تاثیر استفاده از خاک اره راش و اکالیپتوس به عنوان مواد مکمل در بهبود عملکرد تخته های کامپوزیتی سیمانی

مهدی عبادی جامخانه[۱،*]، مسعود احمدی[۲] و حسین نادرپور[۳]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۱۶

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۱۸

واژگان کلیدی:

تخته کامپوزیتی،

سیمان،

مواد مکمل،

راش،

اکالیپتوس.

چکیده

در این مطالعه به بررسی آزمایشگاهی استفاده از خاک اره چوب‌های راش و اکالیپتوس، به عنوان مواد مکمل در ساخت تخته های کامپوزیتی چوب - سیمان پرداخته شده است. درصد اختلاط این مواد مکمل به عنوان عوامل متغیر و میزان سیمان ۶۰ درصد به عنوان عامل ثابت در ساخت تخته های کامپوزیتی چوب- سیمان در نظر گرفته شده است. در کل ۵ نمونه اصلی و از هر نمونه ۳ تکرار و در مجموع ۱۵ تخته کامپوزیتی ساخته شده و خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌های ساخته شده براساس استاندارد DIN ۶۸۷۶۳ مورد بررسی قرار گرفته است. سپس اثر عوامل متغیر بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها مقایسه شده است. نتایج نشان داده است که تخته های کامپوزیتی چوب - سیمان ساخته شده از خاک اره چوب‌های خالص اکالیپتوس کمترین مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و مقاومت به ضربه را در مقایسه با تخته کامپوزیتی چوب- سیمان ساخته شده از خاک اره چوب خالص راش دارا هستند. همچنین با افزودن خاک اره چوب راش (بیشتر از ده درصد) همراه با اکالیپتوس، بهبودی در حدود ۳۰ درصد در مقاومت‌های تخته کامپوزیتی چوب- سیمان ساخته شده، حاصل گردید. همچنین با اضافه کردن درصدهای مختلف خاک اره راش به اختلاط اکالیپتوس و سیمان میزان جذب آب در آزمایش ۲۴ ساعته از ۱۴/۳۴ درصد به ۱۳/۸۸ درصد کاهش داشته است.

۱-مقدمه

امروزه به دلایل مسائل اقتصادی و مشکلات زیست محیطی تولید سیمان، استفاده از مواد مکمل در ساخت مصالح به نحو چشم‌گیری توسعه یافته است. یکی از مصالح جایگزین که در کشور می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، ضایعات مختلف چوبی است. البته یکی از مشکلات اصلی در استفاده از این مصالح، کمبود منابع چوبی در مقایسه با تقاضا برای محصولات کامپوزیتی است. این موضوع بسیاری از کشورهای صنعتی را بر آن داشته است تا با روش‌های گوناگون به تولید محصولاتی با خصوصیات بهتر و با دوام‌تر روی آورند و همچنین از ضایعات مختلف تولیدات و مواد اولیه چوبی، حداکثر استفاده را بنمایند تا از فشار بیشتر به جنگل‌ها که علاوه بر نقش پر رنگ خود در تولیدات صنعتی سهم بسزایی در سیستم اکولوژیک و زیست محیطی دارند، جلوگیری شود. یکی از راهکارهای مهم در این زمینه استفاده از فراورده‌های مرکب سیمان و چوب می‌باشد. فرآورده‌های مرکب چوبی محصولاتی هستند که از چند جزء به نسبت مشخص چوب، اتصال دهنده و مواد مکمل تشکیل می‌شوند. این محصولات دارای مقاومت مناسب خمشی و کششی هستند و عایق بسیار مناسبی در مقابل

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: m.ebadi@du.ac.ir

۱. استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه دامغان.

۲. استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آیت‌الله العظمی بروجردی.

۳. دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.

گرما، سرما، صدا و رطوبت می-باشند. با استفاده از این نوع ورقه‌ها در ساختمان مصرف انواع فولاد در ساختمان کاهش می‌یابد، از این‌رو وزن سازه‌ها کمتر می‌گردد. به منظور بهبود خواص مختلف تخته‌های کامپوزیتی چوب - سیمان و افزایش کارایی آن در زمینه‌های گوناگون، تحقیقات زیادی انجام گرفته که شامل استفاده از گونه‌های چوبی متنوع، انواع سیمان، مواد افزودنی و نمونه‌های مختلف می-باشد.

مطالعات پیشین روی گونه‌های مختلف مواد کامپوزیتی چوب با سیمان پرتلند معمولی انجام گردیده است. این گونه‌ها می‌توانند اختلال کم یا زیادی در واکنش هیدراتاسیون سیمان داشته باشند. گهگاهی از افزودنی‌ها به عنوان کاتالیزور تخته کامپوزیتی چوب- سیمان استفاده می‌شود. بسته به نوع افزودنی، می‌توان شاهد بهبود مشخصات مکانیکی تخته کامپوزیتی چوب- سیمان از جمله مقاومت خمشی و چسبندگی داخلی بود [۱]. تخته کامپوزیتی چوب- سیمان ساخته شده از صنوبر و اکالیپتوس مدول گسیختگی، الاستیسیته و مقاومت به ضربه‌ی بهتری نسبت به حالتی که تخته‌ها با سیمان خالص ساخته می‌شوند، دارند [۲-۳]. تخته فیبر سیمان لیگنوسلولزی حاوی عامل فوم ساز دارای عایق هدایتی - حرارتی پایینی است که برای صرفه‌جویی در انرژی به عنوان سقف و دیوار مناسب می‌باشد [۴]. وجود بعضی از گونه ها مانند کاج رادیاتا در تخته کامپوزیتی چوب- سیمان، اثر زیان آوری روی خواص مکانیکی آن دارند [۵]. با استفاده از ترکیب خاک اره، ضایعات کاغذ و آهک می‌توان یک مصالح ساختمانی جدیدی با ویژگی‌های عایق خوب، سبک و سازگار با محیط زیست و دارای مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته مناسب را تولید کرد [۶-۷]. وجود چوب در تخته چوب سیمان- رس باعث کاهش مقاومت مکانیکی می‌شود و شکل‌پذیری و انعطاف‌پذیری محصول نهایی را افزایش می‌دهد[۸]. تخته‌های فیبر سیمان ساخته شده از الیاف پهن برگان نسبت به سوزنی برگان، کارایی بهتر داشته و همچنین سطح تخته‌ها صاف‌تر می‌باشند [۹]. تزریق گاز CO2 روی خواص تخته چوب - سیمان و زمان فرایند هیدراتاسیون سیمان اثر مطلوبی برجای می‌گذارد [۱۰]. همچنین تحقیقات نشان می‌دهد با تزریق گاز CO2 به الیاف بازیافتی MDF[1] و استفاده آن در تخته کامپوزیتی چوب- سیمان ویژگی‌های مقاومت و سختی آن افزایش می‌یابد [۱۱]. در تولید تخته کامپوزیتی چوب- سیمان می-توان از الیاف‌های غیرچوبی مانند الیاف‌های غیرآلی، شیشه-ای، معدنی، فایبرگلاس و ضایعات کشاورزی استفاده کرد. در استرالیا از گونه‌های مختلف چوبی اکالیپتوس در تهیه تخته کامپوزیتی چوب- سیمان استفاده شده است. برخی از این گونه‌ها روی واکنش هیدراتاسیون سیمان و گیرایی آن، مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی اثر منفی دارند و گونه‌های دیگر در مقایسه با حالاتی که از ضایعات غیر چوبی استفاده می‌شود برتری دارند [۱۲-۱۳]. بطور کلی وجود الیاف سلولزی در کامپوزیت سیمانی موجب کاهش هیدراتاسیون سیمان، مقاومت فشاری و افزایش تخلخل می شود [۱۴]. همچنین تحقیقات نشان داده است که استفاده از سیلیکات سدیم و پتاسیم در ساخت تخته‌های کامپوزیتی چوب- سیمان حاصل از کاغذ روزنامه موجب افزایش سختی ، مقاومت خمشی و فشاری می‌شود [۱۵]. همچنین مطالعات نشان داده است که می‌توان با استفاده از پسماند نخل، تخته‌هایی با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی استاندارد تولید نمود [۱۶].

نتایج بررسی امکان ساخت تخته خرد چوب از سرشاخه درخت بادام و صنوبر نشان داده است که ماده چوبی مورد استفاده بر ویژگی‌های تخته‌های ساخته شده تاثیر معنی داری دارد، بطوری که مقاومت خمشی تخته‌ها با افزایش مقدار مصرف سر شاخه درختان بادام، کاهش یافته است [۱۷]. در سال‌های اخیر استفاده از مخلوط الیاف چوب راش و الیاف حاصل از گیاهان شاهدانه، تنباکو، پنبه و ساقه آفتاب گردان به نسبت های مختلف در ساخت تخته فیبر مورد بررسی قرار گرفت و مناسب بودن الیاف مورد استفاده برای ساخت تخته به جزء الیاف شاهدانه و تنباکو، برای این فرایند تائید گردیده است [۱۸]. با توجه به اینکه الیاف طبیعی (لیگنوسلولزی) قابلیت تجدید شوندگی دارند و در طبیعت قابل بازیافت هستند، استفاده از این مواد در آینده نقش پررنگ‌تری را ایفا خواهد کرد، در نتیجه علاقه روز افزون مصرف کنندگان به خرید محصولات دوستدار محیط زیست، نیاز صنایع به استفاده از مواد طبیعی را افزایش می‌دهد. از این رو طیف وسیعی از مواد لیگنوسلولزی وجود

[1] Medium density fiber

دارند که می‌توانند به عنوان پرکننده و تقویت کننده در ساخت کامپوزیت‌های پلیمری در کشور ایران با توجه به منابع موجود مورد استفاده قرار گیرند.

در مطالعه حاضر، امکان استفاده از خاک اره چوب‌های راش و اکالیپتوس، به عنوان مواد مکمل در ساخت تخته کامپوزیتی چوب- سیمان مورد بررسی قرار گرفته است.

شکل ۱. خاک اره راش

شکل ۲. خاک اره اکالیپتوس

۲-مصالح و روش آزمایش

۲-۱- عوامل متغیر و ثابت در ساخت تخته

در این تحقیق از ۴۰ درصد خاک اره استفاده شده است. همچنین درصد اختلاط خاک اره راش (شکل ۱) و اکالیپتوس (شکل ۲) بدین صورت است که از ۵ سطح اختلاط بهره گرفته شده که در جدول ۱ آمده است.

از عوامل ثابت در آزمایش می توان به ۶۰ درصد سیمان، نوع سیمان، دانسیته تخته‌ها و ضخامت تخته‌ها اشاره کرد. خاک اره راش و اکالیپتوس دارای فرم و ابعاد یکنواخت هستند. نوع سیمان مصرفی در این تحقیق سیمان پرتلند تیپ ۲ و دانسیته کلیه نمونه‌ها ثابت و حدود ۰/۷ گرم بر سانتی متر مکعب می‌باشد. ضخامت اسمی نمونه‌ها ۱۵ میلی‌متر تعیین و کنترل گردیده است.

۲-۲- تهیه نمونه ها و روش آزمایش

بعد از تهیه چوب‌ها برای کم کردن مواد استخراجی و همچنین سهولت در امر برش، چوب‌ها با آب گرم عمل‌آوری شده‌اند. شرایط عمل آوری مطابق با استاندارد DIN 68763 به شرحی که در ادامه آمده است اعمال شده است. شرایط عمل‌آوری با آب گرم در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت اعمال گردیده است. خاک اره را قبل از ساخت تخته کامپوزیتی چوب- سیمان، در یک خشک کن آزمایشگاهی در دمای ۲± ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد و به درصد اختلاط چوب‌های راش و اکالیپتوس به عنوان عوامل متغیر و سیمان به عنوان عامل ثابت در ساخت چوب سیمان در نظر گرفته شده است. در پایان، مقایسه‌ای بین اختلاط خاک اره راش و سیمان و خاک اره اکالیپتوس و سیمان از دیدگاه مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، مقاومت به ضربه، درصد جذب آب و واکشیدگی انجام شده است.

جدول ۱ - درصد وزنی مواد مورد استفاده در ساخت تخته‌ها

ردیف	میزان اختلاط چوب(٪)			میزان سیمان(٪)		نمونه
	راش	اکالیپتوس	سطح	سیمان	سطح	
۱	۴۰	۰	A_1	۶۰	B	A_1B
۲	۳۲	۸	A_2	۶۰	B	A_2B
۳	۲۰	۲۰	A_3	۶۰	B	A_3B
۴	۸	۳۲	A_4	۶۰	B	A_4B
۵	۰	۴۰	A_5	۶۰	B	A_5B

جدول ۲ – جزئیات نمونه ها

نوع آزمایش	ابعاد(میلی‌متر)			تعداد نمونه از هر تخته	تعداد آزمون
	طول	پهنا	ضخامت		
جذب آب	۲۵	۲۵	۱۵	۳	۹
واکشیدگی ضخامت	۲۵	۲۵	۱۵	۳	۹
مقاومت به ضربه	۲۸۰	۵۰	۱۵	۳	۹
مقاومت خمشی و الاستیسیته	۲۸۰	۵۰	۱۵	۳	۹

مدت ۸ ساعت قرار گرفتند تا رطوبت اضافی خاک اره خارج گردد و به رطوبت زیر ۴ درصد برسند و نیز برای جلوگیری از تغییرات رطوبتی خاک اره بعد از خشک کن، خاک اره در نایلون‌های در بسته و دور از تماس با محیط نگهداری شده‌اند. مخلوط حاصل از اختلاط را به مدت ۱۵ دقیقه مخلوط کرده تا سطح تمام خاک اره با ذرات سیمان به صورت کامل پوشیده شود. این مخلوط به طور همگن و یکنواخت در قالب فلزی به ابعاد ۱۵× ۵۰ × ۲۸۰ میلیمتر و ابعاد ۱۵ × ۲۵× ۲۵ میلیمتر ریخته می شود. سپس آن را در زیر نور خورشید گذاشته تا تخته‌های کامپوزیتی سخت شوند. تهیه نمونه-های خمشی و مدول الاستیسیته، ضربه، جذب آب و واکشیدگی ضخامت مطابق با استاندارد DIN[1] 68763 انجام گرفته است که در جدول ۲ جزئیات نمونه‌ها آورده شده است.

نسبت‌های خاک اره به سیمان بر مبنای منابع و ملاحظات اقتصادی انتخاب شدند [۱۹-۲۰] و ضمناً مناسب بودن این نسبت‌ها نیز بر مبنای آزمون سقوط مورد ارزیابی قرار گرفت [۲۰]. بدین صورت که تعدادی از نمونه‌های آزمونی ساخته شده، پس از خشک شدن از ارتفاع تقریباً یک متری پرتاب شدند که در این صورت از هم پاشیدگی ساختاری در آن ها رخ نداد و بنابراین پنج نسبت ذکر شده در جدول ۱ برای مطالعه انتخاب شدند. سپس مخلوط‌ها در قالب‌های شکل-گیری ساخته شده، ریخته و عمل پرس دستی جهت فراهم کردن تراکم مورد نیاز به کمک گیره‌های نجاری به مدت ۲۴ ساعت صورت گرفت.

برای اندازه‌گیری مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته، از دستگاه Schenck موجود در آزمایشگاه صنایع چوب ساری و براساس استاندارد DIN 68763 استفاده شده است. سرعت بارگذاری در این آزمایش ۲ میلی‌متر بر دقیقه است. در هنگام آزمایش برای کلیه نمونه‌ها طول ۲۸۰ میلی‌متر، عرض نمونه ۵۰ میلی‌متر و طول دهانه ۲۵۰ میلی‌متر به طور ثابت در نظر گرفته شده است. پس از اندازه‌گیری حداکثر نیروی مورد نیاز ایجاد گسیختگی در هر نمونه با استفاده از روابط زیر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته هر نمونه محاسبه گردیده است.

$$MOR = \frac{3PL}{2BH^2} \qquad (۱)$$

$$MOE = \frac{P_1 L^3}{4BYH^3} \qquad (۲)$$

برای انجام آزمایش مقاومت به ضربه از روش آونگی به عنوان استاندارد بین المللی قابل قبولی، به کمک دستگاه Schenck موجود در آزمایشگاه صنایع چوب ساری استفاده شده است. ابعاد نمونه‌های مورد نظر ۱/۵ × ۵ × ۲۸ سانتی‌متر تهیه شده و سپس هر نمونه در جلوی دهانه دستگاه و بر روی تکیه گاه قرار داده شده است. بدین صورت که پس از قرار دادن نمونه‌ها، آونگی ۱۰ کیلوگرمی را تا فاصله یک متری بالا برده و سپس رها می گردد. پس از برخورد آونگ به وسط نمونه، نمونه شکسته شده و سپس مقدار کار انجام شده بر حسب ژول بر روی دستگاه ثبت می شود.

در آزمایش میزان واکشیدگی ضخامت، از نمونه‌هایی به ابعاد ۱/۵ × ۲۵ × ۲۵ میلی‌متر استفاده گردیده است. بر روی دو سطح هر دو نمونه قطر آن‌ها رسم و محل برخورد آن‌ها به عنوان یکی از نقاط اندازه‌گیری علامت‌گذاری شده است و چهار نقطه دیگر بر روی قطر نمونه نشان‌دار شده و در مجموع پنج نقطه برای آزمایش اندازه‌گیری شده است. ضخامت نمونه‌ها قبل از غوطه‌وری در آب به وسیله کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر و بر اساس استاندارد DIN 68763 اندازه‌گیری شده است. سپس نمونه‌ها در ظرف محتوی آب مقطر با دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد به حالت افقی و به عمق ۲ سانتی‌متر از سطح آب به حالت غوطه ور قرار گرفته‌اند. برای نگهداری نمونه‌ها به حالت افقی از توری نازک فلزی که به صورت درپوش، بر روی نمونه قرار گرفته، استفاده شده است. بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری و خروج نمونه‌ها از آب، آب سطح آن‌ها خشک و ضخامت هر یک همانند مرحله قبل اندازه‌گیری شده است. سپس نمونه‌ها برای ۲۲ ساعت دیگر در آب غوطه‌ور شده و در پایان این دوره، اندازه‌گیری ضخامت مانند حالت پیش تکرار شده است. میزان واکشیدگی ضخامت نمونه‌ها بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه-وری در آب با استفاده از روابط ۳ و ۴ محاسبه گردیده است.

$$\propto_2 \% = \frac{T_2 - T_0}{T_0} * 100 \qquad (۳)$$

[1]Deutsches Institut für Normung (German Institute for Standardization)

$$\propto_{24} \% = \frac{T_{24} - T_0}{T_0} * 100 \quad (۴)$$

همچنین در آزمایش درصد جذب آب از نمونه‌هایی به ابعاد و استاندارد آزمایش واکشیدگی استفاده شده است. ابتدا نمونه‌های آزمون توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ وزن شده است. روال انجام آزمایش همانند آزمایش واکشیدگی می‌باشد. میزان جذب آب نمونه‌ها بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب با استفاده از روابط ۵ و ۶ محاسبه گردیده است.

$$W_{a2}\% = \frac{W_2 - W_0}{W_0} * 100 \quad (۵)$$

$$W_{a24}\% = \frac{W_{24} - W_0}{W_0} * 100 \quad (۶)$$

۳- تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از روش تجزیه واریانس و در قالب طرح کاملا تصادفی با ۲ متغیر انجام گرفته است. همچنین در تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS.14 استفاده شده است و آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

روشی که به طور وسیع برای مقایسه‌ی همه جفت میانگین-ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، آزمون چند دامنه‌ای دانکن (۱۹۵۵) می‌باشد. برای اجرای این آزمون ابتدا میانگین تیمارها به صورت افزایشی مرتب و خطای استاندارد هر میانگین معین می‌شود. آزمون تفاوت مشاهده شده بین میانگین‌ها را از تفاوت بین بزرگترین و کوچکترین میانگین شروع می‌شود که با حداقل دامنه‌ی معنی‌دار مقایسه می-شود، سپس تفاوت بین بزرگ‌ترین و دومین میانگین کوچک‌تر از همه را حساب کرده و مقایسه می‌شود، این رویه تا زمانی که تمام جفت میانگین بررسی شوند ادامه می‌یابد. اگر یک تفاوت مشاهده شده از حداقل دامنه معنی‌دار مربوط به آن بزرگ‌تر باشد، نتیجه گرفته می‌شود که جفت میانگین‌های مسئله دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

۴- نتایج

۴-۱- مقاومت خمشی

مقاومت خمشی یکی از ویژگی‌های مهم فرآورده‌های کامپوزیت، از جمله تخته کامپوزیتی چوب- سیمان می‌باشد که برای تعیین کیفیت این فرآورده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. با استفاده از آزمون تجزیه واریانس اثرات متقابل عوامل متغیر در این تحقیق بر این ویژگی تعیین گردیده است. نتایج آزمون تجزیه واریانس در جدول ۳ آمده است. برای اثر سطوح فاکتورها و یافتن شرایط بهینه از آزمون دانکن استفاده شده است. اطلاعات جمع‌آوری شده از مقاومت خمشی پانل‌های کامپوزیتی چوب- سیمان ساخته شده با شرایط ساخت در شکل (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر متقابل عوامل متغیر بر مقاومت خمشی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F محاسباتی
درصد اختلاط	۴	۱۹۰/۲۴۷	۱۰۸/۳۵۹**
درصد سیمان	۱	۱۰۸۳/۲۵۱	۶۲۲/۱۰۲**
اختلاط × سیمان	۴	۱۸/۸۴۵	۱۰/۷۸۳**
خطا	۱۱	۱/۷۵۵	
کل	۲۳		

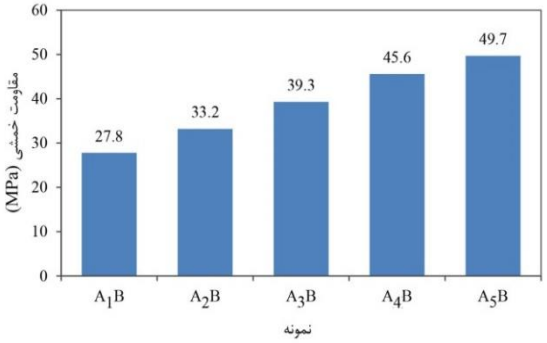
(**)در سطح ۱٪ (با ۹۹٪ اطمینان میتوان گفت که بین میانگین ها از نظر آماری اختلاف معنی داری وجود دارد).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر متقابل عوامل متغیر بر مدول الاستیسیته

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F محاسباتی
درصد اختلاط	۴	۵۵۴۱۶۷۹/۳۰۹	۱۳۰/۴۰۷**
درصد سیمان	۱	۳۵۴۴۰۳۱۹/۱۴۶	۸۲۱/۱۵۹**
اختلاط × سیمان	۴	۱۸۱۲۵۰/۸۸۴	۵/۰۲۳**
خطا	۱۱	۴۲۴۹۵/۲۵۹	
کل	۲۳		

(**) در سطح ۱٪ (با ۹۹٪ اطمینان میتوان گفت که بین میانگین ها از نظر آماری اختلاف معنی داری وجود دارد).

با توجه به نتایج آنالیز واریانس مشخص می‌شود که بین مقاومت خمشی تخته کامپوزیتی چوب- سیمان ساخته شده با درصدهای مختلف خاک اره راش و اکالیپتوس اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود دارد. اگر چه مقاومت خمشی تخته چوب - سیمان ساخته شده از ۴۰ ٪ چوب اکالیپتوس نسبت به تخته چوب- سیمان ساخته شده از راش خالص، میزان کمتری را از خود نشان می‌دهد؛ اما این میزان مقاومت در مقایسه با مقاومت خمشی تخته خرده چوب معمولی (با دانسیته و ضخامت برابر) که حدود ۱۲/۵ مگاپاسکال می‌باشد، بیشتر است [۲۱]. همچنین باید توجه داشت که مقاومت خمشی تخته چوب سیمان خالص از اکالیپتوس بیشتر از مقاومت خمشی تخته خرده چوب معمولی می‌باشد.



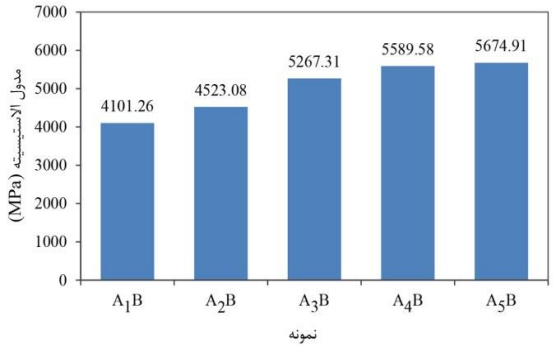
شکل ۳- مقاومت خمشی پانل های کامپوزیتی چوب- سیمان

۴-۲- مدول الاستیسیته

با توجه به این که مدول الاستیسیته رابطه تنش به میزان تغییر شکل در حالت الاستیک می‌باشد، هر چه مدول الاستیسیته بیشتر باشد، فراورده خاصیت الاستیک کمتری را دارد. در این بررسی مدول الاستیسیته تخته‌های چوب سیمان ساخته شده در شرایط مختلف محاسبه شده است و با استفاده از آزمون تجزیه واریانس متغیر بر روی این ویژگی تعیین گردیده است. نتایج آزمون تجزیه واریانس در جدول ۴ خلاصه شده است. برای یافتن اثر سطوح فاکتورها و یافتن شرایط اپتیمم از آزمون دانکن استفاده گردید. اطلاعات جمع‌آوری شده مربوط به مدول الاستیسیته در شکل (۴) نشان داده شده است.

تخته چوب-سیمان‌های ساخته شده از اکالیپتوس خالص دارای مدول الاستیسیته ۴۱۰۱/۲۶ مگاپاسکال می‌باشند و مدول الاستیسیته تخته خرده چوب معمولی ۱۹۰۰ مگاپاسکال می‌باشد [۲۱]. همانطور که ملاحظه می‌گردد مدول الاستیسیته تخته کامپوزیتی چوب- سیمان بیشتر از تخته خرده چوب معمولی می‌باشد. حتی می‌توان باتوجه به نوع کاربرد و میزان مدول الاستیسیته مورد نظر از نسبت-های مختلف اختلاط راش و اکالیپتوس استفاده نمود. در شکل (۵) ملاحظه می‌شود با افزودن ۲۰٪ خاک اره راش به اکالیپتوس به عنوان ماده لیگنوسلولزی اصلی در ساخت این محصول، مدول الاستیسیته از ۴۵۲۳/۰۸ به ۵۲۶۷/۳۱ مگاپاسکال افزایش می‌یابد.

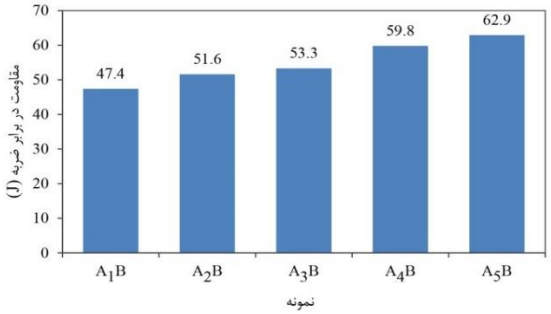
نتایج نشان داده است که با افزایش خاک اره راش و با فرض ثابت بودن درصد سیمان از مدول الاستیسیته کاسته می-شود. دلیل این امر را به ناسازگاری این گونه با سیمان به علت داشتن مواد استخراجی و دانسیته بالا مربوط دانست. مواد استخراجی چوب از هیدراتاسیون کامل سیمان جلوگیری می‌کند و در نتیجه کاهش مقدار فراورده‌های هیدراتاسیون سیمان را در پی دارد که خود دلیلی بر کاهش مقاومت پانل‌های چوب - سیمان می‌باشد.



شکل ۴- مدول الاستیسیته پانل های کامپوزیتی چوب- سیمان

۴-۳- مقاومت در برابر ضربه

ماده‌ای که مقابل شکست، مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد، قدرت جذب انرژی بیشتری را در خود دارد. با استفاده از آزمون تجزیه واریانس اثر متقابل عوامل متغیر، بر این ویژگی تعیین گردیده است. اطلاعات تحلیل شده از مقاومت ضربه پانل‌های چوب سیمان ساخته شده با شرایط ساخت در شکل ۵ آمده است. تخته چوب- سیمان‌های ساخته شده از اکالیپتوس خالص دارای مقاومت ضربه ۴۷/۴ ژول است و مقاومت ضربه تخته خرده چوب معمولی ۲۵ ژول می‌باشد. می‌توان با توجه به نوع کاربرد و میزان مقاومت ضربه مورد نظر، از نسبت‌های مختلف اختلاط راش و اکالیپتوس استفاده نمود. برای افزایش مقاومت به ضربه این محصول افزودن ۲۰٪ راش مقاومت ضربه را افزایش می‌دهد.



شکل ۵- مقاومت در برابر ضربه پانل های کامپوزیتی چوب- سیمان

مقاومت ضربه تخته چوب سیمان ساخته شده از ۵۰٪ خاک اره اکالیپتوس و ۵۰٪ خاک اره راش ۵۳/۳ ژول می‌باشد که بسیار بیشتر از تخته خرده چوب معمولی است و به راحتی می‌توان جایگزین آن گردد. در صورت استفاده از ۱۰٪ راش نیز نتیجه بسیار خوبی را نشان می‌دهد که می‌توان در مصارف متنوع استفاده نمود.

با افزایش میزان راش مقاومت ضربه این فرآورده بهبود می‌یابد و کمترین مقاومت ضربه به تخته چوب سیمان‌های حاصل از اکالیپتوس خالص است. مقاومت ضربه به قدرت پیوندهای بین مواد تشکیل دهنده و فشردگی محصول نهایی بستگی دارد که در صورت استفاده از اکالیپتوس این مشخصه کاهش می‌یابد. زیرا در صورت استفاده از گونه اکالیپتوس پیوند ضعیفی در تخته‌های حاصله بوجود می‌آید. به نظر می‌رسد این گونه به دلیل عدم سازگاری با سیمان، از سخت شدن کامل سیمان و بوجود آمدن فرآورده‌های نهایی هیدراتاسیون که باعث استحکام و ایجاد اتصالات قوی می‌گردد، جلوگیری می‌کند و دلیل دیگر مربوط به دانسیته بیشتر این گونه نسبت به راش است که در نتیجه باعث کاهش ضریب فشردگی تخته‌های ساخته شده می‌گردد، در نتیجه سطح اتصالات کمتری بین چوب و سیمان بوجود می‌آید.

۴-۴- جذب آب و واکشیدگی ضخامت

میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت از شاخص‌های مهم در ارزیابی کیفیت فرآورده‌های مرکب چوبی است. زیرا این فرآورده‌ها در مکان‌های داخلی و خارجی ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد و میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت توسط آن، معیاری از رفتار فراورده مرکب در شرایط سرویس می تواند باشد. به همین منظور میزان جذب آب تخته‌ها و واکشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب اندازه‌گیری اطلاعات جمع‌آوری شده از آزمایشات جذب آب پانل‌های چوب سیمان ساخته شده با شرایط ساخت در جدول ۵ و ۶ آمده است.

جدول ۵- میانگین جذب آب تخته چوب سیمان ساخته شده در شرایط مختلف

نمونه	میزان اختلاط خاک اره(٪)		میزان سیمان	جذب آب(٪)	
	اکالیپتوس	راش	(٪)	۲ ساعت	۲۴ ساعت
A_1B	۴۰	۰	۶۰	۹/۹۱	۱۴/۳۴
A_2B	۳۲	۸	۶۰	۹/۷۸	۱۴/۲۶
A_3B	۲۰	۲۰	۶۰	۹/۶۱	۱۴/۱۹
A_4B	۸	۳۲	۶۰	۹/۵۰	۱۴/۰۲
A_5B	۰	۴۰	۶۰	۹/۳۲	۱۳/۸۸

جدول۶- میانگین واکشیدگی ضخامت تخته چوب سیمان ساخته شده در شرایط مختلف

نمونه	میزان اختلاط خاک اره(٪)		میزان سیمان	واکشیدگی ضخامت(٪)	
	اکالیپتوس	راش	(٪)	۲ ساعت	۲۴ ساعت
A_1B	۴۰	۰	۶۰	۱/۷۵	۲/۳۶
A_2B	۳۲	۸	۶۰	۱/۰۳	۱/۸۴
A_3B	۲۰	۲۰	۶۰	۰/۴۹	۱/۴۰
A_4B	۸	۳۲	۶۰	۰/۲۲	۱/۱۳
A_5B	۰	۴۰	۶۰	۰/۰۸	۰/۷۲

یکی از مزایای منحصر به فرد این فراورده‌های مرکب جذب آب بسیار پایین می‌باشد که با تخته‌های ساخته شده با ۴۰٪ خاک اره اکالیپتوس در مقایسه با تخته خرده چوب معمولی نتایج مطلوبی را نشان داده است. به طوری که جذب آب ۲۴ ساعته تخته چوب- سیمان خالص اکالیپتوس ۱۴/۳۴ ٪ است و میزان جذب آب تخته خرده چوب معمولی در ۲۴

ساعت ۳۰٪ است. همانطور که ملاحظه می شود مقاومت به جذب آب تخته چوب سیمان خالص از اکالیپتوس بیشتر از تخته خرده چوب معمولی است که این مطلب نشان می‌دهد در بسیاری از مصارف نیاز به مقاومت به جذب آب بالایی از این محصول می‌توان استفاده نمود.

نتایج نشان می‌دهد با افزایش میزان خاک اره چوب جذب آب این محصول بیشتر می‌گردد. دلیل این امر را شاید این طور بیان کرد که با افزایش میزان خاک اره به دلیل دسترس بودن تعداد بیشتر الیاف، جذب آب بیشتر می‌شود. هرچه هیدراتاسیون کامل‌تر انجام گیرد، سبب رشد و توسعه کریستال‌های سیمان و در نتیجه اتصال بیشتر بین چوب و سیمان می‌گردد که این خود منجر به کاهش تخلخل (فضاهای خالی) پانل‌های چوب سیمان می‌گردد. همان‌طور که گفته شد خاک اره اکالیپتوس به دلیل داشتن مواد استخراجی و دانسیته بیشتر، اختلال در هیدراتاسیون سیمان را بیشتر می‌کند.

هیدراتاسیون سیمان به عنوان مانعی در برابر جذب آب توسط خاک اره عمل می‌کند که در صورت استفاده از گونه-های چوبی دارای مواد استخراجی بالا، تشکیل این فراورده بیشتر دچار اختلال می‌گردد. در نتیجه جذب آب توسط چوب و فضای خالی بین چوب و سیمان افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعته تخته چوب سیمان خالص اکالیپتوس ۲/۳۶ ٪ و برای تخته خرده چوب معمولی در ۲۴ ساعت ۲۵٪ است. ثبات ابعادی تخته چوب سیمان خالص از اکالیپتوس بیشتر از تخته خرده چوب معمولی است؛ که این مطلب نشان می‌دهد در بسیاری از مصارف نیاز به ثبات ابعادی بالایی می‌باشد از این محصول می‌توان استفاده نمود. با افزودن میزان خاک اره راش واکشیدگی ضخامت تخته حاصله کاهش می‌یابد. با افزودن ۲۰٪ خاک اره اکالیپتوس واکشیدگی ضخامت افزایش می‌یابد. این موضوع در استفاده از ۵۰٪ راش و ۵۰٪ اکالیپتوس نیز صادق است. برای افزایش ثبات ابعادی چوب سیمان می‌توان از نسبت‌های اختلاط گونه‌های اکالیپتوس و راش استفاده نمود که با توجه به کاربرد و میزان مقاومت مورد نظر هزینه‌ها قابل توجیه باشد.

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق تاثیر استفاده از گونه‌های راش و اکالیپتوس در ساخت تخته های چوب سیمان مورد بررسی قرار گرفت. مراحل ساخت این تحقیق با عامل متغییر، درصد اختلاط گونه‌های مصرفی و عامل ثابت ۶۰٪ سیمان پرتلند تیپ ۲ انجام و تاثیر این عوامل بر خواص فیزیکی و مکانیکی تخته سیمان ساخته شده مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آزمایشات خمشی، مدول الاستیسیته، مقاومت به ضربه، جذب آب و واکشیدگی ضخامت نشان داد که استفاده از چوب راش نسبت به اکالیپتوس تاثیر بهتری در خواص مکانیکی نمونه دارد. با توجه به نوع کاربرد تخته چوب سیمان و میزان مقاومت مدنظر، می‌توان از نسبت‌های مختلف اکالیپتوس و راش استفاده نمود که هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ فنی و کیفی قابل رقابت با محصولات مشابه دیگر است.

مراجع

[1] Y. M. Wei, Y. G. Zhou, and B. Tomita, "Study of hydration behavior of wood cement based composite in effect of chemical additives on the hydration characteristics and strengths of wood cement composites", Journal of Wood Science, Vol. *46*, NO. *6*, December 2000, pp. 444 – 451.

[2] A. Ashori, T. Tabarsa, and S. Sepahvand, "Cement-bonded composite boards made from poplar strands", Construction and Building Materials, Vol. *26*, NO. *1*, January 2012, pp. 131 – 134.

[3] A. Ashori, T. Tabarsa, K. Azizi, and R. Mirzabeygi, "Wood–wool cement board using mixture of eucalypt and poplar", Industrial Crops and Products, Vol. *34*, NO. *1*, July 2011, pp. 1146 – 1149.

[4] Z. Naghizadeh, M. Faezipour, G Ebrahimi, and Y. Hamzeh, "Manufacture of lignocellulosic fiber–cement boards containing foaming agent", Construction and Building Materials, Vol. *35*, October 2012, pp. 408 – 413.

[5] K. Semple, and P. D. Evans, "Adverse effect of heartwood on the mechanical properties of wood-wool cement boards manufactured from radiate pine wood", Wood and fiber Science, Vol. *32*, NO. *1*, June 2007, pp. 37 – 43.

[6] E. P. Aigbomian, and M. Fan, "Development of Wood-Crete building materials from sawdust and waste paper", Construction and Building Materials, Vol. *40*, March 2013, pp. 361 – 366.

[7] P. Turgut, "Cement composites with limestone dust and different grades of wood sawdust", Building and Environment, Vol. *42*, NO. *11*, November 2007, pp. 3801 – 3807.

[8] K. Al Rim, A. Ledhem, O. Douzane, R. Dheilly, and M. Queneudec, "Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay cement wood composites", Cement and Concrete Composites, Vol. *21*, NO. *4*, August 1999, pp. 269 – 276.

[9] Y. Shao, S. Moras, N. Ulkem, and G. Kubes, "Wood fiber-cement composites by extrusion", Canadian Journal of Civil Engineering", Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. *27*, NO. *3*, June 2000, pp. 543 – 552.

[10] D. Hermawan, T. Hata, S. Kawai, W. Nagadomi, and Y. Kuroki, "Effect of carbon dioxide- air concentration in the rapid curing process on the properties of cement bonded particleboard", Journal of Wood Science, Vol. *48*, NO. *3*, June 2000, pp. 179 – 184.

[11] H. Qi, P. A. Cooper, and H. Wan, "Effect of carbon dioxide injection on production of wood cement composites from waste medium density fiberboard (MDF)", Waste Management, Vol. *26*, NO. *5*, January 2006, pp. 509 – 515.

[12] P. Jongvisuttisun, C. Negrello, and K. E. Kurtis, "Effect of processing variables on efficiency of eucalyptus pulps for internal curing", Cement and Concrete Composites, Vol. *37*, March 2013, pp. 126 – 135.

[13] H. Savastano, P. G. Warden, and R. S. P. Coutts, "Brazilian waste fibers as reinforcement for cement based composite", Cement and Concrete composites, Vol. *22*, NO. *5*, October 2000, pp. 379 – 384.

[14] N. Neithalath, J. Weiss, and J. Olek, "Acoustic performance and damping behavior of cellulose cement composites", Cement and Concrete composites, Vol. *26*, NO. *4*, May 2004, pp. 359 – 370.

[15] J. L. Pehanich, P. R. Blankenhorn, and M. Silsbee, "Wood fiber surface treatment level effects on selected mechanical properties of wood fiber cement composites", Cement and Concrete Research, Vol. *34*, NO. *1*, January 2004, pp. 59 – 65.

[۱۶] احمد جهان لتیباری، فرداد گلبابائی، عباس تمجیدی، بابک سبحانی، کمیل رئوف کیا، "بررسی استفاده از ضایعات چوبی شهری در تولید تخته خرده‌چوب"، فصلنامه تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، دوره ۲۸، شماره ۱ - شماره پیاپی ۴۲، بهار ۱۳۹۲، ۱۰۹ تا ۱۲۲.

[۱۷] دوست حسینی کاظم, خادمی اسلام حبیب اله، "بررسی استفاده صنعتی از منابع لیگنوسلولزی ایران، استفاده از سرشاخه های درختان میوه در صنایع تخته خرده چوب"، مرکز اطلاعات علمی (مجازی)، ۱۳۷۳, دوره ۱, شماره ۱، ۶۳ تا ۷۷.

[۱۸] کرد بهروز, کرد بهزاد, پورعباسی سارا, کیایی فر آزاده، "بررسی اثر مقدار و نوع ماده تقویت کننده لیگنوسلولزی بر ویژگی‌های فیزیکی - مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک"، علوم و فنون منابع طبیعی، پاییز ۱۳۸۹, دوره ۵, شماره ۳; ۵۷ تا ۶۸.

[19] R. W. Wolfe, and A. Gjinolli, "Durability and strength of cement- bonded wood particle composites made from construction waste", Forest Products Journal, Vol. *49*, February 1999, pp. 24 – 31.

[20] A. Zziwa, S. Kizito, A. Y. Banana, J. R. S. Kaboggoza, R. K. Kambugu, and O. E. Sseremba, "Production of composite bricks from sawdust using Portland cement as a binder", Uganda Journal of Agricultural Sciences, Vol. *12*, NO. *1*, June 2006, pp. 38 – 44.

[21] M. H. Hachmi, and A. A. Moslemi, "Correlation between wood-cement compatibility and wood extractives", Forest Product Journal, Vol. *39*, 1989, pp. 55 – 58.