



مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



جمهوری اسلامی ایران

وزارت راه و شهرسازی

رفتار کامپوزیت‌های اپوکسی و دال‌های بتن مسلح تقویت‌شده با نوارهای CFRP در برابر آتش و محافظت آنها به وسیله پوشش‌های معدنی ضد حریق

جریان

دکتر سعید بختاری - ییلا تقی‌اکبری

همکاران:

دکتر فرهنگ فرحبد - دکتر ارسلان کلالی - مهندس محم جمال‌آشتیانی

مهندس فرهنگ کوشا - مهندس زهرا درودیانی - دکتر محمدرضا مقدم

شماره نشر: ۷۲۷-ک

چاپ اول: ۱۳۹۵

عنوان و نام پدیدآور	رفتار کامپوزیت‌های اپوکسی و دال‌های بتن مسلح تقویت‌شده با نوآرهای CFRP در برابر آتش و محافظت آنها به وسیله پوشش‌های معدنی ضد حریق/مجریان: سعید بختیاری - لیلا تقی‌اکبری؛ همکاران: فرهنگ فرحبد... و دیگران]
مشخصات نشر	: تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	۳۴۲ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۱۳۷-۰
فروبت	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی: شماره نشر: گ-۷۷۷.
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیا
یادداشت	همکاران فرهنگ فرحبد- ارسالن کلالی- مسعود جمالی‌آشتیانی- فرهنگ گوشا- زهرا درودیانی- الهام عسکری‌مقدم.
موضوع	: مواد چندسازه -- خواص مکانیکی
موضوع	: دال‌های بتنی
شناسه افزوده	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
رده‌بندی کنگره	TA۴۱۸/۹/ج۹ب۳ ۱۳۹۵
رده‌بندی دیوپی	۶۲۰/۱۱۸
شماره کتاب‌شناسی	۴۲۱۱۹۷۴

مجموعه شماره ۱۱، ۴۰۳ شورای انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

رفتار کامپوزیت‌های اپوکسی و دال‌های بتن مسلح تقویت‌شده با نوآرهای CFRP در برابر آتش و محافظت آنها

به وسیله پوشش‌های معدنی ضد حریق

دکتر سعید بختیاری - لیلا تقی‌اکبری

بخش تحقیقاتی: آتش

شماره نشر: گ-۷۷۷ چاپ اول: ۱۳۹۵

ناشر: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

شمارگان: ۲۵۰ نسخه

بها: ۱۲۰۰۰۰ ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: اداره انتشارات و چاپ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر به ناشر تعلق دارد و هرگونه تکثیر غیرمجاز از آن پیگرد قانونی بدنبال خواهد داشت.
مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده مجریان محترم می‌باشد.

نشانی: تهران، بزرگراه شیخ فضل ا... نوری، روبروی فاز ۲ شهر فرهنگیان، خیابان نارگل،

خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۶۹۶

دورنگار: ۸۸۲۵۵۹۴۱

تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶

صفحه الکترونیکی: <http://www.bhrc.ac.ir>

پست الکترونیکی: pub@bhrc.ac.ir

ISBN: 978-600-113-137-0

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۱۳۷-۰

فروشگاه اینترنتی: <http://pub.bhrc.ac.ir>

فهرست مطالب

پیش‌گفتار (سخن‌ناشر)

چکیده

- ۱ فصل اول- آشنایی با کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با الیاف (FRP)
- ۲ ۱-۱ تاریخچه مواد مرکب (کامپوزیت‌ها)
- ۴ ۲-۱ کامپوزیت FRP اجزای تشکیل‌دهنده، ویژگی‌ها و انواع FRP
- ۴ ۱-۲-۱ تعریف کامپوزیت
- ۴ ۲-۲-۱ اجزاء اصلی کامپوزیت
- ۵ ۳-۲-۱ نام‌گذاری کامپوزیت‌های FRP و دسته‌بندی آن‌ها
- ۶ ۴-۲-۱ الیاف اصلی مواد استفاده شده در کامپوزیت‌های FRP و ویژگی‌ها
- ۱۴ ۵-۲-۱ رزین‌های مورد استفاده در کامپوزیت‌های FRP
- ۱۴ ۱-۵-۲-۱ کلیات
- ۱۵ ۲-۵-۲-۱ رزین‌های اپوکسی
- ۱۸ ۱-۲-۵-۲-۱ رزین‌های اپوکسی کلدسوز
- ۱۹ ۲-۲-۵-۲-۱ مزایا و معایب رزین‌های اپوکسی نسبت به رزین‌های پلی‌استر
- ۲۰ ۳-۲-۵-۲-۱ کاربردهای رزین اپوکسی
- ۲۲ ۳-۱ روش‌های شکل‌دهی کامپوزیت‌های FRP
- ۲۳ ۴-۱ مزایا و محدودیت‌های کامپوزیت‌های FRP
- ۲۳ ۵-۱ کاربردهای FRP
- ۲۳ ۱-۵-۱ زمینه‌های کاربرد
- ۲۴ ۲-۵-۱ کاربرد FRP در صنعت ساختمان
- ۳۰ ۳-۵-۱ کاربرد در سایر صنایع
- ۳۰ ۶-۱ مروری مختصر بر وضعیت بازار کامپوزیت در ایران
- ۳۱ ۷-۱ تعریف مساله و دامنه پژوهش
- ۳۳ فصل دوم- مرور ادبیات علمی رفتار کامپوزیت‌های FRP در برابر آتش
- ۳۳ ۱-۲ مقدمه
- ۳۴ ۲-۲ خواص کامپوزیت‌های FRP در دمای بالا

فهرست مطالب - ادامه

۳۴	۱-۲-۲ خواص حرارتی
۳۴	۱-۲-۲-۱ انبساط حرارتی
۳۷	۱-۲-۲-۲ هدایت حرارتی
۳۹	۱-۲-۲-۳ گرمای ویژه
۳۹	۲-۲-۲ خواص مکانیکی
۴۰	۱-۲-۲-۱ استحکام و سختی
۴۶	۱-۲-۲-۲ زش
۴۷	۳-۲-۲ خواص سینمایی FRP و بتن در دمای بالا
۴۸	۳-۲ عوامل مؤثر بر رفتار میوه‌های FRP در برابر آتش
۴۸	۱-۳-۲ مقدمه
۵۰	۲-۳-۲ رفتار ماتریس در برابر آتش
۵۲	۳-۳-۲ رفتار الیاف در برابر آتش
۵۵	۴-۳-۲ سمیت و تولید دود
۵۷	۵-۳-۲ افروزش و گسترش شعله
۵۸	۴-۲ بهبود عملکرد کامپوزیت‌های FRP در آتش
۵۹	۱-۴-۲ ترکیبات فسفری
۵۹	۲-۴-۲ تری هیدروکسید آلومینیوم
۶۰	۳-۴-۲ پوشش‌های محافظت‌کننده در برابر آتش
۶۱	۵-۲ مطالعه رفتار در برابر آتش سازه‌های بتنی تقویت شده با FRP و پوشش‌های محافظ FRP
۶۲	۱-۵-۲ آزمون‌های واکنش در برابر آتش بر روی کامپوزیت‌های FRP
۶۷	۲-۵-۲ آزمون‌های مقاومت در برابر آتش بر روی اجزای بتنی تقویت شده با FRP
۶۷	۱-۲-۵-۲ مقدمه
۶۹	۲-۲-۵-۲ مقاومت سیستم‌های بتنی تقویت شده با FRP در برابر آتش و عملکرد پوشش‌های محافظ
۱۰۰	۶-۲ زمینه‌های پژوهشی در مورد رفتار بتن تقویت شده با FRP در آتش
۱۰۳	فصل سوم برنامه آزمایشگاهی

فهرست مطالب - ادامه

۱۰۳	۱-۳ طرح کلی آزمون‌های مقاومت در برابر آتش
۱۰۷	۲-۳ مشخصات مواد و مصالح
۱۰۷	۱-۲-۳ مواد FRP
۱۱۰	۲-۲-۳ بتن
۱۱۲	۳-۲-۳ میلگرد فولادی
۱۱۳	۳-۳ روش‌ها و استانداردهای آزمون
۱۱۳	۱-۳-۳ آزمون‌های واکنش در برابر آتش
۱۱۵	۲-۳-۳ آزمون مقاومت در برابر آتش
۱۱۶	۳-۳-۳ تنظیمات و ابزاربندی برای آزمون مقاومت در برابر آتش
۱۱۸	۱-۳-۳-۳ بارگذاری و اندازه‌گیری تنش-مکانیک تنش
۱۲۱	۲-۳-۳-۳ اندازه‌گیری دما
۱۲۱	۱-۲-۳-۳-۳ نصب ترموکوپل‌ها
۱۲۱	۴-۳ مبانی تقویت خمشی با FRP و طراحی نمونه‌های آزمایشگاهی
۱۲۱	۱-۴-۳ مقدمه
۱۲۲	۲-۴-۳ ملاحظات کلی
۱۲۲	۱-۲-۴-۳ فرضیات اساسی
۱۲۳	۳-۴-۳ کنترل مقاومت برشی مقطع
۱۲۳	۳-۴-۳ کرنش اولیه در سطح بتن به هنگام نصب ورق تقویت
۱۲۵	۵-۳ مودهای شکست در تقویت خمشی
۱۲۷	۱-۵-۳ شکست فشاری
۱۲۹	۲-۵-۳ شکست ناشی از گسیختگی ورق FRP
۱۳۰	۳-۵-۳ شکست کششی
۱۳۶	۶-۳ تحلیل تنش‌های بهره‌برداري
۱۳۶	۱-۶-۳ تنش‌های مجاز بتن، فولاد و FRP
۱۳۷	۲-۶-۳ تنش‌های مجاز در تیرهای بتن‌آرمه تقویت شده

فهرست مطالب - ادامه

۱۳۸	۷-۳ طراحی دال‌های بتنی
۱۳۹	۱-۷-۳ ظرفیت خمشی و باربری نمونه دال تقویت نشده
	۲-۷-۳ ظرفیت خمشی و باربری دال‌های تقویت شده با دو نوار طولی تک لایه CFRP به پهنای
۱۴۰	۳۰۰mm
	۳-۷-۳ ظرفیت خمشی و باربری دال‌های تقویت شده با دو نوار طولی تک لایه CFRP به پهنای
۱۴۲	۱۵۰mm
۱۴۷	فصل چهارم نتایج و بحث
۱۴۷	۱-۴ نتایج آزمون‌های واکنش در برابر آتش
۱۴۷	۱-۱-۴ آزمون گرمایش مخفی
۱۵۱	۱-۱-۱-۴ بررسی پارامترهای حاد
۱۵۶	۲-۱-۱-۴ بررسی پارامترهای دیر
۱۵۹	۳-۱-۱-۴ ارزیابی خطر آتش
۱۶۱	۴-۱-۱-۴ اثر تراز تابشی
۱۶۱	۲-۱-۴ آزمون قابلیت افروزش
۱۶۴	۲-۴ نتایج آزمون‌های مقاومت در برابر آتش
۱۶۴	۱-۲-۴ ارزیابی رفتار دال‌های بتنی مرجع تحت بارگذاری ثقلی
۱۶۵	۱-۱-۲-۴ آزمون بارگذاری ثقلی دال بتنی تقویت نشده در دمای محیط (Control) - نمونه مرجع
	۲-۱-۲-۴ آزمون بارگذاری ثقلی نمونه دال بتنی تقویت شده با نوار FRP عرض ۳۰۰mm (FR1)
۱۶۷	(25
	۳-۱-۲-۴ آزمون بارگذاری ثقلی نمونه دال بتنی تقویت شده با نوار FRP به عرض ۱۵۰mm (FR2)
۱۶۹	(25
۱۷۳	۲-۲-۴ ارزیابی رفتار دال‌های بتنی در برابر آتش
۱۷۳	۱-۲-۲-۴ آزمون مقاومت در برابر آتش دال بتنی تقویت نشده CS-Fire تحت بار ثابت
	۲-۲-۲-۴ آزمون مقاومت در برابر آتش دال‌های بتنی تقویت شده FR1-Fire و FR2-Fire تحت بار
۱۷۶	ثابت

فهرست مطالب - ادامه

۱۸۰	۲-۲-۲-۴ دال بتنی تقویت شده FR2-Fire
	۳-۲-۲-۴ آزمون مقاومت در برابر آتش دال بتنی تقویت شده با نوار FRP (۳۰۰mm) و پوشش
۱۸۵	محافظ با دو ضخامت (FR1-Fire-P1 و FR1-Fire-P2) تحت بار ثابت
۱۹۱	۴-۲-۲-۴ آزمون مقاومت در برابر آتش FR1-Fire-P2
	۴-۲-۴-۶ آزمون مقاومت در برابر آتش دال‌های بتنی تقویت شده با نوار FRP (۱۵۰mm) و پوشش
۱۹۷	محافظ حرارتی با دو ضخامت مختلف تحت بار ثابت، FR2-Fire-P1 و FR2-Fire-P2
۲۱۱	فصل پنجم نتیجه گیری
۲۱۵	مراجع

پیش گفتار (سخن ناشر)

محافظت ساختمان‌ها در برابر آتش‌سوزی از ابعاد ایمنی جانی، مالی و منافع ملی از ضروری‌ترین نیازها و الزامات در طرح و اجرای ساختمان‌ها است. علوم و مهندسی ایمنی در برابر آتش از موضوعات مهمی می‌باشد که در دهه‌های اخیر در دنیا بسیار مورد توجه قرار گرفته است. دانش فنی و فناوری‌های ایمنی در برابر آتش به سرعت در دنیا در حال رشد است. این موضوع فقط به صنعت ساختمان محدود نمی‌شود و زمینه‌های متعددی مانند حمل و نقل دریایی، هوایی، مترو، قطارها، تونل‌های بزرگ، نیروگاه‌ها، صنایع نظامی و غیره همگی متقاضیان بالقوه و بالفعل تحقیقات و فناوری‌های آتش هستند. این تقاضا و نیاز همراه با توسعه شهری و صنعتی، بیشتر نیز می‌شود. همینطور در بسیاری موارد، اهداف سبک‌سازی، مقاوم‌سازی، عایق‌کاری حرارتی و کاربرد مواد پلیمری و کامپوزیت‌ها در صیغ سازه‌ها و حمل و نقل، باعث افزایش خطر حریق شده، از مراکز تحقیقاتی انتظار می‌رود راه‌حل‌های آتش را بر روی ایمنی این محصولات در برابر آتش ارائه نمایند. بنابراین حوزه تحقیقات آتش بسیار گسترده، متنوع و کاملاً تخصصی است. به این موضوع باید گرایش‌های جدید مقررات و استانداردها در دنیا به شکلگیری الزامات پایه عملکردی و راه‌حل‌های مهندسی را اضافه کرد که حوزه‌های جدید و تخصصی جایی را در تحقیقات آتش گشوده است.

خوشبختانه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ایستادن به این اهداف در کشور پیشرو بوده و فعالیت‌های بسیار مهمی را انجام داده است. اولین آزمایشگاه آتش در کشور توسط مرکز راه‌اندازی شده و صدها آزمایش آتش بر روی مصالح و سیستم‌های ساختمانی مورد استفاده در ایران صورت گرفته است. آزمایش‌های مقاومت در برابر آتش برای انواع محصولات ساختمانی، از جمله برای پوشش‌های ضد حریق در مرکز انجام می‌شود و راه را برای تشخیص محصولات مناسب با کیفیت هموار نموده است. آزمایش‌های آتش موجود در مرکز علاوه بر حوزه‌های ساختمانی، مطابق با استانداردهای بین‌المللی کشتیرانی نیز قابل انجام است. انواع عایق‌های حرارتی و نماهای جدید در رکن نظیر آتش آزمون می‌شوند و الزامات کاربردی برای آنها تعیین و گزارش می‌شود. تا امروز بیش از ۱۰۰ مقاله، کتاب، نشریه تحقیقاتی و الزامات فنی در زمینه تخصصی آتش توسط مرکز منتشر شده است. در چند سال اخیر، ارجاعات بین‌المللی در مقالات و کتاب‌های خارجی به یافته‌های پژوهشی مرکز در زمینه آتش رشد داشته و نشان‌دهنده قابلیت‌ها و کیفیت پژوهش‌های مرکز در حوزه‌های تخصصی است. همچنین همکاری خوب بین مرکز و سازمان ملی استاندارد موجب شد تا کشور ایران در کمیته‌های تخصصی آتش در مؤسسه بین‌المللی استاندارد (ISO) به عنوان عضو فعال شناخته شود. این باعث

می‌شود تا در آینده به نحو بهتری منافع ملی و دیدگاه‌های ایران در استانداردهای ISO در نظر گرفته شود و از اتفاقات استانداردهای بین‌المللی به روز آگاه باشیم.

در سال‌های اخیر، استفاده از کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با الیاف (FRP) برای مقاوم‌سازی سازه‌های بتنی و بهسازی لرزه‌ای، گسترش یافته است. کامپوزیت‌های FRP دارای مزایایی چون استحکام و دوام بالا، وزن کم، قابلیت طراحی و مقاومت به خوردگی می‌باشند، اما به علت رزین زمینه نسبت به اثرات آتش‌سوزی یا دماهای نسبتاً بالا (حتی در دماهای حدود 100°C) حساس و ضعیف هستند. بنابراین آتش‌سوزی می‌تواند مقاومت مکانیکی مواد FRP را به مقادیری به مراتب پایین‌تر از مقدار طرح کاهش داده یا کاملاً بی‌اثر سازد و متعاقباً مقاومت سازه در برابر نیروهای جانبی کاهش می‌یابد. موضوع وقت‌بسته‌تر می‌شود که این مواد برای مقاوم‌سازی ساختمان در برابر نیروهای ثقلی (مثلاً به علت برشی اشکات مراحل طرح یا اجرا، افزایش تعداد طبقات و غیره) به کار رفته باشند، که در این صورت آتش‌سوزی می‌تواند به صورت خطرناک باعث شکست اجزای سازه‌ای و سقوط آنها شود. نکته اساسی دیگر، نیاز به مقاومت لازم در برابر آتش مطابق با الزامات مقررات ساختمانی است که در صورت وجود مواد FRP بدون پریش محافظت‌کننده) با شرایط پیچیده‌تری روبرو خواهد شد، زیرا رفتار عنصر مورد نظر در برابر آتش، متناسب با جزئیات رایج بوده، ممکن است بسیار ضعیف‌تر از آنها باشد. به علاوه، در صورت قابل اشتعال بودن کامپوزیت به کار رفته، ریسک حریق اضافی نیز به ساختمان اضافه خواهد شد و خطر گسترش آتش‌سوزی در ساختمان را در بر خواهد داشت. بنابراین ارزیابی رفتار کامپوزیت‌های FRP رایج در کشور ضروری است. در این پروژه رفتار اشتعالی مواد کامپوزیت با رزین اپوکسی و الیاف کربن بررسی و تحلیل شد. همچنین مقاومت در برابر آتش سیستم دال بتنی تقویت شده با نوار CFRP بررسی و جزئیات محاسباتی FK^2 استفاده از یک نوع پوشش محافظت‌کننده در برابر آتش به وسیله آزمون‌های مختلف در حوزة مقاومت در برابر آتش ارزیابی شد که نتایج کاربردی و قابل توجهی به دست آمده است. نتایج این تحقیق به دلیل اهمیت جزئیات اجرایی در میزان مقاومت سیستم در برابر آتش را نشان می‌دهد.

امید است این نشریه مورد استفاده مهندسی قرار گرفته و در ارتقاء دانش فنی مؤثر باشد.

محمد شکرچی زاده

رئیس مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

چکیده

در سال‌های اخیر، استفاده از کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با الیاف (FRP) برای مقاوم‌سازی سازه‌های بتنی و بهسازی لرزه‌ای، گسترش یافته است. کامپوزیت‌های FRP دارای مزایایی چون استحکام و دوام بالا، وزن کم، قابلیت طراحی و مقاومت به خوردگی می‌باشند، اما نسبت به اثرات آتش‌سوزی یا دماهای نسبتاً بالا (حتی در دماهای حدود 100°C) حساس و ضعیف هستند، زیرا رزین زمینه آن‌ها دمای انتقال شیشه‌ای پایینی دارد. بنابراین آتش‌سوزی می‌تواند مقاومت مکانیکی مواد FRP را به مقادیری به مراتب پایین‌تر از مقادیر طرح کاهش داده یا کاملاً بی‌اثر سازد و متعاقباً مقاومت سازه در برابر نیروهای جانبی کاهش می‌یابد. موضوع وقتی اساسی می‌شود که این مواد برای مقاوم‌سازی ساختمان در برابر نیروهای نقلی (مثلاً به علت برش اشکرت در مراحل طرح یا اجراء، افزایش تعداد طبقات و غیره) به کار رفته باشند، که در این صورت آتش‌سوزی می‌تواند به صورت خطرناک باعث شکست اجزای سازه‌ای و سقوط آنها شود. به همین دلیل تعیین درجه مقاومت در برابر آتش اجزای مقاوم‌سازی شده مطابق با الزامات ساختمان سازمان است که در صورت وجود مواد FRP (بدون پوشش محافظت‌کننده) با شرایط پیچیده‌تری روبرو خواهد شد، زیرا رفتار عنصر مورد نظر در برابر آتش، متفاوت با جزئیات رایج بود. ممکن است بسیار ضعیف‌تر از آنها باشد. به علاوه، در صورت قابل اشتعال بودن کامپوزیت به کدر رفته، ریسک حریق اضافی نیز به ساختمان اضافه خواهد شد و خطر گسترش آتش‌سوزی در ساختمان را در بر خواهد داشت. بنابراین ارزیابی رفتار کامپوزیت‌های FRP رایج در کشور ضروری است. در این پروژه در فاز اول، خواص حرارتی رزین اپوکسی و دو نوع کامپوزیت CFRP و GFRP با آنالیز حرارتی به منظور تعیین نقطه انتقال شیشه‌ای رزین تحلیل و ارزیابی شد. سپس رفتار اشتعالی این دو کامپوزیت با آزمون‌های واکنش در برابر آتش بررسی و بر اساس داده‌های حاصل از آزمون‌های آتش مقیاس کوچک، پارامترهای واکنش در برابر آتش شامل قابلیت اشتعال، مقدار و شدت رهش گرمای ناشی از سوختن، مقدار و شدت دود حاصل از سوختن، گازهای مونوکسید و دی اکسید کربن، بحث و تحلیل شد. در فاز دوم پروژه، میزان مقاومت در برابر آتش سیستم دال بتنی تقویت شده با نوار CFRP بررسی و جزئیات محافظتی FRP با استفاده از یک نوع پوشش محافظ‌کننده در برابر آتش به وسیله آزمون‌های تجربی در

کوره مقاومت در برابر آتش ارزیابی شد که نتایج کاربردی و قابل توجهی به دست آمد. نتایج نشان داد که مواد کامپوزیت‌های FRP با رزین اپوکسی موجود در کشور از قابلیت اشتعال بالایی برخوردار هستند و نیاز به اصلاح خواص آن‌ها به وسیله مواد کندسوزکننده وجود دارد. برای دال بتن مسلح تقویت شده با CFRP نسبت به حالت تقویت نشده، زمان مقاومت در برابر آتش کمتری به دست آمد و مشخص شد که در این حالت نیاز به محافظت کامپوزیت تقویت کننده در برابر آتش وجود دارد. محافظت از کامپوزیت به وسیله یک نوع پوشش محافظت کننده با پایه گچی و میکولیت با دو ضخامت اسمی $1/5\text{ cm}$ و $2/5\text{ cm}$ صورت گرفت. نتایج نشان داد که این محافظت برای حفظ عملکرد کامپوزیت و افزایش مقاومت دال بتنی تقویت شده نقش بسیار مهم دارد. در این حال، روش و جزئیات اجرایی در رسیدن به عملکرد مورد نظر حائز اهمیت است. به نظر می‌رسد تخته بودن سطح مورد نظر، استفاده از مش‌های تقویتی و نحوه کاربرد آن باید به دقت مورد توجه قرار گیرد.