# بررسی و مقایسه بتن فوق توانمند (UHPC) با بتن مسلح با الیاف شیشه (GFRC)

**مقدمه**

بتن فوق توانمند (UHPC) قابلیت های جدیدی را برای کاربردهای معماری در طراحی ساختمان بتنی ارائه می دهد. UHPC بیش از چهار برابر قوی تر از بتن سنتی است و در شرایط سخت عملکرد فوق العاده ای دارد.

قدرت آن از طرح اختلاط دقیق مواد تشکیل دهنده مهندسی شده و توالی مخلوطی است که مولکول ها را به هم نزدیک کرده و پیوندهای بسیار محکمی ایجاد می کند.

چگالی ، مقاومت خمشی و فشاری فوق العاده ای دارد ، در حالی که عملاً منافذ مویرگی را که باعث تخریب و انجماد یخ در سایر محصولات بر پایه سیمان می شود ،

از بین می برد. این خصوصیات متمایز فرصت هایی برای دهانه های بزرگتر ، پروفیل های نازک تر و هندسه های پیچیده تر ، با هزینه نصب مطلوب را فراهم می کند ، در حالی که عملکرد بالاتری را در آب و هوای شدید نسبت به سایر بتن های تقویت شده با الیاف شیشه (GFRC) ، سفال یا محصولات بتنی بتن معمولیبا فلز تقویت شده ارائه می دهد.

## روکش های بتنی پیش ساخته معماری و عناصر نمای ساختمان

Architectural precast concrete cladding and façade elements were in use at the end of the 1950s in Europe to

satisfy the increasing demand for affordable housing. For a long time, standard steel reinforced concrete (RC)

elements dominated the pre-cast market for cement-based concrete building envelopes. From the 1960s to the 1980s,

they dominated the architectural landscape in many urban areas all around the world (Mueller et al., 2015). The

disadvantage of RC for architectural applications is the thickness of elements, which is due to the concrete cover

required to protect the steel reinforcement from corrosion. For a building façade, the typical concrete cover ranges

from 30 to 35 mm over the reinforcement (varying with the country design code) which limits the minimum wall

thickness of a precast concrete cladding to 80 mm (Neville, 2002; ACI 318,

2014). This makes the elements

particularly heavy and thick. Over the last 20 years, new concrete materials emerged on the market, enabling builders

to drastically reduce the thickness and weight of cladding elements by removing the standard steel rebar and steel

meshes in favor of other reinforcement alternatives. Two of those new materials are ultra-high-performance concrete

(UHPC) – also called reactive powder concrete (RPC) - reinforced with inorganic/organic discrete fibers and textile

روکش های بتنی پیش ساخته معماری و عناصر نمای ساختمان در اواخر دهه 1950 در اروپا برای برآوردن تقاضای فزاینده برای مسکن مقرون به صرفه مورد استفاده قرار گرفت. برای مدت طولانی ، عناصر استاندارد بتن مسلح فولادی (RC) بر بازار پوشش های بتنی سیمانی مسلط بودند. از دهه 1960 تا 1980 ، آنها بر چشم انداز معماری در بسیاری از مناطق شهری در سراسر جهان تسلط داشتند ضعف RC برای کاربردهای معماری ضخامت عناصر است که به دلیل پوشش بتنی مورد نیاز برای محافظت از فولاد در برابر خوردگی است.

برای نمای ساختمان ، پوشش معمولی بتن بین 30 تا 35 میلی متر بر روی آرماتور (بسته به کد طراحی هر کشور) متغیر است که حداقل ضخامت دیوار روکش بتنی را به 80 میلی متر محدود می کند (Neville، 2002؛ ACI 318، 2014) . گذشته سال 20 طول در .شوند ضخیم و سنگین ویژه به عناصر شود می باعث این ، مصالح بتنی جدیدی در بازار ظاهر شد و سازندگان را قادر ساخت تا ضخامت و وزن عناصر روکش را با حذف میلگرد فولادی استاندارد و مش فولادی به نفع سایر جایگزین های تقویتی ، به شدت کاهش دهند. دو مورد از این مصالح جدید بتن با کارایی فوق العاده بالا (UHPC) و تقویت شده با الیاف گسسته معدنی/آلی و نساجی است. استاندارد تولید و ساخت و آزمایشات بتن فوق توانمند در M17 ASTMC1856 ذکر شده است.

## بتن مسلح با الیاف شیشه

اگر هنوز با بتن مسلح با الیاف شیشه (GFRC) آشنا نیستید ، باید آن را بشناسید. این ماده با ترکیب مخلوطی از ماسه ریز ، سیمان ، پلیمر (معمولاً پلیمر اکریلیک) ، آب ، سایر افزودنیها و الیاف شیشه مقاوم در برابر قلیا (AR) ساخته می شود .

الیاف دارای هدفی مشابه فولاد تقویت کننده در بتن آرمه هستند و همچنین مقاومت خمشی ، کششی و ضربه ای را اضافه می کنند. در نتیجه می توان از GFRC برای تولید محصولات بتنی معماری قوی و سبک وزن مانند پانل های ساختمان استفاده کرد.

همچنین به دلیل خواص منحصر به فرد و استحکام کششی می توان از آن برای ایجاد محصولات بتنی تزئینی مانند پانل های دیوار نما ، روکش شومینه ، و صفحات بتنی استفاده کرد. اکثر متخصصان صفحات بتنی به دلیل تطبیق پذیری ، استحکام و وزن سبک تر ، از GFRC به عنوان تکنیک انتخابی خود استفاده می کنند.

وقتی کسی می گوید فایبر گلاس ، ما به عایق فکر می کنیم ، اما شاید باید به بتن نیز فکر کنیم. از نظر فنی ، فایبرگلاس الیاف شیشه ای بسیار ظریف است.

موادی که برای ساخت قایق یا محصولات دیگر استفاده می شود ، اگرچه فایبرگلاس نامیده می شود ، در واقع الیاف پلاستیک شیشه ای تقویت شده با الیاف شیشه در یک ماتریس پلیمری است. اگر به جای پلیمر از سیمان و ماسه پرتلند استفاده می کنیم ، مواد به دست آمده GFRC یا بتن مسلح با الیاف شیشه است .پانل های GFRC معمولاً با شده تقویت سنتی بتن با الیاف شیشه ساخته می شوند.

این پانل ها با UHPC اختصاصی تولید می شوند که چهار برابر قوی تر است ، به نقاط لنگر کمتری احتیاج دارند و می توانند بارهای بسیار بیشتری را قبل از شروع ترک خوردگی تحمل کنند آب را جذب نمی کند و بنابراین برای حفظ استحکام و عملکرد بالا نیازی به روکش ندارد. این همچنین بدان معنی است که پنل ها بسیار پایدار هستند و با گذشت زمان شکست نمی یابند.

پانل های GFRC به اندازه برش خورده و برای مصرف کننده ها در کارخانه ساخته می شوند. با این حال ، پانل ها را می توان به راحتی در سایز برش زد و در صورت لزوم بدون نگرانی از پوشش ها در محل استفاده کرد. با لنگرهای کمتر مورد نیاز در هر پنل ، شکست کمتر در حمل و نقل و تیم مدیریت پروژه فعال ، نصب و راه اندازی می تواند کارآمد و مقرون به صرفه باشد .مشکل استفاده از الیاف شیشه به عنوان تقویت کننده بتن این است که شیشه در محیط قلیایی تجزیه می شودو تقریباً هیچ چیز قلیایی تر از بتن وجود ندارد.

ممکن است شما شنیده باشید که در صورت وجود سیلیس واکنشی در سنگدانه ، بتن در اثر واکنش قلیایی-سیلیس (ASR) آسیب دیده است. شیشه در درجه اول سیلیس است . GFRC اولیه اصلی در دهه 1940 به سرعت از بین رفت زیرا شیشه توسط محیط قلیایی از بین رفت. در دهه 1970 الیاف شیشه مقاوم در برابر قلیا (AR) تکمیل شد که منجر به افزایش سریع کاربردها ی GFRC گشت.GFRC در 30 سال گذشته برای تولید بسیاری از محصولات بتنی ، به ویژه صفحات نازک روکش معماری ، همچنین برای بتن زینتی مانند گنبد ، مجسمه ، کاشت و چشمه استفاده می شده است.

اخیراً ، صنعتگران بتنی تزئینی مزایای GFRC را برای صفحات تزئینی (مانند محوطه شومینه) ، صفحات بتنی و سنگ مصنوعی کشف کرده اند.سه روش برای ساخت عناصر بتنی با استفاده از GFRC وجود دارد: اسپری کردن دستی سنتی ، ریخته گری ارتعاش ، و پیش مخلوط اسپری شده.

- روش سنتی ، و شاید هنوز هم بهترین ، برای تولید عناصر بتن پیش ساختهGFRC ، اسپری دستی احتیاج متحدالمرکز خردکن یک به شما ، مستقیم اسپری روش با .شوند .است قالب در GFRC دارید ، که با قرقره ای از GFRC که به داخل تفنگ هلی کوپتر کشیده شده تغذیه می شود و در نازل مخلوط می شود. این ترکیب دارای فیبر بالاتری (4 تا 6 درصد) نسبت به آنچه می توان با پیش مخلوط به دست آورد ، است و برای پانل های بزرگتر روش توصیه شده است. با این حال ، به کارگران با تجربه ، تجهیزات گران قیمت و کنترل دقیق کیفیت نیاز دارد.
- ریخته گری ارتعاشی از GFRC از پیش مخلوط شده که در قالب ریخته می شود و ارتعاش می کند ، استفاده می کند. این یک روش بسیار ساده تر است ، اما نیاز به قالب های ضد آب دارد و با قالب های سنگی خوب کار نمی کند.
- سر یک و پریستالتیک پمپ یک به نیاز ، مخلوط در شده خرد الیاف با ، شده مخلوط پیش GFRC اسپری مخصوص دارد. این روش نیاز به تخصص کمتری نسبت به روش اسپری دستی دارد و نسبت به ریخته گری ارتعاشی ، استحکام بالاتری دارد.بیشتر قطعات تزئینی GFRC ، مخصوصاً میزهای پیشخوان یا محوطه شومینه با استفاده از رویکرد دو لایه ساخته می شوند. لایه روبرو لایه تزئینی نازک و لایه پشتی ضخیم تر است و حاوی الیاف شیشه است.
- پوشش صورت به طور معمول با استفاده از تفنگ قیف گچی به داخل قالب اسپری می شود. ضخامت این لایه حدود 8/1 تا 16/3 اینچ است.
- یک فوت مربع از سطح پیشخوان فقط به 2 پوند مخلوط بتن برای پوشش صورت نیاز دارد بنابراین با میکسر می توان یک کار 200 فوت مربعی را انجام داد اجازه می دهیم تا مواد در جایی که مرطوب است به گیرش خود برسد اما در حدود ½ ساعت تا 1 ساعت سفت می شود.
- سپس پوشش پشتی GFRC قرار می گیرد. اکثر پیمانکاران تزئینی یا این لایه را می ریزند یا آن را با ماله با دست روی ماله قرار می دهند. ضخامت این لایه بسته به اندازه پانل و بارهایی که حمل می کند در محدوده ¾ تا 1 اینچ است.
- لایه GFRC به طور معمول در دو لایه حدود 8/3 اینچی قرار می گیرد و با استفاده از غلطک یا یک

میز ارتعاشی فشرده می شود.

- مخلوط کن های GFRC باید سرعت همزن کم و زیاد برای مخلوط بتن کم آب و سیمان برای جلوگیری از شکستگی در هنگام افزودن الیاف شیشه ، فراهم آورند. همچنین می توانید از یک میکسر دستی ، مانند یا حتی یک تیغه مخلوط کن بر روی مته برقی استفاده کنید.
- با افزودن پلیمر ، GFRC نسبتاً سریع می گیرد . بسته به شرایط ، می توان صفحات را در عرض 24 ساعت بریده و صیقل داد ، اگرچه 3 روز باید منتظر بود تا بتن تقریباً قدرت کامل خود را بدست آورد.
- تابلوهای معماری اغلب با استفاده از آسترهای فرم مختلف ریخته می شوند. سطح روکش را می توان با ماسه ، اسید تراش یا صیقل داد. با استفاده از سیمان یا رنگدانه های رنگی می توان رنگ های مختلف خاکستری ، سفید و مایل به زرد را بدست آورد.
- بسیاری از قطعات زینتی GFRC با استفاده از سیمان سفید و رنگهای روشن رنگ آمیزی یا ریخته می شوند. قطعات آجری سنگی یا سفالی را می توان در پانل ها جاسازی کرد ، اگرچه باید به ویژگی های انقباض متفاوت مواد مختلف توجه کرد. بسیاری از ویژگی های مختلف معماری به بهترین وجه با استفاده از GFRC تولید می شوند.
- سنگ های مصنوعی معمولاً از پانل های GFRC استفاده می کنند که بر روی قالب های ساخته شده با استفاده از ویژگی های سنگ واقعی اسپری می شوند. اولین لایه ای که اسپری می شود فایبر گلاس ندارد. اولین لایه نازک فاقد الیاف است ، سپس با ترکیب GFRC ضخامت را تا ¾ اینچ اسمی می رسانیم.
- بین پانل ها از همان ماده ای استفاده شده است که برای ساخت پانل ها استفاده می شود تا رفتار و ظاهر یکسانی داشته باشند.

## مقایسه ویژگی های بتن فوق توانمند و بتن تقویت شده با الیاف شیشه

| ویژگی | UHPC | GFRC |
|---|---|---|
| ضخامت(میلی متر) | <25.4 | > 10 |
| چگالی(کیلوگرم/متر مکعب) | -- | 240-1800.2 |
| وزن مخصوص (کیلوگرم بر متر مربع) | 33- 47 | 37-32 |
| مقاومت فشاری Mpa | 124-117 | 82-28 |
| مقاومت کششی Mpa | 14.5 | - |
| مقاومت خمشی 3 نقطه ای Mpa | 20-11.7 | 12.4-6.9 |
| مدول خرابی Mpa | 23 | 30-5 |
| مدول الاستیسیته Gpa | - | 21-7 |
| | - | 25-16 |
| | - | >0.3 |
| | 6.4 | 13-8 |

| | | |
|---|---|---|
| تخلخل | 0 | 0 |
| رطوبت (٪( | | |
| جذب آب | بدون قطره | بدون قطره |
| حرکت رطوبت (٪ ( | | |
| | $1.0 \cdot 10^{-5}$ | $1.8\text{-}3.6 \cdot 10^{-5}$ |
| Water tightness ½” thick panel | | |
| | 0/0 | 0/5 |
| ضریب هداست حرارتی (mm/mm/° K) | | |
| | - | – |
| (شعله/دود) Sur. burning charac. | | |
| انجماد -ذوب ret. (%) F.S | | |

## مزایای بتن های تقویت شده با الیاف شیشه ( GFRC )

**ویژگی های سبک وزن آن را برای کاربردهای بزرگ ایده آل می کند.**

از آنجا که GFRC را می توان 2/1 ضخامت بتن معمولی سنتی تهیه کرد ، به طور خودکار 2/1 وزن آن است. و از آنجا که GFRC از اندازه ماسه که متراکم تر و سنگین تر از سیمان است استفاده نمی کند ، صرفه جویی در وزن حتی بیشتر است.

ضخامت بتن معمولی به طور معمول 1.5 و وزن آن 18 پوند است GFRC به ضخامت 4/3 اینچ و وزن آن 8 پوند در فوت مربع است. اگرچه چگالی نسبی مشابه بتن است ، اما صفحات GFRC می توانند بسیار نازک تر از پانل های بتنی سنتی باشند و آنها را سبک تر می کند.

**نازک است.**

حداقل ضخامت موثر برای بتن 1.5 ″ است . زیرا آرماتور فولادی مورد نیاز است. محدودیت عملی GFRC تنها حدود 4/1 ″ است.

**می توانید سریع با آن کار کنید**

از آنجا که GFRC دارای استحکام اولیه بالایی است که تا حدی توسط الیاف تامین می شود ، می توان آن را به سرعت از قالب جدا کرد. اکثر پروژه های GFRC را می توان در 24 ساعت قالب بندی کرد. به طور کلی ، پروژه های بتن معمولیسنتی باید حداقل چند روز در قالب باقی بمانند.

**احتمال ترک خوردگی در مقایسه با بتن معمولی کمتر است.**

قدرت و استحکام GFRC بسیار بالاست . حتی می تواند بدون ترک خوردن خم شود.

**ساخت اشکال پیچیده سه بعدی آسان است.**

اگر بخواهید برای آن قالب بسازید ، می توانید آن را از GFRC بسازید. حتی اشکالی که به دلیل زاویه پاشش مشکل به نظر می رسند را می توان با مونتاژ هوشمندانه قالب ایجاد کرد

**مقاومت فشاری ، خمشی و کششی بالا**

دوز بالای الیاف شیشه منجر به استحکام کششی بالا می شود در حالی که مقدار بالای پلیمر بتن را انعطاف پذیر و در برابر ترک خوردگی مقاوم می کند. تقویت صحیح با استفاده از اسکریم باعث افزایش بیشتر قدرت اجسام می شود و در پروژه هایی که ترک های قابل مشاهده قابل تحمل نیستند بسیار مهم است.الیاف شیشه ای مورد استفاده در GFRC به این ترکیب منحصر به فرد استحکام می بخشد. الیاف مقاوم در برابر قلیایی به عنوان عضو اصلی حمل بار کششی عمل می کنند در حالی که پلیمر و بتن الیاف را به هم متصل کرده و به انتقال بارها از یک فیبر به فیبر دیگر کمک می کند.بدون الیاف GFRC قدرت خود را ندارد و بیشتر مستعد شکستن و ترک خوردن است.

- می توان آن را با تمام رنگهای موجود در سنگ چدنی با سنگهای معمولی مطابقت داد .
- باعث صرفه جویی در مواد ، زمان و هزینه می شود ، زیرا فونداسیون ها و دیگر عناصر سازه ای برای تحمل وزن سنگین موجود در صفحات بتن معمولی سنگی نیازی به مهندسی ندارند .
- در حین ساخت و نصب آسان تر است ، کارایی را افزایش می دهد ، شکستگی را کاهش می دهد و ایمنی را افزایش می دهد.

## طرح اختلاط بتن های تقویت شده با الیاف شیشه GFRC

**ماسه ریز**شن و ماسه مورد استفاده در GFRC باید دارای اندازه متوسطی باشد که از یک الک 50# به الک شماره 30 (0.3 میلی متر تا 0.6 میلی متر) عبور می کند. ماسه های ریز تمایل به جلوگیری از جریان پذیری

دارند در حالی که مواد درشت تر تمایل به خروج از مقاطع عمودی دارند و هنگام پاشش به عقب برمی گردند.

نسبتهای معمولی از وزن مساوی سیمان به نسبت بتن معمولی استفاده می کنند.**سیمان**

**پلیمر** پلیمر اکریلیک معمولاً برای پلیمرهای EVA یا SBR برای GFRC ترجیح داده می شود. اکریلیک قابل تجدیدپذیری نیست ، بنابراین وقتی خشک شود نه نرم می شود و نه حل می شود و نه در معرض نور خورشید زرد می شود. بیشتر پلیمرهای اکریلیک مورد استفاده در GFRC دارای محتوای جامد بین 46 تا 50 درصد هستند. دوز پلیمر به طور معمول 6٪ وزن مواد سیمانی است.

**آب** ، نسبت آب معمولی به سیمان بین 3/0 تا 35/0 متغیر است. هنگام تعیین مقدار آب مورد استفاده مطمئن شوید که میزان آب پلیمر اکریلیک خود را در نظر بگیرید. این می تواند محاسبه نسبت آب به سیمان را مشکل سازد مگر اینکه میزان جامدات پلیمر مشخص باشد. با محتوای جامدات پلیمری 46٪ ، به ازای هر 100 پوند سیمان 15 پوند پلیمر به اضافه 23 پوند آب اضافه می شود.

- الیاف جزء ضروری GFRC هستند. اگر از روش اسپری کردن برای **الیاف شیشه ای مقاوم در برابر قلیا** ریختن استفاده می کنید ، الیاف در زمان استفاده به طور خودکار توسط دستگاه بریده شده و به مخلوط اضافه می شوند. اگر از پیش مخلوط یا روش ترکیبی برای ریختن بتن استفاده می کنید ، الیاف را مخلوط کنید.

محتوای فیبر متفاوت است اما معمولاً بین 3 تا 7 درصد وزن کلی سیمان است. محتوای بیشتر **فیبر** محتوای فیبر باعث افزایش قدرت اما کاهش کارایی می شود. بر خلاف اکثر اجزای طراحی مخلوط بتن ، الیاف موجود در GFRC به عنوان درصد وزن سیمانی خشک محاسبه نمی شوند. در عوض ، آنها به عنوان نسبت وزن کل محاسبه می شوند. این امر محاسبه بار فیبر را در طرح های مخلوط GFRC کاملاً پیچیده می کند.

برخی از عناصر دیگر که ممکن است برای مخلوط کردن خود انتخاب کنید شامل **سایر مواد افزودنی** پوزولان ها ، مانند دوده سیلیس ، متاکائولین ، VCAS و فوق روان کننده ها است.