

یازدهمین کنگره ملی سراسری  
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران  
11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه مشکلات زیست  
محیطی صنعت سیمان و بتن

وحیدمیرافضلی<sup>۱</sup>، فضل اله سلطانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، ژئوتکنیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، ماهان Vahidafzali1365@gmail.com

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی زلزله و ژئوتکنیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، ماهان

#### چکیده

اگر بخواهیم توسعه پایدار را در یک جمله ساده تعریف کنیم می توان گفت توسعه پایدار یعنی برآوردن احتیاجات امروز بدون فدا کردن حقوق نسل های آینده. توسعه ای که احتیاجات امروزی ما را برآورده می کند بدون آنکه قدرت نسل های آتی برای برآورده نمودن احتیاجات را به خطر اندازد. بنابراین واجب است در ساخت و سازها این موضوع در نظر گرفته شود تا حق نسل های آینده از بهره مندی از این منابع محفوظ نگه داشته شود. برای گسترش زیر ساخت های اقتصادی کشور نیاز به تولید بیشتر سیمان پرتلند می باشد، در واقع چنانچه کلیه پروژه ها فعال شوند تولید فعلی حدود ۸۰ میلیون تن سیمان پرتلند در سال کفاف نیاز پروژه های عمرانی کشور را نمی دهد و بایستی با کاهش صادرات سیمان پرتلند این مشکل را برطرف کرد، از طرف دیگر در صنعت سیمان به ازای هر تن کلینگر یک تن گاز کربنیک که گاز گلخانه ای می باشد ایجاد می گردد و حدود ۱،۵ تن سنگ آهک و ۰،۶ بشکه نفت مصرف می شود. گاز کربنیک تولید شده در صنعت سیمان حدود ۷ درصد گازهای گلخانه ای تولید شده در سطح جهان می باشد. لذا بایستی با تولید سیمان با حداقل معضلات محیط زیستی برای رشد توسعه ای پایدار گامی در این زمینه برداشت که در این مقاله به آن پرداخته شده است. با استفاده از مصالح جدید ژئو سنتتیک و کاربرد آنان در پروژه های عمرانی مصرف مصالح آلوده کننده محیط زیست از جمله سیمان کاهش می یابد. با اقتصادی نمودن طرحها در حد امکان مصرف سیمان و تولید بتن را کاهش داد.

#### واژه های کلیدی

توسعه پایدار، سیمان پرتلند، کلینگر

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

## ۱. مقدمه

چنانچه روند مصرف سیمان و بتن کاهش نیابد مسلماً این صنایع مسئولیت قسمتی از مشکل گرم شدن کره زمین را بعهده خواهند داشت. [۱] بنابراین صنعت سیمان و بتن در حال حاضر با از بین بردن منابع طبیعی و ایجاد آلودگی محیط زیست در خلاف جهت توسعه پایدار عمل می کنند با توجه به نیاز شدید کشور به سیمان و مشکلات محیط زیست، صنعت سیمان بر سر دو راهی تولید بیشتر یا کمتر قرار دارد. کشورهای مختلف جهان براساس معاهده Kyoto متعهد شده اند که تدابیری بیندیشند که از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ میزان CO2 تولید شده در کشور خود به را شدت کاهش دهند و آن را به سطح سال ۱۹۹۰ برسانند. کشور ایران یکی از کشورهای امضاء کننده پیمان Kyoto بوده و متعهد به انجام آن است [۲].

## ۲- بیان مشکل

در اثر پیشرفت تکنولوژی و افزایش جمعیت چرخه حیات در کره زمین بحران زده شده است. در صنایع مختلف و منجمله در صنعت ساختمان بشر با روند فزاینده ای مواد خام موجود طبیعت را به محصولات مصرفی تبدیل می کند و در اثر این فرایند اغلب آلودگی زیادی در محیط زیست ایجاد می کند. صنعت ساختمان بیشترین مصرف کننده مواد خام بوده و تخمین زده شده است که این صنعت مسئول مصرف ۴۰٪ از مواد طبیعی کره زمین باشد. بتن به عنوان پرمصرف ترین و برترین مصالح قرن گذشته و حاضر نقش برجسته ای در این فرایند دارد، البته این مشکل مسئله جدیدی نیست ولی در کشورهای در حال توسعه مانند ایران که با رشد بی رویه جمعیت و تسریع در روند صنعتی شدن روبرو می باشند به شدت بر وخامت اوضاع افزوده شده است. امروزه چنانچه تدبیر اساسی براین مشکل اندیشیده نشود می تواند چرخه زندگی را شدیداً به خطر اندازد، توسعه ای پایدار به عنوان راه حلی بنیادین برای حل این مشکل در سطح جهانی مطرح شده است و مفاهیم مربوط به آن و کاربرد آن روز به روز در حال توسعه است.

## ۳- تعریف توسعه پایدار

تعاریف مختلفی از توسعه پایدار ارائه شده اند که در زیر نمونه ای از آنها آورده شده است:

بر اساس کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه (WCED) در سال ۱۹۷۸ توسعه پایدار به صورت زیر تعریف گردید [۶]:

"توسعه ای که پاسخگوی نیازهای حاضر باشد بدون اینکه بر توانایی نسل های آینده برای تامین نیازهای خود تاثیر منفی داشته باشد."

در سمینار کره زمین که در سال ۱۹۹۲ در ریودوژانیرو برگزار شد توسعه پایدار این صورت تعریف گردید [۷]:

"فعالیت های اقتصادی که با چرخه حیات جهانی هماهنگ باشند."

براساس تعبیر [۸] در سال ۱۹۹۹ توسعه پایدار یعنی:

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

"تا حد امکان کمتر از نعمت‌های خوب و مواد اولیه کره زمین بهره برداری شود و کمترین مقدار مواد زیان آور به آن بازگردانده شود." وی همچنین توسعه پایدار را در برقراری تعادل میان دو نیاز هم ارز اجتماعی یعنی تامین ساختمان‌های مورد نیاز و حفظ منابع طبیعی و محیط زیست می داند.

## ۳- توسعه پایدار و تکنولوژی بتن

کشور ایران یکی از کشورهای بزرگ در حال توسعه جهان به شمار می رود، در دو دهه اخیر رشد فزاینده ای در ایجاد ساختمان‌های زیر بنایی ایجاد شده است. در این میان بتن به عنوان اصلی‌ترین مصالح در کلیه ساختمان‌ها به شمار می‌رود. افزایش میزان تولید و مصرف . مشاهده می‌گردد که [3]سالیانه سیمان در کشور که در سال ۹۹ به ۳۲ میلیون تن رسیده است خود حاکی از این گسترش می‌باشد تکنولوژی بتن می‌تواند نقش برجسته ای در توسعه پایدار کشور ایجاد کند. [4]

برای توسعه پایدار سه اصل اساسی وجود دارند که عبارتند از:

- حفظ مواد خام تولید کننده بتن
- ارتقا دوام سازه بتنی
- دید جامع به پژوهش و آموزش در زمینه تکنولوژی

## ۴- روش‌های تحقق توسعه پایدار در صنعت سیمان

هریک از کشورهای جهان روشی را برای کاهش گاز دی اکسید کربن، مصرف انرژی کمتر و کاهش مصرف مواد اولیه در صنعت سیمان خود پیشنهاد نموده و به کار می گیرند. در حال حاضر عمدتاً روش‌های زیر توصیه شده‌اند تا صنعت سیمان در جهت توصیه پایدار قرار گیرد: [9]

- کاهش مصرف سیمان
- کاهش تولید کلینکر
- کاهش تولید بتن

### ۴-۱- روش اول: مصرف سیمان کمتر

مصرف سیمان کمتر در مخلوط‌های بتن از طریق:

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

- تجدید نظر در روش های طرح مخلوط بتن
- در صورت امکان مقاومت بتن به جای ۲۸ روز در ۵۶ یا ۹۰ روز مشخص شود. (در بتن با مقاومت تا ۳۰۰-۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بین ۲۰ تا ۲۵ درصد صرفه جویی می شود).
- استفاده از مواد افزودنی روان کننده یا فوق روان کننده برای حصول روانی لازم (۲۵ تا ۲۰ درصد صرفه جویی در میزان آب و سیمان حاصل می شود).
- بهینه نمودن دانه بندی سنگدانه ها که باعث کاهش حجم خمیر سیمان در مخلوط بتن می شود. [۱۰]

## ۲-۴- روش دوم: تولید کلینکر کمتر

مصرف کلینکر کمتر برای تولید سیمان پرتلند از طریق تولید سیمان های آمیخته، با به کارگرفتن مواد زیر حاصل می شود:

- مواد پوزولان طبیعی
- سرباره کوره های آهن گدازی
- دوده سیلیسی
- پودرسنگ آهک
- خاکستر بادی [۱۰]

در اروپا بیش از نیم قرن است که از سیمان های آمیخته استفاده می شود و در برخی از کشورها سیمان های آمیخته ۵۰ درصد از کل تولید سیمان را تشکیل می دهد. [۱۱] برای آنکه راه برای توسعه سیمان های آمیخته باز شود لازم است استانداردهای جدید جایگزین استاندارد ۳۸۹ فعلی که بر اساس ASTM C150 قرار دارد گردد و استاندارد های جدید که براساس عملکرد تدوین شده اند، مانند استاندارد ASTM C1157 هرچه سریع تر بکار گرفته شوند.

یکی از پروژه هایی که سیمان پرتلند با مقادیر زیادی حدود ۸۰٪ سرباره کوره آهن گدازی جایگزین گردید؛ ساخت فونداسیون پایه های پل معلق Akashi kioko بوده است. [12] و لیکن در این بتن ترک های زیادی به عرض ۰.۵ تا ۰.۵ میلی متر در فواصل ۳ تا ۵ متری از یکدیگر بوجود آمدند که در اثر جمع شدگی خودزا، مقاومت کم در برابر ترک خوردن و کند بودن توسعه مقاومت اولیه بوده است. این ترک ها با بکارگرفتن مخلوطی شامل حداکثر ۲۰ درصد خاکستر بادی و ۲۰ درصد سیمان پرتلند آهن گدازی به جای سیمان تعمیر شدند. [۱۲]

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

۴-۳-روش سوم: کاهش مصرف بتن

مصرف بتن کمتر با روش های زیر امکان پذیر است:

- ابداع طرح های معماری و سازه ای جدید و بکار گرفتن روش های نوین برای بازسازی ساختمان های قدیمی
- در ساختمان های پیش ساخته از ستون ها و تیرهایی استفاده شود که به آسانی نصب و برچیده می شوند
- ایجاد دوام بیشتر در سازه های بتنی
- بازیافت بتن [۱۰]

آئین نامه ها و استانداردهای سیمان و بتن کشور باید تجدید نظر شوند و به جای دید مقاومت که در حال حاضر مطرح است دید عملکرد و دوام بتن در نظر گرفته شود. به عنوان مثال مشخصات فنی آیین نامه ساختمانی سال ۲۰۱۳ کشور کره جنوبی از سازندگان ساختمان ها می خواهد که طرح های مدیریت محیط زیست برای ساختمان خود را ارائه نمایند که شامل [13]:

- ✓ افزایش مقادیر بازیافتی مصالح تخریب شده فرآورده های جنبی صنعتی
- ✓ مدیریت محیط زیست در کارگاه
- ✓ کاهش انتشار گازهای گلخانه ای
- ✓ مدیریت منابع آبی
- ✓ کاهش مصرف منابع طبیعی

## ۵-روش های پیشنهادی و تحقیقاتی جدید برای رسیدن به توسعه پایدار

علیرغم اینکه آزاد سازی گاز کربنیک در صنعت بتن بصورت تصاعدی و نمایی رشد یافته است ولی هنوز هیچگونه تغییر اساسی و چشمگیری در مقررات ملی ساختمان ها در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه دیده نمی شود. علاوه بر روش های متعارف و معمول یاد شده لازم است روش های مبتنی بر احتمالات و خطر پذیر نیز معرفی شوند. باید بصورت کمی بررسی نمود که با تغییر ضرایب اطمینان در ساختمان چه تاثیری به لحاظ اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی ایجاد خواهد شد [۱۴].

بخش مهم از حصول اطمینان در رسیدن به سازه های انعطاف پذیر و با دوام، ایجاد فرهنگ و آموزش به کارفرمایان در اهمیت دادن به سازه های با دوام است. واضح است که تمام این مشکلات از عدم وجود فناوری ها و سیستم های هماهنگ با توسعه پایدار ناشی می شود؛ بنابراین صنعت بتن باید برای توسعه فناوری های نوین و سیستم های قابل اطمینان راهکارهای مناسب پیدا کند. باید توجه داشت که

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

صرفه جوئی چند هفته‌ای در برنامه ساخت یک سازه‌ای که باید صدها سال دوام داشته باشد قابل اهمیت نمی‌باشد. اخیراً تحقیقاتی در یکی از مراکز دانشگاهی دنیا صورت گرفته با که استفاده از انرژی خورشیدی و روش الکترولیز توانسته‌اند سنگ آهک را به آهک که در صنعت سیمان بکار برده می‌شود تبدیل نمایند؛ بدون آنکه دی اکسید کربن که یک گاز گلخانه‌ای است ایجاد گردد [۱۵].

امروزه با همکاری یک شرکت ژاپنی بنام Kajima و یک شرکت تولید برق (Chugoku) و یک شرکت تولید سیمان به نام اختصاری DENKA سیمانی را به نام CO2-suicom توسعه داده‌اند که با محیط زیست سازگار است و به اسم بتن با CO2 منفی نامگذاری شده است [16].

مقدار CO2 جذب شده توسط بتن حاوی سیمان CO2-suicom بیش از مقدار CO2 انتشار یافته در هنگام تولید سیمان پرتلند در کوره است. در نتیجه با استفاده از این نوع سیمان در تولید بتن مقدار CO2 انتشار یافته به محیط زیست در مقایسه با سیمان معمولی کمتر خواهد بود. در یک آزمایش مقدار CO2 از بین رفته در بتن حاوی این نوع سیمان از طریق عمل آوری بتن در محفظه‌ای از گازهای خروجی که غلظت CO2 آن ۱۵ تا ۲۰ درصد بود اندازه‌گیری شد نتیجه آزمایش نشان داد که مقدار CO2 ناشی از مواد تولید کننده بتن ۹۰٫۶ کیلوگرم بر متر مکعب بود و مقدار CO2 جذب شده در محفظه گازهای خروجی ۱۰۴٫۵ Kg/cm<sup>3</sup> بود. این بدان معنی است که کل مقدار CO2 ایجاد شده منفی خواهد بود [۱۶].

از این بتن برای ساخت بلوک‌های بتنی پوشش پیاده رو استفاده می‌شود. مقاومت فشاری و جمع شدگی ناشی از خشک شدن و ایجاد سفیدک روی سطح بتن اندازه‌گیری شده است و نتایج رضایت بخشی حاصل شده است. این نوع بتن را امروز به صورت تجاری تولید و عرضه می‌کنند.

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

تاثیر به کار گرفتن وسیله‌های پیشنهاد شده بر صنعت بتن و میزان تولید گاز CO<sub>2</sub> آزاد شده توسط این صنعت :

شرح	۲۰۱۰	۲۰۳۰
سیمان مورد نیاز (میلیارد تن)	۳,۱	۲,۱۶
ضریب کلینگر (هر تن کلینگر در هر تن سیمان)	۰,۸۳	۰,۶
کلینگر مورد نیاز (میلیارد تن)	۲,۵	۱,۳
ضریب انتشار گاز CO <sub>2</sub> (هر تن CO <sub>2</sub> برای هر تن کلینگر)	۰,۹	۰,۸
کل CO <sub>2</sub> تولید شده (میلیارد تن)	۲,۳	۱,۰

جدول ۱-پیش بینی مصرف سیمان کلینگر و انتشار گاز CO<sub>2</sub> برای فاصله زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ میلادی [۱۰]

## نتیجه گیری

- برای توسعه پروژه های عمرانی کشور نیاز به تولید سیمان بیشتر می باشد.
- صنعت سیمان پرتلند در تولید گازهای گلخانه‌ای و مصرف مواد خام و انرژی سهم موثری دارد.
- چهار روش برای دستیابی به توسعه پایدار در صنعت بتن و سیمان از طریق کاهش مصرف بتن، سیمان، کلینگر و گاز کربنیک پیشنهاد شده‌اند.
- پیش بینی می شود با بکارگرفتن چهار روش پیشنهادی تولید گاز CO<sub>2</sub> صنعت سیمان تا سال ۲۰۳۰ به نصف، یعنی همان مقدار تولید سال ۱۹۹۰ برسد و توسعه در صنعت بتن و سیمان پایدار بماند.
- جهت دستیابی به توسعه پایدار در کشور نیاز به گسترش تحقیقات در این زمینه است.
- با استفاده از مصالح جدید ژئو سنتتیک و کاربرد آنان در پروژه های عمرانی مصرف مصالح آلوده کننده محیط زیست از جمله سیمان کاهش می یابد.
- با اقتصادی نمودن طرح‌ها در حد امکان مصرف سیمان و تولید بتن را کاهش داد.

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

## منابع

- [۱] فصلنامه های انجمن بتن در ایران به نقل از انتشارات انجمن بتن ایران- دکتر هرمز فامیلی- بهار و پائیز ۸۴
- [۲] مجموعه مقالات در اولین همایش ملی نظام مهندس ساختمان و ضرورتها سازمان مهندسين- انتشارات بلندآسمان- چاپ اول بهار ۱۳۸۳
- [۳] فصلنامه انجمن بتن ایران - خرداد ۸۴
- [۴] مجموعه معیارهای فنی برای نظام صفحات (3D) به قلم مهندس رضوانی از انتشارات دبیرخانه نظام مهندسی مهندسان ایران- سال ۸۲
- [۵] ماهنامه عمران و معماری، شماره هفتم سال دوم اردیبهشت و خرداد ۸۴- از انتشارات عمران و معماری ایران.
- [6] Ajdukiewicz A, Kliszczewicz Alina. Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. Cement Concrete Composites 2002.
- [7] Corinaldesi V, Giuggiolini M, Moriconi G. Use of rubble from building demolition in mortars. Waste Manage 2002.
- [8] Crensil Sagoe KK, Brown T, Taylor AH. Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate. Cem Concr Res 2001.
- [9] Katz A. Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. Cem ConcrRes 2003.
- [10] Fernandez NP. The influence of construction materials on life-cycle energy use and carbon dioxide emissions of medium size commercial buildings. Masters degree thesis. Victoria University of Wellington; 2008.
- [11] Nagataki S, Gokce A, Saeki T, Hisada M. Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates. Cem Concr Res 2004.
- [12] Oliveira M, Barra de, Vazquez E. The influence of retained moisture in aggregates from recycling on the properties of new hardened concrete. Waste Manage 1996.
- [13] Rao A., Experimental Investigation on Use of Recycled Aggregates in Mortar and Concrete. Thesis submitted to the Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur; 2005.
- [14] CEMBUREAU. The European Cement Association, Key Facts & Figures; 2012 [accessed 09.04.13].
- [15] H. Maraghechi, F. Avet, H. Wong, H. Kamyab, K. Scrivener, Performance of limestone calcined clay cement (LC3) with various kaolinite contents with respect to chloride transport, Mater. Struct. 51 (2018) 125, <https://doi.org/10.1617/s11527-019-1415-0>.
- [16] hlj\_202110\_26-27\_Concrete\_that\_Absorbs\_Carbon\_Dioxide.pdf
- [17] Mehta PK. Sustainable cements and concrete for the climate change era – a review. In: Zachar J, Claisse P, Naik TR, Ganjian E, editors. Proceedings of the second international conference on



یازدهمین کنگره ملی سراسری  
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران  
11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

sustainable construction materials and technologies, Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italy; 2010. p. 1– 10.