المواد الرابطة المعدنية

تعريف المواد الرابطة المعدنية (اللاعضوية): *mineral cement materials*

وهي مواد ناعمة كالبودرة تعطي عند خلطها بالماء عجينة لدنة، تتصلب وتتجمد تدريجياً بفعل العوامل الفيزيائية والكيميائية، الى أن تشكل مادة صلبة (الحجر الصناعي)، ويكون هذا التصلب بالهواء او تحت الماء.

✱ تدعى المواد الرابطة التي تتصلب بالهواء **بالمواد الرابطة الهوائية** *Nonhydraulic cement materials* كالجص والكلس الهوائي، والتي تتصلب في الماء والهواء معاً **بالمواد الرابطة المائية** *hydraulic cement materials* كالاسمنت والكلس المائي حيث تتمتع بقدرة عالية على الالتصاق.

❖ **مصادر المواد لإنتاج مواد رابطة معدنية:**

- تعتبر الصخور الطبيعية والمخلفات الصناعية المصدر الاساسي لإنتاج المواد الرابطة المعدنية،
- أولاً- الصخور الطبيعية: ومن أهمها الصخور الكلسية الطرية، والصخور الغضارية، بالإضافة للصخور التالية:
  - ✓ الكبريتية: كالجص ...
  - ✓ الكربوناتية: كالكلس والحوار والرخام والدولوميت.
  - ✓ سيلكات الالمنيوم: نيفلين *nepheline*.
  - ✓ عالية الالمنيوم: بوكسيت $Al_2O_3\ n\ H_2O$
  - ✓ المعدنية السيليكاتية: رمل كوارتزي، رماد بركاني "بوزولانا" دياتوميت *diatomite*

والتي تحتوي على الأكاسيد التالية:

SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	FeO	MgO	SO_3	Na_2O	T_2O

حيث تشكل مجموعة الاكاسيد عند اماهتها بالماء الروابط المعدنية.

- ثانياً- المخلفات الصناعية: ومن أهمها الحمأة، الرماد المتطاير، خبث الأفران.

➢ **تصنف الروابط المعدنية وفق سرعة اخذها (بدء التجمد) الى:**

1. روابط ذات تجمد سريع: حيث بدء الاخذ أقل من 8 دقائق
2. روابط ذات تجمد نصف بطيء: حيث يتراوح زمن الاخذ بين 8 و30 دقيقة
3. روابط ذات تجمد بطيء: حيث يتراوح زمن الأخذ بين 30 دقيقة و 6 ساعات.
4. وروابط ذات تجمد بطيء جدا: حيث يكون زمن الاخذ أكثر من 6 ساعات.

✧ **ومن الاضافات المستخدمة للتحكم بزمن الاخذ:**

1. **منشطات سطحية:** اضافات محبة للماء، واضافات كارهة للماء
2. **مسرعات التصلب:** حمض كلور الماء Hcl
3. **مبطئات التصلب:** جص ثنائي الماء $CaSO_4.2H_2O$

4. **ملدنات** $Plasticizers$**:** وتعرف بأنها مذيب عضوي غير طيار يشكل هلاماً مع المادة المستخدمة، ويستخدم لتحسين خواص تشكل المادة الخام مثل البنتونيت.

❖ آلية الحصول على المواد الرابطة المعدنية:

بعد تحضير المواد الخام من المقالع وانجاز عملية الخلط والطحن، تتم المعايرة وتصحيح النسب الداخلة.
ثم يساق الخليط الى الافران المخصصة لتتم عملية الشوي والمعالجة الحرارية، حيث تبدأ المواد (المزيج) بفقد الماء الحر (غير المرتبط كيميائياً)، وبعد انتهاء مرحلة التبخر للماء ومع ارتفاع درجة الحرارة يبدأ بنزع الماء المرتبط كيميائياً حيث تتفكك وتتحلل الاكاسيد الأساسية، كل وفق درجة الحرارة الخاصة به.
مع زيادة واستمرار المعالجة الحرارية تبدأ التفاعلات الكيميائية للأجسام الصلبة ويتبدل التركيب الكيميائي للخامات، حيث يترافق ذلك مع زيادة القدرة الحركية للجزيئات المكونة لها، وبالتالي مع ازدياد النشاط والقدرة الحركية لجزيئات العناصر، تتنشط السطوح الخارجية وتبدأ بالارتباط ببعضها مكونة بذلك عناصر ومواد جديدة، وكأن كل هذه العناصر والجزيئات (للعنصر الواحد) تراجعت وارتدت للشبكة البلورية الاساسية لها، وأصبحت قادرة على أن تتحد وتلتصق مع أي بلورة أو جزيئة مجاورة لها لتشكل بذلك مركب جديد، ومع ارتفاع درجات الحرارة (الشوي) تتحول للطور السائل وتبدأ التفاعلات الكيميائية والتحولات الفيزيائية، مشكلة منتج جديد بصفات وخصائص جديدة، وبعد أن يتم التبريد والطحن نحصل على مادة ناعمة تدعى **المادة الرابطة المعدنية.**
نستطيع بزيادة الطحن أن نزيد النعومة، وبالتالي زيادة السطح النوعي للمادة (المنتج الجديد)، مما يسمح بتسهيل عمليات الانحلال بالماء، وتسريع التفاعلات الكيميائية، وبالتالي تسريع التصلب وتشكيل مركبات مادة جديدة.

⌘ 1- الجص $Gypsum$:

وهو من الروابط المعدنية الهوائية، مصدره من الصخور الجصية الطبيعية التي تعتبر المادة الخام الاساسية لإنتاج المواد الرابطة الجصية، والتي تتواجد في الطبيعة كحجر معدني كبريتي يحتوي على مينرالات الجص ثنائي الماء، وتعد كبريتات الكالسيوم المائية $CaSO_4.H_2O$ العنصر الأساسي المكون لها.
حيث تفقد ماء التبلور جزئياً أو كلياً وذلك بالتسخين والمعالجة الحرارية المطلوبة ضمن الأفران الدوارة، فعند درجات حرارة تصل بين 130 و 150 درجة مئوية تعطي **الجص نصف المائي**:

$$CaSO_4.2H_2O \longrightarrow CaSO_4.0{,}5H_2O + 1{,}5H_2O$$

- بالقيام بعملية التبريد والطحن المناسبة نحصل على المادة الرابطة المعدنية الجصية **ذات التصنيف** β والتي نحصل عليها باستخدام الأفران الدوارة المفتوحة والمتصلة مع الهواء والضغط الخارجي بحيث تسمح للماء المحرر أن يتبخر على شكل بخار ساخن.

- أما في حالة المعالجة بالأفران المغلقة بشكل محكم وبدرجات حرارة $100 - 95$ درجة مئوية وتحت ضغط يتراوح بين $0.3 - 0.15$ ضغط جو، ومع ازدياد درجات الحرارة والضغط داخل الأفران يزداد ضغط البخار ويتعذر تبخر الماء المرتبط بشكل حر، فيتم عندها نزع الماء المرتبط كيميائياً على شكل قطرة سائلة مشكلة بذلك جص نصف مائي من **التصنيف α.**

مما يؤدي لاختلاف في تركيب البنية البلورية بين الصنفين β و α ، وبالتالي اختلاف الصفات الفيزيائية للمنتج الجديد حيث تكون الكثافة:

$\beta = 2.62 - 2.65$	$\alpha = 2.72 - 2.75$	الكثافة ρ

بناء عليه يتم تصنيف الجص إلى:

الجص البنائي: ينتج من المعالجة الحرارية لمطحون ثنائي الماء، ثم طحن الجص β بشكل ناعم للتخلص من البلورات الصغيرة التي قد تتشكل عند الخروج من الفرن، تبلغ مقاومة الجص البنائي $16 - 2\ Mpa$.

جص التشكيل (القولبة): ينتج من زيادة الطحن للجص البنائي وبالتالي زيادة السطح النوعي مما يكسبه مقاومة أعلى ويساعد في استخدامه للقولبة.

جص عالي المقاومة: ينتج من الطحن الناعم للجص α مع إضافة بعض المواد للأوتوكلاف (محاليل مائية لبعض الأملاح $CaCl_2$) حيث تعطي عند اماهته وتصلبه منتج ذو مقاومة عالية $20 - 25Mpa$.

أيضا يمكن تصنيف الجص وفقاً لسرعة الأخذ:

1. جص سريع التصلب $15min - 2$.
2. جص عادي التصلب $30min - 6$.
3. جص بطيء التصلب $20min - unlimite$.

- عند استخدام أفران ذات درجات حرارة أعلى من 200 درجة مئوية، قد تصل إلى 950درجة مئوية، نحصل على أنواع الجص اللامائي (الانهدريت، استرخ جبس)

$$CaSO_4.2H_2O \longrightarrow CaSO_4 + 2H_2O$$

وهو ذو كلف عالية ويستخدم لأغراض صناعية ويكون ذو مقاومة تصل إلى $20 - 10Mpa$.

- إن تعدد التصنيفات والأنواع للجص المنتج، وأيضاً اختلاف نسبة كبريتات الكالسيوم في المادة الخام، يفسح المجال أمام استخدامات متعددة له:

الجدران والقواطع الداخلية، مواد إكساء والديكورات، تشطيب (دهان) أسطح الجدران، مواد رابطة للأحجار والبلاط (مونة رابطة)، عناصر ماصة للصوت والحرارة والنار....

ولكن تبقى هذه الاستخدامات مشروطة بعدم تجاوز الرطوبة للجو المحيط على 70%، وفي حال التماس المباشر للمنتج الجصي مع الرطوبة يلزم حينها معالجة السطح بمواد طاردة للمياه أو إضافة مواد كارهة للماء بشكل مباشر للمنتج أثناء الخلط.

⌘ **2- الكلس:**

تصنيع الكلس: يصنع الكلس بتكليس كربونات الكالسيوم الطبيعية، ونموذجياً الصخر القاسي من الحجر الكلسي الكربوني الحديدي، حيث يتم استخراجه من المقلع وتكسيره وطحنه وغسله وغربلته إلى مدى المقاس المطلوب، بعد ذلك يحرق الحجر الكلسي إلى درجة حرارة تقارب (950°C)، إما في أفران دوارة أفقية، أو في أفران اسطوانية شاقولية، فيتم تخليصه من ثاني أكسيد الكربون فينتج منتجات الكلس.

⌘ الكلس الهوائي ***Nonhydraulic lime***

يوجد في الطبيعة الحجر الكلسي، والحجر الكلسي الدولوميتي وكلاهما يحتويان على نسبة غضار منخفضة لاتتجاوز 6%، والذين يعتبران المادة الخام الأساسية لإنتاج الكلس الهوائي، الذي يتصلب في الهواء وينحل بالماء.

نحصل على الكلس الحي بحرق الأحجار الكلسية بدرجة حرارة (950°C) ضمن أفران على شكل نفق، زوبعة حلزونية أو دائرية اسطوانية ذات طبقات ساخنة أو على شبكات تجميعية، وبعد الشوي نحصل على أكسيد الكالسيوم CAO أو ما يسمى بالكلس الحي، أو نسميه الكلس الفوار (غير المطفأ) ويكون على شكل قطع، وفق التفاعل التالي:

$$\underset{100}{CaCO_3} + (950°C) \rightarrow \underset{56}{CaO} + \underset{44}{CO_2}\uparrow$$

الكلس الحي الناتج يشمل كلس الكالسيوم (CL)، والكلس الدولوميتي (DL) حسب تركيب المادة الخام الأولية، (يحتوي الكلس الدولوميتي على كميات لا بأس بها من أكسيد المغنيزيوم). بينما نحصل على الكلس المطفأ بإطفاء الكلس الحي.

إطفاء الكلس:

الاطفاء يعني إضافة ماء إلى الكلس الحي، فعند تفاعله مع الماء يتشكل بالفوارن منتج ذو مسامية عالية مع تحرير كمية كبيرة من الطاقة (تفاعل ناشر للحرارة)، وهذا ما يسمى إطفاء الكلس، ونحصل على **الكلس المطفأ** كمسحوق جاف $Ca(OH)_2$ (ماءات الكالسيوم أو يسمى هيدروكسيد الكالسيوم)، أي يتحول الكلس الحي بعد انحلاله بالماء إلى كلس مطفأ، وفق التفاعل التالي:

$$\underset{\text{كلس حي}}{CaO} + \underset{\text{ماء}}{H_2O} \rightarrow \underset{\text{كلس مطفأ}}{Ca(OH)_2} + \text{حرارة}$$

حيث يلزم لذلك 32% من وزنه ماء، لكن ونظراً لتحول جزء كبير من الماء لبخار أثناء التفاعل فيتطلب ذلك زيادة النسبة لحدود 80%. ويدخل البخار المنطلق بإعادة التفاعل محولاً كتل الكلس إلى جزيئات ناعمة وصغيرة (مسحوق) وبسطح نوعي عالي. تلعب كمية الماء المستخدمة لإطفاء الكلس دوراً بنوع المنتج حيث يتدرج من مسحوق رخو كلسي عتد النسبة 1/1 إلى أن نحصل على عجينة كلسية عند النسبة (ماء)1/3(كلس) ومترافقة مع ازدياد في الحجم الناتج.

يعد الكلس المتميه (الكلس المطفأ) مناسباً للاستعمال في الملاط أو في صناعة بعض أنواع البلوك الخرساني المسامي. عادة تزيد إضافة الكلس إلى الملاط الاسمنتي أو الطينة الاسمنتية، أو الطينة الجصية من خواص احتفاظها بالماء، وبالتالي احتفاظها بقابلية التشغيل، وبشكل خاص عند تطبيق المادة على سطوح ماصة كالآجر المسامي. كما أن الكلس يزيد من تماسك خلطات الملاط مما يسمح لها بالامتداد بشكل أسهل. يمتص الكلس المتميه الرطوبة وثاني أكسيد الكربون من الجو، لذا لا بد من تخزينه في بناء بارد ومحمي من التيارات الهوائية، واستعماله وهو طازج.

الكربنة:

يقصد بالكربنة تفاعل الكلس المطفأ مع غاز ثاني أكسيد الكربون الموجود في الجو، وبوجود الماء ،فيتصلب ويتحول إلى كربونات الكالسيوم، أي يتحول من مركب غير مستقر في الماء (يمكن أن ينحل بالماء)، إلى مركب صلب صعب الانحلال بالماء، وفق التفاعل التالي:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 + H_2O \rightarrow CaCO_3 + 2H_2O$$

تكون عملية الكربنة بطيئة كونها محكومة بانتشار ثاني أكسيد الكربون في جسم المادة، ولكن عند اضافة الرمل أو حصويات غبار الحجر إلى معجونة الكلس لتشكيل ملاط أو طينة، فإن المسامية المتزايدة تسمح بوصول أكبر لثاني أكسيد الكربون وبالتالي حصول عملية كربنة أسرع، وتكون مقاومته ضعيفة ومنخفضة، لذلك ينحصر استخدامه بمجالات المونة وربط الأحجار والبلاط، كما يستخدم أيضاً في مجالات صناعية كصناعة الورق، وأيضاً المجالات الزراعية لمعالجة عيوب الترب الزراعية. يجب ألا يزيد المقاس الأعظمي للحصويات المخلوطة مع الكلس على نصف عرض وصلة الملاط..

⌘ **الكلس المائي *Hydraulic lime***

ينتج من شوي الأحجار الكلسية المارلية الحاوية على نسب مختلفة من الغضار تصل إلى 25%، ضمن أفران بدرجة حرارة بين $1100 - 900$ درجة مئوية، حيث يتفكك بداية الغضار للأكاسيد الأساسية المكونة له $(Al_2O_3 - Fe_2O_3 - SiO_2)$ ثم تتحد هذه الأكاسيد مع ناتج شوي الحجر الكلسي CaO مشكلة المينرالات التالية:

$$nCaO.SiO_2$$
$$nCaO.Fe_2O_3$$
$$nCaO.Al_2O_3$$

بعد أن تتميه هذه المينرالات بالماء، يمكن أن تتصلب بالهواء والماء معاً مشكلة حجر صناعي صلب، (وهو يمتلك بعض خواص الاسمنت البورتلاندي)، أي أن تصلب الكلس المائي يحصل بفعل الماء، وليس فقط بفعل الكربنة كما هو الحال في الكلس الهوائي، حيث يتحدد نوع وشكل التصلب من كمية أكسيد الكالسيوم الحر، فكلما قلت هذه الكمية كانت إمكانية التصلب في الماء أفضل، مما يستدعي أحياناً أن يبدأ الكلس تصلبه بالهواء ثم يتابع تصلبه بالماء. كما أن الكلس المائي الغني بالغضار يعتبر أكثر مائية (أكثر متانة) ويتجمد بسرعة أكبر من الكلس

الحاوي على نسب منخفضة من (السيليكا والألومينا)، حيث تقسم المواد الكلسية المائية الطبيعية بشكل عام إلى الأقسام التالية حسب محتواها من الغضار كما يلي:

المواد الكلسية المائية	ضعيفة المائية	متوسطة المائية	قوية المائية
نسبة الغضار (الصلصال)%	0-8	8-18	18-25
المتانة بعمر 28 يوم(MPa)	2	3.5	5
استعمالاته في أعمال البناء	في الحالات المكشوفة	في التطبيقات العادية	في أعمال الترميم وتشييد الجدران الصلبة

انتهت المحاضرة الأولى