به نام خدا

مجموعه خواص اندازه‌گیری شده پانل‌های کامپوزیتی تقویت شده با پارچه بافته‌شده سه‌بعدی شیشه‌ای

تولید شرکت دانش بنیان "نوآوران صنعت سیلک"

صفحات کامپوزیتی تقویت‌شده با پارچه سه‌بعدی شیشه‌ای، ماحصل بافت سه‌بعدی نخ شیشه با مقاومت کششی بسیار زیاد، و سپس تبدیل آن با کمک رزین (اپوکسی یا پلی‌استر) به پانل‌های سبک، مقاوم، عایق صدا، حرارت و رطوبت، در ابعاد و ضخامت های مختلف می‌باشد.

ساختار بافت مذکور دقیقا مشابه با ساختار 3D-Glass Woven Fabric(Spacer) ساخت شرکت "Para Beam" کشور هلند و سایر شرکت‌های تولید کننده این محصول در دنیا می‌باشد. این موضوع در **پیوست شماره ۱** توضیح داده شده است. ضمن آن‌که خواص مطلوب آن بوسیله مؤسسه کامپوزیت ایران، تایید و به عنوان یک نوآوری در ایران گواهی شده است. (**پیوست شماره ۲**) این مرکز به عنوان مرجعی معتبر، می‌تواند هم‌گونی ساختار را نیز با نمونه خارجی آن، تصدیق نماید.

از جمله مزایای تولید داخلی این محصول، قیمت تمام‌شده بسیار پایین تر آن نسبت به قیمت فروش نمونه خارجی و محدوده ضخامتی افزون‌تر آن می‌باشد. به این صورت که شرکت هلندی توان بافت تا حداکثر ضخامت ۲,۲ سانت را دارد در حالی که در این شرکت ایرانی، امکان بافت پارچه تا قطر ٤,۲ سانتیمتر و پانل کامپوزیتی تا ۳,۵ سانتیمتر نیز مهیا است. به این لحاظ خواص عمومی این ساختار می تواند تا حد زیادی با توجه به گزارشات شرکت معتبر هلندی نیز تخمین زده شود. لازم به ذکر است که نتایج برخی از آزمایشات انجام شده (هم‌چون برش و خمش) بر روی محصولات تولید داخل و مقایسه آن با مقادیر گزارش شده توسط شرکت هلندی، ادعای هم‌گونی ساختار و خواص را کاملا تصدیق می‌نماید. برخی از این خواص گزارش شده از سوی شرکت هلندی، **در پیوست شماره ۳** آمده است و به عنوان مثال می‌توان مقدار تنش برشی را با مقدار اندازه گیری شده توسط بنیاد رازی از محصول شرکت نوآوران صنعت سیلک (صفحه ۱۱ همین گزارش) مقایسه نمود.

هم‌چنین جناب آقای دکتر صدیقی نیز از دانشگاه امیرکبیر، تحقیقاتی را بر روی خواص مکانیکی این ساختارها در سه قطر متفاوت و تا حداکثر ۱,۲ سانت نیز انجام داده‌اند. این خواص در دو حالت عملی و تئوری اندازه گیری و مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. **(پیوست شماره ٤)**

در این ساختار و با یک جنسیت خاص (پارچه اسپیسر بافته شده از نخ های شیشه‌ای نوع E) موارد زیر می‌تواند تغییر یابد:

الف) نمره نخ در هر راستا

ب) تراکم بافت در هر راستا

ج) ضخامت نهایی

به این لحاظ هرگز امکان استخراج همه خواص در همه حالت ها وجود ندارد (از لحاظ تعداد نمونه ها و ...) مگر آن‌که بر اساس تحقیقات تئوری و عملی انجام شده بر روی چند نمونه، یک روش شبیه‌سازی معتبر برای حل مسئله در هر حالت تعریف شده، مورد استفاده قرار گیرد. (این مورد برای رفتار خمشی صفحات طی تحقیقی که در **پیوست شماره ۵** آمده است، وجود دارد)

با توجه به موارد فوق، شرکت نوآوران صنعت سیلک جهت معرفی محصول خود برای استفاده‌ای خاص (از جمله، پوشش باربر سقف برای سازه‌های با سقف سبک L.S.F با دهنه ٦٠ سانت) حالت مشخصی را مطابق با جداول ۱ و ۲، برای پارچه بافته‌شده و کامپوزیت تقویت‌شده با این پارچه، پیشنهاد نموده است.

جدول۱. خواص ساختاری و جنسیتی پارچه

نخ (Yarn)	جنسیت	نمره	تراکم	وزن پارچه $\left(gr/m^2\right)$	ضخامت پارچه (Cm)
تار (Warp)	E-Glass	600 ((Tex)	3.2 (/cm)	1954 ± 12	3.2
پود (Weft)	E-Glass	600 ((Tex)	4.2 (/cm)		
خاب (Pile)	E-Glass	600 ((Tex)	4.3(/cm^2)		

جدول۲. هندسه، رزین، اختلاط و وزن پانل کامپوزیتی

ضخامت کامپوزیت(Cm)	نسبت وزنی اختلاط رزین و پارچه	نوع رزین	وزن کامپوزیت $\left(gr/m^2\right)$
2.7	50 - 50	اپوکسی YD128	3908 ± 50

لازم به ذکر است که با اضافه شدن مواد خود اطفاء، وزن نهایی صفحه در هر متر مربع تا ٤,٥ کیلوگرم بر متر مربع نیز قابل افزایش خواهد بود. در صورت استفاده از ژل‌کت نیز وزن هر متر مربع آن به حدود ٥,٨ کیلوگرم می‌رسد.

- **خواص نخ مصرفی:** این خواص برای نخ‌های شیشه نوع (E) در دامنه محدودی و بسته به قطر تک رشته‌ها و درصد ترکیب و شرکت سازنده، تغییر می‌یابد. مقادیر تقریبی این خواص در جدول ٣ آمده است. لازم به ذکر است که به هنگام آزمایش استحکام کششی، نحوه بستن نخ در زیر فک‌های دستگاه به منظور آسیب ندیدن تک رشته‌ها و باربری هم‌زمان آن‌ها، از اهمیت زیادی برخوردار است. سایر خواص نیز در **پیوست شماره ٦** آمده است.

جدول٣. خواص مکانیکی و حرارتی نخ های E-Glass

Fibre	Strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)	Density (kg/m^3)	Elongation at break (%)	Liquid temperature (^oC)	Poison's Ratio
E-Glass	1800 - 3500	70 - 81	2540	3.3	1159	0.27

- **خواص رزین مصرفی:** رزین اپوکسی استفاده شده دارای خواصی است که توسط کارخانه سازنده در جدول ٤ بیان شده است. ضمنا روش رزین زنی هم به صورت دستی می‌باشد.

جدول٤. خواص مکانیکی رزین اپوکسی YD128

Resin	Strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)	Density (kg/m^3)	Elongation at break (%)	Compressive Strength (MPa)	Flexural strength (MPa)
YD128	85	10.5	1.12	0.8	190	112

با توجه به خواص مذکور برای اجزای تشکیل دهنده و همچنین ساختار و هندسه بافت، اکنون خواص اندازه‌گیری شده پانل کامپوزیتی در هفت بخش مکانیکی (شامل خمش، برش، فشار و ضربه)، آتش (شامل مقاومت در برابر آتش و سرعت پیش‌روی آتش) رطوبت موجود، حرارت (شامل دمای وادادگی یا نرم شدن و نقطه Tg)، سرما، آکوستیک، اشعه ماوراء بنفش، و چسبندگی به بتن عرضه می‌شود:

الف) خواص مکانیکی

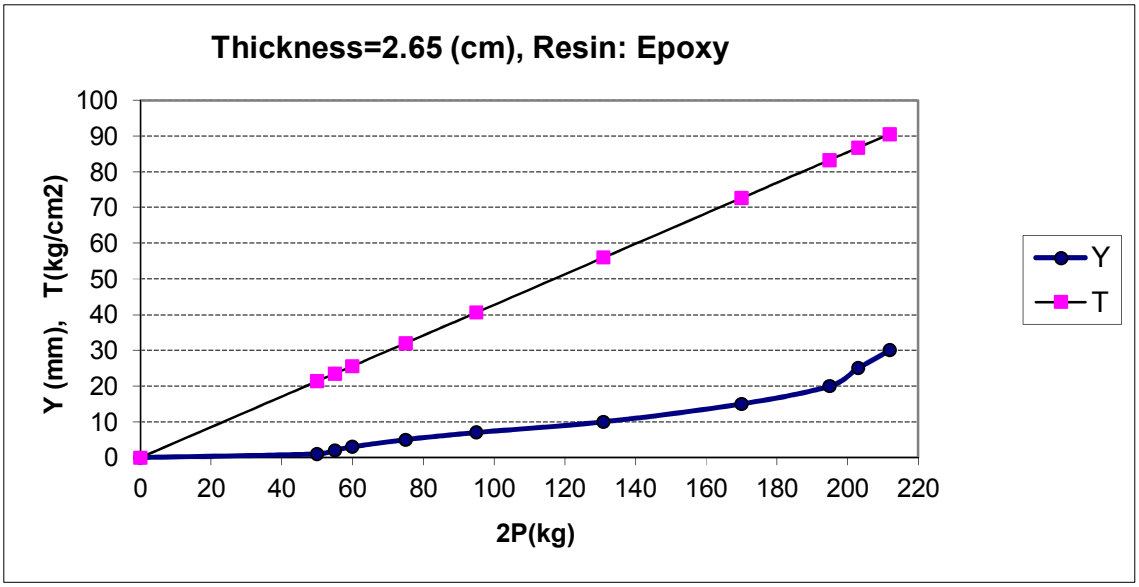
- آزمایش خمش ٤ نقطه ای:

در تاریخ ۱۳۹۳/۲/۲۲ در آزمایشگاه بتن دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان این آزمایشات به‌وسیله دستگاه ELE انگلیسی انجام پذیرفت. در این خصوص از رابطه (پیشنهادی بتن) $F_t = \frac{2PL}{bh^2}$ جهت تعیین مقاومت کششی تحت خمش صفحات، استفاده شده است.

$$\delta_{\max} = \frac{M_{\max} \times Y_{\max}}{I} = \frac{PL/3 \times h/2}{bh^3/12} = \frac{2PL}{bh^2}$$

تصاویر زیر نیز مربوط به همین آزمایشات می باشد.

برای پانل‌های مذکور، خیز وسط دهنه و کشش ناشی از خمش تحت بار اعمال شده در منحنی زیر نشان داده شده است.



- آزمایش بارگذاری در مقیاس یک به یک:

در این آزمایشات که در حضور متخصصین راه و ساختمان، اساتید، صاحبان صنایع، معاونت‌های عمرانی شهرداری و فرمانداری انجام شد، بارگذاری در مقیاس یک به یک بر روی سقف ها در سه حالت انجام شد.

۱) حالتی که هر صفحه به طول ٦٠ سانتیمتر و بر روی دو تیر مجاور پیچ شده بود (تک دهنه)

۲) حالتی که صفحه ها به طول ۱۲۰ سانتیمتر بر روی سه تیر مجاور پیچ شده بود (دو دهنه)

۳) حالتی که صفحه ها به طول ۱۸۰ سانتیمتر بر روی چهار تیر مجاور پیچ شده بود (سه دهنه)

در این آزمایشات بارگذاری توزیعی با مقادیر ۳۵۰، ۷۰۰، ۱۲۰۰ و نهایتا تا ۱۸۳٦ کیلوگرم در متر مربع انجام شده و خیز میانی دهنه دقیقاً پس از بارگذاری و همچنین در طی ٤ ماه بعد از آن، اندازه گیری شد. تصاویر زیر مربوط به این آزمایشات می باشد:

در این آزمایشات پانل‌های کامپوزیتی با مشخصات ذکر شده بر روی تیرهای C شکل گالوانیزه و پشت به پشت به هم چسبیده، با فاصله مرکز تا مرکز ۶۰ سانتی‌متر، پیچ شدند. فاصله مرکز تا مرکز پیچ ها ۳۰ سانتی‌متر بود. بر روی این صفحات ۲,۵ سانتی‌متر ملات سیمان و روی این ملات به منظور امکان اعمال بار بر هر ناحیه کوچک و توزیع خوب بار اعمال شده، با نوارهای باریک سرامیک، فرش شد.

نتایج مربوط به خیز میانی دهنه و دقیقاً پس از اتمام بارگذاری، برای حالت‌های مختلف و تحت بارهای ۳۵۰ و ۷۰۰ کیلوگرم بر متر مربع، در جدول زیر مشخص شده است. لازم به ذکر است که در حالت سه دهنه، خیز دهنه وسط اندازه گیری شده است.

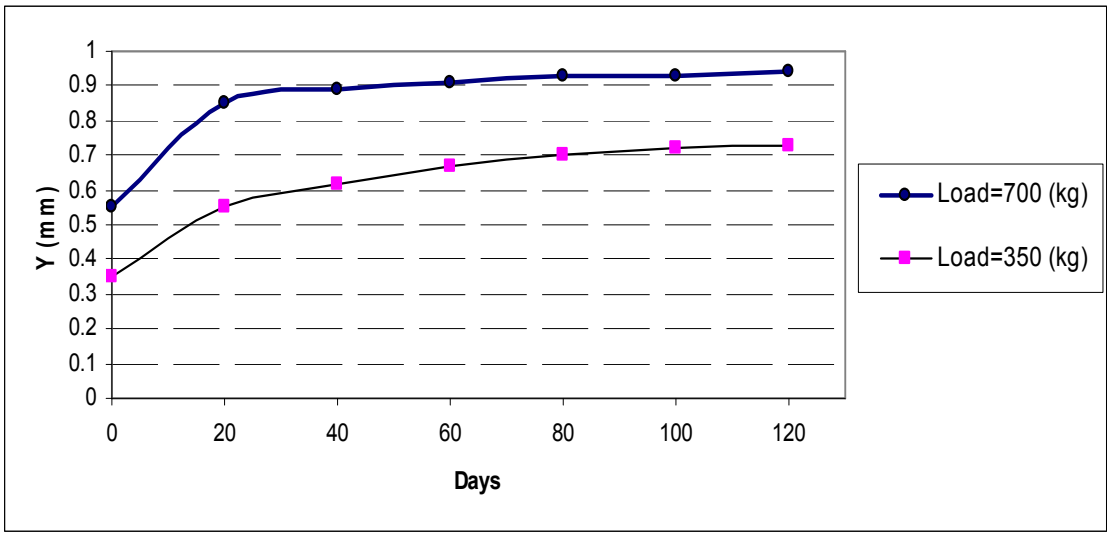
جدول ۵. خیز میانی دهنه تحت بارگذاری در مقیاس یک به یک

	خیز میانی دهنه برای بارگذاری ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مربع (میلیمتر)	خیز میانی دهنه برای بارگذاری ۷۰۰ کیلوگرم بر متر مربع (میلیمتر)
یک دهنه	۱,۲	–
دو دهنه	/۳۵	/۵۶
سه دهنه	/۲۷	–

به این ترتیب در هیچ یک از این حالت ها، خیز میانی دهنه از حد مجاز، تجاوز نکرد (چه از طریق رابطه ۶۰/۳۶۰ و چه ۶۰/۱۸۰). ضمن این‌که با افزایش بارگذاری تا ۱۸۳۶ کیلوگرم بر متر مربع نیز تخریبی رخ نداده و تنها خیز میانی دهنه تا بیش از ۳ میلیمتر، افزایش یافت. اعمال ضربات پتک نیز

پس از تخریب ملات، نتوانست موجب شکست صفحه و گسیختگی آن و یا برش در ناحیه پیچ‌ها شود.

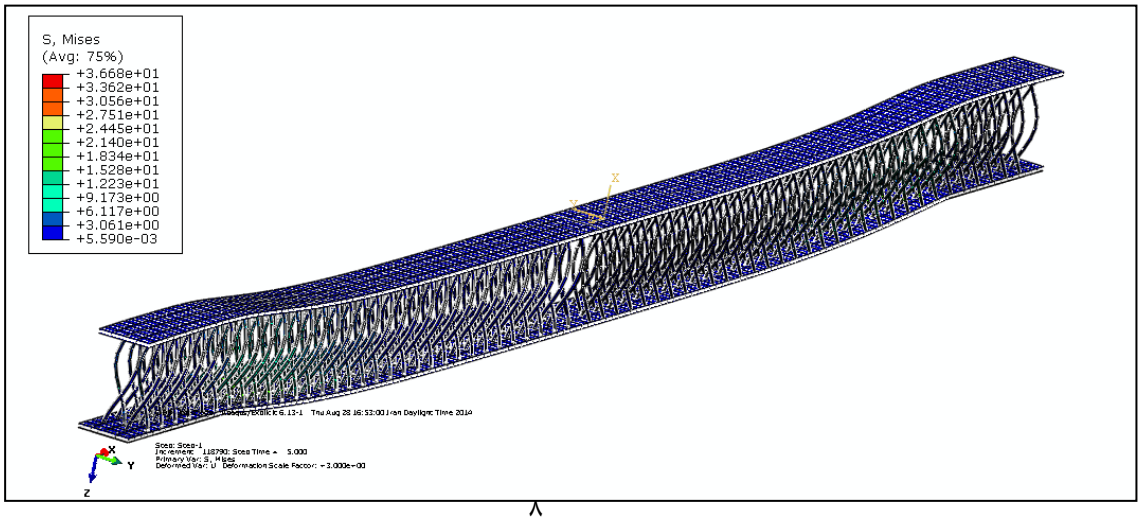
با اندازه‌گیری و ثبت خیز میانی دهنه در طی چهار ماه، منحنی زیر برای دو حالت بارگذاری ۳۵۰ و ۷۰۰ کیلوگرم بر متر مربع، در حالت دو دهنه، حاصل شد.



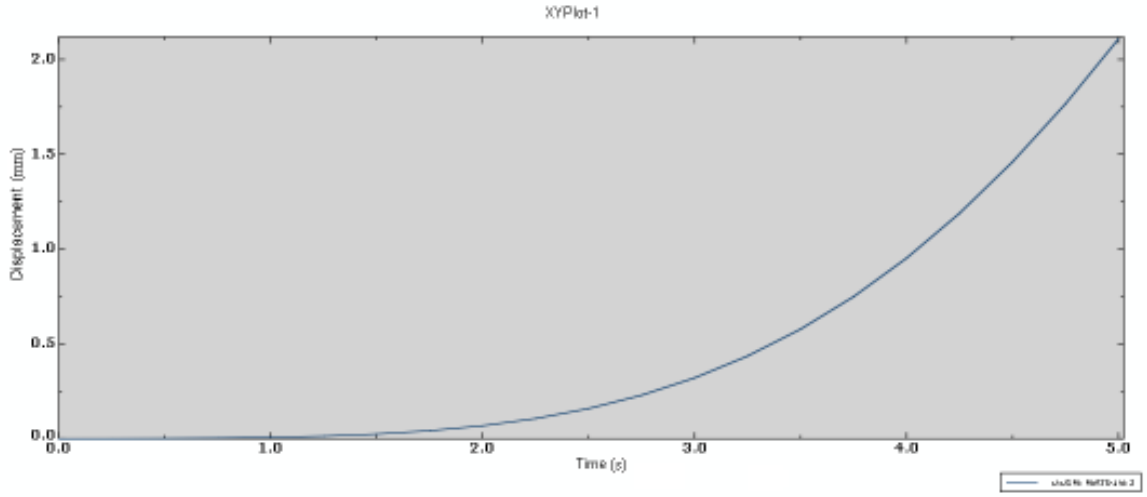
همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نتایج نشان دهنده آن است که پس از گذشت ۲۰ روز، تغییرات خیز میانی، تقریبا به صفر می رسد.

- مدل سازی رفتار خمشی تحت بار گسترده:

در این فعالیت، ساختار واقعی به نرم‌افزار معرفی شده و نتایج نیز هم‌گرایی معنی‌داری را با آزمایشات تجربی نشان می‌دهند. شرح کامل این مدل سازی نیز در **پیوست شماره ۵** آمده است. مقاله‌ای نیز در این خصوص تدوین و در کنفرانس مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی که در دانشگاه تهران برگزار گردید، پذیرفته شد. این مقاله در **پیوست شماره ۷** آمده است.



این شبیه‌سازی مقدار تغییر ارتفاع نقطه میانی دو تکیه گاه را تحت بارگذاری ۳۵۰ کیلوگرم در متر مربع و در طی ۵ ثانیه، با نمودار زیر نشان می دهد.



نکته قابل توجه آن‌که این سری از آزمایشات عملی و تئوری، بر روی خود پانل و بدون پوشش ملات و کف فرش انجام شده است.

- ساخت بنای دو طبقه با سه سقف:

ساخت این ساختمان نمونه و استفاده از آن در طی دوسال گذشته، کوچک‌ترین ترک و یا تخریبی را نشان نمی‌دهد. این مورد نیز در بازدید مسئولین مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی گواهی شد. سقف اول ساختمان جهت پارکینگ و سقف دوم جهت کاربری اداری استفاده می‌شود. سقف سوم هم به عنوان پوشش فوقانی است.

پس از اتمام عملیات ساخت و برخی روش‌های آزمون و خطا و تجربیات کسب شده و هم‌چنین استفاده از نظر متخصصان مختلف در طی ماه‌های ساخت این بنا، دفترچه‌ای هم از روش‌های مذکور تهیه شد. متن این تجربیات در **پیوست شماره ۸** آمده است. تصاویر زیر نیز مربوط به مراحل ساخت می باشد:

آزمون مقاومت برشی:

نتایج این آزمون که در بنیاد علوم کاربردی رازی انجام شده، دال بر آن است که مقاومت برشی این صفحات در قطرهای مشابه، نسبت به نمونه تولیدی شرکت پارابیم هلند کمی بیشتر است. این مقدار برای قطر ۱,٤ سانتیمتر، برابر با ۳٦ مگاپاسکال به دست آمده است.

گزارش نتایج آزمون

شماره پیگیری :	۱۳۹۳-۱
تاریخ ارائه گزارش :	۱۳۹۵/۱/۲۷
شماره ویرایش :	اصلی
پیوست :	ندارد
تاریخ دریافت نمونه :	۱۳۹۴/۱۲/۲۰
تاریخ تایید انجام :	۱۳۹۵/۱/۱۵
شماره نامه مشتری :	۰۱۰۲۷ ت.۹۴۰
تاریخ نامه مشتری :	۱۳۹۴/۱۲/۲۰

بنیاد علوم کاربردی رازی

Website: www.razi-foundation.com
Email: info@razi-foundation.com

شرایط محیطی: دمای 25C رطوبت: ۴۵٪ نمونه گیری توسط مشتری انجام شده است

نتیجه حاصل از انجام آزمون در جهت بود به شرح زیر می باشد:

ردیف	میانگین ضخامت لایه های رویی (mm)	ضخامت کل (mm)	عرض (mm)	ماکزیمم نیرو (N)	تنش برشی نهایی هسته (MPa)	تنش لایه رویی (MPa)	ماکزیمم جابه جایی در شکست (mm)
1	2.06	13.35	75.28	617.96	0.36	13.26	14.23
2	1.94	13.32	76.17	622.88	0.36	13.86	9.59
3	2.33	13.43	76.45	539.38	0.32	10.21	6.59
4	3.55	14.67	78.11	625.66	0.36	7.61	7.70
5	2.02	14.46	75.23	754.90	0.40	15.00	11.73
میانگین					0.36	11.99	9.97

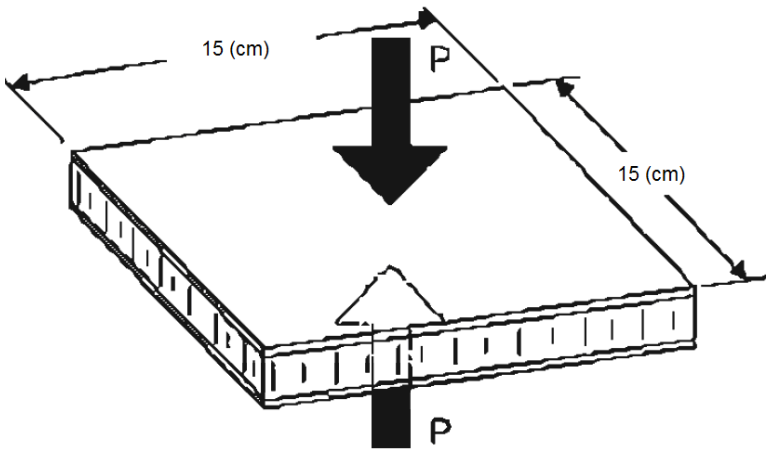
توضیحات:
- ضخامت لایه های کامپوزیتی به صورت میانگین گزارش شده است.

صرفاً جهت اطلاع

ISO/IEC 17025:2005
Arabtiva.ILAC
No: ARCA.8023

- آزمون مقاومت فشاری سطح:

در این تحقیق، از آزمون فشار از پهنا (تخت)، بر اساس استاندارد ASTM C365 و با سرعت بارگذاری ۹۰ کیلو گرم نیرو بر ثانیه استفاده شده است. شکل زیر نحوه بارگذاری را نشان می‌دهد.

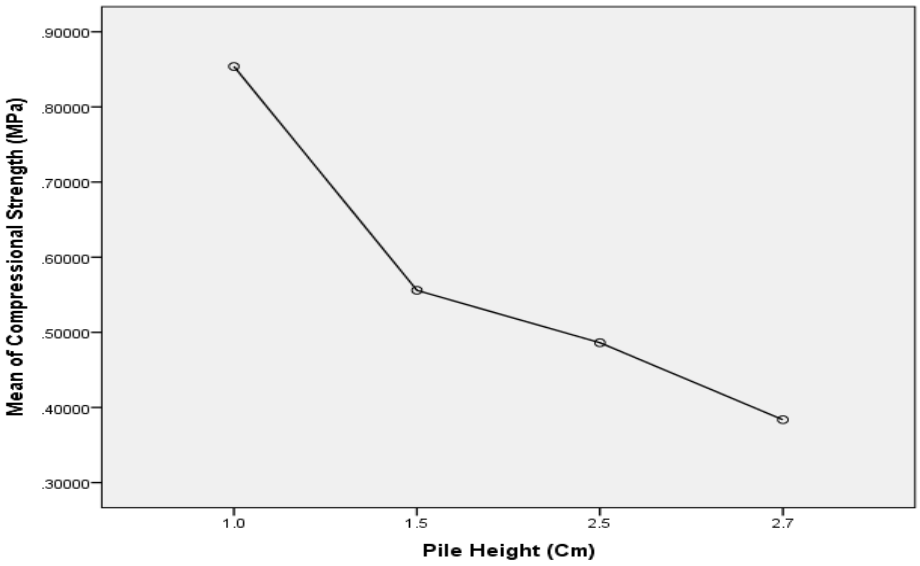


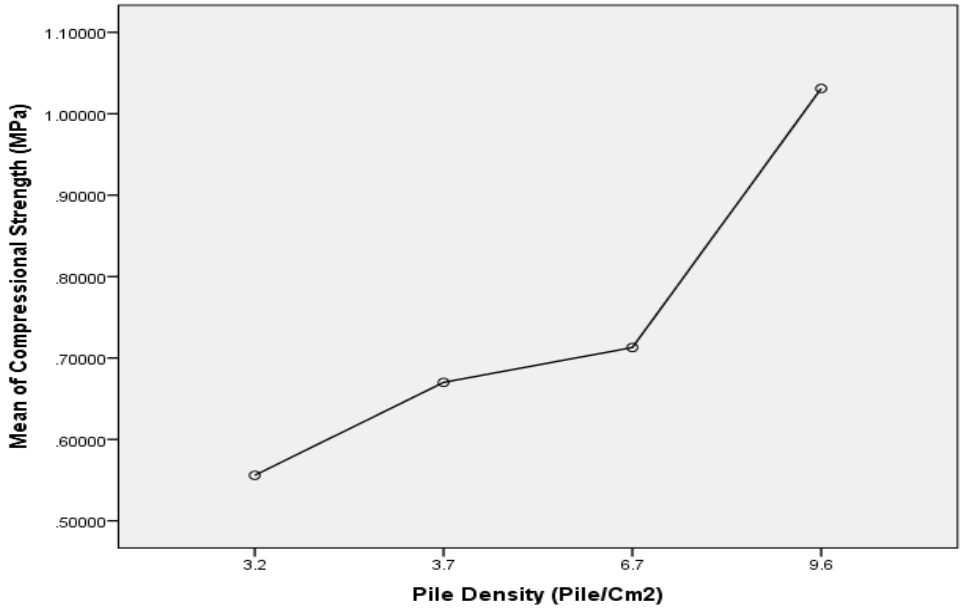
آزمون فشاری توسط دستگاه جک بتن شکن (شکل زیر) ساخت شرکت انگلیسی ELE با ظرفیت نیروی ۲۰۰ تن با سرعت بارگذاری بین ۹۰ تا ٦٨٠ کیلو گرم نیرو بر ثانیه، انجام گردیده است.

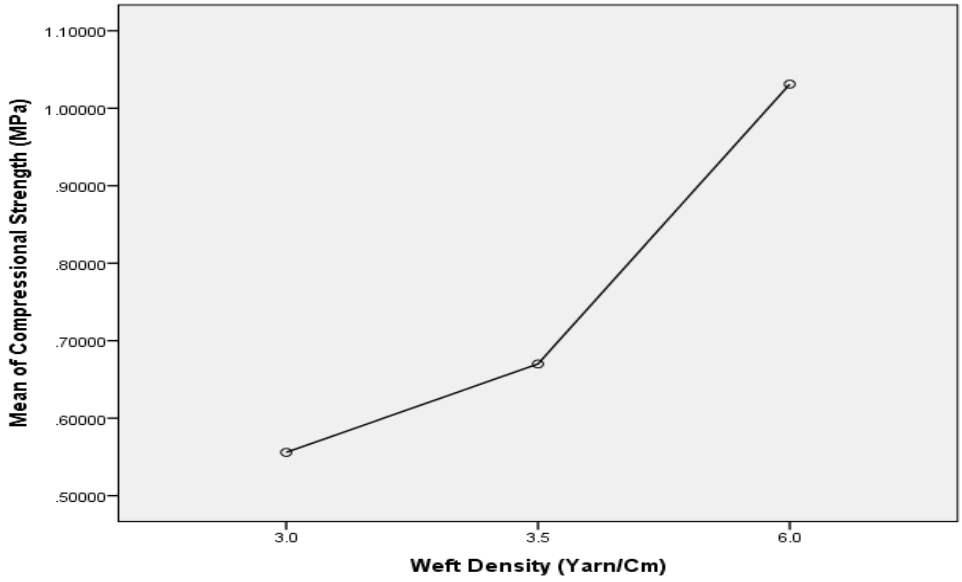
مهم‌ترین اجزاء دستگاه آزمون عبارت‌اند از دو فک که یکی از آن‌ها ثابت و دیگری متحرک بوده و هم‌چنین پمپ روغن و لودسل که وظیفه اعمال و اندازه گیری نیرو را دارند. نمونه بر روی سطح فک ثابت دستگاه قرار می‌گیرد.

در این آزمایشات اثر سه عامل ارتفاع پایل، تراکم پایل و تراکم پود بر مقاومت فشاری صفحات، مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت برای صفحات مد نظر، مقاومت یک مگاپاسکال به دست آمد. این مقدار به‌وسیله کاهش قطر کامپوزیت و افزایش تراکم پایل، تا ۲ مگاپاسکال نیز قابل افزایش است.

منحنی‌های زیر بیانگر تاثیر هر یک از این متغیرها می‌باشند:







- آزمون برخورد شبه استاتیک و ضربه:

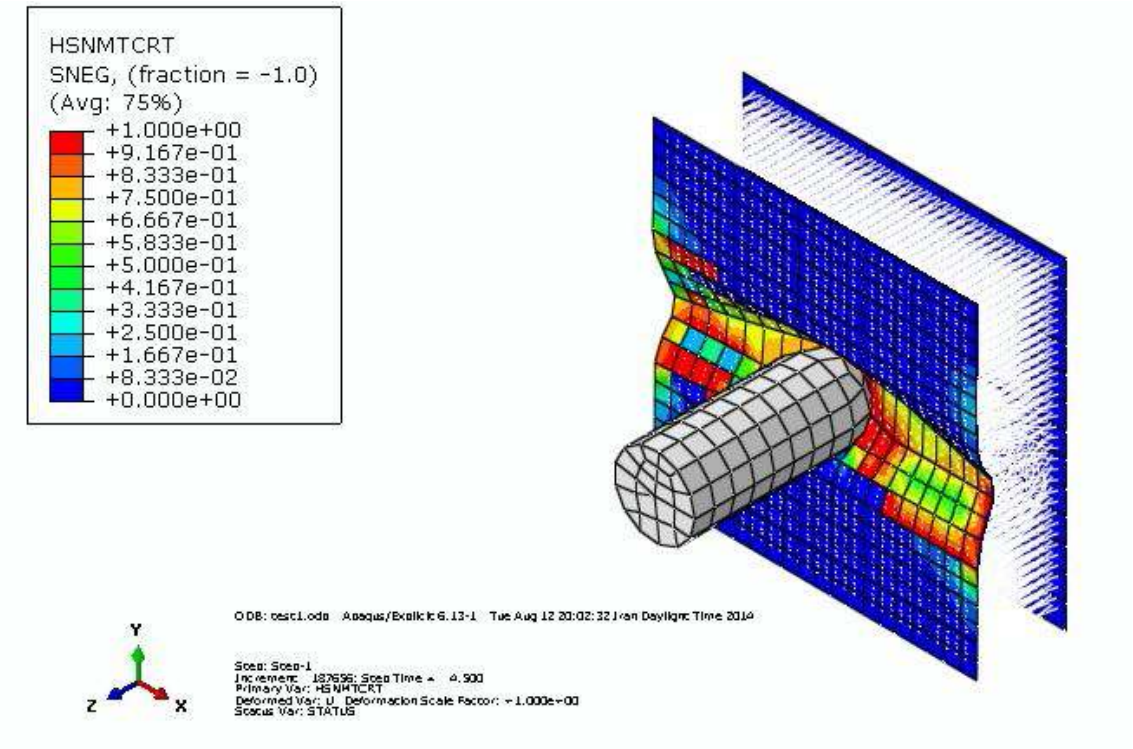
این آزمون در دانشگاه صنعتی اصفهان در راستای انجام تز فوق لیسانس آقای مهندس شیرانی و تحت راهنمایی آقای دکتر لوح موسوی انجام شده است. تأمین مواد (پانل‌های کامپوزیتی) و مشاوره تز با شرکت نوآوران صنعت سیلک بوده است.

آزمون‌های برخورد و جذب انرژی انواع مختلفی دارند. در این تحقیق از آزمون برخورد با سرعت متفاوت، اولی در حالت شبه استاتیک و با سرعت 0,5 میلی‌متر در دقیقه و دومی با سرعتی بالاتر (شبه دینامیک) و در 200 میلی‌متر در دقیقه، معادل تست ضربه، استفاده شده است.

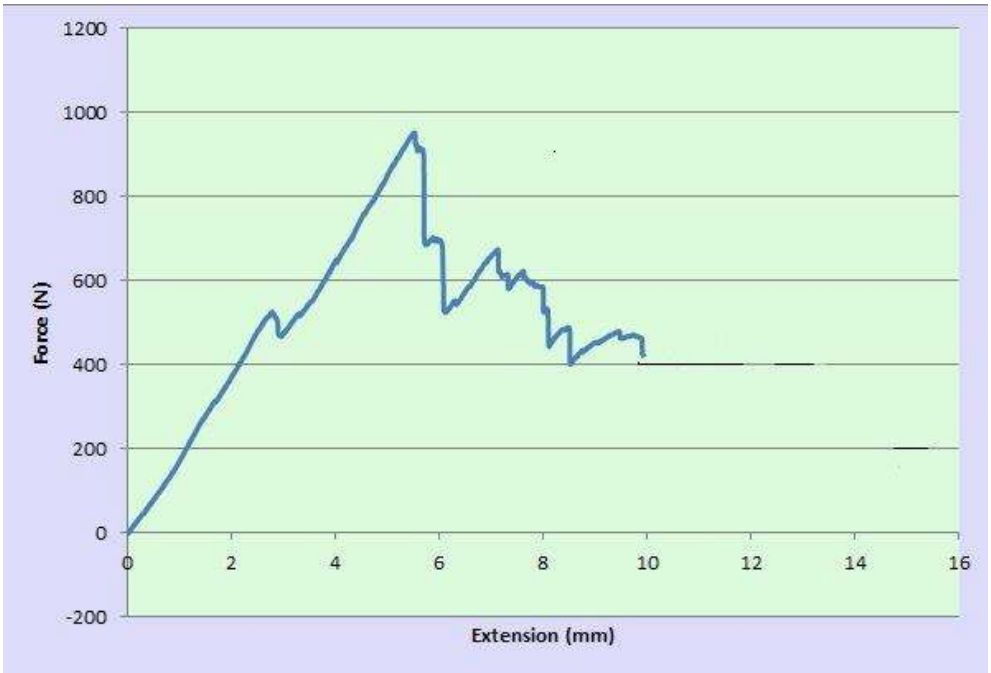
شکل زیر اثر یکی از این برخوردها را نشان می‌دهد:

.

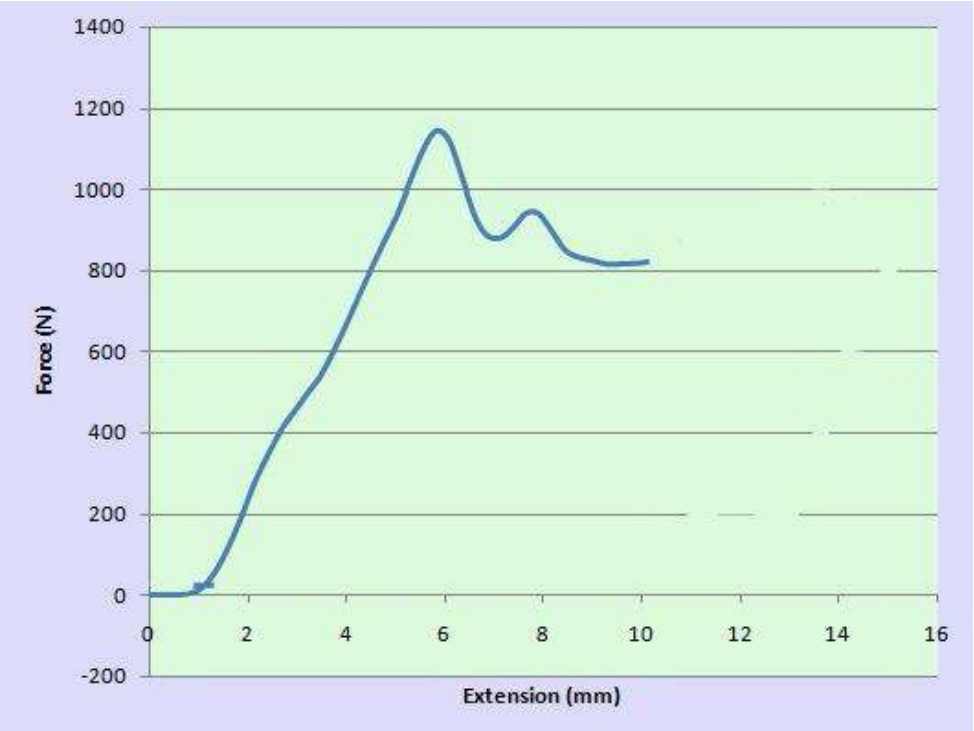
مدل‌سازی نیز در فضای آباکوس انجام شده و نتایج زیر به دست آمده است:



نمودارهای نیرو – تغییر مکان نیز در زیر قابل مشاهده می‌باشد:



نمودار نیرو-تغییر مکان در حالت شبه استاتیک



نمودار نیرو-تغییر مکان در حالت شبه دینامیکی

باتوجه به آزمون برخورد در دو حالت شبه استاتیک و شبه دینامیک، مشاهده شد که سطح ناحیه تغییر شکل و شکست در حالت شبه استاتیک نسبت به حالت شبه دینامیک بزرگتر می‌باشد. دلیل این مسئله آن است که در حالت شبه استاتیک، سنبه فرصت بیشتری برای درگیر شدن با نواحی ساندویچ پنل را دارد و نفوذ در سطوح فوقانی پانل بیشتر است. میزان جذب انرژی در برخورد با سرعت بالاتر، برابر 6200 ژول بوده و این مقدار در برخورد حالت شبه استاتیک، 8260 ژول می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که فرآیند جذب انرژی ساندویچ پنل الیاف شیشه‌ای در حالت شبه استاتیک بهتر از برخورد به صورت ضربه‌ای است، هرچند که نیروی مقاوم ماکزیمم، در حالت ضربه بیشتر است. پس از آزمون برخورد برروی پانل‌ها، این مطلب آشکار شد که در اثر برخورد، صفحه رویی پانل فقط در محل اثر برخورد شکسته می‌شود و الیاف زیر صفحه رویی بدون این‌که شکسته شوند، فقط خم خواهند شد.

- محاسبات مربوط به ساخت و برآوردهای مقایسه‌ای نسبت به سایر سقف‌ها:

با توجه به سبکی سقف‌های پیشنهادی، محاسباتی نیز به منظور برآورد کاهش مصالح مصرفی در سایر بخش‌های ساختمان از قبیل فونداسیون، ستون‌ها و ... نیز توسط اساتید دانشگاه تربیت مدرس (آقایان دکتر شفیعی و شاه بیک) و همچنین مقایسه هزینه‌ای با سایر سقف‌های سنتی مرسوم، همچون L.S.F و سقف عرشه فولادی و کامپوزیت معمولی نیز انجام شد. این محاسبات نشان می‌دهند که در حالت استفاده از این پانل‌ها، می‌توان حداقل به میزان ۳۰٪ از هزینه‌های سایر مصالح

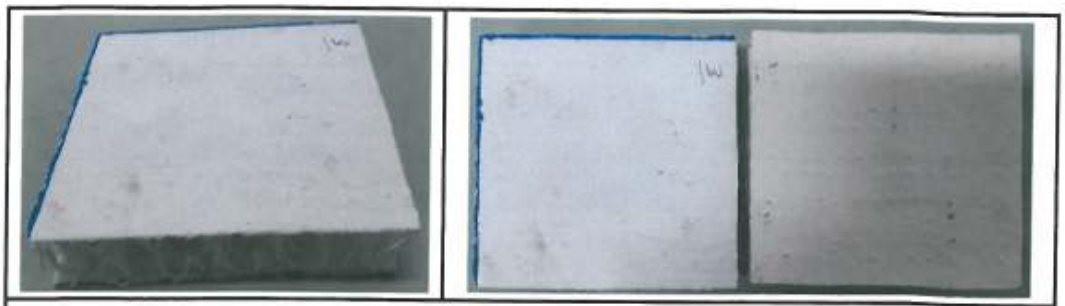
مصرفی، کاست. همچنین محاسبات مقایسه‌ای نیز با سایر سقف‌های سنتی نشان می‌دهد که از لحاظ قیمت تمام شده (صرفاً سقف) نیز این روش پیشنهادی می‌تواند کارا باشد و البته در این محاسبات قیمتی، سایر مزایا لحاظ نشده است. از جمله این مزایا می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- افزایش برخی از مقاومت‌های مکانیکی، هم‌چون خستگی
- اثرکاهش وزن سقف بر طراحی اجزای باربر سازه
- امکان استفاده هم‌زمانی از صفحه باربر به عنوان عایق حرارتی و رطوبتی و صوتی
- کاهش زمان تحویل و خصوصاً هزینه‌های کارگری
- عدم نیاز به ماشین آلات سنگین
- سهولت بیشتر حمل مصالح خصوصاً در بافت‌های قدیمی و فرسوده شهری
- امکان استفاده به عنوان دیوار پوش و نما

این گزارش نیز به صورت کامل در **پیوست شماره ۹** آمده است.

ب) آزمون آتش:

این آزمون به دو شکل متفاوت در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و همچنین بنیاد علوم کاربردی رازی انجام پذیرفته است. آزمون مرکز تحقیقات در باب مقاومت در برابر آتش و آزمون بنیاد علوم کاربردی رازی در مورد پیش‌روی شعله بوده است. گزارش کامل مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در **پیوست شماره ۱۰** آمده است. عکس زیر بخشی از گزارش مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در این باب می‌باشد.



عکس ۱- آزمونه‌های کامپوزیت الیاف شیشه با پوشش محافظ آتش، قبل از آزمون

عکس ۲- آزمونه‌های کامپوزیت الیاف شیشه با پوشش محافظ آتش، پس از آزمون تحت تابش ۵۰ kW/m^2

به اقرار متخصصین آن مرکز، با توجه به نتایج این آزمون، یعنی زمان ۷۹۰ ثانیه در شدت تابش موجود تا ظهور قطرات مذاب، این پانل‌ها از این بابت می‌توانند در ساختمان‌هایی با تعداد محدود طبقه، استفاده شوند.

نتایج بنیاد علوم کاربردی رازی نیز دال بر خود اطفاء بودن این پانل‌ها می‌باشد.

ج) آزمون تعیین درصد رطوبت موجود:

این آزمون نیز در بنیاد علوم کاربردی رازی انجام شده و عدد ٦,١٣ درصد برای آن تعیین شده است.

د) آزمون های سرما و حرارت:

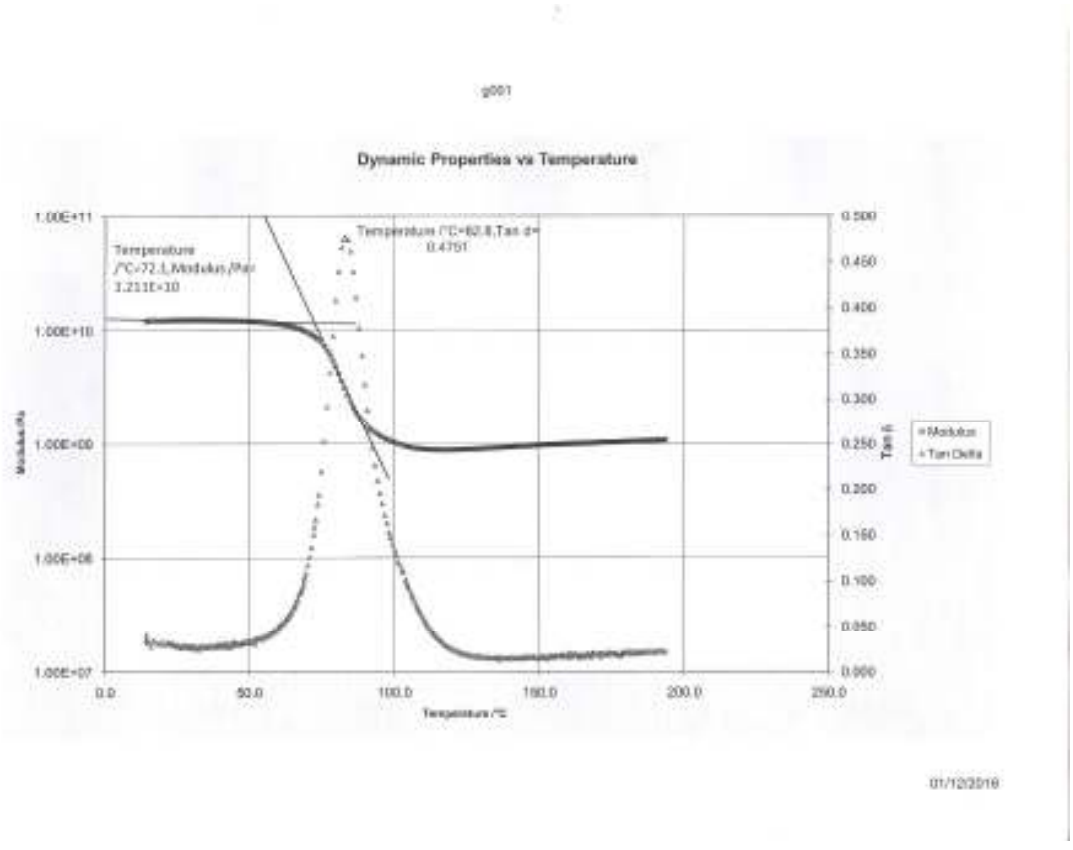
- آزمون افت استحکام خمشی در سرما:

در این فعالیت دمای قطعه تا ٢٤- درجه سانتی‌گراد پایین آورده شده و تست خمش بر روی آن انجام پذیرفت. نتایج آزمون، افت معناداری را برای این خاصیت قطعه نشان نداد.

- آزمون تعیین نقطه Tg:

این آزمون نیز به درخواست مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و توسط پژوهشگاه پلیمر و پترو شیمی ایران، انجام شده است. نتایج این آزمون نقطه Tg را به روش DMTA برابر با ٨٣ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد.

تصاویر زیر مربوط به این نتایج می‌باشد:



پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران – آزمایشگاه کامپوزیت

گزارش نتایج آزمون

DMTA آزمون

Code	Temperature profile	Thickness* width* Length	upper stiffness limit lower stiffness limit Broken Sample Stiffness	Temperature Modulus onset	Tg (tanδ)
G830 composite	Room to 200°C Ramp Rate:5 °C/min	3.14* 13*30 mm	2.9E+12 2.9E+1 0.3%	72.1 °C 12E+09 Pa	83 °C

لازم به ذکر است که انتظار اولیه متخصصین مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی برای این نقطه، ۱۵ درجه بالاتر از حداکثر دمای محیط در گرم ترین روز سال بود. (حدود ۶۰ تا ۶۵ درجه)

- آزمون نرم شدگی (وادادگی) در برابر حرارت:

این آزمون نیز به درخواست مرکز تحقیقات مسکن، راه و شهرسازی و توسط پژوهشگاه پلیمر، انجام شده است. نتایج نشان دهنده آن است که کامپوزیت مذکور از دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد آغاز به نرم شدن می نماید. تصویر زیر مربوط به نتیجه به دست آمده می‌باشد:

مجدداً لازم به ذکر است که بر اساس نظر اولیه متخصصین مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، این عدد بایستی حداقل ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و جهت تحمل حداکثر دمای آب در تاسیسات ساختمانی، باشد. ذکر این نکته هم خالی از لطف نیست که این دما برای لوله‌های پلیمری انتقال آب داغ، ۹۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

هـ) آزمون صدا و خواص آکوستیک:

نتایج آزمایشات انجام شده توسط اداره بهداشت کاشان، حاکی از کاهش ۲۱ db شدت صوت در فرکانس ۱۱۰۰ هرتز بوده است. برای انجام این آزمایش جعبه‌ای مکعبی از این صفحات ساخته شده و شدت صوت منبع صدا (آژیر) در فضای محیط و در داخل جعبه، توسط دستگاه اندازه‌گیری شد.

و) آزمایش تغییر مقاومت مکانیکی (خمش) بر اثر تابش اشعه ماوراء بنفش:

این آزمایش در دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان به‌وسیله لامپ UV با شدت تابش ۳۰ برابر نور خورشید انجام پذیرفته است. نتایج افت خواص مکانیکی(خمش) برای این قطعات در طی دوره های زمانی، مطابق با جدول زیر می‌باشد (رزین با مواد مقاوم کننده در برابر این اشعه، مخلوط شده بود):

دوره زمانی (روز)	۷	۳۰	٤٥	٦٠
افت مقاومت خمشی (درصد)	۰	٥	۷	۱۰

لازم به ذکر است که در مورد کاربری ساختمان، این صفحات مدفون بوده و در واقع در معرض تابش مستقیم نور خورشید قرار نمی‌گیرند.

ی) آزمون توان پوشش و چسبندگی به سطح بتن مخازن بتنی (حوضچه ها) و مقاومت در برابر اسید:

در این آزمایش ابتدا یک حوضچه بتنی ساخته شده و پس از تسطیح سطح حوضچه و گذشت ۳ روز و خشک شدن بتن، پانل‌های کامپوزیتی سه‌بعدی به سطح بتن در کف و دیواره‌ها، به‌وسیله رزین چسبانده شد. سپس سطح پوشش کامپوزیتی نیز به‌وسیله پارچه دو بعدی شیشه‌ای و رزین، درز گیری و پوشش داده شد. سنسورهایی نیز برای گزارش نشت اسید، در بین دو لایه پانل کامپوزیتی قرار داده شدند. (در میان پایل ها)

این حوضچه با اسید سولفوریک و با غلظت های ۲۰، ٦۰ و ۹۸ درصد پر شده و اکنون پس از گذشت ۷ ماه، اثری از نشت دیده نشده است. همچنین در این بررسی، امکان تعویض موضعی پوشش کامپوزیتی نیز تجربه شد. این آزمایش همچنان ادامه دارد.

تصاویر زیر مربوط به آماده‌سازی و ترمیم موضعی حوضچه می‌باشند.

در پیوست شماره ۱۱ نیز رفرنس آلمانی مربوط به این قابلیت آمده است.

واحد تحقیق و توسعه شرکت نوآوران صنعت سیلک