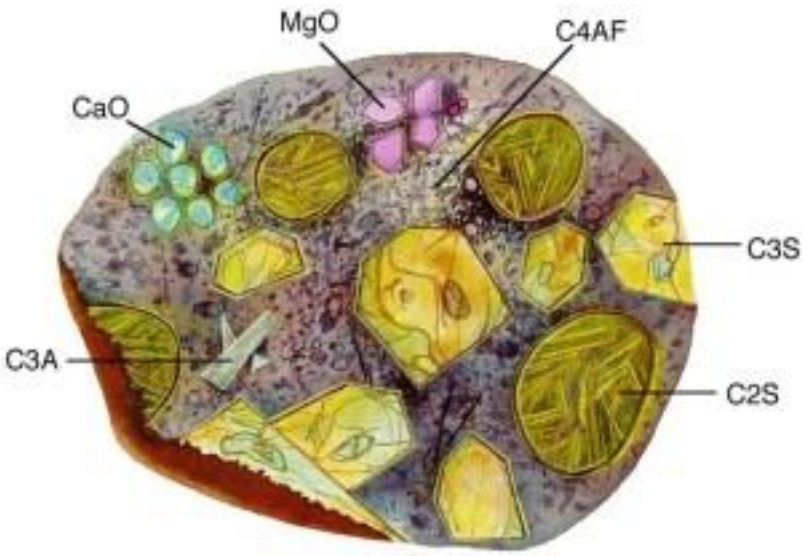
۴ ترکیب شیمیایی اصلی در سیمان و نقش آن‌ها



ترکیبات سیمان

تقریباً ۹۰ تا ۹۵ درصد سیمان پرتلند از چهار ماده معدنی سیمانی اصلی شامل C_3S، C_2S، C_3A و C_4AF تشکیل شده است که ترکیبات دیگر تشکیل دهنده در آن نیز شامل کلسیم سولفات، سولفات‌های قلیایی، CaO واکنش نداده (آزاد)، MgO و دیگر مواد تشکیل دهنده حاصل از مراحل کلینکر کردن و آسیاب کردن می‌باشند. چهار ماده معدنی سیمانی نقش‌های مختلفی را در فرآیند هیدراسیون ایفا می‌کنند که این فرآیند موجب تبدیل سیمان خشک به یک چسب سیمانی سخت شده می‌گردد.

C_3Sو C_2S تقریباً موجب ایجاد کلیه خصوصیات مفید با ایجاد ترکیب هیدراسیونی اصلی به صورت خمیر C-S-H می‌گردند. با این حال، C_3S بسیار سریع‌تر از C_2S هیدراته شده و از این رو مسئول ایجاد مقاومت اولیه است.

همچنین ترکیبات معدنی C_3A و C_4AF نیز هیدراته می‌شوند، اما ترکیبات شکل گرفته اثر کمی بر روی خصوصیات چسب سیمانی دارند. این ترکیبات معدنی به این دلیل مورد استفاده قرار می‌گیرند که تولید سیمان‌های حاوی کلسیم سیلیکات خالص از نظر اقتصادی تقریباً غیرممکن بوده و مقرون به صرفه نخواهد بود.

ساختارهای کریستالی مواد معدنی سیمانی نسبتاً پیچیده است، زیرا این ساختارها نقش مؤثری را در خصوصیات ملات سیمان و بتن ایفا نمی‌کنند و ما نیز صرفاً به بررسی مهم‌ترین خصوصیات و ترکیبات در تولید سیمان می‌پردازیم.

۱- تری کلسیم سیلیکات (C_3S)

C_3S به عنوان فراوان‌ترین ماده معدنی در سیمان پرتلند محسوب می‌شود به طوری که ۴۰ تا ۷۰ درصد از وزن آن را در برگرفته و دارای بیشترین اهمیت است. هیدراسیون C_3S موجب ایجاد بیشترین مقاومت در ملات سیمان به ویژه در زمان‌های ابتدایی می‌گردد.

C_3S خالص می‌تواند با سه ساختار کریستالی متفاوت شکل گیرد. در دماهای کمتر از ۹۸۰ سانتی‌گراد، ساختار تعادلی به صورت تری کلینیک (سه شیب) است. در دماهای کمتر از ۹۸۰ تا۱۰۷۰ درجه سانتی‌گراد، ساختار به صورت مونوکلینیک بوده و در دماهای بیشتر از ۱۰۷۰ سانتی‌گراد، این ساختار به صورت رومبو هدرال است. علاوه براین، ساختارهای تری کلینیک و مونوکلینک هر کدام دارای سه پلیمرف هستند، بنابراین به طور کلی هفت ساختار ممکن وجود دارد. با این حال، کلیه این ساختارها مشابه بوده و هیچ تفاوت قابل توجهی در واکنش پذیری آن‌ها وجود ندارد. مهم‌ترین خصوصیت سازه، تراکم نامتقارن یون‌های کلسیم و اکسیژن است که موجب ایجاد حفره‌های بزرگ در شبکه کریستال می‌گردد. اساساً، یون‌ها به خوبی با یکدیگر ترکیب نشده و این موضوع موجب ایجاد انرژی داخلی قابل توجه در ساختار کریستال می‌گردد. در نتیجه، C_3S دارای واکنش پذیری بالایی است.

C_3S که در کلینکر سیمان تشکیل می‌شود، دارای حدود ٪۴-۳ اکسید نسبت به CaO و SiO_2 می‌باشد. به طور کلی، بایستی این ماده معدنی را به جای C_3S، آلیت نامید. در یک کلینکر معمولی، C_3S حاوی حدود 1 wt% از MgO، Al_2O_3 و Fe_2O_3 همراه با مقادیر کمتر NA_2O، K_2O، P_2O_5 و SO_3 است. این مقادیر می‌توانند به طور قابل توجه با توجه به ترکیب مواد خام استفاده شده جهت تولید سیمان متفاوت باشند.

یکی از تأثیرات ناخالصی‌ها، تثبیت و پایدار سازی ساختار مونوکلینیک است به طوری که از تغییر ساختاری از حالت مونوکلینیک به تریکلینیک که به طور معمول در هنگام سرد شدن رخ می‌دهد، جلوگیری می‌گردد. از این رو بیشتر سیمان‌ها دارای یکی از پلیمرف‌های مونوکلینیک C_3S می‌باشند.

۲- دی کلسیم سیلیکات (C_2S)

همانند C_3S، C_2S می‌تواند با انواع ساختارهای مختلف تشکیل شود. یک ساختار دمایی بالای α با سه پلیمرف و یک ساختار β در حالت تعادل در دماهای متوسط و یک ساختار دمایی Y وجود دارد.

شاخصه مهم C_2S آن است که g-C_2S دارای یک ساختار کریستالی بسیار پایدار است که به طور کامل در آب به صورت غیر واکنشی عمل می‌کند. خوشبختانه، ساختار b به سادگی به وسیله دیگر عناصر اکسیدی کلینکر تثبیت شده و بنابراین هیچ گاه فرم g در سیمان پرتلند قرار ندارد. ساختار کریستالی b-C_2S به صورت نامنظم است، اما این نامنظمی به مراتب کمتر از C_3S است و این موضوع نشان دهنده واکنش پذیری کمتر C_2S است. C_2S در سیمان حاوی ناخالصی نسبتاً بیشتری نسبت به C_3S است. بر اساس نظر تیلور، میزان جانشینی کلی اکسیدها حدود 4-6% با مقادیر قابل توجه Al_2O_3، Fe_2O_3 و K_2O است.

۳- تری کلسیم آلومینات (C_3A)

تری کلسیم آلومینات (C_3A) حدود ۰ تا ۱۴ درصد مقدار سیمان پرتلند را تشکیل می‌دهد. مشابه با C_3S، این ترکیب نیز از واکنش پذیری بالایی برخوردار است و مقدار قابل توجهی از حرارت اکوترمیک را در طی دوره هیدراسیون اولیه آزاد می‌کند.

متأسفانه، ترکیبات هیدراسیونی شکل گرفته از C_3A اثر کمی بر مقاومت یا دیگر خصوصیات مهندسی ملات سیمان دارند. در برخی از شرایط زیست محیطی خاص (در حالت وجود یون‌های سولفاتی)، C_3A و ترکیبات آن می‌توانند به بتن با مشارکت در واکنش‌های گسترده که منجر به ایجاد تنش و ترک خوردگی می‌شود، آسیب برسانند.

C_3A خالص تنها با یک ساختار کریستالی مکعبی شکل می‌گیرد. این ساختار به وسیله اتم‌های Ca^{+2} و حلقه‌های شش AlO_4 تترا هدرا مشخص می‌شود. همانند C_3S، پیوندها از موقعیت تعادلی خود منحرف شده و منجر به انرژی داخلی بالا و در نتیجه واکنش پذیری زیاد می‌شود. می‌توان مقادیر قابل توجه CaO و Al_2O_3 در ساختار C_3A را با اکسیدهای دیگر با سطوح جایگزینی قابل توجه جایگزین کرد که این موضوع منجر به ایجاد ساختارهای کریستالی دیگر می‌شود. C_3A در کلینکر سیمان پرتلند که به طور معمول ٪۱۳ جایگزینی اکسید را شامل می‌شود، به صورت مکعبی با مقادیر کمتر از C_3A ارتومبیک است. ترکیبات C_3A و C_4AF با ته نشینی هم‌زمان و تشکیل فاز مایع در طی سرد شدن فرآیند کلینکر تشکیل می‌شوند و بنابراین آن‌ها مخلوط می‌شوند. این موضوع سبب دشوار شدن بیان دقیق ترکیبات دو فاز می‌گردد. این فرم مکعبی حاوی ٪۴ جایگزینی SiO_2، ٪۵ جایگزینی Fe_2O_3 و حدود ٪۱ از Na_2O، K_2O و MgO می‌باشند. فرم ارتومبیک دارای مقادیر مشابه اما با جایگزینی بیشتر K_2O می‌باشد.

۴- تری کسلیم آلومینو فریت (C_4AF)

می‌توان یک ترکیب پایدار با استفاده از ترکیبات C_2A و C_2F شکل داد که یک ماده معدنی سیمانی تحت عنوان C_4AF است که نشان دهنده نقطه وسط مجموعه این ترکیبات است. این ساختار کریستالی به صورت پیچیده بوده و مرتبط با پرووسکیت معدنی است. ترکیب واقعی C_4AF در کلینکر سیمان عموماً بیشتر از آلومینیوم در آهن است و مقدار جایگزینی قابل توجه SiO_2 و MgO وجود دارد. تیلور ترکیب معمول (با نمایش شیمیایی معمول) را به صورت $Ca_2AlFe_{0.6}Mg_{0.2}Si_{0.15}Ti_{0.5}O_{0.5}$ گزارش کرده است. با این حال، این ترکیب با توجه به ترکیب کلی کلینکر سیمان دارای تفاوت هایی است.

مترجم: امیر رضا بخشی

منبع:

http://civilblog.org/2017/07/14/4-primary-cement-compounds-roles/