

آموزش مهندسی بتن و سیمان با رویکرد توسعه پایدار و حفظ محیط زیست

محمد شکرچی زاده^{۱*} و زانیار میرزایی^۲

^۱سرپرست انستیتو مصالح ساختمانی و دانشیار دانشکده مهندسی عمران

پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی دانشکده مهندسی عمران

پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

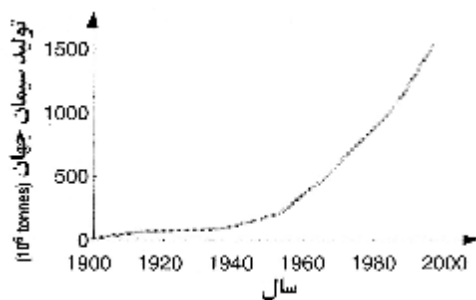
چکیده

بتن به عنوان مصالح برگزیده قرن در صنایع مهندسی عمران دارای جایگاه ویژه ای است، این ماده پس از آب پر مصرف ترین مصالح مصرفی بشر به حساب می آید. تولید بتن از حیث محیط زیست اثرات متعددی دارد، که عدم توجه به جوانب آن می تواند مشکلات زیادی را ایجاد نماید. در سالهای اخیر برای تولید بتن راهکار هایی ارائه شده که سازگاری مناسبی با محیط زیست و مابانی توسعه پایدار داشته باشد و در کشور های صنعتی با تحول اساسی که در ارتقاء سطح تکنولوژی بتن بوجود آمده، گامهای موثری در این ارتباط برداشته شده است. در این بتن ها برای ارزیابی کیفی معیار هایی فراتر از میزان سیمان مصرفی و حتی مقاومت مکانیکی مورد توجه قرار دارد و آن پایایی و عمر مفید سازه ها است که عامل مشخصه به حساب می آید. در کشور های پیشرفته از اواخر دهه هفتاد میلادی همگام با صنعت در زمینه آموزش و پژوهش بتن تحول اساسی صورت پذیرفته و در سالهای اخیر علی رغم مصرف نسبتاً کنترل شده بتن در این کشورها مطالعات ریز ساختاری و بهره گیری از امکانات و تجهیزات ویژه برای پژوهش در زمینه بتن متداول گشته است. این در حالی است که در کشورهای در حال توسعه نظیر کشور ما باوجود این که میزان مصرف سرانه بتن از متوسط سرانه در جهان بیشتر است، به آموزش و پژوهش توجه کافی مبذول نمی گردد و اثرات سوء آن در کیفیت نازل بتن های مصرفی مشهود است. مقاله حاضر ضمن بررسی اثرات زیست محیطی تولید بتن به راهکار های اجرایی برای آینده آموزشی مهندسی بتن پرداخته و نشان داده شده است که با ظرفیت های موجود در صورت توجه به آموزش و پژوهش در سطح عمومی و در دانشگاهها، صنعت بتن با تحول قابل ملاحظه ای همراه خواهد شد.

واژه های کلیدی: محیط زیست، آموزش مهندسی، توسعه پایدار، دوام، بتن

مقدمه

کشورهای اروپایی و ژاپن طبیعی بود.



شکل ۱: تولید جهانی سیمان در قرن بیستم (CEMBUREAU) [۲].

در کشور ما با توجه به میزان تولید و مصرف سیمان (حدود ۴۵ میلیون تن در سال) و با فرض مصرف متوسط ۳۰۰ کیلوگرم سیمان در متر مکعب بتن، تولید بتن بالغ بر ۱۵۰ میلیون مترمکعب در سال و مصرف سرانه بالغ بر دو

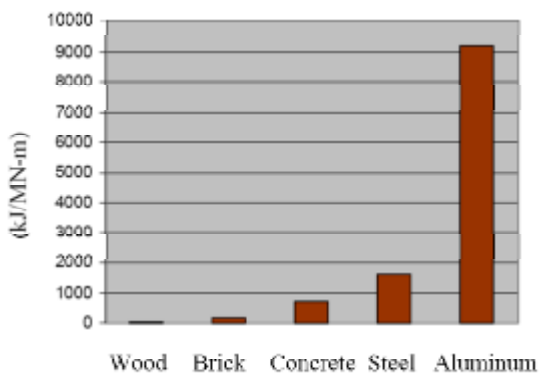
بتن پرمصرف ترین مصالح ساختمانی است. این ماده، معمولاً از مخلوط نمودن سیمان پرتلند، ماسه، سنگ شکسته و آب ساخته می شود. در سال ۱۹۹۹، "Mather" گفته است: "بتن بین المللی است. همچنان که هوا برای تنفس، آب برای نوشیدن و زمین برای رویش گیاهان داریم، بتن نیز شالوده تمدن است." در اغلب کشورهای جهان نسبت مصرف بتن به فولاد از ۱۰ به ۱ نیز فراتر رفته است [۱]. بر اساس گزارش CEMBUREAU در سال ۱۹۹۰ تولید جهانی سیمان در حدود ۱ میلیارد تن بوده است، در سال ۱۹۹۸ این میزان به ۱/۶ میلیارد تن رسیده است. همانطور که در شکل (۱) دیده می شود در ابتدای نیمه دوم قرن بیستم مصرف سیمان به شدت روبه افزایش گذاشت البته این مقدار مصرف با توجه به پایان جنگ جهانی دوم و برای بازسازی خرابی های ناشی از جنگ در

چوب برای ساخت سد، از فولاد برای روسازی یا از آسفالت برای ساخت قاب های سازه‌ای استفاده نمود ولی در همه موارد فوق و موارد بیشتر دیگری از بتن می‌توان استفاده نمود". حتی در مواردی که مصالح دیگری به عنوان قسمت اصلی ساختمان به کار می‌رود، بتن نیز با نسبت معینی، در قسمت های دیگر کاربرد خواهد داشت. بتن می‌تواند برای تحمل بار، محصور کردن فضاها، پوشش سطوح، و پر کردن حجم ها در عموم سازه‌ها به کار رود. انسان نیاز دارد که بتن را نسبت به سایر مصالح بیشتر بشناسد.

مزایای استفاده از بتن

منافع زیست محیطی بتن

جهان امروز نیازمند مصالح ساختمانی است که مساعد و مناسب برای محیط زیست باشند. بتن، صرف نظر از مزایای فنی و اقتصادی، با محیط زیست یارمند است و برای انجام وظیفه ای مشخص، نسبت به مصالح دیگر انرژی کمتری لازم دارد، یعنی به صورت مستقیم و غیر مستقیم، سوخت کمتری می‌سوزاند و آلاینده های کمتری وارد محیط زیست می‌کند. در اینجا به برخی منافع زیست محیطی بتن اشاره می‌شود [۲۰].



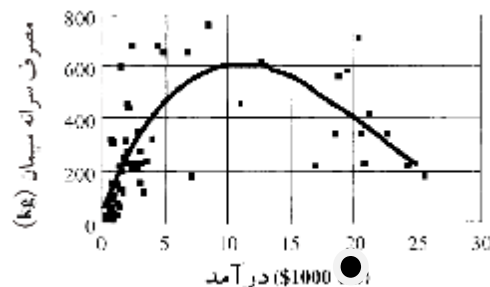
شکل ۳: مقایسه میزان مصرف انرژی برای تولید بتن و سایر مصالح.

الف - کم مصرف از نظر انرژی

مواد خام مورد نیاز برای تولید سیمان و بتن عموماً در سراسر جهان به گونه ای گسترده اند که حمل و نقل آنها پارامتر مهم و اساسی را تشکیل نمی‌دهد. ضمناً از آن جا که تکنولوژی ساخت سیمان در بسیاری موارد، مشابه تکنولوژی مورد استفاده در صنعت معدن است، بنابراین

متر مکعب برآورد می‌شود که از متوسط مصرف سرانه در جهان زیاد تر است. رابطه بین سرانه تولید ناخالص داخلی و سرانه مصرف سالانه سیمان در کشورهای مختلف در شکل (۲) نشان داده شده است [۲]. همان گونه که ملاحظه می‌شود ایران بامصرف سرانه ۶۵۰ کیلوگرم سیمان و درآمد سرانه حدود ۳۲۰۰ دلار در واقع دارای حد بالایی از مصرف سیمان به نسبت درآمد و در مقایسه با سایر کشورهای جهان است.

براساس شواهد تاریخی، اولین کاربردهای بتن به عنوان مصالح ساختمانی برای ساخت پل های آبگذر و دیوارهای حائل در برابر آب، توسط رومی ها انجام گرفته است. امروزه استفاده از بتن در ساخت سدها، کانال ها، لوله‌های انتقال آب و مخازن ذخیره سازی، کاری عادی در اکثر کشورهای جهان می‌باشد. دوام بتن در مقابل آب های مهاجم و خوردنده موجب کاربرد وسیع آن در بسیاری از محیط‌های مهاجم و طبیعی گشته است. از دیگر مزایای بتن سهولت شکل دادن به آن برای ساخت اجزای مختلف سازه است. علت این امر خاصیت شکل پذیری بتن تازه است که به راحتی در قالب ها با شکل های مختلف ریخته می‌شود و پس از مدتی قالب باز شده و در جایی دیگر مصرف می‌شود و بتن به شکل خواسته شده و به صورت جسم سخت شده و مقاومی در می‌آید. از دیگر دلایل محبوبیت بتن نزد مهندسان، سهولت دسترسی و ارزانی این مصالح مورد مصرف در بتن است. مصالح اصلی تشکیل دهنده بتن یعنی سیمان پرتلند و سنگدانه نسبتاً ارزان و به سهولت در اغلب نقاط جهان قابل تهیه است



شکل ۲: رابطه بین سرانه تولید ناخالص ملی و سرانه مصرف سیمان در کشورهای مختلف [۲].

• قسمتی که با دایره توپر نشان داده شده مربوط به کشور ایران است.

همان گونه که آقای "Joe Kelly" در ۵۷ امین کنوانسیون بین المللی ACI گفته است: " نمی‌توان از

نمی‌گردد. یک مطالعه بر روی مقایسه هزینه سوخت مصرفی کامیون - ها بر روی آسفالت و بتن نشان داده است که رویه بتنی جاده، باعث کاهش حدود ۱۱ درصد مصرف سوخت خودروها می‌گردد و مبنای این مقایسه حرکت یک تریلر با بار کامل و سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت بوده است. برای سرعت‌های کمتر نظیر ۷۵ و ۶۰ کیلومتر در ساعت صرفه جویی در سوخت به ترتیب ۸ و ۶ درصد بوده است. بنظر می‌رسد آسفالت تحت بار چرخ‌های کامیون نسبت به رویه بتنی تغییر شکل بیشتری دارد. مطالعات نشان داده است که علت کاهش سوخت مصرفی این است که رویه بتنی صلب مقاومت غلظتی کمتری نسبت به رویه آسفالتی انعطاف پذیر دارد.

عمر مفید طولانی

وقتی بتن به نحو صحیح طرح و ساخته شود، تعمیر و نگهداری اندک از ویژگی‌های آن خواهد بود. برخی از بتن‌های اولیه ساخته شده در سال ۱۸۴۷ با استفاده از سیمان جوزف آسپدین (اولین شخصی که سیمان پرتلند را بنام خود ثبت اختراع داد)، هنوز در شرایط خوبی بسر می‌برند. این بتن‌ها با نسبت آب به سیمان کم ساخته شده و بخوبی متراکم شده‌اند. نتایج مطالعه بر روی این بتن‌ها این واقعیت را آشکار کرده که "امکان دارد بتنی با دوام چند صد ساله ساخت."

عایق حرارتی و ظرفیت حرارتی زیاد

در مقایسه با مصالحی مانند فلزات، بتن تبادل حرارتی بسیار کمی داشته و تا حدی موجب صرفه جویی در مصرف انرژی می‌شود. هم‌چنین ظرفیت حرارتی بتن زیاد است و می‌تواند حرارت را در خود ذخیره کرده و بتدریج مبادله نماید. این امر سبب می‌شود که نوسانات دمای خارج، در دمای داخل فضاهایی که با بتن محصور شده‌اند، تاثیر اندکی داشته باشد. در بسیاری مناطق نوسان درجه حرارت هوای روزانه محیط خارجی زیاد بوده و بنابراین در ساختمان‌های بتنی تعادل حرارتی بهتری وجود خواهد داشت [۳،۴،۲۱].

بتن و آلاینده‌گی محیط زیست

توسعه سریع صنعتی از ابتدای قرن گذشته موجب افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای شده است (شکل ۴). هفت درصد دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر به دلیل

پیشرفت‌های آن در صنعت سیمان مورد اقتباس قرار می‌گیرد. در مقایسه با فولاد، آلومینیوم، شیشه و پلاستیک، انرژی مصرفی برای تولید بتن غالباً کمتر از انرژی مورد نیاز برای تولید مقدار مشابه از سایر مصالح است (شکل ۳).

ب - قابل بازیافت بودن ضایعات بتن

از آن‌جا که پس از اتمام بتن ریزی، از بتن باقی مانده که هنوز سخت نشده است می‌توان سنگدانه‌ها را احیاء نمود، بنابراین تولید ضایعات در مرحله اولیه یک مسئله مهم در رابطه با صنعت تولید بتن نیست. بتن باقیمانده فقط حدود دو درصد کل بتن تازه را شامل شده پساب باقی مانده از آن پس از احیاء سنگدانه‌ها را می‌توان به آب حاصل از شستشوی کامیون مخلوط کن اضافه نمود. این پساب خمیر سیمان را می‌توان آب زدایی و خشک کرد و پس از خرد کردن به عنوان بخشی از سنگدانه‌های ریز مورد استفاده قرار داد. ولی بهترین راه استفاده از آن می‌تواند به عنوان خاک نرم یا مصالح زیرسازی در جاده باشد. علاوه بر آن نخاله‌های به دست آمده از تخریب سازه‌های بتنی را می‌توان تحت شرایطی به عنوان سنگدانه بازیافتی در ساخت بتن‌های جدید به کار برد. در کشور ایالات متحده آمریکا سالانه حدود ۶۰ میلیون تن نخاله بتنی تولید می‌شود که از این مقدار حدود ۱۰ الی ۱۲ میلیون تن بازیافت می‌گردد.

ج - مصرف کننده ضایعات صنعتی

ضایعات مایع قابل اشتغال و خطرناک که در گذشته بطریق امنی مدفون نمی‌شدند، به عنوان سوخت کوره‌های تولید کلینکر سیمان و سنگدانه‌های با چگالی کم کاربرد دارند. این ضایعات شامل حلال‌ها، لجن فاضلاب، روغن مصرف شده و در واقع، هر مایع یا لجن قابل اشتغال که بتواند پمپ شود و ارزش سوختی داشته باشد، را در بر می‌گیرد. روبراه کوره‌های آهنگدازی و سایر ضایعات جامد حاصله از صنعت تولید فلزات را می‌توان به عنوان سنگدانه در بتن مصرف نمود [۳،۴،۲۱].

خواص مطلوب مهندسی

برخی خواص ویژه مهندسی بتن، آن را برای انواع خیابانها و بزرگراه‌ها ایده آل ساخته است. سطح بتن نور را منعکس نمی‌کند که باعث بهبود رانندگی در شب می‌گردد. ضمناً شیار یا دست انداز در آن ایجاد

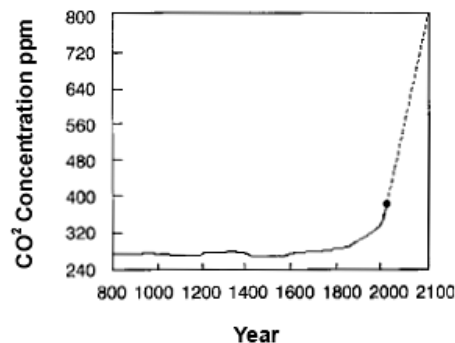
بتن شامل مصالح سنگی، سیمان و آب، در بتن افزودنی-های شیمیایی و معدنی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. تولید این مواد نیز مستلزم مصرف انرژی همچنین مواد اولیه زیادی می‌باشد. عملیات بچینگ، اختلاط، حمل، ریختن تراکم و پرداخت سطح نیز انرژی زیادی را مصرف می‌نماید.

در نهایت فقدان مصالح پایا عواقب وخیم زیست محیطی را به همراه دارد. افزودن طول عمر مفید محصولات یک راه حل ساده و دراز مدت برای حفظ منابع طبیعی کره زمین است. معمولاً سازه‌های بتنی برای طول عمر ۵۰ سال طراحی می‌شوند ولی تجربه نشان می‌دهد که در محیط‌های دریایی و شهری تخریب سازه‌ها بعد از ۲۰ تا ۳۰ سال و یا حتی قبل از آن شروع می‌شود [۵].

در آوریل سال ۱۹۹۸ خبرنامه ASCE (مؤسسه راه و ساختمان آمریکا) با توجه به میزان خسارتهای سازه‌های بتنی، هزینه لازم را برای کنترل و نگهداری فراسازه‌های ملی در این کشور معادل ۱/۳ تریلیون دلار برآورده نموده است. در این میان هزینه تعمیر و یا جایگزینی چند صد هزار پل بتنی به تنهایی معادل ۸۰ میلیارد دلار اعلام شده است. این در حالی است که بودجه سالانه فدرال برای این منظور حدود ۵ تا ۶ میلیارد دلار می‌باشد. با ملاحظه محدودیت‌های بودجه Fryeremuth [۶] پیشنهاد کرده است که سازه‌های آینده برای عمر مفید ۱۰۰ تا ۱۲۰ سال طراحی و پل‌های اصلی در مناطق شهری حداقل ۱۵۰ سال عمر مفید داشته باشند. تمایل فعلی برای طراحی فراسازه‌ها بر اساس هزینه دوره عمر مفید نه تنها بازگشت سرمایه در دسترس را به حداکثر می‌رساند بلکه باعث حداکثر استفاده از منابع موجود نیز می‌گردد.

نیاز برای کاهش اثرات زیست محیطی بتن در گزارش اخیر شورای استراتژیک توسعه (در کشور آمریکا) مورد شناسایی و توجه قرار گرفته است. خلاصه‌ای از گزارش تحت عنوان "دیدگاه سال ۲۰۳۰ برای صنعت بتن آمریکا" در شماره مارس ۲۰۰۱ مجله "Concrete International" منتشر شده است [۷]. بر اساس این گزارش تکنولوژیست‌های بتن موظف شده‌اند در آینده این صنعت را به سمت و سوی حفاظت کیفی محیط زیست پیش ببرند، این در حالی است که در این گزارش بتن به عنوان مصالح برگزیده صنعت ساختمان مورد شناسایی قرار گرفته است. هم چنین توجه افکار عمومی به

تولید ۱/۶ میلیارد تن سالانه سیمان در جهان می‌باشد. سیمان پرتلند که مهم ترین سیمان هیدرولیک مورد مصرف است نه تنها یکی از مصالح ساختمانی است که با توجه به حجم زیاد تولید آن، انرژی زیادی مصرف می‌شود بلکه یکی از موجبات اصلی ایجاد گازهای گلخانه‌ای به مقدار زیاد می‌باشد.



شکل ۴: افزایش تولید CO₂ در جهان [۵].

مصرف انرژی در تهیه سیمان و بتن مهم‌ترین تأثیر تولید این مواد بر محیط زیست محسوب می‌شود. به طوری که تولید یک تن سیمان پرتلند نیاز به ۱/۴ گیگاژول انرژی دارد. برای این امر ۶ میلیون BTU انرژی مصرف می‌شود که تقریباً ۱ تن دی اکسید کربن به سوی اتمسفر روانه می‌کند. هم چنین زغال فراوانی برای تولید برق سوزانده می‌شود.

علاوه بر آن استخراج مواد خام نظیر سنگ آهک و سنگ رس برای تولید سیمان و هم چنین زغال سنگ برای تأمین سوخت موجب تشدید جنگل‌زدائی و از بین رفتن لایه روئی خاکها می‌شود. در بتن معمولی، مصالح سنگی ۸۰ درصد و سیمان ۱۲ درصد وزن آن را تشکیل می‌دهند. این بدان معناست که سالانه حدود ۱۰ تا ۱۱ میلیارد تن مصالح سنگی شامل ماسه، سنگ ریزه و مصالح شکسته برای ساخت بتن استفاده می‌شود. در عملیات استخراج، تولید و حمل این مقدار عظیم مصالح، انرژی قابل ملاحظه‌ای صرف می‌گردد و به نوبه خود بر اکولوژی مناطق جنگلی و بستر رودخانه‌ها اثر می‌گذارد. علاوه بر آن در صنعت ساخت بتن در سال حدود ۱ تریلیون لیتر آب شیرین مصرف می‌شود. اگر چه آمار قابل اعتمادی وجود ندارد ولی احجام قابل ملاحظه‌ای آب شیرین نیز برای شستشوی میکسرهای بتن هم چنین برای عمل آوری مرطوب بتن به مصرف می‌رسد. علاوه بر سه جزء اصلی

در تولید بتن استفاده شد. جالب توجه است که بتن حاوی مواد سیمانی که حاوی ۵۰ درصد و یا بیشتر روبراه کوره آهنگدازی و یا خاکستر بادی برحسب مواد سیمانی باشد از بتنی که حاوی سیمان خالص باشد پایایی بیشتری دارد. در بتن‌های حاوی مقدار زیادی مواد افزودنی معدنی، سرعت کندتر گیرش و سخت شدگی را می‌توان با کاهش نسبت آب به مواد سیمانی با استفاده از روان کننده‌های ممتاز جبران کرد [۸]. با وجود این چنانچه برای صنعت، هدف مهم و اصلی به حداکثر رساندن بهره‌وری از مصالح قرار گیرد و نه بهره‌وری نیروی انسانی، در اکثر کاربردهای سازه‌ای سرعت کندتر اجرا قابل قبول خواهند بود.

در کشور ما تولید بتن با استفاده از مواد افزودنی معدنی از سالها قبل متداول بوده است، کارخانه سیمان سپاهان در کنار کارخانه ذوب آهن اصفهان برای استفاده از روبراه کوره آهنگدازی آن کارخانه تاسیس شد. البته با توجه به ظرفیت‌های موجود پوزولان‌های طبیعی در کشور تولید آن در حد قابل قبول نمی‌باشد. در اروپا حدود ۵۰ درصد سیمان‌های تولیدی سیمان پوزولانی است در حالی که بر اساس گزارش در سال ۱۳۸۴ صرفاً ۱۰ درصد سیمان‌های مصرفی در ایران را سیمان‌های پوزولانی تشکیل می‌دهد.

صرفه جویی مصالح سنگی

در آمریکای شمالی، اروپا و ژاپن حدود دو سوم نخاله‌های ساختمانی و تخریب را مصالح بنایی و خرده‌ها و تکه‌های بتن قدیمی تشکیل می‌دهند. این یک فرصت خوب برای صنعت بتن می‌باشد که با استفاده از نخاله‌های ساختمانی به عنوان مصالح درشت دانه در بتن، بهره‌وری از مصالح را بهبود بخشد.

در بسیاری از نقاط جهان ماسه‌های لارویی و نخاله‌های معدنی به عنوان مصالح ریزدانه در بتن قابل کاربرد هستند. خصوصاً در مناطقی که با کمبود زمین رو به رو هستند و یا اینکه دیوی این نخاله‌ها گران تمام می‌شود بازیابی آنها علیرغم هزینه انجام آن اقتصادی به حساب می‌آید. علاوه بر آن در بسیاری از مناطق جهان، قرصه‌های مصالح سنگی بکر به اتمام رسیده است و در مقایسه با استفاده از مصالح سنگی بازیافت شده که رایگان و یا با قیمت نازل در دسترس است، تهیه و حمل مصالح سنگی از فواصل دور بسیار گرانتر می‌باشد. بتن بازیافت شده به

مسئولیتی که در قبال تغییرات آب و هوایی به دلیل افزایش غلظت گازهای مضر دارد جلب شده است.

روش‌های کاهش اثرات زیست محیطی بتن

اثرات زیست محیطی صنعت بتن می‌تواند از طریق بهره‌وری بیشتر از منابع با صرفه‌جویی در مصرف مصالح و انرژی برای ساخت بتن و از طریق بهبود بخشیدن به پایایی سازه‌ها و محصولات بتنی کاهش یابد. البته این کار با همتی جدی قابل حصول خواهد بود و در این راستا باید فرهنگ شتاب بخشی در تولید به فرهنگ افزایش بهره‌وری از منابع تبدیل شود. راه‌های اساسی برای مقابله با مسائل زیست محیطی صنعت بتن به شرح ذیل است:

بهبود کارایی انرژی در صنعت سیمان و استفاده از مواد زاید به عنوان جانشینی برای سوخت

سوخت‌های اصلی در کوره‌های سیمان شامل زغال سنگ، سوخت‌های نفتی، گاز طبیعی و کک نفت هستند. سوخت‌های ثانویه در کوره‌های سیمان شامل موارد زیر هستند. استفاده از این سوخت‌ها اثرات زیست محیطی مطلوبی نسبت به سوخت‌های اولیه یا فسیلی دارند.

- لاستیک چرخ
- ضایعات زباله‌ای جامد شهری
- سوخت‌های مشتق از ضایعات مایع
- سوخت‌های ضایعات زیستی (ضایعات غذا، لجن فضلاب شهری، چربی و گوشت حیوانات)

کاربرد سوخت‌های ذکر شده بخصوص در کاهش CO₂ و به طور کلی در NO_x مؤثری می‌باشند که در حال حاضر تجهیزات بسیاری برای آمیزش و ترکیب این سوخت‌ها نیز در کشورهای پیشرفته ابداع شده است.

استفاده از مواد جایگزین سیمان

پیش‌بینی می‌شود که مصرف جهانی سیمان در سال ۲۰۱۰ به ۲ میلیارد تن برسد و این در حالی است که منابع مناسب از روبراه‌های پوزولانی و سیمانی روبراه‌ای که بتوانند به عنوان جایگزین سیمان مورد مصرف قرار گیرند وجود دارد. در این صورت نیاز به تولید سیمان اضافی نخواهد بود. بر اساس گزارش US.EPA خاکستر بادی یا پوزولان ۱۵ تا ۳۵ درصد میزان سیمان استفاده شده در بتن را کاهش می‌دهد. از ۵۱ میلیون تن خاکستر بادی تولید شده در آمریکا در سال ۱۹۹۱ حدود ۷ میلیون تن

نصف کاهش یابد و این کار با استفاده از مصالح خوب دانه-بندی شده و گسترش استفاده از افزودنی‌های معدنی و فوق روان کننده‌ها عملی خواهد بود. علاوه بر آن چرا باید در ساخت بتن از آب تصفیه شده شهری قابل شرب استفاده کرد؟ تحقیقاتی که در کشور های مختلف انجام شده است نشان می دهد استفاده از آب ناشی از تصفیه فاضلاب می تواند تحت شرایطی به عنوان آب اختلاط و آب عمل آوری در صنعت بتن مورد استفاده قرار گیرد [۱۰].

پایایی بتن

در سال های اخیر و با بررسی دوام سازه های بتنی مسلح بویژه در مناطق خورنده و سخت برای بتن نظر اکثر کارشناسان و دست اندرکاران کارهای بتنی به این مسئله جلب شده است که مقاومت به تنهایی نمی تواند جوابگوی کلیه خواص مربوط به بتن بخصوص دوام آن باشد و لازم است در طراحی بتن برای مناطق مختلف علاوه بر مسئله مقاومت و تحمل بارها در طول مدت بهره دهی، پایایی و دوام آن نیز مد نظر قرار گیرد. در حال حاضر با اضافه نمودن مواد مختلف به بتن و تغییرات در طرح اختلاط آن می توان به بتن هایی دست یافت که بدون تغییر قابل ملاحظه در مقاومت آنها از نقطه نظر دوام نیز ارزشمند باشد. افزایش دوام بتن به ویژه در محیط های خورنده می تواند نقش عمده ای در توسعه پایدار داشته باشد. خرابی زودرس سازه های بتنی در مناطق خورنده دریایی در اغلب کشور های جهان باعث اتلاف سرمایه های عظیمی گشته و بهسازی یا ساخت مجدد آنها هزینه های هنگفتی را برای تأمین مصالح و نیروی انسانی به جامعه تحمیل می کند.

افزایش پایایی بتن به عنوان یک راه حل دائمی برای بهبود بهره‌وری از منابع در صنعت بتن به حساب می‌آید. اگر عمر متوسط سازه های بتنی را دو برابر کنیم، میزان اثرهای سوء مرتبط با بتن و مواد متشکله آن بر محیط زیست را نصف کرده ایم. اکنون با مطالعاتی که در دست انجام است، چند برابر کردن عمر مفید بتن و سازه های بتنی از طریق طراحی سازه های بتنی بر مبنای پایایی، دور از دسترس به نظر نمی رسد.

باید پرسید چرا تخریب ساختمان های مسلح بتنی پس از ۲۰ سال و یا حتی کمتر شروع می شود حال آنکه ساختمان ها و دیوارهای دریایی غیر مسلح ساخته شده از

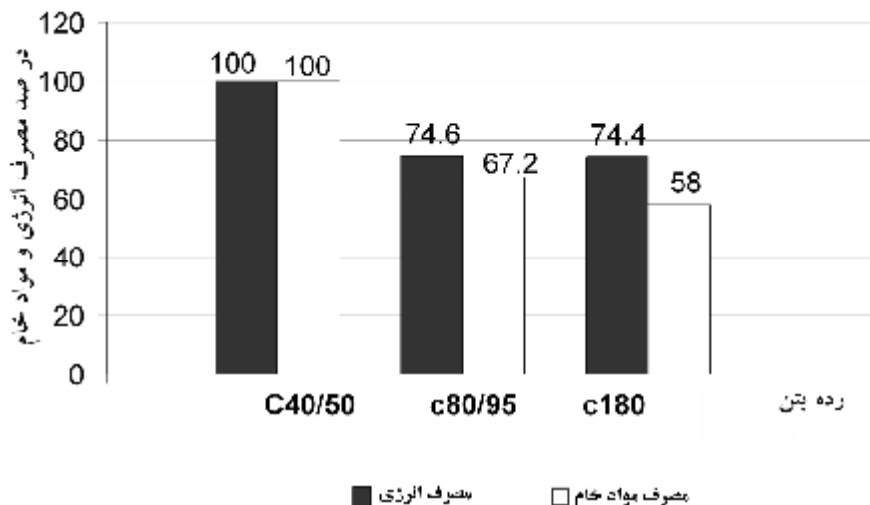
عنوان پر کننده در بعضی جاها مورد استفاده قرار می گیرد که از خاکریز بهتر است ولی این نوع بتن معمولاً دارای عمر مفید کمتری است و بدین جهت استفاده از مصالح سنگی بکر برای تولید بتن نو ادامه دارد.

Lauritzen [۸] تولید سالانه نخاله های بنایی و بتنی را در جهان قدری بیش از ۱ میلیارد تن برآورد کرده است، که در حال حاضر فقط بخش کمی از این نخاله ها مورد استفاده مجدد قرار می گیرد. در بیشتر کشورهای اروپایی، با توجه به ملاحظات زیست محیطی و هزینه زیاد دپوی نخاله ها، باز یافت ۵۰ تا ۹۰ درصد نخاله های ساختمانی را به عنوان یک هدف کوتاه مدت خود قرار داده اند. البته مصالح سنگی به دست آمده از بازیافت نخاله های بتنی و به خصوص بنایی در مقایسه با مصالح سنگی طبیعی دارای تخلخل زیادتری هستند. بنابراین برای رسیدن به یک کارپذیری مشابه در بتن، به آب زیادتری نیاز هست و به همین ترتیب مقاومت مکانیکی بتن سخت شده تحت تأثیر قرار می گیرد. این مشکل با استفاده از مخلوط مصالح سنگی طبیعی و بازیافتی و استفاده توأم آنها و یا افزودنی های کاهنده آب و خاکستر بادی قابل حل است.

صرفه جویی آب

تا کنون آب شیرین تقریباً همه جا به طور وفور در دسترس بوده و برای تمام مقاصد در صنعت بتن مورد استفاده قرار گرفته است. در واقع استاندارد های اجرای ساختمان، استفاده از آب قابل شرب را برای ساخت و عمل آوری مرطوب بتن توصیه می کرده اند، ولی این شرایط امروزه تغییر کرده است.

Hawken و همکارانش [۹] گزارش می کنند که آب شیرین سالم روز به روز کمیاب تر می شود. اگر چه در کره زمین آب زیادی وجود دارد ولی فقط حدود ۳ درصد آن شیرین می باشد که قسمت اعظم آن هم یا در مناطق ذوب یخبندان های بزرگ محبوس است و یا از اعماق زیاد زمین قابل استحصال می باشد. در صنعت بتن که یکی از بزرگترین مصرف کننده های آب است، ضروری است، مصرف آب را با کارایی زیادتری همراه سازیم. علاوه بر مصرف حدود ۱۰۰ لیتر آب در متر مکعب برای شستشوی تراک های بتن آماده، ما آب خیلی زیادی را برای تولید بتن مصرف می کنیم. عقیده بر این است که مصرف فعلی سالانه ۱ تریلیون لیتر آب برای تولید بتن می تواند به



شکل ۵: مقایسه میزان مصرف انرژی و مواد خام در ساخت ستون های بتن مسلح بر اساس رده بتن [۱۵].

مقایسه با بتن های معمولی مقاومت بیشتری در برابر حملات شیمیایی دارند. این نوع بتن ها برای مقابله با واکنش های قلیایی سنگدانه ها نیز توصیه شده اند، کربناتاسیون موجب کاهش لایه محافظ خوردگی روی آرماتورها می شود. تحقیقات متعدد نشان داده است که در بتن حاوی دوده سیلیس با افزایش مقاومت الکتریکی بتن، کربناتاسیون و خوردگی آرماتور در بتن محدودتر می شود. برخی تحقیقات نشان می دهد که با توجه به ریزی فوق العاده منافذ در بتن توانمند و بسته بودن آنها، حتی در صورت اشباع بودن این خلل و فرج، در شرایط یخبندان بلورهای یخ تشکیل نمی شود و بنابراین مقاومت این نوع بتن ها در برابر یخ زدگی و آب شدگی مناسب است [۱۴].

فرا تر از بتن های توانمند بتن های فوق توانمند (UHPC) هستند که کاربرد آنها از اواخر دهه ی ۹۰ با ساخت پروژه هایی نظیر پل عابر پیاده "Sherbrooke" در کانادا آغاز شد. خواص عمومی این نوع از بتن ها شامل: مقاومت فشاری بیشتر از ۱۰۰ مگا پاسکال، شکل پذیری زیاد، نفوذ پذیری بسیار کم و مقاومت برشی زیاد در خمش می باشد. بر اساس تحقیقات انجام شده [۱۵]، انرژی و مواد خام کمتری برای ساخت سازه ها بویژه ستون های بتنی در UHPC در مقایسه با بتن معمولی و بتن پر مقاومت مصرف شده و استفاده از آن تاحدودی اهداف توسعه پایدار را ارضا می نماید (شکل ۵). بررسی سازه های ساخته شده از بتن توانمند و فوق توانمند، نشان می دهد که معیار مقاومت زیاد فقط بین ۲۵ تا ۳۰ درصد، توجیه دلیل

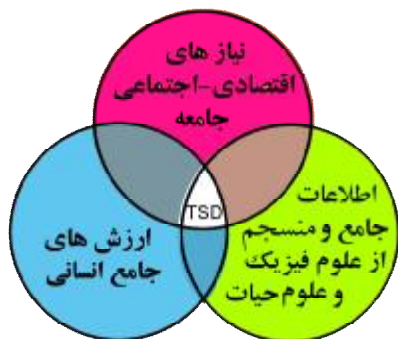
بتن رومی حتی پس از ۲۰۰۰ سال هنوز در شرایط خوبی به سر می برند؟ دلیل عمده این است که بتن هایی که ما امروزه با استفاده از سیمان پرتلند می سازیم آمادگی بسیار برای ترک خوردگی و نتیجتاً افزایش نفوذپذیری در طول عمر بهره برداری خود دارند. آرماتور مدفون در بتن نفوذپذیر به راحتی زنگ می زند و خورده می شود و موجبات تخریب تدریجی سازه را فراهم می آورد.

روش های امروزی ساخت و ساز که بر پایه فرهنگ اجرای هر چه سریعتر سازه قرار دارد، ایجاب می کند که بتن حاوی مقدار زیادی سیمان پرتلند با کسب مقاومت سریع باشد. بدین ترتیب ظرفیت مقاومت در برابر ترک خوردگی های بتن های جدید ضعیف بوده و انقباض های حرارتی، جمع شدگی ناشی از خشک شدن در آنها زیاد و آزاد شدگی خزش بسیار کم خواهد بود. سیمان های رومی که معمولاً از آهک هیدراته و خاکستر آتشفشانی ساخته می شد، تولید یک محصول هیدراته همگن را می نمود که از لحاظ ترمودینامیکی از محصولات هیدراتاسیون سیمان پرتلند جدید پایدارتر بود. هم چنین بتن های رومی که در مقایسه با بتن های امروزی با آب بسیار کمتری ساخته می شد، آمادگی ترک خوردگی کمتری را داشت و بسیار پایا بود [۱۱، ۱۲، ۱۳].

استفاده از بتن های توانمند و فوق توانمند

کاربرد بتن های توانمند (HPC) در سازه ها از اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی آغاز شده است. بتن های توانمند در

های مورد نیاز و حفظ منابع طبیعی و محیط زیست می داند. از اهداف اکولوژیکی در توسعه پایدار، استفاده کمینه از منابع غیر تجدید شونده و تضمین تجدید منابع تجدید شونده و کمینه کردن اثرات زیست محیطی پسماندها می باشد [۱۶، ۱۹].



شکل ۶: مدل مهتا برای تکنولوژی و توسعه پایدار TSD [۱].

Mehta هم چنین مدلی برای ایجاد فناوری برای توسعه پایدار^۱ ارائه نموده است (شکل ۶) که می تواند در زمینه تکنولوژی بتن هم مورد توجه قرار گیرد. سه دایره ای که فقط در قسمت کوچکی بر روی یکدیگر منطبق شده اند معرف وضع زندگی بشر بر روی کره زمین می باشد. رشد مساحت مربوط به توسعه پایدار در صورتی امکان پذیر خواهد شد که انطباق قابل توجهی بین این دایره ها رخ دهد. هم اکنون کوشش هایی در جریان است تا بخش توسعه اقتصادی اجتماعی را با یک پایه علمی متحد که شامل علوم فیزیکی و زیستی می باشند تلفیق نمایند. دایره مربوط به اخلاقیات و ارزش های انسانی نیاز به توجه بیشتری دارد زیرا اگر تکنولوژی با ارزش های انسانی آمیخته نشود می تواند نسل بشر را به نتایج فاجعه باری دچار نماید [۱۶، ۱۹].

بتن های آینده دارای دوام بیشتری خواهند بود و برای رفع نیازهای اجتماعی و اقتصادی با داشتن اثرات زیست محیطی کمتری توسعه خواهند یافت. هزینه های یک پروژه در آینده تنها بر اساس هزینه های فعلی تنظیم نخواهد شد، بلکه هزینه های اجتماعی و زیست محیطی از مرحله استخراج مواد خام تا آماده سازی آن و همچنین حفظ آنها در پایان چرخه عمر سازه خواهد بود. در این راستا باید به صنایع سیمان و بتن جهت داده شود تا در مسیر توسعه پایدار مقید گردند. صنایع سیمان و یا حتی

کاربرد این نوع بتن هاست. موضوع مهم این است که این مواد دارای دوام بیشتری بوده و دارای ویژگی های منحصر به فردی می باشند.

در هزاره جدید بتن های توانمند، دامنه های کاربرد گسترده تری در سازه ها و فراسازه ها پیدا خواهند کرد. در بتن ها قطعاً مواد پوزولانی جایگزین سیمان خواهند شد. هم چنان که در ساخت آنها روبراه کوره آهن گدازی، خاکستر بادی، دوده سیلیس و متاکائولین به کار خواهند رفت تا تخلخل های موئینه را در خمیر سیمان به حداقل برسانند. هم چنین استفاده از فوق روان کننده های ویژه و الیاف گسترش خواهد یافت و در پروسه تولید بتن از میکسرهای با سرعت زیادتر و در روند ریختن بتن، از تکنولوژی ربات ها استفاده خواهد شد. مجهز نمودن فراسازه ها به ابزار دقیق نظیر فیبرهای نوری برای کنترل تغییر شکل ها فراگیر شده و از سوی دیگر افزایش تقاضای مصرف بتن روز به روز با ملاحظات زیست محیطی و مشارکت عمومی همراه خواهد شد [۱۸].

بتن و توسعه پایدار

در طراحی و ساخت بنا ها اصل توجیه اقتصادی یکی از اصول اساسی در مهندسی عمران است. در طول پنجاه سال گذشته اقتصاد جهانی شامل تحولات زیادی بوده است. عواملی از قبیل ارتقا و فن آوری های مخابرات، کاهش موانع تجاری و کاهش موانع بر سر راه سرمایه گذاری های خارجی از دلایل مهم این تغییرات می باشند. رشد اقتصاد جهانی در کنار خود اختلالاتی را نیز به وجود آورده که از آن میان می توان به موارد زیست محیطی اشاره کرد. هم چنین نبود ساختارهای قانونی مناسب در حمایت از محیط زیست توسط نظام های چند جانبه تجاری، عامل مهم در عدم توجه کشورها به مسائل محیط زیست می باشد. در ادبیات بین الملل مفهوم توسعه پایدار به صورت زیر بیان شده است: "توسعه ای که پاسخگوی نیازهای حاضر باشد بدون آنکه بر توانایی نسل های آینده برای تأمین نیازهای خود تأثیر منفی داشته باشد". بر اساس تعبیر Mehta در سال ۱۹۹۹ توسعه پایدار یعنی این که، تا حد امکان کمتر از نعمت های خوب و مواد اولیه کره زمین بهره برداری شود و کمترین مقدار مواد زیان آور به آن برگردانده شود. وی هم چنین توسعه پایدار را در برقراری تعادل میان دو نیاز هم ارز اجتماعی یعنی تأمین ساختمان

نیز خواهد بود. برای دستیابی به این هدف باید از طریق همایش ها و همچنین رسانه های عمومی، فرهنگ سازی لازم صورت پذیرد. به عنوان مثال در حال حاضر در شهر های جنوبی کشور که سازه های بتنی در معرض نفوذ یون کلر و آسیب دیدگی ناشی از خوردگی آرماتور هستند عمر مفید مورد انتظار سازه های بتنی قبل از شروع تعمیرات ۱۵ و حداکثر ۲۰ سال است. حال چنانچه بر اساس آموزش عمومی مردم متوجه شوند که با بهبود کیفی بتن و اجرا امکان افزایش این عمر تا ۱۰۰ سال نیز دور از انتظار نیست، مهندسان و سازندگان با توجه به سطح توقع کاربران الزام خواهند داشت دانش خود را افزایش دهند.

تجربه چند ماهه اخیر و افت نسبی قیمت سیمان و فراوانی آن در بازار نشان می دهد برای سازندگان، کاهش مصرف سیمان که از حیث محیط زیست یک ضرورت اجتناب ناپذیر محسوب می شود، از حیث اقتصادی و سرعت اجرا حداقل در کوتاه مدت نمی تواند در اولویت قرار گیرد و حساسیت عمومی را برانگیزد. بنابراین باید حساسیت های عمومی به جای مقوله اقتصادی به محیط زیست و توسعه پایدار سوق نماید و به این طریق صنعت بتن راه درست را برخواهد گزید.

ب) آموزش آکادمیک

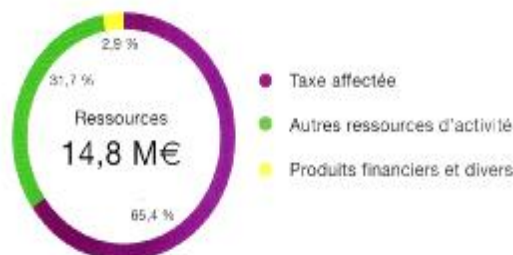
به منظور گسترش روش های جامع و استاندارد کارگاهی برای صنعت بتن ابتدا لازم است تحقیقات تکنولوژی بتن به صورت جامع درآید. تحقیقات تکنولوژی بتن را نمی توان به صورت جامع درآورد مگر آن که دگرگونی عمده ای در برنامه های آموزشی دانشکده های مهندسی عمران به وجود آید. بنابراین در برخورد جامع در تکنولوژی بتن لازم است تحول از دانشگاه ها سرچشمه بگیرد. در حال حاضر در دانشکده های عمران، دانشجویان که مهندسی و فناوران آینده کشور به شمار می آیند به منظور چیره شدن بر مسائل دوام بتن و مصرف انبوه محصولات زائد صنایع برای حفظ منابع طبیعی و جلوگیری از آلودگی محیط زیست، آموزش لازم را نمی بینند و به اندازه کافی با مباحث سیمان و بتن که بخشی از دروس الزامی مهندسی عمران می باشند آشنایی پیدا نمی کنند [۱۹].

موسسات و سازمان های خصوصی نیز می توانند همگام با دانشگاه ها نقش مهمی را در آموزش بتن

سایر چسباننده های هیدرولیکی در قرن حاضر باید به صنایعی سبز بدل گردند و این مساله تنها بوسیله آموزش در سطوح مختلف محقق خواهد شد [۲،۱۷].

آموزش مهندسی بتن و سیمان

آموزش مهندسی بتن و سیمان باید با تکنولوژی رو به رشد، همگام و همراه باشد و در این آموزش باید از تجهیزات مدرن برای فراگیری مهندسان آینده استفاده کرد. از سوی دیگر باید از سوی کارفرمایان خصوصی و دولتی الزاماتی اعمال گردد تا مصالح مورد مصرف، استاندارد باشد. به تولید کنندگان بتن و سیمان باید آموخت، که می توانند با فروش مقدار کمتری از بتن با کیفیت مناسب و قابل قبول از سود بیشتری برخوردار شوند. همچنین کارفرما و پیمانکاران پروژه های عمرانی باید بدانند که آنچه مهم است نه هزینه یک متر مکعب بتن بلکه هزینه یک مگا پاسکال یا یکسال عمر مفید یک سازه خواهد بود [۲]. به طور کلی آموزش مهندسی بتن با نگرشی به محیط زیست در سال های آینده به روش های مختلف انجام پذیراست:



شکل ۷: نمودار توزیع منابع مالی مربوط به موسسه "Cerib".

الف) آموزش عمومی

کاربران و کارفرمایان پروژه های سازه های بتنی در بخش خصوصی و عمومی قرار دارند. به این ترتیب باید سطح دانش عمومی بتن در کشور در حد کارفرمایان بخش دولتی و خصوصی را گسترش داد. بطوریکه سطح انتظار از بتن و عمر مفید آن و حتی از ظاهر یک سازه بتنی باید تغییر یابد، در حال حاضر سطوح تمام شده بتنی که ناصاف و شن نما باشند برای کاربران فعلی دور از انتظار نیست. با امکاناتی که امروزه برای اجرای بسیار زیبای سازه های بتنی فراهم است، باید سطح توقع عمومی را ارتقاء داد، در اینصورت درخواست مردم و کارفرمایان علاوه بر خواص مکانیکی و مقاومت، نیاز های معماری و زیبایی

وسیمان و توسعه صنایع وابسته به آن ایفا کنند. در واقع باید بخشی از درآمد های بازار بتن به بخش تحقیق و توسعه اختصاص یابد. در برخی از کشورهای پیشرفته، بخش اعظم این هزینه ها از مالیات بر درآمد شرکت های بتنی و کارخانه های سیمان تامین می گردد. (شکل ۷) نمودار توزیع منابع مالی مربوط به موسسه "Cerib" (مرکز مطالعات و تحقیقات بتن) را نشان می دهد که یکی از این موسسات تحقیقاتی بتن در کشور فرانسه است. همانطور که ملاحظه می شود منابع مالی این موسسه تنها در سال ۲۰۰۵، ۱۴/۸ میلیون یورو بوده است که حدود ۶۵ درصد آن از طریق مالیات شرکت های بتنی تامین گردیده است. به این ترتیب این مرکز به عنوان مرکز تحقیق و توسعه شرکت های بتنی و وظیفه ارتقاء سطح کیفی محصولات و آماده نمودن آن شرکت ها برای رقابت های بین المللی را، بر عهده دارد.

فعالیت برخی از این موسسات تحقیقاتی با ایجاد همکاری های بین رشته ای منجر به ابداع روش ها و ابزارهای جدیدی در حوزه آموزش و پژوهش بتن گردیده، که از این دست می توان به کاربرد فناوری پردازش تصاویر و الگوریتم اتوماتای سلولی در بررسی خواص بتن و

نتیجه گیری

بتن به عنوان پر مصرف ترین مصالح ساختمانی نقش اساسی در ساخت وساز ها و توسعه کشور دارد و مهندسی بتن در مهندسی عمران از اهمیت زیادی برخوردار است و با توجه به تاثیرات جدی بتن بر محیط زیست، ملحوظ داشتن ارتقاء کیفی بتن و دستیابی به بتن های پایایی مورد انتظار از حیث مکانیکی و دوام ضرورت دارد. در سال های آینده آموزش مهندسی بتن در سطح عمومی و در سطح دانشگاهی باید خود را برای یک چالش بزرگ آماده نماید، این چالش با محوریت محیط زیست خواهد بود.

مراجع

- 1 - Mehta, P. K, Paulo J. M. Monteiro, (2005). *Concrete, microstructure properties and materials.*, McGraw-Hill Professional, 2005, PP. 659.
- 2 - Pierre-Claude Aitcin, (2000). "Cements of yesterday and today Concrete of tomorrow." *Cement and Concrete Research*, Vol. 30.
- 3 - Bremner. W. (2001). "Environmental aspects of concrete: problems and solutions." *First All-Russian Conference on Concrete and Reinforced concrete*. 9-14 September.
- 4 - Abbas, A., Fathifazl, G., Isgor, O.B., Razaqpur, A. G., Fournier, B. and Foo, S. (2006), *Environmental Benefits of Green Concrete*, EIC Climate Change Technology, IEEE.
- 5 - Mehta, P. K. (2001). "Reducing the environmental impacts of concrete." *Concrete International*.
- 6 - Freyermuth, C. L. (2001). "Life-Cycle Cost Analysis for Large Segmental Bridges." *Concrete International*, V. 23, No. 2, Feb. PP. 89-95.
- 7 - Plenge, William H. (2001). "Introducing vision 2030: our industry's 30-year map to the future." *Concrete international*, March, PP.25-34.
- 8 - Lauritzen, E. K. (1998). "The Global Challenge for Recycled Concrete." *Proceedings, Symposium Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate*, R. K. Dhir; N. A. Henderson; and M. C. Limbachiya, eds., Thomas Telford, PP. 505-519.
- 9 - Hawken, P., Lovins, E. and Levins, H. (1999). *Natural Capitalism—Creating the Next Industrial Revolution*. Little Brown and Co., PP. 369.

- 9 - Neville. A. (2000). "Water-Cinderella Ingredient of Concrete." *Concrete International*, September, PP.66-71.
- 10 - Bonen, D., Tasdemir, M. A. and Sarkar, S. L. (1995). "The Evolution of Cementitious Materials Through History." *Materials Research Society Symposium Proceedings*, V. 370, PP. 159-168.
- 11 - Mehta, P. K. (1997). "Durability – Critical Issues for the Future." *Concrete International*, V. 19, No. 7, July, PP. 27-33.
- 12 - Mehta, P. K. and Burrows, R. W. (2001). "Building Durable Structures in the 21st Century." *Concrete International*, V. 23, No. 3, Mar. PP. 57-63.
- 13 - Navy, E. G. (2000). *Fundamentals of High Performance Concrete*, 2nd Edition, John Wiley and Sons, Inc.
- 14 - Racky, P. (2004). "Cost-effectiveness and sustainability of UHPC." *International Symposium on Ultra High Performance Concrete*, September 13-15.
- 15 - Tarun R. Naik, (2005). "Sustainability of cement and concrete industries." CBU-2004-15 REP- 562 January.
- 16 - Mehta, P. K. (1999). "Concrete Technology for Sustainable Development." *Concrete International*, V. 21, No. 11, Nov. PP. 47-53.

- ۱۷ - شکرچی زاده، م. (۱۳۸۵). "بتن های توانمند"، فصل ۱۸ کتاب مصالح ساختمانی، یادنامه استاد احمد حامی، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۸ - فامیلی، ه. (۱۳۸۴). تکنولوژی "بتن و توسعه پایدار در ایران"، دومین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه.
- ۱۹ - قالیبافیان، م. (۱۳۸۵). "بتن و محیط زیست"، فصل ۲۰ کتاب مصالح ساختمانی، یادنامه استاد احمد حامی، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲۰ - پیدایش، م. (۱۳۸۴). "بتن و تعامل آن با محیط زیست"، دومین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه".

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Technology for Sustainable Development (TSD)
2 - Virtual Testing Methods