



اثر براده های چوب بر مقاومت فشاری بتن سبک

مجتبی عامری^۱، بهروز حسنی^۲، وحید رحیمی^۳، سید علیرضا نصرتی^۴

1- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود - دانشکده عمران

2- دانشگاه صنعتی شاهرود - دانشکده عمران

3- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود - دانشکده عمران

4- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود - دانشکده عمران

آدرس پست الکترونیکی مولف رابط
Vahidrahimi1363@yahoo.com

خلاصه

امکان استفاده از براده های زائد چوب و تاثیر آن بر روی مقاومت فشاری بتن سبک موضوع این تحقیق است. برای این منظور با یک روش سیستماتیک نمونه های متعددی با درصد های چوب مختلف در قالب های مکعبی 10 سانتی متری تهیه شد و مقاومت فشاری آنها مورد آزمایش قرار گرفت. میزان براده از 1 الی 60 درصد وزنی متفاوت انتخاب شد. به علاوه به منظور بررسی تاثیر نحوه عمل آوری، نمونه ها در شرایط خشک و مرطوب نگهداری شدند. با استفاده از نتایج به دست آمده و نمودارهای ترسیم شده، روند کاهش مقاومت فشاری نمونه های ساخته شده بتن سبک با توجه به نسبت براده های چوب و شرایط متفاوت عمل آوری نشان داده شده است. در نهایت به منظور تفسیر نمودارهای به دست آمده، مقدار مصرف بهینه براده های چوب برای رسیدن به مقاومت مطلوب بتن سبک تعیین گردید.

کلمات کلیدی: بتن سبک، مقاومت فشاری، براده های چوب، عمل آوری مرطوب و خشک، محیط زیست.

1. مقدمه

بعد از بتن معمولی، بتن سبک بیشترین مصرف را در صنعت ساختمان دارد. از آنجاییکه وزن بتن قسمت عمده ای از کل بار وارده بر سازه را تشکیل می دهد، مسلماً در صورت استفاده از این نوع بتن در کارهای ساختمانی امتیازات قابل توجهی در کاهش وزن سازه به وجود خواهد آمد لذا در سالهای اخیر تولیدکنندگان مصالح ساختمانی توجه بیشتری به بتن سبک معطوف داشته اند و امکان استفاده از مواد زائد بازیافتی برای استفاده در بتن سبک مورد توجه محققین و دست اندرکاران صنعت ساختمان قرار گرفته است. مدیریت مواد زائد مستلزم تغییر عادت های زندگی و شرایط تولید است. امروزه همه به دنبال محصولاتی سازگار با محیط زیستند و بخشهای گوناگون صنعت نیز به دنبال مواد نوینی هستند که دارای چنین شرایطی باشند. چالش اصلی در این مسیر، در نظر داشتن مسائل زیست محیطی در مرحله طراحی محصول از طریق کاهش بکارگیری مواد زیانبخش در تولید محصول و کاهش مصرف منابع تجدید ناپذیر است. بر اساس اعلامیه ریو، توسعه پایدار در گروهی حفظ محیط زیست است و صنعت ساختمان به عنوان بزرگترین مصرف کننده مصالح و برداشت کننده مواد از زمین و در عین حال بزرگترین تولید کننده زواید و زباله هایی که به محیط زیست ریخته می شود نقش مهمی در این راستا دارد. توجه به بکارگیری الیاف گیاهی توسط صنعت کامپوزیت در سالیان گذشته و راه حلهای بازیافت قابل اعتماد و امتحان شده در این صنعت منجر به ترکیب دقیق الیاف گیاهی و بعضی از مواد زمینه متداول و دستیابی به کامپوزیت های کارآمد شده است. از اینرو همانطور که گفته شد در

¹ مربی دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود؛ M.ameri@iau-shahrood.ac.ir

² دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود؛ B_hassani@shahroodut.ac.ir

³ کارشناس مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود؛ Vahidrahimi1363@yahoo.com

⁴ دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود؛ Nosrati.alireza@gmail.com

صنعت بتن نیز لزوم توجه به این مواد و استفاده از الیاف گیاهی برای ساخت بتن کامپوزیت و کاربردهای آن باید مورد توجه قرار گیرد. از خواص براده های چوب علاوه بر کامپوزیت ساختن بتن و کاهش وزن می توان به خاصیت جاذب رطوبت بودن آن اشاره کرد. استفاده مناسب از این خاصیت می تواند برای عمل آوری داخلی بتن استفاده شود.

از جمله بتنهایی که از خاک اره چوب به عنوان سنگدانه در آن استفاده می شود بتن میخ پذیر می باشند. چنین بتنی خیلی خوب به بتن معمولی میچسبد و عایق حرارتی خوبی نیز می باشد [1]. از خاک اره چوب سفت مناطق گرمسیری برای ساختن بتن خاک اره ای با مقاومت فشاری 22 روزه 30 Mpa استفاده گردید، این بتن دارای چگالی 1490 kg/m^3 بود [2]. ضایعات دیگر چوبی مانند خرده و تراشه چوب که به طریق شیمیایی مناسب عمل آورده شده بودند نیز برای ساختن بتن غیر باربر با چگالی 800 تا 1200 kg/m^3 به کار برده شده اند [3]. بتن های ساخته شده با خاک اره یا خاک چوب و دیگر مواد ریز و گرد مانند، دارای مقاومت پیوستگی خوبی هستند [4]. طبق تحقیقات USBR بتن های مناسب برای میخکاری از مخلوط کردن نسبت های حجمی برابر از سیمان پرتلند، ماسه و گرد و خاک اره و مقدار کافی آب به گونه ای که اسلامپ مخلوط تازه بین 25 تا 50 میلیمتر باشد بدست می آید. نسبت خاک اره معمولاً برحسب نوع و کیفیت بتن مورد نظر در یک مصرف خاص تنظیم می شود، به خصوص اگر خاک اره از جنس های مختلف نظیر چوب کاج، صنوبر، گردو، بلوط و قان یا سرو باشد [4].

2. برنامه آزمایشگاهی

در این بخش به بیان فعالیتهای آزمایشگاهی، روشهای عملی و نتایج آزمایشهای این تحقیق می پردازیم. ابتدا با یک طرح اختلاط ثابت نمونه های مکعبی $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ برای تست مقاومت فشاری در 28,7 و 90 روز ساخته شده و به عنوان نمونه های شاهد برای مقایسه با سایر نمونه ها در نظر گرفته شد. سپس براده های چوب از 1 الی 60 درصد وزنی بجای مصالح سنگی به مخلوط اضافه شدند. براده های زائد چوب از طریق شرکت نئوپان گنبد تهیه گردید که به علت مخلوط بودن با پوست درختان و ذرات ریز، براده ها را از الک نمرة 8 ASTM عبور دادیم و ذرات روی الک را برای این تحقیق در نظر گرفتیم. بر طبق تحقیقات در بتن میخ پذیر بهترین نتایج با خاک اره ای که اندازه آن بین الک های $6/33 \text{ mm}$ ($1/4 \text{ in}$) و $1/18 \text{ mm}$ (نمرة 16 ASTM) باشد بدست می آید [1]. براده های چوب پس از الک شدن و قبل از اضافه شدن به مخلوط در آب اشباع شدند. شکل 1 نمایی از براده های چوب را قبل از اشباع نشان می دهد. براده های چوب پس از الک شدن و قبل از اضافه شدن به مخلوط در آب اشباع شدند. شکل 1 نمایی از براده های چوب را قبل از اشباع نشان می دهد.



شکل 1- براده های زائد چوب پس از الک شدن و قبل از اشباع در آب

سنگدانه های مورد استفاده از نوع سیلیسی شکسته شده انتخاب شدند. نسبت وزنی سنگدانه ها و درصد جایگزینی براده های چوب یکی از متغیرهای این تحقیق بود، لذا برای بررسی دقیق متغیرهای در نظر گرفته شده که شامل نسبت وزنی براده های چوب و محیط عمل آوری بودند، میزان وزنی سایر مصالح برای تمام نمونه ها یکسان در نظر گرفته شدند. سیمان مورد استفاده، سیمان تیپ II شاهرود و میکروسیلیس سمنان برای این تحقیق در نظر گرفته شد. بر اساس تحقیقات انجام شده استفاده از 5 درصد میکروسیلیس سمنان در نسبت آب به سیمان کمتر از 43 درصد و 15 درصد میکروسیلیس در نسبت های بیشتر توصیه شده است [5]. با توجه به کارایی پایین مخلوط حاصل از فوق روان کننده PCE از شرکت وند شیمی برای

بهبود کارایی نمونه‌های ساخته شده استفاده شد. میزان مصرف این مواد 0/015 وزن سیمان در نظر گرفته شد. نسبت آب به سیمان برای تمام نمونه‌ها 25 درصد و مقدار سیمان 700 kg/m^3 می باشد.

برای ساخت نمونه‌ها، سنگدانه‌ها به نسبت 0، 1، 5، 10، 15، 20، 30، 40، 50 و 60 درصد وزنی کاسته شده و براده‌های چوب بجای آن اضافه شد. از هر طرح اختلاط دو سری نمونه برای آزمایش مقاومت فشاری 7، 28 و 90 روزه ساخته شده که یک سری به صورت مرطوب و در آب و یک سری در محیط خشک و مجاورت هوا عمل آوری شدند.

3. انواع و روشهای عمل آوری

روشهای مختلف عمل آوری براساس پیشنهاد کمیته فنی RILEM با نام مخفف TC-196 ICC طبقه بندی شده است [6]. روشهای سنتی و معمول عمل آوری، بر اساس عمل آوری بکار گرفته شده به صورت خارجی، از دیر باز رایج بوده است. از این روشها برای عمل آوری بتنهای معمولی، بتن‌ها با عملکرد و مقاومت بالا استفاده میشده است که شامل عمل آوری در حوض آب، آب پاشی بر روی سطح بتن، روکش کننده های اشباع و یا ترکیبی از این روشها می باشد. روشهای عمل آوری خارجی به دو دسته تقسیم بندی می شوند:

الف- عمل آوری بوسیله آب ، ب- عمل آوری در محیط بسته [7].

عمل آوری داخلی طبق تعریف موسسه بتن آمریکا (ACI 318) به این صورت تعریف می شود که «عمل آوری داخلی به فرایندی گفته می شود که عمل هیدراسیون به علت در دسترس بودن آب داخلی اضافی پیشرفت می کند که این آب قسمتی از آب مخلوط نمی باشد». عمل آوری داخلی مثل عمل آوری خارجی به دو دسته طبقه بندی می شود:

- 1- عمل آوری داخلی با ایجاد یک محیط ایزوله داخلی که در این حالت ماده عمل آورنده با این هدف وارد بتن می شود که زمان از دست دادن آب بتن سفت شده را به تاخیر بیاندازد و یا از فرایند خارج شدن آب جلوگیری به عمل آورد [8].
- 2- عمل آوری داخلی بوسیله آب که در بسیاری از مقالات با عنوان بتن آبدار (water-entrained) بکار برده شده است. در واقع این زمانی است که ماده عمل آورنده به عنوان یک منبع آب عمل می کند و به مرور زمان آب خود را از دست می دهد.

3-1. عمل آوری با مصالح سبکدانه

این مصالح به صورت طبیعی یا غیر طبیعی وجود دارند که می توانند به عنوان یک منبع عمل آوری داخلی مفید باشند. تا کنون تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است که هدف اصلی آن استفاده از این مصالح برای عمل آوری داخلی است و گاهی نیز به عنوان پر کننده مورد استفاده قرار می گیرد [9]. با استفاده از این مواد بخش کمی از مواد سیمانی ممکن است همراه با آب به داخل ساختمان حفرات کشیده شوند. این امر به پیوستگی و یکپارچگی خمیر سیمان با محیط اطراف آن کمک می کند ولی به دلیل طولانی تر شدن مسیر انتقال آب و کاهش حجم لازم و قابل دسترس برای منابع آب داخلی، اثر عمل آوری داخلی را کاهش می دهد. بنز و اشنایدر رابطه‌ای را برای محاسبه آب مورد نیاز برای عمل آوری داخلی بوسیله مصالح سنگی سبک وزن ارائه داده‌اند [10]. میزان آبی که طی فرآیند عمل آوری و هیدراسیون در دسترس خمیر سیمان قرار می گیرد به این صورت است که هنگامیکه آب محیط اطراف یک مصالح سبک (LWA) به طرف ذرات سیمان در حال هیدراته شدن منتقل می شود، آب جذب شده توسط LWA جایگزین این آب می شود تا شرایط اشباع در داخل خمیر سیمان حفظ شود که این امر باعث کاهش رطوبت موجود در LWA می شود. آبی که در LWA وجود دارد باید به طور مؤثر در فرآیند هیدراسیون شرکت کند و قبل از اینکه رطوبت نسبی داخلی به 85 تا 90 درصد برسد، از آزاد شدن آن کاملاً مطمئن باشیم [10]. در این تحقیق نیز همانطور که گفته شد برای سنجش تأثیر انواع عمل آوری داخلی و خارجی بر مقاومت فشاری بتن سبک تولیدی دو محیط خشک و مرطوب را برای عمل آوری نمونه ها در نظر گرفتیم تا تأثیر این دو محیط بر روی نمونه های یکسان را سنجیده و امکان عمل آوری داخلی را بررسی کنیم.

4. نتایج و بحث

با در نظر گرفتن آزمایشهای انجام شده در این تحقیق و اطلاعات موجود در مطالعات آزمایشگاهی، موارد زیر قابل نتیجه گیری می باشد. با توجه به اینکه چوب یکی از مصالح طبیعی جاذب رطوبت است می تواند نقش مصالح سبک جاذب آب را در بتن داشته باشد و از آن برای عمل آوری داخلی بتن

استفاده کرد. از طرفی به دلیل وزن کم این مصالح و جایگزینی آن با مصالح سنگی، وزن بتن ساخته شده با آن نیز به طور محسوسی پایین می آید. جدول 1 میانگین وزن نمونه ها و نتایج آزمایش مقاومت فشاری را برای نمونه هایی که در محیط مرطوب عمل آوری شده اند را نشان می دهد.

جدول 1- نتایج آزمایش مقاومت فشاری و میانگین وزن نمونه ها در عمل آوری مرطوب

نام	درصد جایگزینی	میانگین وزن نمونه ها (kg/m ³)	مقاومت فشاری (kg/cm ²)		
			7 روزه	28 روزه	90 روزه
Mix1	0	2229	730	650	580
Mix2	1	2118	240	620	540
Mix3	5	1954	220	300	360
Mix4	10	2005	120	230	260
Mix5	15	2077	100	180	160
Mix6	20	2002	130	170	260
Mix7	30	1968	240	110	150
Mix8	40	1916	70	110	140
Mix9	50	1813	20	70	20
Mix10	60	1758	20	120	130

سری دوم نمونه های ساخته شده دقیقاً مشخصات نمونه های قبل را داشته و تنها تفاوت آن نوع عمل آوری بود که این تفاوت برای مشخص شدن امکان عمل آوری داخلی از طریق براده های چوب جاذب رطوبت در داخل مخلوط در نظر گرفته شد. جدول 2 میانگین وزن نمونه ها و نتایج آزمایش مقاومت فشاری را برای نمونه هایی که در محیط خشک و در مجاورت هوا عمل آوری شدند را نشان می دهد. همانطور که گفته شد در این نمونه ها فرض می کنیم که عمل آوری داخلی اتفاق افتاده است.

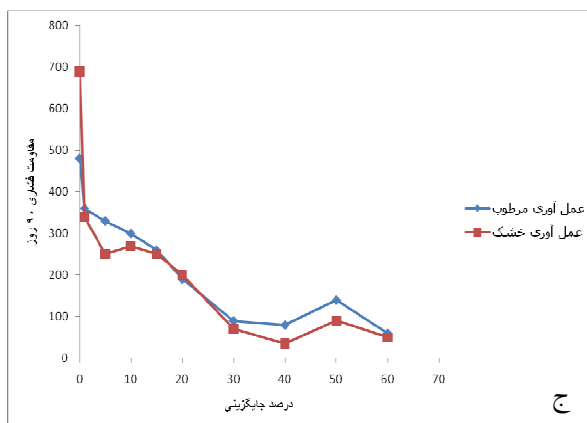
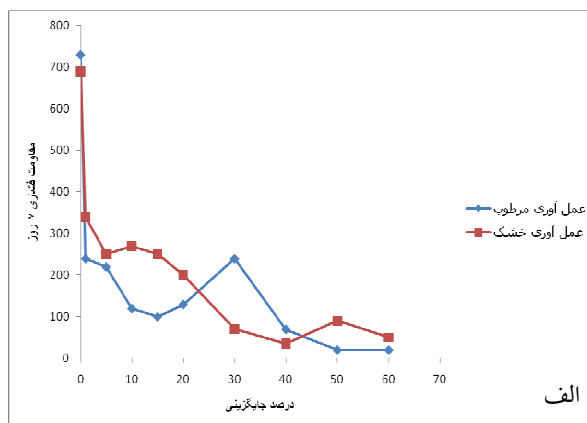
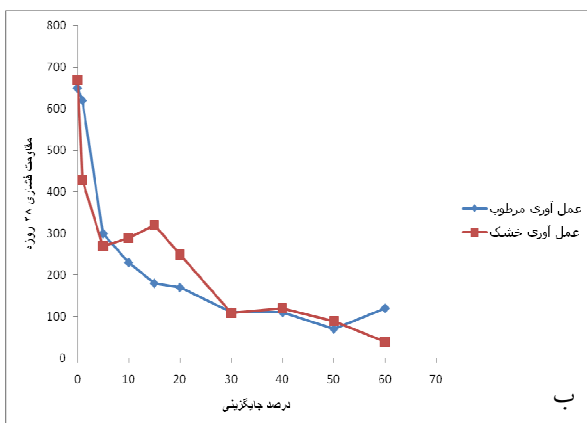
جدول 2- نتایج آزمایش مقاومت فشاری و میانگین وزن نمونه ها در عمل آوری داخلی و در مجاورت هوا

نام	درصد جایگزینی	میانگین وزن نمونه ها (kg/m ³)	مقاومت فشاری (kg/cm ²)		
			7 روزه	28 روزه	90 روزه
Mix1	0	2293	690	670	480
Mix2	1	2183	340	430	360
Mix3	5	2015	250	270	330
Mix4	10	2063	270	290	300
Mix5	15	2029	250	320	260
Mix6	20	1962	200	250	190
Mix7	30	1791	70	110	90
Mix8	40	1804	35	120	80
Mix9	50	1765	90	90	140
Mix10	60	1598	50	40	60

نمونه هایی که حاوی براده های چوب بودند در آزمایش مقاومت فشاری پس از شکسته شدن از هم نمی پاشند. شکل 2 تصویر نحوه شکست نمونه های بدون چوب و نمونه های حاوی براده های چوب را نشان می دهد. همانطور که در شکل 2الف مشخص است شکستگی با زاویه حدود 20 تا 30 درجه نسبت به جهت بار وارده به وجود آمده است که علت آن را می توان به خاطر ایجاد سیستم پایداری از ترکها که به ترکهای پیوستگی برشی موسومند و در نزدیکی سنگدانه های درشت به وجود می آیند ارزیابی کرد. در تنش های بالاتر، ترکهای جدیدی در خمیر ایجاد می شود که تعداد آنها به سرعت با افزایش تنش، رشد پیدا می کند. ترکهای موجود در خمیر و در ناحیه انتقال سرانجام به هم متصل شده و شکل شکستگی با زاویه حدود 20 تا 30 درجه نسبت به جهت بار وارده به وجود می آید [11]. لذا می توان با توجه به شکل 2ب ارزیابی کرد که به علت حذف مقداری زیادی از درشت دانه های سنگی در مخلوط، ترکهای پیوستگی برشی کمتر بوجود می آیند و از طرفی بعلا استفاده از براده های چوب، مقداری از مواد سیمانی به داخل بافت براده ها جذب شده و باعث تقویت ناحیه انتقال در این نمونه ها شده است و مسلح شدن مخلوط بتن به براده های چوب باعث این نوع شکست و عدم فروپاشی نمونه بعد از بارگذاری می شود.

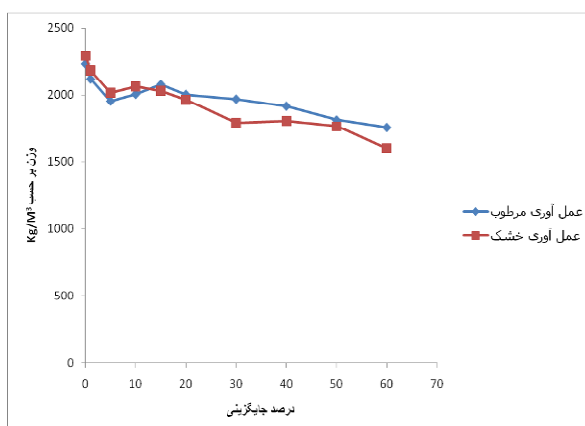


شکل 2- الف) تصویر نحوه شکست نمونه بدون براده های چوب، ب) تصویر نحوه شکست نمونه حاوی براده های چوب
روند و آهنگ کاهش مقاومت فشاری نمونه های با درصد های مختلف براده چوب و در دو محیط عمل آوری مرطوب و خشک در شکل 3 (الف، ب، ج) برای آزمایش 7، 28 و 90 روز نشان داده شده است.
در نمونه هایی که در محیط خشک عمل آوری شدند فرض بر این است که عمل آوری داخلی و پس دادن آبی که توسط براده ها جذب شده است باعث هیدراسیون سیمان و کسب مقاومت است.



شکل 3- نمودار روند کاهش مقاومت فشاری در دو محیط عمل آوری مرطوب و خشک (شکل الف، ب، ج)

با توجه به نمودارهای بدست آمده از نتایج مقاومت فشاری می‌توان دید که با جایگزینی 1 درصد از وزن مصالح سنگی با براده‌های چوب، مقاومت فشاری نمونه‌ها در هر دو نوع عمل آوری به شدت کاهش پیدا کرد. در عمل آوری مرطوب با افزایش جایگزینی براده‌های چوب، متوسط بیشترین مقاومت فشاری در آزمایش 7، 28 و 90 روزه در 20 درصد جایگزینی بدست آمد و مقدار آن $186/6 \text{ kg/cm}^2$ بود. در عمل آوری خشک در 20 درصد جایگزینی متوسط مقدار فشاری 213 kg/cm^2 بود که نسبت به عمل آوری مرطوب میزان آن بالاتر است. بر این اساس طبق نتایج مقاومت فشاری 28 روزه در درصد‌های 10 الی 50، بیشترین مقاومت مربوط به نمونه‌هایی است که در محیط خشک و با عمل آوری داخلی نگهداری شده‌اند. در تست 90 روزه نیز در جایگزینی‌های 10 و 15 درصد، میزان مقاومت فشاری در این نمونه‌ها بیشتر از نمونه‌های با عمل آوری مرطوب است. در مجموع میزان جایگزینی 10 الی 20 درصد بهینه ترین حالت برای بیشترین جایگزینی و در عین حال بالاترین مقاومت فشاری میانگین در 3 سری آزمایش 7، 28 و 90 روزه است. روند و آهنگ کاهش وزن نمونه‌های با درصد‌های مختلف براده چوب و در دو محیط عمل آوری مرطوب و خشک در شکل 4 نشان داده شده است. وزن گزارش شده، میانگین وزن نمونه‌ها در هنگام شکستن در 7، 28 و 90 روز می‌باشد.



شکل 4- نمودار روند کاهش وزن نمونه‌ها در دو محیط عمل آوری مرطوب و خشک

با توجه به نمودارهای بدست آمده از نتایج وزن نمونه‌های ساخته شده می‌توان دید که آهنگ کاهش وزن نمونه‌هایی که در محیط خشک عمل آوری شده‌اند بیشتر از نمونه‌هایی است که در محیط مرطوب عمل آوری شده‌اند. علت این امر جذب آب بیشتر بتن در محیط عمل آوری مرطوب حدس زده می‌شود. در نمونه‌هایی که در محیط مرطوب عمل آوری شدند از درصد جایگزینی 10 الی 30 درصد، وزن نمونه‌ها مجدداً نسبت به درصد‌های قبلی تغییری نمونه با جایگزینی 5 درصد افزایش می‌یابد که علت آن را می‌توان به جذب مجدد آب از محیط در این درصد‌های جایگزینی نسبت داد. در نمونه‌های با محیط عمل آوری خشک، آهنگ سریع‌تر کاهش وزن نسبت به محیط عمل آوری مرطوب را می‌توان به پس دادن آب براده‌های اشباع شده چوب به مخلوط مرتبط دانست. با توجه به نمودار بدست آمده می‌توان دید از درصد جایگزینی 15 الی 60 درصد، وزن این نمونه‌ها نسبت به نمونه‌هایی که در محیط مرطوب عمل آوری شده‌اند کمتر است.

5. نتیجه‌گیری

لزوم توجه به مدیریت مواد زائد ناشی از صنایع یکی از راه‌حلهای حفظ محیط زیست در دنیای امروزی است. در این میان صنعت ساختمان می‌تواند با مصرف درست و هوشمندانه مواد زائد ناشی از صنایع دیگر، هم از استخراج بی‌رویه منابع طبیعی بکاهد و هم با مدفون سازی این زوائد در مصالح ساختمانی مانند بتن از آلودگی بیشتر محیط زیست جلوگیری کند. زوائد و براده‌های چوبی که در این تحقیق از آنها استفاده شد، علاوه بر سبک سازی بتن بدست آمده، موجب عمل آوری داخلی آن نیز شد و بتن‌های ساخته شده کمتر نیاز به عمل آوری خارجی و نگهداری پس از ساخت دارند. میزان بهینه استفاده از این براده‌ها برای ساخت بتن جهت عمل آوری داخلی 10 الی 20 درصد وزن سنگدانه‌های مصرفی می‌باشد. البته بهتر است قبل از استفاده صنعتی برای کاربردهای خاص، این میزان برای هر پروژه و موقعیت مجدداً تعیین شود تا بتوان حداکثر مقاومت متناظر با جایگزینی براده‌های چوب به جای مصالح سنگی را بدست آورد. میزان کاهش وزن نیز همانطور که انتظار می‌رفت با جایگزینی براده‌های چوب سیر نزولی پیدا کرد که میزان این کاهش در 60 درصد جایگزینی در حدود 700 kg/m^3 می‌باشد. از دیگر مشخصات و خصوصیات بتن تهیه شده با این مواد می‌توان به عدم



فروپاشی پس از شکست بتن اشاره کرد که می تواند کاربردهای گسترده ای در ساخت پانلهای پیش ساخته برای کاهش صدمات زلزله داشته باشد، علت این امر مسلح شدن بتن بوسیله براده های چوب می باشد.

6. مراجع

1. نویل ، آدام، " خواص بتن"، ترجمه: هرمز فامیلی ، انتشارات ابوریحان بیرونی ، چاپ اول، بازنگری چهارم، 1378.
2. P. PARAMASIVRAM And Y. O. LOKE, Study of sawdust concrete, The international Journal of Lightweight Concrete. 2, No. 1, pp. 57-61 (1980) .
3. M. A. AZIZ, C. K. MURPHY and S. D. RAMASWAMY, Lightweight Concrete Using cork granules, Int. J. Lightweight Concrete, 1, No. 1, pp. 29-23 (Lancaster, 1979) .
4. وادل، دو بروولسکی، "دستنامه اجرای بتن"، ترجمه: علی اکبر رمضانیاپور ، شاپور طاحونی ، منصور پیدایش، انتشارات علم و ادب، 1382.
5. تقاضایی اول، داود، " اثر میکروسیلیس بر نرخ کسب مقاومت بتن"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، 1383.
6. Konstantin Kovler and Ole. Jensen. "Novel Techniques for Concrete Curing". Concrete International / September 2005.
7. میقانی ، قاسم، " اثر عمل آوری داخلی بتن بر مقاومت و کارایی آن"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، 1387.
8. Jensen OM, P.F. Hansen, "Models to Support justification for international water curing", Materials & Structures, V.27, No. 174, 2005, pp. 606-615
9. Daniel Cusson and Ted Hoogeveen, "International curing of high-performance concrete with presoaked lightweight aggregate sand for prevention of autogenous shrinkage cracking." National Research Council Canada, Ottawa, Ontario, Canada, KIA 0R6(2008).
10. Dale P. Bentz , Phillip M. Halleck, Abraham S. Grader, and John W. Roberts., "water Movement during Internal Curing.", Concrete international / October 2006
11. مهتا، کومار- مונته ئیرو، پائولو، "ریز ساختار، خواص و اجزای بتن"، ترجمه: علی اکبر رمضانیاپور، پرویز قدوسی، اسماعیل گنجیان، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ اول، 1383.