

آینده آموزش مهندسی بتن و سیمان با نگرش به محیط زیست

محمد شکرچی زاده

سرپرست انستیتو مصالح ساختمانی
و دانشیار دانشگاه تهران

زانبار میرزایی

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی
دانشگاه تهران

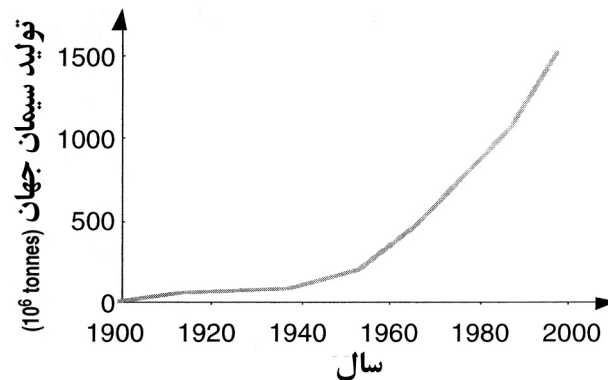
چکیده

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 مبنای 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 نسبتا 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 اینکه 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 توانمند

1-مقدمه

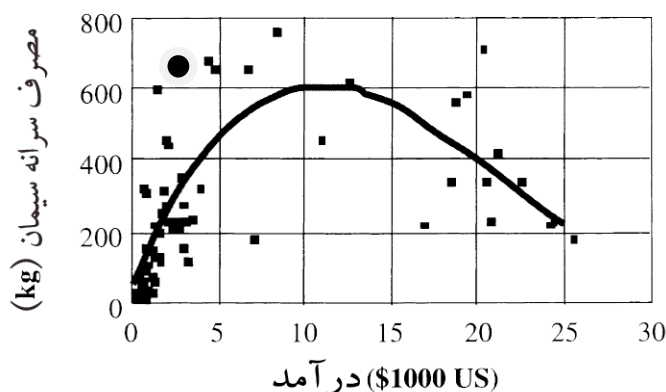
بتن پرمصرف ترین مصالح ساختمانی است. این ماده، معمولاً از مخلوط نمودن سیمان پرتلند، ماسه، سنگ شکسته و آب ساخته می شود. در سال 1999، "Mather" گفته است: " بتن بین المللی است. همچنان که هوا برای تنفس، آب برای نوشیدن و زمین برای رویش گیاهان داریم، بتن نیز شالوده تمدن است." در اغلب کشورهای جهان نسبت مصرف بتن به فولاد از 10 به 1 نیز فراتر رفته است [1]. بر اساس گزارش CEMBUREAU در سال 1990 تولید جهانی سیمان در حدود 10میلیون تن بوده است، در سال 1998 این میزان به 1/6 میلیارد تن رسیده است. همانطور که در شکل 1 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 کشورهای اروپایی و ژاپن طبیعی بود.



شکل 1- تولید جهانی سیمان در قرن بیستم (CEMBUREAU) [2]

در کشور ما با توجه به میزان تولید و مصرف سیمان (حدود 45 میلیون تن در سال) و با فرض مصرف متوسط 300 کیلو گرم سیمان در متر مکعب بتن، تولید بتن بالغ بر 150 میلیون متر مکعب در سال و مصرف سرانه بالغ بر دو متر مکعب برآورد می شود که از متوسط مصرف سرانه در جهان زیاد تر است. رابطه بین سرانه تولید ناخالص داخلی و سرانه مصرف سالانه سیمان در کشور های مختلف در شکل 2 نشان داده شده است [2]. همانگونه که ملاحظه می شود ایران با مصرف سرانه 650 کیلوگرم سیمان و درآمد سرانه حدود 3200 دلار در واقع دارای حد بالایی از مصرف سیمان به نسبت درآمد و در مقایسه با سایر کشور های جهان است.

براساس شواهد تاریخی، اولین کاربردهای بتن به عنوان مصالح ساختمانی برای ساخت پل های آبگذر و دیوارهای حائل در برابر آب، توسط رومیها انجام گرفته است. امروزه استفاده از بتن در ساخت سدها، کانالها، لوله های انتقال آب و مخازن ذخیره سازی، کاری عادی در اکثر کشورهای جهان می باشد. دوام بتن در مقابل آبهای مهاجم و خوردنده موجب کاربرد وسیع آن در بسیاری از محیط های مهاجم و طبیعی گشته است. از دیگر مزایای بتن سهولت شکل دادن به آن برای ساخت اجزای



شکل 2- رابطه بین سرانه تولید ناخالص ملی و سرانه مصرف سیمان در کشورهای مختلف [2]

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

مختلف سازه است. علت این امر خاصیت شکل پذیری بتن تازه است که به راحتی به درون قالبها با شکلهای مختلف ریخته می شود. پس از چند ساعت قالب باز شده و در جایی دیگر مصرف می شود و بتن به شکل خواسته شده و به صورت جسم سخت شده و مقاومی در می آید. از دیگر دلایل محبوبیت بتن نزد مهندسان، سهولت دسترسی و ارزانی این مصالح در کار است، مصالح اصلی تشکیل دهنده بتن یعنی سیمان پرتلند و سنگدانه نسبتاً ارزان و به سهولت در اغلب نقاط جهان قابل تهیه است.

همانگونه که آقای "Joe Kelly" در 57 امین کنوانسیون بین المللی ACI گفته است: "نمی توان از چوب برای ساخت سد، از فولاد برای روسازی یا از آسفالت برای ساخت قابهای سازه‌ای استفاده نمود ولی در همه موارد فوق و موارد بیشتر دیگری از بتن می توان استفاده نمود". حتی در مواردی که مصالح دیگری به عنوان قسمت اصلی ساختمان به کار می رود، بتن نیز با نسبت معینی، در قسمتهای دیگر کاربرد خواهد داشت. بتن می تواند برای تحمل بار، محصور کردن فضاها، پوشش سطوح، و پر کردن حجمها در عموم سازه‌ها به کار رود. انسان نیاز دارد که بتن را نسبت به سایر مصالح بیشتر بشناسد.

2- مزایای استفاده از بتن

2-1- 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 می سوزاند و آلاینده های کمتری وارد محیط زیست می کند. در اینجا به برخی منافع زیست محیطی بتن اشاره می شود [20].

الف) کم مصرف از نظر انرژی

مواد خام مورد نیاز برای تولید سیمان و بتن عموماً در سراسر جهان بگونه ای گسترده اند که حمل و نقل آنها پارامتر مهم و اساسی را تشکیل نمی دهد. ضمناً از آنجا که تکنولوژی ساخت سیمان در بسیاری موارد، مشابه تکنولوژی مورد استفاده در صنعت معدن است، بنابراین پیشرفتهای آن در صنعت سیمان مورد اقتباس قرار می گیرد. 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.

ب) قابل بازیافت بودن ضایعات بتن

از آنجا که پس از اتمام بتن ریزی، از بتن باقیمانده که هنوز سخت نشده است می توان سنگدانه ها 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 باقیمانده از آن پس از احیاء سنگدانه ها را می توان به آب حاصل از شستشوی کامیون مخلوط کن اضافه نمود. این پساب خمیر سیمان را می توان آب زدایی و خشک کرد و پس از خرد کردن بعنوان بخشی از سنگدانه های ریز مورد استفاده قرار داد. ولی بهترین راه استفاده از آن می تواند بعنوان خاک نرم یا مصالح زیرسازی در جاده باشد. علاوه بر آن نخاله های بدست آمده از تخریب سازه های بتنی را می توان تحت شرایطی به عنوان سنگدانه بازیافتی در ساخت بتن های جدید بکار برد. در کشور ایالات متحده امریکا سالانه حدود 60 میلیون تن نخاله بتنی تولید می شود که از این مقدار حدود 10 الی 12 میلیون تن بازیافت می گردد.

ج) مصرف کننده ضایعات صنعتی

ضایعات مایع قابل اشتغال و خطرناک که در گذشته بطریق امنی مدفون نمی شدند، بعنوان سوخت کوره های تولید کلینکر سیمان و سنگدانه های با چگالی کم کاربرد دارند. این ضایعات شامل حلالها، لجن فاضلاب، روغن مصرف شده و در واقع، هر مایع یا لجن قابل اشتعال که بتواند پمپ شود و ارزش سوختی داشته باشد، را در بر می گیرد. رویار کوره های آهنگدازی و سایر ضایعات جامد حاصله از صنعت تولید فلزات را می توان بعنوان سنگدانه در بتن مصرف نمود [21, 4, 3].

2-2- خواص مطلوب مهندسی

برخی خواص ویژه مهندسی بتن، آن را برای انواع خیابانها و بزرگراهها ایده آل ساخته است. سطح بتن نور را منعکس نمی کند که باعث بهبود رانندگی در شب می گردد. ضمناً شیار یا دست انداز در آن ایجاد نمی گردد. یک مطالعه بر روی مقایسه هزینه سوخت مصرفی کامیونها بر روی آسفالت و بتن نشان داده است که رویه بتنی جاده، باعث کاهش حدود 11 درصد مصرف سوخت خودرو ها می گردد و مبنای این مقایسه حرکت یک تریلر با بار کامل و سرعت 100 کیلومتر در ساعت بوده است. برای سرعتهای کمتر نظیر 75 و 60 کیلومتر در ساعت صرفه جویی در سوخت به ترتیب 8 و 6 درصد بوده است.

بنظر می رسد 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.

2-3- عمر مفید و طولانی

وقتی بتن به نحو صحیح طرح و ساخته شود، تعمیر و نگهداری اندک از ویژگیهای آن خواهد بود. برخی از بتن های اولیه ساخته شده در سال 1847 با استفاده از سیمان جوزف آسپدین (اولین شخصی که سیمان پرتلند را بنام خود ثبت اختراع داد)، هنوز در شرایط خوبی بسر می برند. این بتن ها با نسبت آب به سیمان کم ساخته شده و بخوبی متراکم شده اند. نتایج مطالعه بر روی این بتن ها این واقعیت را آشکار کرده که "امکان دارد بتنی با دوام چند صد ساله ساخت."

2-4- عایق حرارتی و ظرفیت حرارتی زیاد

در مقایسه با مصالحی مانند فلزات، بتن تبادل حرارتی بسیار کمی داشته و تاحدی موجب صرفه جویی در مصرف انرژی می شود. همچنین ظرفیت حرارتی بتن زیاد است و می تواند حرارت را در خود ذخیره کرده و بتدریج مبادله نماید. این امر سبب می شود که نوسانات دمای خارج، در دمای داخل فضاهایی که با بتن محصور شده اند، 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 [3,4,21].

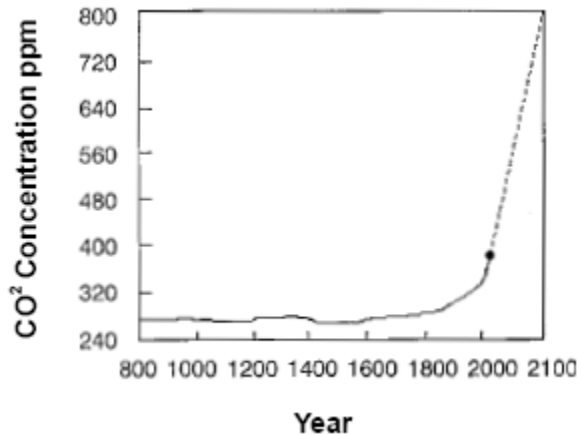
3- بتن و آلاینده گی محیط زیست

توسعه سریع صنعتی از ابتدای قرن گذشته موجب افزایش تولید گاز های گلخانه ای شده است (شکل 3). هفت درصد دی اکسید کربن موجود در اتمسفر به دلیل تولید 1/6 میلیارد تن سالانه سیمان در جهان می باشد. سیمان پرتلند که مهمترین سیمان هیدرولیک مورد مصرف است نه تنها یکی از مصالح ساختمانی است که با توجه به حجم زیاد تولید آن، انرژی زیادی مصرف می شود بلکه یکی از موجبات اصلی ایجاد گازهای گلخانه ای به مقدار زیاد می باشد.

مصرف انرژی در تهیه سیمان و بتن مهم ترین تاثیر تولید این مواد بر محیط زیست محسوب می شود. به طوری که تولید یک تن سیمان پرتلند نیاز به 1/4 گیگاژول انرژی دارد. برای این امر 6 میلیون BTU انرژی مصرف می شود که تقریباً 1 تن دی اکسید کربن به سوی اتمسفر روانه می کند. همچنین زغال فراوانی برای تولید برق سوزانده می شود.

علاوه بر آن استخراج مواد خام نظیر سنگ آهک و سنگ رس برای تولید سیمان و همچنین زغال سنگ برای تأمین سوخت موجب تشدید جنگل زدائی و از بین رفتن لایه روئی خاکها می شود. در بتن معمولی، مصالح سنگی 80 درصد و سیمان 12 درصد وزن آن را تشکیل می دهند. این بدان معناست که سالانه حدود 10 تا 11 میلیارد تن مصالح سنگی شامل ماسه، سنگ ریزه و مصالح شکسته برای ساخت بتن استفاده می شود. در عملیات استخراج، تولید و حمل این مقدار عظیم مصالح، انرژی قابل ملاحظه ای صرف می گردد و به نوبه خود بر اکولوژی مناطق جنگلی و بستر رودخانه ها اثر می گذارد. علاوه بر آن در صنعت ساخت بتن در سال حدود 1 تریلیون لیتر آب شیرین مصرف می شود. اگر چه آمار قابل اعتمادی وجود ندارد ولی احجام قابل ملاحظه ای آب شیرین نیز برای شستشوی میکسرهای بتن همچنین برای عمل آوری مرطوب بتن به مصرف می رسد. علاوه بر سه جزء اصلی بتن شامل مصالح سنگی، سیمان و آب، در بتن افزودنی های شیمیایی و معدنی نیز مورد استفاده قرار می گیرند. تولید این مواد نیز مستلزم مصرف انرژی همچنین مواد اولیه زیادی می باشد. عملیات بچینگ، اختلاط، حمل، ریختن تراکم و پرداخت سطح نیز انرژی زیادی را مصرف می نماید.

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 50 سال طراحی می‌شوند



شکل 3- افزایش تولید CO₂ در جهان [5]

ولی تجربه نشان می‌دهد که در محیط‌های دریایی و شهری تخریب سازه‌ها بعد از 20 تا 30 سال و یا حتی قبل از آن شروع می‌شود [5].

در آوریل سال 1998 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 1/3 تریلیون دلار برآورده نموده است. در این میان هزینه تعمیر و یا جایگزینی چند صد هزار پل بتنی به تنهایی معادل 80 میلیارد دلار اعلام شده است. این در حالی است که بودجه سالانه فدرال برای این منظور حدود 5 تا 6 میلیارد دلار می‌باشد. با ملاحظه محدودیت‌های بودجه Fryeremuth [6]. پیشنهاد کرده است که سازه‌های آینده برای عمر مفید 100 تا 120 سال طراحی و پل‌های اصلی در مناطق شهری حداقل 150 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 2030 برای صنعت بتن آمریکا" در شماره مارس 2001 مجله "Concrete International" منتشر شده است [7]. 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. همچنین توجه افکار عمومی به مسئولیتی که در قبال تغییرات آب و هوایی به دلیل افزایش غلظت گازهای مضر دارد جلب شده است.

4- 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:

4-1- بهبود کارایی انرژی در صنعت سیمان و استفاده از مواد زاید به عنوان جانشینی برای سوخت

سوخت های اصلی در کوره های سیمان شامل زغال سنگ، سوخت های نفتی، گاز طبیعی و کک نفت هستند، سوخت های ثانویه در کوره های سیمان شامل موارد زیر هستند. استفاده از این سوخت ها اثرات زیست محیطی مطلوبی نسبت به سوخته های اولیه یا فسیلی دارند.

§ لاستیک چرخ

§ ضایعات زباله ای جامد شهری

§ سوخت های مشتق از ضایعات مایع

§ سوخت های ضایعات زیستی (ضایعات غذا، لجن فاضلاب شهری، چربی و گوشت حیوانات)

کاربرد سوخت های ذکر شده بخصوص در کاهش CO_2 و به طور کلی در NO_x مؤثری می باشد که در حال حاضر تجهیزات بسیاری برای آمیزش و ترکیب این سوخت ها نیز در کشورهای پیشرفته ابداع شده است.

4-2- استفاده از مواد جایگزین سیمان

پیش بینی می شود که مصرف جهانی سیمان در سال 2010 به 2 میلیارد تن برسد و این در حالی است که منابع مناسب از روباره های پوزولانی و سیمانی روباره ای 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 15 تا 35 درصد میزان سیمان استفاده شده در بتن را کاهش می دهد. از 51 میلیون تن خاکستر بادی تولید شده در آمریکا در سال 1991 حدود 7 میلیون تن در تولید بتن استفاده شد. جالب توجه است که بتن حاوی مواد سیمانی که حاوی 50 درصد و یا بیشتر روباره کوره آهنگدازی و یا خاکستر بادی برحسب مواد سیمانی باشد از بتنی که حاوی سیمان خالص باشد پایایی بیشتری دارد.

در بتن های حاوی مقدار زیادی مواد افزودنی معدنی، سرعت کندتر گیرش و سخت شدگی را می توان با کاهش نسبت آب به مواد سیمانی با استفاده از روان کننده های ممتاز جبران کرد [8]. با وجود این چنانچه برای صنعت، هدف مهم و اصلی به حداکثر رساندن بهره وری از مصالح قرار گیرد و نه بهره وری نیروی انسانی، در اکثر کاربردهای سازه ای 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 روباره کوره آهنگدازی آن کارخانه تاسیس شد. البته با توجه به ظرفیت های موجود پوزولان های طبیعی در کشور تولید آن در حد قابل قبول نمی باشد. در اروپا حدود 50 درصد سیمانهای تولیدی سیمان پوزولانی است در حالی که بر اساس گزارش در سال 1384 صرفاً 10 درصد سیمان های مصرفی در ایران را سیمانهای پوزولانی تشکیل می دهد.

4-3- صرفه جویی مصالح سنگی

در آمریکای شمالی، اروپا و ژاپن حدود دو سوم نخاله های ساختمانی و تخریب را مصالح بنایی و خرده ها و تکه های بتن قدیمی تشکیل می دهند. این یک فرصت خوب برای صنعت بتن می باشد که با استفاده از نخاله های ساختمانی به عنوان مصالح درشت دانه در بتن، بهره وری از مصالح را بهبود بخشد.

در بسیاری از نقاط جهان ماسه های لاروبی و نخاله های معدنی به عنوان مصالح ریزدانه در بتن قابل کاربرد هستند. خصوصاً در مناطقی که با کمبود زمین رو به رو هستند و یا اینکه دپوی این نخاله ها گران تمام می شود بازایی آنها علیرغم هزینه انجام آن اقتصادی به حساب می آید. علاوه بر آن در بسیاری از مناطق جهان، قرصه های 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 می باشد. بتن بازیافت شده به 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 [8] تولید سالانه نخاله‌های بنایی و بتنی را در جهان قدری بیش از 1 میلیارد تن برآورد کرده است، که در حال حاضر فقط بخش کمی از این نخاله‌ها مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرد. در بیشتر کشورهای اروپایی، با توجه به ملاحظات زیست محیطی و هزینه زیاد دیوی نخاله‌ها، باز یافت 50 تا 90 درصد نخاله‌های ساختمانی را به عنوان یک هدف کوتاه مدت خود قرار داده‌اند.

البته مصالح سنگی به دست آمده از بازیافت نخاله‌های 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 می‌گیرد. این مشکل با استفاده از مخلوط مصالح سنگی طبیعی و بازیافتی و استفاده توأم آنها و یا افزودنی‌های کاهنده آب و خاکستر بادی قابل حل است.

4-4- 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 می‌کرده‌اند، ولی این شرایط امروزه تغییر کرده است.

Hawken و همکارانش [9] گزارش می‌کنند که آب شیرین سالم روز به روز کمیاب‌تر می‌شود. اگر چه در کره زمین آب زیادی وجود دارد ولی فقط حدود 3 درصد آن شیرین می‌باشد که قسمت اعظم آن هم یا در مناطق ذوب یخبندان‌های بزرگ محبوس است و یا از اعماق زیاد زمین قابل استحصال می‌باشد. در صنعت بتن که یکی از بزرگترین مصرف کننده‌های آب است، ضروری است، مصرف آب را با کارایی زیادتری همراه سازیم. علاوه بر مصرف حدود 100 لیتر آب در متر مکعب برای شستشوی تراک‌های بتن آماده، ما آب خیلی زیادی را برای تولید بتن مصرف می‌کنیم.

عقیده بر این است که مصرف فعلی سالانه 1 تریلیون لیتر آب برای تولید بتن می‌تواند به نصف کاهش یابد و این کار با استفاده از مصالح خوب دانه‌بندی 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 می‌دهد استفاده از آب ناشی از تصفیه فاضلاب می‌تواند تحت شرایطی به عنوان آب اختلاط و آب عمل آوری در صنعت بتن مورد استفاده قرار گیرد [10].

4-5- پایایی بتن

در سالهای اخیر و با بررسی دوام سازه‌های 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 نمی‌تواند 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 بهره‌دهی، 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 می‌توان به بتن‌هایی دست یافت که بدون تغییر قابل ملاحظه در مقاومت آنها از نقطه نظر دوام به بتن‌هایی توانمند دست یافت. افزایش دوام بتن به ویژه در محیط های خورنده می‌تواند 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 می‌کند.

افزایش پایایی بتن به عنوان یک راه حل دائمی برای بهبود بهره‌وری از منابع بتن بحساب 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 پایانی، دور از دسترس به نظر نمی رسد.

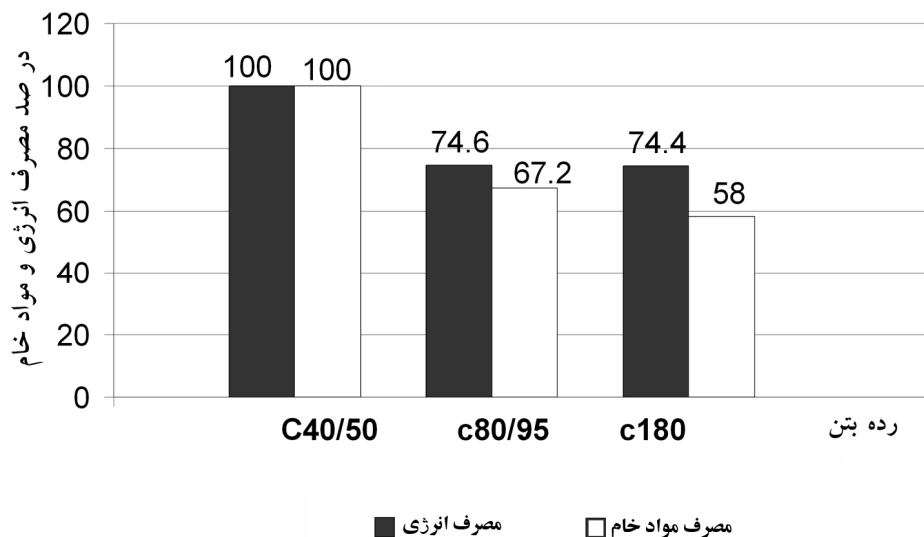
باید پرسید چرا تخریب ساختمان های مسلح بتنی پس از 20 سال و یا حتی کمتر شروع می شود حال آنکه ساختمان ها و دیوارهای دریایی غیر مسلح ساخته شده از بتن رومی حتی پس از 2000 سال هنوز در شرایط خوبی به سر می برند؟ دلیل عمده این است که بتن هایی که ما امروزه با استفاده از سیمان پرتلند می سازیم آمادگی بسیار برای ترک خوردگی و نتیجتاً افزایش نفوذپذیری در طول عمر بهره برداری خود دارند. آرما تور 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 شود، تولید یک محصول هیدراته همگن را می نمود که از لحاظ ترمودینامیکی از محصولات هیدراتاسیون سیمان پرتلند جدید پایدارتر بود همچنین بتن های رومی که در مقایسه با بتن های امروزی با آب بسیار کمتری ساخته می شود، آمادگی ترک خوردگی کمتری را داشت و بسیار پایا بود [11,12,13].

4-6- استفاده از بتن های توانمند و فوق توانمند

کاربرد بتن های توانمند (HPC) در سازه ها از اوایل دهه 1980 میلادی آغاز شده است بتن های توانمند در 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 آرما تورها می شود. تحقیقات متعدد نشان داده است که در بتن حاوی دوده سیلیس با افزایش مقاومت الکتریکی بتن، کربناتاسیون و خوردگی آرما تور 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 [14].

فرا تر از بتن های توانمند بتن های فوق توانمند (UHPC) هستند که کاربرد آنها از اواخر دهه ی 90 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



شکل 4- مقایسه میزان مصرف انرژی و مواد خام در ساخت ستون

های بتن مسلح بر اساس رده بتن [15]



100 مگا پاسکال، شکل پذیری زیاد، نفوذ پذیری بسیار کم و مقاومت برشی زیاد در خمش می باشد. بر اساس تحقیقات انجام شده [15]، انرژی و مواد خام کمتری برای ساخت سازه ها بویژه ستونهای بتنی در UHPC در مقایسه با بتن معمولی و بتن پر مقاومت مصرف شده و استفاده از آن محدودی اهداف توسعه پایدار را ارضا می نماید بررسی سازه های ساخته شده از بتن توانمند و فوق توانمند، نشان می دهد که از بعد اقتصادی، معیار مقاومت زیاد فقط بین 25 تا 30 درصد، توجیه دلیل کاربرد این نوع بتن هاست. برای اینکه این مواد دارای دوام بیشتر بوده و براحتی می توانند به طور مکرر بازیافت شده و در چرخه ساخت قرار گیرند. 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. همچنان که در ساخت آنها روباره کوره آهن گدازی، خاکستر بادی، دوده سیلیس و متاکائولین به کار خواهند رفت تا تخلخل های موئینه را در خمیر سیمان به حداقل برسانند. همچنین 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 [18].

5- بتن و توسعه پایدار

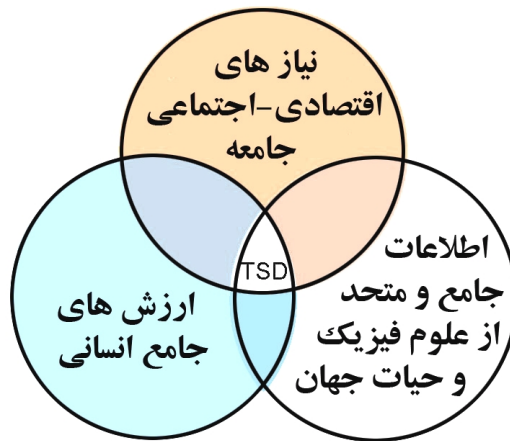
در طراحی و ساخت بنا ها اصل توجیه اقتصادی یکی از اصول اساسی در مهندسی عمران است. در طول پنجاه سال گذشته اقتصاد جهانی شامل تحولات زیادی بوده است. عواملی از قبیل ارتقا و فن آوری های مخابرات، کاهش موانع تجاری و کاهش موانع بر سر راه سرمایه گذاری های خارجی از دلایل مهم این تغییرات می باشند. رشد اقتصاد جهانی در کنار خود اختلالاتی را نیز به وجود آورده که از آن میان می توان به موارد زیست محیطی اشاره کرد. همچنین 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 1999 توسعه پایدار یعنی اینکه، 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 همچنین توسعه پایدار را در برقراری تعادل میان دو نیاز هم ارز اجتماعی یعنی تأمین ساختمانهای 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 پسمانده ها می باشد [16,19].

Mehta همچنین مدلی برای ایجاد فنآوری برای توسعه پایدار¹ ارائه نموده است (شکل 5) 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 [1,19].

¹ -Technology for Sustainable Development (TSD)



شکل 5- مدل مهتا برای تکنولوژی و توسعه پایدار TSD [۱]

بتن های آینده دارای دوام بیشتری خواهند بود و برای رفع نیازهای اجتماعی و اقتصادی با داشتن اثرات زیست محیطی کمتری توسعه خواهند یافت. هزینه‌های یک پروژه در آینده تنها بر اساس هزینه‌های فعلی تنظیم نخواهد شد، بلکه هزینه‌های 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 سایر چسباننده‌های هیدرولیکی در قرن حاضر باید به صناعی سبز بدل گردند و این مساله تنها بوسیله آموزش در سطوح مختلف محقق خواهد شد [2،17].

6- 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 می‌توانند با فروش مقدار کمتری از بتن با کیفیت مناسب و قابل قبول از سود بیشتری برخوردار شوند همچنین کارفرما و پیمانکاران پروژه‌های 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 [2]. بطور کلی آموزش مهندسی بتن با نگرشی به محیط زیست در سال های آینده به روش های مختلف انجام پذیراست:

الف) آموزش عمومی

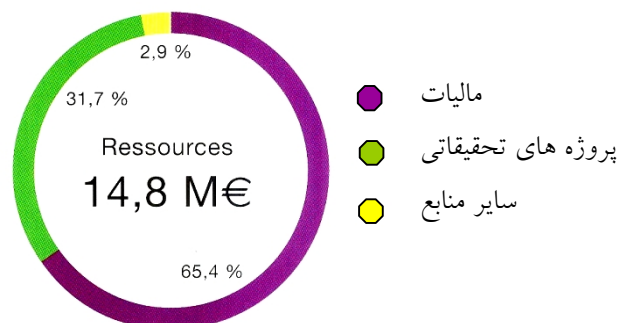
کاربران و کارفرمایان پروژه های سازه های بتنی در بخش خصوصی و عمومی قرار دارند. به این ترتیب باید به سطح دانش عمومی بتن در کشور در حد کارفرمایان بخش دولتی و خصوصی افزایش بخشید و آن را گسترش داد. بطوریکه سطح انتظار از بتن و عمر مفید آن و حتی از ظاهر یک سازه بتنی باید تغییر یابد، در حال حاضر سطوح تمام شده 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 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 15 و حداکثر 20 سال است. حال چنانچه بر اساس آموزش عمومی مردم متوجه شوند که با بهبود کیفی بتن و اجرا امکان افزایش این عمر تا 100 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 خواهد گزید.

ب) آموزش آکادمیک

به منظور گسترش روشهای 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 آنکه 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 فنآوران 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



شکل 6- نمودار توزیع منابع مالی مربوط به موسسه "Cerib"

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 [19].

مؤسسات و سازمان های خصوصی نیز می توانند همگام با دانشگاهها نقش مهمی را در آموزش بتن و سیمان 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 6 نمودار توزیع منابع مالی مربوط به موسسه "Cerib" (مرکز مطالعات و تحقیقات بتن) را نشان می دهد که یکی از این مؤسسات تحقیقاتی بتن در کشور فرانسه است. همانطور که ملاحظه می شود منابع مالی این موسسه تنها در سال 2005، 14/8 میلیون یورو بوده است که حدود 65 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 مؤسسات 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 فنآوری پردازش تصاویر و الگوریتم اتوماتای سلولی

در بررسی خواص بتن و سیمان اشاره کرد، در واقع تحول جدیدی که در سال های اخیر در زمینه تحقیقات بتن و در مراکز آکادمیک اتفاق افتاده است، استفاده از روش های آزمایشگاهی مجازی (virtual testing methods) است که به عنوان یک ابزار آموزشی برای دستیابی به پارامتر های کلیدی موثر بر خواص بتن و همچنین ابزاری برای مطالعه اصلاحات لازم بر روی مدل های موجود مورد استفاده قرار می گیرد.

7- 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 با 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.

فهرست مراجع

1. Mehta, P. K, Paulo J.M. Monteiro, "Concrete, microstructure properties and materials", McGraw-Hill Professional, ۲۰۰۵, ۶۵۹p.
2. Pierre-Claude Aitcin, "Cements of yesterday and today Concrete of tomorrow", Cement and Concrete Research ۳۰ (۲۰۰۰).
3. Bremner.W., "Environmental aspects of concrete: problems and solutions". First All-Russian Conference on Concrete and Reinforced concrete. ۹-۱۴ September ۲۰۰۱.
4. Abbas, A.; Fathifazl, G.; Isgor, O.B.; Razaqpur, A.G.; Fournier, B.; Foo, S., Environmental Benefits of Green Concrete, EIC Climate Change Technology, ۲۰۰۶ IEEE.
5. Mehta, P. K, "Reducing the environmental impacts of concrete" Concrete International, ۲۰۰۱.
6. Freyermuth. C. L., "Life-Cycle Cost Analysis for Large Segmental Bridges," Concrete International, V. ۲۳, No. ۲, Feb. ۲۰۰۱, pp. ۸۹-۹۵.
7. William H. Plenge, "Introducing vision ۲۰۳۰: our industry's ۳۰-year map to the future", Concrete international, march ۲۰۰۱, pp.۲۵-۳۴.
8. Lauritzen, E. K., "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, ۱۹۹۸, pp. ۵۰۵-۵۱۹.
9. Hawken, P.; Lovins, E.; and Levins, H., "Natural Capitalism—Creating the Next Industrial Revolution", Little Brown and Co., ۱۹۹۹, ۳۶۹ pp.
10. Neville. A, "Water-Cinderella Ingredient of Concrete", Concrete International, September ۲۰۰۰, pp.۶۶-۷۱.
11. Bonen, D.; Tasdemir, M. A.; and Sarkar, S. L., "The Evolution of Cementitious Materials Through History," Materials Research Society Symposium Proceedings, V. ۳۷۰, ۱۹۹۵, pp. ۱۵۹-۱۶۸.
12. Mehta, P. K., "Durability – Critical Issues for the Future," Concrete International, V. ۱۹, No. ۷, July ۱۹۹۷, pp. ۲۷-۳۳.

۱۳. Mehta, P. K., and Burrows, R. W., "Building Durable Structures in the ۲۱st Century," Concrete International, V. ۲۳, No. ۳, Mar. ۲۰۰۱, pp. ۵۷-۶۳.
۱۴. Navy, E.G., "Fundamentals of High Performance Concrete", ۲Nd Edition, John Wiley and Sons, Inc, ۲۰۰۰.
۱۵. Peter Racky, "Cost-effectiveness and sustainability of UHPC", International Symposium on Ultra High Performance Concrete September ۱۳-۱۵, ۲۰۰۴.
۱۶. Tarun R. Naik, "Sustainability of cement and concrete industries", CBU-۲۰۰۴-۱۵ REP- ۵۶۲ January ۲۰۰۵.
۱۷. Mehta, P. K., "Concrete Technology for Sustainable Development," Concrete International, V. ۲۱, No. ۱۱, Nov. ۱۹۹۹, pp. ۴۷-۵۳.
18. شکرچی زاده محمد، "بتن های توانمند"، فصل 18 کتاب مصالح ساختمانی، یادنامه استاد احمد حامی، انتشارات دانشگاه تهران، 1385.
19. هرمز فامیلی، تکنولوژی "بتن و توسعه پایدار در ایران"، دومین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه 1384.
20. قالیبافیان مهدی، "بتن و محیط زیست"، فصل 20 کتاب مصالح ساختمانی، یادنامه استاد احمد حامی، انتشارات دانشگاه تهران، 1385.
21. منصور پیدایش، "بتن و تعامل آن با محیط زیست"، دومین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه " 1384.