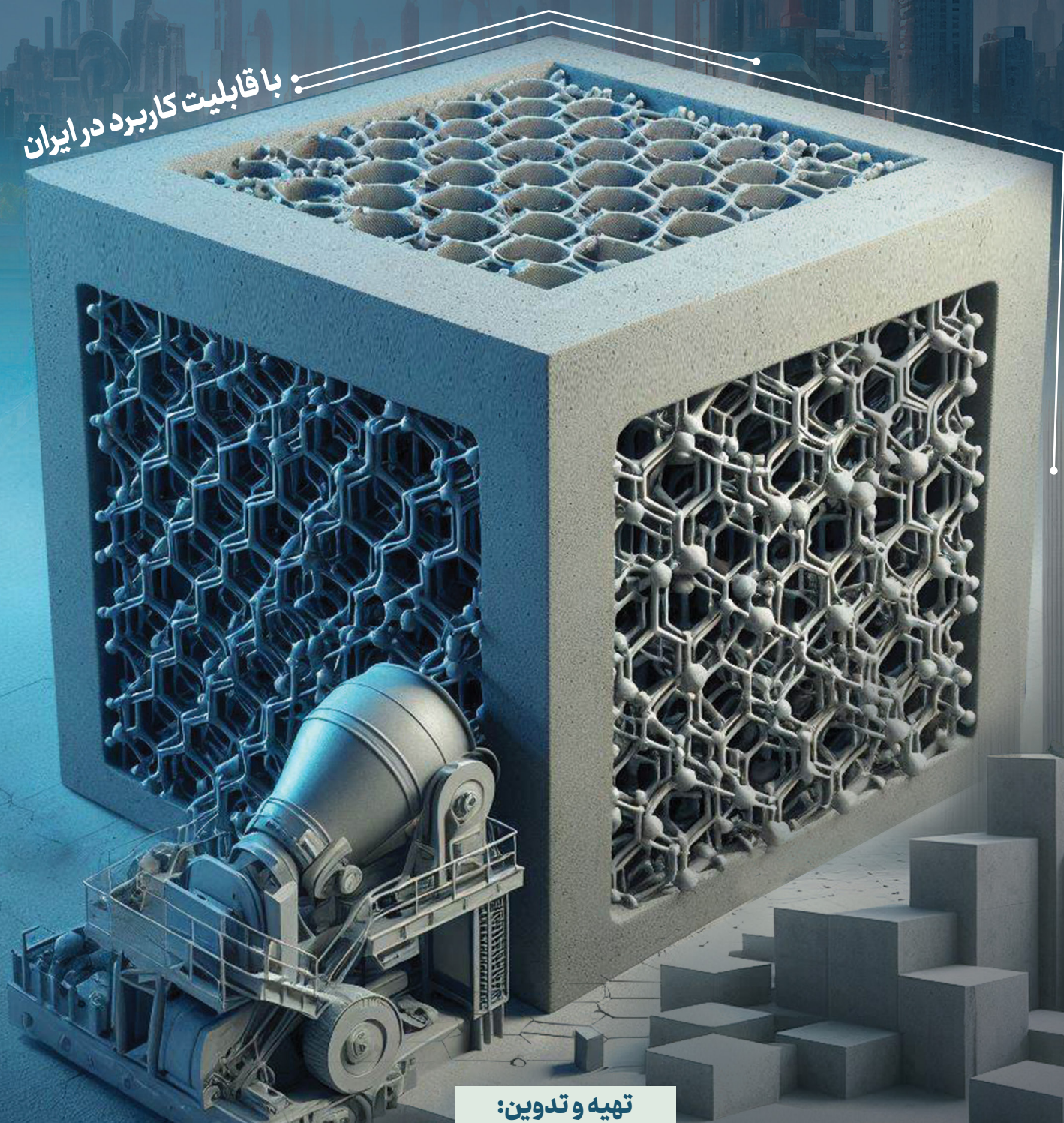




جمهوری اسلامی ایران
معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش بنیان
سازمان توسعه فناوری های نانو و میکرو

فناوری های نوظهور نانو در صنعت بتن و سیمان

با قابلیت کاربرد در ایران



تهیه و تدوین:

محمد یوسفی، محمد ابراهیم نیا، محمد ابراهیم فرهنگی، مهرداد رزاقیان قادیکلائی
با همکاری اساتید حوزه بتن و سیمان

الحمد لله
الرحمن
الرحيم

فناوری‌های نوظهور نانو در حوزه بتن و سیمان

(با قابلیت کاربرد در ایران)

گردآوری و تنظیم:

محمد یوسفی

محمد ابراهیم نیا

عنوان اثر	فناوری‌های نوظهور نانو در حوزه بتن و سیمان (با قابلیت کاربرد در ایران)
ناشر	توسعه فناوری مهریژن
گردآوری و تنظیم	محمد یوسفی، محمد ابراهیم نیا، محمد ابراهیم فرهنگی، مهرداد رزاقیان قادیکلای
نوبت چاپ	چاپ نخست، پاییز ۱۴۰۳
نشانی	تهران، ستارخان، خیابان حبیب‌اله، خیابان شهید متولیان، شماره ۹
تلفن	۰۲۱-۶۳۱۰۰
کدپستی	۱۴۵۶۵-۳۴۴
وب‌گاه	www.nano.ir
پست الکترونیک	yoosefi@nano.ir
شابک	۹۷۸-۶۲۲-۹۳۶۳۲-۲-۵
بازبینی و ویرایش فنی (به ترتیب حروف الفبا)	دکتر سعید بزرگمهرنیا، دکتر جعفر بلوری بزاز، دکتر شهرزاد جوانشیر، دکتر اصغر حبیب‌نژاد کواریم، دکتر محمد دلنواز، دکتر امیرمحمد رمضانپور، دکتر ملک‌محمد رنجبر تکلیمی، دکتر علیرضا سلجوقیان، دکتر رسول شادنیا، دکتر محمد شکرچی‌زاده، دکتر ندا کامبوزیا، دکتر علیرضا گودرزی، دکتر حسام مدنی، دکتر داود مستوفی‌نژاد، دکتر فریدون مقدس‌نژاد، دکتر مهدی مهدیخانی، دکتر سید سجاد میرولد، دکتر حسین نورانیان، دکتر محمد یزدانی

۷	مقدمه
۱۴	محصول مبتنی بر زغال سنگ جایگزین ماسه در بتن
۲۳	بتن انتقال دهنده نور
۳۹	فرآورده‌های پایه سیمانی پیش ساخته پالایش کننده هوا با افزودنی گرافن، نانولوله کربن و عامل نانوفوتوکاتالیستی اکسید تیتانیوم
۴۹	بتن محافظ/جاذب امواج الکترومغناطیسی
۶۴	ملات سیمانی حاوی نانوذرات کربنات کلسیم
۷۴	سیمان حفاری حاوی نانوذرات مغناطیسی و کاهش زمان گیرش دوغاب آن با اعمال میدان مغناطیسی
۸۴	بتن با قابلیت خودنظارتی
۹۷	ترکیب بتن سیمانی با قابلیت سخت شدگی سریع با استفاده از محلول نانوگوگرد اصلاح شده و روش ترمیم جاده با استفاده از همین روش
۱۰۸	بتن الکتروترمال
۱۲۱	ترکیب سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چند جداره
۱۳۸	بتن قابل چاپ سه بعد
۱۵۱	خاصیت جذب میکروویو
۱۶۲	بتن محافظ تابشی
۱۷۲	کامپوزیت سیمان پلی یورتان
۱۸۳	بتن نانویی با استحکام بالا و سبک
۱۹۲	حسگر مکانولومینسانس
۲۰۱	ملات کامپوزیت برای استفاده در تعمیرات لوله با بهره‌گیری از دستگاه تعمیر لوله به روش اسپری چرخشی بدون نیاز به حفاری
۲۱۴	سنگ دانه‌های مصنوعی با مقاومت بالا
۲۲۵	ترکیب سیمانی ژئوپلیمر حاوی بایندر تک فاز آمورف هیدرولیکی MAHBM مانند نانودی کلسیم هیدرات
۲۴۰	ترکیب سیمانی با شکل پذیری بالا، سخت شدن سریع و مقاومت اولیه خیلی زیاد، اصلاح شده با اصلاح کننده پلیمری و روش ساخت روسازی جاده با استفاده از این ماده
۲۵۷	بتن آسفالتی مقاوم در برابر شیارشدگی
۲۷۲	بتن با شکل پذیری بالا
۲۸۳	بتن حاوی افزودنی گرافن سه بعدی
۲۹۵	آجر ساخته شده از زباله‌های بازیافتی، دارای ویژگی‌هایی از قبیل مسلح شده و سبک، دوستدار محیط زیست و عایق صوت

تقریظ اساتید بر کتاب:



دکتر داود مستوفی‌نژاد

استاد دانشگاه صنعتی اصفهان

کتاب فناوری‌های نوظهور نانو در حوزه بتن و سیمان (با قابلیت کاربرد در ایران) را مرور کردم. حقیقتاً برای جمع‌آوری و تنظیم مطالب آن زحمات زیادی را متقبل شده‌اید. به نظر این جانب اکثر مطالب جمع‌آوری شده در این مجموعه می‌تواند برای محققان و دانشجویان تحصیلات تکمیلی مهندسی عمران، نو، ایده‌پرور و حرکت‌آفرین باشد. امیدوارم در این مسیر مستدام باشید و در ادامه آثار دیگری را نیز تنظیم و ارائه کنید.



دکتر محسن تدین

رئیس انجمن بتن ایران

در ایران، کتاب‌های متعددی در زمینه تکنولوژی و دوام بتن منتشر شده است. لیکن، این کتاب‌ها عمدتاً مبتنی بر مطالب علمی بوده‌اند و با هدف توسعه بازار محصولات پایه سیمانی نوشته نشده‌اند. کتاب «فناوری‌های نوظهور نانو در حوزه بتن و سیمان» که به همت ستاد ویژه توسعه فناوری‌های نانو و میکرو تهیه شده است، از معدود کتاب‌هایی است که در نگارش آن تحلیل بازار صورت گرفته است. در این کتاب بیش از آنکه به جنبه‌های علمی موضوع پرداخته شده باشد، مباحث تحلیل بازار همچون مزیت‌ها، زنجیره ارزش، پیشران‌ها، چالش‌ها و سطوح آمادگی فناوری و بازار مدنظر قرار گرفته‌اند و بدین طریق سعی شده است مقدمه‌ای بر امکان بومی‌سازی محصولات موردبحث در کشور ایجاد نماید.

به لحاظ ساختاری و نحوه نوشتار این کتاب اثری بدیع در حوزه تکنولوژی بتن محسوب می‌شود و تلاش نویسندگان آن در تدوین مطالب و امکان‌سنجی توسعه بازار محصولات شایان تقدیر است. کتاب حاضر، نوشتاری ایده‌ساز بوده و می‌تواند در ایجاد رویه دانش‌بنیان در صنعت بتن کمک کند. لذا مطالعه آن به‌ویژه برای متخصصان و کارشناسان بخش تحقیق و توسعه شرکت‌های تولید بتن و مواد پایه سیمانی توصیه می‌شود.

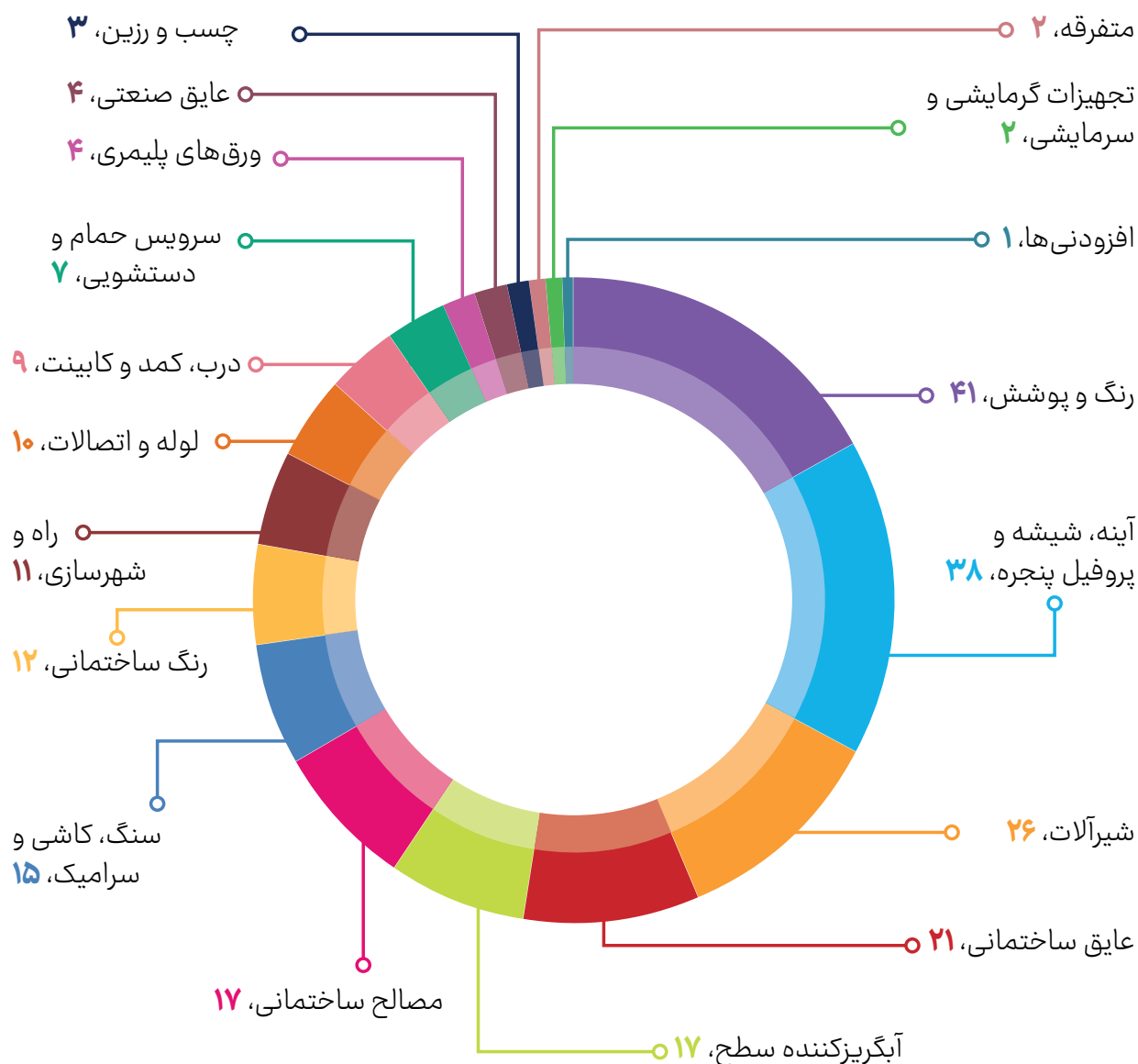
مقدمه

شناسایی فناوری‌های نوین و روندهای نوظهور یکی از وظایف کلیدی نهادهای حامی از فناوری‌های جدید در سطح ملی و منطقه‌ای است. ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو نیز بر اساس وظایف خود، این فعالیت را در سال‌های اخیر در حوزه‌های مختلف از جمله در حوزه ساخت‌وساز دنبال کرده است. شناسایی فناوری‌های مذکور و معرفی آن‌ها به بازیگران مختلف اکوسیستم توسعه و تجاری‌سازی یکی از گام‌های آغازین و کلیدی برای توسعه محصولات جدید و ایجاد زنجیره‌های ارزش بر اساس آن‌هاست.

در همین راستا، کارگروه توسعه فناوری و نوآوری ستاد مجموعه‌ای از مطالعات را به انجام رسانده است که یکی از خروجی‌های آن‌ها شناسایی و معرفی ۲۴ فناوری نوین در حوزه بتن و سیمان، به عنوان یکی از زیربخش‌های صنعت ساخت‌وساز است. این ۲۴ فناوری در مجلد حاضر به تفصیل معرفی خواهند شد. در این بخش، مسیر مطالعاتی را که به شناسایی فناوری‌های حوزه بتن و سیمان و انتخاب فناوری‌های مذکور منتهی شده است، توضیح داده می‌شود.

ستاد فناوری نانو از اواسط دهه ۱۳۸۰، مطالعات مختلفی را درباره کاربردهای فناوری نانو در حوزه ساخت‌وساز آغاز کرد. فناوری‌های نانو در این حوزه شناسایی شد و کاربردهای آن‌ها و همچنین، شرکت‌های ایرانی که بتوانند این کاربردها را توسعه داده و تجاری‌سازی کنند، شناسایی شدند. قراردادهایی برای حمایت از توسعه محصولات جدید منعقد شد و تعدادی از این مشارکت‌ها به محصولات جدیدی منتهی شدند که عملاً به بازار ارائه شد. از سوی دیگر، همکاری‌هایی در حوزه تنظیم مقررات انجام گرفت تا محصولات مبتنی بر فناوری نانو در مقررات ملی ساختمان و فهرست بهای محصولات ساختمانی قرار گیرند و این کار به توسعه بازار محصولات مذکور کمک کرد.

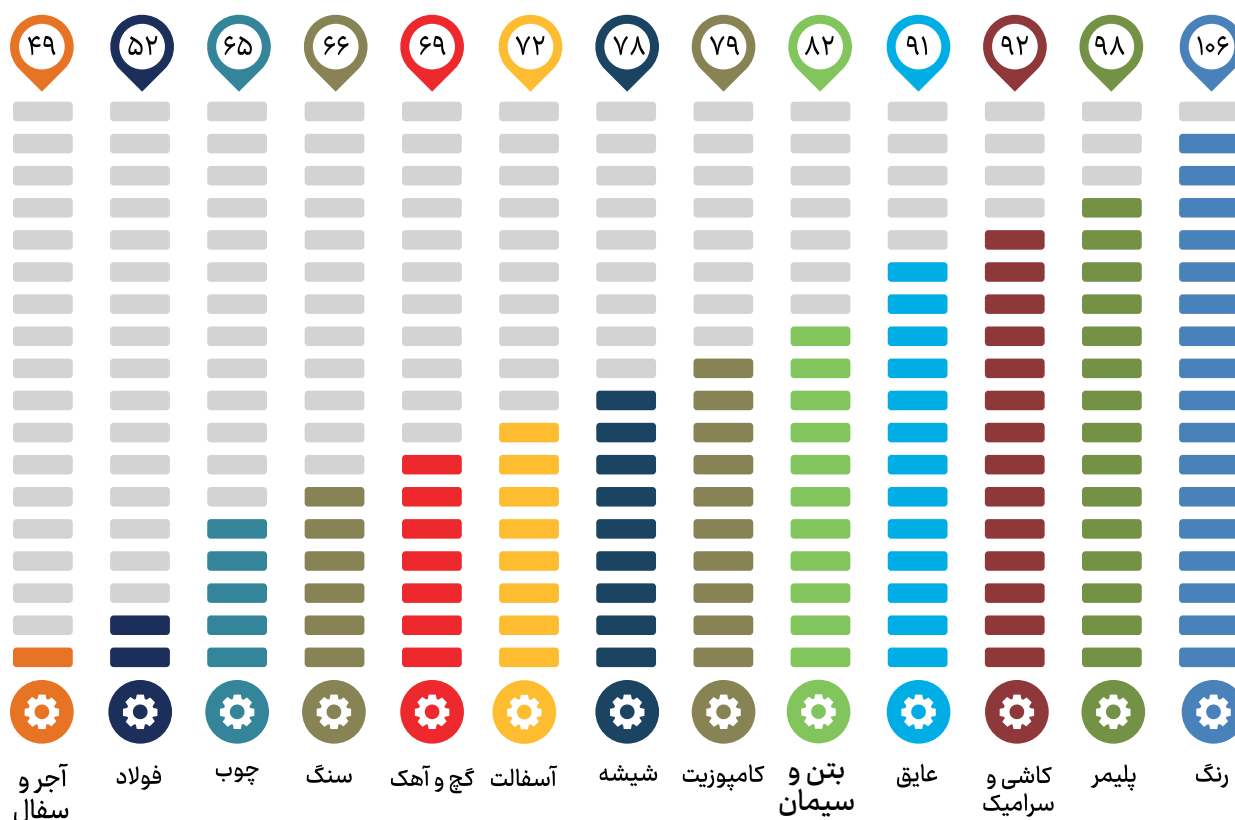
در پی این تلاش‌ها در حال حاضر، ۲۴۱ محصول مبتنی بر فناوری نانو در کشور و در حوزه ساخت‌وساز تولید می‌شوند. در این محصولات از نانوذرات و نانومواد مختلفی همچون دی‌اکسید سیلیسیوم، اکسید روی، نقره، ائروسیل و ... بهره گرفته می‌شود. شکل ۱-۱ توزیع محصولات موجود در بخش‌های مختلف حوزه ساخت‌وساز را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- توزیع محصولات نانو موجود در کشور در حوزه ساخت‌وساز

۱-۱- مطالعات آینده‌نگرانه

با این حال، تنوع گسترده زیرحوزه‌های صنعت ساختمان از یک سو و تعدد و تحولات مربوط به فناوری‌های نانو و کاربردهای آن‌ها از سوی دیگر، کارشناسان در این حوزه را به این نتیجه رساند که باید مطالعاتی راهبردی در این حوزه تعریف شود به نحوی که هم جنبه‌های آینده‌نگرانه و روندشناسی را در برگیرد و هم اولویت‌گذاری‌های لازم انجام شود. در سال ۱۳۹۵، مطالعه‌ای با هدف «اولویت‌بندی کاربردهای فناوری نانو در صنعت ساختمان با روش تحلیل سلسله‌مراتبی» انجام گرفت. (عقلایی، ۱۳۹۵) در این مطالعه که مجموعه‌ای از مطالعات کتابخانه‌ای و نیز رجوع به آراء متخصصان را در بر می‌گرفت، ۱۳ زیربخش صنعت ساخت‌وساز بر اساس ۱۳ شاخص مورد بررسی قرار گرفت و نهایتاً، زیربخش «بتن و سیمان» به عنوان یکی از زیربخش‌هایی که واجد اولویت است، شناسایی شد (شکل ۱-۲). در اینجا، به جزئیات روش شناختی مربوط به اولویت‌بندی زیربخش‌های صنعت ساخت‌وساز نمی‌پردازیم. براساس نتیجه این اولویت‌بندی، مقرر شد که مجموعه‌ای از مطالعات اختصاصی در این زمینه طراحی و انجام شود.



شکل ۱-۲- اولویت‌گذاری زیربخش‌های حوزه ساخت‌وساز در سال ۱۳۹۵ (عقلائی، ۱۳۹۵)

همچنان‌که اشاره شد، کارشناسان ستاد در پی آن بودند که اطلاعات و تحلیل‌های خود را با توجه به تحولات جهانی در حوزه بتن و سیمان به روز سازند. باتوجه به این نکته، یک مطالعه تحلیل پتنت با عنوان «کاربرد فناوری نانو در بتن و سیمان» (گودرزی، ۱۴۰۲) طراحی شد و به انجام رسید. در این مطالعه، تمامی پتنت‌های موجود در پایگاه داده‌های Qbit در حوزه بتن و سیمان که از سال ۲۰۱۶ به بعد به ثبت رسیده بودند، بر اساس مجموعه‌ای از کلیدواژه‌های تخصصی مرتبط با صنعت بتن و سیمان از یک سو و حوزه نانومواد از سوی دیگر استخراج و تحلیل شد. از مجریان خواسته شد که تمامی پتنت‌ها را بر اساس نوع نانومواد به کاررفته و همچنین بر اساس اثر اختصاصی حاصل شده که در ادعای پتنت‌ها ثبت شده است، دسته‌بندی کنند. این مطالعه پدروانه به شناسایی ۱۰۰۶ پتنت با خصوصیات مذکور انجامید. با تحلیل این پتنت‌ها (با حذف مواردی که اولین انتشار آن‌ها در کشور چین بوده است) ۲۶۲ اثر و ویژگی حاصل از فناوری نانو استخراج شد. با توجه به خصلت آینده‌نگرانه مطالعات، خصوصیات و اثرات بدیع مورد توجه قرار گرفتند و اثرات بیشتر شناخته شده که فعالیت‌های توسعه محصول در زمینه آن‌ها در سال‌های گذشته در کشور انجام شده بود، کنار گذاشته شدند.

به منظور تکمیل مطالعات پیشگفته، مجموعه‌ای از کاربردهای فناوری نانو در صنعت ساخت‌وساز، که پیشتر در قالب کتاب (یوسفی، فرصت‌های فناوری نانو در صنعت عمران) به انتشار رسیده بود، با تکیه بر حوزه بتن و سیمان مورد بازنگری و به روزرسانی قرار گرفت. این مطالعه با عنوان «شناسایی خواص جدید بتن و سیمان نانویی» (لطفی زاده، ۱۴۰۲) بر منابع مکتوب غیرپتنتی که پس از سال ۲۰۱۶ منتشر شده بودند، تمرکز داشت. با جستجو در پایگاه داده Lens.org با کلیدواژه‌های تخصصی حوزه بتن و سیمان، ۱۳۰۰ سند شناسایی و دسته‌بندی شد. این مطالعه به شناسایی ۶۹ خصوصیت جدید در بتن و ۳۱ خصوصیت جدید برای سیمان انجامید.

در گام پایانی، تمامی اطلاعات و تحلیل‌های حاصل از مجموعه مطالعات مذکور مورد ارزیابی تکمیلی قرار گرفت. پس از حذف اثرات و خصوصیات که به حوزه ساخت‌وساز تعلق نداشتند، کنار گذاشتن خصوصیات که بدیع نبودند و همچنین تلفیق خصوصیات که کاملاً یا کمابیش یکسان بودند، اما با اصطلاح شناسی‌های متفاوتی بیان شده بودند، نهایتاً فهرستی شامل ۲۴ بتن و سیمان جدید مبتنی بر فناوری نانو استخراج شد. این فهرست در جدول ۱-۱ آمده است.

جدول ۱-۱- فناوری‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر

ردیف	نام فناوری (فارسی)	نام فناوری (انگلیسی)
۱	محصول مبتنی بر زغال سنگ جایگزین ماسه در بتن	coal-based product could replace sand in concrete
۲	بتن انتقال‌دهنده نور	Light-Transmitting Concrete
۳	سیمان و بتن پالایش‌کننده هوا پیش‌ساخته با افزودنی گرافن، نانولوله کربنی با عامل فوتوکاتالیستی اکسید تیتانیوم	The nanomaterial, graphene or carbon nanotube powder helps in efficiently purifying contaminated air by photochemical reaction
۴	بتن محافظ/جاذب امواج الکترومغناطیسی	Electromagnetic wave shielding/absorbing concret
۵	ملات سیمانی حاوی نانوذرات کربنات کلسیم	Cement-Based Cementitious Materials Modified by Nano- CaCO_3
۶	سیمان تشکیل شده از نانوذرات مغناطیسی و روش گیرش دوغاب آن	cement composition mixed with magnetic nanoparticles help set the cement slurry
۷	بتن با قابلیت خودنظارتی	self sensing concrete (SSC)
۸	ترکیب بتن سیمانی با قابلیت سخت‌شدگی سریع با استفاده از محلول نانوکوارتز اصلاح شده و روش ترمیم جاده با استفاده از همین روش	Quick hardening cement concrete composition using modified sulfur
۹	بتن الکتروترمال	Electrothermal Concrete
۱۰	ترکیب سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چنددیواره	Multi-walled carbon nano tube (mwcnt)-enhanced cementitious composition for advanced hydration heat evolution
۱۱	سیمان‌های قابل چاپ سه‌بعدی	cement 3dprinting
۱۲	خاصیت جذب مایکروویو	Microwave absorbing property
۱۳	بتن محافظ تابشی	Radiation shielding concrete
۱۴	کامپوزیت سیمان پلی‌یورتان	polyurethane cement composite
۱۵	بتن نانویی با استحکام بالا و سبک	High strength structural lightweight concrete (HSSLWC)
۱۶	حسگر مکانولومینسانس	Mechanoluminescent sensing
۱۷	ملات کامپوزیت برای استفاده در تعمیرات لوله با استفاده از روش بدون نیاز به حفاری و بهره‌گیری از دستگاه تعمیر لوله به روش اسپری چرخشی	Repair Mortar Composite for Non-Excavation Pipe And Rotatable Spray Pipe Repairing Apparatus Using the Same And The Pipe Repairing Method
۱۸	سنگدانه‌های مصنوعی با مقاومت بالا	High-strength artificial aggregates
۱۹	ترکیب سیمانی ژئوپلیمر حاوی بایندر تکفاز آمورف هیدرولیکی MAHBM مانند نانودی کلسیم هیدرات	Geopolymer cement compositions and methods of use
۲۰	بتن پلیمری برای روسازی جاده	cement concrete composition modified by polymer modifier and the construction method for road pavement using the same

ادامه جدول ۱-۱- فناوری‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر

ردیف	نام فناوری (فارسی)	نام فناوری (انگلیسی)
۲۱	بتن آسفالتی مقاوم در برابر شیارشدگی	Asphalt concrete resistant to rutting
۲۲	بتن با شکل‌پذیری بالا	high ductility concrete
۲۳	بتن دارای افزودنی گرافن سه‌بعدی	Cement compositions with 3d graphene carbons
۲۴	آجر ساخته شده از زباله‌های بازیافتی، دارای ویژگی‌هایی از قبیل مسلح شده و سبک، دوستدار محیط‌زیست و عایق صوت	The effects of hybrid nano additives on the mechanical properties of geopolymer bricks

۱-۲- تدوین شناسنامه‌های اختصاصی

با توجه به تجربیات موجود در ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو، قالبی برای گردآوری داده‌ها و اطلاعات در مورد هر یک از فناوری‌های مذکور تحت عنوان «شناسنامه فناوری» تدوین شد. این شناسنامه در سه بخش به توصیف کلی فناوری، وضعیت فناوری در سطح بین‌المللی و وضعیت فناوری در سطح کشور می‌پردازد. بر اساس مجموعه‌ای مطالعات کتابخانه‌ای و رجوع به آراء متخصصان، شناسنامه برای هر یک از ۲۴ فناوری مذکور تکمیل شد. فصل‌های آتی به تفصیل به شناسنامه‌های تدوین شده برای هر یک از بتن و سیمان‌های ۲۴گانه اختصاص دارد.

تشکر و قدردانی

ضمن تشکر فراوان از اساتید محترمی که علارغم مشغله‌های زیادی که داشتند قبول زحمت کرده و به عنوان ویراستار فنی در ویرایش مطالب این کتاب همکاری کرده‌اند، اسامی این عزیزان و فصل‌های ویرایش شده به شرح ذیل است:

ردیف	اساتید	دانشگاه	شناسنامه فناوری ویرایش شده
۱	دکتر علیرضا سلجوقیان	صنعتی اصفهان	coal-based product could replace sand in concrete
۲	دکتر محمد دلنواز	دانشگاه خوارزمی	Light-Transmitting Concrete
۳	دکتر حسام مدنی	تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری‌های پیشرفته کرمان	The nanomaterial, graphene or carbon nanotube powder helps in efficiently purifying contaminated air by photochemical reaction
۴	دکتر مهدی مهدیخانی	بین‌المللی امام خمینی قزوین	Electromagnetic wave shielding/absorbing concret
۵	دکتر سعیدبزرگمهرنیا	ایالتی آیوا	Cement-Based Cementitious Materials Modified by Nano-CaCO ₃
۶	دکتر حسین نورانیان	پژوهشگاه مواد و انرژی	cement composition mixed with magnetic nanoparticles help set the cement slurry
۷	دکتر امیر محمد رمضانپور	تهران	self sensing concrete (SSC)

ردیف	اساتید	دانشگاه	شناسنامه فناوری ویرایش شده
۸	دکتر فریدون مقدس‌نژاد	صنعتی امیرکبیر	Quick hardening cement concrete composition using modified sulfur
۹	دکتر سید سجاد میرولد	علم و صنعت	Electrothermal Concrete
۱۰	دکتر رسول شادنیا	حکیم سبزواری	Multi-walled carbon nano tube (mwcnt)-enhanced cementitious composition for advanced hydration heat evolution
۱۱	دکتر اصغر حبیب‌نژاد کواریم	علم و صنعت	cement 3dprinting
۱۲	خانم دکتر شهرزاد جوانشیر	علم و صنعت	Microwave absorbing property
۱۳	دکتر ملک‌محمد رنجبر تکلیمی	دانشگاه گیلان	Radiation shielding concrete
۱۴	دکتر علیرضا گودرزی	شهید رجایی	polyurethane cement composite
۱۵	دکتر محمد یزدانی	تربیت مدرس	High strength structural lightweight concrete (HSSLWC)
۱۶	دکتر داود مستوفی‌نژاد	صنعتی اصفهان	Mechanoluminescent sensing
۱۷	دکتر محمد ابراهیم‌نیا		Repair Mortar Composite for Non-Excavation Pipe And Rotatable Spray Pipe Repairing Apparatus Using the Same And The Pipe Repairing Method
۱۸	محمد ابراهیم فرهنگی		High-strength artificial aggregates
۱۹	دکتر سعید بزرگمهرنیا	ایالتی آیوا	Geopolymer cement compositions and methods of use
۲۰	دکتر محمد شکرچی زاده	تهران	cement concrete composition modified by polymer modifier and the construction method for road pavement using the same
۲۱	خانم دکتر ندا کامبوزیا	علم و صنعت	Asphalt concrete resistant to rutting
۲۲	دکتر محمد ابراهیم‌نیا		high ductility concrete
۲۳	دکتر اصغر حبیب‌نژاد کواریم	دانشگاه علم و صنعت	Cement compositions with 3d graphene carbons
۲۴	دکتر جعفر بلوری بزاز	فردوسی مشهد	The effects of hybrid nano additives on the mechanical properties of geopolymer bricks

در انتها وظیفه خود می‌دانم از راهنمایی‌ها و حمایت جناب دکتر احمدوند دبیر محترم ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو صمیمانه تشکر کنم. همچنین از همکاری و زحمات همکاران خوبم بویژه دکتر محمد ابراهیم نیا^۱، مهندس محمد ابراهیم فرهنگی^۲، مهندس مهرداد رزاقیان قادیکلایی^۳، دکتر احسان شکاریان (مدیر کارگروه توسعه فناوری و نوآوری) و از همه عزیزان دیگر که به نحوی مشوق ما برای تهیه و گردآوری این کتاب بودند کمال سپاسگزاری را دارم. بدیهی است کتاب حاضر و محتوای آن بدون اشکال و ایراد نبوده است. مشتاقانه منتظر ارائه نظرات از جانب شما خوانندگان گرامی هستیم. موجب امتنان هست نقطه نظرات خود را از طریق ایمیل Yoosefi@nano.ir با ما در میان بگذارید.

خدایا چنان کن سرانجام کار که تو خشنود باشی و ما رستگار.

محمد یوسفی
کارشناس ارشد توسعه فناوری
ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو
مدیر برنامه ساختمان آینده
معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش بنیان
پاییز ۱۴۰۳

پی‌نوشت‌ها

- ۱- دکترای متالورژی از دانشگاه تربیت مدرس
- ۲- دانش‌آموخته عمران (سازه) از دانشگاه علم و صنعت
- ۳- دانش‌آموخته عمران (سازه) از دانشگاه علم و صنعت

۱



محصول مبتنی بر
زغال سنگ جایگزین
ماسه در بتن^۱

www.nano.ir

^۱. coal-based product could replace sand in concrete

توصیف عمومی فناوری

۱-۱ ویژگی مورد انتظار از فناوری فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟



شکل ۱- کک متالورژی

این فناوری نوظهور بر روی استفاده از گرافن حاصل از کک متالورژی^۱ به عنوان جایگزین شن و ماسه تمرکز دارد. کک متالورژی یک جامد غنی از کربن است که از تقطیر مخرب زغال سنگ به دست می‌آید و به طور عمده در تولید آهن و فولاد از آن استفاده می‌شود. شکل ۱ تصویری از کک متالورژی را نشان می‌دهد. آزمایش‌های اولیه که در آن کک متالورژی به گرافن تبدیل شد، منجر به تولید ماده‌ای شد که از نظر اندازه شبیه به شن و ماسه بود. دانشمندان با استفاده از این مواد به عنوان جایگزین سنگ‌دانه به یافته‌هایی دست یافتند که نشان می‌دهد که این ماده به خوبی عمل می‌کند.

با استفاده از این فناوری می‌توان به ویژگی‌های خاص و منحصربه‌فردی دست یافت. دستیابی به بتنی با ۲۵ درصد وزن کمتر نسبت به بتن معمولی یکی از این مزایا است. در واقع این بتن نسبت مقاومت به وزن^۲ بالاتری در مقایسه با بتن معمولی از خود نشان می‌دهد. مورد دیگر این است که این فناوری وابستگی به شن و ماسه طبیعی را کاهش می‌دهد و نگرانی‌های موجود مربوط به استخراج شن و ماسه را تا حدی برطرف می‌کند. دیگر مزیت محیط‌زیستی این محصول کاهش انتشار گاز کربن دی‌اکسید است که اصلی‌ترین چالش محیط‌زیستی صنعت سیمان و بتن است [۱]. این موضوع به واسطه این است که بتن مبتنی بر گرافن نسبت مقاومت به وزن بالاتری دارد و امکان ساخت سازه‌های سبک‌تر را فراهم می‌کند و این بدین معناست که این فناوری می‌تواند کاهش استفاده از بتن و در نتیجه کاهش بیشتر انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با تولید و حمل‌ونقل آن را به دنبال داشته باشد. این فناوری که مبتنی بر گرافن است با ارائه جایگزینی برای بتن معمولی، در جهت توسعه پایدار و بهبود خصوصیات و دوام بتن بوده که از این منظر نیز به واسطه افزایش طول عمر مفید و دوره خدمت بتن، دیگر لازم نخواهد بود تا مدت زیادی برای ترمیم و جایگزینی سازه‌های بتنی که عمرشان تمام شده یا به خاطر دوام پایین آسیب دیده‌اند، بتن تولید کرد.

۲-۱ کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

از این فناوری به سبب خواص ویژه خود می‌تواند در ساخت ساختمان‌ها، زیرساخت‌های شهری مانند پل‌ها و جاده‌ها استفاده کرد. با کاهش نیاز به شن و ماسه طبیعی این فناوری گزینه‌ای مناسب جهت توسعه پایدار بوده و با توجه به خواص نوآورانه بتن مبتنی بر گرافن می‌توان از آن در محصولات بتنی پیش‌ساخته و حتی پرینتر سه‌بعدی استفاده کرد. بتن مشتق شده از گرافن به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فردش، مانند سبک‌تر و درعین حال مقاوم بودن، به طور بالقوه می‌تواند در کاربردهای چاپ سه‌بعدی استفاده شود. سازه‌هایی که با استفاده از این فناوری ساخته شوند به سبب وزن کمتر این فناوری می‌توانند در برابر زلزله عملکرد بهتری از خود نشان دهند.

۱. metallurgical coke
۲. strength-to-weight ratio

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه براساس این فناوری

- این محصولات عبارتند از:
- تحقیق بر روی توسعه مخلوط‌های بتنی با استفاده از گرافن به عنوان جایگزین سنگ‌دانه به منظور افزایش مقاومت و کاهش وزن بتن
- استفاده از این فناوری در محصولات بتنی پیش‌ساخته
- استفاده از این فناوری در حوزه پرینتر سه‌بعدی

۱-۴- مزیت (های) کلیدی این فناوری (کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و...)

مزیت‌های کلیدی این فناوری شامل کاهش سطح اتکا به منابع شن و ماسه طبیعی، انتشار گاز کربن دی‌اکسید کمتر و دستیابی به خواص ویژه‌ای همچون کاهش وزن ۲۵ درصدی بتن ساخته شده با استفاده از این فناوری است.

۱-۵- نانوذرات بهره گرفته شده در این فناوری (از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به‌کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

نانوذرات مورد استفاده در این فناوری، گرافن مشتق شده از کک متالورژی به عنوان ماده‌ای کلیدی جهت جایگزینی ماسه در بتن است. فناوری تولید آن نیز استفاده از روش گرمایش ژول برای کک متالورژی (که یک محصول مبتنی بر زغال سنگ است)، است. در واقع، در این تحقیق این تکنیک، Flash Joule heating نام دارد. این تکنیک گرافن را سریع‌تر و در مقیاس بزرگ‌تری نسبت به روش‌های قبلی تولید می‌کند.

۱-۶- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

در مرحله تولید اولیه نانوذرات، گرافن از کک متالورژی با استفاده از روش گرمایش ژول تولید می‌شود که کک را به ماده‌ای شبیه به ماسه تبدیل می‌کند. در مرحله تولید محصول میانی، گرافن مشتق شده از کک متالورژی را می‌توان به سنگ‌دانه‌هایی تبدیل کرد که می‌توانند جایگزین شن و ماسه در بتن شوند و عملکرد مؤثری را در آزمایش‌های اولیه از خود نشان دهند. در گام تولید محصول نهایی، بتن ساخته شده با سنگ‌دانه‌های گرافن ایجاد می‌شود و در نتیجه محصولی به دست می‌آید که در مقایسه با بتن معمولی ۲۵ درصد سبک‌تر است. در رابطه با کاربرد آن، این فناوری نوآورانه را می‌توان در توسعه شهری و زیرساخت مورد استفاده قرار داد و تقاضای رو به رشد برای مصالح ساختمانی پایدار را برطرف کرده و درعین حال اثرات محیط‌زیستی مرتبط با استخراج شن و ماسه طبیعی را کاهش داد.

۱-۷- فناوری‌های رقیب (از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

فناوری‌های رقیب این فناوری مواردی هستند که نیاز به استفاده از سنگ‌دانه‌های طبیعی را به نحوی کاهش دهند مانند استفاده از برخی مصالح و مواد بازیافتی و از طرفی سایر فناوری‌ها و روش‌هایی که بتواند از جهت محیط‌زیستی خواص و آثاری مشابه این فناوری داشته باشد را می‌توان به عنوان رقبای این فناوری دانست. به طور مثال بتن ژئوپلیمر، استفاده از پوزولان‌ها و سرباره به جهت کاهش مصرف سیمان و کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن از جمله فناوری‌های رقیب در حوزه محیط‌زیستی محسوب می‌شوند.

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

فناوری‌های مکمل این فناوری را در چند دسته می‌توان در نظر گرفت. اولین فناوری مکمل را می‌توان به‌طور قطع دانش فناوری نانو دانست. این دانش جهت بهینه‌سازی تولید و ادغام گرافن در بتن، تضمین توزیع یکنواخت و افزایش خواص لازم و ضروری است. فناوری مکمل دیگر، روش‌های ساخت مانند استفاده از پرینتر سه‌بعدی است. فناوری‌های مرتبط با توسعه پایدار را نیز می‌توان موردی دیگر عنوان کرد.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

این فناوری، رشته‌ها و زمینه‌های تحقیقاتی مختلفی را در برمی‌گیرد. علوم مواد، فناوری نانو و مهندسی عمران از جمله علوم درگیر با این فناوری هستند. تحقیقات بر روی بررسی آثار محیط‌زیستی این فناوری، امکان‌سنجی استفاده از این فناوری در توسعه زیرساخت شهری و پیشرفت دانش فناوری نانو و دستیابی به ترکیب و محصولات جایگزین از جمله مواردی هستند که به‌طور مستقیم با این فناوری ارتباط دارند.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی

(آیا این اثر/ فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

این فناوری از نظر اجتماعی و محیط‌زیستی مهم است زیرا با ارائه جایگزینی برای شن و ماسه به مسائل محیط‌زیستی پرداخته و از روش‌های ناپایدار استخراج شن و ماسه که زیست‌بوم را تهدید می‌کند، می‌کاهد. علاوه بر این، استفاده از گرافن در بتن می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی انتشار کربن حاصل از تولید سیمان را کاهش دهد و در جهت توسعه پایدار گام بردارد که این موضوع نیز حائز اهمیت است.

تحلیل بین‌المللی

۱-۲- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

این فناوری بسیار نوظهور بوده و برای اولین بار در دانشگاه رایس پیرامون آن تحقیقاتی انجام شده است. دو پژوهشگر مسئول آن نیز جیمز تور و ساتیش ناگارجایا هستند. جیمز تور محقق برجسته در دانشگاه رایس^۱، استاد شیمی، علم مواد و فناوری نانو است و در تولید گرافن از کک متالورژی به عنوان جایگزین ماسه در بتن نقش اساسی داشته است. ناگارجایا استاد مهندسی عمران و محیط‌زیست و مهندسی مکانیک در دانشگاه رایس، نویسنده مسئول این مطالعه است که بر اهمیت ماسه در ترکیب بتن تأکید می‌کند [۱].

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

احتمالا سطح آمادگی فناوری (TRL) برابر ۵ است، زیرا در یک محیط آزمایشگاهی آزمایش شده است و نشان می‌دهد که گرافن می‌تواند به طور مؤثر جایگزین شن و ماسه در بتن شود و در نتیجه محصول سبک‌تر و کارآمدتری تولید شود. سطح آمادگی بازار (MRL) برای این فناوری برابر ۵ و در مرحله مقدماتی است.

سطح آمادگی بازار								
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۹								خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸								شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷								تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل
۶								ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه حل
۵								شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل (مانند راهبری پروژه)
۴								کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳								شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲								شناسایی یک نیاز بخصوص
۱								شکل‌گیری این احساس (که چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/ افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

این فناوری در مرحله تحقیق و توسعه است، زیرا با موفقیت در یک محیط آزمایشگاهی آزمایش شده است اما هنوز به کاربرد تجاری گسترده نرسیده است. این موضوع نشان می‌دهد که این فناوری به سمت تجاری‌سازی حرکت می‌کند، اما هنوز برای استفاده عملی نیاز به اعتبارسنجی و مقیاس‌پذیری بیشتری دارد.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش‌روی فناوری

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

چالش‌های فنی این فناوری را حصول اطمینان از این‌که این فناوری مطابق یا فراتر از استانداردهای عملکرد بتن معمولی در کاربردهای مختلف عمل خواهد کرد و توسعه روش‌هایی برای تولید گرافن از کک متالورژی در مقیاس مناسب برای تجاری‌سازی می‌توان دانست.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

به عنوان پیشران، استفاده از گرافن به عنوان جایگزین ماسه می‌تواند هزینه‌های تولید بتن را کاهش دهد و به طور بالقوه ساخت‌وساز را مقرون به صرفه‌تر کند. به عنوان چالش نیز هزینه‌های اولیه مربوط به تولید گرافن از کک متالورژی ممکن است بالا باشد و بر امکان‌سنجی اقتصادی کلی این فناوری تأثیر منفی بگذارد.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

رعایت مقررات ایمنی و بهداشت در طول تولید و استفاده از بتن مبتنی بر این فناوری، چالش‌هایی را ایجاد می‌کند که نیازمند فرآیندهای آزمایش و گواهی کامل است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

استفاده از این فناوری از نگرانی‌های اخلاقی در مورد مسائل محیط‌زیستی مربوط به تولید بتن معمولی از طریق کاهش سطح اتکا به استخراج شن و ماسه از منابع طبیعی خواهد کاست.

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

این فناوری هنوز به مرحله تولید و تجاری‌سازی نرسیده است اما تقاضا برای آن در سال‌های آینده به دلایلی که در ادامه ذکر خواهد شد بسیار بالا پیش‌بینی می‌شود. طبق پیش‌بینی‌ها تقاضا برای بتن به دلیل رشد شهرنشینی به طور قابل توجهی افزایش خواهد یافت، به طوری که انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ میلادی حدود ۶۸ درصد از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی کنند که منجر به افزایش میزان استخراج شن و ماسه و نگرانی‌های محیط‌زیستی مرتبط با آن خواهد شد [۲]. علاوه بر این، تولید سیمان منجر به ایجاد ۸ درصد از انتشار دی‌اکسید کربن جهانی شده و نیاز به جایگزین‌های پایدار مانند این فناوری جهت کاهش اثرات محیط‌زیستی آن را برجسته می‌کند [۳].

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تأثیر بگذارد

در سال‌های اخیر و آینده به طور کلی می‌توان به چند دلیل شاهد رشد و توجه بیش‌ازپیش به چنین فناوری‌هایی بود. افزایش میل به زندگی شهری باعث افزایش تقاضا برای بتن می‌شود که ممکن است به دلیل شیوه‌های ناپایدار استخراج شن و ماسه منجر به بحران شن در این حوزه شود. از طرفی، مسائل و آسیب‌های محیط‌زیستی صنعت بتن و سیمان آیندگان را به سمت استفاده از فناوری‌های نوظهور در جهت کمک به بهبود کیفیت زندگی و رشد توسعه پایدار سوق خواهد داد. همچنین پیشرفت دانش و فناوری نیز در جهت بهبود شرایط، همچون کاهش هزینه تولید و روش‌های تولید کارآمدتر تأثیرگذار خواهد بود.

تحلیل داخلی

۱-۳- فعالیتهای انجام شده در کشور

■ فعالیتهای تحقیقاتی (چه تیم‌هایی در کدام نهادها در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ چه مقالاتی در این زمینه منتشر شده است؟ چه پایان‌نامه‌هایی نگارش شده است؟)
فناوری مورد بحث در ایران جدید بوده و تاکنون تحقیقی درباره آن انجام نشده است.

۲-۳- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

کاربرد اصلی این فناوری در حوزه ساخت‌وساز است. این فناوری را می‌توان در سازه‌های ساختمانی مورد استفاده قرار داد که جایگزینی سبک‌تر و با خواصی منحصر به فرد برای بتن معمولی است. این فناوری می‌تواند دوام و پایداری زیرساخت‌های شهری را افزایش و در عین حال وابستگی به شن و ماسه طبیعی را کاهش دهد.

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

این فناوری بسیار نوظهور است و در کشور می‌توان برای آن سطح آمادگی فناوری (TRL) را برابر ۲ و سطح آمادگی بازار (MRL) را نیز برابر ۲ در نظر گرفت.

سطح آمادگی بازار		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار										
شناسایی متخصصان دارای توانمندی										
تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل										
ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه حل										
شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل (مانند راهبری پروژه)										
کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید										
شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید										
شناسایی یک نیاز بخصوص										
شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)										
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها										
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن										
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه										
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی										
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد										
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی										
تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت										
راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه اندازی خط تولید										

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هر یک از کاربردهای احتمالی

فناوری‌های رقیب شامل بتن معمولی و مواد جایگزین مانند سنگ‌دانه‌های بازیافتی است. فناوری‌های مکمل ممکن است شامل تکنیک‌های ساخت و ساز پیشرفته و شیوه‌های ساختمانی پایدار باشد که عملکرد این فناوری را افزایش می‌دهد.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری موردنیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

برای سطح نمونه‌سازی (TRL6) به سرمایه‌گذاری تخمینی حدود ۱-۳ میلیون دلار نیاز است. عوامل دخیل شامل: هزینه‌های تحقیق و توسعه برای پالایش تکنیک‌های تولید گرافن، تجهیزات و مواد موردنیاز برای نمونه‌سازی اولیه، هزینه‌های مربوط به محققان و مهندسان ماهر و آزمایش و اعتبارسنجی نمونه‌های اولیه برای اطمینان از عملکرد است. برای تولید در مقیاس بزرگ (TRL8) به سرمایه‌گذاری تخمینی حدود ۱۰-۵۰ میلیون دلار نیاز است. عوامل دخیل شامل: توسعه زیرساخت برای تأسیسات تولیدی، افزایش فرآیندهای تولید برای پاسخگویی به تقاضای بازار، سیستم‌های کنترل کیفیت برای حفظ استانداردهای محصول، استراتژی‌های بازاریابی و توزیع برای نفوذ به بازار است.

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی: بله
- زیرساخت آزمایشگاهی: بله
- زیرساخت تولید: بله
- آزمایشگاه مرجع: بله
- منابع مالی: بله
- توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری: بله
- زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش: بله

بدیعی بودن این فناوری در ابتدا می‌تواند متخصصین و بخش صنعت را با چالش‌های متعددی روبه‌رو کند. با این حال وجود زیرساخت‌های کافی و توان فنی و علمی لازم برای توسعه این فناوری و نیازهای موجود برای آن، سرمایه‌گذاری در این بخش را توجیه‌پذیر می‌کند.

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ **پیشران‌ها و چالش‌های فنی**
پیشران‌های فنی در ایران حفظ منابع طبیعی شن و ماسه و دستیابی به محصولی سبک‌تر و رشد و پیشرفت دانش فنی به‌ویژه در حوزه نانو فناوری است. چالش‌های فنی نیز اطمینان از وجود دانش فنی و دستیابی به طرح مخلوط و روش‌های ساخت بهینه و تجهیزات موردنیاز این فناوری است.

□ **پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی**
دستیابی به محصولی سبک‌تر از بتن معمولی با خواص ویژه و نیاز به محصولاتی با دوام و کارآمد به عنوان پیشران اقتصادی و هزینه تولید با توجه به قیمت نانو مواد و تجهیزات پیشرفته موردنیاز را می‌توان چالش اقتصادی این فناوری دانست.

□ **پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا**
پیشران‌های تقاضای این فناوری شامل موارد زیر می‌باشند:
■ **افزایش جمعیت و رشد شهرنشینی:** جمعیت جهان به‌طور فزاینده‌ای در حال حرکت به سمت مناطق شهری است که منجر به تقاضای بیشتر بتن برای توسعه زیرساخت‌ها می‌شود.
■ **توسعه پایدار:** احساس نیاز به محصولاتی با دوام بهتر و دوستدار محیط‌زیست

■ **کمبود منابع:** افزایش تقاضا برای شن و ماسه به عنوان یک بخش کلیدی و مهم در ساخت بتن

□ **پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)**
از چالش‌های مربوط به این حوزه نیاز به آموزش متخصصین، اقناع صنعتگران به استفاده از فناوری‌های نوآورانه و نیاز به سرمایه‌گذاری است.
با این حال افزایش آگاهی جامعه از مسائل محیط‌زیستی و اهمیت توسعه پایدار می‌تواند به عنوان پیشران عمل کند.

۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

اطلاعات کافی درباره بازار داخلی، به دلیل بدیع بودن این فناوری وجود ندارد.

۳-۹- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

نظر به آن که این فناوری در دنیا نوظهور و در مرحله تحقیق و توسعه قرار دارد، با برنامه‌ریزی مناسب امکان بومی‌سازی و عرضه دانش ساخت و اجرا به دیگر کشورها وجود دارد.

۳-۱۰- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

حمایت نهادهای دولتی و سیاست‌های دولت در جهت سرمایه‌گذاری بر این فناوری لازم است. فناوری موجود به سبب دستیابی به محصولی سبک‌تر با ویژگی‌های بهتر در مقایسه با بتن معمولی می‌تواند گزینه‌ای مناسب جهت بررسی و مطالعه بیشتر قرار گیرد. جایگاه پیشرفته کشور عزیزمان در حوزه فناوری نانو این امکان را به محققان و متخصصان می‌دهد که بر روی این فناوری نوظهور از مرحله تحقیق و توسعه تا تولید و تجاری‌سازی سرمایه‌گذاری کنند.

منابع

- ۱- <https://news.rice.edu/news/2024/rice-study-shows-coal-based-product-could-replace-sand-concrete>
- ۲- <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>
- ۳- <https://edition.cnn.com/2023/06/16/world/concrete-carbon-emissions-researchers-working-to-make-it-greener-climate-scn-spc/index.html>



۲



بتن انتقال دهندہ نور

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱ ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

بتن شفاف یکی از مصالح نوین امروزی است که با ترکیب دو خصوصیت مقاومت بتن معمولی و قابلیت عبور نور شیشه، امکان بهره‌مندی از نور طبیعی و کاهش مصرف انرژی در سیستم‌های روشنایی ساختمان‌ها را فراهم نموده است. همچنین با توجه به مفاهیم ساختمان سبز و زنده، با به‌کارگیری این مصالح نوین در صنعت ساخت‌وساز، امکان طراحی پایدار و نزدیک‌سازی وضع موجود به شرایط تئوری ساختمان زنده با اثرگذاری صفر بر محیط‌زیست مهیا می‌شود. از سوی دیگر سیستم پنل خورشیدی نیز یکی از سیستم‌های دوستدار محیط‌زیست بوده و با در نظرگیری شرایط بهره‌مندی کشور از نور طبیعی خورشید، استفاده از آن در طراحی ساختمانی، حرکت در مسیر توسعه پایدار است. مطابق آنالیز نتایج تحقیقات در ارتباط با میزان انتشار گاز آلاینده کربن دی‌اکسید در بخش‌های مختلف در سال ۲۰۱۸ میلادی، سهم صنعت ساختمان‌سازی معادل ۳۹ درصد است. از سوی دیگر در سال ۲۰۱۹ میلادی، بر اساس آمار کمپانی آلمانی گردآوری اطلاعات و داده، Statista، تولید گاز کربن دی‌اکسید به میزان ۴۲/۸ بیلیون تن در سال ۲۰۵۰ میلادی خواهد بود. سهم تولیدی صنعت ساخت‌وساز از این آلاینده، معادل ۱۶/۷ بیلیون تن است [۱، ۲].

طبق مطالعات سرانه مصرف انرژی الکتریکی در سیستم‌های روشنایی در ساختمان‌های اروپایی سالانه از متوسط $50 \frac{kWh}{m^2}$ در سال ۱۹۶۰ میلادی به میزان $200 \frac{kWh}{m^2}$ در برخی مناطق جدید در سال ۱۹۹۰ میلادی افزایش یافته است. این انرژی الکتریکی برای راه‌اندازی تجهیزات، تولید روشنایی، تولید گرما و تهویه مطبوع به کار می‌رود [۳]. به‌طور معمول در کشورهای پیشرفته میزان ۲۰-۴۰ درصد از انرژی مصرفی کل در ساختمان‌ها مصرف می‌شود که این میزان حتی بالاتر از درصد استفاده در صنعت و یا حمل‌ونقل در آمریکا و برخی کشورهای اروپایی است [۴]. سیستم روشنایی یک ساختمان معمولاً بیش از ۳۰ درصد کل انرژی مصرفی ساختمان را به خود اختصاص می‌دهد. این میزان در ساختمان‌های اداری به ۶۰ درصد نیز می‌رسد.



شکل ۱- بتن انتقال‌دهنده نور^۱

با توجه به رشد سریع مصرف برق در سطح خانگی، برای توسعه پایدار و بهبود مسائل محیط‌زیستی لازم است تغییری در زمینه الگوی مصرفی ایجاد شود. مصالح ساختمانی نوینی که نه تنها در زمینه تأمین روشنایی ساختمان‌ها بلکه در زمینه تهویه و ایزوله نمودن ساختمان نیز کارآمد هستند، می‌توانند گزینه مناسبی برای طراحان ساختمانی به‌منظور توسعه پایدار باشند. بتن شفاف با قابلیت استفاده به عنوان بتن سازه‌ای گزینه مناسبی در این زمینه است [۳]. در ایران نزدیک به ۲۰٪ از برق تولیدی در زمینه تأمین روشنایی مصرف می‌شود که از این میزان ۶۹٪ برای سیستم روشنایی خانگی اختصاص یافته است. سرانه مصرف انرژی الکتریسیته ایران به گفته سازمان انرژی جهانی^۲ در سال ۲۰۱۵ میلادی ۲/۹ MWh برای هر نفر بوده است. میانگین جهانی نیز ۳/۱ MWh اعلام شده است.

این سرانه نسبت به سایر کشورهای همسایه ایران، پایین‌تر بوده است، اما شدت افزایش و رشد این سرانه در کشور بسیار زیاد است [۸]. طبق اظهارات سازمان انرژی جهانی، تا سال ۲۰۳۰ میلادی رشد مصرف انرژی کشورهای صنعتی و پیشرفته کنترل می‌شود، اما در کشورهای در حال رشد و غیرصنعتی، شدت افزایش مصرف، بیشتر می‌شود [۸]. کشور ایران با توجه به میزان مصرف انرژی الکتریکی خود و عدم ایجاد درآمد و تولید مثبت از این میزان مصرف، در آینده دچار بحران انرژی خواهد شد.

۱. Light-Transmitting Concrete
۲. International Energy Agency(IEA)

با توجه به افزایش بلندمرتبه‌سازی و تراکم‌های بیش‌تر در ارتفاع به دلیل محدودیت در منابع زمین، قوانین شهرسازی ویژه‌ای به منظور حفظ حریم شخصی افراد وضع شده است. ممانعت از طراحی و جانمایی پنجره در برخی بخش‌های ساختمان یکی از این قوانین است. بنابراین نیاز به تأمین روشنایی در طول روز برای بافت‌های ساختمانی و سازه‌های زیرزمینی با هدف کاهش مصرف انرژی در راستای توسعه پایدار به چالشی در این عرصه تبدیل شده است. بتن انتقال‌دهنده نور که آن را با نام بتن شفاف^۱ و یا بتن نیمه‌شفاف^۲ نیز می‌شناسند همان گونه که از نام آن پیداست توانایی عبور نور را از خود دارد. این بتن به دلیل قابلیت انتقال نور می‌تواند منجر به کاهش مصرف برق در ساختمان و به دنبال آن کاهش هزینه مصرف انرژی، کمک به پایداری محیط‌زیست و زیبایی بصری محیطی باشد [۱۱].

به طور تخمینی ۱۹ درصد از مصرف انرژی جهانی مربوط به نور مصنوعی است [۱۲]. یکی از راهکارهای کاهش مصرف انرژی استفاده از این فناوری است. بتن انتقال‌دهنده نور برای اولین بار در سال ۲۰۰۱ توسط لوسونچی^۳ معمار مجارستانی با استفاده از ۴ درصد فیبر نوری معرفی شد. وی نام محصول خود را لیتراکان^۴ که مخفف حروف عبارت بتن عبوردهنده نور است نامید [۱۳]. بتن عبوردهنده نور به واسطه مخلوط سیمان، ماسه و استفاده از عامل عبوردهنده نور که معمولاً فیبر نوری است، تشکیل می‌شود (در صورتی که از سنگ‌دانه درشت با حداکثر اندازه ۱۰ میلی‌متر استفاده شود). جهت ساخت بتن انتقال‌دهنده نور می‌توان از سنگ‌دانه‌های شیشه‌ای (یا پسماند شیشه)، رزین پلیمری و فیبر نوری استفاده نمود. دسته دیگری از مواد مانند لوله‌های پلاستیکی، میله‌های شیشه‌ای و پودرهای درخشان در تاریکی نیز قابل استفاده هستند. رایج‌ترین عامل عبوردهنده نور، فیبرهای نوری به علت خواص فوق‌العاده این ماده هستند. فیبر نوری از سه بخش هسته، روکش و پوسته تشکیل شده است. همچنین فیبرهای نوری از دو جنس پلاستیک و یا شیشه تشکیل شده‌اند و ضخامت آن‌ها از ۲ میکرومتر تا ۲ میلی‌متر است. ضعف اصلی فیبرهای نوری گران بودن و پیچیدگی ساخت بتن متشکل از آن است. با این حال فیبر نوری پلاستیکی دارای قیمتی کمتر از نوع شیشه‌ای آن است. بتن عبوردهنده نور حاوی فیبر نوری معمولاً از ۲/۵ الی ۵ درصد کسر حجمی فیبر نوری تشکیل می‌شود و در موارد استفاده بیش از ۴ درصد حجمی شاهد کاهش مقاومت فشاری خواهیم بود. علت کاهش مقاومت فشاری وجود فضای خالی میان فیبر نوری و ماتریس سیمانی است. برخی پارامترهای فیبر نوری از جمله قطر فیبر نوری، فاصله آن‌ها از یکدیگر و درصد حجمی آن بر خواص مکانیکی و دوام بتن تولیدی تأثیرگذارند. در یک مطالعه مشخص شد استفاده از فیبرهای نوری با قطر بزرگ‌تر منجر به افزایش مقاومت فشاری شده است [۱۴]. در ادامه بیشتر به این موضوع پرداخته می‌شود.

با توجه به آن‌که در بتن‌های شفاف الیاف نوری استفاده می‌شود و این مواد خاصیت مکانیکی بالایی مانند بتن ندارند، می‌توان پیش‌بینی کرد که به لحاظ رفتار سازه‌ای، این نوع از بتن متفاوت از بتن معمولی یا سایر بتن‌های توسعه‌یافته توسط محققان باشد. به طور خاص می‌توان به فاصله‌ای که استفاده از این نوع الیاف در میان ماتریس سیمان ایجاد می‌کند اشاره داشت. باید توجه داشت که اگرچه مطالعات بسیار گسترده‌ای در دهه‌های گذشته در خصوص اندرکنش ماتریس سیمان و الیاف‌های مختلف با تمرکز بر بتن الیافی FRC انجام شده است، مسئله اندرکنش و چسبندگی میان ماتریس سیمان و فیبر نوری در بتن‌های شفاف به طور وسیعی بررسی نشده است. در ادامه این موضوع در دو بخش تأثیر بر خواص مکانیکی و تأثیر بر دوام بتن بررسی می‌شود.

در خصوص خواص مکانیکی این نوع بتن‌ها، مقاومت فشاری و مقاومت خمشی بتن مورد بررسی قرار گرفته است. به طور کلی در تحقیقاتی که توسط محققان انجام شده است [۱۷، ۱۸، ۲۳، ۲۴]. مقاومت فشاری و خمشی این بتن‌ها قدری پایین‌تر از بتن‌های معمولی است. این موضوع در تحقیق لوهار [۲۴] مشاهده شده است که از نظر مقاومت فشاری، بتن‌های شفاف مقادیری مشابه ولی مقداری کمتر نسبت به بتن معمولی دارند. در واقع در این پژوهش الیاف نوری پلاستیکی در فواصل ۸ میلی‌متر در نمونه‌های مکعبی ۷ سانتی‌متری تست شده و مشاهده شد که مقاومت فشاری بتن شفاف در حدود ۳۶/۷ مگاپاسکال است. در حالی که این مقدار برای بتن معمولی ۳۹/۵ مگاپاسکال بوده است. اگرچه مقاومت بتن شفاف کمتر بوده است، با این حال این نوع از بتن‌ها پتانسیل کافی جهت استفاده به عنوان بتن سازه‌ای را نیز دارا هستند. گرچه ممکن است جهت بهبود خواص، استفاده از برخی افزودنی‌ها ضروری باشد. به خصوص با توجه به آن‌که برخی از خواص بتن به دلیل حضور الیاف نوری ممکن است افزایش یابد. در یک پژوهش [۲۵] که تمرکز بر کاربرد این نوع بتن در نمای ساختمان‌ها بوده است، مشاهده شده است که سختی خمشی بتن شفاف در حدود ۱۱٪ بیشتر از بتن معمولی بوده است. در حالی که در همین تحقیق، مقاومت خمشی و فشاری کمتر شده است. این موضوع به دلیل افزایش شکل‌پذیری بتن و ظرفیت جذب انرژی آن است.

یکی دیگر از موضوعات مهمی که در خصوص بتن‌های شفاف باید در نظر داشت، دوام و عملکرد آن در درازمدت و تحت اثر عوامل مخرب بتن است. بنابراین عوامل متعددی همچون یون‌های مخرب و شرایط محیطی باید بررسی شوند. به طور خاص اگر در بتن شفاف از مواد شیشه‌ای استفاده شود، به دلیل حساسیت آن به حملات ASR، این موضوع باید بررسی شود. محققان [۲۰، ۲۱] موضوع حملات ASR^۵ در بتن‌های شفاف شیشه‌ای را مطالعه کرده‌اند. به علاوه از نظر دوام،

۱. Transparent Concrete

۲. Translucent Concrete

۳. Losonczy

۴. LiTraCon

۵. Alkali Silica reaction

بتن‌های شفاف ساخته شده از الیاف پلیمری نیز از جنبه نفوذپذیری، چرخه‌های یخ‌زدگی، جذب آب و مقاومت در برابر مواد شیمیایی مطالعه شده است [۲۲]. در خصوص فیبر نوری نیز در سال ۲۰۲۰ نفوذپذیری و تخلخل ماده بررسی شده است [۲۳]. در این تحقیق مشاهده شده است که میزان تخلخل در این بتن‌ها بیشتر از بتن معمولی است که می‌تواند دوام آن را تحت تأثیر قرار دهد. نکته مهم دیگری که در خصوص بتن‌های شفاف ساخته شده از فیبر نوری باید در نظر گرفت، حساسیت و آسیب‌پذیری این الیاف نسبت به امواج فرابنفش است. مهم‌ترین نوع فیبر نوری استفاده شده در این بتن‌ها PMMA است که در حضور نور UV خواص شیمیایی آن تغییر کرده و مشخصات مکانیکی و از همه مهم‌تر قدرت انتقال نور آن کمتر می‌شود. بنابراین برخلاف آنچه تاکنون مرکز توجه محققان بوده است، در خصوص بتن‌های شفاف، دوام آن باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

امروزه به دلیل توسعه روش‌های متعدد جهت مطالعه مواد و مصالح در مقیاس نانو و میکرو محققان زیادی در حوزه مصالح ساختمانی و به طور خاص مواد سیمانی از روش‌هایی همچون ^1DFT ، ^2MD و ^3KMC جهت مطالعه مواد مذکور استفاده می‌کنند. از جمله می‌توان به ژئوپلیمرها و سایر مواد نوینی که با هدف کاهش اثرات مخرب محیط‌زیستی سیمان توسعه یافته‌اند، اشاره داشت. همچنین مطالعه آزمایشگاهی مواد در مقیاس میکرو می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی را ارائه دهد. در خصوص بتن‌های شفاف تحقیقات زیادی در مقیاس میکرو انجام نشده است. اگرچه تحقیقات محدود در این حوزه نشان داده است که دلیل مقاومت مکانیکی کمتر این ماده، اتصال و چسبندگی ناکافی میان ITZ و فیبر نوری است [۱۹].

نانوفوتونیک یا نانوپتیک شاخه‌ای از فیزیک نور، مهندسی برق و فناوری نانو است که به بررسی رفتار نور و برهمکنش‌های بین نور و ماده در مقیاس نانو می‌پردازد. بنابراین کاربردهای نانوفوتونیک را می‌توان به هفت دسته کلیدی شامل نمایشگرها، دیودهای نورافشان، سلول‌های خورشیدی، حسگرها و جفتگرهای نوری، لیزرهای دیودی، لیتوگرافی با لیزر و فیبرهای ویژه تقسیم‌بندی کرد. به عنوان مثال در نمایشگرها، موضوع برهم‌کنش میان نور و نانولوله‌های کربنی و نانوذرات مطرح می‌شود. بنابراین در خصوص بتن‌های شفاف، بر اساس تعریف نانوپتیک، تا زمانی که نور از میان بتن عبور نکند، می‌توان گفت تنها خواص مکانیکی و شیمیایی که ناشی از اندرکنش‌های فیزیکی و شیمیایی میان فیبر نوری و ماتریس سیمان است، مطرح شده و مبحث نانوپتیک در زمان استفاده (عبور نور از میان بتن شفاف) قابل طرح است. به طور مثال می‌توان به تغییرات حرارتی المان‌های بتنی ساخته شده از بتن شفاف بر اثر عبور نور با طول موج‌های مختلف اشاره کرد. همچنین با توجه به حساسیت و آسیب‌پذیری فیبر نوری به امواج فرابنفش، ممکن است علم نانوپتیک در خصوص اندرکنش امواج فوق و مواد فیبر نوری نیز قابل طرح باشد.

۲-۱- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

از این فناوری می‌توان در ساختمان‌ها و زیرساخت در بخش‌های مختلف از جمله پارتیشن و دیوارها استفاده نمود. در جاده‌ها، پیاده‌رو، تونل‌ها، ایستگاه‌های مترو و حتی زندان‌ها نیز می‌توان از این فناوری بهره جست. به طور کلی در حوزه ساختمان استفاده از این بتن منجر به کاهش مصرف انرژی و هزینه حاصل از آن، افزایش زیبایی سازه و حفظ محیط‌زیست با بهبود چرخه مصرف انرژی و در موارد دیگر منجر به افزایش ایمنی جاده و کنترل ترافیکی می‌شود. همچنین در یک دسته‌بندی، می‌توان کاربردهای بتن شفاف را به صورت زیر بیان کرد:

- **معماری:** بتن شفاف را می‌توان برای ایجاد ساختمان‌ها و سازه‌های منحصربه‌فرد که از نظر بصری قابل توجه هستند، استفاده کرد. همچنین از این محصول می‌توان برای ایجاد عناصر تزئینی مانند مبلمان و مجسمه‌ها استفاده کرد.
- **ساختمان و زیرساخت‌های دوستدار محیط‌زیست (پایدار):** بتن شفاف می‌تواند برای کاهش مصرف انرژی و توسعه ساختمان‌های پایدار مورد استفاده قرار گیرد. این ماده در پروژه‌های زیرساخت‌های پایدار مانند سقف و دیوارهای سبز نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد که منجر به کاهش مصرف انرژی می‌شود.
- **تأسیسات هنری عمومی:** اثر بصری منحصربه‌فرد این ماده باعث شده تا آن را به یک انتخاب محبوب برای تأسیسات هنری عمومی مانند مجسمه‌ها و نقاشی‌های دیواری تبدیل کند.

۳-۱- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه براساس این فناوری

در نمونه‌های بتنی که در آن‌ها از فیبر نوری استفاده می‌شود، می‌توان به طریقی با استفاده از این فیبرها به عنوان حسگر در جهت ارزیابی وضعیت سازه استفاده کرد. فناوری بتن انتقال‌دهنده نور به ایجاد پنل‌های دیواری منجر شده که باعث

عبور نور و کاهش مصرف انرژی می‌شوند.

۴-۱- مزیت (های) کلیدی این فناوری (کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تا کنون برآورده نشده و ...)

- مزایای استفاده از این فناوری را می‌توان به دسته‌های زیر تقسیم‌بندی کرد:
- **بازدهی انرژی:** این نوع بتن می‌تواند مصرف برق ساختمان را با توجه استفاده حداکثری از نور طبیعی کاهش دهد. مطالعات نشان داده است که استفاده از این بتن می‌تواند مصرف برق را در شهر تهران تا ۴۵٫۷ درصد کاهش دهد [۱۶]. این نوع بتن می‌تواند در فصول سرد سال به دلیل عبور نور خورشید، منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی جهت گرمایش ساختمان‌ها شود.
- **بهره بیشتر از نور روز:** استفاده از این بتن در تهران توانسته است تا ۳۹ درصد استفاده مفید از نور روز را افزایش دهد [۱۶].
- **زیبایی بصری:** این فناوری به دلیل امکان عبور نور و ایجاد اشکال زیبا و متفاوت، از نظر بصری چشم‌نواز و زیبا است.
- **ایمنی:** در برخی جاده‌ها می‌توان از این فناوری جهت هشدار ترافیک و علائم رانندگی به راننده استفاده نمود.

۵-۱- نانوذرات بهره‌گرفته شده در این فناوری (از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به‌کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

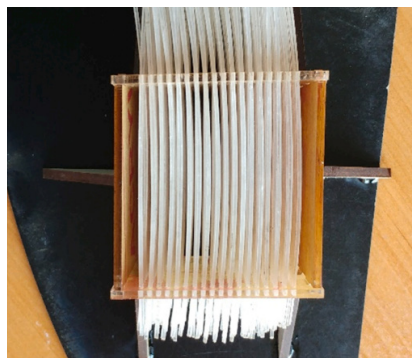
این فناوری شامل استفاده مستقیم از نانوذرات نیست، بلکه استفاده از اصول نانو اپتیک برای دستیابی به خواص مطلوب انتقال نور است. همان‌طور که پیشتر بیان شد، در خصوص بتن‌های شفاف، بر اساس تعریف نانو اپتیک، تا زمانی که نور از میان بتن عبور نکند، می‌توان گفت تنها خواص مکانیکی و شیمیایی که ناشی از اندرکنش‌های فیزیکی و شیمیایی میان فیبر نوری و ماتریس سیمان است، مطرح شده و مبحث نانو اپتیک در زمان استفاده (عبور نور از میان بتن شفاف) قابل طرح است.

۶-۱- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

جهت تولید این بتن در ابتدا فیبر نوری به واسطه ذوب مواد پلیمری و تبدیل آن به الیاف ایجاد شده سپس به کمک قالب پلاستیکی و یا چوبی، الیاف درون سوراخ‌های موجود در قالب قرار داده شده و پس از آن فرآیند ساخت ملات و عمل‌آوری لازم انجام می‌شود (شکل‌های ۲ و ۳). زنجیره ارزش این ماده عبارت است از تولید نانوذرات، تولید فیبر نوری، تولید سایر محصولات مرتبط با بتن (سیمان و ...)، تولید بتن شفاف، اجرای بتن شفاف، کاربردهای مختلف از جمله نما و معماری و



شکل ۳- آماده‌سازی قالب قبل از بتن‌ریزی



شکل ۲- قرار دادن فیبرهای نوری درون قالب

۷-۱- فناوری‌های رقیب

(از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

از آنجا که مزیت اصلی این فناوری کاهش مصرف انرژی و افزایش زیبایی محیطی است می‌توان فناوری رقیب آن را بتن فوتولومینسانس^۱ در نظر گرفت. این بتن شامل موادی است که در طول روز نور را جذب کرده و در شب آن را ساطع می‌کند که روشی متمایز جهت دستیابی به ویژگی‌های نوری و زیبایی‌شناختی و کاهش مصرف انرژی است. همچنین سیستم هدایت نور خورشید^۲ به عنوان سامانه‌ای که جهت هدایت و ورود نور روز به داخل ساختمان از سقف است، می‌تواند به عنوان رقیبی برای بتن شفاف در نظر گرفته شود. البته این سامانه کاربردهای مختلف به خصوص کاربردهای معماری بتن شفاف را نخواهد داشت. همچنین می‌توان به کلیه فناوری‌هایی که منجر به کاهش مصرف انرژی در ساختمان می‌شوند به عنوان فناوری رقیب اشاره نمود که از جمله آن‌ها شیشه‌های هوشمند است.

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولت در هریک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

این نوع بتن از دو جهت مواد به کار رفته جهت انتقال نور که شامل فیبرهای نوری می‌شود و فناوری بتن مورد نیاز جهت ارتقای خواص مکانیکی و دوام بتن تولید شده قابل بررسی است. در رابطه با فیبرهای نوری امکان توسعه و بهبود خواص آن جهت افزایش کیفیت انتقال نور مورد انتظار بوده و در رابطه با بتن بررسی استفاده از نانومواد و سایر ترکیبات مستعد بهبود خواص بتن مورد انتظار خواهد بود. با در نظر گرفتن مسئله بنیادین این نوع بتن یعنی کاهش مصرف انرژی که در راستای توسعه پایدار است، یکی از مهم‌ترین موضوعاتی که باید پیرامون بتن شفاف توسعه یابد، قابلیت بسط این تکنولوژی به سایر تکنولوژی‌های نوین است. به عنوان مثال، در سال‌های اخیر، فناوری‌های متعددی در زمینه بتن و سیمان‌های نوین مانند ژئوپلیمرها، سیمان منیزیمی، سیمان‌های AAM^۳، سیمان‌های پوزولانی، LC3^۴ و... توسعه یافته‌اند که با هدف کاهش آلاینده‌گی سیمان بوده‌اند. در همین راستا، توسعه تکنولوژی بتن شفاف در این نوع بتن‌ها، می‌تواند به توسعه پایدار در زمینه مصالح ساختمانی کمک کند. موضوع دیگری که در همین راستا نیاز به تحقیق و پژوهش دارد، مطالعه LCA^۵ میزان اثرگذاری در زمینه کاهش آلاینده‌گی و میزان تأثیر در کاهش مصرف انرژی است.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

در برخی حوزه‌ها نیاز به تحقیقات وجود دارد. این حوزه‌ها عبارت‌اند از: بررسی واکنش قلیایی-سیلیس در این بتن، تحقیقات پیرامون طرح مخلوط، بررسی دوام این نوع بتن در درازمدت. تحقیقات در حوزه این نوع بتن، فرصت‌های تحقیقاتی جدیدی را در حوزه فیبرهای نوری، پنل‌های بتنی شفاف و بتن درخشان در تاریکی به وجود آورده است. اما با توجه به گستردگی تحقیقات در زمینه بتن و سیمان و امکان انطباق تکنولوژی بتن شفاف در انواع مختلف بتن‌ها، همچنین نظر به آنکه فیبر نوری قابلیت انتقال گسترده وسیعی از اطلاعات را دارد، به نظر می‌رسد یک مسیر تازه از تحقیقات در این زمینه نیاز است به گونه‌ای که اولاً خواص بتن در مقیاس‌های مختلف و از جنبه‌های گوناگون بررسی شود و ثانیاً از قابلیت‌های فیبر نوری بهره برد. به عنوان مثال توسعه فناوری‌هایی که مبتنی بر قابلیت انتقال داده و صوت در بستر فیبر نوری هستند، می‌تواند یکی از محورهای جدید تحقیقاتی باشد. همچنین موضوع اندرکنش نور و محیط سیمانی که در حوزه نانو اپتیک جای می‌گیرد، مسیر دیگری از تحقیق و توسعه است. به لحاظ روش تحقیقات، این موضوع را می‌توان به صورت میان‌رشته‌ای و از دیدگاه متدهای مطالعاتی رشته‌های شیمی، فیزیک، مهندسی و معماری مطالعه و بررسی نموده و رفتار آن را در شرایط مختلف مورد بررسی قرار داد. به طور مثال در حوزه مهندسی، استفاده از بتن شفاف در المان‌های سازه‌ای همچون دیوارهای برشی بتنی، می‌تواند از بعد معماری و کاهش مصرف انرژی نقش ویژه‌ای داشته باشد.

۱. Photoluminescent Concrete

۲. Sky light

۳. Alkali Activated Materials

۴. Limestone Calcined Clay Cement (LC3)

۵. Life Cycle Assessment

۱-۱۰- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی (آیا این اثر/ فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

فعالیت در زمینه بتن انتقال‌دهنده نور هم از نظر اجتماعی و هم از نظر استراتژیک مهم است. این فناوری نقش مهمی در پرداختن به مسائل اجتماعی، محیط‌زیستی و اقتصادی دارد. از منظر محیط‌زیستی این بتن با کاهش مصرف انرژی از طریق روشنایی مؤثر روز، به شیوه‌های ساختمانی پایدار کمک می‌کند و در نتیجه ردپای کربن مرتبط با تولید برق را کاهش می‌دهد. این بتن با استفاده از نور طبیعی و کاهش وابستگی به روشنایی مصنوعی به کاهش مصرف برق در ساختمان‌ها کمک می‌کند که منجر به صرفه‌جویی در انرژی، ارتقای بهره‌وری انرژی و کاهش هزینه‌های مرتبط با حوزه انرژی می‌شود. با استفاده از این نوع بتن به واسطه بهبود دسترسی به نور طبیعی خلق‌وخو، بهره‌وری و سلامت کلی ساکنان ساختمان افزایش یافته و این موضوع مزایای اجتماعی این فناوری را برجسته می‌کند. بتن انتقال‌دهنده نور آزادی طراحی و تطبیق‌پذیری زیبایی‌شناختی را در اختیار معماران قرار می‌دهد و امکان ایجاد ساختارهای بصری خیره‌کننده را فراهم می‌کند که نور و هنر را به روش‌های منحصر به فردی ادغام می‌کند. این نوآوری در طراحی معماری جذابیت بصری ساختمان‌ها را افزایش می‌دهد و به چشم‌انداز فرهنگی محیط‌های شهری کمک می‌کند.

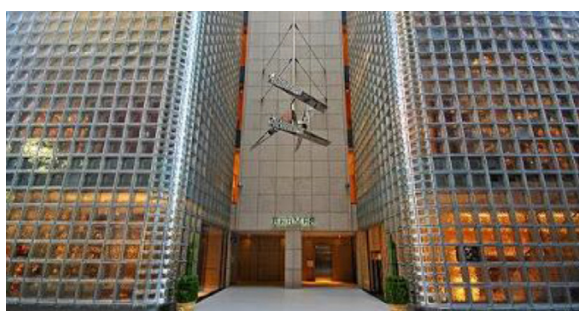
تحلیل بین‌المللی

۱-۲- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

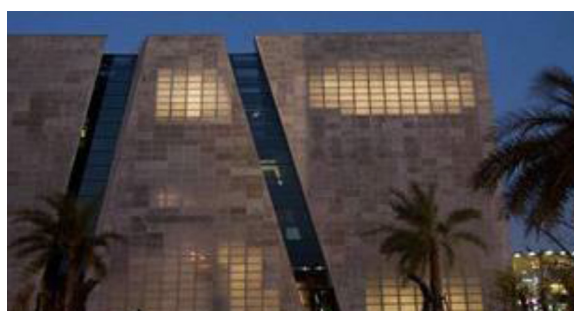
این فناوری هنوز در مرحله تحقیق و توسعه است. با این حال شرکت‌های مختلفی در سطح جهان اقدام به تولید این بتن کرده‌اند. برخی از نمونه‌های اجرای این نوع بتن عبارت است از پایون ایتالیا در نمایشگاه شانگهای ۲۰۱۰ با استفاده از بتن انتقال‌دهنده نور ترکیب شده با رزین پلیمری و یا در مسجد العزیز در ابوظبی و دروازه اروپا در مجارستان. برخی از تولیدکنندگان این محصول در جدول ۱ معرفی شده‌اند. نمونه سازه‌های اجرا شده در دنیا با این محصول در تصویرهای ۴ تا ۷ مشاهده می‌شوند.

جدول ۱- تولیدکنندگان بتن شفاف در دنیا

نام کشور	نام شرکت
آلمان	Florak Bauunternehmung GmbH, Heinsberg
آلمان	LBM EFO, Berching
مجارستان	LiTraCon Bt, Csongrád
آلمان	LUCEM GmbH, Aachen
اتریش	Luccon Lichtbeton GmbH, Klaus
جمهوری چک	LiCrete, by Gravelli



شکل ۵- استفاده از بتن شفاف در ژاپن



شکل ۴- استفاده از بتن شفاف در پایون ایتالیا



شکل ۷- استفاده از بتن شفاف در آلمان



شکل ۶- استفاده از بتن شفاف در آمریکا

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

بر اساس اطلاعات موجود می‌توان سطح آمادگی فناوری را ۷ و سطح آمادگی بازار را ۵ در نظر گرفت که نشان‌دهنده فناوری در حال پیشرفت به سمت تجاری‌سازی است، اما همچنان نیاز به توسعه و اعتبارسنجی بیشتری دارد.



۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

در مرحله رشد قرار دارد.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش روی فناوری

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

چالش‌های فنی پیش رو عبارت‌اند از: افزایش راندمان انتقال نور به واسطه تحقیقات و بررسی بیشتر پیرامون فیبرهای نوری، خواص مکانیکی و دوام طولانی‌مدت این نوع بتن و پیچیدگی اجرای آن و نیاز به نیروی کار ماهر. یکی دیگر از چالش‌های فنی این نوع طرح‌ها، أخذ استانداردها و تأییدیه‌های فنی مورد نیاز جهت ورود به بازار است. به عنوان مثال چه به عنوان متریکال سازه‌ای یا متریکال عایق و یا غیرسازه‌ای، لازم است تأییدیه‌های فنی لازم از مراجع مربوطه اخذ شود.

❑ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

پیشران اقتصادی این فناوری کاهش هزینه‌های مرتبط با حوزه انرژی و چالش اصلی اقتصادی آن هزینه‌بر بودن و گران قیمت بودن آن است. همچنین یکی دیگر از چالش‌های اقتصادی این طرح جذب بازار خواهد بود. اگرچه به لحاظ معماری و کاهش مصرف انرژی این پروژه مزایایی را در بردارد، به دلیل تازگی این محصول و قیمت بالای آن، جذب عمومی بازار با مشکل مواجه خواهد بود. همین مسئله موضوع جذب سرمایه جهت توسعه و تحقیقات علمی را با مشکل مواجه می‌کند، چرا که معمولاً سرمایه‌گذاری و ارائه تسهیلات با در نظر گرفتن وجود بازار انجام می‌شود.

❑ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

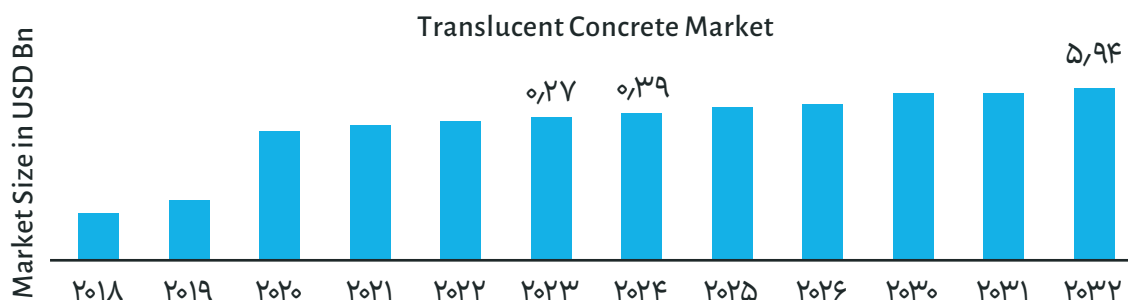
پیشران اصلی مرتبط به این حوزه بهبود خلق و خو و سلامت ساکنان ساختمان به واسطه استفاده بیشتر از نور طبیعی خواهد بود.

❑ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

از منظر اجتماعی این فناوری می‌تواند به علت زیبایی بصری مورد استقبال عموم قرار گیرد. با توجه به محدود بودن منابع انرژی استفاده از این نوع بتن به دلیل کاستن مصرف انرژی از منظر اخلاقی توجیه‌پذیر خواهد بود.

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

بر اساس مراجع، حجم بازار جهانی بتن شفاف در سال ۲۰۲۳ برابر ۲۷۰ میلیون دلار بوده است که این عدد تا سال ۲۰۳۲ به حدود ۶ میلیارد دلار خواهد رسید که رشد مرکب سالیانه (CAGR) ۴۰ درصدی را نشان می‌دهد (نمودار ۱).



نمودار ۱- پیش‌بینی حجم بازار بتن شفاف

تأکید روزافزون بر شیوه‌های ساخت‌وساز پایدار به رشد بازار بتن شفاف کمک می‌کند. بتن شفاف می‌تواند نیاز به نور مصنوعی را در طول روز کاهش دهد و در نتیجه باعث افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش مصرف کلی انرژی می‌شود. این موضوع با تمرکز جهانی بر مصالح ساختمانی پایدار و سازگار با محیط‌زیست هم‌راستا بوده و CAGR را معین می‌کند. علاوه بر این، بازار بتن شفاف رشد قابل توجهی را به دلیل تقاضا برای جلوه‌های بصری جذاب، نگهداری مقرون به صرفه و روش‌های ساخت‌وساز نوآورانه تجربه می‌کند. بتن شفاف به عنوان یک ماده سقفی در متروها برای مهار نور طبیعی، کاهش نیاز به نور مصنوعی و ارتقای بهره‌وری انرژی استفاده می‌شود. علاوه بر این، پذیرش آن در کاربردهای کف پوش در بخش‌های مختلف، خواسته‌های زیبایی‌شناختی پروژه‌های ساختمانی را برآورده می‌کند. این ماده در صنایع مختلف کاربرد دارد و به تقاضای کلی بازار برای بتن شفاف کمک می‌کند. علاوه بر این، افزایش تحقیق و توسعه در مواد بتن برای افزایش کیفیت، روشنایی و ارزش اقتصادی بر صنعت ساخت‌وساز تأثیر مثبت می‌گذارد. استفاده از بتن نیمه‌شفاف در کاربردهای روکش دیوار، سقف و کف به عنوان منبع نور باعث رشد بازار می‌شود. علاوه بر این، علاقه فزاینده به مواد سازگار با محیط‌زیست و تقاضا برای تأسیسات جذاب بصری بتن شفاف و ویژگی‌های زیبایی‌شناختی منحصربه‌فرد آن در دکوراسیون داخلی صنعتی و مسکونی یکی از دلایل افزایش بازار آن است.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تأثیر بگذارد

امروزه علاقه فزاینده‌ای به مصالح ساختمانی نوآورانه وجود دارد که از طریق روندهای اخیر بازار بتن نیمه‌شفاف قابل مشاهده است. LitraCon، بتن عبوردهنده نور یا بتن شفاف ماده‌ای است که اجازه عبور نور از سطح خود را می‌دهد که آن را از سایر

انواع مواد در همان سبک متمایز می‌کند. در نتیجه جامعه معماری شاهد این بود که این ویژگی به راحتی برای کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار داده می‌شود.

یکی از ترندهای حیاتی که به رشد بازار بتن شفاف کمک می‌کند، افزایش تقاضا برای راه‌حل‌های ساختمانی پایدار و کارآمد است. با توجه به اهمیت شیوه‌های دوستدار محیط‌زیست در صنعت ساختمان، بتن شفاف به عنوان یکی از گزینه‌های موجود بسیار جذاب به نظر می‌رسد. با استفاده از خواص مهار نور طبیعی در ساعات روز، نیاز کمتری به روشنایی مصنوعی در طول روز خواهد بود و در نتیجه صرفه‌جویی در انرژی و کاهش تولید کربن دی‌اکسید از آثار آن خواهد بود. این جنبه‌ها در کنار مزایایی که بتن شفاف در اختیار معماران و طراحان قرار می‌دهد، باعث می‌شود به طور روزافزون تقاضا برای این محصول افزایش یابد.

همچنین نوآوری‌هایی که در سایر بخش‌های مرتبط رخ می‌دهد، مانند توسعه روش‌هایی برای افزایش خصوصیات و دوام بتن باعث می‌شود امکان کاربرد بیشتر این ماده به شکلی اقتصادی‌تر توسعه یابد.

حرکت هر چه بیشتر به سمت هوشمندسازی شهرها و همچنین اجرای سیاست‌هایی که به توسعه پایدار کمک می‌کند منجر به ایجاد علاقه نسبت به بتن شفاف خواهد شد. به گونه‌ای که نه تنها می‌توان عملکرد مطلوب را به دست آورد، بلکه در عین حال زیبایی و طراحی مدنظر به دست آمده و اهداف دوستدار محیط‌زیست و توسعه پایدار نیز دنبال می‌شود.

اگرچه چالش‌هایی در زمینه توسعه این محصول در بازار وجود خواهد داشت، با این حال پیش‌بینی می‌شود به دلیل روندهای گفته شده، بتن شفاف بتواند در سال‌های آینده حجم بازار خوبی را کسب کند.

تحلیل داخلی

۱-۳- فعالیت‌های انجام شده در کشور

□ فعالیت‌های تحقیقاتی (چه تیم‌هایی در کدام نهادها در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ چه مقالاتی در این زمینه منتشر شده است؟ چه پایان‌نامه‌هایی نگارش شده است؟)
به صورت دقیق در این زمینه فعالیتی انجام نشده است ولی یکسری تحقیقات مرتبط با این موضوع انجام شده که در جداول ۲ و ۳ به آن‌ها اشاره شده است.

جدول ۲- مشخصات محققان و پژوهش‌های انجام شده در مورد بتن شفاف

ردیف	نگارندگان	دانشگاه/مؤسسه	عنوان تحقیق
۱	سروناز شریفی، دانیال نوابی، امیر موسوی	دانشگاه شهید بهشتی	Translucent Concrete: Comprehensive Review of Concepts, Recent Technologies and Advances in Light Transmitting Concrete
۲	دانیال نوابی، زهرا امینی، علیرضا رحمتی، منصوره طهباز، سروناز شریفی، امیر موسوی	دانشگاه شهید بهشتی	Developing light transmitting concrete for energy saving in buildings
۳	سینا نجاری، محمد دلنواز، سید پیام هاشمیان، شمیم امیری	دانشگاه خوارزمی	Optimizing Energy Efficiency and Structural Performance: A Comprehensive Study on the Integration of Light-Transmitting Concrete, Modeling, and Solar Panels in Green Building Construction

علاوه بر مقالات در زمینه پایان‌نامه‌ها نیز مطالعات متعددی طی سال‌های گذشته در داخل کشور انجام شده است که در جدول زیر به برخی از آن‌ها اشاره شده است.

جدول ۳- مشخصات دانشجویان و پایان‌نامه‌های مرتبط با بتن شفاف

ردیف	نگارندگان	دانشگاه/مؤسسه	نوع تحقیق	عنوان تحقیق
۱	مهدی پورکاظمی	دانشگاه علم و صنعت ایران	پایان‌نامه کارشناسی ارشد	ساخت بتن انتقال‌دهنده نور و بررسی تأثیر استفاده از آن در فرآیند ساخت پایدار
۲	ابوالفضل حسین بیکی	دانشگاه علم و هنر یزد	پایان‌نامه کارشناسی ارشد	بررسی اثر استفاده از فیبر نوری بر خصوصیات و رفتار بتن عبوردهنده نور
۳	سید امیر پاسبان	دانشگاه خیام	پایان‌نامه کارشناسی ارشد	بررسی مقاومت فشاری بتن لایتراکان (بتن شفاف) با جایگزین کردن ژل میکروسیلیس در درصد‌های مختلف با دوده سیلیس و فوق‌روان‌کننده

❑ فعالیت‌های توسعه محصول و تجاری‌سازی (آیا نمونه‌سازی انجام گرفته است؟)
خیر در ایران تاکنون این محصول به مرحله تولید و عرضه نرسیده است.

❑ فعالیت‌های سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری
فعالیت خاصی انجام نشده است.

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

این فناوری در حوزه ساخت‌وساز قابل کاربرد است.

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

با توجه به بررسی وضعیت اقدامات انجام شده در این راستا در کشور، سطح TRL این موضوع ۳ و سطح MRL آن ۲ برآورد می‌شود.

		سطح آمادگی بازار								
		۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۹										
۸										
۷										
۶										
۵										
۴										
۳										
۲										
۱										

		سطح آمادگی فناوری								
۹	خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار									
۸	شناسایی متخصصان دارای توانمندی									
۷	تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل									
۶	ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول / خدمت به توانمندی‌ها برای خلق راه‌حل									
۵	شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل									
۴	کم‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول / خدمت جدید									
۳	شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول / خدمت جدید									
۲	شناسایی یک نیاز بخصوص									
۱	شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)									

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هریک از کاربردهای احتمالی

در حال تکمیل است.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری موردنیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

برای رسیدن به TRL6 نیاز به انجام تست‌های گوناگون، ساخت پروتوتایپ و تغییرات متعدد است که هزینه آن را افزایش خواهد داد. این موضوع به مواردی همچون نوع مصالح، نوع سیمان و سنگ‌دانه و فیبر و...، هزینه تجهیزات و نیروی انسانی ماهر، هزینه آزمون‌ها از جمله آزمون‌های مکانیکی و میکروسکوپی بستگی دارد. بنابراین جهت تخمین دقیق میزان هزینه موردنیاز لازم است ابتدا برنامه تحقیق و توسعه و اهداف به‌طور دقیق‌تری معین شود. با این حال هزینه تحقیق و توسعه و رسیدن به TRL8 در طرح‌های این حوزه در حدود چند ده تا چند صد هزار دلار بسته به اهداف متفاوت خواهد بود.

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی: وجود دارد.
- زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی: وجود دارد.
- زیرساخت تولید: وجود دارد.
- آزمایشگاه مرجع: وجود دارد.
- منابع مالی: وجود دارد.
- توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری: وجود دارد.
- زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش: وجود دارد.

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

اصلی‌ترین چالش فنی موجود در این حوزه را می‌توان مباحث مربوط به مقاومت فشاری و دوام بتن تولید شده دانست که نیاز به تحقیقات بیشتر را نمایان می‌سازد.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

کاهش مصرف انرژی و به دنبال آن کاهش هزینه‌های مرتبط با حوزه انرژی با استفاده از این فناوری را می‌توان به عنوان پیشران و محرک اصلی اقتصادی آن در نظر گرفت. با این حال گران‌قیمت بودن این فناوری می‌تواند به عنوان چالشی در راه توسعه و به‌کارگیری آن باشد. به لحاظ اقتصادی، با توجه به سطح بلوغ فناوری و عدم حضور در بازار، در داخل کشور مجموعه‌های مختلفی می‌توانند به عنوان حامی و پشتیبان فناوری مذکور بوده و از طریق تخصیص تسهیلات و سرمایه‌گذاری و همچنین توسعه بازار نسبت به بلوغ فناوری کمک کنند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا

کاهش مصرف انرژی و به دنبال آن کاهش هزینه‌های مرتبط با این حوزه، زیبایی بصری و فراهم بودن آزادی بیشتر در طراحی، امکان استفاده بیشتر از نور طبیعی و افزایش ایمنی جاده‌ها از پیشران‌های مهم برای افزایش تقاضا برای این محصول هستند. گران‌قیمت بودن این فناوری، پیچیدگی تولید و نبود ضوابط و آیین‌نامه‌های مرتبط با به‌کارگیری این محصول می‌توانند به عنوان چالشی جهت تقاضای جامعه و بازار لحاظ شود.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA) استفاده از این فناوری نیازمند تدوین آیین‌نامه‌های شهرسازی، قوانین شهروندی و ضوابط مرتبط خواهد بود.

۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

این محصول در ایران در مرحله مطالعاتی قرار دارد.

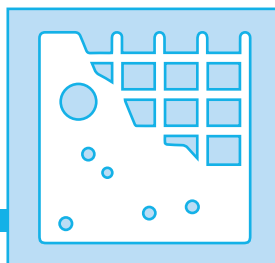
۳-۹- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

با تولید این محصول و توسعه فناوری، امکان انتقال دانش به کشورهای دیگر وجود دارد.

۳-۱۰- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

با توجه به ویژگی‌های بسیار زیاد و مطلوب این فناوری و نیاز روزافزون کشور به مسئله توسعه پایدار و حفظ محیط‌زیست به احتمال زیاد این محصول با استقبال خوبی در کشور روبه‌رو خواهد شد. کاهش مصرف انرژی، بهره بیشتر از نور طبیعی و زیبایی بصری این فناوری همگی از جمله دلایلی هستند که استفاده از این محصول را توجیه‌پذیر می‌کند. با این حال حمایت نهادهای دولتی و سیاست‌های دولت در جهت سرمایه‌گذاری بر این محصول به جهت کاهش هزینه‌های حوزه انرژی و صرفه‌جویی در آن بر معرفی و استفاده از این فناوری در کشور مؤثر خواهد بود.

- ۱ Architecture 2030. (2018). Buildings generate nearly 40% of annual global GHG emissions.
- ۲ Statista. (2015). Forecast of carbon dioxide emissions worldwide from 2015 to 2050. Available from: <https://www.statista.com/statistics/263980/forecast-of-global-carbon-dioxide-emissions/>.
- ۳ Luhar S, Luhar I. (2017). "A comprehensive review of transparent concrete". Journal of Engineering Technology. 6, 217–226.
- ۴ Pe´rez–Lombard L, Ortiz J, Pout C. (2008). A review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings. 40, 394–398.
- ۵ Energy A. (2003). Energy consumption guide 19: energy use in offices. "Carbon Trust, Crown".
- ۶ Energy Information Administration (EIA). Available from: <https://www.eia.gov/>.
- ۷ Instituto para la diversificación y Ahorro de la energía (IDAE). (2006). "Eficiencia Energética y Energías Renovables". 8.
- ۸ International Energy Agency (IEA). electricity. Available from: <https://www.iea.org/statistics/electricity/>.
- ۹ Madison Gas and Electric (MGE). Available from: <https://www.mge.com>.
- ۱۰ MacCargar B. (2006). "Watts, Heat and Light: Measuring The Heat Output of Different Lamps". Available from: <https://www.reptileuvinfo.com/html/watts-heat-lights-lamp-heat-output.html>.
- ۱۱ Patel, J. and A. Goyal. Smart materials in construction technology. in 2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET). 2018. IEEE.
- ۱۲ Shitote, S., A. Tuum, and W.O. Oyawa, Experimental evaluation on light transmittance performance of translucent concrete. 2018.
- ۱۳ Chiew, S.M., et al., Development of light–transmitting concrete–A review. Materials Today: Proceedings, 2021. 39: p. 1046–1050.
- ۱۴ Bashbash, B.F., et al., Basics of light transmitting concrete. Global Advanced Research Journal of Engineering, Technology and Innovation, 2013. 2(3): p. 076–083.
- ۱۵ Han, B., et al., Light–transmitting concrete. Smart and Multifunctional Concrete Toward Sustainable Infrastructures, 2017: p. 273–283.
- ۱۶ Navabi, D., et al., Developing light transmitting concrete for energy saving in buildings. Case Studies in Construction Materials, 2023. 18: p. e01969.
- ۱۷ Kumar, A.; Ahlawat, R. Experimental study on light transmitting concrete. Int. J. Innov. Sci. Eng. Technol. 2017, 4, 201–210.
- ۱۸ Altomate, A.; Alatshan, F.; Mashiri, F.; Jadan, M. Experimental study of light transmitting concrete. Int. J. Sustain. Build. Technol. Urban Dev. 2016, 7, 133–139. [CrossRef]
- ۱۹ Henriques, T.d.S.; Dal Molin, D.C.; Masuero, A.B. Study of the influence of sorted polymeric optical fibers (POFs) in samples of alight–transmitting cement–based material (LTCM). Construct. Build. Mater. 2018, 161, 305–315. [CrossRef]
- ۲۰ Pagliolico, S.L.; Verso, V.R.L.; Torta, A.; Giraud, M.; Canonico, F.; Ligi, L. A preliminary study on light transmittance properties of translucent concrete panels with coarse waste glass inclusions. Energy Procedia 2015, 78, 1811–1816. [CrossRef]
- ۲۱ Spiesz, P.; Rouvas, S.; Brouwers, H. Utilization of waste glass in translucent and photocatalytic concrete. Construct. Build. Mater. 2016, 128, 436–448. [CrossRef]
- ۲۲ Pilipenko, A.; Bazhenova, S.; Kryukova, A.; Khapov, M. Decorative Light Transmitting Concrete Based on Crushed Concrete Fines. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; IOP Publishing: Bristol, UK, 2018; p. 032046.
- ۲۳ Henriques, T.D.S.; Dal Molin, D.C.; Masuero, A.B. Optical fibers in cementitious composites (LTCM): Analysis and discussion of their influence when randomly arranged. Construct. Build. Mater. 2020, 244, 118406. [CrossRef]
- ۲۴ Luhar, S.; Khandelwal, U. Compressive Strength of Translucent Concrete. Int. J. Eng. Sci. Emerg. Technol. 2015, 8, 52–54.
- ۲۵ Tuum, A.; Shitote, S.; Oyawa, W.; Biedebrhan, M. Structural Performance of Translucent Concrete Façade Panels. Adv. Civ. Eng. 2019, 2019, 4604132. [CrossRef]



۳



فرآورده‌های پایه‌سیمانی پیش‌ساخته
پالایش‌کننده هوا با افزودنی
گرافن، نانولوله کربن و عامل
نانوفوتوکاتالیستی اکسیدتیتانیوم

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱- ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

در حال حاضر، به خوبی مشخص شده است که دی‌اکسید تیتانیوم به عنوان ماده‌ای که آلاینده‌هایی مانند اکسیدهای نیتروژن (NO_x) را کاهش می‌دهد، دارای اثر فوتوکاتالیستی قوی است.

در سال‌های اخیر، تحقیقات برای حذف اکسیدهای نیتروژن (NO_x) ناشی از واکنش مؤثر فوتوکاتالیستی نانو دی‌اکسید تیتانیوم با استفاده از منابع تولیدکننده نور UV همچون لامپ‌های فلورسنت و یا نور خورشید توسعه یافته است. یکی از مشکلات استفاده از این مواد در ساختار قطعات یا محصولات بتنی، بی‌استفاده ماندن ظرفیت نهفته در لایه‌های زیرین محصول است. به این صورت که واکنش‌های فوتوکاتالیستی فقط در سطح محصول انجام می‌شود و عملاً استفاده از نانو مواد در بخش‌های داخلی محصول منجر به گران شدن آن می‌شود.



شکل ۱- بتن خود تمیزشونده در طول زمان

در این بخش، عناصر تقویت‌کننده فرآورده‌های پایه سیمانی در حجم یا سطح بتن و نانو ذرات انجام‌دهنده واکنش‌های فوتوکاتالیستی در لایه سطحی در معرض محیط بیرونی استفاده می‌شوند. این عمل با ریختن بتن درون قالبی که از قبل یک لایه از ملات حاوی نانوفوتوکاتالیست درون آن تعبیه شده است انجام می‌شود. بنابراین بلوک‌های پیش‌ساخته با خواص فوتوکاتالیستی ساخته می‌شوند که قابلیت استفاده در کاربردهای مشخص را دارند. در شکل ۱ کاربرد بتن خود تمیزشونده فوتوکاتالیستی در ساختمان و ظاهر آن در طی زمان ده ساله را مشاهده می‌کنید.

۱-۲- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

بتن از پرکاربردترین مصالح در ساخت و ساز در دنیا است. در محیط شهری، آلودگی ناشی از فعالیت‌های کارخانه‌ها یا خودروها می‌تواند توسط سطوح بتنی پیش‌ساخته دارای خواص فوتوکاتالیستی کاهش یابد. بنابراین کاربرد این بتن‌ها در کفپوش پیاده‌روها و سایر سطوح در معرض محیط خارجی است.

کاربردهای افقی:

- رویه‌های بتنی
- کفپوش پیاده‌رو و خیابان
- سمنت برد
- سایر موارد

کاربردهای عمودی:

- کاشی‌های پایه سیمانی
- پوشش‌های تکمیلی، گچ و سایر سطوح نهایی
- مواد پایه سیمانی؛ قالب‌های دائمی، بلوک‌های بنایی، عناصر جاذب صدا برای ساختمان‌ها و سقف
- موانع بتنی تقسیم‌کننده ترافیک و جاده‌ای مانند بلوک‌های موسوم به نیوجرسی و ...
- المان‌های شهری
- پانل‌های پیش‌ساخته

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه براساس این فناوری

فناوری استفاده از نانوذرات نانواکسید تیتانیوم از دیرباز به عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر مؤثر در فرایندهای فوتوکاتالیستی در محصولات مختلف به کار گرفته شده است. نمونه‌ای از این محصولات شامل انواع رنگ‌های فوتوکاتالیستی، سیمان‌های فوتوکاتالیستی، گچ‌های فوتوکاتالیستی مورد استفاده در ساخت‌وسازهای شهری و نماها است و در پتنت‌های بررسی شده در این زمینه به صورت پیش‌ساخته تولید می‌شوند.

۱-۴- مزیت (های) کلیدی این فناوری (کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و ...)

مهم‌ترین مزیت این فناوری کاهش هزینه استفاده از نانوذرات فوتوکاتالیستی در محصولات است که به دلیل استفاده در لایه سطحی مجاور محیط است. همچنین در بسیاری از روش‌های اعمال نانوذرات بر روی سطح مانند روش‌های اسپری و سل ژل، لایه سطحی معمولاً در تماس با عوامل ساییده و مخرب و یا شستشو با آب داغ از بین می‌رود و لذا خواص موردنظر از بین می‌رود ولی در این روش اعمال، به لحاظ خواص مکانیکی مناسب‌تر عمر لایه سطحی محصول بالاتر بوده و خواص فوتوکاتالیستی تا زمان بیشتری باقی می‌ماند.

۱-۵- نانوذرات بهره گرفته شده در این فناوری (از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

نانوذرات اکسید تیتانیوم به شکل آناتاز و روتیل در لایه رویی به عنوان عامل فوتوکاتالیستی نانولوله کربنی و گرافن به عنوان عوامل تقویت‌کننده مشخصات مکانیکی بتن

۱-۶- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

در مرحله اول، مخلوط کردن نانو مواد با اجزای تشکیل‌دهنده بتن انجام می‌شود. سپس لایه حاوی نانوفوتوکاتالیست اکسیدتیتانیوم در سطح بتن حاوی نانوگرافن یا نانوتیوب کربن تعبیه می‌شود و تحت روش‌های مختلف عمل‌آوری همچون روش عمل‌آوری حرارتی با بخار به مدت ۷ تا ۸ ساعت قرار داده می‌شود. بلوکی که تحت فرآیند عمل‌آوری با بخار قرار گرفته است لازم است به مدت ۵ تا ۱۰ روز در دمای اتاق عمل‌آوری شود تا ساخت بلوک بتنی با قابلیت تصفیه هوا تکمیل شود.

۱-۷- فناوری‌های رقیب (از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

به‌طورکلی از نانوذرات مذکور در اختلاط بتن در محصولات مختلفی استفاده می‌شود. شرکت‌های بزرگی نیز محصولات بتنی با نام خودتمیزشونده یا تصفیه‌کننده آلودگی را عرضه کرده‌اند. در فناوری گفته شده در اختراع، مواد نانویی تنها در لایه سطحی قالب بتنی وارد می‌شود.

به‌طورکلی سیمان‌های حاوی نانوذرات اکسید تیتانیوم برای تولید بتن‌ها در تعدادی از شرکت‌های مطرح دنیا توسعه یافته‌اند. از این نمونه می‌توان به محصول شرکت ایتال سمنتی یا شرکت ESSroc اشاره کرد. همچنین محصولات پوشش سطحی به‌صورت لایه‌های محلولی برای پوشاندن سطوح بتنی با ذرات نانویی فوتوکاتالیستی نیز وجود دارند. این پوشش‌ها با اعمال بر روی سطح منجر به ایجاد لایه خودتمیزشونده بر روی سطح می‌شوند.

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکرشده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

فناوری تولید نانوذرات. فناوری‌های وارد و مخلوط کردن نانومواد با سیمان و تولید بتن نهایی. فناوری تسریع در گیرش بتن برای تولید بتن‌های پیش‌ساخته.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

علوم ساخت بتن‌های پیشرفته با استفاده از علوم نانو و ... هم‌راستا با علم عمران و سازه می‌تواند منجر به ایجاد رشته‌ها و فعالیت‌های کاری تحقیقاتی جدید شود.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی

(آیا این اثر/ فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

یکی از مهم‌ترین مشکلات محیط‌زیستی حال حاضر در بسیاری از کشورهای در حال توسعه مسئله آلودگی هوا در کلان‌شهرها است. بخش عمده این آلودگی شامل گازهای گلخانه‌ای و سمی مانند CO و NO_x ، از منابع سوخت فسیلی در محیط پراکنده می‌شوند که در صورت ایجاد سطوح خودتمیزشونده و پاک‌کننده آلاینده گام مؤثری در کاهش آلودگی محیط برداشته می‌شود. این امر در مسیرهای بزرگراهی و سطوح دائمی در بزرگراه‌ها، پیاده‌روها و ... به‌صورت همیشگی میسر خواهد بود.

تحلیل بین‌المللی

۱-۲- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

- بازیگران در حوزه R&D
- بازیگران صنعتی/تجاری در مراحل مختلف زنجیره ارزش
- نهادهای سیاست‌گذار و نهادهای تنظیم مقررات در سطح بین‌المللی

□ **اختراع بین‌المللی Manufacturing method of pedestrian-vehicle passage block and thereof product**
 که در سال ۲۰۱۹ توسط مخترعین کره‌ای به ثبت رسیده است، نحوه اجرا و تولید بلوک‌های بتنی پیش‌ساخته مورد استفاده در پیاده‌رو و جاده و مسیرهای عبور خودرو را بیان می‌کند.^۱ در خصوص اطلاعات تکمیلی برای نسبت‌های مخلوط، نحوه ساخت و مشخصات عملکردی می‌توان به اختراع مذکور مراجعه کرد.

□ **سیمان I.active Saylor's TX Arca**
 هر محصولی که حاوی مواد سیمانی باشد می‌تواند با I.active Saylor's تولید شود. مقرون به صرفه‌ترین استفاده از I.active Saylor's در تولید بتن دومرحله‌ای مانند پانل‌های پیش‌ساخته یا سنگ‌فرش‌های بتنی است. کاربردهای دیگر عبارت‌اند از: ۱- پانل‌های پیش‌ساخته و معماری ۲- ریخته‌گری در محل - روسازی‌ها، سطح جاده‌ها، پیاده‌روها و سایر انواع بتن. ۳- محصولات بتنی تولیدی - سنگ‌فرش‌های بتنی به هم پیوسته، واحدهای بنایی بتنی، کاشی‌های سقف، محصولات معماری، و کاشی‌های مبتنی بر سیمان. ۴- مواد ترمیمی پایه سیمانی.
 I.active Saylor's یک سیمان فوتوکاتالیستی اختصاصی و ثبت شده توسط شرکت Essroc است که در هنگام استفاده در بتن دارای خواص تمیزشوندگی و ضد آلودگی است. استفاده از I.active Saylor's منجر به ایجاد ساختمان‌های تمیزتر و هوای پاک‌تر می‌شود. همچنین معمولاً با رنگ سفید منجر به بازتابش نور آفتاب و کاهش دمای سطوح می‌شود.^۲

□ **کاهش آلاینده‌های هوا**
 محصول سیمان با نام تجاری TioCem با خاصیت فوتوکاتالیستی خود، فرصت را برای بهبود قابل توجه کیفیت زندگی در شهرها فراهم می‌کند. تحت تأثیر نور خورشید، TioCem می‌تواند تا ۹۰ درصد از اکسیدهای نیتروژن، آلدئیدها، بنزن و مواد معطر کلردار را از هوا حذف کند. به خصوص در ترافیک جاده‌ها، در مجاورت افراد، این آلاینده‌های هوا جمع می‌شوند. سیمان مذکور اکسید نیتروژن را کاهش می‌دهد و می‌تواند عملکرد خود را به ویژه در مناطق با ترافیک بالا نشان دهد. همچنین در سنگ‌فرش، دال‌های روسازی، سطوح جاده یا موانع صوتی می‌توان از این محصول استفاده کرد. علاوه بر این، TioCem برای عناصر روکش نما و گچ‌های سیمانی خارجی نیز استفاده می‌شود.^۳

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

این محصول از نظر سطح آمادگی فناوری در TRL برابر ۶ و از نظر آمادگی بازار در MRL برابر ۷ قرار دارد.

۱. <https://patents.google.com/patent/KR102088440B1/en?q=KR102088440>

۲. I.active Saylor's TX Arca® | Cement | Nanotechnology Products | NPD (statnano.com)

۳. TioCem – Active cement frees from nitrogen oxides – Haute Innovation (haute-innovation.com)

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌ها برای خلق راه حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل
۴									کمی سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری

راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه اندازی خط تولید
تکمیل سیستم نهایی/ افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش های اولیه
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن ها

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

محصول سیمان و بتن تمیزکننده هوا حدوداً از ۲۰ سال پیش در حال تجاری سازی و استفاده هستند. با این حال به دلایل متعدد هنوز در مراحل اولیه چرخه عمر هستند.

۲-۴- مهم ترین پیشران ها و چالش های پیش روی فناوری

- پیشران ها و چالش های فنی
- پیشران های فنی: وجود نانومواد و ترکیبات مختلف مورد استفاده در صنعت سیمان و بتن مانند افزودنی ها و ... و همچنین آسان بودن تولید این محصول نسبت به سایر محصولات از پیشران های این فناوری است.

■ **چالش‌های فنی:** در مرحله ساخت و ساز دو جنبه باید در نظر گرفته شود:

- ۱- کیفیت و نسبت اختلاط مواد یا به عبارتی طرح مخلوط: انتخاب مناسب‌ترین سنگ‌دانه‌ها، سیمان و افزودنی‌ها، با لحاظ نمودن میزان بهینه مصرف
- ۲- فناوری تولید و اجرا: مجموعه‌ای از فعالیت‌های فناورانه است که در مراحل تولید و اجرا استفاده می‌شود (بتن، پانل‌های پیش‌ساخته، ملات خشک، استفاده از رنگ‌دانه‌ها و غیره).
در این خصوص یک انتخاب مهم، تعیین نوع قالب است که می‌تواند اشکال مختلف را در سطح ایجاد کند.

■ **پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی**

■ **پیشران‌های اقتصادی:** هزینه‌های اقتصادی مرتبط با آلودگی هوا و مسائل درمانی منجر به استقبال از راه‌حل‌های نوآورانه برای کاهش آلاینده‌ها می‌شود. همچنین تمیز ماندن سطوح و صرفه‌جویی در هزینه‌های تجدید نما و شستشو نیز می‌تواند از پیشران‌های اقتصادی باشد.

■ **چالش‌های اقتصادی:** هزینه‌های مربوط به استفاده از نانومواد در سیمان و مواد پایه سیمانی فوتوکاتالیستی منجر به افزایش قیمت این مواد می‌شود که به عنوان چالش اقتصادی توسعه این محصولات در نظر گرفته می‌شود. قیمت سیمان‌های فوتوکاتیو تجاری (مانند [®]TioCEM، Górażdże، لهستان، [®]TX Active، گروه Italcement، ایتالیا) همچنان هشت تا ده برابر گران‌تر از سیمان متداول در آن منطقه است.^۱

■ **پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)**

از نظر اجتماعی آلودگی هوا در بسیاری از کلان‌شهرها یکی از معضلات اصلی دولت‌ها و مردم است. پیشران استفاده از محصولات فوتوکاتالیستی الزام به کاهش آلاینده‌ها و گرمایش است که منجر به حذف بخشی از آلاینده‌ها در شهرهای آلوده و بزرگ خواهد شد.

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

قیمت سیمان‌های فوتوکاتیو تجاری (مانند [®]TioCEM، Górażdże، لهستان، [®]TX Active، گروه Italcement، ایتالیا) همچنان هشت تا ده برابر گران‌تر از سیمان پرتلند موجود در آن منطقه است.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

آن‌طور که مشخص شده است هزینه سیمان‌های فوتوکاتالیستی بیشتر از سیمان‌های معمولی است. در کنار معایب گفته شده مزایای بتن‌های جدید مانند: تصفیه هوا، خواص مکانیکی بهتر و خواص خود تمیز شونده‌گی، بتن‌های فوتوکاتیو را به مصالح ساختمانی آینده تبدیل می‌کند. با این حال در حال حاضر کاربرد این سیمان یا بتن‌ها گسترده نبوده و در آینده با کاهش قیمت و هزینه‌های آن، استفاده از آن توسعه خواهد یافت.

تحلیل داخلی

۱-۳- فعالیت‌های انجام شده در کشور

فعالیت‌های توسعه محصول و تجاری‌سازی (آیا نمونه‌سازی انجام شده است؟ چه شرکت‌هایی برای توسعه محصول در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ آیا محصولی مبتنی بر این فناوری در بازار به فروش می‌رسد؟ آیا شرکت‌های صنعتی بزرگ در این زمینه فعالیت می‌کنند؟ آیا شرکت‌های واردکننده در این زمینه فعالیت می‌کنند؟)

در بررسی منابع اینترنتی در خصوص این فناوری محصولی مشاهده نشد. تحقیقات مرتبط با این موضوع توسط برخی از اساتید انجام شده است.

۲-۳- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

مشابه بخش بین‌الملل، کاربردهای این محصول در صنعت ساختمان و راه‌سازی است.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌ها برای خلق راه‌حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل
۴									کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه‌اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل‌سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

در این خصوص تحقیقات کاربردی انجام می‌شود. می‌توان MRL برابر ۴ و TRL برابر ۴ را در نظر گرفت.

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هریک از کاربردهای احتمالی

در این خصوص رنگ‌های فوتوکاتالیستی در دنیا و همچنین سیمان سفید فوتوکاتالیستی به عنوان پوشش خارجی نما کاربرد داشته‌اند. در ایران در این زمینه به نظر محصولی به صورت تجاری تولید نشده است.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

در حال تکمیل است.

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی
- زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی
- زیرساخت تولید
- آزمایشگاه مرجع
- منابع مالی
- توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری
- زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش

منابع انسانی و زیرساخت آزمایشگاهی و علمی کشور به صورت مناسبی برای توسعه این محصول فراهم است.

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی
مشابه بخش بین‌الملل.

□ پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا
با توجه به این که از نظر استانداردهای محیط‌زیستی در کشور الزامات قوی در مورد خودتمیزشوندگی و حذف آلاینده‌گی وجود ندارد، تقاضا در این زمینه ممکن است کمتر باشد.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)
همان‌طور که در بخش بین‌الملل گفته شد از نظر محیط‌زیستی تصفیه هوا و تمیز شدن سطوح بسیار پراهمیت و از نظر بهداشت و سلامت در درجه بالایی قرار دارد. با این حال از نظر اقتصادی باید بررسی شود وزن کدام معیار در کشور بیشتر است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)
مشابه بخش بین‌الملل با این تفاوت که در بخش کاهش تولید NO_x و حذف آلاینده‌ها در کشور ما الزامی وجود ندارد و الزامات محیط‌زیستی مانند تولید آلاینده‌های کمتر اصولاً مطرح نیست.

۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

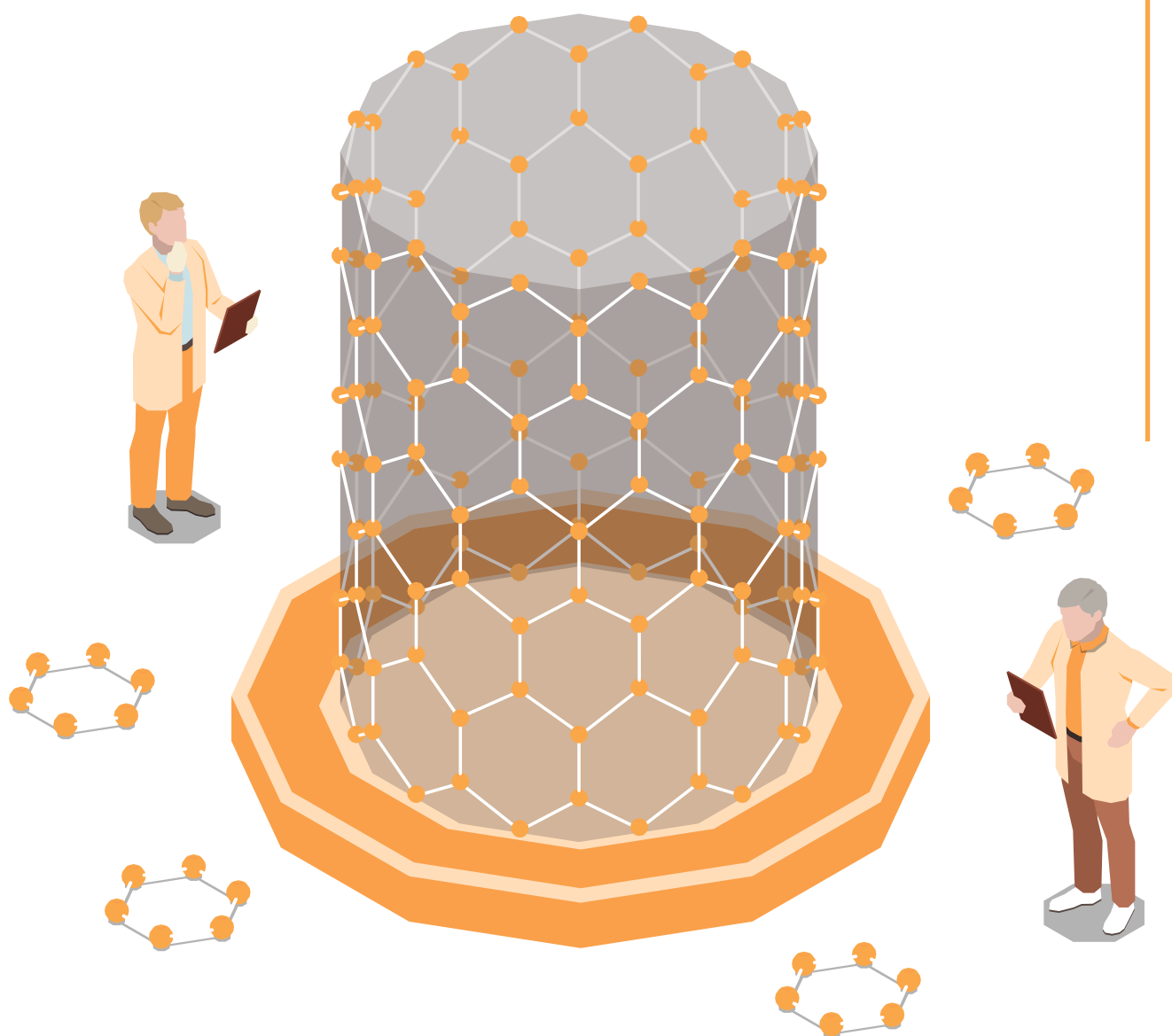
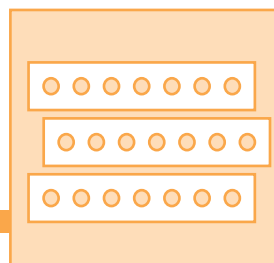
این نوع محصولات واردات نداشته است و پیشینه‌ای از تولید داخلی در حال حاضر مشاهده نشده است.

۳-۹- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

فرصت صادرات به کشورهای حاشیه خلیج فارس می‌تواند از بازار داخل قوی‌تر باشد.

۳-۱۰- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

پیش‌بینی می‌شود در آینده استفاده از این نوع مواد توسعه قابل توجهی داشته باشد و به صورت وسیع به عنوان مصالح اصلاح شده ضدآلاینده استفاده شود.



۴



بتن محافظ / جاذب امواج الکترومغناطیسی

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱ ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

امروزه وسایل الکترونیکی و فناوری‌های مرتبط با این حوزه در زندگی جوامع بشری جایگاهی مهم و اساسی دارند. این فناوری‌ها برخلاف فواید بسیار خود اثرات مخربی نیز دارند. سلامت انسان، امنیت اطلاعات و زیرساخت‌های نظامی از جمله موارد نگران‌کننده‌ای است که باید مورد توجه قرار گیرد. از آنجایی که آلودگی‌های امواج الکترومغناطیس یک تهدید جدی برای سلامت انسان است، استانداردهای مختلفی جهت تبیین محدوده مجاز این امواج در نظر گرفته شده است که در جدول ۱ نشان داده شده است. جهت کاهش آسیب‌های آلودگی‌های امواج الکترومغناطیس یکی از راهکارهای مفید و ضروری، توسعه و تحقیق پیرامون بتن محافظ/جاذب امواج الکترومغناطیس است. بتن محافظ/جاذب امواج الکترومغناطیسی^۱ به نوعی از بتن گفته می‌شود که ظرفیت دفاع در برابر امواج الکترومغناطیسی در ناحیه فرکانسی وسیعی را دارد. بسته به نیاز و کاربری‌های خاص مورد انتظار، این بتن می‌تواند برای بازتاب یا جذب امواج الکترومغناطیس طراحی شود.

جدول ۱- استانداردهای موجود پیرامون محدوده مجاز

Frequency range (MHz)	Electric field strength (V/m)	Magnetic field strength (A/m)	Power density (W/m ²)
۰٫۱-۳	۴۰-۸۷	۰٫۱-۰٫۲۵	۲۰-۴۰
۳-۳۰	۶۷۴ ^{۰٫۵} -۱۵۰۴ ^{۰٫۵}	۰٫۱۷۴ ^{۰٫۵} -۰٫۴۴ ^{۰٫۵}	۱۲۴ ^{۰٫۵} -۶۰۰۴ ^{۰٫۵}
۳۰-۳۰۰۰	۱۲-۲۸	۰٫۰۳۲-۰٫۰۷۵	۰٫۴-۲
۳۰۰۰-۱۵۰۰۰	۰٫۲۲۴ ^{۰٫۵} -۰٫۵۴ ^{۰٫۵}	۰٫۰۰۱۴ ^{۰٫۵} -۰٫۰۱۵۴ ^{۰٫۵}	f/۷۵۰۰-f/۱۵۰۰
۱۵۰۰۰-۳۰۰۰۰	۲۷-۶۱	۰٫۰۷۳-۰٫۱۶	۲-۱۰

این بتن می‌تواند امواج الکترومغناطیس را با ترکیب پرکننده‌های رسانای الکتریکی برای انعکاس محافظت کند و آن‌ها را از طریق افزودن پرکننده‌های مغناطیسی سنتی مانند نیکل و فريت و یا سایر افزودنی‌های مغناطیسی و رسانا همچون خاکستر بادی، سرباره و الیاف فولادی برای تبدیل و اتلاف انرژی، جذب کند. هم‌چنین بررسی اثر استفاده از برخی نانومواد نظیر نانو الیاف کربن، نانولوله‌های کربنی، نانو سیال مغناطیسی Fe₃O₄ و کربن سیاه و پلیمرهای رسانا در مطالعات بررسی شده است که هر کدام خواص جذبی و منحصر به فردی دارند. میزان اثربخشی محافظت امواج الکترومغناطیس (SE) به واسطه مجموع سه پارامتر میزان اتلاف بازتاب^۳، اتلاف جذب^۴ و اتلاف ناشی از بازتاب و انتقال چندگانه^۵ بر حسب واحد دسی‌بل تعریف می‌شود. به عنوان مثال بازتاب ۱۰ تا ۲۰ دسی‌بل به این معنی است که برخورد الکترومغناطیسی امواج حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد کاهش یافته است [۱].

۱. Electromagnetic wave shielding/absorbing concrete

۲. Shielding effectiveness

۳. Reflection loss

۴. Absorption loss

۵. Multi-reflections

۲-۱- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

بتن محافظ/جاذب امواج الکترومغناطیسی کاربردهای بالقوه‌ای در محافظت در برابر تشعشعات الکترومغناطیسی، افزایش قابلیت‌های پنهان‌کاری و دفاعی و کاهش تداخل الکترومغناطیسی در بخش‌های مختلف دارد. تحقیقات برای بهبود خواص و عملکرد این کامپوزیت‌ها ادامه دارد و استفاده از موادی مانند اکسید گرافن، فروسیال و سایر مواد برای افزایش اثربخشی محافظتی آن ادامه دارد. مطالعات گسترده‌ای جهت استفاده از این فناوری در کاربری‌های متفاوت نظامی و پزشکی جهت استفاده در بیمارستان‌ها نیز انجام شده است.

۳-۱- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه براساس این فناوری



شکل ۱- نمونه بتنی حاوی ۵ درصد کربن سیاه

در حال حاضر مطالعات گسترده‌ای پیرامون استفاده از پرکننده‌های رسانای متفاوت با خواص و کاربری‌های گوناگون انجام شده است که هرکدام دارای خواص و ویژگی منحصر به فرد خود است. در میان تمام پرکننده‌های رسانا، مواد کربنی شامل پودر گرافیت^۱ (GP)، کربن سیاه^۲ (CB)، الیاف کربن^۳ (CF)، گرافن^۴ (GN) و مشتقات آن‌ها به‌طور قابل توجهی به جذب و یا بازتاب امواج الکترومغناطیسی به دلیل ویژگی‌های برتر تبدیل حرارتی، پلاریزاسیون الکترونیکی، پلاریزاسیون یونی، پلاریزاسیون مولکولی و اثر پراکندگی کمک می‌کند [۲-۴]. در شکل ۱ نمونه‌ی بتنی ساخته شده با ۵ درصد کربن سیاه نشان داده شده است [۵].

۴-۱- مزیت (های) کلیدی این فناوری

(کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و ...)

این فناوری از جنبه‌های مختلفی دارای مزیت است؛ از جمله مزایای این فناوری می‌توان به کاهش قابل توجه تداخل الکترومغناطیسی به واسطه جذب یا بازتابش، محافظت از زیرساخت‌های غیرنظامی شهری و تأسیسات نظامی در برابر تشعشعات الکترومغناطیسی و در نتیجه افزایش ایمنی و امنیت، حفاظت از محیط زیست به واسطه امکان تبدیل امواج الکترومغناطیسی به انرژی حرارتی و محدوده فرکانسی وسیعی که این فناوری می‌تواند محافظت و جذب را در آن برای کاربردهای مختلف فراهم کند، اشاره نمود.

در بخش نظامی می‌توان مزایای زیر را جهت استفاده از این فناوری برشمرد:

- کاهش هزینه بسیار زیاد به نسبت مواد فلزی متداول که در حفاظ سازی فضاها استفاده می‌شود. (کربن سیاه قیمت پایین‌تری نسبت به محافظ فلزی دارد)
- امکان استتار تجهیزات فرستنده و رادیویی
- افزایش مقاومت بتن و در نتیجه استحکام ابنیه

۵-۱- نانوذرات بهره گرفته شده در این فناوری

(از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

از نانو سیال مغناطیسی Fe_3O_4 به عنوان جاذب امواج الکترومغناطیسی در کامپوزیت‌های پایه سیمانی استفاده می‌شود که خاصیت جذب امواج الکترومغناطیسی بالایی را از خود نشان می‌دهد. هم‌چنین از نانو کربن سیاه برای افزایش اثربخشی

۱. Graphite powder
۲. Carbon black
۳. Carbon fiber
۴. Graphene

محافظتی الکترومغناطیسی بتن استفاده می‌شود. نانو کربن سیاه به دلیل چگالی کم، مقاومت در برابر خوردگی، هدایت الکتریکی عالی و پایداری حرارتی بالا شناخته شده است. در همین حال، مطالعاتی پیرامون مواد کربن نانومتری شامل نانوسیم‌های کاربید سیلیکون ($^1\text{SiCNW}$)، نانولوله‌های کربنی چند جداره ($^2\text{MWCN}$)، نانو الیاف کربن (^3CNF)، نانولوله کربنی (^4CNT) و نانو پلاکت گرافیتی (^5GNP) و اثرات مطلوبشان انجام شده است. به عنوان مثال در پژوهشی افزودن ۰/۶ درصد وزنی نانولوله کربنی چند جداره به مخلوط سیمانی، منجر به کاهش ۲۷ درصدی بازتاب امواج الکترومغناطیس شد [۶].

۶-۱- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

کربن سیاه از طریق تجزیه در اثر حرارت دهی هیدروکربن‌ها مانند گاز طبیعی یا نفت تولید می‌شود. سپس کربن سیاه حاصل برای دستیابی به اندازه ذرات و سطح مورد نظر پردازش می‌شود. در گام بعدی کربن سیاه با سیمان مخلوط می‌شود تا یک ماده کامپوزیت با خواص جذب امواج الکترومغناطیسی افزایش یافته ایجاد شود. کامپوزیت‌های مبتنی بر سیمان حاوی کربن سیاه با مواد دیگر مانند آب و سنگ‌دانه‌ها مخلوط می‌شوند تا محصول بتنی نهایی با خواص محافظ امواج الکترومغناطیسی افزایش یافته و خواص جذبی ایجاد شود.

۷-۱- فناوری‌های رقیب (از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

از کربن سیاه می‌توان به صورت‌های دیگری در مصالح ساختمانی استفاده کرد، مانند لایه‌هایی به شکل بتونه ساختمان و یا مخلوط در رنگ به دیواره‌ها کشید و اگر پیوستگی کامل در آن رعایت شود به عنوان حفاظ الکترومغناطیسی می‌تواند به کار رود [۵]. به علاوه این فناوری‌ها می‌توانند در تولید پوشش‌ها و حتی بتن‌های پیشرفته مورد استفاده قرار گیرند. به عنوان مثال نانوپوشش‌ها می‌توانند به عنوان لایه‌های محافظ بر روی بتن اعمال شوند تا خواص جذب امواج الکترومغناطیسی را افزایش دهند.

۸-۱- فناوری‌های مکمل (برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مانند HFSS و CST برای طراحی و بهینه‌سازی ساختارهای جاذب امواج الکترومغناطیسی می‌تواند از جمله فناوری‌های مکمل باشند. این فناوری‌ها می‌توانند به بهبود کارایی و کاهش هزینه‌های تولید کمک کنند. همچنین استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای طراحی ساختارهای چند لایه و پیچیده که بتوانند امواج الکترومغناطیسی را به طور مؤثرتری جذب کنند کمک‌کننده خواهد بود.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید (آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

فعالیت در زمینه بتن محافظ/جاذب امواج الکترومغناطیسی فرصت‌های تحقیقاتی بسیاری را در زمینه‌های مرتبط ایجاد می‌کند، زیرا این یک زمینه چند رشته‌ای است که شامل علم مواد، مهندسی برق و مهندسی عمران می‌شود. توسعه این فناوری منجر به ایجاد فرصت‌های تحقیقاتی جدید در چندین زمینه شده است.

۱. Silicon carbide nanowires
۲. Multi-walled carbon nanotube
۳. Carbon nanofiber
۴. Carbon nanotube
۵. Graphite nano platelet

۱-۱۰- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی (آیا این اثر/فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

این فناوری از جهات مختلفی حائز اهمیت است. گسترش روزافزون سیستم‌های الکترونیکی در حوزه‌های نظامی، غیرنظامی و تجاری باعث شده است که بسیاری از زیرساخت‌های ما وابستگی بسیار زیادی به مدارات الکترونیکی داشته باشند. در پی این وابستگی فناوری، تهاجم به مدارات الکترونیکی در برنامه‌های نظامی و استراتژیکی حریفان، قرار گرفته است و امواج الکترومغناطیسی پر قدرت می‌توانند تجهیزات فوق را دچار اختلال موقت یا دائمی نمایند. بنابراین استفاده از روش‌هایی همچون به‌کارگیری بتن محافظ/جاذب امواج الکترومغناطیس در حوزه نظامی و دفاعی بسیار حائز اهمیت است [۵]. هم‌چنین این فناوری با تبدیل امواج الکترومغناطیسی به انرژی حرارتی که یک نگرانی محیط‌زیستی مهم است، به کاهش آلودگی الکترومغناطیسی کمک می‌کند. از طرفی این فناوری با کاهش اثرات منفی تشعشعات الکترومغناطیسی بر موجودات زنده و اکوسیستم‌ها به حفاظت از محیط‌زیست کمک می‌کند.

تحلیل بین‌المللی



۱-۲- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

برخی از تحقیقاتی که در این حوزه انجام شده است در دو دسته پسماندهای جامد و صنعتی با ظرفیت به‌کارگیری به‌عنوان جذب‌کننده امواج الکترومغناطیس و دسته دوم شامل مواد کربنی و نانو مواد با ظرفیت به‌کارگیری به‌عنوان جذب‌کننده امواج الکترومغناطیس به ترتیب در جدول ۲ و ۳ گردآوری شده است.

شکل ۲- نمونه بتن هادی که در برابر امواج RF کاملاً عایق است.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌ها برای خلق راه‌حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل
۴									کم‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/راه‌اندازی خط تولید	تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت	اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی	دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد	دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد	دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی	اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه	معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن	مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها
-------------------	--	---	--	---	--	---	---	--	---

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

با توجه به داده‌های موجود سطح آمادگی فناوری (TRL) برای بتن محافظ/جاذب الکترومغناطیسی را می‌توان در سطح ۶ در نظر گرفت، و سطح آمادگی بازار (MRL) را هم می‌توان ۷ در نظر گرفت.

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

جدول ۲- برخی مطالعات انجام شده پیرامون بتن محافظ/جاذب امواج الکترومغناطیس با استفاده از پسماندهای جامد و صنعتی

ردیف	نام ماده	مقدار پرکننده	ظرفیت جذب		منبع
			پهنای باند (GHz)	انعکاس (dB)	
۱	خاکستر بادی	۲۰ درصد وزنی ۴۰ درصد وزنی	۰ ۴/۲	-۱۰/۲ -۱۱/۶	[۷]
۲	خاکستر بادی	۳۰ درصد وزنی ۴۰ درصد وزنی ۵۰ درصد وزنی	۵۵/۹۲ ۴۸/۴۸ ۴۳/۵		[۸]
۳	خاکستر بادی	۲۰ درصد وزنی	۱۲	-۱۶	[۹]
۴	سرباره مس	۳۰ درصد وزنی ۵۰ درصد وزنی ۷۰ درصد وزنی	۰/۲ ۰/۷ ۰	-۱۰ -۱۳/۴ -۹	[۱۰]
۵	سرباره مس	۲۵ درصد وزنی	۳/۴۸	-۱۰/۲	[۱۱]
۶	سرباره مس	۱۰ درصد وزنی ۲۰ درصد وزنی ۳۰ درصد وزنی ۴۰ درصد وزنی	۹۳/۹ ۹۹/۸ ۹۵/۳ ۹۵/۲		[۱۲]
۷	سرباره فولاد	۳۰ درصد وزنی	۲	-۲۶/۹	[۱۳]
۸	سرباره فولاد	۱۰ درصد وزنی ۱۵ درصد وزنی	۳۴ ۳۳		[۱۴]

جدول ۳- برخی مطالعات انجام شده پیرامون بتن محافظ/جاذب امواج الکترومغناطیس با استفاده از مواد کربنی و نانو مواد

ردیف	نام ماده	مقدار پرکننده	ظرفیت جذب		منبع
			پهنای باند (GHz)	انعکاس (dB)	
۱	الیاف کربن	۰/۲ درصد وزنی ۰/۴ درصد وزنی ۰/۶ درصد وزنی ۱ درصد وزنی	۱/۷ ۲ ۰ ۰	-۱۴/۳ -۱۹/۳ -۸/۲ -۴/۴	[۱۵]
۲	نانو الیاف کربن	۰/۱ درصد وزنی ۰/۲ درصد وزنی ۰/۳ درصد وزنی	۱۷۵ ۱۷۸ ۱۸۲		[۱۶]
۳	کربن سیاه	۰/۵ درصد وزنی ۲/۵ درصد وزنی ۳ درصد وزنی	۸ ۸ ۶/۵	-۱۶ -۲۱ -۱۴	[۱۷]
۴	نانولوله کربنی	۰/۳۹ درصد حجمی ۰/۷۷ درصد حجمی ۱/۴۱ درصد حجمی ۲/۱۴ درصد حجمی	۶۶/۴ ۶۵/۷ ۳۰/۷ ۲۱/۴		[۱۸]
۵	نانو سیال مغناطیسی	۳ درصد وزنی ۵ درصد وزنی ۷ درصد وزنی	۹/۵ ۹/۵ ۱۰	-۴۵ -۳۳ -۱۷	[۱۹]

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

بتن جاذب امواج الکترومغناطیسی در حال حاضر در مرحله رشد چرخه عمر و شیب روشن‌بینی چرخه انتظارات قرار دارد، زیرا کاربردهای عملی آن در حال افزایش است و بهبودهای مداومی در فناوری انجام می‌شود.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش روی فناوری

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

چالش‌های فنی برای توسعه بتن محافظ/جاذب الکترومغناطیسی عبارت‌اند از دستیابی به میزان محافظت مؤثر محصول به واسطه استفاده از نوع و مقدار مناسب پرکننده‌های رسانا و مغناطیسی در مخلوط بتن، حفظ خواص مکانیکی محصول به واسطه اطمینان از اینکه افزودن پرکننده‌ها به‌طور قابل توجهی خواص مکانیکی بتن مانند استحکام و دوام را به خطر نمی‌اندازد و مقیاس‌پذیری و مقرون‌به‌صرفه بودن محصول به واسطه توسعه فرآیند تولیدی که مقیاس‌پذیر و مقرون‌به‌صرفه باشد، زیرا استفاده از برخی پرکننده‌ها مانند نانولوله‌های کربنی می‌تواند هزینه‌بر باشد.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

پیشران اقتصادی این فناوری را می‌توان تقاضای بازار به واسطه کاربردهای بالقوه‌ی این فناوری در زمینه‌های مختلف دانست. چالش اقتصادی اصلی این فناوری را می‌توان هزینه بالای استفاده از برخی پرکننده‌های خاص مانند نانولوله‌های کربنی و فریت‌ها که می‌تواند گران‌قیمت باشد و ممکن است پذیرش گسترده این فناوری را محدود کند، دانست.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

پیشران‌های حوزه سلامت، ایمنی و بهداشت بتن محافظ/جاذب الکترومغناطیسی عبارت‌اند از: افزایش سطوح آلودگی الکترومغناطیسی در مناطق شهری به دلیل استفاده گسترده از وسایل الکترونیکی و سیستم‌های ارتباطی، حفاظت از محیط‌زیست به واسطه تمایل به کاهش اثرات منفی تشعشعات الکترومغناطیسی بر موجودات زنده و اکوسیستم‌ها. چالش‌های این حوزه نیز عبارت‌اند از: نیاز به وجود یک چارچوب نظارتی که به نگرانی‌های بهداشتی و ایمنی مرتبط با تشعشعات الکترومغناطیسی پرداخته و انطباق داشتن با استانداردها و مقررات مربوطه را تضمین کند و همچنین نیاز به آگاهی و آموزش عمومی در مورد خطرات مرتبط با تشعشعات الکترومغناطیسی و اهمیت اتخاذ تدابیری برای کاهش این خطرات.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

در این زمینه می‌توان به اهمیت پذیرش عمومی اشاره نمود. نیاز به اطمینان از پذیرش عمومی و درک فناوری، به‌ویژه در زمینه کاربردهای پزشکی و نظامی وجود دارد.

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

بازار بتن جاذب امواج الکترومغناطیسی در سطح جهانی در حال رشد است و این فناوری به دلیل کاربردهای گسترده‌ای که در صنایع مختلف دارد، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. نمونه‌هایی از محصولات و قیمت‌ها در سال ۱۴۰۳ به شرح زیر است:

بتن جاذب امواج الکترومغناطیسی: این نوع بتن معمولاً به صورت بلوک‌ها یا پانل‌های پیش‌ساخته عرضه می‌شود. قیمت این محصولات بسته به ترکیب مواد و کارایی جذب امواج متفاوت است. به عنوان مثال، قیمت هر مترمربع از بتن جاذب امواج می‌تواند بین ۵۰ تا ۱۵۰ دلار باشد.

پوشش‌های جاذب امواج الکترومغناطیسی: این پوشش‌ها معمولاً به صورت رنگ یا لایه‌های نازک بر روی سطوح مختلف اعمال می‌شوند. قیمت هر لیتر از این پوشش‌ها می‌تواند بین ۳۰ تا ۱۰۰ دلار باشد.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

در سال‌های اخیر افزایش قابل توجهی در تحقیق و توسعه در زمینه بتن محافظ/جاذب امواج الکترومغناطیسی با تمرکز بر

بهبود عملکرد، دوام و مقرون به صرفه بودن آن انجام شده است. هم‌چنین در سال‌های اخیر پیشرفت‌هایی در علم مواد رخ داده است که منجر به توسعه مواد و فناوری‌های جدیدی شده است که می‌توانند قابلیت‌های محافظ و جاذب بتن را افزایش دهند که علت آن را می‌توان بروز نگرانی فزاینده در مورد آلودگی الکترومغناطیسی و اثرات آن بر سلامت انسان و محیط‌زیست دانست که منجر به افزایش تقاضا برای راه‌حل‌های این‌چنینی شده است. در سال‌های آینده با توجه به رشد چشمگیر دانش و فناوری و اهمیت روزافزون مسائل مرتبط با محیط‌زیست و امنیت، این فناوری می‌تواند بیشتر مورد استقبال قرار گیرد و پیشرفت در حوزه فناوری‌های مرتبط با الکترومغناطیس و علم مواد می‌توانند بر بهبود این فناوری تأثیر مثبتی بگذارند.

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیتهای انجام شده در کشور

□ فعالیتهای تحقیقاتی (چه تیم‌هایی در کدام نهادها در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ چه مقالاتی در این زمینه منتشر شده است؟ چه پایان‌نامه‌هایی نگارش شده است؟)
به صورت دقیق در این زمینه فعالیتی انجام نشده است ولی یک سری تحقیقات مرتبط با این موضوع انجام شده است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

جدول ۴- مطالعات انجام شده در داخل کشور

ردیف	نگارندگان	دانشگاه / موسسه	نوع تحقیق	عنوان تحقیق
۱	محسن کامیاب شریف محمد مردانی شهر بابک	دانشگاه جامع امام حسین (ع)	مقاله	ساخت بتن رسانا به عنوان مصالح نوین در حفاظت الکترومغناطیسی
۲	امید بامشاد، حامد اکبری، مهدی مهدیخانی، حسام اکبری، امیر ادیب‌زاده، غلامحسین پورتنقی	دانشگاه علوم پزشکی بقیة الله دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین	مقاله ژورنالی	Investigation of electromagnetic wave absorption of concrete containing metakaolin and carbon black
۳	مهسا فخارپور، رضا کریمی	دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد	مقاله ژورنالی	Electromagnetic wave absorption properties of MWCNTs-COOH/cement composites with different shapes of chiral, armchair and zigzag

□ فعالیتهای توسعه محصول و تجاری‌سازی (آیا نمونه‌سازی انجام گرفته است؟)
نمونه‌سازی بتن جاذب امواج الکترومغناطیسی در حد نمونه‌های آزمایشگاهی انجام شده است. تحقیقات و آزمایش‌های مختلفی برای بررسی خواص جذب و انعکاس امواج الکترومغناطیسی توسط این نوع بتن انجام گرفته است. به عنوان مثال، در برخی از مطالعات، ترکیبات مختلفی از نانوذرات فلزی و کربن سیاه به بتن اضافه شده و خواص جذب امواج در فرکانس‌های مختلف بررسی شده است. به علاوه، این نمونه‌ها معمولاً در آزمایشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی تولید و آزمایش می‌شوند تا بهترین ترکیب و فرمولاسیون برای جذب امواج الکترومغناطیسی به دست آید. نتایج این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که بتن جاذب امواج می‌تواند به طور مؤثری امواج الکترومغناطیسی را جذب و از تداخلات الکترومغناطیسی جلوگیری کند.

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

مشابه بخش بین‌الملل است.

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

سطح آمادگی فناوری (TRL) برابر ۴ و سطح آمادگی بازار (MRL) برابر ۴ است.

سطح آمادگی بازار		۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۹	خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار									
۸	شناسایی متخصصان دارای توانمندی									
۷	تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل									
۶	ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول / خدمت به توانمندی‌ها برای خلق راه حل									
۵	شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل									
۴	کم‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول / خدمت جدید									
۳	شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول / خدمت جدید									
۲	شناسایی یک نیاز بخصوص									
۱	شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)									
سطح آمادگی فناوری										
	راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی / راه اندازی خط تولید									
	تکمیل سیستم نهایی / افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
	اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
	دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
	دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
	دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
	اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
	معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
	مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هریک از کاربردهای احتمالی

آرماتوربندی به وسیله فولاد در دیوارهای ساختمان‌های بتنی می‌تواند محافظت مناسبی برای فرکانس‌های پایین ایجاد نماید. البته باید این آرماتوربندی در داخل بتن، تشکیل یک شبکه یکپارچه بدهد. هم‌چنین در حوزه نظامی در حال حاضر اتاق‌های حفاظت فلزی (شیلتر) و یا محفظه‌های حفاظت جهت این موضوع مورد استفاده قرار می‌گیرد که دارای معایبی از قبیل سنگین بودن، حجیم بودن (اتاق‌های آماده که حمل و نقل آن‌ها نیاز به وسایل خاصی است)، امکان وجود منافذ، نفوذ امواج، ایجاد منافذ جدید و گران بودن می‌باشند.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری موردنیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

برای تخمین میزان سرمایه‌گذاری موردنیاز برای توسعه فناوری بتن جاذب امواج الکترومغناطیسی تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و تولید در مقیاس وسیع (TRL8)، باید چندین عامل کلیدی را در نظر گرفت. این عوامل شامل هزینه‌های تحقیق و توسعه، تجهیزات و زیرساخت‌ها، مواد اولیه، نیروی انسانی، و هزینه‌های تولید و بازاریابی می‌شوند. در ادامه به بررسی این عوامل می‌پردازیم:

۱. هزینه‌های تحقیق و توسعه (R&D)

- تحقیقات اولیه و آزمایش‌ها: شامل هزینه‌های آزمایشگاهی، تجهیزات تخصصی، و مواد اولیه برای آزمایش‌ها.
- توسعه نمونه‌های اولیه: شامل هزینه‌های طراحی و ساخت نمونه‌های اولیه و انجام آزمایش‌های عملکردی.

۲. تجهیزات و زیرساخت‌ها

- تجهیزات تولید: شامل خرید و نصب ماشین‌آلات و تجهیزات موردنیاز برای تولید بتن جاذب امواج.
- زیرساخت‌ها: شامل هزینه‌های ساخت یا اجاره فضای تولید و نگهداری تجهیزات.

۳. مواد اولیه

- مواد نانو: هزینه‌های تهیه مواد نانو که برای بهبود خواص بتن استفاده می‌شوند.
- سایر مواد اولیه: شامل سیمان، شن، ماسه، و افزودنی‌های شیمیایی.

۴. نیروی انسانی

- تیم تحقیق و توسعه: شامل حقوق و دستمزد محققان، مهندسان، و تکنسین‌ها.
- تیم تولید: شامل حقوق و دستمزد کارگران و اپراتورهای خط تولید.

۵. هزینه‌های تولید و بازاریابی

- تولید انبوه: شامل هزینه‌های تولید در مقیاس وسیع، نگهداری تجهیزات، و مدیریت کیفیت.
- بازاریابی و فروش: شامل هزینه‌های تبلیغات، بازاریابی، و توزیع محصول.

تخمین هزینه‌ها

- TRL6: برای رسیدن به سطح نمونه‌سازی، هزینه‌ها می‌تواند بین ۵۰۰ هزار تا ۱ میلیون دلار باشد.
 - TRL8: برای تولید در مقیاس وسیع، هزینه‌ها می‌تواند بین ۵ تا ۱۰ میلیون دلار باشد.
- این تخمین‌ها بر اساس مفروضات عمومی و تجربیات مشابه در صنعت بتن و فناوری نانو است. برای دقت بیشتر، نیاز به تحلیل دقیق‌تر وجود دارد.

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی: وجود دارد
- زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی: وجود دارد
- زیرساخت تولید:
- آزمایشگاه مرجع:
- منابع مالی: وجود دارد
- توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری: وجود دارد
- زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش:

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

■ پیشران‌ها:

۱. افزایش نیاز به حفاظت الکترومغناطیسی: با گسترش استفاده از تجهیزات الکترونیکی و مخابراتی، نیاز به مواد جاذب امواج الکترومغناطیسی برای کاهش تداخل و حفاظت از تجهیزات افزایش یافته است.
۲. پیشرفت‌های فناوری نانو: استفاده از نانو مواد در بتن جاذب امواج الکترومغناطیسی می‌تواند بازدهی جذب امواج را بهبود بخشد و وزن و ضخامت پوشش‌ها را کاهش دهد.
۳. کاربردهای نظامی و صنعتی: این فناوری در صنایع نظامی، ساخت آنتن‌ها و محافظت از انسان‌ها و مواد بیولوژیکی در برابر مضرات امواج الکترومغناطیسی کاربردهای گسترده‌ای دارد.

■ چالش‌ها:

۱. توزیع یکنواخت نانو مواد: یکی از چالش‌های اصلی، توزیع یکنواخت نانو مواد در بتن است که می‌تواند بر عملکرد نهایی تأثیر بگذارد.
 ۲. سازگاری نانو مواد با سیمان: اطمینان از سازگاری نانو مواد با سیمان و سایر اجزای بتن نیز از اهمیت بالایی برخوردار است.
 ۳. فرآوری و تولید: فرآوری و تولید بتن جاذب امواج الکترومغناطیسی نیازمند تکنولوژی‌های پیشرفته و هزینه‌بر است.
 ۴. ایمنی و مسائل محیط‌زیستی: استفاده از نانو مواد ممکن است مسائل ایمنی و محیط‌زیستی را به همراه داشته باشد که باید به آن توجه شود.
- استفاده زیاد از برخی مواد مانند کربن سیاه می‌تواند خواص بتن را تغییر دهد. لذا دستیابی به طرح مخلوط مناسب جهت دستیابی به خواص مکانیکی و دوام مطلوب بتن و خواص جاذب الکترومغناطیسی مورد انتظار امری ضروری است.

■ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

■ پیشران‌ها:

۱. نیاز به کاهش تداخل الکترومغناطیسی: با افزایش استفاده از دستگاه‌های الکترونیکی، نیاز به کاهش تداخل الکترومغناطیسی بیشتر شده است.
۲. افزایش امنیت: بتن جاذب امواج می‌تواند در ساختمان‌های حساس مانند مراکز نظامی و بیمارستان‌ها برای افزایش امنیت استفاده شود.
۳. پیشرفت‌های فناوری: تحقیقات و نوآوری‌های جدید در زمینه مواد و فناوری‌های ساخت بتن، امکان تولید بتن‌های جاذب امواج را فراهم کرده است.

■ چالش‌ها:

۱. هزینه‌های تولید: تولید بتن جاذب امواج به مواد و فناوری‌های پیشرفته نیاز دارد که هزینه‌های تولید را افزایش می‌دهد.
 ۲. نیاز به تحقیق و توسعه: برای بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها، نیاز به سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه وجود دارد.
 ۳. بازار محدود: بازار مصرف بتن جاذب امواج هنوز محدود است و نیاز به افزایش آگاهی و تقاضا دارد.
- پیشران اقتصادی این محصول را در حوزه نظامی می‌توان کاهش هزینه بسیار زیاد به نسبت مواد فلزی متداول که در محافظت فضاها استفاده می‌شود، دانست. در واقع کربن سیاه قیمت پایین‌تری نسبت به محافظ فلزی دارد. به علاوه گران قیمت بودن برخی مواد مانند نانولوله‌های کربنی می‌تواند منجر به بالاتر رفتن قیمت بتن تولید شده شود.

■ پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا

■ پیشران‌ها:

۱. افزایش استفاده از دستگاه‌های الکترونیکی: با افزایش تعداد دستگاه‌های الکترونیکی در محیط‌های مختلف، نیاز به کاهش تداخلات الکترومغناطیسی بیشتر شده است.
۲. امنیت اطلاعات: در محیط‌های حساس مانند مراکز داده و نظامی، جلوگیری از نشت اطلاعات از طریق امواج الکترومغناطیسی بسیار مهم است.
۳. پیشرفت‌های فناوری: توسعه مواد جدید و فناوری‌های نوین امکان تولید بتن‌های جاذب امواج الکترومغناطیسی با کارایی بالا را فراهم کرده است.

■ چالش‌ها:

۱. هزینه‌های تولید: تولید بتن‌های جاذب امواج الکترومغناطیسی ممکن است هزینه‌بر باشد و نیاز به سرمایه‌گذاری‌های قابل توجهی دارد.
۲. پایداری و دوام: اطمینان از پایداری و دوام این بتن‌ها در شرایط مختلف محیطی یک چالش مهم است.
۳. تحقیق و توسعه: نیاز به تحقیقات بیشتر برای بهبود کارایی و کاهش هزینه‌های تولید این نوع بتن‌ها وجود دارد.

■ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

- توسعه فناوری بتن جاذب امواج الکترومغناطیسی با توجه به کاربردهای گسترده‌ای که در صنایع مختلف دارد، نیازمند توجه ویژه به مسائل سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE) است.

■ پیشران‌ها:

۱. کاهش اثرات محیط‌زیستی: استفاده از بتن جاذب امواج الکترومغناطیسی می‌تواند به کاهش آلودگی‌های الکترومغناطیسی کمک کند و محیط‌زیست را از اثرات مضر این امواج محافظت کند.
۲. افزایش ایمنی: این فناوری می‌تواند در محیط‌های حساس مانند بیمارستان‌ها و مراکز تحقیقاتی به کار گرفته شود تا از

تداخلات الکترومغناطیسی جلوگیری کند و ایمنی تجهیزات حساس را افزایش دهد.
۳. بهبود سلامت کارکنان: کاهش مواجهه با امواج الکترومغناطیسی می‌تواند به بهبود سلامت کارکنانی که در محیط‌های با سطح بالای این امواج کار می‌کنند، کمک کند.

■ چالش‌ها:

۱. مواد شیمیایی مورد استفاده: برخی از مواد شیمیایی مورد استفاده در تولید بتن جاذب امواج الکترومغناطیسی ممکن است خطرات بهداشتی و محیط‌زیستی داشته باشند که نیازمند مدیریت دقیق و استفاده از تجهیزات حفاظتی مناسب است.

۲. آموزش و آگاهی: کارکنان باید به خوبی آموزش ببینند تا بتوانند با مواد و تجهیزات به درستی کار کنند و از خطرات احتمالی جلوگیری کنند.

۳. مدیریت پسماند: تولید و استفاده از این نوع بتن ممکن است پسماندهای خاصی ایجاد کند که نیازمند مدیریت صحیح و دفع مناسب است.

این موارد تنها بخشی از پیشران‌ها و چالش‌های HSE در توسعه فناوری بتن جاذب امواج الکترومغناطیسی هستند. توجه به این مسائل می‌تواند به توسعه پایدار و ایمن این فناوری کمک کند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

■ پیشران‌ها:

۱. افزایش نیاز به امنیت: با توجه به افزایش استفاده از دستگاه‌های الکترونیکی و ارتباطات بی‌سیم، نیاز به محافظت از اطلاعات و جلوگیری از نفوذ امواج الکترومغناطیسی بیشتر شده است.

۲. پیشرفت‌های فناوری: توسعه فناوری‌های جدید و بهبود مواد جاذب امواج الکترومغناطیسی می‌تواند به افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها کمک کند.

۳. حمایت‌های دولتی و قانونی: سیاست‌ها و قوانین حمایتی می‌توانند نقش مهمی در تسریع توسعه و پذیرش این فناوری داشته باشند.

■ چالش‌ها:

۱. مسائل اخلاقی: استفاده از بتن جاذب امواج الکترومغناطیسی ممکن است به مسائل حریم خصوصی و نظارت بیش از حد منجر شود.

۲. چالش‌های حقوقی: قوانین و مقررات مربوط به استفاده از این فناوری هنوز به طور کامل تدوین نشده‌اند و ممکن است نیاز به بازنگری و به‌روزرسانی داشته باشند.

۳. تأثیرات اجتماعی: پذیرش اجتماعی و فرهنگی این فناوری ممکن است با مقاومت‌هایی مواجه شود، به‌ویژه اگر مردم از تأثیرات احتمالی آن بر سلامت و محیط‌زیست نگران باشند.

۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

بازار داخلی محصولات توسعه فناوری بتن جاذب امواج الکترومغناطیسی در ایران در حال رشد است. این محصولات به دلیل کاربردهای گسترده‌ای که در صنایع مختلف دارند، از جمله در ساخت‌وساز، صنایع نظامی و الکترونیکی، مورد توجه قرار گرفته‌اند. به‌طور کلی، بازار داخلی این محصولات در حال گسترش است و با توجه به نیازهای روزافزون به کاهش تداخلات الکترومغناطیسی، پیش‌بینی می‌شود که در آینده نیز رشد قابل توجهی داشته باشد.

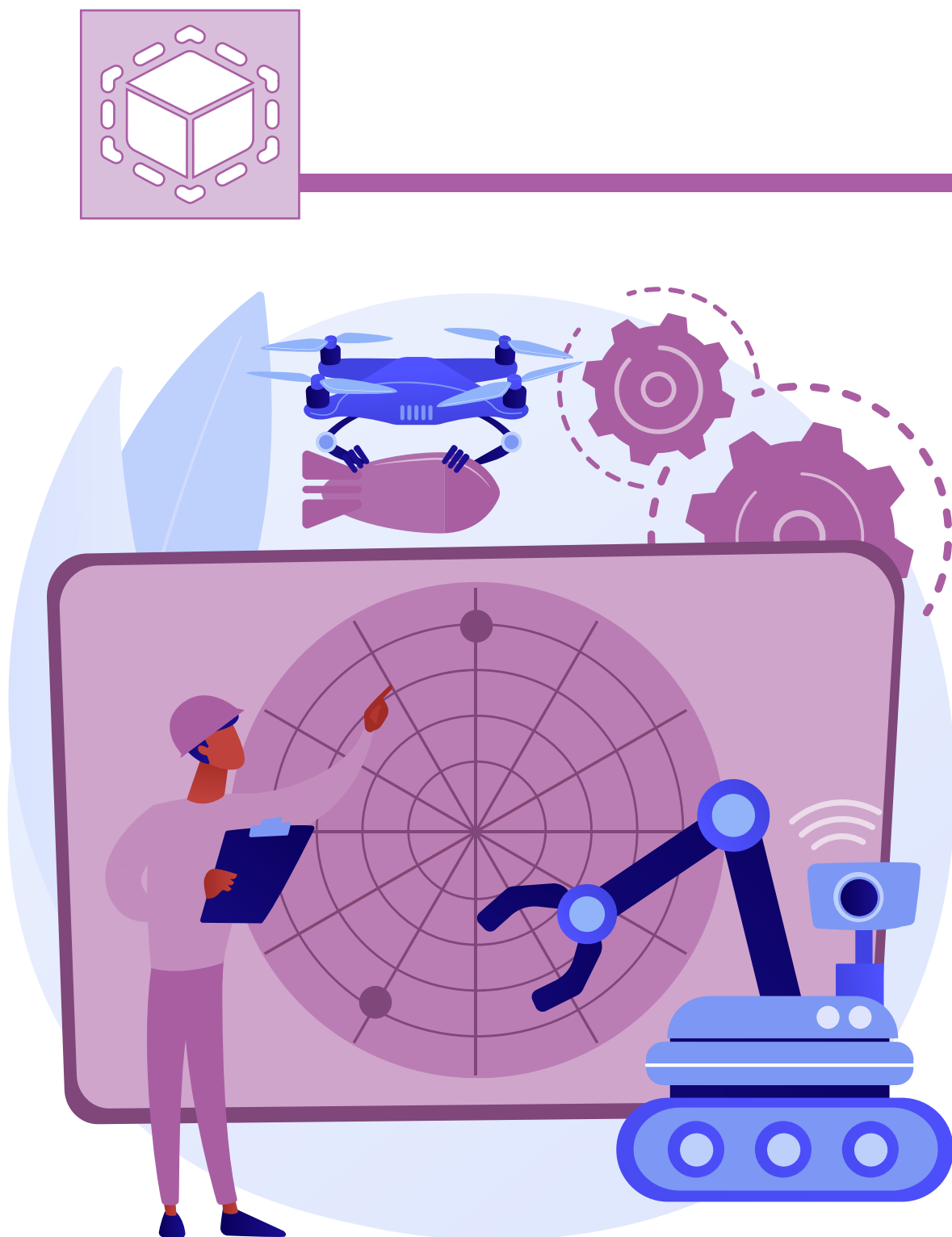
۳-۹- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

در حال تکمیل است.

۳-۱۰- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

این فناوری در سال‌های آینده با توجه به رشد بیشتر استفاده از وسایل و تجهیزات الکترونیکی و به دنبال آن افزایش آلودگی‌های امواج الکترومغناطیسی می‌تواند بسیار مورد توجه واقع شود. در حوزه نظامی نیز به نظر این فناوری مورد نیاز بوده و به‌طور گسترده در موارد گوناگون از آن استفاده خواهد شد.

- <https://standards.globalspec.com/std/665625/sac-gb-8702-88>
<https://www.chinesestandard.net/PDF/English.aspx/GB10436-1989>
<http://www.nhfpc.gov.cn/zwgkzt/pgw/201212/34317.shtml>
- ۱ Ma, G., et al., Review on electromagnetic wave absorbing capacity improvement of cementitious material. *Construction and Building Materials*, 2020. 262: p. 120907.
 - ۲ Singh, A.P., et al., Multiwalled carbon nanotube/cement composites with exceptional electromagnetic interference shielding properties. *Carbon*, 2013. 56: p. 86–96.
 - ۳ Singh, A.P., et al., Graphene oxide/ferrofluid/cement composites for electromagnetic interference shielding application. *Nanotechnology*, 2011. 22(46): p. 465701.
 - ۴ Chen, J., et al., Graphene oxide-deposited carbon fiber/cement composites for electromagnetic interference shielding application. *Construction and Building materials*, 2015. 84: p. 66–72.
 - ۵ محمد، م.ش. and ک.ش. محسن، ساخت بتن رسانا به عنوان مصالح نوین در حفاظت الکترومغناطیسی. 2014.
 - ۶ Han, B., et al., Review of nanocarbon-engineered multifunctional cementitious composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2015. 70: p. 69–81.
 - ۷ Baoyi, L., D. Yuping, and L. Shunhua, The electromagnetic characteristics of fly ash and absorbing properties of cement-based composites using fly ash as cement replacement. *Construction and Building materials*, 2012. 27(1): p. 184–188.
 - ۸ Hanif, A., et al., Properties investigation of fiber reinforced cement-based composites incorporating cenosphere fillers. *Construction and Building Materials*, 2017. 140: p. 139–149.
 - ۹ Li, Q., et al., Preparation, characterization and microwave absorption properties of barium-ferite-coated fly-ash cenospheres. *Advanced powder technology*, 2013. 24(1): p. 288–294.
 - ۱۰ Wang, Z., T. Zhang, and L. Zhou, Investigation on electromagnetic and microwave absorption properties of copper slag-filled cement mortar. *Cement and Concrete Composites*, 2016. 74: p. 174–181.
 - ۱۱ Ma, G., et al., Electromagnetic and microwave absorbing properties of cementitious composite for 3D printing containing waste copper solids. *Cement and Concrete Composites*, 2018. 94: p. 215–225.
 - ۱۲ Al-Jabri, K.S., et al., Copper slag as sand replacement for high performance concrete. *Cement and concrete composites*, 2009. 31(7): p. 483–488.
 - ۱۳ Yan, C., C. Wu, and Q. Ding, Research on cement based composite absorbing materials with expanded perlite. *Highway*, 2013. 3: p. 160–164.
 - ۱۴ Bantsis, G., et al., Comparison of low cost shielding-absorbing cement paste building materials in X-band frequency range using a variety of wastes. *Ceramics International*, 2012. 38(5): p. 3683–3692.
 - ۱۵ Wang, C., et al., Influence of CVI treatment of carbon fibers on the electromagnetic interference of CFRC composites. *Cement and Concrete Composites*, 2008. 30(6): p. 478–485.
 - ۱۶ Meng, W. and K.H. Khayat, Mechanical properties of ultra-high-performance concrete enhanced with graphite nanoplatelets and carbon nanofibers. *Composites Part B: Engineering*, 2016. 107: p. 113–122.
 - ۱۷ Dai, Y., et al., Electromagnetic wave absorbing characteristics of carbon black cement-based composites. *Cement and Concrete Composites*, 2010. 32(7): p. 508–513.
 - ۱۸ Zhang, L., et al., Effect of characteristics of assembly unit of CNT/NCB composite fillers on properties of smart cement-based materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2018. 109: p. 303–320.
 - ۱۹ He, Y., et al., Electromagnetic wave absorbing cement-based composite using Nano-Fe₃O₄ magnetic fluid as absorber. *Cement and Concrete Composites*, 2018. 92: p. 1–6.



۵



ملات سیمانی حاوی
نانوذرات کربنات کلسیم
Nano CaCO₃

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱- ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

■ هیدراتاسیون تسریع شده

نانو CaCO_3 می‌تواند به عنوان یک مولد و تسریع‌گر برای تولید محصولات هیدراتاسیون سیمان، به‌ویژه هیدرات سیلیکات کلسیم (C-S-H) عمل کند. این قابلیت که با عنوان هسته‌زایی محصولات هیدراتاسیون شناخته می‌شود (Nucleation sites for hydration products) سرعت واکنش‌های هیدراتاسیون را افزایش می‌دهد و منجر به زمان‌های گیرش سریع‌تر و توسعه اولیه مقاومت می‌شود. این ویژگی در کاربردهایی که ساخت سریع المان سیمانی ضروری است بسیار مهم است.

■ ریزساختار متراکم‌تر: اندازه کوچک ذرات نانو CaCO_3 به آن‌ها اجازه می‌دهد تا فضاهای خالی در خمیر سیمان را پر کنند و به‌طور مؤثری تخلخل را کاهش داده و ساختار منافذ را پر و به‌سازی کنند. این منجر به کاهش نفوذپذیری می‌شود که هم خواص مقاومتی و هم دوام بتن یا ملات را افزایش می‌دهد.

■ افزایش مقاومت در سنین اولیه: نانو CaCO_3 به‌طور قابل‌توجهی مقاومت فشاری ملات و بتن در سنین اولیه را بهبود می‌بخشد. اثر هسته‌زایی، همراه با بهبود چگالی ذرات سیمان، منجر به ایجاد یک ماتریس قوی‌تر و متراکم‌تر در سنین اولیه بتن می‌شود.

■ هم‌افزایی با مواد مکمل سیمانی دیگر: نانو CaCO_3 می‌تواند واکنش پوزولانی را در صورت استفاده با مواد مکمل سیمانی دیگر مانند خاکستر بادی، سرباره یا دوده سیلیس افزایش دهد. با تسریع واکنش بین پوزولان‌ها، هیدروکسید کلسیم به‌طور هم‌افزایی عمل می‌کند و منجر به افزایش استحکام و دوام طولانی‌مدت می‌شود. این هم‌افزایی به این دلیل رخ می‌دهد که نانو ذرات کربنات کلسیم می‌تواند حلالیت Ca(OH)_2 را افزایش دهد. این باعث مصرف سریع‌تر Ca(OH)_2 توسط پوزولان‌ها می‌شود. به‌طور معمول، واکنش پوزولانی با در دسترس بودن یون‌های کلسیم محلول محدود می‌شود، اما نانو CaCO_3 به تجزیه و توزیع مجدد Ca(OH)_2 کمک می‌کند و واکنش ثانویه هیدراتاسیون را تسهیل می‌کند.

■ کاهش عمق کربناته شدن از طریق نفوذ دی‌اکسید کربن: وجود نانو CaCO_3 باعث کاهش عمق کربناته شدن در مواد سیمانی می‌شود. این کاهش به دلیل افزایش چگالی و کاهش تخلخل است که ورود دی‌اکسید کربن و سایر عوامل تهاجمی را کند می‌کند و به دوام طولانی‌مدت سازه کمک می‌کند.

■ خواص رئولوژیکی بهبود یافته

نانو CaCO_3 ، زمانی که در مقادیر مناسب استفاده شود، می‌تواند کارایی و روان‌پذیری ملات تازه را بهبود بخشد. ذرات بسیار ریز آن، توزیع و ساختار متراکم‌سازی بهتری را برای ذرات ایجاد می‌کند و کارایی بتن و ملات را بدون نیاز به آب اضافی بهبود می‌بخشد.

■ کاهش انقباض: انقباض، به‌ویژه انقباض ناشی از خشک شدن (Drying Shrinkage)، می‌تواند از طریق گنجاندن نانو CaCO_3 کاهش یابد. متراکم شدن ماتریس و کاهش نیاز آبی ملات به محدود کردن کرنش انقباضی و جمع‌شدگی خطی در ملات سیمان کمک می‌کند.

■ فناوری مبتنی بر این ویژگی‌ها

ادغام نانو CaCO_3 در مواد سیمانی منجر به توسعه محصولات پیشرفته مبتنی بر سیمان با عملکرد بالا، به‌ویژه در مراحل اولیه عمل‌آوری می‌شود. فناوری‌هایی که از نانو CaCO_3 استفاده می‌کند می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

■ بتن با کارایی بالا (HPC) و فوق توانمند (UHPC): نانو CaCO_3 در فرمولاسیون بتن توانمند و فوق توانمند با بهبود فرایند هیدراتاسیون و متراکم‌تر کردن ریزساختار ماتریس بتنی موجب دستیابی به مقاومت بالا، بهبود دوام و کاهش نفوذپذیری به خصوص در سنین پایین می‌شود که همگی برای کاربردهای سازه‌ای مانند پل‌ها، ساختمان‌های بلندمرتبه و سازه‌های دریایی حیاتی هستند.

■ ملات‌های سریع‌گیر: برای کاربردهایی که نیاز به زمان‌گیری سریع دارند، مانند ملات‌های تعمیراتی یا تعمیرات تزریق (Grout)، می‌توان از نانو CaCO_3 برای تسریع زمان‌گیری و افزایش استحکام، کاهش زمان انتظار برای باز کردن قالب‌ها و امکان سرویس‌دهی سریع‌تر برای سازه بتنی استفاده کرد.

■ بتن سازگار با محیط‌زیست و بادوام: استفاده از نانوکربنات کلسیم (Nano CaCO_3) در مواد سیمانی باعث بهبود پایداری محیط‌زیستی می‌شود، چه به‌عنوان جایگزین کلینکر در فرایند تولید سیمان و چه به‌عنوان ماده مکمل سیمانی (SCM) در طراحی مخلوط‌های ملات یا بتن. به‌عنوان جایگزین کلینکر، نانوکربنات کلسیم نیاز به کلینکر را کاهش می‌دهد - کلینکر ماده اصلی سازنده سیمان است و بخش اصلی مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن در فرایند تولید سیمان است - و در نتیجه انتشار دی‌اکسید کربن را کم می‌کند، در حالی که مقاومت و دوام را حفظ می‌کند. زمانی که به‌عنوان SCM استفاده می‌شود، هیدراتاسیون را تسریع کرده و تراکم ذرات را بهبود می‌بخشد و این امکان را فراهم می‌کند که محتوای کلی سیمان در طرح اختلاط کاهش یابد بدون اینکه عملکرد ملات یا بتن کاهش یابد. در هر دو حالت، نانوکربنات کلسیم با کاهش مصرف سیمان، انتخابی پایدار برای ملات‌های سیمانی به‌شمار می‌آید.

■ بتن خود تراکم (SCC): خواص رئولوژیکی بهبودیافته ارائه شده توسط نانو CaCO_3 آن را به افزودنی ایده‌آل برای SCC تبدیل می‌کند، جایی که جریان‌پذیری و پایداری برای جلوگیری از جداسازی و اطمینان از یکپارختی ضروری است.

■ بتن بادوام برای زیرساخت‌ها: کاهش عمق کربناتاسیون و نفوذپذیری، ملات‌های اصلاح‌شده با نانو CaCO_3 را برای زیرساخت‌هایی با عمر طولانی مدت مناسب می‌سازد، جایی که حفاظت در برابر شرایط محیطی تهاجمی (نفوذ کلرید، کربناته شدن، حمله سولفات) حیاتی است مانند پل‌ها و روسازی‌های بتنی.

۱-۲- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

از ملات‌های سیمانی حاوی نانوذرات کربنات کلسیم در فرایندهای تعمیراتی سطوح بتنی و سیمانی دارای ترک یا عیب و آسیب‌دیده استفاده می‌شود. به علت سرعت‌گیری بالا در فرایندهای تعمیراتی درون لوله‌های سیمانی و یا سازه‌های آسیب‌دیده می‌توان استفاده نمود. یک پتنت کرای با ساخت یک دستگاه مخصوص پاشش ملات سیمانی درون لوله‌های سیمانی، با استفاده از ملات سیمانی حاوی نانو ذرات کربنات کلسیم سطوح داخلی لوله‌ها را تعمیر و ترمیم کرده است.

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه براساس این فناوری

به‌طور کلی نانوکربنات کلسیم در ملات‌ها و بتن‌های با عملکرد بالا به کار می‌رود که هدف اصلی آن تقویت استحکام زودهنگام و بهبود ریزساختار است. این ملات‌ها می‌توانند به‌صورت ملات ترمیمی یا محصولات پلیمری حاوی نانوکربنات کلسیم باشد که در ترک‌بندی و تعمیرات سازه‌های بتنی استفاده می‌شوند.

۱-۴- مزیت (های) کلیدی این فناوری

(کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و ...)

نانوذرات کربنات کلسیم نسبت به سایر نانو مواد مانند نانوسیلیکا، نانوتیتانیا، نانولوله کربنی و گرافیت قیمت پایین‌تری دارد و لذا استفاده از آن از نظر اقتصادی توجیه‌پذیری دارد. همچنین با بهبود هیدراتاسیون و خواص مکانیکی بدون افزایش چشمگیر هزینه‌ها، انتخاب مناسبی در بتن و ملات‌های سیمانی است. همچنین دوام سازه را افزایش داده و نیاز به مصرف سیمان را کاهش می‌دهد که منجر به صرفه‌جویی اقتصادی و محیط‌زیستی می‌شود.

۱-۵- نانوذرات بهره‌گرفته شده در این فناوری

(از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به‌کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

نانوذرات کربنات کلسیم به‌عنوان اصلی‌ترین نانوذرات در این فناوری استفاده می‌شوند. این نانوذرات از طریق تکنیک‌های پیشرفته مانند سونیکیشن در مخلوط سیمانی پراکنده می‌شوند.

۱-۶- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

زنجیره ارزش نانوکربنات کلسیم از تولید نانوذرات آغاز می‌شود و سپس با استفاده از تکنیک‌های پراکندگی مانند سونیکیشن در سیمان یا پلیمر مخلوط می‌شود. محصول میانی به‌طور معمول به‌صورت دوغاب یا ملات حاوی نانوذرات است که در ساخت‌وساز برای کاربردهای خاص مانند تعمیرات یا بتن‌های بادوام استفاده می‌شود.

۱-۷- فناوری‌های رقیب

(از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

پلیمرهای حاوی نانوذرات CaCO_3 و همچنین ملات‌های تعمیراتی پیشرفته مختلف برای ترمیم سطوح آسیب‌دیده بتنی، سیمان‌های حاوی نانولوله‌های کربنی و گرافن و ...

۱-۸- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکرشده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

فناوری‌های مکمل شامل فناوری‌های مربوط به تولید نانوذرات و مخلوط کردن آن در آب و تولید دوغاب حاوی نانوذرات، تجهیزاتی مانند همزن التراسونیک و سونیکیشن و تکنیک‌های میکس پیشرفته هستند که برای توزیع یکنواخت نانوذرات ضروری هستند. در برخی کاربردها، مواد اضافی مانند الیاف یا پلیمرها نیز ممکن است همراه با نانوکربنات کلسیم به کار روند.

۱-۹- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

بله، این حوزه فرصت‌های تحقیقاتی بسیاری به‌ویژه در زمینه مهندسی عمران، علم مواد و نانوتکنولوژی ایجاد می‌کند. ترکیب نانومواد با محصولات سیمانی پیشرفته راه‌های جدیدی برای ساخت‌وساز پایدار و مواد ساختمانی با عملکرد بالا ایجاد می‌کند.

۱-۱۰- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی

(آیا این اثر/ فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

بتن پرمصرف‌ترین ماده حال حاضر بر روی کره زمین است. این ماده در صنعت ساخت‌وساز یکی از مهم‌ترین مصالح بوده و تولید آن مستلزم مصرف مواد اولیه و مصرف انرژی بالایی است. خصوصاً در فرایند ساخت سیمان، انرژی و انتشار آلاینده‌های زیادی وجود دارد. کاهش مصرف سیمان منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده و از طریق افزایش استحکام بتن نهایی یا ملات‌های سیمانی می‌توان طول عمر سازه و کاهش مصرف و صرفه‌جویی در منابع اولیه و آب را ایجاد کرد. بنابراین استفاده از نانوذرات و یا مواد نوین برای کاهش مصرف سیمان در واحد تولید بتن در مقیاس کلان بسیار حائز اهمیت بوده و از نظر اجتماعی و محیط‌زیستی بسیار راهبردی و مهم است. استفاده از نانوکربنات کلسیم حاصل از فرایند سیمان‌سازی در تولید بتن منجر به کاهش مصرف سیمان و افزایش استحکام بتن در حالت تر و افزایش سرعت گیرش بتن می‌شود.

یکی از دلایل محیط‌زیستی دیگر که استفاده از نانو کلسیم‌کربنات را توجیه می‌کند، لزوم جایگزینی مکمل‌های سیمانی مانند خاکستر بادی و میکروسیلیس با مواد سازگار با محیط‌زیست است. خاکستر بادی به دلیل دارا بودن فلزات سنگین، از سوی اتحادیه اروپا تحت دستورالعمل‌های سخت‌گیرانه‌ای برای جایگزینی قرار گرفته است. همچنین، میکروسیلیس به دلیل مشکلات مربوط به ریزدانه بودن و پراکنش آن در محیط، با چالش‌های محیط‌زیستی مواجه است. نانوکربنات کلسیم می‌تواند به‌عنوان جایگزینی مؤثر و دوستدار محیط‌زیست در این زمینه مطرح شود.

تحلیل بین‌المللی

۱-۲- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

- بازیگران در حوزه R&D
- بازیگران صنعتی/تجاری در مراحل مختلف زنجیره ارزش
- نهادهای سیاست‌گذار و نهادهای تنظیم مقررات در سطح بین‌المللی

■ بازیگران در حوزه R&D

بازیگران اصلی در حوزه تحقیق و توسعه (R&D) عمدتاً دانشگاه‌ها، مؤسسات پژوهشی، و آزمایشگاه‌های علمی هستند که بر روی استفاده از نانوکربنات‌کلسیم در مواد سیمانی و بتنی تحقیق می‌کنند. این تحقیقات معمولاً بر بهبود عملکرد مکانیکی و محیط‌زیستی بتن و ملات‌های سیمانی تمرکز دارند. برخی از دانشگاه‌های برجسته در این حوزه شامل دانشگاه‌های اروپایی و آمریکای شمالی هستند که در زمینه علوم مواد و نانوتکنولوژی فعال‌اند.

■ بازیگران صنعتی/تجاری در مراحل مختلف زنجیره ارزش

در صنعت، شرکت‌های تولید سیمان و بتن، به‌ویژه شرکت‌های چندملیتی بزرگ مانند LafargeHolcim و CEMEX، در حال بررسی استفاده از نانوکربنات‌کلسیم به‌عنوان ماده افزودنی برای بهبود خواص بتن هستند. با این حال، کاربردهای صنعتی نانوکربنات‌کلسیم هنوز به‌طور گسترده به کار گرفته نشده و بیشتر به‌صورت آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی باقی‌مانده است. در صنعت پلیمر نیز برخی شرکت‌ها در حال توسعه پلیمرهای تقویت‌شده با نانوکربنات‌کلسیم برای کاربردهای خاص هستند.

■ نهادهای سیاست‌گذار و نهادهای تنظیم مقررات در سطح بین‌المللی

نهادهای سیاست‌گذار و تنظیم مقررات، به‌ویژه در اروپا و آمریکای شمالی، نقش مهمی در تعیین استانداردها و مقررات مرتبط با استفاده از نانومواد در صنعت ساخت‌وساز دارند. اتحادیه اروپا با تنظیمات سخت‌گیرانه در زمینه فلزات سنگین در خاکستر بادی و الزامات محیط‌زیستی برای مواد ساختمانی، استفاده از نانوکربنات‌کلسیم را به‌عنوان جایگزینی دوستدار محیط‌زیست ترغیب می‌کند. همچنین، سازمان‌هایی مانند ASTM و ACI در تعیین استانداردهای مربوط به نانومواد در بتن و ملات نقش مهمی ایفا می‌کنند.

به‌طورکلی اگرچه استفاده از نانوکربنات‌کلسیم در تحقیقات دانشگاهی و آزمایشگاهی به‌خوبی پیش رفته است، اما کاربردهای صنعتی آن هنوز در مراحل اولیه قرار دارد. در عوض، استفاده از کربنات‌کلسیم غیر نانویی در صنعت بتن بسیار رایج است، اما نانومواد همچنان در حال یافتن جایگاه خود در صنعت ساخت‌وساز هستند.

مقالاتی در این حوزه منتشر شده است که تعدادی از آن‌ها عبارت‌اند از:

- ۱- Yang, H., Che, Y., & Leng, F. (۲۰۱۸). High volume fly ash mortar containing nano-calcium carbonate as a sustainable cementitious material: microstructure and strength development. Scientific reports, ۱۶۴۳۹, (۱)۸.
- ۲- Fu, Q., Zhang, Z., Zhao, X., Xu, W., & Niu, D. (۲۰۲۲). Effect of nano calcium carbonate on hydration characteristics and microstructure of cement-based materials: A review. Journal of Building Engineering, ۱۰۴۲۲۰, ۵۰.
- ۳- Cosentino, I., Liendo, F., Arduino, M., Restuccia, L., Bensaid, S., Deorsola, F., & Ferro, G. A. (۲۰۲۰). Nano CaCO₃ particles in cement mortars towards developing a circular economy in the cement industry. Procedia Structural Integrity, ۱۶۵-۱۵۵, ۲۶.
- ۴- El-Midany, A. A., Mahmoud, H. M., & Ibrahim, S. S. (۲۰۲۱). Nano-CaCO₃ for Repair of Historic Joint Mortar. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, -۲۵۱۷, ۴۵ ۲۵۲۳.
- ۵- Maruyama, I., Kotaka, W., Kien, B. N., Kurihara, R., Kanematsu, M., Hyodo, H., ... & Noguchi, T. (۲۰۲۱). A new concept of calcium carbonate concrete using demolished concrete and CO₂. Journal of

Advanced Concrete Technology, ۱۰۶۰-۱۰۵۲, (۱۰)۱۹.

–۶ Supit, S. W., & Shaikh, F. U. (۲۰۱۴). Effect of nano- CaCO_3 on compressive strength development of high volume fly ash mortars and concretes. Journal of Advanced Concrete Technology, ۱۷۸, (۶)۱۲-۱۸۶.

–۷ Liu, X., Chen, L., Liu, A., & Wang, X. (۲۰۱۲). Effect of nano- CaCO_3 on properties of cement paste. Energy procedia, ۹۹۶-۹۹۱, ۱۶.

–۸ Pan, C., Zang, J., Chen, K., & Ren, J. (۲۰۲۳). Study on the properties of cement-based cementitious materials modified by nano- CaCO_3 . Applied Sciences, ۲۴۵۱, (۴)۱۳.

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

این محصول در سطح فناوری TRL برابر ۵ و از نظر بازار نیز در MRL برابر ۶ است. این فناوری در مرحله نیمه‌صنعتی و آزمایشگاهی است. در چرخه انتظارات، فناوری هنوز به مرحله بلوغ کامل نرسیده و در مراحل اولیه پذیرش صنعتی و اقتصادی قرار دارد.

سطح آمادگی بازار		۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۹	خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار									
۸	شناسایی متخصصان دارای توانمندی									
۷	تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل									
۶	ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه‌حل									
۵	شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل (مانند راهبری پروژه)									
۴	کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید									
۳	شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید									
۲	شناسایی یک نیاز بخصوص									
۱	شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)									

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه‌اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/ افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

محصول بتن حاوی نانوکربنات کلسیم در مراحل اولیه چرخه عمر و در مرحله تولد است. از نظر نوظهور بودن، این محصول در درجه بالایی از نوظهور بودن است.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش روی فناوری

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

- پیشران‌ها: وجود مواد نانویی و ترکیبات مختلف مورد استفاده در صنعت سیمان و بتن مانند بهبود دهنده‌ها و ... و همچنین آسان بودن تولید این محصول نسبت به سایر نانوذرات از پیشران‌های این فناوری است.
- چالش‌ها: یکی از چالش‌های فنی اصلی، کنترل واکنش نانوذرات کربنات کلسیم با انواع دیگر مواد مکمل سیمانی و افزودنی‌های شیمیایی قابل کاربرد در بتن است. همچنین، بهینه‌سازی درصد میزان مصرف نانوکلسیم کربنات برای دستیابی به خواص مکانیکی مطلوب بدون افزایش قابل توجه قیمت نیز می‌تواند یک چالش محسوب شود.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

- پیشران‌ها: کاهش مصرف سیمان با استفاده از نانوکلسیم کربنات، منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌های ساخت و ساز می‌شود. همچنین، افزایش دوام و استحکام بتن در طولانی‌مدت هزینه‌های نگهداری سازه‌ها را کاهش می‌دهد.
- چالش‌ها: کاهش هزینه اولیه تولید نانوکلسیم کربنات و ایجاد دسترسی آسان به تجهیزات پیشرفته برای تولید انبوه از جمله چالش‌های اقتصادی این فناوری محسوب می‌شود. همچنین، رقابت با دیگر مواد جایگزین نانویی که در حال حاضر در بازار موجودند می‌تواند تاثیرگذار باشد.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

- چالش‌ها: استفاده از نانوذرات در صنایع ساختمانی باید با احتیاط انجام شود تا از ایجاد مخاطرات سلامتی ناشی از استنشاق یا تماس با این مواد جلوگیری شود. همچنین، قوانین سخت‌گیرانه در زمینه استفاده از نانومواد ممکن است مانع سرعت‌گیری پذیرش صنعتی آن‌ها شود.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

صنعت ساختمان و ساخت و ساز جهانی بیش از ۳۶ درصد از کل انرژی را مصرف کرده و تقریباً ۳۹ درصد از کل انتشار دی‌اکسید کربن را در سال ۲۰۱۸ منتشر کرده است. سیمان به عنوان جزء اصلی بتن، منبع تقریباً ۸ درصد از کل انتشار دی‌اکسید کربن در جهان بوده است. بنابراین، کامپوزیت‌های بتن و ملات جدید با کاهش حجم سیمان و دوام بیشتر مورد نیاز است. اصلاح و جایگزینی مصالح رایج در صنعت ساختمان امروزه از موضوعات مهم تحقیقاتی است. انتظار می‌رود تنها در بازار آمریکا میزان تولید دی‌اکسید کربن با استفاده از تنها ۱/۰ درصد نانولوله کربنی چنددیواره در بتن، تا ۳۰ میلیون تن در سال کاهش یابد.^۱

با استفاده از دی‌اکسید کربن تولیدی در هنگام تولید سیمان در کارخانجات سیمان و تبدیل آن به نانو CaCO_3 می‌توان در تولید بتن و سیمان صرفه‌جویی کرد. همچنین از آزاد شدن مقادیر زیادی دی‌اکسید کربن در دنیا که عامل اصلی گرمایش زمین است جلوگیری کرد.

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

در حال حاضر اطلاعات بازار جهانی دقیقی برای مصرف نانوکلسیم کربنات در صنعت بتن وجود ندارد.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

با توجه به تحقیقات زیادی که در این زمینه وجود دارد انتظار می‌رود در آینده نزدیک شاهد استفاده صنعتی از نانوذرات کربنات کلسیم در ساخت بتن و کاهش میزان مصرف سیمان در بتن باشیم. به نظر می‌رسد هم‌اکنون از اشکال مختلف این ماده برای تولید بتن به شکل غیرنانویی آن استفاده می‌شود. بیشترین کاربرد این محصول به عنوان پرکننده در تولید پلاستیک، لاستیک، پی‌وی‌سی و همچنین ملات‌های تعمیراتی و پرکن است.

۱. Nanotubes in cement (globalcement.com)

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیتهای انجام شده در کشور

بر اساس اطلاعات به دست آمده هم‌اکنون در ایران محصول کربنات کلسیم نانویی به صورت صنعتی برای صنایع تولید پلاستیک و لاستیک و نفتی تولید می‌شود. با این حال نتایجی درباره استفاده از آن در مقیاس صنعتی و تجاری شده در بتن و سیمان یافت نشد. مقالات و تحقیقاتی در این حوزه در ایران انجام شده است.

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

همانطور که در بخش بین الملل ذکر شد کاربردهای بتن و ملات سیمانی حاوی نانوذرات کربنات کلسیم در تولید ملات‌های تعمیری و با گیرش سریع است. همچنین بتن‌های تولید شده با درصد‌های مشخص در تحقیقات دارای استحکام بالاتری هستند.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/ خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کمی سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/ خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/ خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/ افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

با توجه به اینکه در حال انجام تحقیقات و ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی است از نظر سطح فناوری TRL برابر ۴ و از نظر سطح بازار MRL برابر ۵ است.

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی: وجود دارد.
 - زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی: وجود دارد.
 - زیرساخت تولید: وجود دارد.
 - آزمایشگاه مرجع: وجود دارد.
 - منابع مالی: وجود دارد.
 - توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری: وجود دارد.
 - زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش: وجود دارد.
- منابع انسانی و زیرساخت آزمایشگاهی و علمی کشور به‌صورت مناسبی برای توسعه این محصول فراهم است.

۳-۵- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

- **پیشران‌ها و چالش‌های فنی**
از نظر فنی وجود شرکت‌های قوی در حوزه بتن می‌تواند پیشرانی برای استفاده از این محصول باشد. همچنین نیاز به صرفه‌جویی در مصالح در بسیاری از مکان‌ها در کشور ما می‌تواند استفاده از این بتن‌ها را توجیه کند. چالش‌های مربوط به حفظ استحکام بتن از جمله چالش‌های فنی این محصول است.
- **پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی**
به‌طورکلی از نظر اقتصادی هزینه‌های مربوط به کاهش مصرف بتن و کاهش گازهای گلخانه‌ایی که نتیجه غیرمستقیم استفاده از نانوذرات و افزایش استحکام این بتن‌ها است در ایران ممکن است به چشم نیاید ولی در آمریکا و اروپا با وضع قوانین سخت‌گیرانه این امر ملموس‌تر خواهد بود. بنابراین از نظر اقتصادی باید هزینه بتن و سیمان‌های مربوطه قابلیت رقابت با بتن‌های معمولی داشته باشد. از سوی دیگر در صورتی که به‌صورت ملات سیمانی زودگیر و مستحکم برای تعمیرات استفاده شود و در صورتی که منجر به افزایش طول عمر سازه‌های کنونی و صرفه‌جویی از این طریق شود، دارای مزیت اقتصادی است.
مشابه بخش بین‌الملل.
- همان‌طور که در بخش بین‌الملل گفته شد، صنعت تولید سیمان و بتن در برابر استفاده از فناوری‌های نوین مقاومت می‌کنند و لذا باید توسعه این محصولات گام به گام انجام شود.
- **پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا**
■ از نظر تقاضا در بخش بتن و سیمان چالش وجود دارد.
- **پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)**
مشابه بخش بین‌الملل.
- **پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)**
مشابه بخش بین‌الملل با این تفاوت که در بخش کاهش تولید دی‌اکسید کربن در کشور ما الزامی وجود ندارد و الزامات محیط‌زیستی مانند تولید حرارت و دی‌اکسید کربن کمتر اصولاً مطرح نیست.

۳-۶- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

محصول نانو کربنات کلسیم هم‌اکنون در کشور تولید و به فروش می‌رسد و مصرف عمده آن در بخش تولید محصولات پلاستیکی و لاستیکی و پلیمری است. با این حال در بحث ملات‌های سیمانی و بتنی، محصولی در فضای اینترنتی یافت نشد.

۳-۷- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

تولید نانو کربنات کلسیم و استفاده از آن در صنعت پلیمر در کشور ایران نشانگر رشد خوب استفاده از این نانو ماده در صنعت دارد. این امر در کنار تحقیقات در زمینه استفاده از این ماده به همراه سایر نانومواد در صنعت سیمان و بتن می‌تواند نویددهنده رشد این بخش در سال‌های آتی و تولید نمونه‌های صنعتی بتن یا ملات سیمانی حاوی این نانو ماده باشد.



۶



سیمان حفاری حاوی نانوذرات
مغناطیسی و کاهش زمان
گیرش دوغاب آن با اعمال میدان
مغناطیسی

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱- ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

کندگیرکننده‌های گیرش برای سیمان حفاری در اوایل چاه که دما بالا نیست باعث تأخیر سخت شدن سیمان می‌شوند و نانوذرات مغناطیسی با اعمال میدان مغناطیسی باعث گرم شدن سیمان و گیرش آن می‌شوند. این محصول شامل دوغاب سیمان با اختلاط با نانوذرات مغناطیسی است که می‌تواند تحت تأثیر میدان مغناطیسی خارجی برای بهبود فرآیند گیرش قرار گیرد. برای این کار میدان مغناطیسی متناوب از ۲۵ mT تا ۶۰ mT در فرکانس ۵۰ کیلوهرتز تا ۲۰۰ کیلوهرتز به دوغاب سیمان به منظور بهبود فرآیند گیرش آن اعمال می‌شود. نانوذرات مغناطیسی به کار رفته در این محصول، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) دارای میانگین اندازه ذرات ۱۰ الی ۵۰ نانومتر بوده و میزان استفاده از آن در ترکیب با سیمان، ۱٪ الی ۱۰ درصد وزنی سیمان خشک است. همچنین اندازه کریستالیت ذرات به دست آمده از رابطه شرر^۲ بزرگ‌تر از ۸۰ درصد میانگین اندازه ذرات است. با استفاده از این روش و با توجه به تغییر متغیرها می‌توان زمان گیرش سیمان را به دلخواه کنترل کرد [۱].

۱-۲- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

این فناوری به طور عمده در بخش نفت، پتروشیمی و ساخت و ساز کاربرد خواهد داشت. دوغاب سیمان برای پر کردن شکاف و حفرات چاه و جهت عایق کردن آن‌ها برای توقف حرکت سیال استفاده می‌شود، اما استفاده از افزودنی‌های کندکننده جهت کنترل زمان گیرش برای پمپاژ طولانی‌تر می‌تواند ادامه فعالیت‌های حفاری را با بیش از حد درگیر شدن سیمان به تأخیر بیندازد. هدف این رویکرد کاهش زمان انتظار برای سیمان (WOC^۳) در عملیات چاه‌های نفت و گاز با استفاده از خواص فیزیکی به جای افزودنی‌های شیمیایی است که به طور بالقوه یکپارچگی سیمان را در درازمدت افزایش می‌دهد [۲]. در واقع در سیمان کاری چاه، امکان کنترل بهتر زمان گیرش سیمان (با نانوذره و اعمال میدان مغناطیسی) و آب‌بندی بهتر منافذ چاه را فراهم می‌کند، که برای جلوگیری از نشت و انتقال سیال بسیار مهم است [۱]. کاربرد این فناوری به طور خاص در این حوزه تعیین گردیده است اما با این حال استفاده از نانوذرات مغناطیسی در ترکیبات سیمانی می‌تواند خواص منحصر به فردی به ما در هر سه حوزه ساخت و ساز و نفت و پتروشیمی بدهد.

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه براساس این فناوری

کامپوزیت‌های سیمانی: فرمولاسیون سیمانی پیشرفته حاوی نانوذرات مغناطیسی برای افزایش زمان گیرش و بهبود عملکرد در کاربردهای سیمان چاه در حال توسعه است.

۱-۴- مزیت (های) کلیدی این فناوری (کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و ...)

استفاده از این فناوری امکان تولید گرمای مورد نیاز را در مدت زمان کاهش یافته، افزایش می‌دهد که نشان دهنده مقرون به صرفه بودن این فناوری است. از طرفی با اعمال یک میدان مغناطیسی متناوب، زمان گیرش دوغاب سیمان

۱. Transmission electron microscopy
۲. Scherrer equation
۳. Waiting on cement

را می‌توان کنترل و به فعالیت‌های حفاری و تکمیل سریع‌تر آن کمک نمود. این نانوماده از افزودنی‌های شیمیایی شتاب‌دهنده ارزان‌تر است که می‌توانند دوام سیمان حفاری را نیز کم کنند.

۱-۵- نانوذرات بهره‌گرفته شده در این فناوری (از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به‌کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

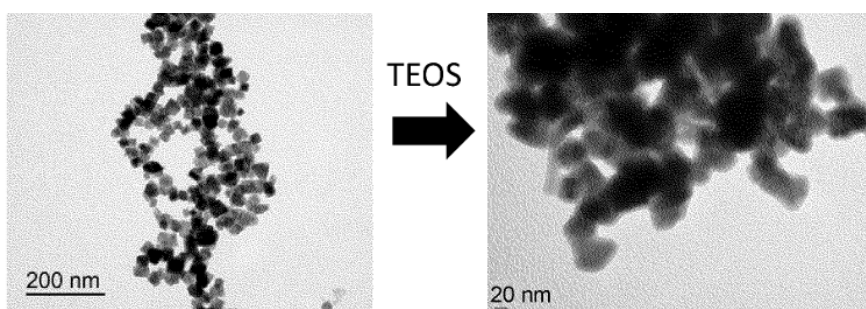
۱- نانوذرات مگنتیت (Fe_3SO_4): نانوذرات اولیه مورد استفاده در این فناوری، نانوذرات مگنتیت هستند که برای افزایش خواص آن در دوغاب سیمان گنجانده می‌شوند.

۲- نانوذرات پوشش داده شده با سیلیس: برخی از نمونه‌ها همچنین دارای پوشش سیلیسی بر روی نانوذرات مگنتیت هستند که ممکن است عملکرد آن‌ها را در زمینه سیمان بهبود بخشند.

شکل ۱ تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) را برای نانوذرات مگنتیت ذکر شده ۱ و ۲ (دارای یک پوسته آب‌دوست از سیلیس) نشان می‌دهد. (TEOS اشاره به تترا اتیل-ارتوسیلیکات دارد).

فرآیند ایجاد این نانوذرات، رسوب اکسیداتیو نامیده می‌شود. این روشی است که در آن مواد شیمیایی خاصی با یکدیگر واکنش می‌دهند و ذرات جامد را در یک مایع تشکیل می‌دهند. اولین مرحله شامل مخلوط کردن محلول نمک فلزی با یک محیط قلیایی است. محلول نمک فلزی حاوی یون‌های فلزی است که ذرات باردار هستند. در این مورد، یون‌های فلزی می‌توانند سولفات، کلرید یا برمید باشند. این یون‌ها به این دلیل مهم هستند که به شکل‌گیری نانوذرات کمک می‌کنند. پس از مخلوط کردن، یک اکسیدان ملایم اضافه می‌شود. این واکنش در یک اتمسفر بدون اکسیژن اتفاق می‌افتد. واکنش ابتدا تحت هم‌زدن به مدت ۱۵ دقیقه و پس از این مدت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت بدون هم‌زدن انجام می‌شود

تا نانوذرات مغناطیسی به دست آیند. از NaNH و KNO_3 به عنوان اکسیدان و از NaOH و KOH در جهت فرآیند هیدرولیز استفاده می‌شود. با تغییر برخی از یون‌های آهن (Fe^{2+}) در مگنتیت (Fe_3CU) با یون‌های فلزی دیگر مانند کبالت (Co^{2+})، نیکل (Ni^{2+}) یا منگنز (Mn^{2+}) می‌توان انواع مختلفی از ذرات به نام فریت‌های اسپینل^۱ را ساخت.



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) از نانوذرات مگنتیت

۱-۶- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

■ **تولید نانوذرات اولیه:** این فرآیند با سنتز نانوذرات مگنتیت آغاز می‌شود که می‌توان آن‌ها را از طریق روش‌های مختلف شیمیایی تولید کرد و اطمینان حاصل کرد که مشخصات مورد نیاز برای اندازه و خواص مغناطیسی را برآورده می‌کنند.

■ **تولید محصول میانی:** نانوذرات مگنتیت تولید شده را می‌توان با سیلیس پوشش داد تا پایداری و سازگاری آن‌ها در ماتریس سیمان افزایش یابد. این مرحله برای بهبود عملکرد نانوذرات در محصول نهایی بسیار مهم است.

■ **تولید محصول نهایی:** نانوذرات مگنتیت پوشش داده شده با سیلیکا، سپس در دوغاب سیمان ادغام می‌شوند.

۱-۷- فناوری‌های رقیب (از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

روش‌های سنتی: دوغاب‌های سیمانی معمولی بدون نانوذرات به طور گسترده استفاده می‌شوند و برای مدیریت زمان گیرش به کندکننده‌ها متکی هستند، اما ممکن است منجر به زمان انتظار طولانی‌تر برای گیرش سیمان شوند. استفاده از افزودنی‌های شیمیایی برای کاهش زمان سخت شدن سیمان حفاری پس از پمپاژ.

سیستم‌های مبتنی بر پلیمر: برخی از کاربردها از سیمان‌های اصلاح شده با پلیمر استفاده می‌کنند که می‌تواند انعطاف پذیری را افزایش داده و نفوذپذیری را کاهش دهد و جایگزینی برای روش‌های سیمان کاری سنتی باشد. سیمان‌های ژئوپلیمری: این سیمان‌ها از محصولات جانبی صنعتی ساخته می‌شوند و می‌توانند قابلیت‌های آب بندی مشابهی را با اثرات محیط زیستی بالقوه کمتر در مقایسه با سیمان سنتی ارائه دهند.

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

فناوری‌های مربوط به تجزیه و تحلیل اندازه، شکل و خواص مغناطیسی نانوذرات برای حصول اطمینان از کیفیت و عملکرد لازم در سیمان، افزودنی‌های مختلف مانند رس و فوق روان کننده‌ها و شتاب دهنده‌ها در کنار نانوذرات مغناطیسی برای افزایش جریان پذیری و ویژگی‌های گیرش دوغاب سیمان، تجهیزاتی که میدان‌های مغناطیسی مورد نیاز را برای فعال کردن نانوذرات در طول فرآیند گیرش سیمان و اثرات حرارتی مورد نظر تولید می‌کنند و سیستم‌های نظارتی را می‌توان فناوری‌های مکمل این فناوری نام برد.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

بله. این فناوری شامل تحقیقات بین رشته‌ای بوده و ادغام نانوذرات مغناطیسی در سیمان، راه‌هایی را برای همکاری بین علوم مواد، مهندسی و فناوری نانو گشوده و راه‌حل‌های نوآورانه را تقویت می‌کند.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی

(آیا این اثر/ فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

خیر

تحلیل بین‌المللی

۱-۲- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

■ بازیگران در حوزه R&D
■ بازیگران صنعتی/تجاری در مراحل مختلف زنجیره ارزش
■ نهادهای سیاست‌گذار و نهادهای تنظیم مقررات در سطح بین‌المللی

مؤسسات تحقیقاتی مختلفی در حال بررسی خواص و کاربردهای نانو فناوری در مواد مبتنی بر سیمان هستند. آن‌ها بر درک تعاملات نانومقیاس و افزایش خواص مکانیکی و دوام کامپوزیت‌های سیمانی تمرکز دارند و این فناوری نیز از این موضوع مستثنی نیست. چنانچه تمرکز اصلی این شناسنامه فناوری بر ثبت اختراع US12024672B2 با عنوان "Cement comprising magnetic nanoparticles and method of setting a slurry thereof" است.

این فناوری به مرحله تولید انبوه و تجاری‌سازی نرسیده است. با این وجود، با در نظر گرفتن نانوذرات مغناطیسی به‌عنوان مؤلفه اصلی ماهیت این فناوری به برخی از بازیگران کلیدی تجاری در بازار این نانو ذرات اشاره می‌شود. برخی از بازیگران برجسته در بازار جهانی نانو ذرات مغناطیسی عبارت‌اند از: US Research Nanomaterials, Inc. Nanocomposix, American Elements Nanoshel LLC, Chemicals, Inc., Nanografi Nano Inc., Cytodiagnosics, Inc., Technology, Reade International Corp., SkySpring Nanomaterials., Merck KGaA و سایرین.

سطح آمادگی بازار								
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۹								
۸								
۷								
۶								
۵								
۴								
۳								
۲								
۱								

۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۹								
۸								
۷								
۶								
۵								
۴								
۳								
۲								
۱								

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

برای این محصول از نظر سطح آمادگی فناوری TRL برابر ۴ و از نظر سطح آمادگی بازار MRL برابر ۳ است.

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و چرخه انتظارات

این محصول در مراحل اولیه چرخه عمر و در مرحله تولد است. از نظر نوظهور بودن، این محصول در درجه بالایی از نوظهور بودن است.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش روی فناوری

■ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

پیشران‌ها: این روش امکان کنترل دقیق زمان گیرش سیمان را با اعمال یک میدان مغناطیسی متناوب فراهم می‌کند که برای سیمان‌کاری کارآمد چاه بسیار مهم است. از طرفی ترکیب نانوذرات مغناطیسی در سیمان می‌تواند خواص مکانیکی آن از جمله مقاومت فشاری و چگالی را بهبود بخشد. این پیشرفت یک محرک مهم برای استفاده از چنین موادی در ساخت‌وساز است، جایی که دوام و استحکام بسیار مهم است.

چالش‌ها: ابتدا ایجاد و اعمال میدان مغناطیسی به دوغاب سیمان حفاری اجرا شده و سپس دستیابی به اندازه متوسط ذرات موردنیاز و درجه بالایی از بلورینگی در نانوذرات مغناطیسی برای عملکرد مؤثر ضروری است. بنابراین یک چالش فنی مربوط به آماده سازی مواد می‌شود. مورد دیگر اینکه اطمینان از توزیع یکنواخت دما در دوغاب سیمان در طول اعمال میدان مغناطیسی است که بر اثر بخشی کلی فرایند گیرش تأثیر می‌گذارد. از طرفی دستیابی به پراکندگی یکنواخت و حفظ پایداری نانوذرات مغناطیسی در ماتریس‌های سیمانی یک چالش مهم است. اطمینان از اینکه نانوذرات کلوخه نشده و در سوسپانسیون‌های آبی پایدار می‌مانند، برای عملکرد ثابت بسیار مهم است. هم‌چنین نانوذرات مغناطیسی اغلب به پوشش‌های سطحی مانند پوسته‌های سیلیسی برای افزایش سازگاری با سیمان و بهبود پایداری کلوئیدی خود نیاز دارند. توسعه روش‌های مؤثر پوشش، مانند فرآیند استور، برای جلوگیری از تجمع و تضمین پایداری طولانی مدت ضروری است.

■ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

پیشران‌ها: استفاده از نانوذرات مغناطیسی می‌تواند هزینه‌های عملیاتی را با به حداقل رساندن زمان انتظار و کنترل فرآیند گیرش سیمان کاهش دهد. از طرفی نیاز روزافزون به راه‌حل‌های سیمانی قابل اعتماد و کارآمد در صنایع مختلف به‌ویژه نفت و گاز، سرمایه‌گذاری در مواد و فناوری‌های نوآورانه را تسریع می‌کند و این تقاضا در آینده رو به افزایش خواهد بود.

چالش‌ها: توسعه و ادغام مواد پیشرفته مانند نانوذرات مغناطیسی ممکن است به سرمایه اولیه قابل توجهی نیاز داشته باشد که می‌تواند به عنوان مانعی برای برخی شرکت‌ها تلقی گردد. چالش‌های اصلی، هزینه بالای نانو مواد است که مانعی برای اجرای گسترده آن‌ها در مصالح ساختمانی مبتنی بر سیمان است. سرمایه‌گذاری‌های اولیه موردنیاز برای تجهیزات و فناوری موردنیاز برای تولید این مواد قابل توجه است و بر هزینه‌های تولید تأثیر می‌گذارد.

مسئله دیگر وجود فضای رقابتی است. وجود فناوری‌های تثبیت شده ممکن است چالش‌هایی را برای شرکت‌های تازه‌وارد که سعی در معرفی راه‌حل‌های مبتنی بر نانو ذرات دارند، ایجاد کند و بر نفوذ بازار و استراتژی‌های قیمت‌گذاری تأثیر بگذارد.

■ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

نوآوری‌ها در فناوری سیمان می‌تواند منجر به اقدامات سازگارتر با محیط‌زیست، همسویی با مقررات HSE و ارتقای پایداری در صنعت شود. از جهتی در صنعت نفت و گاز، توسعه دوغاب سیمان خودگرم‌شونده با استفاده از گرمایش مغناطیسی می‌تواند بهره‌وری انرژی را در طی فرآیندهای سیمان‌کاری چاه بهبود بخشد. این امر می‌تواند منجر به عملیات سیمان‌کاری ایمن‌تر و کنترل شده‌تر شود و خطرات محیط‌زیستی را کاهش دهد.

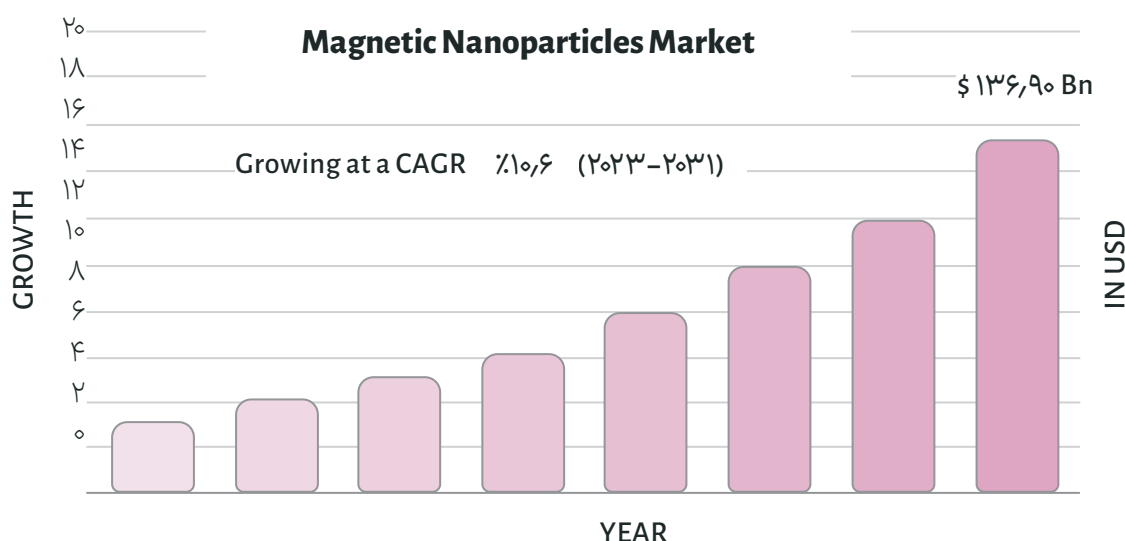
■ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

یکی از موضوعات پیش‌رو پذیرش عمومی است. با افزایش آگاهی از شیوه‌های پایدار، ممکن است حمایت اجتماعی از راه‌حل‌های سیمانی نوآورانه که اثرات محیط‌زیستی را کاهش می‌دهد و ایمنی را بهبود می‌بخشد افزایش یابد. مسئله دیگر نوآوری و رشد اقتصادی است. توسعه و به‌کارگیری فناوری نانو، از جمله نانوذرات مغناطیسی در سیمان، می‌تواند باعث نوآوری و رشد اقتصادی شود. استفاده از این فناوری می‌تواند منجر به ساخت مصالح ساختمانی بهینه‌تر و بهبود زیرساخت‌ها شده و به توسعه اقتصادی کمک کند.

می‌دانیم فناوری نانو می‌تواند راه‌حل‌هایی برای پایداری محیط‌زیست مانند کاهش ردپای کربن ارائه دهد؛ این موضوع با اهداف توسعه پایدار مطابقت دارد و می‌تواند منجر به پذیرش چنین فناوری‌هایی شود.

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

این فناوری به مرحله تولید و تجاری‌سازی نرسیده است اما پیرامون نانو مواد مغناطیسی به صورت خلاصه توضیحاتی ارائه می‌شود. ارزش بازار جهانی نانوذرات مغناطیسی در سال ۲۰۲۲ به ۵۷٫۶۷ میلیون دلار رسید و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ به ۱۶۹٫۶۳ میلیون دلار برسد و از سال ۲۰۲۳ تا ۲۰۳۰ با CAGR ۱۹٫۷ درصد رشد کند^۱. گزارش دیگری تخمین می‌زند که اندازه بازار تا سال ۲۰۳۱ به ۱۳۶٫۹۰ میلیون دلار با CAGR ۱۰٫۶ درصد از سال ۲۰۲۳ تا ۲۰۳۱ برسد^۲. شرکت‌هایی مانند NanoAmor و Nanoprobes، NN-Labs، Nanografi، Nanophase، Nanocomposix به عنوان



Source: www.econmarketresearch.com

بازیگران کلیدی در بازار ذکر شده‌اند. این شرکت‌ها احتمالاً طیف وسیعی از محصولات نانوذرات مغناطیسی را برای کاربردهای مختلف ارائه می‌کنند. نمونه‌هایی از محصولات با بیشترین سهم بازار عبارت‌اند از: Iron Oxide Nanoparticles و Magnetic Microspheres که برای آن و سایر نانوذرات مغناطیسی قیمت‌های متفاوتی ارائه می‌شود.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

با توجه به اطلاعات موجود، علاقه به استفاده از فناوری نانو در مواد مبتنی بر سیمان به سرعت در حال افزایش است. ادغام نانوذراتی مانند نانو Fe_3O_4 (مگنتیت)، در کامپوزیت‌های سیمانی برای بهبود خواص مکانیکی مانند مقاومت فشاری و خمشی و سایر خواص در حال تحقیق و بررسی است. از طرفی مطالعات نشان داده‌اند که افزودن نانوذرات مغناطیسی به سیمان می‌تواند خواص ریزساختاری آن را به میزان قابل توجهی بهبود دهد. این مسئله برای دوام و استفاده درازمدت از بتن و یا محصولات سیمانی امری مهم است. همچنین اهمیت توسعه پایدار و مسائل محیط‌زیستی و کاربردهای منحصربه‌فرد و مناسب این فناوری در حوزه ساختمان و نفت و پتروشیمی این فناوری را محبوب و توجیه‌پذیر می‌کند.

۱. <https://www.linkedin.com/pulse/global-magnetic-nanoparticles-market-2023-2030/>

۲. <https://www.econmarketresearch.com/industry-report/magnetic-nanoparticles-market/>

۳ بخش سوم

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیت‌های انجام شده در کشور

تحقیقات داخلی مشخص و کاملاً مرتبط با کاربرد نانوذرات مغناطیسی در دوغاب و یا سایر ترکیبات سیمانی یافت نشد.

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد کاربردهای این فناوری از کاربردهای متداول تا خاص است.

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

با توجه به اطلاعات موجود، به نظر می‌رسد برای این محصول TRL برابر ۳ و MRL برابر ۲ است.

سطح آمادگی بازار		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار										
شناسایی متخصصان دارای توانمندی										
تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل										
ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/ خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه حل										
شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل (مانند راهبری پروژه)										
کمی سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/ خدمت جدید										
شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/ خدمت جدید										
شناسایی یک نیاز بخصوص										
شکل گیری این احساس که (چیزی کم است)										
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها										
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن										
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه										
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی										
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد										
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی										
تکمیل سیستم نهایی/ افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت										
راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه اندازی خط تولید										

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هریک از کاربردهای احتمالی

روش‌های سنتی موجود در ایران به عنوان چالشی پیش روی این فناوری هستند. این روش‌ها معایبی از جمله عدم امکان کنترل زمان گیرش و افزایش زمان انجام عملیات را همراه دارند.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی: وجود دارد
- زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی: وجود دارد
- زیرساخت تولید
- آزمایشگاه مرجع: وجود دارد
- منابع مالی: وجود دارد
- توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری: وجود دارد
- زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش: وجود دارد

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

■ **پیشران‌ها و چالش‌های فنی**
از نظر فنی وجود شرکت‌های قوی در حوزه بتن می‌تواند پیشرانی برای استفاده از این محصول باشند. از جمله شرکت‌های مطرح در حوزه نفت و گاز شرکت دانا انرژی است. حصول اطمینان از اینکه نانوذرات مغناطیسی به خوبی با ترکیبات سیمانی موجود ترکیب و یکپارچه شوند کمی چالش برانگیز است.

■ **پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی**
مقرون به صرفه بودن این فناوری نسبت به روش‌های سنتی و جاری به علت سرعت بخشیدن به اجرا و همچنین حمایت دولت و برنامه‌های راهبردی آن می‌تواند به عنوان پیشران این فناوری در نظر گرفته شوند. با این حال، هزینه نسبتاً بالای این نانوذرات می‌تواند به عنوان چالشی بر سر راه این فناوری تلقی شود. قیمت تمام شده این فناوری ممکن است کمی بالاتر از روش‌های موجود دیگر باشد اما در نهایت با توجه به مزایای آن و سرعت بخشیدن به اجرا مقرون به صرفه خواهد بود. از طرفی صنعت تولید سیمان و بتن در برابر استفاده از فناوری‌های نوین مقاومت می‌کنند و لذا باید توسعه این محصولات به صورت تدریجی و مرحله‌ای انجام شود.

■ **پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا**
با ادغام نانوذرات مغناطیسی در ترکیبات سیمانی، می‌توان خواص مکانیکی و دوام محصولات را به طور قابل توجهی بهبود بخشید. این امر، این فناوری و فناوری‌های مرتبط و مبتنی بر آن را به گزینه‌ای جذاب برای طیف وسیعی از پروژه‌ها با کاربری‌های گوناگون در حوزه ساخت و ساز و نفت و پتروشیمی تبدیل می‌کند و این باعث افزایش تقاضا برای این فناوری خواهد شد. علیرغم چالش‌ها، ایران همچنان به دنبال فرصت‌های صادراتی برای محصولات سیمانی خود است. خواص افزایش یافته سیمان اصلاح شده با نانوذرات مغناطیسی می‌تواند آن را در بازارهای بین‌المللی، به ویژه در مناطقی که به مواد ساختمانی با کیفیت بالا نیاز دارند، رقابتی‌تر کند. با این حال، موانع صادرات، کاهش تقاضای داخلی و افت تعداد پروژه‌های در حال ساخت و هزینه‌های تولید نسبتاً بالا همچنان از جمله عوامل چالش برانگیز هستند.

■ **پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)**
مشابه بخش بین‌الملل.

■ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

ایجاد چارچوب‌های قانونی جامع برای استفاده از نانوذرات در ساخت‌وساز و سایر حیطه‌ها بسیار مهم است. این امر شامل تعیین استانداردهایی برای ایمنی، کیفیت و اثرات محیط‌زیستی است. فقدان مقررات خاص برای نانو مواد در ساخت‌وساز می‌تواند چالش‌های قانونی ایجاد کند و شرکت‌ها را در مسیریابی الزامات منطبق با مشکل، مواجه کند. هم‌چنین استفاده از فناوری‌های پیشرفته سیمان، از جمله فناوری‌های دارای نانوذرات مغناطیسی، می‌تواند موجب رشد اقتصادی و توسعه زیرساخت‌ها در ایران شود. این مسئله با اهداف ملی برای ارتقای کیفیت و کارایی ساخت‌وساز و ارائه مزایای اجتماعی از طریق بهبود زیرساخت‌ها هماهنگ است. ایجاد نیروی کار ماهر که قادر به کار با نانو مواد پیشرفته باشد یک محرک اجتماعی است. برنامه‌های آموزشی و ابتکارات آموزشی برای تجهیز کارگران به دانش و مهارت‌های موردنیاز برای استفاده ایمن و مؤثر از این فناوری‌ها ضروری است. اطمینان از قابل‌دسترس بودن مزایای فناوری‌های پیشرفته سیمان برای همه اقشار جامعه یک چالش اجتماعی است. تلاش برای ترویج دسترسی عادلانه به مصالح و تکنیک‌های ساخت‌وساز بهبود یافته می‌تواند به رفع نابرابری‌های اجتماعی و افزایش کیفیت کلی زندگی کمک کند.

۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

(آیا این محصول چه در قالب تولید داخلی و چه در قالب محصول وارداتی در کشور عرضه شده است؟)

این فناوری در کشور تولید نشده است. اما پتانسیل تولید و ساخت آن وجود دارد.

۳-۹- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

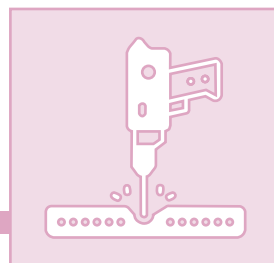
بله این امکان وجود دارد. علیرغم چالش‌ها، ایران همچنان به دنبال فرصت‌های صادراتی برای محصولات سیمانی خود است. خواص افزایش‌یافته سیمان اصلاح‌شده با نانوذرات مغناطیسی می‌تواند آن را در بازارهای بین‌المللی، به‌ویژه در مناطقی که به مواد ساختمانی با کیفیت بالا نیاز دارند، رقابتی‌تر کند.

۳-۱۰- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

خواص چشمگیر استفاده از نانو ذرات مغناطیسی بر همگان شفاف و واضح است. بهبود خواص مکانیکی، دوام و ریزساختار محصولات سیمانی از جمله مواردی است که به‌طورکلی استفاده از نانو مواد با خود به همراه دارند. در رابطه با فناوری ادغام نانوذرات مغناطیسی در سیمان و روش گیرش دوغاب، کنترل زمان گیرش و سرعت بخشیدن به اجرا، آن را به فناوری محبوب و قابل‌اعتمادی در حوزه نفت و پتروشیمی تبدیل خواهد کرد. با توجه به حمایت و سرمایه‌گذاری‌های دولت در طرح‌های نوآورانه و پیشرو و نیاز روزافزون کشور به اجرای طرح‌های پیشرفته و مقرون‌به‌صرفه، می‌توان متصور بود در آینده‌ی نزدیک این فناوری جای خود را در صنعت کشور باز نماید.

منابع

- ۱- FERNÁNDEZ, M.Á.G., et al., Cement comprising magnetic nanoparticles and method of setting a slurry thereof. 2024, Google Patents.
- ۲- Mello e Alvim, T.M., et al. Effect of magnetic nanoparticles on strength development and micro-structural properties of cement slurry. in Offshore Technology Conference. 2022. OTC.



۷



بتن با قابلیت خودنظارتی
Self-sensing concrete
(SSC)

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱- ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

بتن خودحسگر کاربرد هوشمندانه از سازه‌های بتنی جدید است که می‌تواند آسیب، تنش و کرنش را در بدنه بتن احساس کند [۱]. به بیان دیگر نوعی بتن است که توانایی تشخیص و پایش وضعیت و سلامت سازه خود را دارد [۲]. این امر با افزودن مواد مبتنی بر کربن، مانند الیاف یا نانوالیاف، به ماتریس بتن، که خواص الکتریکی را اصلاح کرده و خواص پیرومقاومتی (PZR) را فراهم می‌کند، به دست می‌آید [۳]. ویژگی‌های خودحسگر بتن به آن اجازه می‌دهد تا ترک‌های کوچک را قبل از اینکه قابل توجه باشند آشکار کند و آن را برای نظارت بر سلامت سازه مفید می‌کند [۴]. بتن خودحسگر را می‌توان برای ارزیابی رفتار سازه‌ای سازه‌های بتنی از جمله پایش استاتیکی و دینامیکی استفاده کرد [۵]. این پتانسیل ارائه یک راه حل مقرون به صرفه برای کنترل پایداری سازه‌های بتنی را دارد و می‌تواند در سازه‌های موجود و جدید اعمال شود. خود تشخیصی یا خودحسی خاصیتی است که یک ماده می‌تواند شرایط خود مانند استرس، فشار، آسیب، دما و غیره را حس کند؛ یک کامپوزیت خودحسگر این توانایی را دارد که تغییر شکل و آسیب خود را حس می‌کند و این توانایی آن را به محصولی عالی برای ایمنی تبدیل می‌کند. نظارت بر سازه‌های مهندسی عمران حس کرنش و آسیب در یک ماده مرکب است که معمولاً از طریق تشخیص تغییر در مقاومت الکتریکی آن‌ها، یعنی کامپوزیت خودحسگر، حاصل می‌شود و بر اساس اصل مقاومت پیرو کار می‌کند. یکی از مزیت‌های اصلی کامپوزیت‌های خودحسگر این است امکان دستیابی به حسگر و همچنین تقویت سازه‌های عمرانی به طور همزمان ممکن است. اجزای رسانا، یک شبکه الکتریکی رسانا را در داخل کامپوزیت‌ها تشکیل می‌دهند. هنگامی که کامپوزیت‌ها در معرض تغییر شکل یا آسیب قرار بگیرند، این شبکه رسانا مختل می‌شود که منجر به تغییر در مقاومت الکتریکی می‌شود. شبکه هدایت‌کننده و در نتیجه تغییر در مقاومت به شدت به نوع و توزیع جزء رسانا، مقدار و همچنین مورفولوژی آن‌ها بستگی دارد.^۱

۱-۲- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

■ ایجاد سازه‌های هوشمند مانند پل‌ها، ابنیه و ساختمان‌ها
ساختمان‌های بلند، بزرگراه‌ها، پل‌ها، باند فرودگاه‌ها و تراورس‌های دال پیوسته برای قطارهای پرسرعت، سدها و نیروگاه‌های هسته‌ای تنها چند نمونه از کاربردهای زیرساختی عمرانی برای بتن هوشمند هستند. همچنین پتانسیل زیادی در زمینه تشخیص ترافیک، امنیت مرزی و نظامی و نظارت بر سلامت ساختاری دارد.

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه براساس این فناوری

بتن هوشمند، برخلاف مخلوط‌های سنتی، دارای مواد یا افزودنی‌های نوآورانه‌ای است که ویژگی‌های منحصر به فردی مانند دوام بیشتر، خودترمیم‌شوندگی یا خودحساس را برای آن به ارمغان می‌آورد. این امر به چندین ویژگی کمک می‌کند، از جمله تضمین یکپارچگی و ایمنی سازه، افزایش عمر سازه‌ها، بهبود ایمنی و کارایی ترافیک، هدایت طراحی سازه‌ها و ترافیک، استفاده از انرژی و منابع کمتر.

۴-۱- مزیت (های) کلیدی این فناوری

(کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و ...)

مهم‌ترین مزیت این فناوری رفع نیاز مربوط به عدم امکان پایش سلامتی سازه‌های بتنی و تعیین شرایط سلامت سازه به صورت برخط و به موقع در قدیم بوده است. به این صورت که در شکل جدید فناوری بتن هوشمند خود نظارت، می‌توان به صورت فعال شرایط سلامت و شرایط سازه را بررسی و کنترل کرده و در صورت نیاز اقدامات لازم برای جلوگیری از خطرات مربوط به خرابی ناخواسته سازه را انجام داد. از ویژگی‌های بارز آن می‌توان به عمر طولانی‌تر، کیفیت مکانیکی برتر، سهولت نصب و نیاز به تعمیر و نگهداری کم اشاره کرد.

۵-۱- نانوذرات بهره گرفته شده در این فناوری

(از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

■ نانولوله کربنی

■ گرافیت

■ گرافن

■ کپسول‌های پیزوالکتریک

■ الیاف کربنی

برای دستیابی به مقاومت پیزو، یک ماده کامپوزیتی باید دارای یک عنصر رسانا باشد. انواع مختلفی از اجزای رسانا در کامپوزیت خود حسگر موجود استفاده شده است. الیاف کربن کوتاه و پیوسته (CFs)، ذرات کربن و همچنین نانومواد کربن که برای این منظور از نانوالیاف کربن (CNF) و نانولوله (CNT) استفاده شده است.

۶-۱- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

■ تولید سیمان با افزودنی‌های موردنظر

■ افزودن نانو ذرات یا مواد افزودنی حاوی نانوذرات

■ تولید بتن با استفاده از مخلوط‌های آماده شده

۷-۱- فناوری‌های رقیب

(از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

■ سنسورهای کاشتنی در داخل بتن برای اندازه‌گیری دما، رطوبت و ...

■ سنسورهای تماسی بر روی سطوح سازه‌ها برای اندازه‌گیری میزان کرنش‌ها و یا اصوات

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

فناوری‌های مربوط به آماده‌سازی افزودنی‌های موردنظر در ترکیب سیمانی. دستگاه‌های میکسر مخصوص آماده‌سازی ملات موردنظر و همچنین تجهیزات آماده‌سازی ملات خشک برای بسته‌بندی و در بخش دریافت و آنالیز اطلاعات، تجهیزات مربوط به دریافت اطلاعات، ذخیره‌سازی اطلاعات و پردازش اطلاعات.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید (آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

بله. علوم ساخت بتن‌های پیشرفته با استفاده از علوم نانو و ... هم‌راستا با علم عمران و سازه می‌تواند منجر به ایجاد رشته‌ها و فعالیت‌های کاری تحقیقاتی جدید شوند. همچنین در مورد دریافت و پردازش اطلاعات، علوم مربوط به هوش مصنوعی و اینترنت اشیا نیز به کار می‌روند.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی (آیا این اثر/ فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

به طور کلی یکی از مخاطرات مهم در سوانح منجر به تلفات انسانی، ریزش سازه‌های مهم در شهرها و یا بین شهرها است. این سازه‌های مهندسی گران‌ترین سرمایه‌گذاری‌ها و دارایی‌های هر کشور هستند. خرابی زیرساخت‌های عمرانی در سراسر جهان یادآور لزوم اقدامات مناسب است. لازم است از فروپاشی ناگهانی سازه‌های شهری و از دست رفتن سرمایه‌های انسانی و مالی ناشی از آن جلوگیری شود.

بتن پرکاربردترین ماده در سازه‌های مهندسی عمران است. ریزش و انهدام سازه‌ها علاوه بر مخاطرات مالی فراوان به سبب عدم امکان پیش‌بینی زمان آن‌ها، منجر به تلفات انسانی نیز می‌شود. بنابراین در صورتی که بتوان سازه‌های هوشمند خود نظارتی را تولید نمود و به صورت برخط یا فعال، وضعیت سازه را پایش و در صورت نیاز پیش از سانحه تعمیر و مقاوم‌سازی نمود، گام مهمی در زمینه ایمنی بیشتر شهروندان برداشته می‌شود. همچنین از نظر محیط‌زیستی می‌توان عمر مفید سازه را با انجام اقدامات به موقع افزایش داد.

تحلیل بین‌المللی

۱-۲- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

■ بازیگران در حوزه R&D

■ بازیگران صنعتی/تجاری در مراحل مختلف زنجیره ارزش

■ نهادهای سیاست‌گذار و نهادهای تنظیم مقررات در سطح بین‌المللی

با توجه به مرور منابع اینترنتی به نظر می‌رسد عمده کارهای انجام شده در حد تحقیقات یا نمونه‌سازی بوده است. مقالات بسیار زیادی در این زمینه در طی ده سال گذشته منتشر شده است. همچنین دو شرکت که این محصول را ارائه می‌کنند نیز یافت شد. بتن هوشمند دارای طیف گسترده‌ای از کاربردهای اساسی است که پتانسیل تغییر کامل چندین صنعت را دارد. اینترنت اشیا (IoT) و بتن هوشمند برای ایجاد زیرساخت شبکه‌ای که کارایی، پایداری و انعطاف‌پذیری را در سراسر جهان ارتقا می‌دهند، با هم همپوشانی دارند.

آزمایشگاه Nowlab: تولید بتن‌های هوشمند به روش چاپ سه‌بعدی^۱ و به‌کارگیری فناوری‌های خودترمیم شونده



شکل ۱- نظارت هوشمند بر سلامت سازه بتنی

محققان دانشگاه MIT^۲: دریافتند که دو ماده سیمان و کربن سیاه را می‌توان با آب ترکیب کرد تا ابرخازنی بسازد - جایگزینی برای باتری‌ها - که می‌تواند انرژی الکتریکی را ذخیره کند. به عنوان مثال، محققان MIT که این سیستم را توسعه داده‌اند می‌گویند که ابرخازن آن‌ها در نهایت می‌تواند در شالوده بتنی یک خانه گنجانده شود، جایی که می‌تواند انرژی یک روز کامل را ذخیره کند و در عین حال مقدار کمی (یا بدون) به هزینه فونداسیون اضافه کند و همچنان استحکام سازه‌ای موردنیاز را تأمین می‌کند.

شرکت Sensytec^۳: یکی از شرکت‌های آمریکایی پیشرو در حوزه ساخت بتن خود نظارتی.

این نوآوری، نظارت در زمان واقعی زیرساخت‌های بتنی را ارائه می‌دهد، که تشخیص زودهنگام آسیب و جلوگیری از خرابی‌های احتمالی را تسهیل می‌کند. با استفاده از سیمان هوشمند نظارت بر سازه‌های بتنی در طول عمر عملیاتی امکان‌پذیر شده و تخریب و شکست بالقوه را می‌تواند تشخیص دهد.



STEP 1

Smart Cement is mixed into concrete



STEP 2

Concrete becomes sensing and can detect underperformance, cracks, corrosion and contamination



STEP 3

Structural monitoring data is accessed directly through app

شکل ۲- مراحل استفاده از سیمان هوشمند در سازه‌ای مانند یک پل

۱. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9059241/>

۲. <https://news.mit.edu/2023/mit-engineers-create-supercapacitor-ancient-materials-0731>

۳. <https://sensytec.com/>

مراحل تولید سازه هوشمند که در شکل ۱ و ۲ قابل مشاهده هستند عبارت‌اند از:

- **مرحله اول: سیمان هوشمند با بتن مخلوط می‌شود.**
- **مرحله دوم: بتن حسگر می‌شود و می‌تواند عملکرد ضعیف، ترک خوردگی و آلودگی را تشخیص دهد.**
- **مرحله سوم: داده‌های نظارت ساختاری مستقیماً از طریق برنامه قابل دسترسی است.**

SensyRoc II یک حسگر اینترنت اشیا بی سیم قابل استفاده مجدد است که کاربردهای مختلفی را برای نظارت در محل مصالح ساختمانی ارائه می‌دهد.

■ شرکت Kryton^۱:

مانیتورینگ بتن: سنسورهای Maturix Smart Concrete الزامات نظارت حرارتی را ساده می‌کند و اعتبارسنجی مقاومت در زمان واقعی را بر اساس شرایط بلوغ بتن ارائه می‌کند. برای انجام این کار، آن‌ها به طور خودکار داده‌های دمای بتن زنده را به یک پلتفرم منتقل می‌کنند، که سپس مقاومت بتن را محاسبه می‌کند. این فرآیندی است که نظارت از راه دور در زمان واقعی را با یک سیستم هشدار تضمین می‌کند، که خطر را کاهش می‌دهد، کارایی را افزایش می‌دهد و کیفیت را بهبود می‌بخشد و در نتیجه باعث صرفه جویی قابل توجهی در زمان و هزینه کاربران می‌شود.

مبنای این فناوری، موضوع بلوغ بتن است. بلوغ بتن به زبان ساده انتگرال حاصل ضرب زمان در دمای بتن از حین ساخت است. در ادبیات فنی ثابت شده که بین بلوغ بتن و مقاومت فشاری آن ارتباطی وجود دارد. با اندازه‌گیری دما در طول زمان، می‌توان بلوغ را محاسبه نموده و از روی آن مقاومت فشاری را تخمین زد. سنسورهای بتن هوشمند Maturix سنسورهای قابل استفاده مجدد هستند که از ترموکوپل‌های استاندارد صنعتی نوع K به عنوان پیشنهاد مصرفی برای مقرون به صرفه‌ترین و راحت‌ترین راه حل برای کاربران معمولی، پروژه‌های با بارریزی‌های متعدد و پیش ساخته استفاده می‌کنند.

هنگامی که یک سنسور بتن هوشمند Maturix به سیم ترموکوپل وصل می‌شود، داده‌های دمای لحظه‌ای را به سرویس نظارت و گزارش Maturix ارسال می‌کند. رابط بصری این سرویس در هر مرورگر وب موجود است که در آن دما را ترسیم می‌کند، تفاوت دما را برجسته می‌کند (شکل ۳)، مکان‌های بتن را بر



اساس پروژه سازمان دهی می‌کند و بلوغ و مقاومت بتن را بر اساس استاندارد ASTM C1074 - برای تخمین مقاومت بتن با روش بلوغ محاسبه می‌کند. کاربران همچنین می‌توانند با این رابط کار کنند تا هشدارهایی ایجاد کنند که آن‌ها و تیم محل کارشان را در مورد رویدادهای مهم، مانند رسیدن بتن به مقاومت فشاری یا رسیدن به آستانه دمای بحرانی، آگاه می‌کند.

■ HeidelbergCement^۲:

سرمایه‌گذاری استراتژیک هایدلبرگ سیمان در Giatec از دیدگاه

مشترک پیشبرد صنعت بتن با استفاده از فناوری‌های حسگر **شکل ۳- سنسور بتن هوشمند**

پیشرفته، گسترش دیجیتالی‌سازی و کاهش ردپای کربن بتن الهام گرفته شده است. دنیس لنتز، مدیر ارشد دیجیتال HeidelbergCement می‌گوید: ترکیب بی‌رقیب Giatec از فناوری حسگر اختصاصی و نرم افزار مبتنی بر هوش مصنوعی، بهبود کارایی و پایداری قابل توجهی را از کارخانه تا محل کار ممکن می‌سازد. Giatec یک شرکت جهانی است که با آوردن فناوری‌های تست هوشمند و جمع‌آوری اطلاعات برخط، انقلابی در صنعت ساخت و ساز ایجاد کرده است. مجموعه محصولات سخت افزاری و نرم افزاری Giatec از فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی و اینترنت اشیا (IoT)، از جمله حسگرهای بتن بی سیم، برنامه‌های تلفن همراه و فناوری‌های پیشرفته آزمایش غیرمخرب (NDT) برای هدایت نوآوری در طول چرخه عمر بتن و کاهش ردپای کربن بتن استفاده کرده است.

به نظر می‌رسد تعداد دیگری از شرکت‌های بزرگ تولید بتن نیز در این زمینه شروع به فعالیت کرده‌اند ولی اطلاعات خاصی در بررسی اینترنتی به دست نیامد:

LafargeHolcim
CEMEX
HeidelbergCement
Vicat

۱. <https://www.kryton.com/products/concrete-sensors/>

۲. <https://www.giatecscientific.com/company-news/giatec-announces-strategic-partnership-with-heidelbergcement-continuing-to-revolutionize-the-concrete-industry-through-sensor-technology-and-ai/>

Buzzi Unicem
CRH plc
Italcementi
Hanson Cement
Titan Cement
Votorantim Cimentos

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

با توجه به نوظهور بودن این فناوری و سطح تحقیقات جاری در حوزه توسعه سیمان‌های مرتبط با فناوری نانوپی سطح آمادگی این فناوری از نظر فناوری TRL برابر ۴ و از نظر بازار MRL برابر ۷ است.

سطح آمادگی بازار		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار	ریسک شکست فنی									
شناسایی متخصصان دارای توانمندی										
تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل										
ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه‌حل										
شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل (مانند راهبری پروژه)										
کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید	ریسک شکست بازار									
شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید										
شناسایی یک نیاز بخصوص										
شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)										
سطح آمادگی فناوری	راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/راه‌اندازی خط تولید									
	تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
	اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
	دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
	دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
	دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
	اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
	معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
	مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و چرخه انتظارات

در مرحله رشد است.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش روی فناوری

■ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

پیشران‌های فنی: وجود مواد نانویی و ترکیبات مختلف مورد استفاده در صنعت سیمان و بتن مانند بهبوددهنده‌ها و ... چالش‌های فنی: نیاز به اثبات کارایی و دوام محصول در مقایسه با سایر محصولات متداول و ارائه استانداردهای مرتبط برای استفاده و همچنین نحوه انتقال بدون مشکل و با هزینه کم اطلاعات برای تحلیل.

■ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

پیشران‌های اقتصادی: صرفه‌جویی در هزینه‌های تعمیرات و کاهش در ایجاد تلفات ناگهانی و خسارت‌های جبران‌ناپذیر خصوصاً در سازه‌های بزرگ و مهم مانند سدها، نیروگاه‌ها و ... می‌تواند به عنوان پیشران اقتصادی در نظر گرفته شود. چالش‌های اقتصادی: از نظر قیمتی مانند بسیاری از فناوری‌های نوین در مرحله اول رشد احتمالاً به دلیل قیمت بالا تنها در مصارف صنعتی و یا در برج‌ها و سازه‌های مهم و استراتژیک کاربرد خواهد داشت.

■ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

پیشران سلامت: از نظر سلامت و اهمیت جلوگیری از خسارت‌های جانی بسیار حائز اهمیت است.

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

دو شرکت Sensytech و Kryton محصول حاوی سنسورهای هوشمند را ارائه می‌کنند ولی اطلاعات قیمتی در وب‌سایت این شرکت‌ها یافت نشد. اطلاعاتی در خصوص استفاده از بتن خودحسگر با استفاده از نانومواد بدست نیامده است.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

انتظار می‌رود بازار ساختمان‌های هوشمند و خود نظارت گسترش یافته و کاربردهای بتن هوشمند در صنایع معماری و ساخت‌وساز را تسریع کند. این به این دلیل است که بتن هوشمند خود نظارتی در ابعاد مختلفی نه تنها توانایی اولیه برای شناسایی ترک‌های کوچک را دارد، بلکه به توقف پیشرفت ترک‌ها و تقویت آن‌ها نیز کمک می‌کند. علاوه بر این، می‌تواند انرژی تولید کند و با استفاده از سنسورهای پیشرفته اطلاعات تولید شده در بتن را دریافت و پردازش کند. ساختمان‌های بلند، بزرگراه‌ها، پل‌ها، باند فرودگاه‌ها و تراورس‌های دال پیوسته برای قطارهای پرسرعت، سدها و نیروگاه‌های هسته‌ای تنها چند نمونه از کاربردهای زیرساختی عمرانی برای بتن هوشمند هستند. همچنین پتانسیل زیادی در زمینه تشخیص ترافیک، امنیت مرزی و نظامی و نظارت بر سلامت ساختاری دارد. با این حال مزایای این بتن‌ها ممکن است با قیمت بالای آن‌ها به حاشیه برون، زیرا حجم استفاده از این بتن‌ها و قیمت تمام شده آن‌ها در سازه‌های بزرگ مسئله مهمی است.

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیت‌های انجام شده در کشور

■ فعالیت‌های توسعه محصول و تجاری‌سازی (آیا نمونه‌سازی انجام گرفته است؟ چه شرکت‌هایی برای توسعه محصول در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ آیا محصولی مبتنی بر این فناوری در بازار به فروش می‌رسد؟ آیا شرکت‌های صنعتی بزرگ در این زمینه فعالیت می‌کنند؟ آیا شرکت‌های واردکننده در این زمینه فعالیت می‌کنند؟)

■ ۱- شرکت افزیر Afzir^۱

پایش سلامت سازه‌ای (SHM) روش‌های تشخیص و نمایان‌سازی آسیب و ترک است که با توجه به اهمیت آن در شکست سازه‌ای، موضوع تحقیقات گسترده‌ای است که در حال انجام است. این امر توسط تعدادی از شرکت‌ها در ایران انجام می‌شود. امروزه صاحبان ساختمان‌ها نیازمند حس اطمینان خاطر در خصوص دارایی‌های ملکی خود هستند. مالکان برج‌ها و ساختمان‌ها می‌خواهند پاسخ این سؤال را بدانند که آیا ساختمان‌شان بعد از رخداد ارتعاشی مانند زلزله یا باد شدید دچار آسیب می‌شود یا خیر؟ روش‌های پایش از راه دور با استفاده از لیزر، سنسورهای فیبر نوری، تکنیک‌های جمع‌آوری داده‌ها از راه دور و تکنیک‌های پردازش تصویر انجام می‌شود.

■ ۲- فعالیت‌های تحقیقاتی:

به صورت دقیق در این زمینه فعالیتی انجام نشده است ولی یک سری تحقیقات مرتبط با این موضوع انجام شده که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

مروری بر روند شکل‌گیری و توسعه بتن خود احساس، محمد رضایی، ابراهیم خلیل زاده وحیدی، دانشجوی دکتری عمران سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران^۲

بررسی عملکرد حسگر فشارسنج بتنی با قابلیت خود تشخیصی در پایش سطح سلامت عضو سازه‌ای، نوع مقاله: علمی - پژوهشی، مصطفی آدرسی^۱ محمد یکرنگ نیا^۲،
۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

ساخت و تحلیل حسگر بتنی سنجش خرابی سازگار با خصوصیات مکانیکی رویه بتنی راه، مصطفی آدرسی^۱، ابوالفضل حسنی^{۲*}، محمدرضا سلیمانی کرمانی^۳، علی یزدیان ورجانی^۴
۱. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس.
۲. استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس
۳. استادیار پژوهشگاه حمل‌ونقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
۴. استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس

جانمایی بهینه حسگرهای هوشمند جهت پایش سلامت سدهای بتن غلتکی به روش الگوریتم مونت کارلو به منظور جلوگیری از هدر رفتن منابع آب، علی شمسایی^{۱*}، محسن قائمیان^۲، حمیدرضا وثوقی فر^۳
استادیار گروه مهندسی عمران، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲ استاد دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
۳ استاد گروه مهندسی عمران آب، واحد تهران جنوب، دانشگاه اسلامی، تهران، ایران
* نویسنده مسئول مقاله: shamsai@yahoo.com^۳

۱. <https://www.afzir.com/structural-strengthening/structural-health-monitoring/>

۲. <https://journals.lu.ac.ir/jces/article-1-38-fa.html&sw=%D8%A8%D8%AA%D9%86+%D8%AE%D9%88%D8%AF%D8%A7%D8%AD%D8%B3%D8%A7%D8%B3>

۳. https://wej.marvdasht.iau.ir/article_4375_e63aec65b30f5a625415f2a8ad84fece.pdf

مانیتورینگ سلامت سازه‌های بتنی با استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم، نوع مقاله: یادداشت پژوهشی نویسندگان: سامان شورابی ثانی^۱ منا کلاته عربی^۲ علی اکبر خزاعی^۳

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق-الکترونیک، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه حکیم سبزواری
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق-الکترونیک، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی نیشابور، واحد علوم و تحقیقات خراسان رضوی^۱

محققان دانشگاه حکیم سبزواری با پشتیبانی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری موفق به طراحی و ساخت نوعی حسگر شدند که نیروی وارد شده به ستون‌های ساختمان را برحسب ولتاژ نشان می‌دهد. مجتبی لزگی نظریه، مجری طرح پژوهشی «طراحی و ساخت حسگر کامپوزیتی سیمان-پیزوالکتریک برای اندازه‌گیری تنش در سازه‌های بتنی» گفت: این حسگر ترکیبی از کامپوزیت و سیمان است که داخل آن پیزوالکتریک (ماده‌ای که با فشار باعث ایجاد اختلاف ولتاژ و در نهایت تولید برق می‌شود) قرار دارد. این حسگر نشان می‌دهد فشار وارد شده به ساختمان به چه میزان است. بنابراین با راهکارهایی باید نسبت به تقویت ساختمان با تغییر کاربری آن اقدام کرد.^۲

بررسی عملکرد حسگرهای خودتشخیصی بتنی به عنوان حسگر دما^۳

محل انتشار: پانزدهمین کنفرانس ملی بتن و بیست و یکمین همایش روز بتن، بزرگداشت استاد احمد حامی، ۱۴۰۲
فاطمه پاخیزه زن، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
مصطفی آدرسی، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
مجتبی کریمایی، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

ارزیابی خواص مکانیکی و الکترومکانیکی ژئوپلیمر خودحسگر حاوی سرباره‌های فولاد، مس و پوزولان هالوزیت^۴، پیشنهاد دکتري تخصصی (PhD) ۱۴۰۱
پدیدآور: نوید جلالی جلال آبادی استاد راهنما: امیر طریقت استاد راهنما: ابوالفضل سلطانی
دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، دانشکده مهندسی عمران

ساخت و ارزیابی توانایی سنجش تنش/کرنش کامپوزیت سیمانی حاوی نانولوله‌های کربنی (CNT)
پارسا، کارشناسی ارشد، ۱۴۰۰
پدیدآور: مهتاب مردانی استاد راهنما: سید حسین حسینی لواسانی استاد مشاور: علیم‌راد رشیدی استاد مشاور: مصطفی آدرسی
دانشگاه خوارزمی، دانشکده فنی و مهندسی

ارائه مدل خستگی به منظور تعیین عمر باقیمانده روسازی بتنی با استفاده از حسگرهای نانولوله کربن
پارسا دکتري تخصصی (PhD)، ۱۳۹۵
موضوع: مهندسی عمران
پدیدآور: مصطفی آدرسی استاد راهنما: ابوالفضل حسینی
دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست

▣ فعالیت‌های سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری
فعالیت خاصی انجام نشده است.

۱. https://jcr.guilan.ac.ir/article_1897.html

۲. <https://www.isna.ir/news/98120302023/%D8%A7%D9%86%D8%AF%D8%A7%D8%B2%D9%87-%DA%AF%DB%8C%D8%B1%DB%8C-%D8%AA%D9%86%D8%B4-%D8%B3%D8%A7%D8%B2%D9%87-%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D8%A8%D8%AA%D9%86%DB%8C-%D9%87%D9%88%D8%B4%D9%85%D9%86%D8%AF-%D8%B4%D8%AF>

۳. <https://civilica.com/doc/1797839/>

۴. <tps://ganj.irandoc.ac.ir/#/search?basicscope=1&keywords=%D8%A8%D8%AA%D9%86%20%D8%AE%D9%88%D8%AF%D8%AD%D8%B3%DA%AF%D8%B1>

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

کاربردهای این محصول در صنعت ساختمان و ابنیه و سدها و پل‌ها است.

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

با توجه به اینکه در حال انجام تحقیقات و ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی است TRL برابر ۴ و همچنین MRL برابر ۴ است.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹						ریسک شکست فنی			خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/ خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کمی سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/ خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/ خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/ افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هریک از کاربردهای احتمالی

فناوری‌های رقیب مانند روش‌های سنجش با استفاده از حسگرهای بیرونی و کرنش‌سنج‌ها دارای کاربردهای عملیاتی بیشتری هستند.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

در حال تکمیل است.

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی
 - زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی
 - زیرساخت تولید
 - آزمایشگاه مرجع
 - منابع مالی
 - توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری
 - زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش
- منابع انسانی و زیرساخت آزمایشگاهی و علمی کشور به صورت مناسبی برای توسعه این محصول فراهم است. در حوزه حسگرها و بحث اختلاط در بتن باید تحقیقات بیشتری انجام شود؛ به نظر می‌رسد حجم تحقیقات در کشور کافی نیست.

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

- پیشران‌ها و چالش‌های فنی
- مشابه بخش بین‌الملل. از نظر فنی وجود شرکت‌های بسیار فعال در زمینه بتن‌ها و افزودنی‌های بتن و همچنین حوزه حسگرها می‌تواند به عنوان پیشران فنی در نظر گرفته شود.
- پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی
- مشابه بخش بین‌الملل.

به نظر می‌رسد قیمت این بتن‌ها بیشتر از بتن‌های معمولی باشند. ولی در زمینه رقابت با روش‌های پایش دیگر مانند حسگرهای کاشتنی و... باید بررسی شود. تجاری شدن این محصول و به بلوغ رسیدن آن منجر به کاهش قیمت خواهد شد.

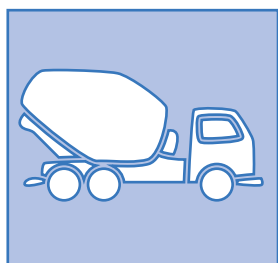
- پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا
- هنوز محصول تجاری‌سازی نشده است. بنابراین تقاضا برای آن به صورت بالفعل وجود ندارد. با این حال به نظر می‌رسد تقاضا در صنایع پیشرفته و سازه‌های حساس برای استفاده از این بتن‌ها به صورت بالقوه وجود دارد.
- پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)
- مشابه بخش بین‌الملل.
- پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)
- مشابه بخش بین‌الملل.

۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش (آیا این محصول چه در قالب تولید داخلی و چه در قالب محصول وارداتی در کشور عرضه شده است؟)

این محصول به نظر می‌رسد در کشور هنوز تجاری نشده است و تاکنون نمونه صنعتی نیز تولید نشده است.

۳-۹- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

به طور کلی فرهنگ پایش سلامت سازه‌ها هنوز به جز در موارد خاص و سازه‌های مهم و حساس در کشور وجود ندارد. با این حال فعالیت‌هایی برای پایش سلامت و تعیین مشکلات و وضعیت سازه توسط شرکت‌های فعال در حوزه بازرسی غیرمخرب در حال انجام است. بتن خود حسگر یک سطح بالا از فناوری است که هنوز در دنیا در مرحله شکوفایی و آزمایشی بوده و در ایران نیز به دلایل مختلفی هنوز راه زیادی برای ساخت و استفاده دارد.





ترکیب بتن سیمانی با قابلیت سخت
شدگی سریع با استفاده از محلول
نانوگوگرد اصلاح شده و روش ترمیم
جاده با استفاده از همین روش^۱

www.nano.ir

^۱. Quick-hardening cement concrete composition using modified sulfur nano solution and road repairing method using the same

توصیف عمومی فناوری

۱-۱ ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

فناوری حاضر یک ترکیب بتن سیمانی با سخت‌شدگی سریع حاوی محلول نانوآبی گوگرد اصلاح‌شده است که عملکرد خودترمیمی بسیار خوبی از خود نشان می‌دهد و در عین حال می‌تواند دوام و استحکام بالا را در مراحل اولیه از خود نشان دهد. این روش به روش‌های تعمیر و ساخت روسازی جاده مربوط می‌شود. در سازه روسازی بتنی به دلیل فرسودگی و ... ترک‌هایی در بتن ایجاد می‌شود و به مرور زمان مقاومت فشاری بتن و مقاومت کششی میلگردهای تقویت‌کننده کاهش می‌یابد. بتن از طریق ترک‌ها در معرض پدیده کربناسیون قرار گرفته و خوردگی میلگردهای تقویت‌کننده رخ می‌دهد. اگر خوردگی این میلگردهای تقویت‌کننده شدید شود، ممکن است سازه بتنی در نهایت فرو بریزد. ترک‌ها در بتن غالباً در اثر عوامل مختلفی از جمله عوامل محیطی خارجی مانند آسیب و زوال ناشی از نمک، خواص مصالح مانند بار طراحی، جمع‌شدگی پلاستیک یا جمع‌شدگی به صورت خشک شدن، شرایط اختلاط و عوامل دخیل در ساخت ایجاد می‌شوند. به طور خاص، در سال‌های اخیر، دوره تعمیر یا بازسازی ساختار روسازی‌های داخلی در کشور کره جنوبی به دلیل آسیب‌های مکرر ناشی از قرار گرفتن مستقیم در معرض بارهای ترافیکی پی‌درپی و تغییرات سریع آب‌وهوایی به دلیل افزایش حجم ترافیک و وسایل نقلیه سنگین، کوتاه شده است.

از سوی دیگر، بتن سیمانی دارای معایبی است که از جمله آن مقاومت کم، زمان عمل‌آوری طولانی و مقدار زیادی انقباض ناشی از خشک شدن در اثر از دست دادن رطوبت است. با توجه به این کاستی‌ها، هنگام استفاده از بتن سیمانی در هنگام ساخت سازه بتنی و یا نیاز به ساخت سریع، مشکلات زیادی پیش می‌آید. به منظور حل این مشکل، تحقیقات بر روی مواد مختلف تعمیر و تقویت با استفاده از سیمان زودگیر به طور فعال در حال انجام است. با این حال، استفاده از سیمان سریع‌سخت‌شونده از منظر بلندمدت دارای مشکلات متعددی است. بتن با استفاده از سیمان سریع‌سخت‌شونده برای توسعه سریع مقاومت در مراحل و سنین اولیه مؤثر است، اما به دلیل گرمای نسبتاً زیاد هیدراتاسیون و جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن در مقایسه با سیمان معمولی در ابتدای عمل‌آوری، انقباض ناشی از حرکت حرارت و رطوبت درون ساختار توسط عوامل داخلی و خارجی محدود می‌شود. احتمال وقوع ریزترک وجود دارد. این ریزترک‌ها باعث افزایش نفوذپذیری در ماتریس بتن و ایجاد انواع شکست‌ها می‌شوند و در نتیجه به طور مستقیم به زوال خواص مکانیکی و دوام سازه کمک می‌کنند و در نتیجه پایداری سازه را به طور جدی تحت تأثیر قرار می‌دهند.

به منظور جلوگیری از زوال و ترک‌خوردگی بتن ذکر شده و ترمیم و تقویت آن، ساخت با لمینیت چندلایه اپوکسی یا حصیر^۱ شیشه‌ای تعمیر/تقویت‌کننده و غیره انجام می‌شد، اما این روش از نظر زمان، کار و هزینه مواد سنگین است. بر این اساس، به عنوان اقدامی برای غلبه بر معایب بتن از جمله مقاومت و استحکام شیمیایی ضعیف، بتن گوگردی اصلاح‌شده به جای سیمان پرتلند به عنوان چسباننده^۲ استفاده می‌شود و با سنگ‌دانه‌های مختلف برای تولید ملات یا بتن مخلوط می‌شود. اکنون فناوری توسعه یافته است. هنگام استفاده از چسباننده گوگرد اصلاح‌شده، آب به دلیل ویژگی‌های آن قابل استفاده نیست و از مذاب حاصل از ذوب گوگرد اصلاح‌شده استفاده می‌شود.

به طور خلاصه اگر بخواهیم ویژگی مورد انتظار از این فناوری را نام ببریم؛ سخت‌شدن سریع، قابلیت خودترمیم‌شوندگی و دوام و مقاومت بالا خواهد بود. ویژگی اول، زمان‌گیرش سریع را امکان‌پذیر کرده و فرآیندهای ساخت و تعمیر سریع‌تر را ممکن می‌سازد که در مناطق پرتردد بسیار حائز اهمیت است. ویژگی دوم به ترمیم خودکار ترک‌هایی که ممکن است در طول زمان ایجاد شوند کمک می‌کند. محلول نانوآبی گوگرد اصلاح‌شده، هیدراتاسیون اولیه سیمان را افزایش می‌دهد و باعث تراکم و بهبود قابلیت‌های خودترمیمی آن می‌شود از طرفی نانوالیاف نیتريد سیلیکون به استحکام طولانی مدت کمک کرده و از ترک‌های سطحی جلوگیری می‌کند و لذا باعث افزایش بیشتر خواص خودترمیمی بتن می‌شود. در نهایت در رابطه با ویژگی سوم محلول نانوآبی گوگرد اصلاح‌شده به مقاومت اولیه و دوام بالا کمک نموده و آن را برای شرایط مختلف محیطی مناسب می‌سازد.

۱. Mat
۲. Binder

ترکیب بتن سیمانی با سخت‌شدگی سریع شامل موارد زیر است:

- ۱۰ الی ۴۰ درصد وزنی چسباننده سریع‌سخت‌شونده
 - ۱۰ الی ۵۰ درصد وزنی سنگ‌دانه ریز
 - ۵ الی ۴۰ درصد وزنی سنگ‌دانه درشت
 - ۰٫۱ الی ۱۰ درصد وزنی آب
 - ۰٫۱ الی ۱۰ درصد وزنی محلول نانوالی گوگرد اصلاح‌شده
 - ۰٫۱ الی ۱۰ درصد وزنی افزودنی بهبوددهنده عملکرد
- همچنین قسمت چسباننده آن شامل سیمان پرتلند، سولفوآلومینات کلسیم، گچ، نانوالیاف نیتريد سيلکون، نیتريت کلسیم، نپلین سینات، الیاف نایلون و مواد شیشه‌ای است. در ادامه روش تعمیر روسازی جاده شامل موارد زیر است:
- قسمت آسیب‌دیده جاده تمیز می‌شود.
 - مخلوط بتن سیمانی با افزودن محلول نانوسولفور اصلاح‌شده به سیمان، سنگ‌دانه‌ها و آب تهیه می‌شود. این ترکیب به‌طور کامل مخلوط شده تا توزیع یکنواخت نانوذرات تضمین شود.
 - مخلوط بتن سیمانی با قابلیت سخت‌شدگی سریع در ناحیه آسیب‌دیده یا قالب قرار داده می‌شود و برای از بین بردن حفرات هوا فشرده می‌شود.
 - ناحیه تعمیر شده با یک ترکیب عمل‌آوری پوشانده می‌شود یا برای مدت معینی مرطوب نگه داشته می‌شود تا از هیدراتاسیون و توسعه استحکام مناسب اطمینان حاصل شود [۱].

۲-۱- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری



شکل ۱- استفاده آزمایشی از بتن دارای گوگرد در جاده و آزمون‌های مکانیکی انجام شده

این فناوری در تعمیر روسازی جاده‌ها و توسعه و تعمیر سریع زیرساخت مناسب است. ترکیب بتن سیمانی با قابلیت سخت‌شدن سریع برای ترمیم سطوح آسیب‌دیده جاده ایده‌آل است و امکان بازبانی سریع جریان ترافیک را فراهم می‌کند. این فناوری را می‌توان در ساخت روسازی‌ها و سازه‌های بادوام که به استحکام و مقاومت بالا در برابر عوامل محیطی نیاز دارند، استفاده کرد. همچنین به دلیل دوام و خواص خودترمیم‌شونده این فناوری، به‌ویژه برای مناطق تحت بارهای سنگین مانند بزرگراه‌ها و مناطق صنعتی مناسب است. ماهیت سریع بتن امکان تعمیرات اضطراری در زیرساخت‌های حیاتی را فراهم نموده و اختلالات را به حداقل رسانده و ایمنی را افزایش می‌دهد. یکی دیگر از موارد کاربرد این فناوری در عناصر بتنی پیش‌ساخته است. گیرش سریع و افزایش مقاومت بتن سیمانی اصلاح‌شده، آن را برای تولید عناصر بتنی پیش‌ساخته، مانند موانع جاده، حاشیه‌ها، و سازه‌های زه‌کشی مناسب می‌کند که می‌توانند به سرعت در محل نصب شوند. مورد دیگر ساخت و ساز در هوای سرد است. ترکیب بتن سیمانی اصلاح‌شده می‌تواند برای ساخت بتن در شرایط آب‌وهوای سرد مفید باشد، زیرا فرآیند هیدراتاسیون تسریع شده به غلبه بر چالش‌های ناشی از دماهای پایین کمک می‌کند. حتی برای بتن‌ریزی در زیر آب مانند ساخت پایه پل یا تعمیرات زیرآب، که در آن توسعه سریع مقاومت بسیار مهم است نیز احتمالاً می‌توان از این فناوری استفاده نمود.

۳-۱- محصولات توسعه‌یافته یا در حال توسعه بر اساس این فناوری

این فناوری به‌طور کلی در زمینه‌های بتن سیمانی با قابلیت سخت‌شدگی سریع، افزودنی‌های بهبوددهنده عملکرد و روش‌های کارآمد تعمیر و نگهداری جاده منجر به تحقیق و توسعه شده است. بتن سیمانی با قابلیت سخت‌شدن سریع از محلول نانوالی گوگرد اصلاح‌شده استفاده می‌کند که خواص خودترمیمی عالی و دوام بالا را برای کاربردهای اولیه در ساخت و ساز و تعمیر ارائه می‌کند. افزودنی‌های بهبوددهنده عملکرد که زمان عمل‌آوری، کارایی، مقاومت و دوام بتن سیمانی زودگیر را بهبود می‌دهند و آن را برای نیازهای مختلف ساختمانی مناسب می‌کنند و راه‌حل‌های تعمیر جاده که فرمول‌های خاصی برای تعمیر کارآمد روسازی جاده، با تمرکز بر کاربرد سریع و انعطاف‌پذیری در برابر ترافیک سنگین در حال توسعه هستند.

۴-۱- مزیت (های) کلیدی این فناوری (کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و ...)

مزیت‌های کلیدی این فناوری را می‌توان به ۴ بخش زیر تقسیم کرد: ویژگی خودترمیم شونده‌گی: این فناوری بتن را قادر می‌سازد تا ترک‌ها را برطرف کند و دوام را بهبود بخشد. دوام و استحکام بالا: این فناوری دوام و مقاومت عالی را در مراحل و سنین اولیه ایجاد کرده و نیاز به تعمیر و نگهداری مکرر را نیز کاهش می‌دهد. کاهش زمان ساخت: ماهیت سخت شدن سریع، دوره ساخت را کوتاه می‌کند و امکان تکمیل سریع‌تر پروژه و کاهش هزینه‌های نیروی کار را به همراه دارد. کاهش هزینه: با افزایش طول عمر سازه‌های بتنی و به حداقل رساندن نیازهای تعمیر و نگهداری، این فناوری می‌تواند منجر به کاهش هزینه کلی در ساخت و ساز و تعمیر شود.

۵-۱- نانوذرات بهره گرفته شده در این فناوری (از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به‌کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

نانوذرات گوگرد اصلاح شده: این فناوری از یک محلول نانوآبی گوگرد اصلاح شده استفاده می‌کند که نقش مهمی در افزایش خواص خودترمیمی و دوام ترکیب بتن ایفا می‌کند. پلیمرهای مبتنی بر پلی‌استر آلیفاتیک: این پلیمرها همراه با گوگرد اصلاح شده برای ایجاد ساختار متخلخل استفاده می‌شوند که به عملکرد کلی بتن کمک می‌کند. الکترولیز برای پراکندگی نانوذرات: فرآیند تولید شامل الکترولیز است که به پراکندگی نانوذرات در ماتریس پلی‌استر گوگرد اصلاح شده و آلیفاتیک کمک می‌کند و خواص آن‌ها را برای کاربردهای بتن بهینه می‌کند. نانوالیاف نیتريد سيلکون: نانوالیاف نیتريد سيلکون برای افزایش استحکام و دوام بتن استفاده می‌شود و عملکرد خودترمیمی عالی را ارائه می‌دهد. آن‌ها استحکام طولانی مدت، مقاومت در برابر سایش و مقاومت در برابر آتش را بهبود می‌بخشند، در حالی که از ترک‌های سطحی نیز جلوگیری می‌کنند. نانوالیاف از طریق یک واکنش فاز گاز شامل NH_3 و SiCl_4 تولید می‌شوند که $\text{Si}(\text{NH})_2$ را تشکیل می‌دهد، به دنبال آن تجزیه حرارتی برای ایجاد Si_3N_4 آمورف و در نهایت عملیات حرارتی برای به دست آوردن نانوالیاف کریستالی نیتريد سيلکون انجام می‌شود. محتوای بهینه نانوالیاف نیتريد سيلکون در ترکیب بتن بین ۱۰ تا ۳۰ درصد وزنی بر اساس ۱۰۰ قسمت سیمان پرتلند خام است.

۶-۱- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

در مرحله اولیه، این فرآیند با تولید نانوذرات گوگرد اصلاح شده و پلیمرهای مبتنی بر پلی‌استر آلیفاتیک آغاز می‌شود که برای ایجاد محلول نانو آبی مورد استفاده در ترکیب بتن ضروری هستند. در بخش میانی این نانوذرات از طریق الکترولیز ترکیب می‌شوند تا ساختار متخلخل پایداری را تشکیل دهند و خواص آن‌ها را برای استفاده در کاربردهای بتن افزایش دهند. این مرحله تضمین می‌کند که نانوذرات به‌طور مؤثر در محلول گوگرد اصلاح شده پراکنده می‌شوند. محصول نهایی یک ترکیب بتن سیمانی با قابلیت سخت‌شدگی سریع است که دارای محلول نانوآبی گوگرد اصلاح شده و افزودنی‌های بهبوددهنده عملکرد است و در نتیجه یک مخلوط بتن با ویژگی‌های خودترمیمی و دوام برتر ایجاد می‌شود. بتن حاصل در پروژه‌های مختلف ساختمانی به‌ویژه در تعمیر و ساخت روسازی جاده‌ها استفاده می‌شود، جایی که خواص بهبودیافته آن می‌تواند به‌طور قابل توجهی طول عمر زیرساخت را بهبود بخشد و نیازهای تعمیر و نگهداری را کاهش دهد.

۷-۱- فناوری‌های رقیب (از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

از جمله فناوری‌های رقیب که البته تمامی خواص و ویژگی‌های منحصربه‌فرد این فناوری را ارائه نمی‌دهند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: بتن معمولی حاوی سیمان پرتلند: رایج‌ترین جایگزین، سیمان پرتلند است که به‌طور گسترده در ساخت و ساز استفاده

می‌شود، اما فاقد خواص خودترمیمی و دوام بتن گوگردی اصلاح شده است که در این شناسنامه توضیح داده شده است. بتن اصلاح شده با پلیمر: این روش شامل افزودن پلیمرها به بتن برای افزایش خواص آن مانند انعطاف پذیری و مقاومت در برابر ترک خوردگی است، اما ممکن است به سطح خودترمیمی مانند فناوری گوگرد اصلاح شده دست پیدا نکند. بتن ژئوپلیمری: این فناوری از محصولات فرعی صنعتی مانند خاکستر بادی یا سرباره به عنوان چسباننده استفاده می‌کند که مزایای محیط زیستی و دوام خوبی را ارائه می‌دهد، اما ممکن است قابلیت گیرش و خودترمیمی سریع بتن گوگردی اصلاح شده را نداشته باشد. بتن تقویت شده با الیاف: ترکیب الیاف در بتن می‌تواند مقاومت کششی و مقاومت در برابر ترک را بهبود بخشد، اما ذاتاً مانند فناوری مورد بحث از خواص خود ترمیمی برخوردار نیست.

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

یکی از این فناوری‌ها فناوری چاپ سه بعدی است. فناوری‌هایی مانند چاپ سه بعدی را می‌توان در کنار بتن گوگردی اصلاح شده برای ایجاد ساختارها و اجزای پیچیده، افزایش انعطاف پذیری، طراحی و کاهش ضایعات مواد استفاده کرد. مورد دیگر حسگرهای هوشمند است. ادغام حسگرهای هوشمند در کاربری‌های بتن می‌تواند بر سلامت و عملکرد سازه نظارت کرده و داده‌هایی را جهت بهینه سازی استراتژی‌های تعمیر و نگهداری ارائه دهد. موضوع دیگر فناوری نانو است. سایر نانومواد را می‌توان با محلول نانو آبی گوگرد اصلاح شده ترکیب کرد تا خواصی مانند مقاومت حرارتی و استحکام مکانیکی را افزایش دهد و پتانسیل کاربرد را افزایش دهد. همچنین برخی فناوری‌ها مانند استفاده از فیبر کربن یا مش فولادی، می‌تواند مکمل بتن گوگردی اصلاح شده برای بهبود مقاومت کششی و دوام در محیط‌های پرتنش باشد.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی‌ای را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

این فناوری نه تنها راه‌های تحقیقاتی مختلفی را باز می‌کند، بلکه رویکردی چندرشته‌ای را ترویج می‌کند که شامل علم مواد، پایداری و مهندسی عمران می‌شود. توسعه این فناوری منجر به گسترش تحقیق پیرامون سایر مواد خودترمیم شونده شده که خود منجر به نوآوری در مهندسی عمران می‌شود. از طرفی بررسی و استفاده از فناوری نانو منجر به بهبود خواص و عملکرد و تحقیق و توسعه بیشتر در این زمینه می‌شود.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی

(آیا این اثر/ فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

بله دارای اهمیت بوده و از چند جهت می‌توان آن را مورد بررسی قرار داد. این فناوری نیاز به مصالح با دوام را برطرف می‌کند که جهت حفظ یکپارچگی زیرساخت در مواجهه با تغییرات آب و هوا و شرایط ترافیکی حائز اهمیت است. از طرفی استفاده از این فناوری سطح اتکا به سیمان پرتلند را که یکی از عوامل دخیل در تولید گاز دی اکسید کربن است را کاهش می‌دهد که آن را از منظر محیط زیستی مورد توجه قرار می‌دهد. از طرفی خاصیت سریع سخت شوندگی این فناوری منجر به تسریع در تعمیرات مربوط به جاده و افزایش ایمنی خواهد شد و اختلالات ترافیکی را به حداقل می‌رساند و آخرین مورد مزایای اقتصادی این فناوری است. بهبود دوام و کاهش نیاز به تعمیر و نگهداری می‌تواند منجر به صرفه جویی در هزینه‌ها برای شهرداری‌ها و دولت‌ها شود و آن را به یک فناوری استراتژیک مهم برای سرمایه گذاری در زیرساخت‌های عمومی تبدیل کند.

تحلیل بین‌المللی

۲-۱- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

بر اساس اطلاعات موجود، هیچ بازیگر کلیدی خاصی یافت نشد که به‌طور مستقیم در رابطه با این فناوری فعال باشند. با این حال، می‌توان برخی از سازمان‌ها و شرکت‌های مرتبط را که احتمالاً در تحقیق و توسعه مرتبط مشارکت دارند، نام برد. دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی اغلب در خط مقدم توسعه فناوری‌های جدید بتن قرار دارند. مقالات و اختراعاتی که تا حدی مرتبط با موضوع این شناسنامه فناوری وجود دارند به‌طور اجمالی در ادامه معرفی خواهند شد: شرکت‌های بزرگ سیمان مانند CEMEX و LafargeHolcim احتمالاً در توسعه فناوری‌های سیمان سخت‌شونده سریع مشارکت دارند.

ردیف	نام نویسندگان	عنوان
۱	gang-indong [2]	Durability-improved ultra-quick-hardening cement concrete composition and repairing method for road pavement therewith
۲	imjungyu [3]	Method of repairing bridge surface pavement using ultra rapid hardening latex modified concrete with enhanced freezing and thawing durability, salt damage resistance and crack resistance
۳	Q. Wang, D. Snoeck[4]	To boldly go where no one has gone before: Sulfur concrete, a promising construction material fulfilling the demands for a sustainable future on celestial objects: A review

هم‌چنین شرکت‌های متخصص در مصالح ساختمانی، مانند Tarmac Building Products Limited، ممکن است روی راه‌حل‌های بتنی نوآورانه کار کنند. به‌طور کلی چه در بخش بین‌الملل و چه در داخل کشور محصولاتی با عنوان سیمان با قابلیت سخت‌شوندگی سریع به فروش می‌رسد اما با استفاده از فناوری و روش موجود در شناسنامه حاضر به نظر می‌رسد این فناوری به مرحله تولید و عرضه نرسیده باشد.

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

با توجه به اطلاعات موجود به نظر می‌رسد این فناوری دارای TRL برابر ۳ و MRL برابر ۲ است.

	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	سطح آمادگی بازار
۹										خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸										شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷										تحلیل توانمندی ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل
۶										ترجمه ویژگی های مورد انتظار محصول / خدمت به توانمندی های فنی مورد نیاز برای خلق راه حل
۵										شناسایی توانمندی های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل (مانند راهبری پروژه)
۴										کمی سازی ویژگی های مورد انتظار محصول / خدمت جدید
۳										شناسایی ویژگی های مورد انتظار محصول / خدمت جدید
۲										شناسایی یک نیاز بخصوص
۱										شکل گیری این احساس که (چیزی کم است)

مسئله اصلی در مدل سازی راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی / راه اندازی خط تولید تکمیل سیستم نهایی / افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش های اولیه معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن ها

سطح آمادگی فناوری

مدل آمادگی برای ورود به بازار

طبقه گذار
آمادگی برای ورود به بازار
رج از قطر: ریسک شکست فنی و / یا شکست بازار
بیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

راہنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

این فناوری در مرحله تحقیق و توسعه بوده و به مرحله تولید انبوه و محصول نهایی نرسیده است. اگرچه شرایط نویدبخش کاربردهای آینده این فناوری در ساخت و ساز و تعمیر زیرساخت است. در آینده نزدیک این فناوری احتمالاً با علاقه و استقبال مناسبی روبرو خواهد شد. با افزایش آگاهی از مزایای این فناوری، به احتمال زیاد انتظارات زیادی برای عملکرد و پذیرش آن در بازار وجود داشته باشد.

۲-۴- مهم‌ترین ییشران‌ها و چالش‌های ییش روی فناوری

□ بیشران‌ها و چالش‌های فنی

پیشران‌های فنی شامل بهبود دوام، خاصیت گیرش سریع و قابلیت خودترمیم‌شوندگی است. بتن گوگردی اصلاح شده مقاومت بهتری را در برابر عوامل محیطی ارائه می‌دهد و آن را برای استفاده در زیرساخت‌هایی که در معرض شرایط سخت قرار دارند مناسب می‌کند. از طرفی این فناوری امکان ساخت و ساز و زمان تعمیر سریع‌تر را فراهم نموده و نیاز به راه‌حل‌های سریع در تعمیر و نگهداری جاده را برطرف می‌کند. این فناوری به واسطه قابلیت خودترمیم‌شوندگی می‌تواند هزینه‌های نگهداری طولانی‌مدت را کاهش و طول عمر سازه‌ها را افزایش دهد.

قرارگیری در معرض مواد شیمیایی دانست که نیاز به تحقیق و بررسی بیشتر دارد. همچنین موانع اجرا به جهت نوآور بودن این فناوری و الزامات تولید انبوه و پیچیدگی‌های مرتبط با آن را نیز می‌توان چالشی دیگر دانست.

❑ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

پیشران‌های اقتصادی این فناوری شامل صرفه‌جویی در هزینه تعمیرات، کاهش مدت زمان توقف پروژه و دوام بهتر و طولانی‌تر است. لذا این فناوری می‌تواند از نظر اقتصادی برای پروژه‌های زیرساختی مناسب و جذاب باشد. چالش‌های اقتصادی این فناوری نیز شامل هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه، پذیرش بازار و زنجیره تأمین است.

❑ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

پیشران‌های این حوزه را می‌توان کاهش ساعات کاری کارگران به واسطه کاهش مدت زمان تعمیرات دانست که ریسک مربوط به ایمنی و سلامت را کاسته و از طرفی از لحاظ محیط‌زیستی این فناوری از روش‌های سنتی و رایج موجود برتر است.

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

این فناوری در مراحل اولیه تحقیق و توسعه بوده و به تولید محصول نرسیده است.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

در سال‌های اخیر به‌طورکلی شاهد رشد بازار جهانی سیمان‌های خاص به‌ویژه سیمان با قابلیت سخت‌شوندگی سریع هستیم. علاوه بر این مواردی مانند افزایش سرمایه‌گذاری در پروژه‌های زیرساختی، تحقیق و توسعه مداوم بر بهبود عملکرد، تمرکز بر توسعه محصولات سازگار با محیط‌زیست و گسترش کاربرد این فناوری در زیرساخت‌های زیرزمینی و سازه‌های آبی را نیز شاهد هستیم. با این حال برای سال‌های آینده، پیشرفت فناوری در زمینه نانو مواد، تغییرات مرتبط با قوانین محیط‌زیستی، تأثیر نوسانات اقتصادی بر پذیرش فناوری‌های جدید، نیاز به زیرساخت‌های قوی‌تر در برابر تغییرات اقلیمی و افزایش رقابت در بازار سیمان را احتمالاً شاهد خواهیم بود.

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیت‌های انجام شده در کشور

- فعالیت‌های تحقیقاتی (چه تیم‌هایی در کدام نهادها در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ چه مقالاتی در این زمینه منتشر شده است؟ چه پایان‌نامه‌هایی نگارش شده است؟)
- فعالیت‌های توسعه محصول و تجاری‌سازی (آیا نمونه‌سازی انجام شده است؟)

با توجه به بدیع بودن فناوری، موردی یافت نشد.

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

این محصول به‌طور ویژه در حوزه ساخت‌وساز کاربرد دارد. در روسازی راه و تعمیرات زیرساخت می‌توان از این فناوری استفاده نمود. این فناوری به علت خاصیت سخت‌شوندگی سریع و دوام بالا برای تعمیر و ساخت راه‌ها و به‌خصوص مناطق با بار ترافیکی سنگین مناسب است. از طرفی قابلیت خودترمیمی آن می‌تواند طول عمر پل‌ها و تونل‌ها را افزایش داده و هزینه‌های تعمیر و نگهداری را کاهش دهد و منجر به بهبود ایمنی شود.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه‌حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه‌اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/ افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی اولیه									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل‌سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار رادر کشور

با توجه به اطلاعات موجود به نظر می‌رسد سطح آمادگی فناوری TRL برابر ۲ و سطح آمادگی بازار در کشور MRL برابر ۱ است.

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هر یک از کاربردهای احتمالی

فناوری‌های رقیب را می‌توان روش‌های سنتی آسفالت، مخلوط‌های سنتی سیمان و بتن و روش‌های تعمیر روسازی رایج دانست.

فناوری‌های مکمل را نیز می‌توان ماشین‌آلات پیشرفته جهت سرعت بخشیدن به تعمیرات، تکنیک‌های پیشرفته عمل‌آوری، افزودنی‌های پیشرفته جهت بهبود دوام و سیستم‌های نظارت و پایش مبتنی بر اینترنت اشیا و هوش مصنوعی دانست.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

برای اینکه این فناوری تا سطح نمونه‌سازی و تولید در مقیاس وسیع برسد نمی‌توان برآیند دقیقی ارائه کرد اما به‌طور کلی هزینه‌های مربوطه را می‌توان شامل هزینه‌های مربوط به تحقیق و توسعه، تولید نمونه اولیه، آزمایش و ارزیابی، ثبت اختراع، راه‌اندازی خط تولید و بازاریابی و فروش دانست.

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی: وجود دارد
- زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی: وجود دارد
- زیرساخت تولید:
- آزمایشگاه مرجع: وجود دارد
- منابع مالی: وجود دارد
- توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری: وجود دارد
- زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش: وجود دارد

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

پیشران‌های فنی این فناوری در ایران نیاز به توسعه زیرساخت، کاهش زمان تعمیر، دوام بهتر و بهینه‌سازی منابع است. چالش‌های فنی این فناوری نیز دستیابی به طرح مخلوط مناسب جهت دستیابی به بالاترین کیفیت و سازگاری، کارایی، عملکرد درازمدت، هزینه‌های مربوط به مواد و توسعه مهارتی کارکنان است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

پیشران‌های اقتصادی شامل کاهش مدت زمان تعمیر و در نتیجه هزینه‌های مرتبط، افزایش بهره‌وری به‌واسطه دستیابی به مقاومت بالا و امکان استفاده از بخش‌های تعمیر شده، کاهش هزینه نیروی کار، پتانسیل صادرات و توسعه صنعت سیمان است. چالش‌های اقتصادی آن نیز هزینه‌های مرتبط با نانو مواد، محدودیت‌های ناشی از تحریم‌ها و نیاز به سرمایه‌گذاری در آموزش و توسعه مهارت‌ها است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا

پیشران‌ها شامل توسعه زیرساخت به‌واسطه نیاز کشور به روش‌های سریع تعمیر و ساخت جاده، وجود کارخانه‌های بزرگ سیمان در کشور پتانسیل صادرات است. چالش‌های مربوط به این حوزه نیز شامل رقابت با محصولات سنتی و رایج حال حاضر کشور و مسائل مرتبط با آموزش است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

به‌عنوان پیشران، تکمیل سریع‌تر پروژه‌ها و کاهش مدت زمان تعمیر با استفاده از این فناوری می‌تواند باعث شود خطرات ایمنی کلی مرتبط را کاهش دهد.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

از منظر محیط‌زیستی توسعه راه‌حل‌های پایدار و بادوام‌تر تعمیر جاده به تعهدات اخلاقی برای کاهش اثرات محیط‌زیستی همسو است و از این نظر پیشران محسوب می‌گردد. به‌عنوان چالش نیز اطمینان از اینکه فناوری جدید پیامدهای منفی محیط‌زیستی پیش‌بینی شده نداشته باشد. در رابطه با پیشران‌ها و چالش‌های اجتماعی، بهبود زیرساخت به معنای تعمیرات کوتاه مدت‌تر و ساخت جاده‌های بادوام به‌عنوان پیشرانی برای جامعه مطرح بوده و اطمینان از دسترسی عادلانه به این‌گونه زیرساخت‌ها چالش آن می‌تواند باشد.

۸-۳- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

این فناوری به مرحله تولید نرسیده است.

۹-۳- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

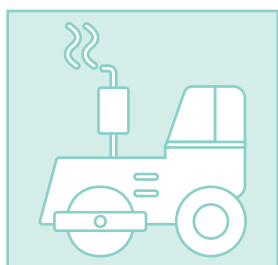
در صورت تولید، امکان صادر کردن دانش فناوری و تجهیزات موردنیاز به کشورهای دیگر وجود دارد.

۱۰-۳- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

در سال‌های اخیر شاهد رشد تولید سیمان و افزایش مصرف داخلی آن بوده‌ایم. با توجه به امکان صادرات و نیاز روزافزون کشور به مدیریت هزینه با کاهش هزینه‌های مربوط به تعمیر و نگهداری زیرساخت‌ها، به نظر می‌رسد این فناوری با استقبال خوبی از سوی جامعه و صنعت روبه‌رو شده و سرمایه‌گذاری مناسبی بر روی آن با حمایت دولت انجام شود.

منابع

- ۱- 송지연, Quick-hardening cement concrete composition using modified sulfur nano solution and road repairing method using the same. 2020: South Korea.
- ۲- 강인동, Durability-improved ultra-quick-hardening cement concrete composition and repairing method for road pavement therewith. 2018: South Korea.
- ۳- 임준규, Method of repairing bridge surface pavement using ultra rapid hardening latex modified concrete with enhanced freezing and thawing durability, salt damage resistance and crack resistance. 2016: South Korea.
- ۴- Wang, Q. and D. Snoeck, To boldly go where no one has gone before: Sulfur concrete, a promising construction material fulfilling the demands for a sustainable future on celestial objects: A review. Materials Today, 2023.



۹



بتن الکتروترمال

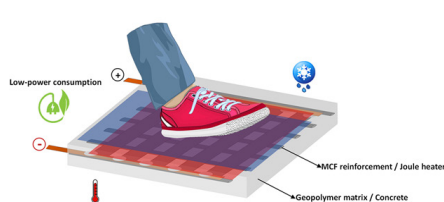
www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱- ویژگی مورد انتظار از فناوری فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟

بتن الکتروترمال به ماده‌ای اطلاق می‌شود که بر اساس اثر ژول، به گرمایش الکتروترمال دست می‌یابد. در تئوری، گرمایش الکتروترمال نتیجه انرژی جنبشی بالاتر ناشی از شتاب حامل‌های بار هنگام تزریق جریان الکتریکی در یک هادی است. به‌طور دقیق‌تر، در مقیاس اتمی، اثر ژول به دلیل برهم‌کنش‌های درونی بین الکترون‌ها و یون‌ها است که با هم برخورد می‌کنند و انرژی الکتریکی را به انرژی گرمایی تبدیل می‌کنند. از آنجایی که بتن معمولی به سختی گرم می‌شود، پرکننده‌های رسانای الکتریکی مانند الیاف کربن، الیاف فولادی، تراشه‌های فولاد، پودرهای نیکل و گرافیت برای کاهش مقاومت الکتریکی (افزایش رسانایی) بتن ترکیب می‌شوند. گرمایش اهمی الکتریکی با اثر الکتروترمال ژول توسط چندین گروه تحقیقاتی با هدف راه‌حل‌های مهندسی کاربردی مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. مفهوم بتن الکتروترمال از سال ۲۰۰۰ وارد ادبیات حوزه بتن شده است و تحقیقات انگشت‌شماری توسط تیم‌های مختلف تا سال ۲۰۱۲ در این حوزه انجام شده است. اگرچه تحقیقات در این زمینه موقتاً متوقف و از سال ۲۰۲۰ دوباره از سر گرفته می‌شود. رشد چند برابری تعداد اسناد منتشره شده در سال ۲۰۲۳، می‌تواند نویدبخش افزایش توجه به توسعه این فناوری در سال‌های آتی باشد. استفاده از فناوری نانو در ادبیات بتن الکتروترمال، از سال ۲۰۰۶ آغاز شده است. اگرچه تا سال ۲۰۲۰ تنها دو مقاله در این حوزه منتشر شده است. همچنین در سال ۲۰۲۳ تعداد مقالات افزایش یافته است.

۱-۲- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری



به‌جز کاربرد اصلی این بتن که یخ‌زدایی و ذوب برف در جاده‌ها است، می‌توان از آن برای یخ‌زدایی و ذوب برف پارکینگ‌ها، پیاده‌روها، پل‌های بزرگراه، سکوهای مترو و باند فرودگاه‌ها نیز استفاده کرد. افزایش سرعت‌گیرش ماتریس بتن از راه

شکل ۱- بتن الکتروترمال برای کاربردهای یخ‌زدایی جاده

دور و مقرون به‌صرفه، کنترل مناسب رطوبت سازه و آزمایش‌های غیرمخرب (آزمایش غیرمخرب به‌صورت مستقیم با استفاده از این بتن انجام نمی‌شود. گرچه در بتن الکتروترمال جریان الکتریسیته می‌تواند اطلاعاتی از بتن در اختیار قرار دهد.) از دیگر کاربردهای این فناوری هستند. علاوه بر این، بتن آسفالتی رسانا دارای حساسیت فشاری و حساسیت دمایی آشکاری است که می‌تواند ساختار خودتشخیصی، نظارت بر ترافیک و خودترمیمی را محقق کند و مقاومت در برابر خستگی مخلوط آسفالت را بهبود بخشد. در بخش انرژی نیز می‌توان از آن برای گرمایش در محل سکونت، کارخانه و گلخانه استفاده کرد. ساخت خانه‌ها با کف‌پوش‌های بتنی خودگرم‌شونده راه‌حلی با انرژی کارآمدتر برای سیستم‌های گرمایش معمولی ارائه می‌دهد. بتن گرما را به‌خوبی ساطع می‌کند و تنها مقدار کمی انرژی لازم است تا تفاوت دمای قابل توجهی ایجاد کند. این امر با جایگزینی بتن الکتروترمال به جای بتن سنتی در دیوار یا کف و اعمال جریان الکتریسیته به آن‌ها محقق می‌شود و سپس گرما به‌طور مداوم از دیوار یا کف ساطع می‌شود. این نوع بتن برای انسان کاملاً بی‌خطر است زیرا در این فرایند، تنها به یک ولتاژ و جریان کمی برای انتقال در بتن نیاز است و حتی با لمس بتن جریانی الکتریکی احساس نمی‌شود. در شکل ۱ کاربردهای این بتن به‌صورت واقعی و شماتیک مشاهده می‌شود.

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه بر اساس این فناوری

- بتن سیمانی الکتروترمال
- بتن آسفالتی الکتروترمال

۱-۴- مزیت (های) کلیدی این فناوری

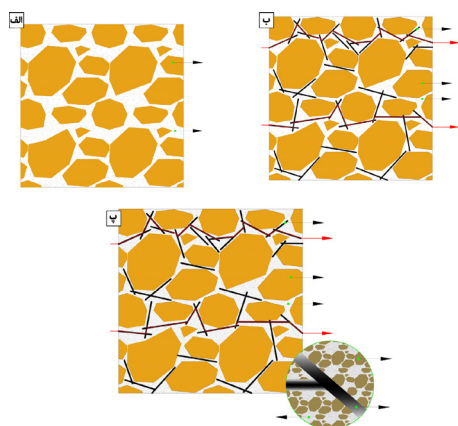
(کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و ...)

یخ‌زدایی سریع جاده‌ها به دلایل متعددی ضروری است. یخ‌زدایی در فرودگاه‌ها برای ایمنی مسافران و حمل‌ونقل هوایی، در سدها برای دسترسی به موقع اپراتورها به تأسیسات حساس، در بزرگراه‌ها و عرشه‌های پل برای جلوگیری از تصادفات و در جاده‌های دسترسی به پیست‌های اسکی و مناطق توریستی برای حفظ گردشگری زمستانی دارای اهمیت زیادی است. به‌طور کلی روش‌های خاصی مانند استفاده از نمک‌های یخ‌زدا، برف‌روبی و پخش کردن سنگ‌دانه‌های ریز روی سطح جاده برای حل مشکل یخ و برف در جاده استفاده می‌شود. در حال حاضر در بیشتر بزرگراه‌ها از سنگ‌دانه‌های ریز و مواد شیمیایی یخ‌زدا استفاده می‌شود. کلرید سدیم یکی از رایج‌ترین مواد شیمیایی است که برای یخ‌زدایی در معابر استفاده می‌شود. اگرچه این ماده ارزان قیمت است، محتوای کلرید آن دلیل آلودگی محیطی و خوردگی زیرساخت‌های بتنی است. در نتیجه استفاده از روشی مبتکرانه مانند بتن الکتروترمال برای حل این مسائل یکی از موضوعات مهم در صنعت ساخت و مواد و همچنین مهندسی محیط‌زیست است.

بر اساس روش‌های جدیدتر، ذوب برف و یخ از طریق گرمایش مقاومتی کابل‌های رسانای الکتریکی تعبیه‌شده در بتن معمولی یا از طریق استفاده از بتن رسانای الکتریکی با قابلیت گرمایش مقاومتی انجام می‌شود (بتن الکتروترمال). به دلیل چگالی توان بالای مورد نیاز، گاهی اوقات عملکرد کابل‌های مقاومتی ناکافی است و تجهیزات و سیستم‌های متصل به آن آسیب می‌بینند. همچنین، این کابل‌ها نقاط داغ موضعی ایجاد می‌کنند که می‌تواند مضر باشد. در سال‌های اخیر، استفاده از روسازی گرمایشی مبتنی بر بتن‌های الکتروترمال توجه محققین را برای کاهش مشکلات تجمع یخ و برف در بزرگراه‌ها و فرودگاه‌ها جلب کرده است.

۱-۵- نانوذرات بهره‌گرفته شده در این فناوری

(از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به‌کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)



شکل ۲- شماتیک ساختار بتن معمولی (الف)، بتن الکتروترمال (ب)، بتن حاوی رشته‌های فیبر کربنی (پ)

بتن الکتروترمال، با اعمال ولتاژ به الکترودهای تعبیه‌شده برای ذوب یخ و برف کار می‌کند. تحقیقات نیز نشان می‌دهد که مقاومت الکتریکی بتن در سطوح بالایی قرار دارد. بنابراین از افزودنی‌های رسانای الکتریکی در این بتن‌ها استفاده می‌شود. نانومواد مانند نانوکربن سیاه، نانولوله‌های کربنی، نانوسیلیکا و گرافن علاوه بر بهبود مقاومت الکتریکی بتن و عملکرد الکتروترمال آن، استحکام و سایر خواص مکانیکی بتن را نیز بهبود می‌دهند. به‌طور کلی افزودنی‌های نانوکربنی با پراکندگی مناسب در ماتریس‌های سیمانی می‌توانند چقرمگی شکست، جذب انرژی ضربه‌ای و همچنین هدایت الکتریکی و حرارتی را بهبود دهند. نانوکربن سیاه یکی از پرکاربردترین این مواد است، چرا که دارای آستانه تراوش الکتریکی قابل قبولی است (حداقل مقدار پرکننده رسانای مورد نیاز برای تبدیل یک ماتریس عایق به یک ماتریس رسانا). همچنین کربن سیاه را می‌توان با بازیافت لاستیک‌های زباله، به عنوان ماده آلاینده با استفاده از فرآیند پیرولیز، در حجم زیادی به دست آورد. شکل ۲ نمای شماتیکی از ساختار داخلی بتن معمولی و رسانای الکتریکی را نشان می‌دهد. شکل ۲-الف بتن معمولی است که فقط حاوی سنگ‌دانه و سیمان است و ماده رسانای الکتریکی نیست. مواد فیبر بر پایه کربن برای تأمین رسانایی الکتریکی مواد مبتنی بر سیمان استفاده می‌شود (شکل ۲-ب). فیبر به‌طور تصادفی بین سنگ‌دانه‌ها تهنشین می‌شود و شبکه پیچیده‌ای را تشکیل می‌دهد و به عنوان پلی برای جریان الکتریکی عمل می‌کند. خمیر سیمان به عنوان یک عنصر ماتریس برای الیاف بین سنگ‌دانه‌ها تعریف می‌شود. اگر خمیر سیمان با مواد رسانا به‌صورت پودر ترکیب شود، انتظار می‌رود که هدایت الکتریکی الیاف افزایش یابد. همان‌طور که در شکل ۲-پ نشان داده شده است، کربن سیاه پودری فضاهای بین دانه‌ای را پر می‌کند و بنابراین

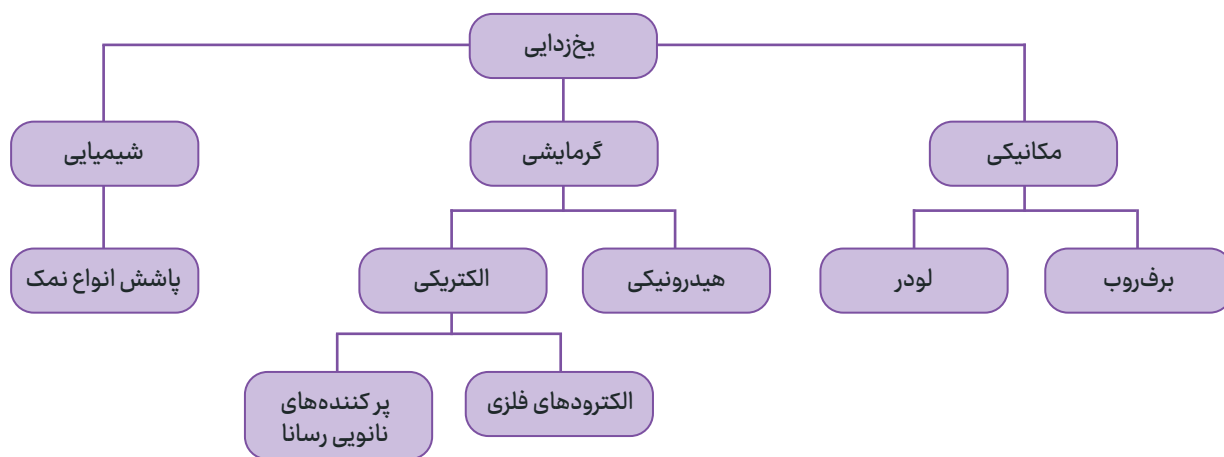
سطح رابط بین فیبر و ماتریس افزایش می‌یابد.

۱-۶- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری (از تولید نانوذرات اولیه تا تولید محصول میانی تا تولید محصول نهایی و به‌کارگیری محصول)

بخش اول تولید نانو افزودنی‌های دارای آستانه تراوش الکتریکی قابل قبول در حجم بالاست که ترجیحاً با استفاده از مواد بازیافتی و دورریزهای صنایع مختلف حاصل می‌شود. به عنوان مثال نانوکربن سیاه را می‌توان با بازیافت لاستیک‌های زباله، به عنوان ماده آلاینده با استفاده از فرآیند پیرولیز، در حجم زیادی به دست آورد.

۱-۷- فناوری‌های رقیب (از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

اگر از منظر کاربرد یخ‌زدایی به مسئله نگاه شود، می‌توان فناوری‌های رقیب این حوزه را در قالب نمودار ۱ مشاهده کرد:



نمودار ۱- فرایندهای یخ‌زدایی متداول و جدید

در مناطق سردسیر، تشکیل برف و یخ در سطح جاده‌ها باعث خرابی زیرساخت‌ها و آسیب به پوشش بتنی می‌شود. به منظور جلوگیری از چنین رویدادی، پاشش مواد شیمیایی بر روی روسازی جاده و استفاده از روش‌های سنتی یخ‌زدایی منجر به اثرات منفی محیط‌زیستی می‌شود. سیستم‌های سنگفرش گرم یکی از گزینه‌های جایگزین برای ذوب یخ و برف است. این سیستم‌ها را می‌توان به دو گروه کلی شامل سیستم‌های روسازی با گرمایش هیدرونیکی و سیستم‌های روسازی با گرمایش الکتریکی تقسیم کرد.

سیستم‌های روسازی که به صورت هیدرونیکی گرم می‌شوند، یخ و برف را با عبور دادن سیال گرم شده از میان لوله‌های تعبیه شده در سازه‌های روسازی جاده، ذوب می‌کنند. سیال خنک شده در یک منبع حرارتی که در طول هر چرخه گرم می‌شود، گردش می‌کند. انواع مختلفی از منابع حرارتی از جمله آب زمین گرمایی، بویلر و مبدل حرارتی وجود دارد. در سیستم‌های الکتریکی، ذوب برف و یخ از طریق گرمایش مقاومتی کابل‌های رسانای الکتریکی تعبیه شده در بتن معمولی یا از طریق استفاده از بتن رسانای الکتریکی با قابلیت گرمایش مقاومتی (بتن الکتروترمال) انجام می‌شود.

در سال‌های اخیر ایده استفاده از جریان الکتریسیته با ولتاژ پایین برای گرمایش ساختمان‌ها از کف و نیز ذوب کردن برف و یخ از سطح روسازی‌های بتنی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا، بتن و یا ملات‌های سیمانی عموماً با تعبیه الکترودهای فلزی و یا جایگزینی بخشی از سیمان مصرفی با پرکننده‌های شناخته شده مثل نانوالیاف و نانوتیوب‌های کربنی رسانا می‌شوند. مشکلات مربوط به خوردگی الکترودها از یک سو و هزینه‌های بالا و محدودیت دسترسی به این مواد پرکننده از سوی دیگر، مانع از کاربرد گسترده این دسته از بتن‌های رسانا شده است.

یخ‌زدایی راه‌ها نیز به طور کلی با استفاده از روش‌های مکانیکی (استفاده از برف‌روب، لودر و ...)، شیمیایی (استفاده از نمک، استات پتاسیم و ...) و گرمایشی (لوله‌های آب گرم و روش‌های الکتریکی و ...) انجام می‌شود. در این بین به علت چسبندگی زیاد بین سطح یخ و روسازی با روش‌های مکانیکی نمی‌توان تمام یخ را از سطح جاده پاک نمود، همچنین روش‌های

شیمیایی سبب به وجود آمدن مخاطرات محیط‌زیستی، تخریب سطح روسازی و خوردگی تجهیزات و خودروها می‌شود.

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولت در هریک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

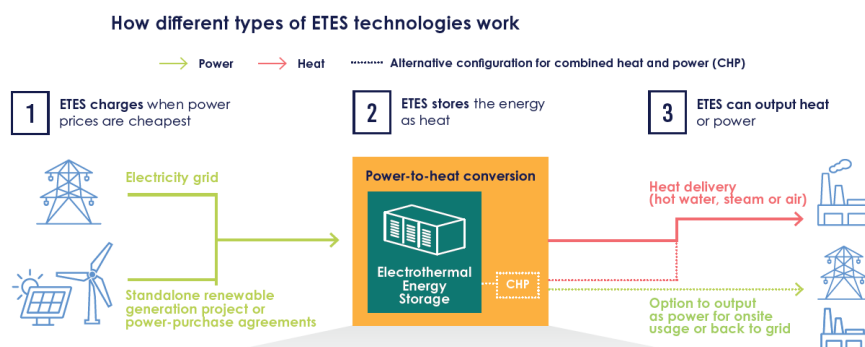
روش‌های سنتز نانو ذرات و نانو ساختارها به عنوان افزودنی بتن

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

علاوه بر کاربردهای یخ‌زدایی و ذوب برف، بتن الکتروترمال به خاطر رسانا بودن، دارای حساسیت فشاری و حساسیت دمایی آشکاری است که می‌تواند ساختار خودتشخیصی، نظارت بر ترافیک و خودترمیمی را محقق کند. همچنین در بخش انرژی می‌توان برای گرمایش داخلی مورد توجه قرار گیرد.

همچنین تحقیق و توسعه در زمینه بتن‌های الکتروترمال می‌تواند در حوزه فناوری ذخیره انرژی الکتروترمال (ETES)^۱ فرصت‌های تحقیقاتی جدید پدید آورد (اگرچه به نظر می‌رسد فناوری ETES نسبت به بتن الکتروترمال بالغ‌تر باشد). ETES به طور منحصربه‌فردی گرما را با تبدیل برق به گرما و ذخیره گرما (به عنوان مثال در آجر، سنگ‌های گدازه، بتن یا نمک مذاب) و یا به صورت گرمای نهان (مانند تبدیل بین دی‌اکسید کربن مایع و گاز) فراهم می‌کند. سپس گرما آزاد می‌شود تا اغلب از طریق آب داغ یا بخار به سایت‌های صنعتی مانند کارخانه‌های کاغذ یا کارخانه‌های فراوری لبنیات تحویل داده شود (شکل ۳).



شکل ۳- نحوه عملکرد سیستم ETES

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی

(آیا این اثر/ فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

عوارض محیط‌زیستی و ضایعات تخریب آسفالت، بتن و در نتیجه تأسیسات راه‌ها از جمله مشکلات نمک‌پاشی جاده‌ها در عملیات راهداری زمستانی و جلوگیری از یخ‌زدگی است. با استفاده از طرح بتن هوشمند گرمازا (ژول هیتینگ) از یخ‌زدگی جاده‌ها به ویژه پل‌ها جلوگیری می‌شود.

یخ‌زدایی راه‌ها به طور کلی با استفاده از روش‌های مکانیکی، شیمیایی و گرمایشی انجام می‌شود. در این بین به علت چسبندگی زیاد بین سطح یخ و روسازی با روش‌های مکانیکی نمی‌توان تمام یخ را از سطح جاده پاک کرد، همچنین روش‌های شیمیایی سبب به وجود آمدن مخاطرات محیط‌زیستی، تخریب سطح روسازی و خوردگی تجهیزات و خودروها می‌شود. استفاده از روسازی بتنی رسانا برای یخ‌زدایی علاوه بر این که سبب آلودگی محیط‌زیستی نمی‌شود، مشکلات استفاده از یخ‌زدهای شیمیایی را نیز ایجاد نمی‌کند. همچنین انباشته شدن یخ یا برف در زیرساخت‌های حمل و نقل (مانند جاده‌ها، پل‌ها و باند فرودگاه‌ها) باعث ایجاد موقعیت‌های خطرناک می‌شود و جریان ترافیک را مختل می‌کند.

تحلیل بین‌المللی

۲-۱- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

□ بازیگران در حوزه R&D

دانشگاه دالیان چین و ساکاریا از ترکیه، بیشترین تعداد انتشار اسناد را با استفاده از کلیدواژه الکتروترمال دارند. همچنین حیدر دهقان‌پور از دانشگاه ساکاریا با ۳ سند بیشترین تعداد تحقیقات را با کلیدواژه الکتروترمال (با استفاده از فناوری نانو) به خود اختصاص داده است. همچنین مراکز تحقیقاتی و محققین دارای بیشترین تعداد سند در حوزه استفاده از بتن رسانا برای مقاصد یخ‌زدایی و ذوب برف در جداول ۱ و ۲ مشاهده می‌شوند.

جدول ۱- مراکز دارای اسناد تحقیقاتی

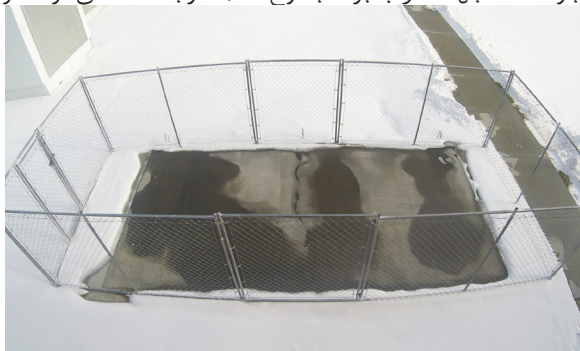
تعداد اسناد منتشر شده	مراکز
۱۳	Iowa State University
۳	Michigan State University
۳	Sakarya University
۳	University of Nebraska-Lincoln
۳	Wuhan University

جدول ۲- محققان برتر در حوزه تحقیقاتی

تعداد اسناد منتشر شده	بازیگران حوزه R&D
۱۵	Halil Ceylan
۱۵	Sunghwan Kim
۱۲	Sherif Yehia
۱۱	Christopher Y Tuan
۹	Peter C Taylor
۷	S M Sajed Sadati
۶	Kristen S Cetin
۵	Amir Malakooti
۵	Hesham Abdulla
۵	Kasthurirangan Gopalakrishnan

■ بازیگران صنعتی/تجاری در مراحل مختلف زنجیره ارزش

در حال حاضر هیچ شرکتی پیدا نشد که محصول را تولید کرده باشد. اما استفاده از بتن رسانای الکتریکی حاوی فیبر کربن، یک بار در سال ۲۰۰۸ توسط Tuan and Yehiya و با حمایت اداره بزرگراه‌های ایالت نبراسکا روی پل Roca انجام شد. منطقه مدنظر برای سطحی به عرض ۸/۵ متر و طول ۳۶ متر اجرا شد. جهت ذوب برف با نرخ ۰/۱۴ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه به‌طور متوسط توان حرارتی ۵۹۰ وات بر مترمربع مصرف شد تا به بتن رسانا حرارت داده شود.



استفاده از بتن رسانای الکتریکی در سال ۲۰۱۶ نیز در فرودگاه آیووا توسط Celyan و همکاران در دو قطعه ۳/۸ در ۴/۶ مترمربع که حاوی فیبر کربنی بود اجرا شد که برای ذوب برف نیازمند ۳۰۰ الی ۳۵۰ وات بر مترمربع توان برقی مورد نیاز بود.

همچنین برای محافظت از مسافران در برابر لغزش روی سکوی یخ‌زده، بتن الکتروترمال در متروی لندن اعمال شده است که اطلاعات بیشتری از آن به دست نیامد. در شکل ۴ نمونه‌ای از اجرای تحقیقاتی بتن الکتروترمال مشاهده می‌شود.

قابل توجه است که کشورهای چین، آمریکا، هند و ترکیه بیشترین تعداد اسناد منتشر شده را به خود اختصاص داده‌اند.

شکل ۴- اجرای آزمایشی بخشی از سطح که نشان می‌دهد به خوبی برف‌زدایی نسبت به سطوح اطراف انجام شده است.

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه‌حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/راه‌اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل سازی ایده اصلی فناوری و گذر از آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گذر از آن									

بر اساس بررسی پژوهش‌های علمی و اجرایی در زمینه بتن الکتروترمال در دنیا و در چند مورد از جمله روی پل Roca در نبراسکا در ۲۰۰۸ و در فرودگاه آیووا در ۲۰۱۶، مشخص شده است که عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی به اثبات رسیده است و می‌توان برای آن TRL برابر ۷ در نظر گرفت. اگرچه پایداری نمونه در طول زمان به اثبات نرسیده است.

از نظر سطح آمادگی بازار به نظر می‌رسد که توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای توسعه این بتن شناسایی شده که نمونه آن در اجرایی شدن چند پروژه تحقیقاتی در محیط واقعی با همکاری بخش دانشگاهی و اداره بزرگراه‌ها، فرودگاه و مترو دیده می‌شود. بنابراین سطح آمادگی بازار (MRL) را می‌توان برابر ۷ در نظر گرفت.

راه‌نما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

از نظر چرخه عمر در مرحله بعد از معرفی و اوایل دوره رشد خود قرار دارد.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش روی فناوری

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

پیشران‌های فنی: به طور کلی یخ‌زدایی راه‌ها با استفاده از روش‌های مکانیکی (استفاده از برف‌روب، لودر و ...)، شیمیایی (استفاده از نمک، استات پتاسیم و ...) و گرمایشی (لوله‌های آب گرم و روش‌های الکتریکی و ...) انجام می‌شود. در این بین به علت چسبندگی زیاد بین سطح یخ و روسازی، با روش‌های مکانیکی نمی‌توان تمام یخ را از سطح جاده پاک نمود؛ همچنین روش‌های شیمیایی سبب به وجود آمدن مخاطرات محیط زیستی، تخریب سطح روسازی و خوردگی تجهیزات و خودروها می‌شود. در نتیجه استفاده از روشی مبتکرانه مانند بتن الکتروترمال برای حل این مسائل با مزایای حفظ یکپارچگی سازه روسازی، بهبود بهره‌وری انرژی و پاک‌سازی کامل یخ و برف یکی از موضوعات مهم در علم ساخت‌وساز، مواد و همچنین مهندسی محیط زیست است.

چالش‌های فنی: با توجه به مقاومت الکتریکی متفاوت بسته به مواد انتخابی، مقاومت الکتریکی مدار دستگاه بخاری باید در یک محدوده معین محدود شود تا برای گرمایش اهمی مناسب باشد. انتخاب مواد رسانای مناسب و همچنین ترکیب درصد مناسب به طوری که خواص دیگر را تحت تأثیر قرار ندهد، مهم است. به عنوان مثال با افزایش محتوای پشم فولاد، مقاومت بتن آسفالتی به سرعت کاهش می‌یابد، اما زمانی که محتوای پشم فولاد از مقدار معینی فراتر رود، مقاومت کششی غیرمستقیم کاهش می‌یابد. اثر گرمایش ژول کامپوزیت‌های سیمانی به محتوای آب و پیری سیمان بستگی دارد. یکی دیگر از چالش‌های فنی مهم، مربوط به تغییر روند مقاومت الکتریکی دینامیکی با تغییر دما است. بالاتر از یک محدوده دمایی بحرانی، پدیده انبساط حجمی ممکن است رخ دهد که منجر به افزایش فاصله بین ذرات با مکانیسم هدایت قویاً متکی بر اثر تونل زنی می‌شود که منجر به ضریب دمایی مثبت مشترک می‌شود. در مقابل، زمانی که فاصله بین ذرات بدون تغییر باقی می‌ماند، مقاومت تماس ممکن است با افزایش دما کاهش یابد و باعث افزایش تحرک حامل‌های بار شود و رفتار ضریب دمایی منفی را عمدتاً به دلیل اثر پرش از خود نشان دهد. به طور کلی، گرمایش اهمی بر اساس رویکرد شبکه نفوذ ناپیوسته (استفاده از پرکننده‌های رسانا) به محرک‌های ورودی ولتاژ خارجی بالا نیاز دارد و همچنین چالش‌هایی را در طول پراکندگی به دلیل مسائل ویسکوزیته بالا ارائه می‌دهد.

پراکندگی یکنواخت و استحکام پیوند سطحی مواد رسانا در خمیر سیمان نیز از چالش‌های موجود هستند.

■ پایداری عملکرد رسانایی در طول زمان:

مقاومت بتن الکتروترمال با دما و رطوبت (یا محتوای آب) تغییر می‌کند. ثابت نگه داشتن خاصیت گرمایش برای طولانی مدت دشوار است. سرعت باد و ضخامت لایه یخ/برف نیز ممکن است تأثیراتی بر کاربرد آن داشته باشد.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

پیشران اقتصادی: کاهش هزینه‌های عملیات یخ‌زدایی و برف‌روبی و همچنین هزینه تعمیر آسیب‌های جاده‌ای ناشی از برف و یخ، صرفه‌جویی در انرژی و افزایش عمر مفید بتن از جمله موارد مهم به عنوان پیشران اقتصادی استفاده از این محصول محسوب می‌شود. همچنین ساخت خانه‌ها با کف‌پوش‌های بتنی الکتروترمال، راه‌حلی با انرژی کارآمدتر نسبت به سیستم‌های گرمایش معمولی ارائه می‌دهد.

چالش اقتصادی: استفاده از این محصول در سطح وسیع در یک فرودگاه یا پل، صرفه اقتصادی ندارد و استفاده از این محصول به صورت محلی در مکان‌های مثلاً حادثه‌خیز پیشنهاد می‌شود.

□ پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا

پیشران تقاضا: به دلیل شرایط سخت برفی و زمستانی در برخی از جاده‌ها و گردنه‌ها و فرودگاه‌های کشور، حجم قابل توجهی از تقاضای بالقوه برای استفاده از این فناوری در کشور وجود دارد.

همچنین کاربرد بالقوه این محصول در بخش گرمایش داخلی کف و دیواره‌های منازل، کارخانه‌ها و گلخانه‌ها در کنار کاربرد اصلی آن یعنی یخ‌زدایی از جاده‌ها، پل‌ها، پارکینگ‌ها، فرودگاه‌ها و حتی سکوها مترو، تنوع خوبی در مشتری‌های بالقوه ایجاد می‌کند که خود می‌تواند پیشران تقاضای خوبی باشد.

چالش تقاضا: به دلیل وجود فناوری‌های رقیب که نسبتاً در دسترس‌تر بوده و نیز ارزان‌تر هستند، هنوز تقاضای واقعی برای استفاده از این محصول در کشور فراهم نشده است که این امر مستلزم تحریک تقاضا از مسیر سیاست‌گذاری و قانون‌گذاری است.

❑ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

مشکلات محیط‌زیستی و سلامتی مربوط به استفاده از روش‌های سنتی برف‌روبی و یخ‌زدایی مانند پاشش شن و انواع نمک، و نیز زمان بردن فرآیند برف‌روبی با ماشین برف‌روب، پیشران‌هایی برای استفاده از این محصول در کشور محسوب می‌شوند.

❑ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

آمار بالای تصادفات و تلفات ناشی از تصادف در فصول سرد سال به‌ویژه در مناطق سرد و کوهستانی، که یک معضل بزرگ اجتماعی است می‌تواند با بهره‌گیری از این فناوری، به حداقل برسد. همچنین کاهش تأخیر پرواز در فرودگاه‌ها در صورت استفاده از بتن الکتروترمال به‌عنوان یخ‌زدا در فرودگاه‌ها، می‌تواند عامل پیشران دیگری برای استفاده از این فناوری در کشور باشد. کاهش حجم ترافیک ناشی از لغزندگی جاده‌ها به خاطر یخ و برف نیز قابل توجه است.

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

محصول تجاری شده‌ای پیدا نشد.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، در چند سال اخیر تحقیقات در این زمینه یک سیر صعودی در پیش گرفته است و انتظار می‌رود در سال‌های آتی شاهد افزایش تعداد تحقیقات در این حوزه باشیم. پژوهشگران دانشگاه نبراسکا که پروژه‌ای را در این راستا در محیط واقعی اجرایی کرده بودند، اشاره کردند که روکش بتن الکتروترمال پتانسیل برای تبدیل شدن به مقرون‌به‌صرفه‌ترین روش یخ‌زدایی عرشه پل را دارد. با این حال پایداری در عملکرد رسانایی در طول زمان یک چالش مهم در کار آن‌ها بود. با انجام تحقیقات بیشتر توسط تیم‌های مختلف، چالش‌های بیشتری پیش‌رو قرار گرفت. این چالش‌ها شامل چالش‌های فنی تولید، عملکردی و پایداری است. همچنین به‌طور خاص، بتن الکتروترمال برای محافظت از ایمنی انسان در طول کاربرد آن به محافظت ویژه نیاز دارد. بنابراین، توسعه انواع جدیدی از بتن الکتروترمال همراه با عملکرد گرمایشی بالاتر و پایداری طولانی‌مدت ضروری است.

به نظر می‌رسد که با توجه به مزیت اصلی این فناوری نسبت به فناوری‌های رقیب رایج در بحث یخ‌زدایی که مسائل محیط‌زیستی است، ظرفیت قانون‌گذاری و سیاست‌گذاری‌های کلان محیط‌زیستی می‌تواند بر روند توسعه این فناوری تأثیرگذار باشد. سیاست‌گذاری‌ها در حوزه انرژی نیز دارای اهمیت است زیرا ساخت خانه‌ها با کف‌پوش‌های بتنی خودگرم‌شونده راه‌حلی با انرژی کارآمدتر برای سیستم‌های گرمایش معمولی ارائه می‌دهد. بتن الکتروترمال به خوبی گرما را ساطع می‌کند و تنها مقدار کمی انرژی لازم است تا تفاوت دمای قابل توجهی ایجاد کند.

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیتهای انجام شده در کشور

□ فعالیتهای تحقیقاتی (چه تیم‌هایی در کدام نهادها در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ چه مقالاتی در این زمینه منتشر شده است؟ چه پایان‌نامه‌هایی نگارش شده است؟)

محققان برجسته در حوزه بتن یا آسفالت الکتروترمال در کشور کار کرده‌اند. جستجوی کلید واژه "بتن رسانا" یا "بتن الکتروترمال" یا "بتن یخ‌زدا" در همه بخش‌های اسناد، در سامانه ایران داک به عنوان پایگاه جامع پایان‌نامه‌های دانشگاهی ایران، در مجموع ۲۶ پایان‌نامه یافت شد. البته از جستجو با کلید واژگان "Conductive Concrete"، "بتن الکتروترمال"، "بتن ژول هیتز" در سامانه مذکور نتیجه‌ای حاصل نشد.

□ فعالیتهای توسعه محصول و تجاری‌سازی (آیا نمونه‌سازی انجام گرفته است؟ چه شرکت‌هایی برای توسعه محصول در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ آیا محصولی مبتنی بر این فناوری در بازار به فروش می‌رسد؟ آیا شرکت‌های صنعتی بزرگ در این زمینه فعالیت می‌کنند؟ آیا شرکت‌های واردکننده در این زمینه فعالیت می‌کنند؟)

برخی از محصولات مشابه در یک سری از پروژه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

□ فعالیتهای سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری

کلیه فعالیتهای و اقدامات سیاستی و تنظیم‌گری مرتبط با این محصول، مربوط به یخ‌زدایی و برف‌روبی است: شورای شهر تهران، در تاریخ ۱۳۹۳/۰۶/۳۰ طرح "برف‌روبی و یخ‌زدایی مناسب با استفاده از امکانات و فناوری روز در شهر تهران" را مصوب و در تاریخ ۱۳۹۳/۰۷/۲۷ ابلاغ کرده است. مشابه این ابلاغیه را شهرداری دیگر شهرها نیز ابلاغ کرده‌اند. همچنین، در بخش استانداردهای فرودگاه‌های استفاده از محصولات یخ‌زدا مطرح شده است که می‌تواند پیشران سیاستی خوبی برای توسعه محصولات مبتنی بر فناوری‌های یخ‌زدا در کشور باشد.

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

به جز کاربرد اصلی این بتن که یخ‌زدایی و ذوب برف در جاده‌ها است، می‌توان از آن برای یخ‌زدایی و ذوب برف پارکینگ‌ها، پیاده‌روها، پل‌های بزرگراه، سکوهای مترو و باند فرودگاه‌ها نیز استفاده کرد.

افزایش سرعت گیرش ماتریس بتن از راه دور، مقرون به صرفه بودن، کنترل مناسب رطوبت سازه و آزمایش‌های غیرمخرب از دیگر کاربردهای این فناوری هستند. علاوه بر این، بتن آسفالتی رسانا دارای حساسیت فشاری و حساسیت دمایی آشکاری است که می‌تواند ساختار خودتشخیصی، نظارت بر ترافیک و خودترمیمی را محقق کند و مقاومت در برابر خستگی مخلوط آسفالت را بهبود بخشد.

در بخش انرژی نیز می‌توان از آن برای گرمایش در محل سکونت، کارخانه و گلخانه استفاده کرد. ساخت خانه‌ها با کف‌پوش‌های بتنی خودگرم‌شونده راه‌حلی با انرژی کارآمدتر برای سیستم‌های گرمایش معمولی ارائه می‌دهد. بتن گرما را به خوبی ساطع می‌کند و تنها مقدار کمی انرژی لازم است تا تفاوت دمای قابل توجهی ایجاد کند. این امر با جایگزینی بتن الکتروترمال بجای بتن سنتی در دیوار یا کف و اعمال ولتاژ به آن‌ها محقق می‌شود. گرما به طور مداوم از دیوار یا کف ساطع می‌شود. این نوع بتن برای انسان کاملاً بی‌خطر است زیرا هنگام کار بتن فقط به یک ولتاژ و جریان کمی نیاز است و حتی اگر آن را لمس کنیم هیچ شوک الکتریکی احساس نمی‌شود.

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

بر اساس بررسی پژوهش‌های علمی و اجرایی در زمینه بتن الکتروترمال در داخل کشور، می‌توان TRL یعنی سطح آمادگی این فناوری را در کشور، ۵ در نظر گرفت. هر چند پایداری زمانی عملکرد محصول به اثبات نرسیده است.

با توجه به یک سری از پروژه‌های انجام شده در کشور، سطح آمادگی بازار (MRL) را می‌توان ۳ در نظر گرفت.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کم‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)
سطح آمادگی فناوری									
									راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/راهنمایی خط تولید
									تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پیلوت
									اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی
									دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد
									دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد
									دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی
									اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه
									معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن
									مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هر یک از کاربردهای احتمالی

سیستم گرمایش ساختمان از کف، با استفاده از لوله‌گذاری در کف ساختمان از قدیم در حمام‌های سنتی رایج بوده است که با عبور جریان آب داغ از لوله‌ها، بخشی از حرارت مورد نیاز حمام‌های عمومی تأمین می‌شد. استفاده از این روش هنوز هم در برخی ساختمان‌ها معمول بوده است. لازم به ذکر است که سیستم گرمایش از کف موجب باردار شدن پرزهای فرش و موکت می‌شود و منجر به معلق شدن این پرزها در هوا و ورود آن‌ها به سیستم تنفسی و مشکلات دیگر می‌شود. استفاده از برف‌روب و نیز پاشش شن، نمک و محلول‌های دیگر به عنوان روش‌های کلاسیک یخ‌زدایی در اغلب مناطق شهرها و معابر کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد که البته در سال‌های اخیر به دلیل برخی مشکلات محیط‌زیستی، سیاست استفاده بهینه از این روش‌ها و نیز استفاده از روش‌های فناورانه جایگزین در دست بررسی و اجرا قرار دارد.

۳-۵- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

■ منابع انسانی
تعداد گروه‌های فعال پژوهشی که تاکنون کار مستمر در کشور روی این موضوع انجام داده باشند انگشت شمار است

و علاوه بر این، هسته‌های فناوری یا شرکت‌هایی که فعالیت‌هایی روی محصول بتن الکتروترمال انجام داده باشند نیز تاکنون شناسایی نشده است.

■ زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی
برخی از مراکز پژوهشی مانند مرکز تحقیقات راه و ساختمان و آزمایشگاه‌های بتن مستقر در برخی دانشگاه‌ها زیرساخت‌هایی را برای انجام تحقیقات در حوزه بتن‌های رسانا توسعه داده‌اند.

■ زیرساخت تولید
به دلیل آمادگی پایین فناوری و بازار محصول بتن الکتروترمال، زیرساخت تولید برای این محصول در کشور توسعه نیافته است به‌ویژه اگر نیازمند استفاده از مواد نانو در تولید این بتن باشد.

■ آزمایشگاه مرجع
به دلیل عدم بلوغ کافی فناوری، آزمایشگاه جامعی در حوزه بتن الکتروترمال یا رسانا توسعه نیافته است.

■ منابع مالی
در صورت اثبات فناوری بتن الکتروترمال و آمادگی بازار برای استفاده از این نوع بتن‌ها، به نظر می‌رسد زیرساخت‌های مالی موجود ظرفیت لازم برای حمایت از توسعه این فناوری در کشور را داشته باشند.

■ توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری
متأسفانه مشکل مالکیت فکری و حفاظت از این دارایی‌ها، یک مشکل اساسی در کشور است که نیازمند یک برنامه‌ریزی بلندمدت در جهت ارتقاء زیرساخت‌های حفاظت از مالکیت فکری در کشور است. در این زمینه اقدامات انجام شده از سوی معاونت علمی، کورسوی امیدی به آینده ایجاد کرده است.

■ زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش
با توجه به صنعت مربوط به این محصول، که حوزه راه و ساختمان است، مسیر بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش با فرایندهای فعلی فروش بتن‌های مرسوم، چندان متفاوت نخواهد بود و از این رو زیرساخت‌های لازم فراهم است. البته استفاده از رسانه‌های عمومی و همراهی آن‌ها به‌ویژه صداوسیما در برندینگ استفاده از بتن الکتروترمال و تحریک تقاضای عمومی نسبت به این محصول می‌تواند کمک بزرگی باشد. هر چند مسیر اصلی و بلندمدت در توسعه این بتن‌ها، استفاده از ظرفیت قانون‌گذاری و سیاست‌گذاری‌های کلان محیط‌زیستی و انرژی است.

۳-۶- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی
■ پیشران‌های فنی: مشابه بخش بین‌الملل است.

■ چالش‌های فنی: مشابه بخش بین‌الملل است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی
پیشران اقتصادی: کاهش هزینه‌های عملیات یخ‌زدایی و برف‌روبی و همچنین هزینه تعمیر آسیب‌های جاده‌ای ناشی از برف و یخ، صرفه‌جویی در انرژی و افزایش عمر مفید بتن از جمله موارد مهم به‌عنوان پیشران اقتصادی استفاده از این محصول محسوب می‌شود.

■ چالش اقتصادی: استفاده از این محصول در سطح وسیع در یک فرودگاه یا پل، صرفه اقتصادی ندارد و استفاده از این محصول به‌صورت محلی در مکان‌های مثلاً حادثه‌خیز پیشنهاد می‌شود.

□ پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا
پیشران تقاضا: به دلیل شرایط سخت برفی و زمستانی در برخی از جاده‌ها و گردنه‌ها و فرودگاه‌های کشور، حجم قابل توجهی از تقاضای بالقوه برای استفاده از این فناوری در کشور وجود دارد. همچنین کاربرد بالقوه این محصول در بخش گرمایش داخلی کف و دیواره‌های منازل، کارخانه‌ها و گلخانه‌ها در کنار

کاربرد اصلی آن یعنی یخ‌زدایی از جاده‌ها، پل‌ها، پارکینگ‌ها، فرودگاه‌ها و حتی سکوها‌ی مترو، تنوع خوبی در مشتری‌های بالقوه ایجاد می‌کند که خود می‌تواند پیشران تقاضای خوبی باشد. چالش تقاضا: به دلیل وجود فناوری‌های رقیب که نسبتاً در دسترس‌تر بوده و نیز ارزان‌تر هستند، هنوز تقاضای واقعی برای استفاده از این محصول در کشور فراهم نشده است که این امر مستلزم تحریک تقاضا از مسیر سیاست‌گذاری و قانون‌گذاری است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

مشکلات محیط‌زیستی و سلامتی مربوط به استفاده از روش‌های سنتی برف‌روبی و یخ‌زدایی مانند پاشش شن و انواع نمک و نیز زمان‌بر بودن فرآیند برف‌روبی با ماشین برف‌روب، پیشران‌هایی برای استفاده از این محصول در کشور محسوب می‌شوند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

آمار بالای تصادفات و تلفات ناشی از تصادف در فصول سرد سال به‌ویژه در مناطق سرد و کوهستانی، که یک معضل بزرگ اجتماعی است می‌تواند با بهره‌گیری از این فناوری، به حداقل برسد. همچنین کاهش تأخیر پرواز در فرودگاه‌ها در صورت استفاده از بتن الکتروترمال به‌عنوان یخ‌زدا در فرودگاه‌ها، می‌تواند عامل پیشران دیگری برای استفاده از این فناوری در کشور باشد. کاهش حجم ترافیک ناشی از لغزندگی جاده‌ها به خاطر یخ و برف نیز قابل توجه است.

۳-۷- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

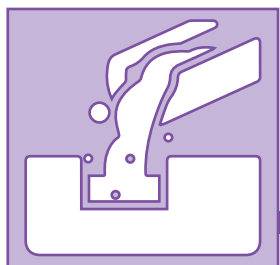
به دلیل نابالغ بودن فناوری و سطح پایین آمادگی فناوری، این محصول چه در داخل کشور و چه در بازارهای جهانی هنوز در مراحل تحقیق و توسعه قرار دارد و به مرحله تجاری‌سازی نرسیده است.

۳-۸- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

استفاده از فناوری بتن الکتروترمال (به‌ویژه با استفاده از افزودنی‌های نانو) هنوز مراحل اثبات فناوری را طی نکرده است به‌طوری که هم در داخل کشور و هم در سطح بین‌المللی هنوز مراحل تحقیق و توسعه را سپری می‌کند.

۳-۹- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

سیاست‌گذاری‌های کلان ملی و بین‌المللی در حوزه انرژی و محیط‌زیست و سلامتی، می‌تواند در توسعه این فناوری از بعد اقتصادی بودن کمک‌کننده باشد و جذابیت لازم برای تولید بتن‌های الکتروترمال در مقیاس‌های تجاری را فراهم کند.



۱۰



ترکیب سیمانی
تقویت شده با نانولوله های
کربنی چند جداره

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱- ویژگی مورد انتظار از فناوری فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟

در حوزه مصالح پیشرفته و به‌طور خاص ترکیبات سیمانی، با هدف بهبود فرآیند تکامل حرارت هیدراتاسیون در مواد مبتنی بر سیمان، این محصول می‌تواند با توسعه فرمول‌بندی‌های جدید و روش‌هایی برای بهبود خواص، دوام و عملکرد کلی سیمان و بتن در صنعت ساخت‌وساز را بهبود بخشد.

حوزه مواد سیمانی با چالش‌های مهمی در بهینه‌سازی راندمان فرآیند هیدراتاسیون مواجه است که می‌تواند بر توسعه خواص بتن تأثیر بگذارد. درک متعارف سینتیک هیدراتاسیون و تکامل گرما در ترکیبات مبتنی بر سیمان، توانایی تنظیم انتشار گرما در مراحل اولیه و عملکرد کلی بتن را محدود کرده است. روش‌های موجود در کنترل فاز القایی دقت کافی ندارند و از مزایای بالقوه ترکیب نانولوله‌های کربنی چندجداره (MWCNTs) در ماتریس‌های سیمانی محروم هستند.

وجود نانولوله کربنی چندجداره (MWCNT) در ترکیب سیمانی پیشرفته، منجر به افزایش ارزیابی تکامل حرارت هیدراتاسیون در پایه مواد سیمانی می‌شود. این مواد در فرایند و سرعت هیدراتاسیون در سیمان تغییر ایجاد می‌کنند. در این ترکیب کاهش قابل توجهی در انتشار گرما در مراحل اولیه در طول فرآیند هیدراتاسیون وجود دارد که بر پتانسیل آن برای کاربردهای کنترل شده و کارآمد انرژی تأکید می‌کند. تأخیر عمدی در دوره شتاب، که تقریباً ۲۷ ساعت در کنار ترکیب‌های مرجع افزایش می‌یابد، بر ظرفیت ترکیب سیمانی موردنظر برای سینتیک‌های مناسب تأکید می‌کند.

با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد نانولوله‌های کربنی، تقویت ترکیب سیمانی با نانولوله‌های کربنی چندجداره می‌تواند مزیت‌های زیر را به کامپوزیت سیمانی اضافه کند. نانولوله‌های کربنی به علت دارا بودن مساحت سطح کل بالا، قادر به تسریع درجه هیدراتاسیون، در نتیجه پر کردن منفذهای سیمان و ایجاد ریزساختار متراکم هستند و در نتیجه پتانسیل خوبی برای بهبود خواص مکانیکی دارند. بهبود خواص مکانیکی به‌ویژه در سنین پایین گواهی بر اثربخشی این نانومواد در کمک به ایجاد مقاومت‌های فشاری، خمشی و کششی است. از طرف دیگر با توجه به عملکرد خوب حسگرهای نانوکامپوزیت نانولوله کربنی به دلیل هم‌ترازی خوب نانولوله‌ها، پراکندگی و اثرات سطحی برای تشخیص بهتر گاز یا مولکول‌های زیستی، این نانولوله‌ها می‌توانند کامپوزیت سیمانی را به کامپوزیت حسگر تبدیل کنند. اضافه شدن این ویژگی به کامپوزیت سیمانی می‌تواند سرعت و هزینه نظارت بر رفتار سازه را بهبود بخشد.

۱-۲- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

در ساخت بتن‌های پیشرفته در تمامی زمینه‌ها قابل بکارگیری است. با هدف کاهش میزان مصرف سیمان در بتن برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن در مقیاس جهانی این ویژگی را دارد که در تمامی محصولات بتنی در صنعت ساختمان و سایر صنایع به‌کار رود. اطلاع از میزان و نمودار تغییرات گرمایش آزاد شده در طی فرایند هیدراتاسیون می‌تواند منجر به دستیابی به بتن‌های پیشرفته با استحکام بهینه در شرایط زمانی مشخص در طی فرایند گیرش شود. سایر کاربردهای سیمان یا بتن‌های مبتنی بر نانولوله کربنی چندجداره عبارت‌اند از:

- **ساختمان‌های بلند:** استفاده از ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره می‌تواند به افزایش مقاومت و کاهش وزن ساختمان‌های بلند کمک کند، که این امر در پروژه‌های بزرگ شهری بسیار حائز اهمیت است.
- **زیرساخت‌های حمل‌ونقل:** در ساخت جاده‌ها و پل‌ها، استفاده از این ترکیب می‌تواند به افزایش دوام و کاهش هزینه‌های نگهداری کمک کند.
- **محصولات پیش‌ساخته:** در تولید محصولات پیش‌ساخته بتنی، ترکیب سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره می‌تواند به بهبود خواص مکانیکی و کاهش زمان ساخت کمک کند.
- **مواد مبتنی بر سیمان خودحسگر را می‌توان به عناصر حسگر کوچک تبدیل و سپس جاسازی کرد.**
- **بتن‌های چاپ سه‌بعدی (3D Printed Concrete, (3DPC)):** برای پرینت سه‌بعدی موفق، بتن باید دارای خواص

رئولوژیکی دوگانه باشد. از یک طرف، بتن باید به اندازه کافی سیال باشد تا پمپ شود و اکستروود شود، که عمدتاً تحت تأثیر نسبت مخلوط و انتخاب مواد است و از طرف دیگر باید به اندازه کافی جامد و سفت باشد تا شکل خود را حفظ کند و وزن خود و لایه بالایی را تحمل کند. هرچه ویسکوزیته بتن بیشتر باشد، تنش تسلیم کمتر، پلاستیسیته عالی‌تر و کارایی بهتر خواهد بود. برای 3DPC باید مشکلات را از جنبه‌های زیر حل کنیم: (۱) کاهش گرمای هیدراتاسیون و زمان گیرش (3DPC، ۲) بهبود استحکام اولیه، (۳) کاهش تغییر شکل انقباض 3DPC. مطالعات نشان داده‌اند که مواد افزودنی مانند نانولوله کربنی چندجداره، می‌تواند کارایی مخلوط 3DPC را بهبود، فرآیند اکستروژن را کاهش داده و کیفیت چاپ را بهبود بخشد.^۱

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه بر اساس این فناوری

مواد نانو در زمینه‌های مختلفی شامل پزشکی، ساخت‌وساز و صنعت خودرو و... استفاده شده‌اند ولی حوزه ساختمانی یکی از اصلی‌ترین و سودمندترین موارد استفاده از مواد نانو است. استفاده از مواد نانو در بتن، فولاد و شیشه، می‌تواند باعث بهبود خواص و ویژگی‌های آن‌ها و کاهش آلودگی محیط‌زیست شود. ثابت شده است نانولوله‌های کربنی چندجداره به دلیل مقاومت و مدول الاستیسته بالا در میان نانوذرات خواص بهتری دارند و انتخاب امیدوارکننده‌تری هستند. این مواد با ضریب یانگ حدود 1 TPa و مقاومت کششی استثنایی در محدوده ۲۰-۱۵۰ GPa کاندیدهای ایده‌آل برای تقویت سیمان و بتن به نظر می‌رسند به طوری که می‌توانند باعث جلوگیری از انتشار ریزترک‌ها شوند. بتن‌های حاوی نانولوله کربنی چندجداره دارای ویژگی‌های عملکردی برتر در تقویت مکانیکی، هدایت الکتریکی و پیزوالکتریک و کاهش انتشار مواد گلخانه‌ای و قابلیت کنترل زمان و نحوه گیرش و استحکام‌دهی هستند.

۱-۴- مزیت (های) کلیدی این فناوری (کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و...)

ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره دارای مزایای کلیدی متعددی است که می‌تواند به بهبود عملکرد و کاهش هزینه‌ها در پروژه‌های ساختمانی کمک کند. برخی از این مزایا عبارت‌اند از:

- ۱. افزایش مقاومت مکانیکی:** نانولوله‌های کربنی چندجداره به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود، می‌توانند به طور قابل توجهی مقاومت کششی و فشاری سیمان را افزایش دهند.
- ۲. کاهش وزن:** استفاده از نانولوله‌های کربنی چندجداره می‌تواند به کاهش وزن ترکیب سیمانی کمک کند، که این امر در پروژه‌های بزرگ می‌تواند به صرفه جویی در هزینه‌های حمل‌ونقل و ساخت کمک کند.
- ۳. بهبود دوام و عمر مفید:** نانولوله‌های کربنی چندجداره می‌توانند به افزایش مقاومت در برابر عوامل محیطی و شیمیایی کمک کنند، که منجر به افزایش عمر مفید سازه‌ها می‌شود.
- ۴. کاهش هزینه‌ها:** با افزایش کارایی و کاهش نیاز به مواد دیگر، هزینه‌های کلی پروژه می‌تواند کاهش یابد.
- ۵. کاهش نفوذپذیری:** نانولوله‌های کربنی چندجداره می‌توانند به کاهش نفوذپذیری آب و مواد شیمیایی در سیمان کمک کنند، که این امر به بهبود مقاومت در برابر خوردگی و آسیب‌های محیطی کمک می‌کند. این مزایا می‌توانند به طور قابل توجهی به بهبود کیفیت و کارایی پروژه‌های ساختمانی کمک کنند و به همین دلیل، استفاده از ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره در حال افزایش است. همچنین استفاده از فرایندهای سونیکیشن برای انتشار بسیار خوب و یکنواخت نانولوله‌های کربنی چندجداره و کنترل میزان آن در بازه ۰/۵ تا ۰/۲ درصد وزنی از کل سیمان، از مزیت‌های این فناوری است. ترکیب سیمانی تقویت شده را می‌توان در ساخت بتن با کارایی بالا به کار برد که خواص مکانیکی برتر را ارائه می‌دهد. ویژگی‌های تکامل حرارتی بهینه آن به فرآیند هیدراتاسیون کنترل شده و کارآمد کمک می‌کند و در نتیجه بتن با استحکام، دوام و عملکرد کلی بهتر به دست می‌آید.

۱. Frontiers | Developments and Applications of Carbon Nanotube Reinforced Cement-Based Composites as Functional Building Materials (frontiersin.org)

۱-۵- نانوذرات بهره گرفته شده در این فناوری (از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

تقویت بتن و ماتریس‌های سیمانی حاوی نانولوله‌های کربنی چند جداره به عوامل مختلفی از جمله کیفیت پراکندگی، برهمکنش و استحکام پیوند آن‌ها با ماتریس سیمان بستگی دارد. نانولوله‌های کربنی به دو گروه تک جداره (SWCNT) و چند جداره (MWCNT) تقسیم می‌شوند. نانولوله‌های کربنی چند جداره در دامنه وزنی ۰/۰۵ تا ۰/۲ درصد وزنی استفاده می‌شوند. می‌توان گفت دو چالش اصلی برای معرفی نانولوله‌های کربنی در ماتریس‌های سیمانی وجود دارد: یکی همگن سازی توزیع CNT ها در ماتریس و دیگری تنظیم تعامل CNT ها با ترکیبات حاصل از هیدراتاسیون سیمان.

برای تولید ترکیب سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چند دیواره و به کارگیری محصولات نانویی، از فناوری‌های نانویی زیر بهره گرفته می‌شود:

۱. **روش‌های سنتز نانولوله‌های کربنی:** شامل روش‌های شیمیایی بخار (CVD) و روش‌های آتش زنی، که برای تولید نانولوله‌های کربنی با کیفیت بالا استفاده می‌شوند.

۲. **تکنیک‌های پراکنده سازی نانوذرات:** پراکنده کردن همگن نانولوله‌های کربنی در ماتریس سیمان دشوار است؛ از طرف دیگر برای اینکه نانولوله‌های کربنی تأثیر مفیدی بر خصوصیات مکانیکی کامپوزیت پایه سیمان داشته باشند، پراکندگی مناسب نانولوله‌های کربنی اجباری است. فناوری سونیکیشن Sonication برای انتشار یکنواخت این نانوماده در کل ترکیب استفاده می‌شود. این ترکیب پیشگام، سیمان پرتلند معمولی (OPC) را به عنوان ماتریس پایه خود ادغام می‌کند و NANOCYLNC7000 MWCNT را در خود جای داده است که با مشخصات دقیق مشخص می‌شود: طول متوسط ۱/۵ میکرومتر، متوسط قطر ۹/۵ نانومتر و خلوص ۹۰ درصد. کنترل دقیقی بر روی ادغام MWCNT ها اعمال می‌شود که در محدوده دوز ۰/۰۵ تا ۰/۲ درصد وزنی نسبت به وزن سیمان محدود می‌شود. این ادغام دقیق با ادغام یک فوق روان کننده مبتنی بر نفتالین تسهیل می‌شود و پراکندگی سازگار و کارآمد را تضمین می‌کند.

۳. **روش‌های اصلاح سطح:** برای بهبود تعامل نانولوله‌های کربنی چند جداره با ماتریس سیمان، ممکن است از روش‌های شیمیایی یا فیزیکی برای اصلاح سطح نانولوله‌ها استفاده شود.

۴. **روش‌های قالب گیری و شکل دهی نانوکامپوزیت‌ها:** برای تولید محصولات نهایی، از روش‌های مختلفی مانند قالب گیری فشاری، اکستروژن و روش‌های دیگر استفاده می‌شود.

۱-۶- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری (از تولید نانوذرات اولیه تا تولید محصول میانی تا تولید محصول نهایی و به کارگیری محصول)

زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر ترکیب سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چند جداره شامل چندین مرحله کلیدی است که از تولید نانوذرات اولیه آغاز شده و تا به کارگیری محصول نهایی ادامه می‌یابد. به طور کلی، زنجیره ارزش این فناوری نیازمند همکاری نزدیک بین تولیدکنندگان نانوذرات، تولیدکنندگان مصالح ساختمانی، پیمانکاران و محققان است تا بتوانند به بهینه سازی و توسعه مستمر این محصولات بپردازند. در زیر به توصیف این مراحل پرداخته می‌شود:

۱. **تولید نانوذرات اولیه:** در این مرحله، نانولوله‌های کربنی چند جداره از طریق روش‌های مختلفی مانند روش‌های شیمیایی بخار (CVD)، روش‌های الکتروشیمیایی یا روش‌های فیزیکی تولید می‌شوند. این نانوذرات باید دارای کیفیت بالا و ویژگی‌های مشخصی باشند تا بتوانند در ترکیب‌های سیمانی به کار روند.

۲. **تولید محصول میانی:** نانولوله‌های کربنی چند جداره تولید شده به ترکیبات سیمانی اضافه می‌شوند. این مرحله شامل فرایندهایی مانند مخلوط کردن، همگن سازی و آماده سازی ترکیب است. در این مرحله، نسبت‌های مناسب نانولوله‌ها به سیمان و دیگر مواد افزودنی تعیین می‌شود تا خواص مکانیکی و دوام بهینه حاصل شود.

۳. **تولید محصول نهایی:** ترکیبات سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چند جداره به شکل‌های مختلفی مانند بتن، ملات یا مصالح ساختمانی دیگر تولید می‌شوند. این محصولات نهایی ممکن است در قالب بلوک‌های ساختمانی، پانل‌ها یا دیگر اشکال ساختمانی تولید شوند. در این مرحله، کنترل کیفیت و آزمایش‌های مختلف برای اطمینان از عملکرد و دوام محصول انجام می‌شود.

۴. **به کارگیری محصول:** محصولات نهایی در پروژه‌های ساختمانی و زیرساخت‌های عمرانی به کار گرفته می‌شوند. این مرحله شامل نصب و استفاده از مصالح در ساخت و ساز است. همچنین، آموزش و آگاهی رسانی به پیمانکاران و مهندسان در مورد

مزایای استفاده از این ترکیب‌ها می‌تواند به پذیرش بیشتر آن‌ها کمک کند.

۵. بازخورد و بهبود: پس از به‌کارگیری محصولات، جمع‌آوری بازخورد از کاربران و پیمانکاران برای بهبود کیفیت و عملکرد محصولات ضروری است. این اطلاعات می‌تواند به تحقیقات و توسعه بیشتر در زمینه بهینه‌سازی ترکیبات سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره کمک کند.

۶. تحقیقات و توسعه: این مرحله شامل تحقیقات علمی و تجربی برای درک بهتر رفتار نانولوله‌های کربنی در ترکیب با سیمان و شناسایی روش‌های جدید برای بهبود خواص مکانیکی و شیمیایی این ترکیب‌ها است. همکاری با دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی می‌تواند به پیشرفت‌های قابل‌توجهی در این زمینه منجر شود.

۷. بازاریابی و فروش: برای موفقیت در بازار، نیاز به استراتژی‌های بازاریابی مؤثر است که شامل شناسایی بازار هدف، تبلیغات و ترویج مزایای استفاده از ترکیبات سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره می‌شود. این مرحله می‌تواند شامل نمایشگاه‌ها، کنفرانس‌ها و سمینارها باشد که در آن‌ها مزایای این فناوری به نمایش گذاشته می‌شود.

۸. پشتیبانی و خدمات پس از فروش: ارائه خدمات پس از فروش و پشتیبانی فنی به مشتریان می‌تواند به افزایش اعتماد و رضایت مشتریان کمک کند. این خدمات می‌تواند شامل مشاوره در مورد استفاده بهینه از محصولات و پاسخ به سؤالات فنی باشد.

۹. توسعه پایدار: در نهایت، توجه به جنبه‌های محیط‌زیستی و پایداری در تولید و استفاده از این ترکیب‌ها اهمیت دارد. استفاده از مواد اولیه پایدار و کاهش اثرات محیط‌زیستی در طول زنجیره ارزش می‌تواند به جذب مشتریان و افزایش پذیرش این فناوری کمک کند.

به‌طور کلی، زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر ترکیب سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره یک فرآیند پیچیده و چندمرحله‌ای است که نیازمند همکاری و هماهنگی بین بخش‌های مختلف صنعت و تحقیق است تا به بهبود کیفیت و عملکرد این محصولات و در نهایت به توسعه پایدار در صنعت ساخت‌وساز منجر شود.

۱-۷- فناوری‌های رقیب

(از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

فناوری‌های رقیب عبارت‌اند از:

■ **بتن‌های معمولی و تقویت‌شده:** بتن‌های متداول با خواص استحکامی بالا با استفاده از نانوذرات سیلیکا و بتن‌های تقویت‌شده متداول با خواص استحکامی بالا با استفاده از الیاف (مانند الیاف شیشه) و یا میلگردها هنوز در بسیاری از پروژه‌های عمرانی استفاده می‌شوند. این مواد به دلیل هزینه پایین و در دسترس بودن، رقبای اصلی ترکیب سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره هستند.

■ **مواد کامپوزیتی:** کامپوزیت‌های پلیمری و کامپوزیت‌های پایه معدنی نیز به‌عنوان رقبای این ترکیب در نظر گرفته می‌شوند. این مواد معمولاً خواص مکانیکی خوبی دارند و در برخی کاربردها می‌توانند جایگزین مناسبی باشند.

■ **فناوری‌های نوین در مصالح ساختمانی:** فناوری‌های جدید مانند بتن‌های خودترمیم‌کننده و بتن‌های هوشمند نیز در حال توسعه هستند و می‌توانند به‌عنوان رقبای جدی برای ترکیب سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره مطرح شوند.

برای رفع نیازهای مرتبط با ترکیب سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره (MWCNTs)، از شیوه‌های زیر بهره گرفته می‌شود:

۱. **تحقیق و توسعه مواد جدید:** بررسی و توسعه نانوذرات و ترکیبات جدید که می‌توانند به بهبود خواص سیمان کمک کنند.

۲. **بهینه‌سازی فرایند تولید:** بهبود روش‌های تولید نانولوله‌های کربنی و نانوذرات به‌منظور افزایش کیفیت و کاهش هزینه‌ها در این بخش مدنظر است.

۳. **توسعه فناوری‌های پراکنده‌سازی:** استفاده از تکنیک‌های پیشرفته برای توزیع یکنواخت نانولوله‌ها و نانوذرات در مخلوط سیمانی باید مورد توجه قرار داده شود.

۴. **آزمایش و ارزیابی خواص:** انجام آزمایش‌های مختلف برای ارزیابی خواص مکانیکی، حرارتی و شیمیایی ترکیبات سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره حائز اهمیت ویژه‌ای هستند.

۵. **مدل‌سازی و شبیه‌سازی:** استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی برای پیش‌بینی رفتار و عملکرد ترکیب‌های سیمانی در شرایط مختلف می‌تواند بسیار سودمند باشد.

۶. آموزش و آگاهی‌رسانی: برگزاری کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی برای مهندسان و متخصصان صنعت ساخت‌وساز به منظور آشنایی با فناوری‌های نانو و کاربردهای آن باید در دستور کار قرار داده شود.

۷. همکاری با صنایع: همکاری با صنایع مختلف برای پیاده‌سازی و آزمایش محصولات نانویی در پروژه‌های واقعی را نباید از خاطر برد.

این شیوه‌ها می‌توانند به بهبود عملکرد و کارایی ترکیب سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره کمک کنند و نیازهای مختلف صنعت ساخت‌وساز را برآورده سازند.

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

فناوری‌های مکمل نیز عبارت‌اند از:

۱. فناوری‌های نانویی دیگر: استفاده از نانوذرات دیگر مانند نانوسیلیس و نانوالومینا می‌تواند به عنوان مکملی برای نانولوله‌های کربنی چندجداره در بهبود خواص ترکیب سیمانی عمل کند. این مواد می‌توانند به افزایش مقاومت و دوام بتن کمک کنند.

۲. فناوری‌های پایدار: استفاده از مواد بازیافتی و پایدار در ترکیب با نانولوله‌های کربنی چندجداره می‌تواند به بهبود عملکرد محیط‌زیستی این ترکیب کمک کند. به عنوان مثال، استفاده از خاکستر بادی یا سرباره کوره بلند به عنوان افزودنی می‌تواند خواص بتن را بهبود بخشد.

۳. فناوری‌های پیشرفته در تولید: روش‌های نوین تولید مانند چاپ سه‌بعدی و فناوری‌های مدرن در ساخت‌وساز می‌توانند به بهینه‌سازی استفاده از ترکیب سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره کمک کنند و به عنوان مکملی برای این فناوری عمل کنند.

۴. همچنین همان‌طور که در بالاتر اشاره شد یکی از چالش‌های اصلی برای معرفی نانولوله‌های کربنی چندجداره در ماتریس‌های سیمانی، همگن‌سازی توزیع آن‌ها در ماتریس سیمانی است و لذا فناوری‌های مربوط به پخش کردن نانولوله‌های کربنی چندجداره از اهمیت بالایی برخوردار خواهند بود.

۵. همچنین چالش بعدی تنظیم تعامل نانولوله‌های کربنی چندجداره با ترکیبات حاصل از هیدراتاسیون سیمان گفته شد و لذا فناوری‌های مربوط به آماده‌سازی افزودنی‌های مورد نظر در ترکیب سیمانی برای حل این چالش مهم به نظر می‌رسد. روش‌های مختلف شیمیایی و فیزیکی برای پراکندگی نانولوله‌های کربنی چندجداره در محلول آبی، مواد پلیمری و مواد سیمانی استفاده شده است. در روش شیمیایی از طریق عامل‌دار کردن نانولوله‌های کربنی چندجداره و اصلاح سطحی و با استفاده از پیوند کووالانسی و تشکیل گروه‌های عاملی هیدروکسیل (OH) یا کربوکسیل (COOH)، نانولوله کربنی از یک ماده نامحلول به یک ماده حل‌شدنی تبدیل می‌شود. در روش فیزیکی از طریق پیوند غیر کووالانسی و با استفاده از انواع مختلف سورفکتانت‌ها، نانولوله‌های کربنی در آب و مواد سیمانی حل می‌شوند. یکی دیگر از روش‌های فیزیکی استفاده از التراسونیک است که باعث تسهیل در پراکندگی نانولوله‌های کربنی در محلول آب می‌شود.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی‌ای را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

فعالیت در زمینه ترکیب سیمان تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره به‌طور قطع فرصت‌های تحقیقاتی متعددی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد. این فناوری نه تنها در صنعت ساخت‌وساز و ساخت بتن‌های پیشرفته با استفاده از علوم نانو، بلکه در زمینه‌های مختلفی مانند مهندسی مواد، نانو تکنولوژی، علوم محیطی، علوم پزشکی، مهندسی پزشکی، علوم مواد نوین، الکترونیک، صنعت نفت و ذخیره‌سازی انرژی کاربردهای بسیار زیادی دارند. برخی از فرصت‌های تحقیقاتی شامل موارد زیر است:

۱. بهبود خواص مکانیکی: تحقیقات بیشتر می‌تواند به شناسایی روش‌های جدید برای بهبود خواص مکانیکی و شیمیایی ترکیب‌های سیمانی منجر شود.

۲. تحلیل رفتار نانولوله‌ها: بررسی رفتار نانولوله‌های کربنی چندجداره در ترکیب با سیمان و تأثیر آن‌ها بر روی خواص مختلف می‌تواند به درک بهتری از این مواد کمک کند.

۳. **پایداری و اثرات محیط‌زیستی:** تحقیق در مورد اثرات محیط‌زیستی استفاده از نانولوله‌های کربنی چند جداره و راه‌های کاهش اثرات منفی آن‌ها می‌تواند به توسعه پایدار کمک کند.
 ۴. **کاربردهای جدید:** شناسایی و توسعه کاربردهای جدید برای این ترکیب‌ها در صنایع مختلف، از جمله انرژی و حمل‌ونقل، می‌تواند زمینه‌های تحقیقاتی جدیدی را ایجاد کند.
 ۵. **همکاری‌های بین‌رشته‌ای:** این حوزه می‌تواند به همکاری‌های بین‌رشته‌ای بین مهندسان، دانشمندان مواد، و محققان نانو تکنولوژی منجر شود که به پیشرفت‌های قابل توجهی در این زمینه کمک خواهد کرد.
- بنابراین، این فناوری به هیچ‌وجه منزوی نیست و می‌تواند به عنوان یک زمینه تحقیقاتی غنی و پویا در نظر گرفته شود.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی (آیا این اثر/ فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

به طور کلی، این فناوری می‌تواند به توسعه پایدار و بهبود شرایط اقتصادی منجر شود و به حل یا کاهش شدت برخی مسائل اجتماعی و محیط‌زیستی کمک کند. به عنوان مثال استفاده از نانولوله‌های کربنی چند جداره می‌تواند به بهبود خواص مکانیکی و دوام سیمان کمک کند. این امر می‌تواند منجر به کاهش ضخامت و وزن سازه‌ها شود و در نتیجه مصرف مواد اولیه و انرژی در تولید و حمل‌ونقل را کاهش دهد. از طرف دیگر سازه‌های تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چند جداره می‌توانند عمر طولانی‌تری داشته باشند و نیاز به تعمیرات و بازسازی کمتری داشته باشند. این امر می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و در نتیجه بهبود کیفیت زندگی در جوامع کمک کند. همچنین استفاده از مواد نوآورانه مانند نانولوله‌های کربنی چند جداره می‌تواند به توسعه پایدار در ساخت و ساز کمک کند و به جوامع این امکان را بدهد که زیرساخت‌های مقاوم‌تری بسازند که در برابر تغییرات اقلیمی و بلایای طبیعی مقاوم‌تر باشند. می‌توان به این نکته نیز اشاره کرد که توسعه و تولید این نوع مواد می‌تواند فرصت‌های شغلی جدیدی در زمینه‌های تحقیق و توسعه، تولید و ساخت و ساز ایجاد کند.

از طرفی استفاده از ترکیب سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چند جداره باعث کاهش مصرف سیمان در ساخت بتن و در نتیجه منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده و از طریق افزایش استحکام بتن نهایی یا ملات‌های سیمانی می‌تواند افزایش طول عمر سازه و کاهش مصرف و صرفه‌جویی در منابع اولیه را به دنبال داشته باشد. بنابراین استفاده از نانولوله‌های کربنی چند جداره برای کاهش مصرف سیمان در تولید بتن در مقیاس کلان بسیار حائز اهمیت بوده و از نظر اجتماعی و محیط‌زیستی بسیار راهبردی و مهم است.

تحلیل بین‌المللی

۲-۱- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

- بازیگران در حوزه R&D
- بازیگران صنعتی/تجاری در مراحل مختلف زنجیره ارزش
- نهادهای سیاست‌گذار و نهادهای تنظیم مقررات در سطح بین‌المللی

پتنت‌هایی در این زمینه در حوزه نوآوری در بتن وجود دارد:

MULTI-WALLED CARBON NANO TUBE (MWCNT)-ENHANCED CEMENTITIOUS COMPOSITION FOR ADVANCED HYDRATION HEAT EVOLUTION

Application Number: 202331081044 (22) Filing Date: 29/11/2023 (43) Publication Date: 19/01/2024
Applicant(s): Maduri, Praveen Kumar Singh, Kushagra Soni, Apurva, Inventor(s): Maduri, Praveen Kumar Singh, Kushagra Soni, Apurva

یکی از اهداف این فناوری نشان دادن کاهش قابل توجه در انتشار گرما در مراحل اولیه هیدراتاسیون است که پتانسیل تا 12.39% مقادیر حرارت کمتر را پس از 12 ساعت برای دوزهای خاص MWCNT و مدت زمان هم‌زدن فراصوت نشان می‌دهد. این کاهش در انتشار حرارت در مراحل اولیه به بهبود کنترل بر فرآیند هیدراتاسیون کمک می‌کند و امکان توسعه قابل پیش‌بینی‌تر و متناسب‌تر خواص بتن را فراهم می‌کند.

تعدادی از مقالات:

Influence of multi-walled carbon nanotubes on the hydration products of ordinary Portland cement paste^۱

MWCNT ها منجر به افزایش کسر هیدرات‌های سیلیکات کلسیم با چگالی بالا و رشد هیدروکسید کلسیم می‌شود. افزودن ۰/۵-۰/۱ درصد وزنی MWCNT منجر به افزایش ۲۰۰ درصدی در کسر حجمی C-S-H با چگالی بالا شد. MWCNT ها منجر به کاهش کسر مزوپور و افزایش تخلخل ژل C-S-H می‌شود. برای MWCNT های ۰/۵-۰/۱ درصد وزنی، بیش از نیمی از تخلخل به صورت منافذ ژل کوچک (۲-۱۰ نانومتر) وجود دارد. MWCNT ها مقاومت در برابر انتشار ترک را از طریق میکرومکانیسم‌های سفت‌کننده پل رباط افزایش می‌دهند.

Effects of carbon nanotubes on the early-age hydration kinetics of Portland cement using isothermal calorimetry^۲

نتایج این تحقیق نشان‌دهنده شتاب ۴۵ دقیقه‌ای و افزایش ۱۷ درصدی پیک هیدراتاسیون اصلی در دوز CNT ۰/۱ درصد وزنی بدون فوق‌روان‌کننده بود که نشان‌دهنده افزایش هسته‌زایی با CNT ها است. بنابراین استفاده از نانولوله‌های کربنی منجر به تغییرات در شرایط هیدراتاسیون و تغییر الگوی آن می‌شود.

۱. Influence of multi-walled carbon nanotubes on the hydration products of ordinary Portland cement paste – ScienceDirect

۲. Effects of carbon nanotubes on the early-age hydration kinetics of Portland cement using isothermal calorimetry – ScienceDirect

شرکت EDENCRETE:

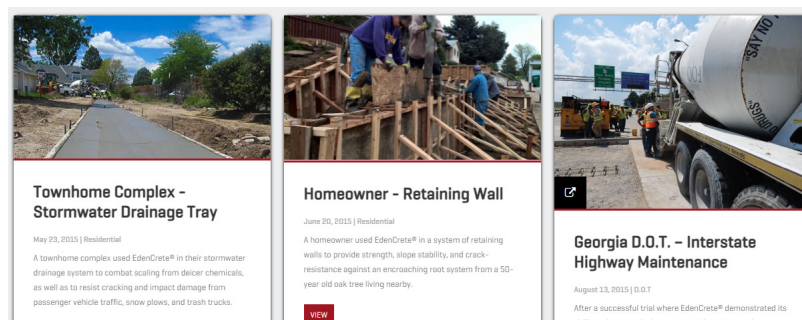
نانولوله‌های کربنی EdenCrete وقتی به مخلوط‌های بتن اضافه می‌شود، فضاهایی را در سطح نانوسکوپی بین ذرات سیمان هیدراته پر می‌کند. هنگامی که بتن سخت می‌شود، به جای ایجاد حفره‌های متخلخل که به آب اجازه نفوذ می‌دهد یا شکاف ایجاد می‌کند، این نانولوله‌ها میلیون‌ها پل کربنی انعطاف‌پذیر و قوی را در سراسر ساختار ایجاد می‌کنند. EdenCrete® را می‌توان در مخلوط‌هایی استفاده کرد که حاوی هر یک از انواع مختلف ترکیبات شیمیایی هستند که معمولاً در بازار استفاده می‌شود. EdenCrete® برای به دست آوردن ترکیب مورد نظر نیازی به تغییر فرمولاسیون یا رویه ندارد. طیف وسیعی از سازگاری برای پیمانکاران، معماران / مهندسان و شرکت‌های مخلوط آماده وجود دارد. این محصولات به شکل مایع آماده استفاده بدون نیاز به وسایل پیچیده هم‌زدن است و به راحتی با مخلوط سیمان و بتن ترکیب می‌شود.^۱

محصولات:

EdenCrete® برای بهبود دوام و استحکام در هر نوع مخلوط بتن طراحی شده است. EdenCrete Pz® برای بهبود دوام و استحکام بتن با استفاده از خاکستر بادی و/یا سرباره به عنوان جایگزینی برای سیمان طراحی شده است.

برنامه‌های کاربردی خاص:

- زمانی که به سطح سخت‌تری نیاز دارید: هنگام ساخت پیاده‌روها، جاده‌ها یا جاده‌هایی که نیاز به سایش دارند، EdenCrete® برتری را ارائه می‌کند.
- حفاظت: زمانی که به دوام و انعطاف‌پذیری در برابر شرایط تهاجمی حین سرویس نیاز دارید. EdenCrete® یک مخلوط بتن سخت‌تر و بادوام‌تر ایجاد می‌کند که ممکن است به معماران/مهندسان اجازه دهد فولاد کمتری را مصرف کنند. آرماتور یا دال بتنی نازک‌تر می‌شود.
- وقتی آب وجود دارد: EdenCrete® نفوذپذیری بتن را کاهش می‌دهد که نفوذ رطوبت را کاهش می‌دهد و آن را برای استفاده در زیرساخت‌هایی مانند توزیع آب، پل‌ها، اسکله‌ها، سدها و قفل‌هایی ایده‌آل می‌کند که در آن خوردگی فولاد یک نگرانی است.
- زمانی که شاتکریت نیاز به پمپاژ بدون جداسازی دارد: از EdenCrete® برای بهبود توانایی شاتکریت در پمپاژ، شلیک و حکاکی استفاده کنید. مخلوط به راحتی از طریق شیلنگ بدون جداسازی حرکت می‌کند و به اپراتورهای پمپ اجازه می‌دهد فشار، گردوغبار و ضایعات ناشی از برگشت را کاهش دهند (شکل ۱).^۲



شکل ۱- مورفولوژی و بکارگیری بتن‌های مقاوم شده با محصول Edencrete

۱. EdenCrete Brochure AUNZ (fosroc.com.au)

۲. Products – EdenCrete

❑ شرکت CHASM:

NTEC-C CHASM بر یکی از موانع اصلی کربن زدایی بتن غلبه می‌کند: کاهش میزان سیمان در بتن بدون به خطر انداختن مقاومت و یکپارچگی کلی آن. با افزودن تنها ۰/۸ درصد CNT به وزن سیمان، استحکام و سفتی آن را افزایش می‌دهد. نتیجه فرصتی برای جایگزینی بیش از ۵۰ درصد با سایر مواد سیمانی مکمل (SCM) مانند خاکستر بادی و سرباره و کاهش بالقوه بیش از ۳۰ میلیون تن دی‌اکسید کربن در ایالات متحده است.

CHASM Advanced Materials هم به عنوان تولیدکننده CNT ها و هم توسعه دهنده برنامه‌های کاربردی جدید در بازار منحصربه فرد است. این ما را قادر می‌سازد تا فرآیند تولید MW-CNT های بهینه سیمان را توسعه دهیم. از یک برنامه راه اندازی ۱۰۰ کیلوگرم در سال در مقیاس آزمایشگاهی در سال ۲۰۲۰، ما توانستیم به یک سیستم آزمایشی ۵۰ تن در سال در سال ۲۰۲۲ گسترش دهیم. مرحله بعدی یک راکتور تولید ۱۵۰۰ تن در سال در سال ۲۰۲۴ یا ۲۰۲۵ است که دو برابر بزرگ‌تر از بزرگ‌ترین راکتور MW-CNT در حال کار امروز خواهد بود. ما قادر خواهیم بود سیمان‌های پیشرفته را به تولیدکنندگان سیمان پیشرفته حاوی MW-CNTs عرضه کنیم. فرآیند کوره دوار که ما استفاده می‌کنیم تقریباً بی‌نهایت مقیاس پذیر است. بنابراین برای ساخت راکتورهایی با ۱۰ یا حتی ۱۰۰ برابر بزرگ‌تر نیازی به جهش بزرگی نیست.

یکی از مشکلات MWCNT ها تمایل به کلوخه شدن و به هم چسبیدن است، که باعث کاهش سطح و کاهش کارایی آن‌ها می‌شود. برای جلوگیری از این امر، CHASM دو سیستم پراکندگی را توسعه داده است. اولی آن‌ها را در گلوله‌های محلول در آب محصور می‌کند. این برای تولیدکنندگان مخلوط آماده، درست مانند هر افزودنی دیگر، طراحی شده است. رویکرد دوم پیوند مستقیم MW-CNTs به ذرات سیمان برای تولید چیزی است که ما آن را "سیمان فعال" می‌نامیم. محصول نهایی یک افزودنی در پایان فرآیند در کارخانه سیمان است، دقیقاً مانند مراحل ترکیبی که امروز داریم. همچنین ترکیب این دو روش برای عملکرد حتی بیشتر امکان پذیر است.

MW-CNT ها همچنین ممکن است کاربردهای «بتن هوشمند» را ارائه دهند. به عنوان مثال، CHASM Advanced Materials همچنین در حال بررسی چگونگی استفاده از خواص رسانایی CNT ها برای اندازه‌گیری تنش در سازه‌هایی

سطح آمادگی بازار		مانند پل‌ها و همچنین ارزیابی ایمنی ساختمان پس از زلزله است.
۹	خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار	
۸	شناسایی متخصصان دارای توانمندی	
۷	تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل	
۶	ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه حل	
۵	شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل (مانند راهبری پروژه)	
۴	کمی سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید	
۳	شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید	
۲	شناسایی یک نیاز بخصوص	
۱	شکل گیری این احساس که (چیزی کم است)	

سطح آمادگی فناوری	سطح آمادگی فناوری
۹	راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه اندازی خط تولید
۸	تکمیل سیستم نهایی/ افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت
۷	اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی
۶	دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد
۵	دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد
۴	دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی
۳	اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه
۲	معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن
۱	مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

این محصول در وضعیت آمادگی فناوری (TRL) برابر ۶ و از نظر آمادگی بازار (MRL) نیز برابر ۷ قرار دارد.

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

محصول بتن حاوی نانولوله‌های کربنی در مراحل اولیه چرخه عمر و در مرحله تولد است.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش روی فناوری

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

■ پیشران‌های فنی: وجود مواد نانویی و ترکیبات مختلف مورد استفاده در صنعت سیمان و بتن مانند بهبوددهنده‌ها و ... و همچنین ساخت نانولوله کربنی چندجداره به صورت عمده و صنعتی در شرکت‌های مطرح دنیا از پیشران‌های فنی این موضوع است.

■ چالش‌های فنی: از نظر فنی نانولوله‌های کربنی چنددیواره غیر بهینه در کاربردهای سیمان به خوبی عمل نمی‌کنند. به عنوان مثال، نانولوله‌های کربنی چندجداره طولانی‌تر برای استحکام بهترین هستند. اما اگر از نانولوله‌های کربنی چنددیواره طولانی‌تر استفاده کنید، بتن آن قدر ضخیم و مستحکم می‌شود که غیرقابل اجرا می‌شود. این باعث شده است که برخی از کاربران بالقوه کارکرد تمام نانولوله‌های کربنی چنددیواره را زیر سؤال ببرند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

■ پیشران‌های اقتصادی: کاهش مصرف سیمان و همچنین وزن بتن‌های تولید شده و افزایش استحکام در بلندمدت منجر به کاهش هزینه‌های بتن در ساخت و ساز می‌شود.

■ چالش‌های اقتصادی: منفعت تولیدکنندگان سیمان در درجه اول از کاهش بالقوه حجم کلینکر استفاده شده است که انرژی برترین و گران‌ترین جزء سیمان است. اگر خط پایه OPC تولید شده با هزینه ۵۰ دلار آمریکا را در نظر بگیریم، تغییر به ترکیب ۵۰:۵۰ OPC و SCM در دسترس محلی با قیمت ۵ دلار آمریکا در تن، با ۱۰ درصد از نانولوله‌های کربنی چندجداره، هزینه تولید را حدود ۱۵ دلار آمریکا در هر تن کاهش می‌دهد. البته، این تفاوت برای کارخانه‌هایی که قبلاً از SCM استفاده می‌کردند کمتر خواهد بود، اما هنوز هم بسیار ارزشمند است. در مواردی که هزینه تولید ثابت بماند یا حتی افزایش یابد، فرصت‌هایی برای استفاده از اعتبار پایداری محصول و مزایای عملکرد برای توجیه افزایش متوسط قیمت وجود دارد. در بازارهایی که انتشار دی‌اکسید کربن باعث مالیات یا سایر هزینه‌ها می‌شود، مزایای استفاده از نانولوله‌های کربنی چنددیواره حتی بیشتر افزایش می‌یابد.^۱

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

■ چالش سلامتی و ایمنی: نسبت بالای تناسب^۲ نانولوله‌های کربنی در صورت استنشاق، خطراتی برای سلامت تنفسی ایجاد می‌کند. با این حال، با نگر داشتن MW-CNT در یک سوسپانسیون، محصور در یک پلیمر محلول در آب، یا حتی متصل به یک ذره سیمان، می‌توانیم تک تک CNTها را به دام بیندازیم و اطمینان حاصل کنیم که چه در حین ساخت و چه در هنگام استفاده، نمی‌توان آن‌ها را استنشاق کرد. این روش‌ها برای اطمینان از ایمنی در طول چرخه عمر آن در حال حاضر در بازارهای بالغ، مانند پلاستیک‌های تقویت شده با نانولوله برای کاربردهای خودرو، به خوبی تثبیت شده‌اند و در صنعت ساخت و ساز نیز باید به کار گرفته شوند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

صنعت ساختمان و ساخت و ساز جهانی بیش از ۳۶ درصد از کل انرژی را مصرف کرده و تقریباً ۳۹ درصد از کل انتشار دی‌اکسید کربن را در سال ۲۰۱۸ منتشر کرده است. سیمان به عنوان جزء اصلی بتن، منبع تقریباً ۸ درصد از کل انتشار دی‌اکسید کربن در جهان بوده است. بنابراین، کامپوزیت‌های بتن و ملات جدید با کاهش حجم سیمان و دوام بیشتر، مورد نیاز است. اصلاح و جایگزینی مصالح رایج در صنعت ساختمان امروزه از موضوعات مهم تحقیقاتی است. انتظار می‌رود تنها در بازار آمریکا میزان تولید دی‌اکسید کربن با استفاده از تنها ۱۰ درصد نانولوله کربنی چندجداره در بتن، تا ۳۰ میلیون تن در سال کاهش یابد.^۱

با این حال یکی از چالش‌های مربوط به استفاده از این مواد، عدم تمایل شرکت‌های تولیدکننده بتن و سیمان به استفاده از فناوری‌های نوین در محصولات خود است. این امر بزرگ‌ترین مانع در راه تجاری سازی استفاده از نانولوله‌های کربنی چندجداره در صنعت سیمان و بتن است.

۱. Nanotubes in cement (globalcement.com)

۲. Aspect ration

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

تحلیل بازار جهانی ترکیب سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره نشان می‌دهد که این فناوری به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود، به تدریج در حال افزایش توجه در صنعت ساخت و ساز است. بازار ترکیب‌های سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره به دلیل افزایش تقاضا برای مواد ساختمانی با عملکرد بالا و پایداری در حال رشد است. پیش‌بینی می‌شود که این بازار در سال‌های آینده به‌طور قابل‌توجهی گسترش یابد. این ترکیب‌ها در پروژه‌های ساختمانی، زیرساخت‌های عمرانی، و همچنین در تولید مصالح ساختمانی خاص مانند بتن و ملات استفاده می‌شوند. در ذیل به نمونه‌هایی از محصول اشاره می‌شود:

۱. **بتن تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره:** برخی از شرکت‌ها مانند Sika AG و BASF محصولات خاصی را ارائه می‌دهند که شامل نانولوله‌های کربنی برای بهبود خواص مکانیکی و دوام بتن است.
 ۲. **ملات‌های خاص:** شرکت‌هایی مانند Nanotech و Carbon Nanotube Technologies نیز ملات‌هایی را تولید می‌کنند که نانولوله‌های کربنی را به کار می‌برند.
 ۳. در بررسی‌های انجام شده نمونه نانولوله‌های کربنی چند جداره طراحی و تولید شده برای صنعت بتن وجود دارد که محصولات شرکت CHASM و همچنین محصولات مایع افزودنی به بتن و سیمان بر پایه نانولوله کربنی چندجداره توسط شرکت EdenCrete از نمونه‌های آن است.
- اما قیمت محصولات مختلف بسته به نوع و کیفیت نانولوله‌های کربنی و ترکیب‌های استفاده شده متفاوت است. به عنوان مثال، قیمت بتن تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره معمولاً بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ دلار به ازای هر مترمکعب (بسته به ترکیب و ویژگی‌های خاص آن) متغیر است.
- به‌طور کلی، بازار ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره در حال توسعه است و با افزایش آگاهی و پذیرش این فناوری، انتظار می‌رود که در آینده نزدیک رشد بیشتری داشته باشد.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تأثیر بگذارد

- در سال‌های اخیر، روندهای مختلفی در زمینه ترکیب سیمانی تقویت شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره مشاهده شده است:
۱. **تحقیقات و توسعه:** شواهد نشان می‌دهند که تحقیقات دانشگاهی و صنعتی در زمینه بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی این ترکیبات در حال افزایش هستند. محققان به دنبال یافتن روش‌های جدید برای بهینه‌سازی ترکیب و افزایش کارایی آن هستند.
 ۲. **استفاده در پروژه‌های عمرانی:** با توجه به مزایای این ترکیبات، استفاده از آن‌ها در پروژه‌های عمرانی و ساخت‌وساز در حال افزایش است. این ترکیبات می‌توانند به کاهش وزن سازه‌ها و افزایش دوام آن‌ها کمک کنند.
 ۳. **توجه به پایداری و محیط زیست:** با افزایش توجه به مسائل محیط‌زیستی، استفاده از مواد با خواص بهبود یافته که می‌توانند به کاهش مصرف انرژی و منابع کمک کنند، در حال رشد است.
 ۴. **توسعه بازار:** با افزایش آگاهی از مزایای نانولوله‌های کربنی چندجداره، بازار این محصولات در حال گسترش است و ممکن است در آینده شاهد ورود محصولات جدید و نوآورانه به بازار باشیم.
- اما در سال‌های آینده، عواملی که می‌تواند بر ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره تأثیر بگذارند، شامل موارد زیر هستند:
۱. **پیشرفت‌های فناوری:** توسعه فناوری‌های جدید در تولید و استفاده از نانولوله‌های کربنی چندجداره می‌تواند به بهبود کیفیت و کاهش هزینه‌ها کمک کند.
 ۲. **تغییرات در مقررات و استانداردها:** تغییرات در مقررات ساخت‌وساز و استانداردهای مواد می‌تواند بر استفاده از این ترکیبات تأثیر بگذارد.
 ۳. **افزایش رقابت:** با ورود شرکت‌های جدید به بازار و افزایش رقابت، ممکن است شاهد نوآوری‌های بیشتری در این حوزه باشیم.
 ۴. **توجه به مسائل محیط زیستی:** افزایش فشار برای استفاده از مواد پایدار و دوستدار محیط زیست می‌تواند به توسعه و استفاده از این ترکیبات کمک کند.
- به‌طور کلی، آینده ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره به پیشرفت‌های علمی، نیازهای بازار و توجه به مسائل محیط‌زیستی بستگی دارد. MW-CNT ها مواد بسیار سبک‌وزنی هستند، بنابراین حمل‌ونقل آن‌ها در فواصل طولانی شبیه هوای متحرک است. بنابراین، در آینده به واحدهای بزرگ تولید MW-CNTs مستقر در کنار کارخانه‌های سیمان و/یا در شهرهای بزرگ که از بتن آماده زیادی استفاده می‌کنند، نیاز خواهد داشت. لذا می‌توان ۲۰ تا ۵۰ کارخانه از این قبیل را در مکان‌های استراتژیک در نظر گرفت که نانولوله‌هایی را برای شرکای خود در بخش سیمان و بتن در مکان‌هایی در سراسر جهان فراهم می‌کنند.^۱

۱. Nanotubes in cement (globalcement.com)

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیت‌های انجام شده در کشور

□ فعالیت‌های توسعه محصول و تجاری‌سازی (آیا نمونه‌سازی انجام گرفته است؟ چه شرکت‌هایی برای توسعه محصول در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ آیا محصولی مبتنی بر این فناوری در بازار به فروش می‌رسد؟ آیا شرکت‌های صنعتی بزرگ در این زمینه فعالیت می‌کنند؟ آیا شرکت‌های واردکننده در این زمینه فعالیت می‌کنند؟) در حوزه تحقیقات استفاده از نانولوله کربنی در تولید سیمان و بتن در کشور کارهای بسیار زیادی توسط محققان انجام شده است. با این حال اطلاعاتی در مورد صنعتی شدن یا نمونه صنعتی آن به دست نیامد.

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

کاربردهای سیمان‌های حاوی نانولوله کربنی از کاربردهای متداول تا خاص است. در ساخت بتن‌های پیشرفته در تمامی زمینه‌ها قابل به کارگیری است. با هدف کاهش میزان مصرف سیمان در بتن برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن در مقیاس جهانی این ویژگی را دارد که در تمامی محصولات بتنی در صنعت ساختمان و سایر صنایع به کار رود. از نانولوله کربنی برای ساخت ابزارهای نانوالکتریک، باتری‌های یونی لیتیم، غشاها، سیستم ذخیره انرژی الکتروشیمیایی، حسگر شیمیایی و بیوشیمیایی و ابزارهای الکترونیک نوری استفاده می‌شود. این لوله‌ها در زمینه‌های مکانیکی، الکتریکی و کاتالیزوری به خاطر بالا بودن سطح ویژه آن‌ها کاربرد بسیاری دارند. نانولوله‌ها با اضافه شدن به پلیمرها، کامپوزیت‌هایی با خواص مناسب ایجاد می‌کنند که نسبت به کامپوزیت‌های دارای کربن سیاه از نظر رسانایی بهتر عمل می‌کنند. اطلاع از میزان و نمودار تغییرات گرمایش آزاد شده در طی فرایند هیدراتاسیون می‌تواند منجر به دستیابی به بتن‌های پیشرفته با استحکام بهینه در شرایط زمانی مشخص در طی فرایند گیرش شود. سایر کاربردهای سیمان یا بتن‌های مبتنی بر نانولوله کربنی عبارت‌اند از:

- **ساختمان‌های بلند:** استفاده از ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره می‌تواند به افزایش مقاومت و کاهش وزن ساختمان‌های بلند کمک کند، که این امر در پروژه‌های بزرگ شهری بسیار حائز اهمیت است.
- **زیرساخت‌های حمل‌ونقل:** در ساخت جاده‌ها و پل‌ها، استفاده از این ترکیب می‌تواند به افزایش دوام و کاهش هزینه‌های نگهداری کمک کند.
- **محصولات پیش ساخته:** در تولید محصولات پیش ساخته بتنی، ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره می‌تواند به بهبود خواص مکانیکی و کاهش زمان ساخت کمک کند.
- **مواد مبتنی بر سیمان خودحسگر را می‌توان به عناصر حسگر کوچک تبدیل و سپس جاسازی کرد.**
- **بتن‌های چاپ سه بعدی (3D Printed Concrete, (3DPC)):** برای پرینت سه بعدی موفق، بتن باید دارای خواص رئولوژیکی دوگانه باشد. از یک طرف، بتن باید به اندازه کافی سیال باشد تا پمپ شود و اکستروژن شود، که عمدتاً تحت تأثیر نسبت مخلوط و انتخاب مواد است و از طرف دیگر باید به اندازه کافی جامد و سفت باشد تا شکل خود را حفظ کند و وزن خود و لایه بالایی را تحمل کند. هرچه ویسکوزیته بتن بیشتر باشد، تنش تسلیم کمتر، پلاستیسیته عالی‌تر و کارایی بهتر خواهد بود. برای 3DPC باید مشکلات را از جنبه‌های زیر حل کنیم: (۱) کاهش گرمای هیدراتاسیون و زمان گیرش 3DPC، (۲) بهبود استحکام اولیه، (۳) کاهش تغییر شکل انقباض 3DPC. مطالعات نشان داده‌اند که افزودن مواد افزودنی مانند نانولوله کربنی، می‌تواند کارایی مخلوط 3DPC را بهبود، فرایند اکستروژن را کاهش داده و کیفیت چاپ را بهبود بخشد.

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

با توجه به اینکه در حال انجام تحقیقات و ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی است سطح آمادگی فناوری (TRL) برابر ۵ و همچنین سطح آمادگی بازار (MRL) برابر ۵ است.

سطح آمادگی بازار		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۹	خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار									
۸	شناسایی متخصصان دارای توانمندی									
۷	تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل									
۶	ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه‌حل									
۵	شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل (مانند راهبری پروژه)									
۴	کم‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید									
۳	شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید									
۲	شناسایی یک نیاز بخصوص									
۱	شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)									

سطح آمادگی فناوری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/راه‌اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل‌سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هر یک از کاربردهای احتمالی

وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره در ایران به شرح زیر است:

■ فناوری‌های رقیب عبارت‌اند از:

۱. **بتن‌های معمولی و تقویت‌شده:** بتن‌های سنتی و بتن‌های تقویت‌شده با الیاف (مانند الیاف شیشه) هنوز در بسیاری از پروژه‌های عمرانی استفاده می‌شوند. این مواد به دلیل هزینه پایین و در دسترس بودن، رقبای اصلی ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره هستند.
۲. **مواد کامپوزیتی:** کامپوزیت‌های پلیمری و کامپوزیت‌های پایه معدنی نیز به عنوان رقبای این ترکیب در نظر گرفته می‌شوند. این مواد معمولاً خواص مکانیکی خوبی دارند و در برخی کاربردها می‌توانند جایگزین مناسبی باشند.
۳. **فناوری‌های نوین در مصالح ساختمانی:** فناوری‌های جدید مانند بتن‌های خودترمیم‌کننده و بتن‌های هوشمند نیز در حال توسعه هستند و می‌توانند به عنوان رقبای جدی برای ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی مطرح شوند.

■ فناوری‌های مکمل نیز عبارت‌اند از:

۱. **فناوری‌های نانوی دیگر:** استفاده از نانوذرات دیگر مانند نانوسیلیس و نانوالومینا می‌تواند به عنوان مکملی برای نانولوله‌های کربنی چندجداره در بهبود خواص ترکیب سیمانی عمل کند. این مواد می‌توانند به افزایش مقاومت و دوام بتن کمک کنند.
۲. **فناوری‌های پایدار:** استفاده از مواد بازیافتی و پایدار در ترکیب با نانولوله‌های کربنی چندجداره می‌تواند به بهبود عملکرد محیط‌زیستی این ترکیب کمک کند. به عنوان مثال، استفاده از خاکستر بادی یا سرباره کوره بلند به عنوان افزودنی می‌تواند خواص بتن را بهبود بخشد.
۳. **فناوری‌های پیشرفته در تولید:** روش‌های نوین تولید مانند چاپ سه بعدی و فناوری‌های مدرن در ساخت و ساز می‌توانند به بهینه‌سازی استفاده از ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی کمک کنند و به عنوان مکملی برای این فناوری عمل کنند.

با توجه به مطالب مذکور در بالا می‌توان خلاصه کرد که ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره در ایران با چالش‌هایی از سوی فناوری‌های رقیب مواجه است، اما همچنین فرصت‌هایی برای همکاری و تکمیل با فناوری‌های مکمل وجود دارد. با توجه به نیاز روزافزون به مصالح ساختمانی با خواص بهتر و پایدارتر، این ترکیب می‌تواند در آینده نقش مهمی در صنعت ساخت‌وساز ایفا کند.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری موردنیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

برای توسعه فناوری ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و تولید در مقیاس وسیع (TRL8)، نیاز به سرمایه‌گذاری قابل‌توجهی وجود دارد. برآورد آن در حال تکمیل است.

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی
 - زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی
 - زیرساخت تولید
 - آزمایشگاه مرجع
 - منابع مالی
 - توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری
 - زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش
- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره در ایران به چند عامل بستگی دارد:
۱. **تحقیق و توسعه:** وجود دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی فعال در زمینه نانومواد و مهندسی عمران می‌تواند به توسعه این ترکیب‌ها کمک کند. در ایران، برخی از دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی در این حوزه فعالیت دارند، اما نیاز به همکاری‌های بیشتر بین صنعت و دانشگاه‌ها است.
 ۲. **تأمین مواد اولیه:** تولید نانولوله‌های کربنی چندجداره نیاز به تجهیزات و فناوری‌های خاص دارد. اگرچه برخی از شرکت‌ها و مراکز تحقیقاتی در ایران به تولید نانولوله‌های کربنی پرداخته‌اند، اما ممکن است نیاز به واردات برخی مواد اولیه یا تجهیزات پیشرفته باشد.
 ۳. **حمایت‌های دولتی:** حمایت‌های دولتی و سرمایه‌گذاری در پروژه‌های تحقیقاتی و صنعتی می‌تواند به توسعه این فناوری کمک کند. در صورتی که دولت به این حوزه توجه بیشتری داشته باشد، می‌تواند زیرساخت‌های لازم را فراهم کند.
 ۴. **آگاهی و آموزش:** افزایش آگاهی و آموزش در مورد مزایای استفاده از نانولوله‌های کربنی چندجداره در صنعت ساخت‌وساز می‌تواند به پذیرش این فناوری کمک کند.
 ۵. **مقررات و استانداردها:** وجود مقررات و استانداردهای مشخص در زمینه استفاده از نانومواد می‌تواند به تجاری‌سازی این محصولات کمک کند.
- به‌طور کلی، در حالی که برخی از زیرساخت‌ها و منابع در ایران وجود دارد، اما برای توسعه و تجاری‌سازی موفق ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره، نیاز به همکاری‌های بیشتر، سرمایه‌گذاری و تحقیقات بیشتر وجود دارد.

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

- **پیشران‌ها و چالش‌های فنی**
- از نظر فنی وجود شرکت‌های قوی در حوزه بتن می‌تواند پیشرانی برای استفاده از این محصول باشد. همچنین نیاز به صرفه‌جویی در مصالح در بسیاری از مکان‌ها در کشور ما می‌تواند استفاده از این بتن‌ها را توجیه کند. چالش‌های مربوط به حفظ استحکام بتن از جمله چالش‌های فنی این محصول است.
- تولید افزودنی یا نحوه به‌کارگیری نانولوله کربنی در بتن یکی از چالش‌های فنی مربوطه است. مثلاً ارائه به بازار به شکل افزودنی مایع می‌تواند یک راه‌حل باشد. با این حال باید توجیه‌پذیری اقتصادی آن و عملکرد چشمگیر آن اثبات شود.

■ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

با توجه به قیمت نسبتاً بالای نانولوله کربنی چندجداره و محصولات مربوط به آن، این بتن دارای قیمت بالاتری نسبت به بتن معمولی خواهد بود و از نظر اقتصادی چالش دارد. در صورت صنعتی شدن آن و هزینه مشابه یا کمی بیشتر استفاده از آن فراگیر خواهد شد. باید توجه‌پذیری اقتصادی یا حل یک مشکل و معضل توسط آن رخ دهد تا به عنوان یک محصول پیشرفته جای خود را در بازار باز کند.

■ آیا از نظر قیمت نسبت به محصولات مشابه توجه دارد؟ اگر دارد پس چرا تا حالا شرکت‌های بزرگ برای تجاری‌سازی اقدام نکرده‌اند؟

ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره می‌تواند از نظر قیمت نسبت به محصولات مشابه توجه‌پذیر باشد، به‌ویژه به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی که این نانولوله‌ها به سیمان اضافه می‌کنند. این ویژگی‌ها شامل افزایش مقاومت، کاهش وزن، بهبود دوام و افزایش کارایی در برابر شرایط محیطی است. با این حال، چند دلیل وجود دارد که ممکن است مانع از تجاری‌سازی گسترده این ترکیب‌ها توسط شرکت‌های بزرگ شود:

۱. **هزینه تولید:** تولید نانولوله‌های کربنی چندجداره هنوز هم می‌تواند هزینه‌بر باشد و این هزینه‌ها ممکن است باعث افزایش قیمت نهایی محصول شود.

۲. **مقیاس‌پذیری:** فرآیندهای تولید نانولوله‌های کربنی چندجداره به صورت مقیاس‌پذیر هنوز در حال توسعه هستند و ممکن است به اندازه کافی بهینه نشده باشند تا بتوانند در مقیاس بزرگ مورد استفاده قرار گیرند.

۳. **عدم آگاهی و پذیرش بازار:** ممکن است بازار هنوز به طور کامل از مزایای این ترکیب‌ها آگاه نباشد و یا پذیرش آن‌ها زمان‌بر باشد.

۴. **مقررات و استانداردها:** ممکن است مقررات و استانداردهای مربوط به استفاده از نانومواد در صنعت ساخت‌وساز هنوز به طور کامل مشخص نشده باشد.

۵. **تحقیقات و توسعه:** نیاز به تحقیقات بیشتر برای درک بهتر رفتار نانولوله‌های کربنی چندجداره در ترکیب با سیمان و تأثیرات بلندمدت آن‌ها وجود دارد.

به همین دلایل، علی‌رغم پتانسیل‌های بالای ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره، تجاری‌سازی آن ممکن است به زمان و تلاش بیشتری نیاز داشته باشد.

همان‌طور که در بخش بین‌الملل گفته شد، صنعت تولید سیمان و بتن در برابر استفاده از فناوری‌های نوین مقاومت می‌کنند و لذا باید توسعه این محصولات گام به گام انجام شود.

■ پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا

از نظر تقاضا چالش وجود دارد.

■ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

مشابه بخش ۲-۳

■ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

مشابه بخش ۲-۳ با این تفاوت که در بخش کاهش تولید دی‌اکسید کربن در کشور ما الزامی وجود ندارد و الزامات محیط‌زیستی مانند تولید حرارت و دی‌اکسید کربن کمتر اصولاً مطرح نیست.

۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

■ آیا این محصول چه در قالب تولید داخلی و چه در قالب محصول وارداتی در کشور عرضه شده است؟ پاسخ به قسمت دوم سؤال "آیا این محصول چه در قالب تولید داخلی و چه در قالب محصول وارداتی در کشور عرضه شده است؟" مثبت است؛ ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره در ایران مورد توجه قرار گرفته است و برخی از شرکت‌ها و محققان در حال تحقیق و توسعه این نوع مواد هستند. این ترکیبات به دلیل خواص مکانیکی و فیزیکی بهبودیافته‌ای که دارند، می‌توانند در ساخت‌وساز و پروژه‌های عمرانی مورد استفاده قرار داده شوند. همچنین، ممکن است برخی محصولات مشابه به صورت وارداتی نیز در بازار ایران موجود باشد.

۳-۹- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

تحلیل فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی در زمینه ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

۱. **تقاضای جهانی برای مصالح ساختمانی پیشرفته:** با افزایش توجه به مصالح ساختمانی با عملکرد بالا و پایدار، ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره می‌تواند به عنوان یک گزینه جذاب در بازارهای بین‌المللی مطرح شود.

۲. **پیشرفت‌های فناوری:** با پیشرفت‌های مداوم در فناوری تولید و استفاده از نانولوله‌های کربنی، شرکت‌های ایرانی می‌توانند با بهره‌گیری از این فناوری‌ها، محصولات با کیفیت و رقابتی تولید کنند.

۳. **کاهش هزینه‌های تولید:** اگر شرکت‌های ایرانی بتوانند به روش‌های تولید مقرون به صرفه‌تری دست یابند، می‌توانند قیمت‌های رقابتی‌تری را در بازارهای جهانی ارائه دهند.

۳-۱۰- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

در سال‌های اخیر، روندهای مختلفی در زمینه ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره مشاهده شده است:

۱. **تحقیقات و توسعه:** شواهد نشان می‌دهند که تحقیقات دانشگاهی و صنعتی در زمینه بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی این ترکیبات در حال افزایش می‌باشند. محققان به دنبال یافتن روش‌های جدید برای بهینه‌سازی ترکیب و افزایش کارایی آن هستند.

۲. **توجه به پایداری و محیط‌زیست:** با افزایش توجه به مسائل محیط‌زیستی، استفاده از مواد با خواص بهبود یافته که می‌توانند به کاهش مصرف انرژی و منابع کمک کنند، در حال رشد است.

۳. **توسعه بازار:** با افزایش آگاهی از مزایای نانولوله‌های کربنی، بازار این محصولات در حال گسترش است و ممکن است در آینده شاهد ورود محصولات جدید و نوآورانه به بازار باشیم.

اما در سال‌های آینده، عواملی که می‌توانند بر ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره تأثیر بگذارند، شامل موارد زیر هستند:

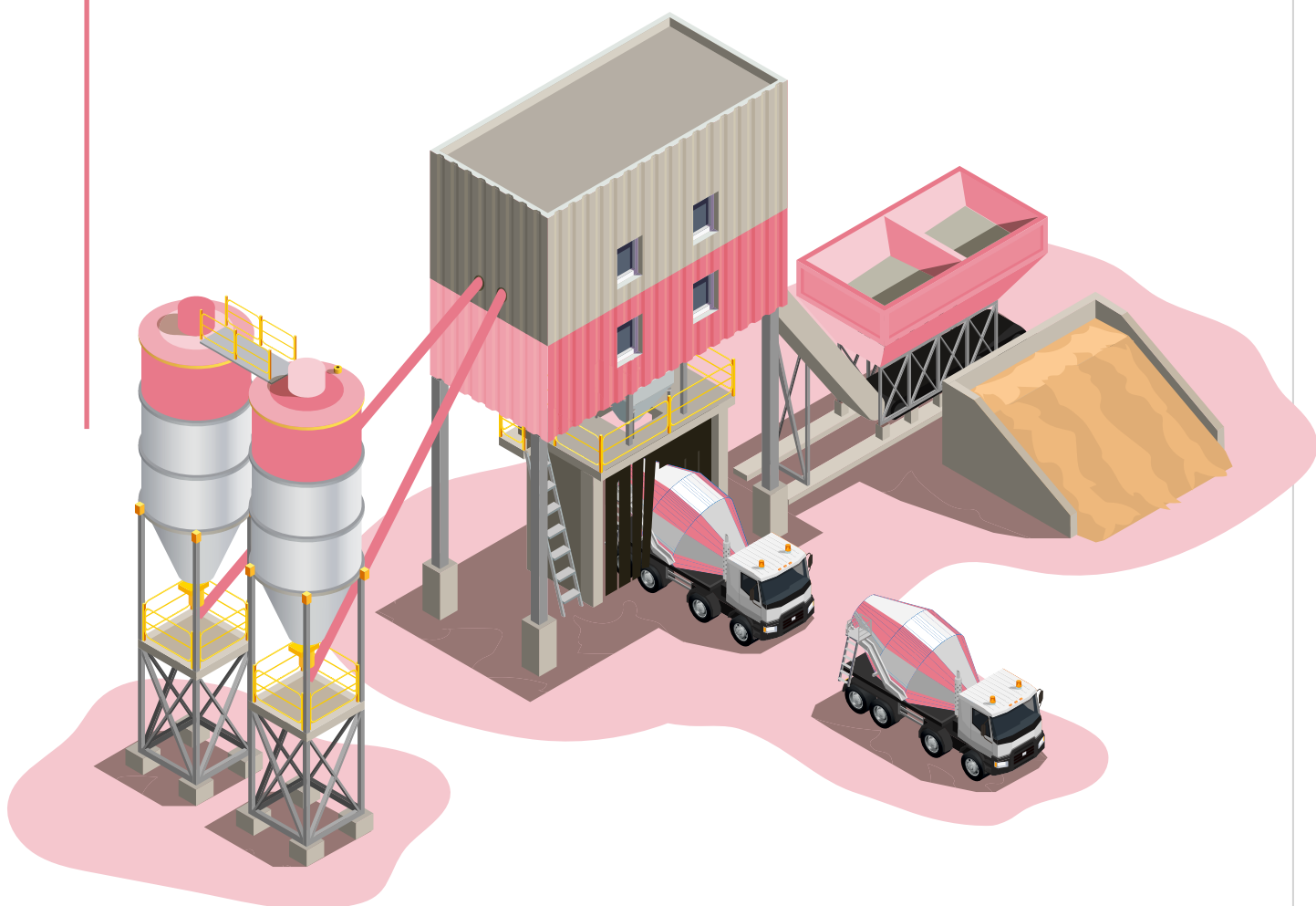
۱. **پیشرفت‌های فناوری:** توسعه فناوری‌های جدید در تولید و استفاده از نانولوله‌های کربنی می‌تواند به بهبود کیفیت و کاهش هزینه‌ها کمک کند.

۲. **تغییرات در مقررات و استانداردها:** تغییرات در مقررات ساخت‌وساز و استانداردهای مواد می‌تواند بر استفاده از این ترکیبات تأثیر بگذارد.

۳. **افزایش رقابت:** با ورود شرکت‌های جدید به بازار و افزایش رقابت، ممکن است شاهد نوآوری‌های بیشتری در این حوزه باشیم.

۴. **توجه به مسائل محیط‌زیستی:** افزایش فشار برای استفاده از مواد پایدار و دوستدار محیط‌زیست می‌تواند به توسعه و استفاده از این ترکیبات کمک کند.

به طور کلی، آینده ترکیب سیمانی تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی چندجداره به پیشرفت‌های علمی، نیازهای بازار و توجه به مسائل محیط‌زیستی بستگی دارد.



۱۱



بتن قابل چاپ سه بعدی

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱- ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

بتن قابل چاپ دارای ویژگی‌هایی مرتبط با فرایند ساخت چاپ سه بعدی است. این بتن‌ها باید بتوانند ویژگی‌های بهینه‌ای مربوط به قابلیت پمپاژ، ساخت پذیری و اکستروپذیری را داشته باشند. در کنار این ویژگی‌ها باید بتوانند خواص مکانیکی و دوام سازه‌ای تولید شده با این روش را به صورت عالی تأمین کنند. از آنجایی که تفاوت فناوری چاپ با ساخت روش‌های متداول در سطح تماس زیاد، میزان سرعت تولید و ... است باید سیمان‌های استفاده شده در این فناوری بتوانند عملکرد خوبی پس از چاپ و خشک شدن مشابه یا بهتر از روش‌های سنتی قالب‌گیری و ... نشان دهند. در فناوری چاپ سه بعدی مواد آماده شده از طریق نازل تزریق می‌شوند و لایه لایه بر اساس نقشه داده شده به دستگاه، سطوح طرح موردنظر را می‌سازند.

نسبت مخلوط بتن معمولی، بتن خودمتراکم و بتن پرینت سه بعدی (3DPC) با یکدیگر فرق دارند. واضح است که میزان سنگ‌دانه درشت یکی از قابل توجه‌ترین تفاوت‌ها بین بتن پرینت سه بعدی و بتن معمولی است؛ از این نظر که در 3DPC هیچ سنگ‌دانه درشتی وجود ندارد. این را می‌توان به این دلیل نسبت داد که سنگ‌دانه درشت به طور کلی قابل چاپ نیست و ممکن است در طی مراحل پمپاژ و اکستروژن باعث مسدود شدن نازل و مسیر پمپاژ شود. از این نظر ویژگی‌های مخلوط بتن قابل چاپ باید با تغییر در ترکیب مخلوط آن به دست آید.

۲-۱- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

این محصول به طور اختصاصی در فرایند چاپ سه بعدی ساختمان استفاده می‌شود. در این حالت مواد تهیه شده از بتن موردنظر، توسط دستگاه چاپ سه بعدی لایه به لایه چاپ شده و پس از خشک شدن، طرح موردنظر به دست می‌آید. فرایند چاپ سه بعدی ساختمان برای ایجاد انواع ابنیه بر اساس طرح‌های جدید و همچنین تولید ماکت‌های اولیه از ساختمان و طرح کلی آن به کار می‌روند. ساخت پل‌ها و پایه‌های بتنی برای کاربردهای مختلفی مانند پایه توربین بادی از سایر کاربردهای این فناوری است. همچنین تولید انواع مجسمه‌ها، اشیاء و قطعات بتنی یا سیمانی با استفاده از این فناوری به راحتی امکان پذیر است. تولید قطعات و مجسمه‌های سه بعدی پیچیده که به صورت معمولی امکان قالب‌گیری ندارند و نمی‌توان بخش‌های داخلی انحنادار و مخفی آن‌ها را ایجاد کرد با این روش به راحتی قابل دسترسی و انجام است.

۳-۱- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه بر اساس این فناوری

محصولات مختلفی بر این اساس توسعه یافته‌اند که تعدادی از آن‌ها عبارت‌اند از:
انواع بتن‌های مورد استفاده در چاپ سه بعدی
انواع بتن‌های آماده چاپ سه بعدی در پروژه‌های مختلف

۴-۱- مزیت (های) کلیدی این فناوری (کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و ...)

ساخت دیجیتال را می‌توان به عنوان یک راه حل امیدوارکننده برای نیازهای بازار انبوه طبقه بندی کرد. چاپ سه بعدی (3DP) مزایای زیادی مانند آزادی در هندسه، عدم نیاز به قالب بندی، استفاده کمتر از مواد، ضایعات کم، انتخاب مواد سازگارتر با محیط زیست و پایداری، نرخ بالای بازیافت و مقرون به صرفه بودن دارد. علاوه بر این، 3DP یک فرآیند یک

مرحله‌ای برای نزدیک شدن به تقاضا برای پایداری بیشتر و بهره‌وری منابع در شیوه‌های ساخت بتن است. یکی از ارزشمندترین مزایای چاپ سه‌بعدی این است که می‌تواند سازه‌های بهینه شده در مقیاس بزرگ را بدون استفاده از قالب‌ها تولید کند که منجر به کاهش مصرف مواد، هزینه و انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود. استفاده از فناوری‌های متفاوت در بهینه کردن ویژگی‌های بتن‌های چاپ سه‌بعدی منجر به بهبود ویژگی‌های بتن مانند سرعت گیرش بالاتر، استحکام بیشتر، خواص رئولوژی بهتر می‌شود.

۱-۵- نانو ذرات بهره‌گرفته شده در این فناوری (از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به‌کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

در محصولات بررسی شده چند فناوری مورد استفاده قرار گرفته است:

- سیمان‌های قابل چاپ بهینه شده با ذرات سیلیکا و کاربید سیلیسیوم و دوده سیلیکا
- سیمان‌های قابل چاپ بهینه شده با ذرات پایه نانورس: متاکائولین، بنتونیت، نانورس، نانومونت موریونیت، نانورس و دوده سیلیکا (Silica Fume)
- سایر نانو ذرات مانند: $\text{nano-Fe}_2\text{O}_3$, TiO_2 , CNTs, nano-carbonate calcium, nano-ZnO, $\text{nano-Al}_2\text{O}_3$, graphene oxide, halloysite nanotube

به‌طور کلی نانو ذرات در این محصولات در طی فرایند تولید بتن برای چاپ، همراه با سایر مواد به مخلوط بتن اضافه می‌شود. سه افزودنی متداول در سیمان‌های چاپ سه‌بعدی عبارت‌اند از nano clay و Fume Silica، Fly ash.

۱-۶- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری (از تولید نانو ذرات اولیه تا تولید محصول میانی تا تولید محصول نهایی و به‌کارگیری محصول)

- تولید سیمان با افزودنی‌های مورد نظر
- تولید مخلوط بتن برای چاپ
- بتن پرینت شده به صورت لایه لایه
- بنا یا طرح چاپ شده یا شی چاپ شده

۱-۷- فناوری‌های رقیب (از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری بهره گرفته می‌شود؟)

- بتن متداول به شکل قالب‌گیری و ساخت بنای بتنی
- سازه‌های آماده پیش ساخته
- بتن خود متراکم

۱-۸- فناوری‌های مکمل (برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های پیش روی توسعه چاپ سه‌بعدی بتن، تولید بتن مسلح چاپ پذیر است. میلگردهای استفاده شده در بتن‌های عادی نقش مسلح‌کنندگی و جبران ضعف کششی بتن را دارند که در چاپ سه‌بعدی تاکنون این چالش برطرف نشده است. لذا توسعه فناوری مکمل جهت امکان استفاده از میلگردهای مسلح‌کننده یکی از اساسی‌ترین موارد است. در استفاده از فناوری چاپ سیمان سه‌بعدی نیاز به چند فناوری دیگر نیز هست. فناوری‌های مکمل شامل فناوری‌های طراحی و تهیه نقشه سه‌بعدی از طرح ساختمان یا شی یا مجسمه، تبدیل طرح سه‌بعدی به طرح لایه به لایه مناسب چاپ، مازول تبدیل طرح لایه به لایه به زبان مورد استفاده دستگاه چاپگر و دستگاه چاپگر سه‌بعدی هستند.

تجهیزات قابل حمل تهیه سیمان و بتن مورد استفاده در چاپگر هم از دیگر فناوری‌های مکمل است. در نوع سیمان‌های

نانویی تجهیزات اختلاط بدون کلوخه شدن هم باید طراحی و ساخته شوند. فناوری‌های برنامه‌نویسی یا برنامه‌های کاربردی برای بخش‌های مختلف می‌تواند استفاده شود.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید (آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

با استفاده از ماهیت دیجیتالی بودن این فرایند و دینامیک بودن این فناوری در حوزه‌های مختلف برنامه‌نویسی، طراحی و انتخاب مواد و بهینه کردن مواد اولیه پرینت، ایجاد تنوع در مواد اولیه و ... زمینه‌های تحقیقاتی مختلفی وجود دارد.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی (آیا این اثر/ فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

استفاده از این فناوری در مواقع بلایای طبیعی مانند سیل، زلزله و سایر سوانح از جمله جنگ و ... برای اسکان موقت آوارگان تأثیرات اجتماعی و سیاسی بسیار زیادی را به همراه خواهد داشت. از نظر راهبردی و اجتماعی، فعالیت در این زمینه منجر به کاهش زمان و هزینه ایجاد بناها و همچنین افزایش سرعت ساخت، کم شدن هزینه‌های ساخت و در نتیجه افزایش واحدهای مسکونی با سرعت بالا خواهد شد. همچنین از نظر کاهش هزینه‌های ساخت و کاهش مواد مورد استفاده در ساخت به محیط‌زیست کمک می‌شود.

تحلیل بین‌المللی

۲-۱- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

■ بازیگران در حوزه R&D
■ بازیگران صنعتی/تجاری در مراحل مختلف زنجیره ارزش
■ نهادهای سیاست‌گذار و نهادهای تنظیم مقررات در سطح بین‌المللی
چند شرکت در حوزه تولید بخش‌های مختلف این فناوری فعالیت می‌کنند. از آنجایی که هیچ استاندارد برای طراحی مخلوط بتن پرینت سه‌بعدی وجود ندارد، شرکت‌ها اغلب در صورت تصمیم به ارائه چاپ سه‌بعدی به عنوان خدمات ساختمانی، مواد و محصولات حاصل از تحقیق و توسعه خود را دنبال می‌کنند. در جدول ۱ برخی از شرکت‌های قابل توجهی که بتن چاپ سه‌بعدی را با موفقیت در حوزه خدمات خود پیاده‌سازی کرده‌اند آورده شده است:

جدول ۱- تعدادی از تولیدکنندگان معروف سیمان و سیستم پرینت سه‌بعدی بتن در جهان

شرکت	مقر اصلی	محصول بتن	Notes
Sika USA	New Jersey, USA	Sikacrete 7100 3D	مخلوط آماده برای استفاده که از پودر سیمانی با الیاف و پلیمرهای مایع تشکیل شده است [۲۵].
CyBe	Netherlands	CyBe Mortar	در سه دقیقه تنظیم می‌شود و در یک ساعت با غلظت‌های کم کلرید و سولفات به استحکام کامل می‌رسد [۲۶].
HeidelbergCement	Germany	i.tech 3D	برای ساخت اولین خانه چاپ سه‌بعدی در آلمان استفاده شد [۲۷].
ICON	Texas, USA	Lavacrete	محصول منحصربه‌فرد ICON با سیستم تغذیه Magma و چاپگرهای Vulcan یکپارچه شده است [۲۱].
LafargeHolcim	Switzerland	Tector 3D Build	اولین محصول ملات خشک برای چاپ سه‌بعدی با استحکام تا ۹۰ مگاپاسکال [۲۸].
CEMEX	Mexico	D.fab	دارای ردپای دی‌اکسید کربن ۱/۵ برابر کمتر از ملات‌هایی است که معمولاً در بتن پرینت سه‌بعدی موجود در بازار استفاده می‌شود [۲۹].

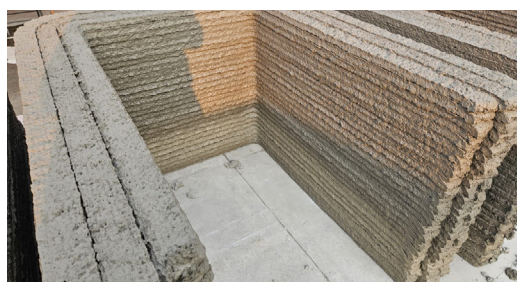
در زیر برترین شرکت‌های ساخت سه‌بعدی ساختمان و یک شرکت تولید سیمان برای چاپ سه‌بعدی معرفی می‌شوند.

■ شرکت COBOD^۱ در حوزه ساخت افزایشی بسیار فعال و معتبر است. این شرکت تولیدکننده دستگاه‌های چاپگر سه‌بعدی سیمان و بتن است. این شرکت در تلاش است که ساخت‌وسازها را توسعه داده و پایدارتر کند. درحالی‌که از مواد به نحو احسن استفاده می‌شود، میکسرها را با طرح‌های نوآورانه بهینه کرده و راندمان فرآیندها را افزایش داده

۱. <https://cobod.com/about-us/careers/>

است. پرینت سه بعدی و اتوماسیون بخش بزرگی از راه حل در این شرکت است. این امر نیاز به اقدام و تبدیل روش‌های مرسوم قدیمی به روش‌های جدید مبتنی بر فناوری و کارآمدتر دارد.

شرکت CEMEX^۱ یکی از تولیدکننده‌های مشهور سیمان در دنیا است. این شرکت تولیدکننده مواد اولیه برای چاپ سه بعدی و همچنین سایر محصولات حوزه ساخت و ساز است. Cemex در خط مقدم اقتصاد در زنجیره ارزش ساخت و ساز قرار دارد و راه‌های پیشگام برای افزایش استفاده از ضایعات و پسماندها به عنوان مواد خام و اولیه جایگزین در عملیات خود با کمک فناوری‌های جدید است. این شرکت سیمان مورد استفاده COBOD را تأمین می‌کند.



شکل ۱- پرینتر سه بعدی سرامیکی خانگی

ICON؛ خانه‌های پرینت سه بعدی و با کارایی بالای ICON، دارای طراحی‌های معماری و انرژی کارآمد هستند که انعطاف پذیری و پایداری را با امکانات دیجیتالی فراوان ساخت و ساز به نمایش می‌گذارند. این شرکت علاوه بر به اشتراک گذاشتن امکانات ساخت و ساز، منابع آنلاین زیادی در مورد ساخت خانه با چاپگرهای سه بعدی ارائه می‌دهد.

ساختمان تکمیل شده توسط این شرکت با استفاده از ناوگانی از سیستم‌های ساخت و ساز رباتیک Vulcan ICON، نرم افزار و مواد پیشرفته به سرعت تحویل داده می‌شود و هر دیوار داخلی و خارجی

خانه با ضایعات کمتر و آزادی طراحی بیشتر تولید می‌شود. سیستم ساخت و ساز Vulcan از چاپگر Vulcan و واحد اختلاط قابل حمل Magma تشکیل شده است که مصالح ساختمانی اختصاصی ICON، Lavacrete را برای چاپ آماده می‌کند. سخت افزار توسط مجموعه نرم افزاری BuildOS شرکت هدایت می‌شود، که معماری را برای چاپ تولید و آماده می‌کند، سپس سخت افزار رباتیک را در محل کنترل می‌کند تا طرح‌های دیجیتال را به خانه‌های فیزیکی تبدیل کند.

Apis Cor؛ یک شرکت فناوری ساخت و ساز برنده جوایز مختلفی است که همچنان به پیشرفت‌های عظیم در صنعت ساخت و ساز مسکن، به ویژه در مورد فناوری چاپ سه بعدی بتن ادامه می‌دهد. این شرکت از چاپگرهای رباتیک به نام‌های فرانک، گری و مری استفاده می‌کند تا اطمینان حاصل کند که ساخت و ساز سازگار و آسان است. این شرکت دیوارهای بتنی پرینت سه بعدی را طراحی و آزمایش کرد که قابل مقایسه با دیوارهای بلوک بتنی است که از نظر ساختاری تقویت شده‌اند. طبق وبسایت شرکت، مواد بتن اختصاصی آن ۳۳ درصد قوی‌تر از مواد بلوک بتنی است. همان‌طور که توسط Yahoo Finance گزارش شده است، Apis Cor به دنبال معرفی اتوماسیون به صنعت ساخت و ساز، ارائه فناوری به سازندگان برای افزایش بهره‌وری، سرعت بخشیدن به زمان ساخت و ساز و کار در راستای هدف ساخت ساختمان‌های کم ارتفاع به صورت رباتیک برای پاسخگویی به تقاضای بالا برای مسکن است.

PERI Group (Peri 3D Construction)؛ هدف چاپ ساختمانی PERI ایجاد انقلاب در صنعت ساخت و ساز به دلیل توانایی آن در تسریع صنعتی شدن فرآیند ساخت و ساز است. تمایل به ساخت تعداد بیشتری از ساختمان‌ها در مدت زمان کوتاه با هزینه کم، یک مزیت بزرگ برای این نوع فناوری است، اما می‌تواند راه را برای پایداری بیشتر در ساخت و ساز هموار کند.

در ماه مه ۲۰۲۳، اعلام شد که PERI با گروه Krause برای ساختن یک ساختمان مرکز داده چاپ سه بعدی در هایدلبرگ، آلمان، همکاری خواهد کرد. قرار است تا پایان سال ۲۰۲۳ این ساختمان «بزرگ‌ترین ساختمان پرینت سه بعدی اروپا» باشد.

پرینت سه بعدی توسط WASP اشیاء ساخته شده با پلاستیک زیستی، خاک رس، سیلیکون و مواد زیست سازگار را که چوب و آلومینیوم را آسیاب می‌کند، به واقعیت تبدیل می‌کند. هدف این شرکت ساخت خانه‌های «صفر مایلی» با استفاده از مواد موجود در منطقه است. هدف آن استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشید، باد و آب است. در سال ۲۰۱۸ Wasp کرین WASP را معرفی کرد، یک سیستم چاپ سه بعدی مشترک که می‌تواند خانه‌ها را چاپ کند. پروژه WASP سیستم‌های دوستدار محیط زیست را بررسی و حمایت مالی می‌کند. این فرآیندی را برای واقعی سازی خانه‌ها با قیمت بسیار پایین پیشنهاد می‌کند.

۱. <https://www.cemex.com/w/cemex-ventures-releases-the-names-of-the-top-50-most-promising-contech-startups-in-2024>

■ ساختارهای سه بعدی: 3D Constructions یک شرکت فرانسوی است که از سال ۲۰۱۷ ماشین‌هایی طراحی می‌کند که سازه‌های چاپ سه بعدی بتن را تولید می‌کنند. این شرکت چندین ماشین از جمله، MaxiPrinter، MiniPrinter PRO، MiniPrinter EDU و Constructimètre را توسعه داده است. این شرکت همچنین می‌تواند مواد مناسب را مطابق با هدف مشتریان خود ارائه دهد.

فرآیند پرینت سه بعدی بتن مبتنی بر سیستم اتوماسیون و تکرارپذیری است که دقت را نیز تضمین می‌کند. پروژه‌های شرکت 3D Constructions با هدف جستجوی روشی جدید برای مسکن برای قرن بیست و یکم با چاپ سه بعدی همراه با استفاده از مواد و انرژی در چرخه کوتاه است.

■ Mighty Buildings: این شرکت با استفاده از پرینت سه بعدی، رباتیک و اتوماسیون نوآورانه، کیت‌های خانگی زیبا و قابل شخصی‌سازی را با ۹۹ درصد ضایعات کمتر می‌سازد و هدف این است که ردپای کربن کمتری نسبت به خانه‌های ساخته شده سنتی داشته باشد.

هدف این شرکت تولید خانه‌های کاملاً بدون کربن تا سال ۲۰۲۸ است که پیش‌بینی می‌شود ۲۲ سال جلوتر از صنعت ساخت‌وساز باشد. این شرکت در جهت تولید بدون زباله، طراحی سیستم کیت و فرمول منحصربه‌فرد بدون بتن برای ایجاد خانه‌هایی با طراحی روبه‌جلو و درعین‌حال کاهش زمان، هزینه‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای کار کرده است.

■ ساخت CyBe: سخت‌افزار، نرم‌افزار، مصالح ساختمانی و پلتفرم‌های یادگیری را توسعه داده است تا به یک فروشگاه یکجا برای پرینت سه بعدی بتن تبدیل شود. CyBe Construction با هدف پیشروی در نوآوری، راه‌حل‌های چاپ سه بعدی بتن را ارائه می‌دهد و به‌طور مستمر توسعه فناوری موبایل و مدولار را هدف قرار می‌دهد.

این شرکت معمولاً فرآیندهای پیچیده ساختمان را تغییر می‌دهد تا محصولات مقرون‌به‌صرفه را سریع‌تر و به روشی پایدارتر ارائه دهد. همچنین از مواد اولیه کمتر و حداقل حمل‌ونقل استفاده می‌کند. CyBe Construction همچنین قصد دارد چاپ سه بعدی بتن را به‌عنوان راه‌حلی نوآورانه برای مسکن مقرون‌به‌صرفه با ساخت‌وساز ارزان‌تر، سریع‌تر و پایدارتر ارائه دهد.

■ SQ4D خانه‌های بتنی و سازه‌های تجاری با اندازه کامل را با استفاده از فناوری چاپ سه بعدی می‌سازد و هدفش این است که سریع‌تر، ایمن‌تر و قوی‌تر و با حداقل هزینه باشد.

این شرکت اخیراً اولین خانه چاپ شده سه بعدی در ایالات متحده را با استفاده از سیستم انقلابی Max Autonomous Robotic Construction SQ4D (ARCS) برای فروش فهرست کرده است که اولین خانه چاپ شده سه بعدی است که گواهی سکونت دریافت می‌کند. این شرکت خانه را در ۸۰ ساعت ساخت و قیمت آن ۲۹۹۰۰۰ دلار بود که کمتر از قیمت متوسط منطقه بود.

■ XtreeE چاپگرهای سه بعدی در مقیاس بزرگ را طراحی و تولید می‌کند و تخصص قوی در زمینه تولید در مقیاس بزرگ برای ساخت‌وساز، هم از نظر فناوری و هم در زمینه طراحی محصول ایجاد کرده است. سیستم تحقیق و توسعه محور آن بر اساس یک ربات در مقیاس متوسط و نرم‌افزار کنترل و نظارت توسعه یافته توسط خود شرکت است.

این شرکت تنظیمات رباتیک سفارشی با کیفیت بالا را با نظارت بر فرآیند و تجزیه و تحلیل پس از چاپ امکان‌پذیر می‌کند. این امر تضمین می‌کند که ویژگی‌های اندازه‌گیری اضافی می‌تواند به‌طور مداوم توسط XtreeE توسعه یابد و بنابراین با نیازهای خاص کاربر سازگار شود.

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

با توجه به نو ظهور بودن این فناوری و سطح بالای تحقیقات جاری در حوزه توسعه سیمان‌های مرتبط سطح آمادگی این فناوری (TRL) برابر ۶ و از نظر بازار (MRL) برابر با ۷ است.

سطح آمادگی بازار		۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۹	خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار									
۸	شناسایی متخصصان دارای توانمندی									
۷	تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل									
۶	ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه‌حل									
۵	شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل (مانند راهبری پروژه)									
۴	کم‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید									
۳	شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید									
۲	شناسایی یک نیاز بخصوص									
۱	شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)									

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/راه‌اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل‌سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

در مرحله رشد قرار دارد.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش روی فناوری

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

پیشران‌های فنی: وجود تجهیزات پیشرفته رباتیک و برنامه‌نویسی و همچنین پیش‌زمینه دانشی بالا در حوزه مواد و مصالح در دنیا منجر به افزایش سرعت استفاده از این روش‌ها در ساخت سه‌بعدی می‌شود. از نظر هزینه و مقرون به صرفه بودن، یکی از مزیت‌های بتن پرینت سه‌بعدی این است که نیازی به قالب بندی ندارد که برای شکل دادن به قالب برای ریختن بتن معمولی استفاده می‌شود. قالب بندی می‌تواند تا ۵۰٪ از کل ساخت و ساز بتن را به دلیل هزینه مواد و نیروی کار تشکیل دهد [۳۳]. با این حال، هزینه‌های مرتبط با ماشین‌آلات از جمله نازل‌های سر چاپ و دستگاه‌های نظارت تکمیلی وجود دارد. علاوه بر این، مخلوط بتن چاپ شده سه‌بعدی اغلب با بتن معمولی با افزودن نانورس، نانو سیلیس و سایر مواد افزودنی شیمیایی که به فرآیند اکستروژن کمک می‌کند، متفاوت است. چالش‌های فنی: خواص مورد انتظار از مواد و مصالح و دسترسی نداشتن به نقاط پیچیده در امر چاپ از چالش‌های فنی این فناوری است. در خصوص مواد و مصالح به دست آوردن خواص هم‌زمان مورد انتظار برای استحکام و قابلیت چاپ شدن از چالش‌های فنی است. همچنین هنوز این مواد به‌طور گسترده در دسترس نیستند. اجرای بتن مسلح و مسلح کردن این بتن با میلگردها یکی از مهم‌ترین چالش‌ها و محدودیت‌های این حوزه است. تحقیق در مورد خواص مواد و توسعه مواد سیمانی با کیفیت بالا که هم با قوانین بتن ساختاری و هم برنامه‌های پرینت سه‌بعدی مطابقت دارند، یکی از حوزه‌های فعلی تمرکز است. با توجه به حساسیت مخلوط بتن، تغییر در نوع سیمان، سنگ‌دانه یا مواد افزودنی بر خواص و رفتار بتن تأثیر می‌گذارد.

در زمینه فضای مورد نیاز برای چاپ سه بعدی عدم استفاده در مکان‌های محصور و کوچک و جاگیر بودن تجهیزات چاپ می‌تواند چالش باشد. چالش‌های فنی دیگر شامل محدود بودن به سازه‌های کوتاه و عدم استفاده در سازه‌های بلندمرتبه و چالش استفاده از ابزارهای تقویتی در سازه‌های بلندمرتبه در پرینت سه بعدی است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

پیشران‌های اقتصادی: نیاز به ساخت سریع و کم‌هزینه مسکن، کاهش هزینه‌های ساخت داربست چالش‌های اقتصادی: نیاز به هزینه اولیه بالا در ساخت شامل هزینه مواد و تجهیزات پرینت سه بعدی.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

پیشران سلامت: کاهش مصرف مواد و رد پای کربن. ساخت با استحکام بالاتر. چالش ایمنی: مقایسه استحکام سازه چاپ سه بعدی شده در برابر مخاطرات طبیعی در مقایسه با سازه‌های جوشی و بتنی مسلح باید بررسی شود. استانداردهای متداول برای آزمون بتن برای آزمودن بتن‌های چاپ سه بعدی کارایی ندارند و باید استانداردهای مرتبط آماده شوند. این امر در حوزه ایمنی و حقوقی بسیار حائز اهمیت است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

چالش حقوقی: نبود استانداردهای ساخت برای مواد اولیه و چاپگرها می‌تواند از چالش‌های این امر باشد.

۲-۵- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

با توجه به فعالیت شرکت‌های خوب در این زمینه می‌توان امید داشت این فناوری رشد چشمگیری در پروژه‌های منحصربه‌فرد در سطح دنیا در سال‌های پیش رو داشته باشد. تحقیقات در حال انجام برای حذف محدودیت‌های این فناوری و ارتقا مواد و محصولات مورد استفاده برای چاپ سه بعدی منجر به استفاده بیشتر از این فناوری در ساخت وسازها خصوصاً در بخش‌هایی که ساخت سنتی دارای هزینه و محدودیت بوده و ساخت چاپ سه بعدی از نظر فناوری و سرعت دارای مزیت بالایی است می‌شود. این نمونه‌ها و افزایش استفاده از این فناوری منجر به رشد چشمگیر در استفاده از این فناوری‌های در صنعت ساخت‌وساز می‌شود.

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیت‌های انجام شده در کشور

□ فعالیت‌های توسعه محصول و تجاری‌سازی (آیا نمونه‌سازی انجام گرفته است؟ چه شرکت‌هایی برای توسعه محصول در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ آیا محصولی مبتنی بر این فناوری در بازار به فروش می‌رسد؟ آیا شرکت‌های صنعتی بزرگ در این زمینه فعالیت می‌کنند؟ آیا شرکت‌های واردکننده در این زمینه فعالیت می‌کنند؟) شرکت هامون صنعت زمین (ژئومارس) یکی از شرکت‌های پیشرو در صنعت نوین پرینترهای سه‌بعدی است که کار خود را با ساخت محصولات دکوراتیو چاپ شده با این فناوری نوین آغاز کرد. البته فعالیت تیم ژئومارس محدود به پرینت محصولات دکوراتیو همچون گلدان‌های دکوری و محصولات سرامیکی نبوده است؛ بلکه طراحی و ساخت پرینترهای سه‌بعدی در سایزهای مختلفی همچون پرینتر سه‌بعدی خانگی، پرینتر سه‌بعدی نیمه‌صنعتی و پرینترهای سه‌بعدی صنعتی را در دستور کار خود قرار داده است.

تیم ژئومارس^۱ اولین استارت‌آپ پیشرو در زمینه طراحی و ساخت پرینترهای سه‌بعدی سرامیکی و بتنی در ابعاد صنعتی در خاورمیانه است. پرینتر سه‌بعدی بتن صنعتی طراحی شده توسط ژئومارس با قابلیت پرینت بتن و سیمان با روش اکستروژ مستقیم امکان ساخت المان‌هایی در مقیاس بزرگ را فراهم می‌کند. پرینتر سه‌بعدی بتن از اجزای با کیفیت فلزی از جنس آهن با استحکام بالا ساخته شده است. و موادی از جنس بتن و سیمان را با دقت بسیار بالا در هر سه محور x, y, z پرینت می‌کند. پرینتر سه‌بعدی صنعتی بتن تیم ژئومارس در پرینت المان‌هایی با ابعاد بزرگ مانند: نیمکت مناسب برای استفاده در فضاهای اجتماعی، جداره‌هایی با طرح‌های منعطف در فضاهای باز شهری، گلدان‌های طرح دار با هندسه پیچیده در مقیاس بزرگ، ساختمان‌های مدرن و... موفق عمل کرده است. پرینتر سه‌بعدی بتن به فعالان در زمینه طراحی و ساخت المان‌های شهری و فضاهای عمومی توصیه می‌شود. همچنین فعالان حوزه ساختمان‌سازی نیز می‌توانند از پرینتر بتنی در ساخت قسمت‌هایی از ساختمان برای تسریع بخشیدن به فرآیند ساخت‌وساز استفاده کنند.



شکل ۲- پرینتر سه‌بعدی سرامیکی خانگی

دانشگاه علم و صنعت: روشی برای چاپ سه‌بعدی ساختار سیمانی^۲

محققان مرکز تحقیقاتی نانومواد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت ایران در یک همکاری بین‌المللی با دانشگاه‌های رایس آمریکا و موناخ استرالیا موفق به ارائه روش القایی در چاپگرهای سه‌بعدی سیمانی شدند. سازوکار معرفی شده در این تحقیق قادر است مقاومت بین لایه‌ای را در چاپ سه‌بعدی مواد سیمانی با استفاده از مواد پلیمری تا حدود ۲۰۰ درصد افزایش دهد. این کار علاوه بر تعدیل اثر میکروترک‌ها در برابر فشار خارجی، پیوستگی سازه را تا نزدیکی رفتار یکپارچه ارتقا می‌دهد. بررسی‌های این پژوهش نشان می‌دهد که برهمکنش یون‌های کلیسم موجود در سیمان و اتم‌های اکسیژن پلیمر مصرفی به عنوان اصلی‌ترین عامل ایجاد رشد مقاومت است.

این مقاله در مجله ACS Nano با ضرب تأثیر ۱۳/۹ از زیرمجموعه انتشارات انجمن شیمی آمریکا (ACS) به چاپ رسیده است که در زمره برترین مجلات علم نانو به شمار می‌آید.

رئیس پژوهشکده مکانیک سازمان پژوهش‌های علمی و آزمایشگاه‌های مجهز شده دانشگاه‌های کشور خبر داد و گفت: این پرینترها که اکنون به مرحله تولید رسیده‌اند، قادرند از کوچک‌ترین اندازه در مقیاس نانو تا ابعاد یک ساختمان بسازند.

۱. <https://geomarsgroup.com/product/industrial-concrete-3d-printer/>

۲. <http://news.nano.ir/79254>

اولین پریپتر سه بعدی برای ساختمان در این پژوهشکده طراحی و ساخته شده است و ما طراحی و ساخت پریپتر سه بعدی فلزی را در دستور کار قرار دادیم. نکته قابل توجه در این زمینه آن است که با مفهوم کلی پریپتر سه بعدی می‌توان مواد (از فلز مذاب، پلیمر حساس زیستی، سرامیک یا سیمان زیستی) و ابعاد تولید را تغییر داد. همچنین برخی مقالات در IRANDoc قابل مشاهده است.

❑ **فعالیت‌های سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری**
هنوز فعالیت خاصی انجام نشده است.

۲-۳- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

ساخت پل‌ها، ساخت مجسمه‌ها و دیواره‌های محیطی، ساخت خانه‌های روستایی و ساده بتنی، ساخت پناهگاه‌ها و بلوک‌های بتنی

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

با توجه به اینکه هنوز شرکت فعالی در این حوزه شکل نگرفته و مواد اولیه نیز در مرحله تحقیقاتی هستند. سطح آمادگی فناوری (TRL) برابر ۴ و سطح آمادگی بازار (MRL) برابر ۳ است.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/ افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل سازی ایده فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هر یک از کاربردهای احتمالی

خانه‌های پیش ساخته که توسعه زیادی هم در سال‌های اخیر داشته‌اند یکی از فناوری‌های رقیب است فناوری‌های رقیب مانند سیمان و بتن متداول یا بتن‌های سبک سازه‌ای و یا خودمتراکم در مرحله رشد خوبی هستند و نسبت به سیمان‌ها و بتن‌های چاپ سه بعدی کاربردی شده‌اند.

۳-۵- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی
 - زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی
 - زیرساخت تولید
 - آزمایشگاه مرجع
 - منابع مالی
 - توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری
 - زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش
- منابع انسانی و زیرساخت آزمایشگاهی تا حدی آماده است. سایر زیرساخت‌ها به نظر آماده نیستند.

۳-۶- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

برای صنعتی شدن این فناوری دو محدودیت بزرگ باید حل شود:
الف- استفاده از این فناوری در تولید بتن مسلح
ب- آیین‌نامه‌های مربوطه در طراحی این سازه‌ها
پیشران‌های فنی شامل نیاز به ساخت با حداقل مشکلات نسبت به روش‌های سنتی و محصولات سنتی است. وجود متخصصین بالقوه در این حوزه که در حوزه‌های مواد و ساخت‌وساز وجود دارند پیشران این موضوع است. چالش‌های فنی شامل نبود تجهیزات چاپ سه بعدی مناسب ساخت‌وساز و نبود ماژول‌های تکمیلی است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

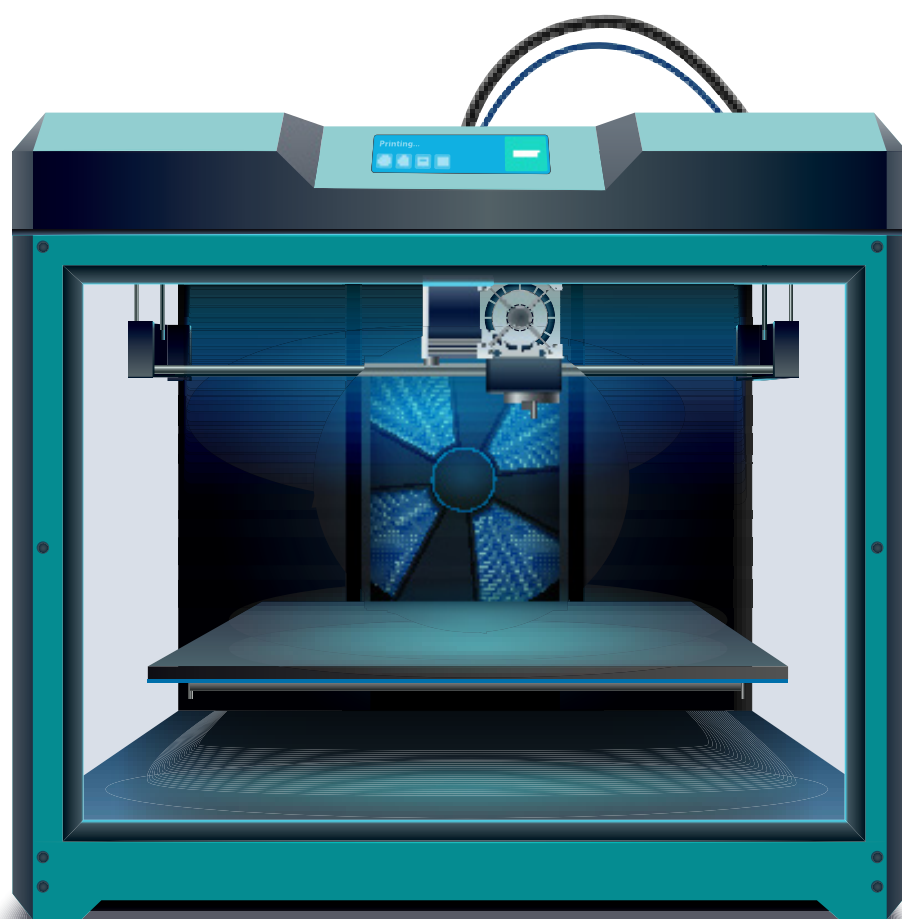
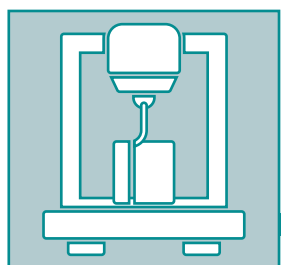
پیشران نیاز به مسکن و سازه‌های سریع و ارزان قیمت است.
چالش نیاز به صرف بودجه برای تحقیقات و ساخت دستگاه‌های چاپ و ماژول‌های میانی است.
آیا از نظر قیمت نسبت به محصولات مشابه توجیه دارد؟ اگر دارد پس چرا تا حالا شرکت‌های بزرگ برای تجاری‌سازی اقدام نکرده‌اند؟
از نظر قیمت مواد و تجهیزات اولیه نسبت به روش‌های متداول و مواد متداول بیشتر است. همچنین چالش تقاضا و نبود تقاضا به علت متداول نبودن روش چاپ بتن منجر به عدم تولید مواد اولیه در کشور شده است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا

به نظر می‌رسد شناخت کافی از محصول در بازار وجود ندارد. لذا نبود تقاضا منجر به عدم صرف توان تحقیقاتی در این حوزه برای دستیابی به محصول تجاری شده است.

۳-۷- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

در سال‌های اخیر تحقیقاتی در حوزه بتن چاپ سه بعدی و مواد آن انجام شده است. همچنین فرایندهای چاپ سه بعدی پلیمری در کشور رشد و توسعه داشته‌اند که بیشتر برای ساخت محصولات کوچک و دکوری استفاده می‌شوند. در صورت بهینه شدن دستگاه‌ها و ساخت دستگاه چاپ بتن برای مصارف حقیقی در آینده می‌توان امیدوار بود از این روش و مواد موردنظر برای ساخت سازه‌ها استفاده کرد.



۱۲

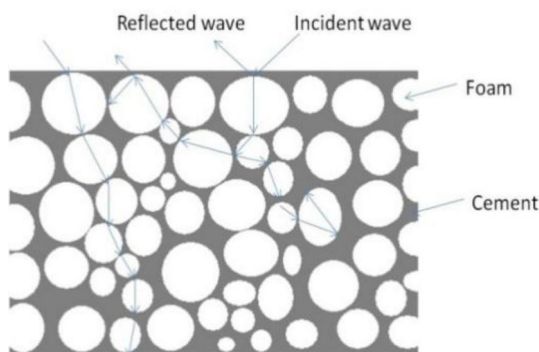


بتن با خاصیت جذب مایکروویو^۱

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱ ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)



شکل ۱- نقشه طرح انتقال موج فرودی در شکل بتن

ویژگی مورد انتظار از بتن دارای خاصیت جذب امواج میکروویو، توانایی جذب و کاهش امواج الکترومغناطیسی در محدوده فرکانسی میکروویو^۱ است. این ویژگی نوآورانه به بتن اجازه می‌دهد انرژی میکروویو را جذب کند که منجر به کاربردها و مزایای متعددی می‌شود. با اصلاحات مختلف در مخلوط بتن می‌توان به این عملکرد دست یافت که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

■ افزودن مواد جاذب میکروویو مانند: سرباره سولفید آهن^۲، سرباره فولاد^۳، سرباره سرب-روی^۴، گرافیت^۵ و یا مگنتیت^۶ [۱،۲].

■ ترکیب نانوذراتی مانند: Al_2O_3 ، SiO_2 ، Fe_2O_3 و یا ایجاد ساختارهای لایه‌ای [۳،۴].

۱-۲ کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

خاصیت جذب میکروویو کاربردهای امیدوارکننده‌ای در زمینه‌های مختلف دارد. در ادامه به برخی از کاربردها و فناوری‌های بالقوه مبتنی بر این ویژگی اشاره شده است.

■ یخ‌زدایی جاده و پیاده‌رو

از بتن جاذب میکروویو می‌توان برای یخ‌زدایی مؤثر و سازگار با محیط‌زیست جاده‌ها و روسازی‌ها استفاده کرد. با ترکیب موادی مانند مگنتیت، سرباره سولفید آهن، سرباره فولاد، سرباره سرب-روی و گرافیت، بتن می‌تواند انرژی میکروویو را جذب کند و سپس می‌تواند سطح را گرم کرده و یخ و برف را ذوب کند. این فناوری می‌تواند با جلوگیری از تشکیل یخ و اطمینان از پاک و هموار بودن سطح، ایمنی جاده‌ها را در فصل زمستان به طور قابل توجهی بهبود دهد [۳، ۵].

■ محافظت الکترومغناطیس

بتن با خاصیت جذب میکروویو را می‌توان در ساخت و ساز ساختمان برای ایجاد حفاظ الکترومغناطیسی استفاده کرد. این امر به ویژه در محیط‌هایی که باید تداخل الکترومغناطیسی (EMI) به حداقل برسد، مانند بیمارستان‌ها، مراکز داده و تأسیسات نظامی مفید است. موادی مانند بتن فوم گرافیتی را می‌توان برای ساخت دیوارها و سقف‌هایی استفاده کرد که در برابر تشعشعات الکترومغناطیسی محافظ بوده و در عین حال عایق حرارتی نیز است [۶].

■ تقویت سازه‌ای

ترکیب نانوذراتی مانند نانو اکسید آهن، نانوذی اکسید سیلیکون و نانو آلومینا در بتن نه تنها خاصیت جذب میکروویو آن را افزایش می‌دهد، بلکه استحکام مکانیکی آن را نیز بهبود می‌دهد [۷].

۱. 1–2 GHz (L-band), 2–4 GHz (S-band), 4–8 GHz (C-band), 8–12 GHz (X-band), 12–18 GHz (Ku-band), 18–26.5 GHz (K-band), 26.5–40 GHz (Ka-band), and 40–50 GHz (Q-band).

۲. Iron sulfide slag

۳. Steel slag

۴. Lead–zinc slag

۵. Graphite

۶. Magnetite

۷. Electromagnetic interference

□ بهره‌وری انرژی در ساختمان

بتن جاذب مایکروویو می‌تواند به بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها کمک کند. به عنوان مثال، بتن فوم‌گرافیت دارای خواص عایق حرارتی خوبی است که می‌تواند هزینه‌های گرمایش و سرمایش را کاهش دهد. عملکرد دوگانه عایق حرارتی و محافظ الکترومغناطیسی، این محصول را به ماده‌ای جذاب برای طراحی ساختمان‌های پایدار تبدیل می‌کند [۶].

□ حذف سریع برف و یخ

بتن با یک لایه دارای قابلیت جذب مایکروویو، تقویت شده با موادی مانند الیاف بازالت، می‌تواند برای حذف سریع یخ و برف استفاده شود. این فناوری به‌ویژه برای باند فرودگاه‌ها، پل‌ها و سایر زیرساخت‌های حیاتی که یخ‌زدایی سریع برای ایمنی و کارایی عملیاتی ضروری است مفید است [۴].

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه بر اساس این فناوری

چندین محصول براساس این فناوری توسعه یافته یا در حال تحقیق و توسعه هستند. هدف از این پیشرفت‌ها ایجاد مصالح ساختمانی است که بتوانند در برابر تداخل الکترومغناطیسی (EMI) محافظت کنند و تشعشعات الکترومغناطیسی را کاهش دهند. در ادامه به چند مورد اشاره می‌شود:

□ کامپوزیت‌های سیمانی دولایه با فریت منگنز-روی^۱

محققان کامپوزیت‌های سیمانی دولایه پر شده از فریت منگنز-روی را به عنوان جاذب امواج مایکروویو طراحی کرده‌اند. این کامپوزیت‌ها جذب امواج الکترومغناطیسی بهتری را در مقایسه با ساختارهای تک‌لایه نشان می‌دهند [۸].

□ کامپوزیت‌های مبتنی بر سیمان حاوی کربن سیاه

محققان این محصول را با افزودن ۲/۵ درصد نانو کربن سیاه به سیمان ساخته‌اند. این کامپوزیت‌ها جذب مایکروویو قابل توجهی را نشان می‌دهند [۹].

۱-۴- مزیت (های) کلیدی این فناوری

(کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و ...)

این فناوری از چند حیث دارای مزیت است. توانایی محافظت تداخل الکترومغناطیسی، افزایش بهره‌وری ارتباطات بی‌سیم به واسطه کاهش تداخل سیگنال در ساختمان، کاهش هزینه‌ها در درازمدت به علت عدم نیاز به ابزار و تجهیزات محافظ امواج جداگانه و امکان تولید این فناوری با استفاده از محصولات بازیافتی و جانبی صنعت که از منظر محیط‌زیستی ارزشمند است. به صورت کلی این یک مسیر احتمالی را برای صنعت سیمان برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن جهانی تا سال ۲۰۵۰ تعیین می‌کند و کارایی منابع مادی را در چرخه عمر مواد سیمان و بتن بهبود می‌دهد.

۱-۵- نانوذرات بهره گرفته در این فناوری

(از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

به برخی نانوذرات مرتبط با این فناوری در ادامه اشاره شده است: نانوذرات مگنتیت (Fe_3O_4): این نانوذرات به دلیل خواص مغناطیسی خود که در جذب امواج الکترومغناطیسی مؤثر هستند به‌طور گسترده استفاده می‌شوند.

نانومواد بر پایه کربن (carbon black):

■ نانوالیاف کربن

■ نانوذرات گرافیت

■ نانوذرات اکسید فلزی:

■ نانوذرات دی‌اکسید منگنز (MnO_2)

■ نانوذرات سیلیکون کاربید (SiC)

■ نانوذرات فلزی:

■ پودر آهن کربونیل^۲

۱. Mn-Zn ferrite

۲. Carbonyl iron powder

سایر مواد در مقیاس نانو یا میکرو:

- سرباره سولفید آهن
- سرباره فولاد
- سرباره سرب-روی

۶-۱- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

در مراحل اولیه این فناوری به تولید نانوذرات اولیه و سنتز نانومواد بر پایه کربن پرداخته خواهد شد. در مراحل میانی آماده‌سازی این نانومواد، پراکنده‌سازی آن‌ها و اصلاح آن‌ها برای سازگاری بهتر با ماتریس سیمان مطرح است. در مراحل پایانی نیز ساخت مخلوط بتن جاذب میکروویو، تولید المان‌های بتنی پیش‌ساخته با خاصیت جذب میکروویو، ایجاد ساختارهای لایه‌ای بتنی با لایه‌های جاذب و محافظ میکروویو و توسعه پوشش‌های سطحی برای سازه‌های بتنی موجود را می‌توان در نظر گرفت.

محصول تولید شده را می‌توان جهت ساخت روسازی‌های بتنی جاذب میکروویو برای کاربرد یخ‌زدایی، محافظ تداخل الکترومغناطیس در ساختمان‌ها و تأسیسات حساس، در حوزه نظامی جهت جذب رادار، زیرساخت‌های حمل‌ونقل به‌منظور توسعه ارتباطات بی‌سیم و پیاده‌سازی در محیط‌های صنعتی برای حفاظت تجهیزات به کار برد.

۷-۱- فناوری‌های رقیب

(از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

چندین فناوری و روش‌های جایگزین برای رفع نیازهای مرتبط با این فناوری وجود دارند که به آن‌ها اشاره می‌شود:

روش‌های سنتی یخ‌زدایی

- یخ‌زدهای شیمیایی مانند نمک
- روش مکانیکی به معنای استفاده از ماشین‌آلات برف‌روب
- استفاده از سیستم‌های هیدرونیکی، گرماتابش الکتریکی و بتن رسانا

محافظ تداخل الکترومغناطیسی (EMI)

- استفاده از مواد محافظتی مانند مس و ورق آلومینیوم
- رنگ‌ها و پوشش‌های رسانا
- محصولات محافظ تخصصی

جذب رادار

- مواد جاذب رادار (RAM)^۱
- جاذب‌های مبتنی بر فریت
- فرامواد طراحی شده برای جذب فرکانس خاص

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکرشده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

- مواد جاذب میکروویو (MAM): این مواد توانایی گرمایش روسازی‌های بتنی را در مواجهه با امواج میکروویو افزایش می‌دهند [۱۰].
- افزودنی‌های رسانا: ذرات یا الیاف کوتاهی که می‌توان به مواد مبتنی بر سیمان اضافه کرد تا خواص بازتابی/جذب میکروویو را اصلاح کند [۱۱].
- مواد هیبریدی: ترکیباتی مانند مخلوط‌های $\text{SiC}-\text{Fe}_3\text{O}_4$ را می‌توان به‌عنوان اصلاح‌کننده برای افزایش جذب میکروویو در بتن استفاده کرد [۱۲].
- فناوری چاپ سه‌بعدی: برای ایجاد هندسه‌های پیچیده و ساختارهای لایه‌ای در بتن

۱. Radar absorbing material

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید (آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی‌ای را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

فعالیت در این زمینه منزوی نبوده و فرصت‌های خوبی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد. این فناوری حوزه‌های مرتبط با مهندسی و علوم مواد، مهندسی عمران، محیط‌زیست و توسعه زیرساخت‌های هوشمند را در بر گرفته و فرصت‌های تحقیقاتی گسترده‌ای را ایجاد می‌کند.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی (آیا این اثر/فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی و استراتژیک حائز اهمیت است. چندین موضوع کلیدی از جمله نگرانی‌های محیط‌زیستی (آلودگی الکترومغناطیسی، بهره‌وری انرژی)، ایمنی عمومی (بهبود زیرساخت)، امنیت ملی و پیشرفت فناوری را می‌توان مورد توجه قرار داد. این فناوری به کاهش مشکلات محیط‌زیستی مرتبط با آلودگی الکترومغناطیسی و به‌طور بالقوه به شیوه‌های ساخت‌وساز پایدارتر کمک می‌کند. همچنین این فناوری در کاربردهای دفاعی و بهبود قابلیت اطمینان سیستم‌های الکترونیکی که برای جامعه مدرن حیاتی هستند، اهمیت استراتژیک دارد.

تحلیل بین‌المللی

۱-۲- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

برخی از بازیگران کلیدی فعال در مورد خواص جذب میکروویو در حیطه تحقیقاتی عبارت‌اند از:

- Liu M.Y. و همکاران ایشان مطالعه‌ای پیرامون بررسی کارایی یخ‌زدایی روسازی‌های بتنی جاذب میکروویو انجام دادند.
- Lv Xingjun و همکاران ایشان تحقیقی درباره فوم بتن جاذب جدید و خواص جذب میکروویو آن انجام دادند.
- Li Huawei و همکاران ایشان مطالعه‌ای پیرامون آماده‌سازی و بررسی ویژگی‌های جاذب میکروویو مواد سیمانی باطله آهن دولایه انجام دادند.
- Dai و همکاران در مطالعه‌ای کامپوزیت‌های بر پایه سیمانی کربن سیاه و کامپوزیت‌های بر پایه سیمانی با سرباره فولادی برای جذب میکروویو را مورد بررسی قرار دادند.
- Shen و همکاران در مطالعه‌ای عملکرد جاذب کامپوزیت‌های بر پایه سیمان حاوی فیبر کربن را مورد بررسی قرار دادند.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه‌حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه‌اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/ افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

سطح آمادگی فناوری (TRL) برابر ۴ و سطح آمادگی بازار (MRL) برابر ۳ است.

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

این فناوری به نظر می‌رسد در مراحل اولیه خود، احتمالاً در مرحله تحقیق و توسعه یا نمونه اولیه قرار دارد. بیشتر کارهای توصیف شده هنوز در سطح تحقیقات دانشگاهی است.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش روی فناوری

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

- چالش‌های فنی پیش رو عبارت‌اند از:
- طرح مخلوط مناسب: دستیابی به طرح مخلوط مناسبی که با بهینه‌ترین میزان مواد جاذب حداکثر خواص را به دست آورده بدون آنکه خواص مکانیکی و دوام بتن کاهش یابد.
- پراکندگی یکنواخت: اطمینان از توزیع یکنواخت مواد جاذب در سراسر ماتریس بتن
- مقیاس‌پذیری: انتقال از مقیاس آزمایشگاهی به شرایط و مقیاس واقعی
- یکنواختی دما: دستیابی به گرمایش یکنواخت در سراسر سطح برای کاربری یخ‌زدایی

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

- پیشران‌های اقتصادی پیش رو عبارت‌اند از:
- رشد بازار: بازار جهانی مواد جاذب میکروویو در حال رشد است که نشان‌دهنده تقاضای فزاینده برای این فناوری است.
- نوآوری در مواد: توسعه مداوم مواد جدید می‌تواند منجر به محصولات با ارزش افزوده بالاتر شود.
- چالش‌های اقتصادی پیش رو عبارت‌اند از:
- هزینه تولید: فرآوری و آماده‌سازی مواد اولیه می‌تواند پرهزینه باشد.
- مقیاس‌پذیری: انتقال از تولید آزمایشگاهی به تولید صنعتی می‌تواند چالش برانگیز و پرهزینه باشد.
- تغییرات فناوری: نیاز به سرمایه‌گذاری مداوم در تحقیق و توسعه برای حفظ رقابت‌پذیری
- مقررات: الزامات احتمالی محیط‌زیستی یا ایمنی می‌تواند هزینه‌های تولید را افزایش دهد.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

- پیشران‌های سلامت، ایمنی و بهداشت پیش رو عبارت‌اند از:
- کاهش استفاده از مواد شیمیایی: کاهش نیاز به استفاده از مواد شیمیایی یخ‌زدا که می‌تواند برای انسان و محیط‌زیست مضر باشد.
- افزایش ایمنی جاده‌ها: کاهش خطر تصادفات ناشی از یخ‌زدگی جاده‌ها در فصول سرد
- کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی: استفاده از نمک و سایر مواد یخ‌زدا موجب آسیب به پوشش گیاهی و شوری آب‌های شیرین می‌شود.
- چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت پیش رو عبارت‌اند از:
- مسائل محیط‌زیستی: بررسی اثرات احتمالی مواد جاذب میکروویو بر محیط‌زیست در طول عمر بتن

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

- افزایش ایمنی جاده‌ها، کاهش اثرات منفی محیط‌زیستی و بهره‌وری انرژی از جمله پیشران‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی این فناوری هستند.

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

این فناوری هنوز به عنوان یک محصول به تولید و کاربری نرسیده است.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارند

با توجه به مطالعات رو به رشدی که پیرامون این فناوری در سال‌های اخیر انجام شده است و با توجه به تقاضای رو به رشد بازار مرتبط با مواد دارای خاصیت جاذب میکروویو (پیش‌بینی رشد تا ۷۰۷/۱ میلیون دلار تا سال ۲۰۳۴) می‌توان انتظار استقبال و توسعه هر چه بیشتر این فناوری را داشت.

توصیف عمومی فناوری

۳-۱- فعالیتهای انجام شده در کشور

□ فعالیتهای تحقیقاتی (چه تیم‌هایی در کدام نهادها در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ چه مقالاتی در این زمینه منتشر شده است؟ چه پایان‌نامه‌هایی نگارش شده است؟)

پیرامون این فناوری و خاصیت جاذب میکروویو در بتن یا محصولات سیمانی در داخل کشور پایان‌نامه و یا مقالات زیادی وجود ندارد. از طرفی پیرامون این ویژگی یعنی خاصیت جذب امواج میکروویو پایان‌نامه و مطالعات بسیاری وجود دارند که عمدتاً مربوط به دانشکده‌های علوم، فیزیک، مهندسی برق هستند. با این حال به برخی از مقالات داخلی و پایان‌نامه‌های مرتبط‌تر به حوزه مهندسی عمران اشاره می‌شود.

علی یاراحمدی دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود به راهنمایی استاد گران‌قدر جناب سید علی حسینی در سال ۱۴۰۱ پیشنهادی را در سامانه ایرانداک تحت عنوان "ارزیابی تأثیر سیکل‌های مختلف یخ‌زدایی بر رفتار خزشی و خودترمیمی مخلوط‌های آسفالتی حاوی سرباره فولادی و سرباره چدن" به ثبت رسانده‌اند. ایشان در چکیده پیشنهاد خود به قابلیت بالای سرباره فولاد و چدن برای گرمایش میکروویو به عنوان یک ماده جذب‌کننده میکروویو اشاره نموده و هدف اصلی از پژوهش خود را بررسی امکان استفاده از این دو سرباره به عنوان افزودنی‌های جاذب الکتریکی برای انتقال گرمایش میکروویو به مخلوط آسفالت جهت یخ‌زدایی میکروویو و بررسی خودترمیمی آسفالت حاوی این دو سرباره و بررسی شیارشدگی این مخلوط‌ها عنوان کرده‌اند.

جهانگیری و مهدی زاده در مطالعه‌ای که در مجله نانو ساختارها در سال ۱۳۹۵ به چاپ رسیده است به بررسی تأثیر میزان کربن سیاه بر خواص جذب امواج میکروویو در کامپوزیت‌های کربن سیاه/اپوکسی پرداخته‌اند. امین زاده، نوروزی نژاد و زیدآبادی نژاد در مطالعه‌ای که در سال ۱۳۹۳ انجام شد به بررسی گرم کردن مخلوط آسفالتی به وسیله امواج میکروویو به منظور ترمیم آسفالت پرداختند.

□ فعالیتهای توسعه محصول و تجاری‌سازی (آیا نمونه‌سازی انجام شده است؟)
تاکنون در کشور نمونه‌سازی انجام نشده است.

□ فعالیتهای سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری
-

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

این فناوری به‌طور عمده در حوزه ساخت‌وساز و سپس نفت و پتروشیمی کاربرد دارد. در حوزه ساخت‌وساز در حیطه‌های یخ‌زدایی جاده‌ها، محافظت الکترومغناطیس و ساختمان‌های با بهره‌وری انرژی بالا کاربردی است. در حوزه نفت و پتروشیمی نیز در حیطه‌های مراقبت از خطوط لوله و زیرساخت پالایشگاهی کاربردی است.

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

برای این فناوری در کشور میتوان سطح آمادگی فناوری (TRL) را برابر ۴ و سطح آمادگی بازار (MRL) را نیز ۴ در نظر گرفت.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹	■	■	■						خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸	■	■	■						شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷	■	■	■						تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل
۶				■					ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه اندازی خط تولید	■	■	■						
تکمیل سیستم نهایی/ افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت	■	■	■						
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی				■					
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد					■				
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد						■			
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه							■		
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن								■	
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									■

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هر یک از کاربردهای احتمالی

روش‌های یخ‌زدایی سنتی مانند استفاده از روش مکانیکی و یا شیمیایی (پاشش نمک) را می‌توان به عنوان راهکاری جاری و رقیب برای این فناوری دانست که با توجه به مضرات روش‌های فعلی به نظر می‌آید که این فناوری به راحتی با استقبال خوبی روبرو شده و می‌تواند جایگزین روش‌های سنتی و فعلی شود.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه سازی (TRL6) و همچنین، برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری سازی در کشور

- منابع انسانی: وجود دارد
- زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه سازی: وجود دارد
- زیرساخت تولید:
- آزمایشگاه مرجع: وجود دارد
- منابع مالی: وجود دارد
- توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری: وجود دارد
- زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش: وجود دارد

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

- چالش‌های فنی پیش رو عبارت‌اند از:
- طرح مخلوط مناسب: دستیابی به طرح مخلوط مناسبی که با بهینه‌ترین میزان مواد جاذب حداکثر خواص را به دست آورده بدون آنکه خواص مکانیکی و دوام بتن کاهش یابد.
- مقیاس‌پذیری: انتقال از مقیاس آزمایشگاهی به شرایط و مقیاس واقعی
- عملکرد در شرایط آب و هوایی محلی: حصول اطمینان از عملکرد مؤثر فناوری در مناطق متنوع آب و هوایی ایران، از مناطق گرم بیابانی تا مناطق کوهستانی سرد
- آزمایش و استانداردسازی: ایجاد روش‌ها و استانداردهای آزمایشی مناسب برای این فناوری جدید که با هنجارهای بین‌المللی مطابقت داشته باشد و نیازهای داخلی را برآورده کند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

- پیشران‌های اقتصادی پیش رو عبارت‌اند از:
- بهره‌وری انرژی: تلاش‌های داخلی برای بهبود بهره‌وری انرژی می‌تواند باعث علاقه‌مندی به فناوری‌هایی شود که می‌توانند مصرف انرژی در ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها را کاهش دهند.
- استفاده از ضایعات صنعتی: پتانسیل استفاده از محصولات جانبی صنعتی مانند سرباره فولاد در بتن جاذب میکروویو می‌تواند از طریق کاهش ضایعات و بهره‌وری منابع، مزایای اقتصادی داشته باشد.
- فرصت‌های صادراتی بالقوه: اگر در کشور بتوان این فناوری را توسعه داد، به‌طور بالقوه می‌توان فناوری یا مواد را به سایر کشورهای منطقه صادر کرد.
- چالش‌های اقتصادی پیش رو عبارت‌اند از:
- هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه: توسعه و اجرای فناوری‌های جدید ممکن است نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه قابل توجهی در تحقیقات، توسعه و تجهیزات مرتبط با تولید داشته باشد.
- عدم قطعیت بازار: به‌عنوان یک فناوری نسبتاً جدید، ممکن است در مورد تقاضای بازار و بازگشت سرمایه تردید وجود داشته باشد.
- رقابت با فناوری‌های موجود: بتن جاذب میکروویو باید از نظر اقتصادی با راهکارهای موجود رقابت کند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا

- پیشران‌های این حوزه عبارت‌اند از:
- توسعه زیرساخت: پروژه‌های زیرساختی جاری و آتی ایران، به‌ویژه در حوزه حمل‌ونقل، می‌تواند تقاضای قابل توجهی برای بتن جاذب میکروویو برای کاربردهای یخ‌زدایی ایجاد کند.
- محافظ الکترومغناطیسی: با استفاده روزافزون از وسایل الکترونیکی و نیاز به حفاظ الکترومغناطیسی در ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها، تقاضای بالقوه‌ای برای بتن وجود دارد که بتواند تشعشعات میکروویو را جذب کند.
- بهره‌وری منابع: پتانسیل استفاده از محصولات جانبی صنعتی مانند سرباره فولاد در بتن جذب میکروویو با اهداف کلان کشور برای توسعه پایدار و کاهش ضایعات مطابقت دارد. این امر می‌تواند تقاضا را از منظر محیط‌زیستی و اقتصادی افزایش دهد.
- چالش پیش رو وجود راهکارهای سنتی و ارزیابی اقتصادی طرح و عملکرد آن در درازمدت است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

- پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)
- افزایش ایمنی زیرساخت‌ها در جاده‌ها و فرودگاه‌ها و هم‌چنین کاهش استفاده از مواد شیمیایی یخ‌زدا از جمله پیشران‌های این حیطه هستند.

۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

این فناوری به‌عنوان یک محصول در کشور به تولید نرسیده است.

۹-۳- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

اگر کشور ما در این فناوری تخصص پیدا کند، ممکن است فرصت‌هایی برای صادرات دانش و خدمات مشاوره‌ای به سایر کشورهای علاقه‌مند به اجرای بتن جاذب مایکروویو وجود داشته باشد.

۱۰-۳- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

نگرانی‌های محیط‌زیستی و گسترش تحقیق و توسعه پیرامون یافتن راهکارهای نوآورانه و به‌روز جهت جایگزینی شیوه‌های سنتی می‌تواند چشم‌انداز روشنی برای این فناوری در آینده باشد.

منابع

- ۱- Xingwen, J., Z. Yajie, and Q. Jueshi, Microwave absorbing property of the graphite foam concrete. *Journal of Functional Materials*, 2012. 43(17): p. 2397-2400.
- ۲- Qiu, H., et al., Heating Characteristics and Deicing Properties of Magnetite Mortar Microwave-Absorbing Layer on Concrete Pavement. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2023.
- ۳- Liu, M., et al., Study on Microwave Deicing Efficiency of Microwave-Absorbing Concrete Pavements and Its Influencing Factors. *Materials*, 2022. 15(24): p. 8923.
- ۴- Jiang, A., et al., Properties of Concrete Reinforced with a Basalt Fiber Microwave-Absorbing Shielding Layer. *Sustainability*, 2023.
- ۵- Hong-tao, W., Microwave absorbing property of the graphite foam concrete. *Journal of Functional Biomaterials*, 2012.
- ۶- Peng, G., et al., Microwave Absorbing Property of the Nanoparticle Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018. 389.
- ۷- Zhang, X. and W. Sun, Microwave absorbing properties of double-layer cementitious composites containing Mn-Zn ferrite. *Cement and Concrete Composites*, 2010. 32(9): p. 726-730.
- ۸- Xingjun, L., et al., A new absorbing foam concrete: preparation and microwave absorbing properties. *Advances in concrete construction*, 2015. 3(2): p. 103.
- ۹- Zhao, J., et al., Concrete pavement with microwave heating enhancement functional layer for efficient de-icing: Design and case study. *Cold Regions Science and Technology*, 2023. 210: p. 103846.
- ۱۰- Chung, D.D.L., A Review of Microwave Absorption and Reflection by Cement-Based Materials, With Emphasis on Electromagnetic Interference Shielding and Admixture Effects. *Advanced Functional Materials*. n/a(n/a): p. 2408220.
- ۱۱- Liu, X., et al., Microwave absorption enhancement of asphalt concrete with SiC-Fe₃O₄ mixtures modifier. *Construction and Building Materials*, 254. 2020: p. 119209.
<https://www.databridgemarketresearch.com/ar/reports/global-microwave-absorbing-materials-market/companies>
<https://www.linkedin.com/pulse/microwave-absorbing-materials-market-size-key-trends-jizjf>



۱۳



بتن محافظ تابشی

Radiation shielding concrete

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱- ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

بتن سنگین برای محافظت در برابر تشعشع، هم برای اهداف پزشکی و هم برای اهداف هسته‌ای استفاده می‌شود. افزایش چگالی عموماً با استفاده از سنگ‌دانه‌های طبیعی سنگین مانند باریت یا مگنتیت به دست می‌آید. چگالی به دست آمده به نوع سنگ‌دانه مورد استفاده بستگی دارد. معمولاً با استفاده از باریت‌ها چگالی در ناحیه ۳۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است که ۴۵ درصد بیشتر از بتن معمولی است، درحالی‌که با مگنتیت، چگالی ۳۹۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب یا ۶۰ درصد بیشتر از بتن معمولی خواهد بود. محتوای سیمان و نسبت آب به سیمان مشابه بتن‌های معمولی است، اما نسبت سنگ‌دانه به سیمان به دلیل چگالی بیشتر سنگ‌دانه‌ها به طور قابل توجهی بالاتر خواهد بود. حفاظ بتنی بسته به ضخامت و چگالی سازه بتنی، شدت تابش را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، با یک ماده با چگالی بالاتر، می‌توانید تابش را سریع‌تر کاهش دهید. مثلاً از مگنتیت، به عنوان سنگ‌دانه بتن در فرمولاسیون بتن برای دستیابی به چگالی تا ۴۶۰۰ تن بر مترمکعب استفاده می‌شود. برعکس، بتن استاندارد معمولاً دارای چگالی تا ۲۴۰۰ تن بر مترمکعب است.

۱-۲- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

- بیمارستان‌ها
- آزمایشگاه‌ها
- مؤسسات تحقیقاتی
- نیروگاه هسته‌ای
- محل تصفیه زباله‌های هسته‌ای یا محل تولید

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه بر اساس این فناوری

- انواع افزودنی‌های بتن و سیمان
- سیمان و بتن محافظ تابشی
- بتن‌های RSC, UHPRSC بتن‌های محافظ تابشی و بتن‌های فوق مستحکم محافظ تابشی

۱-۴- مزیت (های) کلیدی این فناوری (کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و ...)

مزیت‌های استفاده از بتن محافظ تابشی استفاده از آن به صورت عامل سازه ای در ساخت وساز محیط مورد نظر است. این امر مشکلات استفاده و آلودگی با سرب را ندارد و به صورت طبیعی محافظت را انجام می‌دهد. همچنین بر خلاف فلزات سنگین که استفاده از آنها در بخش‌های خاصی از محیط تحت تابش می‌تواند صورت گیرد، بتن محافظ تابشی به صورت یکنواخت در محل‌هایی که نصب و یا دیوار بتنی ساخته شده است فرایند محافظت را انجام می‌دهد.

۵-۱- نانوذرات بهره گرفته شده در این فناوری (از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

نانوذرات:

$PbO_2, Fe_2O_3, WO_3, H_4B$ ■

B_4C ■

TiO_2 ■

WO_3 ■

Bi_2O_3 ■

nano- $CaCO_3$ ■

nano-silica ■

سایر افزودنی‌ها به صورت Aggregate یا سنگ‌دانه:

types of Aggre- gates	Relative Density	Chemical Composition of Principal Mineral	Performance	Refs.
Magnetite	۴٫۶–۵٫۲	Fe ₃ O ₄	Shield gamma rays	[۶۸]
Barite	۴٫۰–۴٫۴	BaSO ₄		
Hematite	۴٫۶–۵٫۲	Fe ₂ O ₃		[۶۹]
Serpentine	۲٫۴–۲٫۶۵	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄		
Ilmenite	۴٫۲–۴٫۸	FeTiO ₃	Shield neutrons	[۷۰]
Ascharite	۳٫۴–۳٫۶	Mg ₂ B ₂ O ₅ ·H ₂ O		[۷۱]
Limonite	۳٫۴–۴٫۰	Hydrous iron ores contain- ing 8–12% water		
Lepidocrocite	–			
Basalt	۲٫۶–۲٫۸	–	Shield X-rays	

۶-۱- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

۱- تولید نانوذرات

۲- تولید سیمان یا مخلوط افزودنی‌ها

۳- تولید بتن مانع تابش

لازم به ذکر است تولید بتن می‌تواند در محل یا به صورت پیش‌ساخته و انتقال به محل مصرف انجام شود.

۷-۱- فناوری‌های رقیب (از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

■ استفاده از فولادهای مقاوم در برابر تشعشع

■ استفاده از فلز سرب به شکل‌های مختلف مانند ورق و بلوکه و ...

■ استفاده از عایق‌های ضد تشعشع

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

فناوری‌های مربوط به آماده‌سازی افزودنی‌های مورد نظر در ترکیب سیمانی. دستگاه‌های میکسر مخصوص آماده‌سازی ملات مورد نظر و همچنین تجهیزات آماده‌سازی ملات خشک برای بسته‌بندی. بتن سنگین را می‌توان با استفاده از تجهیزات معمولی دسته‌بندی، حمل و جابه‌جا کرد، اگرچه مشخصاً جنبه‌های خاصی وجود دارد، مانند مقداری که می‌تواند توسط یک کامیون آماده حمل شود یا در یک بار جابجا شود، که توسط چگالی محدود می‌شود. به دلیل چگالی بیشتر، فشار قالب افزایش می‌یابد. میزان سایش میکسرها و پمپ‌ها نیز افزایش می‌یابد. تراکم به انرژی بیشتری نسبت به بتن معمولی نیاز دارد و ویبره‌های پوکر باید در مراکز نزدیک‌تر وارد شوند.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/فناوری نسبتاً منزوی است؟)

بله. علوم ساخت بتن‌های پیشرفته با استفاده از علوم نانو و ... هم‌راستا با علم عمران و سازه می‌تواند منجر به ایجاد رشته‌ها و فعالیت‌های کاری تحقیقاتی جدید شوند.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی

(آیا این اثر/فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

به‌طور کلی یکی از مخاطرات مهم در حوزه استفاده از علوم هسته‌ای چه در پزشکی و چه در حوزه انرژی، سرطان‌زا بودن تشعشعات هسته‌ای یا اشعه ایکس برای افراد است. بنابراین در محیط‌هایی که از عناصر پرتوزا و هسته‌ای یا تجهیزات تولیدکننده اشعه‌های ایکس و گاما استفاده می‌شود باید با دقت بحث کنترل و محافظت از افراد و جانداران در نظر گرفته شود. بنابراین ساخت بتن‌های مانع تشعشع یک امر کاملاً ملی و حیاتی برای صنایع هسته‌ای و پزشکی است. اهمال در خصوص محافظت در برابر تشعشعات هسته‌ای خصوصاً در صنایع انرژی هسته‌ای منجر به فاجعه ملی می‌شود. در زمینه پزشکی نیز محافظت از پرسنل، بیماران و مراجعین در برابر تشعشعات بسیار مهم و ضروری است. در این زمینه استانداردهای مشخصی وجود دارد که باید در نظر گرفته شود.

تحلیل بین‌المللی

۱-۲- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

- بازیگران در حوزه R&D
- بازیگران صنعتی/تجاری در مراحل مختلف زنجیره ارزش
- نهادهای سیاست‌گذار و نهادهای تنظیم مقررات در سطح بین‌المللی
- استاندارد ASTM:

Designation: C 638 – 92 (Reapproved 2002)

Standard Descriptive Nomenclature of Constituents of Aggregates for Radiation-Shielding Concrete

- استاندارد ACI 304.3R
- استاندارد ACI 212.3R
- استاندارد ACI 301
- استاندارد ASTM C 150
- استاندارد ASTM C 595
- استاندارد ASTM C 94
- استاندارد ASTM C 637
- استاندارد ASTM C 33

چند شرکت در حوزه تولید بخش‌های مختلف این فناوری فعالیت می‌کنند. مهم‌ترین بازیگران این صنعت شرکت‌های پیشرو ارائه‌دهنده این بتن‌ها هستند.

□ شرکت NSS^۱

بتن سنگین DenseCRETE® با چگالی بالا را می‌توان ریخت، پمپ کرد یا انتقال داد و به اندازه بتن چگالی معمولی در کاربرد و قابلیت استفاده همه‌کاره است. مخلوط‌ها و طرح‌های بتن سنگین DenseCRETE® با چگالی بالا NSS به‌طور خاص با الزامات منحصربه‌فرد برای هر پروژه طراحی شده است. این شرکت راه‌حلی را انتخاب کند که متناسب با فضا و بودجه شما باشد. تجربه گسترده این شرکت با بتن با چگالی بالا (سنگین وزن) (DenseCRETE®) بیش از پنج دهه خدمات به صنایع محافظ پرتوهای هسته‌ای، پزشکی و صنعتی را شامل می‌شود. سایر شرکت‌های مهم ارائه‌کننده این بتن‌ها عبارت‌اند از:

- LKAB Minerals
- Pitts Little Corporation
- NSS
- Flemington Precast & Supply
- Milbank Concrete Products
- NELCO
- MHI
- Wieser Concrete
- Ultraray
- NUVIA
- شرکت LKAB^۱

۱. https://www.nuclearshielding.com/?gad_source=1&gclid=EAlaIQobChMI3N7W5brYhgMVcZ2DBx1xrjZUEAMYASAAEgKxH_D-BwE



شکل ۱- سنگ‌دانه‌های Megadense

چندین راه حل ساختمانی برای استفاده از سنگ‌دانه با چگالی بالا MagnaDense برای ساختن یک اتاق یا پناهگاه محافظت شده در برابر تشعشع برای ارائه درجه دفاعی مناسب وجود دارد: دیوارهای بتنی سنگین استاندارد؛ دیوارهای ساخته شده از بتن با چگالی بالا که حاوی MagnaDense است. دیوارهای "ساندویچ"؛ همان‌طور که از نام این محلول مشخص است، لایه‌ای از MagnaDense فشرده بین دو دیوار (بیشتر) از پیش ساخته شده است که به عنوان قالب گم شده عمل می‌کند.

بلوک‌های بتنی با چگالی بالا مدولار؛ دیوارهای محافظ تابش با استفاده از بلوک‌های ساخته شده از بتن سنگین و MagnaDense ساخته می‌شوند.

ما یک مقاله خبری با یک مورد تجاری مفصل با اطلاعاتی در مورد این روش خاص منتشر کرده‌ایم. مزایای استفاده از MagnaDense به عنوان یک ماده محافظ تشعشع؛ اغلب از ما می‌پرسند که بتن سنگین MagnaDense چه مزایایی می‌تواند برای یک پروژه محافظت در برابر تشعشع به همراه داشته باشد. با این حال، یک پاسخ مناسب برای همه وجود ندارد. خواهید دید که بسته به پروژه شما ممکن است یک یا چند مورد از این مزایا اعمال شود:

- وزن بیشتر، حجم کمتر
- ویژگی‌های خوب محافظت در برابر تشعشع
- افزایش وزن برای حجم معین
- کاهش خطر ترک خوردگی به دلیل حفظ گرمای زیاد MagnaDense که منجر به کاهش بیشتری در نقطه پیک گرمای هیدراتاسیون می‌شود.
- صرفه جویی در فضا؛ دیوارهای نازک‌تر

سطح آمادگی بازار								
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۹								خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸								شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷								تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل
۶								ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه حل
۵								شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل (مانند راهبری پروژه)
۴								کم‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳								شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲								شناسایی یک نیاز بخصوص
۱								شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/ افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدول سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

با توجه به نو ظهور بودن این فناوری و سطح بالای تحقیقات جاری در حوزه توسعه سیمان‌های مرتبط با فناوری نانویی و همچنین تولید بتن‌های مانع تابش در مقیاس صنعتی سطح آمادگی این فناوری از نظر محصولات نانویی (TRL) برابر ۷ و از نظر سطح آمادگی بازار (MRL) برابر ۷ است. به نظر می‌رسد انواع غیر نانویی یا پیشرفته آن در بازار به بلوغ کامل رسیده باشند.

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

در مرحله رشد قرار دارد.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش روی فناوری

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

پیشران‌های فنی؛ وجود مواد نانویی و ترکیبات مختلف مورد استفاده در صنعت سیمان و بتن مانند بهبوددهنده‌ها و ذرات سنتز شده صنعتی و همچنین ذرات طبیعی چالش‌های فنی؛ نیاز به اثبات کارایی و دوام محصول در مقایسه با سایر محصولات متداول مانند سنگ‌دانه‌های طبیعی

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

پیشران‌های اقتصادی؛ نیاز به بتن و سیمان گریدهسته‌ای برای کاربردهای پزشکی و هسته‌ای و کم بودن هزینه نسبت به استفاده از سایر فناوری‌ها مانند فلزات سنگین و فولادهای پیشرفته. چالش‌های اقتصادی؛ قیمت گریدهای نانویی در برابر گریدهای طبیعی این بتن‌ها ممکن است گران‌تر باشد. همچنین تجهیزات مورد نیاز شاید کمی خاص‌تر از گریدهای متداول بتن باشد.

□ مقایسه هزینه سنگ‌دانه شن مگنت برای بتن سنگین با بتن معمولی:

این نوع بتن هم از نظر مواد سازنده با بتن معمولی متفاوت است و در آن موادی مانند سنگ‌دانه شن مگنت برای بتن سنگین، خرده فولاد، چدن و ... استفاده می‌شود و هم از نظر شیوه تراکم، ابعاد و نوع سنگ‌دانه تفاوت دارد. بنابراین هزینه‌های ساخت آن در مقایسه با بتن معمولی بیشتر است.

□ دلایل افزایش قیمت

- شکستن مصالح و آماده‌سازی برای تولید
- حفاری معادن به منظور استخراج مصالحی مانند سنگ‌دانه شن مگنت برای بتن سنگین و ...
- حمل و نقل مصالح و امکان دور بودن معادن
- ایجاد دانه‌بندی مناسب
- شرایط بتن‌ریزی
- پرداخت کردن سطح بتن
- ایجاد طرح اختلاط مناسب

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

پیشران سلامت؛ جلوگیری از در معرض تشعشع قرار گرفتن کارکنان و افراد و همچنین جلوگیری از ایجاد فاجعه انتشار اشعه‌ها در صورت ایجاد خرابی در تأسیسات هسته‌ای و ... چالش ایمنی؛ مهم‌ترین چالش در بحث ایمنی و سلامت، رعایت استانداردهای بتن ساخته شده و کارایی آن است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

از نظر اخلاقی و حقوقی و اجتماعی، استفاده از مصالح مانع تشعشع در تمامی مکان‌های در معرض اشعه‌های مضر نیاز اساسی است. این امر در مراکز پزشکی و بیمارستانی و همچنین تأسیسات هسته‌ای جنبه حقوق عمومی دارد.

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

با توجه به اینکه پروژه‌های ساخت بتن در محل یا کارگاه بر اساس پروژه قیمت‌گذاری می‌شوند و مصرف عمومی ندارند قیمت بتن در منابع مشاهده نشده است. با این حال یک گزارش در سال ۱۹۶۰ در مورد ساخت بتن‌های مانع تشعشع در آمریکا قیمت ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ دلار به ازای هر مترمربع در محل گفته شده است. البته این قیمت در زمان ۱۹۶۰ ملاکی برای قیمت کنونی نیست.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

با افزایش فعالیت‌ها و سرمایه‌گذاری صنعتی در بخش هسته‌ای و مراکز پزشکی هسته‌ای، رشد چشمگیری در مصرف بتن‌های RSC در سطح دنیا در سال‌های پیش رو وجود داشته خواهد داشت.

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیتهای انجام شده در کشور

■ فعالیتهای توسعه محصول و تجاری سازی (آیا نمونه سازی انجام گرفته است؟ چه شرکت هایی برای توسعه محصول در این زمینه فعالیت کرده اند؟ آیا محصولی مبتنی بر این فناوری در بازار به فروش می رسد؟ آیا شرکت های صنعتی بزرگ در این زمینه فعالیت می کنند؟ آیا شرکت های واردکننده در این زمینه فعالیت می کنند؟ تحقیقاتی در زمینه بتن های مقاوم در برابر تشعشعات رادیواکتیو^۱، و پرتوهای گاما و... انجام شده است.

■ فعالیتهای سیاست گذاری و تنظیم گری
هنوز فعالیتی انجام نشده است.

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

■ ساختمان های پزشکی هسته ای، آزمایشگاه های تصویربرداری اشعه ایکس و اتاق های مربوطه
■ تأسیسات هسته ای

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل
۶									ترجمه ویژگی های مورد انتظار محصول / خدمت به توانمندی های فنی مورد نیاز برای خلق راه حل
۵									شناسایی توانمندی های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کمی سازی ویژگی های مورد انتظار محصول / خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی های مورد انتظار محصول / خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی / راه اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی / افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستپایی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستپایی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستپایی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش های اولیه									
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن ها									

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

دقیقاً مشخص نشده است که آیا بتن مانع تشعشع نانویی تولید شده و به مصرف رسیده است یا خیر. بنابراین با توجه به اینکه فناوری تولید هنوز کامل نشده است سطح آمادگی فناوری (TRL) برابر ۶ و سطح آمادگی بازار (MRL) نیز برابر ۴ است.

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هر یک از کاربردهای احتمالی

فناوری‌های رقیب مانند بتن‌های سنگین غیرنانونی و دارای سنگ‌دانه مگنتیت یا باریت بسیار متداول بوده و در صنعت به کار می‌روند. سایر فناوری‌ها مانند استفاده از فولادهای مقاوم به تشعشع و همچنین فلزات سنگین مانند سرب نیز در کاربردهای دارای حجم کم مانند درب‌های اتاق‌ها و لباس‌های محافظ به کار می‌روند. با این حال کاربرد هر یک از محصولات غیر از بتن بسته به میزان و نوع مصرف متفاوت است.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و همچنین، برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

در حال تکمیل است.

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی
 - زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی
 - زیرساخت تولید
 - آزمایشگاه مرجع
 - منابع مالی
 - توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری
 - زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش
- منابع انسانی و زیرساخت آزمایشگاهی و علمی کشور به صورت مناسبی برای توسعه این محصول فراهم است.

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ **پیشران‌ها و چالش‌های فنی**
مشابه بخش بین‌الملل. از نظر فنی وجود شرکت‌های بسیار فعال در زمینه بتن و وجود دانش فنی در شرکت‌های دانش‌بنیان حوزه بتنی و سیمانی بسیار مؤثر خواهد بود.

□ **پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی**
مشابه بخش بین‌الملل. ممکن است در کشور نیاز به استفاده از این بتن محدودیت بازار داشته باشد. بنابراین باید ابتدا بازار بررسی شود.
آیا از نظر قیمت نسبت به محصولات مشابه توجیه دارد؟ اگر دارد پس چرا تا حالا شرکت‌های بزرگ برای تجاری‌سازی اقدام نکرده‌اند؟
به طور کلی تولید بتن سنگین بر اساس پروژه قیمت‌گذاری و توجیه می‌شود. بتن سنگین به علت استفاده از سنگ‌دانه‌های خاص و فلزی و همچنین وزن بالا و نیاز به حمل و نقل با تجهیزات خاص تر و البته ساخت در محل نسبت به سایر محصولات متداول چالش‌های بیشتری دارد. با این حال بر اساس پروژه و اینکه نانو مواد مورد استفاده چه نوع و شرایط آماده‌سازی بتن و مواد اولیه آن صنعتی شده باشد می‌تواند قابل رقابت باشد.

□ **پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا**
از نظر تقاضا باید میزان تقاضای سالیانه بتن سنگین در کشور بررسی شود. از یک نظر این میزان به میزان فعالیت‌های هسته‌ای و رشد این صنعت در کشور و همچنین پزشکی هسته‌ای ارتباط دارد.

□ **پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)**
مشابه بخش بین‌المللی از نظر سلامت و ایمنی استفاده درست و نیاز به استفاده از بتن مانع تشعشع دارای اهمیت و اولویت‌های صنایع مرتبط با هسته‌ای و پزشکی است. سلامتی کارکنان و افراد و مردم در مقیاس شهری و کشوری در

خصوص ممانعت از انتشار تشعشعات هسته‌ای بسیار مهم و با اهمیت است.

❑ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

از نظر حقوقی نیز باید بتن‌های تولید شده با فناوری نانو استانداردهای مرتبط با این محصول در دنیا را برآورده کنند. این محصول در حوزه هسته‌ای استراتژیک بوده و در صورت وجود کیفیت پایین و عدم توجه به استانداردها و الزامات ممانعت از تابش، خسارت‌های جبران‌ناپذیری بر جا می‌گذارد.

۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

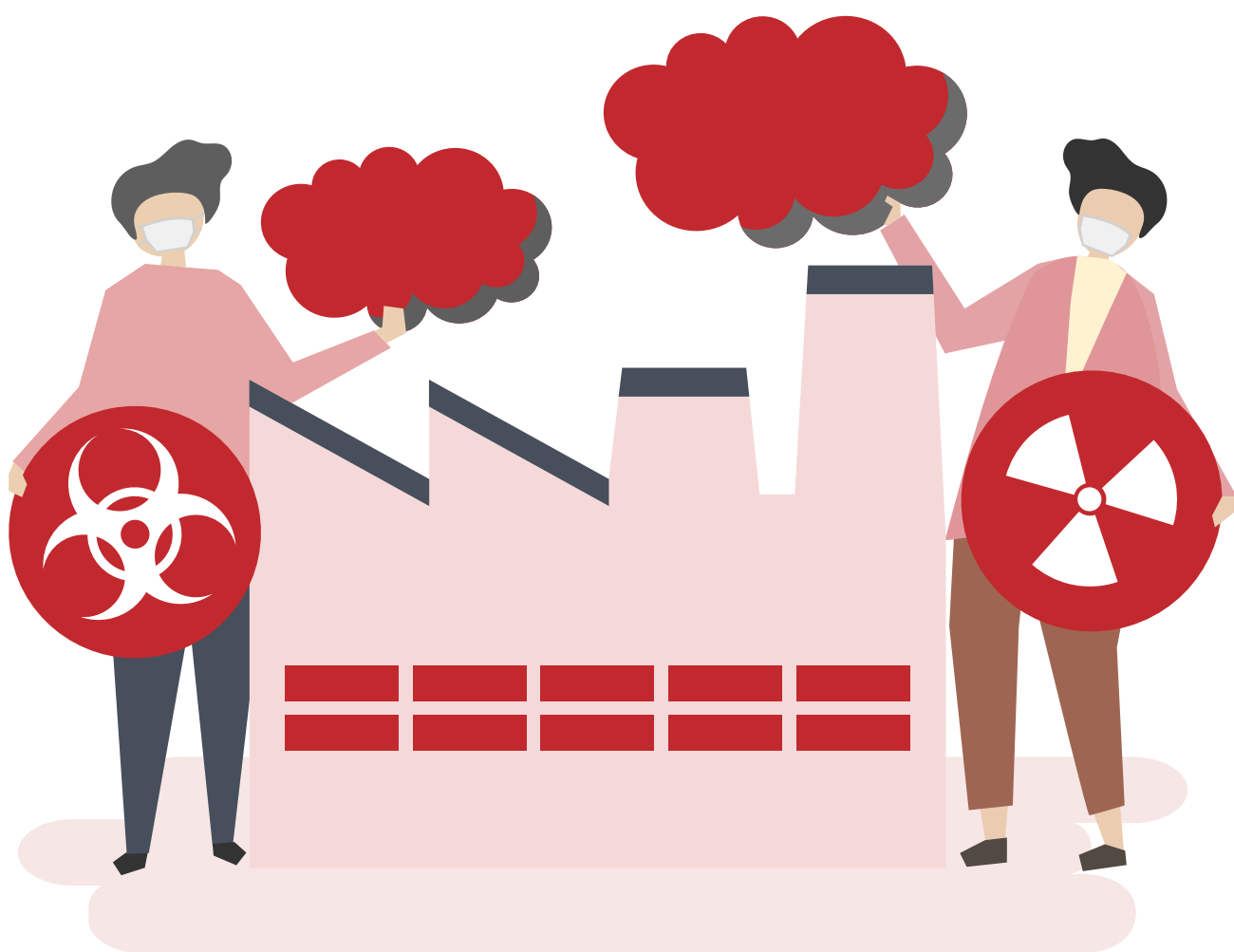
به نظر می‌رسد که این محصول توسط شرکت‌های تولید بتن تولید و عرضه شده باشد. با این حال اطلاعات دقیقی از مصرف و پروژه‌های آن در دسترس نیست.

۳-۹- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

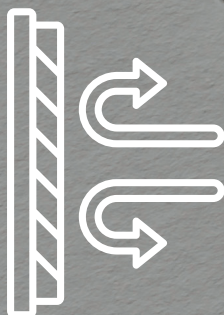
در صورت تولید و داشتن کیفیت بالا می‌توان در کشورهای همسایه پروژه‌های مرتبط را توسط شرکت‌های خوب انجام داد.

۳-۱۰- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارند

تحقیقات در خصوص تولید بتن‌های سنگین در کشور در حال انجام است. با این حال اطلاعات دقیقی از تولید و مصرف آن در کشور وجود ندارد. به نظر می‌رسد با گسترش دانش هسته‌ای و همچنین افزایش استفاده از منابع هسته‌ای برای تصویربرداری و درمان‌های پزشکی هسته‌ای نیاز به سازه‌های مقاوم و مانع از اشعه‌های هسته‌ای در سال‌های آتی بیشتر شود.



۱۴



کامپوزیت سیمان پلی یورتان

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱- ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

ملات سیمانی اصلاح شده با پلیمر به دلیل بهبود استحکام خمشی، استحکام اتصال و مقاومت در برابر سایش، به طور فزاینده‌ای به عنوان ماده تعمیر روسازی باند/جاده استفاده می‌شود. مقاومت خمشی ملات پلی‌یورتان سیمان (PUCM) برای دستیابی به یک اثر نگهداری مطلوب بسیار مهم است. افزودن مواد نانویی بایندر PU و NS به عنوان پارامترهای ورودی برای ارزیابی پاسخ‌ها، مانند مقاومت فشاری و خمشی مورد استفاده قرار داده می‌شوند.

۱-۲- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

کاربرد اصلی این محصول در حوزه ساخت‌وساز و ابنیه است. ثابت شده است که مواد پلیمری پلی‌یورتان یک کاندید بالقوه برای افزایش خواص بتن مانند دوام، مقاومت در برابر ضربه و ظرفیت جذب آب است. آسیب در سازه‌های مهندسی عمران ناشی از عوامل متعددی مانند خوردگی ناشی از محیط‌های تهاجمی، استفاده از نمک‌های یخ‌زدا، سطوح بالای کلرید در هوا، اثر قلیایی و طراحی یا ساخت نامناسب است. علاوه بر این، ترک خوردگی بتن معمولاً مکمل خوردگی فولاد است که منجر به کاهش ظرفیت باربری سازه می‌شود [۵، ۸]. بتن پلیمری برای حفظ اعضای بتنی آسیب دیده، مانند کفپوش‌های صنعتی، لوله‌های زیرزمینی و روسازی جاده‌ها، که در آن استحکام بالا، دوام و گیرش سریع مطلوب است، استفاده شده است.

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه بر اساس این فناوری

محصولات مختلفی بر این اساس توسعه یافته‌اند که تعدادی از آن‌ها عبارت‌اند از:

- ملات‌های پلیمری حاوی ذرات سنگ‌دانه یا کوارتزی و شن و ماسه و ...
- ملات‌های سیمانی حاوی پلیمرها و ذرات نانویی

۱-۴- مزیت(های) کلیدی این فناوری (کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تا کنون برآورده نشده و ...)

امکان استفاده سریع و موضعی برای ترمیم قسمت‌های آسیب دیده بناها از مزیت‌های این فناوری است.

۱-۵- نانوذرات بهره گرفته شده در این فناوری (از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

یک کامپوزیت مبتنی بر سیمان PU با افزودن چسب پلی‌یورتان به مواد سیمانی مانند بتن و ملات به دست می‌آید که به حفظ و بازسازی سازه‌های مهندسی کمک می‌کند [۲].

۱- نانوسیلیکا: نانوسیلیس با کاهش ساختارهای منفذی، خواص مکانیکی مواد سیمانی (ملات و بتن معمولی) را بهبود می‌دهد و در نتیجه مواد را متراکم می‌کند که منجر به بهبود خواص مکانیکی می‌شود.

۲- نانو صفحات گرافنی

۶-۱- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

- ۱- تولید سیمان با افزودنی‌های مورد نظر
- ۲- افزودن نانوذرات یا مواد افزودنی حاوی نانوذرات

۷-۱- فناوری‌های رقیب

(از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

- بتن متداول به شکل قالب‌گیری و ساخت بنای بتنی
- سازه‌های آماده پیش‌ساخته
- بتن خودمتراکم

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

فناوری‌های مربوط به آماده‌سازی افزودنی‌های مورد نظر در ترکیب سیمانی. دستگاه‌های میکسر مخصوص آماده‌سازی ملات مورد نظر و همچنین تجهیزات آماده‌سازی ملات خشک برای بسته‌بندی

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/فناوری نسبتاً منزوی است؟)

بله. علوم ساخت بتن‌های پیشرفته با استفاده از علوم نانو و ... همراستا با علم عمران و سازه می‌تواند منجر به ایجاد رشته‌ها و فعالیت‌های کاری تحقیقاتی جدید شوند.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی و راهبردی

(آیا این اثر/فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

به طور کلی استفاده از ملات‌های تعمیراتی در تعمیر ابنیه منجر به صرفه‌جویی وقت و هزینه به میزان زیادی در سال‌های پیش رو خواهد شد. بسیاری از سازه‌ها ممکن است برای ساخت دوباره، تخریب شوند که خود منجر به تولید نخاله‌های ساختمانی و ... شود. در صورتی که از این مواد با خواص کششی بالاتر استفاده شود منجر به صرفه‌جویی مناسبی در هزینه‌ها و همچنین افزایش طول عمر ابنیه و کاهش مخاطرات برای مردم می‌شود. تولید و بازیافت پلی‌یورتان‌ها می‌تواند مشکلات محیط‌زیستی را رفع کند. این مواد ممکن است به سختی تجزیه شوند و در صورت عدم مدیریت صحیح، پسماندهای آن‌ها برای محیط‌زیست مضر باشد.

تحلیل بین‌المللی

۱-۲ بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

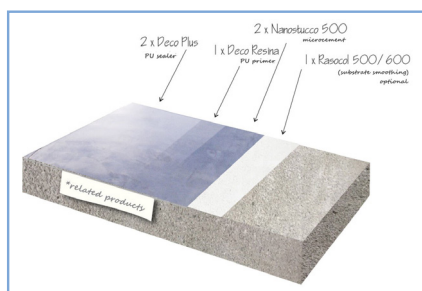
■ بازیگران در حوزه R&D

■ بازیگران صنعتی/تجاری در مراحل مختلف زنجیره ارزش

■ نهادهای سیاست‌گذار و نهادهای تنظیم مقررات در سطح بین‌المللی
چند شرکت در حوزه تولید بخش‌های مختلف این فناوری فعالیت می‌کنند.

۱- شرکت cement plus:

این شرکت محصولات ملات مرتبط با سطوح ارائه می‌کند. میکروسیمان نانوستاکو ۵۰۰ به عنوان پوشش نهایی در کف، دیوار و مبلمان استفاده می‌شود. این محصول در ضخامت ۰/۸-۱/۲ میلی‌متر اجرا می‌شود. به دلیل خواص عالی آن، هنگام اعمال بر روی سطح صاف و بدون ترک، نیازی به استفاده از پرایمر و مش فایبرگلاس نیست. میکروسیمان نانوستاکو ۵۰۰ در ۲۰ رنگ از پیش مخلوط شده موجود است. (شکل ۱)



شکل ۱- شماتیک لایه‌های پوشش نانوستاکو ۵۰۰

۲- شرکت Sika Canada:

کفپوش Sikafloor®-22 NA PurCem عمدتاً برای محافظت از بسترهای بتنی استفاده می‌شوند، اما بر روی بیشتر سطوح فولادی که به درستی آماده و پشتیبانی شده‌اند به همان اندازه مؤثر هستند. (شکل ۲)
این محصول در کارخانه‌های فرآوری مواد غذایی، مناطق فرآیند مرطوب و خشک، فریزرها و خنک‌کننده‌ها، مناطق شوک حرارتی، آشپزخانه‌های تجاری، لبنیات، آبجوسازی‌ها، شراب‌سازی‌ها، کارخانه‌های تقطیر، آزمایشگاه‌ها، کارخانه‌های فرآیند شیمیایی، کارخانه‌های خمیر و کاغذ، انبارها و مکان‌های ذخیره‌سازی می‌تواند استفاده شود.



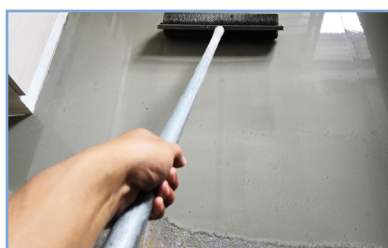
شکل ۲- محصول sikafloor

Sikafloor®-22 NA PurCem نشان‌دهنده فناوری برتر پلی‌یورتان/سیمان است که کاربرد آسان‌تر، مقاومت در برابر تاول زدن و عملکرد بهبود یافته را ترکیب می‌کند.

۳- شرکت Armorepoxy:

این شرکت ارائه‌کننده محصولات متنوع کفپوش است. در زمینه‌های مختلف از جمله تعمیرات و کفپوش محصول پوشش یورتان سیمانی خودترازشونده را ارائه می‌کند. (شکل ۳)

ملات یورتان آرمورپوکسی یک ماده ترمیم‌کننده سه جزئی است. این محصول یک سیستم کفپوش مقاوم در برابر رطوبت و سایش است که می‌تواند در برابر ضربه و شوک حرارتی شدید ناشی از تمیز کردن آب داغ یا بخار مقاومت کند و برای مناطق خیس، مرطوب و مربوط به خدمات غذایی ایده آل است. هر کیل ۴۱ فوت مربع به ضخامت ۱/۸ اینچ را پوشش می‌دهد. به سادگی مایعات A و B و ترکیب پودر سیلیس اختصاصی را با هم مخلوط کرده و با ابزار



شکل ۳- محصول خودترازشونده آرمورپوکسی

۱. <https://cementplus.gr/en/product-category/architectural-applications/polyurethane-self-leveilling-resins/>

۲. <https://can.sika.com/en/construction/floors-walls/specialty-flooring/polyurethane-cementpucproducts/sikafloor-22-napurcem.html>

۳. <https://armorepoxy.com/products/self-leveling-epoxy-slurry-repair-kit-mixer-40-400-lb-kit/>



شکل ۴- بتن پلی یورتان Chemstuck

همزن برقی مخلوط کنید (با مته خود استفاده کنید). زمان پخت ۱۰-۱۸ ساعت بسته به دما/رطوبت است.

۴- شرکت U-Krete:

پوشش‌های بتنی U-Krete یک سیستم کفپوش بسیار بادوام و یکپارچه است که برای کاربردهای سنگین طراحی شده است. این فناوری دوقسمتی پلی‌یورتان را با میکرو سیمان، مصالح و سایر مواد افزودنی ترکیب می‌کند تا یک ماتریس رزینی بسیار کاربردی ایجاد کند. این سیستم‌ها معمولاً در انواع برنامه‌های صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند و می‌توانند به ضخامت‌های مختلف، بافت‌ها و برنامه‌های تعمیراتی برای پاسخگویی به نیازهای یک برنامه خاص اصلاح شوند.

محافظت در برابر شوک حرارتی

U-Krete مقاومت طولانی مدت استثنایی در برابر شوک حرارتی ارائه می‌دهد. ماهیت شیمیایی و فیزیکی این ماده نه تنها بسیار بادوام است، بلکه در پراکندگی تغییرات ناگهانی در دمای سطح نیز برتر است. ضخامت‌های موجود از ۳ میلی‌متر تا چند ۱۰ میلی‌متر، بتن پلی‌یورتان شوک حرارتی (پلی‌یورتان در برخی موارد ممکن است در برابر تغییرات شدید دما یا شرایط محیطی خاص مانند رطوبت بالا دچار افت عملکرد شود). را یک محصول جذاب می‌کند و یکپارچگی خود را در برابر شستشو آب گرم و تمیز کردن بخار حفظ می‌کند. این محصول برای تهاجمی‌ترین محیط‌ها مناسب بوده و برای کاربردهای غذایی و نوشیدنی ایده‌آل است.

نصب بتن پلی‌یورتان

U-Krete را می‌توان مستقیماً بر روی کاشی و بتن موجود و ابنیه تازه ساخته شده بدون عیب نصب کرد. این محصول فقط باید توسط یک پیمانکار با تجربه و تأیید شده برای کفپوش رزین حرفه‌ای نصب شود. پس از ایجاد پروفایل کف موجود و از بین بردن هرگونه بقایا و آلودگی‌های سطحی، U-Krete بسته به مشخصات انتخاب شده برای محیط، در چندین لایه اعمال می‌شود. نصب ممکن است بسته به مشخصات، دارای لایه رویی یورتان یا پلی‌اسپارتیک باشد. تحقیقات دانشگاهی و علمی بسیاری در خصوص ملات‌های سیمانی-پلی‌یورتانی یا رزین‌های پلی‌یورتانی تقویت شده با ذرات نانویی انجام شده است.^۱ با جستجو در مراجع با کلید واژه‌های:

Polyurethane-Cement Mortar, puc (polyurethane cement composite)

تعدادی از پتنت‌های این زمینه عبارت‌اند از:

Polyurethane-based polymer concrete and casting mortar

Current Assignee Sika Technology AG

Three component composition for the manufacture of polyurethane cementitious hybrid flooring or coating with improved surface gloss

Current Assignee Sika Technology AG

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

با توجه به نو ظهور بودن این فناوری و سطح بالای تحقیقات جاری در حوزه توسعه سیمان‌های مرتبط با فناوری نانویی سطح آمادگی این فناوری (TRL) برابر ۷ و از نظر سطح آمادگی بازار (MRL) برابر ۸ است. به نظر می‌رسد انواع غیرنانویی یا پیشرفته آن در بازار به بلوغ کامل رسیده باشند. ۲ موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات بین مرحله رشد و بلوغ قرار می‌گیرد.

۱. <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/24/13348>

<https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/27973>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320379256>

۴-۲- تحلیل بازار در سطح جهانی

قیمت تعدادی از محصولات موجود در بازارهای آنلاین در دنیا عبارتند از:

POLYURETHANE CEMENT PC-235⁴
\$120.00 + GST
Tinted Solid Floor
Industrial Grade
1 kit Covers Up To 20 sqm @ 1 mm
Category: Concrete Coatings
SELF LEVELING URETHANE MORTAR SLURRY⁵
\$251.00 repair-kit-mixer-40-400-lb-kit/

۵-۲- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده تاثیر بگذارند

با توجه به فعالیت شرکت‌های خوب در این زمینه می‌توان امید داشت این فناوری رشد چشمگیری در پروژه‌های منحصربه‌فرد در سطح دنیا در سال‌های پیش رو داشته باشد.

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیت‌های انجام شده در کشور

■ فعالیت‌های توسعه محصول و تجاری‌سازی (آیا نمونه‌سازی انجام گرفته است؟ چه شرکت‌هایی برای توسعه محصول در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ آیا محصولی مبتنی بر این فناوری در بازار به فروش می‌رسد؟ آیا شرکت‌های صنعتی بزرگ در این زمینه فعالیت می‌کنند؟ آیا شرکت‌های واردکننده در این زمینه فعالیت می‌کنند؟) در ایران شرکت‌های زیادی در حوزه ساخت محصولات کفپوش‌های اپوکسی فعال هستند. این کفپوش‌ها اغلب حاوی جزء سیمانی نیستند. با این حال دسته‌ایی از محصولات با نام نانوکروت اپوکسی برای مصارف تعمیراتی و یا قالب‌گیری در حین ساخت به کار می‌روند.

شرکت افزیر: ملات خودتراز پلیمری دوجزئی

ملات خودترازشونده دوجزئی (کد SLM™400) از انواع ملات‌های ترازکننده کف هستند، یک ملات سیمانی اصلاح شده دوجزئی سیمانی و پلیمری است که برای تسطیح بتن ناهموار و آسیب‌دیده و یا دارای شیب قبل از اعمال کفپوش طراحی شده است. این ملات خودتراز با سیستم‌های کف‌سازی مانند کفپوش‌های اپوکسی، پلی‌یورتان و کاشی و سرامیک سازگار است. وجود پلیمر در این ملات، موجب افزایش خاصیت روانی و بهبود خواص ترازشوندگی این ملات می‌شود. همچنین این ملات سطحی یکنواخت را به وجود می‌آورد که این خاصیت، اعمال این ملات را به دوروش مکانیکی و دستی مناسب ممکن می‌کند. پلیمرهای ویژه به کار برده شده در این ملات، خواص چسبندگی بالایی را همراه با پراکنده‌سازی ذرات سیمان به وجود می‌آورد که علاوه بر افزایش مقاومت ملات، باعث افزایش چسبندگی ملات به بستر می‌شود.

شرکت تکنوپل:

ملات ترمیمی پلیمری آرایشی بتن

دسته: ترمیم‌کننده بتن و گروت‌ها، ترمیم‌کننده بتن

ملات ترمیمی پلیمری آرایشی بتن یک ملات تسطیح‌کننده تک‌جزئی است که برای کاهش انقباض و جمع‌شدن ملات در مرحله پایانی عملیات ترمیم به کار می‌رود. این ملات شامل سیمان، ماسه با گرید و کیفیت بالا، پلیمر و الیاف مخصوص است. وقتی با آب ترکیب می‌شود یک ملات کامل برای آرایش ترمیم و یا تسطیح و تراز کردن سطح بتن استفاده می‌شود. بر اساس استاندارد EN 1504 موضوعات مرتبط با مرمت سازه‌های بتنی به چند بخش تقسیم شده‌اند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مرمت‌های ادواری، دستورات عمل‌های نگهداری سازه و احیای قسمت‌های صدمه دیده بتنی ناشی از شرایط بهره‌برداری اشاره نمود. اما ذکر این نکته الزامی است که علی‌رغم افزایش سطح استانداردهای طراحی، اجرا و نظارتی در پروژه‌های عمرانی و بهبود شرایط کیفیتی ساخت، اجرا و عمل‌آوری بتن همچنان برخی از سازه‌ها در حین ساخت یا پس از آن نیازمند عملیات ترمیم می‌باشند. مطابق با این استاندارد، استفاده از مواد در رده غیرسازه‌ای (R1) و معمولاً به از بین بردن عیوب سطحی، آماده‌سازی سطح و همچنین موارد مرتبط به ظاهر کار محدود می‌شود. با توجه به کاربردهای اشاره شده در طراحی این رده از مواد تعمیراتی، ویژگی‌هایی از قبیل چسبندگی، ظاهر و دوام آن به مواردی همچون مقاومت‌های مکانیکی ارجحیت دارد.

ملات ترمیمی پلیمری آرایشی بتن که یک نوع پلیمر اصلاح شده است فقط به آب تمیز و قابل شرب برای تهیه ملات نیاز دارد که ترکیب و اجرای آن به راحتی انجام می‌شود. اتصال بسیار قوی در بین پیوندهای این ملات وجود دارد که از آن به عنوان یک ملات ترمیم‌کننده آرایشی برای صاف کردن سطح بتن می‌توان نام برد. ملات ترمیمی پلیمری آرایشی بتن جهت نمای ساختمان و یا جاهایی که زیبایی مد نظر است برای پر کردن خلل و فرج و درز دیوارهای پیش‌ساخته بتنی به کار برده می‌شود. همچنین این ملات قابلیت اجرا جهت زیرسازی انواع رنگ‌های اپوکسی، پلی‌یورتان را نیز دارد.

■ فعالیت‌های سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری

هنوز فعالیتی انجام نشده است.

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

کاربردهای این محصول در صنعت ساختمان در بخش‌های تعمیری یا ایجاد کفپوش‌های مشابه بتن است. به طور کلی در صنایع مختلف در سازه‌ها و ساختمان‌ها به کار می‌رود.

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

با توجه به اینکه تعدادی از شرکت‌ها محصولات مشابه و گروت را ارائه کرده‌اند سطح آمادگی فناوری (TRL) برابر ۶ و همچنین سطح آمادگی بازار (MRL) برابر ۵ است.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه‌حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)
سطح آمادگی فناوری									
									راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/راه‌اندازی خط تولید
									تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولید پایوت
									اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی
									دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد
									دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد
									دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی
									اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه
									معدل‌سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن
									مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هر یک از کاربردهای احتمالی

فناوری‌های رقیب مانند سیمان و بتن متداول یا بتن‌های سبک سازه‌ای و همچنین انواع کفپوش‌های اپوکسی به طور مناسبی در بازار موجود هستند.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری موردنیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و همچنین برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

در حال تکمیل است.

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی
 - زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی
 - زیرساخت تولید
 - آزمایشگاه مرجع
 - منابع مالی
 - توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری
 - زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش
- برای اجرای کامپوزیت‌های سیمان پلی‌یورتان به تجهیزات پیشرفته‌تر و نیروی کار با مهارت نیاز است. ولی منابع انسانی و زیرساخت آزمایشگاهی و علمی کشور برای توسعه این محصول فراهم است.

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ **پیشران‌ها و چالش‌های فنی**
مشابه بخش بین‌الملل. از نظر فنی وجود شرکت‌های بسیار فعال در زمینه پوشش‌ها و وجود دانش فنی در شرکت‌های دانش‌بنیان حوزه پلیمری و سیمانی بسیار موثر خواهد بود.

□ **پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی**
مشابه بخش بین‌الملل.

آیا از نظر قیمت نسبت به محصولات مشابه توجیه دارد؟ اگر دارد پس چرا تا حالا شرکت‌های بزرگ برای تجاری‌سازی اقدام نکرده‌اند؟
در صورت تولید مسلماً قیمت مناسب‌تری خواهد داشت. ممکن است توسط شرکت‌های داخلی تولید شده باشد ولی اطلاعات کافی در فضای اینترنت وجود نداشته باشد.

□ **پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا**
به نظر می‌رسد شناخت کافی از محصول در بازار وجود ندارد. لذا نبود تقاضا منجر به عدم صرف توان تحقیقاتی در این حوزه برای دستیابی به محصول تجاری شده است.

□ **پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)**
-

□ **پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)**
-

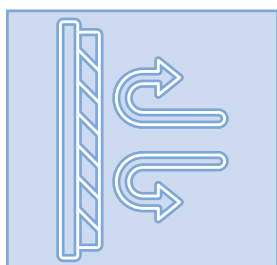
۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

بنظر می‌رسد این محصول با نام‌های نانوگروت سیمانی و همچنین ملات سیمانی پلی‌یورتانی به فروش می‌رسد. همچنین با عنوان عایق‌های رطوبتی نیز ممکن است به فروش برسد.

۳-۹- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

۳-۱۰- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارند

بطور کلی استفاده از ملات‌های سیمانی آماده که با پلیمرها تقویت شده‌اند به دلیل زمان کم مورد نیاز برای آماده‌سازی و استفاده برای تعمیر سازه‌ها یا آب‌بندی سطوح بسیار مورد توجه بوده و خواهند بود. به همین دلیل در آینده این محصولات توسعه و استفاده بیشتری خواهند داشت. با توجه به وجود برندهای وارداتی این محصولات در کشور، لازم است تولید این محصول با توجه و جدیت بیشتری توسط شرکت‌های تولیدی داخلی مورد توجه قرار بگیرد.



۱۵



بتن نانویی با استحکام بالا و سبک

**High strength structural
lightweight concrete
(HSSLWC)**

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱- ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)



شکل ۱- بتن استحکام بالا

استفاده از بتن سبک (LC) روزبه‌روز در حال افزایش است تا نیازهای سبکی ساختمان و کاهش نیروهای لرزه‌ای و همچنین ایجاد عایق حرارتی و صوتی و یا تاب‌آوری در مقابل آتش‌سوزی را برآورده کند. بتن‌هایی با حداقل مقاومت سیلندر ۱۷ مگاپاسکال و چگالی ۱۱۲۰ تا ۱۹۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب را بتن سبک سازه‌ای می‌نامند. بتنی که نیاز به مقاومت نداشته باشد و چگالی آن تا ۲۲۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب باشد بتن سبک غیرسازه‌ای نامیده می‌شود. بتن‌های سبک سازه‌ایی که با نانومواد تقویت شده‌اند، علاوه بر دارا بودن وزن سبک دارای استحکام و خواص مکانیکی هم‌رده بتن‌های معمولی هستند. نانومواد در این بتن‌ها وظیفه افزایش استحکام را دارند.

۲-۱- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

- بلوک‌های سبک بتنی (غیرسازه‌ای) به عنوان دیوارهای پیرامونی و داخلی ساختمان
- بتن سبک سازه‌ای در تیرها و سقف ساختمان‌های بتنی
- بتن سبک سازه‌ای در سقف ساختمان‌های فلزی
- بتن سبک سازه‌ای تیر و عرشه پل‌های بتنی و عرشه پل‌های فلزی
- مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های قدیمی به عنوان سیستم باربر سقف
- استفاده از بتن سبک غیرسازه‌ای به عنوان جایگزین مصالح خاک‌ریز مهندسی در پشت دیوارهای حائل و یا کوله پل‌ها
- بتن سبک غیرسازه‌ای در قطعات پیش‌ساخته محوطه‌سازی
- این بتن پتانسیل زیادی برای استفاده در بسیاری از مکان‌ها مانند عرشه پل سبک، سازه‌های سبک‌وزن، بتن فوم‌دار سبک، بلوک‌های بتنی سبک‌وزن، یا سازه‌های عایق حرارتی دارد.

۳-۱- محصولات توسعه‌یافته یا در حال توسعه بر اساس این فناوری

بلوک سبک، قطعات پیش‌ساخته، بتن آماده، فوم بتن

۴-۱- مزیت (های) کلیدی این فناوری (کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و ...)

- مزایای اصلی استفاده از بتن‌های سبک مستحکم، شامل کاهش بار مرده عناصر ساختاری و به‌طورکلی کاهش هزینه‌های تولید و حمل‌ونقل است.
- کاهش بار مرده ساختمان و در نتیجه کاهش هزینه اعضای سازه‌ای (تیر و ستون و فونداسیون)
 - کاهش نیروی لرزه‌ای و در نتیجه کاهش هزینه اعضای باربر جانبی (مهاربندی، دیوار برشی) علاوه بر تیر و ستون و فونداسیون
 - ارتقای خاصیت عایق حرارتی و در نتیجه کاهش مصرف انرژی
 - ارتقای خاصیت عایق صوتی در دیوارهای پیرامونی و داخلی
 - تاب‌آوری بیشتر در مقابل آتش‌سوزی
 - کاهش هزینه‌های بارگیری و حمل قطعات پیش‌ساخته
- کاهش انقباض در زمان کم به دلیل اثر پخت داخلی، کاهش بارهای مرده به معنی صرفه‌جویی در فونداسیون و تقویت، بهبود خواص عایق حرارتی، افزایش مقاومت در برابر آتش، صرفه‌جویی در هزینه حمل‌ونقل واحدهای پیش‌ساخته در سایت، و کاهش قالب و تکیه‌گاه در سازه‌ها.

۱-۵- نانوذرات بهره گرفته شده در این فناوری

(از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به‌کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

انواع الیاف‌ها مانند الیاف فلزی فولادی و الیاف کربنی
نانوسیلیکا
ذرات کروی آلومینیوم سیلیکات aluminum silicate microspheres
فضاهای کروی توخالی نانویی و میکرونی^۱
هیدروسیلیکات روی نانویی

۱-۶- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

- ۱- تولید سیمان با افزودنی‌های موردنظر
- ۲- افزودن نانوذرات یا مواد افزودنی حاوی نانوذرات
- ۳- تولید بتن با استفاده از مخلوط‌های آماده شده

۱-۷- فناوری‌های رقیب

(از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

■ بتن‌های متداول با خواص استحکامی بالا ولی با وزن بالاتر در مقایسه به بتن سبک سازه ای

۱-۸- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

فناوری‌های مربوط به آماده‌سازی افزودنی‌های موردنظر در ترکیب سیمانی. دستگاه‌های میکسر مخصوص آماده‌سازی ملات موردنظر و همچنین تجهیزات آماده‌سازی ملات خشک برای بسته‌بندی

۱-۹- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

بله. علوم ساخت بتن‌های پیشرفته با استفاده از علوم نانو و ... هم‌راستا با علم عمران و سازه می‌تواند منجر به ایجاد رشته‌ها و فعالیت‌های کاری تحقیقاتی جدید شوند.

۱-۱۰- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی

(آیا این اثر/ فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

به‌طور کلی یکی از مخاطرات مهم در سوانح منجر به تلفات انسانی، ریزش سازه‌های مهم در شهرها و یا بین شهرها است. این سازه‌های مهندسی گران‌ترین سرمایه‌گذاری‌ها و دارایی‌های ملت هستند. خرابی زیرساخت‌های عمرانی در سراسر جهان یادآور لزوم اقدامات مناسب است. لازم است از فروپاشی ناگهانی سازه‌های شهری و از دست دادن پول و جان ناشی از آن جلوگیری شود. هرچه وزن سازه‌های بتنی بیشتر باشد آسیب‌پذیری آن از زلزله و طوفان‌ها و سایر بارهای وارده بیشتر و طول عمر آن کمتر خواهد بود.

بتن پرکاربردترین ماده در سازه‌های مهندسی عمران است. ریزش و انهدام سازه‌ها علاوه بر مخاطرات مالی فراوان به سبب عدم امکان پیش‌بینی زمان آن‌ها منجر به تلفات انسانی نیز می‌شود. بنابراین در صورتی که بتوان سازه‌های سبک با وزن کمتر و استحکام برابر یا بیشتر از بتن متداول به خصوص در کشور لرزه‌خیز ایران تولید نمود در زمینه جلوگیری از خسارت‌های ایجاد شده و دوام بیشتر سازه و عمر بیشتر آن گام بلندی برداشته می‌شود.

۱. <https://sci-hub.st/https://www.scientific.net/AMR.1040.176>

تحلیل بین‌المللی

۲-۱- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

- بازیگران در حوزه R&D:
- بازیگران صنعتی/تجاری در مراحل مختلف زنجیره ارزش
- نهادهای سیاست‌گذار و نهادهای تنظیم مقررات در سطح بین‌المللی
- پنتی که در این کاربرد از آن استفاده شده است:
- 1. RU0002775585 - NANO-MODIFIED HIGH-STRENGTH LIGHTWEIGHT CONCRETE BASED ON COMPOSITE BINDER, Inventors Гришина Анна Николаевна (RU) et.al.^۱
- تعدادی از مقالات و پژوهش‌های انجام شده:
- Modification of Lightweight Aggregate Concretes with Silica Nanoparticles—A Review
- by Karol Federowicz, Mateusz Techman,, Myroslav Sanytsky, and Pawel Sikora, Materials 2021, 14(15), 4242; <https://doi.org/10.3390/ma14154242>^۲
- Innovative lightweight concrete: effect of fiber, bacteria and nanomaterials, Review
- Open access, Published: 17 April 2024^۳, Iranian polymer journal.
- Low dosage nano-silica modification on lightweight aggregate concrete, Pengyu Zhang, Ning Xie mse_xien@ujn.edu.cn, [...], and Yunpeng Wu, <https://doi.org/10.1177/1847980418761283>, 2018^۴
- Effect of nano silica and steel fibers on the tensile behavior of lightweight concrete,
- Shahin Nasimi; Armin Ehsani; Marina Rynkovskaya; Tesfaldet Gebre; Evgenia Ermakova
- AIP Conf. Proc. 2497, 040021 (2023), <https://doi.org/10.1063/5.0103983>^۵
- کاربردهای بسیار زیادی از این بتن به شکل غیرنانویی آن در سازه‌های بسیار بزرگ مربوط به ساختمان‌سازی یا ابنیه دریایی مانند اسکله‌های متحرک و ... وجود دارد. تعدادی از این کاربردها در یک منبع یافت شده است که نشان می‌دهد بسیاری از ابنیه‌های بلندمرتبه از این نوع بتن‌ها استفاده کرده‌اند.^{۶،۷}

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

به نظرمی‌رسد انواع غیرنانویی این محصول کاملاً تجاری شده است و لذا ریسک فناوری و بازار کمی دارد. با این حال در نوع نانویی هنوز نمونه‌های اولیه و تحقیقاتی در حال ساخت و آزمایش است. و می‌توان TRL و MRL را برابر ۷ در نظر گرفت.

۱. RU0002775585 NANO-MODIFIED HIGH-STRENGTH LIGHTWEIGHT CONCRETE BASED ON COMPOSITE BINDER (wipo.int)

۲. <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/15/4242>

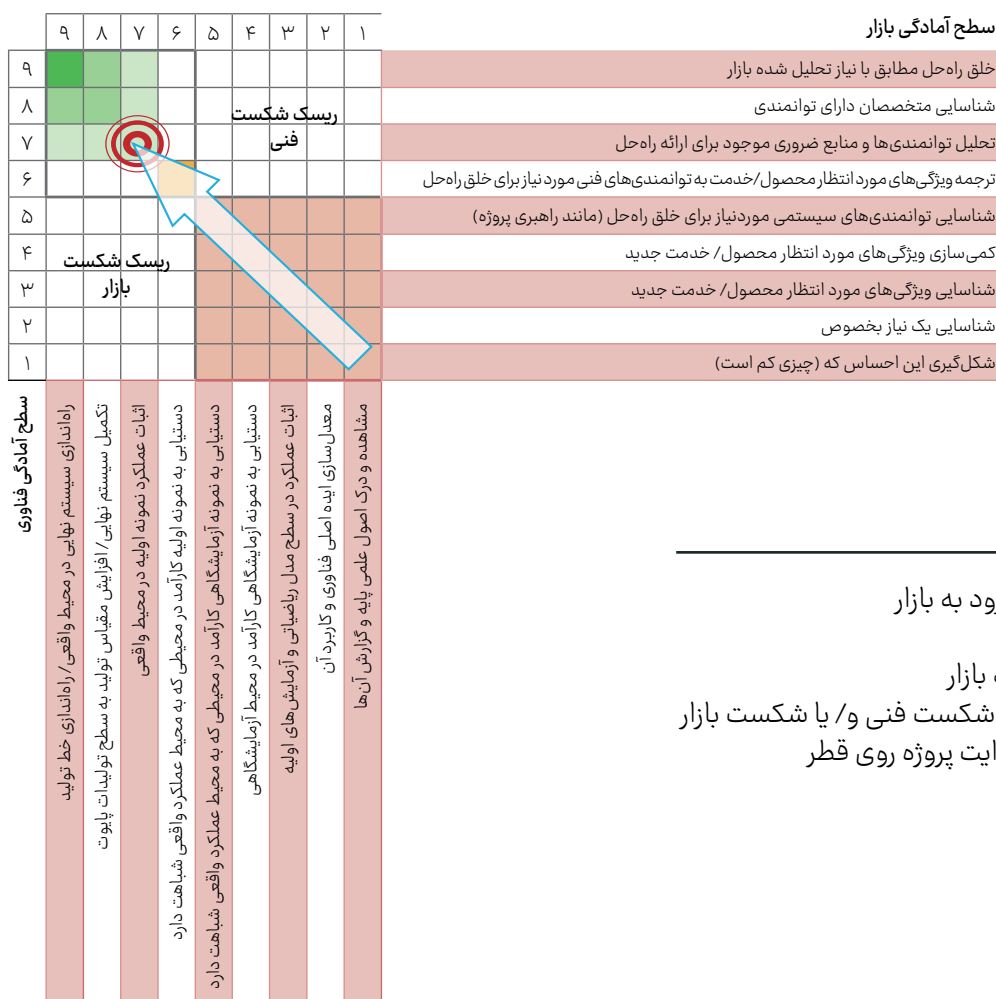
۳. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13726-024-01313-w>

۴. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1847980418761283>

۵. <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2497/1/040021/2888525/Effect-of-nano-silica-and-steel-fibers-on-the?redirectedFrom=fulltext>

۶. <https://www.escsi.org/wp-content/themes/escsi/assets/images/9%20Chapter%209%20High-Performance%20LWC.pdf>

۷. <https://www.concretecentre.com/Specification/Special-Concrete/lightweight-concrete.aspx>



۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

محصول بتن نانویی کم وزن استحکام بالا در چرخه عمر در مراحل اولیه شکوفایی و تولد و به کارگیری در صنعت است.

۲-۴- مهم ترین پیشران ها و چالش های پیش روی فناوری

□ پیشران ها و چالش های فنی

پیشران های فنی: وجود مواد نانویی و ترکیبات مختلف مورد استفاده در صنعت سیمان و بتن مانند بهبوددهنده ها و ...
چالش های فنی: نیاز به اثبات کارایی و دوام محصول در مقایسه با سایر محصولات متداول و ارائه استانداردهای مرتبط برای استفاده، نیاز به اصلاح تجهیزات در کارخانه های تولید بتن آماده

□ پیشران ها و چالش های اقتصادی

پیشران های اقتصادی: صرفه جویی در هزینه های تعمیرات و کاهش در ایجاد تلفات ناگهانی و خسارت های جبران ناپذیر خصوصاً در سازه های بزرگ و مهم مانند سدها، نیروگاه ها و ... می تواند به عنوان پیشران اقتصادی در نظر گرفته شود.
چالش های اقتصادی: از نظر قیمتی مانند بسیاری از فناوری های نوین در مرحله اول رشد احتمالاً به دلیل قیمت بالا مصارف صنعتی و یا در برج ها و سازه های مهم و استراتژیک خواهد داشت.
علاوه بر قیمت بالای مواد افزودنی نانو، قیمت بالای سبک دانه ها نسبت به سنگ دانه های معمولی شن و ماسه و همچنین قیمت بالای مواد افزودنی غیر نانو همچون میکروسیلیس و فوق روان کننده ها نیز از چالش های اقتصادی است.

❑ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

پیشران سلامت: از نظر سلامت و اهمیت افزایش ایمنی سازه‌ها در برابر زلزله و همچنین کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ایی به سبب کاهش وزن و مواد به کار رفته است.
پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارند

ساختمان‌های بلند، بزرگراه‌ها، پل‌ها، باند فرودگاه‌ها و تراورس‌های دال پیوسته برای قطارهای پرسرعت، سدها و سازه‌های آبی سبک‌وزن تنها چند نمونه از کاربردهای زیرساختی عمرانی برای بتن کم‌وزن مستحکم هستند.

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیت‌های انجام شده در کشور

■ فعالیت‌های توسعه محصول و تجاری‌سازی (آیا نمونه‌سازی انجام شده است؟ چه شرکت‌هایی برای توسعه محصول در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ آیا محصولی مبتنی بر این فناوری در بازار به فروش می‌رسد؟ آیا شرکت‌های صنعتی بزرگ در این زمینه فعالیت می‌کنند؟ آیا شرکت‌های واردکننده در این زمینه فعالیت می‌کنند؟)

در زمینه تحقیقات، فعالیت‌های خوبی انجام شده است و مقالات مرتبط در منابع قابل مشاهده است. برخی از شرکت‌ها هم محصولات مرتبط با بتن سبک تولید و تجاری کرده‌اند به عنوان مثال از سال ۱۳۸۷ تیمی به سرپرستی دکتر محمود یزدانی عضو هیئت علمی دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس از فناوری بتن سبک سازه‌های مبتنی بر ترکیبی از پوک‌های طبیعی و سبک دانه لیکای ایران و پودر میکروسیلیس در ساخت تعدادی از ساختمان‌های بتنی و فولادی در شهر تهران استفاده کرد. شرکت مهندسی طرح مهندسی و نندیداد بتن سبک سازه‌ای را تولید می‌کند، شرکت تولید دانه سبک صنعتی لیکا و لیاپور هم محصولات در این زمینه تولید می‌کنند.

■ فعالیت‌های سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری در حال تکمیل است.

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

سطح آمادگی بازار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار									
شناسایی متخصصان دارای توانمندی									
تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل									
ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول / خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه حل									
شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل (مانند راهبری پروژه)									
کم‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول / خدمت جدید									
شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول / خدمت جدید									
شناسایی یک نیاز بخصوص									
شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)									

همان‌طور که در بخش بین‌الملل ذکر شد کاربردهای آن در حوزه ساخت برج‌ها و ساختمان‌های بلندمرتبه و سازه‌های ضدزلزله و همچنین سازه‌های سبک دریایی است.

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

با توجه به اینکه در حال انجام تحقیقات و ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی است سطح آمادگی فناوری (TRL) برابر ۵ و سطح آمادگی بازار (MRL) نیز برابر ۵ است.

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

سطح آمادگی فناوری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی / راه اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی / افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستپایی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستپایی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستپایی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی / آزمایش‌های اولیه									
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هر یک از کاربردهای احتمالی

در حال تکمیل است.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای توسعه این فناوری

(تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و همچنین برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

در حال تکمیل است.

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی
 - زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی
 - زیرساخت تولید
 - آزمایشگاه مرجع
 - منابع مالی
 - توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری
 - زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش
- منابع انسانی و زیرساخت آزمایشگاهی و علمی کشور به صورت مناسبی برای توسعه این محصول فراهم است.

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

از نظر فنی وجود شرکت‌های قوی در حوزه بتن می‌تواند پیشرانی برای استفاده از این محصول باشد. همچنین نیاز به صرفه‌جویی در مصالح در بسیاری از مکان‌ها در کشور ما می‌تواند استفاده از این بتن‌ها را توجیه کند. چالش‌های مربوط به حفظ استحکام بتن از جمله چالش‌های فنی این محصول است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

این بتن دارای قیمت بالاتری نسبت به بتن معمولی بوده و از نظر اقتصادی چالش دارد. در صورت صنعتی شدن آن و هزینه مشابه یا کمی بیشتر استفاده از آن فراگیر خواهد شد. مشابه بخش بین‌الملل.

آیا از نظر قیمت نسبت به محصولات مشابه توجیه دارد؟ اگر دارد پس چرا تا حالا شرکت‌های بزرگ برای تجاری‌سازی اقدام نکرده‌اند؟

به نظر می‌رسد یکی از شرکت‌های فعال در حوزه مهندسی عمران و نانو محصول تجاری تولید کرده است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا

-

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

مشابه بخش بین‌الملل.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

مشابه بخش بین‌الملل.

۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

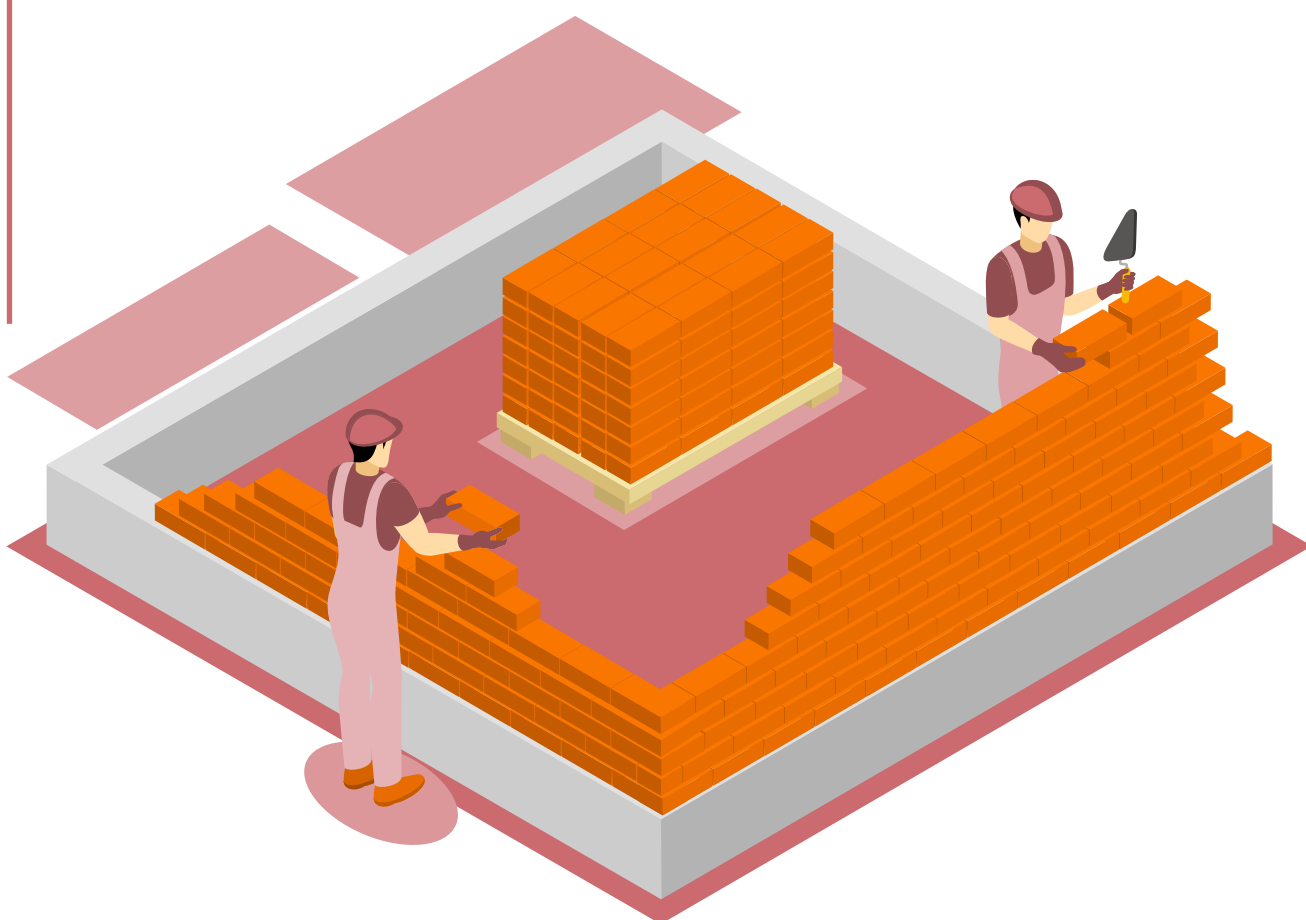
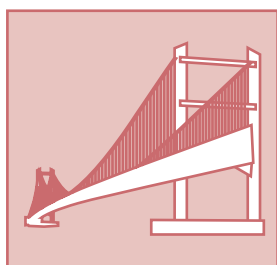
برخی از شرکت‌ها این محصول را تولید و تجاری کرده‌اند و در برخی از پروژه‌ها به کار گرفته شده است.

۳-۹- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

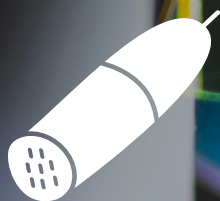
کشورهای همسایه می‌توانند هدف صادراتی خوبی باشند. خصوصاً کشورهای شیخ‌نشین حاشیه خلیج فارس که از نظر مالی و هزینه‌های پروژه‌های بزرگ بسیار توانمند هستند می‌توانند بازار خوبی برای تولیدکنندگان خوب و نمونه ایرانی باشند. در صورتی که هزینه کمتر از نمونه‌های غربی باشد با روابط خوبی که با کشورهای عربی وجود دارد می‌تواند بازار خوبی به دست آورد.

۳-۱۰- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد.

همانطور که در بخش‌های قبلی گفته شد، سبک سازی سازه‌ها یکی از الزامات و نیازمندی‌های علوم معماری و ساخت و ساز است. به همین دلیل بسیاری از محصولات به سمت سبک سازی و افزایش استحکام پیش می‌روند. بنابراین به نظر می‌رسد این فناوری نیز به دلیل استحکام بالا و سبک بودن در آینده به خوبی جای خود را در صنعت باز خواهد کرد. این امر با اصلاح الزامات و مقررات صنعت ساخت به نفع سبک سازی و استفاده از مصالح سبک تسریع خواهد یافت.



۱۶



حسگر مکانولو مینسانس^۱

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱- ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

پدیده انتشار نور از انواع خاصی از مواد در پاسخ به انواع مختلف نیروهای مکانیکی یا تغییر شکل، به عنوان مکانولومینسانس (ML)^۱ شناخته می‌شود. به زبان ساده‌تر پدیده‌ی مکانولومینسانس که عناوین تریبولومینسانس و فراکتولومینسانس نیز برای آن استفاده می‌شود یک پدیده‌ی نشر نور است که با اعمال نیروی مکانیکی بر روی مواد جامد رخ می‌دهد.

بتن حسگر مکانولومینسانس یک فناوری نوآورانه در زمینه سیستم‌های نظارت بر سلامت سازه‌ها (SHMS)^۲ است که ذرات حساس به تنش را با بتن ترکیب می‌کند تا ماده‌ای هوشمند با قابلیت تجسم و اندازه‌گیری تنش، کرنش و شکست در سازه‌ها ایجاد کند. این فناوری با ترکیب میکرو یا نانوذرات در ماتریس بتن کار می‌کند به نحوی که هنگامی که تحت نیروی مکانیکی قرار داده شود از خود نور ساطع می‌کند [۱]. این ذرات که معمولاً از موادی مانند $ZnS:Cu^{2+}$ ساخته می‌شوند، با یک ماده چسباننده مناسب مانند پلی‌دی‌متیل سیلوکسان (PDMS)^۳ مخلوط می‌شوند تا یک غشای مکانولومینسانس ایجاد کنند که می‌تواند در سازه‌های بتنی ادغام شود [۲]. علت این موضوع این است که مواد مکانولومینسانس $ZnS:Cu$ به یک ماتریس نرم برای اینکه در هنگام قرار گرفتن تحت تنش از خود رفتار مکانولومینسانس نشان دهند، نیاز دارند. در طول سال‌های گذشته حسگرهای مکانولومینسانس از مواد مختلفی مانند سولفید روی دوپ شده با مس ($ZnS:Cu$)، سولفید روی دوپ شده با منگنز ($ZnS:Mn$)، سولفید روی دوپ شده با هردو، $SrAl_2O_4:Eu, Dy$ ، $SrAl_2O_4:Ce$ و $ZnS:Mn$ ساخته شده‌اند [۳].



شکل ۱- $ZnS:Cu$ اعمال شده بر روی سطح نمونه بتنی [۴]

۱-۲- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

این فناوری کاربردهای بالقوه‌ای در مهندسی عمران و پایش سلامت سازه‌هایی همچون ساختمان‌ها، پل‌ها و سدها دارد [۵]. این فناوری امکان تجسم توزیع تنش در سازه‌های بتنی را فراهم می‌کند. این ویژگی در شناسایی مناطق تحت تنش یا کرنش بالا جهت ارزیابی مقاومتی و تقویتی به مهندسان کمک می‌کند. این فناوری همچنین جهت تشخیص و تحلیل آسان‌تر ترک‌های سازه‌های بتنی مفید است چراکه امکان مشاهده ترک‌هایی را که ممکن است به راحتی قابل مشاهده نباشند را فراهم کرده و امکان

مداخله زودهنگام را تسهیل می‌کند [۶]. این فناوری به عنوان یک ابزار ارزشمند برای محققانی که رفتار بتن، مکانیک شکست و توسعه مصالح ساختمانی بادوام و انعطاف‌پذیر را مطالعه می‌کنند، عمل می‌کند.

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه بر اساس این فناوری

۱. Mechanoluminescent
۲. Structural health monitoring systems
۳. Polydimethylsiloxane

۴-۱- مزیت (های) کلیدی این فناوری (کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و ...)

این فناوری چندین مزیت کلیدی ارائه می‌دهد که به چالش‌های موجود در نظارت بر سلامت سازه مهندسی عمران می‌پردازد که در ادامه برخی از آن‌ها نام برده شده است:

پایش سلامت سازه با استفاده از این فناوری به خوبی انجام می‌شود. این فناوری روش جدیدی برای ترسیم و اندازه‌گیری تنش، کرنش و شکست در سازه‌های بتنی ارائه می‌دهد.

این فناوری امکان نظارت غیرمخرب و مستمر بر سازه‌های بتنی را فراهم می‌کند. انتشار نور از ذرات مکانولومینسانس در پاسخ به تنش مکانیکی، امکان ارزشمندی است که ارزیابی‌های ایمنی و نگهداری سازه را تسهیل می‌کند [۷].

کاهش هزینه‌ها و مقرون به صرفه بودن این فناوری به واسطه کاهش نیاز به شبکه‌های حسگر سیمی گسترده و جایگزینی پیچیده باتری از دیگر مزیت‌های این فناوری است.

سهولت در اجرا، امکان تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، کاهش خطر خرابی‌های ناگهانی و تضمین طول عمر سازه از دیگر مزایای این فناوری است.

در رابطه با حسگرهای مکانولومینسانس ZnS, Cu مهم‌ترین وجه تمایز در مقایسه با دیگر حسگرها عدم نیاز به ابزار پیچیده بوده به طوری که می‌تواند با تابش در محل‌های تمرکز تنش، توزیع تنش را بر روی سطح هر المان سازه‌ای تعیین کند [۵].

۵-۱- نانوذرات بهره‌گرفته شده در این فناوری (از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به‌کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

نانوذرات سولفید روی (ZnS) از جمله کاربردی‌ترین نانو موادی است که در مطالعات اخیر از آن بهره‌گرفته شده است. جهت سنتز $ZnS:Cu$ از روش شیمیایی مرطوب استفاده می‌شود. البته روش‌های سنتز دیگری از جمله روش سل-ژل و حالت جامد نیز وجود دارد [۵].

۶-۱- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

گام نخست با سنتز میکرو یا نانوذرات ساخته شده از موادی مانند $ZnS:Cu^2+$ آغاز می‌شود. سپس ذرات مکانولومینسانس با کمک چسباننده‌های مناسبی مانند پلی دی‌متیل سیلوکسان (PDMS) بر روی سطح بتن قرار می‌گیرند. محصول نهایی کاربردهای متفاوتی در سیستم پایش سلامت سازه و تشخیص ناحیه فرآیند شکست دارد.

۷-۱- فناوری‌های رقیب (از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

این فناوری یک نوآوری جهت پایش سلامت سازه است اما چندین فناوری رقیب و جایگزین برای برآوردن نیازهای مشابه وجود دارند که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است:

- شبکه‌های حسگر سیمی سنتی: این سیستم‌ها از انواع مختلفی از حسگرها (به عنوان مثال، کرنش سنج و شتاب سنج‌ها) استفاده می‌کنند که با سیم متصل می‌شوند تا سلامت سازه را نظارت کنند. در حالی که مؤثر هستند، نصب و نگهداری آن‌ها می‌تواند به خصوص در سازه‌های بزرگ پرهزینه باشد.
- شبکه‌های حسگر بی‌سیم: این فناوری‌ها بر برخی از محدودیت‌های سیستم‌های سیمی غلبه می‌کنند، اما در سازه‌های بتنی به دلیل تضعیف سیگنال و مشکلات تعویض باتری با چالش‌هایی مواجه هستند.
- حسگرهای فیبر نوری: این حسگرها را می‌توان در بتن برای اندازه‌گیری کرنش، دما و سایر پارامترها تعبیه کرد. آن‌ها حساسیت بالایی دارند و در برابر تداخل الکترومغناطیسی مصون هستند.
- حسگرهای پیزوالکتریک: این حسگرها تنش مکانیکی را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌کنند و می‌توانند هم برای سنجش و هم برای برداشت انرژی در کاربردهای مرتبط با پایش سلامت سازه استفاده شوند.
- نظارت بر انتشار آکوستیک: این تکنیک امواج صوتی ایجاد شده توسط ترک‌ها یا تغییر شکل‌ها در سازه‌ها را شناسایی و تجزیه و تحلیل می‌کند.

- رادار نافذ زمینی (GPR)^۱: از این سیستم می‌توان برای تشخیص عیوب داخلی، حفره‌ها یا خوردگی آرماتور در سازه‌های بتنی استفاده کرد.
- ترموگرافی مادون قرمز: این روش غیرتماسی از تصویربرداری حرارتی برای تشخیص ناهنجاری‌ها در سازه استفاده می‌کند.
- بازرسی بصری و آزمایش غیرمخرب: روش‌های سنتی مانند بازرسی‌های بصری، آزمایش اولتراسونیک، و تست ضربه-اکو هنوز به‌طور گسترده برای ارزیابی ساختاری استفاده می‌شوند.
- بتن خودحسگر با استفاده از مواد کربنی: این فناوری شامل بتن با الیاف کربن، نانولوله‌های کربنی یا گرافن است که می‌تواند خواص الکتریکی را تحت تنش یا کرنش تغییر دهد.
- برچسب‌های سنسور هوشمند، فناوری اکو-کپسول، بتن رسانای الکتریکی و مصالح هوشمند از دیگر فناوری‌های رقیب هستند.

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکرشده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

به برخی برنامه‌ها و فناوری‌های مکمل این فناوری در ادامه اشاره می‌شود: سیستم‌های تصویربرداری دیجیتال؛ دوربین‌های با وضوح بالا و تجهیزات تصویربرداری مناسب برای ثبت انتشار نور از بتن ضروری هستند. تکنیک‌های پردازش تصویر؛ نرم‌افزار و الگوریتم‌های پیشرفته‌ای برای تجزیه و تحلیل الگوهای مکانولومینسانس، تشخیص شکست‌ها و محاسبه عوامل شدت تنش مورد نیاز است. تجزیه و تحلیل داده‌ها و یادگیری ماشین^۲: این فناوری‌ها می‌توانند به تفسیر مقادیر زیادی از داده‌های تولید شده توسط بتن حسگر مکانولومینسانس در طول زمان کمک کنند.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/فناوری نسبتاً منزوی است؟)

این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی قابل توجهی در زمینه‌های مرتبط ایجاد می‌کند. این فناوری رشته‌های مهندسی عمران، علم مواد، فناوری نانو، الکترونیک و علوم کامپیوتر را در برمی‌گیرد. همچنین این فناوری فرصت‌های خوبی را برای روش‌های پیشرفته آزمایش غیرمخرب ایجاد می‌کند. فناوری حسگر مکانولومینسانس اغلب با سایر فناوری‌های پیشرفته مانند سیستم‌های تصویربرداری دیجیتال، تکنیک‌های پردازش تصویر و هوش مصنوعی ادغام می‌شود. این ادغام فرصت‌های تحقیقاتی بسیاری را در این زمینه‌ها ایجاد می‌کند.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی

(آیا این اثر/فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

استفاده از این فناوری در مدیریت ساختمان‌های هوشمند می‌تواند شرایط زندگی، بهره‌وری انرژی و ایمنی را برای ساکنان بهبود دهد و به کیفیت بهتر زندگی در محیط‌های شهری کمک کند. این فناوری برای حفظ زیرساخت‌های حیاتی مانند پل‌ها، ساختمان‌ها و سدها، تضمین امنیت عمومی و کاهش خطر خرابی‌های فاجعه‌بار از نظر استراتژیک مهم است.

۱. Ground penetrating radar

۲. Machine learning

تحلیل بین‌المللی

۲-۱- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

این فناوری بسیار نوپا بوده و بازیگران کلیدی آن را می‌توان جامعه دانشگاهی، مؤسسات تحقیقاتی وابسته به دولت‌ها و متخصصین مرتبط با رشته‌های مهندسی عمران و مواد دانست. در ادامه به برخی مطالعات انجام شده پیرامون این فناوری اشاره خواهد شد:

در سال ۲۰۲۳ در مطالعه‌ای به بررسی سنتز ماده مکانولومینسانس ZnS:Cu جهت تشخیص تنش بر روی سطح اجزای بتنی پرداخته شد. در سال ۲۰۲۰ به تعیین طول ناحیه فرآیند شکست و ضریب شدت تنش حالت اول در سازه‌های بتنی با استفاده از این فناوری پرداخته شد. در سال ۲۰۲۳ مطالعه‌ای دیگر پیرامون تشخیص ترک بر روی سطح بتن با استفاده از مواد مکانولومینسانس انجام شد.

علاوه بر این، تحقیقات پیرامون این فناوری به‌طور عمده در کشورهای زیر در حال انجام است:

■ ژاپن: انجمن مهندسين عمران ژاپن (JSCE) مطالعات اساسی در مورد کاربرد حسگرهای مکانولومینسانس برای تشخیص ترک در بتن انجام داده است.

■ چین: محققانی از آکادمی علوم چین روی مدل‌سازی و اعتبارسنجی مکانیسم‌های حسگری کرنش مکانولومینسانس کار کرده‌اند.

■ هند: برخی مطالعات در مورد استفاده از مواد مکانولومینسانس برای تشخیص ترک در سطح بتن در هند انجام شده است.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه‌حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کم‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/راه‌اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطوح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی اولیه									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

این فناوری هنوز به‌طور کامل بالغ و به‌طور گسترده تجاری نشده است. توسعه بیشتر، آزمایش و اعتبارسنجی بازار برای پیشبرد فناوری به سمت سطوح بالاتر آمادگی و پذیرش گسترده‌تر بازار مورد نیاز است. لذا براساس اطلاعات موجود می‌توان سطح آمادگی فناوری (TRL) را ۵ و سطح آمادگی بازار (MRL) را ۳ در نظر گرفت.

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

به نظر می‌رسد که این فناوری در مراحل اولیه خود یعنی در مرحله تحقیق و توسعه قرار دارد. این فناوری برای کاربردهای بالقوه در سیستم‌های نظارت بر سلامت سازه در حال بررسی است، که نشان می‌دهد به سمت مرحله پذیرش اولیه در حال حرکت است. انتظارات در رابطه با سودمندی این فناوری در پایش سلامت سازه و تجزیه و تحلیل ناحیه شکست بتن است.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش روی فناوری

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

ترکیب ذرات مکانولومینسانس یا سایر عناصر حسگر در بتن با حفظ خواص ساختاری آن ممکن است چالش‌برانگیز باشد.

همچنین اطمینان از اینکه قابلیت‌های حسگری بتن مکانولومینسانس در طول عمر طولانی سازه‌های بتنی مؤثر باقی بماند چالش دیگری است. در نظر گرفتن شرایط محیطی متفاوت و روش‌های ساخت و به‌کارگیری این مواد به عنوان چالش‌های فنی این فناوری مطرح هستند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

مهم‌ترین پیشران این فناوری کاهش هزینه‌های بلندمدت مرتبط با خرابی‌های سازه است. در واقع تشخیص زودهنگام ترک‌ها و تنش در سازه‌های بتنی می‌تواند از خرابی‌های فاجعه‌بار جلوگیری کرده و مسئولیت و هزینه‌های مرتبط را کاهش دهد.

از طرفی تحقیقات در حال انجام در رابطه با این فناوری برای کاربردهای مختلف مستلزم هزینه‌های قابل توجه تحقیق و توسعه است که می‌تواند چالشی برای تجاری‌سازی آن باشد. افزایش تولید مواد حسگر مکانولومینسانس از مقیاس آزمایشگاهی به مقیاس صنعتی می‌تواند چالش‌های اقتصادی به همراه داشته باشد. همچنین وجود فناوری‌های رقیب و نیاز به نیروی کار ماهر از دیگر مسائلی هستند که می‌توانند از نظر اقتصادی به عنوان چالش پیش روی این فناوری در نظر گرفته شوند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

این فناوری با نظارت و پایش سلامت سازه امکان نظارت غیرمخرب بر سازه‌های بتنی را فراهم کرده و با تشخیص زودهنگام ترک‌ها و خرابی‌های محتمل، ایمنی را بهبود می‌دهد. از طرفی این فناوری با ارائه امکان نظارت مداوم بر سلامت سازه ایمنی کلی سازه‌ها و زیرساخت‌ها را در طول زمان افزایش می‌دهد.

با این حال با توجه به اینکه این فناوری نوظهور است، اثرات درازمدت قرارگیری در معرض این فناوری به طور کامل درک نشده و ممکن است چالش‌های بالقوه ایجاد کند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

استفاده از این فناوری جهت نظارت بر سلامت سازه می‌تواند ایمنی عمومی را با امکان تشخیص زودهنگام مسائل سازه‌ای افزایش دهد. این امر با تعهدات اخلاقی برای حفاظت از رفاه عمومی همسو است.

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

این فناوری هنوز به عنوان یک محصول به بازار ارائه نشده است.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

به نظر می‌رسد این فناوری در سال‌های آتی به بلوغ رسیده و ابزارهای مختلفی همچون هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به توسعه بیشتر این فناوری کمک شایانی خواهند کرد.

تحلیل داخلی

۱-۳- فعالیتهای انجام شده در کشور

■ فعالیتهای تحقیقاتی (چه تیم‌هایی در کدام نهادها در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ چه مقالاتی در این زمینه منتشر شده است؟ چه پایان‌نامه‌هایی نگارش شده است؟)

با جستجو در منابع و پایگاه‌های مختلف با توجه به بدیع بودن این فناوری مطالعات و تحقیقاتی پیرامون این موضوع در کشور یافت نشد. تنها با جستجو در سامانه ایرانداک یک پایان‌نامه مرتبط با مواد مکانولومینسانس مشاهده شد که توسط مریم رویان با راهنمایی استاد محترم جناب مرتضی ایرانی فام با عنوان توسعه کاربردهای تجزیه‌ای واکنش نورتابی شیمیایی نانوذرات FeS_2 - لومینول - O_2 در سال ۱۴۰۰ و در دانشکده علوم پایه دانشگاه مراغه ثبت شده است.

■ فعالیتهای توسعه محصول و تجاری‌سازی (آیا نمونه‌سازی انجام گرفته است؟)

خیر

■ فعالیتهای سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری

-

۲-۳- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

این فناوری به‌طور عمده در حوزه ساخت‌وساز به‌ویژه در سازه‌های مهم و حیاتی با قابلیت پایش سلامت و ایمنی سازه

۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	سطح آمادگی بازار
۹									خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه‌حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کم‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/راه‌اندازی خط تولید	تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت	اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی	دستایی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد	دستایی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد	اثبات عملکرد در سطح ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه	معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن	مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها
-------------------	--	---	--	--	---	---	--	---

کاربرد دارد. با این حال در حوزه نفت و گاز نیز با توجه به اهمیت آن به نظر می‌رسد قابلیت اجرا داشته باشد. بنابراین در خطوط انتقال نفت و گاز، ایمنی سکوها و مخازن و در حوزه زیرساخت پالایشگاه‌ها این فناوری می‌تواند اثرگذار واقع شود.

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

می‌توان سطح آمادگی فناوری (TRL) را در ایران ۲ و سطح آمادگی بازار (MRL) را ۱ در نظر گرفت.

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هر یک از کاربردهای احتمالی

در زمینه نظارت و پایش سلامت سازه استفاده از حسگرهای سنتی همچون کرنش سنج‌ها و شتاب سنج‌ها رایج است. این در حالی است که در کشور شاهد رشد و توسعه فناوری‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای تحلیل داده‌ها هستیم. در حوزه ساختمان‌های هوشمند نیز تمرکز بر استفاده از سیستم‌های مدیریت ساختمان (BMS) متداول است و همچنین شاهد توسعه فناوری‌های اینترنت اشیا برای ساختمان‌های هوشمند هستیم. در حوزه نفت و گاز نیز روش‌های سنتی بازرسی و نظارت بر خطوط لوله و مخازن رایج است.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و همچنین، برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

-

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی: وجود دارد. با این حال، ممکن است نیاز به آموزش‌های تخصصی در زمینه حسگرهای مکانولومینسانس وجود داشته باشد.
- زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی: وجود دارد.
- زیرساخت تولید: وجود دارد.
- آزمایشگاه مرجع: وجود دارد.
- منابع مالی: وجود دارد.
- توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری: وجود دارد.
- زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش: وجود دارد.

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

- **پیشران‌ها و چالش‌های فنی**
پیشران‌های فنی این فناوری نیاز به بهبود ایمنی و دوام سازه‌های بتنی به‌ویژه سازه‌های مهم و حیاتی و توسعه دانش و تخصص در زمینه نانو فناوری و مواد هوشمند در کشور هستند.
چالش‌های فنی این فناوری نیز محدودیت در دسترسی به برخی تجهیزات و مواد پیشرفته به دلیل تحریم‌ها، نیاز به توسعه دانش تخصصی در زمینه حسگرهای مکانولومینسانس و چالش‌های مربوط به پایداری و دوام حسگرها در شرایط محیطی مختلف هستند.
- **پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی**
پیشران‌های اقتصادی این فناوری پتانسیل کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیر سازه‌های بتنی در درازمدت و ایجاد فرصت‌های شغلی جدید در این حوزه هستند.
چالش‌های اقتصادی این فناوری نیز هزینه‌های بالای تحقیق و توسعه اولیه، عدم اطمینان در مورد بازگشت سرمایه در کوتاه‌مدت و رقابت با محصولات و روش‌های موجود و ارزان‌تر در داخل کشور هستند.
- **پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا**
پیشران‌های مربوطه افزایش آگاهی عمومی درباره اهمیت نظارت بر سلامت سازه، نیاز به بهبود ایمنی در سازه‌های حیاتی مانند پل‌ها و سدها. تمایل به استفاده از فناوری‌های نوین در پروژه‌های عمرانی بزرگ هستند.
چالش‌های این حوزه نیز عدم اطمینان در مورد مزایای درازمدت فناوری و نیاز به آگاهی‌رسانی و آموزش به مهندسان و پیمانکاران هستند.
- **پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)**
بهبود ایمنی سازه‌ها و کاهش خطرات ناشی از فرسودگی و آسیب‌های پنهان و امکان پیش‌بینی و پیشگیری از حوادث ناشی از تخریب سازه‌ها از پیشران‌های حاضر در این حوزه هستند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

در این رابطه افزایش مسئولیت‌پذیری در قبال سازه‌های عمومی به عنوان یک پیشران مطرح بوده و نیاز به تدوین قوانین و مقررات جدید برای استفاده از این فناوری چالش پیش رو است.

۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

این فناوری نوپا بوده و به مرحله تولید نرسیده است.

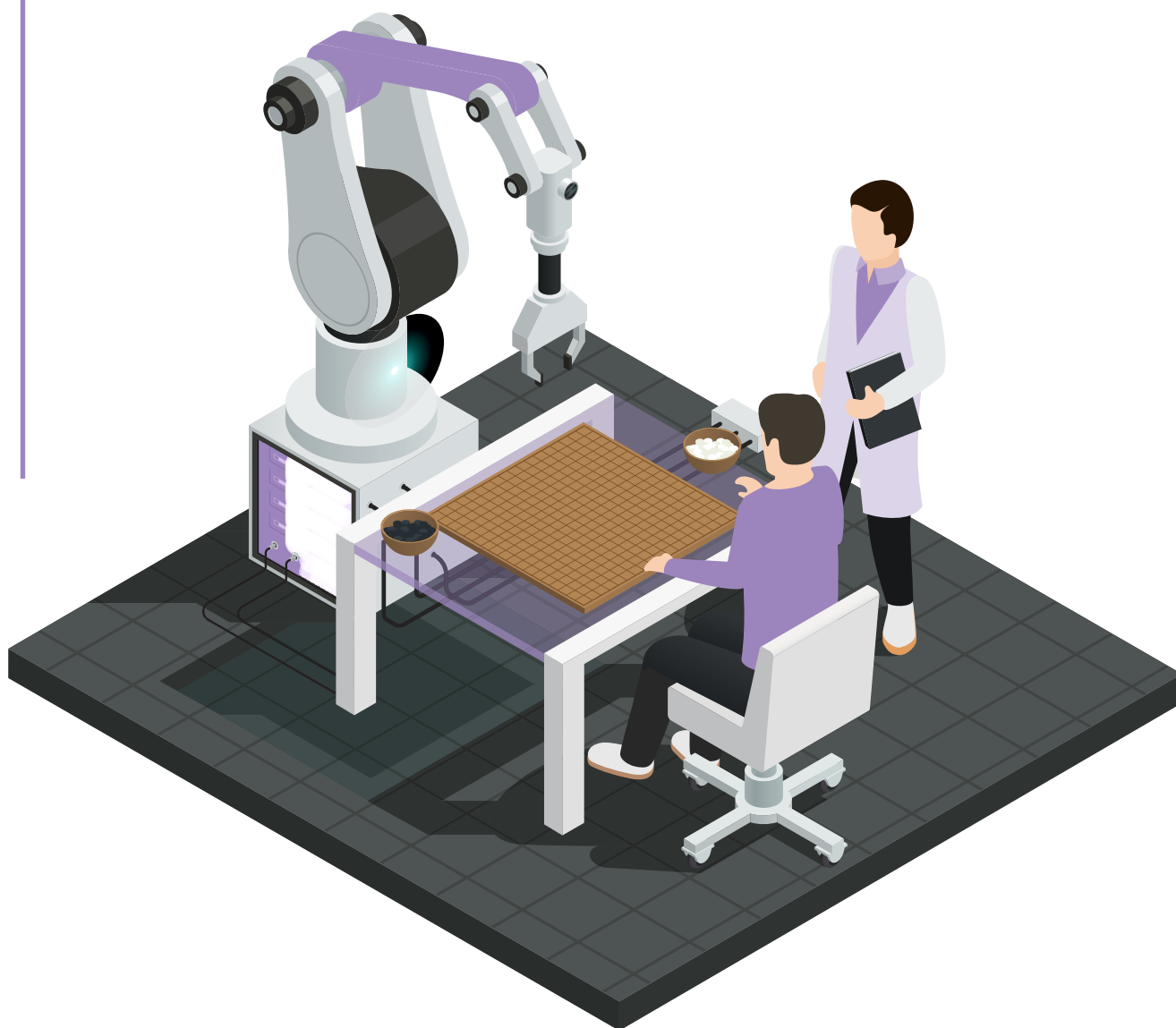
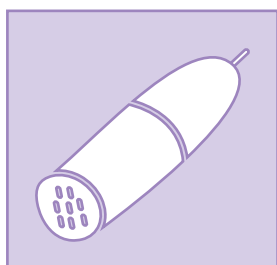
۳-۹- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

۳-۱۰- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

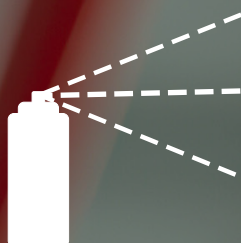
در سال‌های اخیر رشد توجه به فناوری‌های نوظهور در صنایع مختلف به ویژه ساخت‌وساز و افزایش توجه به ایمنی و پایداری سازه‌ها، به ویژه در مناطق زلزله‌خیز را می‌توان شاهد بود. پیشرفت در فناوری نانو و مواد هوشمند که می‌تواند منجر به بهبود عملکرد حسگرهای مکانولومینسانس شود و پیشرفت در فناوری‌های پردازش داده و هوش مصنوعی، که می‌تواند به بهبود تحلیل و پیش‌بینی وضعیت سازه‌ها بر اساس داده‌های حسگرها کمک کند، را می‌توان در سال‌های آینده بر این فناوری اثرگذار دانست.

منابع

- ۱- Kim, S.-K., et al., Determining the fracture process zone length and mode I stress intensity factor in concrete structures via mechanoluminescent technology. *Sensors*, 2020. 20(5): p. 1257.
- ۲- Gu, G., et al., Flexible-elastic deformation measurement of ZnS:Cu²⁺ mechanoluminescent film using visual inspection and digital image correlation. *Metrology and Measurement Systems*, 2023.
- ۳- Meeruty, A., et al. Mechanoluminescence Sensor-An Exhaustive Review. in *Materials Science Forum*. 2022. Trans Tech Publ.
- ۴- Meeruty, A., M. Patel, and S. Nihalani, Synthesis of ZnS: Cu mechanoluminescence material for detection of surface stress on concrete elements. *Asian Journal of Civil Engineering*, 2023. 24(8): p. 3591-3596.
- ۵- Singh, S., et al. Crack detection on concrete surface using mechanoluminescent material. in *AIP Conference Proceedings*. 2023. AIP Publishing.
- ۶- Gong, Z., et al., Empowering smart buildings with self-sensing concrete for structural health monitoring. *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2022 Conference*, 2022.
- ۷- Ramachandran, K., et al., A review on principles, theories and materials for self sensing concrete for structural applications. *Materials*, 2022. 15(11): p. 3831.



۱۷



ملات کامپوزیت برای استفاده در
تعمیرات لوله با بهره‌گیری از دستگاه
تعمیر لوله به روش اسپری چرخشی
بدون نیاز به حفاری

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱- ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

اختراع حاضر به ترکیب ملات برای تعمیر لوله‌های غیرحفاری، دستگاه اسپری چرخشی تعمیر لوله و روش تعمیر لوله با استفاده از آن مربوط می‌شود. به‌طور خاص، ترکیبی از ملات شامل پودر رزین آکریلیک و فرآورده‌های جانبی متراکم‌شده‌ی صنعتی به دیواره داخلی یک لوله اعمال می‌شود. این اختراع به ترکیب ملاتی برای تعمیر لوله‌ها از طریق روشی بدون نیاز به حفاری مربوط می‌شود که می‌تواند به‌طور مؤثر سطح دیواره داخلی لوله را با استفاده از دستگاه اسپری چرخشی پرفشار تعمیر کند.

به‌طور کلی، مقصود لوله‌هایی بوده که شبکه لوله‌های آب و فاضلاب دفن شده در زیرزمین را تشکیل می‌دهند. بر روی سطح لوله‌ها یا در محل اتصالات آن‌ها به علت فرونشست زمین یا بارهای ضربه‌ای ناشی از عبور و مرور وسایل نقلیه، ترک‌هایی ایجاد می‌شود. ایجاد حفره و فرسودگی در لوله‌ها در طی زمان بهره‌برداری، باعث آسیب دیدگی جداره لوله‌ها می‌شود. رفته‌رفته، ذرات خاک وارد لوله شده و به تدریج تجمع یافته که نه تنها باعث اختلال در جریان داخل لوله شده، بلکه در لوله‌های فاضلاب باعث نشت فاضلاب به خارج و ایجاد آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی و یا برعکس، نشت خاک و آب‌های زیرزمینی به داخل جریان لوله می‌شود. این فرآیند مشکلات جدی را ایجاد می‌کند.

با توجه به اهمیت این موضوع، روش‌های تعمیر لوله‌ها شامل تعمیرات از طریق حفاری زمین و یا تعمیرات از طریق روش‌های بدون نیاز به حفاری و با استفاده از منهول^۱ توسعه یافته‌اند. در این بین، روش‌های بدون نیاز به حفاری به روش‌های آب‌بندی با استفاده از دوغاب و یا روش‌های تقویت آستر بر مبنای ویژگی‌های محل آسیب دیدگی لوله و شرایط پیرامون، طبقه‌بندی می‌شوند.

در روش آب‌بندی با استفاده از دوغاب مقدار مشخصی از مواد تعمیرکننده به صورت مایع از دستگاه تعمیر به سوی ناحیه آسیب خارج شده و سپس سخت می‌شود تا ناحیه آسیب دیده لوله تعمیر شود. این روش نیازمند انسداد لوله و ممانعت از عبور جریان حین تعمیرات است. از سوی دیگر، در بین روش‌های تعمیر بدون حفاری، زمانی که میزان آسیب به ناحیه آسیب دیده شدید بوده و نیاز به عملکرد آرماتور باشد، روش تقویت آستر نیازمند مواد تعمیری جداگانه است. فناوری حاضر برای حل مشکلات پیشین با استفاده از ترکیب ملات حاوی رزین پودر آکریلیک و مصالح فرعی صنعتی در نظر گرفته شده است. ترکیبی از ملات که در آن میزان ماسه سیلیسی طبیعی استفاده شده به حداقل رسیده است، خودچسبندگی ترکیب را به لوله افزایش می‌دهد و با گسترش منطقه اسپری مواد تعمیری به سمت دیواره لوله، کارایی عملیات را افزایش می‌دهد. مشکلی که باید حل شود، تهیه دستگاه تزریق چرخشی تعمیر لوله و روش تعمیر لوله با استفاده از آن است.

ترکیب ملات برای تعمیر لوله‌های بدون حفاری پیشنهاد شده توسط اختراع حاضر شامل ۵۰ تا ۱۰۰ قسمت وزنی سیمان پرتلند، ۱ تا ۱۵ قسمت وزنی CSA (کلسیم سولفو آلومینات؛ $\text{CaO}_3\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ CaSO}_4$)، ۰٫۵ تا ۱۰ قسمت وزنی گچ و ۱ قسمت وزنی دوده سیلیس، ۰٫۵ تا ۵ قسمت وزنی نانوکربنات کلسیم، ۲۰ تا ۳۵ قسمت وزنی ماسه سیلیسی مخلوط شماره ۵ و ۶، ۲۰ تا ۳۰ قسمت وزنی پودر ریز مخلوط دانه‌های فرعی صنعتی، ۰٫۱ تا ۱۵ قسمت وزنی رزین پودر قابل امولسیون مجدد VAE، از ۱ تا ۱۰ قسمت وزنی فیبر تقویت‌کننده، ۰٫۱ تا ۱٫۰ قسمت وزنی ماده سیال، ۰٫۵ تا ۵ قسمت وزنی قوام دهنده، ۰٫۵ تا ۰٫۷ قسمت وزنی شتاب دهنده سخت شدن، ۰٫۱ تا ۰٫۴ قسمت وزنی بازدارنده و ۰٫۵ تا ۳ قسمت وزنی عامل ضد کف تشکیل شده است.

۱-۲- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

فناوری مذکور یک ملات تعمیری که برای تعمیرات لوله‌های غیرحفاری و لوله اسپری قابل چرخش طراحی شده است و چندین کاربرد نوآورانه را در زمینه‌های مختلف ارائه می‌دهد. این کامپوزیت می‌تواند کارایی و دوام تعمیر را در تعمیر و

۱. Manhole

نگهداری زیرساخت، به‌ویژه در محیط‌های چالش برانگیز افزایش دهد. بخشی از مزیت‌های استفاده از این مصالح به شرح زیر است:

- **تکنیک‌های غیرحفاری:** یک کامپوزیت برای روش‌های تعمیر بدون ترانشه، به حداقل رساندن اختلال در سازه‌های موجود و کاهش هزینه‌های نیروی کار
- **خواص مکانیکی پیشرفته:** مشابه کامپوزیت‌های خودترمیم‌شونده، ملات می‌تواند یکپارچگی ساختاری را تحت تنش حفظ کند، که برای تعمیرات طولانی‌مدت بسیار مهم است.
- **خواص ضد میکروبی:** ترکیب عوامل ضد میکروبی می‌تواند از رشد باکتری‌ها در محیط‌های مرطوب جلوگیری کند و طول عمر تعمیرات را افزایش دهد.
- **پایداری:** استفاده از اجزای زیست تخریب پذیر، مشابه اجزای موجود در داربست‌های چاپ سه بعدی، می‌تواند شیوه‌های سازگار با محیط زیست در ساخت و ساز را ترویج کند.

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه بر اساس این فناوری

ملات تعمیری برای کاربرد تعمیرات در محل و زودگیرش در خطوط لوله‌ها
ملات‌های ترمیمی برای سطوح در حال تخریب برای ساختمان‌ها و ابنیه معمولی یا تاریخی

۱-۴- مزیت (های) کلیدی این فناوری (کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و...)

مقاومت بالا در برابر خوردگی با عمر مفید تا ۳۰ سال
عدم نیاز به حفاری در این روش، کاهش هزینه‌های ساخت و ساز
امکان گیرش سریع و استحکام اتصال بالا و تعمیرات سریع بدون خرابی
این کامپوزیت برای اندازه‌ها و شرایط مختلف لوله سازگار است، و آن را برای سیستم‌های زه‌کشی بتنی با قطر بزرگ ایده‌آل می‌کند.

۱-۵- نانوذرات بهره گرفته شده در این فناوری (از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

برای تولید کامپوزیت ملات تعمیری، نانوذرات مختلفی برای افزایش عملکرد ملات استفاده می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که نانوذرات به‌طور قابل توجهی خواص مکانیکی و دوام کامپوزیت‌های مبتنی بر سیمان را بهبود می‌دهد. انواع نانوذرات مورد استفاده شامل:

- نانوذرات منیزیم: این نانوذرات مقاومت فشاری، کششی و خمشی را ۳۷ تا ۶۳ درصد در مقایسه با ملات‌های سنتی افزایش می‌دهند.
- نانوذرات سیلیس (SiO_2): ترکیب نانو SiO_2 در ملات‌های تعمیری پلیمری سرعت هیدراتاسیون و چگالی کلی را افزایش می‌دهد و آن را برای محیط‌های با دمای پایین مناسب می‌کند.
- نانوذرات سرامیکی: ضایعات نانوذرات سرامیکی (Al_2O_3 ، SiO_2) خواص مکانیکی را بهبود می‌بخشد و نفوذپذیری را کاهش می‌دهد و به شیوه‌های ساخت و ساز پایدار کمک می‌کند.

به‌طور خلاصه، ادغام نانوذرات در ملات‌های تعمیری نه تنها خواص مکانیکی آن‌ها را افزایش می‌دهد، بلکه از روش‌های ساخت و ساز پایدار نیز پشتیبانی می‌کند. با این حال، انواع و نسبت‌های خاص نانوذرات مورد استفاده در ملات ممکن است متفاوت باشد.

۱-۶- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

روش‌های تعمیر بدون نیاز به حفاری امکان تعمیرات سریع و کارآمد را بدون نیاز به حفاری گسترده فراهم می‌کند و به‌طور قابل توجهی هزینه‌های کار و مرمت را کاهش می‌دهد. فناوری‌هایی مانند ربات‌های ویدئویی خط لوله و دستگاه‌های تزریق، دقت تعمیرات را افزایش می‌دهند، یکپارچگی سازه را تضمین می‌کنند و اختلال در فرآیند عملیات مرمت را به حداقل می‌رسانند.

زنجیره ارزش شامل تولید ملات و روش اجرای آن یعنی ساخت دستگاه پاشش درون لوله است. در مواردی که برای تعمیر سطوح آسیب دیده سیمانی محیط بیرونی یا سطوح معمولی از این ملات استفاده شود نیازی به دستگاه خاص درون لوله نیست بلکه با روش‌های متداول یا مدرن می‌توان ملات را بر روی سطوح پوشش داد.

۷-۱- فناوری‌های رقیب (از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

فناوری حاضر یک روش خاص برای تعمیر لوله‌ها با استفاده از ملات کامپوزیت را تشریح می‌کند. با این حال، چندین روش جایگزین وجود دارد که از فناوری‌ها و مواد نوآورانه برای کاربردهای مشابه روش تعمیر لوله بدون نیاز به حفاری استفاده می‌کنند. در ادامه به این روش‌ها اشاره شده است:

■ **استفاده از ملات‌های فعال شده پلازما و گرداب:** تحقیقات نشان می‌دهد که ملات‌های بهبود یافته از طریق پلازما با دمای پایین و غیر تعادل و فعال سازی با استفاده از گرداب، می‌توانند به طور قابل توجهی استحکام و دوام را تا بیش از ۵۰٪ در خصوصیات مکانیکی بهبود بخشند.

■ **بهره‌برداری از دستگاه‌های تعمیر بدون نیاز به حفاری:** روشی که شامل یک ربات تصویربرداری از خط لوله و اعمال دوغاب پلیمری با غلظت بالا بوده، می‌تواند به طور مؤثری لوله‌های زه‌کشی بتنی با قطر بزرگ را ترمیم کند و یک ساختار کامپوزیتی را فراهم کند که هم مقرون به صرفه بوده و هم قابل اعتماد است.

■ **استفاده از تکنیک‌های پاشش رزین:** روشی که شامل شستشو، خشک کردن و پاشش رزین با فشار زیاد است، امکان تعمیر کارآمد لوله‌های آب و فاضلاب را فراهم کرده و عملیات ساخت و ساز سازگار با محیط زیست محسوب شده و با کاهش نیاز به پرسنل عملیات همراه است.

■ **استفاده از پوشش‌های تقویت شده‌ی مشبک و بافته شده:** استفاده فرآورده‌های بافته شده‌ی مشبک در روکش ملات باعث افزایش دوام و کاهش هزینه‌های نگهداری شده و مشکلات ناشی از خوردگی را به طور مؤثر کاهش می‌دهد.

■ **استفاده از روش اسپری ملات به صورت اسپری گریز از مرکز (سانتریفیوژ):** این روش شامل استفاده از نوعی ملات مخصوص فرموله شده است که قابل جاری شدن بوده و به مجرای انتقال نمی‌چسبد و برای ایجاد لایه‌های ضخیم در تعمیر خط لوله مناسب است.

در حالی که این روش‌ها گزینه‌های مناسبی را ارائه می‌دهند، ممکن است در مناسب بودن کاربرد و مقرون به صرفه بودن متفاوت باشند.

۸-۱- فناوری‌های مکمل (برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود است؟)

تکنولوژی مورد بحث می‌تواند با استفاده از فناوری‌ها و مواد مختلف مکمل بهبود یابد. این نوآوری‌ها بر بهبود عملکرد و دوام ملات‌های تعمیر مورد استفاده در عملیات بدون نیاز با حفاری متمرکز هستند. برخی از این فناوری‌های مکمل در ادامه شرح داده شده‌اند:

■ **ملات پوششی اسپری شده به روش سانتریفیوژ:** این ملات شامل ترکیبی از سیمان، ماسه و مواد افزودنی است که باعث افزایش جریان پذیری و جلوگیری از به هم چسبیدگی در هنگام استفاده می‌شود و آن را برای اسپری کردن لایه‌های ضخیم ملات در خطوط لوله مناسب می‌کند.

■ **کامپوزیت رزین اپوکسی پلیمر:** این ماده برای عملیات بدون نیاز به حفاری طراحی شده است و استحکام بالا، نفوذپذیری و عمر بالا تا ۳۰ سال را مهیا می‌کند.

■ **سیستم‌های رباتیک و استفاده از دوغاب:** استفاده از ربات‌های تصویربرداری خط لوله و دستگاه‌های تخصصی دوغاب پاشی امکان تعمیرات دقیق را بدون حفاری فراهم نموده و به طور مؤثر مشکلاتی از قبیل قطع لوله و ترمیم حفره‌های خاک را برطرف می‌کند.

■ **روش‌های جامع تعمیر:** تکنیک‌هایی که شامل پاشش و پخت رزین می‌شوند، می‌توانند به طور مؤثر یکپارچگی لوله‌های آب‌رسانی و فاضلاب را بازیابی کنند و از حداقل اختلال و تأثیرات نامطلوب محیط زیستی جلوگیری کنند.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید (آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

بر اساس ماهیت و تمرکز فناوری حاضر بر روی روش ترمیم بدون نیاز به حفاری و استفاده از دستگاه‌های مرتبط، چندین مسیر تحقیقاتی برای پژوهش‌های آتی می‌توان در نظر گرفت:

□ علوم و مهندسی مواد

- بهبود ملات ترمیم: توسعه موادی با خواص و فرمولاسیون پیشرفته مانند زمان تهیه سریع‌تر، استحکام بالاتر یا مقاومت بهتر در برابر خوردگی یا آسیب‌های شیمیایی.
- مواد خودترمیم‌شونده: موادی که می‌توانند به طور مستقل آسیب‌های جزئی را ترمیم کنند و طول عمر لوله‌های تعمیر شده را افزایش دهند.

□ مهندسی رباتیک و اتوماسیون

- سیستم‌های تعمیر خودکار: طراحی ربات‌ها یا Dron بدون سرنشین که قادر به بازرسی و تعمیر لوله‌ها بدون مداخله انسانی، به ویژه در مکان‌های خطرناک یا غیرقابل دسترسی است.
- عملیات‌های دقیق: دقت و کارایی روند کاربرد اسپری و اطمینان از پوشش بهینه مواد.

□ آزمایش غیرمخرب (NDT)

- تکنیک‌های بازرسی پیشرفته: برای ارزیابی دقیق شرایط لوله و شناسایی مناطق ترمیم بالقوه قبل از وقوع خرابی.
- پایش و کنترل: اجرای سیستم‌های پایش و کنترل برای تشخیص و پیگیری تخریب لوله، امکان نگهداری و تعمیر فعال.

□ اثرات محیط‌زیستی

- مواد پایدار: تحقیقات مرتبط با مواد سازگار با محیط‌زیست برای ترمیم لوله و به حداقل رساندن ردپای محیط‌زیستی فرآیند.
- کاهش پسماند: بررسی روش‌هایی برای کاهش زباله‌های تولید شده در هنگام تعمیر لوله، مانند بازیافت یا استفاده مجدد از مواد.

□ تحلیل اقتصادی

- تجزیه و تحلیل هزینه‌ها و منافع: انجام مطالعات برای ارزیابی مزایای اقتصادی روش‌های ترمیم بدون نیاز به حفاری در مقایسه با تکنیک‌های سنتی، با توجه به عواملی مانند هزینه‌های تعمیر، خرابی و تأثیرات محیط‌زیستی.
- مدل‌های تجاری: توسعه مدل‌های تجاری نوآورانه که می‌توانند از اتخاذ فناوری‌های تعمیر بدون نیاز به حفاری، مانند بازپرداخت در هر ترمیم یا خدمات مبتنی بر اشتراک، پشتیبانی کنند.

□ ملاحظات اضافی

- انطباق نظارتی: اطمینان از مطابقت هر تحقیق جدید با مقررات و استانداردهای مربوط به تعمیر لوله و مواد.
- آزمایش میدانی: آزمایش میدانی دقیق برای اعتبارسنجی عملکرد و اثربخشی فناوری‌های جدید در شرایط محیط واقعی.
- مشارکت: مشارکت مؤثر بین محققان، متخصصان صنعت و سیاست‌گذاران برای تسریع در نوآوری و رفع چالش‌های مربوط به تعمیر لوله.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی (آیا این اثر/ فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

مزایای اجتماعی و محیط‌زیستی تکنولوژی حاضر در بخش‌های زیر قابل‌ارائه است:

□ پیامدهای اجتماعی

- ایمنی و رفاه: روش‌های تعمیر بدون نیاز به حفاری می‌توانند خطر حوادث و صدمات مرتبط با تکنیک‌های سنتی

گودبرداری را به میزان قابل توجهی کاهش دهد و ایمنی کارگران و مردم را بهبود دهند.

- به حداقل رساندن اختلالات: با اجتناب از نیاز به حفاری‌های گسترده، این روش‌ها می‌توانند اختلالات زندگی روزمره مانند تراکم ترافیک و آلودگی صوتی را به حداقل برسانند و کیفیت زندگی ساکنان و مشاغل را افزایش دهند.
- مزایای اقتصادی: تعمیر بدون حفاری می‌تواند هزینه کلی تعمیر لوله را کاهش دهد و منجر به مزایای اقتصادی بالقوه برای جوامع و تأمین‌کنندگان زیرساخت شود.

□ پیامدهای محیط‌زیستی

- کاهش ردپای کربن: روش‌های سنتی حفاری اغلب شامل استفاده از ماشین‌آلات سنگین و حمل‌ونقل است که به انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند. تکنیک‌های غیرحفاری می‌توانند اثرات محیط‌زیستی تعمیر لوله را به میزان قابل توجهی کاهش دهند.
- حفظ منابع طبیعی: با به حداقل رساندن تعرض به اراضی، این روش‌ها می‌توانند به حفظ منابع طبیعی و اکوسیستم‌ها کمک کنند.
- حفاظت از کیفیت آب: تعمیر بدون حفاری می‌تواند به جلوگیری از آلودگی منابع آب که ممکن است در حین فعالیت‌های حفاری رخ دهد منجر شود.

□ پیامدهای سیاسی

در حالی که پیامدهای مستقیم سیاسی ممکن است کمتر مشخص باشد، این فناوری می‌تواند به اهداف سیاسی گسترده‌تری کمک کند، مانند:

- انعطاف‌پذیری زیرساخت: با بهبود کارایی و پایداری تعمیر لوله، این فناوری می‌تواند به ایجاد سیستم‌های زیرساختی انعطاف‌پذیرتر کمک کند.
- توسعه اقتصادی: توسعه و پذیرش فناوری‌های نوآورانه تعمیر لوله می‌تواند رشد اقتصادی و ایجاد شغل را تحریک کند.
- نظارت بر محیط‌زیست: مزایای محیط‌زیستی تعمیرات غیرحفاری می‌تواند با تعهدات سیاسی گسترده‌تر نسبت به پایداری و اقدامات اقلیمی هماهنگ باشد.

در نتیجه، در حالی که خود این فناوری ممکن است مستقیماً مسائل اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی خاصی را حل نکند، می‌تواند با ارائه راه‌حل‌های کارآمدتر، پایدارتر و ایمن‌تر برای تعمیر لوله، به رفع این چالش‌ها کمک کند.

تحلیل بین‌المللی

۱-۲- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

اصلی‌ترین بازیگر کلیدی در توسعه تکنولوژی ملات کامپوزیت تعمیر لوله بدون نیاز به حفاری، کشور کره جنوبی بوده که حق ثبت اختراع در آن منشأ گرفته است و کشورهای دیگری که در حال توسعه فناوری‌های مشابه هستند. در ادامه به برخی کشورها و شرکت‌های فعال در این زمینه اشاره شده است:

□ کشورها

■ کره جنوبی: کره جنوبی در خط مقدم روش‌های تعمیر بدون نیاز به حفاری قرار دارد و چندین اختراع و تحقیقات متمرکز بر مواد و تکنیک‌های نوآورانه برای تعمیر خط لوله در این کشور انجام شده است. این کشور بر راه‌حل‌های سازگار با محیط‌زیست و مقرون به صرفه تأکید دارد که قابلیت همسو شدن با روندهای جهانی به سمت شیوه‌های ساخت و ساز پایدار را دارد.

■ چین: چین نیز در پیشرفت فناوری‌های تعمیرات بدون نیاز به حفاری سهیم است. تحقیقات انجام شده توسط آن‌ها روش‌هایی را برجسته می‌کند که از مواد تقویت‌شده و تکنیک‌های ساخت و ساز کارآمد استفاده می‌کنند، که برای افزایش طول عمر خطوط لوله بسیار مهم هستند.

■ ایالات متحده: بسیاری از شهرداری‌ها و شرکت‌های خصوصی در ایالات متحده از فناوری‌های بدون نیاز به حفاری برای تعمیر و بازسازی لوله استفاده می‌کنند.

■ کانادا: شهرها و استان‌های کانادا روش‌های بدون نیاز به حفاری را برای رسیدگی به زیرساخت‌های قدیمی اتخاذ کرده‌اند.

■ انگلستان: انگلستان توسعه قابل توجهی در استفاده از تکنیک‌های بدون ترانشه برای تعمیر لوله‌ها، به ویژه در مناطق شهری داشته است.

■ استرالیا: شهرها و مناطق استرالیا بر روی فناوری‌های بدون نیاز به حفاری سرمایه‌گذاری کرده‌اند تا زیرساخت‌های آب و فاضلاب خود را بهبود دهند.

■ ژاپن: این کشور در زمینه توسعه و پیاده‌سازی فناوری‌های تعمیر و بازسازی بدون نیاز به حفاری پیشگام بوده است.

□ شرکت‌ها

■ A.M. رودریگز: پیمانکار پیشرو در زمینه روش‌های بدون نیاز به حفاری در ایالات متحده، متخصص در بازسازی و تعویض لوله.

■ Perma-Pipe: شرکت جهانی که طیف وسیعی از راه‌حل‌های بدون نیاز به حفاری، از جمله پوشش لوله و جک را ارائه می‌دهد.

■ United Utilities: یک شرکت آب و فاضلاب مستقر در بریتانیا که به طور گسترده از روش‌های بدون نیاز به حفاری برای تعمیر لوله استفاده کرده است.

■ Sewerin: یک شرکت آلمانی ارائه‌دهنده تجهیزات و خدمات مورد استفاده در روش‌های بدون نیاز به حفاری در سراسر جهان.

■ Insituform: یک پیشرو جهانی در فناوری پوشش لوله‌های خشک شده در محل.

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

با توجه به مزایای بهره‌گیری از ملات تعمیرات با تکنولوژی حاضر و بهره‌گیری از روش‌های اجرا و نیز نیاز روزافزون به این روش و سهولت تولید و اجرا، می‌توان سطح آمادگی فناوری و میزان پذیرش بازار را به میزان بالایی برآورد نمود. هرچند که در دو بعد تحقیق و توسعه و حمایت‌های مالی و اعتباری، همچنان برای تجاری‌سازی نوآوری حاضر، نیاز به پشتیبانی وجود دارد.

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

با توجه به محبوبیت روزافزون روش‌های تعمیر لوله بدون نیاز به حفاری و مزایای بالقوه چنین فناوری‌هایی، به احتمال زیاد محصولات مشابه در دسترس یا در دست توسعه هستند. فناوری حاضر، در واقع به عنوان یک محصول تجاری معرفی شده است. این نوآوری با تقاضای فزاینده برای روش‌های تعمیر کارآمد و سازگار با محیط‌زیست در تعمیر و نگهداری خط لوله مطابقت دارد. در حالی که معرفی تجاری این محصول امیدوارکننده است، بررسی چالش‌های بالقوه مانند رقابت در بازار و نیاز به تأییدیه‌های نظارتی ضروری بوده که می‌تواند بر پذیرش گسترده آن تأثیرگذار باشد.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش‌روی فناوری

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

چالش‌ها:

- سازگاری مواد: اطمینان از سازگاری مواد تعمیری، مانند ملات، با مواد لوله موجود و اینکه این مواد بدون ایجاد خوردگی یا تخریب قادر به استفاده هستند.
- دقت کاربرد: دستیابی به کاربرد دقیق مواد تعمیر برای اطمینان از پوشش کامل و جلوگیری از نشتی یا خرابی‌های بعدی.
- اجرا و پیاده‌سازی: اطمینان از اینکه مواد ترمیم‌کننده تحت شرایط مختلف محیطی (دما، رطوبت و غیره) به درستی عمل کرده تا به استحکام و دوام مطلوب دست یابد.
- نفوذ ریشه گیاهان: جلوگیری از نفوذ ریشه گیاهان به لوله تعمیر شده که می‌تواند منجر به انسداد و آسیب شود.
- دوام طولانی‌مدت: اطمینان از اینکه لوله تعمیر شده می‌تواند تنش‌ها و بارهایی را که در طول عمر خود تجربه می‌کند بدون شکست یا نیاز به تعمیرات اضافی تحمل کند.

پیشران‌ها:

- مقرون به صرفه بودن: روش‌های بدون نیاز به حفاری معمولاً در مقایسه با روش‌های سنتی حفاری و جایگزینی، صرفه جویی قابل توجهی در هزینه‌ها ارائه می‌دهند و آن‌ها را برای نهادهای دولتی و خصوصی جذاب می‌کنند.
- کاهش اختلال: روش‌های غیرحفاری اختلالات در ترافیک، مشاغل و مناطق مسکونی را به حداقل می‌رساند و آن‌ها را در محیط‌های شهری ارجح می‌کند.
- مزایای محیط‌زیستی: این روش‌ها معمولاً اثرات محیط‌زیستی کمتری دارند و نیاز به حفاری و حمل و نقل مواد را کاهش می‌دهند.
- بهبود راندمان: روش‌های بدون نیاز به حفاری اغلب می‌توانند سریع‌تر از روش‌های سنتی تکمیل شوند، که خود باعث کاهش زمان خرابی و بهبود کارایی عملیاتی می‌شود.
- ایمنی: روش‌های غیر گودبرداری می‌توانند خطر حوادث و صدمات مرتبط با کار گودبرداری را کاهش دهند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

چالش‌ها:

- سرمایه‌گذاری اولیه: روش‌های بدون نیاز به حفاری اغلب نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه قابل توجهی در تجهیزات و آموزش‌های تخصصی هستند که می‌تواند مانعی برای ورود شرکت‌ها یا شهرداری‌های کوچک‌تر باشد.
- پیچیدگی تکنولوژیکی: برخی از روش‌های بدون نیاز به حفاری می‌توانند از نظر فنی پیچیده باشند و به تخصص و برنامه‌ریزی دقیق برای اطمینان از اجرای موفقیت‌آمیز نیاز دارند.
- انطباق با مقررات: رعایت مقررات و استانداردهای محلی برای روش‌های بدون نیاز به حفاری می‌تواند به هزینه و پیچیدگی کلی پروژه‌ها بیفزاید.
- تجزیه و تحلیل هزینه طولانی‌مدت: در حالی که روش‌های بدون نیاز به حفاری می‌توانند صرفه جویی در هزینه‌های کوتاه‌مدت را ارائه دهند، تجزیه و تحلیل هزینه‌های بلندمدت برای اطمینان از توجیه هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و نگهداری مداوم ضروری است.

محرک‌های اقتصادی:

- کاهش اختلال: روش‌های بدون نیاز به حفاری اختلالات در ترافیک، مشاغل و مناطق مسکونی را به حداقل می‌رساند و خسارات اقتصادی مرتبط با خرابی را کاهش می‌دهند.
- اطمینان از بهبود زیرساخت‌ها: با جلوگیری یا به تأخیر انداختن خرابی لوله، روش‌های بدون نیاز به حفاری می‌توانند قابلیت اطمینان کلی سیستم‌های زیرساخت را بهبود بخشند و هزینه‌های نگهداری و تعمیرات آتی را کاهش دهند.
- مزایای محیط‌زیستی: روش‌های بدون نیاز به حفاری اغلب اثرات محیط‌زیستی کمتری نسبت به حفاری سنتی دارند و

هزینه‌های مرتبط با مقررات محیط‌زیستی و اصلاح را کاهش می‌دهند.
 ■ مزیت رقابتی: شرکت‌هایی که روش‌های بدون نیاز به حفاری را اتخاذ می‌کنند، می‌توانند با ارائه راه‌حل‌های کارآمدتر و پایدارتر به مشتریان خود مزیت رقابتی در بازار به دست آورند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

چالش‌ها:

- قرار گرفتن در معرض مواد خطرناک: روش‌های بدون نیاز به حفاری ممکن است شامل استفاده از مواد شیمیایی یا سایر موادی باشد که در صورت عدم استفاده صحیح می‌توانند خطرات سلامتی ایجاد کنند.
- کار در فضای محدود: برخی از تکنیک‌های بدون نیاز به حفاری، مانند پوشش لوله، ممکن است کارگران را مجبور به کار در فضاهای محدود کند، که می‌تواند خطراتی مانند کمبود اکسیژن یا قرار گرفتن در معرض گازهای خطرناک را به همراه داشته باشد.
- تجهیزات سنگین: استفاده از ماشین‌آلات و تجهیزات سنگین در صورت عدم استفاده ایمن می‌تواند خطرات، حوادث و صدماتی را به همراه داشته باشد.
- نویز و لرزش: روش‌های بدون نیاز به حفاری می‌توانند صدا و لرزش ایجاد کنند که می‌تواند بر سلامت و ایمنی کارگران تأثیر بگذارد.

پیشران‌ها:

- بهبود ایمنی کارگران: روش‌های بدون ترانشه می‌توانند خطر حوادث و صدمات مرتبط با حفاری سنتی را که اغلب شامل کار در گودال‌های عمیق است، کاهش دهند.
- حفاظت از محیط‌زیست: روش‌های بدون ترانشه می‌توانند با به حداقل رساندن اختلال در زیستگاه‌های طبیعی و کاهش خطر آلودگی خاک و آب به حفاظت از محیط‌زیست کمک کنند.
- رعایت مقررات: رعایت مقررات HSE برای اطمینان از ایمنی و رفاه کارگران و حفاظت از محیط‌زیست ضروری است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

چالش‌ها:

- مالکیت معنوی: اطمینان از اینکه این فناوری حق اختراع یا کپی‌رایت موجود را نقض نمی‌کند.
- انطباق با مقررات: پایبندی به مقررات محلی، ملی و بین‌المللی مربوط به زیرساخت‌ها، حفاظت از محیط‌زیست و ایمنی کارگران.
- تعهدات قراردادی: مدیریت روابط قراردادی با تأمین‌کنندگان، پیمانکاران و مشتریان.
- اثرات محیط‌زیستی: متعادل کردن مزایای اقتصادی روش‌های بدون نیاز به حفاری با اثرات بالقوه محیط‌زیستی آن‌ها، مانند استفاده از مواد با خواص مضر.
- برابری اجتماعی: اطمینان از توزیع عادلانه مزایای روش‌های بدون نیاز به حفاری بین جوامع مختلف و گروه‌های اجتماعی-اقتصادی.
- ملاحظات اخلاقی: پرداختن به نگرانی‌های اخلاقی مرتبط با استفاده از فناوری، مانند احتمال جابجایی شغل یا پیامدهای ناخواسته.
- اثرات محیط‌زیستی: ارزیابی اثرات محیط‌زیستی روش‌های بدون نیاز به حفاری، از جمله استفاده از مواد، مصرف انرژی و تولید زباله.
- انطباق قانونی: حصول اطمینان از رعایت قوانین و مقررات محیط‌زیستی.
- جنبه‌های اجتماعی: در نظر گرفتن پیامدهای اجتماعی روش‌های بدون نیاز به حفاری، مانند تأثیرات بر جوامع، مشاغل و ارزش‌های دارایی.

پیشران‌ها:

- پایداری: ترویج توسعه زیرساخت‌های پایدار و کاهش ردپای محیط‌زیستی تعمیر لوله.
- مزایای اقتصادی: ایجاد منافع اقتصادی از طریق ایجاد شغل، صرفه‌جویی در هزینه و بهبود قابلیت اطمینان زیرساخت.
- رفاه اجتماعی: بهبود کیفیت زندگی برای جوامع با کاهش اختلالات و بهبود عملکرد زیرساخت.

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

این محصول هنوز به مرحله تولید و کاربرد انبوه در صنعت نرسیده است.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تأثیر بگذارد

وضعیت کنونی جهانی که با عدم قطعیت‌های اقتصادی، تنش‌های ژئوپلیتیکی و نگرانی‌های محیط‌زیستی در حال تحول مشخص می‌شود، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر توسعه فناوری‌های تعمیر بدون نیاز به حفاری تأثیر بگذارد.

□ عوامل اقتصادی

- سرمایه‌گذاری: رکود اقتصادی می‌تواند منجر به کاهش سرمایه‌گذاری در پروژه‌های زیربنایی از جمله تعمیر لوله شود. برعکس، رشد اقتصادی می‌تواند تقاضا برای این فناوری‌ها را افزایش دهد.
- هزینه‌های مواد: نوسانات در هزینه‌های مواد می‌تواند بر هزینه کلی روش‌های بدون نیاز به حفاری و بر قابلیت اقتصادی آن‌ها تأثیر بگذارد.

□ عوامل ژئوپلیتیکی

- اختلالات زنجیره تأمین: درگیری‌های جهانی یا تنش‌های تجاری می‌تواند زنجیره تأمین تجهیزات تخصصی، مواد یا تخصص موردنیاز برای پروژه‌های بدون نیاز به حفاری را مختل کند.
- تغییرات نظارتی: تغییر در سیاست‌ها یا مقررات دولتی می‌تواند بر پذیرش فناوری‌های بدون ترانشه، به‌ویژه از نظر مجوز، استانداردها و بودجه تأثیر بگذارد.

□ عوامل محیطی

- تغییرات آب و هوایی: افزایش دفعات و شدت رویدادهای شدید آب و هوایی می‌تواند نیاز به تعمیرات مکرر لوله‌ها را در پی داشته باشد و تقاضا برای راه‌حل‌های کارآمد و پایدار را افزایش دهد.
- اهداف پایداری: تأکید فزاینده بر پایداری و حفاظت از محیط‌زیست می‌تواند توسعه و اتخاذ روش‌های بدون نیاز به حفاری را تشویق کند که اثرات محیط‌زیستی را به حداقل می‌رساند.

با وجود این چالش‌ها، چندین روند امیدوارکننده برای آینده فناوری‌های تعمیر لوله بدون نیاز به حفاری مشاهده می‌شود:

- پیشرفت‌های فناوری: پیشرفت‌های مستمر در علم مواد، رباتیک و تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌تواند به روش‌های کارآمدتر، مؤثرتر و پایدارتر منجر شود.
- افزایش پذیرش: از آنجایی که مزایای این روش‌ها به‌طور گسترده‌تر شناخته می‌شوند، احتمالاً پذیرش آن‌ها به‌ویژه در مناطق شهری با زیرساخت‌های قدیمی افزایش می‌یابد.
- حمایت نظارتی: دولت‌ها و نهادهای نظارتی به‌طور فزاینده‌ای اهمیت زیرساخت‌های پایدار را تشخیص می‌دهند و ممکن است مشوق‌ها یا حمایت‌هایی را برای پذیرش فناوری‌های بدون ترانشه ارائه دهند.
- همکاری: همکاری بین صنعت، دانشگاه و دولت‌ها می‌تواند نوآوری را تقویت کند و توسعه راه‌حل‌های جدید را تسریع بخشد.

در نتیجه، وضعیت فعلی جهانی هم چالش‌ها و هم فرصت‌هایی را برای توسعه فناوری‌های تعمیر لوله‌های غیرحفاری ارائه می‌کند. با پرداختن به عوامل اقتصادی، ژئوپلیتیکی و محیطی و با استفاده از پیشرفت‌های فناوری و تلاش‌های مشترک، آینده این فناوری‌ها امیدوارکننده به نظر می‌رسد.

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیت‌های انجام شده در کشور

□ فعالیت‌های تحقیقاتی (چه تیم‌هایی در کدام نهادها در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ چه مقالاتی در این زمینه منتشر شده است؟ چه پایان‌نامه‌هایی نگارش شده است؟)
دکتر جمشید اسماعیلی از دانشگاه تبریز

□ فعالیت‌های توسعه محصول و تجاری‌سازی (آیا نمونه‌سازی انجام گرفته است؟)
تکنولوژی مصالح مورد بحث در ایران جدید بوده و تاکنون تحقیقی درباره آن انجام نشده است.

□ فعالیت‌های سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری
تکنولوژی مصالح مورد بحث در ایران جدید بوده و تاکنون تحقیقی درباره آن انجام نشده است.

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

فناوری مذکور ملات تعمیراتی که برای تعمیرات لوله‌های غیر حفاری و لوله اسپری قابل چرخش طراحی شده است، چندین کاربرد نوآورانه را در زمینه‌های مختلف ارائه می‌دهد. این کامپوزیت می‌تواند کارایی و دوام تعمیر را در تعمیر و نگهداری زیرساخت، به ویژه در محیط‌های چالش‌برانگیز افزایش دهد. از ملات مورد بحث و روش تعمیر می‌توان برای تعمیرات لوله‌های زه‌کش‌های زیرسطحی، شبکه‌های آبیاری و لوله‌های آب‌رسانی و شبکه انتقال فاضلاب بهره برد.

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

با توجه به نیازهای شبکه‌های انتقال آب و فاضلاب، و نیز افزایش عمر کارکرد این شبکه و نیز آمادگی فنی متخصصین و مراکز فناوری موجود در ایران، پتانسیل‌های بالقوه‌ای برای انجام تحقیقات و توسعه و تجاری‌سازی این فناوری مشاهده می‌شود.

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هر یک از کاربردهای احتمالی

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای توسعه این فناوری
(تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و همچنین برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی: بله
 - زیرساخت آزمایشگاهی: بله
 - زیرساخت تولید: بله
 - آزمایشگاه مرجع: بله
 - منابع مالی: بله
 - توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری: بله
 - زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش: بله
- جدید بودن تکنولوژی حاضر در دنیا و نبود مورد مشابه داخلی در ایران در ابتدا می‌تواند چالش‌های متعددی را متوجه متخصصین و بخش صنعت کند. لکن وجود زیرساخت‌های کافی و توان فنی و علمی لازم برای توسعه‌ی این تکنولوژی و نیازهای موجود برای آن، سرمایه‌گذاری در این بخش را توجیه می‌کند.

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ **پیشران‌ها و چالش‌های فنی**
مقرون‌به‌صرفه بودن روش‌های بدون نیاز به حفاری معمولاً در مقایسه با روش‌های سنتی حفاری، کاهش اختلالات روش‌های بدون نیاز به حفاری در ترافیک، مشاغل و مناطق مسکونی به‌خصوص در محیط‌های شهری، مزایای محیط‌زیستی این روش‌ها، بهبود راندمان کارایی و کاهش زمان موردنیاز عملیات و ایمنی نسبی این روش، از جمله مشوق‌های داخلی موجود برای سرمایه‌گذاری در این بخش است.

جدید بودن تکنولوژی حاضر در دنیا و نبود مورد مشابه داخلی در ایران در ابتدا می‌تواند چالش‌های متعددی را متوجه متخصصین و بخش صنعت کند. لکن وجود زیرساخت‌های کافی و توان فنی و علمی لازم برای توسعه‌ی این تکنولوژی و نیازهای موجود برای آن، سرمایه‌گذاری در این بخش را توجیه می‌کند.

□ **پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی**
کاهش اختلال در ترافیک و خسارات اقتصادی مرتبط با خرابی، اطمینان از بهبود زیرساخت‌ها با جلوگیری یا به تأخیر انداختن خرابی لوله، مزایای محیط‌زیستی روش‌های بدون نیاز به حفاری که هزینه‌های مرتبط با مقررات محیط‌زیستی و اصلاح را کاهش می‌دهند و مزیت رقابتی، از مشوق‌های داخلی توسعه فناوری ملات‌های کامپوزیت تعمیر لوله و روش‌های تعمیر بدون نیاز به حفاری است.

□ **پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا**
با توجه به رشد و توسعه بازار کشور و توجه کامل به موضوعات بدیع و روز دنیا و با توجه به مزایای اقتصادی، محیط‌زیستی و جذابیت ظاهری تکنولوژی حاضر می‌توان تقاضای مناسبی را در آینده برای این محصول تصور کرد.

□ **پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)**

-

□ **پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)**

-

۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

اطلاعات کافی درباره بازار داخلی، به دلیل جدید بودن این محصول حتی در سطح دنیا، وجود ندارد.

۹-۳- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

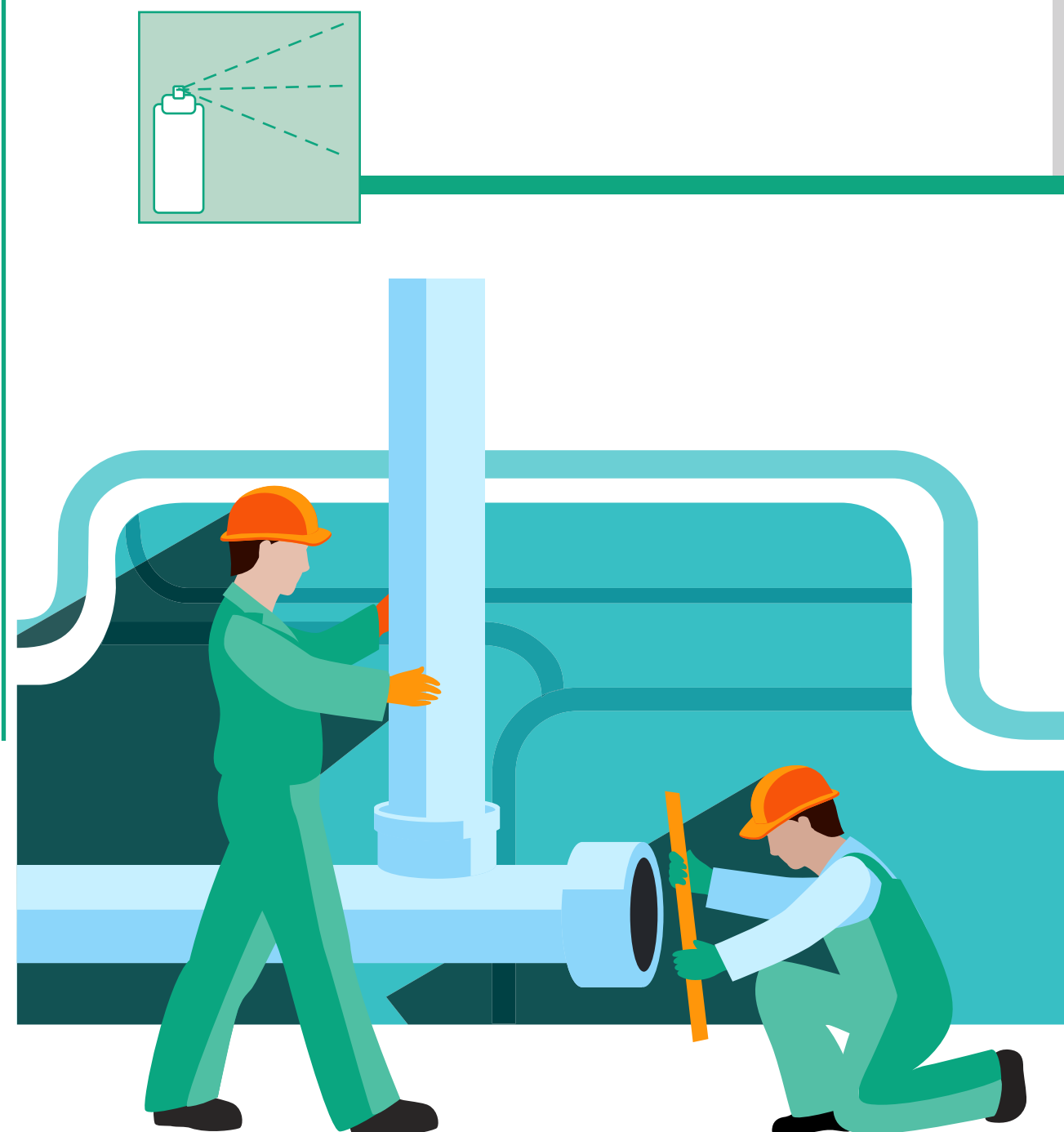
با توجه به این که فناوری مذکور در سطح دنیا نیز جدید و در حال توسعه محسوب می‌شود، با برنامه‌ریزی مناسب امکان بومی‌سازی و عرضه این نوع ملات در بازارهای جهانی و یا اجرا، وجود دارد.

۱۰-۳- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

حمایت نهادهای دولتی و سیاست‌های دولت در جهت سرمایه‌گذاری بر این فناوری به جهت کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری زیرساخت‌های انتقال آب و فاضلاب و صرفه‌جویی در آن بر معرفی و استفاده از این فناوری در کشور مؤثر خواهد بود. استفاده از نانومواد مستعد دیگر در جهت دستیابی به این محصول و با توسعه دانش ساخت محصول می‌تواند از منظر محیط‌زیستی و بهبود خصوصیات ملات تولید شده و بهسازی‌های آتی، فرآیند اجرا، موردتوجه و ارزیابی قرار بگیرد.

منابع

- ۱ Thomas, D.S., Thorn., Yi, Liu., Xudan, Yao., Dimitrios, G., Papageorgiou., Paul, Robinson., Emiliano, Bilotti., Ton, Peijs., Han, Zhang. (2023). (1) Smart and repeatable easy-repairing and self-sensing composites with enhanced mechanical performance for extended components life. Composites Part A-applied Science and Manufacturing, doi: 10.1016/j.compositesa.2022.107337
- ۲ Xin, Wang., Jie, Tan., Shenpeng, Ni., Dengyun, Zhou., Baolin, Liu., Qi, Huan, Fu. (2023). (2) Antimicrobial efficacy of composite irrigation solution against dominant pathogens in seawater immersion wound and in vivo wound healing assessment. Frontiers in Microbiology, doi: 10.3389/fmicb.2023.1188373
- ۳ Sixun, Zheng., Zhi-Wei, Liu., Honglei, Kang., Fajun, Liu., Guo-Ping, Yan., Feng, Li. (2022). (5) 3D-Printed scaffolds based on poly(Trimethylene carbonate), poly(ϵ -Caprolactone), and β -Tri-calcium phosphate. International Journal of bioprinting, doi: 10.18063/ijb.v9i1.641
- ۴ Sheng, Zhaojun., Li, Jiandong., Feng, Xiuyan. (2020). (1) Special polymer epoxy resin composite mortar material for centrifugal spraying of trenchless well chamber box culvert pipeline.
- ۵ Huang, Yujuan., Chen, Jun., Kong, Yaozu. (2019). (2) Centrifugal sprayed lining repairing mortar for pipeline and preparation method.
- ۶ Wang, Fuming., Fang, Hongyuan., Zhao, Peng., Pan, Yanhui., Li, Bin., He, Hang. (2020). (3) Non-excavation repair device and method for large-pipe-diameter concrete drainage pipe dis-connection.
- ۷ Kwon, Seung, Gu. (2019). (4) Eco-Friendly Mortar Composite for Repair Section Comprising Function of Preventing Neutralization and Saltdamage and Constructing Methods Using Thereof.



۱۸



سنگ‌دانه‌های مصنوعی با مقاومت بالا

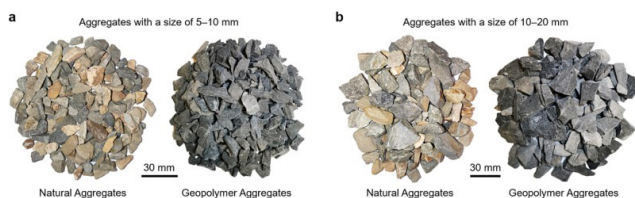
www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱- ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

این فناوری بر روی سنگ‌دانه‌های مصنوعی با مقاومت بالا تمرکز دارد که می‌تواند اجزای مضر مانند اکسیدهای نیتروژن (NO_x) و اکسیدهای گوگرد (SO_x) را از محیط پاک کند. این سنگ‌دانه‌ها از مواد مختلفی مانند سیمان، ماسه، پودر گرافن یا نانولوله‌های کربنی، پودر فوتوکاتالیست و یک عامل کاهنده آب با کارایی بالا تشکیل شده‌اند. سنگ‌دانه‌ها برای استفاده در محصولات بتنی مانند بلوک‌های جاده و حاشیه، افزایش مقاومت بتن در کاربری‌های ساختمانی و قابلیت‌های تصفیه محیطی طراحی شده‌اند. فوتوکاتالیست‌ها مانند دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2)، در سنگ‌دانه‌ها واکنش‌های شیمیایی را تسهیل می‌کنند و به تجزیه آلاینده‌ها در مواجهه با نور کمک می‌کنند. این فناوری با تجزیه مواد مضر متصل به سطوح بتنی به کاهش آلودگی محیط زیست کمک کرده و در نتیجه کیفیت هوا را بهبود می‌دهد [۱]. استفاده از این سنگ‌دانه‌ها و سنگ‌دانه‌های مصنوعی دیگر از این دست مانند سنگ‌دانه‌های ژئوپلیمر مصنوعی به کاهش از بین رفتن منابع سنگ‌دانه طبیعی و حفظ محیط زیست نیز کمک می‌کند [۲].

۱-۲- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری



شکل ۱- نمونه ای از سنگ‌دانه‌های مصنوعی ژئوپلیمر و طبیعی

این فناوری از چند جهت حائز اهمیت است. از این فناوری می‌توان به منظور بهبود دوام و یکپارچگی سازه بهره گرفت. از طرفی این فناوری می‌تواند با تجزیه آلاینده‌های مضر به تصفیه هوا کمک کرده و آن را برای استفاده در مناطق شهری با کیفیت هوای نامطلوب، مناسب کند. همچنین خواص فوتوکاتالیستی به این سنگ‌دانه‌ها اجازه می‌دهد تا آلاینده‌ها را از روی سطوح تجزیه کنند. در نهایت استفاده از این فناوری به جهت کاهش اتکا به منابع طبیعی سنگ‌دانه، در جهت حفظ محیط زیست و توسعه پایدار است.

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه بر اساس این فناوری

- محصولاتتی که بر اساس این فناوری توسعه یافته‌اند عبارت‌اند از:
سنگ‌دانه‌های مصنوعی با مقاومت بالا: این سنگ‌دانه‌ها برای پاک‌سازی اجزای مضر مانند اکسیدهای نیتروژن (NO_x) و اکسیدهای گوگرد (SO_x) از محیط طراحی شده‌اند.
- **محصولات بتنی ثانویه:** این محصولات شامل بلوک‌های راه، تیرهای برق، دیوارهای حائل و دیوارهای ساختمانی است که از سنگ‌دانه‌های مصنوعی با مقاومت بالا استفاده می‌کنند.
- **سنگ‌دانه‌های سبک وزن مصنوعی:** تحقیقات برای تولید سنگ‌دانه‌های سبک که وزنی مشابه سنگ‌دانه‌های معمولی داشته باشند ادامه دارد.
- **محصولات بتنی فوتوکاتالیستی:** ترکیب دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2) باعث بهبود تصفیه هوا و خواص ضدباکتریایی در محصولات بتنی می‌شود.

۴-۱- مزیت (های) کلیدی این فناوری

(کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و...)

مزیت‌های کلیدی این فناوری شامل تصفیه آلاینده‌های مضر، بهبود مقاومت و دوام، کاربرد گسترده در محصولات بتنی و خواص آنتی‌باکتریال و تجزیه‌پذیری آلاینده‌ها است.

۵-۱- نانوذرات بهره‌گرفته شده در این فناوری

(از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به‌کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

نانوذرات مورد استفاده در این فناوری، گرافن و نانولوله‌های کربنی هستند که خواص مکانیکی و دوام را بهبود می‌بخشند. همچنین از دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2) برای خواص فوتوکاتالیستی استفاده می‌شود که به تجزیه آلاینده‌ها در مواجهه با نور کمک می‌کند.

۶-۱- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

در مرحله تولید نانوذرات اولیه، گرافن و نانولوله‌های کربنی اغلب از طریق روش رسوب بخار شیمیایی یا سایر تکنیک‌های نانوساخت سنتز می‌شوند تا از خلوص بالا و خواص مطلوب اطمینان حاصل شود. در مرحله تولید محصول میانی، این نانوذرات با سیمان و مواد دیگر مخلوط می‌شوند تا سنگ‌دانه‌های مصنوعی با مقاومت بالا ایجاد کنند. این مخلوط تحت فرآیندهایی مانند ارتعاش و پرس هیدرولیک قرار می‌گیرد تا سنگ‌دانه‌هایی با خواص مکانیکی افزایش یافته تشکیل شود. در مرحله تولید محصول نهایی، سنگ‌دانه‌ها عمل‌آوری شده و سپس به محصولات بتنی مختلف تبدیل می‌شوند. این مرحله شامل خرد کردن سنگ‌دانه‌ها به اندازه‌های خاص و پردازش آن‌ها در راکتورها برای افزایش خواص سطحی آن‌ها است. محصولات نهایی در پروژه‌های ساختمانی و زیرساختی استفاده می‌شوند و با پاک‌سازی آلاینده‌های مضر به شیوه‌های ساختمانی پایدار و اصلاح محیط‌زیست کمک می‌کنند.

۷-۱- فناوری‌های رقیب

(از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

فناوری‌های رقیب این فناوری شامل موارد زیر هستند:

- **سنگ‌دانه‌های طبیعی:** مصالح سنتی مانند شن و ماسه به‌طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما به دلیل کاهش منابع و مسائل محیط‌زیستی محدود هستند.
- **سنگ‌دانه‌های سبک:** این سنگ‌دانه‌ها ممکن است مانند سنگ‌دانه‌های مصنوعی خواصی مانند مقاومت بالا یا قابلیت‌های مربوط به تصفیه آلاینده‌ها را نداشته باشند.
- **مواد بازیافتی:** استفاده از بتن بازیافتی و محصولات جانبی صنعتی مانند خاکستر بادی روش دیگری است که فاقد خواص ویژه حذف آلاینده‌ها در مقایسه با فناوری حاضر است.
- **روش‌های شیمیایی:** افزودنی‌های شیمیایی مختلف می‌توانند خواص سنگ‌دانه‌های معمولی را افزایش دهند، اما خواص مشابه سنگ‌دانه‌های مصنوعی با قابلیت فوتوکاتالیستی را فراهم نمی‌کنند.

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

فناوری‌های مکمل این فناوری شامل موارد زیر هستند:

- **فوتوکاتالیست‌ها:** فناوری‌هایی که از فوتوکاتالیست‌ها مانند دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2) استفاده می‌کنند، برای افزایش قابلیت‌های تصفیه هوای محصولات بتنی با تجزیه آلاینده‌ها ضروری هستند.

- **تکنیک‌های عمل‌آوری:** برای ترکیب مؤثر مواد خام و دستیابی به خواص مطلوب در سنگ‌دانه‌های مصنوعی، به روش‌های پیشرفته عمل‌آوری نیاز است که مقاومت و دوام بالا را تضمین می‌کند.
- **افزودنی‌ها:** استفاده از افزودنی‌های شیمیایی خاص می‌تواند عملکرد محصولات بتنی را بهبود بخشد و مقاومت آن‌ها را در برابر عوامل محیطی و آلاینده‌ها افزایش دهد.
- **فناوری‌های بازیافت:** فناوری‌هایی که بازیافت لجن فاضلاب و سایر مواد را تسهیل می‌کنند، می‌توانند از تولید پایدار مصالح مصنوعی، کاهش ضایعات و مصرف منابع حمایت کنند.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید (آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

این فناوری رشته‌ها و زمینه‌های تحقیقاتی مختلفی را شامل می‌شود. توانایی این فناوری در تصفیه آلاینده‌های مضر، روش‌هایی را برای تحقیق در علوم محیط‌زیستی با تمرکز بر تخریب آلاینده‌ها و شیوه‌های پایدار ساخت‌وساز باز می‌کند. ادغام نانوذراتی مانند گرافن و نانولوله‌های کربنی در این فناوری منجر به پیشرفت تحقیق و توسعه در زمینه فناوری نانو، کشف مواد جدید و کاربردهای آن در زمینه‌های مختلف می‌شود. موضوع دیگر مربوط به مطالعات دوام بتن است که علوم مهندسی مواد و عمران را در برمی‌گیرد. همچنین تحقیق پیرامون کاتالیست‌ها به تحقیقات بیشتر پیرامون کارایی و اثربخشی آن‌ها در شرایط مختلف محیطی منجر می‌شود.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی (آیا این اثر/ فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

بله دارای اهمیت است. این فناوری از نظر محیط‌زیستی و اجتماعی حائز اهمیت است چرا که به جهت پاک‌سازی اجزای مضر مانند اکسیدهای نیتروژن و گوگرد از هوا، کاهش اتکا به سنگ‌دانه‌های طبیعی که منابع آن محدود و در حال کاهش هستند و بهبود خصوصیات بتن کمک می‌کند.

تحلیل بین‌المللی

۱-۲- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

بازیگران کلیدی این فناوری شامل پژوهشگران و جامعه دانشگاهی، شرکت‌ها و ارگان‌های دولتی هستند. در ادامه به برخی از تحقیقات انجام شده پیرامون فناوری حاضر و موضوعات مرتبط اشاره خواهد شد.

ردیف	نام نویسندگان	نوع پژوهش	عنوان
۱	Kiyoshi Takai [۳]	اختراع	Artificial aggregate using coal ash as main raw material and producing method thereof
۲	Hasia R. Diner [۴]	اختراع	Preparation of artificial aggregate using waste concrete powder and CO ₂ fixed by microorganism
۳	LP Qian, BT Huang [۲]	مقاله	Concrete made with high-strength artificial geopolymer aggregates: Mechanical properties and failure mechanisms
۴	V Cerny [۵]	مقاله	Possibilities of lightweight high strength concrete production from sintered fly ash aggregate
۵	P Tang [۶]	مقاله	Self-foaming high strength artificial lightweight aggregates derived from solid wastes: expansion mechanism and environmental impact

برخی شرکت‌های فعال در حوزه مواد مرتبط با این فناوری و یا فناوری‌های مشابه عبارت‌اند از:

- (Arcosa) تولیدکننده عمده سنگ‌دانه‌های سبک در ایالات متحده آمریکا
- (Leca) (متعلق به سن-گوبن): تولیدکننده سنگ‌دانه‌های سبک رسی منبسط شده
- (Holcim Ltd) شرکت جهانی مصالح ساختمانی که در تولید سنگ‌دانه‌های مصنوعی فعال است.
- (Boral Limited) شرکت استرالیایی که مصالح ساختمانی از جمله سنگ‌دانه‌های مصنوعی تولید می‌کند.
- (Cemex) شرکت چندملیتی مصالح ساختمانی که سنگ‌دانه‌های سبک مصنوعی تولید می‌کند.
- (Charah Solutions) تولیدکننده سنگ‌دانه‌های مصنوعی از محصولات جانبی نیروگاه‌ها
- (STALITE Lightweight Aggregate) متخصص در تولید سنگ‌دانه‌های سبک
- (Argex) تولیدکننده سنگ‌دانه‌های سبک رس منبسط شده
- (Utelite Corporation) تولیدکننده سنگ‌دانه‌های سبک شیل منبسط شده
- (Mitsui Mining & Smelting) شرکت ژاپنی فعال در تولید سنگ‌دانه‌های مصنوعی
- (Sumitomo Osaka Cement) تولیدکننده سنگ‌دانه‌های سبک مصنوعی در ژاپن
- (Ube Industries) شرکت شیمیایی ژاپنی که سنگ‌دانه‌های مصنوعی تولید می‌کند [۷].

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

سطح آمادگی فناوری (TRL) سنگ‌دانه‌های مصنوعی در حالت کلی که شامل موارد مختلفی است را می‌توان برابر ۷ و سطح آمادگی بازار (MRL) را نیز ۷ در نظر گرفت.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه‌حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/راه‌اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل‌سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

در دوره رشد قرار دارد.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش‌روی فناوری

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

پیشران‌های فنی عبارت‌اند از:

- **پایداری:** تقاضای فزاینده‌ای برای مصالح ساختمانی پایدار وجود دارد که می‌تواند اتکا به سنگ‌دانه‌های طبیعی را کاهش دهد. سنگ‌دانه‌های مصنوعی را می‌توان با استفاده از محصولات جانبی صنعتی تولید کرد.
- **خواص بهبود یافته:** سنگ‌دانه‌های مصنوعی با مقاومت بالا می‌توانند خواص مکانیکی برتری از جمله قدرت خرد شدن بالاتر و جذب آب کمتر را در مقایسه با سنگ‌دانه‌های طبیعی ارائه دهند.
- **ساختار سبک:** سنگ‌دانه‌های سبک‌وزن مصنوعی باعث کاهش وزن ساختاری در عین حفظ مقاومت می‌شوند.
- **عایق حرارتی:** برخی از سنگ‌دانه‌های مصنوعی خواص عایق حرارتی بهتری را برای ساختمان‌ها فراهم می‌کنند.

چالش‌های فنی عبارت‌اند از:

- **ثبات تولید:** دستیابی به کیفیت و عملکرد یکنواخت در سنگ‌دانه‌های مصنوعی با مقاومت بالا می‌تواند دشوار باشد، به‌خصوص زمانی که از موادی پیشرفته مانند گرافن و فوتوکاتالیست‌ها استفاده می‌شود.
- **مقرون به صرفه بودن:** فرآیندهای تولید این سنگ‌دانه‌ها ممکن است در مقایسه با مواد و روش‌های سنتی گران‌تر باشد.
- **عملکرد بلندمدت:** اطمینان از دوام و اثربخشی این سنگ‌دانه‌ها در شرایط مختلف محیطی مستلزم تحقیق و آزمایش گسترده است.

■ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

در صورت استفاده از محصولات جانبی صنعت، قیمت تمام شده این فناوری می‌تواند با توجه به مزایای آن مقرون به صرفه باشد. با این حال استفاده از نانومواد و تکنیک‌های پیشرفته سنتز و آماده‌سازی فناوری می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌ها شود.

■ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

استفاده از این فناوری به علت مزایای آن منجر به کاهش آلاینده‌گی‌ها می‌شود که عاملی برای بهبود وضعیت سلامت عمومی است.

■ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

استفاده از این فناوری به علت مزایای آن از جمله کاهش میزان آلاینده‌ها، همسو با تعهدات اخلاقی برای حفاظت از سلامت عمومی و زیست‌بوم است. به‌عنوان چالش این حوزه می‌توان گفت پذیرش اجتماعی این فناوری ممکن است با شک و تردید در مورد ایمنی و اثربخشی آن در مقایسه با مواد و روش‌های سنتی به چالش کشیده شود، که نیاز به ارتباطات شفاف و آموزش دارد.

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

این فناوری به‌طور خاص، سنگ‌دانه‌های مصنوعی حاوی نانولوله‌های کربنی و گرافن، هنوز به مرحله تولید نرسیده است.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

در سال‌های اخیر و پیش‌رو می‌توان متصور بود که تمرکز بیشتری بر توسعه پایدار و مسائل کلان این‌چنینی را در سطح کشور شاهد خواهیم بود. به‌طور کلی روند رو به رشدی به سمت استفاده از موادی وجود دارد که آلودگی محیط‌زیستی را کاهش می‌دهند، مانند سنگ‌دانه‌های مصنوعی با مقاومت بالا که موضوع این شناسنامه هست و می‌توانند آلاینده‌های مضر را تجزیه کنند. مسئله دیگر پیشرفت در علم مواد است. ادغام مواد نوآورانه مانند گرافن و نانولوله‌های کربنی، استحکام و عملکرد محیط‌زیستی مصالح ساختمانی را افزایش می‌دهد، که نشان‌دهنده تغییر به سمت گزینه‌های انعطاف‌پذیرتر و سازگارتر با محیط‌زیست است. در نهایت می‌توان انتظار داشت با افزایش آگاهی از مسائل محیط‌زیستی، تقاضای عمومی برای مصالح ساختمانی ایمن‌تر و پایدارتر احتمالاً افزایش می‌یابد و بر روند بازار و پذیرش فناوری در سال‌های آینده تأثیر می‌گذارد.

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیت‌های انجام شده در کشور

- فعالیت‌های تحقیقاتی (چه تیم‌هایی در کدام نهادها در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ چه مقالاتی در این زمینه منتشر شده است؟ چه پایان‌نامه‌هایی نگارش شده است؟)
فناوری مصالح مورد بحث در ایران جدید بوده و تحقیقات کمی درباره آن انجام شده است.
به عنوان مثال دو مورد پایان‌نامه کارشناسی ارشد با شباهت نه چندان زیاد به موضوع بحث یافت شد که در ادامه به آن دو اشاره می‌شود.
- تعیین مشخصات مکانیکی سنگ‌دانه‌های مصنوعی لیاپور بر اساس روش‌های تحلیلی و آزمایشگاهی
استاد راهنما: محمود یزدانی
دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست دانشگاه تربیت مدرس
- بررسی خواص مهندسی بتن سبک، حاوی سبک‌دانه‌های متفاوت
استاد راهنما: ملک محمد رنجبر تکلیمی
دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه گیلان

- فعالیت‌های توسعه محصول و تجاری‌سازی
این فناوری (سنگ‌دانه‌های مصنوعی با مقاومت بالا حاوی برخی نانومواد) در ایران نوپا است.
- فعالیت‌های سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری
فناوری مصالح مورد بحث در ایران جدید بوده و تاکنون تحقیقی درباره آن انجام نشده است.

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

کاربرد اصلی این فناوری به طور عمده در صنعت ساخت‌وساز است. با این حال در برخی موارد امکان استفاده از آن در صنعت نفت و پتروشیمی نیز محتمل است.

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

با توجه به اطلاعات موجود سطح آمادگی فناوری (TRL) ۴ و سطح آمادگی بازار (MRL) ۳ در نظر گرفته می‌شود.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/راه اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول پایه و گزارش آن‌ها									

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هر یک از کاربردهای احتمالی

فناوری‌های رقیب در کشور، منابع سنگ‌دانه طبیعی که به وفور در کشور یافت می‌شود، سنگ‌دانه‌های سبک مصنوعی و سنگ‌دانه‌های بتن بازیافتی هستند. فناوری‌های مکمل نیز شامل مواد مکمل سیمان و فوق روان‌کننده‌ها است.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

در حال تکمیل است.

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی: بله
- زیرساخت آزمایشگاهی: بله
- زیرساخت تولید: بله
- آزمایشگاه مرجع: بله
- منابع مالی: بله
- توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری: بله
- زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش: بله

بدیع بودن این فناوری در ابتدا می‌تواند چالش‌های متعددی را متوجه متخصصین و بخش صنعت کند. با این حال وجود

زیرساخت‌های کافی و توان فنی و علمی لازم برای توسعه‌ی این فناوری و نیازهای موجود برای آن، سرمایه‌گذاری در این بخش را توجیه‌پذیر می‌کند.

۷-۳- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

پیشران‌های فنی در ایران دستیابی به محصولی با قابلیت حفظ منابع سنگ‌دانه‌های طبیعی، استفاده از ضایعات، محصولی سبک‌تر و رشد و پیشرفت دانش فنی به‌ویژه در حوزه نانوفناوری است. چالش‌های فنی نیز اطمینان از وجود دانش فنی و دستیابی به طرح مخلوط و روش‌های ساخت بهینه است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

دستیابی به محصولی با خواص ویژه و دوستدار محیط‌زیست، به‌عنوان پیشران اقتصادی و هزینه تولید با توجه به قیمت نانو مواد و تجهیزات پیشرفته موردنیاز، به‌عنوان چالش اقتصادی آن در نظر گرفته می‌شود.

□ پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا

پیشران‌های تقاضا عبارت‌اند از: رشد صنعت ساختمان، نیاز به مصالح سبک‌تر با عملکرد بهتر و کاهش آسیب‌های محیط‌زیستی ناشی از آلاینده‌ها و چالش‌های تقاضا وجود منابع فراوان سنگ‌دانه طبیعی، هزینه تمام شده بالا و عدم اطمینان از عملکرد طولانی‌مدت این فناوری است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

استفاده از این فناوری به سبب کاهش آلاینده‌ها از نظر سلامت و ایمنی حائز اهمیت است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

از چالش‌های مربوط به این حوزه مسائل مربوط به اشتغال در بخش استخراج سنگ‌دانه طبیعی و نیاز به آموزش متخصصین است. با این حال افزایش آگاهی جامعه از مسائل محیط‌زیستی و اهمیت توسعه پایدار می‌تواند به‌عنوان پیشران عمل کند.

۸-۳- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

اطلاعات کافی درباره بازار داخلی، به دلیل بدیع بودن این فناوری وجود ندارد.

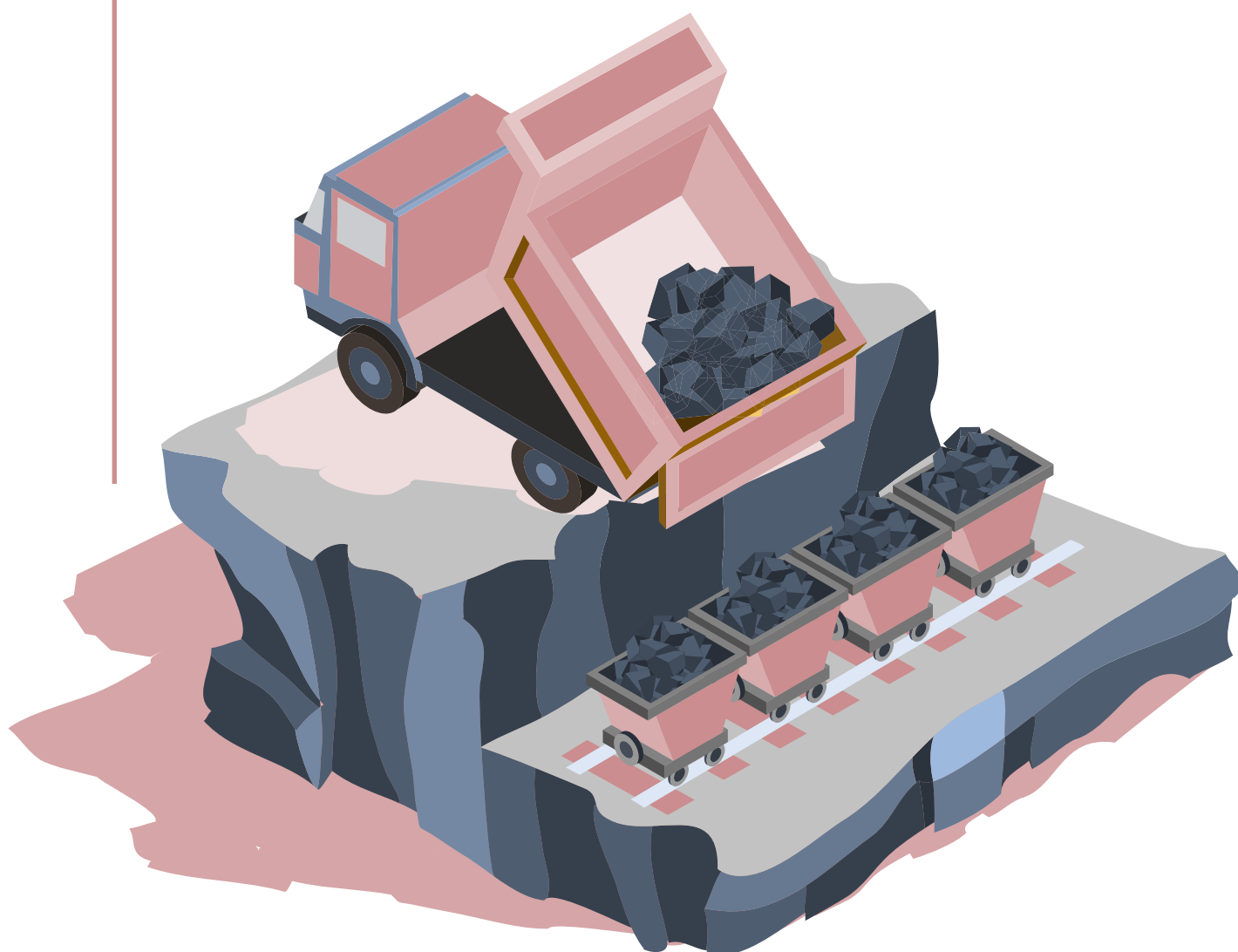
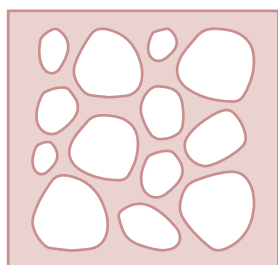
۹-۳- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

نظر به آنکه فناوری مذکور در سطح دنیا جدید و در حال توسعه محسوب شده، با برنامه‌ریزی مناسب امکان بومی‌سازی و عرضه دانش ساخت و اجرا به دیگر کشورها وجود دارد.

۱۰-۳- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

حمایت نهادهای دولتی و سیاست‌های دولت در جهت سرمایه‌گذاری بر این فناوری به جهت کاهش میزان آلاینده‌های شهری و بهره‌مندی از سایر خواص آن، بر معرفی و استفاده از این فناوری در کشور مؤثر خواهد بود. استفاده از نانومواد مستعد دیگر در جهت دستیابی به این محصول و یا توسعه دانش ساخت محصول می‌تواند از منظر محیط‌زیستی و بهبود خصوصیات فناوری حاضر موردتوجه و ارزیابی قرار داده شود.

- ۱- 이영식, 이., High-strength artificial aggregates. 2019: South Korea.
- ۲- Qian, L.-P., et al., Concrete made with high-strength artificial geopolymer aggregates: Mechanical properties and failure mechanisms. Construction and Building Materials, 2023. 367: p. 130318.
- ۳- Takai, K., Artificial aggregate using coal ash as main raw material and producing method thereof. 1999.
- ۴- Diner, H.R., Preparation of artificial aggregate using waste concrete powder and CO2 fixed by microorganisms. 2022.
- ۵- Cerny, V., M. Kocianova, and R. Drochytka, Possibilities of lightweight high strength concrete production from sintered fly ash aggregate. Procedia engineering, 2017. 195: p. 9-16.
- ۶- Tang, P., et al., Self-foaming high strength artificial lightweight aggregates derived from solid wastes: expansion mechanism and environmental impact. Construction and Building Materials, 2023. 370: p. 130698.
- ۷- <https://www.linkedin.com/pulse/artificial-lightweight-aggregate-market-global-outlook>



۱۹



ترکیب سیمانی ژئوپلیمر حاوی بایندر
MAHBM تک فاز آمورف هیدرولیکی
مانند نانودی کلسیم هیدرات

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱- ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

سیمان ژئوپلیمر (زمین‌بسپار) ترکیبی از مصالح زمین‌شناختی طبیعی سیلیکات و آلومینا است و از این جهت ژئوپلیمر یا طبیعت‌دوست نامیده می‌شود. این سیمان به رنگ سبز است و از لحاظ زیبایی سطح کار شده مناسب است. همچنین این محصول مناسب لوله‌های فشاری و تونل‌های آب‌رسان است و در کاربردهای دریایی به دلیل آنکه نمک و کلر بر آن تأثیری ندارد استفاده می‌شود. ژئوپلیمرها به دلیل مقاومت در برابر نمک‌ها و آب دریا، در سازه‌های دریایی مانند پل‌ها، اسکله‌ها و تونل‌های زیرآبی استفاده می‌شوند. این فناوری تضمین می‌کند که سازه‌ها تحت تأثیر نفوذ کلریدها یا سولفات‌ها قرار نگرفته و طول عمر بالایی داشته باشند. حلال قلیایی هیدروکسید سدیم و هیدروکسید پتاسیم (ضایعات صنایع شیمیایی و پتروشیمی) به‌طور جداگانه تهیه می‌شود، سپس آن را به مایع سیلیکات سدیم اضافه می‌کنند و این حلال با پودر خاکستر زغال‌سنگ (ضایعات احتراق زغال‌سنگ) مشابه با ترکیب آب با سیمان مخلوط می‌شود. تفاوت عمده بین زمین‌بسپارها و سیمان پرتلند در این است که مکانیسم آن از طریق آب‌دهی (هیدراتاسیون) رخ نمی‌دهد بلکه با واکنش بسپارش (پلیمریزاسیون) در یک زمان کوتاه اتفاق می‌افتد، در حالی که آب‌دهی سیمان اصولاً تا یک ماه ادامه دارد و تا یک سال کامل می‌شود. زمین‌بسپارش (ژئوپلیمریزاسیون) واکنشی بین کاتیون‌های شیمیایی جهت تشکیل سیلیکات آلومینیوم است. اتم‌های سیلیسیوم و آلومینیوم با یکدیگر واکنش داده و مولکول‌هایی تشکیل می‌دهند که از لحاظ شیمیایی و ساختاری مشابه مواد چسبیده در سنگ هستند؛ بنابراین فناوری تولید سیمانی را در نظر می‌گیریم که در آن سنگ‌آهک به‌کار نرفته و در عوض سیلیکات آلومینیوم به‌کار می‌رود. سیمان ژئوپلیمر کاربردهای گوناگونی دارد و توانایی جایگزینی با سیمان پرتلند را دارد. ژئوپلیمر می‌تواند مشابه سیمان پرتلند با سنگ‌دانه‌های ریزودرشت و دیگر مصالح ترکیب شود و به‌صورت بتن یا ملات به‌کار رود. این بتن در مقایسه با بتن سیمانی مقاومت کششی و فشاری بیشتر، سرعت سخت‌شوندگی بالا، تخلخل و نفوذپذیری کمتر، و مقاومت فوق‌العاده در برابر حریق و حملات شیمیایی دارد.

روش‌های تولید سیمان شامل تهیه یک ترکیب سیمان ژئوپلیمری است که شامل یک ماده چسبیده هیدرولیکی آمورف تک‌فاز MAHBM (Monophasic Amorphous Hydraulic Binder: Material) یک سیلیکات فلزی، یک فعال‌کننده قلیایی و یک سیال حامل است. این سیمان‌ها جایگزینی برای سیمان پرتلند در تولید بتن‌های ژئوپلیمری هستند. ترکیب سیمان ژئوپلیمری برای کاربردهای درون‌چاهی می‌تواند استفاده شود و امکان گیرش در قسمت‌های درون‌چاهی دارد. MAHBM شامل ذرات هسته سیلیس یا آلومینا است که با یک هیدرات سیلیکات کلسیم آمورف پوشش داده شده است.

در طول عمر یک چاه، غلاف سیمانی در نتیجه اثرات دما، اثرات فشار و اثرات ضربه، دچار کرنش‌ها و تنش‌های متعددی می‌شود. توانایی تحمل این کرنش‌ها و تنش‌ها مستقیماً با خواص مکانیکی ترکیب سیمانی پس از گیرش در ارتباط است. خواص مکانیکی اغلب با استفاده از پارامترهایی مانند مقاومت فشاری، استحکام کششی، مدول یانگ، نسبت پواسون، کشسانی و موارد مشابه مشخص می‌شوند. هرچه خواص مکانیکی و خوردگی سیمان بالاتر باشد عمق قابل حفاری چاه بیشتر و کارکرد آن راحت‌تر خواهد بود. سیمان ژئوپلیمری مقاومت بالایی در برابر حملات شیمیایی مانند کلریدها، سولفات‌ها و آب دریا دارد. حضور نانوذرات سیلیکات و کلسیم در ترکیب، لایه‌ای محافظ در برابر نفوذ یون‌ها ایجاد می‌کند و در نتیجه، نفوذپذیری بسیار کمی نسبت به سیمان‌های پرتلند دارد.

۱-۲- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

۱. صنعت ساخت‌وساز
- بتن با عملکرد بالا HPC و UHPC: مقاوم در برابر حملات شیمیایی، سیکل یخ‌زدگی و ذوب، مناسب برای پل‌ها، تونل‌ها، و سازه‌های بلند.
- مواد ترمیم سریع: ملات‌های با گیرش سریع برای تعمیر جاده‌ها و باندهای فرودگاه.

- چسب‌ها و گروت‌های تخصصی: برای فونداسیون‌ها و اتصال قطعات سازه‌ای.
- ساخت به روش پرنیت سه بعدی: برای ساخت المان‌های پیش ساخته و مقاوم، در زمان کوتاه با حداقل جمع شدگی.

۲. صنعت نفت و پتروشیمی

- پوشش چاه‌های نفت: مقاوم در برابر خوردگی ناشی از دی‌اکسید کربن و اسیدها با پایداری حرارتی بالا.
 - آستر کف و مخازن پالایشگاه: محافظت از مخازن ذخیره و کف‌های در تماس با مواد شیمیایی.
- در عملیات سیمان‌کاری ساخت چاه‌های استخراج نفت و گاز و سیمان‌کاری اصلاحی، معمولاً از ترکیبات سیمانی استفاده می‌شود. ترکیبات سیمانی ممکن است در عملیات سیمان‌کاری اولیه مورد استفاده قرار داده شوند که به موجب آن رشته‌های لوله، مانند پوشش و آستر، در سوراخ‌های چاه سیمان می‌شوند. در یک عملیات سیمان‌کاری اولیه معمولی، یک ترکیب سیمانی ممکن است به داخل حلقه‌ای بین دیواره‌های چاه و سطح بیرونی رشته لوله که در آن قرار دارد، پمپ شود. ترکیب سیمان ممکن است در فضای حلقوی قرار بگیرد، در نتیجه یک غلاف حلقوی از مواد سخت شده و غیرقابل نفوذ (به عنوان مثال، یک غلاف سیمانی) تشکیل می‌دهد که ممکن است رشته لوله را در سوراخ چاه نگه دارد و سطح بیرونی رشته لوله را به هم بچسباند. دیواره‌های چاه از جمله، غلاف سیمانی اطراف رشته لوله باید برای جلوگیری از انتقال سیالات در حلقه و همچنین محافظت از رشته لوله در برابر خوردگی عمل کند. ترکیبات سیمانی همچنین ممکن است در روش‌های سیمان‌کاری اصلاحی، مانند قرار دادن شمع‌ها، و در سیمان‌کاری فشاری برای آب‌بندی حفره‌ها در رشته‌های لوله، غلاف سیمانی، بسته‌های شن، سازند زیرزمینی و موارد مشابه استفاده شوند. از این ترکیبات سیمانی ممکن است در کاربردهای روی سطحی نیز استفاده شود. یک چالش خاص در عملیات سیمان‌ریزی، توسعه خواص مکانیکی رضایت بخش در یک ترکیب سیمانی با قابلیت گیرش سریع در یک دوره زمانی معقول پس از پمپاژ درون چاه است.
- سازه‌های دریایی و پلتفرم‌های نفتی: مناسب برای سازه‌های دریایی با مقاومت بالا در برابر خوردگی کلریدی.
 - پشتیبان کاتالیزگر: قابل استفاده به عنوان بستر کاتالیز در فرآیندهای پالایشگاهی.

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه بر اساس این فناوری

- سیمان‌های درون چاهی پیشرفته
- ژئوپلیمرهای درون چاهی برای چاه‌های نفت و گاز: این نوع سیمان‌ها با هدف کاهش زمان گیرش و افزایش مقاومت در برابر فشار و دمای بالا توسعه یافته‌اند. به دلیل انعطاف پذیری بالاتر نسبت به سیمان‌های سنتی، این محصولات تنش‌های ناشی از تغییرات دما و فشار را بهتر تحمل کرده و احتمال ترک خوردگی در طول عمر چاه را کاهش می‌دهند.
 - کاربرد در چاه‌های ژئوترمال: با توجه به تحمل دمای بالا، ژئوپلیمرها به عنوان جایگزینی برای سیمان پرتلند در چاه‌های ژئوترمال مورد استفاده قرار می‌گیرند که در معرض تغییرات شدید دما و فشار هستند.
 - سازه‌های دریایی و زیرآبی: ژئوپلیمرها در تولید بتن‌های سازگار با محیط دریایی استفاده می‌شوند که مقاومت بالایی در برابر کلریدها و سولفات‌ها دارند. این بتن‌ها در پل‌های دریایی، اسکله‌ها، سدها، و تونل‌های زیرآبی به کار می‌روند.
 - لوله‌های انتقال آب و فاضلاب: این نوع لوله‌ها به دلیل مقاومت در برابر خوردگی و مواد شیمیایی، جایگزینی پایدار برای لوله‌های سیمانی سنتی هستند.
 - بتن‌های نسوز و پوشش‌های مقاوم به حرارت در کوره‌ها و صنایع فلزی: ژئوپلیمرها با پایداری حرارتی عالی برای پوشش‌دهی در کوره‌های صنعتی و تجهیزات دما بالا به کار می‌روند. همچنین در ساخت سازه‌های در معرض آتش سوزی، مانند تونل‌ها و تأسیسات پتروشیمی، استفاده می‌شوند.

۱-۴- مزیت (های) کلیدی این فناوری (کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و ...)

- کاهش هزینه و استفاده از مواد بومی و ضایعات صنعتی: سیمان‌های ژئوپلیمری قابلیت استفاده از طیف وسیعی از مواد بومی و ضایعات صنعتی مانند خاکستر بادی، سرباره، گردوغبار کوره سیمان، متاکائولین و خاکسترهای زیستی را دارند. این امکان کاهش هزینه تولید را فراهم می‌کند، زیرا نیاز به مواد اولیه گران قیمت مانند کلینکر سیمان کاهش یافته و همچنین مصرف انرژی در فرآیند تولید به حداقل می‌رسد.
- سهولت اجرا و انعطاف پذیری در ترکیب مواد: برخلاف سیمان‌های پرتلند که ترکیب و اجرای آن‌ها محدود به شرایط خاص است، ژئوپلیمرها انعطاف پذیری بالایی در انتخاب مواد اولیه دارند. امکان استفاده از MAHBM به عنوان افزودنی در ترکیبات ژئوپلیمر سنتی، بهینه سازی خواص مکانیکی و افزایش سرعت گیرش را تسهیل می‌کند، که این امر

در پروژه‌های زمان‌محور (مانند تعمیرات اضطراری) بسیار ارزشمند است.

■ **استحکام مکانیکی و دوام بالا:** سیمان‌های ژئوپلیمری با MAHBM، مقاومت فشاری و کششی بالاتری نسبت به سیمان‌های پرتلند دارند. این امر باعث می‌شود که بتن ژئوپلیمری در برابر تنش‌های مکانیکی و فشارهای بالا عملکرد بهتری داشته باشد و طول عمر سازه افزایش یابد.

این سیمان‌ها همچنین مقاومت به کرنش تا شکست بیشتری دارند و برای شرایط سخت مانند چاه‌های نفت و گاز و سازه‌های دریایی مناسب‌اند.

■ **مقاومت شیمیایی و عملکرد بهتر در محیط‌های خورنده:** سیمان ژئوپلیمری در برابر اسیدها، سولفات‌ها و کلریدها مقاوم‌تر از سیمان‌های پرتلند عمل می‌کند. این مزیت به‌ویژه در کاربردهای دریایی و زیرآبی و سازه‌هایی که در معرض حملات شیمیایی هستند، اهمیت ویژه‌ای دارد. این مقاومت شیمیایی، نیاز به تعمیر و نگهداری مداوم را کاهش داده و هزینه‌های طولانی‌مدت بهره‌برداری را به حداقل می‌رساند.

■ **کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پایداری محیط‌زیستی:** ژئوپلیمرها به دلیل عدم نیاز به کلینکر و پخت در دماهای بالا، انتشار دی‌اکسید کربن بسیار کمتری نسبت به سیمان‌های پرتلند دارند و به تحقق اهداف کاهش کربن و توسعه پایدار کمک می‌کنند. استفاده از ضایعات صنعتی و زیستی در این فناوری، به کاهش دفن زباله‌ها و افزایش بهره‌وری منابع کمک می‌کند.

■ **سرعت‌گیری بالا و افزایش بهره‌وری در پروژه‌ها:** زمان گیرش سریع ژئوپلیمرها در مقایسه با سیمان‌های پرتلند، امکان اجرای پروژه‌ها در زمان کوتاه‌تر را فراهم می‌کند. این مزیت برای پروژه‌های زیرساختی، سازه‌های بزرگ، و تعمیرات اضطراری بسیار مهم است.

■ **عملکرد بهتر در دماهای بالا و محیط‌های سخت و اسیدی:** سیمان‌های ژئوپلیمری نسبت به پرتلند، در دماهای بالا پایداری بیشتری دارند و در مواجهه با تغییرات دما دچار ترک و انقباض نمی‌شوند. این ویژگی، آن‌ها را برای چاه‌های ژئوترمال و صنایع دارای شرایط دمایی بالا ایده‌آل می‌کند. سیمان‌های ژئوپلیمری حاصل نیز نسبت به سیمان‌های پرتلند معمولی استحکام و دوام بیشتری دارند و نسبت به سیمان‌های پرتلند معمولی مقاومت اسیدی بیشتری دارند.

طبق چندین پتنت، MAHBM (Monophasic Amorphous Hydraulic Binder Material) به عنوان ماده چسبنده یا به عنوان یک افزودنی برای ترکیبات ژئوپلیمر سنتی عمل می‌کند و جایگزینی بایندر ژئوپلیمر سنتی با MAHBM یا استفاده از MAHBM به عنوان افزودنی به ترکیبات ژئوپلیمر سنتی، سیمانی را به وجود می‌آورد که خواص مکانیکی خوبی دارد (به عنوان مثال، مقاومت فشاری و کرنش تا شکست بسیار بالا).

در MAHBM، ذرات چسبنده فاقد ساختار بلوری مشخص هستند (آمورف)، که این ویژگی به آن‌ها اجازه می‌دهد سریع‌تر واکنش دهند و خواص مکانیکی بهتری در گیرش اولیه ایجاد کنند.

در MAHBM، همه اجزای فعال در یک فاز یکپارچه ترکیب می‌شوند. این ویژگی سبب یکنواختی در عملکرد و کاهش نقاط ضعف و تخلخل‌های موضعی در ترکیب سیمانی می‌شود.

MAHBM می‌تواند شامل نانوذرات سیلیس، آلومینا، یا هیدرات سیلیکات کلسیم (C-S-H) باشد که به طور ویژه با بایندره‌های ژئوپلیمری مانند متاکائولین یا خاکستر بادی ترکیب می‌شوند.

۱-۵- نانوذرات بهره‌گرفته شده در این فناوری

(از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به‌کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

□ نانوذرات مورد استفاده در این فناوری

■ ۱. کلسیم سیلیکات نیمه‌آب شده (C₂SH-01)

این ترکیب شامل نانوذرات کلسیم سیلیکات با ساختار آمورف و نیمه‌آب شده است که به عنوان هسته‌های فعال در بایندر عمل می‌کنند.

این نانوذرات می‌توانند روی ذرات کوارتز یا سایر مواد پرکننده پوشش داده شوند، که باعث افزایش سطح تماس و بهبود واکنش‌های شیمیایی می‌شود.

■ ۲. پلی کریستالی یا آمورف‌های کریستالی سیلیکات‌ها (P-CriSH و y-CriSH)

این نانوذرات به صورت آمورف یا چندبلوری در بایندر حضور دارند و خواصی چون گیرش سریع و افزایش استحکام اولیه را فراهم می‌کنند.

■ ۳. نانوذرات سیلیس (SiO₂) و کوارتز

ذرات کوارتز به عنوان هسته در این سیستم‌ها عمل کرده و با نانوذرات C₂SH پوشش داده می‌شوند. این ساختار چندلایه باعث افزایش مقاومت فشاری و کاهش تخلخل در ترکیبات ژئوپلیمری می‌شود.

■ ۴. هیدرات سیلیکات تری کلسیم (C₃S)

بهبود ویژگی‌های مکانیکی مانند افزایش مقاومت اولیه و تسریع در زمان گیرش، از طریق استفاده از این ترکیبات

فراهم می‌شود.

❑ فناوری‌های نانویی مورد استفاده در تولید و به‌کارگیری سیمان ژئوپلیمری

- ❑ ۱. فناوری پوشش‌دهی ذرات (Particle Coating Technology)
نانوذرات C_2SH یا سایر ترکیبات فعال به روش‌های پوشش‌دهی سطحی روی ذرات کوارتز یا مواد دیگر قرار می‌گیرند. این فرآیند باعث افزایش سطح تماس و بهبود واکنش‌پذیری می‌شود.
- ❑ ۲. سنتز نانوذرات از طریق فرآیندهای محلولی (Solution-Based Synthesis)
در این روش، ذرات آمورف به صورت محلول‌های قلیایی سنتز می‌شوند و سپس روی هسته‌های معدنی رسوب می‌کنند. این فرآیند به تولید بایندهایی با اندازه کنترل‌شده در مقیاس نانو و میکرو کمک می‌کند.
- ❑ ۳. فناوری مهندسی سطح (Surface Engineering)
به‌کارگیری این فناوری برای اصلاح سطح نانوذرات و افزایش چسبندگی میان بایندها و ذرات هسته، منجر به بهبود استحکام مکانیکی نهایی ترکیب می‌شود.
- ❑ ۴. فناوری پراکندگی نانو (Nanodispersion)
این فناوری برای پراکنده‌سازی یکنواخت نانوذرات در بایندها استفاده می‌شود. پراکندگی یکنواخت، تخلخل را کاهش داده و به افزایش مقاومت بتن ژئوپلیمری کمک می‌کند.
- ❑ ۵. تکنیک‌های ترکیب مکانیکی-شیمیایی (Mechanical-Chemical Activation)
این فرآیند شامل فعال‌سازی هم‌زمان ذرات نانو و میکرو از طریق آسیاب‌های مکانیکی و شیمیایی است که باعث بهبود واکنش‌پذیری و افزایش خواص هیدرولیکی بایندها می‌شود.
- ❑ ۶. استفاده از فناوری Celitement
یکی از بایندهای تجاری مبتنی بر MAHBM است که به دلیل کاهش انتشار دی‌اکسید کربن و استفاده از ترکیبات نانومتری، به عنوان جایگزینی پایدار برای سیمان پرتلند مطرح است. در این فناوری، نانوذرات C_2SH-01 روی ذرات کوارتز پوشش داده شده و محصول نهایی دوام بیشتر و زمان گیرش سریع‌تر دارد.



شکل ۱- بایندهای تجاری مبتنی بر MAHBM

همان‌طور که در اینجا استفاده می‌شود، اصطلاحات "پوشش"، "پوشش داده شده" یا موارد مشابه به معنای درجه خاصی از پوشش نیستند، بلکه به این معنی هستند که C_2SH-01 حداقل به بخشی از ذرات هسته چسبیده است. بایندها $Celitement^{TM}$ یک MAHBM است که شامل ذرات با اندازه نانو تا میکرو از آمورف فعال C_2SH-01 است که روی ذرات کوارتز بزرگ‌تر پوشانده شده است (به عنوان مثال ۷-۵۰ pms). بایندها $Celitement^{TM}$ به صورت تجاری از $Celitement^{TM}$ GmbH در دسترس است و به عنوان جایگزینی برای سیمان پرتلند "کم انتشار دی‌اکسید کربن" به بازار عرضه می‌شود. با توجه به چندین پتنت، ترکیبات سیمان ژئوپلیمری می‌توانند جای ترکیبات سیمانی معمولی را بگیرند و به‌ویژه در مواردی که به مقاومت فشاری بالا نیاز است، مناسب باشند.

۱-۶- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

❑ تولید نانوذرات اولیه

❑ مواد اولیه

شامل سیلیکات‌های فلزی مایع (مانند سیلیکات سدیم یا پتاسیم) و هیدروکسیدهای فلزی (مانند سود سوزآور یا آهک هیدراته).

❑ سنتز نانوذرات

نانوذرات کلسیم سیلیکات هیدرات (C_2SH) یا هیدرات تری‌کلسیم (C_3S) با روش‌های رسوب‌گذاری محلولی یا پوشش‌دهی ذرات تولید می‌شوند. ذرات آمورف حاصل، به واسطه اندازه کوچک و سطح بالا، در واکنش‌های شیمیایی ژئوپلیمری شرکت می‌کنند.

❑ تولید محصول میانی سیمان ژئوپلیمری و بایندر (MAHBM)

■ ترکیب اجزا

در این مرحله، سیلیکات‌های فلزی مایع با MAHBM و فعال‌کننده‌های قلیایی مانند هیدروکسید سدیم یا سیمان پرتلند مخلوط می‌شوند.

■ واکنش‌های ژئوپلیمری

افزودن آب باعث وقوع واکنش‌های هیدرولیکی شده و هیدرات‌های کلسیم سیلیکات (CSH) و هیدروکسید کلسیم Ca(OH)_2 تولید می‌شوند. این مواد به عنوان فعال‌کننده‌های قلیایی به واکنش‌های پلیمریزاسیون کمک می‌کنند.

❑ محصول میانی

سیمان ژئوپلیمری یا بایندهای حاوی نانوذرات C_2SH که می‌توانند در تولید بتن‌های ژئوپلیمری یا محصولات دیگر مورد استفاده قرار داده شود.

❑ تولید محصول نهایی (بتن ژئوپلیمری و سازه‌های پیش ساخته)

■ ترکیب با سنگ‌دانه‌ها

سیمان ژئوپلیمری با سنگ‌دانه‌های ریزودرشت، آب و مواد افزودنی ترکیب می‌شود تا بتن ژئوپلیمری تولید شود.

سیلیکات‌های فلزی مایع مانند متاسیلیکات سدیم، سیلیکات پتاسیم یا سیلیکات سدیم را می‌توان با MAHBM در حضور یک هیدروکسید فلز برای تولید سیمان ژئوپلیمری ترکیب کرد. منابع هیدروکسید فلزی مناسب عبارت‌اند از سود سوزآور، سیمان پرتلند، آهک هیدراته یا هر ماده قلیایی دیگر.

بدون محدود شدن به تئوری، اعتقاد بر این است که وقتی آب به MAHBM اضافه می‌شود، یک واکنش هیدرولیکی رخ می‌دهد که در آن هیدرات سیلیکات کلسیم (CSH) و هیدروکسید کلسیم Ca(OH)_2 به عنوان محصولات واکنش تشکیل می‌شوند. Ca(OH)_2 در آب مخلوط حل می‌شود و یک محلول بازی و قلیایی تشکیل می‌دهد که به عنوان یک فعال‌کننده برای واکنش‌های ژئوپلیمر عمل می‌کند. محلول قلیایی همچنین منبعی از کلسیم (Ca)، سیلیکون (Si) و آلومینیوم (Al) است که واکنش داده و گونه‌های ژئوپلیمری را ابتدا با حل شدن و سپس واکنش با سایر اجزای ترکیب سیمان ژئوپلیمری تشکیل می‌دهند. این واقعیت که C_2SH یا هیدرات سیلیکات تری کلسیم دارای اندازه ذرات بسیار کوچک و در نتیجه سطح و نیاز آبی بالا است، منجر به حل شدن آن در محیط‌های پایه و در نتیجه در دسترس شدن برای واکنش سریع می‌شود.

۷-۱- فناوری‌های رقیب

(از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

❑ سیمان پرتلند سنتی (Class A-H) API

■ این سیمان‌ها توسط موسسه نفت آمریکا (API) برای چاه‌های نفت و گاز توسعه داده شده‌اند. کلاس‌های مختلف سیمان پرتلند بر اساس شرایط محیطی و عمق چاه انتخاب می‌شوند.

■ این سیمان‌ها در پشتیبانی از کیسینگ، جداسازی ناحیه‌ای و قطع جریان آب کاربرد دارند.

❑ سیمان‌های نسوز و پرکاربرد در دمای بالا

■ در برخی پروژه‌های تخصصی، سیمان‌های نسوز یا سیمان‌های آلومینات کلسیم برای مقاومت در دمای بالا استفاده می‌شوند.

■ این سیمان‌ها در پروژه‌های نفت و گاز با شرایط سخت دمایی به کار می‌روند.

❑ چسب‌های رزینی و پلیمری

■ در برخی پروژه‌های حساس، به‌ویژه تعمیرات سریع، از چسب‌های رزینی یا چسب‌های پلیمری استفاده می‌شود که زمان گیرش کوتاهی دارند.

سیمان‌های متداول درون چاهی از گذشته مورد استفاده بوده‌اند. موسسه نفت آمریکا (API) سیمان پرتلند را برای سیمان‌کاری چاه‌های نفت و گاز توسعه داده است. آن‌ها بر اساس ترکیب آن‌ها در کلاس‌های مختلف (A تا H) قرار می‌گیرند و انتخاب یک کلاس خاص به شرایط چاه، عمق کاربرد، در دسترس بودن در منطقه و سایر عوامل فنی بستگی دارد. اهداف سیمان‌کاری چاه شامل پشتیبانی از کیسینگ چاه، جداسازی ناحیه‌ای، قطع آب، و غیره است.

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

■ **فناوری‌های چاپ سه بعدی:** استفاده از چاپ سه بعدی در تولید سازه‌های پیش ساخته ژئوپلیمری و قطعات پیچیده که امکان ساخت در محل پروژه را فراهم می‌کند. این فناوری به ویژه در پروژه‌های دورافتاده و ساخت اضطراری و سریع اهمیت دارد.

■ **فناوری‌های مدیریت و پردازش پسماندهای صنعتی:** استفاده از خاکستر بادی، سرباره، و خاکسترهای زیستی و خاکسترهای زباله سوز در ترکیب ژئوپلیمر می‌تواند به جمع‌آوری، مدیریت و پردازش ضایعات صنعتی کمک کند.

■ **فناوری‌های رئولوژی و مهندسی مواد:** برای بهینه‌سازی ترکیبات ژئوپلیمری و افزایش کارایی آن‌ها، استفاده از تجهیزات پیشرفته رئولوژی و مدل‌سازی خواص مکانیکی نظیر rheometers and drop-shape analyzers ضروری است.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی‌ای را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

بله. علوم ساخت بتن‌های پیشرفته با استفاده از علوم نانو و ... هم‌راستا با علم عمران و سازه می‌تواند منجر به ایجاد رشته‌ها و فعالیت‌های کاری تحقیقاتی جدید شوند.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی

(آیا این اثر/ فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

به طور کلی استفاده از سیمان ژئوپلیمر منجر به افزایش استحکام دیواره چاه شده و منجر به صرفه جویی و افزایش طول عمر چاه می‌شود. این فناوری در بخش نفت و گاز می‌تواند منجر به افزایش راندمان چاه‌ها و افزایش برداشت نفت و تولید آن شود.

تحلیل بین‌المللی

۱-۲- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

- بازیگران در حوزه R&D
- بازیگران صنعتی/تجاری در مراحل مختلف زنجیره ارزش
- نهادهای سیاست‌گذار و نهادهای تنظیم مقررات در سطح بین‌المللی

■ شرکت آلمانی CelitementTM GmbH

پس از تحقیقات کاملاً پایه در KIT و مرحله توسعه محصولات و فرآیند که در سال‌های گذشته نیز بسیار پژوهشی بود، Celitement GmbH در سال ۲۰۲۰ به طور کامل از بخش پژوهشی خریده شد و کاملاً صنعتی شده است. Celitements عوامل اتصال هیدرولیکی با کیفیت بالا هستند که با استفاده از یک فرآیند ثبت اختراع و کارآمد انرژی تولید می‌شوند. در مقایسه با کلینکرهای سیمان پرتلند، آن‌ها با استفاده کمتر از سنگ‌آهک به عنوان ماده اولیه اصلی و دمای فرآیند پایین‌تر در تولید مشخص می‌شوند. این شرکت این عوامل اتصال هیدرولیکی نوآورانه را با هدف ایجاد محصولات قابل فروش توسعه داده و بهینه‌سازی نموده و از این طریق به کاهش شدت دی‌اکسید کربن تولید سیمان کمک کرده است. برای انجام این کار، از جدیدترین تجهیزات تحلیلی استفاده شده و تجربه چندین ساله در زمینه توسعه مواد سیمانی وجود دارد.

هدف این شرکت برآوردن الزامات طبقه‌بندی بتن‌های پایه Celitement-based در کلاس مقاومت "R ۴۲/۵" و بالاتر^۱ و همچنین در تمام کلاس‌های مطابق با DIN EN 206-1 در ارتباط با استاندارد ملی DIN 1045-2 است. آزمایش‌های اولیه گسترده در آزمایشگاه تحقیق و توسعه شرکت و همچنین در مؤسسات و آزمایشگاه‌های آزمایشی معروف این اطمینان را می‌دهد که دستیابی به این هدف بلندپروازانه، از جمله کلاس XC4 exposure، امکان پذیر خواهد بود. به منظور توسعه اولین محصولات مبتنی بر Celitement GmbH & Co. KG، حدود ۴۰ شرکت و ۲۰ موسسه تحقیقاتی (مبتکران) همکاری می‌کند که عمدتاً در آلمان و همچنین در نروژ، فنلاند، دانمارک، اتریش و اسپانیا قرار دارند. برخی از فرمول‌ها، به ویژه در بخش ملات خشک که قبلاً نهایی شده‌اند، با موفقیت در مقیاس کاربردی تولید شده‌اند و در شرایط عملی در سایت‌های ساختمانی مورداستفاده قرار گرفتند. این بدان معناست که سلیتمنت بلافاصله پس از احداث اولین کارخانه تولید صنعتی، آماده عرضه به بازار خواهد بود.^۱

■ پتنت‌های مرتبط با تولید سیمان ژئوپلیمر و بایندر monophase amorphous hydraulic binder material

Composite material for slurry yield enhancement, US-۱۱۳۵۲۵۴۲-B۲, Assignee: HALLIBURTON ENERGY SERVICES INC (US), PISKLAK THOMAS JASON (US) ...et.al.^۲

ترکیبات سیمان و روش‌های مرتبط برای سیمان‌کاری شامل وارد کردن یک ترکیب سیمانی به داخل چاهی است که به سازند زیرزمینی نفوذ می‌کند. ترکیب سیمان شامل یک ماده مرکب، یک سیمان و یک سیال آبی است. مواد کامپوزیت شامل یک ماده چسبنده هیدرولیکی آمورف تک‌فاز و یک هسته ذره‌ای است. مواد چسبنده هیدرولیک آمورف تک‌فاز، هسته ذرات را می‌پوشاند.

Geopolymer cement compositions and methods of use,^۳ Stephanie Ruiz et al, Original Assignees: Halliburton Company

روش‌های سیمان‌کاری شامل تهیه یک ترکیب سیمان ژئوپلیمری است که شامل یک ماده چسبنده هیدرولیکی آمورف تک‌فاز (MAHBM)، یک سیلیکات فلزی، یک فعال‌کننده قلیایی و یک سیال حامل است. برای قرار گرفتن در سازند زیرزمینی، MAHBM شامل ذرات هسته سیلیس یا آلومینا است که با یک هیدرات سیلیکات کلسیم آمورف پوشش داده شده است.

۱. <https://celitement.de/en/applications/>

۲. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/patent/US-11352542-B2>

۳. <https://trea.com/information/geopolymer-cement-compositions-and-methods-of-use/patent-grant/95e05706-acb8-4407-a89b-cb90fc77c974>

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

این محصول در سطح آمادگی فناوری (TRL) ۶ و از نظر بازار نیز در سطح آمادگی (MRL) ۸ است.

سطح آمادگی بازار		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار	ریسک شکست									
شناسایی متخصصان دارای توانمندی	فنی									
تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل										
ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه‌حل										
شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل (مانند راهبری پروژه)										
کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید										
شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید										
شناسایی یک نیاز بخصوص										
شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)										

سطح آمادگی فناوری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/راه‌اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

محصول سیمان ژئوپلیمر از سال‌های گذشته در حال توسعه و بهبود است و نوع جدید آن که در پتنت‌های اشاره شده مورد استفاده قرار گرفته است، در ابتدای چرخه عمر یعنی تولد و باز شدن بازار است.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش روی فناوری

- **پیشران‌ها و چالش‌های فنی**
- **پیشران‌های فنی:** وجود مواد نانویی و ترکیبات مختلف مورد استفاده در صنعت سیمان و بتن مانند بهبوددهنده‌ها و ... و همچنین آسان بودن تولید این محصول نسبت به سایر نانوذرات از پیشران‌های این فناوری است.

■ **چالش‌های فنی:** دستیابی به سیمان مورد تأیید استانداردهای صنعت نفت و گاز مانند API و تطابق با آن.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

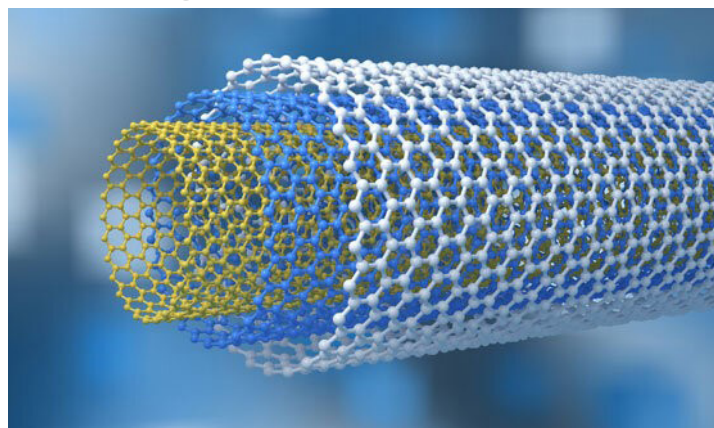
■ **پیشران‌های اقتصادی:** کاهش مصرف سیمان و همچنین کاهش زمان گیرش و افزایش استحکام در بلندمدت منجر به کاهش هزینه‌های ایجاد دیواره چاه حفاری نفت می‌شود.

■ **چالش‌های اقتصادی:** هزینه‌های مربوط به استفاده از بایندهای نانویی و تولیدی توسط شرکت‌های مطرح ممکن است منجر به افزایش قیمت این محصولات نسبت به سیمان‌های پرتلند متداول API شود. به علت تجاری نشدن این محصول به‌طور کامل نمی‌توان در مورد هزینه اظهار نظر قطعی کرد.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

در صورت استفاده از این سیمان‌ها در بخش‌های ساختمان و ابنیه از نظر زیست‌محیطی پیشرفت خوبی صورت خواهد گرفت. صنعت ساختمان و ساخت‌وساز جهانی بیش از ۳۶ درصد از کل انرژی را مصرف کرده و تقریباً ۳۹ درصد از کل انتشار دی‌اکسید کربن را در سال ۲۰۱۸ منتشر کرده است. سیمان به عنوان جزء اصلی بتن، منبع تقریباً ۸ درصد



از کل انتشار دی‌اکسید کربن در جهان بوده است. بنابراین، کامپوزیت‌های بتن و ملات جدید با کاهش حجم سیمان و دوام بیشتر مورد نیاز است. اصلاح و جایگزینی مصالح رایج در صنعت ساختمان امروزه از موضوعات مهم تحقیقاتی است. انتظار می‌رود تنها در بازار آمریکا میزان تولید دی‌اکسید کربن با استفاده از تنها ۰/۱ درصد نانولوله کربنی چنددیواره در بتن، تا ۳۰ میلیون تن در سال کاهش یابد.^۱

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

شکل ۲-۳- نانولوله‌های کربنی

محصول بایندر توسط شرکت آلمانی celitement به صورت محدود و در مقیاس آزمایشی تولید و عرضه می‌شود. این شرکت آماده است سفارش‌های مربوط به کارهای تحقیقاتی یا نیمه‌صنعتی تا مقیاس کمتر از ۱۰۰ کیلو تا ۱ تن را بپذیرد. با این حال قیمت مشخص نیست. در آینده نزدیک با راه‌اندازی کارخانه تولید صنعتی این محصول در مقیاس تجاری در دسترس خواهد بود.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

به‌طور کلی، محققان کاربرد ژئوپلیمر را در محیط‌های تهاجمی و عملیات بستن و رها کردن چاه، تأثیر دما و سازگاری آن با سیال حفاری بررسی کرده‌اند. در مقایسه با سیستم‌های سیمان پرتلند معمولی OPC، ژئوپلیمر در برابر محیط‌های اسیدی مقاوم‌تر است، در شرایط شوری بالا عملکرد بهتری دارد و با گل حفاری سازگاری بالایی دارد. ژئوپلیمر بودن یک فناوری سبز همراه با خواص بهینه آن نشان می‌دهد که آینده سیمان چاه نفت است.^۲

۱. Nanotubes in cement (globalcement.com)

۲. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092041052101127X>

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیت‌های انجام شده در کشور

□ فعالیت‌های توسعه محصول و تجاری‌سازی

بررسی‌ها نشان داد در خصوص تولید بایندر تکفاز آمورف نانویی تحقیقات یا محصولی در کشور وجود ندارد. با این حال در حوزه سیمان ژئوپلیمری نتایج زیر به دست آمد. در حوزه ساخت سیمان ژئوپلیمری یا سیمان سبز شرکت‌های زیر فعالیت دارند:

■ ۱- شرکت بنابنیان زیست فناوری

این شرکت توسط یکی از فارغ‌التحصیلان دانشگاهی تأسیس شد و نهایتاً سال ۹۷ اولین سری از محصولات وارد بازار شد. در حال حاضر در این شرکت، سیمان سبز در ۳ گرید تجاری‌سازی شده است که پرفروش‌ترین نوع آن سیمان سبز نوع یک (تا ۵۰ درصد جایگزینی سیمان پرتلند) است.^۱

■ ۲- شرکت اکسیر صنعت سیمان سبز

این شرکت در زمینه تولید سیمان و مصالح ساختمانی نو ترکیب و پیشرفته، قطعات سیمانی و سیمان ژئوپلیمری بر پایه ضایعات کشاورزی فعال است.

با بررسی منابع اینترنتی اطلاعات مشخصی درباره تولید نمونه یا مصوب تجاری در این زمینه در کشور مشاهده نشد. در خصوص سیمان ژئوپلیمر اطلاعاتی در منابع وجود دارد. همچنین در خصوص استفاده از نانوذرات در این سیمان‌ها تحقیقاتی در کشور انجام شده است که در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱: تعدادی از پژوهش‌های انجام شده در حوزه ژئوپلیمر

تثبیت خاک ماسه‌ای با ژئوپلیمر بر پایه نانو مواد و پوزوالن تفتان ۳ ریحانه باغبان شوکت‌آباد محمدمحسن توفیق^{۲*}، وحید توفیق^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و نقشه‌برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران^۱ دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و نقشه‌برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران^۲ استاد، دانشکده فنی، بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۲ شماره ۹، سال ۱۳۹۹، صفحات ۲۳۵۷ تا ۲۳۷۸	بررسی خواص مکانیکی خمیر سیمان ژئوپلیمری با پایه روباره کوره آهن‌گدازی و تعیین پارامترهای بهینه ، علی‌اکبر رضائیان پور^۱ محسن جعفری ندوشن مرکز تحقیقات فئآوری و دوام بتن، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر نشریه مهندسی امیرکبیر، ۱۰۵۲ تا ۱۰۴۳، صفحات ۱۳۹۷، سال ۶، شماره ۵۰
--	--

ارزیابی تأثیر نانو سیلیس بر خصوصیات مکانیکی بتن سنگین ژئوپلیمری حاوی سرباره

پارسا کارشناسی ارشد ۱۳۹۷

پدیدآور: مهدی حسینی استاد راهنما: مرتضی حسینعلی بیگی

استاد راهنما: ایمان محمدپور نیک‌بین

مؤسسه آموزش عالی اندیشمند - لاهیجان

بررسی خواص سازه‌ای و هیدرولیکی بتن ژئوپلیمر سرباره‌ای حاوی نانوسیلیس و الیاف پلی‌الفین در سدهای بتنی

محمدحسین منصورقنای، مرتضی بیک لریان، علیرضا مردوخ پور

دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، M.biklaryan@iauc.ac.ir

نشریه سد و نیروگاه برق آبی ایران، دوره ۸، شماره ۲۹ - (۱۴۰۰-۶)

۱. <https://banabonyan.ir/%d9%85%d8%b9%d8%b1%d9%81%db%8c-%d8%b4%d8%b1%da%a9%d8%aa/>

سنتر و کاربرد فوتوکاتالیزتی دو ماده نانوساختار مغناطیسی و تهیه یک نمونه ژئوپلیمر و کاربرد آن در مصالح ساختمانی پارسا کارشناسی ارشد ۱۳۹۷ پدیدآور: فاطمه سلطانی نژاد استاد راهنما: علی مصطفوی استاد راهنما: طیبه شمس پور استاد مشاور: حسام‌الدین معین زاده دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده علوم	ارزیابی آزمایشگاهی بهسازی خاک‌های رسی با استفاده از ژئوپلیمر بر پایه سرباره مس و نانو مونت موریلونیت پیشنهاد کارشناسی ارشد ۱۳۹۸ پدیدآور: علی بختیاری استاد راهنما: مجتبی قاسمی موسسه آموزش عالی کرمان
ارزیابی فنی و اقتصادی نمونه‌های بتن ژئوپلیمری حاوی نانو سیلیس بر پایه GGBFS در مقابل آتش‌سوزی پارسا کارشناسی ارشد ۱۴۰۰ پدیدآور: امیرمحمد پاک مهر استاد راهنما: مهدی مهدی خانی استاد مشاور: رامین انصاری دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، دانشکده فنی و مهندسی	خواص صوتی سامانه ماندگار بتن ژئوپلیمری نانوساختار حاوی ضایعات لاستیک پارسا کارشناسی ارشد ۱۳۹۱ موضوع: علوم پلیمر پدیدآور: مرجان گندمان استاد راهنما: مهرداد کوبکی استاد مشاور: محمدحسین نوید فامیلی دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی شیمی
بررسی بهبود خواص مکانیکی ژئوپلیمرهای پایه متاکائولن با استفاده از نانو ذرات و الیاف سرامیکی تقویت‌کننده پارسا کارشناسی ارشد ۱۳۹۵ پدیدآور: محمد قنبری استاد راهنما: علی محمد هادیان استاد راهنما: عباس نوربخش دانشگاه تهران، پردیس دانشکده‌های فنی - دانشکده علوم مهندسی	بررسی رفتار باند آرماتور Gfrp با بتن ژئوپلیمری سبک حاوی سرباره پیشنهاد کارشناسی ارشد ۱۳۹۷ پدیدآور: شهریار حقیقت‌طلب استاد راهنما: ایمان محمد پور نیک‌بین مؤسسه آموزش عالی اندیشمند - لاهیجان، گروه فنی و مهندسی
اصلاح خاک بستر با استفاده از ژئوپلیمر و نانو مواد پارسا کارشناسی ارشد ۱۳۹۸ پدیدآور: فرزانه شرفی استاد راهنما: مجتبی قاسمی موسسه آموزش عالی کرمان، گروه عمران	ارزیابی تأثیر نانوسیلیس بر خصوصیات مکانیکی بتن سنگین ژئوپلیمری حاوی سرباره پیشنهاد کارشناسی ارشد ۱۳۹۶ پدیدآور: مهدی حسینی استاد راهنما: مرتضی حسینعلی بیگی استاد راهنما: ایمان محمدپور نیک‌بین مؤسسه آموزش عالی اندیشمند - لاهیجان

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

همانطور که در بخش بین‌الملل ذکر شد یکی از کاربردهای بتن و ملات سیمانی حاوی ژئوپلیمر حاوی بایندهای آمورف نانویی در ساخت دیواره‌های چاه‌های حفاری نفت و گاز است. همچنین از ژئوپلیمرها می‌توان به عنوان سیمان اولیه در ساخت بتن‌های دوستدار محیط‌زیست و قابل کاربرد در شرایط جوی نمکی و خورنده استفاده نمود.
به‌طورکلی در منابع کاربردهای دیگری نیز برای بتن‌های ژئوپلیمری متداول ذکر شده است:^۱

- تولید سیمان‌های زودگیر
- ساخت قطعات پیش‌ساخته بتنی

۱. <https://hosseinbarzegar.ir/geopolymer-concrete>

- صنایع آجر و سرامیک
- پانل‌های آکوستیک
- کامپوزیت‌های مقاوم در برابر آتش
- ترمیم و مرمت آثار باستانی
- صنایع چسب و رنگ

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

در زمینه ساخت سیمان‌های ژئوپلیمر با کاربردهای مختلف در مرحله انجام تحقیقات و ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی است و سطح آمادگی فناوری (TRL) و سطح آمادگی بازار (MRL) برای آن برابر ۵ است. در خصوص ساخت سیمان با بایندهای آمورف کاری انجام نشده است.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹	■	■	■						خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸	■	■	■						شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷	■	■	■						تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل
۶				■					ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه‌حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه‌اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/ افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل‌سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هر یک از کاربردهای

سیمان‌های حفاری API برای کاربردهای حفاری در صنایع نفت و گاز هم‌اکنون توسط شرکت‌های سیمانی در کشور تولید می‌شود. به عنوان مثال شرکت سیمان تهران گریدهای زیر را تولید می‌کند:

لازم به ذکر است که عمده مصرف این سیمان‌ها در صنعت نفت ایران و کشورهای نفت خیز منطقه است. انواع و ویژگی این سیمان‌ها در زیر ارایه شده است:

سیمان کلاس A: برای مصرف تا عمق ۶۰۰۰ فوت (۱۸۲۹ متر)
سیمان کلاس B: برای مصرف تا عمق ۶۰۰۰ فوت (۱۸۲۹ متر) مقاوم در برابر سولفات
سیمان کلاس D: برای مصرف تا عمق ۱۰۰۰۰-۶۰۰۰ فوت (۳۶۵۸ متر) مقاوم در برابر سولفات
سیمان کلاس E: برای مصرف تا عمق ۱۴۰۰۰ فوت (۴۲۶۷ متر) مقاوم در برابر سولفات
سیمان کلاس G: برای مصرف تا عمق ۸۰۰۰ فوت (۲۴۳۸ متر) سیمان پایه نوع مقاوم در برابر سولفات^۱

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای توسعه این فناوری

(تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و همچنین برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

-

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی
- زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی
- زیرساخت تولید
- آزمایشگاه مرجع
- منابع مالی
- توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری
- زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش

منابع انسانی و زیرساخت آزمایشگاهی و علمی کشور به صورت مناسبی برای توسعه این محصول فراهم است.

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

از نظر فنی وجود شرکت‌های قوی در حوزه سیمان و بتن می‌تواند پیشرانی برای استفاده از این محصول باشد. همچنین نیاز به صرفه جویی در مصالح در بسیاری از مکان‌ها در کشور ما می‌تواند استفاده از این بتن‌ها را توجیه کند. چالش‌های مربوط به حفظ استحکام بتن از جمله چالش‌های فنی این محصول است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

وجود ذخایر نفت و گاز فراوان در کشور و نیاز به استخراج سریع‌تر و در اعماق بالاتر و همچنین فرسوده شدن چاه‌های کنونی و نیاز به اصلاح و بهینه شدن آن‌ها همگی نشان از پیشران‌های اقتصادی در این حوزه هستند. در صورتی که محصول مناسب با ویژگی‌های برتر نسبت به سیمان‌های متداول تولید شود در حفاری‌های کنونی و آینده مورد استفاده قرار داده می‌شوند. مشابه بخش بین‌الملل.

۱. <https://tehrancement.co.ir/%D8%B3%DB%8C%D9%85%D8%A7%D9%86-%D8%AD%D9%81%D8%A7%D8%B1%DB%8C>

❑ پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا

از نظر تقاضا محدود بودن به صنعت نفت و گاز می‌تواند چالش و از سوی دیگر برای یک یا دو فناور وجود بازار تضمینی صنایع نفت و گاز می‌تواند پیشران باشد.

❑ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

سیمان‌های ژئوپلیمری یا سبز می‌توانند نقش مهمی در کاهش ضایعات تولیدی در صنایع مختلف و استفاده بهینه از منابع موجود در کشور در حوزه بازیافت ضایعات و پسماندهای صنایع دیگر مانند فولادسازی و ... داشته باشد. مشابه بخش بین‌الملل.

❑ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

مشابه بخش بین‌الملل با این تفاوت که در بخش کاهش تولید دی‌اکسید کربن در کشور ما الزامی وجود ندارد و الزامات محیط‌زیستی مانند تولید حرارت و دی‌اکسید کربن کمتر اصولاً مطرح نیست.

۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

محصول سیمان سبز توسط یک یا دو شرکت تولید و عرضه شده‌اند ولی محصول سیمان ژئوپلیمری حاوی بایندرهای نانویی در کشور تولید نشده است. اطلاعاتی در مورد تولید یا واردات آن به دست نیامد.

۳-۹- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

در حال تکمیل است.

۳-۱۰- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

وجود صنایع مختلف مانند تولید فولاد و آهن و وجود مواد ضایعاتی و محصولات جانبی این صنعت و سایر صنایع فرصت خوبی برای استفاده در تولید سیمان‌های غیر پرتلندی است. به نظر می‌رسد در آینده سیمان سبز با توجه به خواص بهتری که نسبت به سیمان پرتلند دارد جای خود را در بازار باز کرده و تولید آن در کشور بیشتر شود. با این حال استفاده از فناوری‌های نوین در کشور نیازمند عزم صنایع پیشرو تولید سیمان و سرمایه‌گذاری در این بخش و در استراتاپ‌ها است که با بهتر شدن شرایط اقتصادی این امر نیز تسهیل شود.



۲۰



ترکیب سیمانی با شکل پذیری
بالا، سخت شدن سریع و
مقاومت اولیه بالا اصلاح شده با
اصلاح کننده ی پلیمری

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱ ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

ترکیب سیمانی با شکل پذیری بالا، سخت شدن سریع و مقاومت اولیه خیلی زیاد که با اصلاح کننده‌ی پلیمری اصلاح شده است برای روسازی آسفالت جاده استفاده می‌شود. این اختراع مرتبط با مقاومت بالای دانه‌های سنگی و سرعت بالای گیرش سیمان و ساخت روسازی جاده با استفاده از این ماده است. دلیل شکل پذیری بالا و سختی زیاد ترکیب سیمانی، نیروی اتصال دهنده‌ی هیدرات با واکنش پوزولان با کمک یک چسب با سفتی بالا همراه با قدرت پیوند هیدروژنی پلیمرهای آلی است که منجر به ایجاد تراکم بالا در ساختار و استحکام فیزیکی بالا می‌شود. سرعت گیرش بالا و شکل پذیری بسیار خوب این محصول منجر به کاهش زمان ساخت و ساز جاده و در نتیجه کاهش زمان نیاز برای کنترل ترافیک می‌شود.

۲-۱ کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

ساخت کف و روسازی جاده: PCC به دلیل افزایش خواص مقاومت شیمیایی، خواص فیزیکی و مکانیکی بالا، بهترین انتخاب برای کف سازی صنعتی است. همچنین در ساخت و ساز روسازی جاده‌ها در مناطقی که در معرض ترافیک سنگین است می‌تواند استفاده شود. پوشش‌های عرشه پل: استفاده از PCC به ایجاد سطحی نفوذناپذیر و ضد آب کمک می‌کند که مانع از نفوذ رطوبت و کلریدها می‌شود و در نتیجه از خوردگی آرماتور، پوسته شدن و ریزش ترک‌ها جلوگیری می‌کند. ساخت و ساز پیش ساخته: کارایی خوب و ویژگی‌های پخت حرارتی PCC، آن را برای استفاده در عملیات پیش ساخته مناسب می‌کند. استفاده به عنوان ترکیبات اتصال: PCC را می‌توان برای کارهای وصله و تعمیر بتن سیمانی پرتلند معمولی استفاده کرد. این اقدام، باعث افزایش استحکام و عمر سازه موجود می‌شود. PCC باید فقط پس از حذف مواد قدیمی اعمال شود.

۳-۱ محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه بر اساس این فناوری

بتن سیمانی اصلاح شده توسط پلیمر با قابلیت شکل پذیری بالا، سخت شدن سریع و استحکام فوق العاده، محصول توسعه یافته این فناوری است. مبتنی بر فناوری شرح داده شده، محصولاتی که می‌توانند توسعه یابند شامل ترکیبات بتن سیمانی با قابلیت شکل پذیری بالا، سخت شدن سریع و استحکام فوق العاده (اصلاح شده توسط اصلاح کننده‌های پلیمری) است.

۴-۱ مزیت (های) کلیدی این فناوری (کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و ...)

از مزیت‌های فناوری حاضر این است که تراکم بافت را ارتقا می‌دهد و استحکام فیزیکی عالی را ایجاد می‌کند، به طوری که دوره ساخت را می‌توان به طور قابل توجهی کوتاه کرد و همین طور، زمان کنترل ترافیک را می‌توان به حداقل رساند. علاوه بر این، می‌تواند به طور مؤثری با انقباض، انبساط و ترک خوردگی با توجه به تغییرات دما مقابله کند و برای سرکوب پدیده دمیدن دال بتنی، خاصیت ارتجاعی به آن داده می‌شود و با کاهش خواص شکست، دوام روسازی را افزایش دهد. به علاوه، با توجه به خصوصیات کشسانی، خواص شکستگی ترد کاهش پیدا می‌کند، شکل پذیری بالا تا حد زیادی تقویت می‌شود و می‌توان با انقباض، انبساط و ترک ناشی از تغییر دما در حین خشک شدن و پدیده‌ی متورم شدن تخته‌ی بتنی مقابله نمود.

۵-۱- نانوذرات بهره گرفته شده در این فناوری

(از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

زیرکونیوم فسفات: زیرکونیوم فسفات، نه تنها خواص استحکام را بهبود می‌بخشد، بلکه اثراتی نظیر کاهش انقباض و کنترل ترک، مقاومت در برابر سایش، جلوگیری از زنگ زدگی، مقاومت شیمیایی، مقاومت در برابر آتش، آسیب نمک و مقاومت در برابر یخ زدگی را نیز بهبود می‌دهد.

دی اکسید قلع (SnO_2): همچنین در این اختراع از نانوذرات دی اکسید قلع با ساختار متخلخل (SnO_2) استفاده شده است. این نانوذرات برای ارائه خواص مقاومتی، کاهش انقباض، اثرات کنترل ترک، مقاومت در برابر سایش و سایر خواص مفید در ترکیب بتن سیمانی اصلاح شده استفاده می‌شوند.

۶-۱- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

زنجیره ارزش فناوری PCC شامل مراحل مختلفی از تولید مواد اولیه تا استفاده از محصول نهایی است. در اینجا به تفکیک مراحل کلیدی مربوط می‌شود:

■ تحقیق و توسعه (R&D): این مرحله شامل تحقیقات اولیه در مورد مواد پلیمری و نانوذراتی مناسب برای افزایش خواص بتن سیمانی است.

■ تأمین مواد اولیه: این مرحله شامل استخراج مواد خام مانند سنگ آهک، خاک رس، شیل، سیلیس و سنگ آهن از معادن است. سپس مواد اولیه مانند سیمان، پلیمرها و ... از تأمین کنندگان تأمین می‌شود. در این گام اقدامات کنترل کیفیت برای اطمینان از سازگاری و قابلیت اطمینان مواد خام اجرا می‌شود.

■ فرآیند سنتز و تولید پلیمرها و نانوذرات: مواد پلیمری از طریق فرایندهایی مانند پلیمریزاسیون و نانوذرات با استفاده از روش‌هایی مانند سنتز شیمیایی، آسیاب مکانیکی یا رسوب بخار تولید می‌شوند. در این فاز همچنین ممکن است پلیمر یا نانومواد به منظور افزایش سازگاری با سیمان، عامل دار و اصلاح شوند.

■ تولید بتن: سیمان، سنگ دانه‌ها، آب و افزودنی‌ها بر اساس فرمولاسیون از پیش تعیین شده و بسته به خواص هدف مخلوط می‌شوند. قطعات پیش ساخته ساختمانی یا راه سازی و ... مبتنی بر فرمولاسیون فوق، تولید و سپس از نظر ارزیابی خواص فشاری، خمشی و ... تست می‌شوند.

■ کاربرد در پروژه‌های هدف: بتن اصلاح شده در کاربردهای مختلف ساختمانی مانند پی ساختمان، جاده، پل و پروژه‌های زیربنایی استفاده می‌شود. بازیگران این بخش شامل پیمانکاران، سازندگان، معماران، مهندسان و توسعه دهندگان هستند.

■ نظارت و نگهداری: با گذشت زمان، سازه‌های مبتنی بر سیمان ممکن است نیاز به نگهداری، تعمیر یا بازسازی داشته باشند. بازیگران شامل خدمه تعمیر و نگهداری، پیمانکاران و مهندسان متخصص در تعمیر سازه هستند.

۷-۱- فناوری‌های رقیب

(از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

روش‌های اصلاح بتن با پلیمر:

مواد پلیمری با دو روش در بتن قابل استفاده هستند و بتن تولید شده در هر حالت را با اسامی زیر می‌شناسند:

■ **بتن با پلیمر تزریقی (PIC):** معمولاً بتن با پلیمر تزریقی یک نوع بتن پیش ساخته است که پس از خشک شدن کامل، با یک مونومر با ویسکوزیته‌ی پایین اشباع می‌شود. پلیمریزاسیون در جای مونومرها فضاهای خالی بتن را پر کرده و یک شبکه‌ی به هم پیوسته را تشکیل می‌دهند. بتن اشباع کننده با پلیمر تا حد زیادی سبب بهبود مقاومت و شکل پذیری بتن می‌شود. برای اجزای تشکیل دهنده بتن مسلح، پلیمر روی سطح بتن اسپری می‌شود. کاربرد اصلی PIC در لوله‌های فاضلاب، منبع‌های ذخیره‌ی آب دریا، کارگاه‌های تقطیر، پل‌های دیواری، پوشش‌های تونل و استخر شنا است.

■ **بتن پلیمری (PC):** بتن پلیمری که بتن رزینی یا پلاستیک بتن رزینی نام دارد، از یک چسب و یک ماده‌ی پرکننده معدنی مثل شن یا سنگ ریزه تشکیل می‌شود. از آنجایی که در این بتن یک ماده‌ی پلیمری به طور کامل جایگزین سیمان می‌شود، قیمت بتن در آن به صورت قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند. بنابراین، استفاده از بتن زمانی مناسب است که افزایش قیمت‌ها به دلیل ویژگی‌های خوب آن قابل توجیه باشد، هزینه نیروی کار کاهش پیدا کند، یا انرژی مورد نیاز در حین ساخت و ساز و نگهداری بتن کمتر شود.

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

فناوری‌های مرتبط با سنتز نانوذرات و کامپوزیت‌های نانویی مورد استفاده در این بتن از فناوری‌های مکمل هستند. همچنین فناوری‌های مخلوط کردن درجا و یا فناوری‌های تولید بتن در محل می‌تواند مطرح باشد.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی‌ای را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

فناوری حاضر درها را برای چندین مسیر تحقیقاتی جالب آینده باز می‌کند، مانند:

۱. بهینه‌سازی انتخاب پلیمر و سینرژی
۲. اصلاح‌کننده‌های چندمنظوره
۳. ویژگی پیشرفته مواد
۴. شیوه‌های پایدار روسازی و ...

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی

(آیا این اثر/ فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

جاده‌های ایمن‌تر: استفاده از بتن با انعطاف‌پذیری بالا می‌تواند به جاده‌هایی منجر شود که احتمال ترک خوردن و کمانش کمتری دارند و ایمنی رانندگان و عابران پیاده را بهبود می‌دهد.
کاهش ازدحام ترافیک: جاده‌های بادوام‌تر به تعمیرات کمتری نیاز دارند که به طور بالقوه ازدحام ترافیک ناشی از ساخت‌وساز را کاهش می‌دهد.
هزینه‌های نگهداری کمتر: جاده‌های قوی‌تر دوام بیشتری خواهند داشت و هزینه کلی تعمیر و نگهداری جاده‌ها را کاهش می‌دهند. این می‌تواند بودجه را برای سایر برنامه‌های اجتماعی آزاد کند.
مزایای محیط‌زیستی: تعمیرات کمتر جاده‌ها باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تجهیزات ساختمانی می‌شود و می‌تواند به طور بالقوه عمر جاده‌های موجود را افزایش دهد و نیاز به ساخت جاده‌های جدید را که می‌تواند زیستگاه‌ها و اکوسیستم‌ها را مختل کند، کاهش دهد.

تحلیل بین‌المللی

۱-۲- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

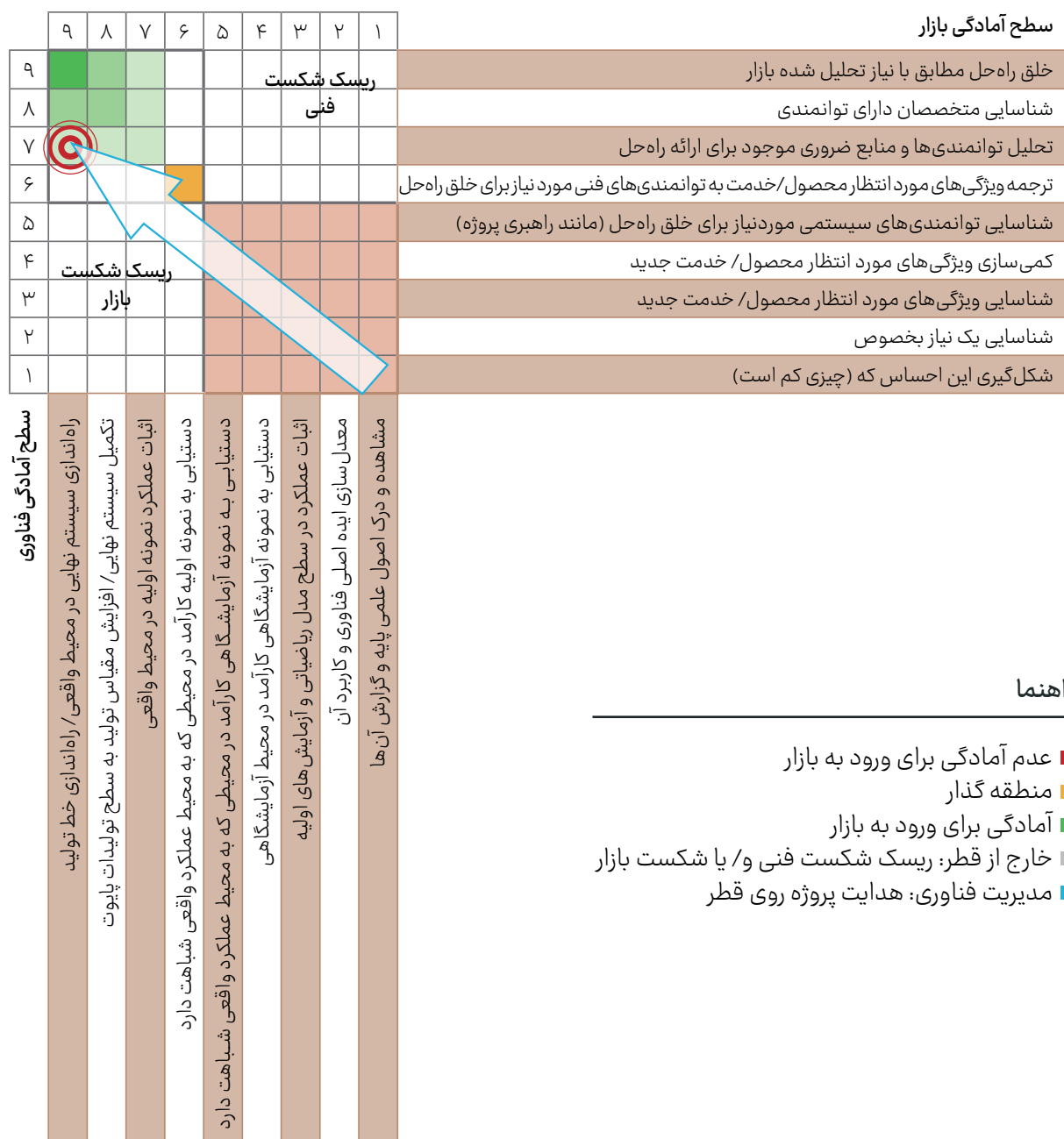
شرکت آمریکایی مالارد کریک پلیمر: Mallard Creek Polymers، پیشرو در میان شرکت‌های تولید پلیمر، در تولید محصولات پلیمری امولسیونی برای بخش‌ها و کاربردهای مختلف صنعتی فعالیت می‌کند. Mallard Creek Polymers طیف گسترده‌ای از محصولات پلیمری امولسیونی از جمله استایرن بوتادین، استایرن-اکریلیک، تمام آکریلیک، رزین پشתיانی شده، هیبریدهای طبیعی/سنتتیک، وینیل استات، الاستومرهای نیتریل و اصلاح‌کننده‌های رئولوژی را ارائه می‌دهد که برای ارائه خدمات به بازارهای مختلف مانند ساخت‌وساز و منسوجات و پوشش‌ها، چسب‌ها، منسوجات نبافته، کاغذ، و چاپ و بسته‌بندی طراحی شده‌اند.

فسراک: Fosroc یک تولیدکننده و تأمین‌کننده بین‌المللی پیشرو در مواد شیمیایی با کارایی بالا برای صنعت ساخت‌وساز با تمرکز ویژه بر بتن و سیمان است. Fosroc با یک نام تجاری میراث بریتانیایی، بیش از ۸۰ سال پیش شروع به کار کرد و به نامی برای شرکت‌های ساختمانی تبدیل شد که طیف گسترده‌ای از محصولات و مارک‌ها از جمله، Nitoproof، Nitoseal، Proofex، Supercast، Conplast و Dekguard را ارائه می‌دهد. راه‌حل‌های سازنده اختصاصی Fosroc با ترکیب طیف گسترده‌ای از محصولات پیشرفته برای رفع نیازهای صنعت ساخت‌وساز توسعه یافته است. طیف راه‌حل‌ها عبارت‌اند از:

چسب‌ها، افزودنی‌های بتن، تعمیرات بتن، پوشش‌های محافظ، کف‌پوش‌های صنعتی، درزگیرهای مفصلی، عایق‌های رطوبتی، گروت‌ها و لنگرها، افزودنی‌های سیمان و کمک‌های سنگ‌زنی. Litecast Ltd: Litecast Ltd که در سال ۱۹۹۸ تأسیس شد، از آن زمان به تولیدکننده پیشرو تیرهای کف‌بتنی پیش‌ساخته در بریتانیا تبدیل شده است.

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

سطح آمادگی فناوری (TRL) با توجه به تنوع بتن‌های اصلاح شده با پلیمر تولید شده توسط شرکت‌ها برابر ۹ است. بازار این محصولات در حال گسترش بوده ولی به‌طور کامل جایگزین روش‌های دیگر نشده است. سطح آمادگی بازار (MRL) نیز در دامنه ۷ است.



۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

چرخه عمر فناوری بتن های پلیمری در مرحله رشد و در رابطه با بتن های سیمانی اصلاح شده با پلیمر در مرحله معرفی قرار دارند.

۲-۴- مهم ترین پیشران ها و چالش های پیش روی فناوری

□ **پیشران ها و چالش های فنی**
از پیشران های فنی می توان به نیازهای روزافزون زیرساختی اشاره کرد. نیاز به تعمیر و نوسازی زیرساخت های قدیمی باعث افزایش تقاضا برای مصالح ساختمانی با کارایی بالا مانند بتن های اصلاح شده با پلیمر شده است. همچنین پیشرفت ها در فناوری و تحقیق و توسعه مداوم در فناوری بتن های اصلاح شده با پلیمر منجر به ایجاد محصولات جدید و بهبود یافته با هزینه های بالقوه کمتر و پروفایل های محیط زیستی بهبود یافته می شود.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

چالش اقتصادی اصلی هزینه است. پلیمرها عموماً گران‌تر از سیمان پرتلند سنتی هستند و بتن‌های اصلاح شده با پلیمر را به گزینه‌ای گران‌تر تبدیل می‌کند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

رشد تقاضا برای توسعه پایدار: تمرکز فزاینده‌ای بر روی شیوه‌های ساخت و ساز پایدار وجود دارد. بتن‌های اصلاح شده با پلیمر می‌تواند در برخی موارد با ارائه طول عمر بیشتر، کاهش نیاز به تعمیر و نگهداری و به طور بالقوه کربن کمتر در برخی کاربردها کمک کند.

استانداردسازی: استانداردهای روش‌های آزمایش و مشخصات عملکرد بتن‌های اصلاح شده با پلیمر هنوز در حال تکامل است. این می‌تواند برای برخی از کاربران در مورد عملکرد بلندمدت آن عدم اطمینان ایجاد کند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

به طور کلی از نظر اجتماعی وجود راه‌ها و جاده‌های دارای کیفیت بالا منجر به رضایت عمومی و بالعکس جاده‌های آسیب دیده و همچنین ترافیک‌های طولانی مدت در حین عملیات راه‌سازی منجر به نارضایتی رانندگان می‌شود.

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

بر اساس پژوهش‌های چندی از سازمان‌های تحقیقات بازار جهانی، اندازه بازار جهانی بتن پلیمری ۶۱۱/۲ میلیون دلار در سال ۲۰۲۲ ارزش گذاری شده است و پیش بینی می‌شود که از ۷۲۳/۸ میلیون دلار در سال ۲۰۲۳ به ۱۰۱۶/۰ میلیون دلار تا سال ۲۰۳۰ افزایش یابد که نشان دهنده CAGR ۵/۰ درصدی در طول دوره پیش بینی است. از نظر صنعت مصرف نهایی، بازار به بخش‌های مسکونی، تجاری، صنعتی و زیرساخت تقسیم می‌شود. بخش زیرساخت سهم کلیدی بازار جهانی را در اختیار دارد. این بخش به عنوان محرک مهم بازار در نظر گرفته می‌شود. بتن پلیمری مزایای زیادی برای پروژه‌های زیرساختی دارد؛ از جمله افزایش دوام، مقاومت در برابر شرایط محیطی شدید و هزینه نگهداری کمتر. کیفیت استثنایی محصول، آن را به انتخابی جذاب برای کاربردهای زیرساختی مانند جاده‌ها، پل‌ها، تونل‌ها و تأسیسات تصفیه فاضلاب تبدیل کرده است.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

در سال‌های اخیر، شاهد پیشرفت‌های چشمگیری در زمینه اصلاح خواص بتن‌های سیمانی با استفاده از فناوری‌های نوین مانند پلیمرها و نانوذرات بوده‌ایم. این فناوری‌ها مزایای متعددی از جمله افزایش مقاومت، دوام، انعطاف پذیری و پایداری بتن را به همراه دارند. با توجه به مطالعات انجام شده، محصولات تولید شده در این حوزه و همچنین تقاضای روزافزون بازار برای مصالح ساختمانی با عملکرد بالا، انتظار می‌رود که فناوری تولید بتن‌های سیمانی اصلاح شده با پلیمر و نانوذرات در آینده نقشی کلیدی در صنعت ساختمان ایفا کند. از جمله روندهای مؤثر بر توسعه آتی این فناوری‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

افزایش تقاضا برای مصالح ساختمانی بادوام و با ماندگاری طولانی مدت

تقاضای فزاینده برای مصالح ساختمانی با ماندگاری طولانی مدت، پتانسیل جدیدی را به روی بازار باز می‌کند. از آنجایی که دولت‌ها و بخش خصوصی در پروژه‌های زیربنایی سرمایه‌گذاری می‌کنند، تقاضا برای موادی که هم بادوام و هم ماندگار هستند رو به افزایش است. این فناوری به دلیل مقاومت بالا در برابر خوردگی، هوازگی و مواد شیمیایی، ماده‌ای برجسته برای زیرساخت‌های مختلف از جمله جاده‌ها، پل‌ها و تونل‌ها است. بتن پلیمری به دلیل دوام قابل توجه، مزایای محیط‌زیستی، مقاومت و بهبودهای فنی مستمر، به عنوان یک انتخاب خوب برای توسعه، نگهداری و تعمیر زیرساخت‌ها شناخته می‌شود. افزایش تقاضا برای زیرساخت‌های قوی و نیاز به افزایش طول عمر پروژه‌های موجود، فرصت‌های متعددی را برای رشد بازار بتن پلیمری ایجاد می‌کند.

تأکید روزافزون بر مواد سازگار با محیط‌زیست و انرژی کارآمد برای پیشبرد رشد صنعت

صنعت ساخت و ساز به طور فزاینده‌ای بر مواد سازگار با محیط‌زیست و کم‌انرژی تأکید دارد و بتن پلیمری به خوبی با این الزامات هماهنگ است. این فناوری مزایای پایداری مختلفی دارد، از جمله قابلیت بازیافت، رد پای کربن کمتر و طول عمر بیشتر نسبت به مصالح ساختمانی معمولی. دوام محصول، مقاومت در برابر خوردگی و خواص مکانیکی بهبود یافته، همگی به محبوبیت آن در بخش ساخت و ساز کمک می‌کند.

افزایش قیمت و عدم آگاهی از بتن پلیمری مانع از رشد بازار می‌شود.

هزینه اولیه بالاتر محصول نسبت به مصالح ساختمانی سنتی مانع اصلی رشد بازار است. حتی اگر بتن پلیمری مزایای بلندمدتی مانند دوام، هزینه‌های نگهداری کمتر و کارایی انرژی داشته باشد، هزینه بیشتر آن ممکن است منجر به ترجیح گزینه‌های مقرون به صرفه‌تر شود. در نظر گرفتن هزینه، تقاضای محصول و پتانسیل بازار آن را محدود می‌کند. یکی دیگر از موانع مهم، عدم آگاهی از بتن پلیمری در بین متخصصان ساخت و ساز، معماران، مهندسان و صاحبان پروژه است. اگر ذی‌نفعان با مزایا، ویژگی‌ها و کاربردهای آن آشنا نباشند، تمایل کمتری به تعیین یا انتخاب این بتن برای پروژه‌های ساختمانی دارند. بدون درک کافی، تصمیم‌گیرندگان ترجیح می‌دهند به مواد معمولی که با آن آشنا هستند روی آورند.

با نگاه به مجموع شرایط موجود، برخی از پیش‌بینی‌های کلیدی در خصوص آینده این فناوری‌ها عبارت‌اند از:
■ افزایش استفاده از این فناوری‌ها در پروژه‌های ساختمانی: با توجه به مزایایی که این فناوری‌ها ارائه می‌دهند، انتظار می‌رود که استفاده از آن‌ها در پروژه‌های ساختمانی به‌طور قابل توجهی افزایش یابد. این امر به‌ویژه در مواردی که به بتن با عملکرد بالا نیاز است، مانند ساخت پل‌ها، ساختمان‌های بلندمرتبه و سازه‌های دریایی، صادق خواهد بود.

■ معرفی محصولات جدید و نوآورانه: تحقیق و توسعه در زمینه فناوری‌های بتن‌های سیمانی اصلاح شده با پلیمر و نانو ذرات همچنان ادامه دارد و انتظار می‌رود که محصولات جدید و نوآورانه‌ای در این حوزه معرفی شوند. این محصولات می‌توانند شامل بتن‌هایی با قابلیت خودترمیمی، بتن‌هایی با حسگرهای داخلی و بتن‌هایی با قابلیت چاپ سه بعدی باشند.

■ کاهش هزینه‌ها: با افزایش تولید و تقاضا برای این محصولات، انتظار می‌رود که قیمت آن‌ها به تدریج کاهش یابد. این امر می‌تواند به گسترش استفاده از این فناوری‌ها در طیف وسیع‌تری از پروژه‌های ساختمانی کمک کند.

■ چالش‌های پیش رو: با وجود مزایای متعددی که این فناوری‌ها ارائه می‌دهند، چالش‌هایی نیز در مسیر توسعه و کاربرد آن‌ها وجود دارد. یکی از این چالش‌ها، هزینه نسبتاً بالای این محصولات در مقایسه با بتن‌های سنتی است. چالش دیگر، نیاز به تخصص و دانش فنی برای تولید و استفاده از این نوع بتن است.

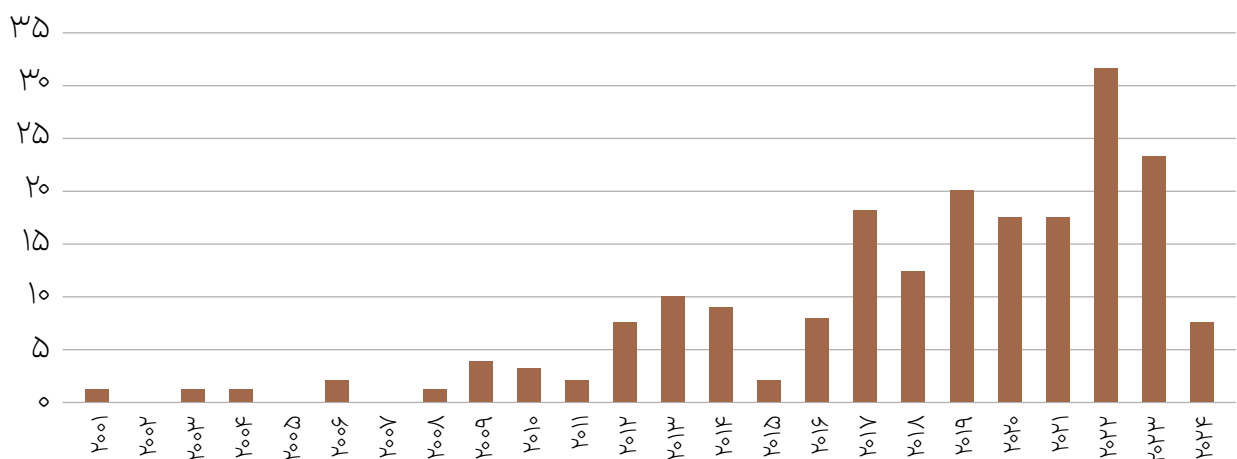
در مجموع، انتظار می‌رود که فناوری تولید بتن‌های سیمانی اصلاح شده با پلیمر یا همان PCC در آینده به‌طور فزاینده‌ای مورد استفاده قرار گیرد و نقشی کلیدی در ارتقای کیفیت و پایداری صنعت ساختمان ایفا کند.

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیت‌های انجام شده در کشور

▣ فعالیت‌های تحقیقاتی (چه تیم‌هایی در کدام نهادها در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ چه مقالاتی در این زمینه منتشر شده است؟ چه پایان‌نامه‌هایی نگارش شده است؟)

همگام با روند تحقیقات و پژوهش‌ها در سطح جهان در حوزه بتن‌های سیمانی اصلاح شده با پلیمرها و نانو ذرات، در ایران نیز مطالعات زیادی به‌ویژه طی یک دهه گذشته انجام شده است که بخشی از فعالیت‌های پژوهشی انجام شده در ادامه ذکر شده است. مطابق با بررسی انجام شده در پایگاه داده مقالات WOS تنها در دو دهه گذشته بیش از ۱۹۸ مقاله ISI توسط نویسندگان و محققین ایرانی (در مواردی با همکاری مؤسسات و پژوهشگرانی در سایر نقاط دنیا) دقیقاً در حوزه بتن‌های سیمانی اصلاح شده با پلیمرها منتشر شده است. چنانکه در نمودار ۱ قابل مشاهده است، روند مطالعات و انتشارات پژوهشگران ایرانی در این حوزه کاملاً صعودی است. در جدول ۱ فهرستی از ۲۲ مقاله منتشر شده از مجموع ۱۹۸ مقاله فوق که دقیقاً در حوزه PCCها بوده‌اند، ارائه شده است.



نمودار ۱: تعداد مقالات ISI منتشر شده توسط پژوهشگران ایرانی در حوزه بتن‌های سیمانی اصلاح شده با پلیمر. منبع WOS.

جدول ۱: تعدادی از مقالات منتشر شده در مجلات ISI توسط محققین ایرانی

Authors	Article Title	Source Title	Affiliations
Tabatabaeian, M; Khaloo, A; Khaloo, H	An innovative high performance pervious concrete with polyester and epoxy resins	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS	Sharif University of Technology
Saboktakin, A; Saboktakin, MR	Improvement of reinforced concrete properties based on modified starch/polybutadiene nano-composites	INTERNATIONAL JOURNAL OF BIO-LOGICAL MACRO-MOLECULES	Islamic Azad University

ادامه جدول ۱: تعدادی از مقالات منتشر شده در مجلات ISI توسط محققین ایرانی

Authors	Article Title	Source Title	Affiliations
Pakravan, HR; Jamshidi, M; Latifi, M	Polymeric fibers pull-out behavior and microstructure as cementitious composites reinforcement	JOURNAL OF THE TEXTILE INSTITUTE	Amirkabir University of Technology; Amirkabir University of Technology; Iran University Science & Technology
Halvaei, M; Jamshidi, M; Latifi, M; Behdooj, Z	Application of Low Modulus Polymeric Fibers as Reinforcement in Engineered Cementitious Composite (ECC)	7TH ASIAN SYMPOSIUM ON POLYMERS IN CONCRETE	Amirkabir University of Technology; Iran University Science & Technology
Halvaei, M; Jamshidi, M; Latifi, M	Application of low modulus polymeric fibers in engineered cementitious composites	JOURNAL OF INDUSTRIAL TEXTILES	Amirkabir University of Technology; Iran University Science & Technology
Halvaei, M; Jamshidi, M; Pakravan, HR; Latifi, M	Interfacial bonding of fine aggregate concrete to low modulus fibers	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS	Amirkabir University of Technology; Iran University Science & Technology
Pakravan, HR; Jamshidi, M; Latifi, M	Investigation on polymeric fibers as reinforcement in cementitious composites: Flexural performance	JOURNAL OF INDUSTRIAL TEXTILES	Amirkabir University of Technology; Iran University Science & Technology
Pourkhorshidi, AR; Abdi, MA; Pakravan, H	Investigation on Latex Modified Concretes Durability Against Chloride Ion Attack	PROCEEDINGS OF THE 6TH ASIAN SYMPOSIUM ON POLYMERS IN CONCRETE	
Halvaei, M; Jamshidi, M; Latifi, M	Investigation on pull-out behavior of different polymeric fibers from fine aggregates concrete	JOURNAL OF INDUSTRIAL TEXTILES	Amirkabir University of Technology; Iran University Science & Technology

ادامه جدول ۱: تعدادی از مقالات منتشر شده در مجلات ISI توسط محققین ایرانی

Authors	Article Title	Source Title	Affiliations
Moodi, F; Kashi, A; Ramezani-pour, AA; Pourebrahimi, M	Investigation on mechanical and durability properties of polymer and latex-modified concretes	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS	Amirkabir University of Technology; Amirkabir University of Technology
Kashi, A; Ramezani-pour, AA; Moodi, F	Effect of cement based coatings on durability enhancement of GFRP-wrapped columns in marine environments	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS	Amirkabir University of Technology; Amirkabir University of Technology
Pakravan, HR; Latifi, M; Jamshidi, M	Hybrid short fiber reinforcement system in concrete: A review	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS	Amirkabir University of Technology; Iran University Science & Technology
Lezgy-Nazargah, M; Saeidi-Aminabadi, S; Yousefzadeh, MA	Design and fabrication of a new fiber-cement-piezoelectric composite sensor for measurement of inner stress in concrete structures	ARCHIVES OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING	Islamic Azad University
Maghsoodloord, H; Khalili, H; Allahverdi, A	Alkali-Activated Phosphorous Slag Performance under Different Curing Conditions: Compressive Strength, Hydration Products, and Micro-structure	JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING	Iran University Science & Technology; Iran University Science & Technology; Iran University Science & Technology; Iran University Science & Technology
Halvaei, M; Jamshidi, M; Latifi, M	Strength properties of fine aggregate concretes reinforced by polyamide fibers	JOURNAL OF INDUSTRIAL TEXTILES	Amirkabir University of Technology; Amirkabir University of Technology; Iran University Science & Technology

ادامه جدول ۱: تعدادی از مقالات منتشر شده در مجلات ISI توسط محققین ایرانی

Authors	Article Title	Source Title	Affiliations
Nematzadeh, M; Nazari, A; Tayebi, M	Post-fire impact behavior and durability of steel fiber-reinforced concrete containing blended cement-zeolite and recycled nylon granules as partial aggregate replacement	ARCHIVES OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING	University of Mazandaran; Polytechnic University of Milan
Yousefieh, N; Joshaghani, A; Hajibandeh, E; Shekarchi, M	Influence of fibers on drying shrinkage in restrained concrete	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS	University of Tehran; Texas A&M University System; Texas A&M University College Station; Amirkabir University of Technology; University of Tehran
Safaei, B; Davodian, E; Fattahi, AM; Asmael, M	Calcium carbonate nanoparticles effects on cement plaster properties	MICROSYSTEM TECHNOLOGIES-MICRO-AND NANOSYSTEMS-INFORMATION STORAGE AND PROCESSING SYSTEMS	Eastern Mediterranean University; Islamic Azad University
Min, J; Zandi, Y; Agdas, AS; Majdi, A; Ali, HE; Jan, A; Salameh, AA; Ebid, AAK	The Numerical Analysis of Replenishment of Hydrogel Void Space Concrete Using Hydrogels Containing Nano-Silica Particles through ELM-ANFIS	GELS	Chongqing Vocational Institute of Engineering; Islamic Azad University; Al-Mustaqbal University College; King Khalid University; King Khalid University; Egyptian Knowledge Bank (EKB); Zagazig University; Prince Sattam Bin Abdulaziz University; Egyptian Knowledge Bank (EKB); Future University in Egypt

ادامه جدول ۱: تعدادی از مقالات منتشر شده در مجلات ISI توسط محققین ایرانی

Authors	Article Title	Source Title	Affiliations
Yalghouzaghaj, MN; Sarkar, A; Hamed, GH; Hayati, P	Evaluation of the Effect of UHMWPE on the Low-Temperature Cracking of Hot-Mix Asphalt	JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING	Islamic Azad University; University of Guilan
Halvaei, M; Jamshidi, M; Latifi, M; Behdoui, Z	Performance of Low modulus Fibers in Engineered Cementitious Composites (ECCs): Flexural Strength and Pull out resistance	PROGRESS IN POLYMERS IN CONCRETE	Amirkabir University of Technology; Iran University Science & Technology
Torkan, A; Hejazi, SM; Abtahi, SM; Shayannejad, M	Design and fabrication of fibrous media to facilitate autogenous smart self-healing properties in cracked-cementitious structures using polyethylene glycol (PEG) and silicon dioxide nanoparticles	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS	Isfahan University of Technology; Isfahan University of Technology; Isfahan University of Technology

علاوه بر مقالات، در زمینه پایان نامه‌ها نیز مطالعات متعددی طی سال‌های گذشته در داخل کشور انجام شده است، که در جدول ۲ به برخی از آن‌ها اشاره شده است.

جدول ۲: تعدادی از پایان نامه‌های مربوط به سیمان‌های اصلاح شده پلیمری در کشور

ردیف	نگارندگان	دانشگاه / موسسه	نوع تحقیق	عنوان تحقیق
۱	رقیه قشلاقی	دانشگاه تبریز	پایان نامه کارشناسی ارشد	فرمولاسیون بتن پلیمری بر پایه پلی استر و ملات اصلاح شده با پلیمر و بهینه سازی خواص مکانیکی

جدول ۲: تعدادی از پایان‌نامه‌های مربوط به سیمان‌های اصلاح شده پلیمری در کشور

ردیف	نگارندگان	دانشگاه/موسسه	نوع تحقیق	عنوان تحقیق
۲	زهرا بحرانی فرد	دانشگاه شیراز	پایان‌نامه کارشناسی ارشد	بررسی آزمایشگاهی خواص مکانیکی بتن اصلاح شده با استفاده از مواد پلیمری
۳	رضا کهنی خشک بیجاری	دانشگاه گیلان	رساله دکترای تخصصی (PhD)	تعیین دوام و چسبندگی بتن‌های پلیمری و پلیمری اصلاح شده به عنوان لایه تعمیراتی بر بستر بتنی

❑ فعالیت‌های توسعه محصول و تجاری‌سازی

کارخانه پرین بتن واقع در شهر مشهد و کارخانه پارس بتن واقع در شهر ورامین تولیداتی در زمینه بتن اصلاح شده با پلیمر داشته‌اند.

❑ فعالیت‌های سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری

به نظر می‌رسد در کشور تاکنون فعالیتی در این زمینه انجام نشده است.

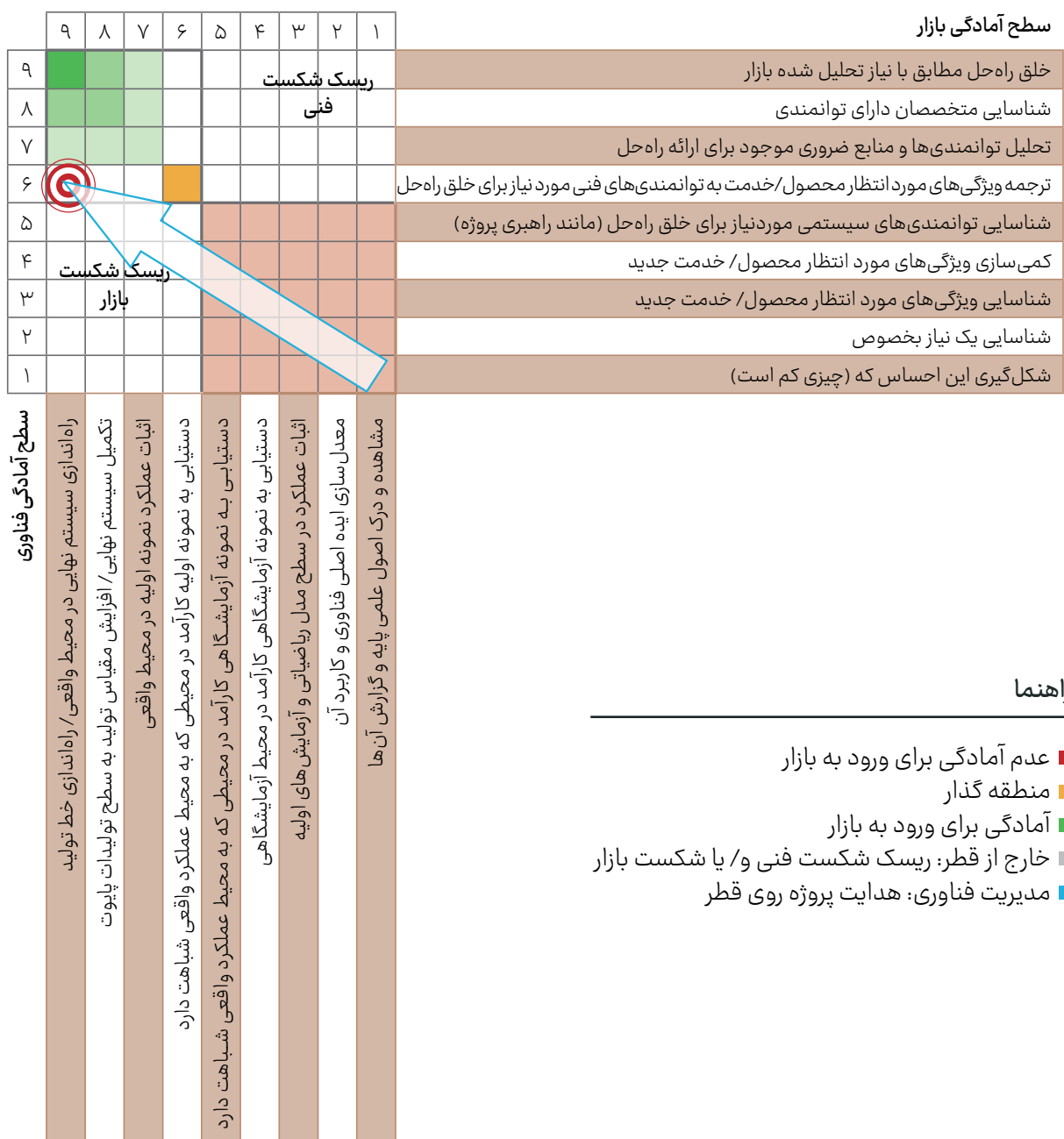
۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

بخشی از کاربردهای این فناوری شامل موارد زیر است:

- رگلاژ سطوح بتنی زیر کف‌سازی‌ها
- روکش پل‌ها و جاده‌ها
- ساخت سرریزهای سد و دیوار آب‌بند سدها
- سازه‌های محیط‌های دریایی و زیرآب
- ساخت مخازن نگهداری مواد شیمیایی
- دیواره تونل‌ها
- ساخت سازه‌های زیرزمینی مثل فاضلاب‌های صنعتی
- تولید پانل‌های مصنوعی و تزئینی در فضاهای مسکونی و اداری مانند سنگ مرمر مصنوعی انیکس پلیمری گرانیات مصنوعی

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

سطح آمادگی فناوری (TRL) با توجه به تنوع بتن‌های اصلاح شده با پلیمر تولید شده توسط شرکت‌ها در حد بالا و برابر ۹ است. و سطح آمادگی بازار (MRL) در دامنه ۶ است.



۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور

بتن پلیمری، محصولی مشابه بتن اصلاح شده با پلیمر است. بتن پلیمری تشکیل شده از سنگ دانه ها و پلیمرهای چسباننده بدون حضور سیمان و آب آزاد است. پلی استر - استایرن، آکریلیک ها و اپوکسی ها، مونومرهای هستند که بیشترین استفاده را دارند. اما از وینل استر، فوران و اوره نیز استفاده می شود. کاربرد در ساخت قطعات بتنی پیش ساخته، و سیستم های نصب قطعات پیش ساخته از جمله مزیت های بتن پلیمری است.

۵- میزان سرمایه گذاری مورد نیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه سازی (TRL6) و همچنین برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

به طور دقیق مشخص نیست.

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی: وجود دارد
- زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی: وجود دارد
- زیرساخت تولید: وجود دارد
- آزمایشگاه مرجع: وجود دارد
- منابع مالی: وجود دارد
- توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری: وجود دارد
- زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش: وجود دارد

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ **پیشران‌ها و چالش‌های فنی**
وجود زیرساخت‌های تحقیق و توسعه در آزمایشگاه‌های تخصصی بتن و دانشگاه‌ها و کارخانه‌های متعدد از پیشران‌های فنی ساختن بتن سیمانی اصلاح شده در ایران است.

□ **پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی**
کاهش زمان ساخت‌وساز، افزایش عمر سازه و کاهش هزینه‌های نگهداری، استهلاک در استفاده از بتن‌های سیمانی اصلاح شده با پلیمر از نظر اقتصادی حائز اهمیت است.

□ **پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا**
تقاضای جهانی برای PCC به دلیل مزایای آن در حال افزایش است. این امر می‌تواند فرصت‌های فروش داخلی و صادراتی برای تولیدکنندگان ایرانی PCC ایجاد کند.

□ **پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)**
مشابه بخش بین‌الملل است.

□ **پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)**
مشابه بخش بین‌الملل است.

۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

در چند کارخانه بتن ایرانی، بر روی بتن‌های اصلاح شده با پلیمر کار شده است. بازار داخلی برای این فناوری، به‌طور عمده صنعت راه و ساختمان، ساخت سازه‌های زیرزمینی مثل فاضلاب‌های صنعتی و سازه‌های محیط‌های دریایی و زیرآب است.

۳-۹- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

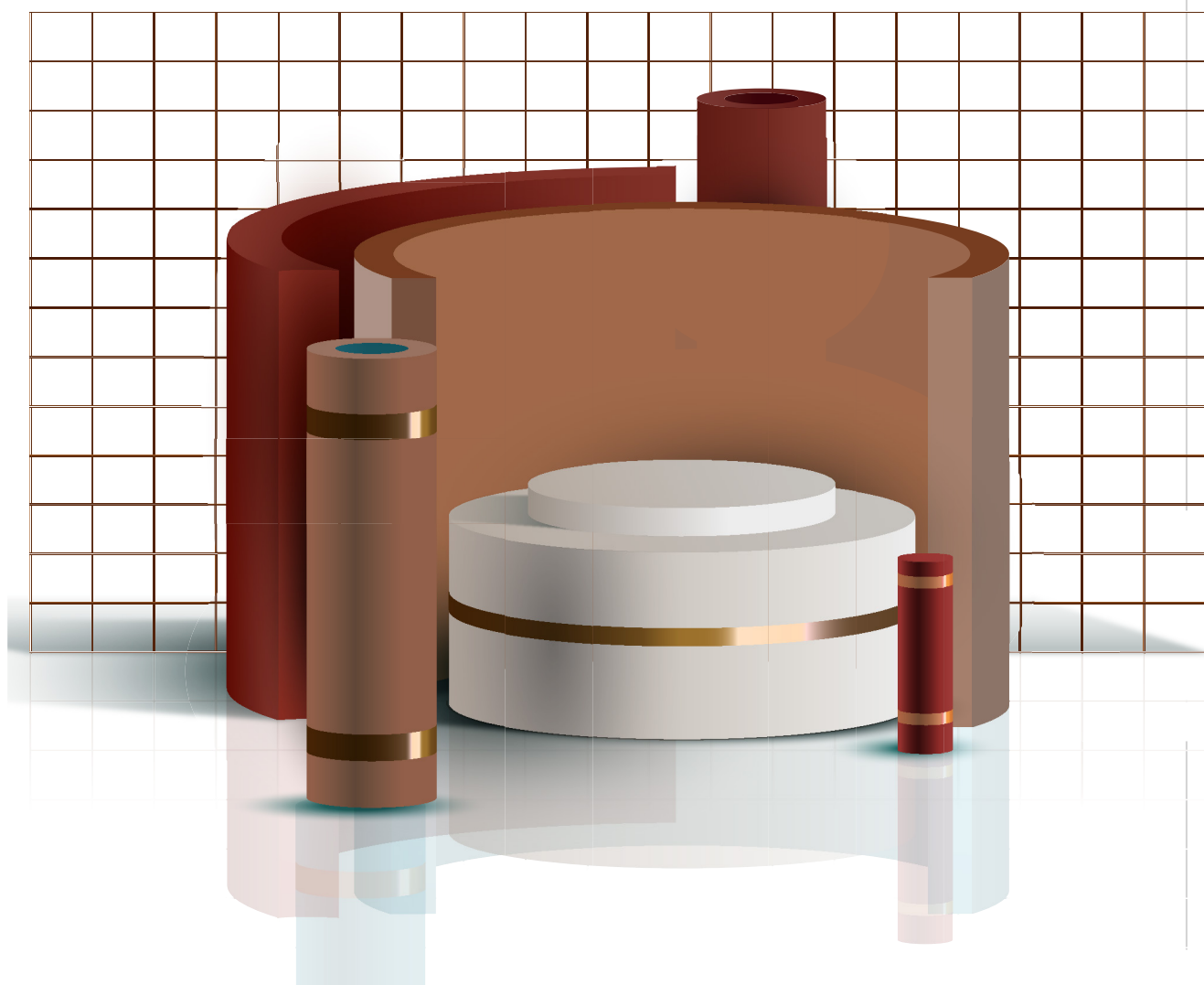
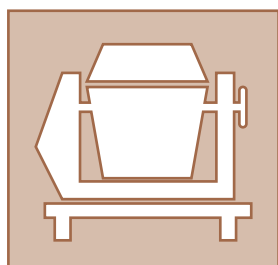
با توجه به اینکه کشورهای در حال توسعه در سراسر جهان در حال سرمایه‌گذاری در پروژه‌های ساختمانی و زیربنایی هستند، این کشورها می‌توانند بازار بالقوه‌ای برای PCC ایران باشند. ایران می‌تواند PCC را به کشورهای همسایه مانند عراق، ترکیه، افغانستان و کشورهای حوزه خلیج فارس صادر کند. این کشورها تقاضای زیادی برای مصالح ساختمانی دارند و PCC می‌تواند جایگزینی مناسب برای بتن‌های سنتی باشد.

۳-۱۰- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

روندی از جمله پیشرفت‌های فناوری در زمینه‌هایی مانند نانوتکنولوژی و مواد مرکب می‌تواند منجر به توسعه انواع جدیدی از PCC با عملکردهای پیشرفته‌تر شود. این امر می‌تواند به PCC ایرانی در رقابت در بازارهای جهانی کمک کند. همچنین، توسعه پروژه‌های زیربنایی در ایران می‌تواند تقاضا برای PCC را افزایش دهد، زیرا این نوع بتن برای ساخت و ساز پل‌ها، جاده‌ها، تونل‌ها و سایر سازه‌های زیربنایی مناسب است. به‌طور کلی، چشم‌انداز فناوری تولید PCC در ایران مثبت است. با افزایش تقاضا برای این محصول در داخل و خارج از کشور، انتظار می‌رود که تولیدکنندگان ایرانی به سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، ارتقای فناوری‌های تولید و توسعه محصولات جدید با عملکردهای پیشرفته‌تر ادامه دهند.

منابع

- ۱- <https://webofknowledge.com/>
- ۲- <https://parsbetonvaramin.com/>
- ۳- <https://www.fortunebusinessinsights.com/polymer-concrete-market->
- ۴- <https://www.fosroc.com/>
- ۵- <https://www.litecast.co.uk/>
- ۶- <https://www.mcpolymers.com/>
- ۷- <http://www.parinbeton.com/>
- ۸- <https://clinicbeton.com/articles-concrete>



۲۱



بتن آسفالتی مقاوم در برابرشیارشدگی

www.nano.ir



توصیف عمومی فناوری

۱-۱- ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

شیار شدن یا تغییر شکل دائمی، یکی از آسیب‌های مهم در روسازی جاده انعطاف‌پذیر است که می‌تواند در لایه آسفالت، در لایه‌های زیرین و یا در هر دو رخ دهد. تغییر شکل دائمی به صورت فرورفتگی طولی در مسیر چرخ ظاهر می‌شود. عملکرد شیار به شدت به ترافیک و شرایط آب‌وهوایی مانند دماهای بالا، تراکم ترافیک، ترافیک کند و بارهای سنگین بستگی دارد. دو نوع عمده تغییر شکل دائمی وجود دارد: تغییر شکل در لایه‌های زیرین و تغییر شکل ناشی از پایداری ناکافی مخلوط. اولین نوع تغییر شکل دائمی به عنوان شکست شیارهای سازه‌ای شناخته می‌شود که در آن کل سازه روسازی به دلیل زیرسازی ضعیف یا لایه‌های زیرین تغییر شکل می‌دهد. از سوی دیگر، شکل دوم تغییر شکل دائمی ناشی از مقاومت برشی کم مخلوط‌های آسفالتی است که منجر به تجمع کرنش غیرقابل جبران از بار چرخ می‌شود. عوامل متعددی بر مقاومت شیارشدگی^۱ و عملکرد روسازی آسفالتی تأثیر می‌گذارند که شامل خواص مواد، شرایط آب‌وهوایی، حجم و تراکم ترافیک، بارهای سنگین و نوع محور، سرعت ترافیک و کیفیت ساخت‌وساز و مواد مخلوط می‌شود. به طور کلی، این عوامل را می‌توان به سه دسته دسته‌بندی کرد: (۱) خواص مواد، از جمله خواص چسب، محتوای چسب، فضای خالی هوایی، خواص سنگدانه، ساختار داخلی، و اسکلت. (۲) آب‌وهوا و ترافیک؛ و (۳) کیفیت ساخت‌وساز.



شکل ۱- شیارشدگی در سطح آسفالت

در شکل ۱ نمونه‌ای از خرابی شیارشدگی در سطح آسفالت مشاهده می‌شود. مشکلات متعددی مربوط به سرویس، مشکلات اجتماعی و ساختاری مانند هیدرو پلنینگ، پاشش آب و نفوذ آب^۲ با تغییر شکل دائمی آسفالت مرتبط هستند. در نتیجه، شیاربندی نه تنها طول عمر روسازی را کاهش می‌دهد، بلکه تهدیدی برای عملکرد ایمنی روسازی آسفالت محسوب می‌شود. به طوری که در چین، تقریباً ۸۰٪ تعمیر و نگهداری روسازی آسفالت مربوط به شیار شدن است. بنابراین به منظور جلوگیری یا به تأخیر انداختن زمان ظهور این نوع از خرابی، محققان از روش‌های مختلفی استفاده می‌کنند.

یکی از روش‌های مورد استفاده در زمینه بهبود خواص مخلوط‌های آسفالتی، استفاده از مواد افزودنی به مخلوط‌های آسفالتی است. از افزودنی‌های مورد استفاده که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است می‌توان به مواد نانو اشاره کرد که به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فردی که دارند بسیار مورد استقبال قرار گرفته‌اند. کاهش سرعت شیارشدگی بتن آسفالتی با استفاده از نانو فناوری با استفاده از رویکردهای مختلفی مانند افزایش ذرات نانو به عنوان افزودنی به قیر و استفاده از کامپوزیت‌هایی مانند SBS/نانو رس به عنوان اصلاح‌کننده بایندر آسفالت است.

۱-۲- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

شیار شدن معمولاً به شکل فرورفتگی سطحی در مسیر چرخ‌ها ظاهر می‌شود. به‌ویژه در تقاطع‌ها و ایستگاه‌های اتوبوس جاده‌های شهری، بارگذاری افقی ناشی از اصطکاک لاستیک و روسازی در هنگام ترمزگیری مکرر خودرو و اقدامات شتاب‌دهنده اغلب باعث تنش برشی و کرنش بزرگ در سازه روسازی می‌شود. همچنین در بخش‌های طولانی و شیب‌دار بزرگراه‌ها، شیارها بر اساس اصل برهم‌نهی دما-زمان به آسانی ایجاد می‌شوند. به طور کلی کاربرد اصلی این محصول در شرایط تراکم ترافیک، بارهای سنگین، ترافیک کند و دماهای بالا است.

۱. Rutting Resistance
۲. water intrusion

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه براساس این فناوری

افزودنی‌های ضدشیارشدگی در مقیاس چند میلی‌متری که تجاری شده‌اند و در بازار موجود هستند. افزودنی‌های ضدشیارشدگی در مقیاس نانو که در حال توسعه هستند.

۱-۴- مزیت (های) کلیدی این فناوری

(کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و...)

نانومواد به طور گسترده‌ای برای بهبود عملکرد چسب آسفالت به دلیل سطح ویژه بزرگ، انرژی آزاد سطح بالا و توانایی پراکندگی خوب استفاده می‌شوند. به طور کلی، نانومواد می‌توانند عملکرد مخلوط آسفالتی را با بهبود بالقوه یک یا برخی از خواص مخلوط آسفالتی از جمله چسبندگی بین بایندر آسفالت و سنگدانه‌ها، انسجام بایندر آسفالت، مقاومت در برابر ترک، مقاومت در برابر رطوبت، عملکرد کورس سایش و پیوند رابط لایه را بهبود بخشند. به عنوان مثال، افزودن نانو TiO_2 و Nano-SiO_2 خواص رئولوژیکی آسفالت را بهبود می‌بخشد و باعث افزایش چقرمگی و ویسکوزیته می‌شود و در عین حال درجه نفوذپذیری را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، مقاومت شیارشدگی و عمر خستگی آسفالت بهبود پیدا می‌کند. افزودن نانو اکسید گرافن به قیر خالص، ویسکوزیته، وزن مخصوص و نقطه نرمی را افزایش داده و نفوذ و شکل‌پذیری قیر خالص را کاهش می‌دهد.

همچنین برخی از نانو مواد مانند نانو رس به عنوان یکی از نانومواد محبوب در صنعت روسازی به شمار می‌رود و به دلایل مختلف از جمله امکان تولید آسان، تأثیرگذاری مناسب در مقادیر کم و هزینه تولید پایین، خواص بایندره‌ای اصلاح شده را بهبود می‌بخشد.

۱-۵- نانوذرات بهره گرفته شده در این فناوری

(از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

گرافن، کامپوزیت‌های SBS/نانو رس، نانو سیلیس، نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم، نانو کربنات کلسیم، نانو خاک رس، نانوذرات اکسید منیزیم، نانواکسید مس، نانواکسید روی، نانوذرات تیتانیوم اکسی دی فلوئوراید، نانواکسید آهن و غیره.

۱-۶- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

از تولید نانوذرات اولیه تا تولید محصول میانی تا تولید محصول نهایی و به کارگیری محصول جزء زنجیره ارزش این فناوری است.

۱-۷- فناوری‌های رقیب

(از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

برای کاهش تغییر شکل دائمی روسازی‌های آسفالتی، روش‌ها را می‌توان به چهار دسته تقسیم کرد: فناوری‌های مبتنی بر بایندر و روش‌های بهبود مخلوط، روش‌های مبتنی بر سنگدانه، تکنیک‌های مبتنی بر ساختار و روش‌های خنک‌سازی. فناوری‌های مبتنی بر بایندر و روش‌های بهبود مخلوط؛ در مورد چسب آسفالت، خواص چسب آسفالت در عملکرد تغییر شکل دائمی روسازی‌های آسفالت، حدود ۴۰ درصد نقش دارد. به منظور کاهش شیار در روسازی آسفالت، بهبود خواص رئولوژیکی چسب آسفالت مورد نظر است. ابزار معمولی برای بهبود خواص رئولوژیکی در دمای بالا شامل افزودن اصلاح‌کننده‌های مختلف به چسب آسفالت پایه مانند کوپلیمر اتیلن، استایرن-بوتادین-استایرن (SBS)، اصلاح‌کننده مدول بالا و غیره است. علاوه بر این، طیف گسترده‌ای از افزودنی‌ها برای بهبود عملکرد ضدشیارشدن چسب‌های آسفالت مانند افزودنی‌های ضدشیار شدن، رزین اپوکسی، خرده لاستیک و غیره استفاده می‌شوند.

استفاده از نانو مواد نیز در این دسته قرار دارد. علاوه بر این، برخی از اصلاح‌کننده‌های کامپوزیتی و عوامل ضدزنگ‌زدگی، پلی‌اتیلن و غیره استفاده می‌شوند. کامپوزیت‌های نانویی مانند کامپوزیت SBS/نانو رس در این دسته جای می‌گیرند. در مورد روش‌های مبتنی بر بهبود مخلوط، چسب آسفالت استخراج‌شده از روسازی آسفالت احیا شده (RAP) دارای

ویسکوزیته بالاتر از ویسکوزیته سنتی است. در نتیجه، برای افزایش مقاومت شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی، RAP به مخلوط بتن آسفالتی اضافه می‌شود. به علاوه، انواع مختلفی از ضایعات و پودرها مانند خاکستر، خاکستر کف سوزاندن زباله شهری، زباله آجر، توف زئولیت، زباله تخریب ساختمان، پودر زباله شیشه، پودر ضایعات زغال سنگ و برنج خاکستر پوخته به عنوان جایگزینی برای سنگدانه‌ها یا پرکننده‌های معدنی در مخلوط‌های بتن آسفالتی اضافه می‌شوند که در صورت استفاده از آن در یک محدوده خاص، مقاومت شیارشدگی بالاتری نسبت به مخلوط کنترل نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که اکثر فن‌آوری‌های ذکر شده قبلی برای افزایش مقاومت شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی در نوع مخلوط آسفالت گرم (HMA) قرار می‌گیرند.

روش‌های مبتنی بر سنگدانه؛ یکی از راه‌های کاهش کرنش برشی بیش از حد و افزایش مقاومت شیارشدگی مخلوط‌های بتن آسفالتی، بهینه‌سازی، درجه‌بندی و خواص سنگ‌دانه‌ها است. استفاده از یک درجه‌بندی متراکم و اندازه سنگدانه بزرگ‌تر، تنش‌های برشی را به میزان قابل توجهی از بین برده و منجر به مقاومت برشی بالاتر می‌شود.

تکنیک‌های بهینه‌سازی مبتنی بر ساختار مانند استفاده از مواد ژئوسنتتیک یا ورق‌هایی که در پایین لایه آسفالت یا بین روکش‌های آسفالت قرار می‌گیرند، ظرفیت باربری و سختی سازه روسازی را افزایش می‌دهند و کرنش برشی و در نتیجه تغییر شکل دائمی را کاهش می‌دهند. علاوه بر این، استفاده از روسازی‌های نیمه انعطاف‌پذیر که از مخلوط آسفالتی با ۲۰ تا ۳۵ درصد فضای خالی هوا پر شده با دوغاب سیمان تشکیل شده است، عملکرد مکانیکی مخلوط را افزایش می‌دهد و در نتیجه مقاومت شیاردار شدن آن را افزایش می‌دهد.

روش‌های خنک‌کننده؛ هدف از استفاده از اقدامات خنک‌کننده و تنظیم حرارتی در روسازی‌های آسفالتی، کاهش ایجاد دیسترس شیارشدگی است. سه دسته از اقدامات خنک‌کننده برای کاهش تجمع گرما در روسازی‌های انعطاف‌پذیر استفاده شده است که عبارت‌اند از: مواد منعکس‌کننده گرما و مقاوم در برابر حرارت، مواد تغییر فاز و روسازی کلکتور انرژی خورشیدی، و آسفالت نفوذپذیر و نگهدارنده آب. دسته اول از اقدامات خنک‌کننده برای کاهش جذب خورشیدی روسازی‌های انعطاف‌پذیر استفاده می‌شود در حالی که دسته دوم برای جذب انبساط گرما و دسته سوم برای تخلیه تجمع گرما با تبخیر آب استفاده می‌شود. اگرچه این اقدامات اثرات خنک‌کنندگی زیادی دارند، برخی از این روش‌ها را نمی‌توان برای کاهش تغییر شکل دائمی استفاده کرد. در واقع، مواد تغییر فاز تأثیر منفی بر عملکرد مکانیکی روسازی‌های آسفالتی دارند. علاوه بر این، مواد جمع‌کننده انرژی توزیع تنش را در روسازی آسفالتی تغییر می‌دهند که خود باعث افزایش احتمال تغییر شکل دائمی می‌شود.

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

سنتز نانوذرات و کامپوزیت‌های نانویی مورد استفاده

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

می‌تواند فرصت‌های تحقیقاتی زیادی را در حوزه‌های مرتبط از تولید نانوذرات اولیه تا تولید محصول میانی تا تولید محصول نهایی و به کارگیری محصول فراهم آورد.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی

(آیا این اثر/ فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

مشکلات متعددی مربوط به سرویس، مشکلات اجتماعی و ساختاری مانند هیدرو پلنینگ، پاشش آب و نفوذ آب با تغییر شکل دائمی آسفالت مرتبط هستند. هیدرو پلنینگ معمولاً که به عنوان «آب پلنینگ» نیز شناخته می‌شود، به لغزش لاستیک خودرو هنگام حرکت روی سطح خیس اشاره دارد. همچنین هنگامی که آب در شیارها جمع می‌شود، نفوذ آب به ساختار روسازی می‌تواند روسازی را بیشتر خراب کند. در نتیجه، شیار شدگی نه تنها طول عمر روسازی را کاهش می‌دهد، بلکه تهدیدی برای عملکرد ایمنی روسازی آسفالت محسوب می‌شود. شیارهای جدی ایمنی ترافیک را تحت تأثیر قرار می‌دهند و منجر به تصادفات رانندگی می‌شوند.

تحلیل بین‌المللی

۱-۲- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

■ بازیگران در حوزه R&D

در زمینه افزایش مقاومت شیار شدگی انواع آسفالت، تعداد پژوهش‌ها بسیار زیاد است. اما وقتی جستجوها محدود به بتن آسفالتی و فناوری نانو می‌شود، تعداد اسناد کاهش چشمگیری پیدا می‌کند. جستجوی اسناد تحقیقاتی با استفاده از پایگاه داده اسکوپوس و با استفاده از کلیدواژه‌های "Rutting Resistance" و "Nano" و "Asphalt concrete" در سه قسمت عنوان، چکیده و کلیدواژه در متن کامل اسناد انجام شد و در مجموع ۱۳۴ سند (منظور اسناد غیر پتنتی شامل مقالات ژورنالی و کنفرانسی، کتب و غیره است) پیدا شد. با توجه به رتبه دوم ایران از نظر تعداد اسناد منتشر شده، بدیهی است که پژوهشگران ایرانی جزو بازیگران مهم در حوزه R&D باشند.

■ بازیگران صنعتی/تجاری در مراحل مختلف زنجیره ارزش

■ بازیگران صنعتی/تجاری در مرحله سنتز نانوساختارها؛

شرکت OCSiA تولیدکننده نانولوله‌های گرافنی TUBALL

ProNano LLC تولیدکننده نانوسیلیکا با کاربرد در روسازی‌های آسفالتی با همکاری GoNano

■ بازیگران صنعتی/تجاری در مرحله تولید اجزای مختلف آسفالت؛

■ بازیگران صنعتی/تجاری در صنعت آسفالت؛

شرکت روسی گروه اکو (ECO Group) در سال ۲۰۲۰، قیر جاده اصلاح‌شده با نانولوله‌های گرافنی TUBALL، تولیدشده توسط شرکت OCSiA را با موفقیت مورد آزمایش قرار داده است. وزارت حمل‌ونقل فدراسیون روسیه این فرمولاسیون را نویدبخش دانسته و در نتیجه اجازه داد که بخش آزمایشی آسفالت جاده با نانولوله بر روی بزرگراه فدرال M-4 Don انجام شود.

بتن‌های آسفالت حاوی قیر با نانولوله‌های TUBALL، بهبود ۶۷٪ در مقاومت شیار شدگی را نشان داده است. نانولوله‌ها با استفاده از مواد چسبنده وارد قیر می‌شوند و قیر اصلاح شده به بتن آسفالت اضافه می‌شود. نانولوله‌ها خواص قیر جاده را حتی در غلظت‌های بسیار کم، از ۰٫۰۲۵٪ تا ۰٫۰۳۵٪ در وزن کل قیر بهبود می‌بخشند، در حالی که محتوای خود قیر در بتن آسفالتی از ۶٪ تجاوز نمی‌کند.

■ نهادهای سیاست‌گذار و نهادهای تنظیم مقررات در سطح بین‌المللی

استانداردهای زیادی برای اندازه‌گیری عمق شیار و مقاومت در برابر شیار شدگی ارائه شده است. از جمله انجمن آزمایش مواد آمریکا (ASTM)، استاندارد (ASTM E1703/E1703M-10) را که مربوط به روش تست استاندارد برای اندازه‌گیری عمق شیار سطوح روسازی است، ارائه کرده است. همچنین استاندارد ASTM D8292-20 مربوط به روش تست استاندارد برای رفتار تغییر شکل دائمی و مقاومت شیارشدگی مخلوط آسفالت فشرده در تست ردیاب چرخ بارگذاری شده اصلاح شده با استفاده از فشار محدود کنترل شده است.

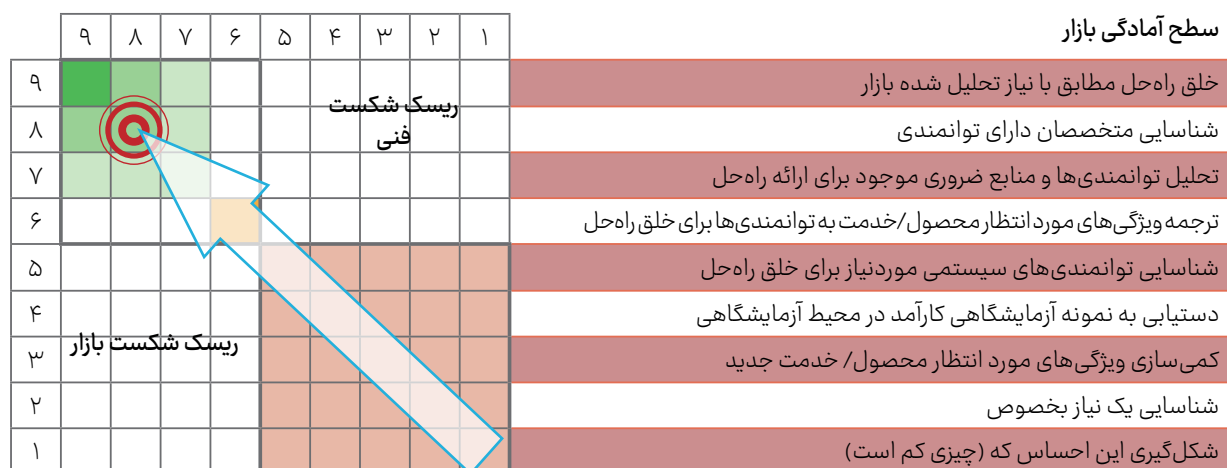
این روش آزمون رفتار تغییر شکل دائمی و مقاومت شیارشدگی یک نمونه مخلوط آسفالتی را اندازه‌گیری می‌کند. این استاندارد بین‌المللی مطابق با اصول شناخته‌شده بین‌المللی در مورد استانداردسازی تدوین شده است که در تصمیم در مورد اصول توسعه استانداردهای بین‌المللی، راهنماها و توصیه‌های صادر شده توسط کمیته موانع فنی تجارت (TBT) سازمان تجارت جهانی ایجاد شده است.

استاندارد ASTM D8360-22، روش آزمون استاندارد برای تعیین شاخص تحمل شیار مخلوط آسفالت با استفاده از آزمون شیار شدگی ایده آل است. آزمون شیار شدگی ایده آل (IRT) برای تعیین مقاومت شیارشدگی مخلوط آسفالت در دمای بالا در محدوده 50 ± 15 درجه سانتی‌گراد، بسته به آب‌وهوای محلی استفاده می‌شود. مؤسسه استانداردهای انگلیس (BSI) نیز استاندارد BS-DD226 را با عنوان «روشی برای تعیین مقاومت در برابر تغییر شکل دائمی مخلوط‌های قیری در معرض بارگذاری دینامیکی نامحدود» در سال ۱۹۹۶ منتشر کرده است. همچنین در استاندارد ISSA به شماره TB

A143 استفاده از آزمایش بارگذاری چرخ برای ارزیابی مقاومت مخلوط در برابر شیارشدگی مشخص شده است. در بخشنامه‌هایی که توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور تهیه و تدوین شده است از استاندارد AASHTO-T324 برای ارزیابی شیار شدگی مخلوط‌های آسفالتی استفاده شده است.

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

با توجه به فعالیت‌های انجام شده در این حوزه، در خارج از کشور سطح آمادگی فناوری (TRL) برابر ۸ و سطح آمادگی بازار (MRL) برابر ۸ است.



راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

سطح آمادگی فناوری

مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی
تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت
راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/راه اندازی خط تولید

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر

در مرحله رشد قرار دارد.

۴-۲- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش روی فناوری

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

پیشران‌های فنی؛ نانومواد به‌طور گسترده‌ای برای بهبود عملکرد چسب آسفالت به دلیل سطح ویژه بزرگ، انرژی آزاد سطح بالا و توانایی پراکندگی خوب استفاده می‌شوند. به‌طور کلی نانومواد می‌توانند عملکرد مخلوط آسفالتی را با بهبود بالقوه یک یا برخی از خواص مخلوط آسفالتی از جمله چسبندگی بین بایندر آسفالت و سنگدانه‌ها، انسجام بایندر آسفالت، مقاومت در برابر ترک، مقاومت در برابر رطوبت، عملکرد کورس سایش و پیوند رابط لایه را بهبود بخشند. به‌عنوان مثال، افزودن نانو TiO_2 و Nano-SiO_2 خواص رئولوژیکی آسفالت را بهبود می‌بخشد و باعث افزایش چقرمگی و ویسکوزیته می‌شود و در عین حال درجه نفوذپذیری را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، مقاومت شیارشدگی و عمر خستگی آسفالت بهبود پیدا می‌کند. افزودن نانو اکسید گرافن به قیر خالص، ویسکوزیته، وزن مخصوص و نقطه نرمی را افزایش داده و نفوذ و شکل‌پذیری قیر خالص را کاهش می‌دهد.

همچنین برخی از نانومواد مانند نانورس به‌عنوان یکی از نانومواد محبوب در صنعت روسازی به شمار می‌رود و به دلایل مختلف از جمله امکان تولید آسان، تأثیرگذاری مناسب در مقادیر کم و هزینه تولید پایین، خواص بایندرهای اصلاح شده را بهبود می‌بخشد.

چالش‌های فنی؛ در اختلاط نانو مواد با قیر، مهم‌ترین نگرانی انتشار همگن و یکنواخت ماده نانو در قیر است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

پیشران‌ها؛ کاهش خسارات ناشی از تصادفات به خاطر پدیده هیدروپلنینگ - افزایش طول عمر روسازی - کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری آسفالت.

چالش‌های اقتصادی؛ قیمت نانومواد یکی از چالش‌های اقتصادی موجود است. به همین دلیل برخی از نانومواد مانند نانورس به خاطر امکان تولید آسان، تأثیرگذاری مناسب در مقادیر کم و هزینه تولید پایین مورد توجه هستند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

پیشران‌ها؛ شیارهای بزرگ، ایمنی ترافیک را تحت تأثیر قرار می‌دهند و منجر به تصادفات رانندگی می‌شوند. پدیده هیدروپلنینگ نیز منجر به لغزش لاستیک خودرو و احتمال ایجاد تصادف می‌شود.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

پیشران‌ها؛ کاهش ترافیک، کاهش تصادفات، زیبایی جاده‌ها و مسیرها

۴-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

در بررسی‌های انجام شده اصلاح‌کننده یا افزودنی نانو ساختاری که با هدف کاربرد به‌عنوان عامل ضد شیار شدگی، تجاری‌سازی شده باشد، پیدا نشد. با این حال چندین شرکت، افزودنی‌هایی در مقیاس میلی‌متری با کاربرد افزایش مقاومت آسفالت (از جمله آسفالت بتنی) در برابر شیار شدگی تولید و در بازار به فروش می‌رسانند. این شرکت‌ها و محصول مرتبط در ادامه معرفی می‌شوند.

□ شرکت ساسول

Sasobit برند معروف شرکت ساسول واقع در آفریقای جنوبی، از مشتقات زغال سنگ و یک هیدروکربن آلیفاتیک است. این ماده دارای دمای ذوب بین ۷۰ تا ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد بوده و محلول همگن با قیر است (شکل ۲). ساسوبیت به دو شکل



فیزیکی قرص مانند (قطر ۴ میلی‌متر) و پودری (قطر ۱ میلی‌متر) موجود است. ساسوبیت می‌تواند در آسفالت توپکا و بایندر روسازی‌های آسفالتی استفاده شود. محل‌هایی که به صورت ویژه می‌توان از آن استفاده کرد شامل خیابان‌ها، جاده‌ها، بزرگراه‌ها، فرودگاه‌ها، پارکینگ‌های تجاری و صنعتی و راه‌های فرعی و محلی می‌شود. این افزودنی از سال ۱۹۹۷ عرضه شده است و مقاومت در برابر شیار شدگی را افزایش می‌دهد. این محصول توسط شرکت دانش رویان یکتا ماندگار در ایران عرضه می‌شود. شرکت دانش رویان یک شرکت مهندسی است که به صورت تخصصی در

شکل ۲- شکل ظاهری افزودنی Sasobit

زمینه‌های مشاوره و طراحی روسازی‌های بتنی و آسفالتی، تولید، آزمایش و تحقیقات درباره افزودنی‌های بتن و آسفالت فعالیت می‌کند.



□ شرکت چینی Beijing Zhongtian Road Tech Co. Ltd

این شرکت که در زمینه تولید و توسعه افزودنی‌های آسفالت فعالیت می‌کند، یک افزودنی ضد شیارشدگی پلی اتیلنی با قیمت USD\$1000-2500/ton در بازار عرضه می‌کند. روش استفاده این محصول به صورت اختلاط مستقیم با مخلوط آسفالت به میزان ۰/۲ تا ۰/۴ درصد وزنی و کاربرد آن در هر سه لایه زیرین، میانی و بالایی است. اندازه ذرات این افزودنی ۳-۵ میلی‌متر است (شکل ۳).

شکل ۳- افزودنی با مقیاس میلیمتری برای خواص ضدشیارشدگی آسفالت

□ شرکت چینی Go Green Industrial (Shanghai) Co., Ltd

این شرکت در سال ۲۰۰۹ تأسیس شده است و دارای مراکز تحقیق و توسعه درجه یک در استرالیا و شانگهای است. Go Green یک

شرکت گروه تخصصی است که در زمینه تحقیق و توسعه، تولید، فروش و راهنمایی فنی برای سنگفرش جاده‌ها و نگهداری مصالح جدید فعالیت می‌کند. این شرکت یک افزودنی ضد شیارشدگی آسفالت تولید می‌کند که به مخلوط آسفالتی روسازی اضافه می‌شود و عمده‌تاً در لایه‌های میانی و زیرین روسازی راه استفاده می‌شود. لایه میانی به دلیل دمای بالای آن، بیشترین درجه تغییر شکل شیارشدگی را دارد. همچنین می‌تواند بر روی سطح روسازی استفاده شود زیرا بیشترین تنش برشی را دارد و این افزودنی می‌تواند مدول مخلوط آسفالت را به میزان قابل توجهی افزایش دهد و در نتیجه مقاومت شیارشدگی، مقاومت در برابر تغییر شکل در دمای بالا و مقاومت در برابر خستگی را بهبود بخشد. در شکل ۴ و جدول ۱ خواص و مشخصات این محصول مشاهده می‌شود.

جدول ۱- مشخصات افزودنی ضد شیارشدگی شرکت Go Green



NO.	Ingredient	Weight Percentage
1	Polymer	60%-80%
2	cellulose	5%-10%
3	Resin	2%-3%
4	Flexible Adhesive	20%-30%
5	Functional Agent	2%
6	Anti-aging Agent (RD)	0.2%

شکل ۴- افزودنی ضد شیارشدگی شرکت Go Green

□ شرکت چینی Shanghai Roadphalt Asphalt Technology Co., Ltd

این شرکت یک افزودنی کامپوزیتی پلیمری ضدشیارشدگی آسفالت تولید می‌کند. کاربرد این محصول در بزرگراه‌ها، خطوط اتوبوس و فرودگاه‌ها عنوان شده است. این افزودنی با اندازه ذرات کوچک‌تر از ۴ میلی‌متر، دانسیته $1.00-1.09 \text{ g/cm}^3$ ، نقطه نرم شدگی ۱۴۰-۱۳۵ درجه سانتی‌گراد و شاخص ذوب $7-9 \text{ g/10min}$ با قیمت هر تن $2335\$ - 2670\$$ در علی بابا به فروش می‌رسد. شرکت تولیدکننده این محصول در سال ۲۰۰۳ تأسیس شده و در زمینه آسفالت رنگی، آسفالت رنگی سرد، رنگدانه آسفالت و روسازی آسفالت فعالیت می‌کند و علاوه بر بازار داخلی، در کشورهای آمریکای جنوبی و آسیای جنوب شرقی نیز بازار دارد.

□ شرکت چینی Beijing Jiageweiy Road Construction Technology Co., Ltd

محصول دیگری که در علی بابا به فروش می‌رسد، افزودنی ضدشیارشدگی آسفالت است. این محصول با مدول بالا

بر اساس فناوری اصلاح کامپوزیت مواد پلیمری و تحت حمایت پروژه ملی برای افزایش ظرفیت باربری روسازی آسفالت توسعه یافته است. این افزودنی می‌تواند پایداری دینامیکی بتن آسفالت معمولی را به بیش از ۱۰۰۰۰ بار در میلی‌متر برساند و الزامات فنی بتن آسفالت با مدول بالای داخلی و بین‌المللی را برآورده کند. این محصول در بیش از ۵۰ پروژه در بیش از ۱۰ استان و شهرستان اجرا شده است. قیمت این محصول از ۱۰ تا ۹۹ تن، هر تن ۲,۰۹۲\$ و بیش از ۱۰۰ تن، ۱,۳۹۵,۰۰\$ ذکر شده است. کاربردهای این محصول عبارت‌اند از:

- روسازی آسفالت با ترافیک سنگین، ظرفیت باربری روسازی و عمر مفید را تا حد زیادی بهبود می‌بخشد.
- تقاطع‌های جاده‌های شهری، خطوط اتوبوس و ایستگاه‌های پارکینگ و سایر مکان‌های مستعد شیار.
- جاده‌های باری، شیب‌های طولانی، پیشگیری و کنترل شیارهای جاده ماشین‌های سنگین و کامیون و غیره.
- جایگزین فناوری سنتی اصلاح آسفالت SBS می‌شود، شاخص مقاومت در برابر شیار ۲۱ برابر بیشتر است.

□ شرکت ژاپنی TAC

ARA توسط این شرکت تولید می‌شود و به‌طور انحصاری توسط Diamond CMX در فیلیپین توزیع می‌شود. ARA برای جلوگیری از شیار شدن آسفالت ساخته شده است. این یک افزودنی به مخلوط آسفالت است و از چندین ماده پلیمری و عوامل کمکی چندمنظوره تشکیل شده است. در ترکیب با مخلوط آسفالت، ARA به‌طور چشمگیری استحکام پیوند بین سنگدانه‌ها را بهبود می‌بخشد. ARA همچنین مقاومت جریان بسیار خوبی را در محدوده دمای بالا نشان می‌دهد. ARA



را می‌توان در جاده‌های بندری، پل‌ها و فرودگاه‌ها استفاده کرد. محصول را می‌توان برای مدت طولانی در دمای معمولی اتاق نگهداری کرد. همچنین اندازه ذرات آن کمتر از ۵ میلی‌متر است. در کشور فیلیپین، مجوز استفاده از ARA در پروژه‌های DPWH^۱ در جاده‌هایی که کمتر از ۲۰۰۰ خودرو در روز ترافیک دارند، از ۶ دسامبر ۲۰۱۸ تا ۵ دسامبر ۲۰۲۳ صادر شد. این افزودنی در مخلوط آسفالت گرم و به نسبت ۳/۰ درصد وزنی آسفالت استفاده می‌شود. در شکل ۵ این محصول مشاهده می‌شود.

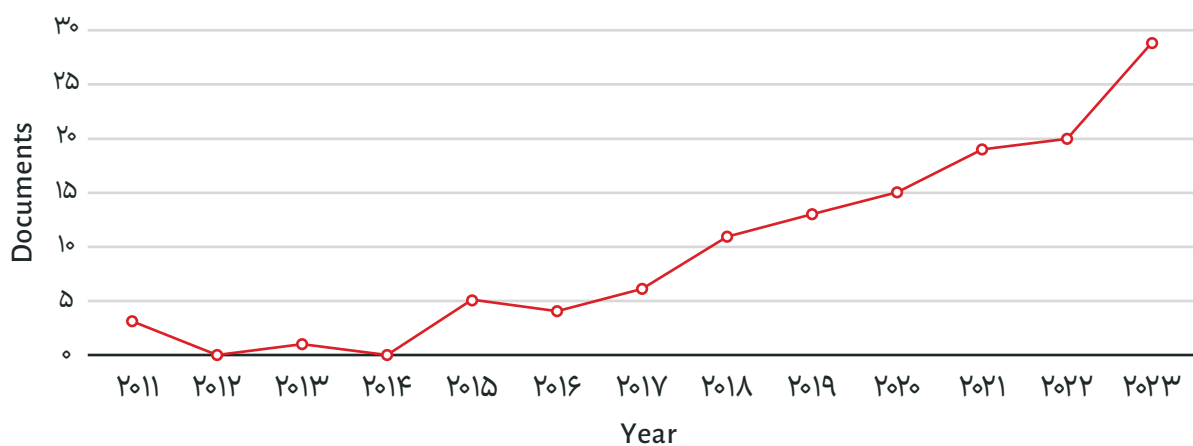
شکل ۵- محصول ARA به‌عنوان افزودنی ضدشیارشدهگی

□ شرکت Sripath Technologies LLC

PGXpand یک پلیمر دوستدار قیر است که توسط Sripath Technologies LLC، نیوجرسی، ایالات متحده توسعه یافته و توسط Bitpath Pvt در هند به بازار عرضه شده است. PGXpand توسط کارشناسان برجسته در دانشگاه‌ها، صنعت و آژانس‌های حمل‌ونقل از سراسر جهان آزمایش، ارزیابی و بررسی شده است. از سال ۲۰۱۶ این محصول در جاده‌های سراسر جهان مورد اعتماد بوده و مورد استفاده قرار گرفته است. این محصول مقاومت چشمگیری در برابر شیارشدگی ارائه می‌کند.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

بر اساس بررسی اسناد منتشر شده در این حوزه، چین، ایران، آمریکا و مالزی به ترتیب بازیگران اصلی این حوزه هستند. با توجه به آنالیز «فراوانی کلمات کلیدی»، اصلاح بایندر، مهم‌ترین روش افزایش مقاومت شیارشدگی با استفاده از فناوری نانو است و نانوسیلیکا، نانوکامپوزیت‌ها، نانوتیتانیوم، نانورس و نانولوله‌های کربنی پرکاربردترین نانومواد در این زمینه هستند. همان‌طور که در نمودار ۱ زمان انتشار اسناد دیده می‌شود، اولین مقالات در این حوزه در سال ۲۰۱۱ منتشر شده است، تعداد انتشار اسناد از سال ۲۰۱۷ شتاب بیشتری گرفته و در سال ۲۰۲۳ به بیشترین تعداد خود رسیده است. تعداد اسناد منتشر شده در فاصله سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۳، بیشترین رشد را داشته است و این می‌تواند به معنای شتاب گرفتن تعداد تحقیقات در این حوزه باشد.



نمودار ۱- نمودار میزان مقالات و اسناد منتشر شده در سال‌های اخیر

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیت‌های انجام شده در کشور

■ فعالیت‌های تحقیقاتی (چه تیم‌هایی در کدام نهادها در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ چه مقالاتی در این زمینه منتشر شده است؟ چه پایان‌نامه‌هایی نگارش شده است؟)

■ در زمینه افزایش مقاومت شیار شدگی انواع آسفالت، تعداد پژوهش‌ها بسیار زیاد است. اما وقتی جستجوها محدود به بتن آسفالتی و فناوری نانو می‌شود، تعداد اسناد کاهش چشمگیری پیدا می‌کند. جستجوی اسناد تحقیقاتی با استفاده از پایگاه داده اسکوپوس و با استفاده از کلیدواژه‌های "Rutting Resistance" و Nano و "Asphalt concrete" در سه قسمت عنوان، چکیده و کلیدواژه در متن کامل اسناد انجام شد. ۳۳ سند توسط افیلیشن‌های ایرانی منتشر شده است. قابل ذکر است که کشور ایران جزو چند کشور اول بر اساس تعداد اسناد منتشر شده در این حوزه است. دانشگاه علم و صنعت ایران به عنوان مرکز پیشرو در این زمینه شناخته شد. دانشگاه امیرکبیر به عنوان دیگر مرکز پیشرو در این زمینه مطرح است.

در جستجوی پایان‌نامه‌ها در سایت ایرانداک با استفاده از کلیدواژه‌های شیارشدگی و نانو در قسمت چکیده و بتن آسفالتی در همه قسمت‌ها، فقط ۵ پایان‌نامه پیدا شد. با برداشتن محدودیت بتن آسفالتی، تعداد پایان‌نامه‌ها به ۴۷ عدد رسید. دانشگاه‌های سمنان، گیلان، علم و صنعت، رازی و دانشگاه زنجان بیشترین تعداد پایان‌نامه را دارند.

■ فعالیت‌های توسعه محصول و تجاری‌سازی (آیا نمونه‌سازی انجام گرفته است؟ چه شرکت‌هایی برای توسعه محصول در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ آیا محصولی مبتنی بر این فناوری در بازار به فروش می‌رسد؟ آیا شرکت‌های صنعتی بزرگ در این زمینه فعالیت می‌کنند؟ آیا شرکت‌های واردکننده در این زمینه فعالیت می‌کنند؟)

■ شرکت دانش رویان یکتا ماندگار که یک شرکت مهندسی است و به صورت تخصصی در زمینه‌های مشاوره و طراحی روسازی‌های بتنی و آسفالتی، تولید، آزمایش و تحقیقات درباره افزودنی‌های بتن و آسفالت فعالیت می‌کند، چند محصول مختلف را برای کاهش شیارشدگی معرفی می‌کند. Sasobit® برند معروف شرکت ساسول واقع در آفریقای جنوبی، توسط شرکت دانش رویان یکتا ماندگار در ایران عرضه می‌شود. الاستوبیت نیز که نوعی گرانول ساخته شده از SBS (استایرن بوتادین استایرن) است و برای اصلاح مخلوط آسفالت با انواع قیر استفاده می‌گردد، توسط این شرکت عرضه می‌شود.

■ فعالیت‌های سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در بخشنامه‌های مختلفی که در مورد مستندات و مبانی فنی دستورالعمل طرح، اجرا و نگهداری انواع آسفالت تهیه، تدوین و ابلاغ کرده است به مسئله شیارشدگی به عنوان یکی از خواص عملکردی مخلوط‌های آسفالتی پرداخته است. از جمله این بخشنامه‌ها می‌توان به مستندات و مبانی فنی دستورالعمل طرح، اجرا و نگهداری آسفالت متخلخل (۱۳۹۴)، دستورالعمل طرح، اجرا و نگهداری آسفالت سرد (۱۳۹۳) و دستورالعمل طراحی و اجرای مخلوط‌های آسفالتی درشت‌دانه (۱۳۹۵) اشاره کرد. قابل ذکر است که این بخشنامه‌ها با همکاری پژوهشکده حمل‌ونقل مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و همچنین کارشناسان باتجربه کشور در این حوزه تهیه و مخاطب آن دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران حوزه عمران و ساخت‌وساز ذکر شده است.

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

کاربرد این فناوری در بخش راهداری و جاده‌هاست.

- جاده‌های ترافیکی سنگین، جاده‌های طولانی و شیب‌دار و جاده‌های مناطق کوهستانی و تپه‌های سنگین با پیچ‌های تندتر که در اثر شیارها آسیب شدیدتر می‌بینند.
- بخش‌هایی با ترافیک سنگین و بار سنگین.
- بخش‌های مهم جاده‌ای مانند بزرگراه‌ها، چهارراه‌ها، باند فرودگاه و شاهراه‌های شریانی.

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

با توجه به فعالیت‌های انجام شده در این حوزه در داخل کشور، سطح آمادگی فناوری (TRL) برابر ۵ و سطح آمادگی بازار (MRL) برابر ۴ است.

سطح آمادگی بازار		۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۹	خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار	■	■	■						
۸	شناسایی متخصصان دارای توانمندی	■	■	■						
۷	تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل	■	■	■						
۶	ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌ها برای خلق راه حل				■					
۵	شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل					■				
۴	دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی						■			
۳	کم‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید							■		
۲	شناسایی یک نیاز بخصوص								■	
۱	شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)									■
سطح آمادگی فناوری										
	مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									
	معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
	اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
	دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
	دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
	دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
	اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
	تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
	راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/راه اندازی خط تولید									

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هریک از کاربردهای احتمالی

برای کاهش تغییر شکل دائمی روسازی‌های آسفالتی، روش‌ها را می‌توان به چهار دسته تقسیم کرد: فناوری‌های مبتنی بر بایندر و روش‌های بهبود مخلوط، روش‌های مبتنی بر سنگدانه، تکنیک‌های مبتنی بر ساختار و روش‌های خنک‌سازی. در بخش نامه‌های سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور به روش‌هایی مانند استفاده از دانه‌بندی درشت مخلوط، استفاده از قیر پلیمری یا قیر اصلاح شده به وسیله پلیمرهایی مانند پلیمر EVA^۱، پلیمر SBR^۲ برای کاهش شیارشدگی و افزایش طول عمر آسفالت اشاره شده است.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه‌سازی (TRL6)، برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

در سطح ساخت نمونه آزمایشگاهی و به جهت بررسی همه‌جانبه موضوع چه از لحاظ عملکرد فنی و چه بعد شیمیایی و محیط زیستی، سرمایه ۳ میلیارد ریالی کفایت می‌کند.

اما در سطح نمونه صنعتی در مقیاس وسیع، با توجه به نیاز به گسترش چرخه از تولید نانوذرات اولیه در شرکت‌های دانش‌بنیان تا تولید محصول نهایی در کارخانه‌های تولید آسفالت و نیاز به اعمال تغییراتی در فرایند تولید در این کارخانه‌ها و به‌کارگیری محصول نهایی در شبکه راه‌ها با ملاحظات خاص خود، نیاز به سرمایه ۳۰ میلیارد ریالی وجود دارد.

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

□ منابع انسانی

ایران جزو چند کشور برتر از نظر تعداد پژوهش‌ها در این زمینه است. اگرچه هسته‌های فناوری یا شرکت‌هایی که فعالیت‌هایی روی این فناوری یا محصول انجام داده باشند، شناسایی نشد.

□ زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی

آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری دارای دستگاه ویل تراک برای یافتن مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر شیارافتادگی تحت تأثیر آب و هوا و بار ترافیکی است. دستگاه رد چرخ هامبورگ در ایران تحت عنوان دستگاه ویل-تراک شناخته می‌شود. آزمایش ویل-تراک برای ارزیابی تغییرات خصوصیات مخلوط‌های آسفالتی در دماهای بالا، از جمله مقاومت شیارشدگی تحت شرایط رطوبتی و بارگذاری شبیه به آنچه در جاده‌ها به سطح روسازی وارد می‌شود، بکار می‌رود. در یک تست ویل-تراک متداول نمونه مخلوط آسفالتی گرم در آب داغ غرقاب شده و چرخ فلزی از روی سطح آن عبور کند. آزمایش شیارشدگی ویل-تراک با حرکت رفت و برگشت چرخ بارگذاری شده روی نمونه آسفالتی به تعیین پتانسیل شیارشدگی روسازی‌های آسفالتی می‌پردازد. این کار به وسیله شیارسنج‌هایی در فواصل زمانی مشخص با اندازه‌گیری عمق شیار ایجادشده در نمونه در امتداد حرکت چرخ دستگاه انجام می‌شود. همچنین در بازار دستگاه‌هایی مانند دستگاه ویل تراک (رد چرخ) مدل B038، جهت بررسی شیار رد چرخ روی آسفالت در شرایطی شبیه به تردد واقعی، طبق استانداردهای EN12697-22/BS598:110، ساخت کمپانی Matest ایتالیا که نمایندگی انحصاری فروش آن با شرکت آبی آسا است، به فروش می‌رسند (شکل ۶)



شکل ۶- دستگاه ویل تراک برای ارزیابی شیارشدگی نمونه آسفالت

□ زیرساخت تولید

زیرساختی برای تولید این محصول در کشور توسعه نیافته است به‌ویژه اگر نیازمند استفاده از مواد نانو در تولید آن باشد.

□ آزمایشگاه مرجع

آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری برای یافتن مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر شیار افتادگی تحت تأثیر آب و هوا و بار ترافیکی با استفاده از دستگاه ویل تراک است.

□ منابع مالی

در صورت اثبات فناوری و آمادگی بازار برای استفاده از آن به نظر می‌رسد زیرساخت‌های مالی موجود (مانند صندوق نوآوری و شکوفایی، دیگر صندوق‌های پژوهش و فناوری، و ...) ظرفیت لازم برای حمایت از توسعه این فناوری در کشور را داشته باشند.

□ توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری

متأسفانه مشکل مالکیت فکری و حفاظت از این دارایی‌ها، یک مشکل اساسی در کشور است که نیازمند یک برنامه‌ریزی بلندمدت در جهت ارتقاء زیرساخت‌های حفاظت از مالکیت فکری در کشور است. در این زمینه اقدامات انجام شده از سوی معاونت علمی، کورسوی امیدی به آینده ایجاد کرده است.

□ زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش

۱. Ethylene Vinyl Acetate
۲. Styrene Butadiene Rubber

با توجه به صنعت مربوط به این محصول، که حوزه راه و ترابری است، مسیر بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش با فرایندهای فعلی موجود برای آسفالت‌های معمولی، چندان متفاوت نخواهد بود و از این رو زیرساخت‌های لازم فراهم است. اگرچه، از آنجا که مشتری نهایی این نوع آسفالت، دولت است نیازمند اثبات فناوری و کارآمدی آن نسبت به آسفالت‌های موجود است و البته تدوین استانداردها و الزامات مربوط به این نوع آسفالت هم به بازاریابی و فروش آن کمک می‌کند.

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

پیشران‌های فنی؛ مشابه بخش بین الملل است. (همچنین از حدود سه دهه اخیر به منظور غلبه بر مشکلات قیرهای خالص معمولی که به‌تنهایی از خواص شیمیایی، فیزیکی، رئولوژیکی و چسبندگی محدودی برخوردارند، از مواد اصلاح‌کننده استفاده شده است. قیر نفتی ایران نیز از این قاعده مستثنی نبوده و در مناطقی که دامنه تغییرات حرارتی شدید، بار ترافیکی سنگین یا بارندگی و یخبندان فراوان باشد به‌تنهایی قادر به رفع مشکلات مربوط به شرایط مذکور نبوده و لازم است که حتماً در خواص آن تغییراتی ایجاد شود. با توجه به ترکیب شیمیایی نفت خام مصرفی پالایشگاه‌های کشور، قیرهای ایران در حالت عادی، چسبندگی ضعیفی به مصالح سنگی داشته و ویسکوزیته آن‌ها در دماهای مشخص، کمتر از مقادیر مطلوب بوده و با توجه به حساسیت حرارتی بالای آن‌ها نسبت به تغییرات دما، اصلاح قیرهای موجود ضروری است.) چالش‌های فنی؛ در اختلاط نانو مواد با قیر، مهم‌ترین نگرانی انتشار همگن و یکنواخت نانوماده در قیر است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

پیشران‌ها؛ کاهش خسارات ناشی از تصادفات به خاطر پدیده هیدروپلنینگ - افزایش طول عمر روسازی - کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری آسفالت. چالش‌های اقتصادی؛ قیمت نانو مواد یکی از چالش‌های اقتصادی موجود است. به همین دلیل برخی از نانو مواد مانند نانورس به خاطر امکان تولید آسان، تأثیرگذاری مناسب در مقادیر کم و هزینه تولید پایین موردتوجه هستند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

پیشران‌ها؛ شیارهای بزرگ، ایمنی ترافیک را تحت تأثیر قرار می‌دهند و منجر به تصادفات رانندگی می‌شوند. مقررات سختگیرانه در حوزه ایمنی راه می‌تواند یک پیشران جدی در حوزه سلامت و ایمنی باشد.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

پیشران‌ها؛ کاهش ترافیک - کاهش تصادفات - زیبایی جاده‌ها و مسیرها

۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

(آیا این محصول چه در قالب تولید داخلی و چه در قالب محصول وارداتی در کشور عرضه شده است؟)

بله محصول وارداتی در کشور عرضه شده است.

۳-۹- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

در حال حاضر شرکتی در ایران فعال نیست.

۳-۱۰- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تأثیر بگذارد

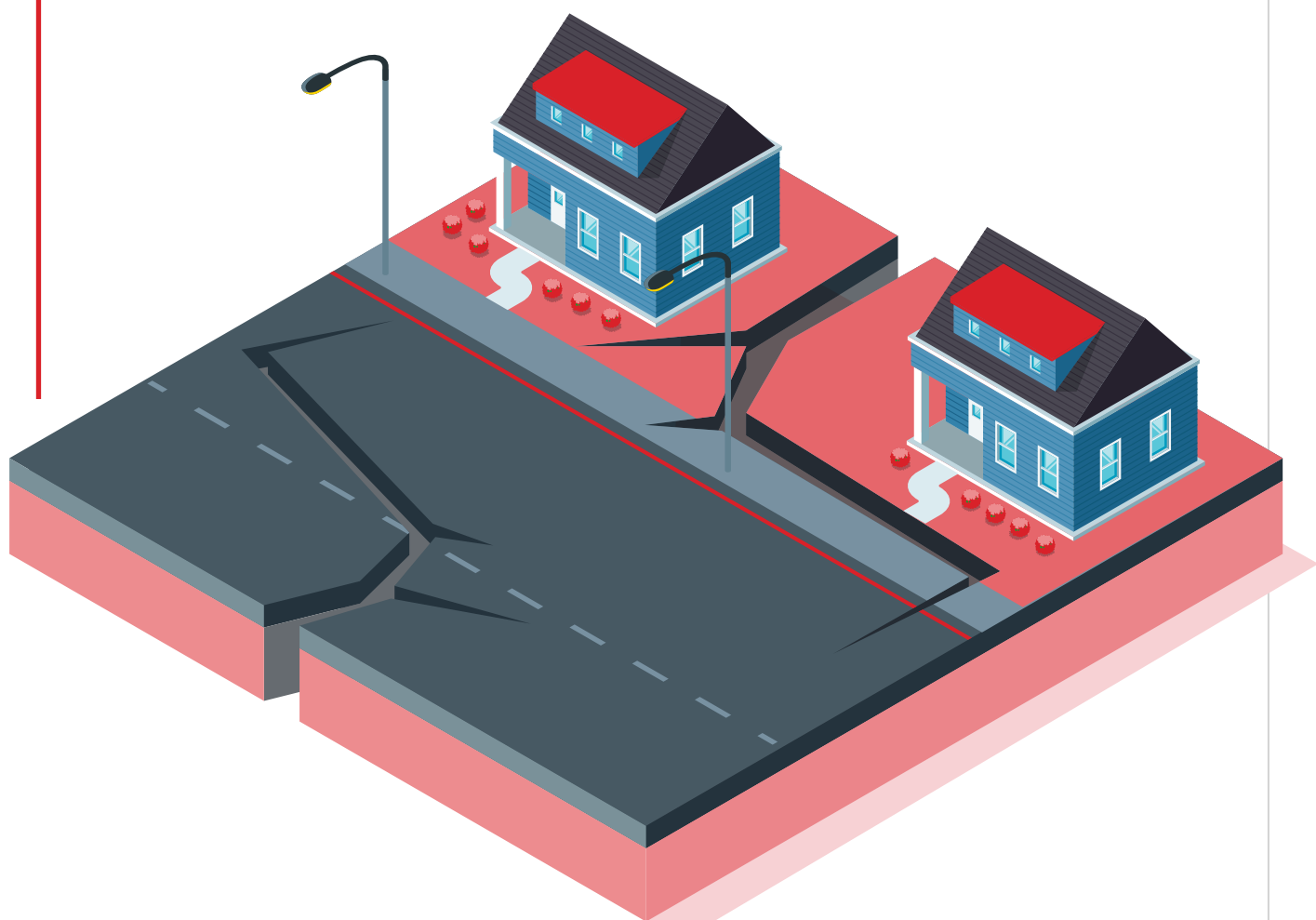
در صورت انجام حمایت‌های معنوی و مادی و هماهنگی بخش‌های مختلف درگیر در فناوری، می‌توان به اثربخشی قابل توجه این فناوری بسیار امیدوار بود.

- ۱ [Rouba Joublat_2023] State-of-the-Art Review on Permanent Deformation Characterization of Asphalt Concrete Pavements.
- ۲ [Du Yinfei_2018] A review on solutions for improving rutting resistance of asphalt pavement and test methods.
- ۳ [Yan Li_2021] Anti-rutting performance evaluation of modified asphalt binders: A review
- ۴ [Amjad H. Albayati_2023] A review of rutting in asphalt concrete pavement.
- ۵ [Hasan Ziari_2018] Predicting rutting performance of carbon nano tube (CNT) asphalt binders using regression models and neural networks.
- ۶ [Behnam Golestani_2015] Nanoclay application to asphalt concrete: Characterization of polymer and linear nanocomposite-modified asphalt binder and mixture.
- ۷ [Luchuan Chen_2021] Environment Effect on the Rutting Resistance of Nano-SiO₂-Modified Asphalt Concrete: Temperature and Water.
- ۸ [Mahdi Akbari_2023] Laboratory Investigation on the Rutting and Fracture Resistance of Hot-Mix Asphalt Containing Nanographene Oxide.
- ۹ [S.H. Mousavinezhad_2019] Nano-clay and styrene-butadiene-styrene modified bitumen for improvement of rutting performance in asphalt mixtures containing steel slag aggregates.
- ۱۰ [Amir Amini_2021] Rutting resistance, fatigue properties and temperature susceptibility of nano clay modified asphalt rubber binder.
- ۱۱ https://www.astm.org/e1703_e1703m-10r15.html.
- ۱۲ <https://www.astm.org/d8292-20.html>.
- ۱۳ <https://www.astm.org/d8360-22.html>.
- ۱۴ <https://standards.globalspec.com/std/922735/bs-dd-226>.
- ۱۵ <https://yektamandegar.com/%D8%B3%D8%A7%D8%B3%D9%88%D8%A8%DB%8C%D8%AA/>.
- ۱۶ <https://www.sasobit.com/>.
- ۱۷ <https://www.asphalt-additives.com/sale-23447360-polyethylene-chemical-anti-rutting-additive-rut-resistance-for-asphalt-road.html>
- ۱۸ <https://asphalt-additives.en.made-in-china.com/product/UmMrvbNGHgkD/China-Asphalt-Road-Pavement-Modified-Asphalt-Binder-Rut-Resistance-Concrete-Anti-Rutting-Additive-Agent.html>
- ۱۹ <https://www.go-green.co/anti-rutting-asphalt-additive/anti-rutting-asphalt-additive.html>
- ۲۰ https://www.alibaba.com/product-detail/Roadphalt-Anti-rutting-Additive-with-low_60259491992.html.
- ۲۱ https://www.alibaba.com/product-detail/Anti-Rutting-Asphalt-Additives-for-Heavy_1600912129405.html.
- ۲۲ <http://www.diamondcmx.com/ara.html>.
- ۲۳ <https://www.dpwh.gov.ph/dpwh/tags/hot-laid-anti-rutting-additive-ara>.
- ۲۴ <https://www.worldhighways.com/products/improving-rutting-sripaths-pgxpandr-pmb-mixes>.
- ۲۵ <https://sripath.com/products/pgxpand/paving/>.
- ۲۶ <http://www.abi-asa.ir/index.php/fa/mahsoolat/15-omran/ghir-asfalt/293-b038>.
- ۲۷ سجاد کفاش زاده- ۱۳۹۶. ارزیابی خرابی شیارشدگی در مخلوط‌های آسفالت SMA اصلاح شده با نانو اکسید آهن.
- ۲۸ <https://www.azonano.com/news.aspx?newsID=37106>
- ۲۹ <https://www.pronanollc.com/science>

۳۰- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور- ۱۳۹۴. مستندات و مبانی فنی دستورالعمل طرح، اجرا و نگهداری آسفالت متخلخل.

۳۱- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور- ۱۳۹۳. دستورالعمل طرح، اجرا و نگهداری آسفالت سرد.

۳۲- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور- ۱۳۹۵. دستورالعمل طراحی و اجرای مخلوط‌های آسفالتی درشت‌دانه.



۲۲



بتن با انعطاف پذیری بالا
High ductility concrete

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱ ویژگی مورد انتظار از فناوری فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟

بتن از دیرباز به علت ساختار سرامیکی بودن از نظر نوع پیوندهای درون ساختاری برخلاف فلزات، فرض می‌شد محصولی که بدون خاصیت انعطاف‌پذیری در نظر گرفته می‌شود. بتن استاندارد، مخلوطی متشکل از سیمان شسته، آب، شن و ماسه است که یک محصول قوی و در عین حال شکننده را ایجاد می‌کند. این نوع بتن همواره مستعد به انواع ترک‌ها است. با این حال در سال‌های متمادی تلاش دانشمندان برای تغییر ساختار و ترکیب بتن برای ایجاد انعطاف‌پذیری برای غلبه بر ضعف مذکور منجر به ایجاد بتن‌های مستحکم با انعطاف‌پذیری بالا شده است. از زمانی که بتن در ۲۰۰۰ سال پیش توسط رومی‌ها ساخته شد، به شکنندگی معروف بوده است. شکنندگی بتن در مواقعی عامل خرابی‌های فاجعه‌بار سازه‌ها بوده است، اما اغلب منجر به خرابی تدریجی می‌شود که مستلزم تعمیرات مکرر و پرهزینه است. تلاش‌های زیادی برای اصلاح بتن انجام شده تا بتواند بارکششی را تحمل کند. امروزه مؤثرترین اصلاح، معرفی الیافی است که معمولاً از فولاد، شیشه یا پلیمر ساخته می‌شود و در نتیجه بتن تقویت‌شده با الیاف ایجاد می‌شود. در طول سه دهه گذشته، بتن‌های با مقاومت فشاری بالا و شکل‌پذیری کششی بالا به عنوان دو دسته مجزا از بتن ظهور کرده‌اند. مواد در مرزهای هر دو از این کلاس‌ها می‌توان به بتن با مقاومت بسیار بالا (VHSC) (مقاومت فشاری ≈ 200 مگاپاسکال) و کامپوزیت‌های سیمانی مهندسی شده (ECC) (شکل‌پذیری کششی $\approx 3-6\%$) اشاره کرد. توسعه این دو بتن بر اساس دو فلسفه طراحی متفاوت بود که دو عملکرد ساختاری متفاوت را هدف قرار داد. VHSC و بتن‌های مشابه با مقاومت بالا (RPC، داکتال، MDF، و DSP) برای دستیابی به راندمان اندازه در اعضای سازه برای سازه‌های بسیار بزرگ و برای ارائه حاشیه ایمنی اضافی برای استحکام استراتژیک سازه‌های حیاتی و حفاظتی طراحی شدند. از سوی دیگر، بتن ECC و مشابه آن با عملکرد بالا و کامپوزیت‌های سیمانی تقویت‌شده با الیاف (HPFRCCs)، برای اطمینان از شکل‌پذیری عناصر ساختاری و جذب انرژی عظیم در مواجهه با بار و جابجایی شدید در حوادثی مانند زلزله توسعه یافته‌اند. بتن VHSC یک درجه انعطاف‌پذیری کمتر از ECC دارد، در حالی که مقاومت فشاری ECC ۳ تا ۴ برابر کمتر از VHSC است. ترکیبی از مقاومت بالا و شکل‌پذیری بالا در یک بتن برای اطمینان از انعطاف‌پذیری سازه‌های بحرانی در شرایط فوق‌العاده بسیار مطلوب است. بتن‌های با عملکرد فوق‌العاده بالا منعطف UHPDC دسته‌ای از بتن‌ها هستند که هر دو ویژگی را دارند. نام دیگر این بتن‌ها High-strength high-ductility cementitious composite (HSHDCC) است.

۱-۲ کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری



کاربردهای این بتن دارای استحکام بالا و انعطاف‌پذیری بالا، در سازه‌های مهندسی و بسیار با اهمیت و مقاوم در برابر زلزله است. از این نوع بتن در کارهای تعمیراتی سازه‌های قدیمی و یا پل‌ها و ابنیه در معرض خرابی برای ایجاد مقاومت و بهبود خواص آن‌ها استفاده می‌شود. همچنین در سازه‌های پیچیده و معماری‌های مدرن که دارای اشکال خاصی هستند و نیاز به بتن منعطف دارند استفاده می‌شود.

سایر کاربردهای این بتن عبارتند از: ساختمان‌های بلند، تعمیر بتن مسلح (RC)، مقاوم‌سازی سازه‌های RC، مهندسی دریایی

و ساحلی، سازه‌هایی که بارهای تکراری را تحمل می‌کنند، سازه‌هایی که بارهای دینامیکی را تحمل می‌کنند و پرینت سه بعدی

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه بر اساس این فناوری

- انواع افزودنی‌های بتن و سیمان
- بتن‌های مستحکم منعطف
- بتن‌های کامپوزیتی منعطف
- ملات‌های منعطف

۱-۴- مزیت (های) کلیدی این فناوری (کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و ...)

مهم‌ترین مزیت این فناوری توانایی تحمل بارهای برشی و انعطاف‌پذیری در هنگام تغییر شکل است که در این حالت شکست ناگهانی و از نوع شکست ترد در این بتن‌ها اتفاق نمی‌افتد. ایجاد تغییر شکل قبل از شکست منجر به جلوگیری از فاجعه خصوصاً در هنگام ایجاد بارهای ناگهانی مانند زلزله و... در سازه می‌شود. انعطاف‌پذیری در کنار استحکام بالا منجر به ایجاد سازه‌ها با اشکال پیچیده و معماری نوین را به می‌شود. همچنین سازه‌های بلند و طولی را می‌توان با پایه‌های کمتری ایجاد کرد. عملکرد برتر در مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی، همراه با مقاومت سایشی بالا، کنترل ترک و نفوذناپذیری بالا، آن را برای تقویت، عایق رطوبتی و حفاظت از سازه‌ها، افزایش عمر مفید و در عین حال کاهش هزینه‌های نگهداری، عالی می‌کند.

۱-۵- نانوذرات بهره گرفته شده در این فناوری (از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

- نانوذرات
- الیاف استحکام دهنده^۱
- SiO_2^2
- CaCO_3^3
- نانوالیاف کربنی
- اکسید گرافن
- پلی دوپامین
- Cellulose nanofibrils نانوفیبریل‌های سلولز^۴

- افزودنی‌های معدنی و بازیافتی^۵

۱-۶- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

- ۱- تولید نانوذرات
- ۲- تولید سیمان یا مخلوط افزودنی‌ها
- ۳- تولید بتن
- ۴- تولید سازه بتنی دارای استحکام و انعطاف‌پذیری بالا

۱- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821003780>

۲- <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/view/2635/1474>

۳- <https://www.scientific.net/AMR.1160.25>

۴- <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/lxY2y0G9>

۵- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135983682200631X>

۷-۱- فناوری‌های رقیب

(از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

- استفاده از بتن‌های مسلح
- سازه‌های فلزی: سازه‌های فلزی جوشی دارای ویژگی انعطاف‌پذیری در بارهای کششی هستند.

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکرشده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

به‌طور کلی فناوری‌های مربوط به ساخت و آماده‌سازی بتن‌ها از بخش تولید نانومواد تا تولید سیمان و بتن است. در خصوص پرینت سه‌بعدی نیاز به فرایند و دستگاه پرینتر سه‌بعدی است.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی‌ای را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/فناوری نسبتاً منزوی است؟)

بله. علوم ساخت بتن‌های پیشرفته با استفاده از علوم نانو و ... هم‌راستا با علم عمران و سازه می‌تواند منجر به ایجاد رشته‌ها و فعالیت‌های کاری تحقیقاتی جدید شوند.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی

(آیا این اثر/فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

وجود سازه‌های بلند و همچنین سازه‌های مقاوم در برابر بارهای برشی یکی از چالش‌های بزرگ صنعت بتن است. در صورتی که بتوان بتن‌های دارای انعطاف‌پذیری بالا تولید و استفاده نمود مشکلات مربوط به تحمل بارهای دینامیکی و برشی و زلزله توسط سازه‌های مهندسی مانند سدها، پل‌ها و ابنیه استراتژیک حل می‌شود. به این ترتیب از نظر اقتصادی و اجتماعی حائز اهمیت است. از سوی دیگر بحث تعمیر و نگهداری سازه‌های بتنی موجود و قدیمی و افزایش طول عمر با استفاده از بتن‌های منعطف در امور شهری و سطح کشور بسیار حائز اهمیت است.

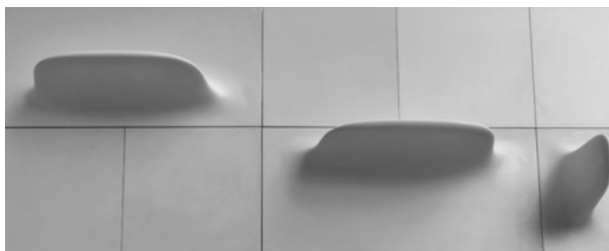
تحلیل بین‌المللی

۱-۲- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

- بازیگران در حوزه R&D
- بازیگران صنعتی/تجاری در مراحل مختلف زنجیره ارزش
- نهادهای سیاست‌گذار و نهادهای تنظیم مقررات در سطح بین‌المللی
- بر طبق گزارش‌های تحلیل بازار، شرکت‌های ارائه‌دهنده بتن‌های منعطف شامل: (این شرکت‌ها همگی چینی هستند و به نظر می‌رسد گزارش مربوط به کشور چین است)^۱
- Xi'an Wuhe New Material Technology Group
- Zhengzhou Lihe Material Technology Co. Ltd
- Kehui New Material Technology Co. Ltd
- Shanxi Hongtu Machinery Technology Co. Ltd
- Yeston Kaisheng New Material Technology Co. Ltd
- Beijing Zhongde Xinya Materials Co. Ltd
- Changsha Xingju Building Materials
- Hebei Tuochuang Yuanwei Technology Co. Ltd
- Otelli New Technology Group Co. Ltd
- Yougu New Material Co. Ltd

□ بتن داکتیل: مبلمان خیابانی 'Uluru' تولید شده توسط شرکت Shiro Studio^۲

Uluru که توسط استودیوی Shiro مستقر در لندن برای شرکت ایتالیایی Metalco طراحی شده است، یک خانواده مدولار و مجسمه‌ای از عناصر صندلی است که از بتن با عملکرد فوق‌العاده بالا (UHPC) ساخته شده است. هویت مجسمه‌ای مجموعه Uluru مدیون سطوح افقی صاف است که به آرامی به سمت بالا کشیده می‌شود تا به یک تکیه‌گاه راحت تبدیل شود. همه عناصر مدولار هستند، به این معنی که می‌توان آن‌ها را به یکدیگر متصل کرد تا منظره‌های کوچک مجسمه‌ای را تشکیل دهند که می‌توانند در اندازه و پیکربندی متفاوت باشند. طراحان بازیگوشی را یک ویژگی مهم می‌دانند؛ با فراهم کردن امکان امتحان موقعیت‌های مختلف نشستن، نیمکت‌های آن‌ها می‌توانند به زمین‌های بازی بداهه در حوزه عمومی تبدیل شوند. مورگانه توضیح می‌دهد: «در دسترس بودن UHPC همچنین یک عامل مهم در طول توسعه طراحی مجموعه «Uluru» بود. ما می‌خواستیم پتانسیل وسیع این ماده ابتکاری و همه‌کاره را از طریق فرمی که می‌تواند به طور تأکیدی سبک، استحکام و سیالیت را با هم ارتباط دهد، به طور کامل کشف کرده و به چالش بکشیم. نتیجه یک سازه بتنی فوق‌العاده سبک و در عین حال سفت و سخت با ضخامت فقط ۲۰ میلی‌متر است.» در تصویر ۲ نمونه‌هایی از این محصول را مشاهده می‌کنید.



۱- <https://www.linkedin.com/pulse/high-ductility-concrete-market-size-share-forecast-forecasting-ao74f>

۲- https://www.detail.de/de_en/ductile-concrete-uluru-street-furniture-by-shiro-studio-28671



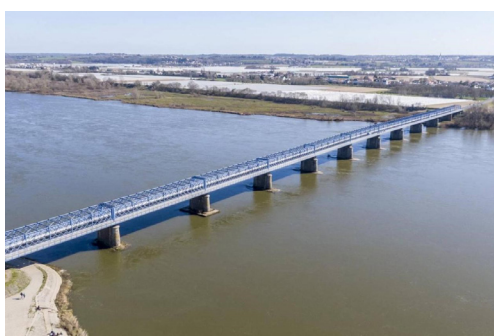
شکل ۱- تصاویر محصول تولیدی شرکت Shiro Studio

DETAIL Architecture GmbH یک گروه بین‌المللی تخصصی پیشرو در زمینه معماری و مهندسی سازه است که در سال ۱۹۶۱ تأسیس شد.

□ بتن Ductal^۱

این بتن محصول شرکت Ductal® Infrastructure است و ما به‌طور خاص مهندسی شده است تا به‌طور اساسی عملکرد سازه‌های جدید و موجود را افزایش دهد.

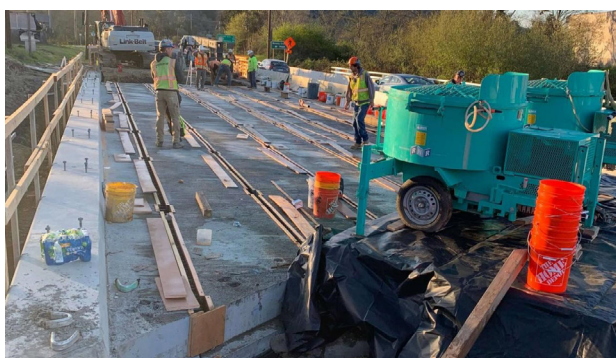
عملکرد برتر در مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی، همراه با مقاومت سایشی بالا، کنترل ترک و نفوذناپذیری بالا، این بتن را برای تقویت، عایق رطوبتی و حفاظت از سازه‌ها، افزایش عمر مفید و در عین حال کاهش هزینه‌های نگهداری، ایده آل می‌کند.



شکل ۲- پل ساخته شده با استفاده از بتن داکتال

خواص مکانیکی بالای این ماده همراه با انعطاف‌پذیری استثنایی امکان ساخت پل‌های پیش‌ساخته سبک‌وزن و در عین حال بادوام، تقویت عرشه پل‌ها و ترمیم سازه‌های عمودی را که بهترین تکنیک‌های نوآورانه و الزامات دوام را به نمایش می‌گذارند؛ همچنین با امکانات بی‌پایان برای بهبود زیبایی‌شناسی را ممکن می‌کند.

پتانسیل بالای پیش‌ساخت داکتال، پروژه‌هایی در مقیاس‌های مختلف را شامل می‌شود و اندازه و پیچیدگی اتصالات سازه‌ای و جزئیات میلگرد را کاهش می‌دهد. این امر امکان بهره‌برداری بهتر از مقاومت‌های مکانیکی را حتی در زمینه ساخت بتن سنتی موجود فراهم می‌کند. (شکل ۲ و ۳)



شکل ۳- نحوه ساخت سازه‌ها با استفاده از بتن داکتال

برخلاف بتن معمولی، ساختار منحصربه‌فرد داکتال مزیت خاصی از شکل‌پذیری می‌دهد. ترکیب ماتریس سیمانی با الیاف فلزی یا آلی، تعادل مؤثری بین مقاومت فشاری و کششی ایجاد می‌کند. داکتال به تدریج انرژی اعمال شده را جذب می‌کند و آن را به‌طور مؤثر در سراسر ساختار پخش می‌کند. این بدان معنی است که یک عنصر Ductal® می‌تواند مقداری انحراف را پشتیبانی کند و در عین حال امکان ترک خوردگی جزئی و قابل تحمل را فراهم می‌کند و آن را حتی برای بلندپروازانه‌ترین پروژه‌های ساختمانی مناسب می‌کند.^۲

□ مرکز توسعه حرفه‌ای دانشگاه میشیگان اصول اولیه بتن خم شدنی را ارائه می‌دهد^۳

این مرکز در حوزه توسعه بتن‌های پراستحکام منعطف فعالیت دارد. در سال ۲۰۰۷ میلادی بتن ECC یعنی بتن کامپوزیتی مهندسی شده در دانشگاه میشیگان توسعه یافت و در ساختمان‌های بلندمرتبه و پل‌ها استفاده شد. اخیراً، یک ماده بتنی شکل‌پذیر، کامپوزیت سیمانی مهندسی شده (ECC)، تا حدی طراحی و توسعه یافته است که در کاربردهای مقیاس کامل، از جمله روی عرشه‌های پل و ساختمان‌های بلند بکار می‌رود. ECC که در دانشگاه میشیگان

۱- <https://www.ductal.com/en/mauves-sur-loire-bridge>

۲- <https://www.lafarge.ca/en/ductal-ultra-high-performance-concrete>

۳- https://www.concreteconstruction.net/products/concrete-production-delivery-equipment/an-engi-neers-dream_o?o=1

توسعه یافته است، تحت بارگذاری به رفتار فلزی دست می‌یابد و تنها از ۲ درصد حجمی الیاف کوتاه استفاده می‌کند و می‌توان آن را در تجهیزات معمولی مخلوط آماده، مخلوط کرد و به عنوان بتن خودتحکیم (SCC) استفاده نمود. این ماده را می‌توان به صورت شاتکریت نیز پاشید. شکل پذیری کششی ECC با توانایی آن در کشش تا حدود ۳۰۰ برابر بتن معمولی قبل از شکستن، نشان داده می‌شود. در هنگام بارگذاری در برش به همان اندازه انعطاف پذیر است. در خمش، ECC به یک تیر منحنی تغییر شکل می‌دهد، درست مانند یک صفحه فلزی که به مرحله تسلیم پلاستیک تغییر شکل می‌دهد. در فشار، برخی از نسخه‌های ECC به مقاومت فشاری مشابه بتن با مقاومت بالا می‌رسند. با این حال، مواد در هنگام شکست منفجر نمی‌شوند.

به عنوان مثال، فیبر PVA مخصوصاً با طول، قطر، استحکام، سختی و پوشش سطحی خاص طراحی شده است تا امکان رها شدن تدریجی آن را فراهم کند تا از شکستگی زودرس فیبر جلوگیری شود. سیستم کامپوزیتی حاصل در تنش کششی بالا یک "داده" ایجاد می‌کند، که به رفتار تسلیم شکل پذیری تبدیل می‌شود که بی‌شباهت به پلاستیک تسلیم کننده در فولاد انعطاف پذیر نیست. رفتار منحصربه فرد فلز مانند ECC در کشش به این ماده اجازه می‌دهد تا الزامات مکانیکی و دوام مورد نیاز در سازه‌ها را برآورده کند.

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

این فناوری در دنیا در چرخه فناوری در مرحله بالایی قرار دارد. به طور کلی سطح آمادگی فناوری (TRL) و سطح آمادگی بازار (MRL) برای آن برابر ۹ است.



۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

از نظر چرخه عمر این فناوری و محصول در مراحل اولیه رشد هستند و در حال توسعه بازار هستند.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش روی فناوری

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

پیشران‌های فنی: وجود مواد نانویی و ترکیبات مختلف مورد استفاده در صنعت سیمان و بتن مانند بهبوددهنده‌ها و ذرات سنتز شده صنعتی و همچنین ذرات طبیعی چالش‌های فنی: نیاز به اثبات کارایی و دوام محصول و برآورده کردن هم‌زمان استحکام و انعطاف‌پذیری از چالش‌های این فناوری است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

پیشران‌های اقتصادی: نیاز به بتن و سیمان با قابلیت انعطاف‌پذیری بیشتر منجر به کاهش مصرف میلگرد و یا سایر عناصر پلیمری می‌شود و همچنین استحکام سازه در برابر زلزله و بارهای دینامیکی افزایش می‌یابد. چالش‌های اقتصادی: قیمت گزیده‌های نانویی بسیار بالاتر خواهد بود. برای تولید انبوه لازم است درصد نانویی و نحوه استفاده و تجهیزات لازم برای تولید این بتن مشابه بتن‌های معمولی کم‌هزینه و ساده و کارآمد شود.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

پیشران سلامت: ساخت ساختمان‌های بتنی مقاوم در برابر بارهای دینامیکی تکرارشونده و زلزله از مهم‌ترین پیشران‌های این حوزه است. نیاز به سبک‌سازی ساختمان و افزایش مقاومت آن چالش ایمنی: مهم‌ترین چالش در بحث ایمنی و سلامت، رعایت استانداردهای بتن ساخته شده و کارایی آن است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

از نظر حقوقی و اجتماعی استفاده از این بتن در مقاوم‌سازی ساختمان‌های قدیمی موجود می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. هم‌اکنون در کالیفرنیا آمریکا طرح بازسازی ساختمان‌های بتنی با مصالح بتنی نوین در همکاری با چند نهاد در حال پیگیری است. در این طرح شناسایی ساختمان‌های بتنی^۱ نیازمند ترمیم و بازسازی، منطقه به منطقه صورت خواهد گرفت و ساختمان‌ها باید ایمن‌سازی شوند و در این طرح انتقال افراد از ساختمان‌ها به محل‌های موقتی و انجام کار بازسازی و سپس اسکان مجدد آن‌ها در ساختمان‌ها انجام خواهد شد.^۲

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

با توجه به فعالیت شرکت‌های خوب در زمینه فناوری و افزایش فعالیت‌ها و سرمایه‌گذاری‌های صنعتی، پیش‌بینی می‌شود رشد چشمگیری در مصرف بتن‌های داکتیل یا منعطف در سطح دنیا در سال‌های پیش رو بوجود آید.

۱- Concrete safety program

۲- <https://onesanfrancisco.org/concrete-building-safety-program>

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیت‌های انجام شده در کشور

■ فعالیت‌های توسعه محصول و تجاری‌سازی
تعدادی از تحقیقات در این زمینه انجام شده و برخی از شرکت‌ها محصولات مشابه ای را تولید کرده‌اند.

■ فعالیت‌های سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری
فعالیت خاصی انجام نشده است.

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری

محصول بتن منعطف استحکام بالا در حوزه ساختمان، در ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه و ضدزلزله و همچنین ابنیه و پل‌ها استفاده می‌شود.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه‌حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/راه‌اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

با توجه به این که این محصول هنوز به طور صنعتی تولید نشده است لذا در مرحله اولیه چرخه عمر خود است. نمونه‌هایی از این نوع بتن در تولید دریچه‌های فاضلاب استفاده شده است. با این حال برای استفاده در ساخت و ساز نیازمند رشد و ورود به بازار است. از نظر شناخت نیازهای فناوری میزان آمادگی فناوری (TRL) در حد ۵ است و از نظر آمادگی بازار (MRL) در حد ۶ است.

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هر یک از کاربردهای احتمالی

در حوزه قطعات و بلوک‌های بتنی، انواع بتن سبک سازه‌ای که در کشور توسط چند شرکت تولید شده‌اند به عنوان رقیب در نظر گرفته می‌شوند. بتن‌های سبک سازه‌ای با دارا بودن استحکام مشابه بتن معمولی ولی با وزن کمتر است. در این حالت وزن سازه به طور چشمگیری کاهش می‌یابد.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری موردنیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و همچنین برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

-

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی
 - زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی
 - زیرساخت تولید
 - آزمایشگاه مرجع
 - منابع مالی
 - توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری
 - زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش
- منابع انسانی و زیرساخت آزمایشگاهی و علمی کشور به صورت مناسبی برای توسعه این محصول فراهم است.

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

مشابه بخش بین‌الملل.
از نظر فنی وجود شرکت‌های بسیار فعال در زمینه بتن و وجود دانش فنی در شرکت‌های دانش‌بنیان حوزه بتنی و سیمانی بسیار مؤثر خواهد بود.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

مشابه بخش بین‌الملل.
قیمت تمام شده بتن‌های منعطف مسلماً بیشتر از بتن‌های معمولی است. در صورت استفاده از الیاف گران‌قیمت و مواد نانویی خاص باید توان رقابت با بتن‌های متداول را داشته باشند.

آیا از نظر قیمت نسبت به محصولات مشابه توجیه دارد؟ اگر دارد پس چرا تا حالا شرکت‌های بزرگ برای تجاری‌سازی اقدام نکرده‌اند؟
به‌طور کلی تولید بتن‌های خاص از جمله بتن مستحکم منعطف با هزینه بیشتری انجام می‌شود. قیمت تمام‌شده آن به سبب وجود مواد افزودنی و نیازمند فناوری‌های اختلاط بیشتر از بتن‌های معمولی است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا

تقاضای این نوع بتن در سازه‌های ضدزلزله و در معرض بارهای دینامیکی وجود دارد. این به عنوان پیشران برای شهرهای بر روی گسل مانند تهران که ساختمان‌های بلندمرتبه زیادی دارد حائز اهمیت است. با این حال از نظر تقاضا در شهرهای کوچک و به دور از زلزله چالش کاهش تقاضا و به صرفه نبودن استفاده از آن مطرح است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

مشابه بخش بین‌المللی از نظر سلامت و ایمنی، استفاده از بتن‌های منعطف مستحکم منجر به افزایش ایمنی ساختمان‌ها و سازه‌های در معرض بارهای دینامیکی و یا زلزله می‌شود که پیشرانی برای استفاده از این بتن‌ها است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)
استانداردهای مربوط به بتن‌های معمول باید در مورد این نوع بتن‌ها نیز برآورده شود.

۸-۳- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

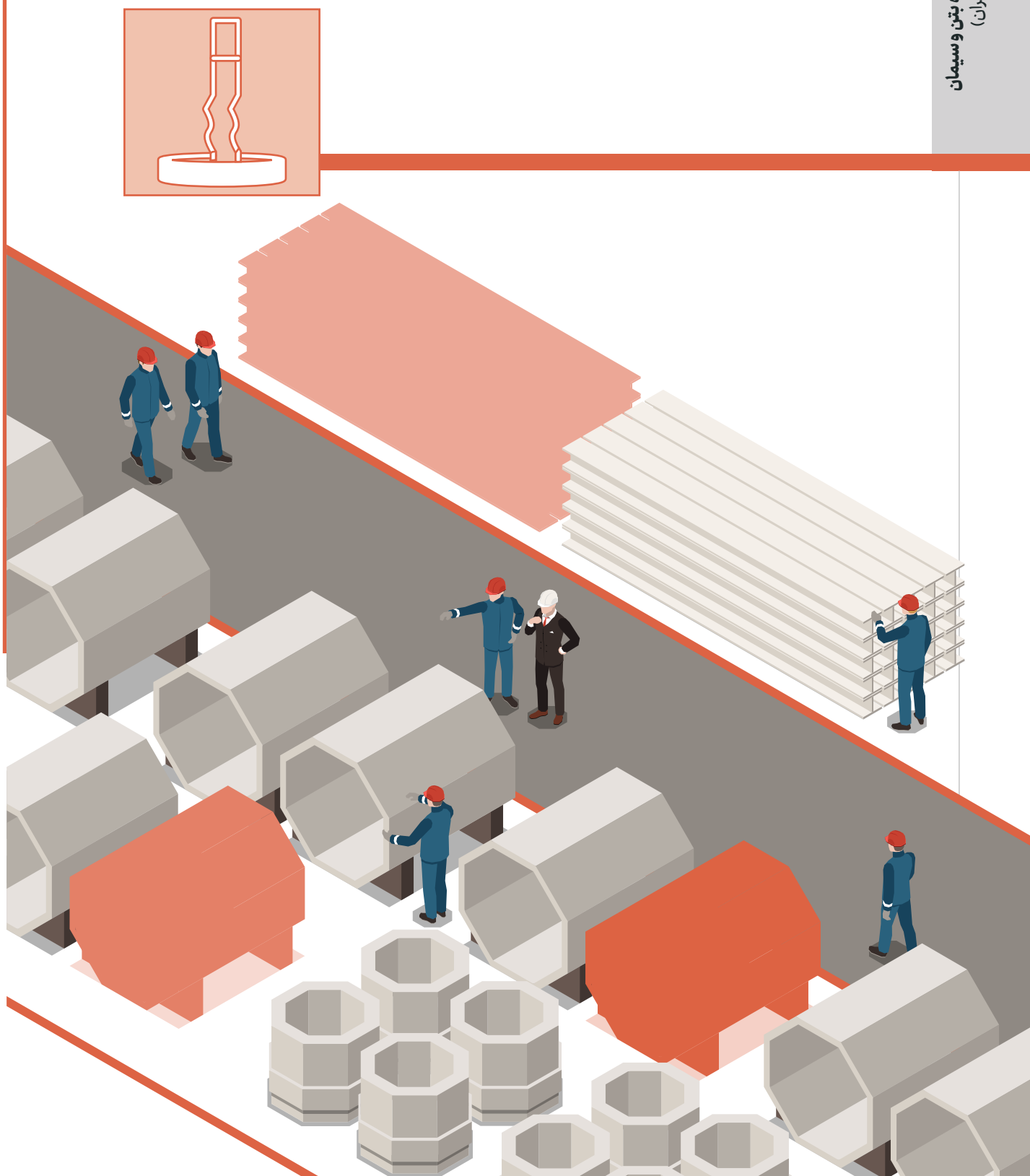
به نظر می‌رسد که این محصول توسط شرکت‌های تولید بتن برای ساخت بلوک‌ها یا محصولات دیگر تولید و عرضه شده باشد. با این حال اطلاعات دقیقی از مصرف و پروژه‌های آن در دسترس نیست.

۹-۳- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

در صورت تولید و داشتن کیفیت بالا، می‌توان در کشورهای همسایه پروژه‌های مرتبط را توسط شرکت‌های خوب انجام داد.

۱۰-۳- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

تحقیقات در خصوص تولید بتن‌های مستحکم منعطف توسط شرکت‌های دانش‌بنیان در حال انجام است. این امر برای شرکت‌های نوپا که به دنبال باز کردن بازار برای خود هستند بسیار حائز اهمیت است و انتظار می‌رود تحقیقات بیشتر منجر به تولید بیشتر و ورود این نوع بتن به صنعت ساخت‌وساز شود.



۲۳



بُتن حاوی افزودنی گرافن
سه بعدی 3DG

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱ ویژگی مورد انتظار از فناوری فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟

سیمان پرتلند معمولی ("OPC") از کلسینه کردن سنگ آهک (CaCO_3) با خاک رس (آلومینوسیلیکات‌ها) در کوره‌هایی با دمای در حدود ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد برای تشکیل یک محصول متخلخل که معمولاً به عنوان کلینکر شناخته می‌شود، تولید می‌شود. سیمان پرتلند به عنوان ماده سیمانی (چسباننده) در محصولات سیمانی مانند بتن استفاده می‌شود. مشخصات استاندارد ASTM C150 ایجاب می‌کند که سیمان پرتلند "باید دارای ترکیبات شیمیایی زیر باشد: اکسید آلومینیوم، اکسید آهن، اکسید منیزیم، تری‌اکسید گوگرد، سیلیکات تری‌کلسیم (" C_3S ")، سیلیکات دی‌کلسیم (" C_2S ")، آلومینات تری‌کلسیم (" C_3A ")، و آلومینوفریت تتراکلسیم." وقتی سیمان با آب مخلوط می‌شوند، سیلیکات‌های کلسیم و آلومینات‌ها از طریق چندین واکنش هیدراتاسیون و ژل شدن هیدراته می‌شوند تا خمیر کلسیم سیلیکات هیدرات (" CSH ") تشکیل شود که به تدریج ذرات شن و ماسه را در بتن به هم می‌چسباند و سخت می‌شود و محصول مقاوم از طریق فرآیندی به نام گیرش تولید می‌شود. پس از گیرش اولیه، بتن به سخت شدن و افزایش مقاومت مکانیکی خود در مدت حدود ۳۰ روز ادامه می‌دهد.

علاوه بر تشکیل CSH، هیدراتاسیون معمولاً یک محصول جانبی به نام Portlandite را تشکیل می‌دهد که از هیدروکسید کلسیم (" CH ") تشکیل شده است. پرتلندیت خاصیت سیمانی ندارد و ممکن است باعث افزایش نامطلوب نفوذپذیری بتن در برابر آب شود که باعث کاهش مقاومت مکانیکی بتن می‌شود. برای کاهش این اثر، مواد سیمانی مکمل^۱ که معمولاً به عنوان پوزولان شناخته می‌شوند، ممکن است قبل از هیدراتاسیون به سیمان پرتلند یا بتن اضافه شوند تا با CH و آب در طول هیدراتاسیون از طریق واکنش پوزولانی واکنش دهند، که همچنین دارای اثر مفید شکل‌گیری ترکیبات سیمانی CSH اضافی هستند. یکی از این مواد می‌تواند گرافن باشد.

صنعت سیمان در تولید و انتشار حدود ۸ درصد گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن نقش دارد. حدود ۹۰ درصد از این میزان در طی فرآیند کلسینه شدن مواد سنگ‌آهک و رس در دمای بالا با مقادیر حدود ۰/۸ تن دی‌اکسید کربن در هر تن سیمان پرتلند (OPC) تولید می‌شود که شامل مقدار دی‌اکسید کربن تولید شده از احتراق سوخت‌های مورد استفاده برای گرم کردن کوره‌ها نیز می‌شود. با احتساب انتشار دی‌اکسید کربن از معدن تا نقطه استفاده، تقریباً ۱ تن دی‌اکسید کربن در هر تن سیمان پرتلند تولید می‌شود. بنابراین فعالیت تحقیق و توسعه قابل توجهی برای کاهش میزان استفاده از سیمان پرتلند در بتن و جایگزینی این سیمان با مواد مکمل سیمانی انجام می‌شود. همانطور که در بالا توضیح داده شد، استفاده از مکمل‌های سیمانی یکی از روش‌های کاهش مصرف سیمان در بتن و در نتیجه کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن است.

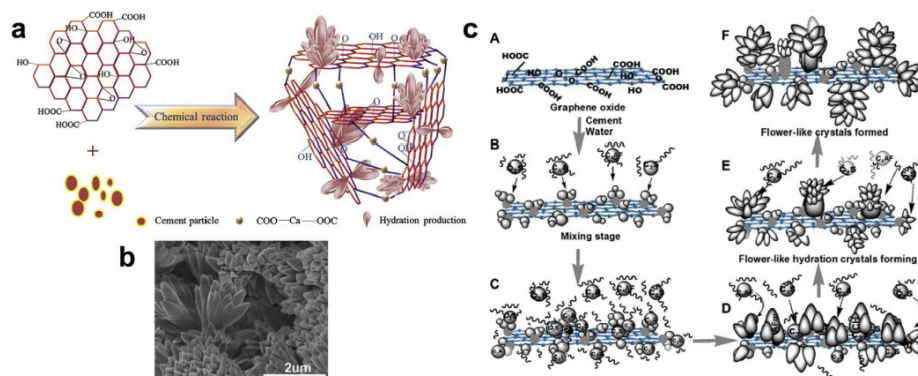
محققان دانشگاه اکستر (بریتانیا) گزارش داده‌اند که افزودنی‌های گرافن به سیمان ممکن است سطح جایگزینی سیمان در بتن را تا ۵۰ درصد افزایش دهد و منجر به کاهش قابل توجه انتشار دی‌اکسید کربن شود. مقادیر کم افزودنی‌های گرافن نیز استحکام مکانیکی، دوام و مقاومت در برابر آب بتن را افزایش می‌دهد.

گزارش‌ها نشان می‌دهند که گرافن از نظر فیزیکی و شیمیایی با خمیره سیمانی برهم‌کنش کرده و چسبندگی بین صفحات پایه گرافن و ژل سیمان را توسط نیروهای واندروالس بهبود می‌بخشد، که با جلوگیری از ایجاد ترک‌ها در مقیاس نانو، ساختار هیدراته را تقویت می‌کند. تغییرات در تخلخل و هیدراتاسیون در سطح مشترک سیمان-گرافن نیز مشاهده شده است.^۲

اهمیت ترکیبات سیمان در روند هیدراتاسیون بسیار زیاد است. ترکیبات سیمان زمان را در تشکیل هسته و رشد هیدرات‌های کلسیم سیلیکا را در طول هیدراتاسیون اولیه تنظیم می‌کند. گروه‌های شیمیایی موجود مانند OH ، O ، و COOH بر روی سطح نانوصفات گرافن با سیمان و آب واکنش نشان می‌دهند و محصولات واکنش هیدراتاسیون پیوسته با الگوی گل‌مانند (Flower like) تجمع می‌کنند. اثر هسته‌ای منجر به رشد محصولات هیدراتاسیون مانند $\text{C}(\text{OH})_2$ در

۱- Supplementary Concrete Materials

۲- US20240010555A1 – Cement compositions with 3d graphene carbons – Google Patents



شکل ۱- تشکیل محصولات شکوفه شکل بر اثر حضور گرافن در سیمان^۱

کامپوزیتی سیمانی پر شده با گرافن حاوی نانوپلاکت گرافن (GNP) تحت فشار کاهش می‌یابد. مطالعات نتایج امیدوارکننده‌ای را برای استفاده از کامپوزیت سیمانی مبتنی بر گرافن به عنوان مواد زیرساخت عمرانی هوشمند خودحسگر کرنش/آسیب نشان می‌دهد.

کامپوزیت‌های سیمانی مبتنی بر گرافن می‌توانند به عنوان مصالح ساختمانی برای جلوگیری از نفوذ کلرید و خوردگی و افزایش مقاومت شیمیایی در محیط‌های خورنده مانند آب دریا و کارخانه‌های شیمیایی مورد استفاده قرار گیرند. ریزساختار شدن منافذ در کامپوزیت‌های سیمانی با افزودن مواد مبتنی بر گرافن مانع از نفوذ و نفوذپذیری داخل کامپوزیت سیمانی می‌شود و در نتیجه دوام و مقاومت آن را بهبود می‌دهد. در همین حال، مواد مبتنی بر گرافن، مانند نانوذرات گرافن GNP، می‌توانند مواد شیمیایی (یون‌ها) را جذب و مسدود کنند و به دلیل سطح بالای خود به عنوان فیلتر عمل کنند و دوام کامپوزیت‌های سیمانی را بهبود دهند.^۲

۱-۲- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

در ساخت بتن در تمامی زمینه‌ها قابل بکارگیری است. با هدف کاهش میزان مصرف سیمان در بتن برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن در مقیاس جهانی این ویژگی را دارد که در تمامی محصولات بتنی در صنعت ساختمان و سایر صنایع به کار رود.

۱-۳- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه بر اساس این فناوری

بتن‌های مستحکم با حداقل میزان مصرف سیمان به عنوان بایندر اصلی

۱-۴- مزیت (های) کلیدی این فناوری

(کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تا کنون برآورده نشده و ...)

هنگامی که گرافن به عنوان یک افزودنی مبتنی بر آب در ملات معمولی مبتنی بر سیمان در سطوح دوز کمتر از ۱/۰٪ استفاده می‌شود، مشخص شد که مقاومت فشاری را تا ۳۴٪ و استحکام کششی را تا ۷٪ افزایش می‌دهد. با این حال، گرافن تولید شده توسط لایه برداری از گرافیت، یک افزودنی گران قیمت است.

۱-۵- نانوذرات بهره گرفته شده در این فناوری

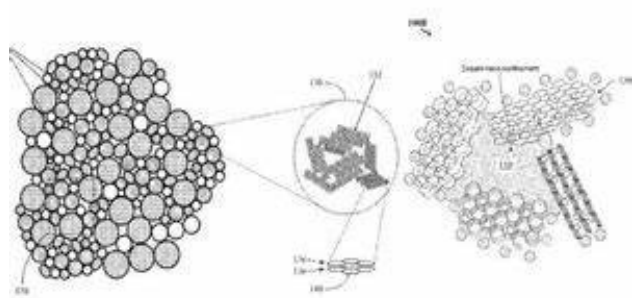
(از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

کربن‌های 3DG شامل توده‌هایی از نانوذرات کربن مزومتخلخل هستند که شامل یک یا چند دسته به هم پیوسته از

۱- Graphene-Based Cementitious Composites: Toward Next-Generation Construction Technologies

Małgorzata Krystek, Artur Ciesielski,* and Paolo Samorì*

۲- Application of graphene-based materials in developing sustainable infrastructure: An overview – ScienceDirect



لایه‌های گرافن رسانای الکتریکی است. کربن‌های 3D شامل گروه‌های عاملی حاوی اکسیژن هستند که روی یک یا چند سطح کربن‌های 3D یا درون کربن‌های 3D قرار دارند. شکل ۲ نموداری از یک نانوذره کربن مزوپور را نشان می‌دهد که بسته‌ای به هم پیوسته از ورقه‌های گرافن رسانای الکتریکی را نشان می‌دهد که ساختار داربست متخلخل باز سه بعدی را تشکیل می‌دهند.

کربن‌های 3D ممکن است شامل توده‌های نانوذرات کربنی با نانوپلاکت‌های گرافن با یک شبکه

متخلخل به هم پیوسته باشند. کربن‌های 3D ممکن است شامل نانوپلاکت‌های گرافنی باشند که به صورت متعامد به یکدیگر متصل شده‌اند تا ساختار داربست متخلخل گرافنی سه بعدی را تشکیل دهند. نانوپلاکت‌های گرافن ممکن است شامل یک یا چند گرافن تک لایه (SLG)، گرافن چندلایه (FLG) یا گرافن لایه‌ای زیادی (MLG) باشند.

۱-۶- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

- ۱- تولید گرافن سه بعدی
- ۲- تولید سیمان با افزودنی‌های مورد نظر همراه با گرافن
- ۳- تولید بتن با استفاده از مخلوط‌های آماده شده

۱-۷- فناوری‌های رقیب

(از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری بهره گرفته می‌شود؟)

- بتن‌های متداول با خواص استحکامی بالا با استفاده از نانوذرات سیلیکا
- بتن‌های مسلح متداول با خواص استحکامی بالا با استفاده از الیاف و یا میلگردها

۱-۸- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

فناوری‌های مربوط به آماده‌سازی افزودنی‌های مورد نظر در ترکیب سیمانی. دستگاه‌های میکسر مخصوص آماده‌سازی ملات مورد نظر و همچنین تجهیزات آماده‌سازی ملات خشک برای بسته‌بندی سایر فناوری‌های تولید گرافن‌های سه بعدی و یا کربن‌های صفحه‌ای متخلخل عبارتند از: Freeze drying method, Supercritical drying method, Electrospraying, Template-assisted method, Chemical reduction, photoinduced reduction, Air drying method, Vacuum drying method, Solvothermal and hydrothermal reduction, Thermal expansion of GO bulk, Electrochemical reduction, Wet-spinning before reduction, Freeze-casting process (pre- or post-reduction).

۱-۹- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید

(آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی‌ای را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

بله. علوم ساخت بتن‌های پیشرفته با استفاده از علوم نانو و ... همراستا با علم عمران و سازه می‌تواند منجر به ایجاد رشته‌ها و فعالیت‌های کاری تحقیقاتی جدید شوند. گرافن‌های سه بعدی در علوم مختلفی مانند علوم پزشکی، علوم مواد نوین، الکترونیک و ذخیره‌سازی انرژی کاربردهای بسیار زیادی دارند.

۱-۱۰- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی (آیا این اثر/فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

بتن پرمصرف‌ترین ماده حال حاضر بر روی کره زمین است. این ماده در صنعت ساخت‌وساز یکی از مهمترین مصالح بوده و تولید آن مستلزم مصرف مواد اولیه و مصرف انرژی بالایی است. خصوصا در فرایند ساخت سیمان انرژی و انتشار آلاینده‌های زیادی وجود دارد. کاهش مصرف سیمان منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده و از طریق افزایش استحکام بتن نهایی یا ملات‌های سیمانی می‌توان طول عمر سازه و کاهش مصرف و صرفه‌جویی در منابع اولیه و آب را ایجاد کرد. بنابراین استفاده از گرافن و یا مواد نوین برای کاهش مصرف سیمان در واحد تولید بتن در مقیاس کلان بسیار حائز اهمیت بوده و از نظر اجتماعی و محیط‌زیستی بسیار راهبردی و مهم است.

تحلیل بین المللی

۱-۲- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

- بازیگران در حوزه R&D
- بازیگران صنعتی/تجاری در مراحل مختلف زنجیره ارزش
- نهادهای سیاست‌گذار و نهادهای تنظیم مقررات در سطح بین‌المللی

■ همکاری شرکت PureGraph با شرکت سیمانی Breendon Cement Ltd تحت نظارت انجمن First Graphene Limited:

("The Company" یا "First Graphene" (ASX:FGR؛ "First Graphene Limited) با خوشحالی اعلام می‌کند که بخشی از کنسرسیومی است که کمک مالی دولت بریتانیا برای توسعه سیمان تقویت‌شده با گرافن با کارایی بالا را دریافت کرده است. کمک هزینه (360,206 AUD) (GBP 190,034) توسط آژانس نوآوری دولت، Innovate UK، اعطا شد و توسط کنسرسیومی که توسط First Graphene رهبری می‌شود شامل گروه مصالح ساختمانی Breendon Cement Ltd، گروه ساخت‌وساز و بازسازی Infrastructure Ltd، Morgan Sindall Construction، و گروه مهندسی مکانیک، عمران و هوافضا دانشگاه منچستر است.

محصولات First Graphene's PureGRAPH قبلاً در آزمایش‌های خارجی، مطابق با استانداردهای بین‌المللی، برای بهبود عملکرد کامپوزیت‌های سیمانی، افزایش مقاومت فشاری تا ۳۴ درصد و استحکام کششی ملات سیمانی تا ۲۷ درصد را نشان داده‌اند.

این پروژه یک محصول جدید سیمان تقویت‌شده با گرافن (GR-CEM) را با استفاده از افزودنی‌های PureGRAPH توسعه می‌دهد. GR-CEM نشان‌دهنده یک تغییر پله‌ای در عملکرد است که باعث کاهش فاکتور کلینکر و استفاده از مواد مکمل جایگزین با کربن کمتر مانند سنگ آهک و خاک رس کلسینه شده برای کاهش بار کلی دی‌اکسید کربن می‌شود. علاوه بر این، این پروژه شامل بهینه‌سازی فناوری‌های پراکندگی و تزریق گرافن و همچنین اعتبارسنجی اقتصادی، ایمنی و اثرات کاهش دی‌اکسید کربن خاص GR-CEM است.

این کمک هزینه از طریق برنامه TFI (Innovate UK's Transforming Foundation Industries) اعطا شد. مجموع هزینه‌های پروژه ۲۴۰,۸۶۵ پوند (AUD 456,555) خواهد بود که سهم گرافن فرست از این کمک هزینه در مجموع ۱۱۸,۶۰۷ پوند (AUD 224,817) خواهد بود. این پروژه مشترک، که قرار بود در ۱ فوریه ۲۰۲۲ آغاز شود، در یک دوره ۱۲ ماهه برنامه‌ریزی شده است.

فناوری‌های جدید توسعه‌یافته توسط کنسرسیوم در یک مرکز تولید سیمان به صورت آزمایشی اجرا می‌شود و عملکرد آن از طریق آزمایش‌های گسترده در برابر استانداردهای صنعت ساخت‌وساز ارزیابی می‌شود. الزامات عملکرد محصول بتنی توسط یک شرکت ساختمانی پیشرو در یک پروژه واقعی هدایت و ارزیابی می‌شود. در ژانویه، First Graphene قراردادی را با سازنده جهانی مواد شیمیایی ساختمانی Fosroc International Limited برای توسعه کمک‌های آسیاب سیمان با گرافن تقویت‌شده PureGRAPH امضا کرد.

در اواخر سال ۲۰۲۱، First Graphene همچنین یک اختراع را در دفتر مالکیت معنوی بریتانیا ثبت کرد که روش جدیدی را برای افزایش تولید تعلیق گرافن برای استفاده در افزودنی‌های سیمان و افزودنی‌های بتن توصیف می‌کند. کار تحقیقاتی انجام شده توسط دانشگاه Wollongong در سال گذشته همچنین بهبود عمده‌ای در مقاومت سولفات با استفاده از PureGRAPH® در بتن سازه‌ای و سیستم‌های ملات تعمیراتی نشان داد. این شرکت همچنین دارای برنامه‌های تحقیق، توسعه و تجاری‌سازی با متخصصان سیمان و بتن در آفریقای جنوبی و نیوزیلند است. مایکل بل، مدیر عامل First Graphene گفت: «ما از همکاری با شرکای پیشرو در صنعت، Breendon و Morgan Sindall، و همچنین دانشگاه منچستر، که مجموعاً کنسرسیوم قدرتمندی از تولیدکنندگان، کاربران و محققان را در سراسر جهان نمایندگی می‌کنند، خرسندیم. زنجیره تامین بتن یک فرصت عالی برای توسعه محصولات بتن تقویت‌شده با گرافن در مقیاس با دید استثنایی در بخش‌های سیمان و ساخت‌وساز است. همچنین تضمین این بودجه در یک محیط بسیار رقابتی، که گواهی بر توانایی‌های ساخت و مهندسی کنسرسیوم است، یک دستاورد بزرگ است.»

شرکت فرست گرافن (First Graphene) با یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان سیمان انگلیس یعنی گروه Breendon، سومین آزمایش خود را روی این محصول آغاز می‌کند که نتایج آن منجر به بهینه‌سازی فرمولاسیون PureGraph-

CEM[®] می‌شود. این کارآزمایی بر اساس نتایج فعالیت‌هایی است که اخیراً فرست‌گرافن با همکاری Breedon در کارخانه Hope بریدون آغاز کرده است که توانایی این شرکت در تولید سیمان پیشرفته گرافن را در مقیاس صنعتی تأیید می‌کند. آزمایش سوم این شرکت شامل تجربیات فنی و عملی به دست آمده در دو آزمایش اول برای بهینه‌سازی بیشتر عملکرد نانوپلاکت‌های گرافنی شرکت فرست‌گرافن است. محصول جدید فرست‌گرافن که مبتنی بر درجه خالصی از گرافن با توزیع اندازه ذرات و مورفولوژی بهینه شده است برای استفاده در آسیاب‌های سیمان تهیه شده است و این امکان را فراهم می‌کند که گرافن مستقیماً بدون هیچ‌گونه تجهیزات پردازش اضافی به آسیاب اضافه شود. این سیمان از استحکام و یکپارچگی قابل توجهی برخوردار بوده و عاری از هرگونه نقص، آسیب و خراب‌شدگی است که توسط دانشمندان و مهندسان این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته و تأیید شده است. طبق گفته مسئولان فرست‌گرافن، این طرح یک محیط بهینه و چالش‌برانگیز برای آزمایش توان و نفوذپذیری سیمان تقویت‌شده با گرافن است. این کار آزمایشی قرار است از سه ماهه اول سال مالی ۲۰۲۵-۲۰۲۴ شروع شود و بیش از ۲ تن افزودنی ایجاد شود که می‌توان از آن در هزار تن سیمان استفاده نمود. این افزودنی گرافنی در فرآیند تولید سیمان استفاده می‌شود و از این سیمان برای کارهای تست و آزمون استفاده خواهد شد. در این آزمایش‌ها قرار است عملکرد سیمان مورد بررسی قرار گرفته و همچنین مشخص شود که سیمان جدید چقدر روی کاهش مصرف انرژی و همچنین روی فرآیند تولید اثرگذار است. براساس این گزارش، به احتمال زیاد نتایج حاصل از این آزمایش در نیمه دوم سال ۲۰۲۴ منتشر شود.

■ تعدادی از تحقیقات انجام شده در مقیاس دانشگاهی:

■ بررسی اثر هم‌افزایی گرافن سه‌بعدی 3DG و دوده سیلیس (SF) بر روی خواص خمیر سیمان سخت شده. در این مطالعه، 3DG با ۰ درصد وزنی تا ۲ درصد وزنی به ترتیب به خمیر سیمان با ۰ درصد وزنی و ۱۰ درصد وزنی SF اضافه شد. نتایج نشان می‌دهد که پس از ترکیب ۰/۱ درصد وزنی 3DG و ۱۰ درصد وزنی SF، ریزساختار، خواص مکانیکی و محتوای C-S-H با چگالی بالا خمیر سیمان سخت شده به طور قابل توجهی بهبود یافته است و غلظت کلرید مرزی و نفوذپذیری کلرید آن به ترتیب ۷۵ و ۵۴ درصد کاهش یافته است. این امر به ترویج و کاربرد مواد مبتنی بر سیمان در بتن ساحلی کمک می‌کند. نتیجه: 3DG نمی‌تواند محصولات هیدراتاسیون جدیدی ایجاد کند، اما می‌تواند به طور موثر ریزساختار خمیر سیمان سخت شده را بهبود بخشد، که در آن محصولات هیدراتاسیون متراکم‌تر می‌شوند.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه‌حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کم‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/راه‌اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی/افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل‌سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

۲-۱- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

برای این محصول سطح آمادگی فناوری (TRL) برابر با ۶ و سطح آمادگی بازار (MRL) برابر ۷ است.

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۲-۱۲- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

محصول بتن حاوی گرافن‌های سه‌بعدی در مراحل اولیه چرخه عمر و در مرحله تولد است. از نظر نوظهور بودن، این محصول در درجه بالایی از نوظهور بودن است.

۲-۳- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش روی فناوری

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

پیشران‌های فنی: وجود مواد نانویی و ترکیبات مختلف مورد استفاده در صنعت سیمان و بتن مانند بهبوددهنده‌ها و ... و همچنین ساخت گرافن به صورت عمده و صنعتی در شرکت‌های مطرح دنیا از پیشران‌های فنی این موضوع است. چالش‌های فنی: نیاز به اثبات کارایی و دوام محصول در مقایسه با سایر محصولات متداول و آرایه استانداردهای مرتبط برای استفاده

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

پیشران‌های اقتصادی: کاهش مصرف سیمان و همچنین کاهش وزن بتن‌های تولید شده و افزایش استحکام در بلندمدت منجر به کاهش هزینه‌های بتن در ساخت‌وساز می‌شود. چالش‌های اقتصادی: از نظر قیمتی مانند بسیاری از فناوری‌های نوین در مرحله اول رشد، احتمالاً به دلیل قیمت بالا دارای مصارف صنعتی و یا در برج‌ها و سازه‌های مهم و استراتژیک خواهد بود. گزارش‌ها حاکی از آن است که در حجم‌های نزدیک به ۵ تن، محدوده قیمت پودرهای نانوپلاکت گرافن ممکن است حدود ۲۵۰ دلار/کیلوگرم تا ۳۰۰ دلار/کیلوگرم باشد که حدود ۲۰۰۰ برابر قیمت سیمان پرتلند آمریکا (حدود ۱۲۵ دلار/تن) است. بنابراین افزودنی‌های ارزان‌تر و ترکیبات سیمانی که سطوح جایگزینی بالاتری برای سیمان پرتلند ارائه می‌دهند و منجر به کاهش زمان گیرش بدون کاهش مقاومت مکانیکی می‌شوند، مورد نیاز است. با این حال باید توجه داشت که میزان مصرف این نانوماده در بتن نسبت به حجم کلی آن بسیار کم خواهد بود.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

پیشران سلامت: از نظر سلامت و اهمیت، افزایش ایمنی سازه‌ها در برابر زلزله و همچنین کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به سبب کاهش وزن و مواد به‌کار رفته است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

صنعت ساختمان و ساخت‌وساز جهانی بیش از ۳۶ درصد از کل انرژی را مصرف کرده و تقریباً ۳۹ درصد از کل انتشار دی‌اکسید کربن را در سال ۲۰۱۸ به خود اختصاص داده است [۱]. سیمان به عنوان جزء اصلی بتن، منبع تقریباً ۸ درصد از کل انتشار دی‌اکسید کربن در جهان بوده است [۲]. بنابراین، کامپوزیت‌های بتن و ملات جدید با کاهش حجم سیمان و دوام بیشتر مورد نیاز است. اصلاح و جایگزینی مصالح رایج در صنعت ساختمان امروزه از موضوعات مهم تحقیقاتی است. یک ماده امیدوارکننده که به طور قابل توجهی خواص بتن را بهبود می‌دهد گرافن است.

۲-۴- تحلیل بازار در سطح جهانی

اطلاعات دقیق به‌دست نیامده است.

۲-۵- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

ترکیب مواد مبتنی بر گرافن در مصالح ساختمانی، مانند سیمان، عایق‌های صوتی و حرارتی، آسفالت، آتش‌نشانی، PCM ها و مواد ضد خوردگی، نتایج امیدوارکننده‌ای را نشان داده است. با این حال در حال حاضر، این کاربردها عموماً به مقیاس آزمایشگاهی محدود می‌شوند.

ساختمان‌های بلند، بزرگراه‌ها، پل‌ها، باند فرودگاه‌ها و تراورس‌های دال پیوسته برای قطارهای پرسرعت، سدها و سازه‌های آبی سبک وزن تنها چند نمونه از کاربردهای زیرساختی عمرانی برای بتن‌های دارای گرافن سه‌بعدی خواهند بود. استفاده از این بتن در سازه‌های سد و سازه‌های بتنی که میزان مصرف بالایی از بتن دارند منجر به کاهش مصرف سیمان در مقیاس بزرگ می‌شود. می‌توان انتظار داشت با تولید نیمه‌صنعتی و صنعتی این سیمان‌ها و با نزدیک شدن قیمت و فرایندهای تولید به بتن‌های معمولی شاهد افزایش و فراگیر شدن این بتن‌ها در مقیاس عمده خواهیم بود.

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیت‌های انجام شده در کشور

- فعالیت‌های توسعه محصول و تجاری‌سازی
در حوزه تحقیقات استفاده از گرافن در تولید سیمان و بتن در کشور، کارهایی توسط محققان انجام شده است. عمده این تحقیقات در حوزه گرافن اکساید و گرافن بوده است.
- ۱- فعالیت‌های تحقیقاتی:
■ بررسی خواص مکانیکی و فیزیکی سیمان تقویت شده با نانوکامپوزیت گرافن - اکسید تیتانیوم
پارسا کارشناسی ارشد ۱۴۰۰
پدیدآور: آرمان سیف‌اللهی تیمورلوئی استاد راهنما: میثم جلالی استاد مشاور: اصغر حبیب نژاد کورایم
دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده فناوری‌های نوین
- بررسی ساختار و خواص شیمیایی نانواکسید گرافن بر سیمان استخوانی
پارسا کارشناسی ارشد ۱۳۹۹
موضوع: علوم و فناوری نانو
پدیدآور: ایمان شکری استاد راهنما: حسین سلمانی
موسسه آموزش عالی کاوش، گروه نفت-شیمی
- بررسی خصوصیات مکانیکی و دوام ملات سیمان حاوی آب مغناطیسی و گرافیت و گرافن
پارسا کارشناسی ارشد ۱۳۹۸
پدیدآور: مجتبی اعتصامی آشتیانی استاد راهنما: سید حسین قاسم زاده موسوی نژاد
دانشگاه گیلان، دانشکده فنی
- بررسی اثر افزودن نانو گرافن اکساید و الیاف کربنی بر میرایی خمیره سیمان
پارسا کارشناسی ارشد ۱۴۰۰
پدیدآور: سامان سکاکی استاد راهنما: اصغر حبیب نژاد کورایم استاد راهنما: پدram قادری
دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران
- بررسی آزمایشگاهی اثر نانو گرافن بر خصوصیات ماسه بابلستر تثبیت شده با سیمان
پیشنهاد کارشناسی ارشد ۱۴۰۰
پدیدآور: مریم تقی پور استاد راهنما: عسکر جاعلی زاده استاد مشاور: محمد ولیزاده
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، دانشکده مهندسی عمران
- بررسی تاثیر استفاده همزمان از ژئولیت و نانوگرافن اکساید بر خواص مکانیکی و دوام ملات در شرایط حمله سولفاتی و کلرایدی
پارسا کارشناسی ارشد ۱۴۰۰
پدیدآور: میترا ابراهیمی استاد راهنما: اصغر حبیب نژاد کورایم استاد راهنما: سید سجاد میروولد
دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران
- بررسی تاثیر نانوکامپوزیت سیمان-گرافن اکساید در تثبیت خاک ماسه‌ای
پارسا کارشناسی ارشد ۱۴۰۱
پدیدآور: زهرا میرزائی استاد راهنما: مجتبی قاسمی
دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، دانشکده عمران و نقشه‌برداری
- بررسی تاثیر گرافن اکساید و دیاتومیت بر مشخصات رئولوژی و مکانیکی خمیر سیمان
پارسا کارشناسی ارشد ۱۴۰۰
پدیدآور: احمد محمدنژاد استاد راهنما: اصغر حبیب نژاد کورایم استاد مشاور: جودت تاشان
دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران

- تاثیر سرباره‌ی مس بر پخش پذیری گرافن اکساید در محیط قلیایی سیمانی
پارسا کارشناسی ارشد ۱۴۰۱
- پدیدآور: محمدرضا توسلی استاد راهنما؛ اصغر حبیب نژاد کورایم استاد راهنما؛ سید سجاد میرولد
دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران
- مدل سازی و بررسی آزمایشگاهی اثر نانوساختارهای کربنی بر ریزساختار و خواص خمیر سیمان
پارسا دکتری تخصصی (PhD) ۱۳۹۲
- موضوع: مهندسی عمران
- پدیدآور: بابک فخیم استاد راهنما؛ ابوالفضل حسنی استاد مشاور؛ علیمراد رشیدی استاد مشاور؛ پرویز قدوسی
دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده عمران
- ترکیب نانو ورق‌های گرافن اکساید در کامپوزیت سیمان و تاثیر آن بر پارامترهای ژئوتکنیکی خاک
پیشنهاد کارشناسی ارشد ۱۳۹۹
- پدیدآور: زهرا میرزائی استاد راهنما؛ مجتبی قاسمی
- دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، دانشکده عمران و نقشه‌برداری
- بررسی تجربی خواص مکانیکی بتن اصلاح شده با گرافن
پارسا کارشناسی ارشد ۱۳۹۳
- پدیدآور: سها امیدی استاد راهنما؛ رستم مرادیان استاد راهنما؛ بندر آستین چپ
دانشگاه رازی، دانشکده علوم پایه
- مشخصه‌یابی و بهبود ویژگی‌های نانوساختاری کامپوزیت سیمانی با اکسید گرافن/نانوالیاف سرامیکی
پارسا دکتری تخصصی (PhD) ۱۳۹۷
- پدیدآور: حسین سلمانی استاد راهنما؛ علی بهاری پنبه چوله
- دانشگاه مازندران، دانشکده علوم پایه
- بررسی دوام و خواص مکانیکی کامپوزیت‌های سیمانی حاوی ترکیب نانوگرافن اکساید و پوزولان پومیس در شرایط
حمله سولفاتی و کلریدی
- پارسا کارشناسی ارشد ۱۴۰۰
- پدیدآور: مائده افخمی اردکانی استاد راهنما؛ سید سجاد میرولد استاد راهنما؛ اصغر حبیب نژاد کورایم
دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران
- تاثیر نانوذرات گرافن بر کامپوزیت‌های سیمانی
پارسا کارشناسی ارشد ۱۳۹۶
- پدیدآور: مریم قاسمی استاد راهنما؛ علی اصغر قریشی استاد مشاور؛ حسین سلمانی
موسسه آموزش عالی کاوش
- تأثیر نانوذرات گرافن بر روی مشخصات مکانیکی و دوام بتن‌های معمولی
پارسا کارشناسی ارشد ۱۳۹۵
- پدیدآور: محمدرضا محمدی استاد راهنما؛ جمال احمدی استاد مشاور؛ سمیه محمدی
دانشگاه زنجان، دانشکده فنی و مهندسی
- مطالعه‌ی تأثیر اکسیدگرافن بر نفوذپذیری بتن با استفاده از روش محفظه‌ی استوانه‌ای
پارسا دکتری تخصصی (PhD) ۱۴۰۰
- پدیدآور: مهنا صفرخانی استاد راهنما؛ محمود نادری
- دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، دانشکده فنی و مهندسی
- بررسی دوام و خواص مکانیکی ملات حاوی ترکیب نانوگرافن اکساید و متاکائولن در شرایط حمله سولفاتی و کلرایدی
پیشنهاد کارشناسی ارشد ۱۴۰۱
- پدیدآور: محمد علوی مهر استاد راهنما؛ سید سجاد میرولد استاد راهنما؛ اصغر حبیب نژاد کورایم
دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران
- اثر ترکیبی نانوگرافن اکساید و پوزولان پومیس بر خواص مکانیکی و نفوذپذیری کامپوزیت سیمانی
پارسا کارشناسی ارشد ۱۳۹۸
- پدیدآور: حامد اسفندیاری آتشگاه استاد راهنما؛ اصغر حبیب نژاد کورایم استاد راهنما؛ سیدسجاد میرولد
دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران

■ ارزیابی عملکرد گرافن اکساید بر دیسپرسیون نانو ذرات SiO_2 در آب و تأثیر آن بر خصوصیات دوامی و مکانیکی ملات‌های حاوی پوزولان‌های طبیعی
پارسا کارشناسی ارشد ۱۳۹۹
پدیدآور: محمدمهدی زائری امیرانی استاد راهنما: علی اکبر رضانیپور استاد راهنما: سید سجاد میرولد
دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

همان‌طور که در بخش بین‌الملل ذکر شد کاربردهای آن در حوزه ساخت برج‌ها و ساختمان‌های بلند و سازه‌های ضدزلزله و همچنین سازه‌های دریایی و ساحلی است.

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

با توجه به اینکه این فناوری در مرحله انجام تحقیقات و ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی است می‌توان سطح آمادگی فناوری (TRL) و سطح آمادگی بازار (MRL) را ۵ در نظر گرفت.

سطح آمادگی بازار									
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۹									خلق راه‌حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار
۸									شناسایی متخصصان دارای توانمندی
۷									تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه‌حل
۶									ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول/خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه‌حل
۵									شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه‌حل (مانند راهبری پروژه)
۴									کمی‌سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول / خدمت جدید
۳									شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول / خدمت جدید
۲									شناسایی یک نیاز بخصوص
۱									شکل‌گیری این احساس که (چیزی کم است)

سطح آمادگی فناوری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
راه‌اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی / راه‌اندازی خط تولید									
تکمیل سیستم نهایی / افزایش مقیاس تولید به سطح تولید پایوت									
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی									
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد									
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی									
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه									
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن									
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها									

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۳-۴- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

- منابع انسانی : دارد
- زیرساخت آزمایشگاهی و نمونه‌سازی: دارد
- زیرساخت تولید: دارد
- آزمایشگاه مرجع : دارد
- منابع مالی: در صورت تامین توسط دولت یا بخش خصوصی
- توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری: دارد
- زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش: دارد

منابع انسانی و زیرساخت آزمایشگاهی و علمی کشور به صورت مناسبی برای توسعه این محصول فراهم است.

۳-۵- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

از نظر فنی وجود شرکت‌های قوی در حوزه بتن می‌تواند پیشرانی برای استفاده از این محصول باشد. همچنین نیاز به صرفه‌جویی در مصالح در بسیاری از مکان‌ها در کشور ما می‌تواند استفاده از این بتن‌ها را توجیه کند. چالش‌های مربوط به حفظ استحکام بتن از جمله چالش‌های فنی این محصول است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

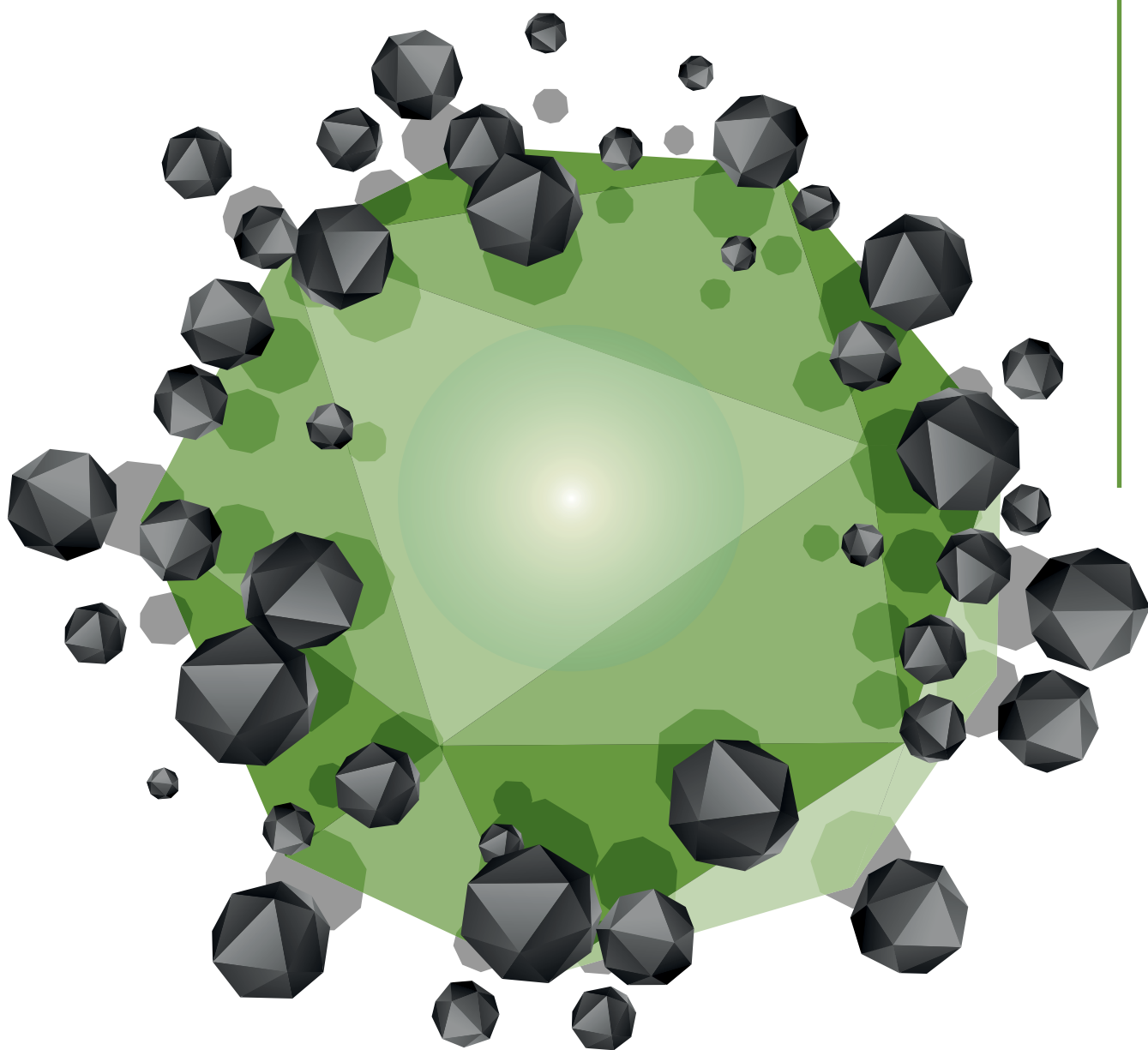
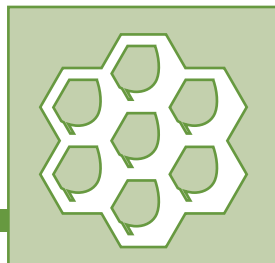
این بتن دارای قیمت بالاتری نسبت به بتن معمولی بوده و از نظر اقتصادی چالش دارد. در صورت صنعتی شدن آن و هزینه مشابه یا کمی بیشتر استفاده از آن فراگیر خواهد شد. مشابه بخش بین‌الملل.

۳-۶- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

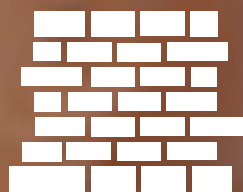
کشورهای همسایه می‌توانند هدف صادراتی خوبی باشند. خصوصا کشورهای شیخ‌نشین حاشیه خلیج فارس که از نظر مالی و هزینه‌های پروژه‌های بزرگ بسیار توانمند هستند می‌توانند بازار خوبی برای تولیدکنندگان خوب و نمونه ایرانی باشند. در صورتی که هزینه کمتر از نمونه‌های غربی باشد با روابط خوبی که با کشورهای عربی وجود دارد می‌تواند بازار خوبی به دست آورد.

۳-۷- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

نسبت به وضعیت جهانی هنوز استفاده صنعتی از این فناوری در تولید سیمان و بتن انجام نشده است. با توجه به این که به احتمال زیاد سیمان باید بهینه‌سازی شود باید شرکت‌های تولید سیمان وارد روند استفاده از این فناوری شوند. این امر مستلزم وجود نوآوری در صنعت تولید سیمان پرتلند است. نیاز به هزینه بر روی تحقیقات و گسترش آن و همچنین مشکلات اقتصادی در کشور مانع از تولید و توسعه این بتن‌ها می‌شود. شرکت‌های سیمانی باید برای ارتقا محصول خود و تولید گریدهای جدید وارد این موضوع شوند که با توجه به چالش‌های این شرکت‌ها و صنعت کمی دور به نظر می‌رسد. حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان و محققان دانشگاهی و همکاری مشترک آن‌ها با شرکت‌های بزرگ تولید بتن و ساخت‌وساز در کشور راهگشا خواهد بود. البته در صورت نیاز به تولید سیمان گرید خاص باید روابط بین محققان و شرکت‌ها با شرکت‌های تولید سیمان برقرار شود. در وهله اول استفاده از گرافن دو و سه بعدی در تولید سیمان و سپس در تولید بتن باید با همکاری بین محققان و شرکت‌های پیشرو انجام شود. سپس با تولید انبوه آن و استفاده در پروژه‌های بزرگ ساخت‌وساز کشور منجر به جهش تولید و استفاده از آن شود.



۲۴



آجر ساخته شده از زباله‌های
بازیافتی، ویژگی‌های مسلح شده
وسبک، دوستدار محیط زیست و
عایق صوت

www.nano.ir

توصیف عمومی فناوری

۱-۱ ویژگی مورد انتظار از فناوری (فناوری مبتنی بر این ویژگی چه کار می‌کند؟)

آجرهای ساخته شده از بازیافت زباله با مواد سبک، دوستدار محیط زیست و عایق صوت در طبقه مصالح سازگار با محیط زیست، فناوری‌های نوین جاده‌ها، ساخت و ساز و بازیافت قرار می‌گیرند. این محصول در صنعت ساختمان سازی، برای تولید قطعات پیش ساخته، بازیافت زباله‌های پلیمری بازیافت نشده و تجزیه ناپذیر، بازیافت محصولات پلی استایرن و غیره استفاده می‌شود.

با توجه به سیاست‌های استفاده از مصالح سبز و محیط زیستی و بازیافت پسماندها، آجرهای بازیافتی، از مواد پلیمری بازیافتی به میزان حدود ۸۵ درصد از حجم کل آجر، سنگ دانه‌ها و ۱۳ درصد سیمان و مواد معدنی و ۱ درصد پلیمرهای چسبنده و محافظ مانند رزین آکریلیک یا پلی استر و ۱ درصد الیاف پلیمری و فلزی به صورت نمونه طراحی و ساخته شده



است که نه تنها دارای مزایای سنگ دانه‌های قبلی است، بلکه دارای خواص جدیدی هستند.

توسعه فناوری ساخت این نوع جدید از آجرها، پیشبرد اهدافی از قبیل رفع عیوبی نظیر هزینه بالا، غیرقابل بازیافت بودن، وزن سنگین و مسائل محیط زیستی است. همچنین فرآیند تولید این نوع از آجرها به بازیافت زباله‌های غیرقابل بازیافت و مخرب مانند کیسه‌های پلاستیکی و دستی، ظروف یک بار مصرف پلی استایرن منبسط شده، پلاستوفون‌ها، یونولیت‌ها، الیاف پلاستیکی زباله و سایر مواد و مشتقات پلاستیکی و پلیمری و EPS حجیم و سبک کمک می‌کند.

در ترکیب این نوع به خصوص از آجر، ضایعات پلیمری اسفنجی تجزیه ناپذیر بازیافت و به صورت خشک و خنک به

شکل ۱- آجر ساخته شده از مواد زائد ساختمانی بازیافتی
میزان حدود ۸۵ درصد مورد استفاده قرار گرفته و جایگزین مواد معدنی ارزشمند و حیاتی می‌شود. همچنین فرآیند تولید تا حدود ۵۰ درصد در مصرف آب صرفه جویی به عمل می‌آورد. فناوری تولید سازگار با محیط زیست بدون گرما، سوخت‌های فسیلی و کوره‌های حرارتی بزرگ و جلوگیری از تولید گازهای گلخانه‌ای و تخریب مراتع و معادن با ارزش و کاهش حدود ۸۰ درصدی مصرف مواد خام معدنی دیگر برتری این نوع از آجرها محسوب می‌شود. چگالی فضایی و حجمی کمتر از موارد مشابه (به دلیل استفاده از مواد بازیافت پلیمری)، کاهش هزینه سنگ دانه‌های صنعتی با فناوری پیشرفته و ویژه تولید غیرحرارتی، استفاده از مواد اولیه بازیافتی و مواد پلیمری موجود و ارزان در تمام نقاط جهان، رفع محدودیت‌های رنگی سنگ دانه‌های سبک صنعتی با تولید سنگ دانه‌های سبک رنگی با تنوع رنگ بسیار زیاد، وزن بسیار سبک، مقاومت فشاری و کششی خوب به دلیل در دسترس بودن الیاف سیمانی و پلاستیک و چسب‌های همگن، عایق صوتی و حرارتی بسیار خوب به دلیل تراشه‌ها و سنگ دانه‌های بازیافتی پلاستیکی و مشتقات EPS به جای هوا، مسلح و زره پوش بودن برای مقاومت سطحی و کششی و شکستگی به دلیل در دسترس بودن الیاف پلاستیکی، هدایت حرارتی بسیار خوب به دلیل تخلخل، قیمت بسیار پایین به دلیل وجود مواد بازیافتی ارزان به ۶۵ درصد از کل حجم، حمل و نقل آسان و کم هزینه به دلیل وزن بسیار کم و حجم هندسی مناسب، رنگ پذیری به دلیل در دسترس بودن سیمان و سایر مواد همگن با پلی استر و موارد دیگر، از جمله مزایای این نوآوری است.

روش تولید این آجرها بدون انرژی حرارتی و با آسیاب کردن مواد پلیمری بازیافتی به صورت تراشه و ترکیب این تراشه‌ها با مواد سیمانی، رزین و الیاف پلیمری و فلزی به صورت نیمه خشک در مخلوطکن‌های مخصوص طبق دستورالعمل به شرح زیر است:



شکل ۲- آجر سوراخ دار رنگارنگ



شکل ۳- بلوک سیمانی حاوی پلیمرهای بازیافتی

ابتدا پلیمرهای اسفنجی بازیافتی جمع‌آوری، شستشو و خشک می‌شوند و سپس با دستگاه فرز مخصوص حداکثر ۳ میلی‌لیتر میکرونیزه شده و در انبارهای کیسه‌ای نگهداری می‌شوند. سپس مواد سیمانی و خشک مانند سیمان، میکروسیلیس، رنگ و الیاف پلیمری در مخلوط‌کن‌های خشک مخلوط شده و به‌عنوان مواد سیمانی مسلح در سیلوهای فلزی نگهداری می‌شوند. سپس سیمان و مواد چسبنده (رزین آکریلیک) و آب با هم ترکیب شده و ملات شفاف خوبی با چرخش دوم کم در سیلوهای فولادی ذخیره می‌شود. سپس مواد بازیافتی را در یک میکسر مخصوص (سانتریفیوژ) ریخته و سپس به آرامی می‌چرخانند و سپس ملات سیمانی را که با نسبت‌های از پیش طراحی شده برحسب نوع و کاربری طراحی شده است، داخل میکسر پاشیده و با دور سریع مخلوط می‌شود. در نهایت مخلوط داخل مخلوط‌کن و مواد بازیافتی کاملاً با مواد چسبنده و ملات پوشانده می‌شود. در ادامه مواد سیمان خشک و پودر شده را به نسبت‌های از پیش طراحی شده با آب پاشیده و مخلوط کرده و در قالب‌های آجری می‌ریزند. مخلوط‌های قالب‌گیری شده به مدت ۸ ساعت در کوره خواهد بود. سپس آجرها را به انبارهای مخصوص برده و باید در رطوبت ۷۵ درصد یا ۱۶ ساعت در آب نگهداری شود. شکل ۳ نمونه‌ای از بلوک سیمانی حاوی پلیمرهای بازیافتی تولید شده توسط یک استارت‌آپ کاستاریکایی را نشان می‌دهد.

۲-۱- کاربردهای محتمل این ویژگی و فناوری

به‌طورکلی، کاربرد اصلی این آجرها در صنعت راه و ساختمان بوده و برای پوشش دیوار، سقف، نما و کف استفاده می‌شود. در ادامه به‌صورت جزئی‌تر درباره کاربردهای این محصول توضیح داده می‌شود:

- ساخت‌وساز و ساختمان: کاربرد اولیه این آجرها در ساخت‌وساز است. دوام، پایداری و پتانسیل آن‌ها برای بهبود ویژگی‌های صوتی، آن‌ها را برای ساختمان‌های مسکونی، تجاری و صنعتی مناسب می‌کند.
- اثرات محیط‌زیستی: با استفاده از مواد بازیافتی، این آجرها به کاهش ضایعات و ترویج بازیافت کمک می‌کنند و به اقتصاد کارتر و شیوه‌های ساختمانی پایدار کمک می‌کنند.
- امنیت: اگر آجرها دارای مقاومت یا ویژگی‌های حفاظتی بهبود یافته باشند، می‌توان از آن‌ها در سازه‌هایی استفاده کرد که ایجاد امنیت بیشتر در آن‌ها مسئله مهمی است؛ مانند سفارتخانه‌ها، ساختمان‌های نظامی یا تأسیسات با امنیت بالا.
- کاهش نویز: ویژگی‌های صوتی آن‌ها را برای کاربرد در محیط‌های حساس به نویز، مانند دفاتر، مدارس، یا مناطق مسکونی که در آن‌ها کاهش نویز خارجی یا بهبود آکوستیک داخلی مهم است، ایده‌آل می‌سازد.
- دیوارهای عایق صدا
- پنل‌های عایق حرارتی
- سیستم‌های ساختمان مدولار
- سنگفرش سازگار با محیط‌زیست

به‌طور خلاصه، آجر مورد بحث یک رویکرد چندمنظوره برای ساخت‌وساز ارائه می‌دهد که پایداری را با ویژگی‌های عملی مانند دوام افزایش یافته و عملکرد صوتی ترکیب می‌کند. استفاده نوآورانه آن از مواد بازیافتی، آن را به‌عنوان یک راه حل آینده‌نگر در شیوه‌های ساختمانی مدرن قرار می‌دهد.

۳-۱- محصولات توسعه یافته یا در حال توسعه بر اساس این فناوری

- آجرهای سازگار با محیط‌زیست: از این آجرها می‌توان در ساختمان‌سازی برای ایجاد سازه‌های سازگار با محیط‌زیست استفاده کرد. استفاده آن‌ها از مواد بازیافتی به کاهش اثرات محیط‌زیستی ساخت‌وساز کمک می‌کند.
- اجزای ساختمان سبز: می‌توانند در اجزای مختلف ساختمان مانند دیوارها، نماها و پارتیشن‌ها ادغام شوند و به پایداری کلی ساختمان کمک کنند.
- پانل‌های پیش‌ساخته: از آجرها می‌توان برای ایجاد پانل‌های پیش‌ساخته برای ساخت سریع و ساختمان‌های مدولار استفاده کرد. این پانل‌ها را می‌توان به‌گونه‌ای طراحی کرد که دارای مزایای صوتی و حرارتی آجرها باشد.

۴-۱- مزیت (های) کلیدی این فناوری (کاهش قیمت، سهولت اجرا، رفع نیازی که تاکنون برآورده نشده و...)

- بازیافت زباله‌های غیرقابل بازیافت و مخرب مانند کیسه‌های پلاستیکی و دستی، ظروف یک بار مصرف پلی‌استایرن منبسط شده، پلاستوفون‌ها، یونولیت‌ها، الیاف پلاستیکی زباله و سایر مواد و مشتقات پلاستیکی و پلیمری و EPS حجیم و سبک.
- بازیافت و استفاده از ضایعات پلیمری اسفنجی تجزیه‌ناپذیر به صورت خشک و خنک به میزان حدود ۸۵ درصد و جایگزینی مواد معدنی ارزشمند و حیاتی.
- کاهش حدود ۸۰ درصدی مصرف مواد خام معدنی به عنوان ثروت ملی
- چگالی فضایی و حجمی کمتر از موارد مشابه (به دلیل استفاده از مواد بازیافت پلیمری)
- کاهش هزینه سنگ‌دانه‌های صنعتی با فناوری پیشرفته و ویژه تولید غیرحرارتی، استفاده از مواد اولیه بازیافتی و مواد پلیمری موجود و ارزان در تمام نقاط جهان
- وزن بسیار سبک
- مقاومت فشاری و کششی خوب: به دلیل در دسترس بودن الیاف سیمانی و پلاستیک و چسب‌های همگن
- عایق صوتی و حرارتی بسیار خوب: تراشه‌ها و سنگ‌دانه‌های بازیافتی پلاستیکی و مشتقات EPS به جای هوا.
- مسلح و زره‌پوش بودن برای مقاومت سطحی و کششی و شکستگی: به دلیل در دسترس بودن الیاف پلاستیکی
- هدایت حرارتی بسیار خوب: به دلیل تخلخل
- قیمت بسیار پایین: به دلیل وجود مواد بازیافتی ارزان به ۶۵ درصد از کل حجم
- حمل‌ونقل آسان و کم‌هزینه: به دلیل وزن بسیار کم و حجم هندسی مناسب، می‌توان آن را بسته‌بندی کرد.
- رنگ‌پذیری: به دلیل در دسترس بودن سیمان و سایر مواد همگن با پلی‌استر
- عدم استفاده از ظروف یک بار مصرف و کیسه‌های پلاستیکی و دستی و محصولات EPS منبسط شده از زباله و طبیعت
- بهینه‌سازی مصرف انرژی منابع طبیعی کشور به دلیل عایق‌کاری ساختمان‌های مسکونی و صنعتی
- عدم استفاده از خاک رس و سایر مواد معدنی با ارزش محیط‌زیستی در تولید آجر
- کاهش آلاینده‌های هوای مواد اولیه پخت در تولید سنگ‌دانه‌های سبک صنعتی
- کاهش مواد پلیمری اسفنجی در طبیعت و مراکز جمع‌آوری زباله
- کاهش مصرف آب آشامیدنی در حدود ۵۰ درصد از چرخه بتن و سنگ‌دانه‌های سبک به دلیل جذب آب کمتر از ۳ درصد
- عدم استفاده از مواد شیمیایی مضر و زیست‌تخریب‌پذیر در فرآیند تولید
- تبدیل زباله به یک محصول با ارزش و قابل استفاده

۵-۱- نانوذرات بهره‌گرفته شده در این فناوری (از چه فناوری‌های نانویی برای تولید یا به‌کارگیری محصولات استفاده می‌شود؟)

- با توجه به ویژگی‌های پیشرفته توصیف شده مانند دوام افزایش یافته، خواص صوتی، و مزایای محیط‌زیستی چندین نوع نانوذرات و فناوری نانو به‌طور بالقوه می‌توانند در فرآیند تولید دخیل باشند. در اینجا یک نمای کلی از آنچه ممکن است بر اساس فناوری‌های مشابه مورد استفاده قرار گیرد آورده شده است:
- **نانوذرات برای افزایش دوام و استحکام:**
 - نانوذرات سیلیس: این نانوذرات می‌توانند خواص مکانیکی آجرها را بهبود بخشند و آن‌ها را در برابر ترک خوردگی و سایش مقاوم‌تر کنند.
 - نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2): که به دلیل خواص فوتوکاتالیزتی خود شناخته شده‌اند، می‌توانند دوام و خواص خودتمیزشوندگی آجرها را با تجزیه آلاینده‌های آلی در مواجهه با نور افزایش دهند.
 - نانولوله‌های کربنی: این نانولوله‌ها دارای استحکام استثنایی هستند و می‌توان از آن‌ها برای تقویت آجرها استفاده کرد و باعث افزایش استحکام کششی و دوام می‌شود.
 - **نانوذرات برای خواص آکوستیک:**
 - گرافیت منبسط شده: اغلب در کاربردهای صوتی استفاده می‌شود، گرافیت منبسط شده می‌تواند به بهبود کیفیت

عایق صوتی آجرها کمک کند.

■ نانوذرات خاک رس: این نانوذرات می‌توانند برای افزایش خاصیت جذب صوتی آجرها با اصلاح ساختار متخلخل آن‌ها استفاده شوند.

■ نانوذرات برای عایق حرارتی:

■ ذرات ابروژل: ذرات ابروژل که به دلیل خواص عایق حرارتی عالی خود شناخته می‌شوند، می‌توانند برای بهبود قابلیت عایق‌کاری آجرها در آجرها گنجانده شوند.

■ میکروکره‌ها (به عنوان مثال، میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی): این ذرات می‌توانند هدایت حرارتی را کاهش داده و خاصیت عایق بودن را افزایش دهند.

■ نانوذرات برای مزایای محیط زیستی:

■ نانومواد بازیافتی: این‌ها ممکن است شامل نانوذرات مشتق شده از مواد بازیافتی باشد که می‌تواند به پایداری فرآیند تولید آجر کمک کند.

■ نانوسلولز: نانوسلولز که از الیاف گیاهی به دست می‌آید، می‌تواند استحکام و تأثیر محیطی آجرها را بهبود بخشد.

■ نانوذرات برای ویژگی‌های امنیتی پیشرفته:

■ نانوذرات اکسید فلز: از این نانوذرات می‌توان برای ایجاد پوشش‌ها یا مواد کامپوزیتی استفاده کرد که مقاومت آجرها را در برابر ضربه یا سایر تنش‌های فیزیکی افزایش می‌دهد.

■ نانو پوشش‌ها: این پوشش‌ها با اعمال روی سطح آجرها می‌توانند محافظت بیشتری در برابر آسیب‌های محیطی ایجاد کنند یا خاصیت خودتمیز شوندگی آن‌ها را افزایش دهند.

■ نانو کامپوزیت‌ها: ادغام نانوذرات با ماتریس آجر می‌تواند خواص مختلف از جمله استحکام، دوام و عایق را بهبود بخشد.

۱-۶- زنجیره ارزش کاربردهای مبتنی بر این فناوری

زنجیره ارزش برای نوآوری حاضر شامل چندین مرحله است، از منابع مواد خام تا کاربردهای نهایی. در اینجا مروری بر اجزای کلیدی زنجیره ارزش و نحوه کمک آن‌ها به محصول نهایی و کاربردهای آن انجام می‌شود.

■ تأمین مواد اولیه:

■ جمع‌آوری زباله‌های بازیافتی: این فرآیند با جمع‌آوری مواد زائد قابل بازیافت مانند پلاستیک، شیشه و سایر مواد غیرقابل تجزیه آغاز می‌شود. این مواد از سیستم‌های مختلف مدیریت پسماند، مراکز بازیافت یا جریان‌های زباله صنعتی تهیه می‌شوند.

■ پیش تصفیه و مرتب‌سازی: مواد زائد جمع‌آوری شده برای حذف ناخالصی‌ها و آماده‌سازی آن‌ها برای پردازش بیشتر، دسته‌بندی و پیش تصفیه می‌شوند. این ممکن است شامل تمیز کردن، خرد کردن یا آسیاب کردن مواد باشد.

■ پردازش مواد:

■ تهیه مواد بازیافتی: مواد مرتب‌شده به اشکال مناسب برای تولید آجر پردازش می‌شوند. به عنوان مثال، پلاستیک‌ها ممکن است ذوب شده و مخلوط شوند، شیشه ممکن است به صورت سنگ‌دانه‌ها خرد شود، یا سایر مواد زائد ممکن است برای افزایش خواص آن‌ها تصفیه شوند.

■ ادغام نانوذرات: نانوذرات یا فناوری‌های نانو به ترکیب مواد وارد می‌شوند. این می‌تواند شامل ترکیب نانوذرات با مواد بازیافتی برای افزایش خواصی مانند استحکام، دوام، عایق حرارتی یا عملکرد صوتی باشد.

■ تولید آجر:

■ اختلاط و شکل‌دهی: مواد فرآوری شده، از جمله زباله‌های بازیافتی و نانوذرات، مخلوط شده و به قالب‌های آجری تبدیل می‌شوند. این مرحله ممکن است شامل تکنیک‌های مختلفی مانند اکستروژن، پرس یا ریخته‌گری، بسته به ویژگی‌های آجر مورد نظر باشد.

■ عمل‌آوری و سخت شدن: آجرهای تشکیل شده از طریق فرآیندهایی مانند خشک کردن، حرارت دادن یا عملیات شیمیایی سخت می‌شوند تا به استحکام و دوام مورد نیاز دست یابند.

■ کنترل کیفیت و آزمایش‌های عملکردی

■ توزیع و تدارکات شامل بسته‌بندی و توزیع

□ کاربردها و استفاده نهایی

□ پس از استفاده و بازیافت، مدیریت پایان عمر: در پایان چرخه عمر، آجرها را می‌توان بازیافت کرد یا تغییر کاربری داد و چرخه پایداری را ادامه داد. آن‌ها ممکن است شکسته شوند و مجدداً به عنوان کل یا در کاربردهای دیگر مورد استفاده قرار گیرند.

۷-۱- فناوری‌های رقیب

(از چه شیوه‌های دیگری برای رفع نیاز مرتبط با این فناوری استفاده می‌شود؟)

چندین محصول و فناوری جایگزین وجود دارد که هدف آن‌ها دستیابی به اهداف مشابه با فناوری تولید آجر مورد بحث است، مانند استفاده از مواد بازیافتی، افزایش پایداری، بهبود خواص صوتی و حرارتی، و رفع نیازهای امنیتی. در اینجا چند جایگزین قابل توجه مورد اشاره قرار می‌گیرد:

- مصالح ساختمانی سازگار با محیط زیست مانند آجرهای پلاستیکی بازیافتی، آجرهای خاکستر بادی
- بتن و مواد کامپوزیت پیشرفته مانند بتن سبز، بتن تقویت شده با الیاف با کارایی بالا (HPFRC).
- مصالح ساختمانی مبتنی بر فناوری نانو مانند مواد عایق پیشرفته نانو: شامل محصولات مانند ابروژل یا پانل‌های عایق نانو و آجرهای نانوکامپوزیت
- راه حل‌های عایق صوتی و حرارتی مانند پانل‌های آکوستیک، تخته‌های عایق حرارتی
- مواد با امنیت بالا مانند پانل‌های مقاوم در برابر ضربه، مصالح ساختمانی مقاوم در برابر بالستیک: شامل محصولات است که برای مقاومت در برابر پرتابه‌ها و انفجارها طراحی شده.
- سیستم‌های ساختمانی پایدار و نوآور مانند سیستم‌های مدولار و پیش ساخته، سیستم‌های بام سبز: از لایه‌های پوشش گیاهی و مواد زیرلایه برای ایجاد عایق حرارتی، مدیریت آب باران و بهبود کیفیت هوای شهری استفاده کنید.

۸-۱- فناوری‌های مکمل

(برای توسعه محصولات در هر یک از کاربردهای ذکر شده، به چه فناوری‌های دیگری نیاز وجود دارد؟)

- پوشش‌های پیشرفته و درمان‌های سطحی مانند پوشش‌های خودتمیزشونده، پوشش‌های محافظ
- فناوری‌های عایق: مانند پانل‌های عایق: ترکیب آجر با پانل‌های عایق پیشرفته (مانند پانل‌های عایق هوا یا عایق خلأ) می‌تواند عملکرد حرارتی ساختمان‌ها را افزایش دهد. موانع یا فویل‌های انعکاسی را می‌توان به همراه آجرها برای بهبود کارایی انرژی با کاهش انتقال حرارت استفاده کرد.
- راه حل‌های تقویت آکوستیک: درزگیرهای صوتی، پانل‌های جاذب صدا یا تشک‌ها را می‌توان در کنار آجرها برای افزایش عایق صدا در محیط‌های پر سروصدا استفاده کرد. مواد یا سیستم‌های لرزش گیر را می‌توان در ساخت و ساز ادغام کرد تا مزایای صوتی آجرها را تکمیل کند.
- فن آوری‌های ساخت و مونتاژ: اجزای مدولار پیش ساخته را می‌توان در کنار آجرها برای تسریع ساخت و اطمینان از کیفیت دقیق و ثابت استفاده کرد. تکنیک‌های پیشرفته پرینت سه بعدی را می‌توان برای ایجاد اشکال یا اجزای آجری سفارشی استفاده کرد که امکان طراحی‌های پیچیده‌تر و استفاده کارآمد از مواد را فراهم می‌کند.
- سیستم‌های مدیریت ساختمان: این سیستم‌ها می‌توانند مصرف انرژی در ساختمان‌ها را نظارت و کنترل کنند و به بهینه سازی عملکرد سازه‌های ساخته شده با این آجرها از نظر بهره‌وری انرژی کمک کنند. همچنین ابزارهای مدل سازی اطلاعات ساختمان BIM را می‌توان برای طراحی و برنامه ریزی یکپارچه سازی این آجرها در پروژه‌های ساختمانی بزرگ تر مورد استفاده قرار داد و از قرارگیری و عملکرد بهینه اطمینان حاصل کرد.

۹-۱- فرصت‌های تحقیقاتی که امکان دارد بر اثر فعالیت در این زمینه پدید آید (آیا فعالیت در این زمینه فرصت‌های تحقیقاتی را در حوزه‌های مرتبط پدید می‌آورد یا این اثر/ فناوری نسبتاً منزوی است؟)

فعالیت در این فناوری در ارتباط مستقیم با سایر حوزه‌های فنی و مهندسی است. با کاوش در زمینه‌های تحقیقاتی مختلف مانند روش‌های ساخت، شیمی و فرمولاسیون، تولید، استانداردسازی و بهینه‌سازی خواص، ذی‌نفعان می‌توانند فناوری تولید آجر مورد بحث را توسعه داده و اصلاح کنند و عملکرد، پایداری و کاربرد آن را در زمینه‌های مختلف ساختمانی و محیطی افزایش دهند.

۱۰-۱- اهمیت فعالیت در این زمینه از نظر اجتماعی یا راهبردی (آیا این اثر/فناوری به حل یا کاهش شدت یک مسئله اجتماعی، محیط‌زیستی یا سیاسی کمک می‌کند؟)

کاهش هزینه‌های مصالح با استفاده از مواد ضایعات بازیافتی و صرفه‌جویی در انرژی و مدیریت و بازیافت زباله یکی از مهم‌ترین اثرات اجتماعی و راهبردی استفاده از این محصول است. همچنین استفاده از مواد بازیافتی در تولید آجر منجر به کاهش هزینه‌های ساخت مسکن و افزایش سلامت محیط می‌شود. زباله‌ها و بازیافت آن‌ها در جوامع کنونی به عنوان یک چالش مهم در نظر گرفته می‌شوند. به طور خلاصه، آجر ثبت شده پتانسیل مقابله با چالش‌های اقتصادی را از طریق صرفه‌جویی در هزینه‌ها و ایجاد شغل، مسائل اجتماعی از طریق مقرون به صرفه بودن مسکن و توسعه جامعه را دارد. با این حال، تحقق این مزایا به اجرای موفقیت‌آمیز، پذیرش بازار و همسویی با چهارچوب‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی گسترده‌تر بستگی دارد.

تحلیل بین‌المللی

۲-۱- بازیگران کلیدی فعال در این فناوری

چندین کشور و شرکت در زمینه‌های مربوط به توسعه آجرهای ساخته شده از مواد بازیافتی، ساخت و ساز پایدار و فناوری‌های پیشرفته ساختمانی فعال هستند. در اینجا چند بازیکن برجسته مورد اشاره واقع می‌شود.

کشورهای پیشرو در زمینه‌های مرتبط:

■ هلند: شناخته شده برای رویکردهای نوآورانه به پایداری، از جمله استفاده از مواد بازیافتی در ساخت و ساز. هلند چندین ابتکار با تمرکز بر اقتصاد مدور و شیوه‌های ساختمان پایدار دارد.

مثال: سازمان تحقیقات علمی کاربردی هلند (TNO) در تحقیق در مورد مصالح ساختمانی پایدار و ساخت و ساز مدور مشارکت دارد.

■ آلمان: آلمان پیشرو در فناوری ساختمان سبز و بازیافت است. این کشور قوانین و مشوق‌های قوی برای استفاده از مواد بازیافتی در ساخت و ساز دارد.

مثال: موسسه Fraunhofer برای فیزیک ساختمان تحقیقاتی را در مورد مصالح ساختمانی پایدار، از جمله مواد ساخته شده از محتوای بازیافتی انجام می‌دهد.

■ سوئد: سوئد به دلیل تمرکز بر پایداری و اقتصاد مدور مورد توجه قرار گرفته است. این کشور پروژه‌های مختلفی با هدف کاهش ضایعات و ترویج مصالح ساختمانی سازگار با محیط زیست دارد.

مثال: موسسه تحقیقات محیط‌زیستی سوئد (IVL) در تحقیقات مرتبط با مصالح ساختمانی پایدار و مدیریت پسماند شرکت می‌کند.

■ ایالات متحده آمریکا: ایالات متحده بازار متنوعی برای مصالح ساختمانی پایدار، از جمله مواد ساخته شده از زباله‌های بازیافتی، دارد. ایالت‌های مختلف ابتکارات ساختمان سبز و برنامه‌های پایداری دارند.

مثال: شورای ساختمان سبز ایالات متحده (USGBC) شیوه‌ها و مصالح ساختمانی سبز را از طریق برنامه صدور گواهینامه LEED خود ترویج می‌کند.

■ چین: چین به طور فزاینده‌ای بر پایداری و بازیافت در ساخت و ساز متمرکز شده است که ناشی از شهرنشینی سریع و نگرانی‌های محیط‌زیستی است.

مثال: آکادمی مصالح ساختمانی چین در تحقیق و توسعه مصالح ساختمانی پایدار، از جمله مواردی که محتوای بازیافتی را در خود جای داده‌اند، مشارکت دارد.

شرکت‌ها و سازمان‌ها در زمینه‌های مرتبط:

■ Interface Inc: شرکت آمریکایی بر روی کف‌پوش‌های پایدار بسیار پیشرو بوده و به دلیل تعهد خود به استفاده از مواد بازیافتی در محصولات خود شناخته شده است.

■ Ecobrick Exchange: این سازمان انگلیسی بر استفاده از زباله‌های پلاستیکی برای ایجاد آجرهای اکو و سایر مصالح ساختمانی پایدار تمرکز دارد.

■ VSBrothers: این شرکت در آمریکا متخصص در توسعه مصالح ساختمانی از شیشه بازیافتی و سایر محصولات زائد است.

■ Green Building Council: بسیاری از کشورها شوراهای ساختمان سبز خود را دارند که شیوه‌ها و مصالح ساختمانی پایدار را ترویج می‌کنند، از جمله مواردی که از محتوای بازیافتی ساخته شده‌اند.

■ هولسیم (LafargeHolcim): در کشور سوئیس Holcim یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های مصالح ساختمانی در جهان، در توسعه مصالح ساختمانی پایدار مشارکت دارد و ابتکاراتی برای گنجاندن مواد بازیافتی در محصولات خود دارد.

■ Buro Happold: یک مشاوره مهندسی در انگلیس که بر روی پروژه‌های ساختمانی پایدار کار می‌کند و از مواد و فناوری‌های نوآورانه استفاده می‌کند.

■ BAM Construct UK: BAM در پروژه‌های مختلف با استفاده از مواد پایدار و بازیافتی مشارکت دارد و شیوه‌های ساختمان سبز را ترویج می‌کند.

■ EcoCem: یک شرکت آلمانی که سیمان سازگار با محیط زیست و سایر مصالح ساختمانی با کاهش اثرات محیط زیستی تولید می‌کند.

■ Zaha Hadid Architects: در حوزه معماری و مصالح نوآورانه، از جمله تحقیق در مورد مصالح ساختمانی پایدار و بازیافتی شناخته شده است.

۲-۲- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار

سطح آمادگی فناوری (TRL) بسته به مرحله توسعه و آزمایش، برابر ۶ و سطح آمادگی بازار (MRL) بسته به مرحله معرفی و اعتبارسنجی بازار، برابر ۵ است.

سطح آمادگی بازار		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
خلق راه حل مطابق با نیاز تحلیل شده بازار										
شناسایی متخصصان دارای توانمندی										
تحلیل توانمندی‌ها و منابع ضروری موجود برای ارائه راه حل										
ترجمه ویژگی‌های مورد انتظار محصول / خدمت به توانمندی‌های فنی مورد نیاز برای خلق راه حل										
شناسایی توانمندی‌های سیستمی مورد نیاز برای خلق راه حل (مانند راهبری پروژه)										
کمی سازی ویژگی‌های مورد انتظار محصول / خدمت جدید										
شناسایی ویژگی‌های مورد انتظار محصول / خدمت جدید										
شناسایی یک نیاز بخصوص										
شکل گیری این احساس که (چیزی کم است)										
مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آن‌ها										
معدل سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن										
اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه										
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی										
دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد										
دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد										
اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی										
تکمیل سیستم نهایی / افزایش مقیاس تولید به سطح تولیدات پایوت										
راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی / راه اندازی خط تولید										

راهنما

- عدم آمادگی برای ورود به بازار
- منطقه گذار
- آمادگی برای ورود به بازار
- خارج از قطر: ریسک شکست فنی و/ یا شکست بازار
- مدیریت فناوری: هدایت پروژه روی قطر

۲-۳- موقعیت فناوری در چرخه عمر و در چرخه انتظارات

چرخه عمر و چرخه انتظارات برای آجر مورد بحث، شامل درک مراحل توسعه، استقرار، و مراحل بالقوه تکامل بازار است. این محصول در مراحل اولیه توسعه یا تجاری سازی است و لذا احتمالاً مراحل اولیه چرخه عمر و بخش اولیه چرخه انتظارات را تجربه می‌کند. همان طور که محصول در چرخه عمر خود پیشرفت می‌کند، باید با تقاضاهای در حال تحول بازار، پیشرفت‌های تکنولوژیکی و انتظارات ذی نفعان سازگار شود. موفقیت محصول به توانایی آن در برآوردن این انتظارات، حفظ استانداردهای عملکرد و نوآوری برای مرتبط ماندن در بازار بستگی دارد.

۲-۴- مهم‌ترین پیشران‌ها و چالش‌های پیش‌روی فناوری

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

■ پیشران‌های فنی

دارا بودن ویژگی‌های مختلف با یکدیگر در یک محصول می‌تواند از پیشران‌های فنی تولید این محصول باشد. همچنین وجود دانش فنی تولید این محصول یا محصولات مشابه بدون فناوری نانو و وجود متخصصین علم نانو در این حوزه در کشور از پیشران‌های فنی این محصول است.

■ چالش‌های فنی

در تولید این محصول، تنوع مواد بازیافتی که بر قوام و عملکرد آجر و اطمینان از یکنواختی در ترکیب و عملکرد مواد می‌تواند تأثیر بگذارد، یک چالش مهم است. همچنین تکنیک‌های پردازش، دوام طولانی‌مدت، نگهداری از خواص یعنی متعادل کردن و بهینه‌سازی خواص مانند عایق صوتی، مقاومت حرارتی و مقاومت در برابر تهدیدات خارجی (به عنوان مثال ضربه، گلوله)، ادغام ویژگی‌های پیشرفته مانند ادغام نانومواد، ادغام فناوری نانو یا افزودنی‌های پیشرفته برای افزایش، ایجاد ویژگی‌های امنیتی، مطابقت با استانداردها، اثرات محیط‌زیستی تولید از چالش‌های فنی تولید این محصول است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

■ محرک‌های اقتصادی

کاهش هزینه از طریق مواد بازیافتی، صرفه‌جویی در مدیریت زباله، بهره‌وری انرژی و صرفه‌جویی در عملیات، کاهش هزینه‌های انرژی در صورت استفاده از خواص عایقی، پتانسیل برای گواهی‌نامه‌های سبز: ساختمان‌هایی که از این آجرها استفاده می‌کنند ممکن است برای گواهی‌نامه‌های ساختمان سبز (به عنوان مثال LEED) واجد شرایط باشند، که می‌تواند منجر به مزایای اقتصادی اضافی مانند مشوق‌های مالیاتی یا ارزش ملک بالاتر شود. تمایز بازار و مزیت رقابتی، مشوق‌ها و حمایت‌های دولتی، یارانه‌ها و کمک‌های مالی، ایجاد اشتغال و توسعه اقتصادی، تأثیر اقتصادی محلی: استفاده از مواد بازیافتی محلی و تولید می‌تواند اقتصاد محلی را تحریک کند و اتکا به مواد وارداتی را کاهش دهد.

■ چالش‌های اقتصادی

هزینه‌های توسعه اولیه بالا، هزینه‌های تحقیق و توسعه (R&D)، راه‌اندازی تولید، مدیریت زنجیره تأمین و پذیرش و رقابت در بازار، هزینه‌های نظارتی و انطباق و صدور گواهی‌نامه و استانداردها می‌توانند به عنوان چالش‌های اقتصادی توسعه این محصول در نظر گرفته شوند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

■ پیشران‌های HSE

پایداری محیطی در اثر کاهش زباله و مدیریت بهتر زباله‌ها و کاهش آلودگی محیط‌زیست، حفاظت از منابع با استفاده مجدد از مواد زائد، بهره‌وری انرژی، کاهش مصرف انرژی، کاهش انتشارات سمی با استفاده از مواد بازیافتی و فرآیندهای سازگار با محیط‌زیست از پیشران‌های ایمنی و بهداشت است.

■ چالش‌های HSE

■ سلامت و ایمنی در حین تولید: جابجایی مواد بازیافتی: ایمنی جابجایی و پردازش مواد بازیافتی باید تضمین شود. اگر در طول تولید به درستی مدیریت نشود، آلاینده‌های موجود در زباله‌های بازیافتی ممکن است خطراتی برای سلامتی ایجاد کنند. ■ گردوغبار و انتشار: فرآیند تولید ممکن است گردوغبار یا گازهای گلخانه‌ای ایجاد کند که برای محافظت از سلامت کارگران و رعایت مقررات محیط‌زیستی باید کنترل شود.

■ اثرات محیط زیستی فرآیندهای تولید: مصرف انرژی: در حالی که خود آجرها ممکن است مزایای بهره‌وری انرژی را ارائه دهند، فرآیند تولید نیز باید از نظر انرژی کارآمد باشد تا از مزایای کلی محیط‌زیستی آن اطمینان حاصل شود.

■ اثرات طولانی‌مدت محیط‌زیستی: ارزیابی اثرات محیط‌زیستی طولانی‌مدت آجرها، از جمله تخریب و دفع آن‌ها در پایان عمر، برای اطمینان از عدم ایجاد مسائل محیط‌زیستی جدید مهم است.

■ پیشران‌ها و چالش‌های اخلاقی، حقوقی و اجتماعی (ELSA)

■ پیشران‌های ELSA

محرك‌های اقتصادی، کارایی هزینه، پتانسیل بازار، مشوق‌های دولتی، محرك‌های اجتماعی و سیاست‌های حمایتی از جمله پیشران‌ها هستند. این موارد به علت استفاده از زباله‌های بازیافتی در جوامع خصوصاً شهری مطرح و مهم هستند.

■ چالش‌های ELSA

چالش‌های حقوقی شامل انطباق با مقررات، خطرات مالکیت فکری، پذیرش مصرف‌کننده و مدیریت زنجیره تأمین از چالش‌های مربوطه هستند.

۲-۵- تحلیل بازار در سطح جهانی

آجر موردنظر ممکن است هنوز در مراحل اولیه تجاری‌سازی و در دسترس بودن و حضور محدود در بازارهای جهانی باشد. پذیرش گسترده به مقیاس‌بندی موفق، پذیرش بازار و استراتژی‌های توزیع بستگی دارد. قیمت‌ها احتمالاً تحت تأثیر هزینه‌های تولید، صرفه‌جویی در مقیاس تولید و استفاده و موقعیت، رقابتی هستند. قیمت‌های اولیه ممکن است به دلیل هزینه‌های تحقیق و توسعه و تولید آزمایشی بالاتر باشد.

۲-۶- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در دنیا تاثیر بگذارد

جنبش‌های اجتماعی و تغییرات فرهنگی به سمت مسئولیت‌پذیری محیط‌زیستی و پایداری می‌تواند بر پذیرش مصالح ساختمانی نوآورانه تأثیر بگذارند. شهرسازی و توسعه زیرساخت: شهرنشینی رو به رشد و پروژه‌های توسعه زیرساخت می‌تواند تقاضا برای مصالح ساختمانی پیشرفته و پایدار را افزایش دهد.

روندهای آتی مرتبط با آجر موردبحث: احتمالاً با تأکید روزافزون بر پایداری، پیشرفت‌های فناوری، تغییرات نظارتی و پویایی بازار در حال تحول شکل می‌گیرد. شرایط مؤثر بر این روندها عبارت‌اند از پیشرفت در علم مواد، عوامل اقتصادی، محیط‌های نظارتی، ملاحظات محیط‌زیستی، رقابت در بازار، و روندهای اجتماعی. نظارت بر این عوامل برای پیش‌بینی اینکه چگونه حضور و عملکرد محصول در بازار ممکن است تکامل یابد، بسیار مهم خواهد بود.

تحلیل داخلی

۳-۱- فعالیت‌های انجام شده در کشور

□ فعالیت‌های تحقیقاتی (چه تیم‌هایی در کدام نهادها در این زمینه فعالیت کرده‌اند؟ چه مقالاتی در این زمینه منتشر شده است؟ چه پایان‌نامه‌هایی نگارش شده است؟)

■ تحقیقات و مطالعات مرتبط با مصالح ساختمانی پایدار در ایران

تحقیقات در حال انجام در ایران برای بررسی انواع مصالح ساختمانی پایدار، از جمله مواد ساخته شده از محصولات فرعی بازیافتی و صنعتی، وجود دارد. مطالعات اغلب بر بهبود عملکرد چنین مواد و مزایای محیط‌زیستی آن‌ها متمرکز است. دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی پیشرو مانند دانشگاه تهران، صنعتی شریف و صنعتی امیرکبیر در این زمینه فعال هستند.

تحقیقات در ایران شامل استفاده از مواد بازیافتی در ساخت و ساز نیز می‌شود. این شامل مطالعاتی در مورد امکان‌سنجی و اثربخشی ترکیب زباله‌های بازیافتی در مصالح ساختمانی مانند آجر و بتن است. پروژه‌های خاص ممکن است شامل مطالعات موردی محلی در مورد شیوه‌های بازیافت و تأثیر آن‌ها بر خواص مصالح ساختمانی باشد.

□ فعالیت‌های توسعه محصول و تجاری‌سازی (آیا نمونه‌سازی انجام گرفته است؟)
محصول حاضر در مرحله تحقیق و توسعه بوده و تجاری‌سازی نشده است.

□ فعالیت‌های سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری
محصول حاضر در مرحله تحقیق و توسعه بوده و تجاری‌سازی نشده است.

۳-۲- کاربردهای احتمالی محصولات مبتنی بر این فناوری در کشور

□ ساخت و ساز

دیوارها و نماهای ساختمان، عایق صوتی، ساختمان‌های با مصرف انرژی بهینه، عایق حرارتی، امنیت و ایمنی، مقاومت بالستیک در تأسیسات نظامی، سفارتخانه‌ها، یا مکان‌های ذخیره‌سازی امن و در فضاهای عمومی

□ لوازم خانگی

پانل‌های آکوستیک، عایق حرارتی، اجزای بادوام

□ نفت و پتروشیمی

آجر را می‌توان برای ایجاد موانع حفاظتی یا سازه‌های مهاری در تأسیسات نفت و پتروشیمی استفاده کرد که ایمنی و دوام بیشتری را در محیط‌های خطرناک فراهم می‌کند. همچنین در کاربردهای عایق حرارتی، عایق صوتی، ساختارهای اضطراری و امنیتی می‌توان استفاده کرد.

۳-۳- سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی بازار در کشور

این محصول در مرحله تحقیق و توسعه بوده و هنوز وارد بازار نشده است.

۳-۴- وضعیت فناوری‌های رقیب و مکمل در کشور در هر یک از کاربردهای احتمالی

این محصول در مرحله تحقیق و توسعه بوده و هنوز وارد بازار نشده است.

۳-۵- میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای توسعه این فناوری (تا سطح نمونه‌سازی (TRL6) و برای تولید در مقیاس وسیع (TRL8) به صورت تخمینی)

در حال تکمیل است.

۳-۶- زیرساخت‌ها و منابع لازم برای توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی در کشور

شامل:

- منابع انسانی: وجود دارد
- زیرساخت آزمایشگاهی: وجود دارد
- زیرساخت تولید: وجود دارد
- آزمایشگاه مرجع: وجود دارد
- منابع مالی: وجود دارد
- توانمندی‌های حفاظت از دارایی فکری: وجود دارد
- زیرساخت‌های بازاریابی، توزیع، فروش و خدمات پس از فروش: وجود دارد

۳-۷- پیشران‌ها و چالش‌های توسعه و تجاری‌سازی این فناوری در کشور

□ پیشران‌ها و چالش‌های فنی

مواردی نظیر اثرات مساعد محیط‌زیستی و پایداری محیط، بهره‌برداری از ترکیبات پیشرفته برای بهبود خواص مکانیکی، راندمان اقتصادی و کاربردی، انطباق با مقررات جدید و روندهای رو به رشد تقاضا از جمله پیشران‌های فنی و تفاوت در خواص مواد بازیافتی مورد استفاده، انتخاب تکنیک‌های پردازش کارآمد، اطمینان از دوام طولانی مدت، مقیاس کاربرد، اثرات طولانی مدت محیط‌زیستی و میزان نفوذ در بازار نیز از چالش‌های پیش روی این محصول است.

□ پیشران‌ها و چالش‌های اقتصادی

از جمله محرک‌های موجود برای توسعه بهره‌برداری از این محصول می‌توان به مواردی از قبیل کاهش هزینه‌ها، صرفه جویی در مدیریت زباله و پسماند، کاهش هزینه‌های انرژی، ارائه محصولی با خواص نوآورانه و بهره‌برداری از حمایت‌های دولتی و ایجاد فرصت‌های شغلی، اشاره کرد. چالش‌های اقتصادی پیش روی این محصول عبارت است از هزینه‌های مربوط به تحقیقات و توسعه اولیه، مدیریت زنجیره تأمین و مصرف، مقاومت اولیه مصرف‌کنندگان، دوام اقتصادی و قیمت‌گذاری و چشم‌انداز قابل رقابت این محصول در بازار و نواسانات اقتصادی.

□ پیشران‌ها و چالش‌های تقاضا

■ پیشران‌ها:

- ۱- نگرانی‌های محیط‌زیستی و پایداری
- ۲- نوآوری‌های تکنولوژیکی و ویژگی‌های پیشرفته
- ۳- حمایت مقرراتی و سیاستی
- ۴- روند بازار به سمت مواد سبز
- ۵- مزایای بالقوه هزینه طولانی مدت

■ چالش‌های تقاضا:

- ۱- مسائل مربوط به آگاهی و پذیرش بازار
- ۲- هزینه‌های اولیه و عوامل اقتصادی بالا
- ۳- انطباق با مقررات و موانع صدور گواهینامه
- ۴- پیچیدگی‌های زنجیره تأمین و تولید
- ۵- پویایی بازار رقابتی
- ۶- تأثیر رکود اقتصادی

پرداختن به این محرک‌ها و غلبه بر چالش‌های تقاضا برای معرفی و استقرار موفقیت‌آمیز آجر ثبت اختراع در بازار حیاتی خواهد بود. استراتژی‌های مؤثر برای آموزش، مدیریت هزینه، و ناوبری نظارتی، همراه با اعمال نفوذ در روندهای بازار، به دستیابی به پذیرش گسترده و موفقیت در بازار کمک می‌کند.

□ پیشران‌ها و چالش‌های سلامت، ایمنی و بهداشت (HSE)

از جمله پیشران‌های حوزه HSE می‌توان به مواردی از قبیل کاهش پسماند و زباله، حفظ منابع معدنی و طبیعی، کاهش مصرف انرژی، بهبود کیفیت زیست در داخل ساختمان‌هایی که در از این نوع آجر استفاده نموده‌اند و کاهش انتشار گازهای سمی است. چالش‌های این حوزه شامل نحوه جابجایی مواد بازیافتی به محل تولید، انتشار گردوغبار و یا گازهای سمی، تضمین ایمنی و عملکرد استفاده از این محصول در کوتاه‌مدت و طولانی‌مدت و آموزش به مصرف‌کنندگان و بازار است.

۳-۸- بازار داخلی محصولات مبتنی بر این فناوری در هر زنجیره ارزش

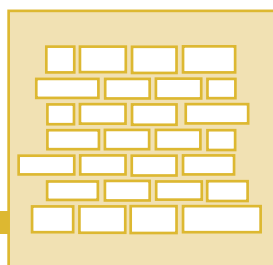
اطلاعات کافی درباره بازار داخلی، به دلیل جدید بودن این محصول، وجود ندارد.

۳-۹- فرصت‌های صادراتی برای شرکت‌های فعال ایرانی

تولید با هدف صادرات برای این محصول، چندان منطقی به نظر نمی‌رسد. اما امکان صادرات فنی و بهره‌برداری از منابع کشور مقصد برای تولید این نوع آجر و فروش محلی، می‌تواند مدنظر قرار گیرد.

۳-۱۰- روندها و اتفاقاتی که می‌تواند بر این فناوری در سال‌های آینده در کشور تاثیر بگذارد

حمایت نهادهای دولتی و سیاست‌های دولت در جهت سرمایه‌گذاری بر این فناوری به جهت کاهش هزینه‌های ساخت‌وساز و افزایش بهره‌وری در مصرف انرژی بر معرفی و استفاده از این فناوری در کشور مؤثر خواهد بود. استفاده از نانو مواد مستعد دیگر در جهت دستیابی به این محصول و یا توسعه دانش ساخت محصول می‌تواند از منظر محیط‌زیستی و بهبود آجر موردنظر و بهسازی‌های آتی در فرآیند اجرا، موردتوجه و ارزیابی واقع شود.



شناسایی فناوری‌های نوین و روندهای نوظهور یکی از وظایف کلیدی نهادهای حامی از فناوری‌های جدید در سطح ملی و منطقه‌ای است. ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو نیز بر اساس وظایف خود، این فعالیت را در سال‌های اخیر در حوزه‌های مختلف از جمله در حوزه ساخت و ساز دنبال کرده است. شناسایی فناوری‌های مذکور و معرفی آن‌ها به بازیگران مختلف اکوسیستم توسعه و تجاری‌سازی یکی از گام‌های آغازین و کلیدی برای توسعه محصولات جدید و ایجاد زنجیره‌های ارزش بر اساس آن‌هاست.

ISBN : 978-622-93632-2-5



9 786229 363225

