة	3
I.1-2- تعريف التوف	3
I.1-3- التوف حول العالم	4
I.1-4- فئات التوف	4
I.2- الإضافات المعدنية	5
I.2-1- تصنيف الإضافات	6
I.2-2- إستخدام الإضافات المعدنية في الهندسة المدنية	7
I.3- عموميات حول بقايا مسحوق مخلفات الياجور	7
I.2-1- تعريف المخلفات	7
I.3-2- أنواع مختلفة من بقايا المخلفات	8
I.3-3- المخلفات المستخدمة في الهندسة المدنية	9
I.4 - عموميات حول الجير	10
I.4 -1- تعريف الجير	10
I.4 -2- أنواع الجير	10
I.5-عموميات حول هيدروكسيد الصوديوم	12

I.5.1- تعريف 12
I.5.2- خواصه 12
I.5.3- التحضير 13
I.5.4- الاستخدامات 13
I.6- الخاتمة 14

الفصل الثاني

خصائص المواد المستخدمة

II.1- المقدمة 16
II.2- المواد المستخدمة 16
II.2.1- التوف 16
II.2.1.1- إختبار التحليل الكيميائي 16
II.2.1.2- إختبار الكتلة الحجمية 18
II.2.1.3- إختبار التحليل الحبيبي 20
II.2.1.4- إختبار بروكتور المعدل 22
II.2.1.5- إختبار نسبة تحميل كاليفورنيا 23
II.2.1.6- إختبار الضغط البسيط 26
II.2.1.7- إختبار أزرق الميثيلين 28
II.2.2- نفايات الطوب المسحوق 29
II.2.2.1- تجربة التحليل الكيميائي 29
II.2.2.2- تجربة الكتلة الحجمية الظاهرية 30
II.2.2.3- تجربة الكتلة الحجمية المطلقة 32
II.3.2- الجير 34
II.3- الخاتمة 35

الفصل الثالث

النتائج والتفسيرات

III.1- المقدمة 37

III.2- منهجية الدراسة التجريبية 37

III.2-1- تحضير وتخزين العينات 38

III.3- النتائج والتفسيرات 38

III.3-1- مقاومة الضغط 38

III.3-2- دراسة مقاومة الضغط 39

III.3-2-1- لمختلف العينات غير المعالجة بدلالة الزمن 39

III.3-2-2- لمختلف العينات المعالجة بمحلول الصودا بدلالة الزمن 41

III.3-3-3- تأثير الوسط القاعدي على مقاومة الضغط 42

III.3-3-4- تأثير المحتوى المائي علم مقاومة الضغط 44

III.3-3-5- دراسة مقاومة الشد لمختلف العينات بدلالة الزمن 45

III.3-4- دراسة الحساسية تجاه الماء 46

III.4- تصميم طريق حسب طريقة CBR 48

III.5- الخاتمة 51

الخاتمة العامة 53

المراجع 55

قائمة الصور

رقم الصورة	عنوان الصورة	الصفحة
الصورة I.1	صخور التوف	3
الصورة I.2	نفايات الطوب الخشن و المسحوق	9
الصورة I.3	الجير	10
الصورة I.4	الصودا الكاوية	12
الصورة II.1	الطف المستعمل	16
الصورة II.2	التجارب الكيميائية	17
الصورة II.3	تجربة الكتلة الحجمية الظاهرية	18
الصورة II.4	تجربة الكتلة الحجمية المطلقة	19
الصورة II.5	الغرابيل المستخدمة في الإختبار	20
الصورة II.6	تجربة البروكتور المعدل	22
الصورة II.7	تجربة إختبار الضغط البسيط	26
الصورة II.8	تجربة أزرق الميثيلين	28
الصورة II.9	تجربة الكتلة الحجمية الظاهرية بمخلفات الطوب (0/ 0.08)	30
الصورة II.10	تجربة الكتلة الحجمية الظاهرية بمخلفات الطوب (2.5/0.315)	31
الصورة II.11	تجربة الكتلة الحجمية المطلقة بمخلفات الطوب (0.08/0)	32
الصورة II.12	تجربة الكتلة الحجمية المطلقة بمخلفات الطوب (2.5/0.315)	32
الصورة III.1	طريقة التخزين	38
الصورة III.2	عينة إختبار الضغط أثناء التكسير	39
الصورة III.3	عينات الضغط للمخاليط بعد 28 يوم 4 أيام من الغمر في الماء	46
الصورة III.4	عينات عند الذوبان في الماء	47

قائمة الجداول

رقم الجدول	عنوان الجدول	الصفحة
الجدول 1.I	تصنيف الاضافات حسب تفاعلها	6
الجدول 2.I	أنواع المخلفات المختلفة	8
الجدول 1.II	نتائج التحليل الكيميائي للطف	17
الجدول 2.II	نتائج الكتلة الحجمية الظاهرية والمطلقة	19
الجدول 3.II	نتائج تجربة التدرج الحبيبي للتوف	21
الجدول 4.II	نتائج تجربة CBR الفوري	24
الجدول 5.II	نتائج تجربة CBR المشبع	25
الجدول 6.II	نتائج إختبار الضغط البسيط	27
الجدول 7.II	تصنيف التربة حسب قيم VBS	29
الجدول 8.II	نتائج التحليل الكيميائي لمخلفات مسحوق الطوب	29
الجدول 9.II	نتائج تجربة الكتلة الحجمية الظاهريةة لمخلفات الطوب	31
الجدول 10.II	نتائج تجربة الكتلة الحجمية المطلقة لمسحوق الياجور	33
الجدول 11.II	الخصائص الفيزيائية والكيميائية لجير السعيدة	34
الجدول 1.III	مختلف الخلائط المعتمدة في الدراسة التجريبية	37

قائمة الاشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
الشكل II.1	منحنى الحجم الحبيبي للتوف	21
الشكل II.2	منحنى نسبة المحتوى المائي الأمثل	22
الشكل II.3	منحنى CBR الفوري	24
الشكل II.4	منحنى CBR المشبع	25
الشكل III.1	مقاومة الضغط لعينات مضاف إليها مسحوق الطوب (0/ 0.08)	39
الشكل III.2	مقاومة الضغط لعينات مضاف إليها مخلفات الطوب (2.5/0.315)	40
الشكل III.3	مقاومة الضغط لعينات مضاف إليها مسحوق الطوب(0/ 0.08) والصودا	41
الشكل III.4	مقاومة الضغط لعينات مضاف اليها مخلفات الطوب (2.5/0.315) والصودا..	41
الشكل III.5	تأثير الوسط القاعدي على عينات مضاف إليها مسحوق الطوب (0/ 0.08)	42
الشكل III.6	تأثير الوسط القاعدي على عينات مضاف إليها مخلفات الطوب (2.5/0.315)..	43
الشكل III.7	تأثير المحتوى المائي على مقاومة الضغط لعينات مشكلة بالماء	44
الشكل III.8	تأثير المحتوى المائي على مقاومة الضغط لعينات مشكلة بمحلول الصودا	44
الشكل III.9	تطور مقاومة الشد بدلالة الزمن	45
الشكل III.10	دراسة الحساسة تجاه الماء لعينات غير معالجة و معالجة بمحلولة الصودا	47
الشكل III.11	منحنى CBR الفوري (الحالة الاولى)	49
الشكل III.12	منحنى CBR الفوري (الحالة الثانية)	49

قائمة المصطلحات

المصطلحات

δa: الكتلة الحجمية الظاهرية.

M: كتلة العينة.

V: حجم العينة.

δabs: الكتلة الحجمية المطلقة.

W_{opm}: محتوى الماء الامثل.

W: تركيز الماء المعبّر عنه بالنسبة المئوية.

Yd: الكثافة الجافة المثلى لاختبار بروكتور المعدل.

Rc: مقاومة الضغط

Rt: مقاومة الشد

ICBR: مؤشر القدرة التحملية الكاليفورنية (Californian Bearing Ratio)

e: السمك المكافئ.

V_{BS} : قيمة أزرق الميثيلين للتربة.

TCH4B0 : (B:bruiq- الطوب)/(CH:chaux- الجير)/(T:tuff- التوف)

(0/4/5/10/15): نسب مئوية للخلطات

المقدمة العامة

يعتبر تثمين المواد المحلية وإعادة تدوير النفايات الصناعية من بين مجالات البحث الأكثر إثارة وإهتمام، لما تقدمه كحلول للمشاكل المتعلقة بالاقتصاد وحماية البيئة.

يعد التوف من الموارد الطبيعية المتوفرة بكميات كبيرة، في ولاية ورقلة (جنوب شرق الجزائر).

إلا أن إستعمالاته في مجال الطرق تبقى محدودة وذالك بسب خصائصه الميكانيكية الضعيفة نوعا ما.

بالإضافة الى ذالك تُنتج مصانع الطوب (الياجور) المنتشرة بكثرة في المنطقة كميات كبيرة من المخلفات و النفايات التي يتم رميها عادة في الطبيعة.

تعد فكرة الجمع بين هذه المواد (التوف و مخلفات الطوب) حلاً بديلاً للإستخدام المكثف في مجال بناء الطرق لما يسمى بالمواد النبيلة مثل الحصى المسحوق من ناحية، وتحسين الأداء الميكانيكي للتوف من ناحية أخرى.

يندرج هذا العمل في سياق تثمين المواد المحلية وإعادة تدوير النفايات والمخلفات الصناعية، و الهدف من الدراسة هو تحسين الاداء الميكانيكي وخاصة مقاومة الضغط و الشد البسيط ، والحساسية تجاه الماء لخليط مكون من التوف ومخلفات الطوب بهدف إستغلالها في المباني و الطرق الصحراوية.

تحتوي هذه المذكرة على ثلاثة فصول:

- الفصل الأول: يقدم لمحة عامة عن قشرة التوف بالإضافة إلى عملية المعالجة الممكنة.
- الفصل الثاني: يقدم مختلف الخصائص الميكانيكية والكيميائية والجيوتقنية للمواد المستعملة في الخليط.
- الفصل الثالث: يعرض مختلف نتائج تجارب الأداء الميكانيكي لمختلف الخلائط وتفسيراتها.

تنتهي المذكرة بخاتمة وتوصيات من أجل تطوير هذه المادة و تعزيزها.

الفصـــل الاول

الدراسات السابقة

1.I- عموميات حول التوف

1-1.I- مقدمة [1]

تتطلب دراستنا تحسين الأداء الميكانيكي لصخور التوف من خلال إضافة بعض المواد المعالجة

حيث ينقسم هذا الفصل إلى أربعة أجزاء ، في الجزء الأول نقدم عموميات حول التوف (تعريف التوف - التوف حول العالم - أنواع التوف)

وفي الجزء الثاني نقدم عموميات حول مخلفات مسحوق الطوب (تعريف المخلفات - أنواع المخلفات - المخلفات المستخدمة في الهندسة المدنية)

وفي الجزء الثالث نقدم عموميات حول الجير (تعريف الجير- أنواع الجير)

وفي الجزء الرابع عموميات حول هيدروكسيد الصوديوم (تعريف - خواص - تحضير- الإستخدمات)

2-1.I-تعريف التوف [1]

يتم تعريف التوف على أنه صخور قابلة للتفتيت، مسامية، خفيفة وفاتحة اللون، من أصل رماد بركاني يترسب على الارض بعد تطايره في الهواء مكوناً احجار طفيلية متماسكة، وهناك نوعان الطف الجيري ناتج من تقشير الغطاء النباتي بكربونات النباتات المائية والنهرية ، والتوف البركاني ناتج عن ترسيخ الرواسب وتراكمها من الرماد متحولة إلى صخور صلبة.

الصورة 1.I صخور التوف

I.1-3- التوف حول العالم [2]

يتواجد التوف في السهول المرتفعة في الولايات المتحدة والتي تمتد من تكساس إلى كاليفورنيا وتلك الموجودة في المكسيك و في وسط الأرجنتين.

في أفريقيا: وهي «الحمادة»، هضاب شمال أفريقيا المرتفعة، وسهل الجفارة وحوض بن غازي في ليبيا ومنخفضات شمال كينيا، و سهول تنزانيا وهضاب الصومال وأودية بوتسوانا و في جنوب أفريقيا، والمناطق الجافة في مدغشقر وموزمبيق وناميبيا وأنغولا.

في الشرق الأوسط: نجد التوف في لبنان وسوريا والأردن وفي دول الخليج العربي والهند في منطقتي دلهي ونيودلهي.

في أستراليا: يوجد التوف في السهول الساحلية.

في أوروبا: لا يتواجد التوف بكثرة هناك، توجد فقط في الجنوب.

I.1-4- فئات التوف [2]

يتم تصنيف قشور التوف الى ثلاث فئات وهي:

أ- قشور الحجر الجيري:

لقد تم إعطاء تعريفات عديدة للقشور، وقشور الحجر الجيري وتختلف هذه وفقًا لتخصص المؤلف (جيولوجي أو أخصائي علم البيئة أو فني جيوتقني).

قشرة الحجر الجيري هي مادة أرضية تتكون بشكل أساسي من كربونات الكالسيوم، وهي موجودة على شكل مسحوقي أو كروي وعالية الصلادة وهي ناجمة عن التحجر والتراكم أوإستبدال كميات متفاوتة من التربة أو الصخر أو المواد التي يتم تآكلها بواسطة الجير.

ب - قشور جبسية:

القشور الجبسية هي تشكيلات تشبه قشور الحجر الجيري، وهي وفيرة في المناطق ذات المناخ الجاف حيث يكون هطول الأمطار غير كاف كما أن الجبس موجود بالفعل في التكوينات الجيولوجية القديمة (العصر الطباشيري) يمثل العنصر النشط في ترسيخ هذه التكوينات وله صلابة منخفضة جدًا .

د – القشور المختلطة (الجبسية الجيرية):

قشور الحجر الجيري هي تكوين التربة المميز للمناخات شبه الرطبة وشبه القاحلة، وبعد الجفاف الشديد يتوقف تطورها عند عدم كفاية هطول الأمطار لإذابة الحجر الجيري وتصريفه نحو الابار الجوفية.

في المناخ الصحراوي يمكن أن تحل القشور الجبسية محل قشور الحجر الجيري.

وعلى العكس من ذلك، عندما ننتقل من المناخ الصحراوي إلى المناخ شبه الجاف، يصبح الجبس غير مستقر في التربة بسبب قابليته الملحوظة للذوبان. تشكل القشور المختلطة تكوينات من الطفات الجيرية الجبسية التي يغلب عليها طفرات الكربونات، أو التوف الجبسي المعدني ذو الغلبة الكبريتية.

كما عرف وجود تكوينات الحجر الجيري في شمال الصحراء الكبرى، والتكوينات الجبسية في المناطق الأكثر جنوبًا، ذات شديدة الجفاف والحجر الجيري الجبسي في المناطق المتوسطة بواسطة تسلسل تبخري مميز ناتج عن تبخر الماء المحمل بمواد مختلفة، تترسب كربونات الكالسيوم أولاً على شكل أراغونيت ($CaCO3$)، ثم الجبس ($CaSO4; 2H2O$)، ثم الهاليت ($NaCl$)، وأخيراً أملاح البوتاسيوم و المغنيسيوم.

2.I- الاضافات المعدنية [3]

هناك العديد من أنواع الإضافات المعدنية، مثل الرماد المتطاير، والخبث الفرن العالي المحبب الناتج عن إنتاج الحديد، وأبخرة السيليكا والبوزولان وغيرها حيث تحتوي هذه المواد بشكل أساسي على السيليكا الغير متبلورة التي تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم وفي وجود الماء تتكون مركبات مائية وفقاً لتفاعل مفرز للطاقة بشرط ان يكون مستوى الطاقة الحرة الاولي مرتفعا بدرجة كافية ليؤدي إلى نظام أكثر إستقرار مع الخصائص الهيدروليكية.

وتوجد الإضافات المعدنية إمّا على شكل منتجات طبيعية تتطلب معالجة بسيطة، أو نتيجة لعمليات صناعية على شكل نفايات مثل الطوب المكسور ورمال المكسورة أو منتجات فرعية. ويتم إضافتها إمّا إلى خليط المواد الخام قبل الطحن، أو إلى الدقيق الخام أو إلى الكلنكر البورتلانديّ قبل أو بعد الطحن، وتتأرجح نسبهم في الكتلة وفقاً للهدف المراد تحقيقه والدور الذي يمكن أن يلعبه. فقط الإضافات المعدنية المحددة بشكل جيد تسمح باستغلال خصائصها وميزاتها بأفضل طريقة.

I.2-1- تصنيف الاضافات [4]

يمكن أن تكون الإضافات طبيعية أو صناعية، خاملة أو نشطة، كم يمكن أن تتفاعل كمواد هيدروليكية كامنة أو بوزولانية، أو كمواد حشو. وتنقسم حسب تفاعلها كما هو مبين في الجدول.

المواد	رد الفعل	الانواع
إسمنت خاص _ الجير الهيدروليكي	استجابة عالية	هيدروليك
حبيبات خبث الرماد المتطاير الغنية بالكالسيوم		هيدروليك كامنة
غبار السيليكا	استجابة عالية	بوزولانيك
الرماد المتطاير المنخفض الكالسيوم زجاج بركاني بوزلان طبيعي طفرات بركانية	استجابة متوسطة	
الخبث البلوري	استجابة ضعيفة	
الحشو (دقيق الحجر الجيري) أصباغ التلوين ومواد التمدد، المشتتات الاصطناعية	لاستجابة	خامل

الجدول I .1 تصنيف الاضافات حسب تفاعلها

I.2.2- إستخدام الإضافات المعدنية في الهندسة المدنية [4]

إن إدخال الإضافات المعدنية في صناعة الأسمنت يمثل عاملاً مفيدًا نظراً لإنخفاض تكلفة الاستهلاك في الكلنكر عند نسبة الإضافات. فالكلنكر يتم الحصول عليه عن طريق تحويل المادة الخام (الطين والحجر الجيري) ويتطلب إنفاق طاقة عالية جداً ويمكن تقليله من خلال إدخال هذه الإضافة.

ومن بين فوائد التفاعل البوزولاني هو إستخدام منتجات بتكلفة منخفضة وضمان المتانة حيث إستخدم الرومان هذا التفاعل الكيميائي في إسمنتهم لإنشاء المنشآت التي أثبتت فعاليتها منذ قرون عديدة.

يتم إستخدام المخلفات الصناعية مثل الرماد المتطاير ودخان السيليكا المكثف بشكل متزايد في البلدان الصناعية لأنها تعتبر نفايات المصانع.

وتستخدم البوزولانات الطبيعية بدون الحاجة إلى طحنها أو إخضاعها للعلاج الحراري قبل الاستخدام وتستمر عدة بلدان مثل الصين واليونان وإيطاليا والهند والمكسيك في إستخدام الملايين من أطنان البوزولانات الطبيعية لصناعة الاسمنت.

I.3-عموميات حول مخلفات بقايا الطوب

I.3.1- تعريف المخلفات (نفايات أو قمامة) [5]

المخلفات هي شيء في نهاية عمره أو مادة خضعت لتغيير فيزيائي أو كيميائي، والتي لم تعد لها بعد ذلك أي فائدة أو يهدف الى التخلص منها. الكلمة مشتقة من الكلمة الفرنسية القديمة déchet أو déché، والتي تعني *الكمية المفقودة* ما يضيع في إستخدام المَنتُج، وما يبقى بعد إستخدامه. يُنظر إلى بقايا المخلفات بشكل متزايد على أنها إرث إشكالي للثورة الصناعية والتحضر. تظهر إمكانيات التخلص منها والتركيز أكثر على إعادة الاستخدام وإعادة التدوير. نتحدث أحيانًا عن "إعادة التدوير" عندما يكون هناك إعادة استخدام لهذه "المواد الخام الثانوي".

I.3-2- أنواع مختلفة من بقايا المخلفات [6]

أنواع المخلفات	تعريف
النفايات المنزلية	جميع المخلفات الناتجة عن الأنشطة المنزلية بالإضافة الى النفايات المماثلة، الناتجة عن الأنشطة الصناعية أو التجارية أو الحرفية أو غيرها من الأنشطة.
النفايات الصناعية	جميع المخلفات الغير منزلية الناتجة عن الأنشطة الصناعية أو التعدينية أو الحرفية او ما شابه ذالك.
النفايات الزراعية	جميع المخلفات العضوية الناتجة مباشرة عن الأنشطة الزراعية أو أنشطة الثروة الحيوانية.
النفايات القابلة للتحلل	جميع المخلفات التي قد تخضع للتحلل الطبيعي اللاهوائي أو البيولوجي الهوائي، مثل مخلفات الطعام ومخلفات الحدائق وكذالك الورق والكرتون.
النفايات الطبية	جميع المخلفات الناتجة عن أنشطة التشخيص والمراقبة و الوقائية العلاجية أو العلاجية التلطيفية في مجال الطب البشري أو البيطري والمستشفيات العامة والعيادات الخاصة والبحث العلمي أو مختبرات التحليل العاملة في هذه المجالات.
النفايات الخطرة	جميع المخلفات التي من خلال مكوناتها أو من خلال خصائص المواد الضارة التي تحتوي عليها من المحتمل أن تضر المجتمع أو البيئة التي يتم تحديد قائمتها بموجب اللائحة.
النفايات المشابهة للنفايات المنزلية	جميع المخلفات الناتجة أو غير الناتجة عن معالجة النفايات، والتي لم يعد من المحتمل معالجتها في ظل الظروف الفنية والاقتصادية الحالية، ولاسيما عن طريق استخراج الجزء القابل للإسترداد أو عن طريق الحد من طبيعته الملوثة أو الخطرة.
النفايات الخاملة	جميع المخلفات الناتجة عن أعمال المحاجر أو التعدين أو الهدم أو البناء أو التجديد والتي تكون ملوثة بمواد خطرة، أو عناصر أخرى تسبب إزعاجا ولا تتحلل هذه النفايات أو تحترق أو تنتج اي تفاعلات فيزيائية أو كميائية أخرى، إنها غير قابلة للتحلل ولا تتدهور مع المواد الاخرى التي تتلامس معها من المحتمل ان تسبب تلوثا بيئيا او تضر بالصحة العامة.

الجدول I .2 أنواع المخلفات المختلفة

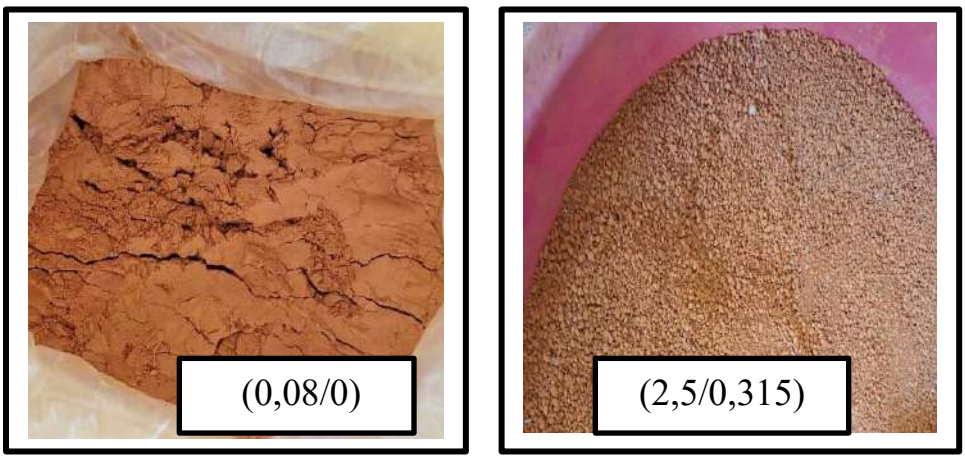
I.3-3- المخلفات المستخدمة في الهندسة المدنية [6]

تنتج مخلفات البناء والأشغال العامة بشكل رئيسي من مواقع البناء وإعادة التأهيل والهدم. وهي تتكون من 90% من النفايات الخاملة، والباقي من النفايات الغير خطرة.

النفايات الخطرة: نتيجة نهاية حياة المنتجات الطبيعية (الحجارة، الأرض، الرمل) أو المنتجات المصنعة (الخرسانة، الطوب، السيراميك، الزجاج).

النفايات الخاملة: هي نفايات غير ملوثة، ومستقرة كيميائيا مع مرور الوقت، وبالتالي لاتؤثرعلى البيئة من الناحية النظرية ، ومع ذلك، فإن نقل وتخزين هذه النفايات لها تأثير كبير من حيث إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون. ومن أجل الحد من هذه التأثيرات، ونظراً للاحتياجات المتزايدة لموارد الطاقة، ومتطلبات وشروط المحافظة على البيئة، و في رؤية للتنمية المستدامة، أصبح من الضروري التنقيب ودراسة كافة الإمكانيات والفرص لإعادة إستخدام وتثمين النفايات الخاملة والمنتجات الثانوية الصناعية، لا سيما في مجال الاشغال العمومية.

في دراستنا نستخدم النفايات الخاملة وهي نفايات الطوب. نحن أضفناه في شكل مسحوق لتحسين الخصائص الميكانيكية التوف.



الصورة I.2 مخلفات بقايا الطوب

4.I - عموميات حول الجير

1-4.I- تعريف الجير [8]

الجير هو عبارة عن مادة مسحوقيه بيضاء اللون بشكل عام، تم الحصول عليها عن طريق التحلل الحراري (الانحلال الحراري) للحجر الجيري. وقد تم إستخدامه منذ العصور القديمة، وخاصة في البناء، ومن الناحية الكيميائية، فهو عبارة عن أكسيد الكالسيوم مع أكسيد المغنيسيوم ولكن التسمية المعتادة للجير يمكن أن تشمل حالات كيميائية مختلفة.

الصورة 3.I الجير

2-4.I- أنوع الجير [9]

اعتمادًا على طبيعة الحجر الجيري المستخدم، يسمح الطهي بتصنيع عدة أنواع من الجير منها: (الجير الحي، الجير المطفأ، وغيرها)

أ- الجير الحي:

يعرف الجير الحي أيضا بإسم الجير الكاوي (أكسيد الكالسيوم)، ويتم إنتاجه بحرق الحجر الجيري النقي (عملية التكليس)، وهو أحد أشكال الجير الأرخص والأكثر توافر، ويتميز بأنه غير متبلور بشكل كبير ويميل الى الكاوي ويحتوي الجير السريع (الجير الحي) على ترابط قوي مع الرطوبة. يعتبر الجير السريع أحد المكونات الرئيسية في صناعة الاسمنت، كما أنه يعد مادة هامة في معالجة مياه الشرب.

➢ **إستخدامات الجير الحي:**

- يستخدم الجير في الأغراض الطبية والنباتية ومبيدات الحشرات وفي صناعة الأغذية الحيوانية.
- يستخدم ككاشف مخبري لإمتصاص الغازات والجفاف والترسيب.
- يستخدم في تحسين جودة التربة.
- يستخدم في محطات معالجة المياه لتحكم في حموضة المياه المعالجة ولإزالة الشوائب الموجودة في المياه.

ب- الجير المطفأ:

يعرف أيضا بإسم هيدوكسيد الكالسيوم وهو متاح على شكل كلس نقي على شكل مسحوق أبيض، يتم تحضير الجير المطفأ عن طريق إضافة الجير الحي الى الماء مما يعطي مادة ملاط وهذا مناسب لتطبيقات الملاط كما يمكن إستخدامه في أعمال التجصيص وفي الأسمنت كمادة رابطة.

➢ **إستخدامات الجير المطفأ:**

- يستخدم في معالجة مياه الصرف الصحي
- يستخدم في صناعة الورق
- يستخدم في غسيل الملابس البيضاء

I.5-عموميات حول هيدروكسيد الصوديوم

I.5-1- تعريف [10]

هو مركب كيميائي قوي له الصيغة الكيميائية (NaOH). يعرف أيضا بالصودا الكاوية (وفي بعض الدول العربية بالأطرونة) ويستخدم في العديد من الصناعات، درجة ذوبانه في الماء عالية جداً وتصل المحاليل المائية إلى تركيزات كبيرة، ويعتبر هيدروكسيد الصوديوم المصدر الأساسي في صناعة ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) وهو مادة متميعه أي أنها تمتص بخار الماء من الهواء الجوي.

الصورة I.4 الصودا الكاوية

I.5-2- خواصه [10]

- مركز صلب أبيض متميع.
- له ملمس صابوني وتأثيره كاو على الجلد.
- يذوب في الماء بسهولة ويكون محلول قلوي.
- يتفاعل مع الاحماض المخففة مكوناً ملح الصوديوم للحمض والماء.

I.5-3- التحضير [10]

قديما كان يحضر من معالجة رماد الصودا الناتج من طريقة لوبلان بيهدروكسيد الكالسيوم

$$Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2NaOH + CaCO_3$$

وذلك إعتماداً على أن كربونات الكالسيوم غير منحلة في محلول الصودا الكاوية، إلا أن هذه الطريقة لم تعد تستخدم منذ عام 1962. الطريقة المعتمدة حاليا للإنتاج تتم من خلال التحليل الكهربائي لمحلول مركز من كلوريد الصوديوم في الماء حيث يتشكل غاز الكلور على الأنود (المصعد) في حين يتشكل كل من غاز الهيدروجين وهيدروكسيد الصوديوم على الكاثود (المهبط).

المعادلة الاجمالية للتفاعل:

$$NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow 1/2\ H_{2\ (g)} + 1/2\ Cl_{2\ (g)} + NaOH_{(aq)} \ldots \Delta H=224KJ$$

I.5-4- الاستخدامات [10]

هيدروكسيد الصوديوم قاعدة رئيسية قوية تستخدم في الصناعات الكيميائية.

- ✓ **صناعة الورق**

كان يستخدم على نطاق واسع مع كبريتيد الصوديوم حيث يستخدم لفصل مادة السيلولوز عن المواد الغير سيلولوزية.

- ✓ **صناعة الصابون**

بإضافة هيدروكسيد الصوديوم إلى زيت نباتي.

- ✓ **صناعة الحرير**
- ✓ **إنتاج الوقود**

6.I- الخاتمة

في مجال الأشغال العامة، تثمين الموارد المحلية، وإعادة التدوير النفايات هي موضوع مهم جدا للدراسة وهكذا في هذا الفصل سلطنا الضوء على أهم المواد المحلية في المناطق القاحلة وشبه القاحلة وهي التوف القشرة بالإضافة إلى بعض المواد المستخدمة لمعالجتها (مخلفات الياجور والجير مع الصودا الكاوية).

الفصل الثاني

خصائص المواد المستخدمة

II.1- مقدمة

تعد التجارب المخبرية أحد الأسس الأساسية في الدراسة، حيث يقدم هذا الفصل مجموعة من اختبارات خصائص المواد ونتائجها. تم تنفيذها في مخبر الهندسة المدنية بجامعة قاصدي مرباح ورقلة وكذا مخبر الأشغال العمومية الجنوبي للبلاد، حيث تستند دراسة هذا الفصل بشكل عام على نتائج المختبرات للتأكد من جودة المواد وملائمتها للإستخدام في المشاريع العمرانية.

II.2- المواد المستخدمة

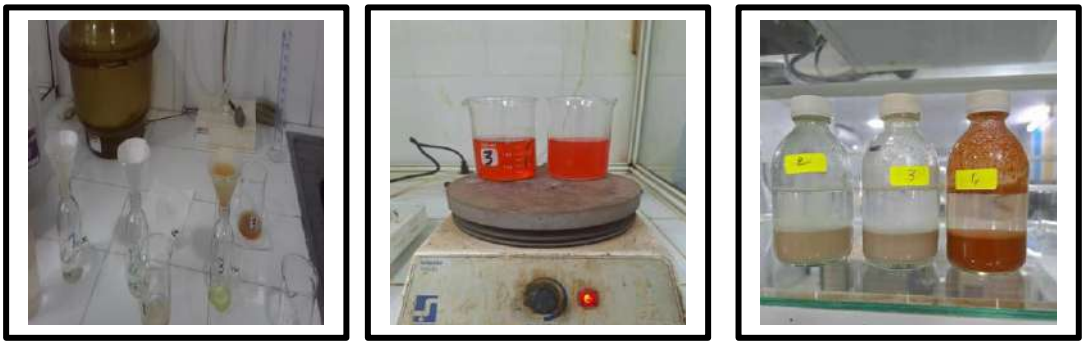
II.2-1- التوف: [11]

كما هو الحال في معظم الصخور الرسوبية فإن التوف هي مادة معروفة منذ القدم عند الدول الغربية بسبب خصائصه الفريدة، حيث يوفر حماية أفضل بنسبة معتبرة من برد الشتاء أو حرارة الصيف مقارنة بالأحجارة الاخرى، كما يستخدم في مجال الزراعة كأرض خصبة ويعرف كذالك بالحجر الذي يغطي الارض لأنه يحافظ على رطوبة ودرجة حرارة ثابتة للتربة نظراً لاستعماله في الحدائق والاماكن العامة.

الصورة II.1 التوف المستعمل

II.2-1-1- اختبار التحليل الكيميائي: [12]

يتم إجراء التحليل الكيميائي وفقا للمعايير NF P 15-461, BS 1377 و NF P 94-048 من أجل تحديد المواد الغير قابلة للذوبان و تحديد محتوى الكبريتات و الكربونات و الكلوريدات.



الصورة 2.II التجارب الكيميائية

القيم	العناصر	
4.45	Insolubles	غير قابل للذوبان
38.06	SO3 (%)	كبريتات
81.99	CaSO4, $2H_2O$ (%)	
456.61	SO4 ((mg/KG))	
3.14	CaCO3 (%)	كربونات الكالسيوم
0.681	Cl- (mg/l)	كلوريد الصوديوم

الجدول II .1 نتائج التحليل الكيميائي للطف

❖ حسب التحليل الكيميائي الذي تم إجراؤه في مخبر الدراسة والتحكم (LEC) لمدينة ورقلة فإن العناصر الموجودة في العينة عبارة عن حبيبات جبسية بنسبة كبريتات الكالسيوم والتي تبلغ تقريباً81.99%

II.2-1-2- اختبار الكتلة الحجمية

▪ الكتلة الحجمية الظاهرية (NF P 18-554): [13]

نقوم بقياس الكتلة الحجمية مع أخذ الفراغات في الحساب.

خطوات التجربة

- نملئ الوعاء بالتوف بواسطة اليد.
- ننزع العينة الزائدة بالمسطرة بحيث لا نترك فراغات على سطح الوعاء.
- نقوم بوزن الوعاء + الطف
- نقوم بإعادة التجربة ثلاث مرات و نسجل النتائج في الجدول.

✓ يتم تحديد هذا الاختبار بالصيغة التالية:

$$\delta a = \frac{M}{V}$$

δa: الكتلة الحجمية الظاهرية

M: كتلة العينة

V: حجم العينة

الصورة II.3 تجربة الكتلة الظاهرية

▪ الكتلة الحجمية المطلقة (NF P 18-301): [13]

نقوم بقياس الكتلة الحجمية مع عدم أخذ الفرغات في الحساب

خطوات التجربة

- نقوم بوزن كمية من التوف
- نملئ الأنبوب المدرج بالماء إلى غاية V1= 100 ml
- نفرغ ببطئ كمية التوف في الأنبوب و نقرأ V2
- نقوم بتكرار العملية ثلاث مرات .

✓ يتم تحديده بالصيغة التالية:

$$\delta abs = \frac{M}{V2 - V1}$$

الصورة 4.II تجربة الكتلة الحجمية المطلقة

التجربة	النتائج
الكتلة الحجمية الظاهرية P/V (g/cm^3)	1.21
الكتلة الحجمية المطلقة P1/V (g/cm^3)	2.17

الجدول II .2 نتائج الكتلة الحجمية الظاهرية والمطلقة

II.2-1-3-إختبار التحليل الحبيبي (NF P 94-056): [14]

التحليل الحبيبي يتمثل في التعرف على خصائص الحبيبات وذلك بتعيين أبعادها والنسب المئوية لكل بعد .

هناك عدة أنواع من أنظمة التصنيف المعروفة للتربة ومنها نظام التصنيف الموحد(USCS) الذي يعتمد في تصنيف التربة على دراسة خصائصها الفيزيائية، ومن بين الخصائص الفيزيائية خاصية التدرج الحبيبي للتربة وفي هذا العمل التطبيقي نقوم بإنجاز تجربة التدرج الحبيبي .

التجربة تُصنف مختلف الحبيبات المكونة للعينة وذلك بإستعمال سلسلة غرابيل موضوعة فوق بعضها البعض تنازليا ، العينة المدروسة توضع في الجزء الأعلى من الغرابيل وترتيب الحبيبات يكون باهتزازات الغرابيل آليا .

التحليل الحبيبي يسمح بتحديد كمية ونسبة مختلف أقطار الحبيبات المكونة للعينة و يسمح بتحديد التوزيع القطري لحبيبات التوف.

الصورة 5.II الغرابيل المستخدمة في الإختبار

يمكن تحديد المنحنيات الحبيبية للمجموعات المختلفة بواسطة نتائج التجربة للتدرج الحبيبي في الجدول التالي:

الجدول II .3 نتائج تجربة التدرج الحبيبي للتوف

الغربال (مم)	الكمية المرفوضة (g)	الكمية المرفوضة المجملة (g)	النسبة المئوية المرفوضة (%)	النسبة المئوية المجملة (%)
5	10	10	1	99
2	23.3	33.3	3.3	97
1	23.9	57.2	5.72	94
0.4	232.6	289.8	28.98	71
0.2	319.8	609.6	60.96	39
0.1	233.2	842.8	84.28	16
0.08	1.5	844.3	84.43	16

الشكل 1.II منحنى الحجم الحبيبي للتوف

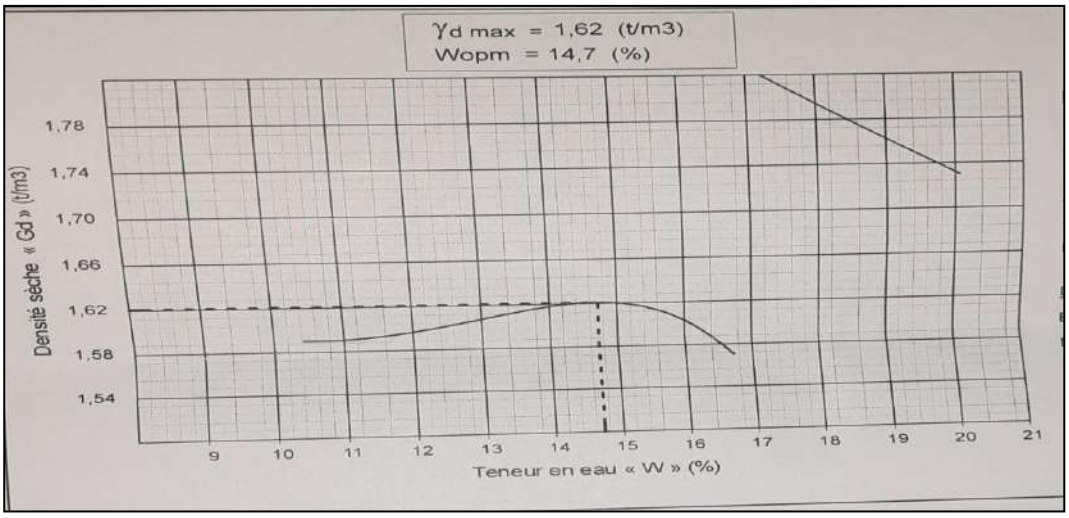
وبناءً على المنحنى، نلاحظ أن نسبة العناصر التي يقل حجمها عن 0.08 هي في حدود 16%

II.2-1-4-إختبار بروكتور المعدل (NF P 94-093): [15]

يتم إجراء اختبار بروكتور المعدل بغرض رص التربة بواسطة قضيب ثابت داخل قالب فولاذي بمقاييس ثابتة وبطريقة محددة، وتهدف إلى تحديد درجة الرطوبة للوصول إلى الكثافة الجافة الاعظمية للتربة من خلال محتوى الماء الامثل W_{opm}.

يتكون مبدأ الاختبار من ترطيب تربة بمستويات مختلفة من الماء وضغطها وتكتلها بطريقة وطاقة معيارية. يتم تحديد الكثافة الحجمية الجافة للتربة وإنشاء منحنى، قيمة قصوى للكثافة الحجمية الجافة، ويتم الحصول عليها عند قيمة محددة لنسبة الرطوبة.

الصورة II.6 تجربة البروكتور المعدل



الشكل II.2 منحنى نسبة المحتوى المائي الأمثل

➢حسب المنحنى نجد أن المحتوى المائي الأمثل يساوي 14.7%

وتبلغ الكثافة الجافة القصوى حوالي $1.62\ (t/m^3)$

II.2-1-5-إختبار نسبة تحميل كاليفورنيا (NF P 94-078) CBR: [16]

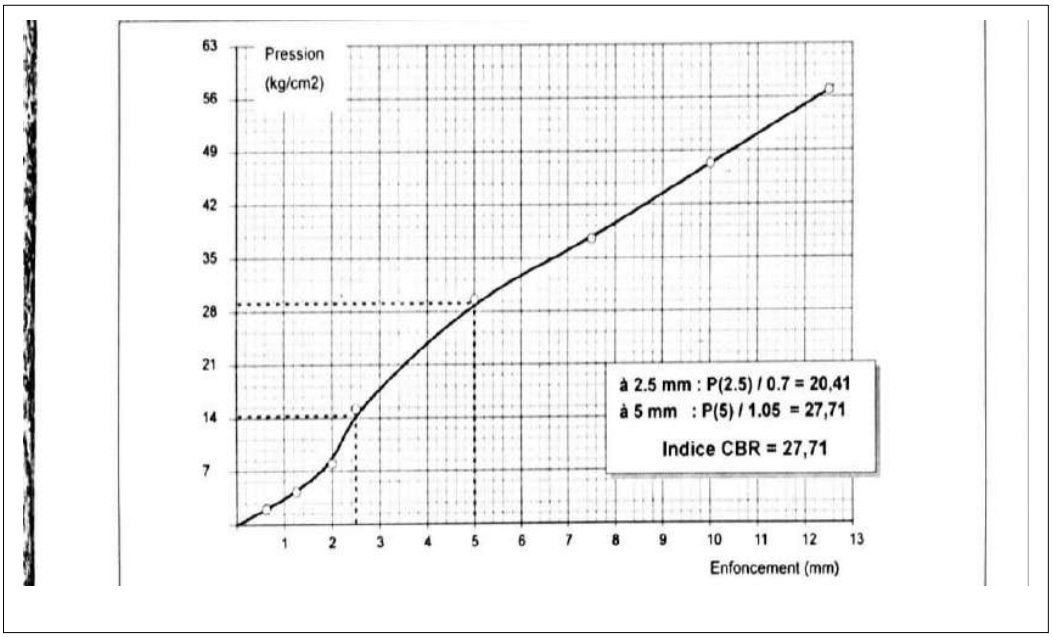
يقوم هذا الاختبار بقياس قدرة التحمل النسبية للتربة مقارنة بالتربة النموذجية، التي تتألف من حجارة مكسرة ومكثفة، تم استخراجها من محجر في كاليفورنيا. يعد مصطلح CBR هو اختصار California Bearing Ratio. وهو عبارة عن نسبة الضغط اللازم من خلال غرز عمود صغير ذا قطر معين وبسرعة تحميل معينة في عينة من التربة عند قيم محددة للمحتوى المائي والكثافة ومقارنتها مع نتائج اختبار تربة قياسية، وتهدف أيضا الى تحديد قوة تحمل التربة الطبيعية وطبقة الاساس.

- **إختبار CBR الفوري IPI:**

يقيس مقاومة التربة للاختراق بواسطة براعم استوائية وجهزت بأنابيب نفطية، يتم عادة تكتل التربة باستخدام طاقة بروكتور المعدل عند نسبة الرطوبة الأمثل المحددة (Wopm). بالإضافة إلى ذلك، في حال كان المواد هي دعامة أو جزء من هيكل الطريق، سيتم تحميل رأس العينة التربية التي تم اختبارها بقرصين دائريين مما يمثل ما يتم فرضه بواسطة الطريق على المنصة.

الضغط	القراءة	الإنتفاح	الزمن	
2.03	0.39	0.63	30s	1mn
4.31	0.83	1.25		1mn
8.00	1.54	2.00	40s	1mn
15.18	2.92	2.50		2mn
29.63	5.70	5.00		4mn
37.58	7.23	7.50		6mn
47.30	9.10	10.00		8mn
56.91	10.95	12.50		10mn

الجدول II .4 نتائج تجربة CBR الفوري



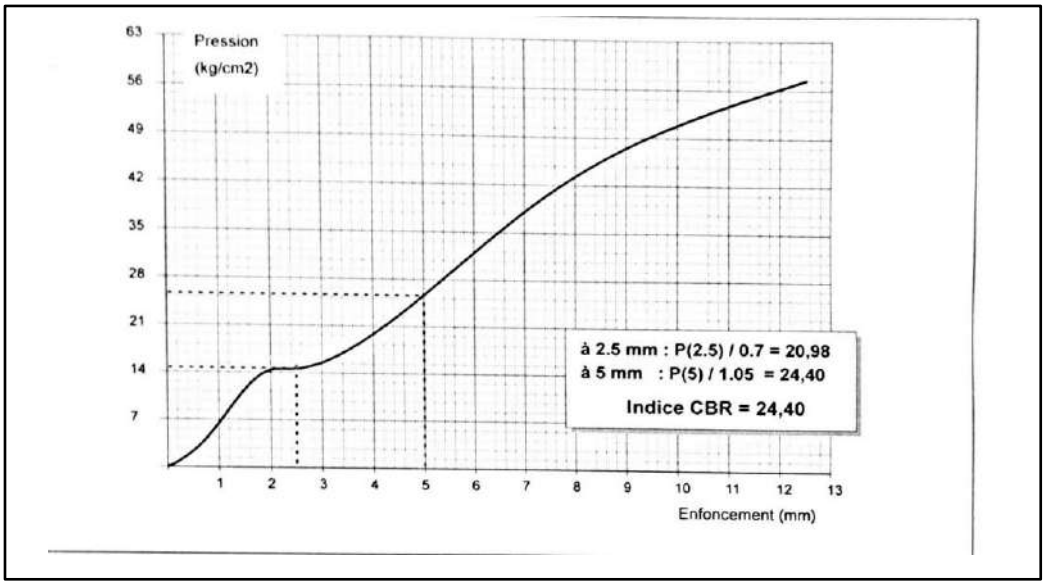
الشكل 3.II منحنى CBR الفوري

✓ حسب المنحنى نجد مؤشر CBR IPI يساوي 27.71

- **إختبار CBR المشبع:** بعد 4 أيام في الماء، نجد النتائج التالية

الزمن		الإنتفاخ	القراءة	الضغط
1mn	30	0.63	0.39	2.03
1mn		1.25	1.81	9.41
1mn	40	2.00	3.35	17.41
2mn		2.50	2.22	11.54
4mn		5.00	4.64	24.12
6mn		7.50	8.36	43.45
8mn		10.00	9.93	51.61
10mn		12.50	11.06	57.48

الجدول 5. II نتائج تجربة CBR المشبع



الشكل 4.II منحنى CBR المشبع

✓ حسب المنحنى نجد مؤشر CBR المشبع يساوي 24.40

II.2-1-6- إختبار الضغط البسيط:

تعتبر تجربة الضغط البسيط من الإختبارات المستعملة لقياس مقاومة التربة والتي من خلالها يتم التعرف على مدى قوة ومقاومة التربة للإجهاد ويعني هنا بقوة التربة أي مقدار التماسك والإحتكاك بين حبيباتها، ولهذا يتم إجراء هذه العملية بعد تجربة البروكتور لأخذ نسبة الماء المفضلة والكثافة القصوى الجافة، حيث تقام التجربة بمقاييس ثابتة وبطريقة محددة .

يتم الضغط بزاوية الوضع الأمثل في الآلة الهيدروليكية وتصنع العينات (قطر 5 سم وارتفاع 10 سم)، ثم تجفف إما في فرن عند درجة حرارة 60 درجة مئوية لمدة 48 ساعة، أو يتم حفظها في الهواء الطلق.

الصورة II .7 تجربة إختبار الضغط البسيط

الكثافة النظرية	الكثافة	وزن التربة الجافة	وزن الماء	وزن التربة الرطبة
100	1.66	326	31.27	357.05
98	1.63	319.26	30.65	349.91
95	1.58	309.49	29.71	339.20

رقم العينة	الوزن الفعلي بعد الترطيب	الوزن الفعلي للضغط	محتوى الماء	قطر العينة	إرتفاع العينة	حجم العينة	الكثافة الجافة بعد الضغط	الكثافة بعد الضغط	القراءة	المقومة Kg/cm	مقاومة الضغط المتوسط bars
1	357.05	326.22	14.7	5	10	196	1.662	100	1.8	9.36	9.36
2	357.05	326.26	14.7	5	10	196	1.662	100	1.8	9.36	
3	349.91	319.26	14.7	5	10	196	1.627	98	1.5	7.80	7.80
4	349.91	319.26	14.7	5	10	196	1.627	98	1.5	7.80	
5	339.20	309.49	14.7	5	10	196	1.577	95	1.4	7.28	6.76
6	339.20	309.49	14.7	5	10	196	1.577	95	1.2	6.24	

الجدول II .6 نتائج إختبار الضغط البسيط

II.2-1-7- إختبار أزرق الميثيلين (NF P 94-068) [17]

تستخدم تجربة أزرق الميثيلين لتحديد محتوى الطين من الرمل والركام و التربة في كثير من الأحيان ، يتكون الإختبار من تحديد كمية جزيئات الطين الموجودة في العينة. لهذا نستخدم أزرق الميثيلين.

الصورة 8.II تجربة أزرق الميثيلين

✓ يتم إعطاء القيمة الزرقاء للطف من خلال العلاقة التالية:

$$V_{BS} = \frac{V}{M1} * C$$

V_{BS} : تحديد طبيعة التربة

V : حجم الأزرق المضاف

M_1 : كتلة من العينة الجافة

C : نسبة العينة الموزونة على الوزن الكلي

قيمة أزرق الميثيلين للتوف المستعمل هي: VBS = 0.30

التربة الرملية	VBS ≤ 0.2
التربة اللدنة	0.2 < VBS ≤ 2.5
تربة متوسطة اللدونة	2.5 < VBS ≤ 6
تربة طينية	6 < VBS ≤ 8
تربة طينية جداً	VBS > 8

الجدول II .7 تصنيف التربة حسب قيم VBS

2-2- مخلفات بقايا الطوب

2-2-1- تجربة التحليل الكيميائي:

العناصر	Insoluble (%)	الكبريتات			كربونات الكالسيوم	كلوريدات الصوديوم
		CaSO4,2H2O (%)	SO4 ((mg/KG))	SO3 (%)		
مخلفات الطوب المسحوق	74.28	3.84	21.36	1.78	0.82	0.023

الجدول II .8 نتائج التحليل الكيميائي لمخلفات الطوب المسحوق

II.2-2-2- تجربة الكتلة الحجمية الظاهرية [13]

خطوات التجربة

- نملئ الوعاء بمسحوق الياجور بواسطة اليد.
- ننزع العينة الزائدة بالمسطرة بحيث لا نترك فراغات على سطح الوعاء.
- نقوم بوزن الوعاء + الطوب
- نقوم بإعادة التجربة ثلاث مرات و نسجل النتائج في الجدول.

✓ يتم تحديد هذا الاختبار بالصيغة التالية:

$$Pa = \frac{M}{V}$$

عندنا:

Pa: الكتلة الحجمية الظاهرية

M: كتلة العينة

V: حجم العينة

الصورة 9.II تجربة الكتلة الحجمية الظاهرية بمسحوق الطوب (0/ 0.08)

الصورة II.10 تجربة الكتلة الحجمية الظاهرية بمخلفات حصى الطوب (2.5/0.315)

التجربة		كتلة العينة M(g)	حجم العينة V(cm^3)	الكتلة الحجمية الظاهرية Pa (g/cm^3)	القيمة المتوسطة
1	مسحوق الطوب (0.08/0)	1212g	1000 cm^3	1.212 g/cm^3	1.214 g/cm^3
2		1219g	1000 cm^3	1.219 g/cm^3	
3		1214g	1000 cm^3	1.214 g/cm^3	
1	مسحوق الطوب (2.5/0.315)	1414g	1000 cm^3	1.414 g/cm^3	1.412 g/cm^3
2		1409g	1000 cm^3	1.409 g/cm^3	
3		1412g	1000 cm^3	1.412 g/cm^3	

الجدول II .9 نتائج تجربة الكتلة الحجمية الظاهرية

II.2-2-3- تجربة الكتلة الحجمية المطلقة [13]

خطوات التجربة

- نقوم بوزن 100g من الطوب.
- نملئ الأنبوب المدرج بالماء إلى غاية V1= 300 ml
- نفرغ ببطئ كمية الياجور في الأنبوب و نقرأ V2
- نقوم بتكرار العملية ثلاث مرات.

✓ يتم تحديده بالصيغة التالية:

$$P_{abs} = \frac{M}{V2-V1}$$

الصورة II.11 تجربة الكتلة الحجمية المطلقة بمسحوق الطوب (0.08/0)

الصورة II.12 تجربة الكتلة الحجمية المطلقة بمسحوق الطوب (2.5/0.315)

	التجربة	كتلة العينة **M**(g)	حجم العينة $V_1(cm^3)$	حجم العينة $V_2(cm^3)$	الكتلة الحجمية المطلقة **Pabs**(g/cm^3)	القيمة المتوسطة
مسحوق الطوب (0.08 /0)	**1**	100g	300g	345g	2.222 g/cm^3	2.325 g/cm^3
	2	100g	300g	343g	2.325 g/cm^3	
	3	100g	300g	342g	2.380 g/cm^3	
مسحوق الطوب (2.5/0.315)	**1**	100g	300g	348g	2.083 g/cm^3	2.083 g/cm^3
	2	100g	300g	348g	2.083 g/cm^3	
	3	100g	300g	348g	2.083 g/cm^3	

الجدول II .10 نتائج تجربة الكتلة الحجمية المطلقة لمسحوق الطوب

II.2-3- الجير [18]

الجير المستخدم في دراستنا يأتي من مصنع سعيدة، والذي يتميز بتركيز منخفض من عناصر الأكسيد مثل سيليكات SiO_2 والألومنيوم Al_2O_3 وتركيز عال من العناصر الأساسية مثل الجير الحرCaO، ويلخص الجدول التالي الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للجير المستخدم.

الخصائص	القيم	الخصائص	القيم
المظهر الفيزيائي	مسحوق أبيض جاف	ثلاثي أكسيد الكبريت (%)	< 0,5
الكتلة الحجمية المطلقة (g/cm^3)	2.2_ 2.4	ثلاثي أكسيد الكبريت (%)	0,4 – 0,5
الكتلة الحجمية الظاهرية (g/cm^3)	0.5_0.65	ثنائي اكسيد الكربون (%)	< 5
مساحة السطح المحددة (g/cm^2)	8000_12000	كربونات الكالسيوم (%)	< 10
الجير الحر (%)	> 73,3	كثافة النوعية	2
أكسيد المغنيسيوم (%)	< 0,5	أكثر من كثر من90 ميكروميتر	< 5
ثلاثي أكسيد الحديد (%)	< 2	أكثر من كثر من360 ميكروميتر (%)	0
الألومينات (%)	< 1,5	مادة غير قابلة قابلة للذوبان (%)	< 1
سيليكات (%)	< 2,5	الكثافة الظاهرية (g/l)	600-900

الجدول II .11 الخصائص الفيزيائية والكيميائية لجير السعيدة

3.II- الخاتمة

وفقاً للتجارب الفيزيائية والكيميائية التي أجريت على التوف والنتائج المستخلصة، تبين أن التوف يحتوي على 8% من الحصى، و52% من الحبيبات الخشنة، و24% من الحبيبات الناعمة. كما أظهرت التحليلات الكيميائية أن الطف يحتوي على نسبة عالية من كبريتات الكالسيوم تصل إلى 81.99%، مما يشير إلى أن العينة تتكون بشكل أساسي من حبيبات الجبس. بالإضافة إلى ذلك، وُجد أن نسبة المواد غير القابلة للذوبان تبلغ 4.45%، بينما محتوى الكلوريدات منخفض جداً. وبناءً على قيمة VBS ، تم تصنيف الطف ضمن التربة اللدنة.

الفصل الثالث

النتائج والتفسيرات

1.III- مقدمة:

هذا الفصل مخصص لدراسة مقاومة الضغط والشد لخليط مكون من الطف ومخلفات الطوب سواء على شكل مسحوق أو حصى، معالج بالجير ومحلول هيدروكسيد الصوديوم .(NaOH) كما يشمل دراسة تأثير المحتوى المائي على مقاومة الضغط وحساسية الخلطات المختلفة تجاه الماء.

2.III- منهجية الدراسة التجريبية :

بعد تحضير خلائط حسب الصياغة المذكورة ادناه (الجدول 1.III) نقوم بتصنيع عينات اختبار اسطوانية للضغط لقطر 5سم وارتفاع 10 سم، وللشد بقطر 5 سم وارتفاع 5 سم.

الجدول 1.III مختلف الخلائط المعتمدة في الدراسة التجريبية

المكونات	TCH4B0	TCH4B5	TCH4B10	TCH4B15
الطف	96%	91%	86%	81%
مخلفات الطوب	0%	5%	10%	15%
الجير	4%	4%	4%	4%
TCH4B5 E0.08	عينات مشكلة بمسحوق بقايا الطوب (0.08/0) دون معالجة			
TCH4B10 E0.08				
TCH4B15 E0.08				
TCH4B5 S0.08	عينات مشكلة بمسحوق بقايا الطوب (0.08/0) معالجة بمحلول هيدروكسيد الصوديوم			
TCH4B10 S0.08				
TCH4B15 S0.08				
TCH4B5 E2.5	عينات مشكلة بإضافة بقايا حصى بقايا الطوب (2.5/0.315) دون معالجة			
TCH4B10 E2.5				
TCH4B15 E2.5				
TCH4B5 S2.5	عينات مشكلة بإضافة بقايا حصى بقايا الطوب (2.5/0.315) معالجة بمحلول هيدروكسيد الصوديوم			
TCH4B10 S2.5				
TCH4B15 S2.5				

➢ **في حالة الخلائط الغير معالجة**

تحضر العينات الاختبارية بكفاءة 95 % ونسبة المحتوى الماء المثلى لبروكتور تبلغ 14.7%

➢ **في حالة الخلائط المعالجة**

تحضر العينات الاختبارية بكفاءة 95% ونسبة محتوى هيدروكسيد الصوديوم (ph=12.14) ونسبة المحتوى الماء المثلى لبروكتور تبلغ 14.7%

➢ **في حالة تغيير المحتوى المائي**

تحضر العينات الاختبارية بكفاءة95% ونسبة محتوى الماء تبلغ 12.7% و16.7%.

✓ سيتم دراسة مقاومة التركيبات المختلفة وفقًا للعمر (7 أيام، 28 يومًا، 60 يومًا) من خلال دراسة:

1. التأثير بالنسبة للعمر
2. تأثير الوسط القاعدي
3. تأثير محتوى الماء
4. الحساسية للماء

III.2-1- تحضير وتخزين العينات

نخلط جميع المواد الجافة ثم نضيف الماء

➢ طريقة التخزين

في ظروف المختبر الجوية بين (25 و 35 درجة مئوية) ورطوبة بين (10 و 25 درجة مئوية)، طوال المدة المحددة.

الصورة III.1 طريقة التخزين

حساسية الطف للماء تجبر مستخدمي هذا المادة على اتخاذ بعض الاحتياطات لتجنب هذا العيب وبالتالي، فإن عملية خلط التوف بمواد أخرى أو اللجوء إلى معالجته يمكن أن تكون حلاً للتغلب على هذه المشكلة. في حالتنا، تم اختبار الحساسية بقياس مقاومة العينات من الخلطات المختلفة بعد غمرها في الماء لمدة 4 أيام عقب فترة حفظ مدتها 28 يومًا.

III.3- النتائج والتفسيرات

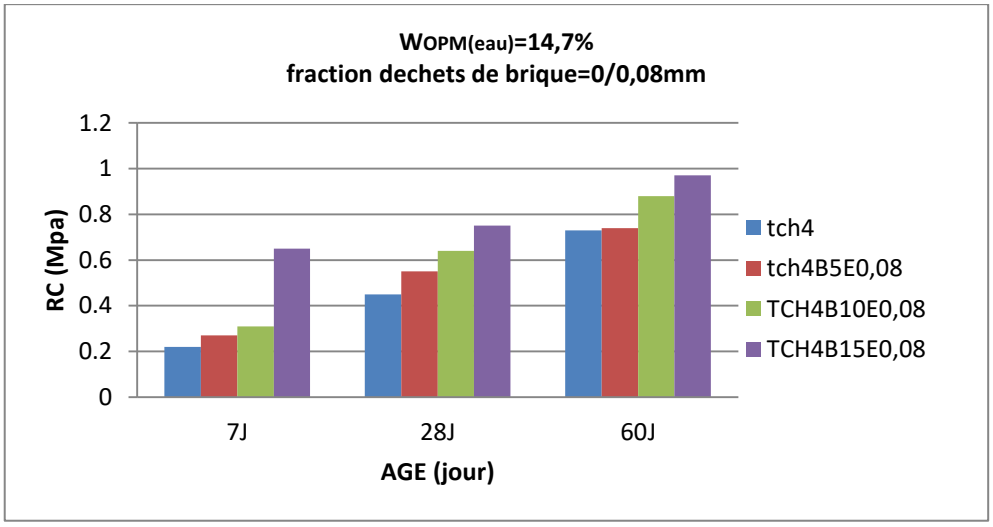
III.3-1- مقاومة الضغط

هذا اختبار تجريبي تم إجراؤه على عينات أسطوانية تم سحقها بواسطة مكبس بسرعة 1.27 مم/دقيقة. تم تطبيقه لأول مرة بواسطة FENZY (1957)

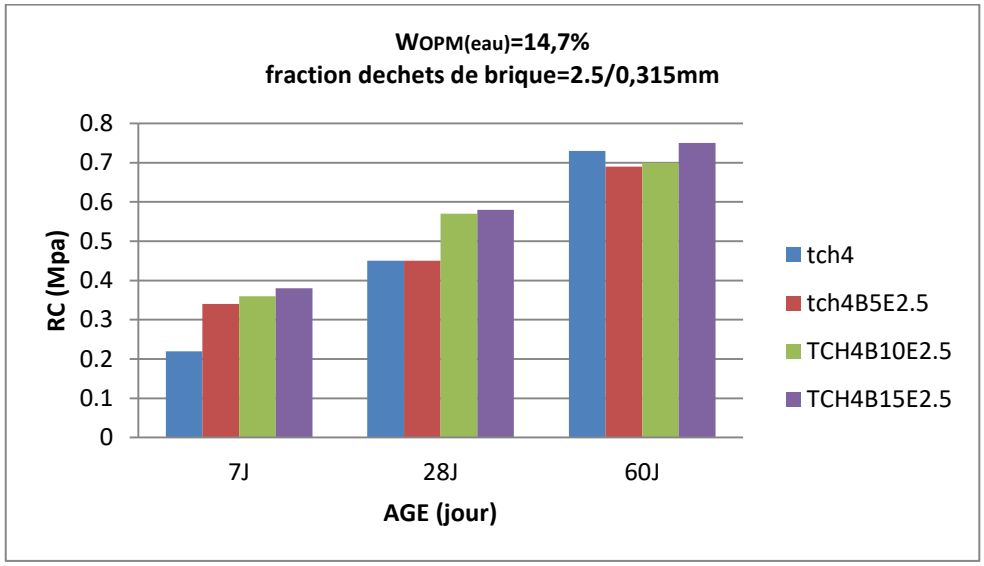
الصورة III.2 عينة اختبار الضغط أثناء التكسير

III.3-2-دراسة مقاومة الضغط

III.3-2-1- لمختلف العينات الغير معالجة بدلالة الزمن



الشكل III.1 مقاومة الضغط لمختلف العينات المضاف اليها مسحوق مخلفات الطوب بدلالة الزمن



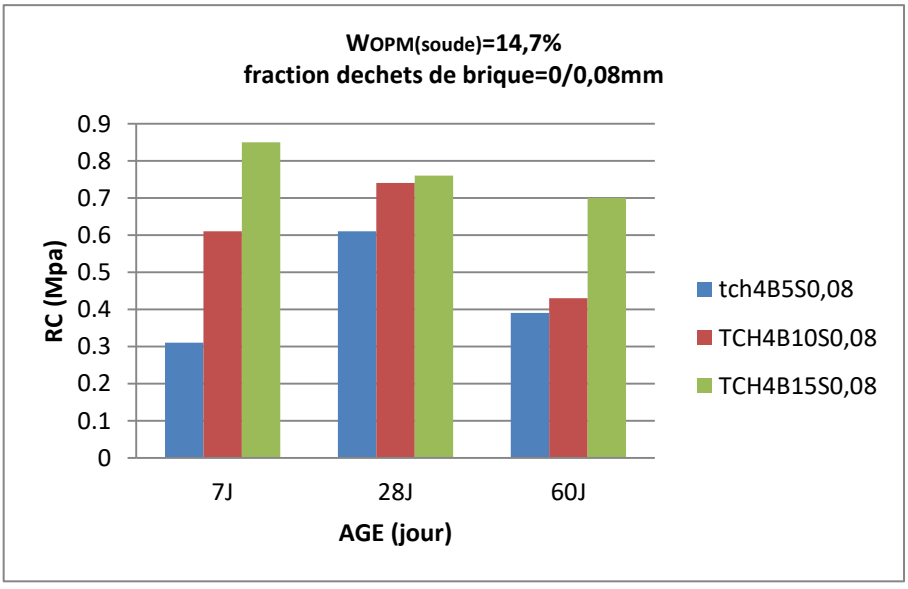
الشكل III.2 مقاومة الضغط لمختلف العينات المضاف اليها حصى مخلفات الطوب بدلالة الزمن

الشكلين **III 1** و **III 2** يمثلان تطور مقاومة الضغط لمختلف الخلطات بدلالة مدة التخزين.
بشكل عام، تظهر النتائج تحسن مقاومة الضغط لمختلف الخلطات المضاف اليها مخلفات الطوب مقارنة بالطف

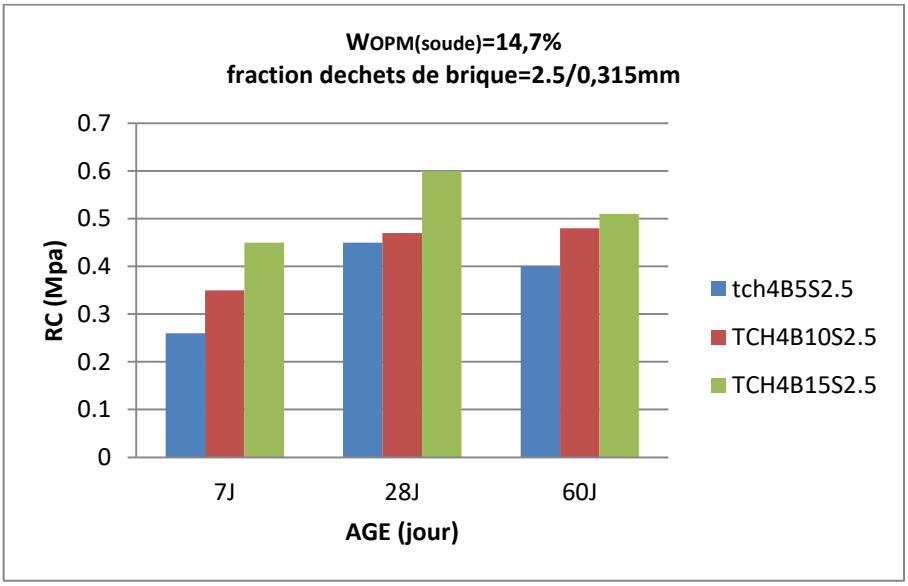
تَحسُّن مقاومة الضغط يزداد بدلالة عمر العينات مع تسجيل أفضل مقاومة للضغط عند 60 يومًا لجميع العينات، حيث وصلت إلى القيمة القصوى عند إضافة 15٪ من مخلفات الطوب سواء على شكل مسحوق (0.08/0) او على شكل حصى (2.5/0.315).

النتائج تبين ان اضافة مخلفات الطوب الى التوف تعمل على تحسين مقاومته للضغط بشكل واضح، وهذا راجع الى مختلف التفاعلات التي تنشأ بين مخلفات الطوب الغني بالمواد البوزولانية و الجير مما يعطي تماسكا جيدا لمختلف مكونات الخليط.

III.3-2-2- لمختلف العينات المعالجة بمحلول الصودا بدلالة الزمن



الشكل III.3 مقاومة الضغط لعينات مضاف اليها مسحوق مخلفات الطوب و معالجة بمحلول الصودا



الشكل 4.III مقاومة الضغط لعينات مضاف اليها حصى مخلفات الطوب و معالجة بمحلول الصودا

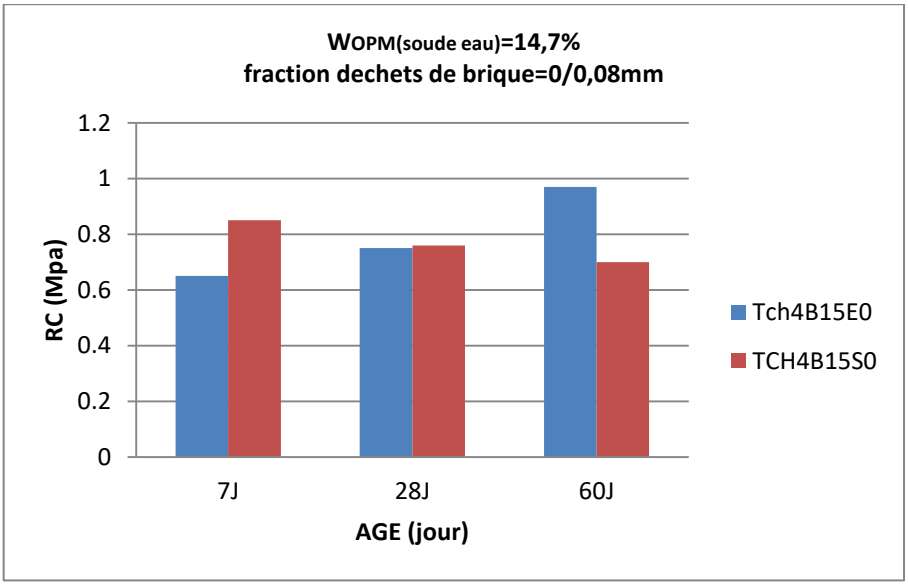
✓ الشكل **3.III** و **4.III** يوضحان تطور مقاومة الضغط لمختلف الخلطات المعالجة بالجير و محلول الصودا بدلالة الزمن.

✓ يظهر بشكل عام ان العينات المعالجة بمحلول الصودا تسجل أعلى قيم للمقاومة على المدى القصير حيث سجلت أعلى مقاومة للضغط في اليوم 7 للخليط عند اضافة 15% من مسحوق بقايا الطوب هذا يشير إلى إن إستخدام محلول الماء المعالج بالصود الكاوي يؤدي إلى إنشاء بيئة قاعدية حيث تحدث تفاعلات سريعة تعمل على تشكيل مركبات جيرية سيليكاتية هيدروليكية((C-S-H) المسؤولة عن زيادة المقاومة.

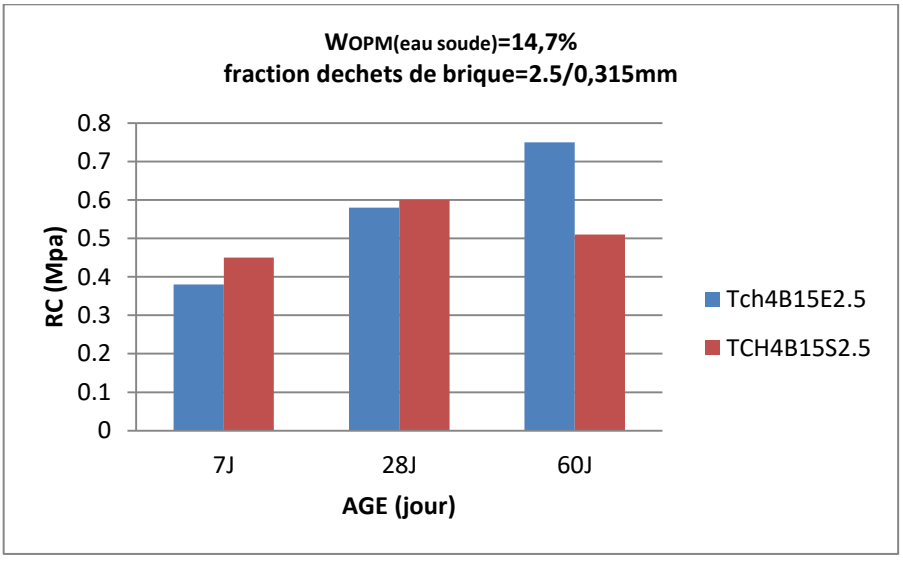
✓ تراجع قيم مقاومة الضغط على المدى المتوسط و البعيد خاصة راجع بالدرجة الاولى الى سرعة تبخر الماء الذي يعتبر عنصراً هماً في جميع التفاعلات الكيمائية الحاصلة كما يعتبر عنصر ربط بين الحبيبات عن طريق الخاصية الشعرية.

✓ إن استخدام الجير وبودرة مخلفات الطوب كإضافات في هذه الخلطات و المعالجة بمحلول الصود الكاوي القاعدي يعمل على إمكانية تحسين خصائص مقاومة الضغط بشكل كبير و سريع ولكن يجب تحديد النسب المثلى للمواد بعناية لتحقيق أفضل الخصائص المطلوبة على المدى المتوسط والبعيد.

III.3-3-3- تأثير الوسط القاعدي على مقاومة الضغط



الشكل III.5 تأثير الوسط القاعدي على عينات مضاف إليها مخلفات مسحوق الطوب



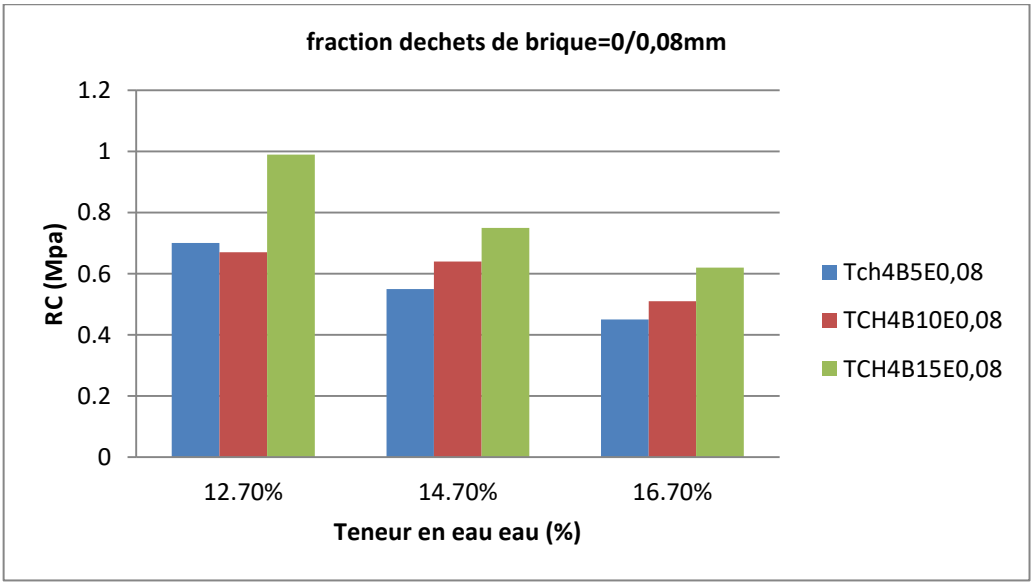
الشكل III.6 تأثير الوسط القاعدي على عينات مضاف لها مخلفات حصى الطوب

توضح الأعمدة البيانية في الشكل **5.III** و **6.III** مقاومة الضغط لنفس الخلطة (TCH4B15) غير المعالجة والمعالجة بمحلول الصود الكاوي في العينات المضاف لها مسحوق الطوب و العينات المضاف لها مخلفات الطوب.

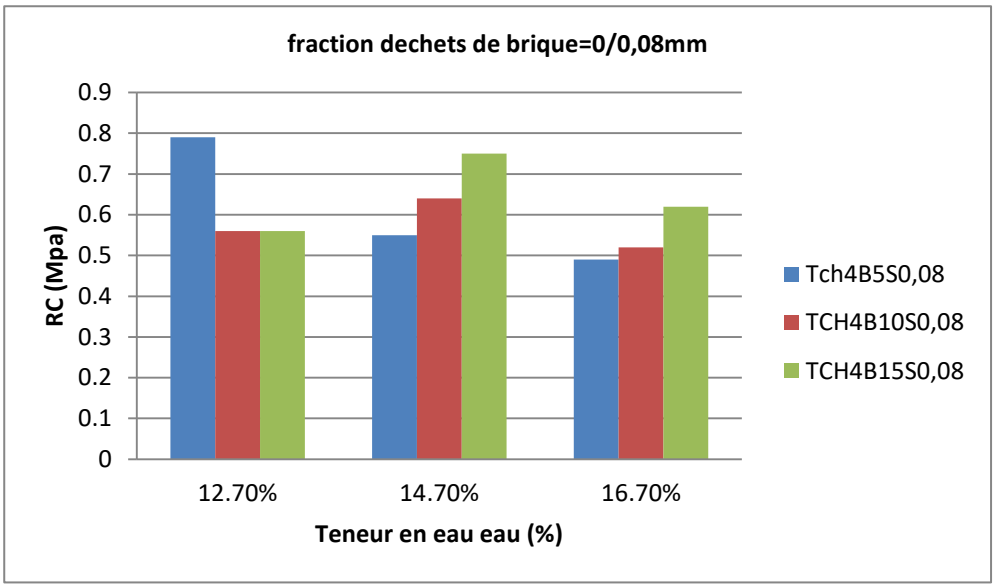
تظهر العينات الغير معالجة زيادة في مقاومة الضغط مع زيادة فترة العمر، حيث سجلت أعلى قيمة عند 60 يومًا. في المقابل سجلت العينات المعالجة بمحلول الصودا أعلى مقاومة للضغط خلال السبعة أيام الأولى، لتتراجع هذه القيمة مع تقدم عمر العينة.

يمكن تفسير هذا التباين بأن محلول الصودا يسرع من التفاعلات الكيميائية التي تشكل الروابط بين حبيبات الخليط. ترافق سرعة هذه التفاعلات سرعة في تبخر الماء، مما يؤدي على المدى المتوسط والبعيد إلى تراجع في قوة الترابط بين حبيبات الخليط وبالتالي نقص في مقاومة الضغط.

III.3-3-4- تأثير المحتوى المائي على مقاومة الضغط



الشكل 7.III تأثير المحتوى المائي على مقاومة الضغط لعينات مشكلة بالماء

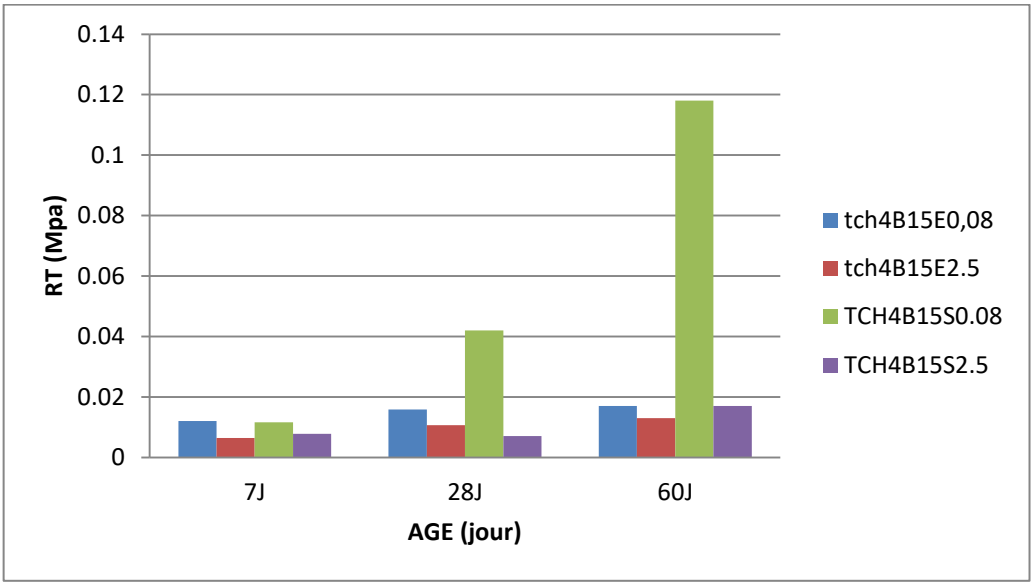


الشكل 8.III تأثير المحتوى المائي على مقاومة الضغط لعينات مشكلة بمحلول الصودا

الشكل **7.III** و **8.III** توضح تغير مقاومة الضغط لمختلف الخلطات وفقًا للمحتوى المائي لتشكيل العينات بالماء و بمحلول الصودا.

نلاحظ أنه عند محتوى مائي يبلغ 12.7% كانت مقاومة الضغط للخلطات الثلاثة أعلى مقارنة بمقاومتها عند المحتوى المائي 14.7% و 16.7% هذا يشير إلى وجود علاقة عكسية بين نسبة المحتوى المائي في الخلطات ومقاومة الضغط، حيث تنخفض مقاومة الضغط بشكل ملحوظ مع زيادة نسبة الماء. يُعد هذا الانخفاض في المقاومة سمة مميزة للمواد الحبيبية غير المتماسكة التي تعتمد في تماسكها على وجود القوى الشعرية أثناء الضغط عند محتوى منخفض من الماء. تختفي هذه القوى عند تجاوز حد معين، مما يجعل الماء ضارًا بالتماسك. وهذا يقودنا إلى الاستنتاج بأن المحتوى المائي لتشكيل عينات تحتوي على خليط من التوف ومخلفات الطوب والجير يجب أن يكون أقل من المحتوى المائي لتشكيل عينات التوف وحده.

III.3-3-5- دراسة مقاومة الشد لمختلف العينات بدلالة الزمن



الشكل III.9 تطور مقاومة الشد بدلالة الزمن

- ✓ تعرض الأعمدة البيانية مقاومة الشد بدلالة الزمن.
- ✓ نلاحظ بشكل عام زيادة في مقاومة الشد في جميع الخلطات مع تقدم الزمن، وهذا يتوافق مع تطور التفاعلات الكيميائية وتكوين المركبات الرابطة في هذه الخلطات. كما نلاحظ أن الخلطات المحتوية على مسحوق مخلفات الطوب تظهر مقاومة شد أعلى نسبياً مقارنة بالخلطات المحتوية على حصى مخلفات الطوب، مما يشير إلى أن حجم وشكل مخلفات الطوب يؤثر على تماسك الخلطات.
- ✓ أظهرت النتائج أيضاً أن الخلطات المعالجة بمحلول الصود الكاوي تتمتع بمقاومة شد أعلى، ويعزى ذلك إلى التفاعلات الكيميائية المعززة في البيئة القاعدية التي تساعد على تكوين مركبات أكثر متانة. يقودنا ذلك إلى استنتاج أن استخدام مسحوق مخلفات الطوب في تشكيل عينات تحتوي على خليط من التوف ومخلفات الطوب والجير، مع توفير بيئة قاعدية، يمكن أن يوفر أعلى مقاومة للشد.

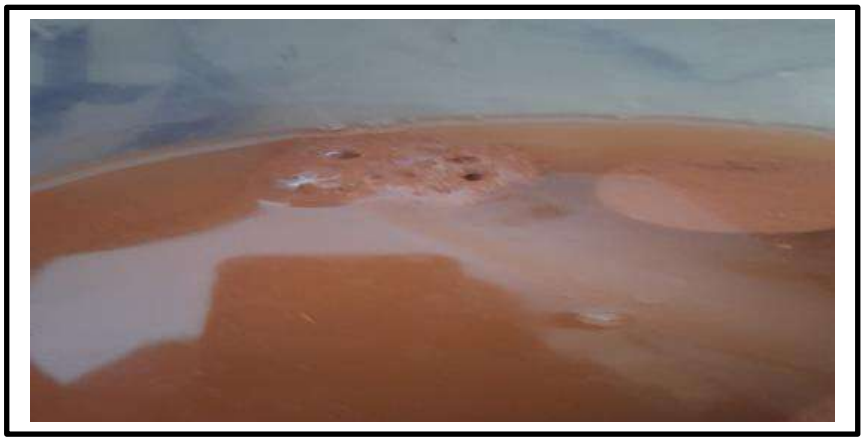
III.3.4-دراسة الحساسية تجاه الماء

تم حفظ العينات المحضرة من الخلطات المختلفة لمدة 28 يومًا ضمن الظروف المناخية للمخبر ثم الغمر في الماء لمدة 4 أيام.

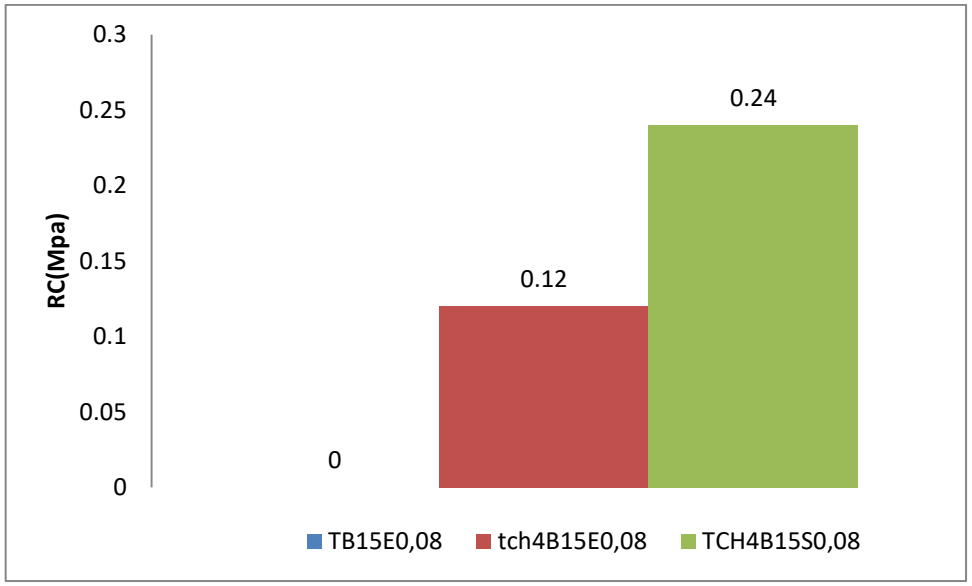
الصورة III.3 عينات الضغط للمخاليط بعد 28 يوما + 04 أيام من الغمر في الماء

❖ تمت دراسة حساسية الماء لمختلف التراكيب بعد 28 يومًا من الحفظ و4 أيام من الغمر في الماء.
❖ يتم تقييم حساسية الماء لمختلف التراكيب من خلال مقاومة الضغط.

العينات المحضرة من التوف وحده و العينات المحضرة من التوف مضاف اليه بودرة بقايا الطوب انهارت بعد بضع دقائق من الغمر في الماء وهذا راجع لعدم وجود قوى ربط بين مختلف الحبيبات باستثناء تلك الناشئة بين حبيبات الخليط أثناء عملية تشكيل العينات والتي سرعان ما تلاشت في وجود الماء.



الصورة 4.III عينات عند الذوبان في الماء



الشكل 10.III دراسة الحساسة تجاه الماء لعينات غير معالجة و الاخرى معالجة بمحلولة الصودا

- العينات المعالجة بالجير أبدت مقاومة ملحوظة تجاه الماء، هذا يشير الى أن الجير يلعب دوراً هاما في تعزيز تماسك حبيبات الخليط بروابط مقاومة للماء مع تسجيل أعلى مقاومة في العينات المضاف إليها محلول الصودا هذا الاخير يعمل على تسريع مختلف التفاعلات بين الجير و مكونات الخليط وبالتالي تماسك سريع لمختلف حبيبات الخليط.

4.III- تصميم طريق حسب طريقة CBR

(نسبة تحمل كاليفورنيا)

هذه الطريقة نصف تجريبية تعتمد على اختبار الضغط على عينة من التربة تعمل كدعم للطريق، حيث يتم ضغط العينات بنسبة تتراوح بين 90 الى 100 من الكثافة القصوى المعدلة بواسطة اختبار بروكتور.

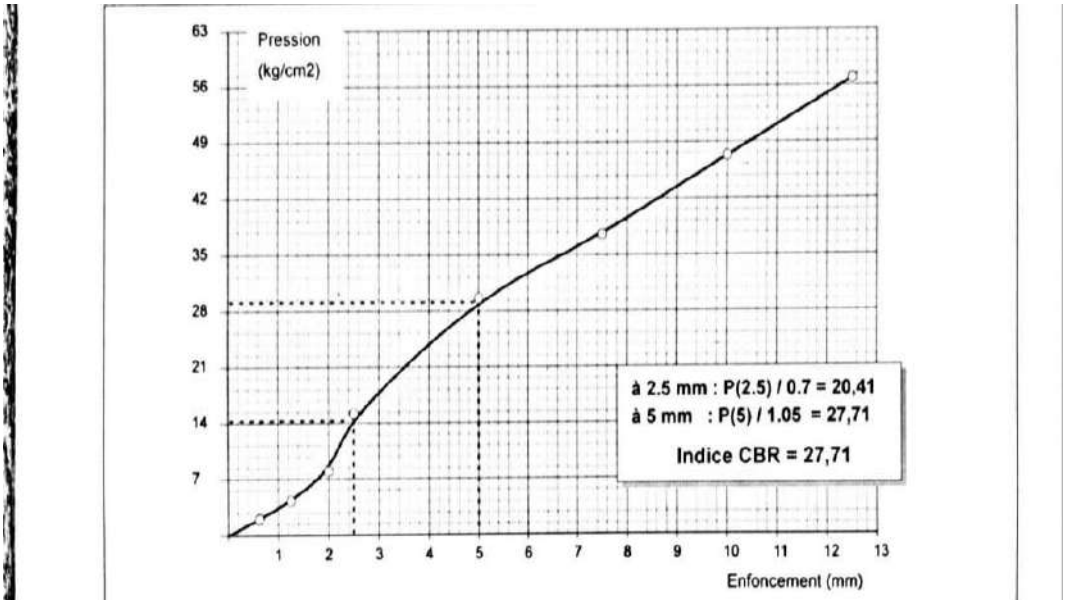
- يتم حساب سمك الطبقة السفلية الكلية المطلوبة للطريق باستخدام الصيغة التالية:

$$e = \frac{100+150\sqrt{P}}{5+I_{CBR}}$$

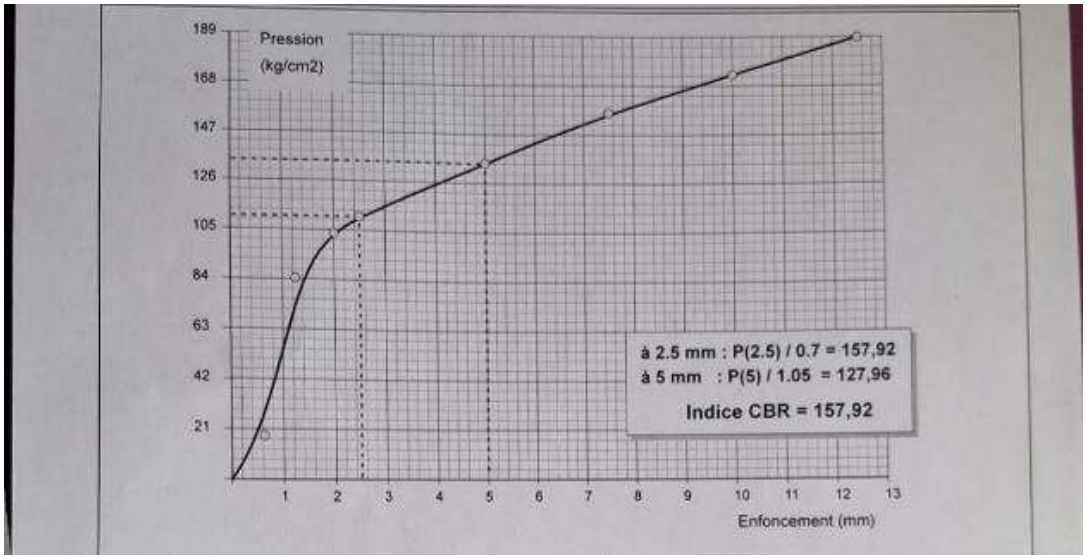
e: السمك المكافئ

ICBR : مؤشر CBR (التربة الركيزة)

P : الحمل لكل عجلة وهو يساوي 6.5 طن



الشكل 11.III منحنى CBR الفوري (الحالة الاولى)



الشكل III.12 منحنى CBR الفوري (الحالة الثانية)

✓ **الحالة الاولى: الشكل III.11**

الطف مع نسبة بروكتور مثلى 14.7%

$$e = \frac{150+100\sqrt{6,5}}{27,71} = 15\ (cm)$$

(e = 15cm) تتطلب طبقتين فوق طبقة الطف في الأساس، طبقة أساس وطبقة سطحية.

✓ **الحالة الثانية: الشكل III.12**

خليط من الطف ومسحوق مخلفات الطوب بنسبة 15% والجير بنسبة 4% ونسبة بروكتور مثلى 14.7%

$$e = \frac{150+100\sqrt{6,5}}{157,9+5} = 3\ (cm)$$

(e = 3cm) تتطلب طبقة سطحية واحد بسمك 3cm فوق طبقة الأساس المحتوية على التوف.

- إضافة مسحوق مخلفات الطوب والجير الى الطف حسنت من خصائص المقاومة والقدرة على تحمل الأحمال، مما يجعلها خيارا أفضل للتطبيقات التي تتطلب اداء متوسط الى عالي.

5.III- الخاتمة

النتائج التي تم الحصول عليها في مقاومة الشد والضغط تسمح لنا باستنتاج مايلي:

- تحسن في مقاومة الضغط لمختلف الخلطات المضاف إليها مخلفات الطوب بنسبة 15% سواء مسحوق أو على شكل حصى.
- سجلت العينات المعالجة بمحلول الصود الكاوي أعلى قيم مقاومة ضغط على المدى القصير.
- أفضل مقاومة ضغط لخلطات الطف مع مخلفات الطوب والجير تحققت عند محتوى مائي 12.7% حيث كانت أعلى مقارنة بالمحتويات المائية 14.7% و 16.7%
- في حساسية الماء العينات الغير معالجة ضعيفة وتنهار بسرعة في الماء بسبب عدم وجود روابط قوية بين حبيباتها او إضافة محلول الصودا الى العينات المحتوية على الجير تزيد من مقاومتها للماء، لأن محلول الصود الكاوي يسرع عملية تفاعل الجير مع المكونات الاخرى.
- مقاومة الشد تزداد في جميع الخلطات مع مرور الزمن.
- الخلطات المحتوية على مسحوق مخلفات الطوب تظهر مقاومة شد أعلى من تلك المحتوية على الحصى، هذا يدل على تأثير حجم وشكل المخلفات على تماسك الخليط.
- إستخدام مسحوق مخلفات الطوب في خلطات تحتوي على الطف، مخلفات الطوب، جير، وبيئة قاعدية ،يمكن أن يوفر أعلى مقاومة شد.
- إضافة مسحوق مخلفات الطوب والجير إلى الطف حسنت من خصائص المقاومة والقدرة على تحمل الأحمال، مما يجعلها خيارا أفضل للتطبيقات التي تتطلب أداء أعلى.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة

يهدف هذا العمل إلى تثمين توف القشرة والمتميز بخصائص ميكانيكية ضعيفة، وإعادة تدوير مخلفات الطوب تحت شكل مسحوق أو حصى لاستخدامها في بناء المناطق الصحراوية.

❖ أظهرت التحاليل الكيميائية التي أُجريت على التوف أنه طبيعته جبسية. وفقًا لتصنيف GTR92، حيثُ ينتمي إلى الصنف B2، الذي يُعتبر طين رملي. من حيثْ الأداء الميكانيكي، يمتلك التوف قدرة متوسطة للاحتمال (IPI = 27.71) ومقاومة ضغط منخفضة لا تتجاوز 1 ميجا باسكال.

من خليط التوف ومخلفات الطوب سواء مسحوق أو على شكل حصى بالإضافة الى الجير والمعالجة بمحلول هيدروكسيد الصوديوم يمكننا إستنتاج ما يلي :

- ✓ إضافة مخلفات الطوب الى الطف حسنت بشكل ملحوظ من مقاومة الخلطات للضغط عند تقدم الزمن
- ✓ العينات الغير معالجة سجلت أفضل مقاومة للضغط عند إضافة 15٪ من مخلفات الطوب سواء مسحوق أو على شكل حصى عند العمر 60 يوما.
- ✓ العينات المعالجة بمحلول الصود الكاوي سجلت أعلى مقاومة للضغط على المدى القصير.
- ✓ أفضل مقاومة للضغط تحققت عند محتوى مائي 12.7٪.
- ✓ أظهرت العينات المحتوية على مسحوق مخلفات الطوب مقاومة شد أعلى نسبيا مقارنة بالمحتوية على حصى.
- ✓ العينات المعالجة. بمحلول الصود الكاوي إمتازت بمقاومة شد أعلى.
- ✓ العينات المحتوية على الجير ومحلول الصودا تظهر أعلى مقاومة للماء.

بناءاً على هذه الدراسة وتطابقها مع مواصفات ستريليون وآلول لعام 1981، توصلنا الى أن الطف بعد معالجته بإضافة 15٪ من مخلفات الطوب المسحوق أو على شكل حصى و 4٪ من الجير والمعالجة بمحلول الصود الكاوي في بيئة قاعدية، يمكن استخدامه في طبقات الاساس للطرق التي تشهد حركة مرور أقل من 130 شاحنة يوميا، وفي طبقات الاساس للطرق التي تشهد حركة مرور تتراوح بين 300 و 600 شاحنة يوميا، ولاحظنا أنه غير مستحسن إستخدام الطف قبل معالجته بسبب خصائصه الميكانيكية والجيوتقنية المنخفضة.

قائمة المراجع

المراجع

[1] https**://** Rockidentifier.Com (tuff) مفهوم التوف

[2] Khalili Khadidja (2016) : « Caractérisation mécanique d'un mélange : Tuf + sable de dunes ». Mémoire de magister, Université Colonel Ahmed Draia D'Adrar p 3,4, 5, 6,11, 12, 13, 14,15.

[3] OUANANI Hicham 2016 « Caractérisation d'un béton routier À base Des matériaux locaux » mémoire master Université Mohamed Boudiaf - M'sial chapitre 2 page 33

[4] SOCIETE SUISSE DES INGENIEURS ET ARCHITECT, Norme SIA 215, « Liant minéraux », Zurich 1978

[5] Batiste monsaingeon et Anne Guillarde, « l'abandom des déchet "est un héritage de la modernité industrielle" » le monde 22décember 2019. Wikipédia.

[6] CHEREF.L, 2016, En vue de l'obtention du diplôme du master en science biologique, Recyclage et valorisation des déchets inertes de la briqueterie SARL-DBK-MAT dans la fabrication de dallage de sol, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou

[7] BAIKER MOHAMED CHERIF, MEMOIRE de master Génie Civil « Contribution à l'étude des Caractéristiques physico- mécaniques d'une brique a base du sable de dunes et les copeaux de bois », Université Kasdi Merbah Ouargla 2015.

[8] OUARGLI Meriem et YAZI Abdellah (2019): «L'influence de déchet de gravier sur les caractéristiques physico- mécaniques d'une brique a base du sable de dunes et copeaux de bois» .Mémoire de magister, Université Kasdi Merbah Ouargla p 9,10

[9] هيدروكسيد الصوديوم https://ar.m.wikipedia.org

[10] Google www.bm.com.sa فهرس محرك البحث فبل اكثر من 10 سنوات

[11] BENABBES.M - GUEZI.M, « Etude D'influence De L'ajoute Du Ciment Blanc Sur Les Caractéristiques Physico-mécanique Des Briques À Base Du Plâtre Traditionnel Et L'influence Du Milieux De Conservation», mémoire de master Université d'Ouargla, mai 2019

[12] Norme françaises, Masse volumique absolue, NFP 18-301, décembre 1983

[13] Norme françaises, Analyse granulométrique par tamisage, NF P 18-560, Septembre 1990).

[14] document de Pr. Baheddi Mohamed T P. N 3ESSAI DE COMPACTAGE DES SOLS. (ESSAI PROCTOR).

[15] document de Les Essais de la Géotechnique Routière ÉTUDE COMPARATIVE ENTRE LES NORMES présenté par Mehrez KHEMAKHEM.

[16] document de Les Essais de la Géotechnique Routière ÉTUDE COMPARATIVE ENTRE LES NORMES présenté par Mehrez KHEMAKHEM.

[17] محمد نجيب أبانو وخضير عبدي، مذكرة ماستر في الهندسة المدنية « دراسة خصائص الطوب بالمواد المحلية –تيمشمت - جامعة قاصدي مرباح ورقلة » 2023 ص 24/25

[18] la fiche technique de l'usin