مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و ششم، شمارهٔ اول، بهار ۹۷، از صفحهٔ ۱۰۳ تا ۱۱۴

انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

بررسی کانی شناسی، ژئوشیمی و تصاویر SEM کلینکر و سیمان پرتلند تولید شده در کارخانه سیمان ارومیه، استان آذربایجان غربی

زهرا احمدی*

گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(دریافت مقاله: ۹۵/۱۲/۱۵، نسخه نهایی: ۹۶/۴/۴)

چکیده: در این پژوهش کانی‌شناسی، ژئوشیمی و تصاویر SEM کلینکر و سیمان پرتلند کارخانه‌ی سیمان ارومیه با استفاده از مقاطع صیقلی و تصاویر SEM کلینکر و نیز آنالیز شیمیایی سیمان و کلینکر به روش XRF در آزمایشگاه شیمی کارخانه سیمان ارومیه بررسی شد. شاخص‌های بوگه محاسبه شدند و برای مقایسه‌ی سیمان و کلینکر ارومیه با استاندارد جهانی از شاخص اشباع آهک، نسبت سیلیس و آلومینیوم نیز استفاده و موقعیت کلینکر و سیمان‌های پرتلند در نمودارهای فازی مختلف نشان داده شد. نتایج نشان دهنده‌ی وجود فازهای آلیت، بلیت، کوارتز و آلومینات در مقاطع صیقلی است، سوخت لازم از نوع میادین گازی است، سرعت بالا رفتن گرما در کوره و سرعت سرد شدن کلینکر ضعیف است، پخت کلینکر در زمان نسبتاً طولانی صورت گرفت و معلوم شد کلینکر و سیمان پرتلند نوع ۲ ارومیه با استاندارد کلینکر و سیمان جهان همخوانی دارند.

واژه‌های کلیدی: *کانی شناسی؛ ژئوشیمی؛ SEM؛ کلینکر؛ سیمان پرتلند و ارومیه.*

مقدمه

سیمان به عنوان یک کالای صنعتی با بیش از یکصد سال عمر از ضروری‌ترین محصول برای آبادانی است در حالت کلی سیمان ماده‌ای است که با قرار گرفتن روی سطح جامد، آنها را به همدیگر می‌چسباند. به عبارت مشخص‌تر سیمان پودری است که در مجاورت آب خاصیت پلاستیکی پیدا می‌کند و به شکل ماده‌ای نرم و خمیری، ضمن خشک‌شدن سخت می‌شود و برای اتصال آجر و سنگدانه‌ها در ساختمان سازی کاربرد دارد [۱]. آنچه به عنوان یک نکته کلیدی در راهبری واحدهای تولید سیمان مطرح است کنترل کیفیت این محصول است و آنچه در این امر می‌تواند کارساز باشد مطالعه‌ی محصول با استفاده از دانش میکروسکپی و پتروگرافی است [۲]. نارسایی-های موجود در روابط محاسباتی فازهای کلینکر و عدم توانایی این روابط در تعیین مقادیر فازهای کلینکر صنعتی باعث شده که در بسیاری از کشورها مطالعات میکروسکپی کلینکر به عنوان یکی از ابزارهای اساسی در کنترل کیفی سیمان به کار رود. مطالعات میکروسکپی غالباً دلایل آشفتگی را که ممکن است در ساختمان کلینکر باشد و شواهدی از نوع تشکیل و توزیع فازهای کلینکر را مشخص می‌کند همچنین می‌تواند مشخص کننده‌ی درجه‌ی پخت، میزان و نحوه‌ی سرد شدن، همگن یا ناهمگن بودن موادخام اولیه، نوع سوخت مصرفی و غیره را بیان کند [۲]. ترکیب بهینه مینرالوژی موادخام سیمان عمدتاً به ترتیب مقدار عبارتند از: کلسیت، کوارتز و فلدسپات (مینرال‌های اصلی) و مینرال‌های فرعی مواد خام را عمدتاً کانی‌های رسی تشکیل می‌دهند [۲]. سنگ آهک یکی از اصلی‌ترین مواد اولیه است [۲]. برای تولید سیمان ابتدا مصالح خام آسیاب شده و با نسبت‌های مورد نظر با هم مخلوط می-شوند و سپس در کوره تا دمای ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد پخته می‌شوند تا به صورت جوش در آیند [۳]. در این فرایند آب و گازهایی آزاد شده و ترکیب شیمیایی جدیدی تولید می‌شود که

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۷۱۹۶۱۳۲۸، پست الکترونیکی:zahraahmadipetrology94@gmail.com

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.1.103]

به صورت گلوله‌های کوچک به رنگ سیاه تا قهوه‌ای با قطر ۱۲/۵ میلیمتر است که کلینکر نامیده می‌شود [۴] کلینکر به همراه ۵ درصد گچ (به منظور کنترل گیرش آن) ساییده می‌شود تا نرمی مطلوب حاصل گردد و پودر حاصل همان سیمان می‌باشد [۵] (جدول ۱).

سیمان دارای ۴ تشکیل دهنده اصلی است که عبارتند از: درصد هر یک از ترکیب‌های شیمیایی فوق در محصول نهایی بستگی به مشخصه‌های مورد نظر مثل سرعت گیرش، گرمای گیرش و میزان مقابله با حملات شیمیایی دارد [۶].

در این پژوهش کانی‌شناسی و تصاویر SEM کلینکر تولید شده در کارخانه سیمان ارومیه، همچنین ترکیب شیمیایی سیمان پرتلند پوزولانی و سیمان پرتلند تیپ ۲ این کارخانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که کلینکرهای تولیدی در این کارخانه متشکل از فازهای آلیت (حدود ۵۵ درصد)، بلیت (حدود ۲۵ درصد) و کوارتز (حدود ۱۰ درصد) می‌باشند و فاز آلومینات نیز ماتریکس یا زمینه را تشکیل می‌دهد (حدود ۱۰ درصد). فاز آلیت و سپس بلیت فراوان‌ترین فازهای تشکیل دهنده کلینکرهای تولیدی در این کارخانه می‌باشند همچنین تصاویر SEM تهیه شده از کلینکرهای این کارخانه نیز تایید کننده‌ی فراوانی فاز آلیت و سپس بلیت می‌باشند. براساس ویژگی‌های میکروسکپی مشاهده شده از کلینکرهای کارخانه سیمان ارومیه و مقایسه‌ی آنها با طبقه‌بندی‌ها و جداول استاندارد مربوط به بررسی شرایط پخت کلینکر [۵] مشخص گردید که سوخت لازم از نوع میادین گازی است، سرعت بالا رفتن حرارت در طول کوره و سرعت سرد شدن کلینکر ضعیف است و زمان پخت کلینکر در مدت زمان نسبتاً طولانی صورت گرفته است همچنین مقایسه‌ی کلینکر و سیمان پرتلند پوزولانی و سیمان پرتلند تیپ ۲ تولیدی در کارخانه سیمان ارومیه با استاندارد کلینکر و سیمان جهان [۷] نشان می‌دهد که کلینکر و سیمان پرتلند تیپ ۲ تولیدی در کارخانه سیمان ارومیه با استاندارد جهانی مطابقت دارند اما سیمان پرتلند پوزولانی این کارخانه به دلیل وجود مقدار بالای سیلیس در ترکیب پوزولان مورد استفاده برای تولید این تیپ سیمان (حدود ۲۷/۵۸ درصد) با استاندارد جهانی سیمان مطابقت ندارد و در صورت استفاده از پوزولان طبیعی با مقدار سیلیس کمتر جهت تولید این نوع سیمان، سیمان پرتلند پوزولانی کارخانه سیمان ارومیه نیز در محدوده‌ی استاندارد جهانی سیمان قرار خواهد گرفت.

روش مطالعه

به منظور مطالعات میکروسکپی کلینکرهای کارخانه سیمان ارومیه، تعداد ۸ مقطع صیقلی از کلینکرهای تولید شده در خط تولید ۲ این کارخانه در آذرماه ۱۳۹۵ تهیه و توسط میکروسکپ پلاریزان انعکاسی مدل Olympus BH2-UMA در آزمایشگاه زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه تبریز مورد مطالعه قرار گرفت. تصاویر SEM مربوط به ۲ نمونه از کلینکرهای کارخانه سیمان ارومیه توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی مدل MIRA3 FEG-SEM با قدرت بزرگ‌نمایی یک میلیون برابر و ولتاژ ۳۰ کیلو ولت در مرکز تحقیقات علوم پایه دانشگاه تبریز تهیه شد، همچنین آنالیز شیمیایی کلینکر، سیمان پرتلند تیپ ۳۲۵-۱، سیمان پرتلند تیپ ۴۲۵-۱، سیمان پرتلند پوزولانی و سیمان پرتلند تیپ ۲ جهت تعیین ۱۰ اکسید اصلی، توسط دستگاه XRF مدل ARL Perform, X با حد آشکارسازی ۰/۰۱ درصد در آزمایشگاه شیمی کارخانه سیمان ارومیه انجام گرفت (جدول‌های ۲ تا ۴). برای محاسبه‌ی ترکیب فازهای کلینکر، سیمان پرتلند پوزولانی و سیمان پرتلند تیپ ۲ بر اساس مقادیر حاصل از آنالیز شیمیایی، از روابط بوگه [۸] استفاده گردید.

جدول ۱ ترکیب شیمیایی سیمان [۵].

نام	نماد شیمیایی	ترکیب شیمیایی
تری کلسیم سیلیکات	C3S	$3CaO.SiO_2$
دی کلسیم سیلیکات	C2S	$2CaO.SiO_2$
تری کلسیم آلومینات	C3A	$3CaO.Al_2o_3$
فریت	C4AF	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.1.103]

جدول ۲ نتایج بررسی شیمیایی سیمان تیپ ۴۲۵-۱ (به روش XRF) در آزمایشگاه شیمی کارخانه سیمان ارومیه بر حسب درصد.

اکسید ها	کلینکر سیمان	سیمان ۴۲۵-۱ نرمال	سیمان۳۲۵-۱
SiO_2	۲۲٫۰۰	۲۰٫۹۲	۲۱٫۹۰
Al_2O_3	۵٫۴۵	۴٫۸۵	۵٫۱۱
Fe_2O_3	۳٫۰۱	۲٫۸۴	۲٫۸۱
CaO	۶۴٫۱۱	۶۳٫۲۵	۶۳٫۰۰
MgO	۱٫۸۲	۱٫۵۸	۱٫۷۱
SO_3	۰٫۷۸	۲٫۶۳	۲٫۳۰
K_2O	۰٫۹۰	۱٫۰۸	۰٫۸۴
Na_2O	۰٫۳۰	۰٫۳۰	۰٫۲۳
CL^-	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱
L.O.I	۰٫۱۰	۲٫۲۵	۲٫۲۰
Free Lime	۰٫۷۰	۱٫۰۱	۱٫۲۰

جدول ۳ نتایج بررسی شیمیایی سیمان نوع پرتلند پوزولانی به روش XRF، درآزمایشگاه شیمی کارخانه سیمان ارومیه، بر حسب درصد.

Days	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	Cl^-	L.O.I	Total
۱	۲۷٫۴۹	۴٫۶۰	۲٫۸۸	۵۴٫۷۰	۱٫۸۱	۲٫۳۹	۰٫۲۷	۱٫۰۲	۰٫۰۲	۴٫۸۵	۱۰۰٫۰۳
۲	۲۸٫۰۰	۴٫۵۰	۲٫۹۲	۵۴٫۱۰	۱٫۶۹	۲٫۷۵	۰٫۲۵	۱٫۰۰	۰٫۰۲	۵٫۱۵	۱۰۰٫۳۸
۳	۲۸٫۶۳	۵٫۲۱	۲٫۹۲	۵۳٫۵۳	۱٫۴۵	۲٫۴۹	۰٫۲۳	۰٫۹۵	۰٫۰۲	۴٫۱۲	۹۹٫۵۵
۴	۲۶٫۶۶	۴٫۴۸	۲٫۸۰	۵۶٫۴۸	۱٫۶۹	۲٫۴۰	۰٫۲۸	۱٫۱۲	۰٫۰۲	۳٫۷۰	۹۹٫۶۳
۵	۲۸٫۳۸	۴٫۵۲	۲٫۹۲	۵۴٫۲۰	۱٫۶۹	۲٫۴۸	۰٫۳۳	۱٫۰۶	۰٫۰۲	۴٫۶۵	۱۰۰٫۲۵
۶	۲۷٫۷۴	۵٫۳۳	۲٫۷۴	۵۴٫۵۰	۱٫۹۵	۲٫۴۰	۰٫۲۱	۰٫۹۳	۰٫۰۲	۴٫۴۷	۱۰۰٫۲۹
۷	۲۸٫۲۸	۴٫۵۸	۲٫۸۰	۵۴٫۳۲	۱٫۶۹	۲٫۵۵	۰٫۳۰	۱٫۰۶	۰٫۰۲	۴٫۸۸	۱۰۰٫۴۸
۸	۲۷٫۱۴	۴٫۳۸	۲٫۹۲	۵۵٫۹۲	۱٫۸۱	۲٫۴۳	۰٫۲۳	۱٫۰۵	۰٫۰۲	۴٫۲۸	۱۰۰٫۱۸
۹	۲۷٫۳۳	۵٫۰۰	۲٫۸۰	۵۵٫۵۴	۱٫۶۹	۲٫۳۸	۰٫۲۳	۱٫۰۷	۰٫۰۳	۳٫۴۸	۹۵٫۵۵
۱۰	۲۷٫۵۲	۴٫۶۰	۲٫۹۲	۵۵٫۴۷	۱٫۴۵	۲٫۳۹	۰٫۲۳	۱٫۰۰	۰٫۰۲	۴٫۳۲	۹۹٫۹۲
۱۱	۲۷٫۸۴	۵٫۱۴	۲٫۷۴	۵۴٫۸۵	۱٫۸۱	۲٫۴۸	۰٫۲۳	۰٫۹۵	۰٫۰۳	۳٫۷۵	۹۹٫۸۲
۱۲	۲۶٫۱۲	۴٫۲۶	۲٫۸۴	۵۶٫۹۰	۱٫۸۱	۲٫۹۱	۰٫۲۶	۰٫۹۹	۰٫۰۱	۳٫۷۶	۹۹٫۸۶
۱۳	۲۶٫۱۸	۴٫۹۸	۲٫۷۶	۵۶٫۲۰	۱٫۸۰	۲٫۷۹	۰٫۱۹	۱٫۰۵	۰٫۰۱	۳٫۸۴	۹۹٫۸۰
۱۴	۲۷٫۹۶	۵٫۶۲	۲٫۸۴	۵۵٫۳۰	۱٫۶۰	۲٫۳۶	۰٫۲۱	۰٫۸۴	۰٫۰۲	۳٫۲۱	۹۹٫۹۶
۱۵	۲۸٫۳۴	۵٫۴۵	۲٫۹۲	۵۴٫۸۸	۱٫۴۵	۲٫۲۹	۰٫۲۱	۰٫۹۰	۰٫۰۲	۳٫۶۳	۱۰۰٫۰۹
۱۶	۲۷٫۳۲	۴٫۴۲	۲٫۸۰	۵۵٫۷۲	۱٫۶۹	۲٫۴۷	۰٫۲۳	۱٫۰۳	۰٫۰۲	۳٫۸۹	۹۹٫۵۹
۱۷	۲۵٫۵۲	۴٫۷۵	۲٫۹۲	۵۶٫۳۴	۱٫۹۵	۲٫۸۵	۰٫۲۳	۱٫۰۳	۰٫۰۲	۳٫۹۵	۹۹٫۵۶
۱۸	۲۷٫۴۶	۵٫۳۴	۲٫۶۰	۵۵٫۱۴	۱٫۸۰	۲٫۵۰	۰٫۲۷	۱٫۱۳	۰٫۰۲	۳٫۸۳	۱۰۰٫۰۹
۱۹	۲۷٫۱۵	۵٫۱۲	۲٫۸۲	۵۵٫۲۷	۱٫۶۹	۲٫۴۵	۰٫۲۵	۱٫۱۱	۰٫۰۳	۳٫۷۴	۹۹٫۶۳
۲۰	۲۷٫۸۲	۴٫۳۶	۲٫۹۰	۵۵٫۳۲	۱٫۸۱	۲٫۵۳	۰٫۲۷	۱٫۰۹	۰٫۰۲	۴٫۱۲	۱۰۰٫۲۴
۲۱	۲۷٫۱۸	۵٫۰۸	۲٫۹۲	۵۵٫۱۳	۱٫۸۱	۲٫۵۵	۰٫۲۸	۱٫۱۵	۰٫۰۲	۳٫۴۵	۹۹٫۵۷
۲۲	۲۶٫۹۶	۴٫۵۶	۲٫۸۰	۵۵٫۸۸	۱٫۶۹	۲٫۴۸	۰٫۳۰	۰٫۹۹	۰٫۰۲	۴٫۳۲	۱۰۰٫۰۰
۲۳	۲۷٫۴۵	۵٫۱۸	۲٫۹۲	۵۵٫۰۶	۱٫۴۵	۲٫۶۳	۰٫۲۷	۱٫۱۲	۰٫۰۳	۳٫۵۳	۹۹٫۶۴
۲۴	۲۷٫۲۳	۴٫۷۴	۲٫۹۲	۵۵٫۵۵	۱٫۴۵	۲٫۳۳	۰٫۲۴	۰٫۹۷	۰٫۰۳	۴٫۱۱	۹۹٫۵۷
۲۵	۲۶٫۲۳	۴٫۵۶	۲٫۷۴	۵۶٫۵۵	۱٫۸۱	۲٫۴۸	۰٫۲۳	۱٫۱۲	۰٫۰۱	۴٫۲۵	۹۹٫۹۸
۲۶	۳۰٫۹۰	۴٫۸۴	۳٫۰۴	۵۲٫۶۴	۱٫۶۹	۲٫۳۴	۰٫۲۱	۰٫۸۵	۰٫۰۲	۳٫۵۹	۱۰۰٫۱۲
۲۷	۲۹٫۷۸	۵٫۱۸	۲٫۹۶	۵۳٫۰۰	۱٫۴۵	۲٫۴۸	۰٫۲۲	۰٫۸۷	۰٫۰۲	۳٫۷۴	۹۹٫۷۰
۲۸	۲۷٫۴۲	۵٫۱۰	۳٫۱۲	۵۵٫۲۰	۱٫۸۰	۲٫۶۷	۰٫۲۸	۰٫۸۶	۰٫۰۲	۳٫۶۳	۱۰۰٫۱۰
۲۹	۲۶٫۱۴	۴٫۶۲	۲٫۹۲	۵۶٫۳۲	۱٫۶۹	۲٫۵۳	۰٫۲۱	۱٫۱۴	۰٫۰۲	۴٫۹۰	۱۰۰٫۴۹
۳۰	۲۸٫۸۷	۵٫۱۳	۳٫۰۰	۵۳٫۷۴	۱٫۶۹	۲٫۴۲	۰٫۲۵	۰٫۹۲	۰٫۰۲	۳٫۹۶	۱۰۰٫۰۰
Ave.	۲۷٫۵۸	۴٫۸۶	۲٫۸۷	۵۵٫۱۰	۱٫۷۰	۲٫۵۲	۰٫۲۵	۱٫۰۱	۰٫۰۲	۴٫۰۳	۹۹٫۹۴
Max	۳۰٫۹۰	۵٫۶۲	۳٫۱۲	۵۲٫۶۴	۱٫۹۵	۲٫۹۱	۰٫۳۳	۱٫۱۵	۰٫۰۲	۵٫۱۵	۱۰۸٫۰۵
Min	۲۵٫۵۲	۴٫۲۶	۲٫۶۰	۵۶٫۹۰	۱٫۴۵	۲٫۲۹	۰٫۱۹	۰٫۸۴	۰٫۰۱	۳٫۲۱	۹۳٫۰۱

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.1.103]

جدول ۴ نتایج بررسی شیمیایی سیمان نوع ۲ به روش XRF در آزمایشگاه شیمی کارخانه سیمان ارومیه، بر حسب درصد.

Days	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	Cl^-	L.O.I	Total
۱	۲۰٫۱۲	۴٫۷۸	۳٫۰۰	۶۳٫۲۵	۱٫۸۱	۲٫۹۶	۰٫۱۷	۱٫۱۲	۰٫۰۲	۲٫۸۳	۱۰۰٫۰۶
۲	۲۰٫۷۴	۴٫۹۲	۳٫۰۰	۶۳٫۴۴	۱٫۸۱	۲٫۴۷	۰٫۲۳	۰٫۹۱	۰٫۰۲	۲٫۶۸	۱۰۰٫۲۲
۳	۱۹٫۸۸	۴٫۶۶	۲٫۹۶	۶۳٫۴۴	۱٫۸۱	۲٫۷۵	۰٫۲۲	۱٫۰۸	۰٫۰۲	۲٫۹۵	۹۹٫۷۷
۴	۲۰٫۲۰	۴٫۸۲	۲٫۹۲	۶۳٫۳۴	۱٫۶۹	۲٫۹۴	۰٫۲۴	۱٫۱۸	۰٫۰۳	۲٫۸۰	۱۰۰٫۱۶
۵	۲۰٫۰۸	۴٫۷۴	۲٫۸۰	۶۳٫۲۵	۱٫۸۰	۲٫۷۵	۰٫۱۹	۱٫۱۳	۰٫۰۳	۲٫۷۴	۹۹٫۳۳
۶	۱۹٫۶۸	۴٫۷۴	۳٫۱۲	۶۲٫۸۸	۱٫۸۰	۲٫۹۴	۰٫۳۳	۱٫۱۴	۰٫۰۳	۲٫۸۵	۱۰۲٫۲۴
۷	۲۰٫۶۵	۵٫۲۰	۲٫۸۴	۶۳٫۲۰	۱٫۶۹	۲٫۶۵	۰٫۲۴	۰٫۸۸	۰٫۰۱	۲٫۷۲	۱۰۰٫۰۸
۸	۱۹٫۸۴	۴٫۹۲	۳٫۲۰	۶۳٫۰۰	۱٫۶۹	۲٫۸۸	۰٫۲۳	۱٫۱۰	۰٫۰۳	۲٫۹۶	۹۹٫۸۵
۹	۲۰٫۷۰	۴٫۹۶	۲٫۹۶	۶۳٫۴۰	۱٫۴۵	۲٫۵۲	۰٫۲۵	۰٫۹۱	۰٫۰۱	۲٫۷۵	۹۹٫۹۱
۱۰	۱۹٫۸۲	۴٫۶۶	۳٫۲۰	۶۳٫۷۴	۱٫۸۰	۲٫۵۴	۰٫۱۴	۰٫۹۳	۰٫۰۲	۲٫۷۵	۹۹٫۶۰
۱۱	۱۹٫۹۲	۴٫۸۰	۳٫۱۲	۶۳٫۴۴	۱٫۶۹	۳٫۰۰	۰٫۲۴	۱٫۰۰	۰٫۰۳	۲٫۸۶	۱۰۰٫۱۰
۱۲	۲۰٫۰۲	۴٫۸۸	۳٫۰۰	۶۳٫۱۶	۱٫۸۰	۲٫۹۲	۰٫۲۴	۱٫۰۳	۰٫۰۳	۳٫۰۰	۱۰۰٫۰۸
۱۳	۱۹٫۸۰	۴٫۶۰	۳٫۰۰	۶۳٫۵۱	۱٫۶۰	۲٫۸۷	۰٫۲۹	۱٫۰۶	۰٫۰۲	۲٫۸۲	۹۹٫۵۷
۱۴	۲۰٫۱۲	۴٫۸۲	۲٫۹۶	۶۳٫۳۸	۱٫۸۰	۲٫۸۴	۰٫۲۷	۱٫۱۳	۰٫۰۲	۲٫۷۱	۱۰۰٫۰۵
۱۵	۲۰٫۸۸	۵٫۰۸	۳٫۱۲	۶۳٫۳۲	۱٫۸۱	۲٫۳۳	۰٫۲۱	۰٫۹۹	۰٫۰۲	۲٫۵۵	۱۰۰٫۳۱
۱۶	۲۰٫۷۴	۴٫۷۴	۲٫۹۲	۶۳٫۴۲	۱٫۴۵	۲٫۹۴	۰٫۲۳	۰٫۹۵	۰٫۰۳	۲٫۸۶	۱۰۰٫۲۸
۱۷	۲۱٫۲۴	۴٫۴۸	۳٫۱۲	۶۲٫۹۰	۱٫۸۰	۲٫۸۰	۰٫۱۲	۰٫۹۶	۰٫۰۲	۲٫۹۵	۱۰۰٫۳۹
۱۸	۲۱٫۱۰	۴٫۶۲	۲٫۹۲	۶۳٫۰۸	۱٫۶۹	۲٫۷۷	۰٫۱۹	۰٫۹۹	۰٫۰۲	۲٫۸۴	۱۰۰٫۲۲
۱۹	۲۰٫۳۴	۵٫۱۰	۲٫۹۶	۶۳٫۸۴	۱٫۷۴	۲٫۰۰	۰٫۲۷	۰٫۹۹	۰٫۰۲	۲٫۷۹	۱۰۰٫۰۵
۲۰	۲۰٫۴۷	۴٫۹۶	۳٫۰۰	۶۳٫۶۶	۱٫۶۹	۲٫۴۰	۰٫۲۴	۰٫۹۲	۰٫۰۱	۲٫۷۸	۱۰۰٫۱۳
۲۱	۲۰٫۵۶	۴٫۷۲	۲٫۹۰	۶۳٫۴۰	۱٫۴۵	۲٫۵۳	۰٫۳۵	۰٫۹۸	۰٫۰۲	۲٫۵۹	۹۹٫۵۰
۲۲	۲۱٫۲۰	۴٫۵۲	۲٫۸۰	۶۳٫۱۶	۱٫۸۱	۲٫۹۶	۰٫۲۱	۰٫۹۲	۰٫۰۳	۲٫۸۶	۱۰۰٫۴۷
۲۳	۲۰٫۴۵	۴٫۸۰	۳٫۲۰	۶۳٫۷۰	۱٫۶۹	۲٫۳۲	۰٫۳۱	۰٫۸۵	۰٫۰۱	۲٫۳۶	۹۹٫۶۹
۲۴	۲۰٫۵۶	۵٫۰۰	۲٫۸۸	۶۲٫۷۴	۱٫۸۰	۲٫۹۲	۰٫۲۷	۰٫۸۹	۰٫۰۲	۲٫۹۸	۱۰۰٫۰۶
۲۵	۲۰٫۷۲	۴٫۹۲	۲٫۷۸	۶۲٫۹۲	۱٫۶۹	۲٫۷۴	۰٫۲۳	۰٫۹۹	۰٫۰۲	۲٫۸۸	۹۹٫۸۹
۲۶	۲۰٫۶۶	۴٫۸۲	۲٫۹۲	۶۳٫۰۲	۱٫۸۰	۲٫۶۶	۰٫۲۴	۰٫۹۷	۰٫۰۲	۲٫۷۹	۹۹٫۹۰
۲۷	۲۰٫۹۶	۴٫۹۲	۲٫۸۰	۶۲٫۹۰	۱٫۸۰	۲٫۶۷	۰٫۳۵	۰٫۹۰	۰٫۰۲	۲٫۸۲	۱۰۰٫۱۴
۲۸	۲۰٫۹۲	۴٫۷۶	۳٫۰۰	۶۲٫۸۲	۲٫۰۵	۲٫۲۶	۰٫۳۳	۰٫۹۵	۰٫۰۲	۲٫۷۳	۹۹٫۸۴
۲۹	۲۰٫۵۰	۵٫۰۸	۳٫۱۲	۶۳٫۴۲	۱٫۸۰	۲٫۱۸	۰٫۲۷	۰٫۹۰	۰٫۰۲	۲٫۹۳	۱۰۰٫۲۲
۳۰	۲۰٫۷۰	۴٫۹۲	۲٫۹۶	۶۳٫۳۲	۱٫۶۹	۲٫۳۳	۰٫۲۸	۰٫۹۳	۰٫۰۲	۲٫۸۱	۹۹٫۹۶
Ave.	۲۰٫۴۵	۴٫۸۳	۲٫۹۸	۶۳٫۲۴	۱٫۷۳	۲٫۶۶	۰٫۲۵	۰٫۹۹	۰٫۰۲	۲٫۸۰	۹۹٫۹۵
Max	۲۱٫۲۴	۵٫۲۰	۳٫۲۰	۶۳٫۸۴	۲٫۰۵	۳٫۰۰	۰٫۳۵	۱٫۱۸	۰٫۰۳	۳٫۰۰	۱۰۳٫۰۹
Min	۱۹٫۶۸	۴٫۴۸	۲٫۷۸	۶۲٫۵۴	۱٫۴۵	۲٫۰۰	۰٫۱۲	۰٫۸۵	۰٫۰۱	۲٫۳۶	۹۶٫۲۷

کارخانه سیمان ارومیه و ویژگی‌های زمین‌شناسی مناطق همجوار

منطقه مورد مطالعه در قسمت جنوب و جنوب شرقی شهرستان ارومیه (آذربایجان غربی) و در ۳۵ کیلومتری جاده ارومیه به مهاباد قرار گرفته است. این کارخانه با طول جغرافیایی ″۰۵ ′۱۶٫۴ °۴۵ تا ″۳۰ ′۲۷ °۴۵ شرقی و عرض جغرافیایی ″۱۵ ′۱۹٫۸ °۳۷ تا ″۳۲ ′۲۶ °۳۷ شمالی در سال ۱۳۶۴ تاسیس گردید و از سال ۱۳۸۶ تولید آزمایشی کلینکر در این کارخانه آغاز گردید. این کارخانه با احداث و راه اندازی ۲ خط تولید ظرفیت تولید روزانه کلینکر خود را به ۲۸۲۰ تن کلینکر در روز و سپس به ۲۸۵۰ تن کلینکر در روز رسانید و هم اکنون ظرفیت تولید روزانه سیمان در این کارخانه ۶۰۰۰ تن می‌باشد. انواع سیمان‌های تولید شده در این کارخانه شامل سیمان پرتلند پوزولانی، سیمان پرتلند تیپ ۴۲۵-۱، سیمان پرتلند تیپ ۲ و سیمان پرتلند تیپ ۳۲۵-۱ می‌باشند. در این کارخانه جهت تولید سیمان‌هایی با کیفیت مطلوب و مطابق با استانداردهای ملی ایران و جهان در کلیه‌ی مراحل تولید از آزمایش‌های شیمیایی، فیزیکی و X-RAY استفاده می‌شود. خوراک کوره‌های این کارخانه به طور معمول شامل ۷۸ تا ۸۰ درصد کربنات کلسیم (آهک)، ۲۰ درصد سیلیس و در مقادیر

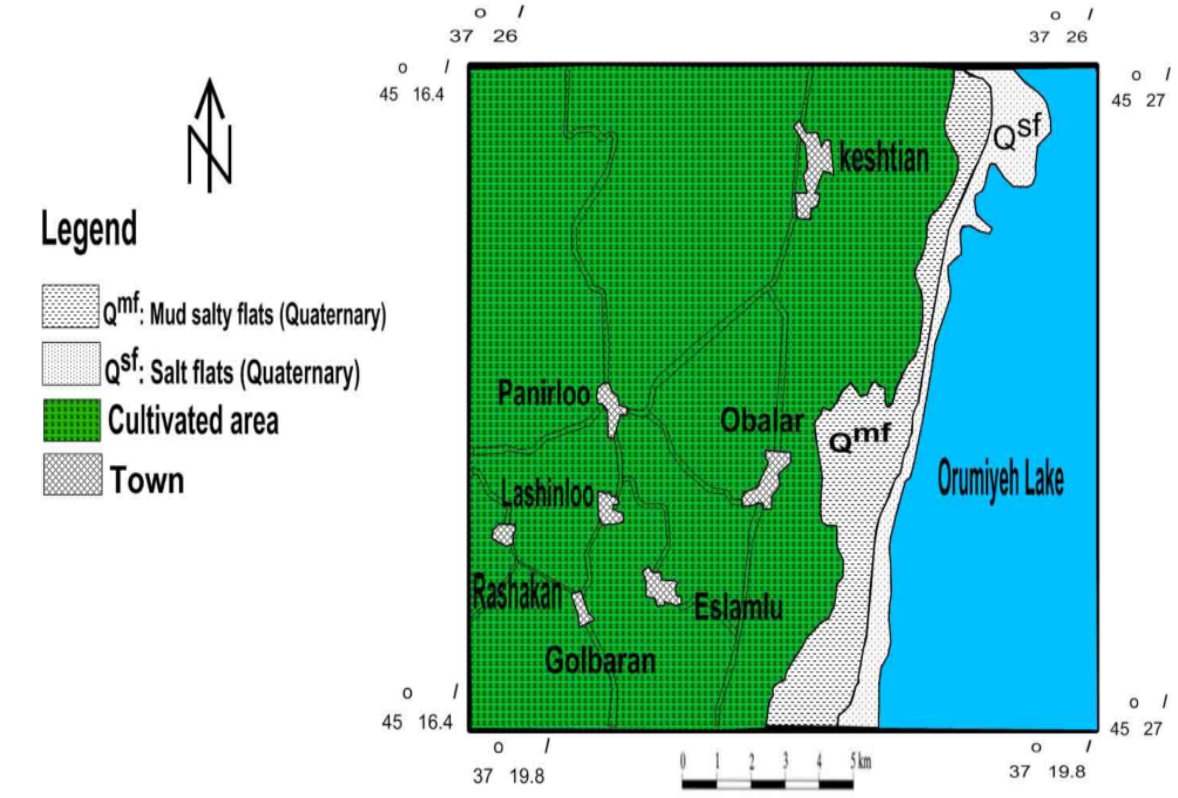
[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-18]
[DOI: 10.29252/ijcm.26.1.103]

فرعی شامل آلومینیوم و آهن هستند. سنگ آهک و مارل مورد نیاز برای تولید سیمان در این کارخانه از معدن سنگ آهک رشکان که به طور رو باز استخراج می‌شود و در نزدیکی کارخانه قرار دارد بهره‌برداری می‌شود. سنگ آهک مربوط به یک واحد سنگی آهکی ضخیم لایه تا متوسط لایه مربوط به سازند قم است همچنین سنگ آهن و خاک رس مورد نیاز نیز از شهرستان‌های همجوار تامین می‌گردند. بخش عمده‌ی رخنمون‌های سنگی در منطقه مورد مطالعه شامل سنگ‌های رسوبی دوره‌ی میوسن می‌باشد که از سمت شرق توسط دریاچه ارومیه محدود شده و از سمت غرب به طور دگرشیب بر روی سنگ‌های قدیمی‌تر پرکامبرین و پرمین قرار گرفته‌اند. محل اصلی کارخانه توسط تراس‌های قدیمی و نهشته‌های رودخانه‌ای پوشیده شده است. نوع رسوبات میوسن در این ناحیه عموماً آهکی و مارنی بوده و هم به طور جانبی و هم در جهت عمودی تغییر کرده و به یکدیگر تبدیل می‌شوند نهشته‌های مارنی در این منطقه دارای مورفولوژی پست بوده و رنگ آنها سفید است و به علت نرمی و سهولت فرسایش، زمین‌های کشاورزی موجود در منطقه را تشکیل داده‌اند. تصویر زیر موقعیت منطقه مورد مطالعه را در نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ ارومیه نشان می‌دهد (شکل ۱).

بحث و بررسی

کانی شناسی

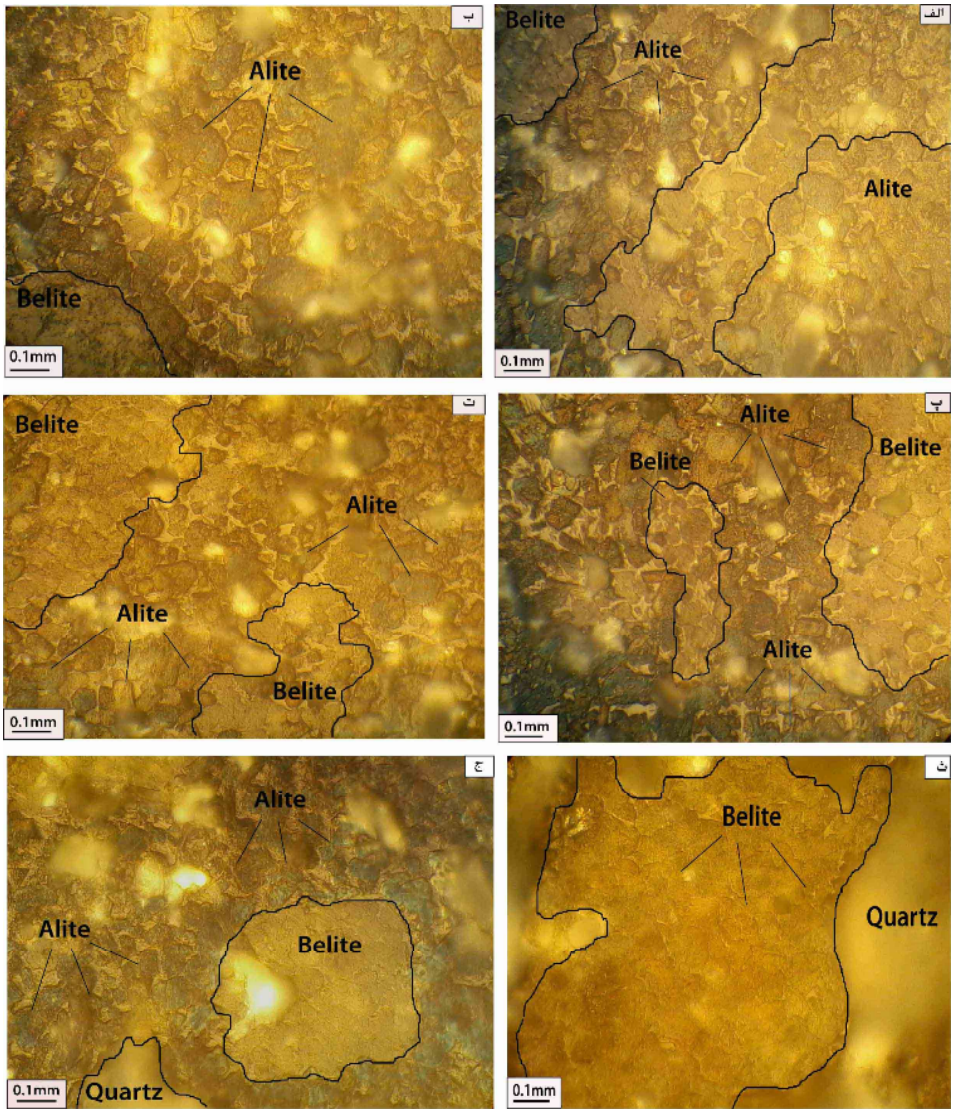
بر اساس بررسی‌های میکروسکپی انجام شده در رابطه با کلینکرهای تولید شده در کارخانه‌ی سیمان ارومیه، کانی‌های آلیت، بلیت، کوارتز و آلومینات در مقاطع صیقلی تهیه شده از این کلینکرها تشخیص داده شده‌اند (شکل ۲). برای شناسایی کانی‌های تشکیل دهنده کلینکر در مقطع میکروسکپی از روش کمپل استفاده شد [۵]، در این روش کانی‌های تشکیل دهنده‌ی کلینکر از طریق شکل آنها در مقاطع صیقلی تشخیص داده می‌شوند. در حالت کلی بلورهای آلیت منشوری، گاهی شبیه هشت‌وجهی و اغلب سطوحی واضح و قابل تشخیص دارند (شکل ۲ ب)، بلیت به طور معمول به صورت بلورهای گرد دیده می‌شود (شکل ۲ ث)، فاز آلومینات به صورت بلورهای بلند و باریک گسترش می‌یابند و فاز فریت از طریق بازتاب زیاد در مقطع صیقلی دیده می‌شوند [۵]. در ادامه سایر ویژگی‌های میکروسکپی فازهای تشکیل دهنده کلینکر ارائه شده است [۵].



شکل ۱ نقشه‌ی زمین شناسی منطقه‌ی مورد بررسی، اقتباس از نقشه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ ارومیه [۹] .

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.1.103]



شکل ۲ الف و ب) حضور کانی های شکل‌دار آلیت وکانی‌های گردشده بلیت (PPL). پ و ت) حضور کانی‌های شکل‌دار آلیت و کانی‌های کهربایی بلیت (PPL). ث) حضور آشیانه بلیت گردشده و کانی کوارتز (PPL). ج) حضور کانی‌های شکل‌دار آلیت و کوارتز (PPL). در تمام تصاویر زمینه فاز آلومینات است.

جزئیات بلیت

اولین محصول واکنش بین سیلیس و اکسید کلسیم در مرحله‌ی پخت، ایجاد دی کلسیم سیلکات یا بلیت است. بلیت در شرایط مناسب به صورت بلورهای کاملا گرد شده است و نیمه شکل‌دار است و دارای ساختارهایی است که در چندین جهت کشیده شده‌اند، در قطبیده ساده به رنگ زرد و بنفش با سایه‌های سبز دیده می‌شود، رنگ اینترفرانس آن زرد تا سفید سری اول است، مقدار بیرفرنژانس آن در مقطع نازک ۰٫۰۱۵۳ میکرون است، سایز نرمال کریستال‌های آن ۱ تا ۴ میکرون است ولی در اثر تبلور مجدد به علت افزایش دما سایز آن به ۲۰ تا ۴۰ میکرون می‌رسد. آرایش و نوع تجمع این بلورها می‌تواند تعیین کننده‌ی نارسایی‌هایی مختلف در هنگام تولید کلینکر باشد.

جزئیات آلیت

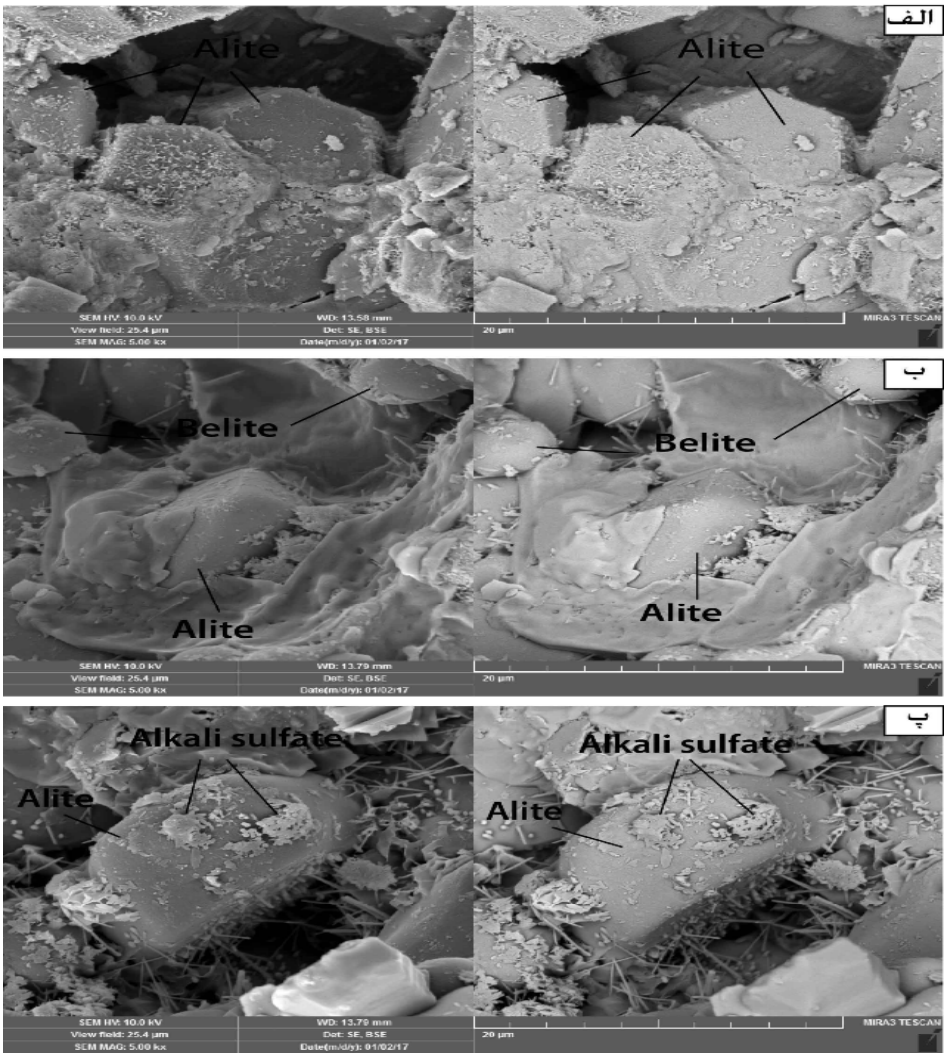
در حالت کلی واکنش حالت جامد ما بین دی کلسیم سیلکات (بلیت) و اکسید کلسیم در دمای بالاتر از ۱۲۵۰ درجه سانتی‌گراد فاز آلیت را ایجاد می‌کند. در مقاطع صیقلی رنگ اینترفرانس کانی آلیت کم است (خاکستری سری اول)، در نور پلاریزه ساده به رنگ آبی، قهوه‌ای، سبز و زرد دیده می‌شود، مقدار زاویه‌ی 2V آن برابر ۲۰ تا ۶۰ درجه است و تک محوره

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-18]
[DOI: 10.29252/ijcm.26.1.103]

منفی است، شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با حاشیه‌های زاویه‌دار است و در مقاطع عرضی شش‌وجهی است (بسته به جهت برش)، منطقه‌بندی در این کانی رایج است. کلیواژ ضعیفی دارد (بسته به جانشینی یونی)، محدوده دوشکستی آن ۰٫۰۰۲ تا ۰٫۰۱۰ میکرون است، سختی این کانی در جدول سختی ماوس حدود ۵ است (شکل ۳).

ماتریکس (زمینه)

کلینکر عادی و نرمال در دمای ۱۴۵۰ درجه سانتی‌گراد شامل ۳۰ درصد فاز مذاب در کنار فازهای اولیه است [۲]. در ضمن سرد شدن در داخل کوره فازهای ثانویه متبلور می‌شوند. آلومینات و فریت جزء این فازها محسوب می‌شوند. اگر مقدار آلومین در کلینکر بالا باشد کلینکر دارای مقدار بالایی آلومینات است ولی اگر میزان آلومینات در کلینکر کم باشد فاز آلومینات کم ولی فریت زیاد است. اگر مقدار آلومین کمتر از ۰٫۷ باشد فاز آلومینات ناپایدار می‌شود [۲]. در حالت کلی در بررسی‌های میکروسکپی آلومینات به صورت بلورهای بی شکل، کوچک و غیر یکنواخت است، دارای شکست صدفی است و پرکننده و فضای بین فریت و بلیت است بنابراین با تاخیر متبلور می‌شود. فاز فریت نیز به صورت منشوری و دارای چندرنگی است (چندرنگی قهوه‌ای شدید)، سیستم تبلور آن ارترومبیک است، طویل‌شدگی مثبت است، و شکل بلوری آنها خود شکل است و حالت صفحه‌ای دارد و ممکن است حالت منشوری و دندریتی یا حالت توده‌ای نیز داشته باشند.



شکل۳ الف) حضور کانی‌های شکل‌دار ششگوشی آلیت ب) حضور کانی‌های شکل‌دار آلیت و کانی‌های گرد شده بلیت پ) حضور کانی شکل‌دار آلیت همراه با سولفات.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.1.103]

زمین شیمی

نتایج تجزیه‌ی شیمیایی اکسیدهای اصلی وابسته به کلینکر و سیمان پرتلند نوع ۴۲۵-۱ و پرتلند نوع ۳۲۵-۱ تولید شده در کارخانه سیمان ارومیه در جدول (۲) و نتایج تجزیه شیمیایی اکسیدهای اصلی مربوط به سیمان پرتلند پوزولانی و سیمان پرتلند تیپ ۲ در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده‌اند. گستره‌ی کلینکر و ۴ نوع مختلف سیمان تولیدی در کارخانه سیمان ارومیه در نمودار فازی SiO_2-CaO-Al_2O_3 نشان داده شدند. (شکل ۴ و ۵). بر این اساس کلینکر کارخانه نزدیک به قطب CaO قرار می‌گیرد زیرا ۷۸-۸۰ درصد اصلی خوراک کوره را آهک تشکیل می‌دهد و کلینکر کارخانه در گستره‌ی فاز C3S (آلیت) و C2S (بلیت) قرار می‌گیرد که خود تاییدی بر فراوانی فاز آلیت و سپس بلیت مشاهده شده در مقاطع صیقلی کلینکرهای این کارخانه است همچنین تصاویر SEM وابسته به کلینکرهای تولیدی در این کارخانه نیز نشان دهنده‌ی فازهای آلیت، بلیت و سولفات قلیایی هستند. سیمان پرتلند نوع ۴۲۵-۱، سیمان پرتلند نوع ۳۲۵- ۱ و سیمان پرتلند نوع ۲ نزدیک به قطب CaO و در گستره‌ی فاز آلیت و بلیت قرار می‌گیرند و سیمان پرتلند پوزولانی به دلیل مقدار بالای سیلیس ترکیب آن در گستره‌ی C2S و نزدیک به قطب SiO_2 قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهند که موقعیت قرارگیری کلینکر و ۴ نوع مختلف سیمان تولیدی در کارخانه سیمان ارومیه با موقعیت قرارگیری کلینکر و انواع مختلف سیمان در شکل ۴ همخوانی زیادی دارند. برای محاسبه‌ی ترکیب فازهای کلینکر، سیمان پرتلند پوزولانی و سیمان پرنلند نوع ۲ براساس مقادیر حاصل از آنالیز شیمیایی، از روابط بوگه [۸] استفاده شد.

شاخص‌های بوگه شامل ضریب اشباع آهک (رابطه‌ی ۱)، نسبت سیلیس (رابطه‌ی ۲) و نسبت آلومینیوم (رابطه‌ی ۳)، مقدار تری‌کلسیم سیلیکات (رابطه‌ی ۴)، دی کلسیم سیلیکات (رابطه‌ی ۵)، تری کلسیم آلومینات (رابطه‌ی ۶) و تترا کلسیم آلومینوفریت (رابطه‌ی ۷) است:

Lime Saturation Factor: LSF $= CaO/2.8SiO_2 + 1.18Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3$ (۱) ضریب اشباع آهک

SilicaRatio:SR=$SiO_2/Al_2O_3+Fe_2O_3$ (۲) نسبت سیلیس

Alumina Ratio:AR= Al_2O_3/Fe_2O_3 (۳) نسبت آلومینیوم

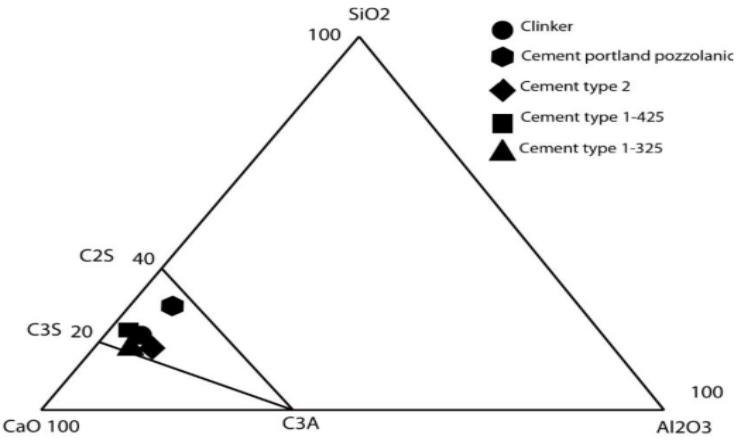
Alite or C3S = $4.07CaO - 60.7SiO_2 - 1.43Fe_2O_3 - 6.72Al_2O_3$ (۴) تری کلسیم سیلیکات

Belite or C2S = $8.60SiO_2 + 1.08Fe_2O_3 + 5.07Al_2O_3 - 3.07CaO$ (۵) دی کلسیم سیلیکات

C3A=$2.65Al_2O_3 - 1.692Fe_2O_3$ (۶) تری کلسیم آلومینات

Ferrite or C4AF=$3.04Fe_2O_3$ (۷) فریت یا ضریب اشباع آهک

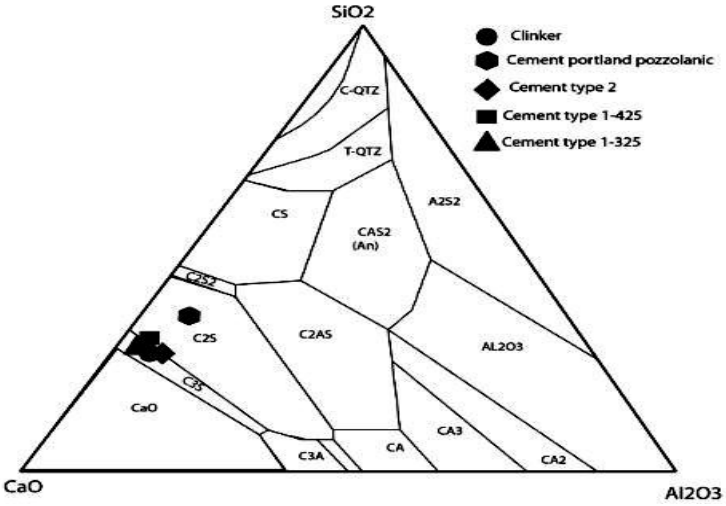
نسبت مقدار واقعی اکسید کلسیم موجود در مواد خام یا کلینکر سیمان را نسبت به بیشینه مقدار اکسید کلسیم (یعنی مقدار بیشینه اکسید کلسیم) قابل پیوند با ترکیباتی مانند سیلیس، آلومین و اکسید فریک در شرایط پخت و خنک کردن صنعتی را نشان می‌دهد، وقتی این مقدار برابر ۱ باشد مقدار آهک دقیقاً با مقدار سیلیس، آلو مین و فریک اکسید در تعادل است [۱۰]. اگر این مقدار بیشتر از یک باشد در کلینکر تولید شده آهک آزاد وجود دارد و اگر این مقدار پایین‌تر از ۱ باشد کلینکر تولیدی از بلیت غنی خواهد شد که معمولاً به صورت درصد بیان می‌شود. نسبت سیلیس نسبت وزنی دی اکسید سیلیس به مجموع مقادیر اکسید آلومینیوم و اکسید آهن است.



شکل ۴ موقعیت ترسیمی سیمان نوع ۴۲۵-۱، سیمان نوع ۲، سیمان پرتلند پوزولانی، سیمان نوع ۳۲۵-۱ و کلینکر در سیستم فازی C-S-A [۱۱] . C3S نشان دهنده فاز آلیت، C2S نشان دهنده فاز بلیت و C3A نشان دهنده فاز تری کلسیم آلومینات هستند.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.1.103]



شکل۵ روابط فازی در سیستم فازی C-A-S نشان دهنده‌ی موقعیت ترسیمی کلینکر و ۴ نوع مختلف سیمان تولید شده در کارخانه سیمان ارومیه در فاصله ی نشان داده شده در شکل ۴ است [۱۱]. C3S نشان دهنده فاز آلیت، C2S نشان دهنده فاز بلیت و C3A نشان دهنده‌تری کلسیم آلومینات است.

مقدار این ضریب معمولاً در دامنه‌ی ۴-۱٫۵ تغییر می‌کند [۱۰] ولی مطلوب‌ترین تغییرات آن بین ۲٫۸-۲٫۳ است. نسبت آلومین نسبت وزنی اکسید آلومینیوم به اکسید آهن است به کمک این نسبت اطلاعاتی در خصوص نسبت مقدار آلومینات کلسیم به کلسیم آلومینوفریت و در نتیجه ماهیت گدازه کلینکر به دست می‌آید. مقایسه‌ی مقادیر شاخص اشباع آهک، نسبت سیلیس، نسبت آلومینیوم و نیز مقادیر فازهای تری کلسیم سیلیکات (آلیت)، دی کلسیم سیلیکات (بلیت)، تری کلسیم آلومینات و فریت در کلینکر و سیمان پرتلند نوع پوزولانی و سیمان پرتلند نوع ۲ ارومیه با معیارهای جهانی در جدول‌های ۵ تا ۷ نشان داده شده‌اند بر این اساس ترکیب شیمیایی کلینکر و سیمان پرتلند نوع ۲ تولیدی کارخانه سیمان ارومیه مطابق با استاندارد جهانی بوده اما سیمان پرتلند پوزولانی به دلیل مقدار بالای سیلیس (حدود ۲۷٫۵۸ درصد) در ترکیب آن با استاندارد جهانی سیمان مطابقت ندارد.

بررسی شرایط پخت کوره در کلینکرهای کارخانه سیمان ارومیه

با توجه به روش‌های مختلفی که برای بررسی کلینکر، سیمان و فازهای تشکیل دهنده آنها وجود دارند استفاده از بررسی‌های میکروسکپی می‌تواند به سادگی و در مدت بسیار کوتاه اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با دما و سرعت پخت کلینکر در کوره، فازهای تشکیل دهنده آن، زمان پخت، سرعت سرد شدن، نوع سوخت مصرفی برای تامین دمای کوره و غیره به دست آورد. به طوری که همواره می‌توان از این روش به عنوان یک روش کنترل کیفی متداول مواد و شرایط پخت استفاده کرده و مشکلات موجود در فرایند بهره‌برداری را به سرعت حل کرد. با توجه به این که با استفاده از میکروسکپ الکترونی می‌توان تصاویر فازهای موجود را به طور مستقیم مشاهده کرد بنابراین اندازه و توزیع فازها را نیز می‌توان بررسی کرد و بهتر است که در کنار بررسی‌های میکروسکپی از روش‌های دیگر همانند پراش‌سنج پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی هم برای دست یافتن به نتایج دقیق تر استفاده کرد.

جدول ۸ شرایط پخت کلینکر در کارخانه سیمان ارومیه را در مقایسه با شرایط استاندارد جهانی برای پخت کلینکر را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از جدول ۸، سرعت افزایش دمای کوره (با توجه به میانگین آلیت که حدوداً ۴۰ تا ۶۰ میکرون است) و نیز سرعت سرد شدن کلینکر (با توجه به رنگ بلیت که به رنگ زرد است) در کارخانه سیمان ارومیه ضعیف بوده و زمان پخت کلینکر (بر اساس اندازه میانگین بلیت) در مدت نسبتاً طولانی صورت گرفته است.

جدول ۵ مقایسه‌ی کلینکر ارومیه با استاندارد کلینکر جهان (بر اساس محاسبات بوگه) [۱۲].

ترکیب	C4AF	C3A	C2S	C3S	AR	SR	LSF
کلینکر کارخانه ارومیه	9,15	۹٫۳۵	۲۳٫۲۶	۵۲٫۷۹	۱٫۸۱	۲٫۶۰	۹۱٫۶۱
استاندارد جهانی کلینکر	4-16	7-۱۶	۰٫۲ – ۲۷	۵۲-۸۵	۱٫۴ – ۳٫۷	۱٫۶ – ۱٫۴	۹۰-۱۰۴

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-18]
[DOI: 10.29252/ijcm.26.1.103]

جدول۶ مقایسه‌ی سیمان پرتلند تیپ۲ ارومیه با استاندارد سیمان جهان (بر اساس محاسبات بوگه) [۱۳].

نوع ماده	C4AF	C3A	C2S	C3S	AR	SR	LSF
سیمان پرتلند تیپ۲	۹٫۰۵	۷٫۷۶	۹٫۴۲	۶۵٫۲۵	۱٫۶۲	۲٫۶۱	۹۷٫۴۷
استاندارد جهانی سیمان	۷-۱۰	۲-۸	۷-۳۰	۴۵-۶۵	۱-۴	۲-۴	۹۰-۹۸

جدول۷ مقایسه‌ی سیمان پرتلند پوزولانی ارومیه با استاندارد سیمان جهان (بر اساس محاسبات بوگه) [۱۳].

نوع ماده	C4AF	C3A	C2S	C3S	AR	SR	LSF
سیمان پورتلند پوزولانی	۸٫۷۲	۸٫۰۲	۹۵٫۷۵	-۲۲٫۱	۱٫۶۹	۳٫۵۶	۹۶٫۶۴
استاندارد جهانی سیمان	۷-۱۰	۲-۸	۷-۳۰	۴۵-۶۵	۱-۴	۲-۴	۹۰-۹۸

جدول۸ شرایط پخت کوره در کلینکرهای کارخانه سیمان ارومیه در مقایسه با شرایط استاندارد جهانی [۵] .

شرایط پخت کلینکر بر اساس استاندارد جهانی	شرایط پخت کلینکر در فعالیت هیدرولیکی کوره (ارومیه)	کلینکر (ارومیه)
تعیین سرعت افزایش دمای پخت بر اساس اندازه متوسط آلیت به میکرون ۱- ۴۰ تا ۶۰ میکرون =سرعت بسیار کم افزایش دما از دمای °C ۱۲۰۰ تا ۱۴۵۰ ۲- ۳۰ تا ۴۰ میکرون=سرعت کم افزایش دما از دمای °C ۱۲۰۰ تا ۱۴۵۰ ۳- ۲۰ تا ۳۰ میکرون=سرعت متوسط افزایش دمااز دمای °C ۱۲۰۰ تا ۱۴۵۰ ۴- ۱۵ تا ۲۰ میکرون= سرعت بالای افزایش دما از دمای °C ۱۲۰۰ تا ۱۴۵۰	اندازه متوسط آلیت ۰٫۰۶ میلی متر یا۶۰ میکرون، سرعت افزایش دما بسیار کم.	**۱ یا ضعیف**
تعیین حداکثر درجه حرارت پخت بر اساس بیرفرنژانس آلیت ۱- بیرفرنژانس۰٫۰۰۲ تا ۰٫۰۰۵= ماکزیمم دمای کوره پایین است. ۲- بیرفرنژانس۰٫۰۰۵ تا ۰٫۰۰۶= ماکزیمم دمای کوره نسبتا پایین است. ۳- بیرفرنژانس۰٫۰۰۶تا ۰٫۰۰۷= ماکزیمم دمای کوره متوسط است. ۴- بیرفرنژانس۰٫۰۰۸ تا ۰٫۰۱۰= ماکزیمم دمای کوره بالا است.	بیرفرنژانس آلیت ۰٫۰۰۸- ۰٫۰۱۰، ماکزیمم دمای کوره بالا.	**۴ یا عالی**
تعیین زمان پخت بر اساس اندازه متوسط بلیت به میکرون ۱- ابعاد بلیت از ۵تا ۱۰میکرون=زمان کوتاه پخت ۲- ابعاد بلیت از ۱۵ تا ۲۰ میکرون= زمان متوسط پخت ۳- ابعاد بلیت از ۲۰ تا ۲۵ میکرون=زمان نسبتا طولانی پخت ۴- ابعاد بلیت از ۲۵ تا ۴۰ میکرون=زمان طولانی پخت	ابعاد بلیت برابر ۰٫۰۲۵ میلی متر (۲۵میکرون)، زمان پخت نسبتا طولانی.	**۳ یا متوسط**
تعیین سرعت سرد شدن بر اساس رنگ بلیت ۱- رنگ بلیت ها کهربایی= سرعت آهسته سرد شدن کلینکر ۲- رنگ بلیت ها زرد=سرعت نسبتا آهسته سرد شدن کلینکر ۳- رنگ بلیت ها زرد کم رنگ= سرعت متوسط سرد شدن کلینکر ۴- رنگ بلیت ها شفاف=سرعت زیاد سرد شدن کلینکر	رنگ بلیت ها زرد، سرعت سرد شدگی کلینکر نسبتا آهسته.	**۲ یا نسبتا ضعیف**

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.1.103]

برداشت

- براساس بررسی‌های میکروسکپی انجام شده در مقاطع صیقلی، فازهای مختلف در نمونه‌های کلینکر تولید شده در کارخانه سیمان ارومیه شامل آلیت، بلیت، کوارتز و آلومینات هستند (شکل ۲ الف، ج).

- بر اساس نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی، CaO اکسید اصلی کلینکر را تشکیل می‌دهد. ترکیب کلینکر و سیمان پرتلند پوزولانی و سیمان پرتلند نوع ۲ در نمودار فازی SiO_2-Al_2O_3-CaO در گستره‌ی C3S وC2S قرار گرفته‌اند. فراوانی فاز آلیت و بلیت در مقاطع صیقلی کلینکرهای بررسی شده در کارخانه سیمان ارومیه، نتایج ژئوشیمیایی را تایید می‌کند.

- بررسی تصاویر SEM وابسته به کلینکرهای کارخانه سیمان ارومیه نیز نشان دهنده‌ی فراوانی فاز آلیت و سپس بلیت در کلینکرهای تولیدی در این کارخانه هستند. (شکل ۳ الف، پ).

- بر اساس محاسبات بوگه ضریب اشباع آهک در کلینکر کارخانه سیمان ارومیه کمتر از ۱ است (حدوداً ۰/۹۱) که نشان دهنده‌ی غنی بودن کلینکر از فاز بلیت است که در تصاویر میکروسکپی نیز کانی بلیت با فراوانی نسبتاً زیاد و به صورت آشیانه‌های بزرگ مشاهده می‌شوند (شکل ۲ ث).

- بر اساس محاسبات بوگه ترکیب شیمیایی کلینکر و سیمان پرتلند تیپ ۲ تولیدی کارخانه سیمان ارومیه بنابر استاندارد جهانی بوده ولی سیمان پرتلند پوزولانی تولیدی در این کارخانه به دلیل مقدار بالای سیلیس در ترکیب آن (۲۷/۵۸ درصد) با استاندارد جهانی سیمان همخوانی ندارد و پیشنهاد می‌شود تا از یک پوزولان طبیعی با مقدار سیلیس کمتر برای تولید این نوع سیمان استفاده شود تا ترکیب شیمیایی این نوع سیمان نیز از نظر مقدار C2S و C3S با استاندارد جهانی سیمان همخوانی داشته باشد.

- بر اساس جداول استاندارد وابسته به شرایط پخت کوره، سرعت افزایش دمای کوره (با توجه به اندازه متوسط آلیت که در حدود ۴۰ تا ۶۰ میکرون است) و نیز سرعت سرد شدن کلینکر (با توجه به رنگ بلیت که زرد رنگ است) در کارخانه سیمان ارومیه ضعیف بوده و پخت کلینکر (بر اساس اندازه میانگین بلیت) در مدت نسبتاً طولانی صورت گرفته است.

قدردانی

نویسنده مقاله از جناب آقای مهندس عباسی مسئول محترم معدن کارخانه سیمان ارومیه، خانم دکتر رباب حاجی علی اوغلی دانشیار محترم گروه علوم زمین دانشگاه تبریز و جناب آقای مهندس مصیب زاده مسئول محترم آزمایشگاه سنگ‌بری دانشگاه تبریز جهت همکاری‌های لازم در زمینه تهیه کلینکر و مقاطع صیقلی لازم کمال تشکر را دارد.

مراجع

[1] Alsop P.h., Chen H., Tseng H., *"The Cement plant operation Hand book",* Fifth Edition, nternational Cement Review (2007).

[2] Ezatian F.,"*Application of cement microscopy in cement industry",* international symposium of cement technology, (2004), 9-18pp.

[3] Ahangaran A., *"Portland cement chemistry",* Journal of cement technology, part35, Vol1 (2010), 58-66pp.

[4] Mindess S., Young F., *"Concrete",* Prentice Hall Inco, Engle-Wood cliffs. Newjersy (1981).

[5] Campbell D.H., *"Microscopically Examination and Interpretation of Portland cement and Clinker",* Second Edition (1999).

[6] Ghosh S.N., *"Advances in cement technology; Chemistry, Manufacture and testing"*, Second Edition, Publishing by tech books international. New Delhi-110019 India (2002)804.

[7] Locher F.W., *"Cement Principles of production and use",* Part3 (2006) 20-70.

[8] Bouge R.H., *"Calculation of phase composition in the chemistry of Portland cement",* Reinhold publishing, New York, USA (1974) 184-203.

[9] Soltani Gh.A., "*Geological map of orumia province",* Geological survey of Iran (2006).

[10] Mahdavi H., Raghimi M., Shamanian Gh., Gholipour M., *"Mineralogy and geochemistry of*

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.1.103]

Primary material, Clinker and Portland cement of Neka cement factory, Mazandaran province", Journal of Iranian Mineralogy and crystallography, Part1, Vol1 (2016) 173-188pp.

[11] Taylor F.W., *"Cement chemistry",* Second Edition, Thomas Telford, London (1997) 459.

[12] Vanoss H.G., Padorani A.C., *"Cement and the Environment",* Part1, Journal of industrial Ecology, Vol.6, No 1 (2003) 89.

[13] Van Oss H.G., *"Background facts and issues concerning cement and cement data",* Open –file report 2005-1152.u.s. Department of interior.u.s. Geological survey (2005).

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.1.103]