



جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

کاربرد الیاف مصنوعی و طبیعی در تولید ورق‌های سیمانی

مهندس مرتضی خرمی

دکتر اسماعیل گنجیان

(استاد دانشگاه کاونتری انگلستان)

مهندس احمد امین خلیلی

دکتر طیبه پرهیزگار

(عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن)

مشاوران:

دکتر مسعود جمشیدی (عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران)

دکتر علی اکبر رمضانپور (استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

دکتر امیر نوربخش (عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور)

دکتر ابوالحسن وفايي (استاد دانشگاه صنعتی شریف)

گزارش تحقیقاتی

شماره نشر: گ- ۵۸۷

چاپ اول: ۱۳۹۰

عنوان و نام پدیدآور	کاربرد الیاف مصنوعی و طبیعی در تولید ورق‌های سیمانی/مرتضی خرمی - [و دیگران]؛ مشاوران مسعود جمشیدی - [و دیگران].
مشخصات نشر	تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	۲۹۶ص: مصور، جدول.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۰۵۹-۵
وضعیت فهرستنویسی	فیا
یادداشت	نویسندگان: مرتضی خرمی، اسماعیل گنجیان، احمد امین خلیلی، طیه پرهیزکار.
موضوع	سیمان الیافی
موضوع	پنبه نسوز
شناسه افزوده	خرمی، مرتضی، ۱۳۵۴-
شناسه افزوده	مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۰ ۲۲ ک۹/س/۹/۴۱۸ TA
رده‌بندی دیوئی	۶۶۶/۹۵
شماره کتابشناسی ملی	۲۲۹۱۷۷۵

مضوبه شماره ۹۰/۶۷۳ چاپ کتاب، شورای علمی انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

کاربرد الیاف مصنوعی و طبیعی در تولید ورق‌های سیمانی

مهندس مرتضی خرمی، دکتر اسماعیل گنجیان، احمد امین خلیلی، دکتر طیه پرهیزکار
مشاوران: دکتر مسعود جمشیدی، دکتر علی‌اکبر رمضانیاپور، دکتر امیر نوربخش، دکتر ابوالحسن وایی

شماره نشر: ۵۸۷ - چاپ اول: ۱۳۹۰
ناشر: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
تنظیم برای چاپ: نسرين مقدس
شمارگان: ۵۰۰ نسخه
بها: ۳۲۰۰۰ ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.
کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر به ناشر تعلق دارد.
نشانی: تهران بزرگراه شیخ فضل‌الدین، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل،
خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۶۹۶

تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۲۵۵۹۴۱
پست الکترونیکی: president@bhrc.ac.ir صفحه الکترونیکی: <http://www.bhrc.ac.ir>

ISBN: 978-600-113-059-5

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۰۵۹-۵

پیشگفتار

حدود یک قرن از دانش بشری در زمینه کاربرد الیاف در کامپوزیت‌های سیمانی می‌گذرد و در طی این مدت همگام با ارتقای دانش فنی و فناوری‌های نوین در زمینه تولید مصالح، الیاف و رزین‌های مختلف، تحقیقات در زمینه تولید کامپوزیت‌های سیمانی - الیافی همواره ادامه داشته و دارد. الیاف آزیست یکی از مهمترین و متداولترین الیافی بوده است که نزدیک به نیم قرن بیشترین مصرف را در کامپوزیت‌های سیمانی به ویژه تولید ورق‌ها و لوله‌های سیمانی در جهان داشته است. حدود سی سال قبل، پیشرفتهای علم پزشکی نشان داد که الیاف آزیست می‌تواند در بروز بیماریهای مهلک به ویژه بیماری‌های دستگاه تنفسی نقش مهمی داشته باشد.

در این راستا، تحقیقات گسترده‌ای در جهان برای جایگزینی الیاف آزیست انجام شد و حدود دو دهه گذشته به نتیجه رسید. با گسترش این فناوری بسیاری از کشورها، استخراج، تولید و مصرف الیاف آزیست را ممنوع کرده‌اند. این در حالی است که در کشور ایران، علیرغم تصویب ممنوعیت آزیست در صنعت ساختمان، سالانه بیش از سی میلیون متر مربع ورق سیمانی و بیش از چهار هزار کیلومتر لوله با الیاف آزیست تولید می‌شود و تاکنون هیچ اقدام جدی برای حذف این الیاف از صنعت ساخت و ساز ایران انجام نشده است.

تحقیق حاضر، در ادامه تحقیقات انجام شده در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن برای یافتن جایگزین مناسب برای الیاف آزیست در ساخت ورقه‌های سیمانی انجام شده است. در این تحقیق ضمن بررسی و شناخت برخی از الیاف طبیعی و مصنوعی، نمونه‌های آزمایشگاهی متعددی طراحی و ساخته شده و مورد آزمون‌های مختلف مکانیکی و دوام قرار گرفته است. امید است با تلاش سایر محققین برای انجام تحقیقات تکمیلی و همکاری بخش صنعت برای تعمیم نتایج تحقیق به تولید صنعتی، کشور ایران نیز در گروه کشورهایی قرار گیرد که دارای فناوری بومی برای تولید کامپوزیت‌های سیمانی - الیافی بدون الیاف آزیست باشد.

سیدمحمود فاطمی‌عقدا

رئیس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

تشکر و قدردانی

مجریان طرح بر خود لازم می‌دانند که از حمایت‌های ویژه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن در فراهم نموده زمینه لازم برای انجام تحقیق تشکر و قدردانی نمایند. همچنین در این تحقیق از مشاورت آقایان دکتر جمشیدی، دکتر رمضانپور، دکتر نوربخش، دکتر وفایی و مهندس رئیس قاسمی استفاده شده است که مجریان نهایت تشکر و قدردانی از زحمات ایشان را به عمل می‌آورند. تلاش تکنسین‌های بخش بتن آقایان مهرگان، قادری و میرقادری در انجام آزمون‌ها گام مهمی در انجام این تحقیق بود که از آنها تقدیر و تشکر به عمل می‌آید. همچنین از زحمات خانم اعظم‌السادات مرتضوی که در ویرایش متن، انجام امور گرافیکی و ویرایش تصاویر همکاری نموده‌اند تشکر به عمل می‌آید. در پایان محققین بر خود لازم می‌دانند که از همکاری صمیمانه مسئولین شرکت ساربت که در ساخت نمونه‌های پایلوت از هیچ کوششی دریغ ننمودند تشکر نمایند.

فصل اول: مروری بر تحقیقات گذشته	۱
۱-۱ مقدمه	۱
۲-۱ ساختار کامپوزیت‌های سیمانی-الیافی	۶
۱-۲-۱ خمیر سیمان	۷
۲-۲-۱ کاربرد الیاف	۷
۳-۲-۱ ساختار فصل مشترک الیاف-خمیر	۱۲
۳-۱ الیاف آربست	۱۴
۱-۳-۱ آربست در کامپوزیت‌های سیمان-الیافی	۱۴
۴-۱ برخی از الیاف پیشنهاد شده برای جایگزینی با آربست	۳۹
۱-۴-۱ الیاف شیشه و پشم معدنی	۴۰
۲-۴-۱ الیاف مصنوعی غیر معدنی	۴۲
۳-۴-۱ الیاف سلولزی	۴۹
۴-۴-۱ مکانیک کامپوزیت‌های سیمانی مسلح شده با الیاف طبیعی	۹۳
۵-۱ اصول تئوری تقویت با الیاف	۹۹
۱-۵-۱ مقاومت و مدول	۱۰۰
۶-۱ ریزساختار کامپوزیت‌های حاوی الیاف چوبی	۱۰۷
۱-۶-۱ عملکرد بلندمدت	۱۱۰
۲-۶-۱ الیاف در محیط‌های قلیایی	۱۱۲
۳-۶-۱ دوره‌های تر و خشک شدن	۱۱۴
۴-۶-۱ حمله بیولوژیکی به الیاف	۱۱۶
۵-۶-۱ فرآیند پیرشدن	۱۱۶
۷-۱ مراجع فصل اول	۱۱۹
فصل دوم: تحقیقات جدید در سالهای اخیر	۱۲۹
۱-۲ مقدمه	۱۲۹
۲-۲ تأثیر میزان عمل‌آوری الیاف چوبی بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های سیمانی	۱۳۳
۳-۲ کامپوزیت سیمانی حاوی الیاف چوبی عمل‌آوری شده	۱۳۸
۴-۲ ارزیابی کاربرد خمیر الیاف طبیعی به عنوان تقویت‌کننده در کامپوزیت‌های سیمانی	۱۴۴



۱۴۷.....	۵-۲ عوامل ایجاد پیوند در کامپوزیت‌های سیمانی مسلح شده با الیاف چوبی.....
۱۴۹.....	۶-۲ اثر ۵ ماده اضافه‌شونده به خواص مکانیکی و پایداری ابعادی بر ورقه‌های سیمانی حاوی چوب.....
۱۵۳.....	۷-۲ مراجع فصل دوم.....

۱۵۵.....	فصل سوم: آزمایشها.....
۱۵۵.....	۱-۳ کلیات.....
۱۵۶.....	۱-۳-۱ انتخاب مصالح مناسب برای جایگزینی با آریست.....
۱۵۶.....	۲-۳ مصالح مورد استفاده.....
۱۵۸.....	۳-۳ طرح اختلاط و مشخصات نمونه‌ها.....
۱۶۱.....	۴-۳ آزمون‌های الیاف.....
۱۶۱.....	۴-۳-۱ آزمون درجه روانی الیاف.....
۱۶۲.....	۴-۳-۲ اندازه‌گیری مشخصات فیزیکی الیاف.....
۱۶۴.....	۵-۳ آزمون‌های انجام شده بر روی نمونه‌های سیمانی-الیافی.....
۱۶۴.....	۳-۵-۱ آزمون‌های مکانیکی.....
۱۶۷.....	۳-۵-۲ آزمون‌های دوام.....

۱۶۹.....	فصل چهارم: تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی (ویژگیهای مکانیکی).....
۱۶۹.....	۱-۴ مقدمه.....
۱۷۰.....	۴-۲ عملکرد خمشی کامپوزیت‌های سیمانی-الیافی با الیاف ضایعات کشاورزی.....
۱۷۲.....	۴-۳ مدول گسیختگی.....
۱۷۹.....	۴-۴ جذب انرژی.....
۱۸۵.....	۴-۵ عملکرد خمشی کامپوزیت‌های سیمانی-الیافی با الیاف کرافت.....
۱۸۸.....	۴-۶ عملکرد خمشی کامپوزیت‌های سیمانی-الیافی با الیاف کرافت و الیاف مصنوعی.....
۱۹۱.....	۴-۶-۱ تأثیر عوامل مختلف بر عملکرد خمشی.....

۲۳۵.....	فصل پنجم: تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی (دوام در برابر شرایط محیطی).....
۲۳۶.....	۱-۵ وزن حجمی.....
۲۳۹.....	۵-۲ تغییر طول در اثر تغییر رطوبت.....
۲۴۴.....	۵-۳ جذب آب.....
۲۴۸.....	۵-۴ جذب رطوبت.....
۲۵۱.....	۵-۵ افزایش حجم در اثر رطوبت.....



۶-۵ دوره‌های یخ زدن و ذوب ۲۵۴

فصل ششم: تعمیم نتایج تحقیقات آزمایشگاهی به مقیاس صنعتی ۲۵۹

۱-۶ آماده‌سازی الیاف ۲۶۰

۲-۶ آماده‌سازی دستگاه هچک برای نمونه پایلوت ۲۶۳

۳-۶ فرایند تولید نمونه پایلوت ۲۶۴

۴-۶ بازرسی اولیه نمونه پایلوت ۲۶۸

۵-۶ ساخت نمونه‌های نهایی پایلوت ۲۶۹

فصل هفتم: جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۲۷۱

www.ketab.ir

چکیده

نزدیک به نیم قرن از تولید کامپوزیت‌های سیمانی - الیافی به ویژه در زمینه تولید ورق و لوله‌های سیمانی در کشور ایران می‌گذرد و در طی این مدت روند تولید آن به صورت صعودی افزایش یافته است به طوری که در سالیان اخیر، هر ساله حدود سی میلیون متر مربع ورق و حدود چهارهزار کیلومتر لوله سیمانی آریستی در کشور تولید می‌گردد. در طی این مدت، استفاده از الیاف آریست در فرایند تولید تنها شیوه تولید این کامپوزیت‌ها بوده است.

با توجه به شناخت مخاطرات آریست برای سلامتی انسان، بیش از یک دهه است که تولید و مصرف آن در اکثر کشورهای جهان ممنوع شده است. در تحقیق حاضر، تلاش شده است تا با استفاده از الیاف سلولزی و مصنوعی، جایگزینی مناسب برای الیاف آریست در ساخت ورق‌های سیمانی یافت شود. در این راستا، برخی از الیاف سلولزی مانند ساقه نیشکر، ساقه گندم، گیاه اکالیپتوس و ضایعات کاغذهای کرافت مورد بررسی قرار گرفت و در فاز اول تحقیق نمونه‌های زیادی با آنها ساخته و آزمایش شد.

ویژگی‌های کامپوزیت ساخته شده با الیاف کرافت نسبت به الیاف دیگر مناسبتر بود و در ادامه تحقیقات، از این الیاف به عنوان الیاف پایه برای ترکیب با الیاف مصنوعی استفاده شد. در فاز دوم تحقیق، الیاف پلی‌وینیل الکل (وارداتی از کشور چین) و الیاف پلی‌پروپیلن و الیاف اکریلیک (تولید کارخانه‌های ایران) در ترکیب با الیاف سلولزی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین تأثیر برخی از رزین‌های پلیمری مانند کاپلیمر استایرن اکریلیک و پلی‌اکریل نیتریل به عنوان مواد افزودنی و پودر سنگ آهک نیز مورد بررسی قرار گرفت.

در این راستا برای نمونه‌های ساخته شده متناسب با امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی، برخی از مهمترین آزمایشهای مرتبط با ورق سیمانی مانند مقاومت خمشی، میزان شکل‌پذیری، اندازه‌گیری چگالی، جذب رطوبت، جذب آب، بادکردگی تحت اثر آب و تغییرات ابعادی تحت اثر رطوبت در مورد آنها انجام شد. همچنین برای شناخت ریزساختار کامپوزیت نیز مطالعات گسترده میکروسکوپ الکترونی نیز انجام گردید.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که امکان تولید ورق سیمانی به سه صورت وجود دارد: (۱) ساخت نمونه‌ها تنها با الیاف سلولزی، (۲) ساخت نمونه‌ها با ترکیب الیاف اکریلیک و الیاف سلولزی و (۳) ساخت نمونه‌ها با الیاف اکریلیک، رزین پلی‌اکریل نیتریل و الیاف سلولزی.



نکته حائز اهمیت این است که پارامترهای بسیار زیادی وجود دارد که بر ویژگی‌های کامپوزیت تأثیرگذار می‌باشد، مانند مشخصات فیزیکی، مکانیکی و دوام الیاف، نوع و مقدار مواد افزودنی، نوع و مقدار رزین، فرایند تولید و روش ساخت. بنابراین لازم است تا برای یافتن طرح اختلاط بهینه در مقیاس صنعتی، متناسب با شرایط موجود و لحاظ نمودن تأثیر پارامترهای مورد اشاره نتایج تحقیق را برای تولید صنعتی در کارخانه تعمیم داد و با آزمون و خطا به طرح بهینه اختلاط دست یافت.