مجلة بحوث البناء

المجلد ١٠ العدد ١ ٢٠٢٥

دراسة إمكانية انتاج الأسمنت الأخضر لدرجات الحرارة الواطئة

*[١] ولاء طارق رضا، [١]رفعت عباس سلوم، [١]وليد خالد كاظم

[١] قسم مواد البناء، دائرة بحوث البناء، بغداد، العراق.

الخلاصة:

نظرا لاهتمام العالم بتقليل انبعاثات غاز ثاني اوكسيد الكاربون وتوصيات مؤتمر باريس للمناخ كان لابد من الاهتمام بالصناعات التي تؤدي الى إطلاق كميات كبيرة من هذا الغاز وفي مقدمتها صناعة الأسمنت. وكان لابد للعراق اسوة بدول العالم وضع استراتيجية لصناعة كلينكرأسمنت صديق للبيئة يمكن تطبيقها على مراحل، تمثل مرحلتها الاولى باستثمار وتطبيق البحوث المنجزة الخاصة بتصنيع نماذج من الأسمنت صديق البيئة وادخالها حيز التطبيق مثل بحوث انتاج الأسمنت الكلسي والأسمنت المخلوط والأسمنت البوزلاني. وتشمل مرحلتها الثانية ضرورة الالتزام الامثل للمواد الرابطة وعدم الافراط في استخدام الأسمنت والاستعاضة عنه ببدائل متاحة محليا مثل النورة والجص وغيرها خصوصا في اعمال انشائية لاتستوجب استخدام الأسمنت. اما المرحلة الثالثة في هذه الاستراتيجية تمثل بضرورة البدء بتجارب مختبرية لتحضير عينات مختبرية من الكلينكر بدرجات حرارة واطئة والذي قام بها فريق العمل يالرغم من عدم توفر المستلزمات الفنية من اجهزة علمية متطورة. وتم استخدام مواد اولية تضـاف الى حجـــــر الكلس مثل اوكسيد المغنسيوم وخام الاتـابلكـايت وحرق الخليط بدرجـات حـرارة واطئـة (١١٠٠- ١٣٥٠) م°. وبالرغم من عدم التوصل الى تحضير كلينكر نتيجة لعدم حدوث التفاعلات المطلوبة ولكنها خطوة بالاتجاه الصحيح.

الكلمات الرئيسية: أسمنت صديق للبيئة، أسمنت كلسي، أسمنت بوزولاني، الاتـابلكـايت، الأسمنت الأخضر.

* المؤلف المراسل: ولاء طارق رضا - eme.19.39@grad.uotechnology.edu.i

١ـ المقدمة:

يعتبر الأسمنت من أكثر المواد الخام اهمية في الحضارة الانسانية حيث يستخدم على نطاق واسع في كثير من عمليات البناء والتشييد وتوجد عدة انواع من الأسمنت ويتم استخدامها في عدد كثير من التطبيقات المهمة وأكثر انواع الأسمنت استخداما هو الأسمنت البورتلاندي [١].

الأسمنت هي المادة التي تمتلك خواص تماسكية (Cohesive) وتلاصقية (adhesive) بوجود الماء مما يجعله قادرا على ربط مكونات الخرسانة بعضها ببعض وتماسكها مع حديد التسليح وتحويلها الى وحدة كاملة مترابطة. والأسمنت له خاصية التجمد (setting) والتصلب (Harding) بفعل التفاعلات الكيميائية وبوجود الماء لذلك يعرف بالأسمنت المائيأ والهيدروليكي (cement hydraulic) اكتشف الأسمنت البورتلاندي (Portland cement) من قبل البناء الانكليزي جوزيف اسبيدن عام ١٨٢٤م وذلك بحرق خليط من الطين (Clay) والحجر الجيري الصلب (hard limestone) المسحوق ناعماً في الفرن وسمي بالأسمنت البورتلاندي نسبة الى جزيرة بورتلاند بإنكلترا التي تحوي أحجار البناء التي لها نفس لون وجودة الأسمنت البورتلاندي [٢].

تواجه صناعة الأسمنت تحديات عديدة في القرن بسبب استنفاذ موارد الوقود الطبيعي ونقص المواد الخام وزيادة الطلب على الأسمنت بشكل كبير والمخاوف البيئية بالمناخ حيث ينتج كل طن من الأسمنت البورتلاندي العادي كمية مكافئة من ثاني اوكسيد الكاربون في الغلاف الجوي.

لذلك فان الأسمنت المصنوع من المعادن المتاحة محلياً والنفايات الصناعية التي يمكن مزجها مع الأسمنت البورتلاندي كبديل او الاستبدال الكامل للكلنكر لتقليل متطلبات الطاقة امر مرغوب فيه بشدة لغرض الحد من استهلاك الطاقة وانبعاثات الكاربون اثناء تصنيع الأسمنت. حيث تقدر الابحاث ان العملية التصنيعية للأسمنت في العالم تسهم نحو ٥٪ من انبعاثات ثاني اوكسيد الكاربون ذي الاثار السلبية على البيئة والانسان وتسبب الكثير من الامراض حيث كلما زادت الانبعاثات زادت الاثار السلبية على البيئة والانسان لذلك اتجهت الابحاث لتوفير وانتاج أسمنت اقل تلوثا للبيئة وتوفير الطاقة [٣].

١ـ٢ـ صناعة الأسمنت وتاثيرها على البيئة: ـ

تعتبر صناعة الأسمنت من الصناعات التنموية والاستراتيجية وذلك لانها ترتبط مباشرة باعمال الانشاء والتعمير حيث يستخدم الأسمنت كمادة رابطة هيدروليكية من مواد البناء والخرسانة، وعادة ما تنشأ معامل الأسمنت بالقرب من المواد الاولية لتخفيض كلفة نقل المواد وتصنف صناعة الأسمنت من الصناعات الثقيلة والخطرة التي تتخوف الكثير من المنظمات الدولية البيئية من مخاطرها البيئية والصحية والتي تنتج عن تلوث الهواء خصوصا عندما تكون بالقرب من المناطق السكنية [٤].

ان الأسمنت المستخدم حاليا هو الأسمنت البورتلاندي بصوره المتعددة لذلك يجب معرفة طرق صناعته وانتاجه والتعرف على المواد الخام المستخدمة في انتاجه.

تنبعث الغازات من مجموعة متنوعة من الانشطة الصناعية والتي لاترتبط بالطاقة وان مصادر الانبعاث الرئيسية هي عمليات الانتاج الصناعي والتي تم فيها تحويل المواد بالطرق الكيميائية او الطبيعية وخلال هذه العملية تنبعث الغازات مثل غاز ثاني اوكسيد الكاربون، غاز الميثان وغاز ثاني اوكسيد النتروز والهيدروكاربونات المشبعة بالفلور. والذي يهمنا في موضوع دراستنا هذه هو غاز ثاني اوكسيد الكاربون الذي ينبعث في صناعة كلينكر الأسمنت حيث تكون كمية غاز CO_2 المنبعث بكمية ٤,٤٣٧ غيغا غرام، اضافة الى ان فوهات المداخن العملاقة الخاصة بمصانع الأسمنت تطلق غبار الأسمنت

والدخان وهذه هي المكون الرئيسي لتلوث البيئة وتسبب بامراض للعاملين بشكل خاص وعلى صحة الانسان المجاور لهم بشكل عام ومن هذه الامراض هي السعال وضيق النفس والربو وانتفاخ الرئة وتاثير على الاغشية المخاطية.

ان العمليات الصناعية الرئيسية التي تساهم في انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري في جمهورية العراق هي: -

١. انتاج الأسمنت.
٢. انتاج الجير.
٣. انتاج الامونيا.
٤. انتاج الحديد والصلب.

ان صناعة الأسمنت تمثل حاليا الصناعة الرئيسية المسببة في انبعاث غاز ثاني اوكسيد الكاربون لذلك فان مشروع جرد الغازات الدفينة لمساعدة العراق وتمكنه من اعداد الانشطة اللازمة تقديم ابلاغ الوطني الاول NC / لمؤتمر الاطراف COP وفقا لتوجيهات الامم المتحدة الاطارية بشأن تغيير المناخ بالاضافة الى ذلك فان هذا المشروع سبباً على تعزيز قدرة العراق على الوفاء بالتزاماته تجاه هذه الاتفاقية [٥].

١-٣- صناعة الأسمنت التقليدية: -

يصنع الأسمنت بخلط مواد كلسية مثل الحجر الجيري $CaCO_3$ اوالحجر الجيري الطباشيري(Chalk) مع مواد طينية مثل الأحجارالطينية الرخوة (Shale) أو الطين (Clay).

المكونات الرئيسية الداخلة في صناعة الأسمنت البورتلاندي [٢]:

١-أوكسيد الكالسيوم (CaO) وهذا يوجد في الحجر الجيري ($CaCO_3$) والحجر الجيري الطباشيري.
٢-ثاني اوكسيد السليكون أو السليكا (SiO_2) وهذا يوجد في الطين.
٣-الالومينا والحديد وهذه موجودة في الطين.
٤-المغنيسيا والقلويات (Alkalis) (الصوديوم، الكالسيوم، البوتاسيوم) والفوسفات وهذه موجودة في الطين.

يتم طحن وخلط المواد الأولية بصورة جيدة وبنسب محددة ومن ثم حرقها بفرن دوار كبير (Rotary kiln) قطره حوالي (٥م) وطوله (١٥٠م) بدرجة حرارة تتراوح بين (١٣٠٠-١٥٠٠) م°، حيث تنصهر المادة وتتكتل على شكل كرات صغيرة تعرف بالكلنكر (Clinker) ومن ثم يبرد الكلنكر ويطحن الى مسحوق ناعم بعد إضافة كبريتات الكالسيوم المائية ($CaSO_4.2H_2O$) والمعروفة بالجبس (Gypsum) ويرجع اللون الرمادي للاسمنت البورتلاندي ناتج عن وجود عنصر الحديد.

١-٣-١ طرق صناعة الأسمنت: -

١-الطريقة الرطبة (Wet Process)

يتم طحن ومزج المواد الأولية بوجود الماء وهذه الطريقة تستعمل عندما تكون نسبة الرطوبة في المواد الأولية عالية.

٢-الطريقة الجافة (Dry Process)

يتم طحن ومزج المواد الأولية بحالتها الجافة وهذه الطريقة تستعمل: -

* عندما تكون المواد الأولية صلدة لا تتفتت بالماء.
* في البلدان الباردة لمنع تجمد الماء في الخليط.
* في حالة شحة الماء اللازم لعملية الخلط.

يتم تصنيع الأسمنت وحسب مايلي: -

- تجميع المواد الخام الاساسية بالنسب المطلوبة وتسمى مرحلة الخلط.
- يتم اعادة طحن المواد الخام بعد خلطها في طواحين خاصة الى جزيئات لايزيد مقاسها عن ٧٥ % وتدعى مرحلة الطحن للمواد الأولية.
- بعد الطحن وتنعيم المواد الخام يتم دمجها ومزجها لتجانس المواد الخام في الخليط وتدعى مرحلة المزج والتجانس وهذه المرحلة هي التي يتم فيها اجراء التحاليل الكيميائية لضبط المكونات.
- حيث تخلط المواد وتحرق باستخدام فرن كبير يسمى بالفرن الدوار (rotary kiln) ذو شكل أسطواني مصنع من الحديد ومبطن من الداخل بمادة مقاومة للانصهار (طابوق ناري) يصل قطر الفرن الى (٨ أمتار) وطوله الى (٢٣٠متر) في الطريقة الرطبة، وفي الطريقة الجافة يصل قطره الى (٦ متر)، وطوله الى (١٠٥ متر) يدور ببطئ حول محوره الطولي والذي يميل قليلا عن الافق. يضخ النفط او الغاز الطبيعي من النهاية السفلى للفرن، بينما يتم تغذية المواد من النهاية العليا وأثناء حركتها نحو الاسفل ترتفع درجة الحرًارة تدريجيا وتعاني المواد سلسلة من التفاعلات الكيماوية: -

١- لغاية ١٠٠ م° تفقد المواد الاولية الماء الطليق.
٢- بين ١٥٠ -٥٠٠ م° يتم فقدان الماء المتحد كيميائياً.
٣- عند درجة حرارة ٦٠٠ م° يبدأ تحلل كاربونات المغنيسيوم الموجودة في حجر لكلس.
٤- عند درجة حرارة ٩٠٠ م ° يبدأ تحلل كاربونات الكالسيوم.
٥- مرحلة ذوبان المواد الرئيسية مثل أكاسيد الكالسيوم والألمونيوم والحديد في درجة حرارة (١٢٥٠ -١٣٥٠) م° والتى عندها بداية الانصهار.
٦- في مناطق الفرن السفلى حيث درجات الحرارة العالية (١٣٠٠-١٥٠٠) درجة مئوية تتحول من (٢٠–٣٠٪) من المادة الجافة إلى سائلة (انصهار)، وتتم إعادة اتحاد الجير(الكلس) والسليكا والالومينا وتكوين مركبات جديدة وهي:

١- سيليكات ثلاثي الكالسيوم S_3C
٢- سيليكات ثنائي الكالسيوم S_2C
٣- ألومينات ثلاثي الكالسيوم A_3C
٤- ألومينات حديد رباعي الكالسيوم AF_4C

وفي النهاية تتكتل المادة إلى كرات صغيرة قطرها (٣-٥ملم) تسمى الكلنكر ومن ثم يبرد الكلنكر ويطحن الى مسحوق ناعم بعد إضافة كبريتات الكالسيوم المائية ($CaSO_4.2H_2O$) والمعروفة بالجبس (Gypsum) وفائدته تنظيم زمن التجمد للاسمنت [٤].

١-٤ ماهو الأسمنت الاخضر المستخدم في البناء: -

مع الأخذ في الاعتبار ان تصنيع الأسمنت يؤدي الى إطلاق غازات تودي الى الاحتباس الحراري والى تلوث البيئة ولكن لايمكن ايقاف انتاجه ولايمكن تصورعالم بدون انتاج الأسمنت لذا يمكن ان يكون الأسمنت الاخضر هو الحل لخفض الانبعاثات الناتجة من عملية التصنيع التقليدية للأسمنت. ان اللون

الطبيعي للأسمنت هو الرمادي ويتراوح بين فاتح وغامق اللون اذن ماهو اللون الاخضر للأسمنت من الواضح ان لون الأسمنت تشير الى الفلسفة التي تكمن وراء مفاهيم تصميم الأسمنت الجديد.

الأسمنت الاخضر مفهوم يعبرعن استخدام مواد صديقة للبيئة في تصنيعه وانتاجه بأقل الانبعاثات للغازات الضارة للبيئة ويكون بذلك قد ساهم بتقليل التلوث البيئي والضوضاء ووصلنا الى بيئات ومجتمعات مستدامة وكلما زاد انتاج واستخدام الأسمنت الاخضر كلما قلت اضرار مصانع الأسمنت للبيئة والانسان [٦].

وهناك عدة محاولات لانتاج الأسمنت الاخضر والتي يعتمد معظمها على التطورات التكنولوجية والتي تشمل طرق وانتاج موفرة للطاقة ومخفضة لغاز ثاني اوكسيد الكاربون ومن هذه الانواع هي [٧]:

١-**أسمنت ايكو ماكس**: - هو نوع من انواع الأسمنت الاخضر الذي تنتجه شركة ستراتيك في الولايات المتحدة ويتكون من ٩٥٪ رماد متطاير و٥٪اضافات سائلة.

٢-**أسمنت اوكسي كلوريد المغنسيوم**: هو سمنت صديق للبيئة ومحايد للكاربون ويتم انتاجه من مسحوق اوكسيد المغنسيوم ومحلول مركز من كلوريد المغنسيوم حيث ان هذه منتجات ثانوية من تعدين المغنسيوم، يتمتع هذا النوع بقوة ضغط كبيرة ويمتص اوكسيد المغنسيوم ثاني اوكسيد الكاربون من الغلاف الجوي ولكن الماء يقلل من قوته ويمكن المعالجة عن طريق ادخال ١٥٪ من الرماد المتطاير ونفس الكمية من دخان السليكا.

٣-**أسمنت جويوليمر**: - يتم انتاجه من الالومينو سليكات بدلا من اوكسيد الكالسيوم الاكثر ضرارا بالبيئة حيث يتم الحصول على سليكات الالمنيوم من المنتجات الثانوية الصناعية مثل الرماد المتطاير.

يكون هذا الأسمنت منافساً للأسمنت البورتلاندي العادي من حيث الاداء والتكلفة وينبعث منه ٩٥٪ اقل من ثاني اوكسيد الكاربون مقارنة بالأسمنت البورتلاندي العادي.

٤-**الأسمنت الحديدي**: - يتم تصنيعه عن طريق خلط السيليكا والحديد وهما نفايات من منتجات صناعة الصلب والزجاج كما يتم معالجة خليط هذه المواد باستخدام ثاني اوكسيد الكاربون وبالتالي من المحتمل ان يصبح مادة سالبة للكاربون حيث اخترع العلماء في جامعة اريزونا الخرسانة الحديدية.

٥-**أسمنت سلفو الومينات الكالسيوم**: -هذا النوع من الأسمنت يتم انتاجه بفرن ذي حرارة١٢٣٢,٢ درجة مئوية بدلا من الفرن المستخدم للأسمنت التقليدي ونتيجة لذلك سيتم إطلاق كمية اقل من ثاني اوكسيد الكاربون في الغلاف الجوي، حيث يتماسك أسمنت سلفو الومينات الكالسيوم بسرعة عن الخرسانة التقليدية وهذا هو السبب في استخدامه في المشاريع التي يحتاج الى خرسانة سريعة التصلب مثل أسطح الجسور ومدارج المطارات.

٦-**الأسمنت الكاربوني المحجوز**: -انتجت شركة كاليرا كورب في كاليفورنيا الأسمنت من مياه البحر او محلول ملحي ممزوج بثاني اوكسيد الكاربون والذي يمكن استخدامه كبديل للأسمنت البورتلاندي. حيث انه في عملية انتاجه يتم ترشيح الغازات الغنية بثاني اوكسيد الكاربون من خلال مياه البحر ويتم تجريد الكالسيوم والمغنسيوم من مياه البحر ويتفاعلان مع ثاني اوكسيد الكاربون لانتاج أسمنت عالي الجودة وهو ابيض ومنفذ للهواء واقوى من الأسمنت العادي.

٧-**انتاج أسمنت باستخدام بخار شديد السخونة**: - يمكن استخدام عملية البخار المحمص لتغيير جزيئات الأسمنت وجعلها أكثر تفاعلا وفي هذه العملية يمكن التقاط ثاني اوكسيد الكاربون المنبعث بعد فصله.

٨-**الأسمنت المنتج بتكثيف المرحلة السائلة المائية الحرارية التفاعلية**: - يتم انتاج هذا النوع باستخدام نفس المواد الخام مثل الأسمنت البورتلاندي العادي ولكن عند درجات حرارة منخفضة ومن خلال تفاعل كيميائي مختلف ينتج عنه كمية اقل من ثاني اوكسيد الكاربون. حيث يتم خلطه مع الماء وثاني

اوكسيد الكاربون يتفاعل معهم لانتاج كربونات الكالسيوم والسيليكا. يتم انتاج هذا النوع من الأسمنت الاخضر بواسطة شركة سوليديا تكنولوجي ومقرها الولايات المتحدة ولديها شراكة مع شركة لافارج لتسويق تكنولوجيا انتاج هذا الأسمنت.

١-٥ مزايا الأسمنت الاخضر المستخدم في البناء: -

١- يخفض انبعاثات ثاني اوكسيد الكاربون لانه لايتطلب قدرا كبيرا من الوقود اثناء انتاجه حيث يصل الى ٨٠٪ اقل انتاجا من غاز ثاني اوكسيد الكاربون.
٢- يستخدم النفايات الصناعية مثل الرماد المتطاير ودخان السليكا فهو يحمي الارض من ان تصبح مقبرة للنفايات.
٣- يقلل من استخدم الطاقة لانتاجه.

١-٦ الدراسات والبحوث السابقة: -

يعتبر الأسمنت من أكثر المواد تعقيدا في علم المواد في بنيتها وتركيبها والتفاعلات التي تحدث جراء خلطها بالماء ثم صبها في قالب، يقول ((هاملن جنجر مدير مركز استدامة الأسمنت CSHUB)) بمعهد تكنولوجيا ماسانوتش في كمبريدج مازالت امامنا عدة اسئلة اساسية تتعلق بالأسمنت لابد من الاجابة عليها، ورغم ذلك فان احتمال فرض ضريبة كاربونية واسواق مقايضة انبعاثات الكاربون (في ضوء تحديد الحصص).

قاد المجموعات الصناعية في العالم التي تبني مبادرات أسمنتية خضراء او مستدامة وتتراوح هذه المقاربات بين دعم البحث الاساسي ودفع الجهود نحو اصلاح معايير البناء الدولية وقد يكون نجاحها كفيلا لتخفيض نصف انبعاثات الكاربونية الحالية.

ان مركز استدامة الأسمنت أحد أكبر مراكز البحث الاكاديمية في هذا المجال وقد تاسس في ٢٠٠٩ بتمويل من رعاة الصناعة بمبلغ ١٠ ملايين دولار خلال خمس سنوات ويتالف الان من ١٢ باحثا يسعون لفهم الأسمنت بكل مافيه من وظائفه وحتى خصائصه الكمية الميكانيكية، حيث قام (العالم جنجر) بالاخذ في الاعتبار مايحدث بها على المستوى الجزئي منذ صنع الأسمنت وهو مزيج غريب [٨].

ان عملية تصنيع الأسمنت من خليط حجرالكلس والاطيان والتي تتفاعل مع بعضها بدرجة حرارة ١٥٠٠م° حيث يفقد حجر الكلس غاز ثاني اوكسيد الكاربون وهذا الغاز مصدر مهم للانبعاثات في هذه العملية بينما الوقود المستعمل لتسخين الافران هو المصدر الاخر.

يقول العالم (بيلنيك) انه رغم كل التحديات زملائه في مركز (استدامة الأسمنت) يحرزون تقدما على صعيد مشكلة الانبعاثات الكاربونية، ويتضمن أحد خطوط المعالجة ايجاد طرق لتخفيض حرارة الحرق وبالتالي حرق كمية اقل من الوقود والهدفان الرئيسيان هما: -

معدنان من المعادن الاساسية في كلينكر الأسمنت المعدن الاول حـــر (الايت) سليكات ثلاثي الكالسيوم C_3S (Ca_3SiO_2) والمعدن الثاني (يلايت) سليكات ثنائي الكالسيوم C_2S (Ca_3SiO_4). المعدن الاول C_3S هو أكثر تفاعلا ويبدأ بالجفاف خلال ساعات من اضافة الماء ويعطي الخرسانة قوتها الابتدائية، ويطلب الايت C_3S درجة حرارة ١٥٠٠ م° ليتشكل. بينما اليلايت C_2S يشكل بدرجة حرارة ١٢٠٠ م° وهو اقوى ولكنه يحتاج اياما وشهورا ليتصلب وهي فترة طويلة لاتسمح باستخدامه وحده في مشاريع البناء [٨].

ويبحث (بيلنيك) وزملاءه فيما إذا كانت بنية بعض بلورات اليلايت C_2S تفاعلية مثل اللايت C_3S وامكانية تشكيلها في درجات حرق اقل لتوفر بذلك بعض الوقود ام لا، ويقول ان جواب هذا السؤال يعتمد على تفاعل بالمستوى الذري مثل توزيع الالكترونات في البلورة حيث قام الباحثون بحسابات كمية ميكانيكية لتاثير بنية هايدرات سليكات الكالسيوم بالالمنيوم والمغنسيوم وشوائب أخرى.

يقول (بيلنيك)، كي نتمكن من هندسة كلينكر الأسمنت كما ينبغي، علينا تتبع الالكترونات، وجد الباحثون في مركز (استدامة الأسمنت) ان بلورات اللايت C_3S تحتوي على سطح يذوب بسهولة في الماء اكثر من غيره بينما في بلورة اليلايت C_2S كل المستويات متشابهة والبلورات اقل تفاعلا مع الماء لهذا يتصلب اليلايت ابطأ من اللايت. لذلك يقول (بيلنيك) ان النتائج تدل على انه يمكن لشوائب كالمغنسيوم المساعدة في جعل اليلايت أكثر ذوبانا في الماء مما قد يتيح تصلبه بسرعة تكفي لاستخدامه كمادة اساسية في أسمنت البناء.

ان التحرك باتجاه يلايت C_2S في درجات حرارة مخفضة قد يخلق مشاكل فقد وجـد (فرنز جوزيف) وفريقه في مركز استدامة الأسمنت ان طحن اليلايت الى مسحوق يحتاج الى طاقة أكثر باربع الى تسع مرات مما يحتاجه اللايت مما قد يقلل منافع تقليل الانبعاثات المأمول تحقيقها باستخدام كلينكر أسمنت غني بمعدن اليلايت [٨].

وهناك اخرون يبحثون عن بدائل منهم شركة "سيراتيك" في فرجينيا من الشركات المتخصصة في تقديم بدائل عن الأسمنت التقليدي، وقد استخدمت نوعا من البوزلانا الصناعية وهو الرماد المتطاير الذي يتم تجميعه بواسطة مرشحات خاصة من غازات الاحتراق في محطات توليد الطاقة الكهربائية عن طريق حرق الفحم، حيث يكون هذا الرماد ناعما جدا، ويتم التخلص من هذا الرماد في مكبات النفايات، وقد استفادت شركة سيراتيك من هذا الرماد ومزجته ببعض الإضافات الخاصة لإنتاج نوع من الأسمنت هو اسمنت احادي الكاربون.

كذلك سعى فريق من الباحثين الأستراليين إلى إنتاج خلطة جديدة من الأسمنت، وذلك باستخدام أكسيد المغنيسيوم مع "أسمنت بورتلاند" ليحل مكان جزء من الحجر الجيري، وبالتالي تنخفض درجة حرارة فرن التسخين إلى نحو سبعمائة درجة مئوية، والتي يمكن الحصول عليها من خلال حرق الوقود الحيوي وبعض أنواع الوقود الأخرى ذات الانبعاثات الكربونية القليلة [٩].

وبالرغم من أهمية هذا المقترح، فإنه سرعان ما تبين عدم جدواه في تقليل الانبعاثات، إذ إن عملية إنتاج أكسيد المغنيسيوم تتم من خلال تسخين كربونات المغنيسيوم، وهذه العملية تتسبب في انبعاث كميات كبيرة من الغاز الكربوني، وقد اقترح الباحث "نيكلوس فسابلوس" من كلية أمبريال في لندن استخدام سيليكات المغنيسيوم الخالية من مركبات الكربون، كما طور عدد من المركبات الكيميائية التي يمكن أن تخلط مع الماء و"أسمنت بورتلاند" واستخدم أيضا غاز ثاني أكسيد الكربون في صناعة أسمنت جديد.

أما في كاليفورنيا، فتسعى شركة "كاليرا" إلى استخدام غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعث من محطات توليد الطاقة الكهربائية في صناعة الأسمنت من خلال خلط هذا الغاز مع المياه المالحة لإنتاج الكربونات اللازمة لصناعة الأسمنت، حيث سيقلل من كمية الحجر الجيري المستخدمة.

وقد تمكن باحثون في جامعة هاله الألمانية بالتعاون مع آخرين من "الجامعة الفيدرالية" في مدينة بيليم البرازيلية، من التوصل إلى بديل جديد للإسمنت، يمتاز بأنه "متماسك تماماً" و"صديق للبيئة"، كما جاء في دراسة نشرتها جامعة هاله.

يقوم الباحث فيما رانجان منذ عام ٢٠٠١ عدة دراسات على المواد ليكون نوع جديد من الأسمنت، ويشير الباحث الى ان الأسمنت الرمادي يكون انبعاثات كاربونية جراء تقترب الى الصفر ومقاومة الانضغاط عالية ومن سلبياته هو الاحتياج الى كميات كبيرة من المحلول القلوي لاجراء التفاعل وربما صعوبة توفيرها على المدى القريب [١٠].
وقام مجموعة من الباحثيين في عام ٢٠١٥ باستبدال ١٥٪ من الأسمنت بمادة حجر الكلس لتصنيع الأسمنت المخلوط الاقل انبعاثا للغازات [١١].

٢- الهدف من البحث: -
ان صناعة الأسمنت من الصناعات المهمة وهي المسؤولة وحسب تقارير الامم المتحدة عن انبعاث الغازات الضارة وعن الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي لذلك يجب وضع استراتيجية وطنية لصناعة الأسمنت الاخضر في العراق تمهيدا لتوصيات مؤتمر باريس للمناخ.

٣-استراتيجية انتاج الأسمنت الاخضر في العراق: -
ويتضمن المحاور التي يجب تطبيق الاستراتيجية عليها وكما يلي: -
٣-١ تطبيق البحوث المنجزة محليا:
ان تشجيع صناعة مواد رابطة بديل الأسمنت تعتبر من العوامل المهمة التي تؤدي الى تقليل كلف بناء الوحدات السكنية لذلك هناك عدة بحوث ودراسات حول انتاج بدائل جيدة وناجحة للأسمنت ومنها:

٣-١-١ الأسمنت المخلوط: -
يعرف الأسمنت المخلوط على اساس كونه أسمنت هيدروليكي مكون بشكل اساس من خليط مواد متوافقة ومتجانسة يمكن انتاجها عن طريق طحنها مع كلنكر الأسمنت البورتلاندي او خلطه مباشرة مع الأسمنت البورتلاندي العادي، ويعد الأسمنت الكلسي أحد انواع الأسمنت المخلوط اما انواع مضافات المخلوط هي [١١]: -
ا-الخبث: يضاف خبث افران الحديد والصلب والذي يكون على شكل حبيبات الى كلنكر الأسمنت اثناء الإنتاج.
ب-الرماد المتطاير: الناتج من عمليات حرق الفحم في مشاريع الطاقة.
ج- ابخرة السليكون: والتي هي ناتج عرضي لعمليات انتاج السليكون الغازي مع سبائك الحديد والسليكون.
د- البوزولانا: - وهي سليكات الومينات الكالسيوم (طبيعية او صناعية) وهي من المواد البوزولانية، وهي الناتج العرضي لمعامل الطابوق او الطين المحروق بدرجة ٨٠٠ درجة مئوية او الكاؤولين الملون المحروق بدرجة حرارة ٧٠٠ درجة مئوية وتضاف كل على حده بنسبة ٣٠-٤٠ % الى الكلنكر المنتج بطرقة تقليدية ليكون مركبات بخواص أسمنتية وتقليل الانبعاثات من غاز ثاني اوكسيد الكاربون.
و- حجر الكلس: مسحوق حجر الكلس وهو اساس موضوع دراستنا يضاف الى الأسمنت الى حد ونسب معينة لتقليل الاماهة دون التاثير على خواص الأسمنت.

٣-١-٢الأسمنت الكلسي: -

هو أحد انواع الأسمنت المخلوط، وأحد بدائل الأسمنت البورتلاندي العادي في البناء، وتوفير الاخير للاستعمالات الاخرى التي تتطلب قوة تحمل عالية، حيث يمكن استعمال أسمنت البناء الكلسي لاغراض اللبخ والربط.

لقد أستخدمت بعض الدول الصناعية هذا الاسلوب في زيادة الطاقة الانتاجية للأسمنت وايجاد انواع منه عن طريق استخدام مواد اولية محلية واستخدام كل نوع في الغرض والمكان المناسب له. ففي بريطانيا يضاف الجير الحي الى الأسمنت بنسبة ٢٥ % وزناً، وفي سويسرا يضاف بنسبة (٦٠-٥٠) %على التوالي [١٢].

أ - المواد الاولية المحلية:

تضاف عدة مواد محلية الى الأسمنت البورتلاندي لصناعة هذا النوع من الأسمنت ومن هذه المواد:

- حجر الكلس
- الجير المطفأ
- الرمل

وهي مواد أولية محلية متوفرة بأحتياطات كبيرة حيث يتكون حجر الكلس المستخدم في الصناعة بصورة رئيسية من كاربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) مع نسبة قليلة من اوكسيد السيليكون (SiO_2)، اما الرمل المستخدم فيتكون اساساً من ثاني اوكسيد السيليكون (SiO_2) وكذلك يحتوي الفلدسبار (Feldspar) على كاربونات الكالسيوم بنسب قليلة، والجير المطفىء فيتكون بشكل اساسي من هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$.

ب - المكونات الاساسية لأسمنت البناء الكلسي:

على ضوء النتائج المتحققة من التجارب والدراسات والبحوث التي اقيمت في مركز بحوث البناء يتبين انه يمكن اضافة ٥٠٪ وزناً من حجر الكلس كذلك ٣٠٪ وزناً من الجير المطفىء الى الأسمنت البورتلاندي، والأسمنت الناتج (المخلوط) يقع ضمن المواصفات الامريكية بهذا النوع من الأسمنت وذلك من ناحية الخواص الفيزياوية. علماً ان اضافة نسب من حجر الكلس والجيرالمطفىء يعتمد على نوعيات هذه المضافات مع نوع الأسمنت البورتلاندي [١٢].

تحديد نوعية مكونات الأسمنت الكلسي:

يمكن تحديد مكونات أسمنت البناء من خلال منحنيات الاشعة السينية فعلى سبيل المثال ان الأسمنت الكلسي المتكون من اضافة ٥٠٪ من حجر الكلس يتكون من $CaCO_3$ وسليكات ثلاثي الكالسيوم C_3S وسليكات ثنائي الكالسيوم C_2S والومينات ثلاثي الكالسيوم C_3A وكذلك يحتوي على كبريتات الكالسيوم المائية $CaSO_4.2H_2O$.

المركبات الناتجة من تفاعل أسمنت البناء الكلسي مع الماء:

المركبات الناتجة من تفاعل سمنت البناء الكلسي (٥٠ % حجر الكلس + ٥٠٪ الأسمنت البورتلاندي العادي وزناً + ماء).

* تكون نتيجة تفاعل أسمنت البناء الكلسي مع الماء هي:

كاربونات الكالسيوم $CaCO_3$

سليكات الكالسيوم المائية C-S-H
الومينات ثلاثي الكالسيوم المائية C_3AH_6
كبريتات الومينات الكالسيوم المائية $C_3A.3CaSO_4.2H_2O$
كاربونات الومينات ثلاثي الكالسيوم المائية $C_3A.CaCO_3.12H_2O$

أما طور $C_2S\beta$ فتنخفض كميته بمرور الوقت من عمر تصلب الأسمنت وهذا مردوده الى ان C_2S تقل كميته نتيجة لتفاعله وبشكل بطيء مع الماء (سمنت البناء الكلسي).

* اما أسمنت البناء الكلسي المتكون باضافة الجير المطفأ وبنسبة ٢٠٪ الى الأسمنت البورتلاندي مع اضافة الماء.

سليكات الكالسيوم المائية C-S-H
هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$
الومينات رباعي الكالسيوم المائية C_4AH_{13}
سليكات ثنائي الكالسيوم $C_2S\beta$

وكذلك نسبة ضئيلة من كبريتات الومينات ثلاثي الكالسيوم المائية $C_3A.3CaSO_4.32H_2$

ج- استعمال أسمنت البناء الكلسي كمادة رابطة ومادة لبخ:

لأجل تبيان صلاحية أسمنت البناء في عمليات اللبخ وربط الطابوق، تم بناء جدارين من الطابوق، استعمل في الجدار الاول أسمنت البناء الذي يدخل في تركيبه حجر الكلس بنسبة ٥٠٪ وفي الجدار الثاني أسمنت البناء الذي يدخل في تركيبه الجير المطفأ بنسبة ٢٠٪ وزناً وتجدر الاشارة الى ان عملية خبط مونة الأسمنت تمت يدويا، سواء بعد خبطها وهي جافة أوبعد اضافة الماء اليها. واستمرت عملية الخبط ثلاثة دقائق لكلا النوعين. وبعد اتمام عملية البناء واللبخ، تم رش الجدارين بالماء لمدة ثلاثة ايام متتالية وذلك بغية خلق مناخ رطب للمواد الرابطة لتأخذ مجراها الطبيعي من ناحية التفاعلات الكيمياوية والتغيرات الفيزياوية، حيث ان المناخ الرطب يساعد على تفاعل مكونات الأسمنت وتكوين مركبات ذات صفات أسمنتية تعطي مقومات الصلابة والثبات.

في غضون سبعة أشهر من تاريخ بناء الجدارين، لم يلاحظ أي تشقق للمواد الملبوخة، كما وان ألتصاقها بالجدار كان جيداً، حيث تم القيام بهذه التجربة الحقلية في مركز بحوث البناء عام ١٩٨٢ بعد التوصل الى الاستنتاجات المثلى في بحث أسمنت البناء الكلسي [١٢].

د- دراسة الجدوى الاقتصادية لانتاج أسمنت البناء الكلسي:

يعتبر الجانب الاقتصادي أحد المؤشرات المهمة الذي بموجبه يحدد اخراج أي بحث الى حيز التطبيق المعملي، وبالتالي توفير نوع جديد من الأسمنت الواطىء الكلفة، يمكن استخدامه بصورة مباشرة في بناء بيوت واطئة الكلفة كبديل عن الأسمنت الاعتيادي عالي الكلفة. حيث يمكن تقليل كلفة انتاج هذا النوع من الأسمنت بنسبة ٤٠٪ مقارنة بالأسمنت البورتلاندي العادي.

وعلى كل حال تم انتاج هذا النوع من الأسمنت في معامل الشركة العامة للأسمنت الجنوبية والوسطى والشمالية لكن مع الاخذ بنظر الاعتبار ان نسبة اضافة حجر الكلس او الجير المطفأ الى الأسمنت البورتلاندي تعتمد على التحاليل الكيميائية للأسمنت والحجر والجير المطفأ.

وقد قامت شركة لافارج الفرنسية بعد استثمار معامل طاسلوجة وبازيان في شمال العراق بانتاج وجبات من الأسمنت الكلسي.

٣-١-٣الأسمنت البوزلاني: -

هو نوع من انواع الأسمنت ينتج من طحن خليط من الكلينكر البورتلاندي العادي مع مواد فعالة او مزجها معا وذلك بعد طحن كل منها على انفراد تضاف هذه المواد الفعالة الى كلينكرالأسمنت البورتلاندي وهي كما يلي: -

طابوق محروق نسبة ٣٠-٢٥ %

صخور رسوبية نسبة ٣٠-٢٠٪

صخور بركانية نسبة ٤٠-٢٥٪

أ - استعمالات الأسمنت البوزلاني:

يمكن استعمال الأسمنت البوزلاني في الاماكن التي تتطلب مقاومة الاملاح وتيار الماء وكذلك في الصبات الكونكريتية السميكة لما يملكه من قابلية عالية من ناحية (Plasticity deformation) [١٣].

ب- المواد الاولية:

يمكن استخدام المواد المتوفرة في بعض الصناعات المحلية مثل الناتج العرضي لمعامل الطابوق (طابوق الكسر، الطابوق المصخرج، الطابوق غير مكتمل الحرق) وكذلك الطين المحروق بدرجات حرارة مخفضة وكذلك اطيان الكاؤولين الملون والمواد الرسوبية الحاوية على السليكا الفعالة نسبة ٥٨% [١٣].

علما ان المواد الاولية الطبيعية مثل الكاؤولين الملوم يتواجد في منطقة دويخله اما المواد الرسوبية التي تحوي على السليكا الفعالة تم اكتشافها في منطقة زرلوق بالقرب قره تبة (طوزخرماتو).

ج- تحضير المواد الاولية:

يتم تهيئة البوزلانا بحرق المواد الاولية وحسب نوعها وكما يلي: -

الطابوق الاحمر غير المفخور	يحرق بدرجة ٦٠٠م°
الطابوق الكسر	يحرق بدرجة ٩٥٠ م°
الطابوق المصخرج	يحرق بدرج حرارة ١١٠٠ م°
الكاؤولين الملون	يحرق بدرجة (٦٠٠,٧٠٠,٨٠٠) م°
الاطيان	يحرق بدرجة ٨٠٠ م°

٣-٢ استخدام بدائل الأسمنت من المواد الرابطة:

ان من البدائل التي كانت تستخدم هي الجص والنورة وقد أصبح استخدامها قليل جدا في اعمال البناء حيث اتجه المواطن الى استخدام الأسمنت وسوف يتم التطرق اليها بشكل مفصل.

٣-٢-١ الجص:

يستخدم الجص كمادة رابطة للبناء، ويحضر من حرق الجبس وهو مسحوق كبريتات الكالسيوم المائية $CaSO_4.2H_2O$ لازالة قسم أوجميع ماء تبلوره. في درجات الحرارة العالية يفقد الجبس كل ماء تبلوره مكوناً جبس مكلسناً لامائياً Anhydrous Calcined Gypsum، ويفقد ثلاثة أرباع ماء تبلوره في درجات حرارة أوطى من الاول مكوناً جبساً مكلسناً حاوياً على نصف جزيئ ماء (Hemihydrate Calcined Gypsum) ($CaSO_4.1/2H_2O$) وعندما يضاف الماء اليهما لتكوين مادة البياض فانهما

سوف تتفاعلان مرة ثانية مع الماء المضاف مكونان كبريتات الكالسيوم المائية ($CaSO_4.2H_2O$) على شكل بلورات صغيرة متماسكة تعطي هذه المادة الرابطة الصلادة الكافية [١٤].

أ- صناعة الجص:

يتم انتاجه في القطاع الخاص حصراً وتبلغ الطاقات القائمة للمعامل المسجلة لدى التنمية الصناعية حوالي ٦ مليون طن، اضافة الى معامل صغيرة غير مسجلة.

أما واقع حال هذه المعامل بعد سنة ٢٠٠٣ وطاقاتها الانتاجية فغير معروف على وجه الدقة.

تتواجد ترسبات الجبس في الطبيعة على شكلين هما:

- ترسبات الجبس الاولي (الصخور الجبسية): والتي تمتاز بنقاوتها العالية جداً، لان نسبة كبريتات الكالسيوم في مكوناتها تزيد على ٩٠ % ويميل الجص المنتج من هذه الترسبات الى اللون الابيض المائل الى الرصاصي وذلك لوجود آثار من الشوائب في المادة الاولية وهذا النوع من الجبس يتواجد في الجزء الشمالي والشمالي الشرقي من العراق [١٤].
- ترسبات الجبس الثانوي (القشرة الجبسية): تمتاز باحتوائها على كميات كبيرة من الشوائب تتراوح ما بين (٤٠ -٣٠) % وان هذه الزيادة من الشوائب تتكون في الطبيعة بفعل الخاصية الشعرية لهذه الترسبات خلال طبقات الرمل والحصى والطين، ولهذا يميل لون الجص المنتج من هذا الجبس الى ألوان مختلفة منها الرصاصي والوردي والبني، ويتواجد هذا النوع من الجبس وسط وجنوب غرب العراق.

وتشير الدراسات والبحوث التي قامت بها مديرية الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين الى ان هذا الجبس الثانوي غير صالح لصناعة الجبس كماً ونوعاً، عدا منطقة وشيل في محافظة كربلاء. من الناحية الكمية فان تواجدها يكون عادة بصورة سطحية حيث يغلب عليها طابع الترسيب المتقطع لذا فانه يختفي سطحياً في موقع ويظهر ثانياً في منطقة متاخمة اخرى وهو بالاحرى عدسي الترسيب حيث يتراوح سمكه ما بين عدة سنتمترات ولغاية متر، ونادراً ما يزيد على متر ونيف، اما طوله سطحياً يبلغ عدة مئات من الامتار، وخاصية الترسيب المتقطع هي الخاصية البارزة التي تميزها عن الجبس الاولي، اما نوعاً فان تواجد الشوائب في الجبس الثانوي له تأثير سلبي على خواص الجص المنتج.

يوجد الجبس الثانوي مخلوطاً مع التربة بشكل قشرة جبسية تنتشر سطحياً بمساحات واسعة في مناطق بيجي والفلوجة وسامراء وكربلاء والنجف والزبير، وتتغاير نوعية القشرة الجبسية من منطقة الى اخرى اعتماداً على نسبة الجبس الى الشوائب

ب- تراجع استخدام الجص في البناء العراقي:

قبل انتاج الأسمنت العراقي في الاربعينيات لم تكن مادة الأسمنت شائعة الاستعمال وكان الجص يستعمل كمادة رابطة للطابوق أو الحجر في بناء الجدران والسقوف غير ان ازدياد انتاج مادة الأسمنت بصورة مستمرة جعل الناس يفضلون استخدامها كمادة رابطة بدلاً من الجص في بناء الجدران وغيرها.

كانت مادة الجص تنتج في القطاع الخاص بنوعيات رديئة جداً، ثم قامت المؤسسة العامة للصناعات الانشائية بانتاج هذه المادة وبمواصفات فنية عالية مطابقة للمواصفة العراقية القياسية رقم ٢٨ لسنة ٢٠١٠.

والمشكلة الآن ان المواطن العراقي قد تعود على استخدام الأسمنت بل المهندس العراقي والحرفي وعمال البناء قد تعودوا على استعمال الأسمنت وان اعادة استخدام الجص بحاجة الى ستراتيجية تعتمدها الدولة خصوصاً في دوائر القطاع العام وعلى كل حال فان الجص من المواد المناسبة لاستخدامها في بيوت واطئة الكلفة بالمقارنة مع الأسمنت.

ج - تحسين خواص جص القطاع الخاص:

بينت البحوث التي تم اجرائها في مركز بحوث البناء الى امكانية تحسين خواص الجص المنتج من الجبس الثانوي في مناطق وسط وجنوب البلاد، ووجد من خلال التجارب الاولية التي اجريت على هذا الجص، انه بالامكان تقليل نسبة المكونات غير المرغوبة (الشوائب) الموجودة في الجبس الثانوي وذلك باضافة كمية من الجبس الاولي الى الجبس الثانوي بنسبة (٧٠-٣٠)% (وزناً) حيث ان اضافة كمية من الجبس الاولي الى الجبس الثانوي ادى الى زيادة نسبة الكبريتات من ٣٤% الى ٤٢% ، اضافة الى استخدام درجة حرارة حرق ١٨٥±٥ م° بزمن استبقاء يصل الى ٣,٥ ساعة .

ان استبدال جص المعامل الاهلية (قبل التحسين) بالجص الذي تم تحسينه سوف يوفر مبالغ طائلة لما يسببه الاول من اندثار سريع للمباني والوحدات السكنية التي تستعمل هذا النوع من الجص والذي لايختلف عن التراب العادي كثيراً وكذلك سوف يكون عامل مشجع لاستخدام الجص كبديل ناجح ورخيص للأسمنت البورتلاندي العادي [١٤].

٣-٢-٢ النورة (الجير):

تعتبر النورة من أقدم المواد التي استخدمها الانسان كمونة للبناء وتدل آثارها الباقية لقرون متوالية على قوة البناء والربط. لكن أدى ظهور الأسمنت الى انحدار استخدامها بسبب وفرته وقوته العالية وتصلبه السريع. كما ان توفر مادة الجص ورخص ثمنها ادى أيضاً الى االتقليل من استخدامات مادة النورة رغم توفر الخام اللازم لانتاجها.

ان لمادة النورة استخدامات عديدة فمنها يستخدم في صناعة الطابوق الجيري حيث تدخل النورة الحية بنسبة ١٠٪ وكذلك تدخل في صناعة الثرمستون وامكانية استخدامها في عملية اللبخ والربط، وفي هذا الاستخدام الاخير يمكن اضافة مواد اخرى تؤدي الى تحسين خواصها، وقد تتفوق هذه المونة المحسنة الخواص على مونة الأسمنت البورتلاندي الاعتيادي بمزايا عديدة منها:

- قلة التشققات التي تظهر على سطحها لدى استخدامها في اللبخ.
- تمتاز بالنعومة والمرونة العالية.
- سهولة دخولها في الكتل والوحدات البنائية.
- قوتها العالية بعد التصلب.

ان استخدام النورة كجزء من مكونات المونة الاعتيادية يوفر لنا استهلاكاً عالياً لهذه المادة كما انه يوفر في الوقت ذاته تقليصاً في استخدام الأسمنت الذي يهدر بصورة كبيرة الآن، ويعد ذلك مهماً من الناحية الاقتصادية، وخصوصاً في تقليل كلف البناء [١٥].

٣-٢-٢-أ المواد الاولية المستخدمة في تحسين خواص النورة:

المواد الاولية المضافة الى النورة، لصناعة بدائل عن الأسمنت ويستعمل للبخ والربط، متوفرة حالياً ومنها:

- الأسمنت البورتلاندي
- النورة المطفأة
- الغبرة (الجير المطحون)

٣-٢-٢-ب الأسمنت المخلوط مع النورة:

هو خليط من الأسمنت مع النورة المطفأة، فبعد اختبار عدة خلطات، واختبار خواصها المختلفة وبالمقارنة مع خلطة مرجعية بدون نورة، حيث تبين انه بالامكان انتاج أسمنت كلسي كأحد انواع الأسمنت المخلوط، بخلط الأسمنت البورتلاندي مع النورة المطفاة وبنسب تصل الى ٣٠٪ علماً ان النورة المطفاة ذات طبيعة تصلب بطيء مقارنة بالأسمنت البورتلاندي الاعتيادي [١٥].

د - الأسمنت المخلوط مع الغبرة:

تم اجراء تجارب بخلطات عديدة للأسمنت مع الغبرة (الحجر الجيري المطحون) لاعداد أسمنت مخلوط وتم اختبار خواص هذه الخلطات وتم التوصل الى نتائج مشجعة في حالة خلط الأسمنت البورتلاندي مع ٢٠٪ من الحجر الجيري المطحون تقع ضمن مواصفات هذا النوع من الأسمنت، حيث ان زيادة نسبة الغبرة تؤدي الى التقليل من مقاومة الانضغاط للأسمنت، وذلك لأن الحجر الجيري مادة خاملة ليس فيها اي مركبات رابطة [١٥].

٣-٣ تجارب مختبرية لتحضير عينات من كلينكر الأسمنت بدرجات حرارة واطئة:

٣-٣-١ المواد الاولية:

١- حجر الكلس: هو عبارة عن مركبات كاربونات الكالسيوم بالصيغة الكيميائية ($CaCO_3$) أصله رسوبي وهو أحد المواد الخام الاولية الاساسية التي تدخل في صناعة الأسمنت البورتلاندي. استخدم في البحث وتم جلبه من معامل الأسمنت الجنوبية وعلى شكل صخور وتم طحنه بصورة جيدة بطاحونة الطرد المركزي نوع (Herzog) وتمت غربلة الناتج على منخل رقم ٢٠٠ وتم اجراء التحليل الكيميائي وكانت النتائج حسب جدول التالي:

جدول رقم (١): التحليل الكيميائي لحجر الكلس المطحون

نسبة الاكاسيد %	النتائج
L.O.I	٣٩,٩٧
SiO_2	٣,٥٩
AL_2O_3	١,٤٧
Fe_2O_3	٠,٧٩
SO_3	٢,٢
CaO	٥١,٣٥
MgO	٠,٦١
TotaL	٩٩,٩٨

٢- اوكسيد المغنسيوم الحر:

تم شراءه من الاسواق المحلية Mg0:40.30 Assay =99.5% وتم استخدامه في الخلطات وبنسب مختلفة.

٣- ركام الاتابلغايت:

يعرف الاتابلغايت بانه كتل طينية تتكون من المغنسيوم والالمنيوم والسيليكا كمركبات رئيسية وصيغته الكيميائية

$(MgAL)Si_4O_{10}(OH)\ 4\ (H_2O)_2$

وهو ذو هيكل مسامي يحتوي على نسبة كبيرة من المسامات المفتوحة التي تسمح بنفاذ الماء خلاله [١٦]. استخدم الاتابلغايت في بحثنا حيث تم جلبه من صحراء النجف وحرق بدرجة حرارة ٧٠٠ درجة مئوية وزمن إنضاج ساعة واحدة لضمان الحصول على هيكل قوي ثم ترك ليبرد وبعدها تم طحنه بطاحونة الكرات الحديدية وتهيئته الى التدرجات الحبيبية وفق متطلبات المواصفة الامريكية ASTM330 وادناه جدول رقم (٢) يبين التدرج الحبيبي لركام الاتابلغايت الناعم الذي تم استخدامه

جدول رقم (٢): يبين التدرج الحبيبي لركام الاتابلغايت الناعم

مقاس فتحة المنخل للركام الناعم (ملم)	نسبة المار من الركام الناعم	حدود المواصفة للركام الناعم
٩,٨	١٠٠	١٠٠
٤,٧٥	٩٧,٢٩	٨٥-١٠٠
٢,٣٦	--------	------
١,١٨	٧٨	٤٠-٨٠
٠,٣	١٨	١٠-٣٥
٠,١٥	٦	٥-٢٥
٠,٠٧٥	-----	-------
------	--------	--------

٤-الكاؤولين: -

هو نوع من انواع الصخور الدقيقة الناعمة بيضاء اللون والتي تتكون معظمها من معدن الكاولينيت (سليكات الالمنيوم الهيدروكسيلية) $AL_2(HO)_4Si_2O_5$ يتواجد بشكل طبيعي في هيئة رواسي ويتميز بلونه الابيض والدرجة العالية في الانعكاس ويعتبر من المعادن المطلوبة في التطبيقات الصناعية نظرا لقدرته على امتصاص الماء ورخص ثمنه.

ادناه الجدول رقم (٣) يبين التحليل الكيميائي للكاوؤلين.

جدول رقم (٣): التحليل الكيميائي للكاوؤلين

نسبة الاكاسيد	النتائج
L.O.I	12.35
SiO	٤٦,٤٥
AL_2O_3	٣٦,٢٦
Fe_2O_3	١,٢٣
SO_3	NIL
CaO	٣,٠٧
MgO	٠,٤٢
Total	٩٩,٧٨

٥-الماء:

تم استخدام الماء المقطر لجميع خلطات المونة الأسمنتية لاغراض الخلط والمعالجة.

٦-رمل سليكي: -

رمل قياسي مدرج حسب المواصفة الاوربية EN-197 والذي تم جلبه من دائرة المسح الجيولوجي العراقية وكما موضح في الجدول (٤) التدرج الخاص بالرمل المستخدم.

جدول رقم (٤): تدرج الرمل القياسي السلكي

رقم الغربال	النسب المئوية المتبقي %
-١٠+١٢	٧
-١٢+١٦	٢٦
-١٦+٣٠	٣٤
-٣٠+١٠٠	٢٠
-١٠٠+٣٠٠	١٣

٣-٣-٢ الاجهزة والمعدات المستخدمة: -

- حاويات لحفظ العينات
- ميزان حساس الكتروني سعة (٥) كغم
- خلاط كهربائي
- مكبس كهربائي
- قالب فولاذي دائري لكبس العينات
- فرن تجفيف كهربائي عالي الحرارة
- طاحونة الطرد المركزي
- مواشير معدنية بابعاد (٤×٤×١٦) سم
- هزاز كهربائي
- جهاز معاير الكسر ومقاومة الانضغاط

- جهاز فيكات لفحص اللدونة وزمني التماسك الابتدائي والنهائي
- حمام مائي وغرفة الرطوبة
- جهاز لقياس النعومة (جهاز بلين)

٣-٣- ٣ تهيئة العينات وعمل الخلطات: -

١- من خلال نتائج التحليل الكيميائي لحجر الكلس المطحون المذكور في جدول رقم (١) تم عمل خلطات وبنسب متغيرة.

٢- خلطة رقم (١و٢) من حجر الكلس المطحون مع اوكسيد المغنسيوم الحر بنسبة خلط ١:٤ وخلطة رقم (٣) نسبة خلط ١:٥ تم وزن المواد وتم الخلط بصورة جيدة لغرض التجانس وبسبب طبيعة المواد الاولية المستخدمة تم اختيار طريقة الكبس الجاف لتشكيل النمادج.

٣- اخذ كمية معينة من الخليط ووضعها بقالب الفولاذي أسطواني الشكل مكون من ثلاث قطع القاعدة والجسم الدائري والمكبس بعد ان تم تزييت القالب وتهيئتة لوضع العينة.

٤- وضع القالب في جهاز الكبس وتم تسليط ضغط ٥٠كغم / سم^{٢} عن طريق مكبس هيدروليكي وتم فتح القالب ليكون شكل أسطواني بارتفاع ٥٠ ملم وتم تكرار العملية الى ان تم نفاذ الخليط.

٥- بعد عملية التشكيل تم اجراء عملية التجفيف للنماذج في غرفة درجة حرارة م° ولمدة ٢٤ ساعة.

٦- يتم وضع النماذج المحضرة من الخلطات المذكورة اعلاه في فرن تجفيف كهربائي عالي الحرارة نوع (Naber theerm 1600) حيث يتم الحرق بدرجات حرارة (١١٥٠،١٢٥٠،١٢٠٠) درجة مئوية للخلطات (١،٢،٣) وبزمن إنضاج ساعة واحدة.

٧- ثم تترك النماذج لتبرد في الفرن ويتم استخراجها اليوم التالي اي بعد مرور ٢٤ ساعة ويتم طحن النماذج بطاحونة الطرد المركزي.

٨- خلطة رقم (٤) تم خلط اوكسيد المغنسيوم مع مسحوق اتابلغايت مع مسحوق حجر الكلس وبنسبة خلط (٠,٥ – ٠,٥ - ٤) وتم كبس الخليط وحرقه بالفرن بدرجة حرارة ١١٠٠م° وبنفس الخطوات السابقة.

٩- خلطة رقم (٥) تم خلط اوكسيد المغنسيوم مع مسحوق اتابلغايت مع مسحوق حجر الكلس وبنسبة خلط (٠,٢٥ – ٠,٧٥ - ٤) وتم كبس الخليط وحرقه بالفرن بدرجة حرارة١١٠٠م° وبنفس الخطوات السابقة.

١٠- خلطة رقم (٦) تم خلط الكاؤولين مع مسحوق حجر الكلس وبنسبة خلط (١-٢) وتم كبس الخليط وحرقه بالفرن يدرجة حرارة ١٣٥٠ م° وبنفس الخطوات السابقة.

٣-٣-٤ الفحوص المختبرية: -

١- تم اخذ نماذج من الخلطات المذكورة (١،٢،٣،٤،٥،٦) وتم ارسالها الى مختبر الكيمياء لغرض التحليل الكيميائي حسب المواصفة العراقية رقم (٥) لسنة ٢٠١٩ (١٧) وكانت النتائج كما يلي بالجدول رقم (٥).

جدول رقم (٥): يبين التحليل الكيميائي المواصفة العراقية المحدثة رقم (٥) لسنة ٢٠١٩، [١٧]

الاكاسيد	خلطة رقم ١	خلطة رقم ٢	خلطة رقم ٣	خلطة رقم ٤	خلطة رقم ٥	خلطة رقم ٦	حدود المواصفة
L.O.I	١٦,٥	١٧,٠٧	١٦,٠٦	١٦,٤	١١,٢٢	٠,٢٩	لايزيد عن٤
SiO_2	٥,٠٣	٥,٠٨	٤,٧٥	٩,٦٨	١٦,٦	٢٢,٤٦	-----
AL_2O_3	١,٩٤	٢,٤٦	٢,٤٥	٤,٢٧	٣,٢٥	١٥,٠٩	------
Fe_2O_3	٠,٦٨	٠,٩٦	٠,٥١	٠,٨١	٢,١٧	٣,٦١	------
SO_3	١,٢٩	١,٠٩	١,٣٨	٠,٩٤	١,٠٢	٢,٢٧	لايزيد عن ٢,٥
CaO	٥٢,٣٥	٥٥,٣٤	٥٧,١٢	٥٥,٥٥	٥٧,٥٥	٥٤,٧٧	-------
MgO	٢٢,١٩	١٧,٩٩	١٧,٧٢	١٢,٣٢	٨,٠٦	١,٥	لايزيد عن ٥
TotaL	٩٩,٩٨	٩٩,٩٩	٩٩,٩٩	٩٩,٩٧	٩٩,٨٧	٩٩,٩٩	------
C3A	٣,٩٩	٤,٨٩	٥,٦٣	٩,٩٤	٤,٩٥	٣٣,٨٨	------
IR	٠,٥	٠,٤٣	٠,٣	٠,٧٢	٠,٦٦	٠,٥٧	لايزيد عن ١,٥
CL	٠,٠٠٦	٠,٠٠٨	٠,٠٠٧	٠,٠٠٨	٠,٠٠٧٧	٠,٠٠٧	-------

٢- تم اجراء الفحوصات الفيزيائية للخلطات (١,٢,٣,٤,٥,٦) وحسب الدليل الاسترشادي ١٩٨ لسنة ٢٠٢٢ [١٨] وكانت كما يلي:

أ. النعومة : تم اخذ عينة من نموذج الأسمنت مساويا للوزن الذي تم استعماله من النموذج القياسي عند معايرة جهاز النعومة والذي كان بمقدار (٣,١٣٩ غم) وتوزن في الميزان الالكتروني الحساس حيث يتم وضعه في خلية التنافذ الخاصة بجهاز فحص النعومة بحيث يرتكز على البروز الداخلي في الخلية وتوضع ورقة ترشيح فوق القرص ونضغط جوانبها بواسطة قضيب اصغر قليلا من قطر الخلية ويدق جانب الخلية بهدوء لمساواة سطح الأسمنت داخلها وتوضع ورقة ترشيح اخرى فوق الأسمنت ويضغط عليها بواسطة المكبس الخاص بالخلية الى ان ينطبق راس المكبس على السطح العلوي للخلية ثم يرفع المكبس ببطء وتربط خلية التنافذ على المضغاط ويفرغ الهواء من ساق المضغاط المرتبط بالخلية ببطء الى ان يصل سائل المضغاط الى الحلقة العلوية على ساق المضغاط ثم يقفل الصمام باحكام ويبدا قياس الزمن من وقت وصول تقعر السائل حد الحلقة الثانية على الساق ويوقف قياسه عندما يصل السائل حد الحلقة الثالثة (قبل الاخيرة) على الساق ويتم احتساب النعومة كما يلي:

النعومة غم/سم^2 $S = \overline{K}\sqrt{T}$

(ثابت) $K = ٣٩١.٥٥$

(ثانية) القياسي الزمن $= T$

ب. فحص زمن التماسك: ان كمية الماء اللازم للحصول على عجينة الأسمنت ذات القوام القياسي هي الكمية التي تعطي عجينة تسمح للمرود الاسطواني (الغطاس) لجهاز فيكات بالمرور الى مسافة تبعد (٥-٧) سم عن قاعدة قالب فيكات وذلك عندما تفحص عجينة الأسمنت بالطريقة التالية:

- يوزن (٤٠٠) غم من الأسمنت في الميزان الالكتروني ويضاف اليها كمية مناسبة من الماء كنسبة مئوية من وزن الأسمنت يجب ان تكون مدة الخلط (٤ + ¼) دقيقة ومدة الخلط هذه هي الزمن المحصور من بدء اضافة الماء الى الأسمنت الجاف حتى بدء ملئ قالب فيكات بعجينة الأسمنت.

- يملأ قالب فيكات المرتكز على لوح مستوي غير مسامي دفعة واحدة بعجينة الأسمنت ويسوى سطح العجينة مع حافة القالب بسرعة وتوضع العجينة الموجودة داخل القالب والمرتكز على اللوح الزجاجي غير المسامي تحت عمود المرود ويخفض المرود بهدوء حتى يلامس سطح العجينة ويترك حرا ليغطس يحدد مقدار نفاذ المرود في عجينة الأسمنت بتعيين المسافة بينه وبين قاعدة القالب بواسطة التدرج الموجود على الجهاز.
- تعاد العملية بعمل عدة عجائن تجريبية بكميات مختلفة من الماء لحين الوصول الى كمية الماء التي تعطي عجينة الأسمنت ذات القوام القياسي.
- يراعى عدم استخدام اي وسيلة عدا يد الفاحص والمالج وتكون درجة حرارة الغرفة والماء بحدود (٢٠ + ٢) م°.
- زمن التماسك الابتدائي والنهائي: - توزن ٤٠٠ غم من الأسمنت ويضاف اليها كمية الماء اللازمة لتحضير عجينة ذات قوام قياسي وتحت نفس الظروف، ويملئ القالب الخاص بجهاز فيكات والموضوع على لوح مستوي غير مسامي دفعة واحدة بعجينة الأسمنت ويسوى سطح العجينة مع حافة القالب بسرعة ويراعى ان لا يستعمل في ذلك سوى يد الفاحص والمالج.
- توضع العجينة القياسية الموجودة في القالب والمرتكز على اللوح المستوي الغير مسامي تحت ابرة جهاز فيكات ثم تخفض الابرة ببطء حتى سطح العجينة وتترك حرة لتنفذ في العجينة تحت تاثير الوزن الكلي للحامل والابرة معا.
- تكرر عملية نفاذ الابرة في العجينة في مواضع مختلفة منها لاتقل المسافة بين موضع واخر (١٠ ملم) الى ان تنفذ الابرة مسافة لاتزيد على (٥ ملم) من قاعدة القالب وبذلك يكون الوقت اللازم للتصلب الابتدائي هو الزمن المحصور بين بدء اضافة الماء الى الأسمنت ولحين نفاذ الابرة بهذه المسافة.
- تستبدل الابرة الخاصة بزمن التصلب الابتدائي بابرة خاصة بالتصلب النهائي تخفض الابرة بهدوء حتى يمس طرفها سطح العجينة وتترك حرة تحت تاثير وزنها مع الحامل وبمواضع مختلفة لاتقل المسافة بين موضع واخر ١٠ ملم.
- تكرر العملية في مواضع مختلفة من سطح العجينة الى ان يظهر الاثر الدائري للجزء المثبت حول الابرة على العجينة وبذلك يكون الوقت اللازم لتصلب النهائي هو الزمن المحصور بين بدء اضافة الماء الى الأسمنت الجاف لحين ظهور أثر الجزء الدائري المثبت حول الابرة على العجينة

ج- مقاومة الانضغاط :- تحضر الكميات اللازمة لعمل ٦ مواشير من مونة الأسمنت حيث تم تحضير (١٨٠٠) غم من المونـــة الأسمنتية والمكونة من (٤٥٠) غم من الأسمنت المراد تصنيعه الذي تم وضعه في الخلاط الكهربائي ويضع فوقه الماء وبمقدار نصف الأسمنت اي كمية (٢٢٥) غم ويتم تشغيل الخلاط لمدة ٣٠ ثانية ويسكب فوق الخليط رمل قياسي بعده تدرجات وبوزن (١٣٥٠غم) ويخلط بالخلاط الكهربائي ولمدة ٣٠ ثانية بعد ذلك نحول الخلاط على السرعة العالية ويخلط الخليط لمدة ٣٠ ثانية ثم نوقف الخلط ولمدة ٩٠ ثانية لغرض ازالة المونة الملتصقة بجوانب وقاعدة الوعاء وبريشة الخلاط بواسطة اداة قشط مطاطي ثم نشغل الخلاط ولمدة ٦٠ ثانية على السرعة العالية وبعد ذلك ينقل الخليط من الخلاط الكهربائي الى الموشور الثلاثي الذي يكون ابعاده (٤×٤×١٦) سم مطلية بطبقة زيتية وتطلى فواصل القالب وسطوح اتصاله بالقاعدة بطبقة شحمية رقيقة لمنع تسرب الماء خلال عملية اهتزاز القالب في ماكنة الاهتزازحيث يوضع القالب وترص المونة الأسمنتية التي تم وضعها في القالب وبشكل طبقتين ولكل طبقة ٦٠ ضربة ويراعى ان تكون الاجهزة وادوات الخلط نظيفة وان

تكون درجة حرارة الأسمنت والرمـل والغرفه في حدود (٢٠ + ٢) م° يرفع القالب مع مونة الأسمنت من ماكنة الاهتزاز ويوضع في جو رطوبته النسبية (٩٠٪ +١) في غرفة الرطوبة ويترك لمدة (٢٤ ±١/٢ساعة) ويغطى سطح القالب بلوح غير نفاذ لمنع تبخر الماء وبعد ذلك تفك القوالب بعد مرور (٢٤ +١/٢ ساعة) وترمز المواشير لتمييزها وتغمر في ماء نظيف درجة حرارته (٢٠+ ٢) م° في الحمام المائي وتترك فيه لحين موعد فحصها على ان يجدد الماء كل سبعة ايام ترفع المواشيرمن الماء عند حلول موعد فحصها ويمسح الماء الزائد وتزال اي نتؤات سطحية بسيطة وتفحص ثلاثة مواشير بعمر ٢ يوم حيث توضع في ماكنة الفحص بحيث يكون وجه الصب على الفاحص ويسلط الحمل عموديا على سطح الموشور ويزداد الحمل بانتظام الى ان ينكسر ويحفظ نصفي الموشور وهما منفصلين بقطعة قماش رطبة حتى يتم فحص مقاومة الانضغاط وثم ثلاثة برزمات اخرى تحت نفس الظروف السابقة بعمر ٢٨ يوم حيث يتم فحص كل نصف موشور على حده ويكون سطح النصف موشور بالاتجاه الطولي على اللوح العلوي ويتم زيادة الحمل بانتظام بمعدل (٢٤٠٠ ± ٢٠٠) نيوتن / ثانية

تحتسب مقاومة الانضغاط كما في المعادلة التالية:

$$\text{مقاومة الانضغاط} = \frac{\text{قوة الكبس (N)}}{\text{المساحة المعرضة للحمل } (mm^2)}$$

بعد ذلك يؤخذ المعدل القراءت لتعيين مقاومة الانضغاط

ان الفحوص الفيزيائية لبعض الخلطات اعلاه لم تسجل اي نتائج تدل على تكوين أسمنت اخضر حيث بعض الخلطات تجمدت في وعاء الخلاط ولم نتمكن من صبها في القوالب وفيما يلي نتائج الفحوص الفيزيائية حسب المواصفة القياسية العراقية رقم (٥) لسنة ٢٠١٩.

جدول رقم (٦): يبين الفحوص الفيزيائية استنادا الى المواصفة العراقية رقم (٥) لسنة ٢٠١٩ [١٧]

الفحص	خلطة ١	خلطة ٢	خلطة ٣	خلطة ٤	خلطة ٥	خلطة ٦	حدود المواصفة
النعومة سم٢/غم	٦٠٥٠	٦٠٥٥	٦٠٥٥	٦١٠٠	٦١٠٠	٦٠٩٠	٢٥٠٠ للسمنت العادي
زمن التماسك: الابتدائي دقيقة النهائي ساعة	٣٠ ---	٣٥ -----	٢٥ ---	تجمدت الخلطة	تجمدت الخلطة	٥٠ ٣:١٥	لايقل عن ٤٥ دقيقة لايزيد عن ١٠ ساعة
مقاومة الانضغاط نت /ملم ٢ ٢ يوم ٢٨ يوم	٢,٥ ٣	٢,٦ ٣	٢,٢ ٢,٥	تجمدت الخلطة	تجمدت الخلطة	١٥ ٣٠	لاتقل عن ٢٠ الحد الادنى ٤٢,٥

٤- مناقشة النتائج:

كان الهدف من التجارب المختبرية المتواضعة قيمة ولكن لضعف الامكانيات التقنية هو محاولة تحضير عينات من الكلينكر بدرجات حرارة واطئة بالاعتماد على اضافة اوكسيد المغنسيوم الحر المضاف بنسبة 1:4 مع حجر الكلس المطحون على أمل ان يقوم هذا الاوكسيد الذي يعتبرمن المواد الصهورة (FLUX) بتقليل درجة حرارة حرق الكلينكرواحداث التلبيد بدرجات اقل من ١٥٠٠م° حيث تم حرق المزيج باستخدام درجات حرارة (١٢٥٠،١٢٠٠،١١٥٠) م° لكن لم يحصل التلبيد للخلطة وبالتالي لم يتكون الكلينكر المطلوب.

كذلك تدل نتائج التحليل الكيميائي من ارتفاع نسبة الفقدان بالحرق (L.O.I) وانخفاض قيم مقاومة الانضغاط بل وتهشم المونة عند الفحص بعمر يومين بسرعة وذلك لكون CaO الحر لم يتفاعل مع MgO ليشكل طورا معدنيا.

اما الخلطة رقم (٤,٥) اضافة نسبة من اوكسيد المغسيوم مع نسبة من خام الاتابلكايت الى حجر الكلس المطحون وحرقه بدرجة حرارة ١١٠٠م٠ ولكن ايضا لم يحدث التلبيد مما يدل على عدم التلبيد وكذلك في الخلطة رقم (٦).

وهذا يدل على عدم حصول التفاعلات بين الاكاسيد وبالتالي عدم تشكيل الاطوار المعدنية المطلوبة.

٥- الاستنتاجات:

١- امكانية تطبيق البحوث المنجزة محليا واستثمارها صناعيا في شركات الأسمنت المحلية في القطاعين العام والخاص خصوصا وان بعض هذه البحوث اعتمدت على انتاج وجبات معملية مثل الأسمنت البوزلاني وكذلك امكانية انتاج الأسمنت الكلسي اسوة بمصانع شركة لافارج التي تنتج حاليا أسمنت كرسته وهو أحد انواع الأسمنت صديق البيئة.

٢- ان تطبيق استراتيجية الاستخدام الامثل لمواد رابطة بديلة عن الأسمنت وتجنب الافراط في استخدام الأسمنت لاعمال الربط او اللبخ مع توفر البدائل المحلية من الجص والنورة وغيرها.

٣- بالرغم من عدم وصول الفريق البحثي الى نتائج تخص تحضيرعينات من الكلينكر بدرجات حرارة واطئة لضعف الامكانيات التقنية لكنها تبقى خطوة باتجاه انجاز بحوث حديثة تواكب التطور العالمي في هذا المجال.

٤- ضرورة إلزام القطاع الانشائي بتنفيذ استراتيجية استخدام بدائل الأسمنت بمراحلها الثلاثة لاهميتها في تقليل انبعاثات غاز ثاني اوكسيد الكاربون.

٥- ضرورة الاستمرار في انجاز البحوث لانتاج كلينكر اسمنت اخضر صديق للبيئة والذي يلزم توفير التقنيات الحديثة والمتطورة وبتنسيق عالي المستوى بين الخبراء والباحثين في وزارة الاعمار والاسكان ممثلة بدائرة بحوث البناء ووزارة الصناعة والمعادن وشركات الأسمنت للقطاعين العام والخاص والجامعات لانجاز بحوث علمية مواكبة لما ينجز في مراكز البحث العالمية المتطورة.

٦ـ المصادر

[1] Shetty, M. S. (2009) 'Concrete Technology: Theory and Practice ', S. Chand & Company Ltd, pp.624

[2] الدليمي، محمد (٢٠١٩) 'تكنولوجيا وتصميم الخرسانة' قسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة - جامعة الانبار.

[3] Clauda G.P.E, Leed A.P. (2014) 'Portland-Limestone Cement precast', Inc Magazine, pp. 1-9.

[4] جاسم، خ. س. (٢٠١١) 'الأسمنت خواصه الفيزيائية والكيميائية'الهيئة العامة للطرق والجسور – التخطيط والتصاميم، ص ١٠ .

[5] عبد الحسين، ع (٢٠١٥) 'البلاغ الوطني الأول اتفاقية الأمم المتحدة الاطارية بشأن تغيير المناخ'، وزارة البيئة – جمهورية العراق

[6] ALsalm Mohammed Risalat AL-jameah issue-1290<https://rs.ksu.edu.sa

[7] الحوامدة ، عبد الحميد 26/5/2021ttps//e3arabi.com

[8] الأسمنت الاخضر-حلول اسمنتية خضراء الطبعة العربية ٢٠٢٢
https://arabicedition.Neture.com.Natureo is part of spring

[9] UN Enviroment, scrivener K. L., John V. M. and Gartner E.M. (2018) 'Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low- CO2 cement-based materials industry', Cement and Concrete Research, volume 114, pp.2-26.

[10] كراس مواد الأبنية الصديقة للبيئة –مكتب الفاو الاستشاري – وزارة الاعمار والاسكان والبلديات العامة

[11] علي، فائزة عبد القادر، سالم سلمان، علي واخرون (٢٠١٥) 'دراسة تاثير اضافة حجر الكلس الى الأسمنت البورتلاندي العادي وبنسب مختلفة لتحضير الأسمنت الكلسي المخلوط'، مركز بحوث البناء

[12] صبحي الجباري، فواز عبود (١٩٨٢) 'اسمنت البناء الكلسي'، مركز بحوث البناء

[13] الجباري، صبحي، طه مكي، خولة (١٩٧٤) 'الأسمنت البوزولاني'، مؤسسة البحث العلمي - مركز بحوث البناء

[14] الطائي، محمد حيدر، فراس عبد الحميد، فيصل (١٩٨٩) 'تحسين بعض خواص جص القطاع الخاص المنتج من الجبس الثانوي وسط وجنوب العراق'، مركز بحوث البناء

[15] عباس سلوم، رفعت، زياد حميد واخرون (٢٠١٢) 'المواد المحلية التي اثبتت نجاحها في الاستخدام والمتوفرة خاماتها محليا لأغراض البناء للدخل المحدود'، مركز بحوث البناء

[16] Grimshaw R. W. (1971) 'The Chemistry and Physics of Clay and Allied Ceramic Materials', Willey Inter Science.

[17] المواصفة العراقية المحدثة رقم (٥) لسنة (٢٠١٩)، الجهاز المركزي للسيطرة والتقييس النوعي-وزارة التخطيط.

[18] الدليل الاسترشادي المرجعي رقم (١٩٨) لسنة (٢٠٢١)، الجهاز المركزي للسيطرة والتقييس النوعي.

Building Research Journal
Volume 10 Number 1 2025

Feasibility Study on Producing Green Cement for Low-Temperature Ranges

[*1] Wala'a Tariq Reda, [1] Rifaat Abbas Salloum, [1] Walid Khalid Kadhim

[1] Ministry of Construction, Housing, Municipalities and Public Works / Building Research Directorate, Baghdad, Iraq.

ABSTRACT

In light of the world's focus on reducing carbon dioxide emissions and the recommendations of the Paris Climate Conference, it has become essential to address industries that contribute to the significant release of this gas, with the cement industry being a primary concern. Iraq, like other countries, must adopt a strategy for developing an environmentally friendly clinker cement industry that can be implemented in multiple phases. The first phase involves investing in comprehensive applicable studies related to the production of eco-friendly cement models, such as studies on lime cement, blended cement, and pozzolanic cement, then applying the findings of these studies into practice. The second phase requires optimal adherence to binding materials, avoiding overuse of cement, and substituting it with locally available alternatives like aggregate and gypsum, particularly in construction work where cement is not essential. The third phase of this strategy represents the necessity of initiating laboratory experiments to prepare laboratory samples of clinker at low temperatures. This has been undertaken by the working team despite the lack of advanced scientific equipment. Raw materials have been added to limestone, such as magnesium oxide and kaolinite, with the mixture being fired at low temperatures (1100-1350 °C). Although no clinker has been produced due to the absence of the required chemical reactions, this still represents a step in the right direction.

Keywords: Eco-friendly cement, Lime-based cement, Pozzolanic cement, Ettringite, Green cement.

* Corresponding Author: Wala'a Tariq Reda - eme.19.39@grad.uotechnology.edu.iq