

مقدمه

ساخت و ساز شهری و زیربنایی از جمله الزامات و شاخص‌های توسعه یافتگی کشورها بشمار می‌رود. لازمه توسعه بنیادی و پایدار در کشور، استفاده از مصالح ساختمانی با کیفیت مناسب بوده و خودکفایی کشورها در حوزه تأمین این مواد امری حیاتی در راستای تحقق اهداف سندهای چشم‌انداز می‌باشد. در این میان سیمان جزء لاینفک صنعت ساخت و ساز بوده که به همت مسئولان در دهه‌های اخیر، ایران از یک کشور وارد کننده سیمان در سال‌های پیش از انقلاب اسلامی به یکی از ۱۰ تولید کننده برتر سیمان در جهان و صادر کننده این محصول استراتژیک تبدیل شده است.

با این وجود، استفاده از سیمان کلینکری (همانند سیمان‌های تیپ ۱ و ۲) در جهان رو به کاهش بوده و تولید سیمان‌های آمیخته رو به افزایش است. سیمان‌های آمیخته ترکیب کلینکر سیمان و مواد پوزولانی یا به عبارتی مواد جایگزین سیمان می‌باشند. در کشور، تجربیاتی در خصوص تولید سیمان‌های آمیخته با تولید سیمان‌های پوزولانی، آهکی و سرباره‌ای موجود بوده ولیکن عمدتاً مورد اقبال عمومی قرار نگرفته‌اند. مزایا و معایب سیمان‌های آمیخته تولیدی در کشور (بر اساس شرایط موجود کارخانه‌های سیمان) در مقایسه با سیمان کلینکری، در ادامه آورده شده‌اند:

معایب	مزایا
<ul style="list-style-type: none"> ● کاهش مقاومت فشاری در برخی سیمان‌های آمیخته ● عدم دسترسی بعضی واحدهای تولیدی به منابع پوزولان طبیعی و وابستگی به صنایع جانبی نظیر ذوب‌آهن، صنایع فرآلیاژ و نیروگاه‌های زغال‌سنگ برای دستیابی به پوزولان‌های مصنوعی ● افزایش زمان گیرش: عامل نامطلوب در بتن-ریزی در هوای سرد ● عدم وجود فضای فرهنگی در میان دست-اندرکاران صنعت ساخت و ساز برای بکارگیری سیمان‌های پوزولانی 	<ul style="list-style-type: none"> ● تولید بیشتر سیمان بدون نیاز به افزایش تولید کلینکر: کاهش هزینه‌های بالاسری تولید محصول و کاهش استهلاک تجهیزات کوره ● مصرف سوخت کمتر به ازای واحد وزن سیمان و بازدهی انرژی بالاتر در تولید ● آلاینده‌گی زیست محیطی کمتر ● افزایش دوام سازه‌های بتنی و کاهش نیاز به تعمیرات سازه‌ای در ابنیه ● کاهش حرارت‌زائی سیمان و افزایش زمان گیرش: عامل مطلوب در بتن‌ریزی‌های حجیم و در هوای گرم

در اهداف برنامه راهبردی توسعه صنعت سیمان، تولید ۱۲۰ میلیون تن سیمان در سال (افزایش ۳۳ درصدی) و جایگاه سوم در جهان برای کشور در سال ۱۴۰۴، در نظر گرفته شده‌است که از این میزان تولید، ۳۲ میلیون تن برای صادرات سیمان مفروض می‌باشد. با توجه به وضعیت کنونی کشور از لحاظ انرژی و ذخایر ارزی، مشکلات و موانع ذیل جهت دستیابی به اهداف فوق وجود دارند:

(۱) کمبود سوخت گاز مخصوصاً در فصول سرد جهت ادامه فعالیت کوره‌های پخت سیمان.

(۲) مشکلات آلاینده‌گی سوخت مازوت و الزام ناخواسته به عدم فعالیت در شرایط آلودگی زیاد هوا.

۳) نیاز به سرمایه‌گذاری ارزی قابل توجه برای احداث واحدهای جدید تولید کلینکر.

۴) امکان‌پذیر نبودن تولید کلینکر بیشتر در بعضی واحدهای صنعتی با توجه ظرفیت کوره.

لازم به توضیح است، در حال حاضر واحدهای صنعتی تولید سیمان با موارد فوق مواجه بوده و حل این

مشکلات علاوه بر امکان‌پذیر ساختن دستیابی به اهداف برنامه راهبردی توسعه صنعت سیمان، نیازهای کنونی

کشور را نیز برطرف می‌سازد.

در این راستا استفاده از سیمان‌های آمیخته می‌تواند راهکاری سریع الوصول، عملی و فنی جهت حل مشکلات

موجود در صنعت سیمان بشمار رود. ولیکن با توجه به معایب مذکور در خصوص تولید کنونی این محصولات در

کارخانه‌های سیمان، نیاز به ارتقای سطح سیمان‌های آمیخته در کشور احساس می‌گردد.

با توجه به دانش فنی و علمی موجود در دانشگاه‌های کشور، می‌توان به ارتقای سطح کیفی محصولات آمیخته

در صنعت سیمان پرداخت و مشکلاتی نظیر افت مقاومت را از طرق فن‌آورانه برطرف نمود و همچنین پس از

ارتقای سطح کیفی، بوسیله آموزش و ترویج نکات فنی در کشور جامعه مشتریان را به سمت استفاده از این نوع

سیمان‌ها هدایت کرد.

سیمان LC³

استفاده از تکنولوژی‌های نوین می‌تواند راهگشای معضل کنونی در صنعت سیمان باشند. در این میان استفاده

از سیمان‌های آمیخته نوین تحت عنوان "سیمان رس کلسینه شده و پودر سنگ آهک" که به اختصار LC³ نامیده

می‌شوند، در کشورهای مختلف در حال ترویج می‌باشد.

تحقیقات پیرامون سیمان LC³ از سال ۲۰۰۵ در دانشگاه پلی‌تکنیک لوزان سوئیس آغاز و هم‌اکنون این سیمان

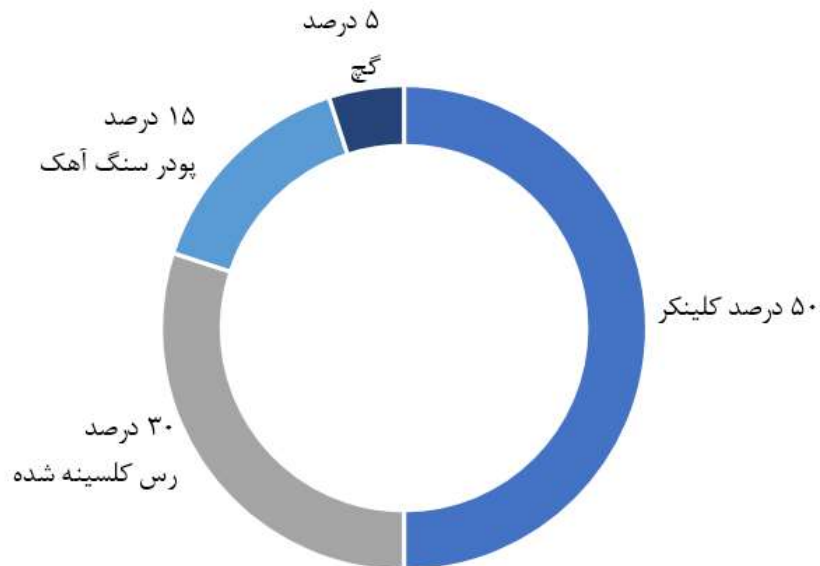
در کشورهای کوبا، هند، چین و گواتمالا تولید شده و فعالیت‌ها جهت احداث واحدهای صنعتی در کشورهای

آمریکای جنوبی، آفریقا و ترکیه در حال پیگیری می‌باشند.



با استفاده از فناوری LC³ می‌توان سیمان آمیخته با بکارگیری ۵۰٪ کلینکر، به شرح مشخصات ذیل تولید

نمود:



رس کلسینه‌شده فرآورده‌ای پوزولانی بوده که از پختن رس‌های مناسب (عمدتاً بر پایه کانی کائولن)، در دمای بین ۶۵۰-۸۵۰ درجه سانتی‌گراد بدست می‌آیند. با توجه به تحقیقات صورت گرفته، رس مناسب نیاز به خلوص بالای کائولن نداشته و وجود ۴۰٪ از این کانی جهت دستیابی به مقاومت فشاری در رده سیمان کلینکری کفایت می‌کند. فرآیند کلسینه‌کردن علی‌رغم نیاز به سوخت، نیازمند دمایی کمتر از پخت سیمان بوده و لذا مصرف سوخت و آلاینده‌گی کمتری را به دنبال خواهد داشت. همچنین کوره‌های مورد نیاز برای کلسینه‌کردن رس‌ها با آجرهای نسوز از درجه پایین نیز قابل طراحی و ساخت می‌باشند و عمر مفید این نسوزها بالاتر از موارد بکاررفته در کوره‌های پخت کلینکر خواهد بود.

علاوه بر مزایای استفاده از مواد جایگزین سیمان که پیش تر به آن اشاره شد، ترکیب سه گانه LC^3 در مقایسه

با سیمان کلینکری، مزایای زیر را داشته و امکان جبران معایب برشمرده شده برای سیمان های آمیخته موجود در

کشور را فراهم می دارد:

- مقاومت هم رده با سیمان معمولی.
- امکان پذیری یافت و تهیه رس مناسب از تقریباً تمامی مناطق کشور.
- کاهش ۵۰ درصدی میزان کلینکر مصرفی.
- بهبود قابل توجه دوام بتن در مقایسه با سایر مواد پوزولانی.

برای تهیه خاک رسی مورد نیاز جهت تولید رس های کلسینه شده می توان از منابع با خلوص متوسط بهره برد

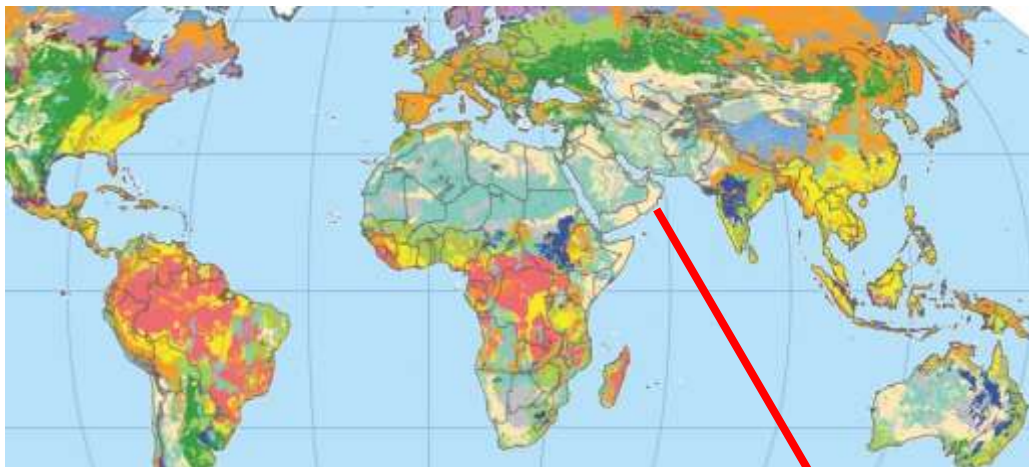
و بعضاً ضایعات کارخانه های تولید کاشی و سرامیک و همچنین نخاله های معادن استخراج کائولن که از لحاظ

رنگ مطلوبیت ندارند، پتانسیل بالایی جهت بکارگیری در ترکیبات LC^3 را دارند. در شکل زیر منابع رس های

موجود در جهان نمایش داده شده که رنگ های نارنجی و سبز در نیمه شمالی کشور منابع غنی و رنگ آبی روشن

منابع با خلوص متوسط را نشان می دهد. بر این اساس کشور ما قابلیت بهره گیری از رس های کلسینه شده مناسب

برای تولید سیمان های LC^3 را دارا می باشد.



در سال ۱۳۹۷ (۲۰۱۸) محققان دانشگاه صنعتی امیرکبیر (دکتر آرش ذوالفقارنسب و دکتر فرناز بهمنزاده) در دانشگاه پلی تکنیک لوزان (EPFL)، در دوره تخصصی سیمان LC^3 حضور یافتند. سپس با الگو گرفتن از مبنای علمی، مصالح تشکیل دهنده و فناوری تولید سیمان LC^3 از این مرکز علمی، در دوره دکتری در دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تحقیق بر روی بومی سازی این فناوری بر مبنای مصالح موجود در کشور پرداختند. همچنین با شرکت در دوره‌های حضوری و آنلاین در کشورهای دیگر در سال‌های ۱۳۹۸ الی ۱۴۰۰ سعی بر به روز رسانی اطلاعات بر مبنای آخرین پیشرفت‌ها در این حوزه و همچنین ارتباط برقرار کردن با تولیدکنندگان صنعتی این نوع سیمان در کشورهای سوئیس، هند و امارات متحده عربی داشته‌اند. لذا با بهره‌گیری از تجربیات علمی و عملی

و همچنین تعریف و انجام برنامه آزمایشگاهی جامع، موفق به ساخت سیمان LC^3 در مقیاس آزمایشگاهی شده و به بررسی مشخصات مکانیکی، دوام و ریزساختار این ماده ساختمانی نوین پرداخته‌اند. در این راستا ۲ رساله دکتری، ۳ پایان نامه کارشناسی ارشد و یک پروژه کارشناسی در طی بازه زمانی ۳/۵ سال تحت نظر مرحوم پروفسور علی‌اکبر رضانیانپور و محققان مذکور به انجام رسیده‌اند. حاصل تحقیقات این پژوهشگران در قالب مجلداتی بعنوان پایان‌نامه در دانشگاه صنعتی امیرکبیر و مقالات علمی در مجلات بین‌المللی و داخلی موجود می‌باشد. بصورت کلی نتیجه این تحقیقات را می‌توان مطابق ذیل بیان نمود:

- امکان ساخت سیمان LC^3 با خواص مهندسی مطلوب با استفاده از رس‌های کلسینه‌شده با خلوص کم تهیه شده از معادن در نقاط مختلف کشور.
- بهبود دوام قابل توجه در مصالح پایه سیمانی ساخته شده توسط سیمان LC^3 .
- ویژگی مطلوب جهت بکارگیری در محیط‌های خورنده نظیر سواحل جنوبی کشور، خاک‌های آسیب‌رسان سولفاتی و کنترل سرطان بتن (واکنش‌های سیلیسی-قلیایی سنگدانه).
- امکان بکارگیری ضایعات کارخانه‌های فرآوری کائولن بعنوان مصالح اولیه تولید رس‌های کلسینه‌شده.