

## کنترل خوردگی بتن توسط

### صفحات کامپوزیتی سه بعدی بافته شده با نخ شیشه

دفتر فنی سازه

ویرایش ۱.۱

مهرماه ۱۳۹۸

این گزارش یکی از اسناد شرکت نوآوران صنعت سیلک و متعلق به این شرکت می باشد. استفاده از این جزوه و نقل از آن با ذکر ماخذ و شماره ویرایش آن مجاز می باشد.

این گزارش به طور مستمر در حال تکمیل و ویرایش است. بخش تحقیق و توسعه شرکت نوآوران صنعت سیلک این گزارش را بر اساس بهترین آگاهی، دانش و تجربه خود تهیه و تنظیم نموده است و مانند هر سند مشابه دیگری ادعا ندارد که کامل و بدون نقص می باشد. لذا از هرگونه نظرات اصلاحی استقبال کرده و ارج می نهد.

[www.sialk-co.ir](http://www.sialk-co.ir)

به نام خدا

ویرایش ۱۱  
مهرماه ۱۳۹۸

## طرح کنترل خوردگی بتن توسط

### صفحات کامپوزیتی سه بعدی بافته شده با نخ شیشه

#### مقدمه:

صفحات کامپوزیتی تقویت شده با پارچه سه بعدی شیشه ای، حاصل بافت سه بعدی نخ شیشه با مقاومت کششی بسیار زیاد، و سپس تبدیل آن با کمک رزین به پانل های سبک، مقاوم، عایق صدا، حرارت و رطوبت، در ابعاد و ضخامت های مختلف می باشد.

پارچه های سه بعدی در هر سه راستای X و Y و Z، مُد تخریب تورق (Delamination) در آن ها منتفی و هم چنین امکان دور کردن حداکثری جرم از مرکز و تحمل حداکثری مُمان خمشی و هم چنین امکان افزایش حداکثری نسبت استحکام به وزن در آن ها وجود دارد.

این صفحات کامپوزیتی به واسطه مشخصات و قابلیت های منحصر به فرد آن در مواردی که نیازمند مزایای رقابتی زیر هستند کاربرد گسترده ای دارد:

- بسیار سبک و با تحمل بار بسیار بالا
- عایق خوب صوتی، حرارتی، و رطوبتی
- مقاوم در مقابل خوردگی و پوسیدگی
- مقاوم در مقابل زلزله، ضربه، و خستگی
- سهولت شکل دهی و سرعت بسیار بالای اجرا

در کاربردهای ساختمانی این محصول به ویژه با توجه به گواهی نظریه فنی دریافتی از مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی می تواند می تواند به طور وسیعی به عنوان جایگزین دال های بتن آرمه، سقف های کامپوزیت، سقف های آجری، سقف های عرشه فولادی، سازه های L.S.F، و هم چنین جایگزین انواع تیغه ها، دیوارهای جدا کننده و . . . مورد استفاده قرار گیرد. در تمام سقف های مورد اشاره، صفحات کامپوزیتی تقویت شده با پارچه سه بعدی بافته شده با نخ شیشه می تواند جایگزین همه لایه هایی گردد که بر روی تیرها قرار می گیرند. در این حالت صفحه کامپوزیتی مستقیماً بر روی تیرچه ها پیچ شده و نقش همه لایه های روی تیر را بازی می کند (تحمل خمش، عایق صوتی و حرارتی).

جزوه حاضر طرحی برای کنترل خوردگی دیوارهای بتنی توسط صفحات کامپوزیتی سه بعدی بافته شده با نخ شیشه می باشد که طی آن دیواره بتنی توسط یک لایه کامپوزیتی مقاوم پوشانده می شود.

\* \* \* \* \*

## طرح کنترل خوردگی بتن در مناطق ساحلی خلیج فارس و دریای عمان

### توسط صفحات کامپوزیتی سه بعدی بافته شده با نخ شیشه

امروزه در کشور با توجه به توسعه همه جانبه و روز افزون مناطق جنوبی در حاشیه خلیج فارس به علت توسعه ترانزیت دریایی و بهره برداری و استخراج منابع نفت و گاز، ساخت و اجرای انواع سازه های بتنی در سطح وسیع در سال های اخیر رونق گرفته است اما بسیاری از سازه های بتنی ساخته شده در این مناطق به علل مختلف دچار آسیب دیدگی و یا خرابی زودرس شده اند. شرایط آب و هوایی بسیار خورنده، عدم آگاهی کافی عوامل اجرایی، ضعف در مراحل ساخت، به کارگیری مصالح نامناسب و بدون کیفیت و ... از عوامل انواع این خرابی ها بوده است. اگرچه جلوگیری از خسارات ناشی از محیط های خورنده بسیار دشوار و حتی غیر ممکن است، ولیکن با افزایش سطح اطلاعات در رابطه با شناخت راه کارهای موثر بر افزایش پایداری بتن در شرایط محیطی شدید، می توان از نفوذ یون کلرید و کربناسیون به عنوان اصلی ترین عامل خوردگی بتن جلوگیری نمود و باعث کاهش خرابی و افزایش عمر مفید سازه های بتن مسلح در این گونه محیط ها شد.

### ۱. بیان مسئله

شناخت عوامل موثر بر کاهش نفوذ پذیری بتن می تواند از هجوم عوامل خورنده و مخرب هم چون سولفات ها، کلریدها و کربناسیون به داخل اعضای بتنی جلوگیری کند. از جمله این عوامل می توان به استفاده از سیمان مناسب با عیار بهینه، انتخاب صحیح و مناسب نسبت اختلاط، استفاده از افزودنی های شیمیایی مانند روان کننده ها به منظور کاهش آب مصرفی، تامین حداکثر تراکم بتن و عمل آوری دقیق و کافی و ... اشاره کرد اما با توجه به ساخت بتن در شرایط با دقت نسبتاً کم همواره نمی توان همه جوانب جهت ساخت بتن با نفوذ پذیری کم را فراهم نمود. حتی در شرایطی که همه این عوامل کنترل شوند، دوام بتن با توجه به غلظت بالای عوامل مهاجم خیلی بالا نخواهد بود. حمله کلریتی به عنوان عاملی که بتن و آرماتور را تهدید و درگیر می کند یک دغدغه همیشگی برای طراحان، سازندگان و بهره برداران بوده است. به این منظور در این پروپوزال استفاده از صفحات کامپوزیتی تقویت شده با پارچه سه بعدی بافته شده با نخ شیشه به عنوان کاور بیرونی بتن (پشت قالب) جهت بتن ریزی اعضای سازه ای خاص هم چون ستون ها و شمع های بتنی در محیط هایی با خوردگی فوق العاده پیشنهاد می گردد. این صفحات حاصل بافت سه بعدی نخ شیشه با مقاومت کششی بسیار زیاد است که علاوه بر بارهای خمشی و ضربه پذیری، عملکرد بسیار عالی را به عنوان عایق رطوبتی دارد. وجود پوسته رزینی تشکیل شده بر روی لایه های این صفحات، نفوذ پذیری عوامل خورنده را برای سال ها غیر ممکن می سازد. در واقع مسئله اصلی طرح پیشنهادی این است که میزان تاثیر استفاده از صفحات کامپوزیتی

تقویت‌شده با پارچه سه‌بعدی بافته‌شده با نخ شیشه در کاهش نفوذ عوامل خوردنده در اعضای سازه‌های بتنی به چه نحوی است؟ آیا این صفحات صرفه اقتصادی نسبت به راه‌کارهای موجود دارند؟ و از همه مهم‌تر ضوابط آیین‌نامه‌های موجود را برای افزایش پایایی بتن اعضای سازه‌ای را فراهم می‌کند یا خیر؟

## ۲. اهداف و نوآوری‌ها این پژوهش

همان‌گونه که اشاره شد متأسفانه ساختار متخلخل بتن و خلل و فرج سازه‌های بتنی باعث مهاجرت یون‌های مهاجم نظیر کلرور، سولفات و . . . به سطح فولاد و گسترش خوردگی آن در اثر واکنش‌های (شیمیایی/ الکتروشیمیایی) می‌گردد و حاصل آن، تشکیل محصولات خوردگی می‌باشد که باعث حجیم شدن فولاد درون سازه بتنی، باد کردن، ترک خوردن، ورقه شدن و نهایتاً تخریب بتن می‌گردد. در این پژوهش سعی شده است با استفاده از تکنولوژی بومی شده‌ی ساخت صفحات کامپوزیتی تقویت شده از نفوذ عوامل مخرب به اعضای سازه‌های بتنی جلوگیری شود و با انجام آزمایش‌هایی همچون مقاومت فشاری، عمق نفوذ آب تحت فشار، نفوذ تسریع شده یون کلرید [6]، پتانسیل خوردگی [5] (با استفاده از دستگاه Half Cell) و شدت خوردگی آرماتور [7] (با استفاده از دستگاه پتانسیواستات) صحت امر روشن گردد. از اهداف شاخص این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. نرخ نفوذ عوامل خوردنده در اعضای سازه‌های بتنی
۲. نرخ پتانسیل و شدت خوردگی آرماتورها
۳. ارضای ضوابط آیین‌نامه‌ای در خصوص افزایش پایایی بتن
۴. توجیه اقتصادی طرح مذکور نسبت به سایر طرح‌ها برای سازه‌های خاص در مجاورت دریا

## ۳. روش اجرای طرح و مدل‌های مورد بررسی

برای دستیابی به اهداف تحقیق بایستی نمونه‌ها در دو حالت با و بدون کاور کامپوزیتی با هندسه مکعب به ابعاد  $200 \times 200 \text{ mm}$  ساخته شود. جنس قالب مکعبی از ورق گالوانیزه است تا کاملاً از نظر عبور دهی شیره بتن چک شوند و نمونه پس از گیرش اولیه به راحتی از آن خارج شود. آزمایش مقاومت فشاری، عمق نفوذ آب تحت فشار، پتانسیل خوردگی (با استفاده از دستگاه Half Cell) و شدت خوردگی آرماتور (با استفاده از دستگاه پتانسیواستات) بر روی نمونه‌های مکعبی و آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلرید بر روی نمونه استوانه‌ای در سنین ۲۸، ۹۰ و ۱۸۰ روزه صورت پذیرد.

با توجه به اهداف تحقیق مذکور و ضرورت اهمیت سازه‌های مجاور دریا باید نمونه‌ها در محیط‌هایی به عنوان شبیه ساز محیط فوق‌العاده خورنده قرار گیرند، که شرح زیر هستند:

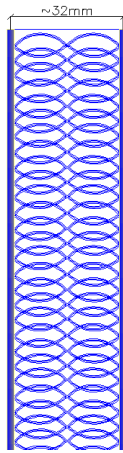
۱. محیط تر: حوضچه دارای آب نمونه آب محیط مهاجم در دمای بین ۳۰-۳۵ درجه سانتی‌گراد که آب آن در فواصل یک ماه تعویض شود.
۲. محیط تر و خشک (جزر و مد): این محیط از دو حوضچه حاوی نمونه آب محیط مهاجم تشکیل شده است که به وسیله پمپ، آب حوضچه‌ها به یکدیگر پمپاژ می‌شود. باید در هر ۲۴ ساعت یک سیکل تر و خشک صورت گیرد که در هر سیکل ۱۰ ساعت خیس شدن و ۱۴ ساعت خشک شدن وجود داشته باشد.
۳. ناحیه پاششی: برای این محیط باید از یک کانال با ابعاد مناسب به همراه دستگاه موج ساز با قابلیت ایجاد امواج منظم استفاده شود. در این کانال بایستی از آب محیط مهاجم استفاده شود که نمونه‌ها با قرار گرفتن در سطح تراز آب ساکن در معرض برخورد موج و پاشش آن قرار گیرد.
۴. ناحیه اتمسفری: برای شبیه‌سازی این ناحیه بایستی از یک پمپ آب به همراه یک سری نازل که آب را به صورت قطرات بسیار ریز (تقریباً مه مانند) اسپری کند، استفاده شود و نمونه‌ها با کمی فاصله از این سیستم قرار گیرند تا ناحیه اتمسفری تا حد امکان دقیق شبیه سازی شود.

### ۳/۱. مصالح مصرفی و طرح اختلاط

برای بررسی تاثیر فرآیند بهبود عمل کرد بتن، می‌توان نمونه‌ها را در دو حالت مورد بررسی قرار داد. یک نمونه می‌تواند بتن ساخته شده مطابق با الزامات آیین‌نامه آبا و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان در محیط‌های مهاجم باشد. نمونه دیگر بتن معمولی بدون در نظر گرفتن الزامات سخت‌گیرانه محیط‌های مهاجم در نظر گرفته می‌شود. توصیه می‌شود آزمایشات طرح شده روی هر دو نمونه صورت گرفته و نتایج آن به بهره برداران ارائه گردد.

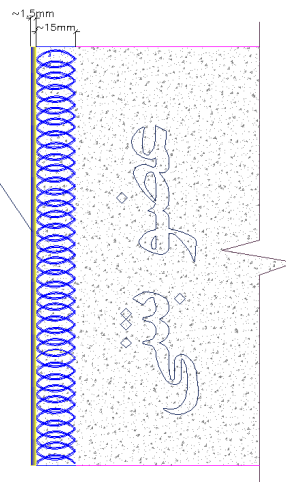
### ۳/۲. نحوه ساخت نمونه‌ها

نحوه ساخت نمونه‌ها در حالت با کاور کامپوزیتی به این گونه است که صفحات کامپوزیتی تقویت شده با پارچه سه‌بعدی بافته شده با نخ شیشه با توجه به محل نشان داده در **Error! Reference source not found.** توسط آرّه مویی برش داده و صفحات نصف شده را به نحوی داخل قالب قرار گیرد که سمت برجسته صفحات داخل بتن و سمت صاف و رزینی پشت قالب باشد و سپس قالب‌ها بتن ریزی شوند. (شکل ۱ و شکل ۲)



شکل ۲ پانل سه بعدی سیلک

نصف پانل سه بعدی  
پیش از بتن ریختن پشت  
قالب قرار داده شود.



شکل نحوه اجرای لایه محافظ کامپوزیتی

## مراجع

- ۱- آئین‌نامه طراحی سازه‌های بتنی (مقررات ملی ساختمان مبحث ۹). انتشارات مرکز تحقیقات و مسکن
- ۲- رضانیانپور، پورخورشیدی، (۱۳۸۲) "خوردگی به‌تنهای مسلح مختلف در شرایط محیطی گرم و خورنده". هشتمین کنگره ملی خوردگی دانشگاه فنی دانشکده تهران، خرداد ۱۳۸۲
- ۳- محمودی، افشین و حکیم زاده، (۱۳۸۸) "بررسی دوام بتن مسلح در محیط دریایی خورنده شدید بر حسب موقعیت قرارگیری بتن نسبت به تراز آب دریا". نشریه مهندسی دریا، سال پنجم، شماره ۱۰
- ۴- نبی‌زاده، فرخ سرشت، "بررسی اثرات خوردگی حاصل از نفوذ آب دریای خزر روی بتن ساخته شده با انواع سیمان پرتلندهای". اولین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف.
- ۵- آیین‌نامه بتن ایران "آبا" نشریه ۱۲۰.

5- ASTM(American Society for Testing and Materials), Standard Test method of Half- Cell Potential of Uncoated Reinforced Steel in Concrete, ASTM C876, ASTM Publication, 1995.

6- ASTM(American Society for Testing and Materials), Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, ASTM C1202 – 19

7- A.Benture, S.Diamond and N.S.Berke, " Corrosion of steel in concrete" , 1988.

8- Ping Gu, .J.J. Beaudoin, Min-Hong Zhang, and V. M. Malhotra, " Performance of Reinforcing Steel in Concrete Containing silica fume and Blast- Furnace Slage Poned with Sodium Chloride Solution ", ACI Materials Journal / May June , 2000.

دفتر فنی سازه<sup>۱</sup>

شرکت نوآوران صنعت سیلک

□

<sup>۱</sup> - مهندس آرمین کامیابی، زیر نظر جناب دکتر مسعود شفیعی