



## گزارش ارزیابی و الزامات

سقف پانلی کامپوزیتی با پارچه سه بعدی از الیاف شیشه پر شده با ملات سیمانی، شرکت نوآوران صنعت سیلک، مورد استفاده برای سقف با تیرچه‌های فولادی

کاربرد مورد بررسی: پوشش سازه‌ای سقف

شرکت متقاضی: شرکت نوآوران صنعت سیلک

رده مورد بررسی: زیر سیستم‌های سازه‌ای - کامپوزیت

ویژگی‌های مورد بررسی:

- ویژگی‌های محصول

- کفایت عملکردی

- جزئیات و نحوه اجرا

\* تولید و اجرا، مسئولیت نظارت عالی و کنترل کیفی بر عهده شرکت نوآوران صنعت سیلک می‌باشد.

\* این نظریه صرفاً در برگیرنده شرایط طراحی و استفاده از محصول است و بر کیفیت تولید و اجرای محصول دلالت ندارد.

\* این نظریه بر اساس پرونده نظریه فنی به شماره ۱۶۸۷۶ در سامانه خدمات الکترونیک صادر شده است.

\* این نظریه بر اساس آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های سقف کامپوزیتی با پارچه سه بعدی از الیاف شیشه پر شده با ملات سیمانی، شرکت نوآوران صنعت سیلک مورد استفاده برای سقف با تیرچه‌های فولادی در مرکز تدوین شده است.

\* این نظریه بر اساس نامه شماره ۳۸۱۶-۳۱-۹۹ مورخ ۱۳۹۹/۰۳/۱۱ صادر شده است.



## ۱- کلیات

محصول مورد بررسی نوعی سقف پانلی کامپوزیتی است.

مالک معنوی نظریه فنی: شرکت نوآوران صنعت سیلک

## ۲- معرفی محصول/سیستم

پانل کامپوزیتی متشکل از پارچه سه بعدی از جنس فیلامنت شیشه است که با رزین آغشته شده است و با ملات سیمانی پر شده است. الیاف شیشه از متداولترین نوع الیاف در ساخت کامپوزیتها به شمار می آید. ضخامت پانل کامپوزیتی برابر با ۲۷ میلی متر با رواداری حداکثر یک میلی متر است. عرض پانل ۵۰ سانتی متر می باشد. پانل کامپوزیتی مورد مطالعه در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱- پانل کامپوزیتی متشکل از پارچه سه بعدی شیشه، پر شده با ملات سیمانی



شکل ۲- ضخامت پانل کامپوزیتی

### ۳- دامنه کاربرد

این سیستم سقفی با توجه به تشکیل دهنده های آن، می تواند مطابق با مبحث سوم مقررات ملی ساختمان در ساختار نوع ۳ به کار برده شود. بنابراین به عنوان مثال، دامنه کاربرد آن برای ساختمان های مسکونی تا ۴ طبقه از تراز زمین با فاصله تیرچه های فولادی حداکثر ۹۰ سانتی متر برای طبقات و فاصله تیرچه حداکثر ۸۰ سانتی متر برای طبقه پارکینگ است. همچنین این سیستم می تواند برای سقف احداث طبقات اضافه اشکوب در ساختمان های موجود نیز با رعایت سایر ضوابط تامین پایداری سازه اصلی طبق ضوابط و مقررات آیین نامه های مقاوم سازی و رعایت ضوابط ایمنی در برابر آتش مورد استفاده قرار گیرد.

### ۴- ویژگی های مورد بررسی

- مشخصات محصول
- کفایت عملکردی
- جزئیات و نحوه اجرا

### ۵- آئین نامه ها و استانداردهای مورد استناد

- مبحث ششم و نهم مقررات ملی ساختمان
- آیین نامه 7-16 ASCE و 318-14 ACI
- نشریه ۶۱۲ سازمان برنامه و بودجه
- استاندارد ۲۸۰۰
- مبحث سوم مقررات ملی ساختمان ایران با عنوان "حفاظت ساختمان ها در مقابل حریق"



- رعایت استانداردهای زیر برای محصول کامپوزیت الزامی است:

- ASTM D2256 -15 Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method
- ASTM D1907 -12 Standard Test Method for Linear Density of Yarn (Yarn Number) by the Skein Method
- ASTM D638-14 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics
- ASTM D695-15 Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics
- ASTM D790-17 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials
- ASTM D732-17 Standard Test Method for Shear Strength of Plastics by Punch Tool
- ASTM D6606--17 Standard Test Method for Viscosity and Yield of Vehicles and Varnishes by the Duke Viscometer

#### ۶- مشخصات محصول

##### ۶-۱- پارچه سه بعدی

پارچه سه بعدی یک ساختار سه بعدی متشکل از دو لایه پارچه دوبعدی است که با نخهای متصل کننده به یکدیگر متصل شده‌اند. شکل پارچه سه بعدی استفاده شده در ساخت کامپوزیت و خصوصیات آن به ترتیب در شکل ۳ و جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۳- پارچه سه بعدی



جدول ۱- خصوصیات پارچه مورد استفاده

نخ	نمره	تراکم	ضخامت پارچه	وزن پارچه
تار	۶۰۰ tex	۳/۲ (/cm)	۲۷ میلی‌متر	۱۹۵۴ gr/m <sup>2</sup>
پود	۶۰۰ tex	۴ (/cm)		
خاب	۶۰۰ tex	۴/۳ (cm <sup>2</sup> )		

#### خواص نخ شیشه

ظرافت نخ ۶۰۰ تکس و مساحت سطح مقطع نخ برابر ۰/۰۴ سانتی‌متر مربع و قطر هر تک رشته ۲۵ میکرون می‌باشد. مقاومت کششی نخ در حدود ۸۵۰ مگاپاسکال بدست آمده است. عدد بدست آمده متوسط مقاومت کششی پنج نمونه‌ی اندازه‌گیری شده است. لازم به ذکر است به علت شکل مولتی‌فیلامنت‌ها و امکان پراکندگی رشته‌ها امکان خطا در آزمایش وجود دارد.

#### خواص مکانیکی نخ رزین خورده

مقاومت نخ شیشه رزین خورده در حدود ۲۵۰۰ مگاپاسکال است که این عدد مقاومت، از مقاومت کششی نخ شیشه بدون رزین بسیار بیشتر می‌باشد. علت این امر را می‌توان به عدم پارگی فیلامنت‌ها به دلیل آغشته شدن به رزین و انسجام آنها در تحمل بار وارده نسبت داد. خواص مکانیکی نخ شیشه رزین خورده و بدون رزین در جدول ۲ با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول ۲- خواص مکانیکی نخ شیشه

نخ شیشه	مقاومت کششی MPa	مدول الاستیسیته GPa	کرنش نهایی
بدون رزین	۸۵۰	۵۲	۰/۰۲۱
رزین خورده	۲۵۰۰	۱۰۵	۰/۰۲۴

#### دوام در برابر قلیا

با توجه به اینکه در بافت پارچه از الیاف شیشه استفاده شده است، نمونه‌های نخ رزین خورده مطابق دستورالعمل ACI باید به مدت شش ماه در قلیا قرار داده شود. لازم است از الیاف شیشه مقاوم به قلیا AR-Glass در ساخت کامپوزیت استفاده شود.

#### ۲-۶- رزین مورد استفاده

خواص مکانیکی رزین مورد استفاده در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۳- خواص مکانیکی رزین اپوکسی YD128

رزین	مقاومت کششی (MPa)	مدول کششی (GPa)	دانسیتته (kg/m <sup>3</sup> )	ازدیاد طول تا پارگی (%)	مقاومت فشاری (MPa)	مقاومت خمشی (MPa)
YD128	۸۵	۱۰/۵	۱/۱۲	۰/۸	۱۹۰	۱۱۲

مشخصات کامپوزیت اعم از ضخامت و وزن پانل، نوع رزین و نسبت وزنی اختلاط مطابق جدول ۴ می‌باشد.



جدول ۴- ضخامت و وزن پانل، نوع رزین و نسبت وزنی اختلاط

ضخامت کامپوزیت (cm)	نسبت وزنی اختلاط رزین و پارچه	نوع رزین	وزن کامپوزیت ( $\frac{gr}{m^2}$ )
۲,۷	۵۰-۵۰	اپوکسی YD128	۳۹۰۸±۵۰

لازم است رزین مورد استفاده در بر ابر عوامل جوی از پایداری مناسبی برخوردار باشد.

#### ۳-۶- ملات پرکننده

مقاومت مشخصه فشاری ملات پر کننده باید حداقل ۳۱ مگاپاسکال باشد.

#### ۷- بررسی الزامات طراحی

طراحی و کنترل دیافراگم سقف باید براساس استاندارد ۲۸۰۰ انجام پذیرد.

#### ۸- بررسی کفایت عملکرد

به منظور بررسی عملکرد سقف پانلی کامپوزیتی ساخته شده با استفاده از پارچه شیشه‌ای آزمون‌های زیر لازم است روی محصول انجام شود و نتایج آن به شرح زیر است:

#### ۸-۱- بارگذاری خمشی

در اثر اعمال مجموع بارهای مرده و زنده به سقف تغییر مکان مجاز محدود به  $l/240$  (  $l$  دهانه تیر یا دال یک طرفه) می‌باشد. بار مرده قابل پیش بینی شامل کف‌سازی و تیغه چینی سبک معادل  $150 \frac{kg}{m^2}$  و بار زنده مطابق مفاد مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان برای کاربری مسکونی معادل  $200 \frac{kg}{m^2}$  در نظر گرفته می‌شود. لذا برای مجموع بار زنده و مرده معادل  $350 \frac{kg}{m^2}$  تغییر مکان مجاز برابر مقدار زیر است:

$$\frac{l}{240} = \frac{1000}{240} = 4.16mm$$

با درون یابی از منحنی بار- تغییر مکان پانل مورد بررسی، متناظر تغییر مکان  $4/16$  میلی‌متر باری معادل  $415$  کیلوگرم حاصل می‌گردد که معادل  $830$  کیلوگرم بر متر مربع سطح پانل است. همانگونه که ملاحظه می‌شود این میزان بار قابل تحمل، از مجموع بار مرده و زنده ( $350 \frac{kg}{m^2}$ ) بیشتر است. همچنین در این آزمون با توجه به اینکه پانل تحت بار ضریب دار در دهانه اصلی معادل  $1.2D + 1.6L$  (۱۷ عدد وزنه در دهانه اصلی) قرار داده شده و خرابی یا تغییرشکلی که باعث از سرویس خارج شدن پانل شود رخ نداد، می‌توان بیان نمود که از لحاظ معیار مقاومت عملکرد مورد قبول است.

#### ۸-۲- خیز دراز مدت

به منظور ارزیابی رفتار پانل تحت بارگذاری سرویس در خیز دراز مدت، نمونه تحت بار ثابت  $D+0.2L$  قرار گرفته است.

$$W = 150 + .2 \times 200 = 190kg/m^2$$

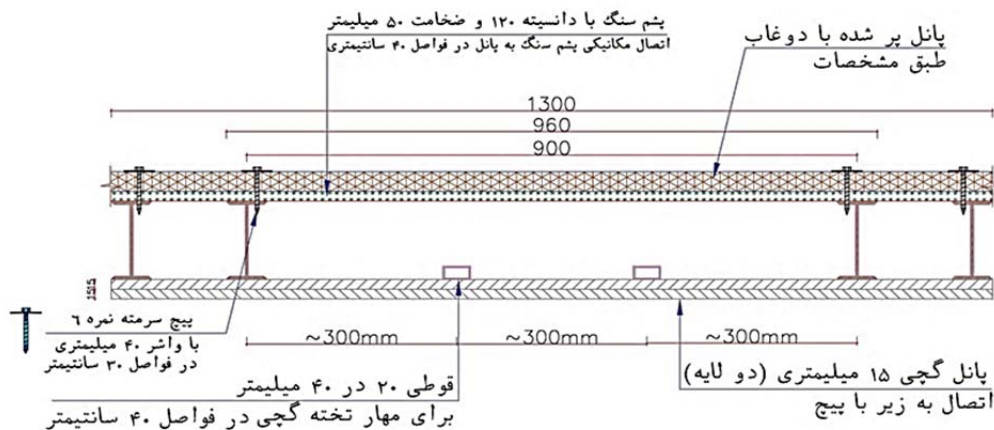
و به مدت ۴۸ روز روند افزایشی خیز قرائت گردیده است. با توجه به نتایج حاصل از آزمون، دهانه ۹۰ سانتی متر به عنوان حد قابل قبول با توجه به جمیع ملاحظات سازه‌ای تعیین می‌گردد.

### ۳-۸- آزمون سقف تحت اثر توام بارهای مرده و زنده و آتش

با توجه به اینکه سقف در ساختار نوع ۳-الف، بر اساس مبحث سوم مقررات ملی برای ساختمان‌های مسکونی تا چهار طبقه باید حداقل یک ساعت در برابر آتش مقاومت کند، جزییات اجرایی یک لایه عایق پشم سنگ و دو لایه گچ برگ زیر سقف براساس جزییات ارائه شده در شکل ۴ و ۵ می‌باشد. در این آزمون، سقف ابتدا تحت اثر بارگذاری ثقلی ناشی از بار مرده و ۵۰٪ بار زنده قرار می‌گیرد سپس همزمان این سقف از زیر تحت اثر آتش قرار خواهد گرفت.

لایه‌های تشکیل دهنده سقف شامل موارد زیر است:

- دو لایه گچ برگ به ضخامت ۱۵ میلی‌متر که در زیر قاب سازه‌ای پروفیل فولادی متصل شده است.
- قاب متشکل از پروفیل‌های فولادی که در شکل ۴ نحوه اتصالات آن نمایش داده شده است.
- لایه پشم سنگ به ضخامت ۵۰ میلی‌متر و دانسیته  $120 \frac{kg}{m^3}$  که به زیر پانل کامپوزیتی اتصال داده شده است.
- لایه کامپوزیت تولیدی شرکت سیلک به ضخامت ۲۷ میلی‌متر که بر روی پروفیل فولادی پیچ شده است. دو قطعه کامپوزیتی به عرض ۵۰ و به طول دهانه هر کدام ۹۰ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۴- جزییات اجرای عایق پشم سنگ و گچ برگ در زیر سقف



شکل ۵- تصویر جزئیات اجرای سقف

با توجه به نتایج بدست آمده این سقف با رعایت جزئیات در خصوص مهار عایق پشم سنگ با پیچ خودکار به زیر سقف و مهار گچ‌برگ‌ها، مطابق شکل ۴ تحت اثر بارهای مرده و زنده و آتش تا دقیقه ۱۲۰ هر دو معیار یکپارچگی و نارسانایی مذکور در مقررات را در ابعاد آزمون شده برآورده کرده‌است. همچنین مقدار تغییر شکل‌های مجاز سقف را نیز از لحاظ سازه‌ای تامین شده است.

## ۹- بررسی الزامات اجرا

۹-۱ با توجه به نتایج حاصل از آزمون‌ها، دهانه ۹۰ سانتی‌متر به عنوان حد قابل قبول برای طبقات مسکونی و دهانه ۸۰ سانتی‌متر برای طبقه پارکینگ ساختمان‌های مسکونی تا ۴ طبقه با توجه به ملاحظات سازه‌ای و ایمنی در برابر حریق تعیین می‌گردد.

۹-۲ به منظور برآورده کردن الزامات ایمنی در برابر آتش، دو لایه گچ‌برگ به ضخامت ۱۵ میلی‌متر در زیر قاب سازه‌ای و یک لایه پشم سنگ به ضخامت ۵۰ میلی‌متر و دانسیته  $120 \frac{kg}{m^3}$  باید به زیر پانل کامپوزیتی با پیچ خودکار متصل شود. همچنین پانل‌های کامپوزیتی باید از بالا (رو) به وسیله پوشش مانع حرارتی مناسب مانند ۲۵ میلی‌متر ملات ماسه سیمان یا سایر اندودها یا مواد معدنی با ضخامت کافی با عملکرد معادل یا بهتر، محافظت شوند. باید از الیاف شیشه مقاوم به قلیا استفاده شود. مقاومت مشخصه ملات پرکننده باید حداقل ۳۱ مگاپاسکال باشد.

۹-۳ در هر پانل کامپوزیت سقف باید از ۶ عدد پیچ نمره ۱۴ (قطر ۶/۳ میلی‌متر) برای اتصال قطعه به تیرچه‌های فولادی استفاده شود. این پیچ‌ها باید ظرفیت لازم برای انتقال برش به تیرچه‌ها را داشته باشد و حداکثر فاصله پیچ‌ها بر روی تیرچه از یکدیگر باید ۲۰ سانتی‌متر باشد.

۹-۴ طول هر قطعه پانل کامپوزیت سقف باید به گونه‌ای باشد که حداقل بر روی سه عدد تیرچه امتداد داشته باشد و به آنها پیچ شود.

۹-۵ برای تامین صلبیت سقف باید بر اساس نشریه ۶۱۲ سازمان برنامه و بودجه از تسمه‌های فولادی به ضخامت حداقل ۱ میلی‌متر و عرض ۵ سانتی‌متر در فواصل ۵۰ سانتی‌متری در زیر تیرچه‌ها و عمود بر آنها استفاده شود. از این تسمه‌ها می‌توان برای مهار مناسب گچ‌برگ‌ها نیز استفاده نمود و قوطی‌های





فولادی زیر سقف را حذف نمود در این صورت می‌توان از عملکرد مناسب این سقف‌ها در انتقال نیروهای جانبی در دهانه‌های حداکثر تا ۶ متر با فاصله تیرچه‌های ۹۰ سانتی‌متر در ساختمان‌های مسکونی متعارف اطمینان حاصل نمود.

۹-۶- از فضای بالای تخته‌های گچی نباید برای عبور تأسیسات، نصب لامپ روشنایی و نظیر آن استفاده شود و یکپارچگی تخته‌های گچی باید حفظ گردد.

۹-۷- با توجه به شروع تغییر شکل و کاهش مقاومت این پانل‌های کامپوزیتی در دماهای نسبتاً پایین (دارای دمای تبدیل شیشه‌ای کمتر از ۸۰ درجه سلسیوس)، لازم است تمهیدات لازم برای جلوگیری از رسیدن دمای این پانل‌ها به این دمای بحرانی در دوره بهره‌برداری صورت گیرد. اقداماتی همچون پیش‌بینی عایق حرارتی مناسب پیرامون لوله‌های حاوی آب گرم که روی سطح سقف اجرا شده است و یا پیش‌بینی مدار آب گرم دور از محدوده سقف از آن جمله هستند.

۹-۸- وزن دیوارهای غیر سازه‌ای داخلی که روی این سقف اجرا می‌شود باید به ۱۰۰ کیلوگرم بر متر مربع دیوار محدود گردد.