مجلة العلوم التربوية والدراسات الإنسانية

ISSN: 2617-5908

الإسمنت من أهم مثبتات التربة لصناعة طوب الجدران رخيصة الكلفة وتعبيد الطرق(*)

إعداد

د/ ثابت سالم العزب
أستاذ علم التكنولوجيا المشارك
بكلية الهندسة – جامعة عدن
أخصائي مواد البناء غير المحروقة على أساس التربة في اليمن
thabetsa@yahoo.com

*)- تاريخ تسليم البحث ٢٠١٩/٩/٧م تاريخ قبوله للنشر ٢٠٢٠/١١/٧م

الملخص:

التربة الطينية تعد من أنسب مواد البناء في البلدان النامية لإنشاء المباني رخيصة الكلفة، ويعد الإسمنت من أهم المواد المثبتة للتربة الطينية، حيث لا يتأثر المنتج المتكون من التربة الطينية بالماء بل تزداد قوته لتسهيل التفاعل الكيميائي بين أكاسيد الإسمنت وأكاسيد التربة، وفي هذه الورقة سيتم توضيح تفاعل التربة الطينية مع اوكسيد الكالسيوم وما تمثله من ترابط جديد بين سيليكات الكالسيوم وألومينات الكالسيوم حيث تمثل قوة وترابط بين جزيئات تلك المادة الجديدة المتكونة، وتكمن أهمية هذه الدراسة في حل إشكالية الأثر السلبي نتيجة للتأثير الكبير للماء على مباني الطوب التقليدي، وما تمثله عملية الصيانة الدورية من تكاليف كبيرة، حيث تشكل مادة الإسمنت الحل المناسب لهذه المعضلة كما يحد من الأثر السلبي عند استخدامه في تعبيد الطرق بدلا عن الإسفلت، وهذه التجارب تعد من أساليب البناء الحديثة بالنسبة لليمن كون هذا النوع من الخلط يتم استخدامه على نطاق واسع في تثبيت التربة وفي صناعة الطوب المضغوط المثبت بالإسمنت (Compressive Bricks of stabilized soil) في أغلب بلدان العالم الغربي وفي أفريقيا، وكذلك لإنشاء الجدران المدكوكة في قوالب. ومن أجل استيعاب هاتين المادتين الهامتين في إنشاء المباني والداخلة في الكثير من الصناعات الهامة في حياة البشرية، سيتم استعراض نشأة ومكونات وخصائص كل مادة على حده ثم سيتم شرح أثر التفاعل الكيميائي الناشئ بينهما عند خلطهما بالماء وخصائص تلك المادة الجديدة المتكونة من هاتين المادتين.

الكلمات المفتاحية: التربة المثبتة بالإسمنت، الطوب المضغوط، الجدران المدكوكة، تعبيد الطرق.

Cement as stabilization materials for the Soil, to Manufactory Mud Walls for low – cost housing & for the Soil's Rood.

Al – Azab Thabet Salem Aden University
thabetsa@yahoo.com

A major component of the cost of a house in developing countries is that of building materials. This is particularly true for low – cost housing and self – help housing schemes. Soil has been and continues to be the most widely used housing construction material. It provides adequate protection against hot and cold weather conditions in view of its high thermal capacity and insulating characteristics. Improve properties of a soil by addition of Portland cement. Portland cement Commonly, this improvement is obtained by making the soil more resistant to slaking and erosion by water. Ordinary Portland cement is used as stabilizer in the proportion of 6 per cent by weight. It was very suitable for block making. Different machines have therefore been developed for the production of stabilized soil blocks. The compressive strengths of stabilized soil blocks are adopted by a large number of countries.

المقدمة:

عند صناعة طوب البناء التقليدي، تتأثر الطوبة الطينية (اللبن) بمياه الأمطار، وتحتاج إلى صيانة دورية مكلفة مثل: لياسة وطلاء كي تعزل الطوبة عن تأثيرات المياه، فقد تم دراسة تطوير استخدامات الطين، ومدى إمكانية تثبيت التربة بالكثير من المثبتات بالطرق الحديثة والمعمول بها في البلدان المتطورة، والتي يعد الإسمنت البورتلاندي هو أفضلها جميعاً ومن هذه التجارب: الطين المضغوط المثبت بالإسمنت، وإنشاء الجدران بالتربة المدكوكة في قوالب والمثبتة أيضا بالإسمنت، وفرش الطرقات ومدرجات المطارات بالتربة المثبتة بالإسمنت، وقد أظهرت هذه الدراسة بوضوح طبيعة التفاعلات الكيميائية المعقدة بين التربة– الإسمنت– الماء والتي بدورها تكون قوة المنتج الدائمة، كنتيجة حتمية لنشأة التفاعلات لمختلف النظم التفاعلية المنفردة– بناءً على الخصائص الفيزيائية والكيميائية المؤثرة بين تلك المواد المخلوطة.

تتكون التربة من مركبات نشطة، يكمن نشاطها في عمليات تجفيف– خلطاتها المتكونة من التربة والإسمنت والمتعلقة في خواص التربة– الكيميائية ومكوناتها المعدنية– تلك الخواص التي تؤثر مباشرة بالتسريع أو الإبطاء في فترة التجفيف، فقد تم إجراء تجارب على نشاط تفاعل التربة المستخدمة في البناء والمأخوذة من محافر مختلفة للتربة في اليمن وتفاعلها مع أكسيد الكالسيوم، وكانت النتائج مشجعة جداً بأن التربة متفاعلة مع المواد الكيميائية مثل الإسمنت والجير(النورة). ولهذا سيتم في هذه الدراسة التحليلية استعراض طبيعة التفاعل بين الإسمنت والطين لغرض فهم تغيير الخصائص الطبيعية للتربة عند إضافة الاسمنت، واستيعاب أسباب تغيرات المادة الجديدة المتكونة من تلك التفاعل كنتاج طبيعي لدمج هاتين المادتين. كما تبين هذه الدراسة طبيعة التفاعل بين التربة الطينية والاسمنت البورتلاندي العادي وذلك عند خلط نسبة من الإسمنت إلى التربة الطينية مع الماء، مبينةً طبيعة التفاعل الفيزيائي والكيميائي للمركبات الأساسية، كون استيعاب هذا التفاعل أصبح اليوم مهمة ضرورية لفهم مضمون هذه العلاقة الوثيقة الناشئة بينهما، كما توضع الحلول الكفيلة بتقوية الجدران الطينية وصمودها أمام تأثيرات وأضرار المياه من ناحية واستغلال التربة الطينية في تعبيد الطرق ومدرجات المطارات باعتبارها مادة بيئية ولها دور كبير في حل مشكلة التلوث الناتج عن استخدام مادة الإسفلت.

مشكلة البحث:

التربة الطينية دوما شرهة للماء بسبب الخاصية الشعيرية، كون الطوب الطيني التقليدي المجفف تحت أشعة الشمس يتأثر بالماء تأثرا كبيرا ويحتاج إلى صيانة دورية دائمة بسبب حساسيته من الماء، حيث تتفكك رقائقه المتلاصقة مما يؤدي ذلك إلى ضعف المقاومة الداخلية ويفقد القدرة على المقاومة.

هدف البحث: يهدف البحث إلى استخدام مواد البناء المتوافقة مع البيئة وإدخال التكنولوجيا الحديثة في صناعة الطوب الطيني المضغوط، باعتباره من المباني الخضراء المستدامة، وذلك من خلال توفر مكائن الطوب المضغوط المثبت بالإسمنت ليصبح إنتاجه في متناول يد المستهلك ووضع المعالجات اللازمة للطوب التقليدي وكذا لفرش طبقة الطرق وتعبيدها بالتربة المثبتة.

منهجية البحث: اعتمد الباحث على دراسة الأبحاث العلمية الخاصة بتثبيت التربة بالإسمنت البورتلاني، في البلدان المتطورة مثل روسيا، ألمانيا، بريطانيا، فرنسا، أمريكا واستراليا وغيرها من البلدان النامية في أفريقيا، كما تم الاطلاع على التجارب البنائية بالطين المضغوط –Compress) (Compressed Earth Blocks)– (Adobe والاطلاع على الخبرات العالمية والخبرات المحلية في إنشاء الجدران المدكوكة المثبتة بالإسمنت البورتلاندي العادي The Rammed Earth (Rammed Earth Walls)–(Experiences)، عندما تثبت التربة بنسبة معينة من الإسمنت، وقد تم دراسة البيت الطيني المدكوك في منطقة العرائس م/لحج المنفذ من قبل المؤسسة العامة للبناء والإسكان م/لحج ١٩٨٨م، والقيام بأول تجربة عن إنتاج الطوب المضغوط المثبت بالإسمنت في الحوطة م/لحج ٢٠٠٣م، وقدتم إتباع الخطوات البحثية التكاملية التالي من خلالها تم استنباط العلاقات الناشئة بين هاتين المادتين مع الماء وتشخيص المادة الجديدة المتكونة التي تلبي متطلبات إنشاء الجدران الطينية كما يلي:

– دراسة الخصائص الفيزا– ميكانيكية، والكيميائية للتربة المثبتة بالإسمنت في اليمن ومدى صلاحيتها لإنتاج الطوب الطيني المحسن.

– دراسة خصائص مادة الإسمنت البورتلاندي وأثره الإيجابي كمادة مثبتة للتربة.

– دراسة طبيعة التفاعل الكيميائي الناتج عن خلط التربة والإسمنت مع الماء ومزايا المادة الجديدة الناشئة عنهما كمادة لا تتأثر بالماء بل تزداد قوتها معه.

– دراسة تجارب استخدام التربة المثبتة بالإسمنت في صنع الطوب المضغوط المثبت بالإسمنت، والجدران الطينية المدكوكة، والتربة المثبتة لتعبيد الطرق والمدرجات.

٢. دراسة التربة الطينية المستخدمة في صناعة الجدران الطينية وتعبيد الطرق على أساس التربة في اليمن:

١,٢ الأهمية التاريخية لصناعة مواد البناء على أساس التربة الطينية:

تُعَدُّ مادة الطين من أقدم مواد البناء التي عرفها الإنسان واستخدمها منذ آلاف السنين، لقد شاع استخدام الطين كمادةً للبناء في معظم بلاد العالم، خصوصاً في المستوطنات العمرانية، فمنها على سبيل المثال مدينة أريحا في فلسطين، التي بنيت منذ القرن العاشر قبل الميلاد وتعد من أوائل المدن المبنية في كوكبنا**[1]**. وفي القرن السابع قبل الميلاد بني من الطين برج بابل بارتفاع يصل إلى تسعين مترا ويعتبر أول ناطحات السحاب بناها الإنسان على هذه البسيطة، ولا تزال البلاد العربية تحتفظ بشواهد عدة لأولى المدن التاريخية التي شيدت كاملة بالتربة الطبيعية. وعلى مر العصور تناقلت الأجيال هذه المهارة التي ازدادت تطوراً لتشييد نماذج عديدة من الأبنية مختلفة الأغراض: المدنية والدينية والعسكرية، بيوت الفلاحين المتواضعة والقصور الفخمة، ولعل من الأمثلة المعروفة في هذا الشأن المدن العربية المشيدة بالطين كمدينة شبام في اليمن ومراكش في المغرب وأدرا ر في الجزائر وغدامس في ليبيا وحلب في سوريا والحائل في السعودية وغيرها. كما يجب الإشادة هنا بقصور مدينة تريم التاريخية في م/حضرموت باعتبارها أنموذجًا للبيت الطيني الجميل المنفذ بالأسلوب التقليدي (شكل – ١)، كما تعيد الأساطير تاريخ مدينة صنعاء القديمة إلى سام بن نوح الذي جاء ذكره في الكتب المقدسة فلذا تعتبر من أقدم المدن المبنية من الطين في العالم**[2]**.

شكل – ١. إحدى القصور الطينية التقليدية في مدينة تريم – حضرموت – اليمن

لقد شكل العمران البيئي المبني بمواد البناء المحلية، مواءمة متكاملة بين طبيعة المباني وظروف البيئة المحلية ومع ما تمثله البيئة من مناخ وموارد يتم استخدامها في تلك المباني **[3]**. مما يؤدي

إلى خفض الكلفة من جهة وصمود تلك المباني وتكيفها في مواجهة عوامل الزمن وتحديات الظروف البيئية، ناهيك عن أفضلية مواد البناء المحلية أمام غزو المواد المستوردة غير المتناسبة مع الظروف البيئية ولاسيما في المدن التاريخية المبنية من الطين مثل مدن وادي حضرموت، وهذا يعكس أهمية التأكيد على استخدام مواد البناء المحلية ومنها بنية العمارة الطينية وصمودها خلال القرون الماضية، وهذا يتطلب معرفة خصائص تلك المواد ومواصفاتها وقدرتها على التحمل وخصائصها الكيميائية والفيزا – ميكانيكية، للوصول إلى أفضلية الخصائص والقدرات عند الاستخدام العصري لتلك المواد، وقد تم شرح الأساليب التكنولوجية الحديثة للتنفيذ ومدى صلاحية التربة لمثل ذلك النوع من البناء في رسالة الدكتوراه للباحث**[4]** .

إن دراسة مواد البناء تعد من أقدم العلوم الإنسانية، فقد صنع العرب قبل أكثر من أربعة آلاف عام البتون (الخرسانة) بصورته القديمة، الطين المشوي بأشعة الشمس بين دجلة والفرات**[5]**. وما كلمة Adobe الإنكليزية إلا مأخوذة من كلمة الطوب العربية الأصل انتقلت إلى أوروبا من الأندلس وغيرها أثناء انتقال العلوم وترجمت إلى لغات الغرب كغيرها من علوم العرب المختلفة.

إن البيت الطيني الحديث حلم الأجيال الصاعدة، لا يزال قائما في المناطق التي تمتهن البناء بالطين مثل حضرموت وصنعاء ولحج وزبيد وصعده وغيرها من المدن اليمنية، والبيت الطيني الحديث يعد نظاماً تقليدياً متكاملاً وهو من مادة صحية ذات وفر عظيم للطاقة وخواص فيزيائية متميزة، تجعل منه سكناً لائقاً يتناسب مع طبيعة الإنسان وظروف بيئته، كما يهدف إلى معالجة الأثر السلبي للماء عند صناعة الطوب الطيني من خلال تثبيت التربة بنسبة معينة من الإسمنت البورتلاندي العادي الذي بدوره يزيد من قوة الطوب المضغوط المنتج ولا يتأثر بالماء بل تزداد قوته تدريجيا مع الماء.

٢,٢ نشأة التربة الطينية الصالحة للبناء في الجمهورية اليمنية:

تزخر اليمن بالتربة الصالحة للبناء في كثير من المدن والوديان، وأهمها وادي خير في م/ لحج (شكل– ٢)، ووادي حضرموت، ووادي حسان في أبين، وبالقرب من المدن: صنعاء، لحج، تريم، الحديدة، ذمار، صعدة، وتعز واب والمكلا وغيرها من المدن والمواقع، التي يتواجد فيها الطين بكميات تجارية، يتوجب الاستثمار فيها ولاسيما في مجال البناء وكذا في مجالات الصناعات الأخرى مثل مواد البناء المعتمدة على أساس التربة. إن الطين في الجمهورية اليمنية يعتبر متعدد

المعادن، غير مكتمل التكوين، وهو من النوع الغريني أي الطين الرملي المتكون من العصر الرباعي في غالب الأحيان، كون الأطيان تتواجد في مناطق عديدة من اليمن وتتوزع على أحقاب جيولوجية مختلفة حيث يحتوي الغطاء الرسوبي على المكامن والأحزمة من المواد الطينية وبشكل خاص تتركز المواد الطينية في رواسب العصر الثلاثي والرباعي**[6]**. وقابليته للحرق محدودة لاسيما تربة حضرموت التي يقل فيها أكسيد السيليكون (SiO_2) ويكثر فيها أكسيد الكالسيوم (CaO). إن نسبة المباني الطينية في الجمهورية اليمنية تمثل ١٠,٣% أي ٢٧٤٩٩٢ منزل وتحتل محافظة حضرموت النصيب الأكبر بين محافظات الجمهورية حيث يصل عدد المباني الطينية فيها ٦٩٤٠٢ منزل **[7]**.

شكل- ٢ أ) تربة حضرموت أثناء مرحلة تخمر الطين. ب) التربة الطينية في وادي خيرم/ لحج.

٣,٢ التربة الطينية وخصائصها:

١,٣,٢ تعريف الطين ومكوناته:

يعرف الطين– كجزء من التراب ناعم الحبيبات يتألف من دقائق متبلورة من سيليكات الألمنيوم المائية المتبلورة، كما يكون مختلطا ببعض الشوائب مثل أكسيد الحديد والكالسيوم والمنجنيز والصوديوم والكبريت ويرمز كيميائيا: $AL_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ ومن خواصه الطبيعية اللزوجة عند إضافة الماء إليه، ويتكون الطين من رقائق دقيقة جدا ذات خاصية بلاستيكية عالية، والرمل يتكون من جزيئات كبيرة غير متلاحمة وله احتكاك داخلي عال، أما الغرين يكون وسطا بين الطين والرمل ويعتبر مادة رابطة لهما (شكل – ٣)**[8]** .

شكل – ٣ أ)عينة الطين بعد تجهيزها وطحنها بالماكينة. ب) مكعبات بعد الحرق لاختبار قوة الكسر عند الضغط.

والطين عبارة عن رقائق مترابطة فوق بعضها وتشكل صفائح متراصة تبلغ مساحتها السطحية لوزن 1جرام من الطين أكثر من 1.5– 10 مليون سم^2 فالمساحة السطحية لكل نوع من مكونات التربة – يمكن تقديرها كالتالي:

١– جرام واحد من مكونات الرمل (Sand) مساحته السطحية تساوي 50 سم^2؛

٢– جرام واحد من مكونات الغضار (Silt) مساحته السطحية تساوي 500 سم^2؛

٣– جرام واحد من مكونات الطين (Clay) مساحته السطحية تساوي من 1,000,000 إلى15,000,000 سم^2. [مواد البناء– كتاب جامعي –موسكو 1980م].

يعتبر التركيب الحبي للتربة– هو الأساس في مجال نظام التشتتية في مكوناتها فهو يحتوي على مختلف مكونات التربة ذات الأقطار المختلفة من حبيبات الرمل ذات أقطار ١ – ٢مم، إلى أدق الرقائق الطينية، مثل طين المونتومورلونيت Montmorillonite. فكلما كانت التربة الطينية أكثر نعومة كلما كانت أكثر تفاعلا عند خلطها مع الإسمنت.

Вилена Н.М.: Цементно – Грунтовые Камни. ГОССТРОЙ ИЗДАТ,) .(МОСКВА. 1961.

والتربة (Soil) – مصطلح عام يطلق على المواد الرسوبية التي تتكون من تحلل الفلدسبار بالتجوية أو الرقائق المتطايرة بفعل الحرارة والرياح من الصخور، وتنقسم التربة الطينية من حيث حجم أقطار حبيباتها إلى:

Sand (رمل) 0.05 – 2.0 مم؛

Silt (طمي– غرين) 0.005 – 0.05 مم.

Clay (طين) أقل من 0.005مم.

والمكون الرئيسي للرمل والطمي– هو الكوارتز وممكن يدخل أيضاً في تكوينه الفلسبار والميكا المائية. ومكونات الطين في التربة الطينية في اليمن كالتالي: يتكون جزئ الطين من معادن مختلفة – ممكن أن تكون من: كاؤلونيت، فلسبار، مونتومورولونايت، بيوتيت، أنورتيت، ومعدن الأرثوكلاز (الجرانيت)، سيربنتينا وغيرها من المعادن، كما تحتوي أيضاً على كربونات الكالسيوم والحديد وأكسيد الحديد والألمنيوم وشبكة من السليكون والأحماض الحرة. والاختلاف في المساحة السطحية يتبع اختلاف تكوينه الكيميائي والمعدني، ويفسر خصائص ومواصفات الطين باعتباره رقائق متراصة ربما تصل أقطارها إلى 10/1 من الميكرون مثل **المنتومورولونايت** – Montmorillonite، فلذا للطين مزايا خاصة مثل مقدرة ذوبانه في الماء، خاصية الانتفاخ حين

خلطه بالماء وغيرها. إن رقائق الطين عند خلطها بالماء، ينظر إليها كمنظومة بنائية– كهربائية معقدة، ففي الجزء الداخلي منه تتكون نواة– التي ممكن أن تمتلك بناءً بلّوريا، وعلى سطح النواة تغطي أيونات إما تكون موجبة أو سالبة، هذه المركبة من النواة والأيون تسمى الحبيبة.

2.3.2 أكاسيد التربة الطبيعية الصالحة للبناء:

تشكل اكاسيد التربة على سطح الكرة الأرضية نسبة 96.5% منها: كما هو في جدول– 1**[10]** .

جدول– 1 أكاسيد التربة الطبيعية على سطح الكرة الأرضية:

%60	أكسيد السليكون(سيليكات الألمنيوم) (SiO_2)
%15	(AL_2O_3 – (أكسيد الألمنيوم
% 6	(Fe_2O_3 – (أكسيد الحديد
% 6	(أكسيد الكالسيوم) – CaO
% 2.5	(أكسيد المغنيسيوم) – MgO
%4	(Na_2O – (أكسيد النترات – الصوديوم
%3	(K_2O – (أكسيد الكاليا

كما تصنف التربة، بناءً على ما تحتويه من جزيئات دقيقة إلى ذات تشتتة عالية، تشتتية و تشتتية خشنة، بحسب ما تحتويه من نسبة تعتمد على أقطار تلك الجزيئات كما هو موضح في جدول– 2.

جدول 2: **تصنف التربة الطينية بما تحتوي من جزيئات دقيقة في %**

بحسب الكود الروسي ГОСТ 9169 – 59

مجموعة الطين الخام	مقاس الجسيمات بأقل من ميكرون	
	10	1
ذات تشتت عالي	أكثر من 85	أكثر من 60
تشتتية	85 - 40	60 - 20
تشتتية خشنة	أقل من 40	أقل من 20

والطين موفر للطاقة في حالتيه الصناعية والبنائية، فإذا كلف المتر المكعب من الخرسانة ($500K_W$) من الطاقة فإن الطين لا يكلف إلا (1%) من تلك الطاقة وتستخدم الطاقة الشمسية لتجفيفه من الماء فلذا نجده موفر للطاقة بشكل كبير لاسيما في البلدان الحارة لما يتميز به من عزل حراري كبير**[11]**.

2.3.3 الخصائص العامة للتربة الطينية:

أ) خصائص الانكماش للتربة:

هي حالة تعكس التغيرات التي تحدث للكتلة الطينية عند جفافها. واليها تنتسب: الانكماش في الهواء؛ حساسية الطين عند الجفاف؛ خاصية الطين في توصيل الرطوبة. فالانكماش في الهواء: هو تقليص مقاسات الأطوال وحجم الأشكال الطينية عند جفافها. كون هناك قوى تسبب تشوهات

تلك الانكماش! فما هي تلك القوى التي تسبب تشوهات الانكماش في الطين، حين التجفيف؟ هي عبارة عن قوى داخلية، بقدر تلك التشوهات التي تظهر عند غياب تأثيرات القوى الخارجية... ممكن القول إن تلك القوى تعتبر قوى داخلية وتشكل بحركاتها الميكانيكية قوى ضغط مختلفة، تؤدي بدورها إلى تشوهات في جسم التشكيلة الطينية بعد جفافها، نتيجة لتحرر الماء غير المرتبط كيميائيا بواسطة البخر في الظروف الطبيعية أو بواسطة أفران التجفيف التي لا تزيد درجة حرارتها عن 110 درجة مئوية. ومن أهم تلك القوى هي:

قوى ضغط الخاصية الشعرية، وفي هذه الظروف فان تشوهات الانكماش تحدث أثر تحطم قوى الاتزان في الأنبوب الشعري (خاصية القطرة حينما تجذب بقوى رابطة لما حولها وتسمى بالجاذبية الشعرية)، تعبئة الفراغات بين الجزيئات(الجسيمات) بالماء.

خاصية اللدونة:

إن نسبة الرطوبة في حد اللدونة يعتبر الحد بين صلابة المادة ونظام حالة لدونتها، ونسبة الرطوبة في حد السيولة بين حدود اللدونة وحالة الميوعة. وهذا مثال يؤكد المعنى الفيزيائي لمقدار اللدونة (pl)، أو ما يسمى معامل اللدونة (Plasticity Index)، الذي تماما يرتبط بما تعنيه الحركة الميكانيكية نشأةً وجوهراً لميكانيكية حالة المرونة. وهو يحدد فارق البون لمحتوى الرطوبة، والتي به الطين يحتفظ بحالته اللدنة. بالعلاقة مع معامل اللدونة (PI)، بموجب الكود الروسي الحكومي رقم 9169– 59، حيث وضعت التصنيفات التالية للطين بحسب نسبة الرطوبة، حيث تنقسم إلى خمس مجموعات، كما هو في (جدول –3).

جدول (3)علاقة مقدار معامل اللدونة بنسبة لدونة خامات الطين

غير لدن	قليل اللدونة	لدونة ميتة	لدونة متوسطة	لدونة عالية	مجموعات خامات المواد الطينية
لا تعطي عجينة لدنة	أقل من 7	ما بين 7 – 15	ما بين 15 – 25	أكثر من 25	معامل اللدونة (PI)

إن لدونة الطين تتعلق عموماً بتركيبه الحبي، مع ارتفاع نسبة التشتيتية للطين فإن لدونته ترتفع، عند ذلك يكون التأثير الأكبر للدونة الطين محتوى كمية أقطار الجزيئات لأقل من 0.5 ميكرون. وبدرجة كبيرة تتعلق لدونة الطين بنوعية المعادن المكونة له وهي:

– **المعادن الأكثر لدونة:** الطين المسمى المنتوموروليونيت.

– **الأقل لدونة:** الطين المسمى كاؤلونايت. كما إن الطين المحتوي على رمل أكثر يقلل من نسبة اللدونة للطين.

جـ) الخصائص المائية:

إن التربة والماء يقومان بدورين أساسيين في الحياة، ولكي نصل بهما إلى طاقتهما الإنتاجية القصوى، فانه يكون لزاما علينا معرفة تركيبهما وخواصهما للوقوف على مميزاتهما وعيوبهما حتى نتمكن من تحديد أنسب الوسائل لاستغلالهما الاستغلال الأمثل لصالح البشرية **[12]**. فالتربة الطينية تتفاعل مع الماء بسهولة، ولغرض فهم ميكانيكية التفاعل وتفتح الجزيئات، من الأفضل ملاحظة النظام البنائي لذرات الطين والماء. وكون الماء أحادي التكافؤ، إلا إن جزيء الماء– متعادل كهربائيا، الطبقة الواحدة من الماء مرتبطة بما حولها من المعادن الطينية لكن فيزيائيا تعد غير متجانسة.

إن تفاعل الماء مع حبيبات التربة الطينية تتم بشراهة على سطح الحبيبة كون معادن الطين الناشئة أو المتكونة تمتلك شحنة سالبة، والتي تعطي حوله مجال من قوة الجاذبية. وتحت هذا التأثير فان قطبي جزيء الماء– الجانب الموجب (H^+)، والتي تقود الاتجاه إلى الشحنة السالبة، وهكذا تغطي السطوح للحبيبة، وجميع تلك الطبقات تقع تحت تأثير قوة الجذب بين الشحنات السالبة والموجبة المتعاقبة، والتي ينتج عنها قوة ترابط للمادة بين الماء وحبيبات التربة. وهنا يكون التفاعل الميكانيكي للتربة الطينية كهربائياً وفي نفس البناء التخطيطي حيث يحدث التقارب.

الجزيئات التي تتفكك إلى ايونات وكاتيونات للأملاح، تعتبر حاملة للشحنات الموجبة، كذلك محاطة بخاصية جسيمات الماء وهي معا ممكن أن تكون في وسط الطبقات المنتشرة، أو ممتصة على سطح حبيبات معادن الطين الناشئة، مكونة بما يسمى مجمع المنشفات. مئات الجسيمات تعتبر انتفاخها(زيادة الحجم)، حينما جزيئات الماء تدخل من المسافات البينية لحبيبات التربة الطينية وبين المجموعات المتكاملة في الخلطة، وانحلالها. وعلى حساب المقاس لسماكة الغلاف المائي، كونها بازديادها تحجب المؤثرات بين قوى الجزيئات والتصاقها، وتضعف الروابط بين جزيئات الأجسام المنفصلة، فعند السماكة الكبرى للغلاف المائي فان طبقاته الخارجية تترابط ليس بالقوى الجاذبية بين الجزيئات بل بواسطة الخاصية الشعرية وضغطها في الداخل تناسباً مع الفراغات البينية الكبيرة.

إن خلط الماء بالطين يبدأ بتحطيم روابط الطين إلى أجزاء منفصلة، وتبدل سطوح جديدة لروابط التربة مع الماء من خلال تفاعل جزيئات الماء مع الطين مما يسرع في عمليات التفاعل والترابط

بين أجزاء الخليط. إن التفاعل المتبادل بين الطين والشحنات الكهربائية في عملية خلط الطين يكون الماء تأثيره كبير جدا في نظام الطين– الماء كهربائيا. الكاتيونات الأكثر استخداما لتكامل الامتصاص في التربة الطينية تعتبر Ca^{2+}، والتي تتعلق بحبيبات التربة المنفصلة في إطار ترابط مجموعات الخلط في جزيئات الطين، وفي الماء الممزوج مع الطين يتكون محلول كهربائي مثلاً Na_2SiO_3، زجاج سائل، حيث يحدث انحلالاً للجزيئات إلى Na^+ , و $(SiO_3)^{2-}$، إن طاقة الامتزاز Na^+ أقل من Ca^{2+} ولذلك كاتيون Na^+ في المحلول يبدأ يبتعد أو ينزاح عن امتصاص مجموعة كاتيون Ca^{2+} ويحل محله، عند ذلك أساسا يحل عن الكاتيونات (ايونات موجبة الشحنة) المنتشرة بين الطبقات (مثل ذات الروابط قليلة القوة) ولاسيما Ca^{2+} فوق سطح الطبقة، كذلك فان كبريتات الكالسيوم لا تذوب في الماء فلذا هي تبقى مترسبة كما هي في المعادلة الكيميائية. $Ca(SiO_3) = Ca^{2+} + (SiO_3)^{2-}$

د) الخصائص الكيميائية للتربة الطينية:

عند التحليل الكيميائي للتربة – Chemical Analysis of Soil، تجهز عينات الاختبار للتربة (جدول–٤) من عينة متفتتة ومجففة عند درجة حرارة الغرفة العادية (٢٠م°) ورطوبة عادية (٦٠ _+١٠)%، حتى يثبت الوزن ومسموح بتجفيف العينة بالتدرج حتى ١٠٥ م° (في حالة احتواء التربة على نسبة عالية من الرطوبة) وينخل جزء من العينة المجففة بالهواء في مناخل بدون تنعيم لجزيئات العينة كما يجرى الاختبار على الحامضية العضوية Organic Acids، واختبار تعيين الكبريتات (كب أ٣) Sulphates (SO_3)، والجزء الآخر من التربة المبرد هوائياً ينعم إلى أقل من ٠,٠٩مم ويتم تعيين نسبة المواد العضوية Organic Matter والكلوريدات (كل) Chlorides (CL)، والأس الهيدروجيني (PH Value).

جدول - ٤ المكونات الكيميائية لعينات التربة الطينية في بعض مناطق اليمن % بحسب الجدول

عينة الطين	SiO_2	AI_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Cl	SO_3	K_2O	Na_2O	п.п.п.	Сумма
عينة من طين لحج	53,55	10,96	8,58	8,68	4,34	0,16	0,12	2,10	1,60	9,01	99,10
عينة من ء طين صنعا	56,63	12,49	8,58	7,84	2,83	0,04	0,22	1,60	1,90	8,21	100,34
عينة من طين شبام -١	34,65	7,95	6,38	19,32	5,25	0,04	0,12	1,20	0,80	24,29	100,00
عينة من طين شبام -٢	37,09	6,63	2,80	20,44	6,46	0,66	0,35	1,10	1,50	22,66	99,69
طين الروضة – صنعاء	58,00	13,00	7,00	8,00	2,00	0,18	0,17	1,40	0,85	9,18	99,78
طين الحديدة (حيس)	52,97	15,46	9,16	8,96	4,75	0,15	0,12	1,44	0,86	5,72	99,58
طين جنوب – اب	49,37	12,21	5,10	15,01	5,38	0,13	0,14	1,77	1,65	8,72	99,62
طين الفلسبار- حجة	95،73	14,49	0,37	0,65	0,007	0,13	0,40	6,34	3,10	0,49	99,93
طين - تعز(شرعب)	64,60	9,60	5,24	1,00	1,25	0,09	0,05	0,73	1,15	16,26	99,97
طين – ذمار(الكوماني)	55,10	12,45	3,93	3,55	2,62	0,08	0,13	0,15	0,48	21,3	99,79

٤,٢ أثر نسبة ماء الخلط للتربة على قوة المنتج:

تم أخذ عينة من تربة وادي خير م/ لحج– وهي تربة طينية رملية، حيث تم أخذ تلك العينة لغرض تحديد كمية الماء المناسبة للخلط، وتحديد أثر نسبة الرطوبة على قوة الكسر للطوبة الطينية. تجارب الاختبار أجريت على نماذج مكعبات ذات مقاس50x50x50مم. وقد كانت نسب الرطوبة لقولبة المكعبات هي ١٨، ٢٢ و ٢٦%. من وزن التربة الجافة، وقد وضعت تلك القوالب للجفاف في ظروف الغرفة العادية لفترة ٧ أيام، وبعدها تم كسر المكعبات بالضغط لمعرفة المقاومة والنتيجة كما هو موضح في (الجدول – ٥) وكذا في الرسم البياني المرفق (شكل – ٤).

جدول – ٥: قوة الكسر عند الضغط وعلاقتها بنسبة الرطوبة

№	نسبة الماء حجم %	كجم / متوسط الكثافة م^3	الضغط MPa مقاومة الكسر عند
1	18	1820	4,5
2	22	1810	2,1
3	26	1790	1,2

عند زيادة نسبة الرطوبة (الماء) لخلط التربة الطينية من ١٨ إلى ٢٦% فان قوة الكسر عند الضغط قلت من ٤،٥ إلى ١،٢ MPa وعليه فان زيادة الماء تؤثر سلبا على قوة الكسر للمكعبات الطينية، ومنه على طوب الطين. إن كمية الماء لخلط الطين تساعد على إبراز خاصية اللدونة البلاستيكية المطلوبة لتشكيل الطوب الطيني ومن خلال هذه التجربة فان الماء اللازم يشكل نسبة ١٨%.

قوة الكسر عند الضغط MPa

نسبة الماء للخلط، حجم %

(شكل – ٤) قوة الكسر عند الضغط وعلاقته بنسبة الرطوبة

٥،٢ التركيب الحبي للتربة الطينية في اليمن: لقد تم تحليل التركيب الحبي للتربة بواسطة المناخل المتدرجة، وبالطرق التحليلية المعقدة الأخرى مثل الهيدرومتر وغيرها جميعها أدت إلى نتائج متقاربة: التركيب الحبي للتربة في اليمن– كما هو معطى في جدول (٥).

جدول - ٥ :التركيب الحبي للتربة في اليمن ومعامل اللدونة والدرجة الهيدروجينية

عينة الطين	pH	معامل اللدونة	النسب بحسب القطر ,وزن ,% .مقاس فتحات الغربالmm ,				
			اكبر من 1,0	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,063	اقل من 0,063
عينة من طين لحج	8,64	12,1	0,4	3,7	18,1	36,4	41,4
عينة من طين ء صنعا	8,88	11,64	1,2	1,1	7,7	51,1	38,9
عينة من طين شبام - ١	8,89	9,1	2,0	4,5	18,4	37,4	37,7
عينة من طين شبام - ٢	8,60	8,6	1,8	5,9	17,2	39,3	35,8

من خلال التحليل المجهري الالكتروني لتوزيع جزيئات التربة ذات المقاسات اقل من (0,063 мм)، يتضح بأن التربة الطينية لعينات لحج وشبام (١) حضرموت بدرجة رئيسية تكون جزيئاتها ذات مقاسات اصغر (من ١ إلى ٥٠ ميكرون)، وبالنسبة للتربة الطينية لعينات صنعاء وشبام (٢) فإنها اكبر مقاسا حيث تتكون جزيئاتها (من ٣٠ إلى ١٢٠ ميكرون)، وبالمقارنة بين التربة الطينية ذات المقاسات الكبيرة مثل عينة صنعاء وتربة لحج ذات المقاسات الصغيرة ترتبط بانخفاض قوة الكسر بعد الحرق كما يلاحظ ذلك في

جدول الخصائص الميكانيكية في مكعبات طين صنعاء. كل العينات الطينية المدروسة تتصف بأنها تتألف من مجموعة من المعادن المختلفة، ومن خلال نتائج موجات صور أشعة اكس فان عينات الطين تحتوي على ,(3,35 Å)(كوارتز)، (3,23Å)–(3,21 Å (فلسبار)، ,3,043 Å)(كالسيت)،(2,87 Å (مغنسيت)، (14,730–15,369 Å)(مونتومورلونيت)،(7,138 Å) (كاؤلونيت)، (10,02 Å)(ميكا – مائية).

٢، ٦ التركيب المعدني للتربة

١,٦,٢ أنواع معادن الطين الرئيسية:

المواد الطينية– تعد أكثر الأجزاء صغرا وتعتبر مجموعة من المعادن الناشئة، ذات الخصائص المرنة مثل الكاؤلونيت، الأليت والمنتومورولونايت. وكمعادن طينية ناشئة تعد سيليكات الألمنيوم المائية وعند مزجها مع الماء يكون خليطا مرنا، يتم تشكيله في قوالب، هذه المعادن تتشكل مترابطة في طبقات ذات بناء بلّوري متراص، يتكرر تلك الترابط البنائي للبلورات بروابط متكررة بين ذراتها بناءً على قانون التكافؤ الذري. وتتشكل طبقات تيترائدرات المجموعات بتنظيم الكاتيونات Si^{4+} وكذا اكتائدري المجموعات وتنظيم الكاتيونات Al^{3+}.

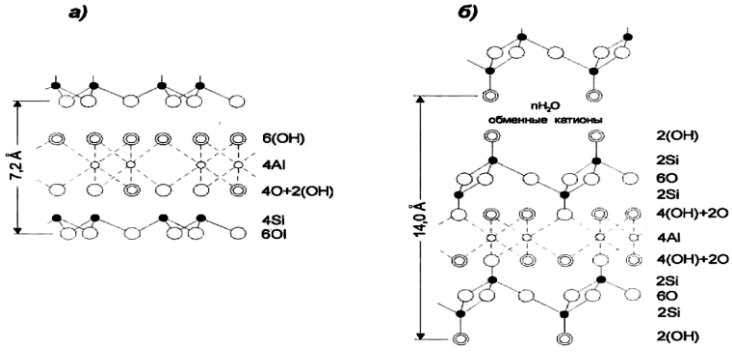
كما تتميز التربة بتكويناتها المختلفة عن بعضها البعض وعن صخور الأساس في الخواص والتركيب ووصف التربة وتركيز أيون الأس الهيدروجيني(PH) Value حيث يتماسك الأس الهيدروجيني لمخلوط الماء: التربة (١:٢,٥) (بعد ٢٤ ساعة من الخلط) بجهاز قياس الأس الهيدروجيني. والمكونات العضوية والمعادن الطينية وتجمعات الأكاسيد.

أ– **الكاؤلين أو الكاؤلينيت**– Kaolin or Kaolinite ويرمز له كيميائيا $AL_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ وهذه التسمية مأخوذة من اللغة الصينية (كاولينج) وتعني الجبل العالي– حيث تم اكتشافه في إحدى مناطق الصين ومن مميزاته اللون الأبيض الأكثر نقاوة ولا سيما بعد الحرق، ويتكون من معدن الكاولونايت (سيليكات الألمنيوم المائية) الناتجة من تحول الفلسبار حيث توجد في شكل بلورات قشرية أحادية الميل وهو المعدن الغالب في الكاؤلين (الطين الصيني)، ويستخدم في صناعة المنتجات السيراميكية البيضاء مثل أدوات المائدة والعوازل الكهربائية والحراريات من الصين والبورسلان ويستخدم كمادة مالئة في صناعة الورق والمطاط والطلاء. ويحتوي الكاؤلونيت على حزمة من البللورات، والبللورة تحتوي على واحد تترائدري وواحد اكتائدري أي يحتوي على طبقة

واحدة. في أحد الأطراف كاتيون H^+ وفي الطرف الآخر أنيون $(OH)^-$، حيث يحدث قوى جذب شديدة بين السالب والموجب، ويشكل قوة بنائية رصينة، وغير متحركة– لترابط البنائي للكاؤلونيت وتكون المسافات البينية صغيرة نوعا ما، حيث يشكل (٧،٢ Å)، كما في الشكل (a–5)، فلذا الكاؤلونيت لا يحتوي على خاصية الترابط القوي، وهذا الترابط يحتوي على قوة الترابط مع الماء الداخل بين طبقاته. وعند الجفاف يعطي الماء المحتوي بين الطبقات بسهولة. مقاس جزيئات الكاؤلين مابين ١– ٣ ميكرون.

ب– المنتومورلونيت– السميكتيت – Montmorillonite وتسمى أيضا البنتونايت– Bentonite ويرمز له كيميائيا $AL_2O_3.4SiO_2.2H_2O$ .nH_2O وهو معدن من معادن الطين، يتميز بنعومة فائقة، ولدونة عالية ومقدرة على التبادل الأيوني. ويتكون أساسا من سيليكات الألمنيوم المائية. شكل (5 – b).

ومصطلح البنتونيت أطلقه جيولوجي أمريكي في القرن التاسع عشر، وهي مجموعة السميكتيت التي تحتوي على أكثر من ٧٠ % من المعادن القابلة للانتفاخ ذات مقاس أصغر من ٠,٠٠٥مم. وهو الأكثر استخداما في إنتاج الطوب الطيني كما يصنع منه أيضا مادة باسطة في المساحيق، كما يستخدم لزيادة اللدونة في خلطات المنتجات السيراميكية. (وتلك الأنواع متواجدة بنسب متفاوتة في الكثير من محافظات الجمهورية اليمنية انظر نتائج الفحوصات الموقعية للهيئة العامة للمساحة الجيولوجية التابعة لوزارة النفط والمعادن)، حينما تكون في التربة الطينية الغالبية من محتواه مكون من حبيبات رملية دقيقة تتطلب رطوبة قليلة. وتخفض من نسبة الانكماش. وفي نفس الوقت تقل متانته. عندما تكون مقاومة التشقق ضئيلة، تكون حساسية الطين للتجفيف كبيرة.



(شكل - ٥) a)كاؤلونيت؛ b) مونتوموررولونيت.

جـ- الأليت (ميكا-مائية)- $K_2OMg.4Al_2O_3.7SiO_2.2H_2O$

الأليت – تعد من منتجات سنوات عديدة من الميكا المائية، حيث تتصف هذه المجموعة بمعادن طينية والتي تعتبر جزء من التكوين الحمضي والقاعدي، والحمض الأرضي للمعادن تتبعها خاصية الكاتيونات المنفصلة، مثل Si^{4+} حيث ممكن تحل محله Al^{3}، وكذا Mg^{2+}، مقاس الأليت حوالي ١ ميكرون، وهو يمثل الحجم الوسط بين الكاؤلين والمنتوموررولونيت. المعادن الطينية تترابط مع بعضها بروابط مختلفة تعكس اختلاف تلك المعادن ومنها: الكاؤلونيت، والمنتوموررولونيت، والأليت (الميكا- المائية). والشوائب التي تعد كل المركبات المنضوية في أنواع الطين المختلفة.

٣- مادة الإسمنت البورتلاندي العادي:

١,٣ تطور مراحل صناعة الإسمنت:

يعتبر عام ١٨٢٤م هو عام البداية للإسمنت الحديث الذي تم ابتكاره بواسطة يوسف اسبيدن (Josef Aspiden)- عامل البناء الإنجليزي، وقد أعطي اسم الإسمنت البورتلاندي لتلك الخلطة التي تم الحصول عليها من خلط: المواد الكلسية الجيرية والطفلية وغيرها من المواد السليكية مع المواد الحاملة للأكسدة الحديدية، ثم حرقها عند درجة حرارة الكلنكر **[13]**، ثم يطحن الكلنكر الناتج وتخضع تعريفات المواصفات القياسية البريطانية رقم BS12-1978 وكذلك المواصفات القياسية الأمريكية رقم ASTMC150-84 مع عدم إضافة مواد أخرى خلاف الجبس والماء ومساعدات الطحن لهذه المادة بعد الحرق.

أنشئ أول مصنع بـ انجلترا لإنتاج الإسمنت البورتلاندي الذي اكتشفه أسبيدن عام ١٨٢٥م. وقد قام بيلي من سلاح المهندسين بانجلترا في عام ١٨٣٧م بنشر أبحاثه وأصبحت حينها مواصفات الإسمنت البورتلاندي معروفة، ومنذ عام ١٨٤٥م ظهر نموذج الإسمنت الحديث بواسطة إسحاق جونسون- الذي قام بحرق خليط من الطين والطباشير حتى تكون الكلنكر، وحتى يحدث التفاعل اللازم لتكوين المركبات الخاصة بالمواد الإسمنتية القوية. وبعدها توالت المصانع العالمية، ففي بلجيكا أنشئ أول مصنع في عام ١٨٥٥م، وكذلك في ألمانيا. وفي عام ١٨٧٠م أنشئ أول مصنع للأسمنت في أمريكا. وفي مصر ١٩٠٠م، أما في اليمن فقد كان مصنع البرح في تعز وباجل في

الحديدة، فقد بدأ إنتاج الإسمنت في الربع الأخير من القرن العشرين. أما الوطنية في لحج وكذا مصنع المكلا وباتيس والوحدة فان إنتاجهم بدأ خلال السنوات القليلة الماضية **[14]**.

شكل – ٦. مصنع أسمنت الوطنية في م/لحج وهو من أهم مصانع الإسمنت في اليمن.

لقد قامت هيئه المساحة الجيولوجية في اليمن بدراسة عدد من المواقع التي لا تبعد عن عدن مساحة كبيرة من هذه المواقع محافظتا لحج وأبين والتي ننتشر فيهما تموضعات كبيرة من الحجر الجيري الجوراسي والذي يتوفر باحتياط كبير جدا وقد أثبتت الدراسات الأولية والتفصيلية لهذي المواقع ملائمة خام الحجر الجيري في صناعة الاسمنت في هذه المواقع حيث تم إنشاء مصنع الوطنية في لحج شكل– ٦. ومصنع الوحدة في أبين بالإضافة لمصنع باتيس في أبين ومصنع العربية في منطقة العيون في المكلا بمحافظة حضرموت.

٢,٣ ماهية المادة الإسمنتية: الإسمنت عبارة عن مادة رمادية اللون (داكنة) تحضر على هيئة مسحوق ناعم يتحول عند خلطه بالماء إلى عجينة رخوة تتحول بمرور الوقت إلى كتلة صلبة متماسكة، أو تمتلك خواص تماسكيه (Cohesive) وتلاصقيه (Adhesive) بوجود الماء. ويتكون الإسمنت من مواد قاعدية قوية مثل سليكات وألومينات وحديدات الكالسيوم، بحيث تمتلك خواص تجعله قادراً على ربط الأجزاء المعدنية مع بعضها البعض ويجب أن يحتوي الإسمنت على كل من الأجزاء الحامضية والأجزاء القاعدية التي يجب إلا تقل عن ١,٧.

يتكون الجزء القاعدي من أكسيد الكالسيوم و الماغنسيوم وبعض أكاسيد القلويات الأرضية الأخرى، بينما يتكون الجزء الحامضي من ثاني أكسيد السليكون وأكسيد الألمنيوم، ونسبة بسيطة من أكسيد الحديد. وللإسمنت خاصية التجمد أو الشك (Setting) والتصلب (Hardening) بفعل التفاعلات الكيماوية وبوجود الماء ولذلك يعرف بالإسمنت المائي أو الهيدروليكي**[15]**.

٣,٣ الخواص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت:

نعومة الإسمنت –Fineness من أهم خواص الإسمنت، فقد كان الإسمنت القديم درجة نعومته تحسب بطريقة المساحة السطحية كما عرفها فانجر، جرام منه مساحة سطحه تساوي ١٢٠٠سم^{٢}، في حين أن الإسمنت الحالي لا تقل المساحة السطحية له عن ٢٢٥٠ سم^{٢}/جم، ففي العصر الحديث وجب طحن المواد الخام حتى يمر ٩٠% منها من منخل رقم ٢٠٠. أثر نعومة الإسمنت على جودة الخرسانة وقوتها– بما إن عملية الاماهة تبدأ بسطوح الإسمنت، فالمساحة السطحية الكلية للحبيبات تمثل المادة المتوفرة لعملية الاماهة، لذا فان معدل سرعة الاماهة يعتمد على نعومة الاسمنت. تكون النعومة العالية ضرورية لزيادة سرعة الحصول على القوة. كما إن المسحوق الناعم يتمكن من تغطية سطوح حبيبات الركام الناعم أو المواد الخاملة الأخرى بصورة متكاملة أكثر من المسحوق الخشن، وبذلك يكون التلاصق والتماسك بين مكونات الملاط الإسمنتي أفضل. كما تحسن النعومة العالية قابلية التشغيل وتزيد من تماسك الخلطة الخرسانية ولكنها تجعل كمية الماء اللازمة للحصول على عجينة ذات قوام قياسي أكثر، أما الثبات فلا يجب أن يزيد التمدد (لوشاتلييه) عن ١مم**[15]**.

الوزن النوعي: تتوقف قيمة الوزن النوعي للإسمنت على مكوناته الكيميائية والنعومة، والوزن النوعي ليس مؤشراً على نوعيته وإنما ستعمل فقط في حسابات تصميم الخلطات (٣,١). ولعجينة الإسمنت اللدنة والتي ترتبط بظاهرة فقد Consistency – يعرف التصلب بفقد القوام Stiffening التصلب: الهابط في الخرسانة. ويعتبر الماء الحر في عجينة الإسمنت هو المسئول عن لدونته. ويتسبب الفقد المتدرج للماء الحر من النظام العام الناتج من عملية تفاعل الاماهة المبكر، ومن الامتزاز الطبيعي على سطح المنتجات فقيرة البلورة مثل التبخر، وبالتالي تشك وتتصلد. C–S–H مكونة الأترنجيت لعجينة الإسمنت اللدنة، ويسمى التجمد الابتدائي، بالشك Solidification فيعني التجمد Setting أما الشك ويعبر عنه بالزمن الذي يمضي حتى تصبح عجينة غير قابلة للتشغيلية، ويصعب بعد هذا الزمنInitial Set الابتدائي الذي لا يجب أن يكون أقل من ٤٥ دقيقة، وزمن الشك النهائي Final Set الذي لا يجب أن يكون أكثر من ٨ ساعات، إن زمن وضع ودمك وتسوية الخرسانة، يسمى الزمن الذي يمضي لتجمدها كاملا بالشك النهائي. ويقاس زمن الشك الابتدائي الذي يقيس عجينة الإسمنت ذات القوام القياسي لاختراق إبرة قياسية تحت حمل قدره ٣٠٠

جرام وكذلك زمن الشك النهائي بجهاز فيكات–Vicatحيث يمكن التعبير عن الشك الابتدائي بالزمن الذي عنده تفشل إبرة فيكات القياسية في اختراق العجينة الإسمنتية التي تصل ثخانتها إلى ٤٠مم، عمقا قدره ٥–٧مم من القاع. أما الشك النهائي يعبر عنه بالزمن الذي يمضي من لحظة إضافة الماء إلى الإسمنت إلى اللحظة التي تسبب فيها إبرة قياسية في صورة أخرى غير الإبرة القياسية للشك الابتدائي– علامة على سطح العجينة إلا إنها لا تخترقها، وتحدد المواصفات القياسية المصرية زمن الشك الابتدائي بالا يقل عن ٤٥ دقيقة وتحدد زمن الشك النهائي بألا يزيد عن ١٠ ساعات، أما المواصفات القياسية الأمريكية في زمن الشك النهائي (٣٧٥) دقيقة.

٤,٣ كلنكر (Clinker) الإسمنت:

الكلنكر: Clinker– في صناعة الإسمنت البورتلاندي، ناتج حرق عجينة الإسمنت في الفرن الدوار، ويكون على هيئة حبيبات كروية الشكل سوداء مخضرة اللون ذات مقاس حبيبي من ٣ – ١٥مم، ويطحن الكلنكر– مع نسبة من الجبس كمادة مبطئة لعملية الشك – وبهذا يتكون الاسمنت على أن يكون الطحن بحسب المواصفات القياسية المتبعة والتي تؤدي إلى درجة مقبولة من النعومة، وينتج الكلنكر من الحرق حتى الانصهار للمواد الخام الداخلة في التفاعل وهي الحجر الجيري Lime Stone ورمزه الكيميائي $CaCO_3$ كربونات الكالسيوم، والطين (clay) ويعرف علميا بسيليكات الألمونيوم المائية ورمزه الكيميائي $Al_2O_3 . 2SiO_2 . 2H_2O$ وتواجد بعض الأكاسيد المتفرقة مثل Fe_2O_3 أكسيد الحديد وغيرها من الأكاسيد الأخرى، بعد خلطهما بنسب معينة وبشكله التقريبي ٧٥% إلى ٢٥% بحسب الترتيب. ويتكون المخلوط الأولي لخام الأسمنت من بودرة السيليكا(Silica) تكون حوالي ١/٥ الأسمنت بالوزن(والألو مينا حوالي ١/٢٠ من وزن الإسمنت) والحجر الجيري (Lime Stone) وخام الحديد (Boxite) الذي يعطي الإسمنت لونه الرمادي. ومن خواص بودرة الإسمنت الناتجة أنها تتحد مع الماء بمجرد خلطه بها لتكوين عجينة تأخذ قوتها بالتصلب سريعا.

يحتوي كلنكر الإسمنت البورتلاندي على حوالي ٩٥% من تركيباته على أربعة أكاسيد:

- CaO أكسيد الكالسيوم (الجير)
- SiO_2 أكسيد السليكا (الرمل)
- Al_2O_3 أكسيد الألومينا (الطين)

- أكسيد الحديد Fe_2O_3

أما المكونات الأخرى فتسمى المكونات الصغرى أو الشوائب وهي تتضمن مركبات مثل أكسيد الماغنيسيوم وأكسيد الصوديود والبوتاسيوم (القلويات)، والتيتانيا وأكسيد الفوسفور وأكسيد المنجنيز، كما إن المواصفات القياسية الأمريكية التي تصف طرق تحليل الكيميائية للإسمنت البورتلاندي هي ASTM C114-85 وللكلنكر (Clinker): تركيبه كيميائية كما هو واضح في جدول- ٥. حيث يتعلق رفع كفاءة تصنيع الإسمنت في الأربع المكونات الأساسية المكونة للكلنكر بما في ذلك زيادة أكسيد الحديد وخفض المكونات الطينية ومودل السيليكات وهذا كله يؤدي حتما إلى خفض حرارة الانصهار وتؤدي إلى سهولة التفاعل بين مكونات الإسمنت**[16]**.

٤,٣ التفاعل الكيميائي بين الإسمنت والماء:

عند إضافة الماء إلى الإسمنت تتكون عجينة لدنة تتحول إلى الحالة الصلبة على ثلاث مراحل ففي الأولى يتشبع الماء تدريجيا بالمواد القابلة للذوبان مثل القلويات والجير وبعض الجبس وغيرها من المواد. وفي المرحلة الثانية يتكون المحلول الغروي، حيث تنتشر بالمحلول المواد الدقيقة الحجم، وعند هذه المرحلة تقف سيولة عجينة الإسمنت وتصبح عديمة الحركة وتبدأ عملية الشك، أما المرحلة الثالثة هي مرحلة التصلب فهي تتضمن بداية عملية التبلور، ثم تنمو البللورات تدريجيا وتحتاج هذه المرحلة إلى وقت أطول من المرحلتين السابقتين. ومن الناحية الكيميائية فان الحالة الجافة للإسمنت، يطلق عليها مصطلح الإسمنت اللامائي، والذي يعني انعدام وجود مياه ممتدة كيميائيا، أو مياه متبلورة والتي تمثل المكونات الرئيسية الأربعة في المركبات كما هو أعلاه.

بين الإسمنت والماء تفاعل هام يسمى بـ(hydration)، ويصبح الماء مشبعا بهيدروكسيد الكالسيوم C_3A حيث تحدث تفاعلات كيميائية سريعة بين$CaSO_4.2H_2O$ بالتحلل المائي للأليت وكذلك الومينات الكالسيوم، وبواسطة كبريتات الكالسيوم المائية الموجودة في الجبس وكذلك بعض المركبات الأخرى. تصل قيمة الأس الهيدروجيني PH في المحلول الى١٣ وفي فترة السكون تكون عجينة الإسمنت لدنة وتضل في حدود ٤٠- ١٢٠ دقيقة في الظروف العادية. وتعمل التفاعلات الكيميائية على تحرير كميات كبيرة من الطاقة على صورة حرارة، إن التفاعلات الكيميائية السائدة خلال فترة حدوث الشك المنتظم لتكوين هيدرات كبريتات ألومينات الكالسيوم بمعدل بطئ CaSO4 وكبريتات الكالسيوم C_3A حيث تكون كالآتي:

١ . التفاعل بين في الجزء السائل من العجينة المشبعة بهيدروكسيد الكالسيوم والجبس.

٢ . اماهة سليكات الكالسيوم ولاسيما الأليت الموجود في الإسمنت والذي يعطي تركيب ضعيف البلورية ومسامي من جل هيدرات سليكات الكالسيوم ويكون مغموسا في الجل العديد من بللورات الهيدرات الجيدة التكوين ومادة الجل تسمى (C–S–H) وهي بلورات هيدروكسيد الكالسيوم، وجسيمات من الإسمنت الغير مماه، كما يوجد الماء في هذا النظام في حالات مختلفة. إن اماهة الأليت تكون ذات أهمية في عملية الشك، ويعتبر البليت أقل تفاعلية من الأليت، وبالتالي فليس له دور هام في عملية الاماهة المبكرة.

وتؤدي إضافة المياه إلى هذه المركبات اللامائية إلى حدوث تفاعلين كيميائيين في أولهما يتغير التركيب البنائي البللوري، نتيجة إضافة جزيئات الماء. والثاني هو التحلل المائي، أي تكون حامض وقاعدة نتيجة التفاعل الكيميائي بين الماء وبين الأملاح التي تمثلها مكونات الإسمنت، وتنبعث كمية كبيرة من الحرارة نتيجة حدوث هذين التفاعلين وتكون النتيجة بأن كمية كبيرة من البللورات الطويلة أبرية الشكل، تتشابك مع بعضها البعض في هيئة معقدة، بحيث تكبر متانة الإسمنت – Si – O – Si–O– وتعود هذه المتانة إلى الروابط القوية بين ذرات الأوكسجين وذرات السليكون من الجبس (كبريتات الكالسيوم) إلى الإسمنت الناعم، لمنعه من الشك وتضاف نسبة صغيرة من $CaSO_4.2H_2O$– ويتم التصلد بسرعة عند خلطه بالماء. وتتضمن عملية إنتاج الإسمنت من الحجر الجيري والطفل انصهارا جزئيا لأكسيد الكالسيوم ينتج من تحلل كربونات الكالسيوم، وتحلل سليكات الألومنيوم (الطفل) خليط من السليكا المعقدة، هو الإسمنت. يتركب الإسمنت البورتلاندي العادي من ٥٠% من ثلاثي سليكات الكالسيوم، ٢٥% من ثنائي سليكات الكالسيوم، والباقي من نسب متساوية تقريبا من ثلاثي الومنيات الكالسيوم، ورباعي الومينات الكالسيوم الحديدية، وللتخفيف من تأثير الأحماض يراعى خفض نسبة ثلاثي ألومينات الكالسيوم.

٤. أثر الإسمنت كمادة مثبتة للتربة الطينية– Cement stabilization والخصائص الأساسية لخلطات التربة المثبتة بالإسمنت

عملية تثبيت التربة بالإسمنت البورتلاندي وخصائص المادة الجديدة المتكونة:

إن أثر المادة المثبتة كالإسمنت على التربة الطينية، تعتمد أساسا على قوة نشاط التربة وقدرتها على رفع الكفاءة لخاصية قوة الفيزا – ميكانيكية للتربة الطينية المدروسة، ومن خلال تقييم نشاط التربة

الطينية في اليمن اتضح بأن التربة كلما كانت أكثر نشاطا، كلما جذبت أكثر أكسيد الكالسيوم من محلول الجير(النورة)، ومن خلال التجارب المعملية أتضح جليا بأن جميع أنواع التربة الطينية المجلوبة من محافر اليمن ذات نشاط تفاعلي جيد، ولكن أكثرها نشاطا تربة لحج، هذه التربة تحتوي على كمية كبيرة من المعادن الطينة وحبيبات اقل قطرا من الرمل وبهذا تكون تربة لحج أكثر الأنواع تفاعلا مع الإسمنت كمادة مثبتة وبشكل عام فان التربة في اليمن تتفاعل مع الاسمنت وتعتبر تربة نشطة.

إن تجارب إنتاج الطوب الطيني وأبحاثه العلمية أثبتت بأن واحدة من أكثر مواد الإضافة فاعلية لتثبيت مادة الطين، ورفع قوته عند الكسر، سواءً مغموراً أم جافاً يعتبر الإسمنت البورتلاندي. كما تعتبر التربة من أنشط المواد التي تتفاعل مع أكاسيد الإسمنت بعد الجفاف التام والتصلب، فماذا يفهم عن تغيرات الخصائص الطبيعية للتربة عند خلطها مع الاسمنت؟ للإجابة على هذا السؤال ينبغي ملاحظة الخصائص البنائية بين ذرات التربة والاسمنت، حيث تعد مكونات حبيبات التربة ذات بناء ذري منتظم، وهي تحتوي على أقل أقطار في بعض أجزائها عن أقطار الإسمنت حيث تصل إلى ١/١٠ من الميكرون في بعض أنواع مكونات الطين مثل **المنتومورلونيت**– Montmorillonite أجزاء الرمل والغرين تحتوي على الكوارتز وكميات أخرى مثل الفلسبار والميكا وغيرها.

٢,٤ تكنولوجيا صناعة الجدران المدكوكة والطوب المضغوط المثبت بالإسمنت على أساس التربة في اليمن.

يقول المهندس د. علوي جعفر زين وهو رائد هذه التجربة (نحن اليمنيون لنا تاريخنا الخاص في هذا المجال حيث تبرز المراجع العلمية العالمية تجربة اليمنيين في استعمال التربة للبناء سواءً بأسلوب تجهيز الطوب المجفف تحت ظروف البيئة الطبيعية أم بأسلوب دك الطين في إطار القوالب)**[17]**. إن استعمال الطين كمادة بنائية بأساليب تكنولوجية حديثة تواكب التطور العلمي – التقني الجاري في عصرنا الحاضر مع تحسين الخواص الفيزيائية والميكانيكية لهذه المادة من خلال المواد المثبتة المضافة ولتي سيكون لها أهمية كبيرة في نقل هذه المادة إلى درجة مصاف أفضل المواد البنائية المتناسبة صحيا مع جسم الإنسان والبيئة والمناخ لما تمتاز به هذه المادة من خصائص ومواصفات جيدة تخلق في سكن الإنسان الجو المناسب وتكيف الحالة المناخية داخل

البيت بما يتلاءم مع الظروف البيئية ولاسيما في البلدان ذات المناخ الحار الصحراوي الجاف وحتى المناخ الحار ذات الرطوبة العالية.

لقد شكل توفر مكابس آلية لتصنيع الطوب الطيني المضغوط نقلة نوعية في عملية البناء الطيني سواء في عملية تحسين المواصفات الفيزيائية والإنشائية أو توفر المادة المحلية للبناء بشكل اقتصادي ومتطور لقد تم استخدام آلات ميكانيكية في عمليات الخلط والضغط استناداً إلى التجارب العلمية التي تمت في فرنسا واستراليا وألمانيا وأمريكا وغيرها، وشجعت منظمة الأمم المتحدة على استخدام الطين– كمادة بناء في العالم الثالث وكانت التجربة في م/ لحج من تربة وادي خير– قام الباحث بتطبيق التجربة في م/لحج تحت إشراف د.م/ علوي جعفر زين**[18]**. وهناك استمرارية لمثل هذه التجربة في م/حضرموت وخاصة في سيئون والمكلا (وادي العيون) لكنها تجارب محصورة. حيث تغربل التربة بعد عملية الاختبارات اللازمة، ثم يتم أخذ نسب الإسمنت إلى الطين١: ١٦ أي بنسبة ٦,٢٥% للإسمنت، ثم يتم وضع ٦٤ لتر من التربة الجافة المغربلة يضاف إليها ٤ لتر من الإسمنت، بحيث يتم الخلط الجاف لمدة دقيقة وبعدها يضاف الماء ١٠,٥ لتر من الماء يرش تدريجياً ويستمر الخلط لفترة دقيقتين، وبعد الخلط يتم فتح الخلاطة من الأسفل إلى الجاري لنقل الخلطة إلى آلة الضغط.

شكل ـ ٧. شكل الطوب المضغوط المثبت بالإسمنت وطريقة البناء به كجدران حاملة.

يعمل الاسمنت على رفع قوة تحمل التربة الطينية وتحسين خصائصها الفيزا– ميكانيكية، فالخليط يجب أن يتكون من التربة والاسمنت والماء، وكون الماء يؤثر سلبا زيادته على قوة الكسر فان الخلطة يجب أن تكون نصف جافة، والأهم من ذلك أن الطوب المضغوط لا يتأثر بالماء بل تزداد قوته مع الماء بعد ضغطه بـ ٢٤ ساعة، ونسبة الإسمنت ٦% تقريباً من وزن التربة الجافة

أنظر شكل– ٧. إن متوسط الكثافة للطوب المضغوط بعد فترة جفاف ٢٨ يوم، يساوي ١٨٣٠ كجم/م^{٣}، نسبة امتصاص الماء ١٦،٥%. إضافة إلى ذلك فان الطوب المنتج يتميز بعدم تأثره بالماء مطلقا. ومع زيادة نسبة الإسمنت من ٢– ١٠% من حجم التربة الطينية المستخدمة، قوة الكسر عند الضغط تزيد من ١,٨٢ إلى ٧,٨٤ MPa لطين لحج و٢,٠٣ إلى ٥,٩٥MPa لطين صنعاء، إن زيادة الاسمنت في التربة الطينية ينبغي له أن يخضع للتقييس، ليس من المهم فقط رفع قوة الكسر عند الضغط، ولكن ينبغي الحصول على أقل نسبة مسموح بها للانكماش، فلذا تم إجراء تجربة الانكماش بنسب مختلفة من الاسمنت.

إن صناعة الطوب الطيني المضغوط بقوة (١٠٠ كجم/سم^{٢}(10 MPa) والمثبت بالإسمنت البورتلاندي بنسبة (٦%) هي بطبيعة الحال المتناسبة مع أفضل المواصفات الإنتاجية على أساس التربة في اليمن. والمنتج يقاوم الماء بعد مرور (٢٤) ساعة من إنتاجه– وتصل القدرة الإنتاجية إلى حوالي (٢٠٠٠٠) طوبة في اليوم في بعض مكائن الطين الأوتوماتيكية. ومن نتائج التجارب نوصي باستخدام ٦% من وزن التربة الجافة من الاسمنت البورتلاندي، فعند تثبيت مادة التربة الطينية بواسطة معادن قابضة مثل (الإسمنت البورتلاندي العادي، الجير)، يحدث اتحاد (تجلط)، مع الجزيئات الغرينية للطين، تزداد قوة الاحتكاك بين الجسيمات الدقيقة والمجموعة المتكاملة للطين أنظر شكل– ٨، وهذا بدوره يؤدي إلى رفع قوة الاحتكاك، ومنه إلى رفع قوة الكسر والصلابة. وباستخدام الطوب المضغوط المثبت بالإسمنت بنسبة (٦%) فإن الكلفة لنفس حجم المبنى المراد تنفيذه تشكل (٦٨%) من كلفة المبنى الحجر بنفس الحجم. تعد تربة لحج الأنسب لمثل هذه الصناعة حيث تكون قوة الكسر للمنتج هو الأكبر من معدلات التربة في باقي المحافظات إذ تصل مابين 3 – 5 MPa.

شكل ـ٨. قوة الكسر للمكعبات الطينية المثبتة بالاسمنت باستخدام الجهاز الهيدروليكي الصغير كون المكعبات ذات مقاس 30x30x30 مم.

٥. تثبيت التربة بالإسمنت لفرش الطرق ومدرجات المطارات تجربة روسيا الاتحادية:

١,٥ تثبيت التربة بالإسمنت البورتلاندي:

إن مواد البناء لتعبيد الطرق ورصف مدرجات المطارات هي أساسًا من مواد الكري والرمل والطين ومواد مثبتة مثل الإسمنت والجير (النورة) وغيرها من المواد المثبتة الأخرى للتربة، وتدخل ضمن هذه الطرق خلطة الطين المثبت– بالمفهوم العصري– هي مؤتلف صناعي من مواد البناء المركبة يتشكل عند الجفاف في الظروف الطبيعية، إن مواد الخليط يتكون من مادتين أساسيتين مادة طبيعية متوفرة ورخيصة كونها تغطي معظم القشرة الأرضية، ومادة صناعية هي الاسمنت البورتلاندي وربما نقول المنشفات أو المثبتات وتسمى كذلك بالمواد القابضة، أما المادة التي تسهل هذا التفاعل وربما بدونها لا يمكن أن يحدث تفاعل مطلقا هو الماء وسيلة الخلط والتفاعل المثلى.

إن المثبتات عديدة ولكن تنقسم إلى نوعين أساسيين هما المثبتات المعدنية والمثبتات العضوية، لكن المثبتات المعدنية وأهمها الإسمنت البورتلاندي هي الأكثر فاعليه من غيره حيث تنشأ مادة جديدة من تلك المواد المركبة، إن هذه المادة الناشئة تتشكل من خلال تكوين البناء البلوري في التركيب الداخلي للبناء الذري، الذي بدوره يتكتل متحدا ومتراصا مع بعضه بشكل قوي من خلال بناؤه الهيكلي المتشكل من اتحاد أكاسيد المعادن المتبلورة من مؤتلف تلك المواد، ويحدث معه تجلط أو تماسك متماثل بشكل بنائي مكثف، مترجما قوة الترابط البلوري بين مكونات الإسمنت والطين.

إن استخدام التربة المثبتة بالإسمنت لتعبيد الطرق في روسيا له تاريخه القديم، ربما يصل إلى خمسينات القرن الماضي، فقد خلطوا التربة الرملية مع الاسمنت كمادة مثبتة بنسبة ١٢% من وزن التربة الجافة، لسفلتة الطرق وتعبيدها بدلا عن الإسفلت منذ ١٩١٢م، وقد بذلت جهودا كبيرة في مجال الاختبارات العلمية لغرض الوصول إلى عملية البناء التركيبي الأمثل لخلطات التربة المثبتة، وقد قام العالم الروسي باجانوف وآخرون بنشر تلك الأبحاث العلمية وقد كان لها أثرا كبيرا في انتشار هذه التجربة على المستوى العالمي، إن تعبيد الطرق ورصف مدرجات المطارات بالتربة المثبتة بالإسمنت لن تحتاج إلى صيانة دورية، كون هذا النوع من التعبيد يستمر لأكثر من عشرين عاماً دون تأثير يذكر. إن طبقات الرصف للطرق المعبدة بالتربة المثبتة عندما يقع عليها الرطوبة تكون أفضل من تلك الطرق المعبدة بالطرق التقليدية العادية الكري والإسفلت.

إن التربة المثبتة بالإسمنت أكثر صلاحية وأرخص كلفة لفرش الطرقات والمدرجات من أية مادة أخرى، حيث تصل الكلفة للـ ١م^{٢} من التربة المثبتة بالإسمنت ١,٥ – ٢ مرة أقل من كلفة الـ ١م^{٢}من مواد التعبيد التقليدي في سفلتة الطرق في روسيا، وان ترميم تلك الطرقات المعبدة من التربة المثبتة تقل صيانتها عن الطرق الإسفلتية بمقدار ١٥ – ٢٠%**[20]**.

إن الخليط المتكون من التربة والإسمنت بالطرق التكنولوجية– يجعل من الإسمنت عنصرًا رئيسًا للتكوين، وذلك في صنع المكونات الأساسية للمادة الناشئة عن تلك الاتحادين لمادتي الطين والإسمنت، ويعتمد جودة المنتج على نوعية التربة المستخدمة ومدى صلاحيتها للتفاعل مع مادة الإسمنت. إن خصائص خلطة التربة المثبتة، وبالدرجة الأولى قوة التحمل والعمر الافتراضي لا تتعلق بنوعية المواد المخلوطة فقط بل بتكنولوجيا الإنتاج وعملية الخلط مع الماء، وطرق الرصف وكثافته وأسلوب العناية والتجفيف، وتكنولوجيا التنفيذ ترتبط بعملية إضافة الماء المتساوي لجميع أجزاء الخليط، كثرته أو قلته يؤدي إلى إضعاف الروابط الكائنة في التركيب البنائي البلوري، كما يؤدي إلى إضعاف معدل الكثافة والقوة للمنتج، كلما كانت الكثافة كبيرة بين طبقات الرصف– كلما كانت القوة التحميلية أكبر، وتقل الفراغات بين مكونات الرصف وتقل معها امتصاص الماء.

التربة الطينية والرملية تنقسم إلى أنواع عديدة مختلفة باللدونة، والتدرج الحبي، والجزيئات الرملية في تلك الأنواع من التربة، فعندما تكون التربة المستخدمة قليلة اللدونة أو غير لدنة في حالتها الجافة تعطي العلاقة الجيدة عند التكوين، فهي بسرعة تجف ولم تنتفخ وهذه التربة صالحة في الأجواء الحارة والرطبة، وتكون مناسبة للتثبيت بالإسمنت البورتلاندي وكذلك ممكن تضاف إليها نسبة من الجير المطفئ (النورة).

٢,٥ الإسمنت مركب يحاكي (معادن الطين) بسليكات الألمونيوم ويتفاعل معها:

التركيب المعدني للإسمنت $(Al_2O_3.SiO_2.CaO.Fe_2O_3)$

التركيب المعدني للطين $(Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O)$

ثنائي سليكات الكالسيوم وثلاثي سليكات الألومنيوم عند إضافة الماء إليه يتكون سليكات و الومينات الكالسيوم المماهة.

$$2CaO.\ SiO_2 + nH_2O = 2CaO.\ SiO_2\ .\ nH_2O$$

$$3CaO.\ Al_2O_3 + 6H_2O = 3CaO.\ Al_2O_3\ .\ 6H_2O$$

ثلاثي سليكات الكالسيوم: عند إضافة الماء للإسمنت نجد أن سليكات ثلاثي الكالسيوم تتميأ بسرعة وينتج عن ذلك تصاعد كمية كبيرة من الحرارة عند التفاعل.

$$3CaO.SiO_2 + H_2O \longrightarrow 2CaO.SiO_2 + SiO_2.\ xH_2O + Ca(OH)_2.$$

ينفصل جزء من أكسيد الكالسيوم وتتكون هيدروكسيد كالسيوم متبلورة وكذا سليكات كالسيوم $CaO.\ SiO_2.\ xH_2O$ وهذا المركب جيلاتيني وله فضل المقاومة المبكرة للإسمنت وتصاعد الحرارة، ومادة سليكات ثلاثي الكالسيوم لها خاصية إسمنتية جيدة كما أن لها تأثير في مقاومة الخرسانة ولاسيما في ٢٤ يوما الأولى، كما تتفاعل سليكات ثنائي الكالسيوم مع الماء ببطء، وهي المسئولة عن ازدياد المقاومة فيما بين ١٤– ٢٨ يوما وفيما بعد. والإسمنت المحتوي على كميات عالية من سيليكات ثنائي الكالسيوم له مقاومة كبيرة للمؤثرات الكيميائية والانكماش بالجفاف ولذلك فهو من أهم عوامل ثبات الإسمنت.

الومينات ثلاثي الكالسيوم: يتميأ بسرعة مع الماء خصوصا في اليوم الأول، ويصحب التفاعل تصاعد حرارة عالية، ويشك المزيج على الفور، وهي التي تسبب التصلد الأولي ولكنه لا يتدخل كثيرا في القوة، ومقاومته ضعيفة للتأثيرات الكيميائية وخاصة على الكبريتات المذابة في الماء الأرضي، كما يسبب التشققات للتغير في الحجم، وكذا خاصيته الإسمنتية ضعيفة.

الومينات حديد رباعي الكالسيوم: يتميأ ببطء وليس لها خاصية الإسمنت، ليس لها تأثير على المقاومة أو على أي خواص للإسمنت المتصلد منخفض الحرارة.

$$4CaO.\ Al_2O_3.\ Fe_2O_3 + mH_2O = 3CaO.\ Al_2O_3.6H_2O + CaO\ .\ F_2O_3.\ nH_2O.$$

٦. التفاعلات الفيزيائية والكيميائية عند خلط الإسمنت والطين مع الماء:

١,٦ تفاعلات المركبات الأساسية مع الماء:

– المركبات الأساسية تعتبر (المعادن)، الأسمنت البورتلاندي – الأليت – يتفاعل مع الماء بما يسمى الهيدرات بحسب التفاعلات التالية:

$$3CaO.SiO_2+3H_2O=2CaO.SiO_2.2H_2O+Ca(OH)_2$$

– هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ يتفاعل مع معادن الطين، في البداية تسير التفاعلات الفيزيائية بين طبقات الماء ورقائق الطين بصورة فيزيائية، حيث تدخل جزيئات الماء بين رقائق الطين بصورة طبيعية، حيث تمتص حبيبات الطين الماء وتسمى هذه العملية (بالامتزاز أو الامتصاص بين طبقات الماء) $Ca(OH)_2 \leftrightarrow Ca^{2+} + 2OH$ وفي وقت لاحق تتم التفاعلات الكيميائية بين الايونات:

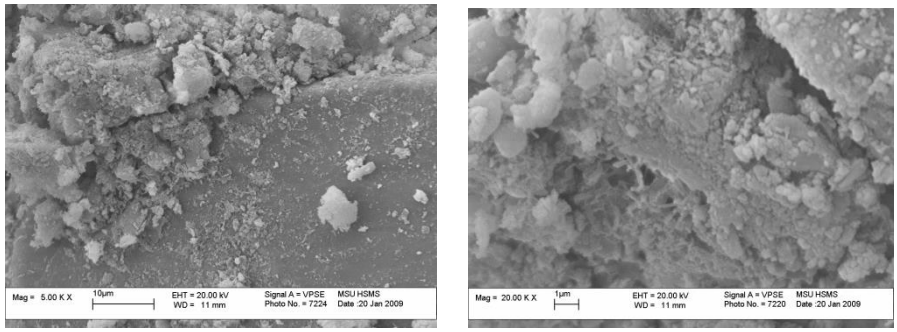
$$Al_2O_3.(3–4)SiO_2.nH_2O+bCa(OH)_2 \rightarrow CaO.Al_2O_3.mH_2O+CaO.SiO_2.\ nH_2O$$

هذين المركبين هيدرات الألمنيوم وهيدرات السليكون يعتبرا مقاومان للماء بل وتعطي روابط قوية مع الماء، وتعد من الخصائص الهامة التي يتميز بها تلك التفاعل الأيوني، إذ تزداد قوتها بالتدريج مع تأثير الماء على تلك الروابط. لذلك فان قوة الكسر بين تفاعل الاسمنت مع الطين نتيجة لقوة الترابط بينهما بوجود الماء أكثر بكثير من قوة كسر مكعبات الطين دون الاسمنت. ونسبة ٦% من الاسمنت يمكنها ترتبط بعدد هائل من نسبة الطين بروابط أيونية كبيرة تعطي معها صلابة شديدة وقوة كسر كبيرة ناهيك عن مقاومة تأثير الماء على جسم الطوب المصنع بل يزيده الماء صلابة أكبر مع مرور الوقت أنظر إلى الصورة المجهرية شكل– ٩، وعند الجفاف لتلك المنتج تحافظ الطوبة على مقاومة الماء وخاصة هيدرات السليكون والكالسيوم. $2CaO.SiO_2.2H_2O$ وكذا $CaO.SiO_2.H_2O$ خلال وجود الماء فان السيليكات والألومينات في الإسمنت تكون نواتج اماهة والتي تكون بعض الوقت كتلة صلبة ثابتة وهي عجينة الإسمنت المتصلدة. إن مادة السيليكات ثلاثي الكالسيوم(الأليت) والسيليكات ثنائية الكالسيوم (البليت) تعتبران هما المادتان الأساسيتان في تركيب الإسمنت، ويحدث اماهة للمادة الأولى بشكل أسرع من اماهة المادة الثانية، وأما نواتج اماهة سيليكات ثلاثي الكالسيوم فهي هيدرات دقيقة التركيب البللوري مع بعض الجير المنفصل وتسلك مواد سيليكات ثنائية الكالسيوم بطريقة مماثلة ولكنها تحوي عنها في شكل بللوري رمزه $Ca(OH)_2$، ومن خلال اماهة الإسمنت البورتلاندي تتكسر الحبيبات إلى ملايين الجسيمات مكونة مادة صلبة مسامية فقيرة البلورية تسمى هيدرات سليكات الكالسيوم (جل): عندما يخلط الإسمنت بالماء تقوم جسيمات الإسمنت بالتشتت في الماء مكونة عجينة الإسمنت التي تكون لدنة وشبيهة بالطين.

٢,٦ التركيب البنائي المجهري لمكعبات التربة المثبتة:

التركيب البنائي ألمجهري للمكعبات المفحوصة على أساس التربة الطينية الرملية من محافر صنعاء مع إضافة ٦% من الاسمنت وبعد فترة جفاف ٢٨ يوم كما هي في الصور المجهرية أدناه (شكل– ٩) إن الترابط المعدني للأيونات تحتل المرتبة الكبيرة في طبيعة التفاعل الواضح جليا في الصورة المجهرية المكبرة، ولاسيما للأجزاء المكونة للتربة مثل الكوارتز كونها من أكثر الجسيمات وضوحا. إن الترابط المعدني للأيونات وتفاعل التربة الطينية مع اوكسيد الكالسيوم وما تمثله من ترابط جديد بين سيليكات الكالسيوم والومينات الكالسيوم والتي تمثل القوة والترابط بين جزيئات المكونات الجديدة، كما يمثل هذا الترابط مقاومة تأثير المياه على المنتج الجديد بل يزيد قوة مع مرور الزمن حتى في داخل الماء.

a *b*



الشكل ـ ٩: صور مجهرية للمكعبات المضغوطة المثبتة بالإسمنت على أساس التربة الطينية صنعاء مع إضافة ٦% اسمنت بعد فترة جفاف ٢٨ يوم التكبير.*a* – ×5000, b – ×20000

٧. النتائج العامة:

١– النظر إلى البيت الطيني من زاوية الحفاظ على الموروث يقلل من أهميته ويحنطه كتحفة معمارية يجب الحفاظ عليها، ولكن يجب أن يتطور هذا البيت لكي يلبي الحياة المعاصرة.

٢– إن التربة في اليمن تعد تربة صالحة للبناء، وجميع الأنواع تنتمي إلى التربة الطينية الرملية غير مكتملة المنشأ لمعادن الطين المتكونة، ويعد هذا التصور مهم لجميع مواقع خامات التربة الطينية في اليمن.

٣– التربة الطينية في اليمن– تعد تربة نشطة صالحة لإنتاج الطوب المحسن عند تثبيت التربة بالإسمنت البورتلاندي العادي، أو صناعة الجدران من التربة المثبتة وإمكانية تعبيد الطرق أيضاً من التربة المثبتة بالإسمنت.

٤– انطلاقا من خواص كيمياء البلورات لمعادن الطين الأساسية المتكونة، وقابليتها لتشكيل الروابط، وخاصية التكوين مع أكاسيد الطين، ممكن القول بأنه من وجهة نظر تكون المواد فان التركيب البنائي الأمثل تعتبر الأطوار.

٥– عند تثبيت مادة التربة الطينية بواسطة معادن قابضة مثل (الإسمنت البورتلاندي العادي، النورة)، يحدث اتحاد (تجلط)، مع الجزيئات الغرينية للطين، تزداد قوة الاحتكاك بين الجسيمات الدقيقة والمجموعة المتكاملة للطين، وهذا بدوره يؤدي إلى رفع قوة الترابط، ومنه إلى رفع قوة الكسر والصلابة.

٦- من الواضح بأن التربة الطينية في الجمهورية اليمنية جميعها تمتلك نشاطا عاليا، بتفاعلها مع الجير (النورة)، (من خلال امتصاص محلول أكسيد الكالسيوم) وذلك من خلال ميكانيكية التكون البنائي، ومجموعة قوى التربة الطينية الممزوجة مع الماء لغرض الخلط تستند على التفاعلات الكيميائية للتربة وهي كثيرة المعادن الطينية، حيث يضمن سريان التفاعل البوزولاني في إطار معطيات أسس تعدد المعادن الطينية. ومن نتائج التجارب نوصي باستخدام ٦% من وزن التربة الجافة من الاسمنت البورتلاندي، و٦- ٩ % من النورة.

٧- تبني فتح معاهد تدريبية لغرض الاهتمام بتطوير تقنيات إنتاج الطوب الطيني المثبت بالإسمنت وذلك من خلال إنشاء مختبرات متخصصة ومعامل لإنتاج الطوب الطيني بمختلف أنواعه ودراسة الطرق والأساليب المختلفة المتبعة في الكثير من الدول العربية.

٨- ضرورة التأهيل الأكاديمي في مجال مواد البناء ولاسيما في مادة الإسمنت، والتربة الطينية لغرض توسيع دائرة المعارف لهاتين المادتين لأهميتهما وعدم وجود متخصصين أكاديميين في هذا المجال.

٩- ضرورة تشجيع الدولة للمستثمرين بفتح معامل للطوب الطيني المضغوط المثبت بالإسمنت من خلال استيراد مكائن ضغط وخلط حديثة والتي تنتج أكثر من ٢٠,٠٠٠ طوبة في اليوم.

١٠- دعوة المستثمرين في مجال صناعة الإسمنت في الجمهورية اليمنية إلى التواصل العلمي الدائم مع الباحثين والمختصين وتسهيل العملية البحثية من خلال السماح لهم بزيارة تلك المصانع وتقديم لهم الاحتياجات البحثية للوصول إلى نتائج علمية أفضل.

الراجع:

[1] محي الدين السلقيني- العمارة البيئية- دار قبس ١٩٩٤م.

[2] الحداد، صنعاء القديمة- المضامين التاريخية والحضارية، مؤسسة العفيف الثقافية- صنعاء ١٩٩٢م.

[3]يحي وزيري- العمارة الإسلامية والبيئية- عالم المعرفة٣٠٤ يونيو ٢٠٠٤م.

[4]العزب ثابت سالم، رسالة دكتوراه- مواد البناء غير المحروقة على أساس التربة في اليمن- جامعة بالجراد الحكومية – بالجراد، روسيا الاتحادية ٢٠٠٩م – (تحت الترجمة.

[5] أسامه ميرو- كلية الهندسة- جامعة دمشق ٢٠٠٣م.

[6] الهندي هشام عبد الكريم وآخرون– وزارة النفط والثروات المعدنية، هيئة المساحة الجيولوجية والثروات المعدنية م/ حضرموت تقرير المواد الطينية (المرحلة الثانية)– بنك المعلومات رقم ٩٩.

[7] كتاب الإحصاء تعداد ٢٠٠٤م.

[8] شعبان عوني تحليل مقارن لبعض نظم التشييد في العمارة الطينية المعاصرة ، المؤتمر العلمي الأول، جامعة حضرموت ٢٠٠٠م.

[10] Лесовик, В.С. повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород/ В.С. Лесовик. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 526с. ISBN 5-93093-421-5].

[11] موفق دغمان– رسالة دكتوراه– كلية الهندسة المعمارية– دمشق– ألمانيا ١٩٩٦م.

[12] أحمد فوزي يوسف أجهزة وطرق تحليل التربة والمياه جامعة الملك سعود ١٩٩٩م.

[13] [Portland Cement Association. Design and Control of concrete Mixtures Chicago, 1992].

[14] باسباع وآخرون. بحث علمي غير منشور لطلاب كلية الهندسة– جامعة عدن، Course Project –2 المستوى الرابع ٢٠١١م ص٢٤.

[15] الشريف روحي– مواد البناء، عمان ١٩٨٣م. الطبعة الأولى.

[16] Виленкина, Н.М. Цементно–грунтовые камни /Н.М. Виленкина. –Москва: Госстройиздат, 1961.–85 с].[Никитина, А.Б. Архитектурное наследие Н.А. Львова / А.Б. Никитина/ – СПб.: Дмитрий Буланин, 2006. – 532. – ISBN 5-86007-512-X.

[17] زين علوي جعفر. " تجارب ناجحة في استخدام التربة المدكوكة في قوالب لبناء المساكن في اليمن " / زين علوي جعفر// مجلة المهندس، العدد ٣. ص١٩ – ٢٣، ١٩٩٠م. عدن– اليمن.

[18] Shamsher Faisal. An Experimental Construction by Stabilized Clay-Cement Blooks in Yemen / Shamsher Faisal, Alawi Gaffer Zain, Thabet Salem Al-Azab // International Conference: Future Vision and Challenges For Urban Development, Cairo, Egypt: 20–22 dec. 2004.

[19] Морозов, С.А. Цементирующая способность глинистых частиц некоторых грунтов в аэродромном и дорожном строительстве. – М.: Транспорт, 1969. – 314 с.

[20] [Щеглов А. Ф. Грунтобетоны на основе глинистых пород КМА для дорожного строительства: дис. … канд. техн. наук 05.23.05: защищена 23. 10. 03 : утв. 24. 06. 02 / Щеглов Александр Федорович. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2003. – 227 с].