

مصالح دوستدار محیط زیست

شایلان زارعی^۱، مرضیه نبی میبیدی^۲

۱- نویسنده اول: دانشجوی کارشناسی ارشد انرژی معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران،

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد انرژی معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران

چکیده

افزایش تولید زباله، همزمان با رشد بسیار کند سیستم‌های بازیافتی، از عوامل تهدیدکننده محیط زیست و نظام اکولوژیک کشور هستند. زباله‌های ساختمانی، از مهم‌ترین زباله‌ها در ایران هستند که در رده دوم بعد از زباله‌های شهری قرار دارند. تولید زباله‌های ساختمانی در شهر تهران پنج برابر زباله‌های شهری است و روزانه ۴۰ هزار تن نخاله ساختمانی در این شهر تولید می‌شود، در حالی که نسبت نخاله‌های ساختمانی به زباله‌ها در آمریکا حدود ۳۰٪ است. این امر ناشی از حجم بالای تخریب و تجدید بناها در این شهر است. دفن این زباله‌ها و انباشت آنها به صورت غیر اصولی، مناطق شهری را با مشکلات بسیاری مواجه کرده است. این مسائل ما را به سمت تولید و استفاده از محصولات که به محیط زیست آسیب کمتر می‌زنند، پیش می‌برد. مصالح دوستدار محیط زیست (eco-friendly materials) مصالحی هستند که از مواد کم‌خطرتری تولید می‌شوند، کمتر از منابع طبیعی استفاده می‌کنند، خصوصیات محیطی سبز دارند و پتانسیل بازیافت بیشتری نسبت به سایر مصالح دارند. مقاله حاضر ضمن توصیف این مصالح به بررسی چند نمونه خاص از آنها می‌پردازد. این نمونه‌ها شامل بتن، پلاستیک، آهن و فولاد است که بیشترین سهم را در نخاله‌های ساختمانی ایران دارند. در نهایت، این مقاله، راهکارهایی در جهت بهبود مصالح موجود و حرکت به سمت تولید و استفاده از این مصالح در کشور ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی: زباله‌های ساختمانی - بازیافت - محیط زیست - مصالح دوستدار محیط زیست - منابع طبیعی

۱- مقدمه

رابطه بین انسان و محیط‌زیست در حال خارج شدن از اعتدال است. آلودگی خاک، آب، هوا نظام اکولوژیک را تهدید می‌کند و تخلیه ضایعات در محیط‌زیست از عوامل اصلی این آلودگی‌هاست. کشورها با درآمد بالا بیشترین سهم را در تولید ضایعات دارند. سرانه تولید زباله در کشورهای کم درآمد ۰/۹-۰/۴ کیلوگرم، در کشورها با درآمد متوسط ۱/۱-۰/۵ کیلوگرم و در کشورها با درآمد بالا ۵-۱/۱ کیلوگرم می‌باشد و ایران با سرانه ۰/۶۶ کیلوگرم در دسته دوم این تقسیم‌بندی قرار گرفته است. با وجود این که آمریکا بیشترین تولید زباله را در جهان دارد، بیشترین تولید سرانه سالانه زباله به شهر بمبئی با ۸۷۵ کیلوگرم تعلق دارد و نیویورک با سرانه ۷۲۰ کیلوگرم در رده دوم قرار دارد. در ایران تهران بزرگترین تولیدکننده زباله، با تولید روزانه ۷۰۰۰ تن و سرانه سالانه ۲۶۰ کیلوگرم می‌باشد. شهرهای مشهد و اصفهان به ترتیب در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند [۱].

تولید روزانه خاک و نخاله در شهر تهران ۵ برابر زباله‌های شهری است و روزانه ۴۰ هزار تن نخاله ساختمانی در این شهر تولید می‌شود، در حالی که نسبت نخاله‌های ساختمانی به زباله‌ها در آمریکا حدود ۳۰٪ است. این امر ناشی از حجم بالای تخریب و تجدید بناها در این شهر است. بین ۵ تا ۲۵/۸٪ پروانه‌های کل کشور برای تجدید بنا صادر می‌شود [۱]. عمر مفید ساختمان‌ها در

ایران ۳۰ سال است و از سال ۸۵ سالانه ۲.۲٪ ساختمان‌ها تخریب می‌شوند. دلیل دیگر تولید بیش از اندازه نخاله ساختمانی قیمت نسبتاً پایین مصالح است [۲].

علی‌رغم تولید زیاد زباله، ایران وضعیت خوبی در بازیافت ندارد و در حالی که در اروپا ۲۵٪ و در آمریکا ۱۰٪ زباله‌ها بازیافت می‌شوند، در این کشور بیشتر دفن زباله، آنهم به صورت روباز انجام می‌گیرد [۱]. لذا دو راهکار در پیش رو داریم. اول آنکه مصالحی را که ویژگی‌های اولیه آنها حفظ شده است، مجدداً در ساخت و سازها به‌کار ببریم. این مصالح، یا به راحتی، بدون اینکه آسیب زیادی ببینند، از ساختار اصلی بنا جدا می‌شوند و بدون تغییر مورد استفاده قرار می‌گیرند، مانند چارچوب‌ها، در و پنجره‌ها و حتی برخی آجرها و کاشی‌ها یا قبل از استفاده باید برخی تغییرات جزئی در آنها داده شود، مانند برخی قطعات چوبی که به دلیل برخی آسیب‌ها لازم است به تکه‌های کوچکتر تقسیم شوند. راه حل دوم، تولید مصالح جدید با قابلیت بازیافت و سازگار با محیط زیست است که کمترین آسیب را به منابع طبیعی وارد کند. این مصالح که دوستدار محیط زیست نامیده می‌شوند دارای تنوع بالایی هستند. این مقاله راهکار دوم را بررسی و به تشریح مشخصات این مصالح پرداخته است. از آنجایی که عمده حجم آوارهای تولیدی ایران را خرده آجر، خرده سرامیک، خرده بتن، خرده ملات، شیشه و آهن به همراه حجم زیادی خاک تشکیل می‌دهد. لذا در ادامه به نحوه ایجاد تغییر در این مصالح و یا تولید مصالحی مشابه که دارای ویژگی‌های محیطی سبز باشند پرداخته خواهد شد.

۲- ایده مصالح دوستدار محیط زیست

ایده مصالح دوستدار محیط زیست در اوایل سال ۱۹۹۰ پیشنهاد شد. در مراحل اولیه پیشرفت ایده اکوموادها، سه شاخص اصلی پیشنهاد گردید

- ۱- عملکرد: گسترش مرزهای بشر - فعالیت‌های انسان به منظور رشد و توسعه.
 - ۲- محیط زیست: هم‌زیستی با زیست‌کره - برای کاهش اثرات مضر بر محیط زیست.
 - ۳- سازگاری: بهینه‌سازی سازگاری - برای خلق هم‌زیستی راحت با طبیعت.
- البته مصالح اکولوژیکی با توسعه از وضع اولیه خود یعنی تبدیل ایده‌های اولیه به راه‌حل‌های واقعی در حال گسترش‌اند. [۳]. که در زیر به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

۲-۱- مصالح با عناصر سازنده کم‌ضررتر

مسمومیت مواد موجود در محصولات اولین نگرانی در انتخاب مواد برای تولید محصولات است. مقدار قابل توجهی از مصالح روزانه توسط مصرف‌کنندگان استفاده شده و در پایان عمر مصرف دور ریخته می‌شود. این یکی از مهم‌ترین مسایل در جلوگیری از انتشار مواد خطرناک و جلوگیری از آلودگی در حل موضوع ضایعات است [۳].

۲-۲- مصالح با مشخصات محیط زیست سبز

در حالی که مصالح با عناصر سازنده کم‌ضرر مصالحی هستند که بیشترین توجه را در مرحله استفاده و در پایان عمر به خود اختصاص داده‌اند، توسعه مصالح با مشخصات محیط زیست سبز نیز دارای اهمیت است. این ویژگی در مورد مصالحی مطرح می‌شود که در طول چرخه حیات خود، بار محیط زیستی کمتری وارد می‌کنند. نمونه‌هایی از این مصالح شامل موارد زیر است:

مصالح از منابع تجدیدپذیر: چوب و گیاهان پایه مواد، بیوپلاستیک، بیوسرامیک، سرامیک چوبی، سرامیک خاکی
مصالح حاصل از ضایعات: سیمان حاصل از ضایعات شهری یا خاکستر (اکو سیمان)، سرامیک شیشه حاصل از ضایعات [۳].

۲-۳- مصالح با قدرت بازیافت بالاتر

بازیافت مواد بار محیط زیستی و مشکل ضایعات را کاهش می‌دهد، به‌رحال نیاز به بالابردن کارایی مواد، باعث شده تا عمل بازیافت مواد دشوارتر گردد، تکنولوژی بالای آلیاژها، ورق‌های پوششی، پوشش‌های پلیمری و کامپوزیت‌ها نمونه‌ای برای این مورد هستند.

برای بالابردن خواص بیشتر آلیاژهای سنتی عناصری به آنها اضافه می‌شود، که غالباً مانع بازیافت می‌شوند. رویکرد جدید، به توسعه قابلیت بازیافت با کنترل خواص ماده نه با اضافه کردن عناصر جدید به ماده بلکه با کنترل میکروساختارها می‌پردازد. نمونه‌ای از مصالح با قابلیت بازیافت بالا شامل موارد زیر است:

آلیاژهای قابل بازیافت: فولاد با آلیاژ کمتر و عملکرد بالا، کامپوزیت‌های قابل بازیافت، کامپوزیت‌های قابل تجزیه: ترکیب مواد از یک خانواده، آلیاژها با ناخالصی کم و مواد با طراحی برای بازیافت (DFR) [۳].

۲-۴- مواد حاصل از منابع با بازده بالا

بهره‌وری منابع شاخصه‌ای از مفهوم ارزیابی چرخه حیات (LCA) است که مجموعه‌ای از تأثیرات زیست‌محیطی در چرخه زندگی یک محصول به خصوص را شامل می‌شود و با ارائه یک شاخص کمی به مقایسه تأثیرات زیست‌محیطی محصولات مختلف با کاربری‌های یکسان می‌پردازد. نظر به اینکه هدف همه پیشرفت‌های تکنولوژی گسترش استفاده است، بهره‌وری منابع شاخصه‌ای مناسب برای بیان تعادل میان تأثیرات زیست‌محیطی و کاربری آن است. مواد حاصل از منابع با بازده بالاتر موادی هستند که در روند تولید، کارایی بالاتر ضمن مصرف کمتر منابع را موجب می‌گردند [۳]. این مصالح علاوه بر طول عمر زیاد، به نگهداری و تعمیرات کمتری نیاز دارند. لوله‌های PVC نمونه‌ای از چنین محصولاتی هستند [۴].

۳- مصالح دوستدار محیط زیست

۳-۱- بتن سبز

بتن خود مخرب محیط زیست نمی‌باشد، اما کاهش سنگدانه‌های طبیعی، تولید CO₂ در طول پروسه تولید سیمان پرتلند، مصرف بالای آب، مصرف بالای انرژی و مشکلات محیطی و اکولوژیکی ناشی از حجم بالای بتن تخریب‌شده، از مشکلات ناشی از استفاده آن است. هزینه انباشت بتن تخریب شده، شامل هزینه زمین، هزینه انسانی، آب و حمل و نقل، بسیار بالاست و با افزایش روزافزون این ماده طی چند سال آتی زمینی برای دفن ماده باقی نخواهد ماند. برای حل این معضل از اواخر دهه ۹۰ در کشورهای مختلف به‌جای بتن‌های معمولی شروع به تولید "بتن سبز" کردند. بتن سبز، بتنی است که در آن از مواد دورریز یا محصولات فرعی کارخانجات استفاده شده است. [۵] این مواد که یا با جایگزین شدن سنگدانه‌ها، مصرف این مصالح طبیعی را کاهش می‌دهند و یا جایگزین سیمان می‌شوند، به شرح زیر می‌باشند.

۳-۱-۱- بتن تخریب‌شده:

از بتن تخریب‌شده می‌توان بعد از جداکردن آلودگی‌ها و غربال کردن به‌عنوان سنگدانه استفاده کرد. این مصالح باید مانند سنگدانه‌های طبیعی از لحاظ توزیع اندازه، جذب و فرسایش ارزیابی شوند. بهترین اندازه بعد از دو مرحله خردشدن به دست می‌-

¹ -Design for Recycling

² -Life Cycle Assessment

آید. ابتدا بتن در قطعات ۵۰ میلی متری خرد می شود و پس از جداسدن آلودگی های فلزی به روش الکترومغناطیسی به قطعات ۱۴ الی ۲۰ میلی متری تبدیل می شود [۶].

میزان جذب آب این بتن بیشتر از بتنی است که از سنگدانه های طبیعی استفاده کرده است، چرا که همواره مقداری ملات به این قطعات چسبیده است. به همین دلیل برای رسیدن به اسلامپ یکسان باید حدود ۵٪ بیشتر از بتن معمولی آب به کاربرد [۶]. در صورت جایگزین کردن این قطعات با درشت دانه ها کاهش مقاومت فشاری، نسبت به حالت جایگزین کردن با ریزدانه ها کمتر خواهد بود [۷]. کاهش ۲۰-۱۵٪ مقاومت پیچشی، کمتر از ۱۰٪ مقاومت کششی و افزایش ۲۰٪ خزش از دیگر معایبی است که در صورت جایگزین شدن ۱۰۰٪ سنگدانه های طبیعی با بتن بازیافتی به وجود می آید [۸]. این مشکلات با اضافه کردن برخی افزودنی های بتنی قابل رفع می باشد. مقاومت فشاری بتن با سنگدانه های بازیافتی با ویراسیون به مدت یک دقیقه بعد از ترکیب بهبود بخشیده می شود [۹].

۳-۱-۲- شیشه

از آنجایی که بیشترین نخاله های ساختمانی را شیشه تشکیل می دهد، می توان با مصرف این ماده در بتن از دفع غیراصولی آن جلوگیری کرد. شیشه می تواند جایگزین حداکثر تا ۲۰٪ ریزدانه ها در بتن شود. شیشه های خرد شده به دلیل ترکیبات سیلیسی و قلیایی، باعث کاهش طول عمر این ماده نیز می شوند [۱۰]. ریزتر کردن قطعات شیشه در حد کوچکتر از ۷۵ میکرومتر این مشکل را حل کرده و مانع از انجام واکنش قلیایی می شود و پایداری بتن را تضمین می کند. از مزایای استفاده از شیشه در ترکیبات بتن افزایش مقاومت فشاری و خمشی به دلیل متراکم تر شدن ریزساختارها، مقاومت در برابر فرسایش، افزایش سختی و مقاومت در برابر محیط های شیمیایی است [۱۱]. از شیشه می توان در لایه نهایی بتن، برای زیباتر کردن بتن های اکسپوز استفاده کرد [۱۰].

۳-۱-۳- خاکستر ذغال سنگ

خاکستر ذغال سنگ از جمله محصولات فرعی کارخانجات است که به طور گسترده در دسترس است، ارزان تر از سیمان پرتلند است و بتن تولید شده با آن مقاومت و ماندگاری بالایی دارد. افزودن این ماده به مواد اولیه بتن مقاومت کششی آن را افزایش می دهد [۱۲]. از معایب این جایگزینی، مقاومت اولیه کم بتن تولید شده است، در صورت نیاز به مقاومت ۲۸ روزه بالا می توان از افزودنی هایی که سرعت هیدراسیون را بالا می برند استفاده کرد. کاهش گیرش به دلیل پیروسه ناقص احتراق و یکسان نبودن خواص فیزیکی و شیمیایی خاکستر هر کارخانه بسته به ذغال سنگ مورد استفاده، از دیگر معایب این ماده است، که با انجام مطالعات و آزمایش های بیشتر قابل حل می باشد [۷].

۳-۱-۴- تایرهای بازیافتی

ضایعات تایر به دلیل ایجاد محیطی برای تولیدمثل پشه و ایجاد خطرات آتش سوزی، محیط زیست را به مخاطره می اندازند. استفاده از این ماده در تولید بتن از انباشت آن جلوگیری کرده و این مشکل را از بین می برد. تایر را هم می توان به عنوان سوخت جایگزین در تنور سیمان استفاده کرد و هم با ریز کردن آن به قطعات ۴۵۰ میلی متری تا ۷۵ میکرومتری در ترکیب بتن استفاده کرد. این ترکیب کرنش، قابلیت چکش خواری، ظرفیت جذب حرارت و صوت را افزایش و مقاومت فشاری بتن را کاهش می دهد [۷].

۳-۱-۵- سرباره کوره آهن گدازی

این ماده که محصول فرعی کارخانجات تولید آهن است و هزینه ای برابر با سیمان پرتلند دارد، می تواند جانشین ۵۰٪ تا گاهی ۷۰٪-۸۰٪ سیمان شود. سرباره کوره آهن گدازی خواص مکانیکی و ماندگاری بتن را بهبود می بخشد.

۳-۱-۶- پلیمرهای غیر آلی

پلیمرها CO₂ بسیار کمتری از سیمان تولید می‌کنند و در عین حال مقاومت و پایداری شیمیایی بتن تولیدشده با آنها بسیار بالاست. این مصالح اغلب طی واکنش‌های قلبیایی در مصالح دورریز صنعت آلومینوسیلیکات‌ها، تولید می‌شوند. از مزایای بتن تولید شده با پلیمرهای غیر آلی (Geopolymer) مقاومت در برابر آتش تا 1000°C بدون تولید گازهای سمی، مقاومت بیشتر در برابر حلال‌های اسیدی و نمکی، مقرون به صرفه بودن و ایجاد اثر گلخانه‌ای کمتر است. البته تمام پلیمرهای غیر آلی همه این خصوصیات را ندارند و با توجه به متفاوت بودن مواد خام آنها از منبعی به منبع دیگر، فرمولاسیون آنها و نحوه ترکیب آنها با دیگر مواد درون بتن نیاز به تحقیقات بیشتری دارد. لازم به ذکر است بتن تولیدشده با این نوع پلیمر چسبندگی خوبی به سرامیک، شیشه، فلز و بتن‌های قدیمی دارد [۱۳].

۳-۱-۷- مواد دیگر

خاکستر پوست برنج، به دلیل داشتن خواص سیمان‌گون، می‌تواند جایگزین سیمان در بتن شود. از الیاف فرش می‌توان در بتن های مسلح الیافی استفاده کرد. بخار سیلیس محصول فرعی تولید نیمه رساناهاست که با جایگزین شدن به جای سیمان مقاومت و ماندگاری آن را بسیار افزایش می‌دهد [۱۴].

مطالب بالا نشان می‌دهند، با استفاده از مواد مختلف می‌توان علاوه بر تولید بتنی سبز، ضایعات و دورریزها را نیز کاهش داد. تولید سالانه ۳۰۰ میلیون تن خاکستر ذغال سنگ و همان مقدار سرباره کوره آهن‌گدازی و ۱۰۰ میلیون تن پوست برنج، آماری است که می‌تواند اهمیت استفاده از این مواد را در این نوع بتن نشان دهد [۱۴]. دورریز عایق‌های الکتریکی سرامیکی که پایدار و سخت هستند و مواد شیمیایی بر روی آنها بی‌اثرند، می‌توانند جایگزین بخشی از درشت دانه‌ها شوند [۱۵]. با وجود تمام این موارد با مرور مطالعات انجام‌شده به نظر می‌رسد، بهتر است، تا زمانی که تعداد آزمایشات افزایش پیدا کند و محققان به استانداردهای لازم دست پیدا کنند، این نوع بتن در موارد غیر سازه‌ای استفاده شوند.

۳-۲- پیشرفت آهن و فولاد به سمت اکوموادها

در قرن ۲۱ آهن و فولاد دو مورد از معروف‌ترین فلزات موجود در زمین هستند و باقی خواهند ماند. بنابراین پیشرفت این فلزات به سمت اکو-فلزات تاثیر زیادی بر هر دو مقوله منابع و محیط زیست خواهد داشت. در روند تولید آهن و فولاد منابع بسیاری (از قبیل برق، آب، سوخت‌های فسیلی، سنگ آهن، سنگ آهک، مواد ساختمانی نسوز و عناصر فلزی مانند مولیبدن، کبالت، وانادیم، نیوبیم، نیکل، کرم، فلز روی، آلومینیم، منیزیم و سیلیکن) مصرف می‌گردد. توسعه و پیشرفت تکنولوژی در آینده مستلزم حفظ منابع و انرژی از نقطه نظر کاهش مداوم منابع است.

ضمناً از نقطه نظر محیط زیست جهانی، انتشار دی اکسید کربن و اکسید سولفور که به تولید آهن و فولاد وابسته است شدیداً به محیط زیست ضربه وارد می‌کند. علاوه بر این، مشکلات دفع زباله های صنعتی از قبیل خاکستر و گرد و غبار باقی می‌ماند. بنابراین، لازم است به ارتقای بازده در روند ساخت آهن و فولاد با شرط عدم کاهش سطح بازده به دست آمده تا کنون، پرداخت [۱۵].

۳-۲-۱- طراحی فولاد اکولوژیکی

طراحی اکولوژیکی فلزات آهن و فولاد باعث ارتقای بازیافت و بهبود منابع می‌گردد. به عبارت دیگر، در طراحی فولاد باید آینده بازیافت منابع آن برای استفاده مجدد بعد از دور ریخته شدن را در نظر گرفت. در طراحی باید از آن دسته از فلزاتی که از آهن گداخته شده بعد از دورریزی به سختی جدا می‌شوند، تا جایی که ممکن است کمتر استفاده کنیم. دو دسته عناصر موجودند،

عناصری که به سختی از آهن جدا می‌گردند مثل Ni, Cr, Cu, Co, Mo دسته دیگر عناصری که به سادگی جدا می‌گردند: C, Si, Al. [۱۵].

۳-۲-۲- تامین محصولات فولادی با هدف کاهش انتشار دی اکسید کربن

صنعت آهن و فولاد می‌تواند با ارتقای کیفیت، خواص و موارد استعمال محصولات فولادی به حفظ انرژی و کاهش انتشار دی-اکسیدکربن در بخش مصرف‌کننده و همچنین در روند طراحی و ساخت کمک کند. حجم فولاد به کار رفته شده در محصولات را می‌توان با بالابردن خواص آن از قبیل مقاومت، سختی و مقاومت در برابر خوردگی کاهش داد [۱۶]. در تولید محصولات فولادی با ارزش افزوده، در مقایسه با محصولات متعارف و مرسوم انرژی بیشتر در روند ساخت مربوطه مصرف می‌گردد. بنابراین حجم بیشتری از دی‌اکسیدکربن تولید می‌گردد، اما ارزیابی چرخه عمر برای کل جامعه (LCA)، کاهش حجم دی‌اکسید کربن را نشان می‌دهد.

به تازگی، صنعت آهن و فولاد برای ارتقا و پیشرفت خانه‌هایی با اسکلت فلزی اقدام کرده‌اند. در نشستی دانشگاهی در دانشگاه توکیو، در نتایج مطالعه بر روی محصولات ساخته شده با آهن، مقایسه ای بر روی انتشار دی‌اکسیدکربن در خانه ای با قاب فولادی و خانه‌ای با سازه چوبی از نظر LCA انجام شده است. محصولات فولادی انبوهی از انرژی است. این بدان معناست که انتشار دی-اکسیدکربن در ساخت یک خانه با اسکلت فلزی بیشتر از خانه چوبی خواهد بود. با این حال وقتی با نگاه دفع زباله ساختمانی به موضوع بنگریم، می‌بینیم خانه چوبی که عمرش به پایان رسیده باید سوزانده شود که این باعث تولید دی‌اکسید-کربن می‌گردد. در حالی که CO₂ انتشار یافته از خانه اسکلت فولادی زمانی که زباله فولادی دورانداخته و بازیافت می‌شود، یک‌چهارم خانه چوبی است. علاوه بر این، نتایج به دست آمده از محاسبه طول عمر خانه‌های فولادی نشان می‌دهد انتشار دی‌اکسیدکربن خانه‌های فولادی ۲۰٪ کمتر از مدل چوبی مشابه است [۱۵].

۳-۲-۳- توسعه و بهبود LCA به دلیل طول عمر فولاد

با پیشرفت و توسعه فن‌آوری پالایش، محصولات فولاد خالص‌تر گشته‌اند و در نتیجه فرسایش شیمیایی مواد کاهش یافته است. علاوه بر این، فن‌آوری فولاد مقاوم در برابر خوردگی به عنوان ماده به کار رفته در پل‌ها و ساختمان‌ها سالانه در حال پیشرفت است [۱۵]. اگر طول عمر پلی که برای صد سال کار مفید طراحی شده است را تحت هزینه‌های منطقی تعمیر و نگهداری به ۲۰۰ سال ارتقا دهیم، تاثیرات محیطی که بر اثر ساخت و ساز ایجاد می‌شود به نصف کاهش می‌یابد. جایگزینی فولاد معمولی با فولاد مقاوم در برابر خوردگی، هزینه‌های تعمیر، نگهداری و نوسازی را کاهش می‌دهد و با وجود افزایش هزینه‌های اولیه، تاثیرات کلی بر محیط زیست در چرخه حیات این محصول کاهش می‌یابد [۱۶]. نمونه‌های ذکر شده در بالا به وضوح نشان می‌دهد طول عمر محصولات فولاد تاثیر بسیاری در کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در کل جامعه می‌گذارد. از نقطه نظر LCA این نمونه‌ای از پیشرفت مداوم است.

پیشرفت موارد استعمال آهن و فولاد بار زیست محیطی را در بخش مصرف‌کننده کاهش می‌دهد. با پیشرفت تمدن بشری، افزایش میزان آهن و فولاد در سطح جهانی اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین در روند ساخت و استفاده این مواد گرایش اکولوژیکی آنها مورد توجه است. توسعه موردی جدی برای ادامه رشد اقتصادی جهان است [۱۵].

۳-۳- پروتئین‌ها به عنوان منبع مواد

پروتئین‌ها طبیعی، تجدیدپذیر و زیست تجزیه‌پذیر هستند. این خاصیت توجه قابل ملاحظه‌ای را در سال‌های اخیر از نظر پیشرفت‌های مهندسی ژنتیک، مواد سازگار با محیط و مواد کامپوزیتی جدید بر پایه منابع تجدیدپذیر به خود جلب کرده است. در زیر، پروتئین‌های مهم به عنوان منبع مواد بررسی می‌شود.

۳-۳-۱- پروتئین سویا

گیاه سویا با نام "طلایی که رشد می‌کند"، از چین ریشه گرفته است و در سال‌های اخیر به دلیل کاربردهای چندگانه مورد توجه قرار گرفته است. دانه‌های سویا، هزاران سال است به عنوان غذا مصرف می‌شود. اما در قرن ۲۱ تکنولوژی پلیمر سویا، به عنوان تولیدکننده نسلی از پلاستیک‌های سبز شناخته شده است [۱۷].

۳-۳-۱-۱- چسب و پلاستیک بر اساس محصولات پروتئین سویا

اهمیت مواد سازگار با محیط زیست که بر پایه منابع طبیعی که به سادگی تجدیدپذیر هستند و همچنین منابع محدود پتروشیمی است، ضرورت توسعه پلیمرهای حاصل از فرایندهای کشاورزی با محصولاتی از قبیل پروتئین سویا از پردازش روغن را ایجاد می‌کند. پروتئین سویا دارای خواص چسبندگی و پلاستیکی است و یک منبع تجدیدپذیر، فراوان و قابل دسترس در طبیعت است [۱۸].

۳-۳-۱-۲- کاربردهای دیگر

پروتئین سویا می‌تواند در تولید انواع مختلفی از محصولات غیرغذایی، شامل فیلم‌های پلاستیکی، کامپوزیت‌های ساختمان، فوم‌های عایق، چسب تخته سه‌لا و دیگر چوب‌ها استفاده شود. محصول جدیدی به نام "Environ" با استفاده از ۴۵٪ آرد سویا، ۴۵٪ روزنامه بازیافت شده و ۱۰٪ مواد تشکیل‌دهنده دیگر تولید شده است. با شکل ظاهری مشابه گرانیات و خواص فیزیکی چوب که در کاربردهای داخلی مانند سطح بالای میز، لامپ‌ها و غیره استفاده می‌شود. پلاستیک‌های زیست تخریب شونده از پروتئین منفرد سویا (SPI) به دست آمده‌اند. SPI به عنوان ماده افزودنی زیست تخریب شونده، متناوباً با نفت در تولید پلاستیک به کار برده می‌شود [۱۸].

۳-۳-۲- زین

زین از دانه ذرت جدا شده و به عنوان ماده خام ممکن برای کاربردهای پلیمری بررسی شده است. زین یکی از معدود پروتئین‌های استخراج شده از غلات است که فرمی نسبتاً خالص دارد و از مواد پیچیده و منحصر به فرد تشکیل شده است. نرمی زین و ماهیت انعطاف‌پذیر آن پس از رسوب از حلال کاربردهای جالبی از قبیل استفاده در تولید مواد پلاستیکی، چه به تنهایی و چه به صورت مخلوط با دیگر مواد خواهد داشت [۱۷].

۳-۳-۳- گلوتن گندم

گلوتن گندم ترکیبی از مولکول‌های پروتئینی پیچیده‌ای است که از دو بخش گلوتمین^۳ ها و گلیادین^۴ ها تشکیل شده است. پروتئین گندم از مهم‌ترین منابع با پایین‌ترین قیمت در میان پروتئین‌های گیاهی است. آنها دارای خواص چسبندگی خوب، استحکام کششی بالا و خواص مقاومت بالا در برابر آب و گاز هستند. بررسی پروتئین گندم به عنوان پایه مواد توجه بسیاری از شیمی‌دان‌ها و مهندسی‌ن مواد را به خود جلب کرده است [۱۷].

۳-۴- چوب‌های بامبو

³ - Glutenins

⁴ - Gliadins

بامبو یکی از انواع مصالح دوستدار محیط زیست است، که تعادل طبیعی CO₂ محیط زیست را بر هم نمی‌زند [۱۹]. این گیاه سریع‌الرشدترین گیاه روی خشکی است. به راحتی تکثیر می‌شود و طی ۴ الی ۵ سال تبدیل به جنگلی انبوه می‌شود. بامبو در برخی مناطق برای جلوگیری از فرسایش خاک کشت می‌شود. از مزارع آن می‌توان برای تصفیه فاضلاب استفاده کرد. اما بامبو در ساختمان کاربردهای بسیاری می‌تواند داشته باشد. اصلی‌ترین کاربرد آن جایگزینی چوب، یکی از منابع طبیعی در معرض نابودی، است. از این گیاه می‌توان به عنوان تیر و ستون، در سقف‌های کاذب، دیوارهای جداکننده و غیر باربر، داربست‌ها، خرپاها، پل‌های روستایی و سقف‌های مرکب استفاده کرد. بامبو را می‌توان در بتن مسلح جایگزین میلگرد کرد. همچنین الیاف بامبو برای بهبود ویژگی‌های مکانیکی بتن و ملات سیمانی قابل استفاده هستند [۲۰]. از خواص استاتیکی بامبو می‌توان به مقاومت فشاری بالای آن که حدود دوبرابر بتن است و مقاومت کششی بالا در مقایسه با وزن مخصوص آن که تقریباً برابر فولاد است، اشاره کرد [۲۱].

بامبو که در ایران به نی خیزران شهرت دارد در گیلان و مازندران و به صورت تک‌ساقه ای وجود دارد. قطر آنها ۱۰-۱ سانتی-متر و ارتفاع آن حداکثر ۱۲ متر است [۲۰].

۴- تحلیل و بررسی نمونه های استفاده از مصالح دوستدار محیط زیست

۴-۱- مجتمع مسکونی مک آلن

این بنای ساخته شده در شهر بوستون، که در سال ۲۰۰۸ موفق به دریافت گواهی LEED شد، به استفاده از مصالح زیست محیطی بسیار بها داده است. دوام و پایداری اولین مسأله‌ای است که به آن توجه شده است و در همین راستا برای پوشش کلی از چارچوب‌های فولادی استفاده گردیده است. دومین رویکرد در این مجتمع استفاده از مصالحی است که به سرعت تجدید می‌شوند. بامبو، پوشش‌های دیواری از جنس چوب‌پنبه، چمن خشک‌شده، تایل‌های سقفی از جنس فیبرچوبی، صفحاتی از دورریزهای گندم فشرده شده و عایق‌های پنبه‌ای نمونه‌ای از این موارد هستند. سایر مصالح این بنا نیز، مانند بتن، فرش و زیرسازی کف‌ها، دارای مواد بازیافتی هستند [۲۲].

۴-۲- مرکز جهانی تحقیقات اکولوژیکی

این موسسه آموزشی و تحقیقاتی در سال ۲۰۰۴ در ایالت استنفورد کانادا ساخته شده است و همانند بنای قبلی دارای گواهی LEED است. ماندگاری بالا و سلامت انسان فاکتورهای اساسی را در ساخت این بنا تشکیل می‌دهند. با جایگزین کردن خاکستر ذغال سنگ به جای سیمان در تقریباً کل بتن استفاده شده، تولید دی‌اکسید کربن را در پروژه ۴۳٪ کاهش داده‌اند. در نمای بیرونی، چوب‌های بشکه‌های غیرقابل‌استفاده، به‌کار رفته است. جنس این چوب‌ها طوری است که نیاز به رنگ و یا هیچ ماده نگهدارنده‌ای ندارد، بنابراین استفاده از این مصالح اولاً انتشار مواد شیمیایی سمی را کاهش داده است و دوماً طول عمر بنا را افزایش داده است. مصالح در داخل بنا اکثراً بدون روکش رها شده‌اند تا قابلیت بازیافت خود را از دست ندهند. کاهش استفاده از مصالح، از دیگر رویکردهای خلاقانه‌ای است که سازندگان این بنا در احترام به محیط زیست به آن پرداخته‌اند. برای این منظور فضاهای سیرکولاسیون به حداقل رسیده است و فضاها به صورت چند عملکردی ساخته شده است [۲۳].

۴-۳- ابنیه سنتی ایران

بحث مصالح دوستدار محیط زیست به گونه‌ای در معماری سنتی ایران نیز مطرح بوده است. البته به طور قطع نمی‌توان ادعا کرد در بناهای سنتی ایران از مصالح دوستدار محیط‌زیست با تعریف امروزی آن استفاده می‌شده است، چرا که به عنوان مثال طول عمر بالا از فاکتورهای اساسی این مصالح است که در گذشته به دلیل تکنولوژی ضعیف به این میزان مطرح نبوده است و همچنین بخش‌های مختلف بنا همواره نیاز به مراقبت و نگهداری داشتند.

معماران ایرانی تلاش می کردند ساختمایه خود را از نزدیکترین جاها بدست آورند و چنان ساختمان می کردند که نیازمند به ساختمایه جاهای دیگر نباشد و "خودبسند" باشند. بدین گونه کار ساخت با شتاب بیشتری انجام می شده و ساختمان با طبیعت پیرامون خود "سازوارتر" در می آمده است و هنگام نوسازی آن نیز همیشه ساختمایه آن در دسترس بوده است. معماران ایرانی بر این باور بودند که ساختمایه باید بوم آورد باشد، به گفته دیگر فرآورده (محصول) همان جایی باشد که ساختمان ساخته می شود و تا آنجا که شدنی است از امکانات محلی بهره گیری شود [۲۴]. بکارگیری مصالح بومی که کمترین تأثیر نامطلوب بر محیط را دارند و همچنین کاهش میزان انرژی مصرفی با استفاده از مصالح محلی، موجب پایداری محیط زیست و افزایش دوام بناها گردیده است [۲۵].

با این توصیفات می توان اظهار داشت، مصالح سنتی بکاررفته در بناهای ایرانی بار بیش از حدی به محیط زیست تحمیل نمی کرده اند و در پروسه تولید فرآورده های ساختمانی مانند آجر مواد مضر برای سلامت تولید نمی شده است. نهایتاً می توان به این نکته اشاره کرد که اکثر این مصالح پس از تخریب، قابل استفاده مجدد بودند چرا که هیچ فرآوری خاصی بر روی آنها صورت نمی گرفته است و مواد شکل اولیه خود را داشتند.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، در پاسخ به مشکل افزایش نخاله های ساختمانی در کشور، تولید مصالح جدید از نقطه نظر معرفی منابع جدید تولید محصولات و روش های بازیابی محصولات پس از مصرف، پیشنهاد شد، تا با مورد توجه قرار دادن گرایش اکولوژیکی در روند ساخت و استفاده، بار زیست محیطی در بخش تولیدکننده و مصرف کننده کاهش یابد. در این راستا مصالح سازگار با محیط زیست معرفی گردید و ایده اکوموادها با سه شاخصه عملکرد، محیط زیست و سازگاری مواد مطرح شد. توسعه این ایده مستلزم شناخت منابع جدید و کم ضرر (بی ضرر) مثل منابع تجدیدپذیر و زیست تجزیه پذیر است که در اینجا دانه های گیاهی و چوب های بامبو معرفی گردیدند. با توجه به نمونه مصالحی که در این مقاله توضیح داده شد، می توان نتیجه گرفت که اکوموادها بر سه دسته اند. دسته اول از ضایعات مواد موجود، مواد دورریز و محصولات فرعی کارخانجات، برای تولید مصالحی مانند بتن و ملات، استفاده می کند و دسته دوم منابع طبیعی نامحدود، مانند پروتئین ها و بامبو هستند، و دسته سوم با بهبود بخشی از خواص مواد با افزودن مواد پلیمری به منابع موجود آن یا بالا بردن بازده منابع موجود، به حفظ منابع و انرژی از نقطه نظر کاهش مصرف منابع و کاهش تولید آلاینده ها می انجامند. به نظر می رسد با توجه به جدید بودن این مبحث در ایران، بهتر است در قدم اول، استفاده از منابع دسته اول و دوم که از لحاظ اقتصادی به صرفه ترند و نیاز به سرمایه گذاری های کلان ندارند، ترویج شود. نهایتاً باید توجه داشت، که مطالعات انجام شده نشان داد، کارآمدی اکوموادها هنوز به اندازه مصالح موجود نیست و باید قبل از تولید انبوه، تحقیقاتی در زمینه استانداردسازی و افزایش بازده آنها انجام گیرد. تمامی این موارد نیازمند ارائه سیاست های مناسب آموزشی، تولیدی و ساختمانی در سطح کلان کشور می باشد، که تحقیقات آینده می تواند به بررسی این راهکار بپردازد.

مراجع

- ۱- محمدی، محمد جواد (۱۳۸۶). وضعیت تولید زباله در شهر تهران. خبرگزاری موج
- ۲- پنهانی، داوود (۱۳۸۷). ساماندهی نخاله های ساخت و ساز شهر. روزنامه ایران. شماره ۳۹۸۳. ص ۹
- 3- Halada, Kohmei. (2003) *Progress of eco-materials toward a sustainable society*. Current Opinion in Solid State and Materials Science 7 .pp209-216
- 4- Zigisha, AR (2005), *Ecofriendly alternative building materials*. Ecohousing, pp1-37
- 5- Senthamarai, RM., Devadas Manoharan .P, Gobinath, D (2010), *Concrete made from ceramic industry waste: Durability properties*, Construction and Building Materials 25 .pp 2413-2419

- 6- Raa, A. N. Jha, K. Misra, S. (2006), *Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete*, Resources, Conservation and Recycling 50 pp71–81
- 7- Meyer, C. (2009), *The greening of the concrete industry*, Cement & Concrete Composites 31 ,pp601–605
- 8- Sri Ravindrarajah, R. Tam, C. (1985), *Recycling concrete as fine aggregate in concrete*, *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, Volume 9, Number 4, pp235-241
- 9- Watanabe, T. Nishibata, S. Hashimoto, S. Ohtusu, M. (2006), *Compressive failure in concrete of recycled aggregate by acoustic emission*, Construction and Building Materials 21, pp470–476
- 10- Batayneh, M. Marie, I. Asi, I. (2006), *Use of selected waste materials in concrete mixes*, Waste Management 27 ,pp1870–1876
- 11- Corinaldesi, V. Gnappi, G. Moriconi, G. Montenero, A. (2004), *Reuse of ground waste glass as aggregate for mortars*, Waste Management 25 , pp197–201
- 12- Ravina, D. (1995), *Tensile strength of green concrete with fly ash and chemical admixture*, Cement and Concrete Research. Vol. 25. No. 6, pp. 1320-1332
- 13- Duxson, P. Provis, J. Lukey, G. Van Deventer, J. (2007), *The role of inorganic polymer technology in the development of green concrete*. Cement and concrete research 37, pp1590-1597
- 14- C. Isaia, G. (2000), *High-performance concrete for sustainable constructions*, Waste material in construction, pp 344-354
- 15- Marukawa, Katsukiyo. Edwards, Kevin. L. (2001). *Development of iron and steel into eco-material*. Materials and Design 22, pp 133-136
- 16- K. Kawahito, M. Kinoshita, (2008) *Eco-friendly Steel Products for Construction Use*, Nippon Steel Technical Report No.97 pp 27-38
- 17- Zhang, L. Zeng, M. *Proteins as Sources of Materials*, pp478-493
- 18- Kumar, R. Choudhary, V. Mishra, S. Vama, I. Mattiason, B. (2002) *Adhesives and plastics based on soy protein products*. Industrial Crops and Products 16 . 155–172
- 19- Krzesin'ska, M. Zachariasz, J. Muszyn'ski, J. Czajkowska, S. (2008) *The thermal decomposition studies of solid iron bamboo (Dendrocalamus strictus) – potential precursor for eco-materials*. Bioresource Technology 99 . 5110–5114

۲۰- سجودی ابراهیم و همتی (۱۳۷۲)، *بامبو طلای سبز*، مرکز تحقیقات مسکن

- 21- Deboer, D. Bareis, K. (2000), *Bamboo*, Elizabeth, Lynn
- 22- The American Institute of architecture. *Top ten green projects*. http://www.aiaopten.org/hpb/grid2008.cfm?project_id=1050§ion=9.2008
- 23- The American Institute of architecture. *Top ten green projects*. http://www.aiaopten.org/hpb/grid2004.cfm?project_id=809§ion=9.2004

۲۴- پیرنیا، محمد کریم، (۱۳۸۶). *سبک شناسی معماری ایرانی*. تهران: سروش دانش.

۲۵- خدابخشی، شهره. مفیدی، سیدمجید. *ساخت و ساز پایدار در ارتباط با معماری سنتی ایران*. سومین همایش ملی انرژی ایران.

ص ۶۰۰-۶۱۵