



نگاهی به آخرین دستاوردها در صنعت سیمان در سه مرحله تولید ، فرایند و فناوری

نقیسه عین افشار^۱، مجتبی لزگی نظرگاه^۲

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۲- دانشیار مهندسی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

خلاصه

در سال ۲۰۵۰ شاهد تغییرات چشمگیری در جمعیت ، محیط زیست ، فناوری و اقتصاد خواهیم بود. در این میان صنعت سیمان به عنوان یکی از صنایع استراتژیک و تأثیرگذار، دستخوش تغییرات بسیاری خواهد شد که نگاهی به این تحولات می تواند چشم اندازهای جدیدی را در مسیر فعالان و علاقه مندان به این صنعت قرار دهد. سیمان برای توسعه اقتصادی و کاهش فقر در بازارهای نوظهور مهم است. پیش بینی می شود که بازار کلی سیمان بین سالهای ۲۰۱۸ و ۲۰۲۵ شاهد افزایش چشمگیری باشد که عمدتاً با توسعه ی شهرهای هوشمند ، ساختمان های مدرن ، تعمیر زیرساخت ها و فناوری های جدید سیمان محقق می شود. صنعت سیمان باید با بسیاری از عوامل اقتصادی از جمله قیمت انرژی ، جریمه های زیست محیطی، هزینه های تولید و رقابت در بازار مقابله کند که در نهایت بر هزینه یک تن سیمان تأثیر می گذارد. امروزه، هزینه های انرژی در بخش سیمان ، بیشتر مربوط به سوخت های فسیلی و برق می شود (در حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد از هزینه های نقدی). به منظور بهبود در مصرف انرژی و کاهش انتشار کربن دی اکسید ، فرآیندهای تولید در صنعت سیمان پیشرفت یافته و در حال بهینه سازی و اتوماتیک شدن هستند. هدف از این مطالعه ، نگاهی به آخرین دستاوردها در صنعت سیمان در سه دسته تولید ، فرایند و فناوری است. در هر زمینه، خلاصه ای از بهترین توسعه ها در بخش سیمان ارائه شده و تمرکز خود را بر روی اقداماتی قرار داده ایم که توسط کارخانه های سیمان برای کاهش هزینه های عملیاتی آنها و بهبود کیفیت سیمان قابل اجرا باشد.

کلمات کلیدی: سیمان، تکنولوژی، فناوری، سیمان سبز.

۱. مقدمه

واضح است که سیمان ، یک محصول حیاتی است که در ترکیب با سایر مواد، آن را به یک ماده اصلی ساختمانی تبدیل می کند[۱]. تولید جهانی سیمان در سالهای اخیر به طور پیوسته رشد نموده است. تولیدکنندگان سیمان که می خواهند سهم بیشتری را از این بازار رو به رشد کسب کنند باید خود را در صدر پیشرفت های اخیر در فناوری سیمان باقی نگاه دارند. فناوری پیشرفته سیمان بهترین راه برای اطمینان از قابلیت رقابت با سایر تولید کنندگان و پیمانکاران است و به شما در پیروزی در این صنعت کمک می کند.

در سند چشم انداز ایران ۱۴۰۴ ، صنعت سیمان در بین سایر صنایع کشور اولویت دوازدهم را دارد. بر اساس چشم انداز ترسیم شده برای صنعت سیمان در افق ۱۴۰۴ دستیابی به ارتقای بهره وری، افزایش توان رقابت پذیری، بهینه سازی مصرف انرژی و آب، تکمیل زنجیره ارزش و توسعه صنایع پائین دستی، ارتقای سطح کیفیت و استاندارد محصولات در سطح جهانی، دستیابی به شاخص های استانداردهای زیست محیطی به عنوان اهداف کلی در این برنامه پیش بینی شده است. به عبارت دیگر در افق چشم انداز ۱۴۰۴ کسب جایگاه سوم جهان با ظرفیت تولید سالیانه ۱۲۰ میلیون تن و رتبه اول

در صادرات جهانی و ظرفیت تولید در منطقه برای صنعت سیمان ترسیم گردیده است. [۲،۳]. با توجه به آنچه بیان شد، اهمیت صنعت سیمان در کشورمان بیشتر احساس می شود.

یکی از موضوعات اصلی صنعت سیمان، معرفی فناوری های نوظهوری است که بتواند علاوه بر صرفه جویی در مصرف انرژی، از محیط زیست حفاظت کند. صنعت سیمان نیز مانند بقیه صنعت ساخت و ساز با چالش های بی سابقه ای در رابطه با منابع انرژی، انتشار CO_2 و استفاده از مواد جایگزین روبرو است. با کم شدن منابع سوخت، در سراسر جهان هزینه انرژی در حال افزایش است که بر هزینه تولید سیمان و قیمت بازار آن تاثیر دارد. آلودگی محیط زیست هزینه ی اضافی است که در صورت عدم نظارت بر تولید گازهای گلخانه ای تحمیل شده و احتمالاً منجر به دو برابر شدن قیمت سیمان تا سال ۲۰۳۰ خواهد شد. علاوه بر این، توسعه صنعت مدرن سیمان و بتن مستلزم بهبود دوام آنهاست. رویکردهای بسیاری برای بهبود خاصیت دوام بتن با تمرکز بر اصلاح ملات سیمان مورد بررسی قرار گرفته شده است [۴].

خواص و رفتار سیمان به اجزای تشکیل دهنده سیمان بستگی دارد. افزودن مواد در مقیاس نانو به سیمان می تواند باعث افزایش خاصیت عملکردی و سهولت در فرآیند تولید سیمان و همچنین بهبود خواص نهایی سیمان سخت شده، گردد. در سال های اخیر، نانومواد به دلیل نقشهای مفیدشان در زمینه سیمان و مواد بتنی به طور فزاینده ای مورد بررسی قرار گرفته اند. در واقع، فناوری نانو نقاط ضعف سیمان را بدون ایجاد اشکال در سایر خصوصیات آن از بین می برد [۴].

در این مطالعه، ما تنها چند نمونه از چنین پروژه های نوآورانه و تحقیق و توسعه آنها را بیان نموده ایم. هدف همه آنها بهبود عملکرد زیست محیطی، کاهش انتشار CO_2 ، بهبود راندمان انرژی و بهبود خصوصیات مکانیکی و کیفیت سیمان است.

۲. نوآوری های جدید در تولید سیمان

۲.۱. نانو مواد در سیمان

فناوری نانو در سالهای اخیر به تدریج مورد مطالعه صنایع سیمان و بتن قرار گرفته است و تحقیقات سیمان را به عصر جدیدی سوق می دهد. نانوذرات به عنوان ذره هایی با ابعاد از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر در دو یا سه بعد تعریف می شوند [۵]. نانو مواد های متنوعی (از جمله نانو پودرها، نانو لوله ها و نانو الیاف) توسعه یافته و در مواد مبتنی بر سیمان گنجانده شده اند. نتایج تحقیق نشان داد که استفاده از نانوذرات در سیمان به طور قابل توجهی، خصوصیات مکانیکی و کیفیت بتن را بهبود می بخشد. بیشتر کارها تاکنون با نانوسیلیکا (SiO_2) و اکسید نانو تیتانیوم (TiO_2) بوده است (۶-۱۰). اخیراً مطالعات زیادی نیز در مورد استفاده از نانو آهک ($CaCO_3$) [۱۱]، نانو اکسید آهن (Fe_2O_3) [۱۲]، نانو کربن [۱۳]، نانو آلومینا [۱۴، ۱۵] و نانو ذرات رس [۱۶] انجام شده است.

افزودن مقادیر کمی از نانوذرات می تواند هیدراتاسیون و ریزساختارهای مواد سیمانی را تغییر دهد. تحقیقات نشان داده اند که نانو مواد به خوبی پراکنده می شوند و می توانند هیدراتاسیون سیمان را تسریع کنند و منافذ ریز موجود در بتن را برطرف نمایند و ساختار داخلی را اصلاح کنند، که منجر به کاهش قابل ملاحظه ی نفوذپذیری بتن و بهبود خواص مکانیکی بتن و دوام آن می شوند [۴].

گرافن یکی از نانومواد است که دارای ساختار دو بعدی و خاصیت های منحصر به فردی می باشد. با توجه به ساختار هندسی خاص این ماده، میتوان انتظار داشت که گرافن دارای خواص فیزیکی و شیمیایی قابل توجهی از جمله؛ مدول یانگ بالا، استحکام شکست بالا، هدایت بسیار عالی الکتریکی و گرمایی، سطح بزرگ و زیست سازگاری بالا را داشته باشد [۱۷]. همچنین استحکام مکانیکی بالا، انعطاف پذیری و هزینه تولید پایین، گرافن را به عنوان یک ماده عالی برای بهبود خواص مکانیکی و کیفیت سیمان تبدیل کرده است. با توجه به تحقیقات اخیر بتن های حاوی گرافن نسبت به سایر فیبرها

از نظر خصوصیات ساختاری، برتری قابل توجهی دارند. خواص شیمیایی و الکتریکی نانو صفحات گرافن می تواند برای ارائه یک هدف خاص در مقیاس نانو طراحی شود [۱۸-۲۰]. به این ترتیب، نانو صفحات گرافن فرصت های جدیدی را برای توسعه بیشتر کامپوزیت های مبتنی بر سیمان فراهم می کند [۱۹].

۲.۲. سیمان سبز

صنعت سیمان به دلیل کمبود منابع سوخت طبیعی، کمبود مواد اولیه، افزایش تقاضای سیمان و نگرانی های زیست محیطی مرتبط با آب و هوا، در قرن بیست و یکم با چالش های بسیاری روبرو است. تولید سیمان مسئولیت تقریباً ۵ درصد از انتشار گازهای گلخانه ای (CO₂) را دارد و طبق برخی تخمین ها، این بخش حتی ممکن است بالاتر باشد. برای تولید محصولی که دوام بیشتری داشته باشد و به منظور صرفه جویی در مصرف انرژی و کاهش تولید گازهای گلخانه ای، بسیاری از تولید کنندگان سیمان، اقدامات متفاوتی را انجام می دهند. در نتیجه ضرورت تولید "سیمان سبز" به عنوان سیمان سازگار با محیط زیست یک جایگزین مناسب برای سیمان معمولی محسوب می شود. طبق آخرین آماری که به تازگی منتشر شده است تا سال ۲۰۲۰، ۱۳ درصد از تولید جهانی سیمان به صورت سیمان سبز خواهد بود. فرایند کاهش دی اکسید کربن در حضور آب، یکی از امیدوارکننده ترین فناوری ها برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای (GHG^۱) است. در فرایند کاهش الکتروشیمیایی دی اکسید کربن (ERC^۲)، دی اکسید کربن را که معمولاً از فرایند ترموشیمیایی سوخت های فسیلی به دست می آیند، با آب ترکیب نموده تا مواد با ارزش بالایی مانند اسید فرمیک و نمک های فرمات تولید کند، با این حال، ERC نسبت به روشهای معمول می تواند دی اکسید کربن را به مواد شیمیایی سبزی فراتر از اسید فرمیک، همچون مواد شیمیایی جدید، محصولات ساختمانی و سوخت های مایع تبدیل کند.

۲.۳. سیمان هوشمند

سیمان های هوشمند فرصتی منحصر به فرد برای بهبود روند نظارت از طریق کنترل از راه دور و تعمیر ساختارهای بتنی را ارائه می دهند. در این تحقیق، آخرین پیشرفت ها در ساخت و بررسی سنسورهای سیمان هوشمند را بر اساس ژئوپلیمرهای خاکستر بادی ارائه می دهیم. این فرایند جدید، سیمان را همانند یک پوسته قوی، در برابر حملات شیمیایی و الکتریکی مقاوم می کند. از آنجا که کلرید و رطوبت دو عامل اصلی تخریب بتن مسلح هستند، ما فناوری را پیشنهاد می کنیم که قادر به نظارت بر ورودی کلرید در بتن ها در سطوح مختلف رطوبت باشد. وظیفه اصلی این فناوری، تولید چسب ژئوپلیمر برای نمونه های بتنی و اصلاح آن ها در دمای محیط است. در این فناوری با استفاده از اندازه گیری امپدانس الکتریکی لایه های پوستی ژئوپلیمر، می توان نظارتی با دقت بالا از آلودگی های کلرید در سطوح مختلف رطوبت را فراهم نمود. نتایج نشان می دهد سیمان هوشمند نسبت به تغییرات رطوبت در محیط اطراف حساس می باشد. هدف ما توسعه یک فناوری قوی و ارزشمند است که بتواند نظارت و نگهداری کافی را از سازه ها داشته باشد. با فرسوده شدن پل های بتنی، تونل ها و سازه های پشتیبانی استفاده از سیمان هوشمند از اهمیت ملی برای کشورمان برخوردار است [۲۳].

¹ Greenhouse gas

² Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide

۳. نوآوری های جدید در فرایند صنعت سیمان

۳.۱. بهبود مصرف انرژی در صنعت سیمان

تولید سیمان یک صنعت پرهزینه می باشد، که شامل مقادیر زیادی مواد اولیه، انرژی، نیروی کار و سرمایه است. گذشته از استخراج مواد اولیه، پنج مرحله در فرآیند اصلی تولید سیمان وجود دارد که هر یک از این مراحل دارای الزامات و الگوی مصرف انرژی خاص است و می تواند بسته به ویژگی ها و شرایط موجود در هر کارخانه ی سیمان، اقدامات مختلف جهت بهینه کردن انرژی برای کاهش مصرف و افزایش بهره وری انجام داد. در کارخانه های سیمان برای بسته بندی محصول نهایی، روشنایی و خدمات ساختمانی نیز انرژی مصرف می شود. تولید و آماده سازی مواد اولیه یک مرحله پر مصرف برق است که به ازای هر تن مواد اولیه حدود ۲۵ تا ۳۵ کیلووات ساعت برق نیاز دارد، اگرچه ممکن است به ازای هر تن ۱۱ کیلو وات ساعت دیگر نیاز داشته باشد. لذا کاهش مصرف انرژی نقشی کلیدی در توسعه این صنعت دارد. برای کاهش مصرف برق و اصلاح سیستم و حرکت به سمت کارایی بالاتر، نیاز است به موارد زیر توجه ویژه شود:

- ۱- افزایش کارایی در انواع آسیاب های غلطکی مورد استفاده در صنعت سیمان
- ۲ - تغییر در طراحی و فن آوری قطعات مختلف از جمله پیش گرمکن ها و استفاده از فناوری های بازیافت حرارتی که باعث کاهش مصرف انرژی در فرایند تولید کلینکر می شود.
- ۳ - تغییر در طراحی سپراتور، سیکلون، فن و مشعل که در نهایت منجر به کنترل گازهای خروجی می شود.
- ۴- با افزودن پیش سنگ زنی، مصرف برق در حدود ۸ کیلووات ساعت در هر تن مواد اولیه (تقریباً ۲۲ درصد) کاهش می یابد

۵- تعویض آسیاب های تویی قدیمی با آسیاب های غلتکی عمودی یا غلتک های سنگ زنی با فشار بالا می تواند مصرف برق را به میزان ۱۱ تا ۱۵ کیلووات ساعت در هر تن مواد اولیه کاهش دهد.

۶- تغییر در طراحی و تکنولوژی بخش های مختلف از جمله پری هیتر، پری کلساینر و استفاده از فناوری های بازیافت حرارتی که کاهش مصرف انرژی را در حدود ۰,۱۶ کیلووات ساعت در هر فرآیند تولید کلینکر موجب می شود.

۷ - کنترل بهینه سیستم کوره، فرآیند کلیدی در کاهش مصرف انرژی است. سیستم های کنترل فرآیند غیر خودکار یا غیر بهینه ممکن است منجر به اتلاف گرما، شرایط ناپایدار در فرآیند و توقف عملیاتی شوند. صرفه جویی در انرژی حرارتی در سیستم های کنترل فرآیند ممکن است بین ۲,۵ تا ۱۰ درصد متفاوت باشد و صرفه جویی معمولاً بین ۲,۵ تا ۵ درصد تخمین زده می شود

۸- پیشرفته ترین سیستم های کوره سیمانی از سوخت جامد، در مشعل های چند کاناله استفاده می کنند. مشعل های چند کاناله قابلیت شکل گیری شعله را به عملکرد کوره می دهند. این سیستم ها به طور معمول دارای سرعت جریان هوایی هستند که ۸ تا ۱۲ درصد از کل هوای احتراق مورد نیاز را تشکیل می دهند. علاوه بر اثر صرفه جویی در مصرف انرژی، مشعل های چند کاناله مدرن دارای چندین مزیت مرتبط با عملکرد کوره هستند: که این مشعل های مدرن امکان استفاده از مقادیر قابل توجهی از سوخت های ثانویه را نیز فراهم می کنند.

۹- پیش گرمکن های چند مرحله ای سیکلونی اصلی ترین اجزای تبادل گرما در فرآیند سوزاندن کلینکر است. از سیکلون ها برای گرم کردن مواد اولیه خام قبل از کوره استفاده می شوند. سلیکون های مدرن با افت فشار پایین تر و راندمان جداسازی مواد بالاتر نسبت به طرح های قدیمی طراحی شده اند. نسبت به کوره های قدیمی تر، مقدار صرفه جویی انرژی در حدود ۰,۶ تا ۱,۵ کیلو وات ساعت در هر کلینکر است.

۱۰- اکسیژن رسانی با استفاده از فرآیند تزریق مستقیم اکسیژن به ناحیه احتراق و یا به عنوان یک ماده کمکی برای جریان هوای ورودی می تواند سبب افزایش راندمان احتراق، کاهش حجم گازهای خروجی و کاهش نیتروژن شود. به طور



کلی، استفاده از هوای ورودی غنی شده با اکسیژن باعث کاهش مصرف سوخت، افزایش ظرفیت تولید، جایگزینی سوخت های فسیلی با سوخت های دیگر می گردد و از این طریق مصرف انرژی حرارتی را می توان ۱۰۰ تا ۲۰۰ مگاوات در هر کلینکر کاهش داد. از طرفی مصرف برق به دلیل تولید اکسیژن می تواند ۱۰ تا ۳۵ کیلووات ساعت در هر کلینکر افزایش یابد ولی در مجموع کاهشی را در مصرف انرژی خواهیم داشت [۳].

۴. نوآوری های جدید در فناوری سیمان

۴.۱. تغییر در طراحی و بهره گیری از فناوری های خودکار

صنعت سیمان دچار تغییراتی در جهان خواهد شد که این امر باعث کاهش مصرف انرژی، کاهش مصرف کلینکر، کاهش تولید دی اکسید کربن و بهره مندی از سیستم های اتوماسیون و فناوری اطلاعات می گردد که به شرح زیر خواهد بود:

- افزایش نقش فن آوری های دیجیتال در کنترل و عیب یابی خطوط تولید، تجزیه و تحلیل و نظارت داده ها
- با دیجیتالی شدن فرآیند تولید، امنیت سایبری به یکی از الزامات کارخانه های تولیدی تبدیل خواهد شد.
- سیستم های خودکار جایگزین نیروی انسانی می شوند و میزان اشتغال مستقیم نیروهای مستقر در واحدهای تولیدی کاهش می یابد.
- مهندسين اطلاعات به همراه مهندسان مکانیک، شیمیایی و برق نقش پر رنگ تری در تولید سیمان و کلینکر (های تک)^۱ ایفا می کنند
- استفاده از فن آوری های پیشرفته در زمینه صنعت سیمان مانند سیستم های گرمایشی خورشیدی/برقی، فن آوری های جاذب کربن، سوخت های جایگزین بدون کربن، مواد بازیافتی و آسیاب های مدرن می تواند سیمانی با دوام بالاتر و مقرون به صرفه تر تولید کند.

۴. نتیجه گیری

صنعت سیمان و محصول آن به عنوان یک مقوله استراتژیک و بسیار مهم در روند توسعه هر جامعه، از جایگاه ویژه ای برخوردار است. تمام فن آوری های ذکر شده، مورد بررسی قرار گرفته و از طریق تحقیقات تایید شده اند و در چند دهه اخیر، در نقاط مختلف جهان، بخش هایی از این راه حل ها اجرا شده است. صنعت سیمان باید قبل از آنکه تنها به فکر سودآوری باشد، حفاظت از محیط زیست و رفاه نسلهای آینده را نیز در دستور کار خود قرار دهد. بهره گیری از این فناوری های نوین در صنعت سیمان نه تنها باعث جلوگیری از آسیب و ورود آلاینده ها و انتشار دی اکسید کربن به محیط زیست می گردد، بلکه به صاحب صنعت کمک می کند که به ارزش افزوده بالاتری دست پیدا کرده و از نظر اقتصادی سودآوری بالاتری داشته باشد. با بهبود خواص و ویژگی های سیمان همچون استحکام و پایداری آن، سبب می گردد که مقدار سیمان و بتن مورد نیاز در کوتاه مدت به علت کاهش ابعاد قطعات سازه ای و در دراز مدت به علت افزایش عمر مفید سازه ها کاهش یافته و در نتیجه میزان برداشت مصالح از محیط و اثرات زیست محیطی نیز کاهش می یابد.

¹ High Tec



۵. مراجع

- [1] M.S. Imbabi, C. Carrigan, S. McKenna, Trends and developments in green cement and concrete technology, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 1 (2012) 194-216.
- [2] strategic plan for cement industry, in: www.cementtechnology.ir, 2015.
- [3] M.R.S. Michel Folliet, Jigar Shah, Improving Thermal and Electric Energy Efficiency at Cement Plants: International Best Practice, International Finance Corporation, Washington, D.C., 2017.
- [4] X. Wang, Effects of nanoparticles on the properties of cement-based materials, (2017).
- [5] K. Wang, S.P. Shah, T. Voigt, Self-consolidating concrete for slip-form construction: properties and test methods, The 50-year teaching and research anniversary of Prof. Sun Wei on advances in civil engineering materials, (2010) 161-172.
- [6] L. Singh, S. Karade, S. Bhattacharyya, M. Yousuf, S. Ahalawat, Beneficial role of nanosilica in cement based materials—A review, *Construction and Building Materials*, 47 (2013) 1069-1077.
- [7] P. Aggarwal, R.P. Singh, Y. Aggarwal, Use of nano-silica in cement based materials—A review, *Cogent Engineering*, 2 (2015) 1078018.
- [8] A. Jayapalan, B. Lee, K. Kurtis, Effect of nano-sized titanium dioxide on early age hydration of Portland cement, in: *Nanotechnology in Construction 3*, Springer, 2009, pp. 267-273.
- [9] W. Shen, C. Zhang, Q. Li, W. Zhang, L. Cao, J. Ye, Preparation of titanium dioxide nano particle modified photocatalytic self-cleaning concrete, *Journal of cleaner production*, 87 (2015) 762-765.
- [10] E. Cerro-Prada, S. García-Salgado, M. Quijano, F. Varela, Controlled synthesis and microstructural properties of sol-gel TiO₂ nanoparticles for photocatalytic cement composites, *Nanomaterials*, 9 (2019) 26.
- [11] W. Li, Z. Huang, F. Cao, Z. Sun, S.P. Shah, Effects of nano-silica and nano-limestone on flowability and mechanical properties of ultra-high-performance concrete matrix, *Construction and Building Materials*, 95 (2015) 366-374.
- [12] C. Vipulanandan, A. Mohammed, Smart cement modified with iron oxide nanoparticles to enhance the piezoresistive behavior and compressive strength for oil well applications, *Smart Materials and Structures*, 24 (2015) 125020.
- [13] B. Han, L. Zhang, S. Sun, X. Yu, X. Dong, T. Wu, J. Ou, Electrostatic self-assembled carbon nanotube/nano carbon black composite fillers reinforced cement-based materials with multifunctionality, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 79 (2015) 103-115.
- [14] I. Campillo, A. Guerrero, J. Dolado, A. Porro, J.A. Ibáñez, S. Goñi, Improvement of initial mechanical strength by nanoalumina in belite cements, *Materials Letters*, 61 (2007) 1889-1892.
- [15] K. Behfarnia, N. Salemi, The effects of nano-silica and nano-alumina on frost resistance of normal concrete, *Construction and Building Materials*, 48 (2013) 580-584.
- [16] C.W. Roddy, R.L. Covington, J. Chatterji, D.C. Brenneis, Cement compositions and methods utilizing nano-clay, in: *Google Patents*, 2013.
- [17] E. Einafshar, A.H. Asl, A.H. Nia, M. Mohammadi, A. Malekzadeh, M. Ramezani, New cyclodextrin-based nanocarriers for drug delivery and phototherapy using an irinotecan metabolite, *Carbohydrate polymers*, 194 (2018) 103-110.
- [18] H. Yang, H. Cui, W. Tang, Z. Li, N. Han, F. Xing, A critical review on research progress of graphene/cement based composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 102 (2017) 273-296.
- [19] T.S. Qureshi, D.K. Panesar, Impact of graphene oxide and highly reduced graphene oxide on cement based composites, *Construction and Building Materials*, 206 (2019) 71-83.
- [20] S. Lv, Y. Ma, C. Qiu, Q. Zhou, Regulation of GO on cement hydration crystals and its toughening effect, *Magazine of Concrete Research*, 65 (2013) 1246-1254.
- [21] A. Naqi, J.G. Jang, Recent progress in green cement technology utilizing low-carbon emission fuels and raw materials: A review, *Sustainability*, 11 (2019) 537.
- [22] J.H. Potgieter, An Overview of Cement production: How" green" and sustainable is the industry?, *Environmental Management and Sustainable Development*, 1 (2012) 14.
- [23] L. Biondi, M. Perry, C. Vlachakis, A. Hamilton, Smart cements: repairs and sensors for concrete assets, in: *Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems 2018*, International Society for Optics and Photonics, 2018, pp. 105982U.