

## افزایش ظرفیت باربری خمشی کامپوزیت‌های سیمانی با استفاده از الیاف طبیعی

مرتضی خرمی مهندس<sup>۱\*</sup>، احمد امین خلیلی طبس<sup>۲</sup> و امیر نوربخش<sup>۳</sup>

\*- مسئول مکاتبات، کارشناس ارشد، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، پست الکترونیک: khorrami@bhrc.gor.ir

۲- کارشناس، رشته دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳- استادیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده های آن، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور

تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۸۸

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۸۷

### چکیده

اوراق سیمانی ساخته شده با سیمان خالص دارای مقاومت خمشی کمی بوده و در کرنش های بسیار کم دچار شکست می شوند. لذا برای رفع این مشکل و ارتقای سایر ویژگیهای مورد نیاز برای این ورقه‌ها، از الیاف مختلف استفاده می شود. از اوایل قرن بیستم تا کنون در ایران از الیاف آزبست برای تقویت این کامپوزیتها استفاده می شود که خواص منحصر به فردی در کامپوزیت ایجاد می کند. هر چند در دهه اخیر، اغلب کشورها کاربرد الیاف آزبست را در صنعت ساختمان را به دلیل تاثیر الیاف آزبست بر سلامتی انسان، ممنوع کرده اند. در این راستا، الیاف طبیعی به عنوان گزینه های مناسب برای جایگزینی الیاف آزبست مطرح هستند که می توانند سازگاری نسبتا مناسبی با خمیر سیمان ایجاد کنند. در تحقیق حاضر، برای شناخت رفتار خمشی که یکی از مهمترین ویژگیهای ورقهای سیمانی است، نمونه‌های آزمایشگاهی زیادی با استفاده از سه نوع الیاف، طراحی، ساخته و آزمایش شد. الیاف استفاده شده اغلب الیاف حاصل از ضایعات کشاورزی شامل باگاس (ساقه نیشکر)، گندم و الیاف چوبی (اکالیپتوس) بوده است. همچنین برای شناخت ریزساختار کامپوزیت حاصله، مطالعات میکروسکوپی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM) نیز انجام شده است. نتایج نشان می دهد که بین الیاف به کار رفته باگاس بیشترین تاثیر را در افزایش ظرفیت باربری خمشی کامپوزیت سیمانی ایفا کرده است

واژه‌های کلیدی: ورقهای سیمانی، الیاف کشاورزی، مقاومت خمشی.

### مقدمه

تا حدود بیست سال قبل تنها الیاف مناسب برای ساخت ورقه‌های سیمانی، الیاف آزبست محسوب می شد. این الیاف که از معادن آزبست استخراج می شود از ترکیبات سیلیس و برخی دیگر از کانی ها تشکیل شده است. آزبست با توجه به نوع ترکیبات معدنی موجود در آن به دو گروه تقسیم می شود: سرپنتینها<sup>۱</sup> و آمفیبولها<sup>۲</sup>. نام تجاری

ورقهای سیمانی یکی از مهمترین انواع فرآورده های ساختمانی محسوب می شود که قدمت تولید و مصرف آن به حدود یکصد سال قبل باز می گردد. این ورقه ها که در اغلب نقاط جهان به شیوه هچک تولید می شوند، در انواع کاربری های ساختمان مانند پوشش سقف، کف، دیوارهای داخلی و خارجی ساختمانها استفاده می شوند. مصالح اصلی تشکیل دهنده آنها شامل: آب، سیمان و الیاف می باشد.

1- serpentines  
2- amphiboles

کامپوزیت‌های سیمانی و اقتصادی تر کردن آنها همچنان ادامه دارد [۵-۱۴]. بر اساس این تحقیقات الیاف بسیار زیادی مورد بررسی قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

الیاف فولاد و شیشه، الیاف جدید با مدولهای بالا همانند پلی وینیل الکل، کربن و کولار و یا سایر الیاف مصنوعی با مدول پائین مانند اکریلیک، پلی‌پروپیلن و نایلون و یا الیاف طبیعی همانند الیاف سلولزی، باگاس، گندم، نارگیل، موز و کنف.

این نوع از الیاف به مقدار زیادی در خصوصیات و ویژگی‌های اقتصادی با یکدیگر تفاوت دارند. هر یک از الیاف می‌تواند یک یا چند ویژگی کامپوزیت‌های سیمانی را ارتقا دهند، عده‌ای نفوذپذیری و جذب آب را کاهش می‌دهند، برخی شکل‌پذیری و برخی دیگر مقاومت خمشی را بهبود می‌بخشند. هرچند سازگاری برخی از الیاف ذکر شده با خمیر سیمان اثبات شده است، اما محققان در نقاط مختلف دنیا به دنبال یافتن ترکیب مناسبی از الیاف هستند که تولید و کاربرد آنها از جوانب مختلف بتواند خواص کامپوزیتها را افزایش دهد. بررسی‌های انجام شده در این راستا نشان می‌دهد که الیاف طبیعی به علت سازگاری زیاد با خمیر سیمان و ایجاد پیوندهای قوی بین خمیر و الیاف می‌توانند کامپوزیت‌های سیمانی مناسبی را تولید کنند. در کشورهای مختلف بنا بر شرایط مختلف اقلیمی، جغرافیایی، زمین‌شناسی و سایر شرایطی که در تولید الیاف نقش دارند، الیافی را می‌توان تولید نمود که دارای ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی مختلفی هستند و می‌توانند در عملکرد کامپوزیت نقش داشته باشند. از طرف دیگر، به دلیل پیچیدگی بسیار زیاد الیاف در ساختار تشکیل دهنده آنها، به ویژه الیاف طبیعی که از

سرپنتاینها، کریزوتایل<sup>۳</sup> یا آزبست سفید می‌باشد. آمفوبیلها متناسب با نوع ساختارشان به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند: کروسیدولایت (آزبست آبی)، آموزیت (آزبست قهوه ای) و آنتوفیلیت. [۱].

از اواخر دهه ۷۰ میلادی، پیشرفتهای به دست آمده در علوم پزشکی نشان داد که الیاف آزبست به دلیل ساختار مواد تشکیل دهنده آن و همچنین کوچک بودن ذرات آن (الیافی با طول حدود ۳ میلی‌متر و قطر کمتر از ده میکرون) می‌توانند وارد جریان طبیعی هوا شده و از طریق دستگاه تنفسی وارد ریه انسان شده و منجر به بیماریهای بسیار خطرناکی از جمله ازبستوسیس، مزوتلیما و سرطان ریه شوند. به همین دلیل بسیاری از کشورها برای حذف آزبست از صنعت ساخت و ساز تلاش گسترده ای را آغاز نمودند و امروزه کاربرد آنرا به طور کلی ممنوع کرده اند. [۲ و ۳].

از اولین کشورهایی که موفق به یافتن الیافی برای جایگزینی الیاف آزبست در ورقه های سیمانی شد می‌توان کشور استرالیا را نام برد که در سال ۱۹۸۶ بعد از حدود چهار سال همکاری مشترک دو مرکز تحقیقاتی و یک کارخانه تولید کننده ورقهای سیمانی، توانست با ترکیبی از الیاف سلولزی و الیاف مصنوعی نسبت به تولید ورقهای سیمانی (بدون آزبست، سازگار با محیط زیست و بدون مخاطرات احتمالی برای سلامتی انسان) اقدام نماید [۴].

از آنجاییکه الیاف سلولزی و مصنوعی به کار گرفته شده در کشور استرالیا از نظر اقتصادی و امکان دسترسی برای بسیاری از کشورها میسر نبود در سالهای اخیر تحقیقات نسبتاً زیادی در جهان به منظور یافتن الیاف دیگر انجام شده است و این تحقیقات برای ارتقای ویژگی‌های

الیاف بزرگتر به مدت ۲۴ ساعت در آب قرار گرفت. طول آنها در محدوده ۱-۰/۸ میلیمتر و قطر آنها حدود ۰/۴۸ میلی‌متر می‌باشد.

**الیاف باگاس (نیشکر):** الیاف باگاس به طول ۳-۰/۵ میلیمتر و قطر حدود ۰/۳ میلیمتر مورد استفاده قرار گرفت. این الیاف قبل از استفاده به مدت ۲۴ ساعت در آب قرار گرفت و سپس در آزمایشگاه آسیاب شد. الیاف ریز که به صورت خاکه بوده با الک ۱۵۰ میکرون جدا شد.

مرحله اول آماده سازی الیاف به این صورت بود که ابتدا آنها مرطوب شده و با عبور الیاف از بین یک چرخ دنده متحرک و یک قسمت ثابت به صورت مکانیکی فیبریله (پالایش) شدند. فیبریلایسون اثرات مختلفی بر الیاف دارد. اگر فیبریله شدن در سطح خارجی الیاف صورت گیرد به خوبی توسط میکروسکوپ قابل مشاهده است (شکل-۱). در این حالت فیبریله‌ایی در سطح الیاف ایجاد می‌شود که در ایجاد پیوند مکانیکی با الیاف نقش بسیار مهمی خواهد داشت. اگر اثر فیبریله شدن داخلی باشد، به سختی می‌توان اثر آنرا توسط تصاویر میکروسکوپی مشاهده نمود، ولی اثر آنرا می‌توان به باز شدن طناب با پیچاندن آن در جهت عکس بافته شده توضیح داد. کوتاه شدن الیاف نیز می‌تواند در حین عمل‌آوری رخ دهد و حتی الامکان بایستی سعی نمود تا از این عمل جلوگیری کرد. در حین عمل‌آوری با کنده شده فیبریلها از سطح خارجی می‌تواند خاکه تولید شود. این مواد در ساخت کامپوزیت اثر مخربی دارند و تا جایی که امکان دارد قبل از استفاده توسط الک جدا می‌شوند.

گیاهان بدست می‌آیند، معمولاً تنها برخی آزمایشات اولیه مانند مقاومت کششی بر روی الیاف انجام می‌شود و سپس کامپوزیت‌ها سیمانی با آنها ساخته شده و خواص آنها متناسب با نوع کاربردشان مانند مقاومت کششی، مقاومت خمشی، دوام و ... مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در این تحقیق، سه نوع از الیاف طبیعی موجود در کشور ایران انتخاب و عملکرد آنها، در تغییر ظرفیت باربری خمشی کامپوزیت‌های ساخته شده با این سه نوع الیاف، بررسی شده است.

## مواد و روشها

### مواد مورد استفاده

**سیمان:** سیمان استفاده شده، سیمان تپ دوم کارخانه تهران است که آزمون‌های لازم برای شناخت ویژگیهای آن بر اساس استاندارد ۳۹۸ ایران انجام و مورد تایید قرار گرفت.

**آب:** آب استفاده شده، آب قابل شرب می‌باشد.

**الیاف:** الیاف مورد بررسی در این تحقیق سه نوع از الیاف به دست آمده از ضایعات حاصل از محصولات کشاورزی است که در ایران کاربرد خاصی برای آنها وجود ندارد و در بسیاری از مواقع آنها سوزانده می‌شوند. این الیاف به شرح زیر بودند.

**الیاف گندم:** در مورد این الیاف نیز ذرات ریز جدا شد. همچنین به مدت ۲۴ ساعت در آب غوطه‌ور بودند. این الیاف دارای طول حدود ۱ تا ۱/۵ میلیمتر و قطر ۰/۴-۰/۳ میلیمتر هستند.

**الیاف اکالپتوس:** این الیاف دارای ذرات ریز بوده است. پس از جداکردن ذرات کوچکتر از ۱۵۰ میکرون،



(ب)



(الف)

شکل ۱- اثر عمل آوری بر سطح الیاف (الف) قبل از عمل آوری (ب) بعد از عمل آوری

باگاس و ساقه گندم. در ورقه های سیمانی حاوی الیاف، تاثیر میکرو سیلیس به عنوان یک ماده افزودنی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۱ مشخصات نمونه های ساخته شده و نامگذاری آنها را نشان می دهد.

### طرح اختلاط و نحوه ساخت نمونه ها

در تحقیق حاضر که برخی از الیاف موجود در ایران به عنوان مسلح کننده ورقه های سیمانی مورد بررسی قرار گرفت، پارامتر اصلی مورد آزمون نوع و درصد افزودن الیاف بوده است. این الیاف عبارتند از: الیاف اکالیپتوس،

جدول ۱- طرح اختلاط نمونه ها و نامگذاری آنها

نام آزمونه	سیمان gr	آب gr	میکروسیلیس gr	الیاف gr	توضیحات
control	۱۵۰	۴۵۰	-	-	نمونه سیمانی بدون الیاف
W2	۱۵۰	۴۵۰	-	۳	کامپوزیت سیمانی حاوی ۲درصد الیاف گندم
W2M5	۱۴۲/۵	۴۵۰	۷/۵	۶	نمونه سیمانی حاوی ۲ درصد گندم و ۵ درصد میکروسیلیس
W4	۱۵۰	۴۵۰	-	۶	کامپوزیت سیمانی حاوی ۴ درصد الیاف گندم
W4M5	۱۴۲/۵	۴۵۰	۷/۵	۶	نمونه سیمانی حاوی ۴ درصد گندم و ۵ درصد میکروسیلیس
B2	۱۵۰	۴۵۰	-	۳	نمونه سیمانی حاوی ۲درصد باگاس
B2M5	۱۴۲/۵	۴۵۰	۷/۵	۳	نمونه سیمانی حاوی ۲درصد باگاس و ۵ درصد میکروسیلیس
B4	۱۵۰	۴۵۰	-	۶	نمونه سیمانی حاوی ۴ درصد باگاس
B4M5	۱۴۲/۵	۴۵۰	۷/۵	۶	نمونه سیمانی حاوی ۴درصد باگاس و ۵ درصد میکروسیلیس
O2	۱۵۰	۴۵۰	-	۳	کامپوزیت سیمانی حاوی ۲ درصد اکالیپتوس
O2M5	۱۵۰	۴۵۰	-	۳	کامپوزیت سیمانی حاوی ۲ درصد اکالیپتوس و ۵ درصد میکروسیلیس
O4	۱۵۰	۴۵۰	-	۳	کامپوزیت سیمانی حاوی ۴ درصد اکالیپتوس
O4M5	۱۵۰	۴۵۰	-	۳	کامپوزیت سیمانی حاوی ۴ درصد اکالیپتوس و ۵ درصد میکروسیلیس

\*در نمودارهای بیان نتایج 2M5 و 4M5 به ترتیب معرف نمونه حاوی ۲ و ۴ درصد الیاف و ۵ درصد میکروسیلیس است.

(شکل-۲). در این قالب، آب اضافی از طریق مکش از پائین به وسیله پمپی با قدرت  $0/9$  بار خلا از نمونه ها خارج شد. در حین آبکشی، برای متراکم کردن نمونه ها، وزنه ای به وزن  $10$  کیلوگرم روی نمونه ها قرار گرفت. سپس نمونه ها به ابعاد  $8 \times 18 \times 0/7$  cm از قالب خارج شدند (شکل-۳). پس از یک ساعت نگهداری نمونه ها در هوای آزاد، این نمونه ها به مدت  $28$  روز در رطوبت  $100$  درصد در اتاق بخار نگهداری شدند. سپس نمونه ها در آون با دمای  $75$  درجه سانتی گراد به مدت  $6$  ساعت خشک شده و برای انجام آزمایش آماده شدند.



شکل ۳- ورق های سیمانی تولید شده در آزمایشگاه

برای انجام آزمایش، حجم مشخصی از مایه خمیر چوب داخل استوانه ای که در زیر محفظه مخروطی شکلی است، وارد می شود. در این محفظه دو اریفیث یکی در کف و دیگری در کنار محفظه مخروطی شکل قرار گرفته است. حجم مایع عبوری از اریفیث کناری اندازه گیری می شود. این حجم، بعد از تصحیح ضرایب دما و غلظت مایه خمیر، به عنوان درجه روانی گزارش می گردد. در این تحقیق پس از عمل آوری الیاف، آزمایش درجه روانی طبق روش مذکور انجام گرفت. میانگین نتایج CSF  $500$  بود که بر اساس نتایج سایر محققین [۱] بایستی در محدوده  $400-700$  CSF باشد.

کامپوزیتهای سیمانی با نسبت آب به سیمان برابر  $3$  ساخته شدند. در ابتدا الیاف به مدت  $5$  دقیقه در یک همزن که دارای پره های افقی به شعاع  $2$  میلیمتر است از یکدیگر جدا شدند. علت این امر باز کردن الیاف به هم پیچیده برای توزیع مناسب در خمیر سیمان می باشد. سپس سیمان، آب و الیاف در محفظه ای به مدت  $5$  دقیقه با یکدیگر مخلوط شدند. در برخی نمونه ها  $5$  درصد وزنی سیمان با میکروسلیس جایگزین گردید. پس از آماده سازی مصالح و مخلوط کردن آنها، دوغاب بدست آمده در داخل قالب مکعب مستطیلی به ابعاد حدود  $8 \times 18 \times 15$  cm ریخته شد



شکل ۲- تجهیزات مورد استفاده برای ساخت نمونه ها

### آزمون درجه روانی استاندارد

یکی از مهمترین مشخصات الیاف برای استفاده در ماتریس سیمانی، درجه روانی استاندارد کانادایی<sup>۴</sup> می باشد که روشی برای اندازه گیری خواص زهکشی خمیر چوب می باشد. نتایج درجه روانی به مقدار زیادی به وجود ذرات ریز و خرده چوب های موجود، درجه فیبریله شدن، انعطاف پذیری الیاف و درجه ریزی آنها بستگی دارد. این آزمایش بر اساس استاندارد AS/NZS 1301.206s:2002 انجام گردید.

4 Canadian Standard Freeness (CSF)

## ویژگیهای فیزیکی الیاف

امکانات موجود آزمایشگاهی انجام و نتایج در جدول ۲

ارائه شده است.

از آنجاییکه رفتار الیاف در کامپوزیت به ویژگیهای

الیاف بستگی دارد، لذا برای شناخت این ویژگیها در حد

جدول ۲- نتایج آزمایشها فیزیکی الیاف

نوع لیف	باگاس	اکالیپتوس	گندم
میانگین طول (میلیمتر)	۱/۳۰۳	۱/۴۶۶	۱/۲۳۸
میانگین قطر (میلیمتر)	۰/۳۴۸	۰/۴۸۰	۰/۳۵۵
میانگین مقاومت کششی (Mpa)	۱۱۵/۹۴۷	۳۵/۴۴۰	۸/۰۹۳
نسبت طول به قطر	۳/۷۴۴	۳/۰۵۴	۳/۴۸۷

## آزمایشهای ورقهای سیمانی

مقاومت خمشی به صورت صفحه ای بوده و به روش

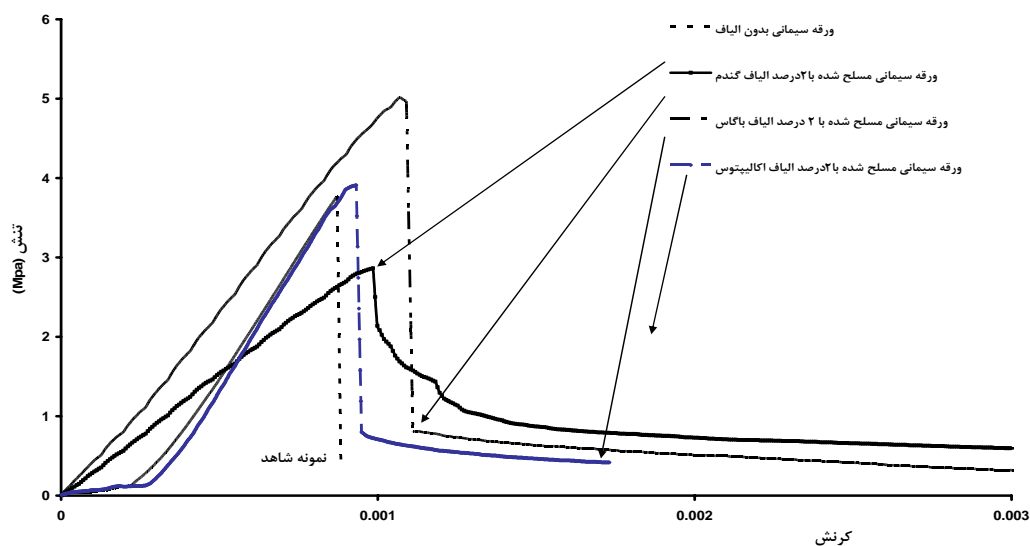
بارگذاری یک نقطه ای مطابق استاندارد EN 12467:2004

آزمایش می‌شوند.

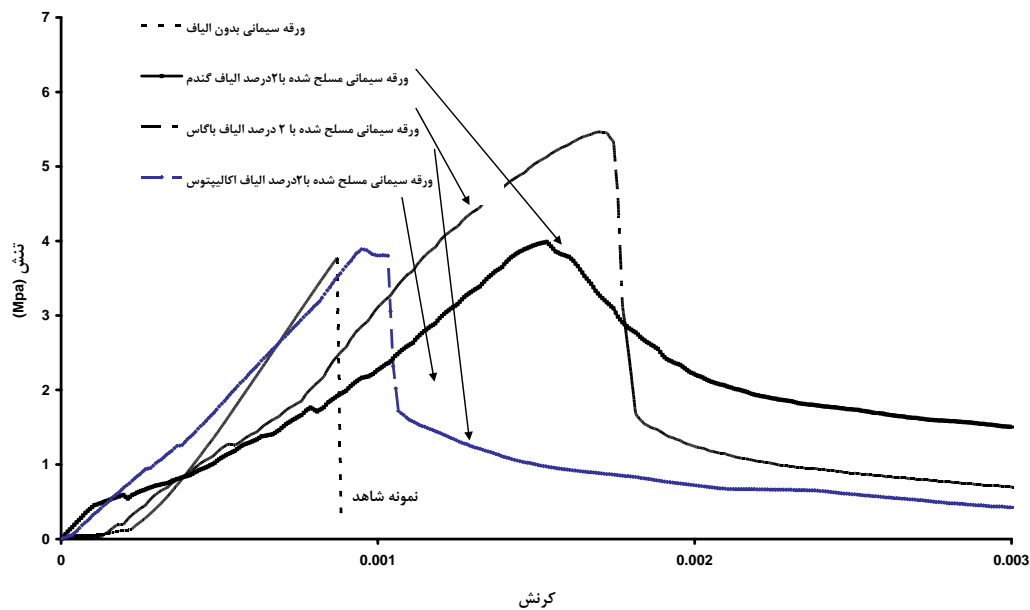
## آزمون مقاومت خمشی

در این تحقیق مقاومت در برابر بار خمشی مورد

بررسی قرار گرفته است. نمونه‌های ساخته شده برای



شکل ۴- نمودار تنش - کرنش ورقه‌های سیمانی مسلح شده با الیاف گیاهی (۲ درصد) و مقایسه با نمونه شاهد



شکل ۵- نمودار تنش-کرنش ورقه‌های سیمانی مسلح شده با الیاف گیاهی (۴ درصد) و مقایسه با نمونه شاهد

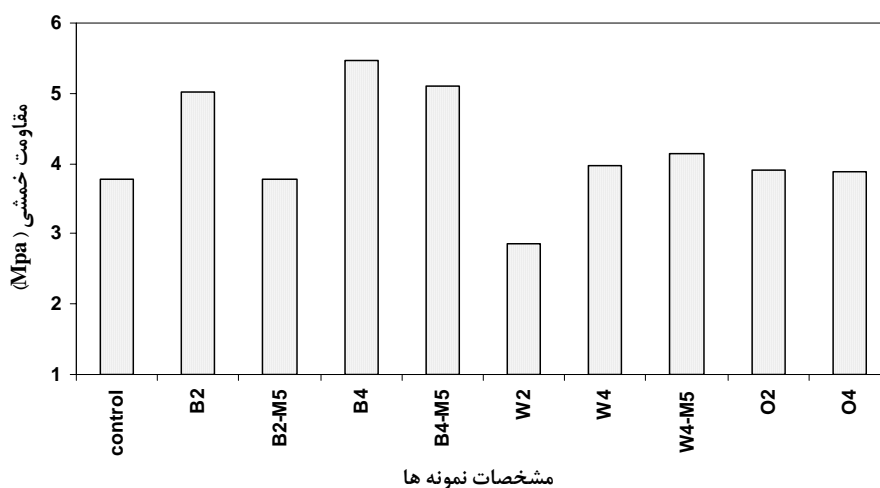
قسمت الاستیک) مشخص می‌شود که ورقه‌های سیمانی بدون الیاف دارای رفتار ارتجاعی خطی بیشتری نسبت به ورقه‌های کامپوزیتی حاوی الیاف می‌باشند. این نمودارها نشان می‌دهند که استفاده از الیاف طبیعی در ورقه‌های سیمانی می‌تواند سبب افزایش حداکثر تنش تسلیم در آنها شود که براساس نوع لیف، نحوه عمل‌آوری و درصد مورد استفاده تعیین می‌شود. برای مثال در نمودار شکل-۴ اوکالیپتوس در ماتریس سیمان بهتر از الیاف گندم در بهبود مقاومت خمشی بوده است. مهمترین تفاوت در نمودارهای تنش-کرنش این ورقه‌ها، رفتار آنها بعد از تحمل حداکثر بار وارده است. در نمونه‌های شاهد (کنترل) که در آنها از الیاف استفاده نشده است، بلافاصله بعد از رسیدن به نقطه اوج، نمونه به صورت ناگهانی شکسته شده و توانایی باربری را به صورت کامل از دست داده است. در کامپوزیت‌های حاوی الیاف، بعد از تحمل حداکثر بار، کاهش ناگهانی در ظرفیت باربری مشاهده

در شکل ۴ و ۵ منحنی‌های تنش-کرنش کامپوزیت‌های حاوی الیاف و بدون الیاف برای دو حالت شامل افزودن ۲ و ۴ درصد الیاف رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، ورقه‌های سیمانی بدون الیاف هنگام اعمال بار رفتار کاملاً شکننده و ترد از خود نشان می‌دهند. به عبارت دیگر، هنگام افزایش اعمال بار و رسیدن به نقطه تسلیم، ورقه سیمانی ناگهان از هم گسسته می‌شود. با افزودن الیاف به ورقه‌های سیمانی رفتار خمشی نمونه‌ها تغییر می‌کند. به طوریکه شیب قسمت اول نمودار (در وحله صعودی) کاهش یافته و همچنین بعد از رسیدن به بار حداکثر، شکست آنها به صورت ترد نبوده و انعطاف‌پذیری نسبتاً زیادی در آنها ایجاد می‌شود. برخلاف انتظار اولیه که الیاف بلافاصله بعد از اولین ترک مویی در نمونه‌ها وارد عمل می‌شود، در اینجا مشاهده می‌شود که از ابتدای مراحل بارگذاری وجود الیاف در باربری نقش دارند. همچنین با دقت در این نمودارها (در

توزیع یکنواخت الیاف در کامپوزیت ایجاد نمی شود. به همین دلیل، الیاف در درصدهای بالاتر مورد آزمون قرار نگرفت. هر چند ممکن است با توجه به فرایند هیچک و با توجه به تشکیل لایه ها بر روی نمد تسمه نقاله، امکان افزایش درصد الیاف باگاس در فرایند واقعی هیچک بیشتر از مقادیر آزمایشگاهی فراهم شود. در مورد مقادیر بیشتر از ۲ درصد نیز به نظر می رسد که الیاف باگاس در کامپوزیت سازگاری خوبی دارد و با پذیرش نقش تقویت کنندگی در ورقه سیمانی سبب بهبود مقاومت خمشی آن می گردد. اما همانطور که اشاره شد، شکل ظاهری نمونه ها نمی تواند مورد تایید باشد. تراکم سیمان در یک وجه و تراکم الیاف در وجه دیگر سبب ضعف در مقاومت خمشی خواهد شد و بنابراین اضافه کردن این الیاف در مقادیر بالاتر ۲ درصد متوقف گردید. با به کار بردن میکروسلیس به مقدار ۵ درصد وزنی جایگزین سیمان در کامپوزیت های سیمانی، مقاومت خمشی نمونه های حاوی ۲ و ۴ درصد باگاس به ترتیب ۲۷ و ۶ درصد کاهش یافته است.

نمی شود و نمونه ها می توانند به تحمل بار ادامه دهند، البته مقدار آن در نمونه های مختلف، متفاوت است. این رفتار به علت پل زدن الیاف بین دو ترک ایجاد شده می باشد. تقریباً در تمام نمونه ها، اضافه نمودن الیاف به ورقه های سیمانی رفتار ترد و شکننده این مواد در طی اعمال بار خمشی را به سمت رفتار شکل پذیر نزدیک می کنند.

شکل ۶ حداکثر ظرفیت بارگذاری خمشی قابل حمل برای نمونه های حاوی الیاف ضایعات کشاورزی را در حالات مختلف نشان می دهد. افزودن الیاف باگاس به مقادیر ۲ و ۴ درصد به کامپوزیت های سیمانی به ترتیب سبب افزایش مقاومت خمشی به مقدار ۳۷ و ۴۴ درصد نسبت به نمونه شاهد شده است. بیشترین نرخ افزایش با افزودن الیاف تا ۲ درصد ایجاد می گردد. با افزایش الیاف بیش از ۲ درصد، به دلیل وزن سبک الیاف باگاس، این الیاف در مخلوط به صورت همگن نبوده و بر روی سطح دوغاب ظاهر می شوند و بدین ترتیب لایه های سیمان با درصدهای مختلف باگاس ایجاد شده و به عبارت دیگر



شکل ۶- مقاومت خمشی ورقه های سیمانی کامپوزیت حاوی الیاف



مقاومت کامپوزیت بالاتر از نمونه شاهد می‌گردد. استفاده از میکروسیلیس در این نمونه‌ها در جهت بهبود مقاومت خمشی عمل می‌کند. برای تشریح این رفتار نحوه قرارگیری الیاف گندم در خمیر سیمان مورد بررسی دقیق‌تر قرار گرفت. بر اساس مشاهدات انجام شده در حین انجام آزمایش و ساخت نمونه‌ها مشخص شد که این الیاف دارای به هم پیچیدگی زیادی بوده و این موضوع سبب می‌شود که مجموعه به هم پیچیده الیاف مانند یک مش عمل کرده که خمیر سیمان آنرا در بر گرفته است و مکانیزم باربری آن تا حد زیادی با سایر نمونه‌های دیگر متفاوت است و لذا استفاده بیشتر از آنها سبب ایجاد مشهای بیشتر و در نتیجه افزایش مقاومت خمشی شده است. لذا در نمونه‌های حاوی ۲ درصد لیف، به دلیل کمبود لیف در نسبت اختلاط و عدم توزیع یکنواخت آن در مخلوط، همگنی مخلوط تا حدی مختل شده است که در نتیجه باربری آن حتی از نمونه شاهد کمتر بوده است. اما با افزایش درصد الیاف، توزیع آنها در خمیر سیمان تا حدی بهبود یافته و عملکرد بهتری را نشان داده اند.

رفتار الیاف اوکالیپتوس در کامپوزیت سیمان نسبت به دو گروه دیگر الیاف متفاوت است. در این نمونه‌ها افزایش الیاف سبب کاهش مقاومت خمشی می‌گردد. افزایش درصد این الیاف در کامپوزیت‌های سیمانی سبب عدم توزیع مناسب آنها دوغاب شده و بنابراین با افزایش الیاف در کامپوزیت، نمونه تولیدی دارای همگنی کمتر و نقایص بیشتری می‌شود که با کاهش مقاومت خمشی نمونه‌ها همراه خواهد بود. همچنین بررسی قطر الیاف نشان می‌دهد که در میان الیاف استفاده شده، الیاف اکالیپتوس دارای قطر بیشتری می‌باشند. در درصد‌های یکسان استفاده شده، این موضوع سبب کاهش سطح

در مراجع مختلف تاثیر مثبت میکروسیلیس در ورقه‌های سیمانی به خاطر دو مکانیزم شناخته شده آن است. یکی به علت فعالیت پوزولانی بسیار زیاد آن است که سبب کاهش هیدروکسید کلسیم غیر مفید حاصل از هیدراتاسیون سیمان پرتلند با آب است که آنرا آن به سیلیکات کلسیم هیدراته شده مفید و موثر در فرآیند کسب مقاومت خمیر سیمان تبدیل می‌کند. تاثیر دیگر میکروسیلیس به دلیل ریز بودن ذرات آن است که در کنار نرمی زیاد آنها، باعث پر کردن خلل و فرج بین ذرات ژل و سیمان می‌گردد و به این ترتیب مقاومت خمشی را افزایش می‌دهد [۲]. با این وجود، نتایج این تحقیق خلاف این فرضیه را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر استفاده از میکروسیلیس در کامپوزیت‌های سیمانی به همراه الیاف باگاس مفید نمی‌باشد. بررسی نمونه‌های حاوی میکروسیلیس نشان می‌دهد که ضخامت این نمونه‌ها در مقایسه با نمونه‌های مشابه بدون میکروسیلیس، افزایش یافته است. این مقدار افزایش حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد می‌باشد. این موضوع احتمالاً به دلیل تشکیل کریستال‌های جدید است که در کنار الیاف، افزایش ضخامت کامپوزیت را سبب می‌شود. چون در محاسبه مقاومت خمشی، رابطه مقاومت با ضخامت نمونه به توان -۲ می‌باشد، لذا استفاده از میکروسیلیس در دوغاب منجر به کاهش مقاومت خمشی نمونه‌ها شده است.

بررسی رفتار کامپوزیت‌های حاوی ساقه گندم در شکل ۷- نشان می‌دهد که استفاده از این الیاف در کامپوزیت‌های سیمانی تا ۲ درصد سبب کاهش مقاومت خمشی نسبت به نمونه شاهد می‌گردد. اما با افزایش مقدار الیاف گندم، مقاومت خمشی نمونه‌های کامپوزیتی افزایش می‌یابد به طوری که در ۴ درصد الیاف گندم

و بنابراین آب گریز خواهد بود. بنابراین به طور کلی پیوند این الیاف با بالک سیمان ضعیف خواهد بود و نمی توان انتظار عملکرد مطلوبی از آنها داشت.

الیاف اکالیپتوس اگر چه در برخی قسمتها به خوبی فیبریله شده است و توده الیاف به الیاف تک تبدیل شده است، با این وجود، سطح الیاف نسبت به الیاف باگاس صاف تر می باشد (شکل-۹). همچنین قطر این الیاف نیز بزرگتر بوده و سطح تماس کمتری برای چسبندگی با خمیر سیمان دارند. لذا در مقایسه با باگاس در بهبود مقاومت خمشی تاثیر چندانی نداشته است.

### نتایج

در تحقیق حاضر، تاثیر الیاف سلولزی که غالباً از ضایعات محصولات کشاورزی یا کارخانه‌های کاغذسازی به دست آمده است بر رفتار خمشی خمیر سیمان مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا نتایج بدست آمده نشان می‌دهد:

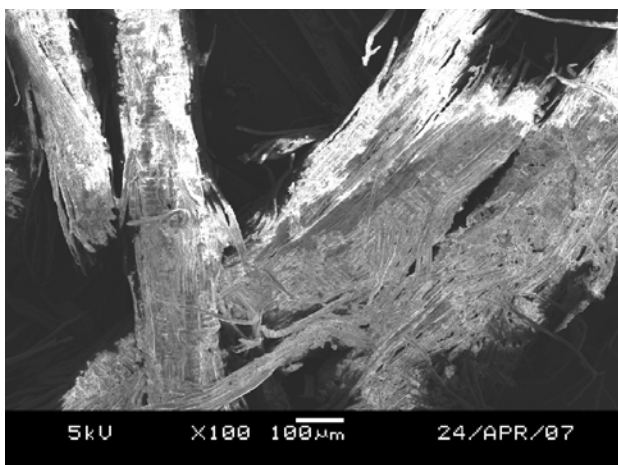
استفاده از الیاف سلولزی در خمیر سیمان مقاومت ورقه‌های سیمانی را به مقدار قابل توجهی افزایش می‌دهد که در برخی موارد می‌تواند تا ۲ برابر مقدار نمونه شاهد برسد. اما تاثیر این الیاف به نوع لیف استفاده شده و درصد به کار رفته مرتبط می‌باشد. در این تحقیق الیاف باگاس ۴۰-۳۰ درصد مقاومت خمشی ورقه‌های سیمانی را افزایش داده‌اند، در حالیکه استفاده از الیاف اکالیپتوس و گندم در بهبود مقاومت خمشی ورقه‌های سیمانی هر چند رفتار خمشی را از حالت ترد و شکننده به رفتار شکل پذیر تبدیل کرده‌اند اما در افزایش حداکثر ظرفیت بارگذاری خمشی چندان تاثیر نداشته‌اند. به‌طورکلی عملکرد الیاف مورد بررسی در این تحقیق از نظر تاثیر آنها

تماس الیاف و خمیر سیمان شده و بدین ترتیب چسبندگی الیاف به خمیر و در نتیجه، مقاومت خمشی نمونه‌ها کاهش خواهد یافت.

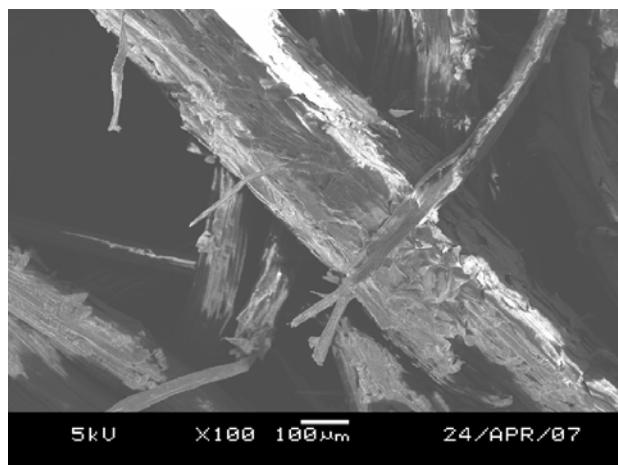
### مطالعات میکروسکوپ الکترونی (SEM)

برای شناخت ریزساختار و جزئیات قرارگیری الیاف در ماتریس سیمان، تصاویر SEM آنها در شکل‌های ۷ تا ۹ ارائه شده است. همانطورکه مشاهده می‌شود الیاف باگاس استفاده شده سطح نسبتاً زبری دارند یا به عبارت دیگر دارای فیبریل یا تارچه‌های متعددی می‌باشند که می‌توانند درگیری مکانیکی مناسبی با ماتریس سیمان ایجاد کند (شکل ۷). همچنین عدم وجود خاکه (ذرات بسیار ریز که در اطراف الیاف دیگر قرار گرفته و باعث عدم گیرش مناسب با خمیر سیمان می‌شود). لغزش در سطح مشترک الیاف-خمیرسیمان را کاهش می‌دهد. بنابراین، باگاس مورد استفاده که فاقد خاکه بوده و دارای طول حدود ۲ میلی‌متر و سطح مناسب جهت ایجاد پیوند مکانیکی با سیمان می‌باشد، در افزایش مقاومت خمشی تاثیر مهمی داشته است.

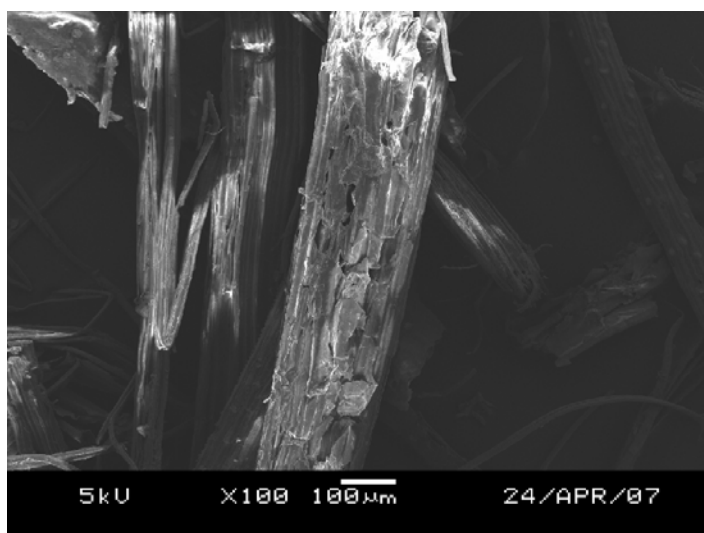
شکل ۸ عکس میکروسکوپی الیاف گندم را نشان می‌دهد. الیاف گندم به هم چسبیده هستند. جدا کردن یا باز کردن آنها به صورت الیاف تک میسر نمی‌باشد. این موضوع سبب شده تا الیاف در خمیر سیمان به خوبی توزیع نشده و در برخی قسمتها که قرار می‌گیرند مانند یک مش خمیر سیمان را مسلح کرده و در برخی قسمتها که قرار نمی‌گیرند، ناحیه ضعیفی ایجاد کنند. از طرف دیگر، همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، سطح الیاف نیز تقریباً صاف بوده و دارای زبری کمی می‌باشد. همچنین سطح الیاف گندم براق و روغنی شکل می‌باشد



شکل ۸- تصویر SEM از الیاف گندم



شکل ۷- تصویر SEM از الیاف باگاس



شکل ۹- تصویر SEM از الیاف اکالپیتوس

سیمان تا حداکثر حدود ۴ درصد وزنی خمیر سیمان ممکن می‌باشد.

\* برای دستیابی به مخلوط همگن الیاف در خمیر سیمان لازم است تا نسبت آب به سیمان حدود ۳ تا ۴ باشد و با شیوه خاصی مانند فرآیند هیچک بعد از ساخت و شکل‌گیری نمونه، آب اضافی به نحو مناسبی از مخلوط خارج شده و نسبت آب به سیمان به حدود ۰/۳ برسد.

بر بهبود مقاومت خمشی به ترتیب مربوط به الیاف باگاس، اکالپیتوس و گندم بوده است.

\* الیاف سلولزی با خمیر سیمان سازگار بوده و به دلیل امکان جذب آب می‌توانند درون مخلوط سیمان به خوبی توزیع شده و چسبندگی مناسبی با خمیر سیمان داشته باشند. البته حداکثر درصد قابل اختلاط با خمیر سیمان متناسب با جنس، طول و قطر الیاف بوده و با روش‌های متداول آزمایشگاهی افزودن الیاف به خمیر

- Volume 35, Issue 11, November 2005, Pages 2104-2109
- Paki Turgut, " Cement composites with limestone dust and different grades of wood sawdust ", Building and Environment, Volume 42, Issue 11, November 2007, Pages 3801-3807
- Luiz C. Roma Jr.a, Luciane S. Martelloa and Holmer Savastano Jr., " Evaluation of mechanical, physical and thermal performance of cement-based tiles reinforced with vegetable fibers", Construction and Building Materials, Volume 22, Issue 4, April 2008, Pages 668-674
- Holmer Savastano Jr.a, Vahan Agopyanb, , , Adriana M. Nolasco and Lia Pimentel, " Plant fibre reinforced cement components for roofing ", Construction and Building Materials, Volume 13, Issue 8, 1 December 1999, Pages 433-438
- Punyamurtula, Venkata K. ," Flexure Toughness of Polymer Fiber-reinforced Cementitious Materials.," International Journal of Damage Mechanics July 2008, Volume. 17 Issue 4, p363-371
- Pehanich J. L.; Blankernhorn P. R. and Silsbee M. R., "Wood fiber surface treatment level effects on selected mechanical properties of wood fiber-cement composites", Cement and Concrete Research., Volume 34, 1 October 2004, Pages 59-65
- Kaufmann J.; Winnefeld F. and Hesselbarth D., "Effect of the addition of ultrafine cement and short fiber reinforcement on shrinkage, rheological and mechanical properties of Portland cement pastes", Cement and Concrete Composite Volume 26, Issue 8, December 2004, Pages 541-549
- Mohr B. J.; Nanko H. and Kurtis K. E., "Aligned Kraft pulp sheets for reinforcing mortar", Cement and Concrete Composite , Volume 27, Issue 3, September 2005, Pages 554-558

\* انجام سایر آزمایش‌ها از جمله آزمایش‌ها دوام مانند نفوذپذیری، جذب آب، دوره‌های یخبندان و ذوب در تحقیقات آتی توصیه می‌شود.

### منابع مورد استفاده

- Bentur A., Midness S., Fiber Reinforced cementitious composites, Elsevier, 1990
- R.J. Leea and D.R. Van Orden " Airborne asbestos in buildings" Regulatory Toxicology and Pharmacology, Volume 50, Issue 2, March 2008, Pages 218-225
- Jeffrey J. Davisa, b and Brian L. Gulson " Ceiling (attic) dust: A "museum" of contamination and potential hazard" Environmental Research, Volume 99, Issue 2, October 2005, Pages 177-194
- Coutts R. S. P., "A review of Australian research into natural fiber cement composites", Cem. Comcr. Comp, 27(2005) 518-526.
- Andonian, R., Mai, Y. W. & Cotterell, B., Strength and fracture properties of cellulose fiber reinforced cement composites. Int. J. Cem. Comp, 1(1979) 151-8.
- C. Asasutjarita, J. Hirunlab, J. Khedari, S. Charoenvai, B. Zeghamati and U. Cheul Shin" Development of coconut coir-based lightweight cement board", Construction and Building Materials, Volume 21, Issue 2, February 2007, Pages 277-288
- Carlos Negro, Luis M. Sánchez, Helena Fuente and Angeles Blanco " Effects of flocculants and sizing agents on bending strength of fiber cement composites", Cement and Concrete Research,

## **Increasing the flexural strength capacity of cement composite with natural fibres**

**Khorrami, M<sup>\*1</sup>, Amin Khalil Tabas, A.<sup>2</sup> and Nourbakhsh, A.<sup>3</sup>**

1\*- Corresponding author, M.Sc. Building and Housing Research center (BHRC) Email: khorrami@bhrc.gor.ir

2- Expert of Engineering a-d Tecknology of sistan Balouchestan University.

3- Ph.D. Wood and Paper science Research Division, Research Institute of forests and Reugelands Iran.

Received: Oct., 2008

Accepted: April, 2009

### **Abstract**

Cement board without fibres has low flexural strength and fails in small strain. To solve this problem and enhance other characteristics, the fibres are applied. Asbestos fibres which have individual properties have been used for reinforcing cement composites since the early 20<sup>th</sup> century. However in this decade, most countries have been banned the use of asbestos fibres in construction industries, because of its effect on human healthy. Natural fibres are one of the suitable alternatives for cement board production that have a good compatibility with cement matrix. In this research, to recognize the flexural behaviour which is the one of the most important characteristics for cement board, many laboratory samples have been made by three kinds of fibres and tested. These fibres obtained from agricultural wastes such as bagasse, wheat and eucalyptus. The scanning Electronic Microscopic studies were carried out to clarify the microstructures of composites. The results show that among the all types of fibres, bagasse has the most effect on increasing the flexural strength capacity for cement composite boards.

**Key word:** Cement composites, Natural fibers, Flexural strength.