

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي \_ سكيكدة\_



## قسم التكنولوجيا

### هندسة الطرائق

مذكرة التخرج

لنيل شهادة: أستاذ تعليم ثانوى

دراسة تطبيقية لخصائص الاسمنت البورتلاندي لمصنع حجارالسود

من إعداد الطالبتين:

لعوراية

بوجناح أشواق

### لجنة المناقشة

رئيسة	م ع أ ت سكيكدة	أستاذة محاضرة ب	بوجدير إعتدال
مشرفا	م ع أ ت سكيكدة	أستاذ محاضراً	سايحي يوسف
ممتحنا	م ع أ ت سكيكدة	أستاذ التعليم العالي	بن جفال حسان

السنة الدراسية 2024/2023

## تشكرات

نحتدي بالفضل والنعمة الإلهية، مشيدين بالحمد الكثير والطيب المبارك الذي نثني عليه بإخلاص وتفان.

نقدم خالص الشكر والامتنان لأحبائنا الذين وقفوا بجانبنا بالتشجيع والصبر والتضحيات، داعين الله أن يجزيهم خير الجزاء. ولا يمكننا إلا أن نعبر عن عظيم امتناننا لمشرفنا الفاضل، [الدكتور سايجي يوسف](#)، على توجيهاته الحكيمة وجهوده الجليلة في توجيهنا ودعمنا.

كما نود أن نعبر عن امتناننا البالغ لأعضاء لجنة المناقشة، [الدكتورة بوجدير اعتدال](#) رئيسة، و[الدكتور بن جمال حسان](#) مناقشا وممتحنا، على قبولهم رئاسة ومناقشة مذكرتنا وعلى جهودهم المبذولة ووقتهم الثمين في تقييم عملنا، ونعتبر توجيهاتهم وملاحظاتهم القيمة بمثابة ثمرة جهدنا وتحفيز لنا للتطوير المستمر.

وفي النهاية، نتوجه بالشكر الجزيل إلى كل [أساتذة ودكاترة قسم التكنولوجيا](#) "هندسة الطرائق" على العلم النافع والإرشاد القيم الذي قدموه لنا. ولن ننسى تقديرنا لفريق المجمع الصناعي للاسمنت حجار-السود SCHS، ونثمن جهود كل من [السيد قرين أحمد](#) و[السيد لعواشريه غريب](#) و[السيد فيصل](#) على التعاون الفعال والدعم الدائم.



## اهداء

إلى من كلك العرق جبينه، ومن علمني أن النجاح لا يأتي إلى  
بالصبر والإصرار، إلى النور الذي أنار دربي وإلى السراج الذي لا ينطفئ  
نوره بقلبي أبدا. من بذل الغالي والنفيس، واستمدت منه قوتي و  
اعتزاي بذاتي

والدي العزيز

إلى من جعل الجنة تحت أقدامها وسهلت لي الشدائد بدعائها، إلى  
الانسانة العظيمة التي لطالما تمنيت أن تقر عينها برؤيتي في يوم كهذا

أمي العزيزة

إلى كل من كان عوننا وسندا في هذا الطريق، للأصدقاء الأوفياء ورفقاء  
السنين لأصحاب الشدائد والأزمات إلى كل من أفاضني بمشاعره و  
نصائحه المخلصة

إليكم عائلي

أهديكم هذا الانجاز وثمره نجاحي الذي لطالما تمنيت

ها انا اليوم أكملت و اتممت أول ثمرته بفضل سبحانه وتعالى فالحمد لله  
على ما وهبني وأن يجعلني مباركة وأن يعينني أينما كنت  
فالحمد لله شكرا وحبا و امتنانا على البدء والختام.



لعور آية

## الإهداء

بعد بسم الله الرحمن الرحيم و الصلاة والسلام على أشرف المرسلين ، وبعد تحية الإسلام أهدي عملي هذا وثمرة جهدي ونجاحي بفضل الله وكرمه.

الى سندي وصديقي وأخي وحببي الأول والدائم والدي "محمد" دعامة قلبي ومشجعي.

الى حبيبة قلبي صاحبة القلب الجنون والفضل العظيم لما أنا عليه من علمتي الخطوة الأولى و الحرف الأول و الكلمة الأولى ، و الأول من كل شيء ، من صقلت عقلي وقلبي ، المنارة التي أستنجد بها أُمي

"منيرة"

الى العضد و الساعد ، ومن رؤيتهم تزيل تعبي وهمومي حبيبنا قلبي ورفيقتنا دربي ومؤنستا روجي أختاي

"حنين وأماني"

الى عوضي من الله و رفيق الدرب و من تواعدنا أن نكمل المسير معا مودة ورحمة وأن نتشارك الفرح و الحزن خطيبي "صلاح الدين".

الى من يقولون أنني حفيدتها الأولى إلا أنني لم أعتبر نفسي يوما حفيدتها فقد كنت لها البنت التي لم تنجها وكانت لي أما ثانية كل الحب و التقدير لها جدي

"الزهرة"

الى عائلتي الكبيرة أخاف ألا تسعفني هذه الورقة على ذكركم فردا فردا ، الى أخوالي من أثبتوا حقا أن الخال أب كل كلمات الحب والشكر لن توفيكم حقكم "عبد الغني ، بلال وسفيان ، محمد ونذير" ، الى زوجات أخوالي وأبنائهم "وردة ، حاتم ، تسنيم ، سجاد ، لؤي عبد العزيز ، جميلة ، شيماء ، سليمان ، قدر"

الى من تعلمت معهم معنى كلمة أخ من اعتبروني أختا لهم لم يجعلوني يوما أحس أنهم أعمامي

"بوبكر ومنصف"

الى زوجات عمامي من وضعوني قدوة لأبنائهم وساندوني وشجعوني طول حياتي و كانوا في مكانة الخالة التي لا أملكها ، الى أبناء العمومة " سندس ، اياد تقي الدين ، أحمد عبد الباسط ، أنس ، معاذ ، سجي نور الهدى ، جوري سيرين ، ومودة"

الى أعمامي وعماتي رغم البعد ، أنتم في القلب "يونس ، طارق ، إكرام ، أيمن وإيمان"

الى صديقتي و رفيقتي شريكنا أفراحي وأحزاني وصندوقا أسراري "ابتهال ، وميساء"

والى عائلتيهما على حبهم وكرمهم فردا فردا.

الى من جمعني بهم مقاعد الدراسة وأسوار المدرسة العليا للأستاذة ، "عزابة جمعتنا" ، حزني على فراقكم يضاهي فرحة التخرج ، طيلة الخمس سنوات رأيت فيكم من الأدب و الحسن ما يثلج القلب ، عسى أن نفترق حبا وودا على أمل اللقاء " آية شريكتي في مشروع التخرج ، وآية الطيوبة ، وندوش الهادنة"

الى كل الأحياء من القريب والبعيد ، الى أصدقاء الطفولة ، الى من جمعني بهم مقاعد الدراسة في كل الأطوار .

الى من تمنيت حضورهم ومشاركتهم فرحتي لكن قدر الله فوق كل شيء جدائي "عبد الوهاب و عبد العزيز" رحمهما الله وأسكنهما الفردوس الأعلى

الى أطيّب خلق الله وأطهرهم وأحبهم من شاركتني آخر أيامها ، التي منذ صغري و هي تلقيني بالمعلمة ، ها أنا ذا سأصبح معلمة لكن ينقصني رؤيتك لي وأنا أعانق حلمك رحمك الله وأسكنك فسيح جنانه يا غاليتي "جدي مسعودة".



بوجناح أشواق

في هذا العمل قمنا بدراسة شاملة حول صناعة الاسمنت وتأثيرها على التنمية الاقتصادية، مع التركيز على مصنع اسمنت حجار السود في الجزائر. تناولت الدراسة جزءا نظريا حيث قمنا بتعريف صناعة الاسمنت، مراحل إنتاجه، مكوناته وأصنافه. بالإضافة الى ذلك، أجرينا تريبا ميدانيا في مصنع اسمنت حجار السود، حيث تفحصنا مرافق المصنع ووحداته، وتتبعنا عملية انتاج الاسمنت في جميع مراحلها بدءا من وصول المواد الخام من محاجر التعبئة والتخزين.

شملت الدراسة أيضا اجراء تحاليل كيميائية، فيزيائية وميكانيكية للتأكد من جودة الاسمنت المنتج، ومقارنته بالمعايير الدولية والمواصفات القياسية. خلال الزيارة الميدانية، تابعنا جميع مراحل تصنيع الاسمنت بدءا من استخراج المواد الأولية وصولا الى انتاج الاسمنت النهائي. وقد أجرينا تحليلا دقيقا لخصائص الاسمنت البورتلاندي المنتج في المصنع باستخدام أجهزة متخصصة، مع التركيز على التركيبة المعدنية والكيميائية والخصائص الميكانيكية.

#### الكلمات المفتاحية:

اسمنت، مصنع الاسمنت حجار السود، كلنكر، خصائص الاسمنت، المواصفات القياسية، مراقبة الجودة.

In this work, we conducted a comprehensive study on the cement industry and its impact on economic development, focusing on the Hadjar Soud Cement Plant in Algeria. The study includes a theoretical part where we defined the cement industry, its production stages, components, and types. Additionally, we conducted a practical internship at the Hadjar Soud Cement Plant, where we examined the plant's facilities and units, following the cement production process at all stages from the arrival of raw materials from the quarries to packaging and storage. The study also includes chemical, physical, and mechanical analyses to ensure the quality and conformity of the produced cement to international standards and specifications. During the field visit, we monitored all stages of cement manufacturing, from the extraction of raw materials to the production of the final cement. We conducted a precise analysis of the characteristics of the Portland cement produced at the plant using specialized equipment, focusing on the mineral and chemical composition and mechanical properties.

### **Keywords:**

cement, Hadjar Soud cement factory, clinker, cement properties, standard specifications, quality control.

---

Dans ce travail, nous avons mené une étude approfondie sur l'industrie du ciment et son impact sur le développement économique, en nous concentrant sur l'usine de ciment de Hadjar Soud en Algérie. L'étude comporte une partie théorique où nous avons défini l'industrie du ciment, ses étapes de production, ses composants et ses types. De plus, nous avons effectué un stage pratique à l'usine de ciment de Hadjar Soud, où nous avons examiné les installations et les unités de l'usine, en suivant le processus de production du ciment à toutes ses étapes, depuis l'arrivée des matières premières des carrières jusqu'à l'emballage et le stockage. L'étude comprend également des analyses chimiques, physiques et mécaniques pour garantir la qualité et la conformité du ciment produit aux normes internationales et aux spécifications standards. Lors de la visite sur le terrain, nous avons suivi toutes les étapes de fabrication du ciment, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la production du ciment final. Nous avons effectué une analyse précise des caractéristiques du ciment Portland produit dans l'usine à l'aide d'appareils spécialisés, en nous concentrant sur la composition minérale et chimique ainsi que sur les propriétés mécaniques.

### **Mots-clés :**

ciment, usine de ciment Hadjar Soud, clinker, propriétés du ciment, normes standard, contrôle qualité.

---

## الفصل الأول: عموميات حول الاسمنت

الصفحة	العنوان	رقم الشكل
4	مسحوق الاسمنت	01
5	طريق أبيان	02
5	مدرج كولوسيوم	03
5	جوزيف أسبيدن	04
6	المقالع الطبيعية للمواد الأولية	05
6	وسائل النقل (أحزمة ناقلة شاحنات)	06
7	سكة التغذية	07
7	أكوام الطين	08
7	كسارة	09
8	ورشة الطحن بالطريقة الجافة	10
8	مطحنة أفقية	11
9	أجهزة ومعدات ورشة الطحن	12
10	برج التسخين الابتدائي	13
11	الفرن الدوار	14
11	صورة للكلنكر	15
12	مبرد الكلنكر	16
12	أجهزة ومعدات ورشة الطهي	17
13	صوامع (مخازن) الكلنكر	18
13	طاحونة الاسمنت	19
14	صوامع الاسمنت	20
14	توضيح مراحل تسليم الاسمنت	21
15	بعض العينات التي تخضع للفحوصات في المختبر	22
16	غرفة التحكم	23
16	مراحل تصنيع الاسمنت	24
17	صخور الطباشير	52
17	صخر المارل	26
18	بعض أنواع الصخور الطينية	27
18	الجبس	28

## الفصل الثاني: منطقة الدراسة: مصنع حجار السود للاسمنت

رقم الشكل	العنوان	الصفحة
01	معلومات عامة عن مجمع جيكا	25
02	توزيع المصانع المنتجة للاسمنت في الجزائر	26
04	أنواع اسمنت جيكا	26
05	بطاقة تقنية لمصنع الاسمنت	28
06	الموقع الجغرافي لشركة الاسمنت حجار السود (Google Maps)	29
07	محجرة الحجر الجيري لمصنع حجار السود "جبل الصافية"	29
08	محجرة الواد الكبير	30
09	منجم الونزة ولاية تبسة	30
10	خطي الانتاج	32
11	الهيكل التنظيمي لمؤسسة الاسمنت حجار السود	34
12	تسمية اسمنت حجار السود	35

## الفصل الثالث: الاختبارات الفيزيوكيميائية والميكانيكية على الاسمنت البورتلاندي

رقم الشكل	العنوان	الصفحة
01	جهاز مطيافية الأشعة السينية فليوريسونس FRX من العلامة BRUKER النوع S8LION	38
02	مراحل تحضير القوالب	40
03	مراحل معايرة الجير الحر	43
04	جدول عوامل الجير الحر	43
05	جهاز حيود الأشعة السينية XRD من العلامة BRUKER النوع D2PHASER	45
06	جهاز أليين مع ميزان و منخل 45µm	46
07	جهاز بليين (المستعمل قديما)	48
08	جهاز قياس النعومة بديل جهاز بليين القديم (المستعمل حديثا)	49
09	الأدوات اللازمة من أجل قياس الكتلة الحجمية الظاهرية	51
10	الأدوات اللازمة من أجل قياس الكتلة الحجمية المطلقة	52
11	جهاز VICAT والعجينة القياسية	53
12	جهاز قياس زمن النضج الآلي متعدد المواضع	54
13	رمل قياسي CEN	56
14	الخلاط	56
15	القالب	57
16	جهاز الصدمات	57
17	خطوات تحضير عجينة الاختبار	58
18	جهاز اختبار مقاومة الضغط	59



## الفصل الأول: عموميات حول الاسمنت

رقم الجدول	العنوان	الصفحة
01	نسبة الأكاسيد الموجودة في الاسمنت	19
02	المكونات الرئيسية لكلنكر الاسمنت	20
03	أصناف الاسمنت البورتلاندي حسب ASTM	21

## الفصل الثاني: وصف منطقة الدراسة: مصنع حجار السود للاسمنت

رقم الجدول	العنوان	الصفحة
01	نسب المواد الخام في اسمنت مصنع حجار السود	31
02	المؤشرات الإقتصادية لمؤسسة اسمنت حجار السود سكيكدة (SCHS) خلال الفترة 2013_2017	32

## الفصل الثالث: الاختبارات الفيزيوكيميائية والميكانيكية على الاسمنت البورتلاندي

رقم الجدول	العنوان	الصفحة
01	التركيب الكيميائي للاسمنت (CPI)	40
02	نسب معاملات التصحيح حسب المعايير الدولية	41
03	النسب المنوية للجبر الحر في عينة من الاسمنت وعينة أخرى من الكلنكر	44
04	التركيب المعدني للاسمنت	45
05	كثافة الزئبق ولزوجة الهواء بدلالة درجة حرارة غرفة الاختبار	48
06	نتائج قياس النعومة بواسطة المنخل وقياس السطح المحدد بليين	49
07	نتائج الكتلة الحجمية الظاهرية لعينة من الاسمنت	51
08	نتائج الكتلة الحجمية المطلقة	52
09	الكتلة الحجمية	52
10	نتائج قياس زمن النضج والقوام القياسي لعينة من الاسمنت	55
11	المقاومة الميكانيكية للضغط والانحناء	59

- **AF** : Module aluminoferrique.
  - **AFNOR** : Association française de normalisation.
  - **ASTM** : American Standards of Technical Material.
  - **C<sub>2</sub>S**: Silicate bicalcique (Bélite).
  - **C<sub>3</sub>A**: Aluminate tricalcique (Célite).
  - **C<sub>3</sub>S**: Silicate tricalcique (Alite).
  - **C<sub>4</sub>AF**:aluminoferrite de calcium (Félite).
  - **CEM II/A-L 42.5 N**: Ciment portland /ajout –calcaire résistance 42.5 Mpa.
  - **CPJ**: Ciment portland composé.
  - **C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>**: Gypse.
  - **ERCE** : Entreprise de Realisation des grands chantiers de l'est.
  - **FRX**: fluorescence des rayons X.
  - **GICA** : groupe industrielle des ciments Algérie.
  - **ISO** : International Standard Organisation.
  - **LSF** : Lime Saturation Factor (taux de saturation en chaux).
  - **MS** : Module silicique.
  - **NA** : Norme algérienne.
  - **SCHS** : société des ciments d hadjar–soud.
  - **SNMC** : Societe National des materiaux de construction>
  - **SSB** : Surface specifique Blaine.
  - **XRD**: diffraction des rayons X.
-



الفهرس

الصفحة	العنوان
	الملخص
	قائمة الأشكال
	قائمة الجداول
	قائمة الاختصارات
1	الفهرس
1	مقدمة
	الفصل الأول: عموميات حول الاسمنت
4	1. صناعة الاسمنت
4	2. لمحة تاريخية عن الاسمنت
6	3. المكونات الأساسية لمصانع الاسمنت
6	1.3. قسم المحاجر
6	2.3. قسم الكسارات
7	3.3. قسم الطواحين
9	4.3. قسم الأفران
9	1.4.3. المسخن البدئي
10	2.4.3. الفرن الدوار
11	3.4.3. الكلنكر الاسمنتي
12	4.4.3. مبرد الكلنكر
13	5.3. قسم طواحين الاسمنت
14	6.3. التخزين والتعبئة والشحن
15	7.3. مختبر التحكم
15	8.3. غرفة التحكم
16	9.3. قسم الميكانيك
16	10.3. أقسام أخرى
17	4. المواد الأولية
17	1.4. المكون الكلسي
17	2.4. المكون الطيني
18	3.4. المواد المصححة
18	5. التركيب الكيميائي للمواد الخام
21	6. أنواع الاسمنت
21	1.6. الاسمنت الهيدرولي
21	2.6. الاسمنت البورتلاندي
22	1.2.6. الصنف I
22	2.2.6. الصنف II
22	3.2.6. الصنف III

22	4.2.6. الصنف IV
22	5.2.6. الصنف V
23	3.6. اسمنت الخبث المعدني
23	4.6. الاسمنت الألوميني
23	5.6. الاسمنت البوزولاني
23	7. خاتمة

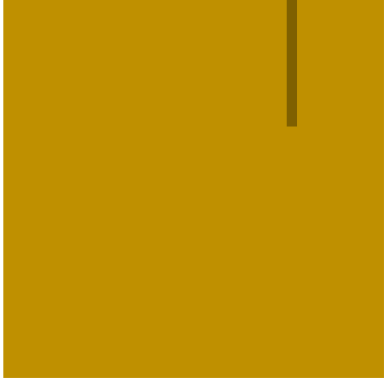
#### الفصل الثاني: وصف منطقة الدراسة: مصنع حجار السود للاسمنت

25	1. المجمع الصناعي لاسمنت الجزائر (GICA)
27	2. التعريف بمؤسسة اسمنت حجار السود (سكيدة) SCHS
28	3. الموقع الجغرافي لمؤسسة الإسمنت حجر السود
31	4. لمحة تاريخية على نشأة وتطور مؤسسة الإسمنت حجار السود
32	5. المؤشرات الاقتصادية لمؤسسة اسمنت حجار السود (سكيدة) SCHS
32	6. الهيكل التنظيمي للوحدة
35	7. أهداف المؤسسة
35	8. نوع الاسمنت المتوفر في المصنع
36	9. خاتمة

#### الفصل الثالث: الخصائص الفيزيو-كيميائية والميكانيكية لاسمنت حجار السود

38	1. الاختبارات الكيميائية
38	1.1. الأشعة السينية فليوريسونس (FXR)
42	2.1. محتوى الجير الحر المتبقي
45	2. اختبارات التركيب المعدني
45	1.2. حيود الأشعة السينية (XRD)
46	3. الاختبارات الفيزيائية
46	1.3. اختبار النعومة
47	1.1.3. طريقة الغريلة
47	2.1.3. طريقة بلين
50	2.3. الكتلة الحجمية
50	1.2.3. الكتلة الحجمية الظاهرية
52	2.2.3. الكتلة الحجمية المطلقة
53	4. اختبارات الرطوبة
53	1.4. تحديد القوام القياسي لعجينة الاسمنت
54	2.4. تحديد زمن النضج (الابتدائي، النهائي)
55	5. الاختبارات الميكانيكية
55	1.5. اختبار مقاومة الضغط والانحناء
60	6. خاتمة
62	خاتمة عامة





المقدمة العامة

صناعة الاسمنت من الصناعات القديمة الإستراتيجية، حيث ترتبط ارتباطا وثيقا بالاقتصاد والإنشاء والعمران. وتعتبر مقارنة بالصناعات الكبرى صناعة بسيطة وتعتمد على توفر المواد الخام خاصة بهذه الصناعة. حيث أنها لا تقل أهمية عن غيرها في بناء ورفع اقتصاد البلدان وتحسين دخل الفرد وانتعاش الاقتصاد. وهي صناعة ضرورية إلى حد كبير، حيث أثبتت الدراسات أن صناعة الاسمنت تغطي احتياجات كثيرة في البناء العمراني. كما أن هذه الدراسة أشارت أن المادة الثالثة التي يستهلكها الإنسان بعد الماء والهواء هي الاسمنت.

الجزائر هي واحدة من أكبر منتجي ومستهلكي الاسمنت، حيث تعود صناعته إلى فترة الاستعمار الفرنسي، حيث تم بناء أول مصنع للاسمنت في عنابة عام 1920. بعد الاستقلال، شهدت هذه الصناعة نموا تصاعديا لتلبية الطلب المتزايد على الاسمنت لدعم برامج الإسكان والبنية التحتية في البلاد. تمتلك الجزائر اليوم 14 مصنعا للاسمنت موزعة على مختلف جهات البلاد التابعة للمجمع الصناعي للاسمنت " جيكا" GICA.

تعتمد صناعة الاسمنت على مواد أولية متباينة المحتوى الكيميائي، وتتأثر نوعية وخواص الاسمنت المنتج باختلاف المكونات المعدنية والكيميائية للمواد الأولية ودرجة تجانسها. لذا، يجب دراسة خواصها قبل اعتمادها في صناعة الاسمنت لضمان الحصول على نوعية جيدة وبأقل استهلاك للطاقة. يصنع الاسمنت البورتلاندي من مواد كلسية طبيعية، مثل الصخور الجيرية، التي تشكل حوالي 80% - 75% من مزيج المواد الخام المستخدم في صناعة الاسمنت، وكذلك مواد طينية طبيعية، مثل الصخور الطينية، أو مواد مانعة مثل خبث الأفران، وتشكل حوالي 25% - 20% من مواد المزيج الخام. إضافة إلى استخدام خام أكاسيد الحديد في حالة تصنيع اسمنت مقاوم للكبريتات، أما صخور الجبس فتضاف أثناء طحن الكلنكر المنتج. وتم إنشاء مصانع الاسمنت حيث تتوفر هذه المواد، وتحديد صلاحيتها من حيث نقاوتها وتجانسها ومطابقتها للمتطلبات الفيزيائية والكيميائية.

يتم إنتاج الاسمنت البورتلاندي من خلال تهيئة المزيج الخام بمزج النسب الملائمة للمواد الخام (الصخور الجيرية والطينية) وفق المواصفات القياسية. تحرق هذه المواد في فرن دوار كبير تصل درجة حرارته إلى 1450 °C ، حيث تتفكك المكونات المعدنية وتصهر لتتفاعل مع بعضها البعض مكونة الكلنكر. يتم تبريد الكلنكر وطحنه مع إضافة 3% - 5% من صخور الجبس ليشكل الاسمنت البورتلاندي وفق المعايير العالمية.

يخضع الاسمنت البورتلاندي المنتج لفحوصات السيطرة النوعية لتحديد التركيب الكيميائي والخواص الفيزيائية والميكانيكية، وضمان أدائه الإنشائي في مختلف الاستخدامات. يتم مقارنة نتائج الفحوصات بالحدود المسموح بها حسب المواصفات القياسية.

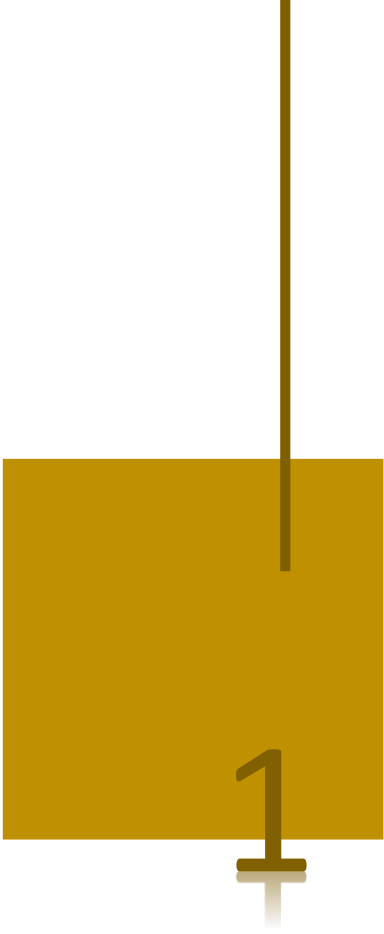
هدفت مذكرة التخرج بعنوان " دراسة تطبيقية لخصائص الاسمنت البورتلاندي لمصنع حجار السود " إلى تقديم تحليل شامل لمراقبة جودة الاسمنت المنتج من خلال دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية للمنتج. تناولت الدراسة أهمية مراقبة الجودة في صناعة الاسمنت وتقديم توصيات لتحسين عمليات الإنتاج وضمان جودة المنتج النهائي.

تم تقسيم الدراسة إلى ثلاثة فصول:

الفصل الأول: استعراض صناعة الاسمنت بصفة عامة، متطرقين إلى نشأته وتطوره، وطرق صناعته، والمواد الأولية المستخدمة في إنتاجه، وأنواعه المختلفة والفروقات بينها.

الفصل الثاني: تعريف ببعض شركات الاسمنت في الجزائر، ومنها مصنع اسمنت حجار السود (SCHS)، حيث تمت زيارة ميدانية لهذا المصنع للاطلاع على جميع مراحل صناعة الإسمنت بدءاً من محاجر استخراج المواد الأولية مروراً بورشات الطحن والطبي وصولاً إلى ورشة إنتاج الاسمنت وغرفة التحكم.

الفصل الثالث: التركيز على تحديد خصائص الاسمنت البورتلاندي المنتج في مصنع اسمنت حجار السود الذي يعمل بنظام الإنتاج الجاف. تضمنت الدراسة مراقبة دورية للمواد الأولية الخام وتحليل النماذج باستخدام أجهزة حيود الأشعة السينية (XRD) والأشعة السينية فليوريسونس (XRF) والطرائق الكيميائية الوزنية التسحيحية. تم حساب معايير السيطرة النوعية مثل عامل الإشباع الكلسي، معامل السيليك، والألومينا. بالإضافة إلى إجراء اختبارات النعومة، الكتلة الحجمية، زمن النضج، القوام القياسي، الجير الحر، واختبارات ميكانيكية تشمل مقاومة الضغط والانحناء لضمان جودة المنتج النهائي.



# الفصل الأول

عموميات حول الاسمنت

## 1. صناعة الاسمنت :

صناعة الاسمنت تعد من الصناعات الإستراتيجية الحيوية التي تعكس مدى تطور البنية العمرانية والحضارية في الدول، إذ يعتبر الطلب المتزايد على هذه المادة مؤشرا واضحا على نمو النشاط العمراني. كانت كلمة اسمنت تطلق على مركبات تجارية مختلفة تربطها خاصية مشتركة هي كونها تعمل كوسيط رابط. [1] وبحسب تعريفات المواصفات البريطانية، يصنف الاسمنت كمادة رابطة غير عضوية ناعمة، والتي عند مزجها بالماء، تشكل عجينة تتصلب وتتجمد نتيجة لتفاعلات وعمليات الترطيب. وبعد التصلب، تحافظ على مقاومتها واستقرارها حتى في الماء. [2]



الشكل 1. مسحوق الاسمنت

## 2. لمحة تاريخية عن الاسمنت: [3]

الاسمنت في الأصل كلمة معربة عن اللاتينية (caementum)، ويقصد بها مسحوق الحجارة والرخام الذي كان يستخدم رابطا لأحجار البناء زمن الرومان، ويطلق عليه أيضا اللجام، الإسفلت والاسمنت المائي. يحتوي الكيلوغرام الواحد منه 300 مليار حبة.

أنتجت الطبيعة أول المواد الإسمنتية قبل 12 مليون سنة نتيجة لتغيرات جيولوجية مرت بها الأرض واحتراق الحجر الجيري مع الصخور الزيتية (النفطية).

في عام 6500 قبل الميلاد، كانت هناك استخدامات للاسمنت الطبيعية لبناء الهياكل في مناطق جنوب سوريا وشمال الأردن. وفي عام 2600 قبل الميلاد استخدم قدماء المصريين مادة تشبه الاسمنت تحتوي على الجير، استخدمت في لصق الحجارة ببعضها لبناء الهرم الأكبر، حيث بلغت الكمية المستعملة حوالي 500000 طن من هذه المادة.

ما بين الفترة 300 قبل الميلاد والقرن 1 ميلادي، طور الرومان مادة إسمنتية أكثر قوة ومقاومة للمياه الجوفية بإضافة الصخور البركانية إلى الجير، وهذه الصخور وجدت بالقرب من بلدة بوزولي في إيطاليا لذلك سمي بالاسمنت البوزولاني، ومن أشهر المعالم التي استخدمت هذه المادة هي طريق أبيان والمدرج الروماني كولوسيوم. الاسمنت لم يعرف كما هو موجود الآن حتى القرن 19.



الشكل 3. مدرج كولوسيوم



الشكل 2. طريق أبيان

في عام 1824 ميلادي، قام عامل البناء البريطاني جوزيف أسبيدن بتسخين الطين المطحون والحجر الجيري حتى تكلس الحجر الجيري ثم طحن الخليط مرة أخرى فلاحظ أن الخليط يتماسك عند إضافة الماء. أطلق عليه أسبيدن اسم "اسمنت بورتلاند" نظرا لتشابهه مع الصخور المستخرجة من المحاجر في جزيرة بورتلاند على الساحل البريطاني.



الشكل 4. جوزيف أسبيدن

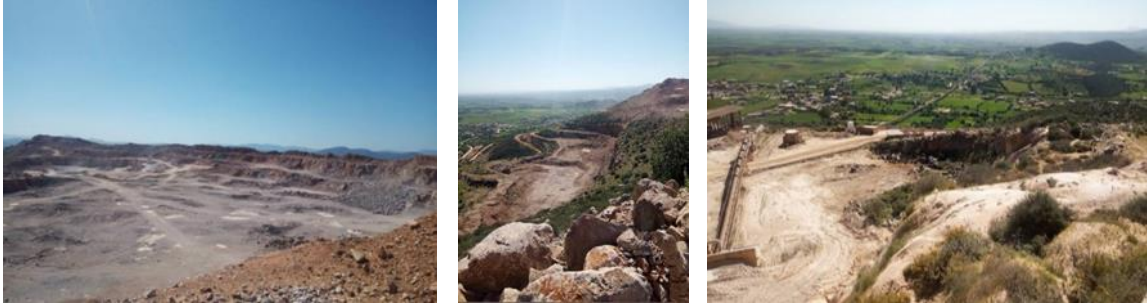
في عام 1845 ميلادي، اكتشف المهندس البريطاني إسحاق جونسون طريقة حديثة لإنتاج الاسمنت عبر حرق خليط من الطين والجير بدرجات حرارة تصل إلى 1500 °C لتتكون مادة تسمى "الكلنكر"، بعد سحقها تصبح مسحوقا ناعما يضاف إليه قليل من الجبس، ثم يطحن بشكل نهائي فنحصل على الاسمنت.

في نفس السنة، بني أول مصنع للاسمنت من طرف DUPONT et DEMARLE في منطقة BOULONE SUR-MER بفرنسا، لاحقا تطورت الأفران الخاصة بصناعة الاسمنت، وسجلت أول براءة اختراع للفرن الدوار في عام 1877 للمهندس البريطاني توماس راسل كرامبتون.

### 3. المكونات الأساسية لمصانع الاسمنت :

#### 1.3 . قسم المحاجر :

يتولى هذا الجزء من المصنع تأمين المواد الخام الأساسية لصناعة الاسمنت. ويعمل بشكل وثيق مع قسم المختبر لضمان جودة المواد وتوافقها مع المعايير العالمية المطلوبة لإنتاج الاسمنت.



الشكل 5 . المقالع الطبيعية للمواد الأولية.

بجانب ذلك، يتولى القسم مسؤولية الإشراف على محاجر الحجر الجيري، حيث يتكفل بتفجير ونقل المواد الخام إلى الكسارات، ومن ثم تخزينها في ساحات كبيرة مجهزة بأحدث التقنيات و المعدات. تعمل هذه المعدات بشكل مستمر على مدار الساعة لضمان استمرارية الانتاج دون انقطاع. [4]



الشكل 6. وسائل النقل ( أحزمة ناقلية، شاحنات ).

#### 2.3 . قسم الكسارات :

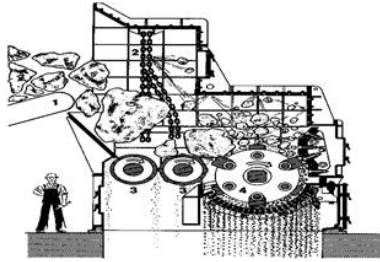
بعد نقل الصخور من المحاجر إلى موقع الإنتاج عبر سكة التغذية، تخضع هذه الصخور لعملية التكسير في الكسارة مع الحرص على أن يكون متوسط قطر الصخور لا يزيد عن 1 m. يتم تكسيرها أولاً إلى أحجام أصغر تخزن كأكوام ، مما يمكن من نقلها بعد ذلك إلى مطاحن المواد الأولية . خلال عملية التكسير، يراعى عدم تلوث المواد المكسرة بأي مادة قد تؤثر على لون الاسمنت. [5]



الشكل 8. أكوام الطين



الشكل 7. سكة التغذية



الشكل 9. كسارة

### 3.3. قسم الطواحين :

يتم طحن المواد الخام لاختلاف أنواعها بشكل منفصل بناء على قابليتها المختلفة للطحن، ويتم ذلك باستخدام أسطوانة كبيرة تحتوي على غرفتين أو ثلاث غرف مزودة بأجسام معدنية طاحنة كروية متغيرة الأقطار. أثناء دوران الأسطوانة، تقوم الكرات المعدنية بضرب وسحق الصخور، مما يؤدي إلى تفتيتها و تحويلها إلى أحجام أصغر يتراوح قطرها حوالي  $80 \mu\text{m}$ . [6] وذلك بإتباع أربع طرق للإنتاج : الطريقة الرطبة، الطريقة الجافة، وعمليتان وسيطتان تسمى الطريقة شبه الرطبة والطريقة شبه الجافة. [7]

◀ الطريقة الجافة: تتضمن هذه الطريقة مرحلة تجفيف المواد الخام المطحونة وتسخينها في مسخن مسبق، ثم إدخالها في فرن للحرق. تعتبر هذه الطريقة الأكثر انتشارا واستخداما حاليا، حيث توفر كفاءة عالية في استهلاك الطاقة.

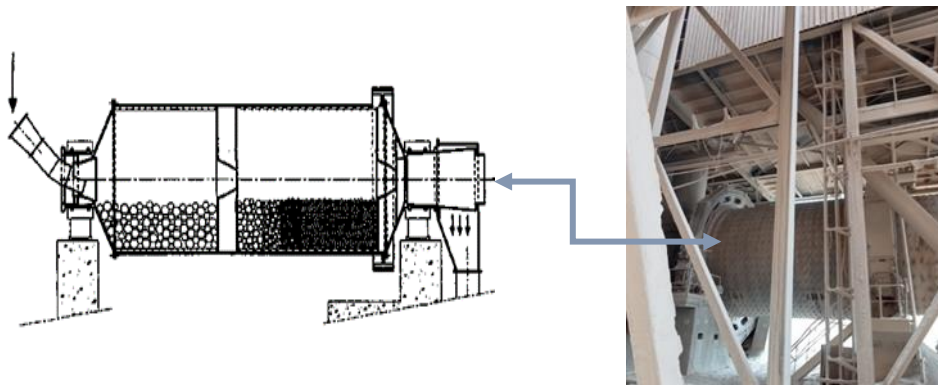
◀ الطريقة شبه الجافة: تتميز هذه الطريقة بتشكيل المواد الخام المطحونة إلى كريات بواسطة إضافة كمية محددة من الماء، ثم تجفيفها وتسخينها مسبقا قبل إدخالها في الفرن.

◀ الطريقة شبه الرطبة: تتمثل هذه الطريقة في تجفيف المواد الخام بعد تشكيلها إلى حبيبات، ثم تسخينها مسبقا قبل دخولها في الفرن. يتم إزالة الماء الزائد من المادة الخام في هذه العملية.

◀ الطريقة الرطبة: تشمل هذه الطريقة تحويل المواد الخام إلى عجينة سائلة بإضافة الماء، ثم يتم طحنها و خلطها قبل دخولها في فرن أطول. هذه الطريقة تستهلك الكثير من الطاقة بسبب تبخير الماء الزائد، ولذلك قد تم تقليل استخدامها في السنوات الأخيرة بسبب ارتفاع تكاليف الطاقة. [8]

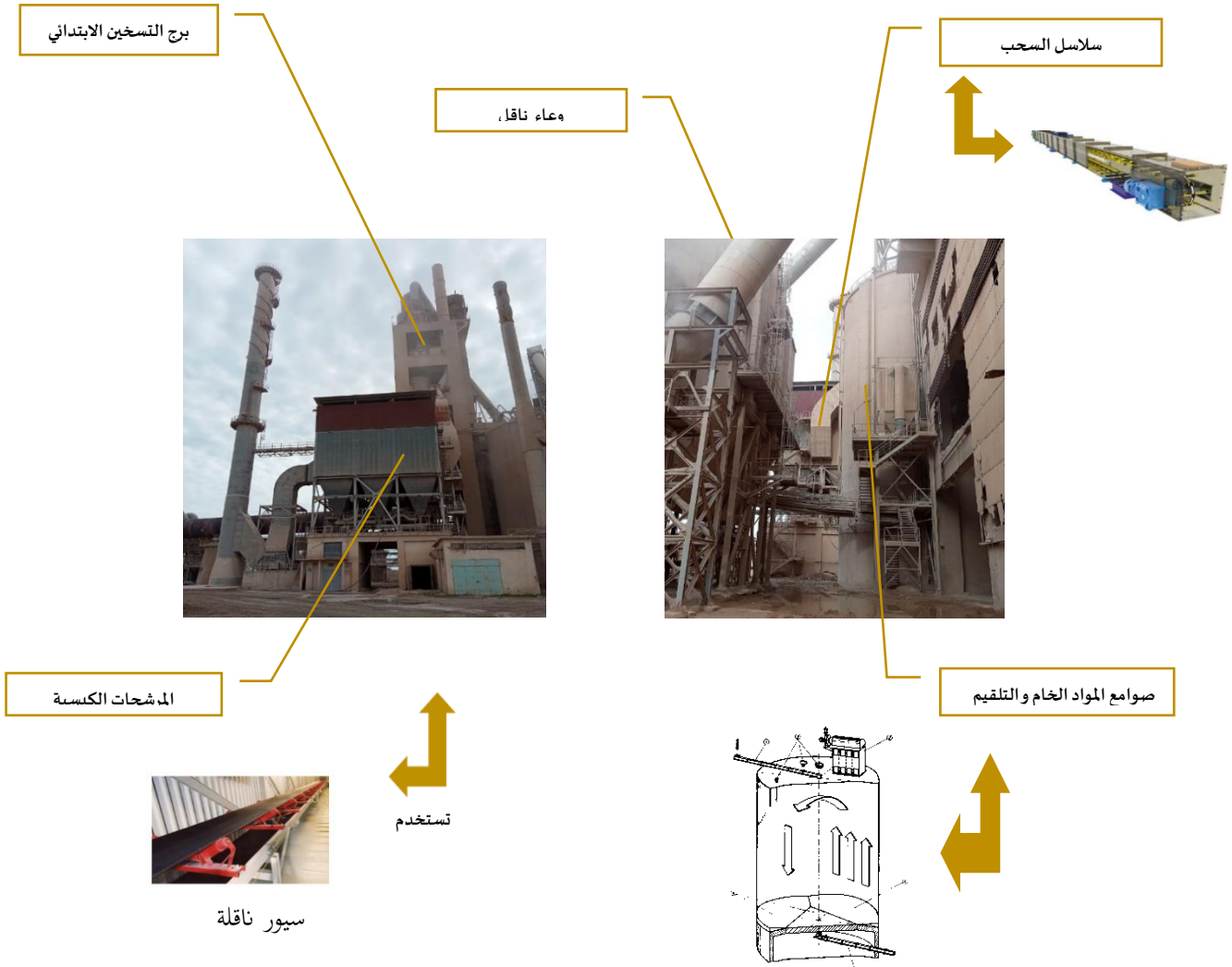


الشكل 10 . ورشة الطحن بالطريقة الجافة



الشكل 11 . مطحنة أفقية

يجب أن نشير هنا إلى أهمية تجفيف المواد الناتجة من الطاحونة، وهو ما يتحقق بإعادة توجيهها مرة أخرى باستخدام أوعية ناقلة. بعد ذلك، ينقل المسحوق بواسطة رافع سطلي ومراوح كبيرة في عملية تعرف بالسحب إلى صوامع المواد الخام، حيث تجري عملية المزج والتجانس. لضمان التجانس، تفحص عينات متعددة من هذه المواد وتقارن بالموصفات المطلوبة التي يحددها المصنع. وأخيرا، ينقل المسحوق عبر أنابيب بضغط الهواء إلى التسخين الابتدائي قبل دخوله الفرن الدوار. [9]

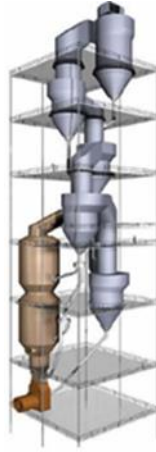


الشكل 12 . أجهزة ومعدات ورشة الطحن

### 4.3. قسم الأفران:

يدير هذا القسم عملية حرق المواد المطحونة و يتابع مراحل تحول هذه المواد إلى الخام الأساسي المعروف باسم "الكلنكر".

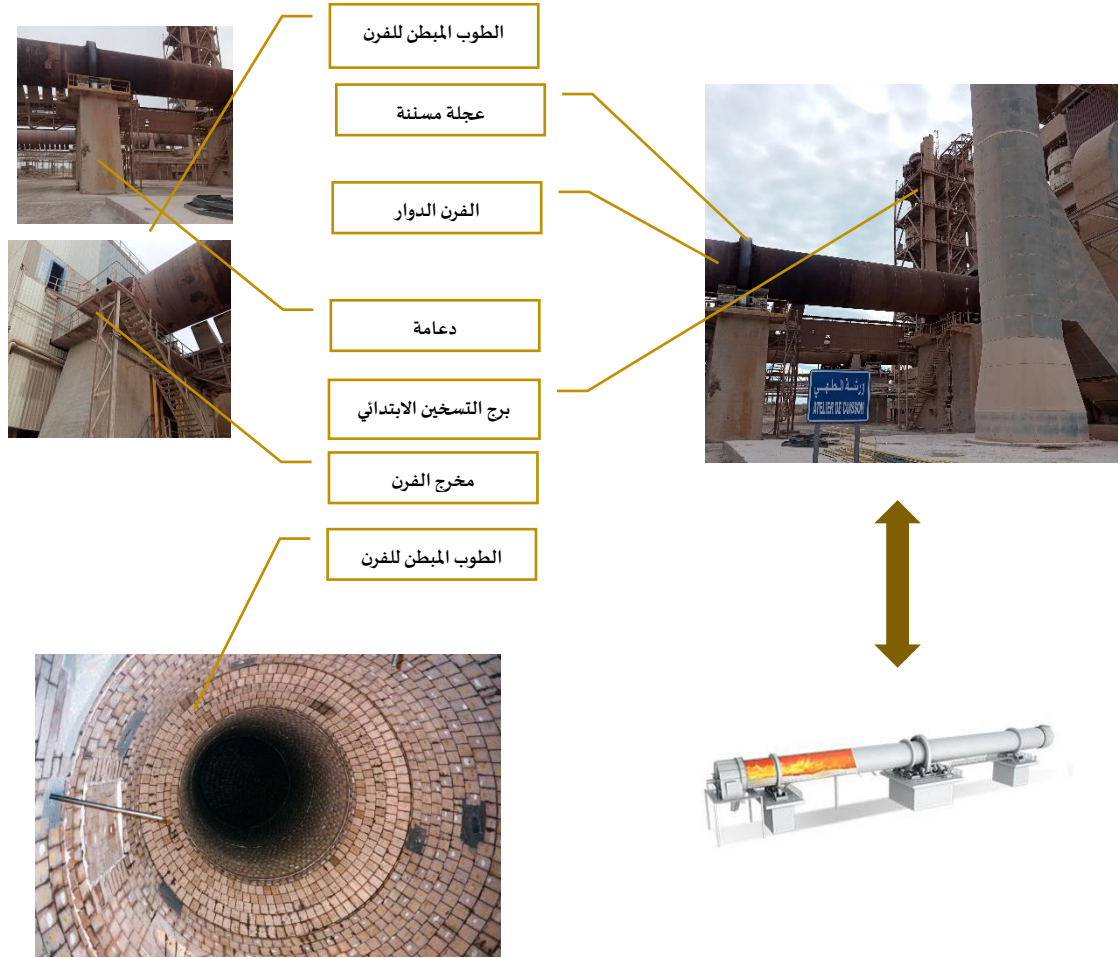
1.4.3. المسخن البدئي: هو أعلى مبنى في معمل الاسمنت، يتألف النظام من مجموعة من الفرازات (أوعية مخروطية) المرتبة بشكل عمودي ومتتابع داخل هيكل يعرف ببرج التسخين الابتدائي. يعمل هذا البرج كنظام لنقل الحرارة، حيث تمر المواد الخام عبر سلسلة من الفرازات العمودية في طريقها إلى الفرن. يهدف توفير الطاقة، تعتمد مصانع الاسمنت الحديثة على تسخين المواد الخام مسبقا قبل إدخالها إلى الفرن. ترتفع الغازات المنبعثة من الفرن الدوار إلى أكثر من 100 m، مما يؤدي إلى تسخين المواد الخام أثناء دورانها داخل الفرازات. [10]



الشكل 13 . برج التسخين الابتدائي

يتم في هذه العملية التخلص من الماء، ثم ماء التبلور، ثم ماء التكوين، ومن ثم عملية التفكيك. وذلك لتجنب حدوث الانفجارات العنيفة للجزيئات نتيجة لارتفاع درجات الحرارة.[11]

2.4.3. الفرن الدوار: الفرن الدوار هو هيكل أسطواني من الفولاذ يبلغ قطره حوالي 4 m، وأحيانا يمكن أن يصل إلى 5 m، ويتراوح طوله بين 70 m وأكثر أو أقل، ومحمي بالطوب الحراري، ومائل بزاوية تتراوح بين 1 و 4 درجات بالنسبة للأفق، يعتمد هذا الفرن على عدة محامل لدعمه، ويتمتع بعجلة مسننة تعمل على تحقيق الحركة الدورانية. وفي مؤخرة هذا الفرن موقد يعمل بالمازوت أو الغاز لتأمين الحرارة اللازمة لصهر المواد الخام ومركباتها (ترتفع درجة حرارة مدخل الفرن إلى 965 °C بينما تصل درجة حرارة مخرج الفرن الدوار إلى 1450 °C)، حيث تتحول المركبات إلى أكاسيد تتفاعل بنسب محددة، وفي النهاية يتشكل خام الاسمنت المعروف باسم الكلنكر. [12]



الشكل 14 . الفرن الدوار

3.4.3. الكلنكر الاسمنتي: يتحول الخليط بعد الحرق إلى منتج تفاعلي ونصف نهائي يسمى "الكلنكر". وهو المكون الرئيسي للاسمنت.[13] يكون الكلنكر على شكل كتل أو عقيدات صلبة رمادية داكنة، يبلغ قطرها عادة من 3 mm إلى .25 mm



الشكل 15 . كلنكر

4.4.3. مبرد الكلنكر: بعد عملية الصهر في الفرن وتدفق المواد المنصهرة، يتم نقل هذه المواد إلى المبرد حيث تخضع لتبريد مفاجئ يعيد درجة حرارة العقد المتوهجة إلى حوالي 100 °C. يتم تبريد الخليط المنصهر بسرعة عن طريق دفع الهواء الطبيعي من تحت صفائح متحركة ذهابا وإيابا بواسطة مراوح متعددة، مما يضمن الحصول على التركيب البلوري المثالي للخصائص المطلوبة. [14]

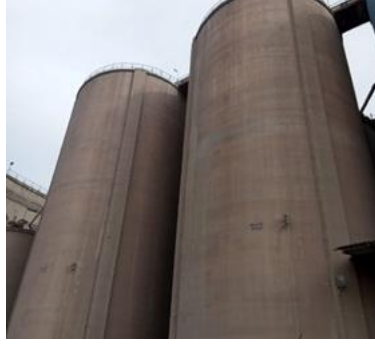


الشكل 16. مبرد الكلنكر



الشكل 17. أجهزة ومعدات ورشة الطهي

بعد تبريد الكلنكر، ينقل إلى الكسارة لتفتيت الكتل الكبيرة إلى أحجام صغيرة. بعدها، يرسل إلى صومعة المواد الخام الرئيسية "Main Silo" لتجميعه وتخزينه، مما يضمن تجانسه ويوفر تغذية مستمرة لمطحنة الاسمنت لعدة أيام دون انقطاع. بالإضافة إلى ذلك، تخصص صومعة صغيرة إضافية تعرف باسم "Unburnt Silo" لتخزين المواد غير المطابقة للمواصفات المطلوبة، سواء من حيث الحرق أو عوامل أخرى. [4]

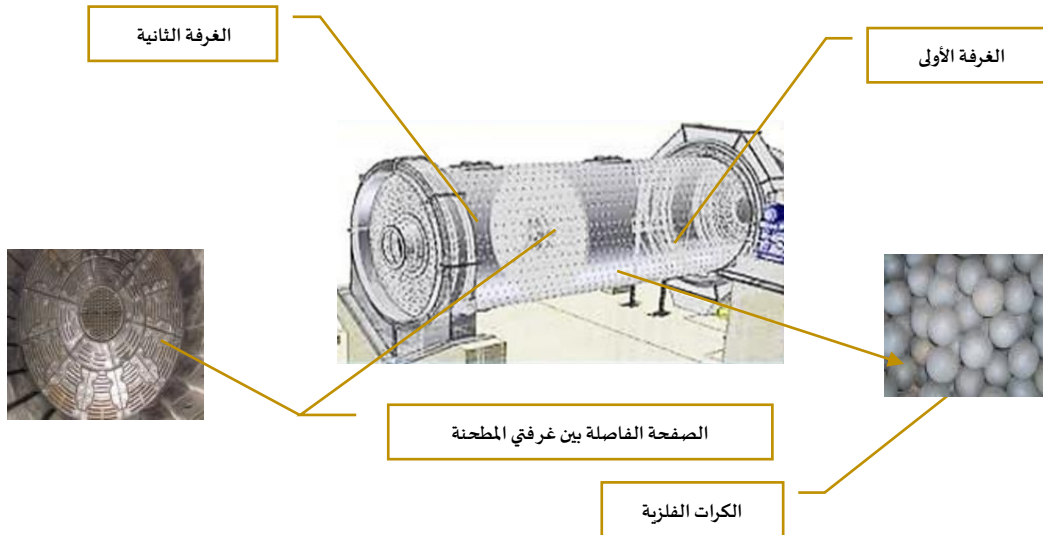


الشكل 18. صوامع (مخازن) الكلنكر

### 5.3. قسم طواحين الاسمنت:

المطحنة الأفقية للاسمنت تشبه مطحنة المواد الخام في التصميم، حيث تمتد هذه الطواحين أفقياً من على الأرض بطول يصل إلى 14,5 m و قطر يبلغ 4,5 m .

تتكون المطحنة من غرفتين أو ثلاثة، وتقسم كل غرفة إلى أقسام تؤدي وظائف مختلفة خلال عملية الطحن. يتم ملء الغرفتين بكرات فلزية مختلفة الأقطار مصنوعة من البلاتين والكاديوم، والتي تعمل على تكسير وطحن وتنعيم المواد بفعل دوران الطاحونة. [6]



الشكل 19 . طاحونة الاسمنت

يتم إضافة الجبس بنسبة تتراوح بين 2 إلى 5% إلى الكلنكر خلال عملية طحنه لتنظيم عملية التصلب، مما يهدف إلى تحسين خواص الأسمنت ومقاومته. كما يمكن إضافة مواد مثل البوزولان (مثل الرماد البركاني) أو الرماد المتطاير من حرق الفحم لتعديل خصائص الاسمنت وتحسين أدائه في ظروف معينة مثل مقاومة الكبريتات والإجهادات الحرارية. تلك الإضافات تسهم في تطوير الاسمنت وجعله أكثر مرونة وملاءمة للاستخدام في مجموعة متنوعة من الظروف والتطبيقات البنائية.[15]

### 6.3. التخزين والتعبئة والشحن :

بعد الطحن، يكون الاسمنت في شكله النهائي حيث يُخزن في صوامع خاصة تعرف باسم "Cement Silo"، التي تستوعب حتى 4000 طن. يتم استخراج الاسمنت من هذه الصوامع بواسطة أنبوب صب ويغادر المصنع معبأ في أكياس خاصة ثابتة الحجم والوزن،[16] حيث يبلغ وزن كل كيس حوالي 50 كغ. بعد التعبئة، تنقل الأكياس عبر السيور الناقلة إلى وسائل النقل المختلفة، ويقوم فريق العمل بترتيبها آلياً في خطوط مستقيمة ومنظمة. بهذا تكتمل عملية التعبئة ويصبح المنتج جاهزاً للتسويق، حيث تحتوي الأكياس على المواصفات المطبوعة ومعلومات الاتصال وغيرها من التفاصيل الضرورية. أما بالنسبة للتسليم بالجملة، فيتم عبر شاحنات مجهزة بحاويات مخصصة لهذا الغرض.[5]



الشكل 20 . صوامع الاسمنت



الشكل 21 . مراحل تسليم الاسمنت

### 7.3. مختبر التحكم :

المختبر التحليلي يلعب دورا بارزا وحيويا في صناعة الاسمنت، حيث يعمل على الحفاظ على جودة الاسمنت المطلوبة و التأكد من نتائج الفحوصات المجراة في مختلف مراحل عملية التصنيع. تمثل عمليات الفحص والتحليل جزءا أساسيا من عملية التصنيع، حيث تجرى على المواد الخام والمنتجات النصف مصنعة والمنتجات النهائية، بالإضافة إلى الاسمنت المختلط. يتمثل هدف هذه الاختبارات في التأكد من جودة المنتج ومطابقته للمواصفات القياسية وضمان جودة المنتج النهائي.

بشكل عام، يعتبر المختبر التحليلي جزءا لا يتجزأ من عملية تصنيع الاسمنت، حيث يلعب دورا حاسما في ضمان جودة المنتج والامتثال للمعايير القياسية. [17]



الشكل 22. صور لبعض العينات التي تخضع للفحوصات في المختبر

### 8.3. غرفة التحكم:

داخل المصنع، يتم إدارة و مراقبة جميع مراحل إنتاج الاسمنت إلكترونيا من داخل غرفة التحكم المركزية. يضمن هذا النهج التحكم الدقيق والفعال في عملية التصنيع بأكملها. يشغل مشغلو غرفة التحكم المصنع على مدار 24 ساعة في اليوم، 7 أيام في الأسبوع، من خلال شاشاتهم التي تعرض جميع المعلومات المتعلقة بمعالجة البيانات والمراقبة. يتم الإبلاغ والاستجابة الفورية في حالة حدوث أي عطل أو انحراف في القيم المقاسة على الشاشات. يضمن هذا النهج المراقبة المستمرة لعملية الإنتاج.

تتواصل غرفة التحكم مع الأقسام الأخرى في المصنع عبر الهواتف وأجهزة النداء والمكالمات الداخلية، بهدف التواصل مع الموظفين العاملين في المصنع في حالة حدوث عطل، وذلك لضمان التدخل السريع وحل المشكلة. [17]



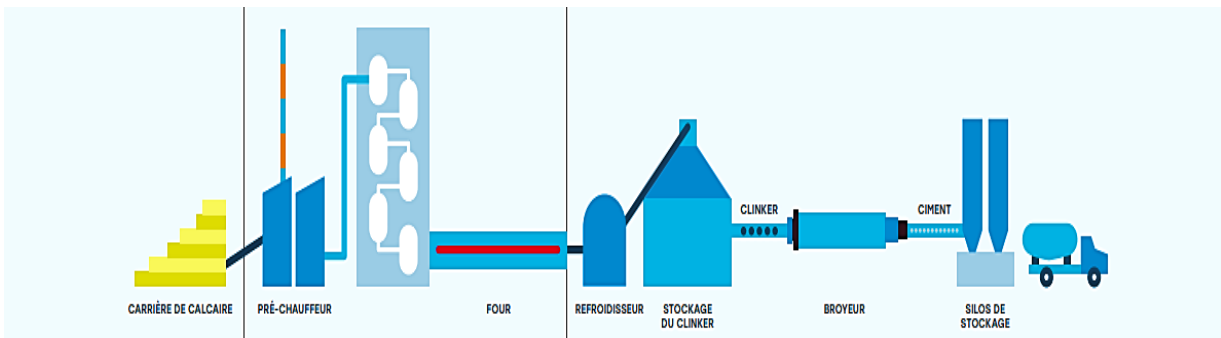
الشكل 23 . غرفة التحكم

### 9.3. قسم الميكانيك:

يتولى هذا القسم مهمة صيانة وتشغيل جميع الأقسام والمرافق المشار إليها، باستخدام الخبرات البشرية والمعدات الميكانيكية المتنوعة في مختلف المجالات. يتضمن عمل هذا الفريق إجراء عمليات الصيانة الضرورية واستبدال الأجزاء غير القابلة للاستخدام بهدف ضمان استمرارية الإنتاجية للمشروع بشكل شامل. [4]

### 10.3. أقسام أخرى:

بالإضافة إلى ذلك، تضم المؤسسة أقساماً أخرى من بينها الإدارة العليا وقسم الموارد البشرية بجميع فروعها، حيث تركز كل واحدة منها جهودها بتفانٍ لتلبية احتياجات الأقسام الأخرى بدقة وتميز. يتمتع العاملون في هذه الأقسام بروح التعاون المثالية، حيث يعملون كفريق متكامل منسجم بشكل تام مع رؤية وأهداف الشركة، مما يعزز الانسجام والتكامل لتحقيق النجاح والاستمرارية بكفاءة واستدامة. [4]



الشكل 24 . مراحل تصنيع الاسمنت

#### 4. المواد الأولية:

يتم اختيار خليط يحتوي على نسبة عالية من الكلس (حجر الكلس) مع مكون آخر يحتوي على نسبة منخفضة من الكلس (الطين)، إلا أنه غني بالسيليكا والألومينا وأكسيد الحديد. يتم ضبط تركيب هذا الخليط باستخدام مادة مصححة تحتوي على أحد المكونات الرئيسية للمزيج، حيث تستخدم الصخور الطبيعية والنواتج الصناعية عادة كمصدر لهذه المكونات. تختلف نسب هذه المكونات بشكل متباين اعتماداً على المنشأ. [18]

#### 1.4. المكون الكلسي:

الحجر الجيري (الكلسي)  $CaCO_3$  هو أحد المركبات الرئيسية في صناعة الاسمنت، حيث يمثل حوالي ثلثي وزن الاسمنت. انخفاض نسبة الحجر الجيري يؤدي إلى إنتاج اسمنت ضعيف، بينما زيادة كمية الجير تسبب في تكوين الكلنكر مبكراً، مما يؤدي إلى عدم ثبات حجم الاسمنت.

تتكون الصخور الكربوناتيّة من المكون الكلسي بأشكالها المختلفة، مثل الصخور الرسوبية، المتحولة، والناحية. إلا أن أكثر هذه الصخور انتشاراً في الطبيعة هي الصخور الجيرية الرسوبية، التي تتميز عادة بدرجة عالية من النقاء والتجانس وخلوها من الشوائب مثل الأطفان، الرمل، والسيليكا الحرة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام صخور الطباشير في إنتاج الاسمنت الأبيض، وكذلك صخور المارل. [18]



الشكل 26. صخر المارل



الشكل 25. صخور الطباشير

#### 2.4. المكون الطيني:

يشكل هذا المكون نسبة ضئيلة من المزيج الخام، إلا أنه يعتبر مكملاً أساسياً للحجر الجيري. [19] ويشمل الصخور الطينية مثل الشيل (الغضار) Shale، الحجر الطيني Claystone، والكاولينيت (الصلصال الطيني). قد تستخدم أيضاً صخور الشست Schist، الإردواز Slate، الصخور الطينية Mudstone، بعض الصخور البركانية، وكذلك الترسبات الفيضية الحديثة.

يشترط في المكون الطيني المستخدم في صناعة الاسمنت الأبيض أن يكون ذا محتوى منخفض من أكاسيد الحديد. تكون هذه الأطيان نقية أو تحتوي على شوائب متعددة من مركبات الحديد وبعض المواد العضوية، كما يشترط غسل الطين لإزالة الشوائب.[20]



الشكل 27 . بعض أنواع الصخور الطينية

### 3.4. المواد المصححة:

تشمل المواد المصححة المضافة إلى المزيج الخام إما مضافات سيليكية مثل الطين عالي السيليكا ( $\text{SiO}_2$ ) ، أو مضافات حديدية مثل خامات الحديد ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) لضبط نسبة أكسيد الحديد ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ، أو مضافات ألومينية مثل خامات الألومنيوم الطبيعية أو الصناعية كالخبث الناتج من صناعة الأمونيا ( $\text{NH}_3$ ) لضبط نسبة أكسيد الألومنيوم ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). أحيانا يضاف فلوريد الكالسيوم ( $\text{KF}$ ) أو رماد الوقود الصلب أو الخبث الناتج من صناعة الحديد لتسهيل عملية حرق المواد الأولية. ويعد الجبس ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) المضاف أثناء طحن الكلنكر من المواد الأولية أيضا، حيث تعتمد نسبة الإضافة على محتوى ( $\text{SO}_3$ ) الموجود في الكلنكر.[21]



الشكل 28 . الجبس

### 5. التركيب الكيميائي للمواد الخام:

تتكون المواد الخام غالبا من أكاسيد العناصر والتي تختلف نسبتها من خام إلى آخر متحدة مع بعضها البعض (جدول 1).

## الجدول 1. نسبة الأكاسيد الموجودة في الاسمنت

اسم المركب	الرمز	الرمز الكيميائي	نسبته في الاسمنت
أكسيد الكالسيوم (Lime)	C	CaO	60-67%
ثالث أكسيد الكبريت (Sulfur trioxide)	S	SO <sub>3</sub>	1.5-4.5%
ثالث أكسيد الحديد (Iron Oxide)	F	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5-6%
ثاني أكسيد السيليكون (Silica)	S	SiO <sub>2</sub>	17-25%
ثالث أكسيد الألومنيوم (Alumina)	A	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-8%
القلويات (أكسيد الصوديوم - أكسيد البوتاسيوم)	K _ N	K <sub>2</sub> O -Na <sub>2</sub> O	0.2_1.3%
أكسيد الماغنسيوم (Magnesia)	M	MgO	0.1_4%

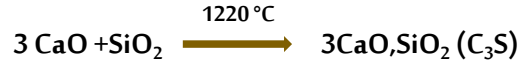
حيث تتحكم نسب الأكاسيد في المواد الخام بجودة ونوعية الاسمنت المنتج :

- أكسيد الكالسيوم : إذا كانت نسبة الحجر الجيري قليلة يؤدي إلى اسمنت ضعيف، أما إذا زادت كمية الجير تسبب في تكوين الكلنكر مبكرا، كما أنها تسبب في عدم ثبات حجم الاسمنت .
- السيليكا و الألومينا : تمثل السيليكا و الالومينا حوالي خمس المزيج (1/20)، تمنح زيادة السيليكا مع انخفاض نسبة الألومينا اسمنت بطئ الشك عالي المقاومة، ولكن إذا زادت الألومينا وقلت نسبة السيليكا فإن الاسمنت يصبح سريع الشك عالي المقاومة .
- أكسيد الحديد : يسبب اللون الرمادي للاسمنت.
- الماغنسيوم : وجودها بكمية كبيرة يحدث اختلالا في تركيب الاسمنت.
- القلويات : زيادتها تؤدي إلى التفاعل القلوي مع الاسمنت.

تتم صناعة الاسمنت من خلال عملية حرق المواد الخام في الفرن الدوار، حيث تتحد الأكاسيد المختلفة عند 1200°C حتى يتكون المصهور، الذي يمثل الخطوة الأولى في تكوين عجينة الكلنكر.

يتكون الكلنكر من أربعة أطوار يمكن ترتيبها من الأكبر إلى الصغر كما يلي:

سليكات الكالسيوم الثلاثية Alite : [22]



سليكات الكالسيوم الثلاثية هي مكون رئيسي في الاسمنت يساهم في المقاومة المبكرة والعالية للخرسانة، ويتطلب نسبة عالية من الماء لإماهته، ويمتلك قدرة على الاكتساب السريع للمقاومة خلال الأيام من 3 إلى 7. [23]

سليكات الكالسيوم الثنائية Belite : [22]



سليكات الكالسيوم الثنائية هي مركب اسمنتي يتحول إلى ثلاثة أشكال مع التغيرات في درجات الحرارة. يحتاج  $\text{C}_2\text{S}$  إلى 21% من وزن الاسمنت من الماء للإماهة الكلية، ويكتسب المقاومة ببطء بعد 28 يوما، ويستمر في التطور حتى سنة كاملة. [23]

ألومينات الكالسيوم الثلاثية Celite : [22]



ألومينات الكالسيوم الثلاثية هي مركب اسمنتي يتفاعل بسرعة مع الماء، مما يسبب توليد كمية كبيرة من الحرارة وتجمد فوري للاسمنت، ولكن إضافة الجبس يعمل على تأخير هذا التفاعل. ومع ذلك، قد يؤدي تفاعل  $\text{C}_3\text{A}$  مع أملاح الكبريتات إلى زيادة حجم الخرسانة وتشققها، وهو أيضا مسؤول عن تجمد الاسمنت وفقدان سيولته والتصلب. [23]

ألومينات الكالسيوم الرباعية الحديدية Ferrite : [22]



ألومينات الكالسيوم الرباعية الحديدية هي مركب اسمنتي يتواجد بكميات قليلة في الاسمنت، ويتفاعل مع الجبس لتسريع عملية الإماهة والانصهار، كما يساهم في لون الاسمنت الرمادي. [23]

## الجدول 2. المكونات الرئيسية لكنكر الاسمنت

اسم المركب	الرمز	الرمز الكيميائي	نسبته في الاسمنت
سيليكات الكالسيوم الثلاثية	C <sub>3</sub> S	Ca <sub>3</sub> SiO <sub>4</sub>	55%
سيليكات الكالسيوم الثنائية	C <sub>2</sub> S	Ca <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	20%
الوميئات الكالسيوم الثلاثية	C <sub>3</sub> A	Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	10%
الوميئات الكالسيوم الرباعية الحديدية	C <sub>4</sub> AF	Ca <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>10</sub>	8%
الجبس	CSH <sub>2</sub>	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	5%

## 6. أنواع الاسمنت:

المعايير العالمية مثل ISO و EN و ASTM تصنف الاسمنت إلى نوعين رئيسيين: الاسمنت العادي للاستخدامات الشائعة والاسمنت الخاص للاستخدامات المحددة بخصائص إضافية. تتأثر خصائص الاسمنت بمكونات المواد الخام وطريقة التصنيع، مما يسمح بتلبية احتياجات متنوعة في البناء والصناعة. [24]

## 1.6. الاسمنت الهيدرولي:

هو أي اسمنت يجمد ويتصلب في الماء. [25]

## 2.6. الاسمنت البورتلاندي:

هو مزيج متوازن من الكلنكر والجبس، حيث تتراوح نسبة الكلنكر فيه ما بين 95% و97% من إجمالي وزن الاسمنت. ورغم أن القيمة الافتراضية الشائعة تشير إلى 95%، إلا أن بعض البلدان تسمح باستخدام نسبة ضئيلة تتراوح بين 1% إلى 5% من المواد الخاملة أو مواد التمليط الباسطة. هذا يعني أن بعض بيانات إنتاج الاسمنت البورتلاندي قد تشمل أصنافاً ممزوجة، مما يعكس تنوعاً يلبي احتياجات مختلف الأسواق بشكل دقيق ومتنوع.

يتم تصنيف الاسمنت البورتلاندي وفقاً لمواصفات ASTM باستخدام الأرقام الرومانية من I إلى V. (جدول 3).

## الجدول 3. أصناف الاسمنت البورتلاندي حسب ASTM

V	IV	III	II	I	
40	25	60	45	50	C <sub>3</sub> S %
40	50	15	30	25	C <sub>2</sub> S %
4	5	10	7	12	C <sub>3</sub> A %
10	12	8	12	8	C <sub>4</sub> AF %

3500	3000	4500	3500	3500	cm <sup>2</sup> /g النعومة
60	30	140	60	70	Kg/cm <sup>2</sup> المقاومة (بعد يوم واحد)
250	210	500	250	330	g / حرارة الإماهة (بعد 7 أيام)

1.2.6. **الصف 1:** الاسمنت البورتلاندي العادي يعتبر من أكثر أنواع الاسمنت استخداما على مستوى العالم، إذ يمثل حوالي 90% من إجمالي أنواع الاسمنت المستعملة في مختلف أنحاء العالم. هذا النوع (نوع 1) يعد ملائما بشكل كبير للاستخدام في المنشآت الخرسانية العامة، بشرط عدم تعرضها للأملاح الكبريتية الموجودة في التربة أو المياه الجوفية. يتم تحديد مواصفات هذا الاسمنت وفقا للعديد من المعايير القياسية. يشكل قاعدة مرجعية هامة لدراسة باقي الأصناف ومقارنتها. [26]

2.2.6. **الصف 2:** الاسمنت البورتلاندي المعدل يتميز بتركيبته التي تتضمن 40% اسمنت بورتلاندي عادي و 60% اسمنت بورتلاندي منخفض الحرارة، مما يجعله مناسباً للاستخدام في البيئات ذات الهجوم الكبريتي المعتدل أو التي تتطلب حرارة إماهة منخفضة. يفضل استخدام الصف 2 عوضاً عن الصف 1، خاصة في الكتل الخرسانية الكبيرة، لأن في الظروف الحارة، يتفاعل الاسمنت مع الماء بشكل أسرع، وتنتشر الحرارة في وقت أقصر، مما يزيد من احتمالية التشقق الحراري. [27]

3.2.6. **الصف 3:** الاسمنت البورتلاندي سريع التصلب يتميز باحتوائه على نسبة عالية من سيليكات ثلاثية الكالسيوم (C<sub>3</sub>S) التي قد تصل إلى 60% وألومينات ثلاثية الكالسيوم (C<sub>3</sub>A) بنسبة قد تصل إلى 10%. يمتاز هذا النوع بحرارة تميته عالية، مما يمنحه قوة كبيرة في المراحل المبكرة، حيث تعادل قوته بعد 3 أيام من التميته قوة النوع الأول بعد 7 أيام. يستخدم هذا الاسمنت في الطقس البارد لمنع تجمد ماء الخلط، ولكنه لا يفضل استخدامه في بناء الخرسانة الضخمة أو في القطاعات الإنشائية الكبيرة. [27]

4.2.6. **الصف 4:** يعرف بالاسمنت البورتلاندي منخفض الحرارة (اسمنت السدود)، حيث يتميز بانخفاض نسبة C<sub>3</sub>A و C<sub>3</sub>S، وهما المسؤولين عادة عن انتشار الحرارة، ويتناقص النعومة إلى 3000 g/cm<sup>2</sup>. هذه الخصائص تساعد في بقاء تفاعلات الإماهة وتقليل انتشار الحرارة في المراحل الأولى من التفاعل، مما يساهم في تجنب مشكلة التشققات الحرارية. على الرغم من أن المقاومة المبكرة قد تكون منخفضة، حيث تصل إلى 30Kg/cm<sup>2</sup> بعد يوم واحد، إلا أن المقاومة النهائية تكون مقاربة لبقية الأصناف، حيث يبلغ مجموع (C<sub>3</sub>S+C<sub>2</sub>S) إلى 75%. [26]

5.2.6. **الصف 5:** تم تطوير الاسمنت البورتلاندي منخفض الحرارة إلى الاسمنت المقاوم للأملاح الكبريتية، ومن مميزاته انخفاض نسبة C<sub>3</sub>A إلى أقل من 0.5%. هذا الانخفاض يعمل على حماية الخرسانة من التآكل الكيميائي الناجم عن شوارد الكبريتات، تركيبته متنوعة، تحتوي على مزيج من الاسمنت البورتلاندي (أو الكلنكر) مع إضافات مثل حبيبات خبث الأفران العالية المطحونة والبوزولان مثل: الرماد المتطاير، أبخرة السيليكا والطفل المحروق. تشكل

هذه الإضافات نسبة متغيرة وغير محددة من الاسمنت، وعادة ما تتراوح بين 15% و40% من إجمالي الاسمنت، مما يجعل الكلنكر يمثل نسبة تتراوح بين 57% و81%. [26]

### 3.6. اسمنت الخبث المعدني:

يحتوي عادة على نسبة عالية تزيد عن 70% من حبيبات خبث الأفران العالية المطحونة، مع النسبة المتبقية تكون إما من اسمنت بورتلاندي (أو الكلنكر) أو الجير، أو كليهما معا. بعض أصناف اسمنت الخبث المعدني لا تشتمل على أي اسمنت بورتلاندي. حبيبات خبث الأفران العالية تعتبر بذاتها نوعا من الاسمنت ذو الخواص الهيدروليكية المعتدلة، وتكتسب خصائص اسمنتية محسنة عندما تتفاعل مع الجير الحر والماء. [25]

### 4.6. الاسمنت الألوميني:

هو نوع من أنواع الاسمنت الهيدروليكي الذي يتم إنتاجه عن طريق حرق مزيج من الحجر الجيري والبوزولان. يتضمن الأسمنت الألوميني عادة نسبة معينة من الجير، تتراوح بين حوالي 30% و42%، أو تشكل نسبة تتراوح ما بين 45% و65% من محتوى الجير في الكلنكر الاسمطي البورتلاندي. [25]

### 5.6. الاسمنت البوزولاني:

يمكن أن يشير إلى نوع من الاسمنت الممزوج المحتوي على كمية كبيرة من البوزولان ولكنه يشير بشكل أدق إلى الاسمنت المصنوع في معظمه من البوزولان ومن عامل منشط، مثل الكلس لتزويده بالجير ولكنه لا يحتوي على مقادير كبيرة من اسمنت بورتلاندي أو كلنكر اسمنت بورتلاندي.

البوزولان هو مادة سليكونية ليس بذاتها اسمنتية، ولكنها تكتسب خصائص الاسمنت الهيدروليكي عندما تتفاعل مع الجير الحر والماء. تشمل أمثلة شائعة على البوزولان الطبيعي أنواع محددة من: الرماد البركاني، الفتات البركاني، التراب الدايتومي، الطين والطفل المحروق، بالإضافة إلى أنواع البوزولان الصناعي مثل: أبخرة السيليكا والرماد المتطاير. [25]

## 7. خاتمة:

يلخص هذا الفصل نظرة عامة حول صناعة الاسمنت ومراحل تطورها عبر التاريخ، تم التطرق خلاله إلى طرق ومراحل تصنيع الاسمنت، إلى المكونات الكيميائية والمعدنية للاسمنت إضافة إلى مختلف أصنافها وخصائصها. ما يساهم في فهم أكبر لتنوع المنتجات المتاحة واستخداماتها المختلفة في مجالات البناء والإنشاءات.



## الفصل الثاني

وصف منطقة الدراسة: مصنع حجار السود للاسمنت

كان القطاع العمومي لصناعة الاسمنت في الجزائر منظما على شكل مجتمعات صناعية جهوية و هذا قبل سنة 2010، و كل هذه المجموعات كانت تابعة لشركة "تسيير المساهمات اسمنت الجزائر"، و هي مقسمة إلى ثلاثة مناطق جهوية، كل منطقة تحتوي على مجموعة معينة من مؤسسات الاسمنت. لكن بعد سنة 2010، أقرت السلطات العمومية تنظيما جديدا، حيث تم إنشاء مؤسسة واحدة تدير جميع المصانع الاثني عشر تحت اسم "المجمع الصناعي لاسمنت الجزائر" (GICA). وبهذا التحول، تم الابتعاد عن التنظيم الجهوي السابق لصناعة الاسمنت في البلاد.[28]

### 1. المجمع الصناعي لاسمنت الجزائر (GICA):

أنشئ المجمع الصناعي لاسمنت الجزائر GICA (Groupe Industriel des Ciment d'Algérie) بتاريخ 26 نوفمبر 2009 بقرار من الجمعية العامة غير العادية، تتويجا لمختلف التحولات الهيكلية التي شهدها قطاع الاسمنت.[29]

مجمع GICA هي مؤسسة اقتصادية ذات أسهم مملوكة للدولة لديها رأس مال قدره: 25.358.000.000، يقع مقر المجمع ببلدية مفتاح ولاية البليدة ويضم حاليا 23 مؤسسة فرعية موزعة كالآتي:

- 14 مصنعا للاسمنت : في كل من تبسة ، عين التوتة (باتنة)، سيقوس (أم البواقي) ، حامة بوزيان (قسنطينة)، حجار السود (سكيكدة)، عين الكبيرة (سطيف)، سور الغزلان (البويرة)، مفتاح (البليدة)، الرايس حميدو (الجزائر العاصمة)، الشلف، زهانة (معسكر)، بني صاف (عين تيموشنت)، سعيدة و بشار.[29]
- ثلاث شركات للحصى المفتت و الرمل و الخرسانة الجاهزة للاستعمال، ويقع مقرها في كل من ولايات قسنطينة، البليدة ومعسكر.
- شركة لتوزيع مواد البناء، يقع مقرها بولاية الجزائر.
- شركتان للصيانة الصناعية والتركييب ، يقع مقرهما في ولايتي قسنطينة والبليدة.
- مركز للمرافقة التقنية، يقع مقره بولاية بومرداس.
- مركز للتكوين وتحسين الكفاءات في مجال صناعة الاسمنت، يقع مقره بولاية العاصمة.
- شركة للحراسة والأمن، يقع مقرها بولاية باتنة.[30]



12.170 المتعاونون



22 الشركات التابعة



19.5 مليون طن



14 مصنع الاسمنت

الشكل 1 . معلومات عامة عن مجمع جيكا



الشكل 2. توزيع المصانع المنتجة للاسمنت في الجزائر.

و ينتج مجمع جيكا، عدة أنواع من الاسمنت المطابقة للمعيار الوطني NA 442 نذكر منها:

- جيكا بنيان: الذي يستخدم في أشغال التشطيب وأشغال البناء الصغيرة.
- جيكا بيطون: يستعمل في أشغال الخرسانة الجاهزة والمسلحة والبلاط.
- جيكا إنجازات: وهو موجه للهياكل القاعدية والبنى التحتية.
- جيكا مضاد: و يستخدم هذا النوع من الاسمنت المقاوم للكبريت في تنفيذ أشغال البناء في الأوساط عالية الملوحة والرطوبة مثل المنشآت المينائية والمناطق الصحراوية.
- جيكا بتروليوم: يستخدم في حفر آبار النفط و الغاز. [31]



الشكل 3. أنواع اسمنت جيكا

يتمتع مجمع جيكا للاسمنت بقدرات إنتاجية تبلغ حوالي 19 مليون طن سنويا، [32] منذ انطلاق صادراته في عام 2018، شهدت مجموعة GICA زيادة مستمرة في حجم صادراتها من الكلنكر والاسمنت. وتخطط لمواصلة التوسع الدولي لتعزيز إيرادات الجزائر من النقد الأجنبي وتنويع الاقتصاد الوطني. [33]

تم اختيار المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر "جيكا" كأفضل مصنع للاسمنت في الجزائر في إطار جوائز 2020 التي تقدمها البوابة الإلكترونية "AfrikaCem" لأفضل شركات إنتاج وتصنيع الاسمنت. تم الإعلان عن هذا الاختيار في بيان صادر عن وزارة الصناعة. [34]

## 2. التعريف بمؤسسة اسمنت حجارالسود (سكيكدة) SCHS :

مؤسسة SCHS اختصارا لـ Hadjar-Soud Cement Society هي فرع من مجموعة جيكا GICA، مؤسسة إنتاجية وطنية برأسمال اجتماعي يقدر بـ 1.5 مليار دينار. [35] كان أول تاريخ لبدأ الإنتاج في فيفري 1973 و في فيفري 2008 دخلت في شراكة إدارية مع الشريك الاجتماعي الإيطالي BUZZI-UNICEM بنسبة 65%.

تبنى مؤسسة الاسمنت نظام مراقبة رقمي متقدم خلال عملية الإنتاج، يسمح بالتحكم والسيطرة على جميع مراحل الإنتاج المختلفة من خلال أجهزة تكنولوجية متصلة بحواسيب غرفة التحكم. هذا النظام يعتبر من الأنظمة الأكثر تطورا على مستوى العالم، ويضاهي أحدث التقنيات التكنولوجية المتاحة. [36]

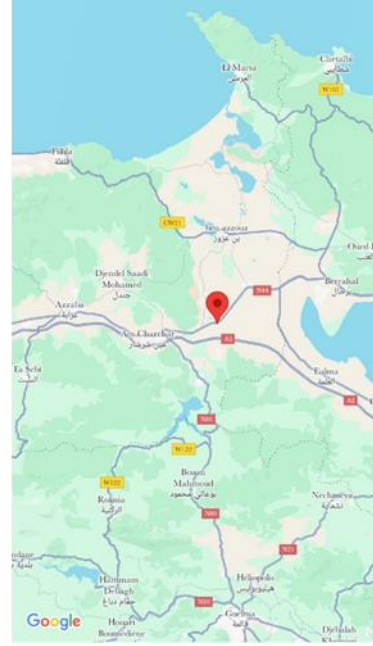
تبنت المؤسسة خط الإنتاج الجاف كطريقة أساسية في عملياتها، وهو اختيار استراتيجي يعكس التزامها بأعلى معايير الجودة والكفاءة. يعود سبب هذا الاختيار إلى نقاء المواد الأولية وانخفاض رطوبتها. يقدر إنتاجها السنوي بمليون طن.



الشكل 5 . بطاقة تقنية لمصنع الاسمنت

### 3. الموقع الجغرافي لمؤسسة الاسمنت حجار السود: [37]

تم اختيار موقع مصنع الاسمنت في بلدية بكوش لخضر – دائرة بن عزوز – ولاية سكيكدة بشرق البلاد لتقليل تكلفة النقل، حيث يبعد 50 Km عن قسنطينة و50 Km شمال شرق ولاية عنابة، وتتميز بموقع استراتيجي على مثلث يضم الطريق الوطني رقم 44 والطريق الولائي رقم 128 وخط السكة الحديدية عنابة-قسنطينة وعلى بعد 4 Km من الطريق السريع شرق-غرب.



الشكل 6 . الموقع الجغرافي لشركة الاسمنت حجار السود (Google MAPS).

مساحة الأرض التي يقع عليها المصنع هي 29 ha و 50 a و 40 ca . يمتد على طول سكة حديد الجزائر-عنابة، والذي يتصل به عن طريق قسم من السكة الداخلية.

نظرا لموقعه الجغرافي الاستراتيجي وقربه من احتياطيات كبيرة من المواد الخام، فإن مصنع الاسمنت لحجار السود لديه موارد ومناجم خاصة به من المواد الخام، حيث يدير محجرتين: محجرة الحجر الجيري في جبل الصافية، ومحجرة الطين في الوادي الكبير، وهما يشكلان الاحتياطي الرئيسي من المواد الخام في المنطقة لمصنع الاسمنت.

- **مقلع الحجر الجيري:** يقع على مسافة 8 Km من المصنع، و 59 Km من عنابة، ويغطي مساحة 162 ha، و تقدر الاحتياطات الجيولوجية القابلة للاستغلال بأكثر من 150 مليون طن، و الذي يمتد عمر استغلاله حسب تقدير الخبراء لفترة تزيد عن 50 عام.



الشكل 7. محجرة الحجر الجيري لمصنع حجار السود "جبل الصافية"

- مقلع الطين: يبعد عن المصنع بما يقارب 4 Km، يغطي مساحة قدرها 72 ha، وتحتوي على احتياطات تقدر ب 60 مليون طن. تم تعيين مقلع مسؤول عن استخراج ونقل مادة الطين من المحجرة إلى غاية المصنع.



الشكل 8 . محجرة الواد الكبير

- الرمل: مورده مصنع اسمنت الماء الأبيض بولاية تبسة. يضاف بكميات قليلة جدا للضرورة فقط لتعديل نسبة السيليكا المتواجدة بالطين.
- خام الحديد: يتم الحصول عليه من منجم الونزة.



الشكل 9 . صورة لمنجم الونزة ولاية تبسة

- الجبس: مادة أولية أخرى مشتراة. وتستخرج من بحيرات عين مليلة. تضاف بنسبة 3-5% من نسبة الكلنكر والهدف من هذه الإضافة هو تنظيم زمن التصلب.
- الخبث: يتم الإمداد من مركب الحجار للحديد والصلب ARCELOR MITTAL - ANNABA الواقع على بعد 50Km. الهدف من هذه الإضافة هو التقليل من التكلفة بهدف المنافسة.

## الجدول 1. نسب المواد الخام في اسمنت مصنع حجار السود

النسبة	المادة الأولية
50 – 70%	الكلس
20 – 25%	الطين
1 – 5%	الرمل
1 – 5%	خامات الحديد

## 4. لمحة تاريخية على نشأة وتطور مؤسسة الاسمنت حجار السود: [37]

إن نشأة وتطور مؤسسة الاسمنت لحجار السود مرت بعدة مراحل، وسنعرض فيما يلي بعض التواريخ التي تمثل أهم المحطات التي مرت بها المؤسسة:

- عام 1969: تم توقيع عقد مع الشركة اليابانية "KAWAZAKI" لبناء الخط الأول.
- عام 1972: توقيع عقد مع الشركة الفرنسية "CREUSOT-LOIRE" لبناء الخط الثاني.
- في 1973: تشغيل خط الإنتاج الأول (1350 طن كلنكر/يوم).
- في 1975: تشغيل خط الإنتاج الثاني.
- سنة 1982: تم إنشاء ERCE بعد إعادة هيكلة SNMC.
- سنة 1992: تم تشغيل (FLSmith) Cru N°3.
- عام 1993: زيادة قدرة فرن الخط الثاني إلى 1800 طن في اليوم.
- في 1993: تم تركيب مجفف الخبث المحبب (KHD-Centunion).
- جوان 1998: إنشاء الشركة التابعة "شركة إسمنت حجار سود".
- فيفري 2008: شراكة مع BUZZI Unicem.
- ماي 2009: حصلت SCHS على شهادة ISO 9001-2008 من AFAQ-Afnor.
- أوت 2009: تركيب مرشحين كيسيين في ورش الطبخ مما يقلل انبعاثات الغبار إلى أقل من 10 mg/m<sup>3</sup>.
- ماي 2010: إنشاء مجموعة GICA.
- أوت 2012: تم تركيب أربعة مرشحات أكياسية في الكسارات والناقلات لتقليل انبعاث الغبار (كسارة gp 120، كسارة IMPACTOR، النفق 01 والنفق 02).
- أبريل 2013: تركيب مرشحين كيسيين في المبردين مما يقلل انبعاثات الغبار إلى أقل من 10 mg/m<sup>3</sup>.



الشكل 10 . خطي الانتاج

##### 5. المؤشرات الاقتصادية لمؤسسة اسمنت حجارالسود (سكيددة) SCHS: [28]

في الفترة من عام 2013 إلى عام 2017، شهدت مؤسسة اسمنت حجارالسود (سكيددة) زيادة في حجم الإنتاج بنسبة 2,85% وزيادة في المبيعات بنسبة 3,01%. مما يشير إلى نمو إيجابي في الأداء الإنتاجي والتسويقي. ومن الجدير بالذكر أن الإنتاج السنوي تجاوز الطاقة الإنتاجية التصميمية خلال هذه الفترة.

بالإضافة إلى ذلك، سجل رقم الأعمال ارتفاعاً بنسبة 7.66% والقيمة المضافة بنسبة 7.12%، على الرغم من زيادة الأعباء المباشرة المرتبطة بعملية الإنتاج. هذا يعكس تحسناً في كفاءة العمل وزيادة قيمة المنتجات المباعة، مما يعزز مكانة المؤسسة في السوق ويدل على استدامة نموها (الجدول 1).

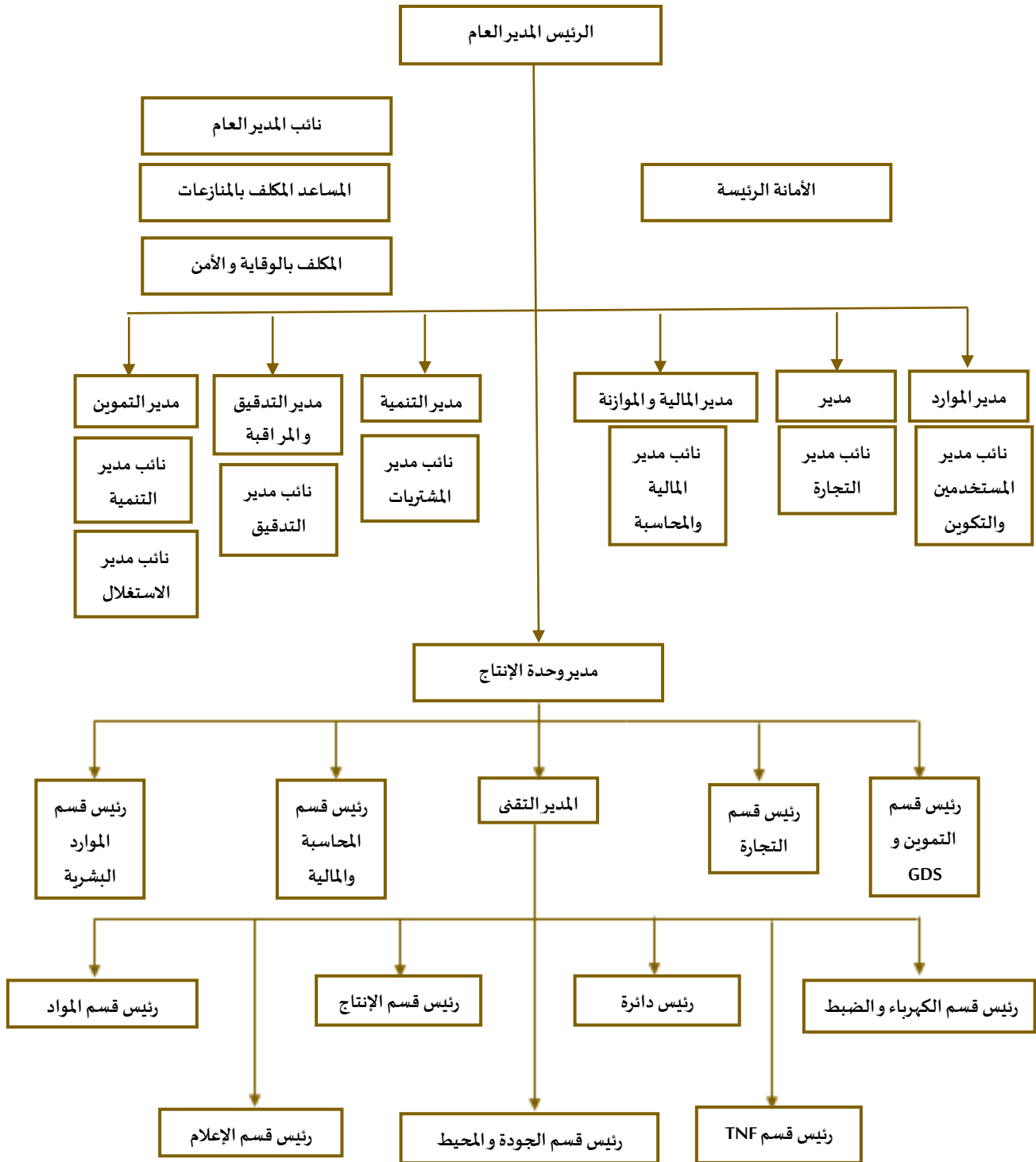
##### الجدول 2 . المؤشرات الاقتصادية لمؤسسة اسمنت حجارالسود (سكيددة) SCHS خلال الفترة 2013\_2017

الفترة	المبيعات (طن)	الإنتاج (الطن)	القيمة المضافة (كيلودج)	رقم الأعمال (كيلودج)
2013	1018613	1025080	3429928	5647225
2014	1080332	1077364	4078650	6834381
2015	1080674	1084103	4220669	6867872
2016	1124051	1129648	4700490	7670473
2017	1183770	1181932	4895861	8280797

##### 6. الهيكل التنظيمي للوحدة: [38]

يوضح الهيكل التنظيمي للوحدة محل الدراسة مختلف الوظائف التي تمارسها الوحدة وهو يتكون من عشرة دوائر هي:

- ◀ مديرية الوحدة: يترأسها مدير يعمل على حسن سير الوحدة.
- ◀ مديرية الموارد البشرية: وتتولى عملية إدارة أفراد الوحدة من خلال إعداد برامج التكوين مثلا أو تنظيم العطل، تسجيل الغيابات، إعداد بطاقات الأجور والمكافآت ... الخ.
- ◀ دائرة المالية: يتم على مستواها تسجيل مختلف العمليات المالية التي تتم داخل الوحدة.
- ◀ دائرة التجارة: تعمل على توزيع الاسمنت على عملائها بعد أن تقدم لها مصلحة الإنتاج الكميات.
- ◀ دائرة الأمن: خاصة بمهام العلاج والإسعاف في حالة مرض العمال أو إصابتهم أثناء القيام بالأعمال، وتتبعها مصلحة التأمين هما: مصلحة التدخل ومصلحة الوقاية، إلى جانب وجود مصالح استشارية كالأمانة، مراقبة التسيير والمنازعات.
- ◀ دائرة التموين: وهي خاصة بمهام شراء وتخزين الموارد الأولية الضرورية لإتمام العمليات الإنتاجية.
- ◀ المديرية التقنية: وهي خاصة بمهام شراء وتخزين الموارد الأولية الضرورية لإتمام العمليات الإنتاجية خلال مراحلها بدء من دائرة التموين إلى دائرة الإنتاج، وتتبع هذه المديرية ثماني دوائر وهي: دائرة التصفية والمحيط، دائرة الكهرباء والضبط، دائرة الإنتاج، دائرة المواد الأولية، دائرة الإعلام الآلي، دائرة الجودة والنوعية، دائرة الميكانيك ودائرة الوسائل العامة.



الشكل 11 . الهيكل التنظيمي لمؤسسة الاسمنت حجار السود

## 7. أهداف المؤسسة: [38]

تسعى المؤسسة من خلال ذلك بتحقيق أهداف كثيرة نذكر منها:

- ✓ سد المتطلبات المحلية والوطنية من مادة الاسمنت.
- ✓ امتصاص اليد العاملة عن طريق اعتماد سياسة تكوين الشباب وإدماجهم داخل المؤسسة للتقليل من معدل البطالة.
- ✓ تحسين وسائل الانتاج ومحاولة تطويرها بما يتوافق مع المنافسة الخارجية.
- ✓ المشاركة في تحسين مستوى العمال وذلك عن طريق إجراء تربيصات داخلية وكذا خارجية وإسهامه في الفترات التكوينية.
- ✓ ضمان تسويق بضائعها في إطار الأهداف المسطرة والتدابير المتخذة من طرف الحكومة.
- ✓ المحافظة على البيئة من أثار التلوث الناجمة عن صناعة الاسمنت بدء من المقالع إلى غاية أقسام التعبئة.
- ✓ تكوين الإطارات والخبراء وذلك لتطوير وتحسين إمكانيات الإنتاج من حيث الكمية والجودة، لتحقيق أكبر قدر من الأرباح.

## 8. نوع الاسمنت المتوفر في المصنع: [22]

مصنع الاسمنت حجار السود يتوفر على اسمنت بورتلاند المركب للخرسانة حيث يرمز لهذا النوع بأرقام وحروف لاتينية تكتب على أكياس الاسمنت المعبأة كما هو موضح في الصورة أدناه:



الشكل 10. تسمية اسمنت حجار السود.

حيث :

- الرقم الروماني الأول (II) يشير إلى نوع الاسمنت.
- الحرف الكبير (A) يشير إلى فئة الاسمنت.
- الأحرف (M.S.L) تشير إلى خليط الحجر الجيري والبوزولانا.
- الرقم (42.5) يشير إلى فئة المقاومة.
- الحرف (N) يشير إلى المقاومة العادية.
- الرمز الأخير (NA442) هو المعيار الجزائري 442.

### 9. خاتمة:

اقتصرنا في هذا الفصل على وصف منطقة دراستنا الميدانية (مصنع حجار السود)، حيث تطرقنا إلى التعريف بالمؤسسة بعد أن قدمنا لمحة تاريخية على إنشاءها، كما عرضنا مختلف وحداتها الصناعية، هيكلها التنظيمي، أهدافها وكذلك نوع وخصائص الاسمنت المصنع من طرفها.



3

## الفصل الثالث

الخصائص الفيزيوكيميائية والميكانيكية لاسمنت حجار السود

توفر صناعة الاسمنت الحديثة مجموعة واسعة من الأنواع، التي تتوفر على خصائص محددة بدقة وتتكيف مع مجالات عمل معينة. تنقسم جميع خصائص مواد البناء، وفقا لجميع مؤشراتنا إلى خصائص فيزيائية وكيميائية ثم ميكانيكية.

من أجل معرفة خصائص الاسمنت وتحديد مجال تطبيقه نقوم بإجراء تجارب فيزيائية وميكانيكية، والتي قمنا بالتطرق إليها أثناء قيامنا بالتريص الميداني على مستوى مصنع الاسمنت حجار السود، والذي يتم فيه صناعة اسمنت من نوع CPJ-CEM II/A M [S-L] N 42,5 الذي يخضع في صناعته إلى المعيار NA442/2000.

فيما يلي يتم تقديم خصائص مكونات الاسمنت المنتج في جميع مراحل تصنيعه وفقا للمعايير المعمول بها، والطرق التجريبية المطبقة في الاختبارات.

## 1. الاختبارات الكيميائية:

### 1.1. الأشعة السينية فليوريسونس (XRF):

يتم إجراء جميع التحاليل الكيميائية في مخبر مصنع الاسمنت حجار-السود بطريقة XRF (مطيافية الأشعة السينية فليوريسونس) بدلا من الاختبارات التقليدية، تعد تقنية مطيافية الأشعة السينية فليوريسونس تقنية تحليلية شاملة تتيح تحديد معظم العناصر الكيميائية التي تتكون منها العينة. يمكن استخدام هذه التقنية لمجموعة متنوعة من المواد مثل المعادن، والسيراميك، والأسمنت، والمعادن، والزيوت، والماء، والزجاج... سواء كانت في الحالة الصلبة أو السائلة [39]. جهاز XRF يقدم مزايا مهمة مثل معرفة طبيعة العنصر الكيميائي الموجود في العينة وكذلك تركيزه الكتلتي [40]. كذلك التحضير البسيط للعينة والنتائج الدقيقة والقابلة للتكرار والتحليل الآلي للنتائج الذي يسمح بتقليل وقت القياس إلى بضعة دقائق فقط. [41]



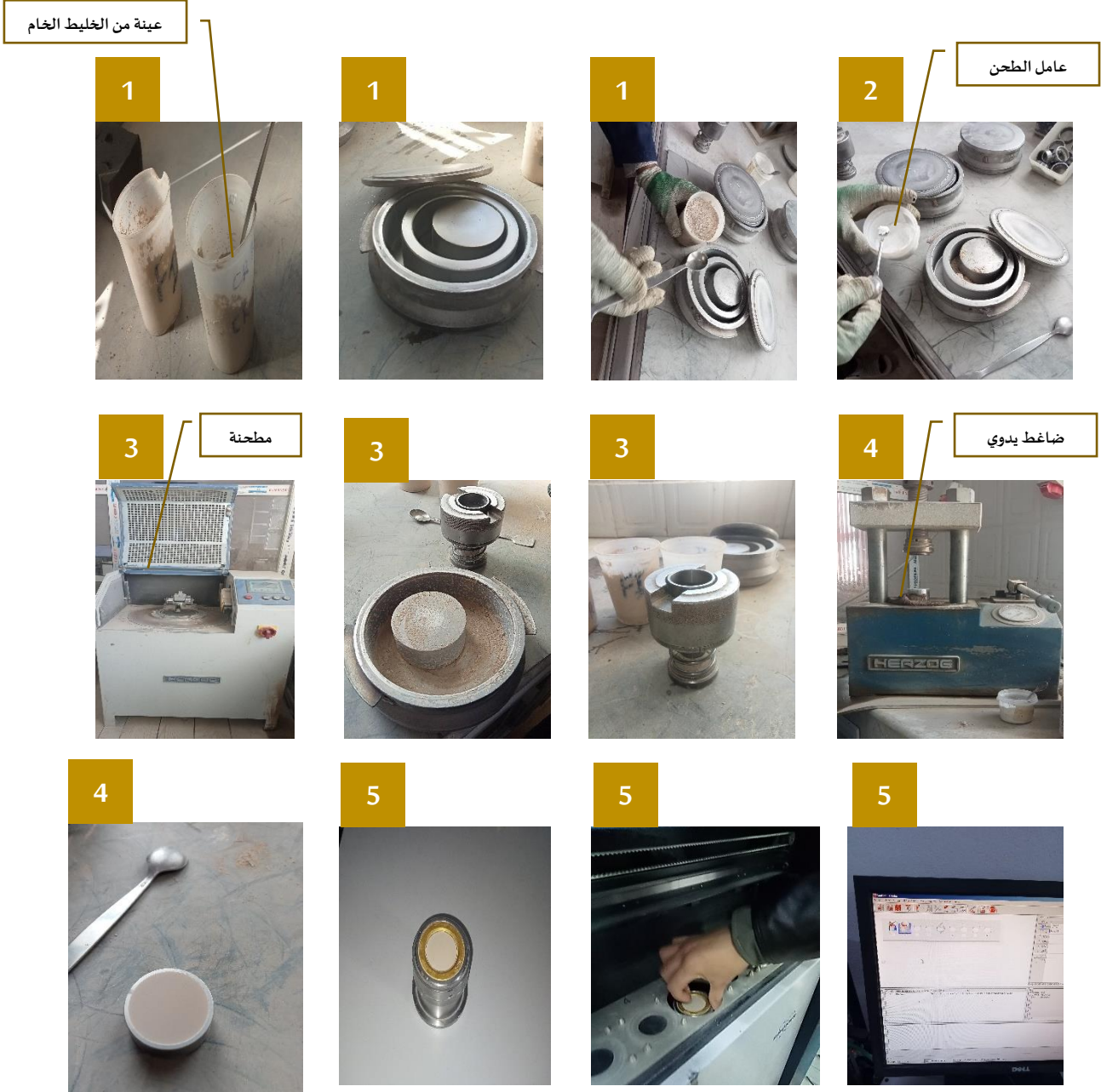
الشكل 1. جهاز مطيافية الأشعة السينية فليوريسونس XRF من العلامة BRUKER النوع S8 LION.

## طريقة العمل:

قبل القيام بالاختبار بواسطة جهاز مطيافية الأشعة السينية فليوريسونس نقوم أولاً بتحضير قوالب العينات التي

يتم ادخالها في الجهاز من أجل التحليل، ويتم تحضيرها وفق البروتوكول التجريبي التالي:

- ◀ نضع 12 g من العينة المراد تحليلها (الخام أو الاسمنت أو الكلنكر المسحوق).
- ◀ نضيف 8g من المنتج المسمى ULTRA WAX (عامل الطحن)، وهو مسحوق أبيض يساعد على تماسك العينة المضغوطة.
- ◀ ندخلهم في المطحنة لمدة تصل إلى 1 min من الطحن.
- ◀ نستخدم الضاغط اليدوي للحصول على القوالب. نضع القوالب في جهاز مطيافية الأشعة السينية فليوريسونس من أجل التحليل.



الشكل 2. مراحل تحضير القوالب

قمنا بتحليل عينة من الاسمنت قادمة من صوامع التخزين وكانت النتائج كما هو مبين في (الجدول 01).

جدول 1. التركيب الكيميائي للاسمنت (CPJ).

AF	MS	LSF	Cl	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO <sub>Free</sub>	التركيب الكيميائي
1,45	2,25	97,28	0,03	0,11	0,61	0,10	0,95	43,33	2,41	3,72	13,78	1,60	CPJ %

ملاحظة: LSF، MS و AF عبارة عن معادلات رياضية تستعمل من أجل تصحيح نسب الأكاسيد في الخليط الخام.

\_ عامل الإشباع الكلسي Lime saturation factor:

وهو نسبة الجير أو أكسيد الكالسيوم إلى نسبة أكاسيد السيليكون، الألمنيوم والحديد، يستعمل لتحديد كمية الجير المستعملة في إنتاج الاسمنت، تعطى عبارته كما يلي: [42]

$$LSF = \frac{CaO \times 100\%}{2,8SiO_2 + 1,18Al_2O_3 + 0,65Fe_2O_3} = \frac{C \times 100\%}{2,8S + 1,18A + 0,65F}$$

\_ معامل السيليكا Silica modulus:

وهو نسبة أكسيد السيليكون إلى نسبة أكاسيد الألمنيوم والحديد، يستعمل لتحديد نسبة السيليكا في الخليط الخام المستعمل لإنتاج الاسمنت وتعطى عبارته على الصيغة التالية: [42]

$$MS = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} = \frac{S}{A + F}$$

\_ معامل الألومينا Alumina modulus:

وهو نسبة أكسيد الألمنيوم إلى نسبة أكسيد الحديد في المزيج الخام، يستعمل للتحكم في نسبة الألومينا وأكسيد الحديد في الخليط الخام، وتعطى عبارته بالعلاقة التالية: [42]

$$AF = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} = \frac{A}{F}$$

جدول 2. نسب معاملات التصحيح حسب المعايير الدولية.

AF	MS	LSF	المعامل
1,5 – 2,5	1,5 – 3,5	0,85 – 0,95	النسبة (%)

## تفسير النتائج:

انطلاقاً من النتائج التي تحصلنا عليها في (الجدول 1) نرى أن:

- نسبة معامل الإشباع الكلسي LSF أكبر من النسبة المطلوبة في المعايير الدولية فنستنتج أن نسبة أكسيد الكالسيوم CaO مرتفعة، وبالتالي يتم تصحيحها بخفض نسبة الحجر الجيري في الخليط الخام.
- نسبة معامل السيليكا MS موافقة للمعايير وبالتالي يمكن القول أن نسبة السيليكا في الخليط الخام مضبوطة.
- نسبة معامل الألومينا AF أقل من النسبة المعمول بها في المعايير الدولية فنستنتج أن نسبة أكسيد الألمنيوم منخفضة مقارنة مع نسبة أكسيد الحديد، ويتم تصحيحها بزيادة نسبة الطين الداخل في تركيب المزيج الخام.
- نسبة أكسيد المغنيزيوم MgO في العينة المدروسة لا تتعدى 5% وهي النسبة المطلوبة في المعايير الدولية، حيث أن زيادتها عن هذه القيمة تؤدي إلى الانفجار والتشقق وكذا انخفاض المقاومة الميكانيكية على المدى الطويل للاسمنت المتصلب.
- نسبة ثلاثي أكسيد الكبريت SO<sub>3</sub> موافقة للمعايير المعمول بها حيث يجب ألا تتجاوز نسبتها 3,5%.
- نسبة القلويات (K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O) في الحدود المسموح بها حسب المعيار الجزائري 443 حيث تكون محصورة بين 0,5% و 1%.
- نسبة الكلور Cl لا تتجاوز 0,1%.
- نسبة الجير الحر CaO<sub>Free</sub> لا تتعدى 3%.

## 2.1. محتوى الجير الحر المتبقي:

يتم قياس الجير الحر عن طريق المعايرة بالغليان لخليط كحول لا مائي بواسطة محلول حمض الهيدروكلوريك. تعتمد هذه الطريقة على استخلاص الجير غير المتحد في عينة من الكلنكر أو الاسمنت باستعمال كحول جليكول الإثيلين C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>(OH)<sub>2</sub>، ثم الترشيح، ومعايرة الرشاحة بمحلول حمض الهيدروكلوريك HCl (0.1N). [22].

الجير الحر غير المتحد مع المكونات المعدنية للكلنكر يسبب الانتفاخ والتشقق في الخرسانة عندما تتجاوز نسبته 3% في الاسمنت.

## طريقة العمل:

- ◀ وزن 1g من الكلنكر ونضعه في دورق مخروطي (ايرلن ماير) مجفف مسبقاً في الفرن.
- ◀ يضاف 50 ml من محلول جليكول الإثيلين، ويضبط الدورق المخروطي في المكثف قبل وضعه في حمام مائي لمدة 30min.
- ◀ ثم نقوم بالترشيح تحت الفراغ.

تتم معايرة المحلول المرشح باستخدام حمض HCl (0.1N) في وجود كاشف لوني أزرق البروموتيمول.

وتعطى النسبة المئوية للجير الحر بالعلاقة التالية:

$$\text{CaO}_{\text{Free}} \% = F \times V_{\text{HCl}}$$

حيث:

$V_{\text{HCl}}$ : حجم حمض الهيدروكلوريك المستعمل.

F: عامل المحلول



الشكل 3. مراحل معايرة الجير الحر

**Facteur de la Chaux Libre**

Pour préparer la poudre de CaCO<sub>3</sub> par calciner environ 01g de CaCO<sub>3</sub> dans le four P-105007 - petite série constante de la PAF faire secher et placer dans le desiccateur pour refroidissement, puis peser trois fois cette échantillon comme suit: 10mg, 20mg, 30mg et fait le traitement de la chaux libre normale.

CaO (mg)	HCl(mg)	Factor
10	2,300	
15	4,200	0,2800
20	5,500	0,2600
40	9,700	0,2100
Moy		0,2500

HCl(ml)	CaO, (%)	HCl(ml)	CaO, (%)	HCl(ml)	CaO, (%)	HCl(ml)	CaO, (%)	HCl(ml)	CaO, (%)
0,10	0,03	2,10	0,53	5,10	1,53	10,10	2,53	13,90	3,48
0,20	0,05	2,20	0,55	5,20	1,55	10,20	2,55	14,00	3,50
0,30	0,08	2,30	0,58	5,30	1,58	10,30	2,58	14,10	3,53
0,40	0,10	2,40	0,60	5,40	1,60	10,40	2,60	14,20	3,55
0,50	0,13	2,50	0,63	5,50	1,63	10,50	2,63	14,30	3,58
0,60	0,15	2,60	0,65	5,60	1,65	10,60	2,65	14,40	3,60
0,70	0,18	2,70	0,68	5,70	1,68	10,70	2,68	14,50	3,63
0,80	0,20	2,80	0,70	5,80	1,70	10,80	2,70	14,60	3,65
0,90	0,23	2,90	0,73	5,90	1,73	10,90	2,73	14,70	3,68
1,00	0,25	3,00	0,75	6,00	1,75	11,00	2,75	14,80	3,70
1,10	0,28	3,10	0,78	6,10	1,78	11,10	2,78	14,90	3,73
1,20	0,30	3,20	0,80	6,20	1,80	11,20	2,80	15,00	3,75
1,30	0,33	3,30	0,83	6,30	1,83	11,30	2,83	15,10	3,78
1,40	0,35	3,40	0,85	6,40	1,85	11,40	2,85	15,20	3,80
1,50	0,38	3,50	0,88	6,50	1,88	11,50	2,88	15,30	3,83
1,60	0,40	3,60	0,90	6,60	1,90	11,60	2,90	15,40	3,85
1,70	0,43	3,70	0,93	6,70	1,93	11,70	2,93	15,50	3,88
1,80	0,45	3,80	0,95	6,80	1,95	11,80	2,95	15,60	3,90
1,90	0,48	3,90	0,98	6,90	1,98	11,90	2,98	15,70	3,93
2,00	0,50	4,00	1,00	7,00	2,00	12,00	3,00	15,80	3,95
2,10	0,53	4,10	1,03	7,10	2,03	12,10	3,03	15,90	3,98
2,20	0,55	4,20	1,05	7,20	2,05	12,20	3,05	16,00	4,00
2,30	0,58	4,30	1,08	7,30	2,08	12,30	3,08	16,10	4,03
2,40	0,60	4,40	1,10	7,40	2,10	12,40	3,10	16,20	4,05
2,50	0,63	4,50	1,13	7,50	2,13	12,50	3,13	16,30	4,08
2,60	0,65	4,60	1,15	7,60	2,15	12,60	3,15	16,40	4,10
2,70	0,68	4,70	1,18	7,70	2,18	12,70	3,18	16,50	4,13
2,80	0,70	4,80	1,20	7,80	2,20	12,80	3,20	16,60	4,15
2,90	0,73	4,90	1,23	7,90	2,23	12,90	3,23	16,70	4,18
3,00	0,75	5,00	1,25	8,00	2,25	13,00	3,25	16,80	4,20
3,10	0,78	5,10	1,28	8,10	2,28	13,10	3,28	16,90	4,23
3,20	0,80	5,20	1,30	8,20	2,30	13,20	3,30	17,00	4,25
3,30	0,83	5,30	1,33	8,30	2,33	13,30	3,33	17,10	4,28
3,40	0,85	5,40	1,35	8,40	2,35	13,40	3,35	17,20	4,30
3,50	0,88	5,50	1,38	8,50	2,38	13,50	3,38	17,30	4,33
3,60	0,90	5,60	1,40	8,60	2,40	13,60	3,40	17,40	4,35
3,70	0,93	5,70	1,43	8,70	2,43	13,70	3,43	17,50	4,38
3,80	0,95	5,80	1,45	8,80	2,45	13,80	3,45	17,60	4,40
3,90	0,98	5,90	1,48	8,90	2,48	13,90	3,48	17,70	4,43
4,00	1,00	6,00	1,50	9,00	2,50	14,00	3,50	17,80	4,45

الشكل 4. جدول عوامل الجير الحر.

تم تقديم جدول عوامل الجير الحر بناء على نتائج حجم HCl ونسب الجير الحر لتسهيل الاختبار، فنجد بعض النتائج لعينة من الاسمنت وعينة من الكلنكر كما هي موضحة في (الجدول 2).

جدول 3. النسبة المئوية للجير الحر في عينة من الاسمنت وعينة أخرى من الكلنكر.

المواد المستعملة	$V_{HCl}(ml)$	$CaO_{Free}(\%)$
الاسمنت	6,30	1,58
الكلنكر	3,50	0,88

#### تفسير النتائج:

- يجب ألا تزيد نسبة الجير الحر عن 3% سواء في الكلنكر أو في الاسمنت، وبالتالي فان النتائج المتحصل عليها من هذه الاختبارات متوافقة مع المعايير العالمية.
  - الجير الحر هو المسؤول عن الخصائص المميزة للاسمنت، وبالتالي جودة الاسمنت البورتلاندي (زيادته تسبب الانتفاخ والتشقق في الخرسانة، ويقلل المقاومة الميكانيكية، ويؤثر على زمن النضج ...)
- ملاحظة: تعتبر هذه الطريقة قديمة وتقليدية لمعايرة الجير الحر وقد تم الاستغناء عنها في مخبر الكيمياء في شركة الاسمنت حجار السود، ويجرى حالياً التحليل مباشرة بجهاز مطيافية الأشعة السينية فليوريسونس.

## 2. اختبارات التركيب المعدني:

### 1.2. حيود الأشعة السينية (XRD):

هي تقنية تحليلية سريعة حيث يتم إجراء العديد من التحاليل بحيود الأشعة السينية (XRD) على مساحيق عينات من الكلنكر أو الاسمنت، حيث تكون المادة التي يتم تحليلها مطحونة جيداً ومتجانسة، مما يسمح بتحديد المحتوى المعدني لها. [43]



الشكل 5. جهاز حيود الأشعة السينية XRD من العلامة BRUKER النوع D2PHASER.

بعد قيامنا بالتحليل الكيميائي لعينة من الاسمنت قادمة من صوامع التخزين، قمنا كذلك بتحليل محتواها المعدني وكانت النتائج كما هو موضح في (الجدول 4)

#### جدول 4. التركيب المعدني للاسمنت.

CaO <sub>Free</sub>	C <sub>4</sub> AF	C <sub>3</sub> A	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> S	التركيب المعدني
1.6	10,62	8,38	12,12	67,37	CPI %

#### تفسير النتائج:

نلاحظ أن التركيب المعدني للاسمنت مطابق لمتطلبات المعيار NA 443/2002 والتي تتلخص في ما يلي:

- سيليكات الكالسيوم الثلاثية C<sub>3</sub>S: وهو أهم مكون في تركيبة الكلنكر البورتلاندي تتراوح نسبته فيه بين 50% و70%، فهو المسؤول عن المقاومة الميكانيكية على المدى القصير. حيث أن زيادة نسبته تؤدي إلى زيادة المقاومة الميكانيكية.
- سيليكات الكالسيوم الثنائية C<sub>2</sub>S: إنه أحد المكونات الرئيسية في الكلنكر تتراوح نسبته فيه من 5% إلى 25%، وهو المسؤول عن المقاومة الميكانيكية على المدى الطويل.
- ألومينات الكالسيوم الثلاثية C<sub>3</sub>A: يسرع تصلب الاسمنت، ويؤدي إلى انتشار قوي في الحرارة، تتراوح نسبته 2% إلى 12%.
- ألومينات الكالسيوم الرباعية الحديدية C<sub>4</sub>AF: ويعتبر منتجا خاملا لكنه يعطي للاسمنت اللون الرمادي، حيث تتراوح نسبته في الكلنكر من 0 إلى 15%.

## 3. الاختبارات الفيزيائية:

## 1.3. اختبار النعومة:

نعومة الاسمنت هي إحدى الشروط الأساسية لجودة هذا المنتج. تثبت التجارب والاختبارات أن هناك مجموعة من الخصائص الأخرى للاسمنت، كزمن النضج والمقاومة الميكانيكية التي ترتبط بشكل محدد بدرجة نعومة الطحن.[44] وهناك طريقتان لتحديد نعومة الاسمنت، وفقا لمعيار NA231:

- طريقة الغربلة (المنخل).
- طريقة نفاذية الهواء (طريقة بلين).

## 1.1.3. طريقة الغربلة:

إن الغرض من هذا الاختبار هو تعيين نعومة الاسمنت باستعمال منخل  $45\mu\text{m}$ ، حيث يجب التأكد من عدم وجود نسبة كبيرة من حبيبات العينة تحجز على هذا المنخل، فحبيبات الاسمنت ذات المقاس الأكبر من  $45\mu\text{m}$  لا تتفاعل كليا مع الماء، لذلك وجب التأكد من أن الاسمنت لا يحتوي على عدد كبير منها، فتحديد النسبة المثوية لقبول أو رفض الاسمنت بعد الطحن يسمح بضبط جودة الاسمنت.[45]

## طريقة العمل:

- تؤخذ عينة مقدارها 100g من الأسمنت.
- نضع منخل  $45\mu\text{m}$  في جهاز ألبين.
- نضع العينة الموزونة من الاسمنت في المنخل.
- نقوم بتشغيل الجهاز لمدة دقيقتين حتى يقوم بسحب حبيبات الاسمنت التي يسمح بمرورها عبر المنخل بواسطة الهواء.
- الجزيئات الموجودة فوق المنخل تمثل نسبة الرفض.

الشكل 6. جهاز ألبين مع ميزان ومنخل  $45\mu\text{m}$ .

## 2.1.3. طريقة بلين:

تهدف هذه الطريقة إلى تحديد المساحة السطحية لحبيبات عينة الاسمنت، ويتم قياسها باستخدام جهاز بلين وذلك بتحديد الوقت اللازم لمرور كمية محددة من الهواء عبر طبقة من الاسمنت ذات أبعاد ومسامية محددة.

[19]

## طريقة العمل:

- ← يتم خلط 10 g من عينة الاسمنت ورجها في زجاجة لمدة دقيقتين ليتفكك تماسكها، ثم تترك الزجاجة لتستقر لمدة دقيقتين.
- ← تؤخذ كمية من الاسمنت لتشكيل طبقة داخل الخلية ذات المسامية (0,500±0,005) للاسمنت البورتلاندي العادي.
- ← يتم ضغط كمية الاسمنت بين ورقتي ترشيح.
- ← يتم تحديد المساحة السطحية للعينة عن طريق حساب الزمن اللازم لمرور كمية من الهواء عبر طبقة الاسمنت، حيث كلما كان الاسمنت ناعما كانت المساحة السطحية كبيرة، وبالتالي فان مرور الهواء عبر طبقة الاسمنت يأخذ وقتا كبيرا، وكلما كانت حبيبات الاسمنت كبيرة كانت المساحة السطحية صغيرة بالتالي الفراغ بين الحبيبات يسمح بمرور الهواء بشكل أسرع أي يأخذ وقتا قليلا.
- حيث يتم حساب السطح المحدد لبلين بالعلاقة التالية:

$$S = \frac{K}{\rho} \times \frac{\sqrt{e^3}}{1-e} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0.1\eta}} (\text{cm}^2/\text{g})$$

حيث:

K: ثابت الجهاز.

e: المسامية.

t: الزمن مقاس بالثانية.

p: الكتلة الحجمية (g/cm<sup>3</sup>).

η: لزوجة الهواء عند درجة حرارة الاختبار المستخرجة من (الجدول 5) ب (pa.s).

إذا كانت المسامية = 0.500 و درجة حرارة الاختبار 20C°±2C° فإن العلاقة تصبح كالتالي:

$$S = \frac{524.2 \times K \times \sqrt{t}}{\rho} (\text{cm}^2/\text{g})$$

جدول 5. كثافة الزئبق ولزوجة الهواء بدلالة درجة حرارة غرفة الاختبار.

لزوجة الهواء (pa.s)		كثافة الزئبق (g/cm <sup>3</sup> )	درجة حرارة غرفة الاختبار (c°)
$\eta$	$\sqrt{0.1\eta}$		
0,00001800	0,001342	13,560	16
0,00001805	0,001344	13,560	17
0,00001810	0,001345	13,550	18
0,00001815	0,001347	13,550	19
0,00001819	0,001349	13,550	20
0,00001824	0,001351	13,540	21
0,00001829	0,001353	13,540	22
0,00001834	0,001354	13,540	23
0,00001839	0,001356	13,540	24



الشكل 7. جهاز بلين (المستعمل قديما).



الشكل 8. جهاز قياس النعومة بديل جهاز بلين القديم (المستعمل حديثا).

بعد اجراء الاختبار على عينة من الاسمنت كانت نتائج القياس موضحة في (الجدول 6).

جدول 6. نتائج قياس النعومة بواسطة المنخل وقياس السطح المحدد بلين.

المعيار	القيمة	التجربة
$\geq 2000$	3580	SSB(cm <sup>2</sup> /g)
$\leq 45$	15.42	%الرفض

#### تفسير النتائج:

تتوافق نتائج اختبار النعومة للعينة المختبرة مع المعيار الجزائري 442، ونلاحظ أن:

- النعومة خاصية مهمة تؤثر على مساحة السطح المحدد للاسمنت، حيث أن زيادتها تؤدي إلى تلامس كبير مع الماء وبالتالي تفاعل الاسمنت معه يكون سريعا.

#### 2.3. الكتلة الحجمية: [19]

الكتلة الحجمية، وتسمى أيضا كثافة حجم الكتلة، هي مقدار فيزيائي يميز كتلة عينة الاسمنت لكل وحدة حجم. ويرمز لها عموما بالرمز ( $\rho$ ) وحدتها هي  $\text{g/cm}^3$ .

ويهدف هذا الاختبار إلى:

- تحديد الكتلة الحجمية الظاهرية والمطلقة وحساب الفرق بينهما، مما يسمح بتحديد الوزن الفعلي للاسمنت المملوء في الأكياس.

◀ إذا كانت الكتلة الحجمية أكبر من 1 ( $>1$ الكثافة) فإن كيس الاسمنت يحتوي على كتلة أكبر من كتلته الفعلية وهي 50 Kg .

◀ إذا كانت الكتلة الحجمية أقل من 1 ( $<1$ الكثافة) فإن كيس الاسمنت يحتوي على كتلة أقل من كتلته الفعلية وهي 50 Kg .

### 1.2.3. تحديد الكتلة الحجمية الظاهرية: [22]

👉 الأجهزة:

- ميزان تقني عند 0.01 g .
- وعاء معدني سعة 1 L .
- مسطرة معدنية مسطحة.
- قمع بمنخل 0.2 cm .
- مجارف يدوية.
- منخل 0.2 cm .

👉 طريقة العمل:

- ◀ نقوم بوزن الوعاء المعدني على الميزان، ثم نقوم بالضغط على الزر Tare في الميزان (لحذف وزن الوعاء المعدني).
- ◀ نقوم بصب مسحوق الاسمنت باستخدام القمع في الوعاء دون ضغط في طبقات متتالية حتى الامتلاء.
- ◀ نقوم بتسوية الطبقة العليا من الوعاء باستخدام المسطرة المعدنية.
- ◀ نزن الوعاء المعدني الممتلئ، ولتكن كتلته M.



الشكل 9. الأدوات اللازمة من أجل قياس الكتلة الحجمية الظاهرية.

بعد اجراء الاختبار كانت النتائج المتحصل عليها لعينة من الاسمنت موضحة في (الجدول 7).

جدول 7. نتائج الكتلة الحجمية الظاهرية لعينة من الاسمنت.

$\rho = M/V \text{ (g/cm}^3\text{)}$	$V_0 = 1L \text{ (cm}^3\text{)}$	$M \text{ (g)}$	التجربة
1,127	1000	1127	$MV_{\text{apparente}}$

### 2.2.3. تحديد الكتلة الحجمية المطلقة: [22]

الأجهزة:

- بيكنوميتر.
- الأسيتون.
- ميزان تقني عند 0.01 g.

طريقة العمل:

- ◀ وزن 64g من الاسمنت.
- ◀ نملأ البيكنوميتر بالأسيتون حتى درجة 0 ( $V_0$ ) بعدها نضيف كتلة الاسمنت.
- ◀ بعد بضع ساعات، نقرأ التدريجة الجديدة الموافقة لمستوى الأسيتون ونسجل الحجم ( $V_1$ ).



الشكل 10. الادوات اللازمة من أجل قياس الكتلة الحجمية المطلقة.

نتائج الاختبار المتحصل عليها موضحة في (الجدول 8) التالي:

جدول 8. نتائج الكتلة الحجمية المطلقة.

$\rho = M/V \text{ (g/cm}^3\text{)}$	$V = V_1 - V_0$	$V_1$	$V_0$	$M \text{ (g)}$	التجربة
3,106	20.6	21,1	0,5	64	$MV_{\text{absolue}}$

نختزل قيم الكتلة الحجمية الظاهرية و المطلقة مرفوقة بالمعايير المرجعية في (الجدول 9) التالي:

جدول 9. الكتلة الحجمية.

المعيار	القيمة	التجربة
[0,9-1,2]	1,127	$MV_{\text{apparents}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$
[2,8-3,2]	3,106	$MV_{\text{absolue}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$

### تفسير النتائج:

- تظهر النتائج المتحصل عليها أن الكتلة الحجمية في نطاق المعايير الدولية المعمول بها وبشكل عام يمكن القول أن الكتلة الحجمية تعتمد على نعومة الاسمنت، وتحسب من أجل تخزينه في الأكياس.
- بما أن النتائج التجريبية أوضحت أن الكتلة الحجمية أكبر من 1 فإن كيس الاسمنت يتم ملؤه بكمية أكبر من وزنه الحقيقي (50 Kg).

### 4. اختبارات الرطوبة:

#### 1.4. تحديد القوام القياسي لعجينة الاسمنت:

يهدف هذا الاختبار الى تحديد كمية الماء المطلوبة لتكوين عجينة من الاسمنت، ذات القوام القياسي والتي تستخدم في اختبار زمن النضج. ويتم تحديدها باستخدام مسبار فيكات [46]. Vicat.

### تحضير العجينة:

- نقوم بوزن  $500 \pm 1$  g من الاسمنت المراد دراسته، ثم نضعه في الخلاط.
- نضيف إليه 134 g من الماء المقطر.
- نقوم بتشغيل الخلاط.
- نخلط حتى نحصل على عجينة الاسمنت.
- نفرغها في القالب لبداية الاختبار.



الشكل 11. جهاز VICAT والعجينة القياسية.

#### 2.4. تحديد زمن النضج (الابتدائي، النهائي):

تصلب (نضج) الاسمنت ليس مجرد عملية تجفيف للعجينة بعد إضافة الماء، بل هو مجموعة من التفاعلات الكيميائية المائية التي تسمح بتحول عجينة الاسمنت (المكونة من الاسمنت والماء) من الحالة السائلة (المرنة) إلى الحالة الصلبة (التصلب). [47] يتم قياس زمن التصلب على عجينة ذات قوام قياسي باستخدام إبرة فيكات، التي تغرق في قالب مخروطي مملوء بالعجينة القياسية، تترك في العجينة لمدة 30s حيث تقاس المسافة من أسفل القالب، ثم نستخرج الإبرة وتكرر العملية كل فترة زمنية تقدر بحوالي من 10 إلى 15 min. [48]

في مخبر الفيزياء لمصنع اسمنت حجار-السود، يتم استعمال جهاز قياس زمن النضج الآلي متعدد المواضع (prismetre automatique multiposte).

👉 زمن النضج الابتدائي: بداية النضج هي الفترة الزمنية التي تنقضي بين لحظة بدء الخلط ولحظة توقف إبرة

vicat على مسافة من أسفل القالب أكبر من  $4 \text{ mm} \pm 1$ .

👉 زمن النضج النهائي: هي الفترة التي تفصل بين بداية خلط الاسمنت حتى اللحظة التي لا تخترق فيها إبرة

المسبار العجينة.



الشكل 12. جهاز قياس زمن النضج الآلي متعدد المواضع.

بعد القيام بتحضير العجينة القياسية لعينة من الاسمنت مأخوذة من صوامع التخزين كانت نتائج القوام القياسي وزمن النضج كما هي موضحة في (الجدول 10).

جدول 10. نتائج قياس زمن النضج والقوام القياسي لعينة من الاسمنت.

المعيار	القيمة	العينات	
NA 230	6,7	القوام القياسي (mm)	
NA 230	165	زمن بداية النضج (min)	زمن النضج

	255	زمن نهاية النضج (min)	
--	-----	-----------------------	--

تفسير النتائج:

تتوافق قيم النتائج التي تحصلنا عليها مع المعايير، لذلك نلاحظ:

- أن القوام القياسي يرتبط بالعديد من المعاملات مثل نعومة الملاط، وطبيعة الاضافات الاسمنتية، وتراوح قيمته من 5 الى 7 mm.
- بالنسبة لزمن النضج يكون زمن بداية النضج أكبر من 90 min، وزمن نهاية النضج يجب أن يكون أكبر من 120min.

## 5. الاختبارات الميكانيكية:

### 1.5. اختبار مقاومة الضغط والانحناء: [49]

إن الهدف من هذا الاختبار هو تعيين قوة الانضغاط والانحناء لعجينة الاسمنت باستعمال عينات الاختبار (Eprouvettes)، حيث يتم قياسها عند يومين، 07 أيام و28 يوم.

تحضير عينات الاختبار (Eprouvettes):

- مكونات الملاط: حيث يتكون الملاط من رمل قياسي وعينة من الاسمنت بالإضافة الى الماء للخلط.
- الرمل: لتحضير الملاط المستعمل في تحضير عينات الاختبار، يتم استعمال رمل قياسي CEN ينتج في بلدان مختلفة (الرمل المستعمل في شركة حجار-السود منتج في فرنسا).



الشكل 13. رمل قياسي CEN.

**الاسمنت:** يتم أخذ عينات الاسمنت المراد اختبارها من صوامع التخزين، ويتم وضعها في أكياس (مصنوعة من مادة لا تتفاعل مع العينة) مملوءة بالكامل ومغلقة بإحكام حيث يجب ألا تتعرض للهواء، ويجب استعمالها في مدة أقصاها 24h بين وقت أخذ العينات ووقت الاختبار، حسب المعيار NA 254.

**الماء:** ماء مقطر.

■ **المعدات:** تشتمل المعدات على خلاط ميكانيكي، قالب لتشكيل العينات، جهاز صدمات وميزان إلكتروني.

**الخلاط:** يتكون الخلاط بشكل أساسي من وعاء بسعة 5 لتر ومضرب من الفولاذ المقاوم للصدأ مصنوعان بشكل نموذجي كما هو موضح في (الشكل 14).



الشكل 14. الخلاط.

**القالب:** يحتوي القالب على ثلاث حجرات أفقية للسماح بإعداد ثلاث قطع اختبار موشورية بقياس 40×40 mm في المقطع العرضي وطول 160 mm في وقت واحد.



الشكل 15. القالب.

**جهاز الصدمات:** جهاز يستعمل للقضاء على فقاعات الهواء وضغط الملاط في القوالب عن طريق الضرب.



الشكل 16. جهاز الصدمات.

#### طريقة العمل:

- نقوم بوزن 450 g من عينة الاسمنت المراد اختبارها و وزن 225 g من الماء المقطر (نسبة الماء إلى الأسمنت 0.50) و نصبها في الخلاط كما نضيف 1350 g من الرمل القياسي.
- ثم نقوم بتشغيل الخلاط حتى نحصل على عجينة متجانسة.
- نسكب الخليط في القالب باستخدام الملعقة ونضع القالب في آلة الصدمات لإخراج فقاعات الهواء.
- نكشط سطح القالب لتسويته من أجل الحصول على عينات اختبار متماثلة في الشكل و الحجم.
- بعد ذلك يوضع القالب في غرفة رطوبة بدرجة حرارة ( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) ورطوبة 90% لمدة 24 ساعة.
- بعد انقضاء 24 ساعة نقوم بفك القالب وحفظ قطع الاختبار في حمام مائي درجة حرارته  $20^\circ\text{C}$ ، لإجراء اختبار مقاومة الضغط والانحناء، حيث نستخدم عينة عند يومين وأخرى عند 7 أيام والثالثة عند 28 يوم. [8]



الشكل 17. خطوات تحضير عينات الاختبار

بعد الحصول على عينات الاختبار، وبعد أن تتصلب لمدة يومين نبدأ بإجراء أول اختبار باستعمال جهاز قياس

مقاومة الضغط والانحناء الموضحين في (الشكلين 18 و 19).



الشكل 18. جهاز اختبار مقاومة الضغط.



الشكل 19. جهاز اختبار مقاومة الانحناء.

👉 النتائج موضحة في الجدول التالي:

جدول 11. المقاومة الميكانيكية للضغط والانحناء.

مقاومة الانحناء			مقاومة الضغط			أيام الاختبار
28 يوم	07 يوم	02 يوم	28 يوم	07 يوم	02 يوم	
6,55	4,71	3,15	43,50	31,25	13,65	النتائج (Mpa)
≥ 6,5	≥ 4,5	≥ 3	≥ 42,5	≥ 30	≥ 12,5	المعيار NA 234

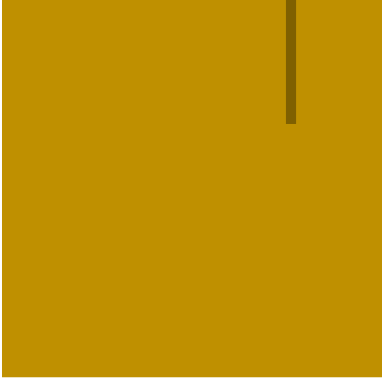
## تفسير النتائج:

وفقا للنتائج المتحصل عليها نلاحظ أن المقاومة في اسمنت حجار-السود مرتفعة، حيث تكون منخفضة عند أول يومين ولكن تزداد فيما بعد بشكل ملحوظ (بالنسبة للضغط و الانحناء)، وهذا راجع إلى:

- عند قياس المقاومة عند 07 أيام: ترجع الزيادة في المقاومة الميكانيكية للاسمنت الى ترطيب  $C_3S$  وهو المكون المعدني المسؤول عن المقاومة قصيرة المدى (07 أيام) في الاسمنت.
- عند قياس المقاومة عند 28 يوم: نرى بوضوح أن المقاومة ارتفعت و نفس ذلك بالترطيب الكامل لـ  $C_3A$  المسؤول عن تصلب الاسمنت وترطيب  $C_2S$  المسؤول عن المقاومة طويلة المدى للاسمنت.

## 6. خاتمة:

قدمنا في هذا الفصل دراسة تجريبية حول خصائص الاسمنت البورتلاندي الذي يتم صناعتهم في مصنع الاسمنت حجار السود، حيث قمنا باجراء تجارب واختبارات فيزيائية، كيميائية، وميكانيكية، لتحديد خواص هذا الاسمنت وضمن وجودته، حيث سلطنا في هذه الدراسة الضوء على أهمية مراقبة الجودة في الصناعة، وتوصيف الاسمنت المنتج في مصنع حجار السود، والذي أظهرت النتائج توافقها مع مواصفات القياسية. كما أكدنا من الدور الحيوي لمختبر مراقبة الجودة الذي أكد متوافق جميع مراحل الانتاج مع المواصفات القياسية لضمان الالتزام بالمعايير الجزائية لانتاج الاسمنت.



خاتمة عامة

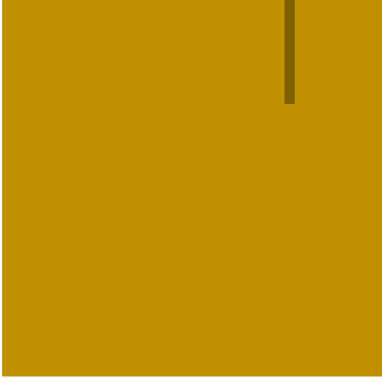
قمنا خلال عمل مذكرتنا بدراسة حول صناعة الاسمنت وتحديد صناعة الاسمنت البورتلاندي في مصنع الاسمنت حجار السود. تطرقنا خلال الجزء النظري للدراسة إلى تقديم نظرة عامة على صناعة الاسمنت، مراحل إنتاجه، تركيبه الكيميائي والمعدني ومختلف أصنافه. تطرقنا كذلك إلى التعريف بمصنع حجار السود (منطقة الدراسة) وقد تبين لنا أن مصنع حجار السود يتمتع بموقع جغرافي مهم قريب من السكة الحديدية والطريق السيار شرق غرب عصب الاقتصاد مما يسهل نقل الاسمنت عبر مختلف أنحاء الوطن وخاصة الموانئ لتصديره، إضافة إلى ذلك فالمصنع قريب جدا من محاجر الطين والجير (المكونات الأساسية للاسمنت)، حيث تزخر هذه الأخيرة بكميات هائلة من المواد الخام ذات الجودة والنقاوة العاليتين مما يقلل من تكاليف النقل والطاقة والإنتاج.

خلال الجزء التطبيقي الذي قمنا به داخل مصنع حجار السود، تطرقنا خلاله إلى متابعة جميع مراحل تصنيع الاسمنت وكذلك إلى مراقبة جودة المنتج من خلال إجراء مختلف التحاليل والاختبارات الكيميائية، الفيزيائية والميكانيكية لمختلف المواد الخام والكلنكر من أجل تصحيح النسب المكونة للمنتج وكذلك للاسمنت مع مقارنتها بالمعايير والمواصفات القياسية من أجل ضمان جودة المنتج. في معظم العينات التي قمنا بتحليلها كانت النتائج مطابقة للمعايير المعمول بها.

خلصنا من هذه الدراسة إلى أن تحليل ومراقبة جودة الاسمنت المنتج في مصنع حجار السود يمثل عنصرا حاسما في التصنيع. تم تطبيق العديد من التقنيات والإجراءات المتقدمة لضمان تلبية الاسمنت للمعايير الدولية والمحلية. أظهرت النتائج أن جودة المواد الخام، مثل الحجر الجيري والطفلة، تلعب دورا محوريا في تحديد جودة المنتج النهائي وفي تقليل كلفة الإنتاج. تطبيق تقنيات الإنتاج النظيفة ومراقبة الجودة يساهم في تقليل الأثر البيئي، مما يعزز من سمعة المصنع كمؤسسة مسؤولة بيئيا.

توصي الدراسة بالتركيز على تطوير أنواع جديدة من الاسمنت تتناسب مع متطلبات السوق والمشاريع الهندسية الحديثة، وتبني الابتكارات التكنولوجية مثل الذكاء الاصطناعي لتحسين جودة المنتج وكفاءة العمليات، واستكشاف أسواق جديدة لتوسيع نطاق التصدير.

وختاما، نأمل أن تكون هذه الدراسة قد أضافت قيمة ملموسة تساهم في إثراء مكتبة المدرسة العليا للأساتذة وأن تعود بالنفع على طلبة المدرسة.



المراجع

- [1] م. أ. أ. الأمين علي الله، م. ع. م. عبده، و. ي. م. و. غالب، "دراسة تحليلية لحل مشكلة الغبار بشركة اسمنت عبطرة"، بكالوريوس الشرف في الهندسة الميكانيكية، جامعة البحر الأحمر، 2006.
- [2] S. Hrache, "Caractérisation physico-chimique du ciment de la cimenterie d'échchlef," mémoire Licence professionnelle, Université Akli Mohand Oulhadj-Bouira, 2020.
- [3] S. Moumene et G. Athamnia, "Ciment et cimenteries en Algérie : production et normalisation," mémoire de master, Université de Guelma Faculté des Sciences et de la Technologie, 2013.
- [4] مجلي، فواز. كيمياء صناعة الإسمنت، 2017.
- [5] أ. ج. ر. الهيتي، "طبيعة المواد الأولية وتأثيرها على كلنكر الإسمنت"، شهادة البكالوريوس في علوم الأرض، جامعة الموصل، 2011.
- [6] ع. ع. م. بلاوالي، "انتاج الإسمنت بالطريقة الجافة"، الطبعة الثانية، دار الكتب والوثائق العربية، رقم الإيداع 2313، 2018.
- [7] J. Vecoven (Holcim), "L'industrie du ciment donné générales," ATILH, Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques, École thématique « Matériaux cimentaires » du 25 au 30 septembre 2005.
- [8] N. Tebina, "Impact finesse de ciment sur le temps de prise et le durcissement du mortier," Mémoire de Master, Univ. Mohamed Khider de Biskra, 2022.
- [9] H. W. W. Pollitt, "Raw materials and processes for Portland cement manufacture," in H. F. W. Taylor, The Chemistry of Cements, vol. 1, New York: Academic Press, Inc., 1964, pp. 27-48.
- [10] "التقييم التطبيقي للألات والمعدات – المشروع التكميلي (405)"، الهيئة السعودية للمقيمين المعتمدين، 2024.
- [11] F. Z. Hasni and A. El-Bouslemti, "Influence de la composition minéralogique du clinker sur la qualité de ciment", mémoire DEUA en chimie industrielle, Département de chimie, Université Abou-BakrBelkaïd, 25 novembre 2007, pp. 7-8.
- [12] قاسم عبد الكريم، "صناعة الاسمنت في المملكة العربية السعودية". الرياض، السعودية: جدوى للاستثمار، 2008.
- [13] J. Hart, "Ciment plus d'ambition pour moins d'émissions," 2022.
- [14] S. Achraf, "Caractérisation physico-mécanique d'un liant hydraulique à base de poudre de

verre," mémoire de master, Université 8 mai 1945 de Guelma," 2021.

[15] C. H. Spencer, "Mémento roches et minéraux industriels matériaux pour ciment," Ministry of Industry, Posts and Telecommunications, and Foreign Trade, 1990, Study conducted as part of the public service actions of BRGM.

[16] W. Kasraoui et K. Aklouche, "Impact de clinker altéré sur les performances du ciment," Mémoire de master 2, Université Saad Dahlab Blida 1, 2022.

[17] B. BOUNABE AYACHE; « Automatisation du stackeur et le moteur four; » Rapport de stage à ERCE et SCHB. Université de Paul Cézanne Aix Marseille 3, 2006-2007.

[18] H. W. Schafer, "Assessment of raw materials for the cement industry," Reprint from the Journal "World Cement," vol. 7, pp. 273-283, Cement and Concrete Association, London, 1987.

[19] A. Ghermaoui, "Effets de certains métaux sur les propriétés physico-chimiques des mortiers de ciment de Béni-Saf sans ou avec ajout de pouzzolane," Mémoire de Master, Université Abou-Bekr Belkaid - Tlemcen.

[20] H. W. W. Pollitt, "Raw materials and processes for Portland cement manufacture," in H. F. W. Taylor, The Chemistry of Cements, vol. 1, New York: Academic Press, Inc., 1964, pp. 27-48.

[21] B. Kohlhaas et al., "Cement Engineer's Handbook," fourth English edition, translated by C. Van Amerogen from the sixth German edition, Bauverlag GmbH, Wiesbaden and Berlin, 1983.

[22] C. Aichour, C. Bara, S. Djellab, "Méthode d'élaboration et de caractérisation de ciment portland de la Société de Hadjar-Soud," Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur d'Enseignement Secondaire, École Normale Supérieure de l'Enseignement Technologique-Skikda, 2022.

[23] A. A. Ahmed, "Chemical composition of Portland cement," Al Mustansiriyah University.

[24] H. Alhamwi, "Technology of Construction Materials Industry," Madenat Alelem University College, 2022.

[25] Intergovernmental Panel on Climate Change. (n.d.). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Retrieved from [<https://www.ipcc->

nggip.iges.or.jp/public/gp/arabic/](<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/arabic/>)

[26] A. H. Ali, "Building & Construction Technology Engineering Department," Al-Mustaqbal University, 2022.

[27] L. A. Al-Jaberi and S. R. Al Taei, "Types of Portland Cement," Lecture 7, Al Mustansiriyah University.

[28] علاق ياسين، "أثر التصنيع في بيئة الإقليم والتنمية المحلية: نماذج حول مصانع الاسمنت بالجزائر"، شهادة دكتوراه في العلوم الاقتصادية، جامعة الجزائر، 2019.

[29] Ministère de l'Industrie et de la Production Pharmaceutique, "Les réalisations majeures du secteur cimentier," [En ligne]. Disponible:

<https://www.industrie.gov.dz/en/%D8%A3%D9%87%D9%85%D8%A7%D9%86%D8%AC%D8%A7%D8%B2%D8%A7%D8%AA%D9%82%D8%B7%D8%A7%D8%B9%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%B3%D9%85%D9%86%D8%AA/>. [Accès: 05-Mai-2024].

[30] Groupe Industriel des Ciments d'Algérie, "Accueil," gica.dz, 2024. [En ligne]. Disponible:

<https://www.gica.dz/>. [Accès: 24-Avril-2024].

[31] Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (GICA), GICA. [En ligne]. Disponible sur:

<https://www.gica.dz/ciments/>. [Consulté: 05-Mai-2024].

[32] A. Saâdeddine, "Zaghdar, complexe Cimenterie Gica prend 50% de parts", \*Echorouk Online\*, [En ligne]. Available: <https://www.echoroukonline.com/50-زغدار-مجمع-جيكا-للاسمنت-يسيطر-على-حصة-50>.

Accédé le 20 Avril 2024.

[33] GICA Groupe Industriel des Ciments d'Algérie, « GICA : Leader incontesté des ciments en Algérie »,

La Patrie News, 08-juin-2024. [En ligne]. Disponible sur : <https://lapatrienews.dz/gica-groupe-industriel-des-ciments-dalgerie-leader-inconteste-des-ciments-en-algerie/>. Consulté le : 08-juin-2024.

[34] APS, "Économie - APS," [En ligne]. Disponible sur : <https://www.aps.dz/ar/economie/95216-2020-11-03-11-19-14>.

Consulté le : 31-Mars-2024.

[35] L'ERCE Ciment et Dérivés, "Revue technique de l'entreprise," N° 4, août 1995, p. 3.

[36] حمو، جميلة. "التصنيع في الجزائر وأثره على البيئة: دراسة حالة مؤسسة إنتاج الإسمنت"، مذكرة ماجستير في

العلوم التجارية، جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم، 2011.

[37] Société des Ciments de Hadjar-Soud (SCHS). "À propos de la SCHS." Disponible en ligne:

<https://www.schs.dz/Apropos> . Consulté le 05- Mai-2024.

[38] وثائق داخلية لمؤسسة الاسمنت حجار السود (سكيكدة) SCHS (المديرية الفرعية للمستخدمين).

[39] N. Ziat, "Etude des caractéristiques physiques et mécaniques du ciment Portland," Mémoire de Magister, Département de Technologie Chimique Industrielle, Université de Bouira, 2020.

[40] Lafarge Ciments Centre de Viviers, Service formation, « Document, » Algérie, juin 2014.

[41] NA 5042, « Méthodes d'essais des ciments, analyse chimique du ciment. »

[42] F. Chouikh, « Etude physicochimique du ciment, » mémoire online, Université de Jijel Algérie, 2007.

[43] S. Bouregaya, "Synthèse d'un ciment alitique à moindre impact environnemental à partir de vase de barrage et utilisant le sulfate de zinc comme minéralisateur," Doctoral dissertation, Université de Toulouse, 2018.

[44] M. Ben Hamza, « Etude d'un système automatique par un filtre à manche de cimenterie par S7-300, » Mémoire Magister, Université Mohamed Khider Biskra, 2018.

[45] NA 231, « Méthodes d'essais des ciment, détermination de la finesse, » 2010.

[46] NA 230, « Méthodes d'essais des ciments, détermination du temps de prise et de la stabilité, » 2010.

[47] M. Ghomari and Mme Bendi-Ouisa, « Consistance normale & prise, » Université AboubekrBelkaid Tlemcen, 2008.

[48] C. Bourroubey, « Influence de la perlite naturelle sur les résistances mécaniques des mortiers, » mémoire de fin d'étude en master, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2019.

[49] NA 234, « Méthodes d'essais des ciments, détermination des résistances, » 2018.