



انجمن سیمان

اولین کنفرانس بین‌المللی، پنجمین کنفرانس ملی و نمایشگاه جانبی

صنعت سیمان و افق پیش رو

ایران/تهران ۲۰-۱۹ آبان ۱۳۹۸



مروری بر ابداعات و پروژه های پژوهشی انجمن سیمان اروپا در زمینه کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن

امین صباغ زاده*

کارشناس دفتر فنی شرکت صنایع سیمان زابل

خلاصه

اخیراً در صنعت سیمان اروپا پیشرفت های علمی و تحقیقاتی بسیاری در زمینه تولید سیمان و بتن های سازگار با محیط زیست به منظور کاهش میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در حین فرآیند تولید، کاهش استفاده از مواد اولیه آهکی و کاهش مصارف انرژی صورت گرفته که توسط موسسات و انجمن های علمی- تخصصی بسیاری مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. یکی از این موسسات، انجمن سیمان اروپا بوده که توانسته نقش بسزایی در اطلاع رسانی از آخرین و بروزترین دستاوردهای صنعت سیمان اروپا داشته باشد. لذا در این مقاله سعی بر آن شده است تا به منظور ارتقای سطح آگاهی و دانش صنایع سیمان کشور و اطلاع از آخرین موضوعات و دستاوردهای تحقیقاتی صورت گرفته در زمینه سیمان و بتن، شرح مختصری از جدیدترین پروژه های تحقیقاتی روز اروپا در صنعت سیمان بیان گردد. امید است جمع آوری این مطالب جهت استفاده در صنایع سیمان کشور موثر و مفید واقع گردد.

کلمات کلیدی: جذب کربن، انتشار گاز دی اکسید کربن، سیمان کم کربن، کامپوزیت بتنی کربنی

۱. مقدمه

صنایع سیمان اروپا بصورت مستمر در حال تحقیق و مطالعه بر روی راه هایی است تا بتواند کیفیت محصولات خود را افزایش داده و اثرات سوء محیط زیستی آن ها را کاهش دهد. این موضوع زمان و منابع قابل توجهی را برای پروژه- های نوآورانه در طیف گسترده ای از موضوعات به خود اختصاص می دهد. در این مقاله مثال های بارزی از جدیدترین نوآوری ها و پروژه های تحقیق و توسعه ای بیان می شود که می توانند جهت بهبود عملکرد زیست محیطی، کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن و بهبود بهره وری انرژی در صنعت کمک بزرگی بکنند. این پروژه ها عبارت است از پروژه جذب کربن (Carbon Capture) و استفاده مجدد از کربن در ساخت کلینکر، تولید و توسعه سیمان کم کربن (LCC) و سازه ها و نوآوری های جدید در محصولات بتنی و کاربردهایشان می باشد. این نوآوری ها باعث افزایش رقابت پذیری و اشتغال زایی شده بطوریکه صنعت سیمان اروپا پیشرو در این نوآوری ها بوده و در ۲۰ سال گذشته همواره در جهت استفاده از سوخت های جایگزین و پسماندها (تامین ۴۱ درصد از سوخت مورد نیاز کوره های سیمان)، تولید محصولات سازگار با محیط زیست با کمترین میزان انتشار گاز دی اکسید کربن حرکت کرده است. از طرفی با بازیافت موثر مواد معدنی نیاز به تامین مواد خام اولیه را کاهش داده و باعث جلوگیری از انتشار ۱۸ میلیون تن گاز دی اکسید کربن در سال شده که سهم مهمی در تغییرات آب و هوایی و دستیابی به اهداف بهره وری انرژی اتحادیه اروپا دارد. در این مقاله سعی بر آن شده

* Corresponding author: Amin Sabbaghzade, Technical office expert of Zabol Cement Industrial CO.

Email: Amin.sabbaghzade2020@gmail.com



آخرین دستاوردهای علمی تحقیقاتی در صنایع سیمان اروپا بیان شود تا با الگوبرداری از این دستاوردها و تکنولوژی‌ها بتوان قدم‌های موثری در راستای پیشرفت صنایع و کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن در جهان برداشت.

۲. نقش سیمان در اقتصاد کم کربن (LCE) تا سال ۲۰۵۰

نقشه راه LCE اروپا تا سال ۲۰۵۰ شامل ۵ پروسه موازی بوده که می‌توانند هر کدام در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به تولید سیمان و همچنین بتن نقش داشته باشند. سه مسیر ابتدایی در این نقشه به اندازه‌گیری و کمیت‌سنجی پرداخته و دو مسیر انتهایی به این موضوع می‌پردازند که سیمان و بتن چگونه می‌توانند در جامعه کم کربن (LCS) نقش داشته و ارتباطی از این نقشه راه به بخش ساخت و ساز برقرار کنند (رجوع به جدول ۱) [۱،۲].

جدول ۱- نقشه راه LCE اروپا تا پایان سال ۲۰۵۰

بهره‌وری در صنایع پایین دست	بهره‌وری در محصول	جذب و استفاده مجدد از کربن	بهره‌وری در انرژی	بهره‌وری در منابع
سازه‌های هوشمند و توسعه زیرساخت‌ها	بتن کم کربن Low Carbon Concrete	جذب بیولوژیکی کربن Biological Carbon Capture	بهره‌وری در انرژی الکتریکی	سوخت‌های جایگزین
بازیافت بتن			بهره‌وری در انرژی حرارتی	جایگزینی مواد اولیه
احیای کربن Recarbonation				جایگزینی کلینکر
ساخت و ساز پایدار				سیمان‌های جدید
				بهره‌وری در حمل و نقل

۳. پروژه CEMCAP

پروژه‌ای است که در افق ۲۰۲۰ با هدف دستیابی به جذب گاز دی‌اکسید کربن (کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن) بودجه‌بندی شده و هدف اصلی آن ایجاد بستری مناسب جهت اجرای پروژه جذب کربن در مقیاس بزرگ در صنعت سیمان اروپا می‌باشد. این پروژه کلیه تکنولوژی‌هایی که جهت جذب گاز دی‌اکسید کربن در صنعت سیمان قابل اجرا و استفاده می‌باشد را تشریح کرده و عملیات آزمایشی با مقیاس کوچک و قابل تعمیم به صنعت بصورت واقع‌گرایانه انجام شده و با هدف حذف انتشار گاز دی‌اکسید کربن در حال توسعه می‌باشد.

تمامی این تکنولوژی‌ها دارای توانایی جذب ۹۰ درصدی گاز دی‌اکسید کربن بوده که به شیوه‌های مقرون به صرفه، سازگار با محیط زیست و حداقل مصرف انرژی اجرایی می‌گردد. در جدول شماره ۲ برخی از ویژگی‌های تکنولوژی‌های پروژه CEMCAP بررسی شده است. در حال حاضر صنایع سیمان در اروپا جهت کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن و جذب کربن از راه‌حل‌های زیر استفاده می‌کنند:

- جدایش گاز دی‌اکسید کربن از طریق جذب شیمیایی پس از احتراق سوخت گاز (Post-Combustion)

- احتراق با اکسیژن خالص بجای هوا (Oxy Fuel Technology) [۱،۳].

¹ Low Carbon Economy

² Low Carbon Society

³ Cement Carbon Capture



جدول ۲- ویژگی های فن آوری های موجود در CEMCAP

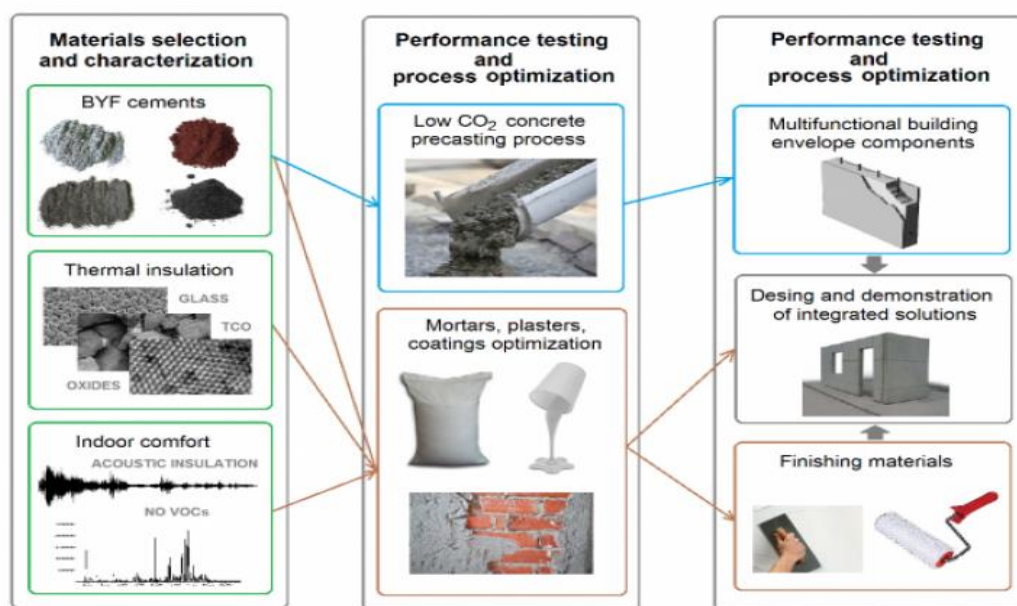
	Oxyfuel capture	تکنولوژی های جذب قبل از احتراق		
		آمونیاک سرد Chilled ammonia	مایع سازی CO ₂ به کمک غشاء	چرخه کلسیت Calcium Looping
اصول جذب CO ₂	احتراق با اکسیژن (نه هوا) جهت تولید CO ₂ خلوص بالا	مخلوط آمونیاک به آب بعنوان حلال مایع که با گرمایش احیا میشود	نیاز به غشاء پلیمری جهت غنی سازی CO ₂ و سپس مایع سازی آن	واکنش CO ₂ با CaO که تولید کلسیت کرده و با گرمادهی احیا میشود
کارخانجات سیمان	استفاده از طریق اصلاح مشعل و خنک کن کلینکر (کولر)	آسان بودن بازسازی مجدد و نیاز به اصلاح ناچیز جهت بازیافت حرارت	بدون انجام اصلاحات، نیاز به حذف NO _x ، SO _x و آب قبل از غنی سازی CO ₂	پسماند این فرآیند بعنوان ماده اولیه اصلی در صنایع تولید سیمان استفاده می شود
کیفیت کلینکر	حفظ کیفیت باید تأیید شود	بدون تغییر در کیفیت	بدون تغییر در کیفیت	حفظ کیفیت کلینکر
سرعت جذب و خلوص CO ₂	نیاز به واحد تصفیه CO ₂ ، سرعت جذب و خلوص بالا	خلوص و سرعت جذب بسیار بالا، جذب NO _x و SO _x	خلوص و سرعت جذب مناسب	خلوص و سرعت جذب نسبتاً بالا
انرژی	امکان تغییر سوخت وجود ندارد، بازیافت حرارت، افزایش قدرت برق	نیاز به دیگ بخار کمکی، بازیافت حرارت، نیاز به برق جهت سرمایش	افزایش مصرف برق، بدون بازیافت حرارت	نیاز به سوخت اضافه، قادر به تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه

۴. پروژه ECO-Binder

این پروژه شامل توسعه سیستمهای بتنی جداساز مبتنی بر چسباننده های کم کربن (Low Carbon Binder) جدید بوده که جهت جایگزینی با سیمان های پرتلند معمولی بعنوان نسل جدیدی از ترکیبات و مصالح ساختمانی سازگار با محیط زیست، با دوام و با بهره وری انرژی بالا فعالیت می کند. هدف اصلی این پروژه تشریح امکان جایگزین کردن سیمان پرتلند معمولی و بتن های ساخته شده از آن با محصولات جدید بر پایه BYF^۴ از سیمان های کم کربن می باشد. این پروژه به کاهش ۳۰ درصدی انتشار گاز دی اکسید کربن در فرآیند تولید سیمان، بهبود ۲۰ درصدی خواص عایقی بتن، کاهش ۱۵ درصدی هزینه های مرتبط به تولید سیمان پرتلند، کاهش استفاده از ترکیبات آهکی در مواد اولیه، کاهش دمای پخت کلینکر (۱۳۰۰-۱۲۵۰ درجه) و کاهش مقدار انرژی مصرفی جهت آسیاب کردن مواد خام و کلینکر کمک می کند. ترکیب این نوع سیمان با مواد عایق و استفاده از روش های اختلاط پیشرفته باعث توسعه سیستم های بتنی با درصد کربن کم و سازگار با محیط زیست شده که در صورت استفاده در سطوح، باعث ایجاد خواص بازتاب صوت و حرارت (عایق صوتی و حرارتی)، مقاومت در برابر آتش، بهینه سازی کیفیت هوا در داخل ساختمان، آنتی باکتریال، ضد لکه و خود تمیز شوندگی (Self- Cleaning) می شود. شکل شماره ۱ کاربردها و خواص مختلف سیمان های مبتنی بر تکنولوژی Eco-Binder را نشان می دهد. [۱،۴].

^۴ OPC (Ordinary Portland Cement)

^۵ Belite- Ye'elimite- Ferrite



شکل ۱- خواص کاربردی سیمان و بتن مبتنی بر تکنولوژی ECO-Binder

۵. پروژه CEMEX

پروژه CEMEX یکی از بازیگران و فعالان برجسته جهانی در صنعت سیمان است و با افزایش راندمان انرژی، استفاده از سوخت های جایگزین و کاهش فاکتور کلینکر (CF) در سیمان در کاهش اثرات آب و هوایی بسیار موثر واقع شده است. CEMEX میزان انتشار خالص گاز دی اکسید کربن در هر تن ماده سیمانی در سال ۲۰۱۵ را تقریباً ۲۲ درصد در مقایسه با سال ۱۹۹۰ کاهش داده است. این پروژه به عنوان عضوی از موسسه^۶ CSI، نقشه راهی در CSI تهیه و توسعه داده که بر اهمیت استفاده از جذب و ذخیره سازی کربن یا استفاده از آن برای کاهش بیشتر ردپای گاز دی اکسید کربن در صنعت تأکید دارد.[۱،۵]

۱،۵. تکنولوژی های بکار رفته جهت کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن در CEMEX

فن آوری های کاهش انتشار کربن در مراحل مختلف بلوغ با طیف گسترده ای از کاربردهای بالقوه و از طرفی با موانعی مواجه شده و لذا CEMEX به این موضوع در سطوح و زوایای مختلف به صورت سیستماتیک جهت ایجاد پتانسیلهایی در مقیاس بزرگتر با همکاری پیشروان در فن آوری و شرکای زنجیره های پایین دست می پردازد. [۱،۵]

۲،۵. استفاده از گاز دی اکسید کربن برای کشت جلبک در اسپانیا (Alicante Spain)

CEMEX چندین آزمایش در مزارع جلبک انجام داد. جدیدترین و موفق ترین پروژه در حال حاضر در یک کارخانه در آلیکانته اسپانیا انجام شده که از گازهای خروجی کوره برای کشت و رشد جلبک ها به منظور تولید سوخت های زیستی (Bio Fuel) و رنگدانه ها استفاده می کند. [۱،۵]

^۶Cement Sustainability Initiative



۳.۵. جذب گاز دی اکسید کربن از طریق چرخه کلسیت (Calcium Carbonate Looping)

چرخه احیا کننده کلسیم (CCL^V) یک فناوری جذب دوم کربن است. این پیشرفته ترین شکل حلقه کربنات است، جایی که یک فلز (M) بین شکل کربناتی آن (MCO_3) و فرم اکسید آن (MO) به صورت برگشت پذیر واکنش نشان می دهد تا دی اکسید کربن را از سایر گازهای حاصل از تولید برق یا نیروگاه صنعتی جدا کند. در فرآیند حلقه کلسیم، این دو گونه کربنات کلسیم ($CaCO_3$) و اکسید کلسیم (CaO) هستند. دی اکسید کربن جذب شده میتواند پس از انتقال به محل ذخیره سازی مورد استفاده در بازیافت روغن یا از آن به عنوان ماده اولیه شیمیایی استفاده شود. اکسید کلسیم غالباً به عنوان ماده جاذب خوانده می شود. چرخه کلسیت به عنوان یک جایگزین کارآمدتر و کمتر سمی برای فرآیندهای جریان جذب پس از احتراق مانند شستشو آمین در حال توسعه بوده و همچنین از پتانسیل جالبی برای ادغام با صنعت سیمان برخوردار است.

از نظر جرم تقریباً دو سوم سیمان پرتلند اکسید کلسیم است و تقریباً ۶۰ درصد از انتشار گاز دی اکسید کربن مربوط به تکلیس و ۴۰ درصد دیگر از احتراق سوخت های فسیلی ناشی شده است. در صورت ایجاد واحد CCL در کنار یک کارخانه تولید سیمان، می توان ۹۰ درصد یا بیشتر گاز دی اکسید کربن مورد نیاز فرآیند CCL را نسبتاً ارزان تامین و در مقابل CaO مورد نیاز جهت تولید سیمان بدست آورد.

$CEMEX$ به همراه چند شریک دیگر در دو پروژه اتحادیه اروپا به نام های $Cal-pilot$ و $SCARLET$ ، فناوری چرخه کلسیت را به یک واحد در مقیاس بزرگ توسعه داده اند. پروژه $SCARLET$ در حال حاضر با هدف بهینه سازی برنامه های عملیاتی در مرحله انجام تست های طولانی مدت در یک واحد آزمایشی یک مگاوات ساعتی بوده که در صورت موفقیت آمیز بودن، امکان ارتقای این پروژه به ۲۰ مگاوات ساعت وجود دارد. این پروژه یک ارزیابی فنی-اقتصادی-زیست محیطی از این فناوری با پتانسیل بالا جهت جذب گاز دی اکسید کربن از واحدهای تولید سیمان و فولاد را انجام داده و نتایج تجربی مورد نیاز برای توسعه و ادغام این فن آوری در مقیاس بزرگتر در آینده را فراهم خواهد کرد. [۱،۵]

۴.۵. جذب گاز دی اکسید کربن از طریق طراحی مجدد کلسایزر در برج پری هیتز کارخانجات سیمان

$CEMEX$ و Heidelberg در پروژه $EU LEILAC^A$ (شدت کم انتشار آهک و سیمان) شریک هستند. هدف این پروژه ساخت یک واحد بزرگ (۲۰۰ تن در روز) جداسازی مستقیم کربن بوده که از آن به عنوان یک موفقیت بزرگ در دستیابی به این فناوری می توان یاد کرد. تغییر در طراحی کلسایزر می تواند گاز دی اکسید کربن آزاد شده از سنگ آهک را هنگام تبدیل به کلینکر جدا و جذب کند. از آنجا که بیش از ۶۰٪ از انتشار گاز دی اکسید کربن از کلسیناسیون سنگ آهک ناشی میشود می توان گاز دی اکسید کربن را بدون صرف انرژی بیشتر جدا کرد. [۱،۵]

۶. پروژه Solidia Technology

فن آوری $Solidia$ بر روی آخرین تکنولوژی های موجود در صنایع سیمان و بتن کار کرده و هدفش استفاده آسان و سودآور از گاز دی اکسید کربن برای ایجاد مصالح ساختمانی برتر و پایدار است. فرآیند بکار رفته در این تکنولوژی منجر به تولید سیمان و بتن پایداری شده که میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در آن تا ۷۰ درصد و آب مصرفی در فرآیند تولید بتن ۶۰ تا ۸۰ درصد کاهش می یابد.

⁷ Calcium Carbonate Looping

⁸ Low Emissions Intensity Lime And Cement



LafargeHolcim و Solidia اولین توافقنامه توسعه مشترک خود را در آگوست ۲۰۱۳ امضا کردند و در ادامه یک توافقنامه تجاری در ژانویه ۲۰۱۵ منعقد گردید و به موجب آن اولین محصولات سیمان و بتن Solidia وارد بازار گردید. محصول سیمان Solidia یک چسباننده غیر هیدرولیک^۹ بوده که در کوره های سیمان و با همان مواد اولیه قابل تولید می باشد. تنها اختلاف اساسی این است که این سیمان با مصرف کمتر سنگ آهک و در دمای کمتر تولید شده که منجر به کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن از ۸۲۰ کیلوگرم بر تن برای سیمان پرتلند به ۵۷۰ کیلوگرم بر تن برای سیمان Solidia می باشد (۳۰ درصد کاهش).

اساس بتن Solidia بر مبنای کربناسیون معدنی یک چسباننده غیر هیدرولیکی می باشد. این چسباننده با دیگر مصالح مخلوط شده و سپس با گاز دی اکسید کربن واکنش کرده تا یک مخلوط ساختاری پایدار تولید شود. فرآیند کیورینگ تا ۳۰۰ کیلوگرم گاز دی اکسید کربن در هر تن سیمان مصرفی را جذب می کند. در مجموع سیمان و بتن Solidia در مقایسه با سیمان های رایج بالای ۷۰ درصد انتشار گاز دی اکسید کربن در محیط را کاهش می دهد. مزیت های این تکنولوژی عبارتند از حصول مقاومت نهایی در قطعات بتنی در طی تنها ۲۴ ساعت (در مقایسه با زمان ۲۸ روز برای سیمان های پرتلند معمولی)، تولید همزمان بتن و ساخت سازه شده، کاهش قابل توجه در هزینه های نگهداری و ذخیره مواد، کاهش پسماندهای بتنی، کاهش زمان تمیز کردن تجهیزات (زیرا بتن تا زمانی که در معرض گاز دی اکسید کربن قرار نگیرد سخت نمی شود)، زیبایی شناسی بهتر محصولات نهایی پیش ساخته نسبت به بتن های ساخته شده از سیمانهای پرتلند معمولی (بدون نورپردازی، رنگدانه بهتر و درجه بندی بهتر رنگ). در حال حاضر کارخانه های Whitehall ایالات متحده آمریکا و Pecs اروپا تحت گروه LafargeHolcim یکی از بزرگترین تولید کنندگان سیمان های غیر هیدرولیک می باشند. [۱،۶]

۷. کامپوزیت بتنی کربنی (C³)^{۱۰}

از زمانی که بتن آرمه وارد ساخت و ساز گردید، صنایع ساختمان به شدت تغییر کرد. با توجه به خوردگی، عمر سازه های بتن آرمه کاهش یافته و علاوه بر این در ساخت این ساختمان ها منابع و انرژی بالایی نیز مصرف می شود. در آلمان بیش از ۱۰۰ میلیون متر مربع سازه بتن آرمه ساخته شده است. تمامی این موضوعات بیانگر افزایش میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در جهان بوده بطوریکه ۶/۵ درصد از کل گاز دی اکسید کربن منتشر شده در جهان مربوط به تولید سیمان می باشد.

بنیان گذاری یک ماده جدید در ساخت سازه ها که علاوه بر مقاومت و پایداری بالا، دوستدار محیط زیست، سبک و دارای کمترین میزان مصرف مواد اولیه باشد، ضروری به نظر می رسد. کامپوزیت بتنی کربنی (C³) یکی از مناسب ترین این مواد بوده که تا سال ۲۰۲۵ استفاده از آن اجباری خواهد شد. با استفاده از کامپوزیت های بتنی کربنی برخی از معایب شناخته شده میلگرد فولادی معمولی و بتن مسلح فلزی مشبک رخ نمی دهد، به عنوان مثال خوردگی آرماتور. پیشرفت اخیر در این زمینه منجر به استفاده از مش های فیبر کربن و میله های پلیمری تقویت شده با فیبر کربن در بتن بوده که باعث افزایش دوام و کارایی می شود. شکل ۲ نمونه ای از الیاف های کربنی در بافت بتن را نشان می دهد.

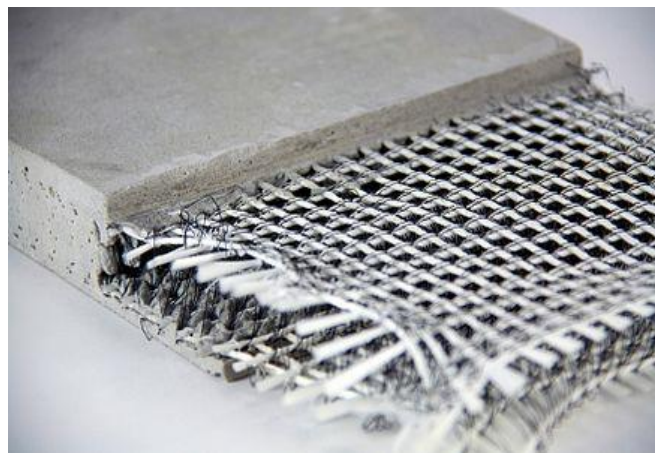
بزرگترین پروژه تحقیقاتی ساختمانی در آلمان، کامپوزیت بتن کربن بوده که برنده جایزه پایداری آلمان در سال ۲۰۱۵ در گروه تحقیقاتی شد. در این پروژه، بیش از ۱۳۰ شریک از شرکای علمی، انجمن و صنعت در حال کار بر روی تحقیق و بنیانگذاری بتن کربنی بعنوان یک ماده ساختمانی جدید هستند. در آینده نزدیک یکی از استراتژی های مدون در

^۹Non-hydraulic binder

^۱ Carbon Concrete Composite ⁰



کشور آلمان، توسعه سازه‌های بتنی مبتنی بر الیاف، توسعه ماشین‌آلات نساجی، توسعه فرآیند تولید در مقیاس صنعتی، توسعه تکنولوژی پوشش کاری و مفاهیم بازیافت خواهد بود. [۱،۷]



شکل ۲- کامپوزیت بتنی کربنی

۸. نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه حدود ۶/۵ درصد از کل میزان گاز دی اکسید کربن منتشر شده در جهان مربوط به فرآیند تولید سیمان بوده و این گاز بعنوان یکی از گازهای گلخانه‌ای باعث ایجاد تغییرات سوء بر اتمسفر و شرایط آب و هوایی جهان می‌شود، لذا مطالعات و پژوهش‌های علمی- تحقیقاتی زیادی در موسسات و انجمن‌های علمی- تحقیقاتی در زمینه بررسی راههای کاهش میزان انتشار این گاز صورت گرفته که بخش اعظمی از این مطالعات و فعالیت‌های پژوهشی در انجمن سیمان اروپا انجام شده که جدیدترین نوآوری‌ها و پروژه‌های تحقیق و توسعه‌ای که می‌توانند جهت بهبود عملکرد زیست محیطی، کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن و بهبود بهره‌وری انرژی در صنعت کمک بزرگی بکنند در این مقاله بیان گردید. با توجه به اینکه قریب به ۷۰ واحد تولیدی سیمان در کشور فعال بوده و همگی آن‌ها به نوعی بخش عظیمی از گاز دی اکسید کربن را به هوا منتشر می‌کنند، شایسته است تا با مطالعه و آگاهی از آخرین تکنولوژی‌های روز دنیا بتوان برای کاهش میزان آلاینده‌گی صنعت سیمان کشور قدم کوچکی برداشت.

۹. مراجع

1. Valorization of Carbon Emissions for sustainable, competitive European industry- EC event- 26 October 2016
2. The European Cement Association, "The role of Cement in the 2050 LOW CARBON ECONOMY,"
3. The European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No 641185.
4. The Horizon 2020 for research and Technological development grant Agreement number 637138
5. CEMEX Research Group AG, Romerstrasse 13, 2555 Brugg
6. Solidia Technologies Company
7. B.N.D Technologies Compan