المحاضرة الرابعة: تركيب والخواص الكيميائية للمواد البنائية

تشغل مواد البناء اللاعضوية اللامعدنية (المواد الرابطة،الزجاج،السيراميك،الصخور الطبيعية) الجزء الأكبر من إجمالي المواد المواد المستخدَمة في البناء وتبلغ مشاركتها بحدود حوالي 85%، أما المواد المعدنية (الحديد، الفولاذ، الألومنيوم، النحاس.....) فتشغل حوالي 10%، والمواد العضوية (خشب، بلاستيك، .....) حوالي 5%.

بشكل عام يمكن تصنيف المواد المستعملة في مجال البناء في أربع مجموعات رئيسية: المجموعة الأولى تضم **مركبات الفحم** والتي يكون الفحم العنصر الرئيسي فيها كالمواد البلاستيكية والإسفلت والدهانات الزيتية والخشب، والمجموعة الثانية هي مجموعة **المواد السيليكاتية** والتي يكون فيها عنصر السيليكون العنصر الرئيسي فيها وتشمل الإسمنت والآجر والسيراميك والبورسلين والزجاج، والمجموعة الثالثة تضم **أحجار البناء الطبيعية**، وأخيراً المجموعة الرابعة وتضم **المواد الرابطة الكلسية والجصية**.

4-1 الفحم وبعض مركباته البنائية:

يوجد الفحم في الطبيعة بنسبة قليلة لاتزيد عن 0.3% من القشرة الأرضية، ويوجد بأشكال ومركبات عديدة جداً، فالهواء يحوي 0.03% حجماً غاز CO_2، وتحوي الأحجار الكلسية ومركبات الكربونات عنصر الفحم، كما يوجد في جميع النباتات والكائنات الحية وفي البترول.

يوجد الفحم بشكله العنصري بشكل متبلور كالماس والغرافيت، وبشكل لابلوري يُحضر بإمرار بخار الماء على فحم الخشب الساخن فيتحول إلى فحم مسامي مساحته السطحية كبيرة جداً تصل إلى $1000m^2/g$ يُستعمل لامتصاص الغازات ولتنقية المحاليل من الشوائب.

لغاز CO_2 دور يلعبه في تآكل المعادن وفي التأثير على أحجار البناء الكلسية وفي تآكل الخرسانة وفي تصلب المواد الرابطة الكلسية، إذ ينحل غاز CO_2 في الماء مشكلاً حمضاً ضعيفاً هو حمض الكربون H_2CO_3، يقوم هذا الحمض بالتفاعل مع الأحجار الكلسية ويحولها إلى أملاح ثنائي الكربونات الأكثر انحلالاً في الماء، كما يساعد محلول حمض الكربون على تآكل المعادن بما في ذلك فولاذ التسليح ، كما يسبب تآكل الخرسانة بتفاعله مع ماءات الكالسيوم والأحجار الكلسية الموجودة في الخرسانة، ويلعب غاز CO_2 دوراً في تصلب المواد الرابطة الكلسية بتحويله ماءات الكالسيوم إلى كربونات الكالسيوم ضعيفة الانحلال في الماء.

4-1-1 اللدائن (المواد البلاستيكية):

انتشر استعمال المواد البلاستيكية في مجال البناء بشكل كبير إذ لاتخلو منشأة من شكل من أشكال المواد البلاستيكية، فبعض الأرضيات تُصنع من البلاستيك بدلاً من البلاط، وتُستعمل أنابيب بلاستيكية للصرف الصحي في المنازل والمنشآت بدلاً من الأنابيب المعدنية، كما توضع ضمن الجدران خراطيم بلاستيكية لتمر منها الأسلاك الكهربائية والتي تتألف نفسها من أسلاك معدنية مغلفة بطبقة بلاستيكية، وتُصنع ألواح عازلة للرطوبة والصوت والحرارة من البلاستيك الخفيف توضع ضمن الجدران والأسقف لتأمين العزل.....الخ..

تتألف المواد البلاستيكية من سلاسل من الفحم تحوي أعداداً كبيرة من ذرات الفحم تصل إلى الآلاف، وترتبط بذرات أخرى غالباً ماتكون ذرات الهيدروجين، وقد ترتبط ذرات الفحم بالذرات الأخرى كفروع جانبية وتتصل السلاسل جانبياً لتزيد من تماسك وصلابة المادة البلاستيكية.

تتصف المواد البلاستيكية بالصفات العامة التالية التي تؤهلها للاستخدام في مجال البناء:

1- لاتنحل في الماء ولا في محاليل الحموض والأسس والأملاح وهي خاملة كيميائياً.
2- لاتصدأ ولاتتآكل مثل المعادن.
3- عازلة للماء والحرارة والكهرباء.
4- خفيفة الوزن مقارنة بالمعادن.
5- يمكن تغيير شكلها وإعادة تشكيلها بسهولة عند تسخينها لدرجات غير مرتفعة كثيراً.
6- قابلة للقطع والنشر والثقب بسهولة.
7- مرونتها عالية مما يقلل من تعرضها للكسر.
8- يمكن تكوينها حسب الرغبة واستعمالها في أعمال التزيين.
9- من مساوئها قابليتها للاحتراق وضعف متانتها مقارنة بالمعادن.

4-1-2 الإسفلت (البيتومين):

ينتج الإسفلت في مصافي النفط كبقايا عملية تقطير النفط الخام، وأكثر مايُستخدم في تعبيد الطرقات كمادة رابطة للحصويات وكمادة عازلة في الأبنية والأنفاق وغيرها. الإسفلت بشكل عام خليط يتألف من المواد التالية:

1- زيوت تشكل الوسط الذي تتبعثر فيه المواد الأخرى وتكون نسبة ذرات الفحم إلى ذرات الهيدروجين في هذه الزيوت $C/H < 0.6$.

2- مواد لدنة لزجة من صنف المواد الريزينية تتألف من سلاسل من الفحوم الهيدروجينية بالإضافة إلى نسبة ضئيلة من عناصر أخرى، تعطي هذه المواد للإسفلت خواصه اللزجة والعازلة.

3- بقايا فحمية صلبة تنتج عن تفحم بعض الفحوم الهيدروجينية، يؤدي وجود هذه البقايا إلى إكساب الإسفلت بعض الصلابة.

يُصنف الإسفلت عادةً إلى عدة أصناف حسب ميوعته إلى: الإسفلت المائع و الإسفلت متوسط الميوعة (أو اللزج) والإسفلت الصلب. تكون نسبة الزيوت مرتفعة في الإسفلت المائع إذ إن الزيوت هي المادة السائلة الوحيدة في الإسفلت، أما الإسفلت اللزج متوسط الميوعة فتكون نسبة المواد الريزينية فيه مرتفعة، وتكون البقايا الفحمية الصلبة مرتفعة في الإسفلت الصلب.

لايوجد للاسفلت درجة انصهار محددة لأنه مزيج من عدد كبير من المواد كل منها له درجة انصهار مختلفة عن الأخرى، بعضها ينصهر في درجات منخفضة نسبياً نحو $70\text{-}80\ ^{\circ}C$ وينحل في المادة الزيتية فيبدو الإسفلت أكثر ميوعة، وباستمرار التسخين تنصهر مواد أخرى وتزداد الميوعة وتقل اللزوجة ويتحول الإسفلت إلى الحالة السائلة في درجات حرارة ليست كبيرة جداً غالباً ماتكون في المجال $120\text{-}160\ ^{\circ}C$. لاينقل الإسفلت التيار الكهربائي لعدم وجود الكترونات حرة أو شوارد في الحالتين الصلبة أو المنصهرة.

يتصف الإسفلت بالخمول الكيميائي فهو لاينحل بالماء أو في محاليل الحموض والأسس والأملاح ولايتفاعل معها لذلك يستعمل في العزل في الأبنية وخاصة الأقبية والأسطح والأنفاق، أما الاستعمال الأكبر للإسفلت فهو في تعبيد الطرقات، حيث يُسخن الإسفلت فتزداد ميوعته ثم يُخلط مع حصويات صلبة فتتشكل عجينة لزجة تمد على الطرقات وتُسوى ثم تُترك لتبرد فيزداد تماسكها وتكون مادة خاملة كيميائياً وعازلة ورخيصة الثمن لذلك يعتبرالمادة الرئيسية في تعبيد الطرقات.

4-1-3 مركبات فحمية أخرى:

يستخدم في مجال البناء إضافة إلى المواد البلاستيكية والإسفلت المذكورة سابقاً الخشب وهو مادة طبيعية نباتية المكون الأساسي فيها هو الألياف السيللوزية وهي مادة مؤلفة من الفحم والهيدروجين والأكسجين بشكل وحدات متكررة مرتبطة ببعضها تتصف بالمرونة وخفة الوزن لكنها قابلة للاحتراق. يتأثر الخشب بالعضويات المجهرية ويؤدي ذلك إلى تحلله لذلك يُطلى بمواد كيميائية لحمايته من التعفن.

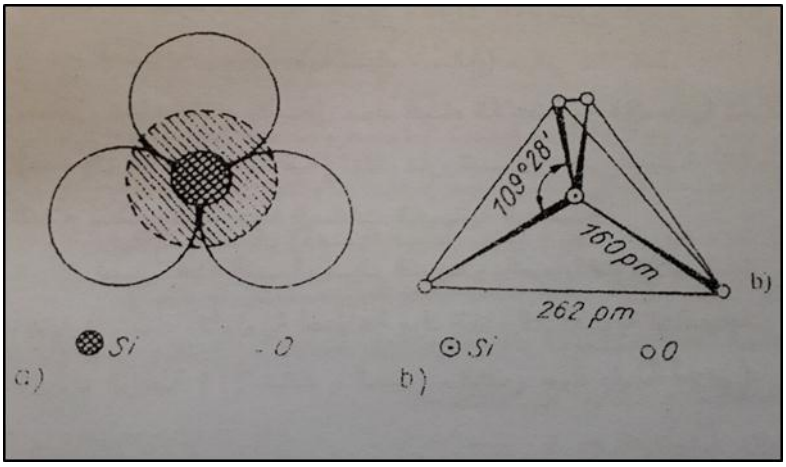
من المركبات الفحمية أيضاً الدهانات الزيتية وهي مواد عضوية زيتية غير مشبعة تتحول بعد عملية الطلاء إلى مادة صلبة بسبب تأكسدها بالهواء وتتحول إلى طبقة ملتصقة بالجدار تكون ضعيفة النشاط الكيميائي وعازلة للماء ويمكن تلوينها بألوان مختلفة. استعمالها الرئيسي هو كطلاء للجدران لإعطاء الشكل الجمالي بالإضافة إلى حماية الجدران وحماية المعادن من عوامل التآكل.

4-2 السيليكون وبعض مركباته البنائية:

4-2-1 عنصر السيليكون (السيليسيوم Si):

- بنية السيليكات

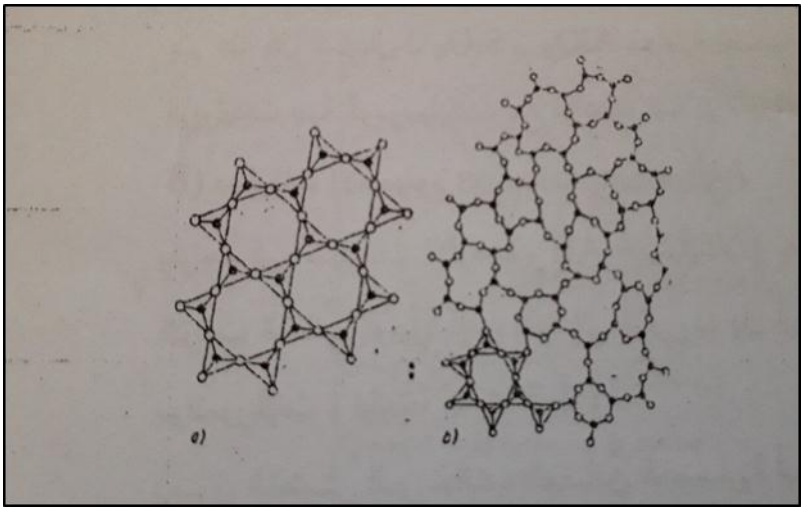
يكون أيون السيليسيوم في حالة إشباع حجمي تام عندما يحيط نفسه بأربعة أيونات أكسجين، هذه الأيونات الأربعة تتوضع في زوايا رباعي وجوه مركزه أيون السيليسيوم الصغير، وتشكل بالتالي رباعي وجوه $[SiO_4]^{-4}$ ذات شحنة سالبة، الشكل (1-4).



الشكل (1-4): رباعي وجوه $[SiO_4]^{-4}$

وكما هو ملاحظ فإن $[SiO_4]^{-4}$ غير معتدل كيميائياً، لذلك فهو يطمح لمعادلة الشحنات الأربع السالبة بشحنات موجبة.

من أجل تحقيق ذلك فهو يحتاج إلى أيونات من Si^{+4}. هذه الأيونات تتراكم على نقطة الارتكاز الأساسية $[SiO_4]^{-4}$ وتؤدي إلى ترابط متبادل بين Si^{+4} وأيونات O^{-2}. هذا الترابط يستمر حتى تتشكل شبكة من رباعي الوجوه SiO_4 المعتدلة كيميائياً، الشكل (2-4).



الشكل (2-4): شبكة رباعي وجوه SiO_4

يميل السيليسيوم Si (ثاني أكثر عنصر مصادفة بعد الأكسجين) بشدة للتفاعل مع الأكسجين عند درجة حرارة $600\ C^{\circ}$ ويشكل السيليكا SiO_2، كما ينتزع الأكسجين من الماء بالدرجة $800\ C^{\circ}$ مطلقاً الهيدروجين، وفق المعادلات:

$$Si + O_2 \xrightarrow{600\ C^{\circ}} SiO_2$$

$$Si + 2H_2O \xrightarrow{800C^{\circ}} SiO_2 + 2H_2$$

لايتفاعل السيليكون مع الحموض لكنه يتفاعل مع القلويات القوية الساخنة مشكلاً سيليكات قلوية كما في تفاعله مع ماءات الصوديوم الساخنة.

$$Si + 2NaOH + H_2O \xrightarrow{\Delta} Na_2SiO_3 + 2H_2$$

- <u>أكسيد السيليسيوم (السيليكا) SiO_2</u>

تعد السيليكا SiO_2 من أهم مركبات السيليكون وهي منتشرة جداً في الطبيعة بشكل رمال سيليكاتية تُستعمل بكثرة في مجال البناء حيث تُضاف إلى الإسمنت لتحضير الخرسانة والمونة الإسمنتية المستخدمة في أعمال الطينة، كما وتستعمل السيليكا في صناعة الزجاج والآجر والسيراميك. بنية السيليكا هي بنية جزيئية ضخمة تكون الروابط فيها روابط مشتركة قوية لذلك يتمتع بدرجات انصهار مرتفعة جداً $2590\ C^{\circ}$ وقساوة عالية أيضاً لذلك يستعمل في تنعيم سطوح المعادن.

لاتؤثر معظم المواد الكيميائية على السيليكا فهي شبه خاملة كيميائياً فلا تؤثر عليها الحموض حتى القوية الساخنة، لكن المحاليل القلوية القوية الساخنة يمكن أن تتفاعل معها مشكلة مادة لزجة شفافة تدعى **الزجاج السائل** تستعمل في صناعة المنظفات كما تستعمل في مجال البناء كمادة طلائية للجدران الخرسانية لإعطائها منظراً جمالياً ولحمايتها من عوامل التآكل والاتساخ إذ تتحد مادة الزجاج السائل مع بعض المكونات الإسمنتية في الخرسانة مكونة طبقة شفافة ملتصقة على السطح.

- <u>سيليكات الكالسيوم</u>

تعتبر سيليكات الكالسيوم مكوناً أساسياً في أنواع الإسمنت والخبث. وهناك أنواع مختلفة لسيليكات الكالسيوم أهمها:

- سيليكات ثلاثية الكالسيوم C_3S
- سيليكات ثنائية الكالسيوم C_2S
- سيليكات كالسيوم متفاوتة التركيب (C_3S_2 , CS)

4-2-2 الغضار:

يتألف الغضار من مجموعة مركبات سيليكاتية معدنية مثل: سيليكات الألمنيوم وسيليكات الحديد وقد يوجد معها أكاسيد أخرى عديدة مثل أكاسيد الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم وغيرها... تتبلور هذه المواد مع عدد من جزيئات الماء. مثال ذلك الكاؤولين وصيغته $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ الذي ينصهر بالدرجة $1780C^\circ$ والفلدسبار البوتاسي صيغته $K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$ درجة انصهاره $1150C^\circ$. يمكن أن تحل أكاسيد أخرى محل أكسيد الألمنيوم فتنتج أنواع غضارية مختلفة، يدعى مزيج هذه الأنواع بالغضار.

عند استبدال شاردة المغنيزيوم Mg^{+2} بشاردة الألمنيوم في الغضار Al^{+3} فإن فرق الشحنات هو 1- أي تظهر على سطح حبيبات الغضار مراكز ذات شحنة سالبة، ويمكن لاستبدالات أخرى أن تعطي لحبيبات الغضار شحنة موجبة لذلك يتصف الغضار باحتفاظه بالماء، بسبب التجاذبات الكهربائية بين جزيئات الماء القطبية والشحنات على سطح حبيبات الغضار، فعند إضافة الماء إلى الغضار تنتج عجينة غضارية يمكن تشكيلها بأشكال مختلفة حسب القالب الموضوعة فيه وتتصلب هذه العجينة بعد الشي وهذا معروف منذ القدم إذ استعمل الغضار لتحضير الفخار ثم تطورت هذه العملية للحصول على الآجر والقرميد ثم البورسلين والسيراميك.

4-2-3 الآجر والقرميد والسيراميك والبورسلين والخزف:

تتألف هذه المواد من الغضار وبعض المواد المساعدة حيث يُضاف إليها الماء للحصول على عجينة غضارية تخضع فيما بعد للشي بدرجات حرارة مرتفعة فنحصل على مادة صلبة متماسكة. تتألف المواد الأولية من:

1- الفلدسبار $K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$ كمصدر للسيليكا ولأكسيد الألمنيوم وهما من المواد الرئيسية المكونة لقطع الآجر والسيراميك والخزف، كما أن الفلدسبار مصدر لأكسيد قلوي K_2O وهو من المواد المساعدة على الانصهار إذ ينصهر الفلدسبار بالدرجة $1150C^\circ$.

2- الكاؤولين $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ ويكون لدناً بشكله العجيني

3- رمل سيليسي SiO_2 يُضاف لمقاومة التقلص وهو من المواد المقاومة للانصهار.

4- أحجار كلسية $CaCO_3$ أو دولوميت $MgCO_3.CaCO_3$ وهو من المواد المساعدة على الانصهار يؤدي وجوده إلى بعض التقلص بعد عملية الشي لانطلاق غاز CO_2 أثناء الشي.

أنواع الآجر المقاوم:

لصنع الآجر المستعمل في البناء يمكن استعمال أي نوع من المواد الغضارية الرخيصة ولاتوجد متطلبات معينة لخواص المواد الغضارية، ويجب مزج هذه المواد جيداً لضمان تجانس لون الآجر. أما أنواع الآجر الأخرى التي تقاوم الحرارة العالية وتقاوم المواد الكيميائية فتدعى "أنواع الآجر المقاوم" وهذه أهم أنواع الآجر المقاوم:

- **الآجر المقاوم للحموض:** ويتكون من شي مزيج من نحو 82% من السيليكا ونحو 16% من أكسيد الألمنيوم فنحصل على نوع من الآجر المقاوم للحموض درجة انصهاره تقرب من $1650\ C^{\circ}$.
- **الآجر الحراري:** ويتكون من نحو 55% سيليكا و 45% أكسيد الألمنيوم وله درجة انصهار مرتفعة تتجاوز $1800\ C^{\circ}$، ويستعمل في تبطين الأفران مثل الأفران العالية المستعملة في تعدين الحديد.
- **الآجر الدولوميتي:** يُحضر من تسخين الدولوميت $CaCO_3.MgCO_3$ وله درجة انصهار مرتفعة تتجاوز $1800\ C^{\circ}$ ويستعمل في تبطين المحولات مثل المحولات التي تستعمل لتحويل الحديد الخنزيري إلى الحديد المطاوع أو الفولاذ.
- **آجر الكروميت المعتدل:** يتكون من تسخين الكروميت $FeO.Cr_2O_3$ مع نسبة ضئيلة من $MgO.Al_2O_3$، له درجة انصهار عالية تتجاوز $1900\ C^{\circ}$ ويستعمل في تبطين أفران الإسمنت الدوارة.

4-2-4 الزجاج:

يعد الزجاج مادة غير متبلورة فهو سائل قاسي في حالة فوق التبريد ليس له درجة انصهار محددة ونظراً للزوجته العالية لايتمكن من التبلور، فالتبلور هو عملية تنتظم فيها الذرات وتتوضع في أماكن محددة انتقالاً من الحالة السائلة (حيث تكون الذرات حرة الحركة)، إلى الشكل الصلب (حيث تكون الحركة مقيدة). وعملية التزجج هي نقيض عملية التبلور. من الناحية الكيميائية يعد الزجاج ناتج تفاعل أكاسيد لاعضوية ناتجة عن تفكك مركبات معادن قلوية وقلوية ترابية مع الرمل.

تقسم المواد الأولية المستخدَمة في صناعة الزجاج إلى أربع مجموعات:

1- مجموعة المواد المكونة وهي: $SiO_2\ ,\ B_2O_3\ ,\ P_2O_5$.

2- مجموعة المواد المساعدة على الانصهار: $Na_2O\ ,\ K_2O$.

3- مجموعة المواد المثبتة: $CaO\ ,\ MgO\ ,\ Al_2O_3\ ,\ PbO\ ,\ PbO_2$.

4- مجموعة المواد المساعدة: $MnO_2\ ,\ As_2O_3\ ,\ TiO_2\ ,\ Co_2O_3\ ,\ Cr_2O_3$.

تختلف مواصفات الزجاج باختلاف نسب ونوعية المواد الأولية المستعملة، وهذه أهم أنواع الزجاج ونسب مكوناتها:

- **زجاج النوافذ العادي**: يتألف من السيليكا SiO_2 بنسبة نحو 72% - 70 وأكسيد الصوديوم Na_2O بنسبة 15% – 13 وأكسيد الكالسيوم CaO بنسبة نحو 10% وماتبقى هو بعض الأكاسيد الأخرى مثل: MgO و Al_2O_3 وتمثَّل معادلة تشكل الزجاج على الشكل التقريبي التالي:

$$6SiO_2 + CaCO_3 + Na_2CO_3 \xrightarrow{\Delta} 6SiO_2.CaO.Na_2O + 2CO_2$$

(زجاج)

- **زجاج القوارير والكؤوس**: تختلف فيه نسب المواد الأولية عن زجاج النوافذ فتقل نسبة السيليكا إلى 60% – 55 ونسبة أكسيد الصوديوم إلى نحو 5% بينما يرتفع أكسيد الألمنيوم إلى 10% وأكسيد الكالسيوم إلى 25%.
- **زجاج الكريستال**: يتميز زجاج الكريستال عموماً بوجود نسبة مرتفعة من أكسيد الرصاص تصل في بعض الأنواع إلى 30% وهي مادة ثقيلة الوزن لذلك يلاحظ أن قطع زجاج الكريستال تكون أثقل من الزجاج العادي، كما أن نسبة أكسيد البوتاسيوم K_2O تكون مرتفعة في الكريستال وتصل في بعض الأنواع إلى 15%، إن قرينة انكسار زجاج الكريستال كبيرة فيعاني الضوء الساقط عليه عدة انكسارات قبل خروجه من قطعة الكريستال فتبدو متألقة.
- **زجاج البيركس**: ترتفع فيه نسبة السيليكا إلى نحو 80% ونسبة أكسيد البور B_2O_3 إلى 11% أما بقية الأكاسيد فتوجد بنسب قليلة. يمتاز زجاج البيركس بانخفاض عامل تمدده الحراري، لذلك يستعمل في صناعة الأدوات المخبرية التي تتعرض للحرارة كالكؤوس الزجاجية العادية والمخروطية (البياشر والأرلينات)، وفي صنع أوعية الطبخ الزجاجية.
- **الزجاج الملون**: نحصل عليه بإضافة بعض الأكاسيد إلى المواد الأولية حيث تضفي هذه الأكاسيد على الزجاج لوناً معيناً، فمثلاً وجود أكسيد النيكل NiO يعطي اللون (الأصفر - البني)، أما أكسيد المنغنيز MnO فيعطي اللون الأصفر الفاتح، وأكسيد الكروم Cr_2O_3 فيعطي اللون الأخضر الشاحب، وCrO_3 فيعطي اللون الأصفر، أما النحاس فيعطي اللون الأحمر.

4-2-5 الإسمنت:

وهو أهم المواد الرابطة المستخدَمة في البناء ويتكون من السيليكا SiO_2 وأكسيد الكالسيوم CaO وأكسيد الألمنيوم Al_2O_3 وأكسيد الحديد Fe_2O_3، ونظراً لأهمية هذه المادة ستُخصص الفصول المقبلة لدراستها بشكل مفصل.

تعريف القلويات والقلويات الترابية:

القلويات هي مواد أحادية التكافؤ، (Na, K, Li, Rb, Cs)، تظهر محاليلها المائية قلوية شديدة. أما القلويات الترابية فهي مواد ثنائية التكافؤ، (Ca, Mg, Ba, Sr, Ra, Be). لاتتوفر العناصر القلوية والقلوية الترابية بشكل حر في الطبيعة وهذا يعود إلى ميلها الشديد للأكسجين.

$$2Na + 0.5O_2 \rightarrow Na_2O \quad , \quad \Delta H = -416.2 \text{ Kj/mol}$$

$$Ca + 0.5O_2 \rightarrow CaO \quad , \quad \Delta H = -436 \text{ Kj/mol}$$

يعود التفاعل القلوي للقلويات والقلويات الترابية إلى تشكل أيونات الهيدروكسيل OH^- أثناء تفكك الأساس وحلمهة الأملاح ذات التفاعل القلوي.

$$NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$$

$$Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow 2Na^+ + HCO_3^- + OH^-$$

تتعلق قلوية التفاعل القلوي بكمية أيونات OH^- المتشكلة.

الأملاح القلوية والقلوية الترابية عديمة اللون، أما الماءات القلوية مثل NaOH و KOH فهي مواد صلبة بيضاء اللون وقابلة للانحلال بالماء. انحلالية القلويات والقلويات الترابية موضحة في الجدولين (2-4)، (3-4).

الجدول (2-4): انحلالية الأملاح القلوية ($100g\ H_2O$ / ملح g عند درجة حرارة $20C^\circ$)

المركب	Li	Na	K
ماءات	12.2	104.8	112.0
كربونات	1.33	21.58	112.0
بيكربونات	-	9.6	33.2
كلوريد	81.2	35.85	34.37
كبريتات	36.0	19.4	11.1

الجدول (3-4): انحلالية الأملاح القلوية الترابية ($100g\ H_2O$ / ملح g عند درجة حرارة $20C^\circ$)

المركب	Mg	Ca	Sr	Ba
ماءات	0.0029	0.165	0.81	4.18
كربونات	0.179	0.0014	0.0011	0.0012
بيكربونات	7.49	1.66	-	-
كلوريد	54.2	74.5	53.9	37.2
كبريتات	35.6	0.202	0.015	0.0032

4-3 أحجار البناء الطبيعية:

وهي الأحجار الموجودة في الطبيعة وتستعمل في أعمال البناء بعد تقطيعها حسب الرغبة وهي على أنواع مختلفة بحسب تركيبها وخواصها الميكانيكية وصفاتها، تعتبر الصخور كتلاً معدنية غير متجانسة وهي تنتج من ارتباط حبيبات نوع واحد أو أكثر من المعادن.

تقسم الصخور حسب متانة الرابطة بين الحبيبات إلى صخور صلبة (الحجر الرملي) وصخور مسامية (الرمل، الغضار). تستخدم الصخور الصلبة في بناء الجدران وأعمال الإكساء الخارجي والديكور، أما الصخور المسامية فتستخدم في الهندسة المدنية كمواد إحضارات (رمل، حصويات) وهي تحتاج إلى مادة رابطة (مثلاً الإسمنت) حتى تتصلب.

- **الصخور الصلبة**

تقسم الصخور الصلبة حسب أسلوب تشكلها إلى:

- صخور مغماتية (الغرانيت، البازلت)
- صخور رسوبية (الحجر الرملي، الحجر الكلسي)

A) الصخور المغماتية (النارية البركانية):

تتشكل الصخور المغماتية (الاندفاعية) نتيجة اندفاع مصهور سيليكاتي بدرجة حرارة $1200C^\circ$ (مصهور Magma) وتصلبه إما في الجزء العلوي من القشرة الأرضية أو على سطح القشرة

الأرضية. تشكل السيليكا النسبة الأكبر في هذه الصخور مع مجموعة من أكاسيد معدنية مختلفة، يعطي الجدول التالي متوسط النسب لعدد كبير من الصخور البركانية:

الأكاسيد	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
النسبة المئوية	59.7	16	2.6	3.5	4.9	4.4	2.8	3.6

تُصنف الصخور المغماتية حسب نسب SiO_2 في الصخر إلى:

- حامضية (SiO_2 > 65% نسبة)
- قاعدية (SiO_2 < 52% نسبة)

يعتبر الغرانيت من أهم الصخور البركانية الحمضية المستعملة في مجال البناء، تتكون بلوراته من الكوارتز SiO_2 والفلدسبار $K_2O.Al_2O_3.SiO_2$ مع بعض الميكا البيضاء $H_2KAl(SiO_4)_3$ والميكا السوداء $(H,K)_2(Mg,Fe)(Al,Fe)_2(SiO_4)_3$ والتي تظهر بشكل قشور ناعمة لامعة.

B) الصخور الرسوبية:

تتشكل الصخور الرسوبية إما نتيجة لعمليات كيميائية / فيزيائية أو نتيجة لعمليات بيولوجية. تحصل عملية التشكل **الكيميائية / الفيزيائية** وفق المراحل التالية:

- تعرية صخور أساسية نتيجة التبدلات الحرارية ونتيجة لعمليات الانحلال والانفصال.
- انتقال نواتج التعرية
- تراكم نواتج التعرية في مناطق محددة (مثلاً مناطق بحرية)
- تصلب نواتج التعرية الهشة

تحصل عملية **التشكل البيولوجي** للصخور الرسوبية بمساهمة الأحياء البحرية (مثلاً المحاريات). من أهم أنواع الصخور الرسوبية: الأحجار الرملية، والأحجار الكلسية، والرخام.

تتكون الأحجار الرملية من حبيبات الكوارتز المرتبطة مع بعضها بواسطة كربونات الكالسيوم وأكسيد الحديد والغضار. تتعلق متانة هذه الأحجار بنوع وكمية المادة الرابطة فيها، ويكون لونها بني محمر بسبب وجود أكاسيد الحديد.

تتكون الأحجار الكلسية في معظمها من كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ التي تكونت قديماً من ترسبات كلسية لبقايا حيوانية في قعر البحر. تحوي الأحجار الكلسية بعض أكاسيد الحديد والسيليكا والغضار، توجد عادة كربونات المغنيزيوم $MgCO_3$ مع الأحجار الكلسية وإذا كانت بنسبة مولية مساوية لكربونات الكالسيوم يصبح اسم الحجر **الدولوميت** وصيغته $CaCO_3.MgCO_3$، الأحجار الكلسية بيضاء اللون وتكون ملونة أحياناً بسبب وجود بعض الشوائب.

النوع الثالث من الأحجار الرسوبية هو الرخام وهو أحجار متبلورة ناتجة عن أحجار كلسية أو دولوميت تعرضت لحرارة وضغط عاليين فتحولت إلى شكل شبه منصهر دون أن ينطلق غاز CO_2 بسبب الضغط المرتفع، ثم يتحول الشكل شبه المنصهر إلى الحالة الصلبة عندما يبرد. لايختلف الرخام كيميائياً عن الأحجار الكلسية وله تنوع كبير في اللون بسبب الأكاسيد المعدنية المرافقة له.

- **الصخور الهشة**

تملك الصخور الهشة (مواد البناء الأرضية) تركيب كيميائي متفاوت وتُقسم إلى:

- قابلة للربط (مثلاً الغضار)
- غير قابلة للربط (الرمل، الحصويات)

تُستخدم الصخور الهشة غير القابلة للربط (الرمل، الحصويات) على نطاق واسع كمواد مضافة (إحضارات) في إنتاج الملاط والبيتون.

4-4 المواد الرابطة الكلسية والجصية:

وهي مواد طبيعية لها دور رابط في جمع قطع حجرية أو حصويات أو في تشكيل مونة رابطة وذلك بعد تسخين هذه المواد ثم تبريدها وطحنها وإضافة الماء إليها.

4-4-1 المواد الرابطة الكلسية:

المادة المسؤولة عن الترابط في هذه المواد هي أكسيد الكالسيوم المعروف باسم "الكلس الحي" وصيغته CaO وهو مادة بيضاء إذا كانت نقية.

الملاط (كلس حي / رمل): يمكن تحضير مادة رابطة ملاطية من أكسيد الكالسيوم والماء فقط، إذ يتفاعل الماء مع أكسيد الكالسيوم فتنتج ماءات الكالسيوم التي تمتص غاز CO_2 من الهواء وتتحول إلى كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ لكنها تتشقق عند التصلب، المعادلات التالية توضح هذه التفاعلات ابتداءً من تفكك الحجر الكلسي للحصول على الكلس الحي:

$$CaCO_3 \xrightarrow{\Delta} CaO + CO_2$$

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

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

إذا أُضيف الرمل إلى العجينة الكلسية بنسبة وزن عجينة إلى ثلاثة أوزان رمل فإن الملاط الناتج يكون أكثر مقاومة للتشقق ويساعد وجود الرمل على تخلل غاز CO_2 ضمن العجينة فيتفاعل مع ماءات الكالسيوم ويحولها إلى كربونات الكالسيوم الصلبة.

4-4-2 الجص:

الجص الطبيعي هو كبريتات الكالسيوم المتبلورة مع جزيئين من الماء $CaSO_4.2H_2O$ ويوجد بشكل أحجار أو حبيبات تكون أحياناً شبه نقية، وقد تحوي شوائب مختلفة مثل السيليكا وأكسيد الألمنيوم وأكسيد الحديد وبعض كربونات الكالسيوم والمغنيزيوم. يُحضر الجص نصف المائي (البلاستر) وصيغته $CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O$ بنزع جزيئة ونصف من الماء من الجص الطبيعي بتسخينه إلى الدرجة $160C^\circ$ تقريباً حسب المعادلة:

$$CaSO_4.2H_2O \xrightarrow{\Delta} CaSO_4 . \frac{1}{2} H_2O + \frac{3}{2} H_2O$$

وباستمرار التسخين يفقد الجص نصف المائي ماتبقى من الماء ويتحول إلى الجص اللامائي:

$$CaSO_4 . \frac{1}{2} H_2O \xrightarrow{\Delta} CaSO_4 + \frac{1}{2} H_2O$$

تعتمد عملية تصلب الجص على كون الجص اللامائي أو نصف المائي أكثر انحلالاً في الماء من الجص ثنائي الماء، فعند مزج الجص مع الماء فإن الجص اللامائي أو نصف المائي يتفاعل مع الماء متحولاً من جديد إلى الشكل الطبيعي وهو الجص ثنائي الماء الأقل انحلالاً فيبدأ بالترسب من المحلول ويشكل بلورات تبدأ بالتداخل مع بعضها وينتهي الأمر بالتصلب حسب المعادلة:

$$CaSO_4 . \frac{1}{2} H_2O + \frac{3}{2} H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O$$

إذا تم نزع الماء من الجص الطبيعي بالدرجة فوق $205\ C^\circ$ فإن الجص اللامائي الناتج يتفاعل ببطء شديد مع الماء، ولذلك تكون عملية التصلب بطيئة وقد تستغرق عدة ساعات أو عدة أيام بحسب درجة حرارة الحرق ونعومة الجص، ويكون الناتج أكثر صلابة وقساوة من الجص العادي نصف المائي.

يتصلب الجص نصف المائي (عجينة باريس) خلال بضع دقائق، لذلك يُرغب عادةً بإطالة الفترة اللازمة للتصلب حتى يمكن صب العجينة قبل البدء بالتصلب، ويتحقق ذلك بإضافة مواد مبطئة للتصلب وهي عادة بعض المواد العضوية التي تشكل محلولاً غروياً يغلف بلورات كبريتات الكالسيوم ويعيق عملية ترسبها من المحلول. من المواد المبطئة لتصلب الجص نذكر الطحين والصمغ.