

بررسی عملکرد ساختمانهای بتنی در جهت سازگاری با محیط زیست

فاطمه احمدی^۱

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، گروه معماری، همدان، ایران

چکیده

در طراحی ساختمان، محاسبه انرژی هزینه های بسیاری در پی دارد. اما طراحان انرژی با در نظر گرفتن جهت گیری ساختمان، پیکربندی، طرز قرارگیری پنجره ها و سیستم های مکانیکی و روشنایی، میتوانند ساختمانی سبز طراحی کنند. علاوه بر آن انتخاب سیستم سازه ای، فولاد، چوب یا بتن و همچنین ترکیب کردن مصالح بوم آورد و مصالح بازیافتی میتواند در کاهش مصرف انرژی جهت گرمایش و سرمایش و نیز سازگاری با محیط زیست تاثیرگذار باشد. هدف از طراحی پایدار رسیدن به کارایی بالا برای به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی ساختمان در طول چرخه عمر آن می باشد. که پایداری را می توان در موارد زیر خلاصه نمود: حفاظت از آب و انرژی و منابع و حفاظت از جو و استفاده بهینه از مواد. این مقاله جنبه های ساخت و ساز بتنی را در جهت سازگاری با محیط زیست بررسی می کند. که این سیستم تا چه حدی میتواند به عنوان ساختمانی سبز در ساخت و ساز جدید مورد بهره برداری قرار گیرد.

واژه های کلیدی: پایداری - سازگاری - ساختمان بتنی - انرژی - بتن

۱- مقدمه

طراحی ساختمان های پایدار از طریق یک رویکرد یکپارچه ساخت و ساز صورت می پذیرد که شامل مشارکت مالکان و مجریان و تأمین کنندگان و استفاده کنندگان از ساختمان و در نهایت طراحان حرفه ای در طول اجرای پروژه است. هدف از یک طراحی سبز رسیدن به عملکرد بالا و به حداقل رساندن تأثیرات زیست محیطی ساختمان ها در طول چرخه عمر آن هاست. به عنوان مثال برای رسیدن به این هدف معماران با شناخت اقلیم و مصالح مناسب، طراحی همساز با محیط را انجام می دهند و مهندسين سازه، سیستم های سازه ای را در فاز اولیه طراحی مورد بررسی قرار می دهند که از فولاد و یا بتن و یا چوب استفاده کنند که هر یک تا چه حدی از انرژی مورد نیاز جهت سرمایش و گرمایش را کاهش می دهد. همچنین توانایی ترکیب کردن مصالح محلی و بازیافت شده را به مصالح مورد مصرف در پروژه ساختمانی بدهد. مهندسين مکانیک نیز باید هزینه مصرف انرژی را با انتخاب سیستم های مکانیکی و روشنایی مناسب به حداقل برسانند. این مقاله براساس یکسری تحقیقات صورت گرفته قبلی، جمع آوری شده است و نتایج این تحقیقات را با جنبه هایی از مزایا و خصوصیات سازه های بتنی در جهت ایجاد ساختمان های پایدار بیان می کند.

۲- بهینه سازی عملکرد انرژی

در ذخیره انرژی در ساختمان ها باید مواردی چون اقلیم منطقه، قرارگیری ساختمان، هزینه انرژی مورد نیاز، نوع سازه و سیستم ساختمانی و مصالح مصرفی مورد توجه قرار بگیرند و تا حد امکان باید در بهینه سازی مصرف انرژی و عملکرد آن تلاش نمود [۱]. یک مطالعه تحقیقاتی در مورد چندین ساختمان در محدوده های آب و هوایی متفاوت توسط یک شبیه سازی

تأثیر جرم حرارتی در ساختمان‌های قاب بتنی نسبت به ساختمان‌های قاب فولادی را نشان می‌دهد و خواص حرارتی بتن در ساختمان‌ها را در جهت صرفه‌جویی در هزینه انرژی بیان می‌دارد.

در این مطالعه همه ساختمان‌ها تجاری ۵ طبقه هستند که ابعاد پلان آنها ۳۲×۳۲ متر است. سیستم‌های ساختمانی در نظر گرفته شده سازه فلزی و قاب بتنی پیش ساخته به همراه سه نوع دیوار متفاوت است. دیوارها شامل دیوار با عایق بیرونی، دیوار سبک و دیوار پیش ساخته بتنی است. منظور از دیوار سبک، دیواری متشکل از فریم‌های آلومینیومی با ترکیبی از شیشه و صفحات فلزی عایق است که بجز بار خود بار دیگری (مرده ساختمان) را تحمل نمی‌کند.

این برنامه شبیه‌سازی، انرژی مورد مصرف سالیانه و در فواصل ساعت به ساعت را محاسبه می‌کند که این مدل‌سازی با انرژی مورد نیاز ساختمان‌هایی با این سیستم‌های سازه‌ای و دیوارها مطابقت می‌کند. سیستم سقف‌ها نیز تیر فلزی با دال بتنی است. جدول ۱ خلاصه‌ای از خصوصیات ساختمان‌های در نظر گرفته شده است.

جدول شماره ۱: مدل‌سازی ساختمانها

عنوان	دیوارهای خارجی	سیستم سازه	سیستم سقف	دیوارهای داخلی
CL	دیوار سبک	سازه فلزی	بتن روی تیر فلزی	دیوار
ML	پیش ساخته بتنی	سازه فلزی	بتن روی تیر فلزی	دیوار
EM	دیوار با عایق	بتن مسلح	بتنی (۳۰ سانتی متر)	بتن مسلح
CM	دیوار سبک	بتن مسلح	بتنی (۳۰ سانتی متر)	بتن مسلح
MM	پیش ساخته بتنی	بتن مسلح	بتنی (۳۰ سانتی متر)	بتن مسلح
MLX	پیش ساخته بتنی بیش از آیین نامه	سازه فلزی	بتن روی تیر فلزی	دیوار
MMX	پیش ساخته بتنی بیش از آیین نامه	بتن مسلح	بتنی (۳۰ سانتی متر)	بتن مسلح
MMI	پیش ساخته بتنی	بتن مسلح	بتنی (۳۰ سانتی متر)	بتن مسلح
MMXI	پیش ساخته بتنی بیش از آیین نامه	بتن مسلح	بتنی (۳۰ سانتی متر)	بتن مسلح

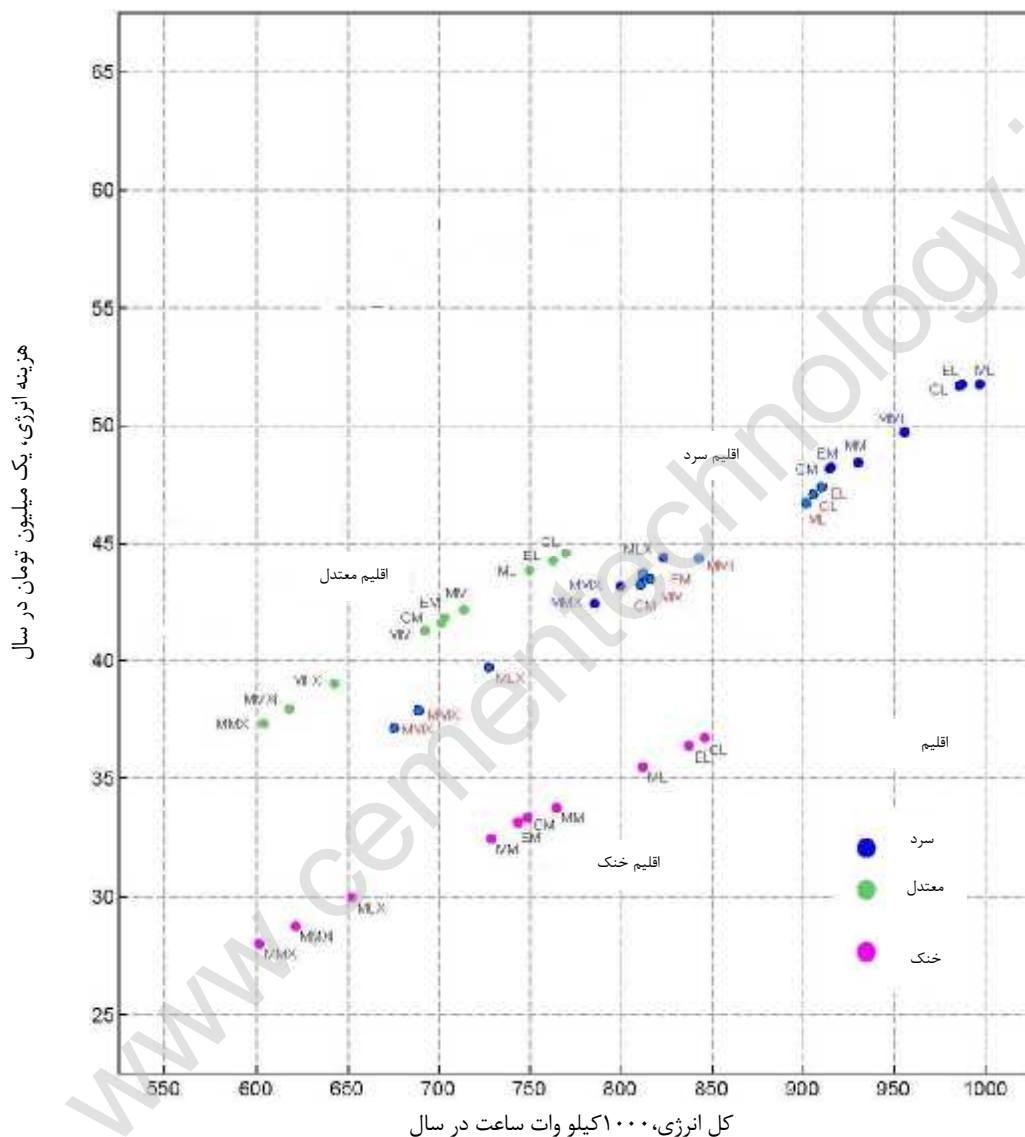
عناوین مشخص شده، مختصر مشخصات ساختمان‌ها است که حرف اول به سیستم دیوار بیرونی اشاره دارد. E.I.F.S مختصر (exterior insulation finishing) سیستم عایق بیرونی و C مختصر دیوار سبک (curtain wall)، M مخفف بتن پیش ساخته (Precast concrete) که دلیل استفاده از M، اثر جرم حرارتی بتن (thermal mass effects) است. حرف دوم بیانگر سیستم سازه‌ای و دیوارهای داخلی و سقف‌ها می‌باشد. L برای سبکی و کم‌وزنی (Light) و M برای جرم (mass) بکار رفته است. X نشان می‌دهد که پوشش ساختمان بیش از حد استاندارد مورد نیاز است و در نهایت I بیان می‌دارد که بارهای داخلی (Internal loads) نزدیک هسته مرکزی جمع شده‌اند. ضخامت بتن سقف ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده اگر چه ضخامت معمول برای سقف‌های بتن پس تنیده ۲۰ سانتی‌متر است اما در این مطالعه سقف ۳۰ سانتی‌متری مورد بررسی قرار گرفته است. چون این ضخامت اجازه می‌دهد تا دهانه طولانی‌تر باشد و فضای طبقات بیشتر قابل استفاده باشد.

ساختمان‌های EM و CM و MM به ترتیب شبیه به EL و CL و ML هستند. جز آن‌هایی که بتن بیشتری در سقف و دیوارهای داخلی دارند. ساختمان‌های MLX و MMX به ترتیب شبیه به ML و MM هستند به جز آنهایی که پوشش ساختمان، مقداری بیش از حد استاندارد آیین‌نامه است. ساختمان‌های MMI و MMXI به ترتیب شبیه به MM و MMX هستند به جز آن‌هایی که بارهای داخلی شان نزدیک هسته مرکزی ساختمان مفروض شده است که مقدار بیشتری بتن در آن قسمت واقع شده است.

۳- صرفه‌جویی در مصرف انرژی

نتایج حاصله از تجزیه و تحلیل انرژی در شکل ۱ آمده است. ساختمان‌ها در سه اقلیم مدل شده‌اند و با دو نوع سیستم سازه‌ای قاب بتنی و قاب فولادی با دیوارهای خارجی یکسان مقدار صرفه‌جویی انرژی در آن‌ها برآورد شده است. در

ساختمان‌های بتن مسلح با دیوارهای بتنی در رده آب و هوای سرد حداقل ۱۷/۵ درصد و در رده آب و هوای خنک حداقل ۲۱ درصد و در آب و هوای ملایم حداقل ۱۴ درصد در هزینه انرژی صرفه‌جویی می‌شود. در ساختمان‌های اسکلت فلزی با دیوارهای بتنی حداقل ۱۴/۵ درصد صرفه‌جویی دارد. در مرحله بعد ساختمان‌های مقایسه شده، با قاب ساختاری مشابه اما با دیوارهای متفاوت مورد بررسی قرار گرفته‌اند که در این بررسی تفاوت‌های کمی در صرفه‌جویی مصرف انرژی مشاهده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد صرفه‌جویی بیشتر به علت دیوارهای برشی بتنی است [۲].



نمودار شماره ۱: رابطه بین مصرف انرژی سالیانه و هزینه در اقلیم‌های متفاوت

۴- بازسازی زمین و ایجاد سایت‌های پایدار

توسعه و استفاده از زمین‌های تخلیه شده یک استراتژی طراحی سبز است که نیاز به زیر ساخت‌های جدید مثل جاده‌ها و فاضلاب‌ها را کاهش می‌دهد. اما ممکن است این مکان‌ها با مواد خطرناک ناشی از فعالیت‌های ساکنین قبلی آلوده شده باشند. به عنوان مثال پاک‌کننده‌های شیمیایی و پمپ بنزین‌ها به عنوان تولید کننده سطح بالایی از آلودگی زیر سطحی

شناخته شده‌اند. چنین مکان‌هایی میدان قهوه‌ای نامیده می‌شوند. به منظور ایجاد توسعه مناسب سایت‌های میدان قهوه‌ای، باید خاک آلوده در محل و خارج از آن یا در گودال‌ها و محل‌های مستعد برای دفن زباله‌های شهری اصلاح شود. که بهتر است توسط سیمان تثبیت شود که این عمل باعث اجتناب از تولید مواد آلاینده ناشی از خاکبرداری و حمل و نقل شود و همچنین پتانسیل محل با مواد آلوده از بین نرفته و فضاهای دفن ضایعات نیز حفظ می‌گردد. اصلاح خاک با اضافه کردن ترکیب سیمان پرتلند و آب به مواد آلاینده است که به صورت کپسول درآمده و در زمین فرو می‌رود. جمع‌آوری مواد خطرناک و آلاینده درون مصالح آلوده و کاهش غلظت آلودگی‌شان و همچنین تثبیت زمین، تأثیرات مثبتی را برای فونداسیون ساختمان‌ها و اساس جاده‌ها به همراه دارد چون باعث افزایش ظرفیت باربری خاک می‌شود [۳].

۵- ساخت بتن از مصالح و منابع و محتویات قابل بازیافت

مصالح بازیافتی تأثیر بسیاری در کاهش هزینه انرژی دارند و به دو صورت بیش از مصرف و پس از مصرف مورد استفاده قرار می‌گیرند. مصالح سیمانی مکمل مانند خاکستر بادی و گاز (بخار) سلیس و سرباره کوره ذوب‌آهن به عنوان مصالح بازیافت پیش مصرف در نظر گرفته می‌شوند. خاکستر بادی، محصول فرعی تولید الکتریسیته از زغال سنگ است و سیمان سرباره از مذاب کوره آهن‌گدازی تولید می‌شود. بکارگیری بتن بازیافتی، بجای استفاده از سنگدانه‌های استخراج شده به عنوان مصالح بازیافتی پس از مصرف است. که منظور از بتن بازیافتی، بتن خرد شده می‌باشد. هر چند که آرماتور از فولاد بازیافت شده تهیه می‌شود اما آرماتور بخشی از بتن در نظر گرفته نمی‌شود.

به طور معمول سیمان پرتلند ۷ تا ۱۵ درصد بتن را تشکیل می‌دهد که ۸۵ تا ۹۰ درصد از انرژی مفروض را استفاده می‌کند. حال اگر مقاومت اولیه بتن از ۷ روز بیشتر شده و به ۲۸ روز برسد، (به جز در موارد خاص) می‌توان مقدار سیمان پرتلند را در مخلوط بتن به حداقل رساند که این باعث کاهش اثرات زیست محیطی در جوانب مختلف خواهد شد. که ابتدا اقدامات احتیاطی ویژه بخصوص در آب و هوای سرد برای اطمینان از مقاومت بتن نیاز است [۴].

راه دیگر برای به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی جایگزینی خاکستریادی و سیمان سرباره بجای سیمان پرتلند است. خاکستریادی معمولاً تا سطح ۲۵ درصد و سیمان سرباره تا ۶۰ درصد می‌تواند بجای سیمان در بتن مصرف شود که پس از استفاده از آن‌ها در بتن برای تعیین خواص بتن مشخص شده برای پروژه باید مورد آزمایش قرار گیرد.

همانطور که ذکر شد استفاده از بتن بازیافتی بجای سنگدانه‌ها در مخلوط بتن می‌تواند به عنوان مصالح بازیافتی باعث کاهش اثرات زیست محیطی و همچنین کاهش مصرف منابع گردد. باید دقت نمود در مناطق پرباران، بتن خرد شده مسیریها و پوشش بتنی پیاده‌روها ممکن است آلوده به نمک باشد که نامطلوب است و باعث ترویج خوردگی آرماتور در بتن می‌شود. مهندسی سازه با استفاده از سنگدانه‌های بازیافت شده از بتن خرد شده، در بتن سازه مخالفند. اما به هر حال می‌توان از بتن بازیافتی به عنوان خاکریز اطراف فونداسیون‌ها و زیر سازی پیاده‌روها استفاده نمود.

۶- ساخت بتن از منابع و مصالح بومی

بکارگیری مصالح ساختمانی بومی و محصولات استخراج شده و ساخته شده در محل و استفاده از منابع بومی باعث کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از حمل و نقل است. که ۱۰ تا ۲۰ درصد از کل هزینه انرژی در پروژه را به خود اختصاص داده است. در این میان اگر سعی شود هزینه حمل و نقل به حداقل برسد، گامی موثر در جهت کاهش مصرف سوخت برداشته می‌شود. سنگدانه‌های بتنی یا از محل پروژه یا نزدیک به آن استخراج و در محل مونتاژ می‌شوند یا به صورت مخلوط آماده از کارخانجات به محل پروژه حمل می‌شوند. در حالتیکه مصالح در محل پروژه مخلوط شوند، حمل سیمان از کارخانه سیمان است که معمولاً در فاصله ۸۰۰ کیلومتری محل ساخت است و اگر به صورت بتن آماده به محل پروژه حمل شود باید از ۸۰ کیلومتر بیشتر نباشد. سنگدانه‌ها نیز معمولاً در نزدیکی پروژه قابل دست یافتن است. پس در نتیجه استفاده از بتن نسبت به سایر مصالح ساختمانی می‌تواند مصرف انرژی را در زمینه حمل و نقل کاهش دهد.

۷- تأثیر گرما و حرارت بر بتن

یکی از روش‌های کاهش مصرف انرژی، کم کردن جذب گرمای خورشید توسط سطح و بام ساختمان است. از آن جایی که بتن، رنگی روشن دارد استفاده از آن در سطوح ساختمان بالاخص بام آن می‌تواند تا حد زیادی نور خورشید را انعکاس داده و از جذب آن جلوگیری کند. SRI (Solar reflectance index) شاخص انعکاس خورشیدی است به طور متوسط بین ۰/۶۴ تا ۷۸ است. SRI بتن ۲۹ است و می‌تواند به عنوان بازتابنده بسیار خوبی عمل نماید بخصوص اگر سیمان مصرفی در آن سیمان پرتلند سفید یا سیمان سرباره باشد. برای پوشش بام‌های کم شیب می‌توان از مصالح شکسته و بازیافت شده قطعات بتنی پیاده‌روها و سنگفرش‌ها استفاده نمود [۵]. بنابراین استفاده از بتن، حتی به صورت بازیافتی در بام‌های ساختمان‌ها می‌تواند تا حد زیادی به تهویه هوای داخل ساختمان و کاهش مصرف سوخت و انرژی کمک نماید.

۸- دیگر امتیازات بتن

بتن ویژگی‌های پایدار دیگری را دارد که به طور مستقیم مربوط به مسائل ساخت و ساز نمی‌شود که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ساختمان‌های بتنی در مقابل آتش‌سوزی، باد، طوفان، سیل، زلزله و خطر نزدیکی مقاوم هستند. علاوه بر اینکه ساختمان‌های بتنی بادوام و دارای عمر طولانی هستند، بعد از گذشت زمان می‌شود روی هسته و پوسته ساختمان بتنی، بازسازی صورت گیرد. علاوه بر آن می‌توان قطعات خرد شده ساختمان بتنی تخریب شده را به عنوان مصالح بازیافتی بجای سنگدانه برای اساس مسیروها یا سنگریز ساختمانی مصرف نمود. که علاوه بر کاهش ضایعات ساختمانی، کاهش مصرف منابع را در پی دارد.

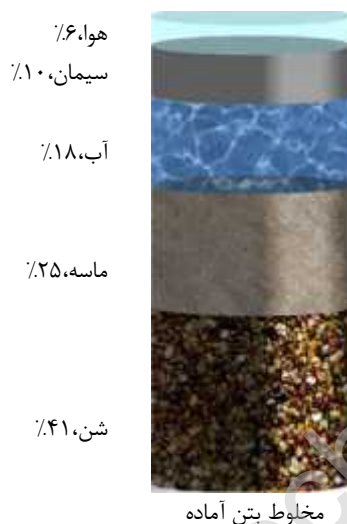
- انتشارات ترکیبات آلی فرار بتن کم است و باعث تنزل کیفیت هوای ساختمان نمی‌شود و می‌تواند با استفاده در کف، دیوارها و سقفها، نیاز به مواد پوششی اضافی را تا حدی کم کند.

- استفاده از بتن نفوذپذیر (تراوا) در روسازی‌ها و پیاده‌روها سرعت و مقدار جریان آب باران شدید را کاهش می‌دهد. بتن تراوا شامل سنگدانه‌های درشت است که سنگدانه‌های ریز آن کم یا بدون سنگدانه ریز است و مقدار کمی خمیر سیمان برای پر کردن فضای خالی بین ذرات به کار می‌رود که بتن با حجم بالایی از پوکی و نفوذپذیری بالا به دست می‌آید و اجازه می‌دهد آب توسط آن به آسانی جاری گردد. در پیاده‌روها نیز استفاده از قطعات بتنی دارای حفره‌های بزرگ که پوشش گیاهی نیز می‌شود در آن رشد کند، هم می‌تواند زیبایی و حفظ طبیعت را در بر داشته باشد و هم می‌تواند مقدار و سرعت آب باران‌های شدید را کنترل نماید.

۹- تأثیر بتن بر تغییرات اقلیمی

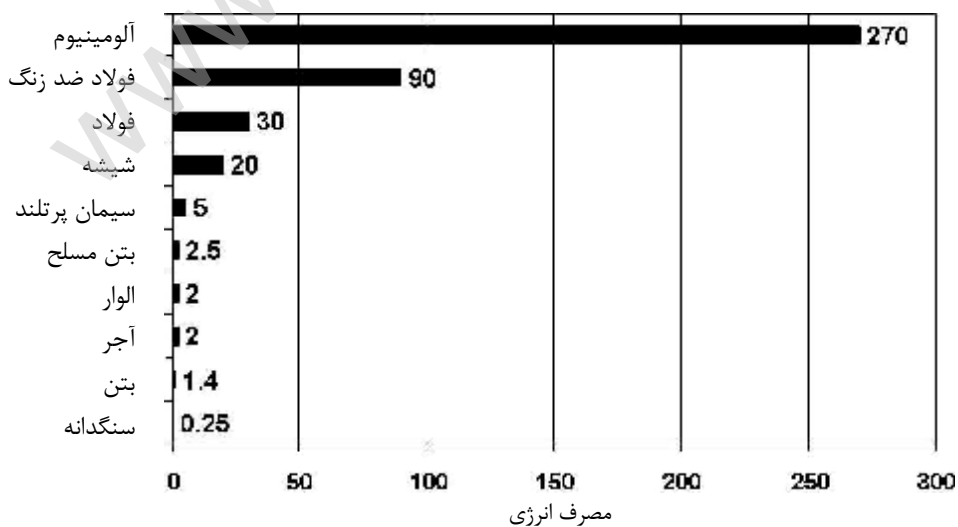
در این قسمت اجرای بتن و تأثیر آن بر اقلیم را نسبت به سایر مصالح ساختمانی بررسی می‌کنیم. برای ساخت هر ساختمان بتنی، بتن و مواد تشکیل دهنده آن برای تولید، نیاز به انرژی دارند که به نوبه خود در تولید دی‌اکسید کربن (CO_2) نقش دارند. اما مقدار تولید دی‌اکسید کربن در طول ساخت بتن و استفاده از آن، به عنوان مصالح ساختمانی، نسبتاً کم است و مواد تشکیل دهنده آن نیاز به پردازش کمی دارند. آب، ماسه، شن و دیگر مواد تشکیل دهنده بتن، ۹۰ درصد از وزن، آن را تشکیل می‌دهند (شکل شماره ۱). روند استخراج شن و ماسه از معادن، خرد کردن سنگ، ترکیب کردن مصالح در کارخانه بتن و حمل و نقل به محل ساخت و ساز، نیازمند مقدار کمی انرژی است. بنابراین مقدار کمی هم دی‌اکسید کربن را به جو و هوای محیط ساطع می‌کند. که اگر تولید به صورت محلی و با مصالح بومی باشد انرژی حمل و نقل را به حداقل می‌رساند. با توجه به عملکرد بتن حدود ۷ تا ۱۵ درصد وزن آن را سیمان تشکیل می‌دهد که مقدار متوسط آن ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب است که وزن یک مترمکعب بتن برابر ۲۴۰۰ کیلوگرم است [۶]. مقدار دی‌اکسید کربن مستقیماً مربوط به مقدار سیمان مصرفی است چون بخش قابل ملاحظه‌ای از تولید دی‌اکسید کربن در طول ساخت سیمان تولید می‌شود. در طول چرخه عمر بتن، بازجذب

محصول توسط فرآیند کربنات سازی خواهد بود. یک مطالعه تحقیقاتی برآورد کرده که بین ۳۳ درصد تا ۵۷ درصد از دی‌اکسید کربن ساطع شده از عمل آهکی کردن، بازجذب از طریق کربنات سازی از سطوح بتنی، بیش از یک چرخه زندگی صدساله خواهد بود [۷].



شکل شماره ۱: نمونه ترکیب بتن سیمانی هیدرولیکی

طبق یک مطالعه پژوهشی، انرژی تولید بتن با سایر مصالح ساختمانی رایج برای استخراج مواد خام، حمل و نقل و ساخت، مقایسه شده است. نمودار شماره ۲ خلاصه‌ای از مطالعه را بیان می‌کند. که نتیجه می‌دهد انرژی مورد نیاز برای تولید یک تن متریک بتن مسلح ۲/۵ GJ/t و برای فولاد ۳۰ GJ/t است [۸]. مطالعه مشابه، مقایسه انتشار دی‌اکسید کربن از چندین مصالح ساختمانی متفاوت در هر متر یک تن (۱۰۰۰ کیلوگرم)، برای ساخت یک ساختمان مسکونی است. که نتیجه خلاصه شده آن به شرح زیر می‌باشد:



نمودار شماره ۲: انرژی مورد نیاز برای تولید بتن و سایر مصالح ساختمانی رایج

دی‌اکسیدکربن ساطع شده از تولید ۱۴۷ کیلوگرم بتن و ۳۰۰۰ کیلوگرم فلز و ۱۲۷ کیلوگرم چوب با یکدیگر برابر است. سیستم‌های ساختمانی بتنی مانند بتن عایق‌بندی و بتن شیب‌بندی، ترکیب عایق و جرم حرارتی مفید انرژی سیستم‌های دیوار هستند که در طول عمر ساختمان، صرفه‌جویی انرژی و انتشار کم دی‌اکسیدکربن را در بر دارد. تحقیق دیگری انتشار دی‌اکسیدکربن را از ساختمان تصرف شده با سازه‌های فلزی و بتنی را بر اساس هر مترمربع مقایسه می‌کند. دی‌اکسیدکربن تولید شده از ۵۵۰ کیلوگرم بتن در هر مترمربع از سطوح، برابر با دی‌اکسیدکربن تولید شده از ۶۲۰ کیلوگرم فولاد ساخته شده به ازاء هر مترمربع از مساحت سطوح است [۹].

مهمتر از آن، همانطور که قبلاً مورد بحث قرار گرفته بود دیوارهای بتنی و سیستم کف با بتن عایق‌بندی، بتن شیب‌بندی، بتن پیش‌ساخته، انرژی را در طول چرخه عمر ساختمان ذخیره می‌کند و انتشار دی‌اکسیدکربن نیز نسبت به سایر مصالح کمتر می‌باشد. مطالعه پژوهشی دیگری عملکرد ساختمان‌ها را در مصرف انرژی نشان می‌دهد. کاهش مصرف انرژی برای سازه‌های بتنی و فلزی و چوبی با دیوار بتنی مقایسه شده است. که به علت سیستم دیوار بتنی کاهش مصرف انرژی بیش از ۱۷ درصد است. به عنوان مثال یک ساختمان چوبی باید با چوب ۲×۱۲ و عایق R۳۸ ساخته شود تا عملکردی شبیه یک ساختمان بتنی با دیوار بتنی عایق‌دار متشکل از ۱۵ سانتی‌متر بتن و دولایه عایق سفت به ضخامت ۵ سانتی‌متر داشته باشد [۱۰].

۱۰- نتیجه‌گیری

پس از تحقیقات انجام شده، این نتیجه حاصل می‌گردد که بتن در مرحله تولید و بکارگیری و حتی پس از عمر مفید خود باعث کاهش مصرف انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی می‌گردد. بتن نسبت به سایر مصالح ساختمانی، ذخیره انرژی بیشتری را در زمینه استخراج مصالح، حمل و نقل، تولید و بهره‌برداری دارد و در طول چرخه عمر خود، علاوه بر دوام و مقاومت بالا، باعث کاهش مصرف سوخت از جهت انعکاس حرارت و جرم حرارتی مفید دارد. پس از پایان عمر بتن و تخریب ساختمان‌های بتنی نیز می‌توان از بتن خرد شده به عنوان مصالح بازیافتی استفاده نمود. با توجه به مطالب بیان شده می‌توان اظهار داشت استفاده از بتن گامی موثر در جهت ذخیره انرژی و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی می‌باشد و بتن می‌تواند در جهت توسعه پایدار و حفظ منابع و طراحی سبز، مصالح مناسبی باشد. توجه به این امر برای مهندسين، معماران و تولیدکنندگان بتن الزامی است.

مراجع

1. Marceau, M.L, and VanGeem, M.G., *Modeling Energy Performance of Concrete Buildings for LEED-NC Version 2.2: Energy and Atmosphere Credit 1*, SN2880a, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 2007a, 55 pp.
2. M. Alsamsam, the paper of Sustainable High Performance Concrete Buildings.
3. Freeman, H.M., and Harris, E.F., *Hazardous Waste Remediation: Innovative Treatment Technologies*, Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, Pennsylvania, USA, 1995, 361 pp.
4. Marceau, M.L, Nisbet, M.A., and VanGeem, M.G., *Life Cycle Inventory of Portland Cement Concrete*, SN3011, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 2007, 121 pp.
5. Marceau, M.L, and VanGeem, M.G., *Solar Reflectance of Concretes for LEED Sustainable Sites Credit: Heat Island Effect*, SN2982, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 2007, 94 pp.
6. Marceau, M.L, Nisbet, M.A., and VanGeem, M.G., *Life Cycle Inventory of Portland Cement Concrete*, SN3011, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 2007, 121 pp.
7. Pade, Claus et al. "The CO₂ Uptake of Concrete in the Perspective of Life Cycle Inventory," International Symposium on Sustainability in the Cement and Concrete Industry, Lillehammer, Norway, September 2007.
8. Pentalla, Vesa, *Concrete and Sustainable Development*, ACI Materials Journal, September-October 1997, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1997.
9. Guggemos, A. A. and Horvath, A., Comparison of Environmental Effects of Steel- and Concrete-Framed

- Buildings, ASCE Journal of Infrastructure Systems, June 2005, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, 2005.
10. Gajda, John, Energy Use of Single-Family Houses With Various Exterior Walls, CD026, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, PCA, 2001, 49 pages.

www.cementtechnology.ir