



مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



جمهوری اسلامی ایران  
وزارت راه و شهرسازی

## ارائه و بررسی چند طرح مخلوط مناسب برای تولید ورق سیمانی غیر آزبستی به روش حجک در مقیاس کارخانه‌ای

دکتر اسماعیل گنجیان

(عضو هیئت علمی دانشگاه کاونتری انگلستان)

دکتر مرتضی خرمی

(عضو هیئت علمی دانشگاه کاونتری انگلستان)

مشاور:

دکتر طیبه پرهیزکار

(عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی)

با همکاری دانشگاه کاونتری انگلستان

گزارش تحقیقاتی

شماره نشر: ۵-۶۴۶

چاپ اول: ۱۳۹۱

|                     |                                                                                                                                                         |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | گنجیان، اسماعیل                                                                                                                                         |
| عنوان و نام پدیدآور | ارائه و بررسی چند طرح مخلوط مناسب برای تولید ورق سیمانی غیرآزبستی به روش هچک در مقیاس کارخانه‌ای/اسماعیل گنجیان، مرتضی خرمی؛ مشاور: دکتر طبیب پرهیزکار. |
| مشخصات نشر          | تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۱.                                                                                                          |
| مشخصات ظاهری        | ۱۱۲ص: مصوره، جدول، نمودار.                                                                                                                              |
| فروست               | مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی: شماره نشر: گ-۶۴۶                                                                                                      |
| شابک                | ۹۷۸-۶۰۰-۵۳۹۲-۴۳-۲                                                                                                                                       |
| وضعیت               | قبیلا                                                                                                                                                   |
| فهرست‌نویسی         |                                                                                                                                                         |
| یادداشت             | کتابنامه.                                                                                                                                               |
| موضوع               | سیمان آلیافی                                                                                                                                            |
| موضوع               | مواد چندسازه لیفی                                                                                                                                       |
| موضوع               | پنبه نسوز - اثرات نامطلوب                                                                                                                               |
| شناسه افزوده        | خرمی، مرتضی. ۱۳۳۵-                                                                                                                                      |
| شناسه افزوده        | پرهیزکار، طبیب، ۱۳۳۹- مشاور علمی                                                                                                                        |
| شناسه افزوده        | مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی                                                                                                                        |
| رده‌بندی کنگره      | ۱۳۹۱: گ۹/س۱/۲۸۴۱۸                                                                                                                                       |
| رده‌بندی دیویی      | ۶۴۶/۹۵                                                                                                                                                  |
| شماره کتابشناسی ملی | ۲۰۷۲۱۸۴                                                                                                                                                 |

مصوبه شماره ۹۱/۷۲۸ چاپ کتاب شورای علمی انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

## مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

ارائه و بررسی چند طرح مخلوط مناسب برای تولید ورق سیمانی غیرآزبستی به روش هچک در مقیاس کارخانه‌ای

دکتر اسماعیل گنجیان، دکتر مرتضی خرمی - مشاور: دکتر طبیب پرهیزکار

شماره نشر: گ - ۶۴۶ چاپ اول: ۱۳۹۱

ناشر: انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

تنظیم برای چاپ: نسرين مقدس

شمارگان: ۱۰۰ نسخه

بها: ۲۰۰۰۰ ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.

کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر به ناشر تعلق دارد.

نشانی: تهران، بزرگراه شیخ فضل ا... نوری، 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](mailto:president@bhrc.ac.ir) صفحه الکترونیکی: <http://www.bhrc.ac.ir>

ISBN: 978-600-5392-43-2

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۳۹۲-۴۳-۲

## پیشگفتار

تقویت سیمان با الیاف به منظور افزایش مقاومت مکانیکی و دوام کامپوزیت‌های سیمانی از دیرباز توسط متخصصان صنعت ساختمان به کار گرفته شده است. یکی از مهم‌ترین کامپوزیت‌های سیمانی که در دهه‌های اخیر، بیشترین کاربرد را در ساخت دیوارهای داخلی، خارجی، نماسازی و پوشش‌های بام داشته است، ورقه‌های سیمانی - الیافی است. الیاف مورد استفاده برای ساخت ورقه‌های سیمانی - الیافی عمدتاً الیاف آریست بوده است که با توجه به شناخت مخاطرات آریست، بیش از ده سال است که در اغلب کشورهای جهان مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و الیاف مختلفی مانند، الیاف سلولزی به تنهایی یا مخلوطی از الیاف سلولزی و الیاف مصنوعی جایگزین آن شده است. متأسفانه در کشور ایران، هنوز الیاف آریست به عنوان تنها الیاف مورد استفاده در ساخت ورقه‌های سیمانی استفاده می‌شود. در تحقیق حاضر که با هدف جایگزینی الیاف آریست در ساخت ورقه‌های سیمانی در ادامه تحقیقات قبلی این مرکز انجام شده است، چند طرح اختلاط مختلف برای ساخت ورق سیمانی که از نتایج تحقیقات قبلی به دست آمده بودند، مورد توجه قرار گرفته و در آنها اصلاحاتی مانند کاربرد مواد افزودنی و تغییراتی در نسبت اختلاطها انجام شده است تا بتواند ویژگی‌های کامپوزیت ساخته شده را ارتقا دهد. در این راستا با همکاری یکی از کارخانه‌های تولید ورق سیمانی - غیرآریستی خارج کشور، نمونه‌هایی در مقیاس واقعی با طرح اختلاطهای غیرآریستی با موفقیت طراحی و ساخته شده است.

سید محمود فاطمی علدا

رئیس مرکز تحقیقات راه، مسکن و

شهرسازی

## تشکر و قدردانی

در تحقیق انجام شده، همکاری بسیاری از متخصصان، دانشجویان، تکنسین‌های آزمایشگاه و تعدادی از شرکت‌های تولیدکننده ورق سیمانی باعث شد تا امکان بررسی‌های گسترده علمی و آزمایشگاهی برای مؤلفان این تحقیق فراهم شود که شایسته است با ذکر نام آنها به شرح زیر از ایشان تشکر و قدردانی به عمل آید.

دانشجویان کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری دانشگاه کاونتری انگلستان:

Ahmad rizwan Sanaullah •

Mohammed atif Saleri •

Ishpal Mudher •

Afshin Biniaz •

Okoye chekwube Clay •

David .a. Adediran •

Guy Jones •

Kazi Mohammed Rahman •

Safa Kamil •

Meysam Sarbandi •

Robert j Smart •

مهندس معماری و سایر مسئولان محترم از کارخانه ساریه شمال در ایران

دکتر Andrew McKnight از کارخانه مارلی ایرلند انگلستان

دکتر Benoit De Lhoneux و دکتر Ruben Bordin از مرکز تحقیقات Red Co در

بلژیک

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

دانشگاه کاونتری انگلستان

## فهرست مطالب

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| فصل اول: کلیات.....                                                             | ۱  |
| ۱-۱ مقدمه .....                                                                 | ۱  |
| ۲-۱ هدف کلی .....                                                               | ۳  |
| فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده.....                                        | ۵  |
| ۱-۲ تأثیر الیاف طبیعی بر روی خصوصیت مکانیکی کامپوزیت سیمانی .....               | ۷  |
| ۲-۲ خصوصیات مکانیکی کامپوزیت های سیمانی تقویت شده با الیاف طبیعی اصلاح شده..... | ۸  |
| ۳-۲ دوام و مقاومت کامپوزیت های سیمانی ساخته شده با الیاف طبیعی .....            | ۱۰ |
| ۴-۲ تأثیر قطر و طول الیاف بر روی مخلوط های سیمانی .....                         | ۱۲ |
| ۵-۲ تأثیر الیاف طبیعی بر روی مقاومت کششی .....                                  | ۱۳ |
| ۶-۲ ترکیب الیاف طبیعی با الیاف پلیمری در کامپوزیت سیمانی .....                  | ۱۳ |
| فصل سوم: شناخت الیاف.....                                                       | ۱۵ |
| ۱-۳ کامپوزیت الیاف سیمانی .....                                                 | ۱۵ |
| ۲-۳ الیاف سلولز طبیعی .....                                                     | ۱۶ |
| ۱-۲-۳ الیاف نارگیل .....                                                        | ۱۷ |
| ۲-۲-۳ الیاف سیسال .....                                                         | ۱۸ |
| ۳-۲-۳ تفاله نیشکر .....                                                         | ۱۸ |
| ۴-۲-۳ کتان .....                                                                | ۱۹ |
| ۵-۲-۳ الیاف گیاه رازی .....                                                     | ۲۰ |
| ۶-۲-۳ شاهدانه .....                                                             | ۲۱ |
| ۷-۲-۳ الیاف کنف .....                                                           | ۲۲ |
| ۷-۲-۳ کاه .....                                                                 | ۲۲ |
| ۹-۲-۳ الیاف چوب .....                                                           | ۲۲ |
| ۳-۳ خصوصیات الیاف طبیعی .....                                                   | ۲۴ |
| ۴-۳ مزایای الیاف طبیعی .....                                                    | ۲۶ |
| ۵-۳ الیاف مصنوعی .....                                                          | ۲۷ |
| ۱-۵-۳ آکریلیک .....                                                             | ۲۸ |
| ۲-۵-۳ آرامید .....                                                              | ۲۹ |



|                                                                             |                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----|
| ۳-۵-۳                                                                       | الیاف کربن                              | ۳۹ |
| ۳-۵-۴                                                                       | نایلون                                  | ۲۹ |
| ۳-۵-۵                                                                       | پلی استر                                | ۳۰ |
| ۳-۵-۶                                                                       | پلی اتیلین                              | ۳۰ |
| ۳-۵-۷                                                                       | پلی پروپیلین                            | ۳۱ |
| ۳-۶                                                                         | ترکیب الیاف سلولز طبیعی با الیاف پلیمری | ۳۱ |
| فصل چهارم: تحقیقات آزمایشگاهی                                               |                                         |    |
| ۴-۱-۴                                                                       | مصالح                                   | ۳۵ |
| ۴-۲                                                                         | آماده‌سازی مصالح                        | ۳۶ |
| ۴-۳                                                                         | نحوه ساخت آزمونه‌ها                     | ۴۰ |
| فصل پنجم: آزمون‌های اولیه و تحلیل نتایج                                     |                                         |    |
| ۵-۱                                                                         | تعیین وزن مخصوص                         | ۴۳ |
| ۵-۲                                                                         | تحلیل آزمون خمشی                        | ۴۷ |
| ۵-۳                                                                         | مطالعات ریز ساختار                      | ۵۶ |
| فصل ششم: آزمون‌های تکمیلی و تحلیل نتایج                                     |                                         |    |
| ۶-۱                                                                         | کالیبراسیون نتایج آزمایشگاهی و کارخانه  | ۶۱ |
| ۶-۲                                                                         | طرح اختلاط‌های مرحله دوم                | ۶۵ |
| ۶-۳                                                                         | تحلیل نتایج آزمون بارگذاری خمشی         | ۶۶ |
| فصل هفتم: آزمون‌های دوام در برابر شرایط محیطی                               |                                         |    |
| ۷-۱                                                                         | وزن مخصوص ظاهری                         | ۷۶ |
| ۷-۲                                                                         | تغییر طول در اثر تغییر رطوبت            | ۷۸ |
| ۷-۳                                                                         | جذب آب                                  | ۸۰ |
| ۷-۴                                                                         | جذب رطوبت                               | ۸۲ |
| ۷-۵                                                                         | دوام در برابر دوره‌های یخ زدن و آب شدن  | ۸۳ |
| فصل هشتم: نتیجه‌گیری                                                        |                                         |    |
| ۸۹                                                                          |                                         |    |
| مراجع                                                                       |                                         |    |
| ۹۱                                                                          |                                         |    |
| پیوست ۱- فرایند تولید آزمونه‌ها در کارخانه                                  |                                         |    |
| ۹۵                                                                          |                                         |    |
| پیوست دوم: دستورالعمل طرح مخلوط برای تولید ورق سیمانی غیر آزبستی به روش هچک |                                         |    |
| ۹۵                                                                          |                                         |    |

## چکیده

بعد از شناخت مخاطرات الیاف آریست برای سلامتی انسان، تحقیقات گسترده‌ای در جهان به ویژه در کشورهای توسعه‌یافته برای جایگزینی الیاف آریست در ساخت کامپوزیت‌های سیمانی - الیافی انجام شد و بعد از یافتن جایگزین آن که اغلب شامل الیاف سلولزی یا ترکیبی از الیاف سلولزی و الیاف مصنوعی بوده است، کاربرد الیاف آریست از اواخر دهه ۹۰ تا اوایل سال ۲۰۰۰ در بسیاری از کشورها از جمله کشورهای توسعه‌یافته و حتی برخی از کشورهای در حال توسعه ممنوع یا منسوخ گردید. در حال حاضر در کشور ایران، مهم‌ترین الیاف مورد استفاده برای ساخت کامپوزیت‌های سیمانی - الیافی که عمدتاً برای پوشش بام مورد استفاده قرار می‌گیرند الیاف آریست است. تحقیق حاضر در راستای تحقیقات گذشته مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن در زمینه جایگزینی الیاف آریست با ترکیبات مختلفی از الیاف سلولزی و مصنوعی انجام شده است. در این تحقیق که از الیاف سلولزی کرافت و الیاف مصنوعی اکریلیک استفاده شده است، علاوه بر ساخت نمونه‌های متعدد آزمایشگاهی، با همکاری برخی از کارخانه‌های تولید ورق سیمانی - الیافی در ایران و انگلیس که از فرایند هچک برای تولید محصول استفاده می‌کنند، نمونه‌های زیادی به صورت پایلوت در مقیاس واقعی طراحی و ساخته شد و برخی از مهم‌ترین آزمونهای مربوط به ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و دوام برای نمونه‌های آزمایشگاهی انجام گردید. نتایج این تحقیق منجر به ارائه تعدادی طرح اختلاط مناسب برای تولید ورق سیمانی - الیافی غیر آریستی مبتنی بر فرایند هچک شده است که می‌تواند در صورت فراهم شدن تجهیزات مورد نیاز برای اصلاح خط تولید کارخانه‌های فعلی کامپوزیت‌های سیمانی - آریستی موجود برای تولید ورق سیمانی - غیر آریستی در کشور به کار برده شود.