Technology of Construction Materials Industry

By Dr. Hasan Alhamwi

Lecture 1 : Introduction to the Construction Materials

Main references:

- Revuelta, M.B., 2021. Construction Materials: Geology, Production and Applications. Springer.
- Multiple Internet sources.

1. تعريف و أنواع مواد البناء

تعتبر عشرينيات القرن الماضي من أكثر الأزمنة فعالية في الحضارة الانسانية. حيث كان التعداد البشري في ذلك الحين مايقارب 1.5 مليار نسمة اما الأن تحديدا في سنة 2020 أصبح حوالي 8 مليار نسمة. هذه الزيادة الرهيبة في عدد السكان أدى الى ارتفاع مستوى الهجرة للمدينة و نشاط قطاع البناء. يحتل قطاع البناء و مواد البناء المرتبة الثانية من حيث أستهلاك المواد الخام بعد القطاع الغذائي الشكل 1-1. لذلك, من كل الموارد الطبيعية التي يستهلكها السكان ، حوالي 20-50٪ تستخدم من قبل قطاع البناء والتشييد. على سبيل المثال، ما يقدر بنحو 25-50 ٪ من الأخشاب المستخرجة في يستخدم العالم كمواد بناء. من الواضح أن سوق البناء والتشييد هو أحد الأسواق الرئيسية والقديمة والنشطة التي دعمت الحياة الاجتماعية و التنمية الاقتصادية للأمم ، وذلك بسبب تأثير كبير على الاقتصاد ، وخلق رأس المال ، وتولد الكثير من الوظائف. في أوروبا ، سوق البناء والتشييد يتيح 18 مليون وظيفة مباشرة ويساهم في حوالي 9٪ من الناتج المحلي الإجمالي للاتحاد الأوروبي.

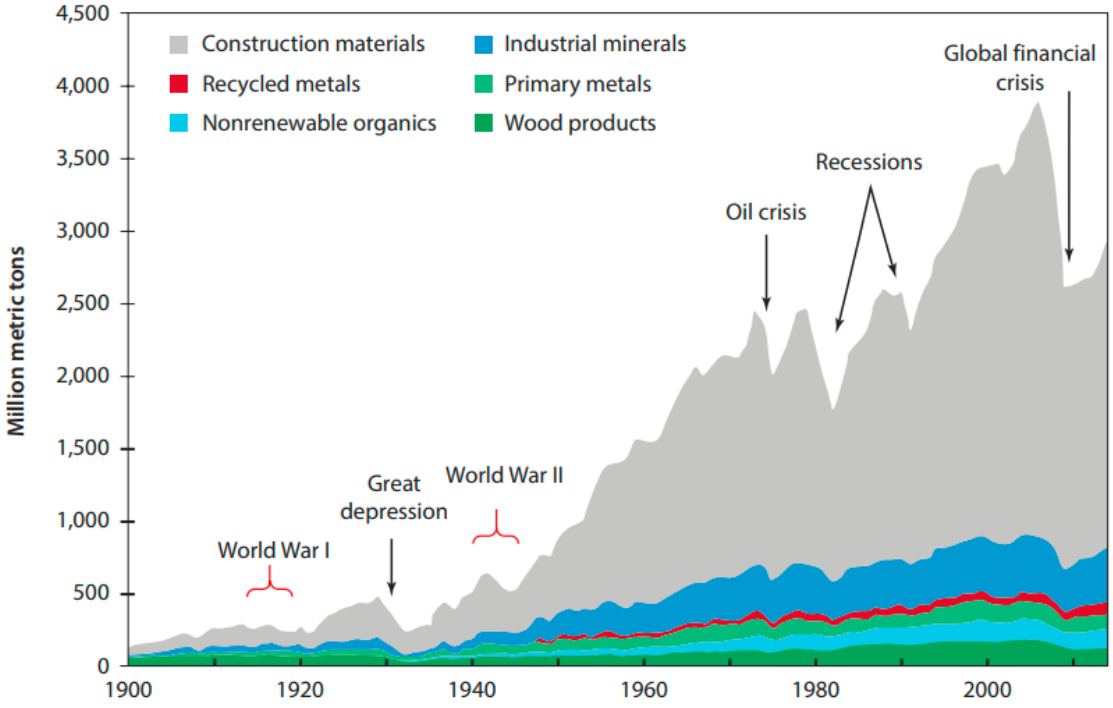


Fig. 1.1 US nonfuel material consumption, 1900–2014 (Matos 2017)

أستخدام الفضاء في أوربا تضاعف منذ 1960 ليصبح بالنسبة للسكن حوالي 50–40 m^2 للشخص الواحد. هذا يفسر تضاعف انتاج مواد البناء. يمكن تصنيف مواد البناء من زوايا مختلفة وفقا لغاية الدراسة والتطبيقات والأوصاف. تعتمد التصنيفات الأكثر استخدامًا على مكوناتها ووظائفها الكيميائية. وفقًا للمكونات الكيميائية لمواد البناء يمكن تصنيفها إلى مواد غير عضوية ومواد عضوية ومواد مركبة. بناءً على وظائفها ، يمكن تقسيم منتجات البناء إلى مواد هيكلية ومواد وظيفية. تُستخدم المواد الإنشائية بشكل أساسي كأعضاء حاملة (على سبيل المثال ، المواد المستخدمة في beams and columns) بينما تمتلك المواد الوظيفية بعض الوظائف الخاصة في البناء مثل وظائف مقاومة الماء والعزل الحراري ، إلخ (الشكل أدناه).

wood	Geosynthetics	Concrete structure	Masonry mortar

Table 1.1 World production of main materials used in construction and approximate proportion going to the construction industry (Ahmed and Sturges 2014)

Material	Annual world production (tons)	% of world production used in construction
Cement	2,400,000,000	95–100
Aggregates	12,000,000,000	95–100
Steel	1,450,000,000	Up to 50
Timber	1,000,000,000	c. 60
Polymers	150,000,000	c.20–25
Total	17,000,000,000	

الجدول اعلاه يوضح أنتاج العالم من مواد البناء ب طن و النسبة المئوية من المواد المستخدمة في أعمال التشييد و البناء.

2. متانة او صمود المادة **Durability**

خلال العمر الأنشائية تخضع مواد البناء لتأثيرات فيزيائية وكيميائية وبيولوجية. تتمثل التأثيرات الفيزيائية ب التغيرات كلرطوبة (جاف الى رطب) ودرجة الحرارة والتجميد والذوبان ، وكلها ستؤدي إلى تمدد المواد وانكماشها. تشمل التأثيرات الكيميائية الهجمات الحمضية وتأثير محلول مائي قلوي وملح. و التي يمكن أن تغير من مكونات المادة. تعني التأثيرات البيولوجية التأثيرات المدمرة للفطريات والحشرات والتي يمكن أن تغير تكوين العديد من أنواع مواد البناء مثل الخشب كما في الشكل ادناه.

تكسر التبليط	تأثير الأملاح	تأكل الخشب

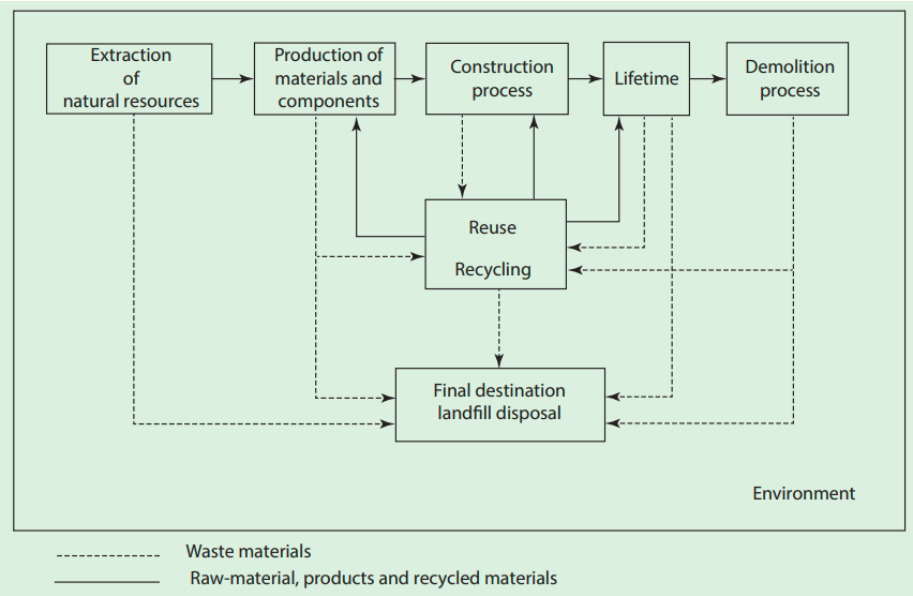
من الواضح ان كل مادة مستخدمة في البناء لها معامل متانة مختلف لذلك فمن الضروري قياس هذا العامل و العمل على تحسين متانة المادة لتحسين جودتها و مدة استخدامها وذلك عن طريق وضع مواصفات خاصة لانتاج اي نوع من هذه المواد لضمان الجودة.

3. معايير الأنتاج Product Standards

يتم وضع معايير المنتج لتلبية بعض أو كل متطلبات منتجات البناء من أجل ضمانها. تم وضع معايير ASTM في الولايات المتحدة من قبل الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد American Society for Testing and Materials ويتم تطبيقها على أنها إلزامية في العديد من البلدان في جميع أنحاء العالم. تم تطوير معايير EN في أوروبا من قبل اللجنة الأوروبية للتوحيد القياسي(CEN). كذلك في العراق توجد المواصفة القياسية العراقية للمواد الانشائية.

4. الأستدامة في المواد الانشائية Sustainability in Construction Materials

الاستدامة مصطلح واسع يشمل الجوانب الاقتصادية والاجتماعية والبيئية ، والتي يشار إليها عمومًا باسم ركائز الاستدامة. الجانب الاقتصادي يضمن التوزيع العادل. الجانب الاجتماعي لتعزيز المساواة والرفاه والعدالة الاجتماعية. والبيئية تعني حماية واستعادة الموارد الطبيعية ووالحفاظ على النظم البيئية. لم يؤد نمو سوق البناء إلى التخلص من عيوب الاستهلاك العالي للطاقة والاستهلاك المفرط للموارد والتأثيرات البيئية. فيما يلي بعض الأمثلة الجادة لتأثير صناعة البناء على البيئة: (أ) استهلاك الطاقة في صناعة البناء هو 25-40٪ من الاستهلاك العالمي للطاقة ، (ب) تشكل نفايات البناء 20-40٪ من إجمالي النفايات من المدن ، و (ج) تشكل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من إنتاج الأسمنت 7٪ من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. بالإضافة إلى ذلك ، تستهلك صناعة البناء العالمية مواد خام أكثر من أي نشاط اقتصادي آخر ، مما يدل على ان هذه صناعة غير مستدامة. يعد تقليل استهلاك الموارد الطبيعية وتقليل الآثار البيئية والاستفادة من الجودة وتوجيه التكنولوجيا حاليًا من الاتجاهات الأساسية في تطوير صناعة البناء الى جانب الأستدامة. في الشكل أدناه يبين التطوير و المدخلات على دورة حياة المواد الانشائية لتحقيق اعلى مدى من الاستدامة


Extraction of natural resources
Production of materials and components
Construction process
Lifetime
Demolition process
Reuse
Recycling
Final destination landfill disposal
Environment
Waste materials
Raw-material, products and recycled materials

Technology of Construction Materials Industry

By Dr. Hasan Alhamwi

Lecture 2 : Design Basis of Factories

Main references:

- Revuelta, M.B., 2021. Construction Materials: Geology, Production and Applications. Springer.
- Multiple Internet sources.

1. تعريف المصنع

هو عبارة عن مبنى أو مجموعة مباني التي تصنع فيها المنتجات , و تتراوح المصانع في الحجم ما بين ورش صغيرة و بنايات تملئ مدينة بأكملها . وفي داخل المصنع يتم تحويل المواد الخام اولاجزاء إلى منتجات جاهزة للأستخدام و ذلك من خلال إضافة قيمة لهذه المواد بتغير شكلها و مضمونها طبقا لمقاييس السوق و باستخدام المكائن وبأقل وقت و مادة وجهد , وتنتج المصانع تقريبا كل المنتجات التي يستخدمها الناس , حتى الغذاء له مصانع عديدة بحيث تعالج و تعد وتعبئ المنتجات الغذائية.

ويتكون المصنع من ثالث أفرع أساسية و هي:

1. الادارة
2. التصنيع
3. التخزين

2. أنواع المصانع:

طبقا لمبدأ تقسيم العمل إلى عدد من العمليات أثناء عملية الصناعة تم تقسيم المصانع إلى ثالثة أنواع وهي:

A. المصانع النمطية .
B. مصانع المهمات .
C. مصانع السلع المتنوعة.

2.1 المصانع النمطية:

وهي التي تصنع وحدات كثيرة من المنتج و تسمى أيضا هذه الطريقة بـ (طريقة خط التجميع) . فمثال في صناعة السيارات يمر هيكل السيارة فوق خط نقال عبر أركان المصنع , وأثناء حركة الهيكل تظهر أجزاء متفرقة على خطوط نقالة أخرى بحيث يتم ربطها بالهيكل حتى تكتمل السيارة.

2.2 مصانع المهمات:

و تسمى أيضا مصانع المشروعات , ومن أمثلتها مصانع الطائرات .و في هذا النوع لأ يمكن تحريك المنتج من مكان لأخر بسبب حجمه الكبير, و بالتالي لابد للعمال و الأجهزة من الأنتقال إلى المنتج .و يستغرق إنتاج وحدة واحدة من المنتج زمنا طويل قد يصل إلى عدة شهور.

2.3 مصانع السلع المتنوعة:

و تجمع ما بين وسائل المصانع النمطية و مصانع المشروعات .و في هذا النوع تقام المصانع لأنتاج عدد معين من الوحدات لمنتج معين , وبمجرد الأنتهاء من العدد المطلوب تبدأ المصانع في إنتاج منتج آخر.

3. المعايير التخطيطية و التصميمية للمصانع **Planning & Desgining Criterions for Factories**

A. أختيار الموقع

هناك عدة عوامل من شئنها التاثير على أختيار موقع المعمل منها:

I. القوانين الخاصة بالبلد

قد تمنع او تسهل القوانين الخاصة ب بلد ما بناء معمل او وجوده من الأساس. كذلك يجب ان تكون قوانين خاصة في حماية المنتج و الأستثمار.

II. القرب من المادة الخام

يجب ان يكون مجمع الانتاج قريب من المواد الخام كون المواد الخام تمثل في معظم الاحيان حوالي 50% من الكلفة.

III. القرب من السوق

أن قرب وحدات الانتاج من السوق يجعل السعر الواصل الى المستهلك أقل. وذلك لأنخفاض تكاليف النقل و قلة المواد التالفة خصوصا بالنسبة للمواد الهشة و القابلة للكسر.

IV. القرب من الدعم اللوجستي و الخدمات

يعني قرب المعمل من الدعم الخارجي المطلوب بمعنى يجب ان يكون المعمل من وكالة التزويد بقطع الغيار مثلا. او كون تعليب المنتج يسوق من معمل اخر مثلا.

V. توفر البنى التحتية

توفر البنى التحتية لتوفير المستلزمات الرئيسية لعمل المعمل كـ منظومات المياه العذبة و لصرف الصحي و منظومة الكهرباء و الاتصالات وغيرها.

VI. توفر بنى تحتية مجتمعية

وتعني توفر المقومات الرئيسية لحياة العوائل للعاملين في المعمل كتوفر المدارس و المستشفيات و مناطق التسوق و الترفيه.

VII. توفر عوامل الأمان و السلامة

السلامة اولا في انجاز اي عمل حيث يجب ان تكون بيئة العمل امنة للعاملين وللسكان المحيطين لذلك يجب ابعاد المعامل ذات التأثير البيئي السلبي عن الاماكن السكنية قدر الامكان.

VIII. توفر اليد العاملة الماهرة

يعتبر توفر الأيدي العاملة من العوامل المؤثرة بشكل كبير على نجاح العمل و هنا لا يقصد باليد العاملة العمال فقط وانما كل الكادر من أداريين و مهندسين و مبرمجين وما الى ذلك.

B. طبيعة عملية التصنيع

نوع عملية التصنيع هو المحدد الرئيسي لمباني المصنع. يعتمد التحميل للسقوف ومساحة الرأسية وحجم الغرف وما إلى ذلك على نوع الآلات والمعدات التي سيتم استخدامها.

C. تخطيط المصنع

لترتيب الآلات ومراكز الخدمة والمكاتب تأثيرًا كبيرًا على تصميم وإنشاء مباني المصنع. في الواقع ، يجب تحديد نمط العمل أولاً ويجب أن يكون المبنى مجرد غلاف حول هذا التصميم. ومع ذلك ، ينبغي توفير المرونة لتلبية الاحتياجات المستقبلية.

D. الأضاءة

يؤثر نظام الإضاءة داخل المصنع بشكل كبير على إنتاجية الموظفين وإرهاقهم. لذلك ، يجب مراعاة معايير الإضاءة أثناء تخطيط المصنع.

E. التدفئة والتبريد و التهوية

يجب تهيئة نظام التدفئة و التبريد وخصوصا في المناطق ذات الطابع المتطرف في درجات الحرارة توفير بيئة مريحة و هواء نقي من شأنه رفع الانتاجية و زيادة التركيز.

F. امكانية التحرك او الدخول و الخروج

يجب تصميم مبنى المصنع بشكل يضمن أعلى سهولة في الحركة للعمال و الالات في المصنع.

G. التوسع المستقبلي

يجب الأخذ بنظر الأعتبار التوسع المستقبلي في كل وحدة من وحدات المعمل كـ الاخذ بنظر الاعتبار اضافة البناء او الطوابق الجديدة في المستقبل.

H. **منظومة أطفاء الحريق**

يجب مراعاة الحاجة والأهمية لنظام الحماية من الحرائق أثناء التخطيط لبناء مصنع. أصبح هذا إلزاميا في الوقت الحاضر. تتنوع أنظمة الحماية من الحريق من طفايات الحريق التقليدية إلى أجهزة الكشف عن الحرائق الآلية وأجهزة الحماية من الحرائق.

I. الحماية البيئية

يجب مراعاة الحاجة إلى حماية البيئة أثناء التخطيط و التصميم للمصنع. يتم الدعوة إلى هذا بقوة في جميع أنحاء العالم الآن. يراعى في التصميم أستخدام الطاقة المتجددة و التوفير في الطاقة المستهلة في التكييف و الأضاءة. كذلك توفير مكب للنفايات مصنف حسب نوع النفايات لتسهيل عملية أعادة التدوير.

Technology of Construction Materials Industry

By Dr. Hasan Alhamwi

Lecture 3 : Masonry Bricks

Main references:

- Revuelta, M.B., 2021. Construction Materials: Geology, Production and Applications. Springer.
- Multiple Internet sources.

1. الطابوق

هو نوع من الكتل المستخدمة لبناء الجدران والأرصفة والعناصر الأخرى في أعمال البناء. يشير مصطلح الطابوق إلى كتلة مكونة من الطين المجفف ، ولكنها تستخدم الآن أيضًا للإشارة إلى كتل البناء الأخرى المعالجة كيميائيًا كلطابوق الأسمنتي (البلوك).

2. أنواع الطابوق:

هناك الآلاف من أنواع الطابوق التي تم تسميتها, وفقا للاستخدامها ، وحجمها ، وطريقة التشكيل ، والأصل ، والجودة ، والملمس ، و / أو المواد.المصانع النمطية .

وفقا لطريقة التصنيع:

A. **الطابوق المضغوط Extruded** https://youtu.be/7-MCLx9UpXM

B. **الطابوق المصبوب او المقولب Moulded** https://youtu.be/8dgnGuzqxDA

C. **ضغط الطين الجاف Dry-pressed** https://youtu.be/M7sHqkoVhlg

وفقا للأستخدام:

A. **طابوق البناء** Common or building

B. **طابوق الواجهات او التغليف** Face

C. **الطابوق المتداخل او المترابط** Keyed bricks

D. **طابوق الأكساء** Paving

2.1 الطابوق الطيني

يعتبر طابوق الطيني من أقدم مواد البناء وقد استخدم منذ الحضارات المبكرة. وهو من بين مواد البناء الأكثر شيوعًا الموجودة في جميع أنحاء العالم.

يتكون الطابوق الطيني من ستة مكونات رئيسية بنسب مختلفة وكلأتي:

Ingredient	Percentage in brick
Silica (SiO_2)	55%
Alumina (Al_2O_3)	30%
Iron Oxide (Fe_2O_3)	8%
Magnesia (MgO)	5%
Lime(CaO)	1%
Organic Matter	1%

2.2 أهم مكونات الطابوق الطيني

Silica (Sand) and Alumina (Clay) السيليكا (الرمل) والألومينا (الطين) ، هما من أبرز المكونات في طين الآجر (الطين المستخدم في صناعة الطابوق). عند مزجه بالماء بنسب مناسبة ، فإنه يكتسب اللدونة. يمكن تشكيل الكتلة الطابوقية وتجفيفها بسهولة.

1. الألومينا

هو المكون الرئيسي للطين. إنها بمثابة مادة الاصقة في الطابوق الخام. وجود هذا المكون يفضي لدونة على الخليط. تضمن هذه اللدونة إمكانية تشكيل الطوب. قد تتسبب كمية زائدة من الألومينا في الطين في الانكماش أو التشقق عند التجفيف والحرق.

2. السيليكا

الطابوق عالي الجودة يحتوي على 50-60٪ سيليكا. إنه موجود في الطبيعة بشكل حر و مركب مع مركبات اخرى. بشكل حر يكون ممزوجا ميكانيكيا كما في الطين. في شكل مركب ، يتفاعل مع الألومينا لتشكيل ألومينوسيليكات. يمنع السيليكا الطابوق الخام من التشقق والانكماش. كلما زادت نسبة الرمل ، كلما كان الطابوق أكثر استقامة وتوحيدًا في الملمس. على الرغم من أن السيليكا الزائدة تدمر التماسك بين جزيئات الطابوق وتجعل الطوب هشًا وضعيفًا. تعتمد متانة الطوب إلى حد كبير على النسبة المناسبة من السيليكا والألومينا.

3. الكلس lime

يجب أن يحتوي الطابوق على كمية قليلة من مسحوق الكلس الناعم. إنه يساعد السيليكا على الذوبان عند درجة حرارة الفرن البالغة 1650 درجة مئوية وربط جزيئات الطابوق معًا مما ينتج عنه طوب قوي ومتين. عند حوالي 1100 درجة مئوية ، يعمل الكلس كمحفز لرفع درجة حرارة الفرن إلى 1650 درجة مئوية حيث تندمج السيليكا. تعمل هذه السيليكا المنصهرة قليلاً كمواد تدعيم قوية.

4. أوكسيد الحديد Iron Oxide

يحتوي الطابوق على كمية صغيرة من أكسيد الحديد. يعمل أكسيد الحديد كمذوب مثل الكلس ، وبالتالي يساعد السيليكا على الانصهار عند درجة حرارة منخفضة. يضفي لونًا أحمر على الطوب عند الاحتراق. يزيد الحديد أيضًا من متانة الطابوق وتقليل النفاذية.

5. المنغنيز Magnesia

تعمل نسبة صغيرة من المغنيسيوم على تقليل الانكماش وتعطي صبغة صفراء للطابوق.

2.3 مكونات مضرة في الطابوق

1. الكلس lime

الكلس الزائد يذيب الطوب ويشوهه. إذا كان كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) موجودًا (في أنقى صوره ، أي إذا كان يحتوي على ما لا يقل عن 95٪ CaO) في كتلة الكلس في طين الطابوق ، فإنه يتحول إلى الكلس السريع

(quicklime) CaO عند الاحتراق. عندما تتلامس هذه الطابوق مع الماء ، يتحلل الكلس ويسبب انتفاخ الطابوقة.

2. الاملاح القلوية Alkalis

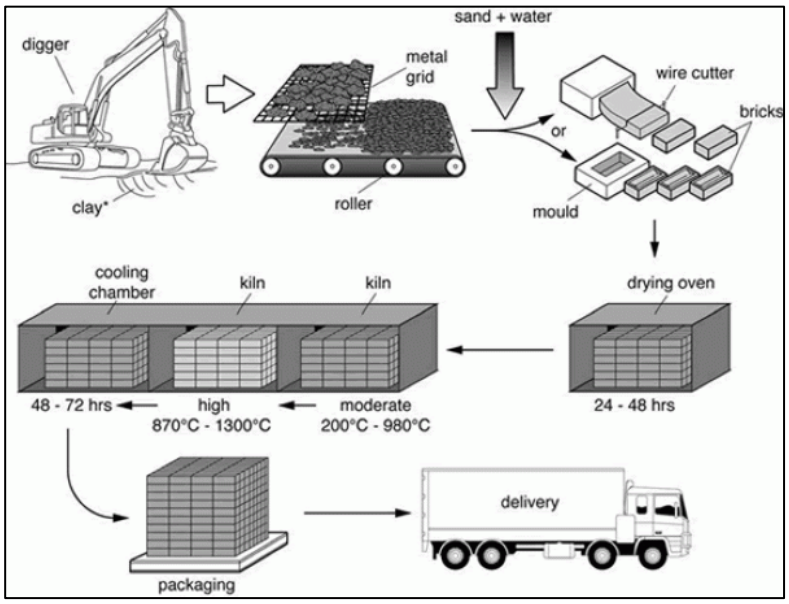
القلويات هي في الأساس ملح الصوديوم (Na) والبوتاسيوم (K). إنه يعمل مذيب في الفرن ويسبب اندماج الطابوق وتشويهه. تمتص القلويات الرطوبة من الجو وتسبب الرطوبة والتزهر في الطابوق (بسبب وجود أملاح استرطابية ، مثل $CaCl_2$ ،$MgCl_2$ ، إلخ).

3. الحجارة والحصى

لا يسمح بتواجده في الخلطة او في التراب المستخدم في الخلط. الضعف في منطقة الترابط بين الحصى و المزيج تفقد الطابوق جزء من مقاومة الكسر.

4. مراحل تصنيع الطابوق الطيني

في هذه الخطوة يتم حفر التربة على مراحل ثم يتم وضعها على أرض مستوية. ثم يتم تنظيف التربة من الشوائب مثل المواد النباتية أو الأحجار أو الحصى وما إلى ذلك بعد إزالة الشوائب تتعرض للطقس لعدة أشهر. وهذا ما يسمى عملية التهوية. بعد الانتهاء من عملية التهوية ، يتم مزج التربة مع مواد أخرى لإعداد طين جيد لل الطابوق. ثم يتم تلدين التربة المختلطة عن طريق تكسيرها جيدًا وسقيها وعجنها. عادة ما يتم التقسية في مطحنة الصلصال.



4.1 صب الطين في القوالب او القولبة

يتم تشكيل الطابوق بعدة طرق اعتمادًا على جودة المنتج المراد تصنيعه. بشكل عام ، يتم القولبة بالطريقتين التاليتين:

- صب اليدوي
- صب الآلي

للقولبة اليدوية ، يتم ضغط الطين المقسى في القالب بطريقة تملأ جميع أركان القالب. تتم إزالة الطين الإضافي إما بضربات بإطار خشبية أو بسلك. ثم يرفع القالب ويترك الطابوق الخام على الأرض.

يتم استخدام **قولبة الآلة** حيث يتم تصنيع عدد كبير من الطوب. الآلات المستخدمة للقولبة بشكل عام من نوعين.

- ماكينات طين البلاستيك
- ماكينات الطين الجاف

في آلة الطين البلاستيكي ، يضغط الطين في الحالة اللدنه على فتحات مستطيلة بحجم مساوٍ لطول وعرض الطابوقة ثم يتم تقطيعه إلى شرائح بسمك الطابوقة مع بأستخدام الأسلاك.

في آلات الطين الجاف ، يتم تنعيم الطين الجاف إلى مسحوق ، ويتم تعبئته حتى يجف في قالب بواسطة الماكينة ، ثم يتم تعريضه لضغط عالٍ لتشكيل الطابوق الصلب بشكل جيد.

4.2 تجفيف الطابوق المصبوب

يتم التجفيف عادة عن طريق وضع الطابوق في مخازن ذات جوانب مفتوحة لضمان حرية تداول الهواء والحماية من سوء الأحوال الجوية والأمطار. يُترك الطابوق ليجف حتى يترك مع محتوى رطوبة بنسبة 5 إلى 7 في المائة. تتراوح فترة التجفيف عادة من 7 إلى 14 يومًا. يتم تجفيف الطابوق المصبوب للأسباب التالية:

- ❖ إذا تم حرق الطابوق الرطب أو الطابوق الأخضر مباشرة ، فمن المحتمل أن يتم تشققها وتشويهها
- ❖ لإزالة الرطوبة القصوى من الطابوق لتوفير الوقت والوقود أثناء الاحتراق
- ❖ لزيادة قوة الطابوق الخام بحيث يمكن مناولته وتكديسه على ارتفاعات أكبر في الفرن لحرقه دون ضرر.

4.3 حرق او فخر الطابوق

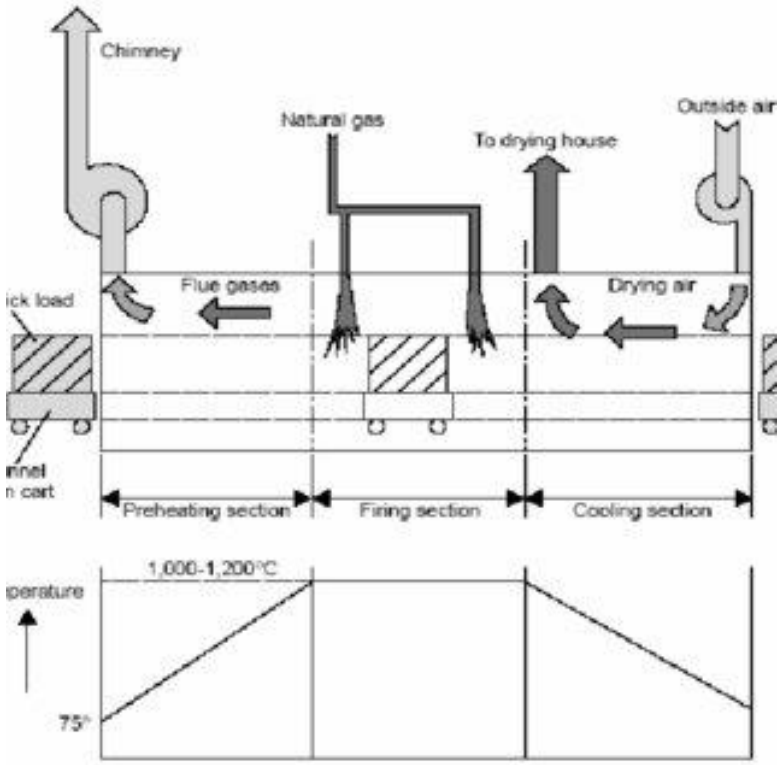
بعد عملية التجفيف ينقل اللبن الى أفران خاصة لإجراء عملية الفخر وتوجد عدة أنواع من الأفران ومنها :-

- **أفران هوفمان (Kilns Hoffman)**

هي قاعة كبيرة مستطيلة الشكل جدرانها سميكة ذات أبواب جانبية ويكون الحرق فيها من خلال فتحات في السقف ، يتم الحرق في هذا النوع بصورة دورية اي يتم عملية التعبئة والحرق والتفريغ في مناطق مختلفة من الفرن وفي وقت واحد ، وتجمع الغازات والدخان الناتج من الحرق بواسطة قنوات متعددة في اسفل الفرن تنتهي بمجرى خاص يودي الى مدخنه خارجية.

- **الفرن النفقي (Kiln Tunnel)**

حيث يكون الفرن على شكل قاعة كبيرة مستطيلة مستمرة ذات عرض بحدود ٦م وبطول بحدود (١٠٠م) لها بابين في نهايتها فقط ، يدخل اللبن محملا على عربات متحركة من احد البابين تسير على عربات على سكة ببطء مستمرة الى أن تخرج من الباب الأخر ، خلال وقت معين ، وتكون شعلة الحرق ثابتة وفي وسط الفرن من مميزات هذا النوع ان حرارة الطابوق ترتفع بشكل تدريجي كلما اقتربت من الشعلة حتى يكتمل فخرها عندما تصل الى أسفل الشعلة ثم بعد ذلك تتم عملية التبريد ببطء أيضا كلما ابتعدت عن الشعلة وبذلك تقلل من احتمال حدوث تشققات بسبب سرعة عملية الحرق او التبريد المفاجئ ان عدم إعطاء الوقت الكافي الطابوق في عملية الحرق او عدم وصول حرارة الفرن الى الحرارة المطلوبة يودي الى إنتاج طابوق غير كامل الفخر(طابوق احمر) وتصل حرارة الفرن عند الحرق (٧٥٠-١٠٠٠) مْ وتعتمد حرارة الفرن على نوعية الطين المنتج منه الطابوق.



Technology of Construction Materials Industry

By Dr. Hasan Alhamwi

Lecture 4 : Cement

Main references:

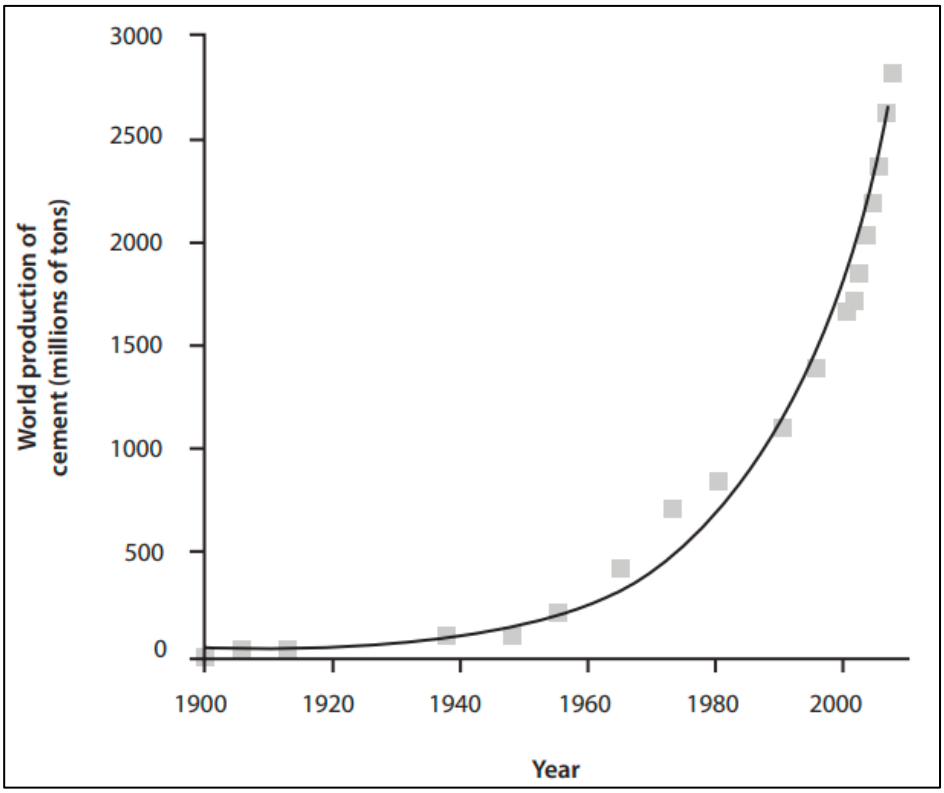
- Revuelta, M.B., 2021. Construction Materials: Geology, Production and Applications. Springer.
- Multiple Internet sources.

1. الأسمنت

يعرف الاسمنت: كمركب بلوري لسيليكات الكالسيوم ومركبات الكالسيوم الأخرى التي لها خصائص هيدروليكية. الاسمنت لذلك مادة رابطة هيدروليكية ، أي مادة يتفاعل كيميائياً مع الماء عن طريق تحويل نظام ربط الماء إلى مصفوفة صلبة مع القدرة على ربط المواد الصلبة الأخرى مع بعضها.

كان John Smeaton مهندسًا مدنيًا مهمًا وقدم مساهمة أساسية في اختراع الأسمنت. حدد المتطلبات التركيبية اللازمة للحصول على هيدروليكية في الجير ، ملاحظًا أن هذه الخاصية مرتبطة ارتباطًا مباشرًا بمحتوى الطين في الحجر الجيري. أدت تحقيقاته إلى اكتشاف الأسمنت البورتلاندي. لاحظ John Smeaton ، الذي صمم منارة Eddystone Lighthouse (Cornwall, England) في القرن الثامن عشر الميلادي ، أن أنواعًا معينة من الحجر الجيري تحتوي على معادن طينية يمكن تكليسها للحصول على الأسمنت الصلب. في الواقع ، كان هذا المنتج عبارة عن جير هيدروليكي الأ ان درجة الحرارة المستخدمة في العملية كانت أقل من 1500 درجة مئوية. كانت الميزة الكبرى لهذا الأسمنت أنه يعمل تحت الماء وبالتالي يمكن استخدامه للأرصفة وأساس المنارة.

الأسمنت مادة بناء معروفة وهي أحد المكونات الرئيسية للخرسانة والملاط. نما إنتاج الأسمنت العالمي بشكل مطرد منذ عام 1950 ، وخاصة في البلدان النامية. يوضح الشكل أدناه إنتاج الأسمنت العالمي في القرن الماضي ، والذي شهد نموًا هائلاً من حوالي 1000 مليون طن في عام 1990 إلى ما يقرب من 3000 مليون طن في عام 2010. وفقًا للمسح الجيولوجي الأمريكي ، بلغ إجمالي الإنتاج العالمي (تقريبًا) من الأسمنت في 2019 حوالي 4100 مليون طن.



2. أنواع الأسمنت:

كما هو الحال مع العديد من أنواع مواد البناء ، لكل دولة معاييرها الخاصة للأسمنت ومع ذلك ، يمكن تحديد الأنواع الرئيسية للأسمنت في جميع أنحاء العالم وفقًا لمعايير ASTM و EN و ISO. قررت اللجنة الأوروبية للتوحيد القياسي (CEN) تجميع الأنواع المختلفة من الأسمنت في فئتين رئيسيتين: الأسمنت الشائع والأسمنت الخاص. تشمل الفئة الأولى تلك الأنواع من الأسمنت المقدمة للاستخدامات الشائعة بينما الأسمنت الخاص هو الأسمنت الذي له آليات مختلفة للتصلب أو خصائص خاصة إضافية ، مثل الأسمنت المقاوم للكبريتات ، والأسمنت منخفض الحرارة وما الى ذلك.

وبالتالي ، فإن النوع الأول (I) الأسمنت البورتلاندي الأعتيادي ، الذي يشيع استخدامه كمرجع لجميع الاستخدامات (على سبيل المثال ، معظم المباني والجسور والأرصفة ومنتجات الخرسانة مسبقة الصب ، وما إلى ذلك) حيث لا تكون هناك حاجة إلى الخصائص الخاصة لأنواع الأسمنت الأخرى. يحتوي على حوالي 50٪ C_3S و 25٪ C_2S و 12٪ C_3A و 8٪ C_4AF و 5٪ جبس.

اما النوعين II و V مقاومين لهجوم الكبريتات ، مما يحافظ على انخفاض محتوى C_3A. يتم استخدامها للهياكل الموجودة في الماء أو التربة التي تحتوي على كميات معتدلة أو عالية من الكبريتات. تم تصميم النوع III لتطوير القوة في وقت مبكر أسرع من النوع الأول ، بشكل عام في أسبوع أو أقل ، وهو أمر مفيد للغاية للحفاظ على وتيرة سريعة للبناء. يتم الحصول على هذه الخاصية عن طريق الطحن الدقيق وزيادة محتويات C_3S و C_3A. النوع IV يولد الحرارة بشكل أبطأ من النوع الأول (I) وتكتسب القوة أيضًا بشكل أبطأ ، حيث تكون مفيدة للهياكل الضخمة ، على سبيل المثال ، السدود. نادرًا ما يتوفر هذا النوع من الأسمنت في الوقت الحاضر.

Table 6.5 Different types of Portland cements according to ASTM C150 standard

Type I	Normal
Type IA	Normal, air-entraining
Type II	Moderate sulfate resistance
Type IIA	Moderate sulfate resistance, air-entraining
Type II (MH)	Moderate heat of hydration and moderate sulfate resistance
Type II (MH)A	Moderate heat of hydration and moderate sulfate resistance, air-entraining
Type III	High early strength
Type IIIA	High early strength, air-entraining
Type IV	Low heat of hydration
Type V	High sulfate resistance

أنواع IA و IIA و IIIA هي أنواع الأسمنت المستخدمة في صناعة الخرسانة المغمورة بالهواء او الخرسانة الرغوية. تتوافق هذه الانواع من الأسمنت في التركيب مع الأنواع الأول والثاني والثالث ، باستثناء أن كميات صغيرة من المواد المسببة للأحتفاظ الحراري تتداخل مع الكلنكر أثناء الإنتاج. ينتج هذا الأسمنت الخرسانة بمقاومة محسنة للأنجماد.

يتم اختيار المواد الخام مثل الحجر الجيري عالي النقاء أو رمل الكوارتز أو الفلسبار بناءً على محتوياتها المنخفضة من الحديد. يشبه تصنيع الأسمنت الأبيض الأسمنت الرمادي ، حيث يعتبر الجمع بين التبريد والتبييض هو الاختلاف التكنولوجي الرئيسي. يعتبر الأسمنت البورتلاندي الأبيض جذابًا للغاية في تطبيقات الديكور لأنه منتج ذو لون أبيض نقي تقريبًا. ومع ذلك ، يعتبر الأسمنت البورتلاندي الأبيض أكثر تكلفة بشكل ملحوظ من أنواع الأسمنت الأخرى بسبب زيادة تكاليف المواد الخام والإنتاج.

3. المواد الخام

نظرًا لأن الأكاسيد الرئيسية لتصنيع الأسمنت البورتلاندي هي الجير (CaO) ، والسيليكا (SiO_2) ، والألومينا (Al_2O_3) ، والحديد (Fe_2O_3) ، يتم الحصول على المزيج الخام لصنع كلنكر الأسمنت عمومًا عن طريق مزج مادة كلسية ، عادةً الحجر الجيري ، مع كمية أصغر من الحجر الطيني او الصلصال. نظرًا لأن تكوين المواد الخام يتم التعبير عنه بشكل شائع في الأكاسيد ، فقد تبنى كيميائيو الأسمنت تدوينًا مختصرًا باستخدام حرف واحد لتمثيل وحدة أكسيد. وهكذا ، $C = CaO$ ؛ $S = SiO_2$ ؛ $A = Al_2O_3$ ؛ و $F = Fe_2O_3$. سيتم استخدام هذه التسمية من الآن فصاعدًا في هذا الفصل.

3.1 نسبة المواد الخام

بمجرد اختيار المواد الخام لتصنيع الأسمنت ، فإن الخطوة التالية هي حساب تركيبة الخليط الخام لتحديد النسب الكمية للمواد الخام ، مثل الحجر الجيري 80٪ والطين 20٪. الهدف الرئيسي من هذه العملية هو إعطاء الكلنكر التركيب الكيميائي والمعدني المطلوب. وبهذا المعنى ، فإن تجانس التركيب الكيميائي للمواد الخام له عواقب مهمة على استهلاك الوقود ، وتشغيل الفرن ، وإنتاج الكلنكر ، وأداء الأسمنت. يجب أن يشتمل تحضير خليط تغذية الفرن على كمية مناسبة من كربونات الكالسيوم ، على سبيل المثال ، 77٪ ، لتجنب الاحتراق الشديد.

وكذلك لتجنب الاحتكاك الناتج عن نسبة عالية من السيليكا عندما يكون محتوى الكالسيوم منخفضًا. يتم تقييم جودة المواد الخام للأسمنت وكلنكر الأسمنت من خلال عوامل مثل عامل تشبع الجير (LSF) ، والنسبة أو المعامل الهيدروليكي (HM) ، ونسبة السيليكا أو المعامل (SM) ، ونسبة الألومينا أو معامل (AM). يتم ضبط هذه المعاملات مسبقًا وفقًا لقوة وجودة لأسمنت المنتج النهائي المطلوب.

يُعبرعن عامل تشبع الجير لأي مزيج من المواد الخام من خلال نسبة الجير الموجود للجير المطلوب نظريًا:

$$LSF = CaO / (2.8SiO_2 + 1.2Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3)$$

غالبًا ما يشار الى قيمة عامل تشبع الجير كنسبة مئوية مضروبة في 100. تتراوح LSF عادة بين 92٪ و 105٪. الأسمنت البورتلاندي العادي يحتوي على LSF بنسبة تصل إلى 97٪. عادةً ما تكون القيم الأعلى مطلوبة للأسمنت سريع التصلب ذو القوة المبكرة العالية. وبالتالي ، فإن إنتاج الأسمنت بقيم LSF التي تزيد عن 100٪ يؤدي إلى زيادة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون نتيجة تحميص كميات أعلى من كربونات الكالسيوم في الوجبة الخام وكذلك ارتفاع درجات حرارة الاحتراق المطلوبة لهذه الوجبات الخام. علاوة على ذلك ، فإن LSF أعلى من 102٪ سوف ينتج كميات كبيرة من الجير الحر ، والذي لا يساهم في تطوير قوة الأسمنت و قد يؤثر على سلامته.

يقوم المعامل الهيدروليكي ، المشابه جدًا لمعامل تشبع الجير ، بتقدير محتوى الجير الأمثل للخليط ويتم تحديده كما يلي:

$$HM = CaO / (SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)$$

الكلنكر ذو النوعية الجيدة له قيمة HM قريبة من 2 ، ويكون محدودًا بشكل عام بين 1.7 و 2.4. يُظهر الكلنكر الذي يحتوي على قيم HM أقل من 1.7 قوة غير مأمونة في الغالب ، كما أن الكلنكر الذي يحتوي على HM أكبر من 2.4 يكون له ثبات ضعيف في الحجم.

تكمل نسبة أو معامل السيليكا ، إلى جانب نسبة الألومينا ، إلى حد ما الوحدات الهيدروليكية. تمثل نسبة السيليكا نسبة SiO_2 إلى إجمالي Al_2O_3 و Fe_2O_3 :

$$SR = SiO_2 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3)$$

يتحكم SR في أطوار السيليكات في الكلنكر ويبين نسبة المادة الصلبة إلى السائل في عملية الكلنكر لأنه عند درجة حرارة الكلنكر ، يكون SiO_2 موجودًا في الغالب بشكل صلب بينما تكون الأكاسيد الأخرى سائلة. تتراوح قيمة SR بشكل عام بين 2 و 3 في كلنكر الأسمنت البورتلاندي ، مع قيم مفضلة بين 2.2 و 2.6.

نسبة الألومينا ، التي تسمى أحيانًا معامل الحديد ، تميز الكلنكر باستخدام نسبة الألومينا إلى أكسيد الحديد:

$$AR = Al_2O_3 / Fe_2O_3$$

تؤكد نسبة الألومينا تكوين الطور السائل لأن كلا الأكاسدين موجودان بالكامل تقريبًا في الطور السائل عند درجة حرارة الكلنكر. عادة ما يكون في النطاق من 1.5 إلى 2.5. القيم المنخفضة لهذه النسبة تنتج حرارة منخفضة عند التفاعل وترابطًا بطيئًا للأسمنت. تؤدي نسبة الألومينا المرتفعة ، جنبًا إلى جنب مع نسبة السيليكا المنخفضة ، إلى أسمنت سريع التصلب.

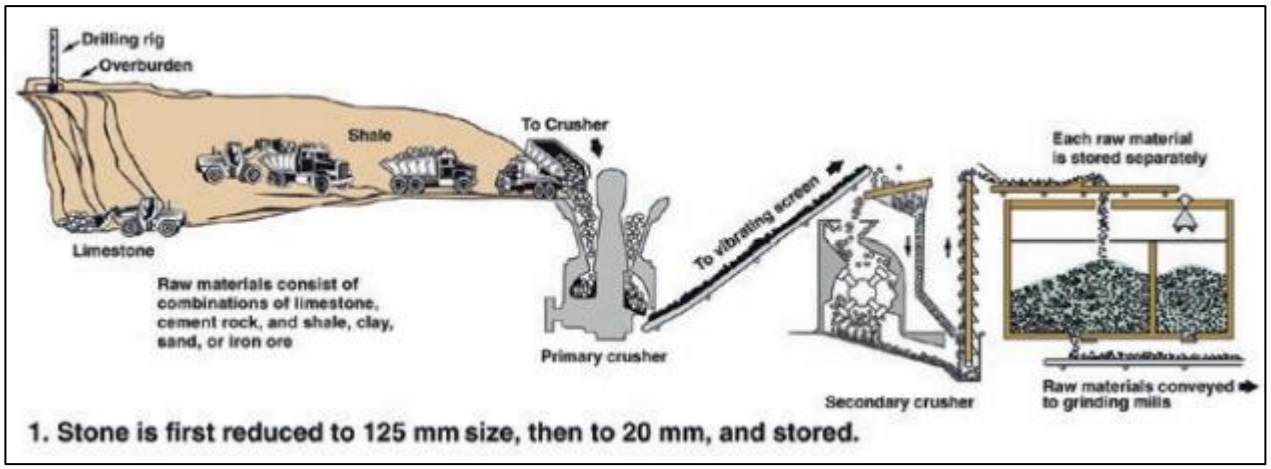
4. صناعة الأسمنت

يمكن تصنيف العملية المستخدمة لتصنيع الأسمنت على نطاق واسع على أنها جافة أو رطبة ، مما يؤدي إلى الاختلاف في تحضير تغذية الفرن. في العملية الرطبة ، التي يشيع استخدامها حيث تكون المواد الخام طرية ، يضاف الماء إلى المطحنة الخام أثناء طحن المواد الخام لإنتاج ملاط قابل للضخ. في العملية الجافة ، حيث تكون المواد الخام صلبة ، يتم إجراء طحن وخلط المواد الخام في حالتها الجافة. وبالتالي ، فإن اختيار العملية يتم تحديده إلى حد كبير من خلال حالة المواد الخام: جافة أو رطبة. حلت العملية الجافة الأكثر اقتصادا محل العملية الرطبة. على سبيل المثال ، يبلغ استهلاك الطاقة في العملية الجافة تقريبًا ربع ذلك في العملية الرطبة. الوصف التالي لعملية تصنيع الأسمنت يتوافق مع العملية الجافة القياسية:

A. استخراج المواد الخام :

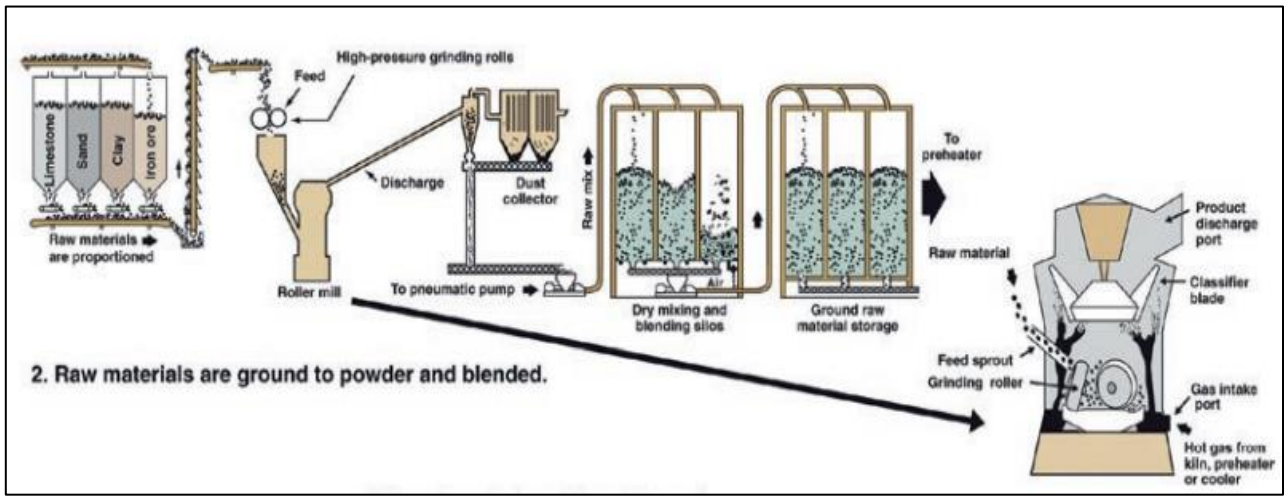
يبدأ إنتاج الأسمنت في محاجر المواد الخام ، حيث تقع مصانع الأسمنت بشكل عام بالقرب من المواد الخام الطبيعية مثل الحجر الجيري والطين. بشكل عام ، يتم استخراج الحجر الجيري عن طريق التعدين باستخدام المتفجرات. ثم يتم تحميل الصخور باستخدام شفلات او حفارات أمامية وتحميلها في شاحنات نقل، والتي تنقل الحجر الجيري إلى الكسارة الأولية. وتشمل المصانع الأخرى الكسارات الصادمة مثل مطحنة المطرقة لتقليل حجم الحجر الجيري. لا تتطلب رواسب الطين عادة

التفجير. يتم تعدينهم باستخدام حفارات او شفلات بعجلات. غالبًا ما يتم تكسير المواد بواسطة بلدوزر قبل الاستخراج. يتم تخزين كل مادة خام بشكل منفصل وإعدادها للخلط المسبق.



B. الخلط المسبق

يعتبر الخلط المسبق للمواد الخام من الممارسات الضرورية ويتضمن العديد من عمليات المزج المصممة لتزويد الفرن بالتغذية بتركيب كيميائي مناسب ومتشابه باستمرار. يتم تخزين المواد الخام واستخلاصها بنسب محددة بناءً على التركيب الكيميائي المستهدف. يتم استخلاصها بعد ذلك عن طريق مكابس ميكانيكية تقطع الطبقات لتوفير تغذية موحدة كيميائيًا إلى حد ما لعملية الطحن الإضافية.

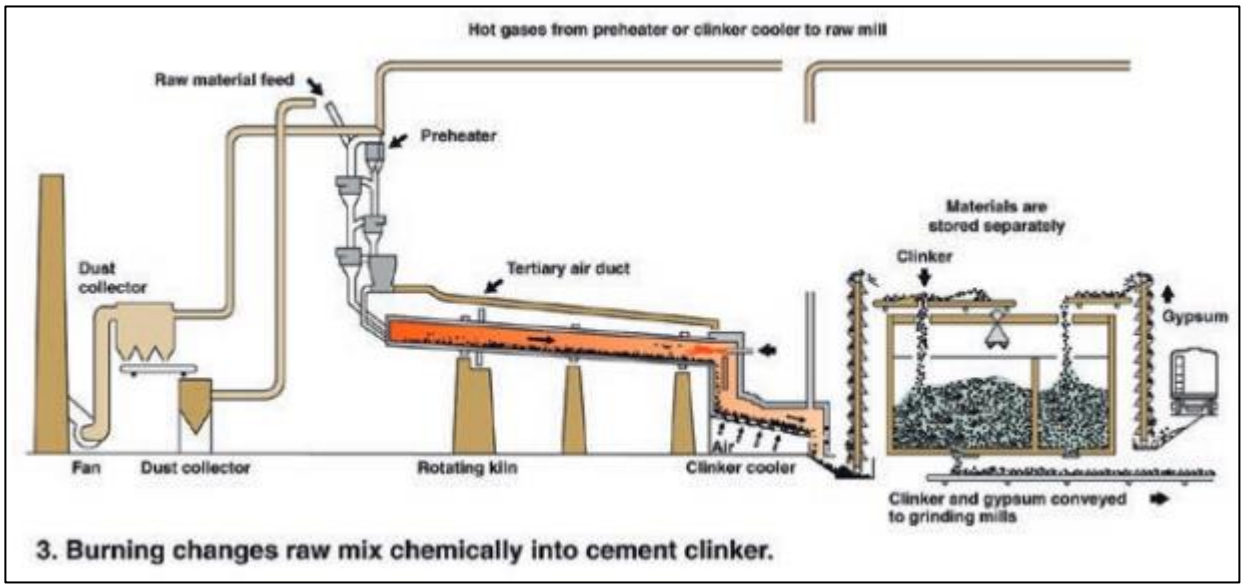


C. طحن المزيج الخام

بمجرد تحديد جرعات جميع المواد الخام ، بما في ذلك المكونات التصحيحية ، بشكل صحيح ، يتم طحن الخليط ، المعروف باسم وجبة الخام ، أو مزيج الخام ، أو تغذية الخام ، للحصول على الحجم المطلوب (100-200 ميكرومتر) ثم يتم نقله إلى سايلوات الخام. يتم تخزين المزيج الخام لاحقًا في السايلوات ليتم توفيرها بمعدل تدفق منظم إلى جهاز التسخين المسبق.

D. التسخين المسبق

تقوم المصانع الحديثة بتسخين الخام المطحون إلى درجة حرارة التكليس في سخان مسبق متعدد المراحل مركب في برج أعلى طرف التغذية بالفرن. المسخن المسبق عبارة عن مبادل حراري ، وهو عادةً جهاز تسخين مسبق معلق ، حيث يتم تشتيت المسحوق المتحرك في تيار من الغاز الساخن يأتي في الاتجاه المعاكس من الفرن. يتم إدخال المواد الأولية في مدخل العلوي حيث تكون درجة حرارة الغاز حوالي 500 درجة مئوية. تمر المواد عبر جهاز التسخين المسبق في أقل من دقيقة وتتركها عند درجة حرارة حوالي 900 درجة مئوية. تتمثل فائدة التسخين المسبق في تحسين كفاءة العملية نظرًا للحاجة إلى طاقة أقل. أثناء العملية ، يتم نقل الحرارة بشكل فعال من الغازات الساخنة إلى المادة الخام ، مما يؤدي إلى الجفاف وتحلل الطين وإزالة الكربون من الحجر الجيري.



3. Burning changes raw mix chemically into cement clinker.

E. حرق في الفرن

هذا الجزء من العملية هو الأهم من حيث جودة المنتج والتكلفة. يمر المزيج المسخن إلى فرن دوار يتخذ شكل أسطوانة فولاذية مائلة ضخمة يصل طولها إلى 100 متر مبطن بالطوب المقاوم للحرارة بسمك يتراوح بين 150 و 250 مم. الهدف من الطوب الحراري هو حماية الغلاف الفولاذي والاحتفاظ بالحرارة داخل الفرن. الطوب في منطقة الاحتراق في بيئة أكثر استهلاكية مقارنة بتلك الموجودة في الطرف الأكثر برودة للفرن ، لذلك فإن أجزاء مختلفة من الفرن مبطنة بأنواع مختلفة من الطوب. من الواضح أن الطوب الموجود في منطقة الاحتراق له أقصر عمر. بشكل دوري ، يجب استبدال بطانة الطوب ، أو جزء منها.

يصل قطره إلى 5 أمتار ويتم تثبيته بمحور يميل قليلاً عن الأفقي في منحدر نزولي بنسبة 2.5-5٪ تقريبًا. يسمح ميل المحور للمادة بالتدحرج للأمام عن طريق الجاذبية وتزداد درجة الحرارة مع تحرك المزيج الخام للأسفل. الفرن يدور حوالي 1.5-4 دورة في الدقيقة. يتم إطلاق أنواع الوقود مثل فحم الكوك ، والفحم ، والغاز ، والنفط ، وأنواع الوقود البديلة مباشرة في الفرن الدوار في الطرف السفلي من الفرن بحيث يتم إنتاج الشعلة الساخنة الطويلة بواسطة الموقد حتى 2000 درجة مئوية. تضمن درجة الحرارة هذه وصول الخليط إلى درجات حرارة تصل إلى 1500 درجة مئوية. من الضروري الحفاظ على درجات حرارة الفرن في منطقة التلبيد بين 1400 و 1600 درجة مئوية.

تتحدد متطلبات الطاقة اللازمة لتصنيع الكلنكر من خلال التفاعلات الماصة للحرارة للمواد الخام مع درجات الحرارة المطلوبة التي تصل إلى 1450 درجة مئوية لتشكيل مراحل الكلنكر المستقرة. في فترة تتراوح من 30 دقيقة إلى ساعتين ، اعتمادًا على تصميم الفرن ، تؤدي درجة الحرارة المرتفعة إلى تفاعلات كيميائية وفيزيائية تؤدي إلى صهر المواد جزئيًا إلى مادة حبيبية تسمى الكلنكر. تتكون عقيدات الكلنكر عادة بقطر 10-50 مم ، في حالة شبه صلبة في منطقة الاحتراق ، وتسمى أيضًا منطقة الكلنكر أو التلبيد ، وتتصلب تمامًا عند التبريد.

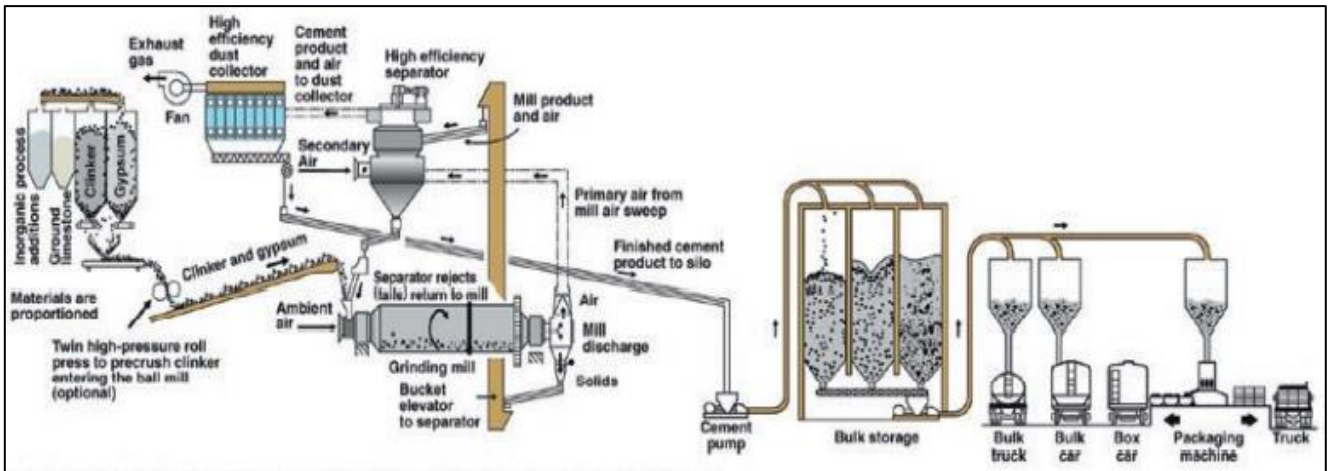
F. تبريد وتخزين الكلنكر

يعد معدل تبريد الكلنكر المرتفع أمرًا ضروريًا لتحقيق أفضل خصائص قوة للكلنكر. على سبيل المثال ، غالبًا ما يكشف الكلنكر الذي تم تبريده ببطء عن تحول جزئي في بعض المكونات ، مما قد يؤدي إلى العديد من المشكلات في الخواص الميكانيكية للأسمنت. وبالتالي ، يعمل مبرد الكلنكر على تبريد الكلنكر من 1200 درجة مئوية حيث يترك الفرن إلى أقل من 300 درجة مئوية لإنتاج الكلنكر بجودة أفضل.

G. الخلط والطحن

تتضمن الخطوة الأخيرة في تصنيع الأسمنت البورتلاندي سلسلة من عمليات المزج والطحن التي تحول الكلنكر إلى الأسمنت البورتلاندي. وبالتالي ، يضاف حوالي 5٪ من الجبس إلى الكلنكر بهدف التحكم في وقت تصلب الأسمنت. يؤخر الجبس تفكك ألومينات ثلاثي الكالسيوم عن طريق تكوين ثلاثي الكالسيوم سلفوألومينات ، وهو

غير قابل للذوبان ويمنع التفاعلات المبكرة جدًا والتصلب. يجب أن تكون كمية الجبس المضاف قريبة من الحد الأمثل للتطبيق المقترح للأسمنت لأن الجبس يؤثر على نمو القوة والانكماش عند التجفيف.



4. Clinker with gypsum is ground into portland cement and shipped.

Technology of Construction Materials Industry

By Dr. Hasan Alhamwi

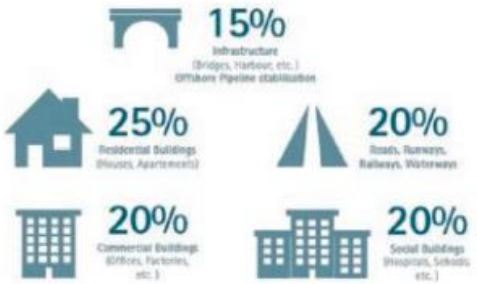
Lecture 5 : Aggregate, Sand and Crush Stone

Main references:

- Revuelta, M.B., 2021. Construction Materials: Geology, Production and Applications. Springer.
- Multiple Internet sources.

1. introduction مقدمة

الركام (مصطلح جمعي للمواد المعدنية التي تتكون من حبيبات أو شظايا صخرية) هي واحدة من أكثر الموارد الطبيعية شيوعًا المستخدمة في الحياة اليومية. الركام ضروري للاستخدام في البناء ؛ يتم استخدامها في جميع المباني السكنية والتجارية والصناعية تقريبًا وفي معظم مشاريع الأعمال العامة مثل الطرق والطرق السريعة والجسور وممرات السكك الحديدية والسدود والمطارات والأنفاق وغيرها الكثير. وفقًا لجمعية الركام الأوروبية (UEPG) ، فإن التطبيقات الرئيسية للركام في البناء خلال عام 2018 كانت كما يلي:



فيما يلي بعض الحقائق التي توضح أهمية الركام: **(أ)** بعد الماء ، يعتبر الركام أكثر الموارد الطبيعية استهلاكًا ، **(ب)** تشير التقديرات إلى أن هناك حاجة إلى 30000 طن من الركام لبناء كيلومتر واحد من الطرق السريعة وكل كيلومتر واحد جديد من السكك الحديدية عالية السرعة تتطلب عادةً 9000 طن من الركام ، **(ج)** حوالي 90 ٪ من معظم الطرق المعبدة مصنوعة من الركام ، إما أسفل طبقة الأسفلت أو ممزوجة بالإسفلت أو الأسمنت ، **(د)** متر مكعب واحد من الخرسانة يتطلب ما يقرب من 2 طن من الركام (يشغلون ما لا يقل عن ثلاثة أرباع الحجم) ، (هـ) تحول إنتاج الركام في الولايات المتحدة من حوالي 200 مليون طن في عام 1940 إلى ما يقرب من 2.50 مليار طن في عام 2018 ، **(و)** في الواقع يبلغ إجمالي الطلب الأوروبي 2.7 مليار طن سنويًا ، وهو ما يمثل متوسط طلب يبلغ 5 أطنان للفرد سنويًا.

2. تعريف

هناك تعاريف عديدة للركام حسب استخداماتها ولكن معظم التعاريف تتشابه في وصف الركام وخصوصا من الجانب الانشائي حيث يعرف ASTM الركام على انه "مادة حبيبية ، مثل الرمل أو الحصى أو الحجر المكسر أو خبث أفران الحديد ، تُستخدم مع وسيط لتشكيل الخرسانة أو الملاط الهيدروليكي او الأسفلت وما الى ذلك"

3. انواع الركام

يمكن تصنيف الركام بناءً على عدة معايير. يتم تصنيف الركام على أنه ركام ناعم (رمل) أو ركام خشن (حصى) عند أخذ حجم الجسيمات في الاعتبار. يمكن أن يكون الأصل الجيولوجي ميزة أخرى لتصنيف أنواع الركام: الرسوبية والنارية والمتحولة. ومع ذلك ، فإن النظام الأكثر شيوعًا والأكثر استخدامًا لتجميع أنواع الركام المختلفة هو النظر في طريقة الإنتاج التي سيتم استخدامها. وبالتالي ، يتم فصل الركام إلى مواد طبيعية أو مصنّعة أو معاد تدويرها. يستخدم معيار EN 12620 هذا التصنيف ويشير إلى التعريفات التالية: "الركام الطبيعي هو إجمالي من المصادر المعدنة التي لم تخضع إلا للمعالجة الفيزيائية (التكسير والتحجيم) ؛ الركام المصنع هو مجموع من أصل معدن ناتج عن عملية صناعية تنطوي على تعديل حراري أو غيره من التعديلات (مثل الخبث) ؛ والركام المعاد تدويره ناتج عن معالجة مواد الركام غير العضوية المستخدمة سابقًا في البناء (على سبيل المثال ، نفايات البناء والهدم).

4. التواجد الجيولوجي

يمكن تقسيم الركام الطبيعي إلى قسمين : **(أ)** صخور رسوبية مكشوفة أو قريبة من السطح ، ومتحولة ، وصخور نارية التي يمكن تكسيرها ، و **(ب)** رواسب الرمل والحصى التي يمكن استخدامها مباشرة أو سحقها وتحجيمها لتلبية المواصفات . يمكن أن توجد كالرواسب التي تحدث بشكل طبيعي ، سواء كانت رملًا أو حصى أو صخور (المصدر للحجر المكسر) ، في مجموعة كبيرة ومتنوعة من البيئات الجيولوجية. ساهمت البراكين و الزلازل والثلوج والأنهار والجداول والتقلبات البحرية في تكوين المواد المستخدمة كمواد ركام. في أي منطقة من مناطق العالم ، يعتمد توافر الحجر المناسب للركام على التاريخ الجيولوجي للمنطقة ، وبعبارة أخرى ، العمليات التي تشكلت وتآكلت وكشفت الطبقة الصخرية.

4.1 الحجر المكسر

الحجر المكسر هو "المنتج الناتج عن التكسير الاصطناعي للصخور أو الجلاميد أو الحصى الكبيرة ، والتي نتجت جميع أوجهها بشكل أساسي عن عملية التكسيرASTM ". يتم إنتاجه بشكل عام عن طريق الحفر، والتفجير ، والتحميل ، وتكسير الطبقات الصخرية . تميل الأحجار المكسرة إلى أن تكون لها حواف و زاويّة ، وقد نتجت جميع أسطحها بشكل كبير عن عملية التكسير. من الواضح أن مجموعة كبيرة ومتنوعة من الصخور مناسبة للاستخدام كركام عند التكسير. تعتمد الملائمة الفنية للأحجار المكسرة لتطبيقات الركام المختلفة على خصائصها الفيزيائية. الركام عالي الجودة مطلوب للتطبيقات مثل تحت سكك القطار بينما قد تكون الركام الأقل جودة تكون مقبولة للتطبيقات مثل الخرسانة أو الملاط. من المحتمل أن تكون معظم الصخور الصلبة مناسبة للركام الخشن ولكن عادةً ما يتم الحصول على الصخور المكسرة عالية الجودة من الصخور النارية شديدة الصلابة والكثيفة.

4.1.1 الصخور رسوبية

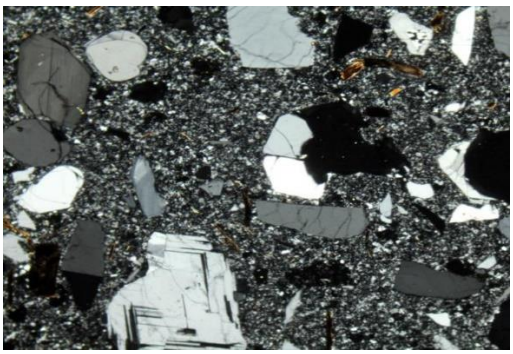
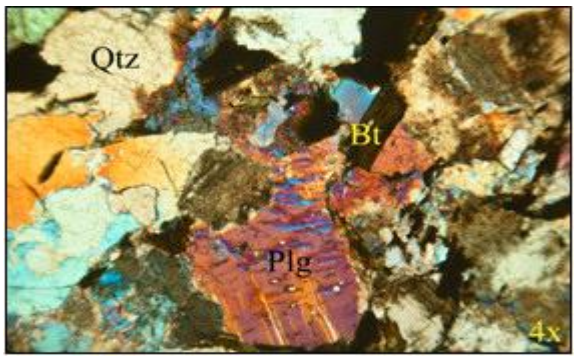
هناك نوعان رئيسيان من الصخور الرسوبية: (أ) تلك التي تم تشكيلها كيميائيًا أو كيميائيًا حيويًا (كالصخور الجيرية والتي تتبخر) ، و (ب) تلك التي تم ترسيبها ميكانيكيًا (الصخور clastic). تظهر الصخور الرسوبية مجموعة متنوعة من الخصائص ، من الثقيلة إلى الخفيفة ، والقوية إلى الضعيفة ، والصلبة إلى اللينة ، والكثيفة إلى المسامية. لهذا السبب ، فإن ملائمة استخدامها كأحجار مكسرة للركام تتغير وفقًا لذلك.

بشكل عام ، يغطي الحجر الجيري واحجار الكربونات الأخرى حوالي نصف إلى ثلاثة أرباع الصخور المستخدمة في الحجر المكسر ، ويشكل الجرانيت والصخور النارية الأخرى الجزء الأكبر من الباقي. كما يستخدم الحجر الجيري على نطاق واسع في صناعة الأسمنت والجير. ينتج هذا النوع من الصخور الرسوبية عمومًا ركام ذو متانة مناسبة لأعمال تحت الأسفلت في الطرق و الخرسانة.

ضمن مجموعة الصخور الرسوبية (المترسبة ميكانيكيًا) ، تتكون الأحجار الرملية ، قد تكون صلبة وكثيفة في بعض الأحيان.وتعتبر مصدر رئيسي للركام في بعض المناطق. ومع ذلك ، فإن الأحجار الرملية عادةً ما تكون قابلة للتفتيت أو ذات مسامية عالية بسبب الترابط السمنتي غير الكامل للذرات المكونة. من ناحية أخرى ، يمكن أن تحتوي الأحجار الرملية على الطين الذي يجعل الصخور قابلة اكثر للتفتيت واليونة والامتصاصية.

4.1.2 الصخور النارية

تتكون الصخور النارية من الصهارة المبردة ، وتصنف حسب أصلها وتكوينها. حيث تشكلت الصخور عن طريق التبريد البطيء على عمق بعيد نسبيًا ، فإنها تظهر جزيئات خشنة وتشمل أنواع الصخور العامة من الجرانيت والديوريت والجابرو. والأخرى الصخور النارية البركانية على سطح الأرض حيث يتم تبريدها وتصلبها بسرعة نسبية ، مما يعزز تكوين جزيئات صغيرة أو مجهرية. تشمل الأمثلة الريوليت ، والأنديسايت ، والبازلت. العديد من الصخور النارية مثل تلك المذكورة هي صلبة وقاسية وكثيفة ، وهي ممتازة لصناعة الأحجار المكسرة.

	
Rhyolite	Granite

على الرغم من أن الصخور النارية لها مجموعة واسعة من التركيبات الكيميائية وتعتمد ملائمتها للركام على تركيبها المعدني ونسيجها وطريقة تبلورها ، فإنها تميل عمومًا إلى إنتاج مجاميع صلبة بدرجة عالية من مقاومة الانزلاق ، وبالتالي فهي مناسبة جدًا لتطبيقات الطرق و للاستخدام في الأجزاء السفلية من اسفلت الطريق. ومع ذلك ، هناك بعض الاستثناءات: خاصة تلك التي تحتوي على نسبة عالية من السيليكا ، تكون مسامية للغاية بحيث لا يمكن تكوين ركام جيد ، وتميل الصخور النارية الأخرى التي تحتوي على نسبة عالية جدًا من السيليكا إلى التفاعل كيميائيًا مع القلويات عند استخدامها كركام في الخرسانة.

4.1.3 الصخور المتحولة

تُشتق الصخور المتحولة من الصخور الموجودة مسبقًا (الرسوبية والنارية والمتحولة) من خلال التغيير بالحرارة والضغط والنشاط الكيميائي ، وبالتالي تشتمل على مجموعة معقدة من أنواع الصخور ذات الخصائص الفيزيائية المختلفة. تتكون مساحات شاسعة من القارات الرئيسية في جميع أنحاء العالم من الصخور المتحولة المكشوفة التي توفر خيارًا انتاجيا جيدا. يمكن استخدام الصخور المتحولة المتينة والصلبة والكثيفة كمواد ركام (على سبيل المثال ، الميالونيت). وتشمل ايضا gneiss (صخرة بلورية نطاقات) ، والرخام (الحجر الجيري المتحول) ، والكوارتزيت (الحجر الرملي المتحولة). بعض الصخور المتحولة ، مثل schist شديدة الترقق ، بشكل طبقات رقيقة متوازية ، وبالتالي فهي غير مناسبة للحجر المكسر كما في الصورة ادناه.

4.2 الحصى و الرمل

تتكون رواسب الرمل والحصى من التعرية والنقل وترسب مواد الركام. تكون الرواسب الرملية والحصوية أكثر شيوعًا في المناطق المتجمدة أو الأحواض الرسوبية أو في شكل رواسب متراكمة في الأنهار والجداول. وبالتالي ، تم العثور على هذه المواد في مصاب النهر ، السهول الفيضانية ،او مناطق الطمئ.

يتم تحديد ركام الرمل والحصى بناءً على حجم الحبيبات بدلاً من التركيب. على سبيل المثال ، وفقًا للمعايير الأوروبية ، على سبيل المثال ، معيار EN 12620 ، يُستخدم مصطلح الحصى (أو الركام الخشن) بشكل شائع للتطبيقات لتحديد "الجسيمات بين 4 و 80 ملم" ، ومصطلح الرمل (أو الركام الناعم) من أجل "أقل من 4 ملم لكنها أخشن من 0.063 ملم." تعتمد خصائص الحصى ، وبدرجة أقل الرمال ، إلى حد كبير على خصائص الصخور التي اشتقت منها. ومع ذلك ، عندما تكون مسافات النقل قصيرة ، على سبيل المثال في البيئات الجليدية والمراوح الغرينية ، يمكن أن تبقى المكونات الضارة وتقلل من أهمية الرواسب.

4.2.1 الرواسب الغرينية

وهي تتكون أساسًا من رمال الأنهار والحصى التي تأخذ شكل انتشار واسع النطاق على طول فوهات وديان الأنهار الرئيسية ، وعادةً ما تكون تحت الطمي ، وكمصاطب نهرية تتواجد على جوانب الوادي. مصاطب النهر هي البقايا المقطوعة أو المتآكلة من السهول الفيضية النهرية المهجورة في وقت سابق. يتراوح سمك الرواسب من أقل من 1 م إلى أقصى قيم 10 م. تتباين نسب الرمل إلى الحصى ، لكن رواسب الأنهارتحتوي على كمية اقل من المواد الناعمة (silt and clay).

في المناطق الجبلية القاحلة وشبه القاحلة ، تتآكل بقايا الصخور وتنتقل خلال العواصف في تيارات شديدة الانحدار إلى الأحواض المجاورة ، مما ينتج عنه مراوح طينية. تحتوي الرواسب عادةً على مادة سميكة تتراوح من الصخور الكبيرة إلى جزيئات بحجم الطين.

الرمل والحصى الغريني (النهر) ، سواء في القنوات أو السهول الفيضية للأنهار والجداول أو في المدرجات (التي تقع فوق مستوى السهول الفيضية الحالية).هي المصادر الرئيسية لتجمع الرمال والحصى. يعتمد توافر الحصى وجودته على خصائص مصادر الصخور الأساسية القريبة. يتم إذابة المعادن الأقل مقاومة و / أو تحويلها إلى اطيان اما المعادن الأكثر مقاومة تبقى مثل الكتل الصخرية.

4.2.2 الرواسب الجليدية

عادة ما تكون الرواسب الجليدية أقل قابلية للتنبؤ بها من الرواسب الغرينية من جميع النواحي تقريبًا. يختلف توزيع حجم الجسيمات ، وشكل الجسيمات وتكوينها ، وسمك ومدى الرواسب الجليدية. من وجهة نظر جيولوجية ، تسمى الرواسب الجليدية الحقيقية till ، والتي يمكن تعريفها على أنها مادة ترسبت مباشرة بواسطة الجليد. بشكل عام ، till عبارة عن خليط سيئ الفرز من احجام الطين إلى جزيئات بحجم الصخور.

4.2.3 الرواسب البحرية

الرواسب البحرية على الحواف القارية هي مصادر محتملة كبيرة للرمل والحصى. تعتبر رواسب الرمل والحصى البحرية مدخلاً هامًا لإجمالي المعروض من الركام في بعض البلدان ، على سبيل المثال في بريطانيا العظمى واليابان. على الرغم من أن الرواسب البحرية توفر حاليًا نسبة صغيرة جدًا من إنتاج الرمال والحصى في جميع أنحاء العالم ، إلا أنها قد تصبح أكثر أهمية مع استنفاذ المصادر. بشكل عام ، يتم توزيع موارد الرمال والحصى البحرية بشكل غير متساوٍ على الجرف القاري. وهي تختلف في سمكها وتركيبها ودرجاتها وقربها من الشاطئ. تختلف معادن هذه الرواسب باختلاف مصدر المادة. الميزة مفيدة للعديد من الرمال البحرية هي محتوى الطيني المنخفض بينما يعد وجود الملح ميزة غير ملائمة.

4.2.4 الرواسب الشاطئية

يمكن أن ينتج عن التيارات والأمواج على الشاطئ تراكم جيد للرمل والحصى وتكون جزيئات الحصى والرمل مستديرة بشكل جيد وقوية. تتكون الرمال الشاطئية بشكل عام من الكوارتز والفلسبار. وبالتالي ، يمكن استخدام الرواسب الشاطئية كركام إذا كانت تفي بالمواصفات المطلوبة ؛ ومع ذلك ، فإن العديد من رواسب الشواطئ رقيقة وتفتقر إلى التدرج المناسب للحجم ، حيث نادرًا ما يحتوي الشاطئ المستقر على مواد أخف من الرمل المتوسط (حوالي 0.2 ملم).

5. طريقة الأستخراج

5.2 الحصى والرمل

عمليات أنتاج الرمل والحصى لها مخرجات في حدود 10000 إلى 1 مليون طن في السنة (طن / سنة) ؛ ومع ذلك ، فإن المواقع التي يزيد حجمها عن 500000 طن / السنة نادرة ، ويقع معظمها في النطاق من 100000 إلى 300000 طن سنويًا.

يتضمن استخراج الرمل والحصى في البداية إزالة الأغطية التي تتكون عادة من التربة والجفت والطين والمواد التي تعرضت للعوامل الجوية. العوامل التي يمكن أن تؤثر على الجدوى الاقتصادية هي ما يلي: **(أ)** الخصائص الجيولوجية للرواسب ، **(ب)** جودتها ، أي محتوى الرمل والحصى ، **(ج)** ما إذا كان من الممكن معالجة الرواسب جافة أو تحتاج إلى نزح المياه ، **(د)** ما إذا كان المحجر موقعًا جديدًا أو امتدادًا ، و **(هـ)** موقع المحجر بالنسبة للأسواق.

يقسم تعدين رواسب الرمل والحصى إلى مجموعتين: التعدين الجاف أو التعدين الرطب. هذا الأخير يعني أن منسوب المياه قريب جدًا من السطح ، وبالتالي فإن التعدين بالكامل تقريبًا يكون تحت الماء. في هذه الحالة ، يتم أيضًا تقديم خيارين: (أ) نزح المياه من الموقع عن طريق الضخ أو (ب) تشغيل الموقع رطبًا. يُفضل الأستخراج الجاف لأنه يسمح باستخراج أكثر انتقائية ويكون عمومًا أكثر فعالية من حيث التكلفة. يمكن استخلاص الركام باستخدام معدات نقل التربة التقليدية. وبالتالي ، تقوم الجرافات أو الحفارات أو المعدات المماثلة بتحميل المواد في شاحنات أو على أحزمة ناقلة لنقلها إلى مصنع المعالجة. عندما تخترق حفر الرمل والحصى منسوب المياه ، مثل السهول الفيضية هناك احتمال آخر يتمثل في إغراق الحفرة بالمياه. وبالتالي ، يمكن للمشغل استخراج المواد باستخدام تقنيات التعدين الرطب.

5.3 الحجر المكسر

عادة ما يكون تعدين محاجر الصخور الصلبة أكثر تعقيدًا من استخراج الرمال والحصى. وبالتالي ، يتم الحصول على الصخور المكسرة من محاجر أكبر وأعمق بكثير من المحاجر الرملية والحصوية. وعادة ما تكون "مخرجاتها تتراوح من 100.000 طن في السنة إلى حوالي 5 مليون طن في السنة". يمكن أن تتغير سماكة الطبقات في المحجر بشكل كبير من صفر تقريبًا إلى أكثر من 30 مترًا في بعض الحالات. يتم استخراجه باستخدام مجموعة من الحفارات الهيدروليكية والتقطيع والتفجير باستخدام المتفجرات.

6. تقنيات المعالجة

اعتمادًا على خصائص الركام ، يلزم إجراء بعض المعالجات قبل أن يكون المنتج مناسبًا للاستخدام. وبالتالي ، فإن الهدف من مصنع المعالجة هو إعداد المواد بالشكل المناسب لاستخدامها كركام. يتم تحديد نوع المعالجة اعتمادا على خواص المادة من حيث حجم الجسيمات وتوزيع الحجمي للحبيبات وشكل الجسيمات والخواص الميكانيكية. يمكن معالجة الركام في المواقع البعيدة باستخدام أجهزة متحركة أو مؤقتة للتكسير والغربلة أو يمكن معالجته في مصنع ثابت.

6.1 الحصى والرمل

بعد الاستخراج ، يتم نقل المواد المراد معالجتها في المصنع عمومًا من المحجر بواسطة ناقل ميكانيكي أو شاحنة نقل. يتم تخزين المادة أيضًا في مخازن او بشكل ستوكات ، وتحرر البوابة الموجودة في الجزء السفلي من الخزان كمية معينة من الرمل والحصى إلى الغربال يتم فيها فصل الرمال عن الحصى. هناك عدد كبير من الطرق للمعالجة تعتمد على خصائص رواسب الرمل والحصى وتطبيقها النهائي ، لكن مصانع معالجة الرمل والحصى تعتمد بشكل أساسي على عمليات الغربلة والغسيل.

تتم معالجة الرمل والحصى لمعظم التطبيقات من خلال الغسيل لإزالة الطين ، وفصل جزء الرمل ، وتصنيف الحصى إلى أحجام مختلفة ، وتصنيف الرمل ونزح المياه ، وفي بعض الحالات أيضًا تكسير الحصى كبير الحجم لإنتاج مواد أصغر قابلة للبيع . توفر المعالجة مجالًا لتعديل توزيع حجم الحبوب لمطابقة متطلبات السوق للمنتج النهائي القابل للبيع. من الشائع أيضًا مزج المواد من نفس المواقع والمواقع المختلفة بهدف ضبط حجم الحبوب لتلبية متطلبات المستخدم وتعظيم الاستفادة من الموارد. على الرغم من أن التطبيق النهائي يتحكم في حجم الركام المراد استخدامه ، إلا أن الطلب الأكبر يتركز عمومًا في الأحجام التالية: 10/4 ملم و 20/10 ملم و 40/20 ملم.

يتم الغسل بشكل عام في مادة خشنة من خلال الغسل المباشر على المناخل الاهتزازية . تزيل عملية الغسيل بشكل أساسي الحبيبات الدقيقة (الطمي والطين) التي تم تحديدها على أنها <0.063 ملم ملتصقة بالجزيئات أو موجودة على شكل كتل متجمعة بالطين تحتاج إلى التكسير. تتضمن معظم محطات غسيل الرمل تشتيت الرمل بواسطة الماء وفصل الحبيبات الدقيقة بمحطة هيدروسيكلون ، والذي ينتج عنه منتج رملي منزوع الماء جزئيًا. نمت عملية استخدام Hydrocyclone لتصبح واحدة من المصنفات الأكثر فعالية والأكثر استخدامًا ، كونها قادرة على تحجيم الجسيمات بحجم 0.005 ملم.

يمكن استخدام المصنف الحلزونية وعجلات دلو نزح المياه في محطات معالجة الرمل والحصى لنزح المياه. بالنسبة للمواد ذات الحبيبات الدقيقة ، عادةً ما يتم استخدام عجلة دلو للغسيل ونزح المياه. في هذا الجهاز ، يغذى خليط من الرمل والحصى والماء. يتم ترسيب المواد الصلبة في حوض عجلة الجرافة. اعتمادًا على الأداء ، تدور عجلة الجرافة فقط بمعدل 0.5 إلى 2 دورة في الدقيقة. يُسمح المواد غير المرغوبة بها بالاستقرار في البركة ، والتي يتم من خلالها إعادة تدوير مياه المعالجة ، باستخدام احواض الترسيب مثلا

يمكن تغذية الرواسب المحتوية على الصخور من خلال غربال مشفر بأتجاه واحد لإزالة الصخور الكبيرة ؛ في بعض الأحيان ، تذهب هذه الصخور إلى الكسارة لإنتاج الركام المكسر. يتم سحق المواد وغربلتها لفصل الجزيئات المكسرة بشكل صحيح التي تمر عبر الغربال عن تلك التي لا تمر وتعودة إلى الكسارة. تُستخدم الغرابل الاهتزازية بشكل شائع لفصل الجسيمات إلى الأحجام اللازمة. الغربال الأسطواني الدوار يستخدم ايضا اما بشكل أفقي أو مائل قليلاً في اتجاه تدفق المواد للغربلة و التصنيف. يعمل على احجام الركام من 6 إلى 55 ملم.

6.2 الحجر المكسر

بعد التفجير في المحجر ، تنقل الشاحنات أو الناقلات المواد الكبيرة نسبيا من المحجر إلى مصنع المعالجة. تشمل عملية المعالجة عمليات التكسير والغربلة وتصنيف المواد والتخزين. يتم التكسير على ثلاث مراحل: **المرحلة الابتدائية** ، و**المرحلة الثانوية** ، و**المرحلة الثالثة**. بشكل عام ، يتم نقل الصخور المكسرة على طول خط المعالجة على سيور ناقلة. يتم أرسال المواد إلى الغربال ذو الشفرة باتجاه واحد ، والتي تقوم بالتصنيف الأول للعناصر المكسرة بحجم 100 ملم.

ثم يتم فصل الحجم الأصغر إلى 30/0 ملم وكسور الى 100/30 ملم ، ويتم خلط الأخير مع المادة التي تم الحصول عليها في كسارة الفك. الاحجام الكبيرة ، بما في ذلك الجسيمات التي تتراوح من 100 إلى 900 ملم ، يتم إرسالها إلى الكسارة الفكية (الكسارة الأولية) بفتحة تغذية تبلغ 3645 ملم × 2890 ملم لإنتاج جزيئات بحجم يتراوح من 0 إلى 200 ملم.

يتم نقل ناتج الكسارة الأولية إلى المخزون الأولي مع جزء 100/30 ملم الذي تم الحصول عليه من المواد الأصغر حجمًا. هذا المخزون الأولي يغذي الكسارة الثانوية ، الكسارة المخروطية التي تقلل حجم الحجر المسحوق حتى 100 ملم. يتم تصنيف المواد بعد ذلك باستخدام غربالين اهتزازيتين ، كل واحدة بها ثلاث وحدات شبكية. وبالتالي ، يتم إنتاج أربعة أجزاء بالحجم: 6/0 ملم ، 25/6 ملم ، 63/25 ملم ، و 100/63 ملم ، الجزء الثالث (63/25 ملم) المستخدم كحجر مكسرتحت السكك الحديدية.

يتم تخزين الجزء 6/0 ملم مباشرة بينما يتم إرسال الجزء 25/6 ملم إلى كسارة ثلاثية (كسارة مخروطية أخرى) التي تنتج مادة 25/0 ملم. يتم فصل هذه المادة أيضًا باستخدام غربال اهتزازي في ثلاثة أجزاء: 6/0 ملم و 12/6 ملم و 25/12 ملم ، والتي يمكن استخدامها في تطبيقات مختلفة (على سبيل المثال ، الخرسانة أو الطرق).

Technology of Construction Materials Industry

By Dr. Hasan Alhamwi

Lecture 6: Lime

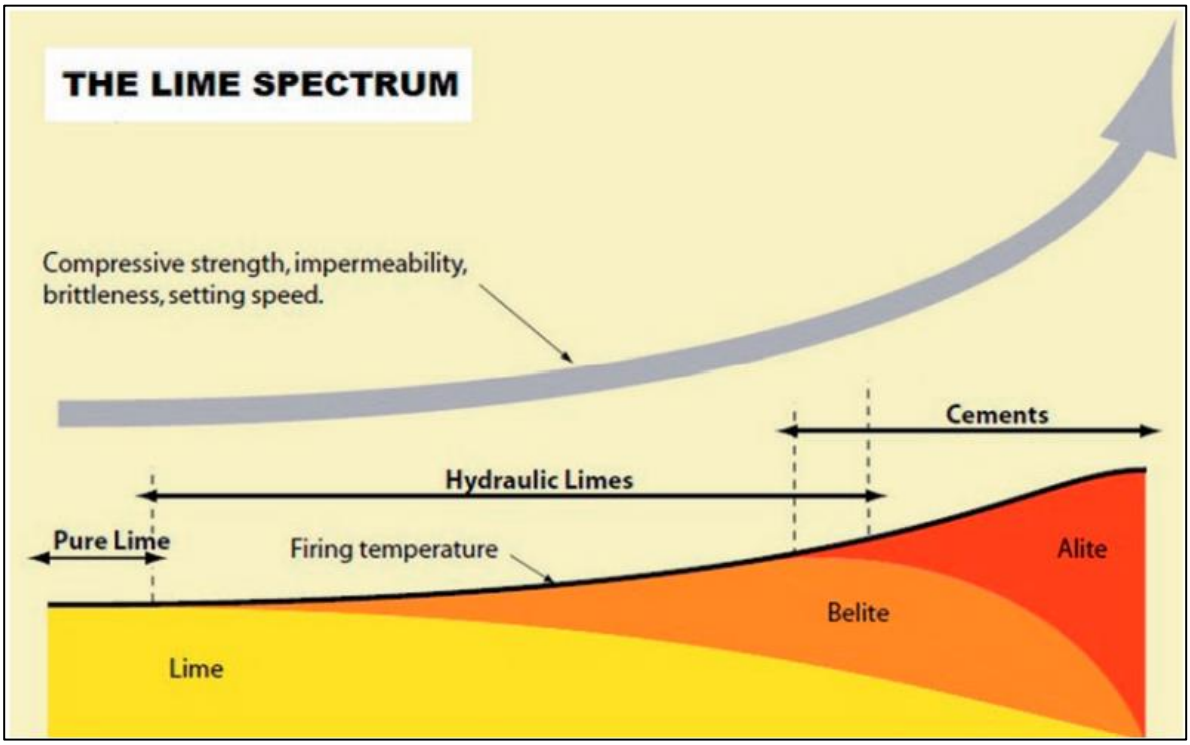
Main references:

- Revuelta, M.B., 2021. Construction Materials: Geology, Production and Applications. Springer.
- Multiple Internet sources.

1. مقدمة introduction

الجير هو الأقل تكلفة وأحد القلويات الأكثر استخدامًا في العالم. وهو مادة رابطة غير هيدروليكية ، باستثناء ما يسمى بالجير الهيدروليكي. تم استخدامه لآلاف السنين في المونة الحجري لربط الحجر و / أو وحدات الطابوق. يعود تاريخ بعض أقدم الأدلة على استخدام الجير إلى ما يقرب من 10000 عام (تظهر الأدلة من شرق تركيا أن ملاط الجير قد تم استخدامه في أرضيات مؤرخة من 7000 إلى 14000 قبل الميلاد). أول دليل واضح على استخدام الجير في العصور القديمة كان في يوغوسلافيا السابقة ، حيث يعود تاريخه إلى 6000 قبل الميلاد. يتكون من نوع مونة من الجير والرمل والطين والماء.

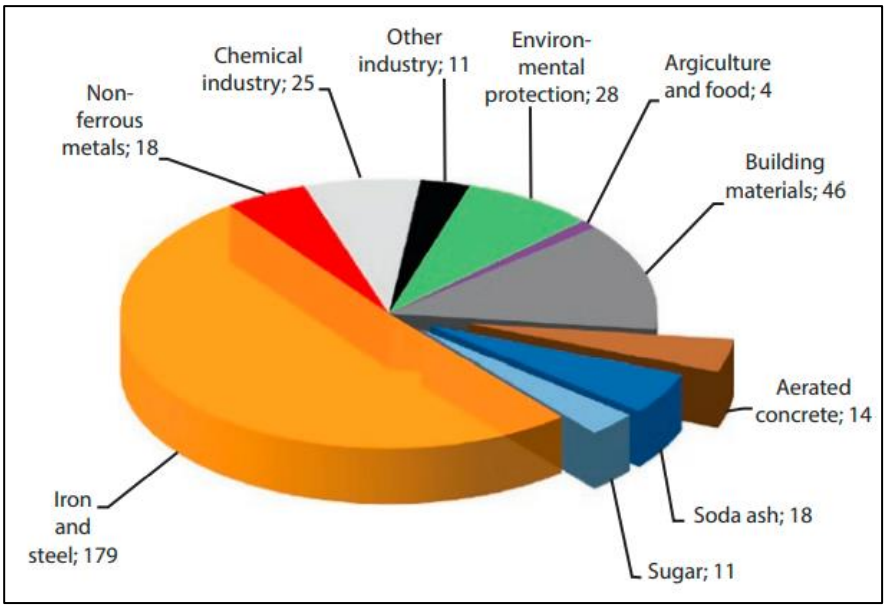
في عمليات البناء القديمة ، احتل الجير مكان الأسمنت البورتلاندي في تصنيع الخرسانة ، أي أن الجير كان عامل الربط الرئيسي حتى اكتشاف الأسمنت. في الواقع ، يمكن إنشاء مخطط انتقالي بوضوح بين الجير الجوي (المصنوع عند 1000 درجة مئوية من الحجر الجيري النقي) ، والجير الهيدروليكي (1000-1200 درجة مئوية والحجر الجيري مع الطين) ، والأسمنت البورتلاندي (1500 درجة مئوية والحجر الجيري مع الطين) كما في الشكل ادناه. تطورت كيمياء وتكنولوجيا إنتاج الجير بشكل تدريجي ولكن معظم التقدم حدث منذ عام 1900 ، مع أكبر خطوة للأمام منذ عام 1955.



من وجهة نظر كيميائية ، الجير هو أكسيد الكالسيوم (CaO) غير موجود في الطبيعة ، كونه مصطلحًا عامًا يشير إلى مكون أكسيد الكالسيوم في المادة. في التطبيقات الصناعية ، يحتوي الجير على كل من الجير الحي والجير المطفأ وهو مرادف لمصطلح منتجات الجير. يتم الحصول على الجير الحي عن طريق تكليس كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) إلى أقل من نقطة انصهاره ، مما يؤدي إلى تفكك كربونات الكالسيوم إلى أكسيد الكالسيوم (CaO)) وثاني أكسيد الكربون (CO2). عندما يتم أذابته بالماء ، يتحول الجير الحي إلى الجير المطفأ.

توفر منتجات الجير مكونًا رئيسيًا للعديد من العمليات مثل تنقية المياه ، وصنع السكر ، وتنظيف الغازات ، وإنتاج الحديد ، وتشييد المباني ، ومعالجة الأراضي الملوثة ، كما أنها تُضاف إلى صناعة الورق ، والزجاج ، والمستحضرات الصيدلانية ، ومعجون الأسنان. يحظى الجير بتقدير كبير في البناء والتشييد للعديد من الأسباب **(أ)** يمتلك مرونة جيدة ويسهل التعامل معه ، **(ب)** يتصلب بسهولة ومقاوم للرطوبة ، **(ج)** مناسب جدًا لأعمال البناء بسبب خصائص اسمنتية ممتازة ، **(د)** الانكماش عند التجفيف صغير بسبب احتباس الماء العالي ، **(هـ)** خصائصه القلوية تجعله طاردًا طبيعيًا للبكتيريا. وفقًا للمسح الجيولوجي

بالولايات المتحدة ، بلغ الإنتاج العالمي من الجير في عام 2018 420 مليون طن (تقريبًا) ، حيث كانت الصين أهم منتج بـ 300 مليون طن (تقريبًا).



2. التعريف

تتضمن صناعة الجير مجموعة معقدة من التعريفات المتعلقة بالجير والتي تعتمد بشكل أساسي على التركيب الكيميائي والطابع الهيدروليكي أو غير الهيدروليكي. التعريفات التالية هي الأكثر استخدامًا في قطاع الجير في جميع أنحاء العالم. الجير الحي (يسمى أحيانًا الجير المحترق) هو "الحجر الجيري المكلس ، والجزء الأكبر منه هو أكسيد الكالسيوم أو أكسيد الكالسيوم مع أكسيد المغنيسيوم ، القادر على التفاعل مع الماء".

الجير المطفأ هو هيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$) الذي يتم الحصول عليه عند خلط الجير الحي بالماء. يشمل هذا المصطلح الجير المطفأ ومستحلب الجير ومعجون الجير. وفقًا لـ ASTM C51 ، يعتبر الجير المطفأ "مسحوقًا جافًا يتم الحصول عليه عن طريق معالجة الجير الحي بالماء بما يكفي لإرضاء قدرته الكيميائية على التفاعل مع الماء في ظروف ترطيبه. يتكون أساسًا من هيدروكسيد الكالسيوم أو خليط من هيدروكسيد الكالسيوم وأكسيد المغنيسيوم أو هيدروكسيد المغنيسيوم أو كليهما "

3. المواد الخام Raw Material

المواد الخام المستخدمة في إنتاج الجير هي الحجر الجيري أو ، بدرجة أقل ، الدولوستون و الدولوميت. تعتبر رواسب الحجر الجيري والدولوستون شائعة نسبيًا في العديد من البلدان. وهكذا ، يتم إنتاج الحجر الجيري والدولوستون على نطاق واسع في كل بلد تقريبًا في العالم. ينتشر الحجر الجيري والدولوستون على نطاق واسع بحيث يمكن اعتبار احتياطياتهما غير محدودة تقريبًا ومناسبة لإنتاج الجير الحي على أساس عالمي. ومع ذلك ، فإن نسبة صغيرة فقط مناسبة لإنتاج الجير لأن مستوى الشوائب مثل الكوارتز أو الطين له أهمية خاصة ويجب أن يكون منخفضًا جدًا (<5٪). يوجد الحجر الجيري والدولوستون في العديد من الأشكال اعتمادًا على كيفية تكوينهما في الأصل ، مما ينتج عنه مجموعة كبيرة ومتنوعة من القوام ، وأحجام الحبوب ، والشوائب ، ومحتوى الكربونات. يتكون الجير من نسبة عالية من الكالسيوم أو المغنيسيوم (أو الدولوميت) والحجر الجيري والدولوميت الذي يحتوي على 95٪ من إجمالي مكونات الكربونات على الأقل. لإنتاج الجير الهيدروليكي ، تحتوي المواد الخام المستخدمة على 65-85٪ $CaCO_3$ و $MgCO_3$. لذلك ، فإن نقاء المواد الخام في إنتاج الجير الهيدروليكي يختلف تمامًا عن تلك المطلوبة في إنتاج أنواع أخرى من الجير.

تلعب جودة الحجر الجيري والدولوميت دورًا أساسيًا في جودة الجير وتكوينه الكيميائي. يجب أن تؤخذ المتطلبات التالية في الاعتبار عند تقييم جودة رواسب الحجر الجيري : **(أ)** قوة الحجر ومقاومة التآكل ، **(ب)** مقاومة الحجر الجيري للتدهور الحراري ، **(ج)** القوة ومقاومة التآكل الجير الحي ، **(د)** معدل التكليس ، **(هـ)** محتوى كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ و $MgCO_3$ ، و **(و)** محتوى الشوائب التي قد تؤثر على تشغيل الفرن أو مقبولية الجير.

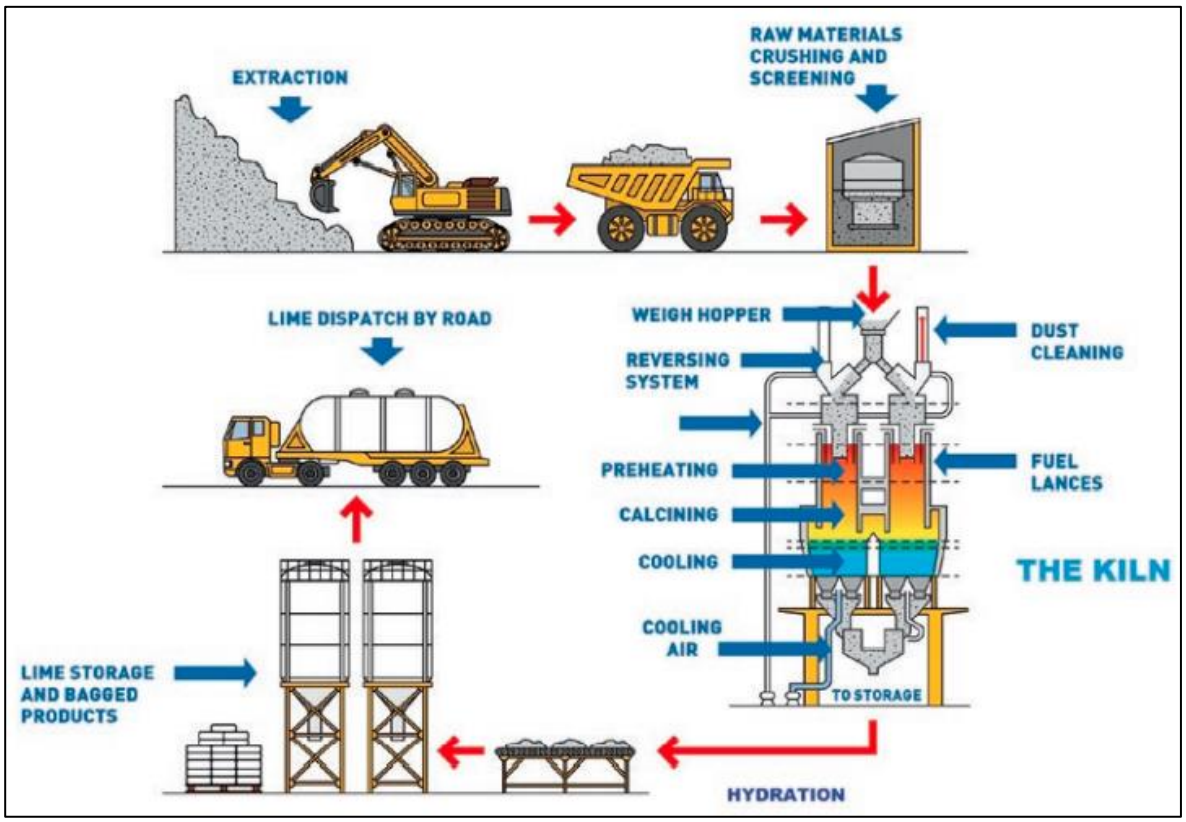
3.1. البيئات الجيولوجية لتكوين دولوستون

يشير الدولوستون إلى صخرة مكونة من أكثر من 50٪ دولوميت. تنتشر أحجار الدولوستون على نطاق واسع مثل الحجر الجيري في السجل الجيولوجي ، ومن وجهة نظر اقتصادية ، يُفترض أنها أكثر أهمية لأن العديد من مكامن الهيدروكربونات الكبيرة والرواسب المعدنية موجودة في هذا النوع من الصخور. الدولوميت المركب و / أو الدولوميت المتأصل في بيئة الترسيب أسفل سطح الرواسب مباشرة أثناء الترسيب أو بعده بفترة قصيرة. وهو الأكثر شيوعًا باعتباره راسبًا من المياه المالحة في أماكن مثل رسوبات المد والجزر الموحلة والبحيرات الضحلة والرواسب البحرية الغنية بالمواد العضوية. عادة ما يتكون هذا النوع من الدولوميت من معينات مايكروكرستالية ، يتم ترسيب معظمها مباشرة من الماء. عادةً ما تكون أحجار

الدولوستونات من هذا النوع طبقية الشكل وتتراوح سُمكها من بضعة أمتار إلى حوالي 10 أمتار ولكنها لا تكون صخور كبيرة.

4.عمليات التصنيع

يتم التحكم في معالجة الحجر الجيري وتحويله إلى الجير لضمان جودة المنتجات. . يوضح الشكل ادناه عملية التصنيع الشاملة. خطوات الإنتاج الرئيسية الأربع هي كما يلي:



4.1. أعمال التعدين وتحضير الحجر الجيري

تشتمل هذه الخطوة على استخراج الأحجار أو التعدين ، والسحق ، والغربلة ، وأحيانًا غسل الحجر الجيري لإزالة الشوائب. يمكن استخراج الحجر الجيري في كل من المناجم الجوفية والسطحية على الرغم من أن الطريقة الثانية هي الأكثر استخدامًا. يشمل الاستخراج الحفر والتفجير لتفكيك الصخور. يجب مراقبة جودة الحجر الجيري بصرامة للحفاظ على نقائه.

وبالتالي ، تتكون طريقة مراقبة الجودة القياسية من التحليل الكيميائي لكل ثقب انفجار لضمان نقاء المنتج. ثم يتم تغذية الحجر الجيري المتفجر لعمليات التكسير والغربلة. يمكن للتعدين الانتقائي تحسين جودة الحجر الجيري لعملية التكليس. في بعض الأحيان ، قد يكون من الضروري تخزين الأحجار ذات الجودة المتغيرة لعمليات المزج بحيث يتم الحفاظ على تغذية الفرن بجرعات منتظمة.

عادة ما يتم تكسير صخور الحجر الجيري التي يبلغ قطرها حوالي 1 متر في الكسارات الأولية مثل الكسارات الفكية أو الكسارات الدورانية أو الكسارات الصدمية. الهدف الرئيسي هو الحصول على قطع من الصخور بأحجام تتراوح من 100 إلى 300 ملم. توجد محطات التكسيربشكل عام في مكان التعدين وأحيانًا تكون متحركة. يتم بعد ذلك نقل الحجر الجيري المسحوق من الكسارة الأولية إلى غربال اهتزازية لفصل القطع الكبيرة بينما يتم استخدام القطع المارة والصغيرة بدرجة كافية كمادة جاهزة للحرق. يتم إدخال قطع كبيرة من الحجر الجيري في الكسارات الثانوية لتقليل حجم الحجر الجيري إلى نطاق 10-80 ملم. بعد التكسير الثانوي ، يتم غربلة الحجر الجيري ونقله إلى سايلوات تخزين الحجر الجيري أو المخزونات قبل تغذيته في أفران الحرق.

4.2 عملية التكليس

4.2.1 التفاعل الكيميائي

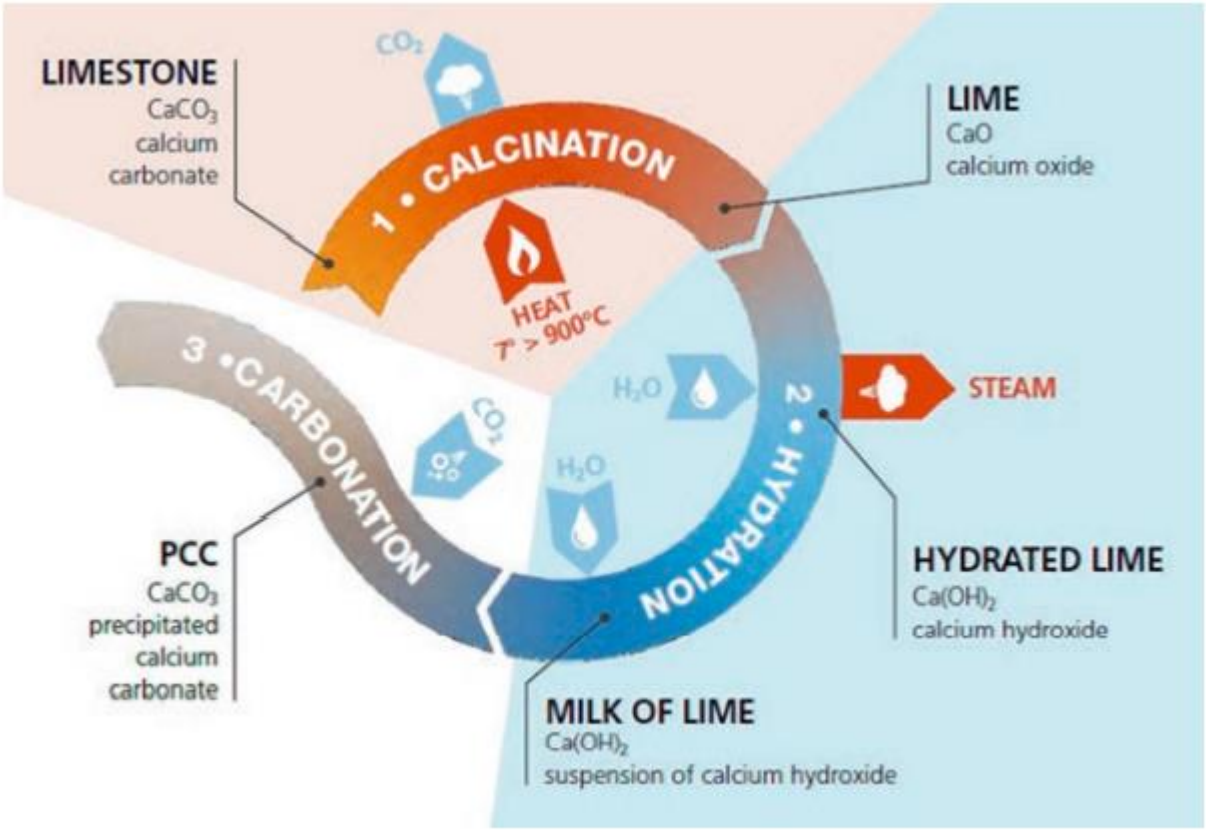
بعد معالجة الحجر الجيري ، يتم نقله إلى الفرن ، حيث يتم إنتاج الجير عن طريق حرق كربونات الكالسيوم و / أو المغنيسيوم عند درجات حرارة تتراوح بين 900 درجة مئوية و 1200 درجة مئوية. يتم الاحتفاظ بالجير / الحجر الجيري لفترة طويلة بدرجة كافية في درجات الحرارة هذه لضمان تحلل كربونات الكالسيوم ووقت مكوث جيد للتحكم في تفاعل المنتج. درجات الحرارة هذه مرتفعة بدرجة كافية لتوليد ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وللحصول على أكسيد مشتق (CaO). إذا كانت درجة حرارة التكليس منخفضة للغاية ولم يكن وقت التكليس كافياً ، فلن تتم معالجة الحجر الجيري بالكامل ويتولد الجير المحترق. تسمى عملية التحلل الحراري للحجر الجيري إلى الجير الحي وثاني أكسيد الكربون تكليس الحجر الجيري أو التكليس. يشير إلى تفاعل يتم فيه تسخين الحجر الجيري أو الدولوستون مع تغيير ناتج في الكيمياء وفقدان الوزن. يتم إجراء عملية التكليس في أفران حيث يتم الحصول على الجير الحي ، حيث أن هذه المكونات هي المواد الخام المستخدمة لبقية المنتجات المصنعة. التفاعلات الكيميائية الأساسية هي كما يلي:

$$CaCO_3\,(solid) + heat \rightarrow CaO(solid) + CO_2\,(gaseous) -$$

$$CaMg(CO_3)_2\,(solid) + heat \rightarrow CaMgO_2\,(solid) + CO_2\,(gaseous) -$$

يُشار عادةً إلى المنتج الذي نشأ في التفاعل الأول باسم الجير الحي نظرًا لتفاعله السريع مع الماء. وتجدر الإشارة إلى أن هذا التفاعل قابل للعكس. تتم إعادة كربنة الجير الحي في درجات حرارة الغرفة عن طريق ترطيب سطح الجير الحي بواسطة بخار الماء في الغلاف الجوي وكربنة هيدروكسيد الكالسيوم إلى كربونات الكالسيوم والماء. تزيد إعادة الكربنة من قوة الرابطة النهائية التي تعمل كمواد مانعة للتسرب في حالة حدوث أي تشقق في ملاط الجير. لذلك ، فإن خاصية تصلب الجير هي نتيجة لقدرته على التفاعل مع ثاني أكسيد الكربون الموجود في الهواء لتكوين كربونات الكالسيوم. وهكذا ، فإن التفاعل الكيميائي للجير مع الكربون يعيد ثاني أكسيد (تفاعل الكربنة) الجير إلى مادته الأم ، أي الحجر الجيري. بمعنى اخر ، ينتج عن تكليس الحجر الجيري الجير الحي ؛ ينتج ترطيب الجير الحي الجير المطفأ ؛ وكربنة الجير المطفأ يغيره إلى الحجر الجيري.

يمكن تقسيم نقل الحرارة في عملية تكليس الجير إلى ثلاث مراحل **(أ)** يتم تسخين الحجر الجيري لمنطقة التسخين المسبق من درجة الحرارة المحيطة إلى حوالي 800 درجة مئوية عن طريق التلامس المباشر مع الغازات الناشئة في منطقة التكليس ، **(ب)** منطقة الاحتراق أو يتم حرق وقود التكليس لإنتاج حرارة أعلى من 900 درجة مئوية مما يؤدي إلى تفكك الحجر الجيري إلى الجير الحي وثاني أكسيد الكربون ؛ من 800 إلى 900 درجة مئوية ، يبدأ سطح الحجر الجيري في التحلل ، و **(ج)** منطقة التبريد: يتم تبريد الجير الحي عن طريق التلامس المباشر مع الهواء ، تاركًا هذه المنطقة عند درجات حرارة أقل من 100 درجة مئوية. يُفقد ما يقرب من نصف وزن الحجر الجيري كثاني أكسيد الكربون. نتيجة هذه العملية هي فقدان الوزن بنسبة 44٪ أثناء التكلس الكامل للحجر الجيري النقي ، أي ، في صنع 1 طن من الجير الحي ، يتم توليد ما يقرب من 1 طن من ثاني أكسيد الكربون ، والذي يتم دمجه في الغلاف الجوي. يكون أكسيد الكالسيوم الناتج عن عملية التكليس على شكل كتل بيضاء ، يطلق عليها أحيانًا بالحصى الجيري. يمكن سحقها أو طحنها. يمكن استخدام المادة الناتجة للحصول على منتجات أخرى على الرغم من أن المعالجة الأكثر شيوعًا هي إضافة الماء إلى الجير الحي.



4.2.2 الأفران

يتطلب إنتاج الجير الحي عالي الجودة اختيار تصميم الفرن المناسب لأن الخصائص الفيزيائية والكيميائية للجير مرتبطة بطبيعتها بنوع الفرن المستخدم في عملية التكليس. تم استخدام مجموعة كبيرة ومتنوعة من تصميمات الأفران على مر القرون. ربما تكون أول طريقة مستخدمة لحرق الحجر الجيري تتكون من كومة مكشوفة تحتوي على طبقات متناوبة من الخشب والحجر الجيري. الأفران الحديثة ، يمكن تقسيمها الى فئتين رئيسيتين: الأفران الدوارة والعمودية ، كون النوع الأخير الأكثر استخدامًا في أوروبا. تستخدم العديد من شركات الجير نوعين أو أكثر من الأفران التي تستخدم من أجل أحجامًا مختلفة من الحجر الجيري المدخل وتصنيع أنواع مختلفة الجير. العوامل المهمة الرئيسية لاختيار الفرن هي كما يلي: **(أ)** طبيعة الرواسب المعدنية: خصائص الحجر الجيري وتوافره وجودته ، **(ب)** قياس الحبيبات المدخلة: الخصائص الميكانيكية المادة الخام التي يتم تغذيتها للفرن ووجود المواد الناعمة، **(ج)** طلبات العملاء فيما يتعلق بخصائص الجير ، **(د)** سعة الفرن ، **(هـ)** توافر الوقود ، بما في ذلك وقود النفايات ، **(و)** التكاليف: الوقود والاستثمار والتشغيل.

Kiln type	Abbreviation	Output range (t/d)	Range of feed stone size (mm)
Long rotary kiln	LRK	160–1500	2–60
Rotary kiln with preheater	PRK	150–1500	10–60
Parallel flow generative kiln	PFRK	100–600	10–200
Annular shaft kiln	ASK	80–300	10–150
Mixed feed shaft kiln	MFSK	60–200	20–200
Other kilns	OK	10–200	20–250

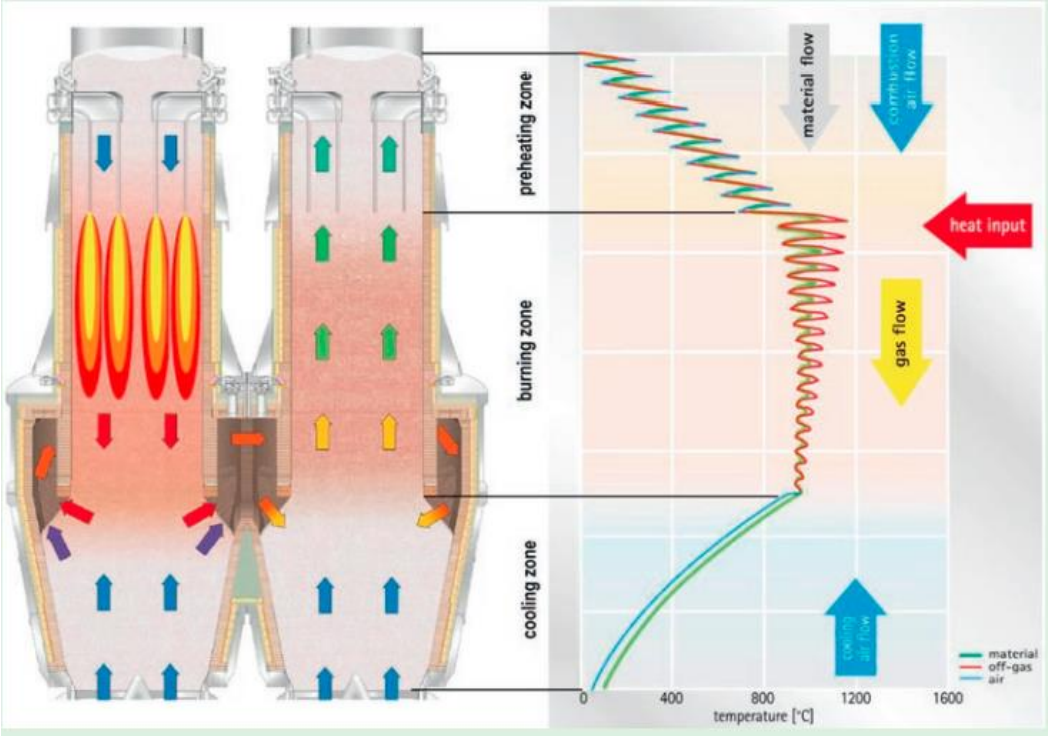
1. **الأفران الدوارة:**

يتكون الفرن الدوار لإنتاج الجير من أنبوب مائل مع منحدر نحو الأسفل بنسبة 3-4٪ تقريبًا ، يشبه إلى حد ما فرن الأسمنت ، بأحجام تتراوح من 2 م إلى 6 م في القطر و 25 م الى و 200 م طولًا. يتم تغذيتها بأحجام تتراوح من 40 ملم إلى أقل من 2 ملم في القطر. تتراوح السعة من 40 إلى 1400 طن يوميًا. يسمح دوران الفرن وميله للمواد بالتدحرج من أعلى إلى أسفل الفرن ويتم تفريغ الجير الحي من الفرن إلى مبرد الجير حيث يتم استخدامه للتسخين المسبق لهواء الاحتراق. تظل المواد في الفرن حوالي 6-8 ساعات. يستخدم هذا النوع من الأفران بشكل شائع لتصنيع منتجات مميزة مثل الجير منخفض الكبريت أو الجير/الدوليم التفاعلي الخاص ، مما يساعد على تعزيز كفاءة الموارد.

2. **الافران العمودية:**

الأفران العمودية ذات تصميم رأسي ، يصل ارتفاعها إلى 50 مترًا ، وقطرها يصل إلى 7 أمتار ، وبصورة عامة مع غلاف فولاذي مبطن. يتم تغذية الحجر الجيري في الجزء العلوي من الفرن ويتحرك لأسفل عبر مناطق مختلفة من الفرن حتى يتم تصريفه في الجزء السفلي. عادةً ما تحرق الأفران العمودية الحجر الأكبر

(100-300 ملم). تتراوح السعة من 10 أطنان في اليوم إلى ما يزيد عن 600 طن في اليوم. يعتبر استهلاك الوقود المنخفض نسبيًا ميزة رئيسية لهذا النوع من الأفران. توجد العديد من تصميمات الأفران العمودية في السوق ، مثل فرن عمود التغذية المختلط ، أو فرن العمود الحلقي ، أو الفرن ذو التدفق المتوازي المتجدد، ولكن هذا الأخير ربما يكون التصميم الأكثر فعالية. في الوقت الحاضر ، يتم إنتاج تكليس الحجر الجيري بشكل أساسي في أفران بتيار مواز يسمح بالتسخين المسبق واستعادة غازات الاحتراق. ينتج عن هذه المنهجية تحسين في استهلاك الطاقة.



4.3 معاجة الجير الحي

الهدف الرئيسي من معالجة الجير الحي هو إنتاج عدد من المنتجات بأحجام الجسيمات والصفات التي تحتاجها قطاعات السوق المتنوعة. وهي تشمل الغربلة ، والسحق ، والتنعيم ، والطحن ، والتصنيف. يجب أن يشتمل مصنع المعالجة على تخزين كافٍ للمنتجات المختلفة لتوفير تكديس كافٍ بين الفرن والإرساليات. يمكن سحق الجير الحي الذي يتم الحصول عليه في الفرن على شكل كتل بيضاء وغربله عند 5 ملم مما ينتج عنه كسر ناعم (أقل من 5 ملم) وكسور حبيبية ، أي 15/5 ملم و

50/15 ملم ، منذ بدء التشغيل. يشمل الطلب على أنواع مختلفة من الجير الحي حجم الجسيمات من المنتجات الخشنة نسبيًا ، كمثال لتثبيت التربة ، إلى المنتجات الدقيقة جدًا للتطبيقات المتخصصة ، على سبيل المثال ، 90٪ منه ذو حجم حبيبي أقل من 50 ميكرومتر. يتم الحصول على هذه المنتجات الدقيقة بشكل عام في المطاحن الكروية وطواحين الضغط الأسطوانية العمودية باستخدام أنظمة تصنيف الهوائية. على سبيل المثال ، يتم طحن الجير المطحون إلى أقل من 0.150 ملم للتطبيقات المعدنية والصناعية والكيميائية والزراعية. أخيرًا ، يجب تخزين الجير الحي في سايلوات في ظروف جافة لتجنب التطاير و الترطيب في الهواء ، (مما قد يؤدي إلى تدهور جودة المنتج) إن ترطيب في الهواء هو عملية تحويل CaO إلى $Ca(OH)_2$ في درجة الحرارة المحيطة بواسطة الرطوبة الموجودة في الهواء .وبالتالي ، فمن المستحسن تجنب التعرض الجوي أثناء المناولة والتخزين إلى الحد الأدنى.

4.3.1 أطفاء الجير الحي

التفاعل الكيميائي لترطيب الجير الحي هو:

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

يتضمن ترطيب الجير إضافة الماء إلى أكسيد الكالسيوم بمعدل متحكم فيه في تفاعل قابل للعكس لتكوين هيدروكسيد الكالسيوم. وهذا يعني أن المنتج الذي تم الحصول عليه يمكن بالتالي أن يعود إلى شكل الأكسيد السابق عند تسخينه. كشرط قياسي ، يكون التفاعل طاردًا للحرارة لتكوين الهيدرات ؛ أي أنه ينتج عنه اطلاق كمية كبيرة من الحرارة (273 كيلو كالوري / كجم CaO عند 25 درجة مئوية) لتكوين هيدرات الكالسيوم. لقد تم التعرف منذ فترة طويلة أن أهم المتغيرات التي تؤثر على ترطيب الجير الحي هي نسبة الماء إلى الجير ، ودرجة حرارة الماء ، ودرجة الاتفاعلات. وهكذا ، فإن الجير الحي عالي التفاعل سوف يرطب في 2-3 دقائق بينما الجير الحي منخفض التفاعل سوف يفعل ذلك في 15-30 دقيقة.