بسم الله الرحمن الرحیم

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

تحلیل و ارزیابی رفتار سقف مشتمل بر پانل‌های کامپوزیتی با پارچه سه بعدی از الیاف شیشه پر شده با ملات سیمانی متصل به تیرچه‌های فولادی

گزارش ۱۰۰٪

طرف قرارداد با

شرکت نوآوران صنعت سیلک

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

فصل اول-ارزیابی ساختار و خواص کامپوزیت متشکل از پارچه سه بعدی توپر ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- ساختار پانل کامپوزیتی ۱

۱-۲-۱- پارچه سه بعدی ۳

۱-۲-۱-۱- ساختار شیمیایی الیاف شیشه ۴

۱-۲-۱-۲- خواص نخ شیشه ۵

۱-۲-۱-۳- خواص نخ رزین خورده ۶

۱-۲-۱-۳-۱- خواص مکانیکی ۶

۱-۲-۱-۳-۲- دوام در برابر قلیا ۸

۱-۲-۲- رزین مورد استفاده ۹

۱-۲-۳- ملات پرکننده ۹

۱-۳- خواص کامپوزیت ۱۱

۱-۳-۱- آزمون بارگذاری خمشی ۱۲

۱-۳-۱-۱- آزمون بارگذاری شماره (۱) ۱۲

۱-۳-۱-۱-۱- مشخصات ابزارگذاری آزمون ۱۲

۱-۳-۱-۱-۲- نتایج آزمون شماره (۱) ۱۳

۱-۳-۱-۲-آزمون بارگذاری شماره (۲) ۱۶

فصل دوم-آزمایشات با پرکننده شماره ۲ ..... ۲۳

۲-۱- مقدمه ۲۳

۲-۲- مقاومت فشاری ملات پرکننده ۲۳

۲-۳- خواص کامپوزیت ۲۶

۲-۳-۱- آزمون بارگذاری خمشی ۲۶

۲-۳-۱-۱- آزمون بارگذاری شماره (۳) ۲۶

۲-۳-۱-۲- آزمون بارگذاری شماره (۴) ۳۱

فصل سوم-آزمایشات با پرکننده شماره ۳ ..... ۳۷

۳-۱- آزمون مقاومت فشاری ۳۷

فصل چهارم- آزمایشات با پرکننده شماره ٤ ..... ۳۹

۴-۱- مقاومت فشاری ۳۹

۴-۲-آزمون بارگذاری خمشی ۴۰

۴-۲-۱- آزمون بارگذاری شماره (۵) ۴۰

۴-۲-۲- آزمون بارگذاری شماره (۶) ۴۶

۴-۲-۳- آزمون سقف تحت اثر توام بارهای مرده و زنده و آتش ۵۳

۴-۲-۴- آزمون مجدد سقف تحت اثر توام بارهای مرده و زنده و آتش ۶۰

۴-۳- عملکرد دیافراگمی سقف ۶۵

فهرست اشکال

شکل۱-۱- پانل کامپوزیتی متشکل از پارچه سه بعدی شیشه، پرشده با ملات سبک ۲

شکل ۱-۲- ضخامت پانل کامپوزیتی ۳

شکل ۱-۳ – پارچه سه بعدی ۴

شکل۱-۴- منحنی تنش کرنش مولتی فیلامنت شیشه ۶

شکل ۱-۵- منحنی تنش کرنش نخ رزین خورده ۷

شکل ۱-۶- نمونه‌های قرار گرفته در محلول قلیایی ۸

شکل ۱-۷- مقاومت کششی نخ پس از دو، سه و چهار ماه قرارگیری در محلول قلیا ۹

شکل۱-۸– نمونه‌های ارسالی از بتن پرکننده داخل کامپوزیت ۱۱

شکل ۱-۹- چگونگی ابزارگذاری آزمون بارگذاری تک دهانه شماره (۱) ۱۲

شکل ۱-۱۰–پلان نمونه و نحوه بارگذاری ۱۳

شکل ۱-۱۱- بارگذاری با ۲۴ وزنه معادل ۴۰۲٫۸ کیلوگرم ۱۴

شکل ۱-۱۲- شکست پانل پس از تحمل ۵۸ وزنه معادل ۹۲۹٫۸ کیلوگرم ۱۴

شکل ۱-۱۳- نمودار بار –تغییرمکان بارگذاری پانل در دهانه ۱ متری ۱۶

شکل ۱-۱۴- ابزارگذاری آزمون بارگذاری دو دهانه ۱۷

شکل ۱-۱۵- دیاگرام ابزار گذاری ۱۸

شکل ۱-۱۶- بارگذاری معادل بار مرده به صورت مساوی در هر دو دهانه (هر دهانه ۱۲ عدد وزنه) ۱۸

شکل ۱-۱۷- بارگذاری قبل از شکست پانل در دهانه اصلی (۹۵ وزنه در دهانه اصلی) ۱۹

شکل ۱-۱۸- منحنی بار تغییر- مکان آزمون پانل در دهانه ۲ متری ۲۱

شکل۲-۱- آزمون فشاری نمونه‌های مکعبی از ملات پرکننده ۲۵

شکل ۲-۲– ابزارگذاری آزمون بارگذاری دو دهانه (دهانه ۸۰ سانتی‌متر) ۲۷

شکل ۲-۳- دیاگرام ابزار گذاری ۲۷

شکل ۲-۴- بارگذاری ۸ وزنه در دهانه هدف و ۴ وزنه در دهانه مجاور ۲۸

شکل ۲-۵- بارگذاری در انتهای آزمون (۵۷ وزنه در دهانه اصلی و ۱۶ وزنه در دهانه فرعی) ۲۸

شکل ۲-۶- منحنی بار تغییر- مکان آزمون پانل در نمونه به دهانه ۰/۸ متر (آزمون دودهانه) ۳۰

شکل ۲-۷– ابزارگذاری آزمون بارگذاری دو دهانه (دهانه ۸۰ سانتی‌متر) ۳۱

شکل ۲-۹- بارگذاری ۱۲ وزنه در دهانه هدف و ۹ وزنه در دهانه مجاور (D+Lدرهر دو دهانه) ۳۳
شکل ۲-۱۰- بارگذاری در انتهای آزمون (۴۸ وزنه در دهانه اصلی و ۱۵ وزنه در دهانه فرعی) ۳۳
شکل ۲-۱۱- منحنی بار تغییر- مکان آزمون پانل در نمونه به دهانه ۱ متر (آزمون دودهانه) ۳۵
شکل ۳-۱- آزمون مقاومت فشاری پرکننده شماره ۳ ..... ۳۸
شکل ۴-۱- ابزارگذاری آزمون بارگذاری دو دهانه برای مصالح جدید (دهانه ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر) ۴۰
شکل ۴-۲- دیاگرام ابزارگذاری ۴۱
شکل ۴-۳- بارگذاری ۲۱ وزنه در دهانه ۱۰۰سانتی‌متری ۴۲
شکل ۴-۴- بارگذاری در انتهای آزمون (۵۹ وزنه در دهانه اصلی و ۱۶ وزنه در دهانه فرعی) ۴۲
شکل ۴-۵- بروز گسیختگی در الیاف شیشه روی تکیه‌گاه میانی در هنگام خرابی ۴۳
شکل ۴-۶- منحنی بار تغییر- مکان آزمون پانل در نمونه به دهانه ۱ متر (آزمون دودهانه) ۴۵
شکل ۴-۷- دیاگرام ابزارگذاری نمونه برای ارزیابی خیز درازمدت پانل ۴۷
شکل ۴-۸- نمونه تحت آزمون خیز درازمدت ۴۸
شکل ۴-۹- الگوی ترک‌های موئین مشاهده شده در پایان بارگذاری ۴۸
شکل ۴-۱۰- دیاگرام خیز درازمدت-زمان برای دهانه ۱ متری ۵۱
شکل ۴-۱۱- دیاگرام خیز دراز مدت-زمان برای دهانه ۰٫۸ متری ۵۲
شکل ۴-۱۲- هندسه نمونه ساخته شده برای آزمون ۵۳
شکل ۴-۱۳- نحوه اجرای پوشش سقف و عایق پشم سنگ ۵۴
شکل ۴-۱۴- دیاگرام قرارگیری تغییرمکان‌سنج‌ها در آزمون مقاومت در برابر آتش ۵۵
شکل ۴-۱۵- ابزارگذاری آزمایش و نحوه وزنه‌گذاری روی پانل ۵۶
شکل ۴-۱۶- نحوه قرارگیری نمونه بر روی دهانه فوقانی کوره ۵۷
شکل ۴-۱۷ نمودار تغییر شکل سقف ناشی از بارگذاری آتش ۵۹
شکل ۴-۱۸- شرایط سقف در انتهای آزمایش آتش ۶۰
شکل ۴-۱۹- جزییات اصلاح شده اجرای عایق پشم سنگ و گچ برگ در زیر سقف ۶۱
شکل ۴-۲۰- تصویر جزییات اجرای سقف ۶۱
شکل ۴-۲۱- شکل ابزار گذاری و بارگذاری نمونه ۶۲
شکل ۴-۲۴- منحنی دما-زمان کوره و مقایسه آن با منحنی استاندارد ۶۲

شکل ۴-۲۵- وضعیت نمونه بعد از تست بار مرده زنده همراه با آتش ۶۳
شکل ۴-۲۶- منحنی دما- زمان ترموکوپل‌های نصب شده بر روی سقف ۶۴
شکل ۴-۲۷- منحنی اضافه تغییر مکان سقف پس از اعمال ثقلی ناشی از آتش بر اساس زمان اعمال آتش ۶۴

فهرست جداول

جدول۱-۱- خصوصیات پارچه مورد استفاده ۴
جدول ۱-۲- ساختار شیمیایی الیاف شیشه E-glass ۵
جدول ۱-۳- خواص مکانیکی نخ شیشه ۷
جدول۱-۴- طرح مخلوط به کار رفته در ساخت ملات پرکننده ۱۰
جدول ۱-۵- نتایج آزمون بارگذاری تک دهانه پانل ۱۵
جدول ۱-۶- نتایج آزمون بارگذاری دو دهانه پانل ۲۰
جدول ۲-۱- طرح مخلوط به کار رفته در ساخت ملات پرکننده ۲۳
جدول ۲-۲- وزن نمونه‌های مکعبی ۲۴
جدول ۲-۳- نتایج آزمون بارگذاری دو دهانه پانل ۲۹
جدول ۲-۴- نتایج آزمون بارگذاری در دهانه ۱ متر(نمونه دو دهانه) ۳۴
جدول ۳-۱- نتایج آزمون مقاومت فشاری پرکننده ۳۸
جدول ۴-۱- نتایج آزمون روی پرکننده شماره ۴ ..... ۳۹
جدول ۴-۲- نتایج آزمون بارگذاری در دهانه ۱ متر (نمونه دو دهانه) ۴۴
جدول ۴-۳- نتایج آزمون خیز دراز مدت پانل دو دهانه ۴۹
جدول۴-۴- نتایج خیز خالص پانل در مقابل طول زمان سپری شده از ابتدای آزمون آتش ۵۸

فصل اول

ارزیابی ساختار و خواص کامپوزیت متشکل از پارچه سه بعدی توپر

۱-۱- مقدمه

یکی از ساختارهای متداول سقف شامل تیرچه‌های فولادی و عضو غشایی است که مابین یا روی تیرچه‌ها اتصال داده می‌شود. این المان صفحه‌ای می‌تواند بتنی یا از سایر فراورده‌های دارای مقاومت و استحکام کافی باشد. محصول پیشین شرکت، یک پانل کامپوزیتی متشکل از پارچه سه بعدی از جنس الیاف شیشه بود که فضای بین دولایه پارچه دوبعدی در بالا و پایین با رزین پر شده بود. محصول کامپوزیتی مورد آزمایش خمش و خزش قرار گرفت. با توجه به نتایج بدست آمده از محصول قبل، شرکت محصول جدیدی ارائه داد که در آن درون پانل کامپوزیتی با ملات سیمانی پر شده است و دو لایه پارچه دوبعدی در بالا و پایین پانل با رزین آغشته شده است. لذا در این پروژه عملکرد باربری ثقلی پانل‌های کامپوزیتی با پارچه سه بعدی از الیاف شیشه و رزین پلی‌استر که با ملات ماسه سیمان پر شده است به عنوان عضو صفحه‌ای بر روی تیرچه‌های فلزی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین پس از تایید سازه‌ای، رفتار در مقابل حریق برای سقف نهایی بررسی خواهد شد.

۱-۲- ساختار پانل کامپوزیتی

پانل کامپوزیتی متشکل از پارچه سه بعدی از جنس فیلامنت شیشه است که با رزین آغشته شده است. الیاف شیشه از متداول‌ترین نوع الیاف در ساخت کامپوزیت‌ها به شمار می‌آیند. قیمت الیاف شیشه در مقایسه با انواع

الیاف کربن و آرامید بسیار پایین بوده و همین امر به همراه خواص مکانیکی مناسب آن سبب گسترش کاربرد این نوع از الیاف در سراسر جهان شده است. پانل کامپوزیتی مورد مطالعه در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

شکل۱-۱- پانل کامپوزیتی متشکل از پارچه سه بعدی شیشه، پرشده با ملات سبک

شکل ۱-۲- ضخامت پانل کامپوزیتی

۱-۲-۱- 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 ۱-۳ و جدول ۱-۱ نشان داده شده است.

شکل ۱-۳ – پارچه سه بعدی

جدول۱-۱- خصوصیات پارچه مورد استفاده

نخ	جنس	نمره	تراکم	ضخامت پارچه	وزن پارچه
تار	E-glass	۶۰۰ tex	۳/۲ (/cm)	۳ سانتی‌متر	۱۹۵۴ gr/m^2
پود	E-glass	۶۰۰ tex	۴ (/cm)		
خاب	E-glass	۶۰۰ tex	۴/۳ (cm^2)		

۱-۲-۱-۱- ساختار شیمیایی الیاف شیشه

الیاف مورد استفاده در تهیه پارچه از جنس الیاف شیشه نوع E بوده که ساختار شیمیایی نخ شیشه E-glass در جدول زیر آورده شده است.

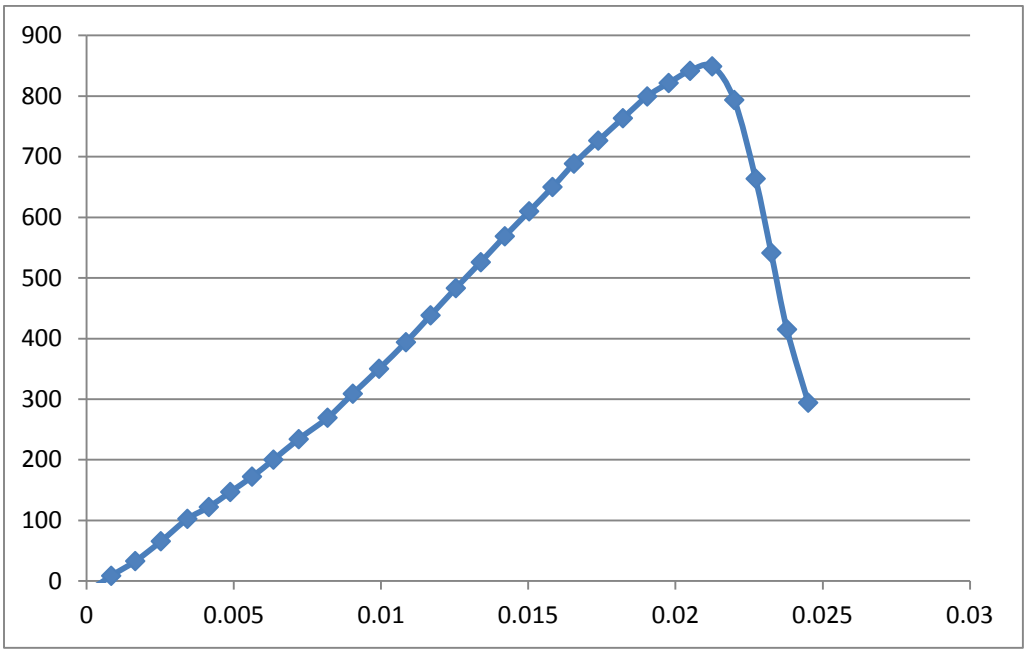
جدول ۱-۲- ساختار شیمیایی الیاف شیشه E-glass

ماده متشکله	درصد
دی اکسید سیلیسیوم	۵۲-۵۶
اکسید آلومینیوم	۱۲-۱۶
اکسید بر	۵-۱۰
اکسید سدیم و اکسید پتاسیم	۰-۲
اکسید منیزیوم	۰-۵
اکسید کلسیم	۱۶-۲۵
اکسید تیتانیوم	تا ۱٫۵
اکسید آهن	۰-۰٫۸

۱-۲-۱-۲- 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.

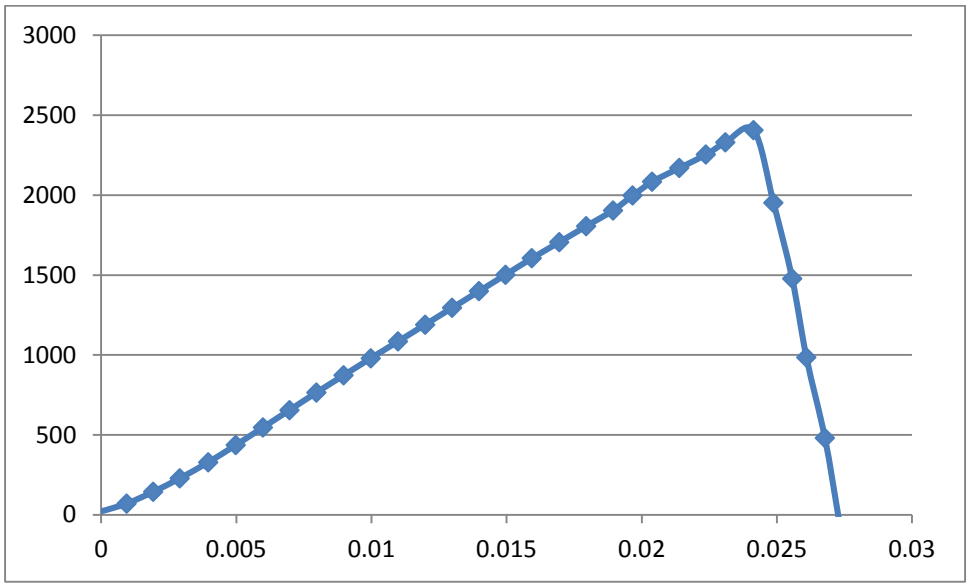


شکل ۱-۴- منحنی تنش کرنش مولتی فیلامنت شیشه

۱-۲-۱-۳- خواص نخ رزین خورده

۱-۲-۱-۳-۱- خواص مکانیکی

نمودار تنش کرنش نخ رزین خورده در شکل زیر نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود مقاومت نخ شیشه رزین خورده در حدود ۲۵۰۰ مگاپاسکال بدست آمده است. 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 ۳ با یکدیگر مقایسه شده است.



شکل ۱-۵- منحنی تنش کرنش نخ رزین خورده

جدول ۱-۳- خواص مکانیکی نخ شیشه

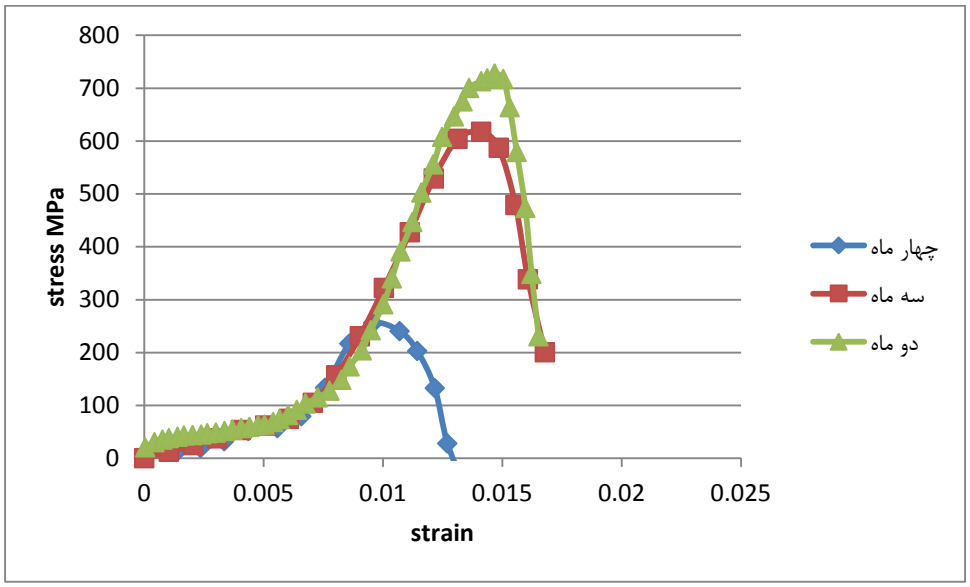
نخ شیشه	مقاومت کششی MPa	مدول الاستیسیته GPa	کرنش نهایی
بدون رزین	۸۵۰	۵۲	۰/۰۲۱
رزین خورده	۲۵۰۰	۱۰۵	۰/۰۲۴

۱-۲-۱-۳-۲- دوام در برابر قلیا

با توجه به اینکه در بافت پارچه از الیاف شیشه نوع E استفاده شده است، نمونه‌های نخ رزین خورده مطابق دستورالعمل ACI به مدت شش ماه در قلیا قرار داده شده‌اند. در شکل ۶ نمونه‌های قرار گرفته در آون نشان داده شده است. مقاومت کششی الیاف قبل و بعد از قرارگیری در قلیا مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

شکل ۱-۶- نمونه‌های قرار گرفته در محلول قلیایی

در شکل ۱-۷ مقاومت کششی نخ پس از دو، سه و چهار ماه قرارگیری در محلول قلیا نشان داده شده است.



شکل ۱-۷- مقاومت کششی نخ پس از دو، سه و چهار ماه قرارگیری در محلول قلیا

همانگونه که مشاهده می‌شود مقاومت کششی نخ پس از گذشت ۴ ماه قرارگیری در محلول قلیا افت قابل ملاحظه‌ای داشته است.

۱-۲-۲- رزین مورد استفاده

رزین مورد استفاده رزین دو جزیی پلی‌استر بوده و سخت کننده استفاده شده برای آن، از نوع پراکسیدی است.

۱-۲-۳- ملات پرکننده

طرح مخلوط ملات در جدول زیر آورده شده است.

جدول۱-۴- طرح مخلوط به کار رفته در ساخت ملات پرکننده

ردیف	مواد به کار رفته	مقدار
۱	آب	۱۵ کیلوگرم
۲	سیمان	۲۳ کیلوگرم
۳	ماسه	۱۳ کیلوگرم
۴	پودر آلومینیوم	۱۰۰ گرم
۵	گچ	۳۰۰ گرم
۶	سطح فعال	به مقدار ناچیز

ضخامت نمونه : ۳ سانتی‌متر

وزن نمونه : وزن واحد سطح نمونه ۲۵٫۶۷ کیلوگرم بر متر مربع

مقاومت فشاری نمونه ملات به علت مقاومت بسیار کم نمونه‌ها قابل اندازه‌گیری نبود. همانگونه که در شکل ۱-۸ نشان داده شده است نمونه‌ها با فشار انگشت دچار تغییر شکل و فرورفتگی می‌شدند.

تبصره- مقرر شد با توجه به نتایج آزمون خمش، شرکت نمونه‌های کامپوزیت جدیدی با ملات با مقاومت فشاری حداقل ۲۰ مگاپاسکال برای اندازه‌گیری تهیه کرده و بر اساس نمونه‌های جدید آزمایشات تکرار شود.

شکل۱-۸– نمونه‌های ارسالی از بتن پرکننده داخل کامپوزیت

۱-۳- خواص کامپوزیت

برای کاربرد کامپوزیت به عنوان سقف، اندازه گیری مقاومت خمشی نمونه و بدست آوردن ظرفیت خمشی پانل کامپوزیتی و همچنین خزش نمونه از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. لذا در ادامه آزمون بارگذاری خمشی روی نمونه انجام شده است.

۱-۳-۱- آزمون بارگذاری خمشی

به منظور بدست آوردن ظرفیت خمشی پانل کامپوزیتی نمونه های پانل به ابعاد ۲ در ۱ متر ساخته شده و برای انجام آزمون آماده سازی شد.

۱-۳-۱-۱- آزمون بارگذاری شماره (۱)

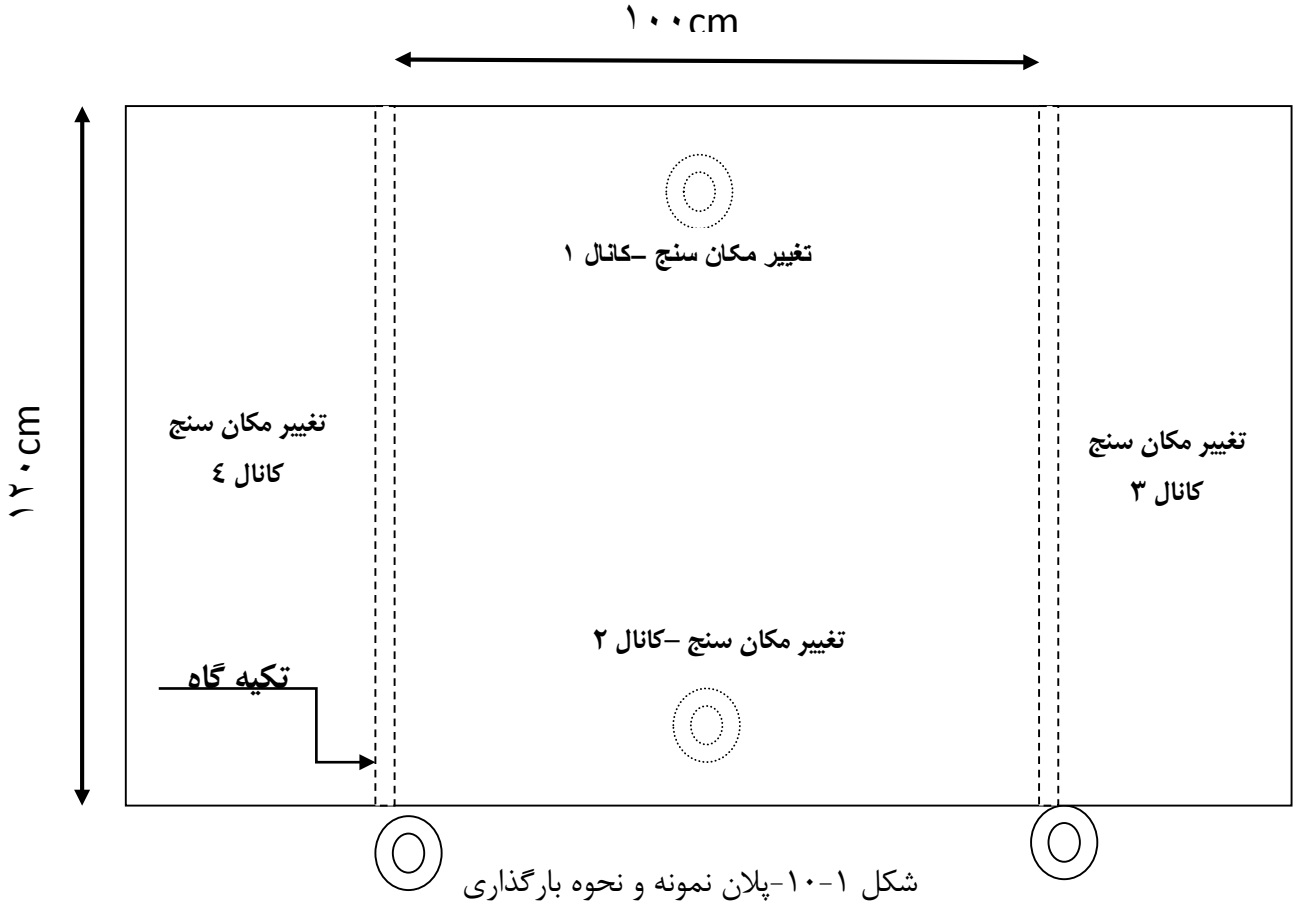
به منظور ارزیابی ظرفیت خمشی پانل‌های سه بعدی کامپوزیتی پر شده با ملات سبک، آزمون عملکردی بارگذاری گسترده ثقلی در نظر گرفته شده است. به این منظور پانلی به عرض ۱٫۲ متر مابین دو تکیه‌گاه به فاصله ۱ متر قرار داده شده و تحت بارگذاری افزایشی ثقلی تا مرحله انهدام قرار داده شد. اعمال بارگذاری از طریق قرارگیری وزنه‌های فولادی به وزن متوسط ۱۵٫۵ کیلوگرم انجام گرفت.

۱-۳-۱-۱-۱- مشخصات ابزارگذاری آزمون

به منظور انجام آزمون، ابزارگذاری مطابق شکل ۱-۹ تنظیم شد.

شکل ۱-۹- چگونگی ابزارگذاری آزمون بارگذاری تک دهانه شماره (۱)

به منظور برداشت تغییرمکان‌های وسط پانل و نیز محل تکیه‌گاه‌ها ابزارگذاری مطابق شکل زیر انجام شده است.



شکل ۱-۱۰-پلان نمونه و نحوه بارگذاری

۱-۳-۱-۱-۲- نتایج آزمون شماره (۱)

برخی مراحل انجام آزمون در شکل‌های ۱-۱۱ و ۱-۱۲ نشان داده شده است. برداشت‌های انجام شده مطابق جدول شماره ۱-۵ می‌باشد.

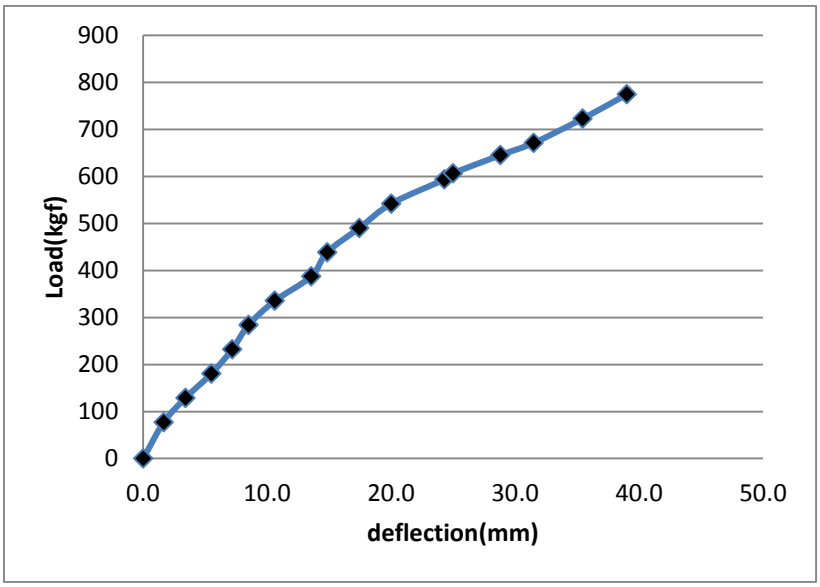
شکل ۱-۱۱- بارگذاری با ۲۴ وزنه معادل ۴۰۲٫۸ کیلوگرم

شکل ۱-۱۲- شکست پانل پس از تحمل ۵۸ وزنه معادل ۹۲۹٫۸ کیلوگرم

جدول ۱-۵- نتایج آزمون بارگذاری تک دهانه پانل

بار برای یک متر مربع	Deflection (mm)	(3+4)/2	(1+2)/2	کانال ۴	کانال ۳	کانال ۲	کانال ۱	Load وزن دال (+وزنه)	تعداد وزنه
0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	1.7	0.29	1.94	0.4	0.18	2.32	1.56	92.8	4
129	3.4	0.39	3.795	0.51	0.27	3.78	3.81	154.8	8
181	5.5	0.405	5.895	0.46	0.35	6.11	5.68	216.8	12
232	7.2	0.41	7.585	0.51	0.31	7.47	7.7	278.8	16
284	8.5	0.435	8.925	0.56	0.31	9.01	8.84	340.8	20
336	10.6	0.415	11.03	0.54	0.29	11.03	11.03	402.8	24
387	13.5	0.37	13.91	0.55	0.19	13.92	13.9	464.8	28
439	14.8	0.305	15.15	0.49	0.12	15.19	15.11	526.8	32
491	17.4	0.265	17.7	0.46	0.07	17.82	17.57	588.8	36
542	20.0	0.245	20.25	0.45	0.04	20.39	20.11	650.8	40
594	24.3	0.17	24.47	0.33	0.01	24.64	24.29	712.8	44
607	25.0	0.17	25.16	0.33	0.01	25.33	24.99	728.3	45
646	28.8	0.16	28.98	0.31	0.01	29.18	28.77	774.8	48
672	31.5	0.16	31.64	0.31	0.01	31.95	31.33	805.8	50
723	35.4	0.3	35.74	0.08	0.52	36.31	35.17	867.8	54
775	39.0	0.305	39.31	0.08	0.53	40.26	38.35	929.8	58

نمودار بار- تغییر شکل مطابق شکل ۱-۱۳ می‌باشد.



شکل ۱-۱۳- نمودار بار –تغییرمکان بارگذاری پانل در دهانه ۱ متری

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:

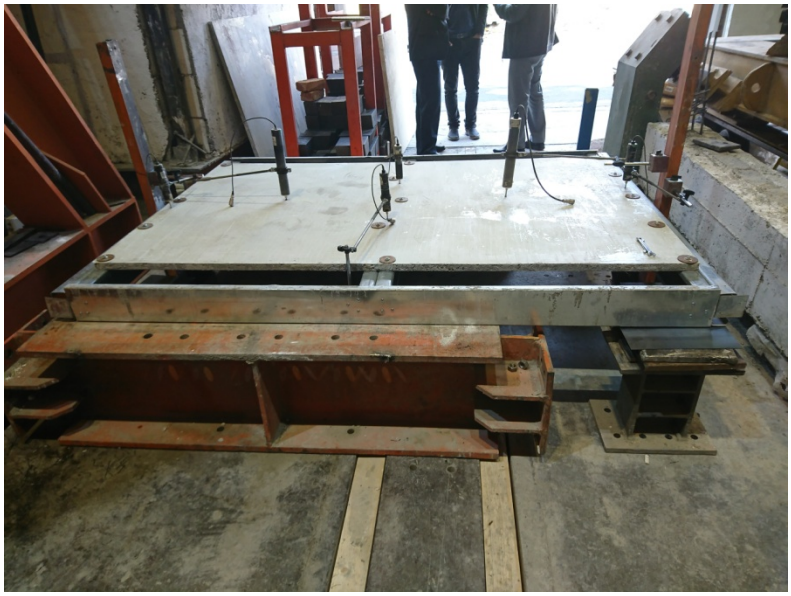
$$\frac{l}{240} = \frac{1000}{240} = 4.16mm$$

با درون یابی از منحنی ارائه شده در شکل ۵ متناظر تغییر مکان ۴٫۱۶ میلی‌متر باری معادل ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع سطح پانل حاصل می‌شود. همانگونه که مشاهده می‌شود با شرایط تک دهانه ۱ متری پانل ظرفیت تحمل بارهای پیش بینی شده را دارا نمی‌باشد.

۱-۳-۱-۲-آزمون بارگذاری شماره (۲)

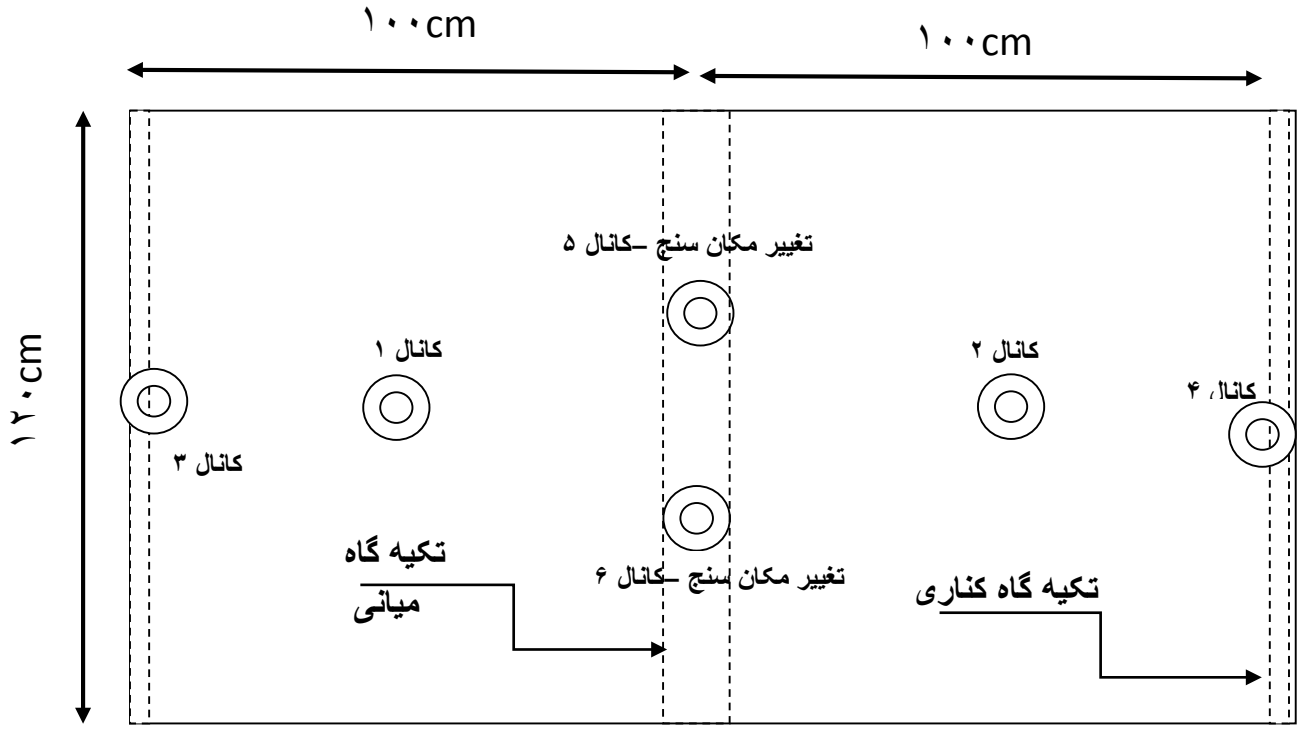
در این مرحله پانل به صورت پوشش دو دهانه مورد آزمون بارگذاری قرار گرفت. مشخصات پانل مورد استفاده عیناً مشابه آنچه در آزمون شماره ۱مورد بررسی قرار گرفته بوده است. در این آزمون قاب متشکل از پروفیل‌های

سرد نورد با مقطع C به عنوان زیر سازه پانل مورد استفاده قرار گرفت. بار بر روی قاب سردنورد قرار گرفته و با پیچ در فواصل ۳۰ سانتی‌متری متصل شدند. دهانه‌های مجاور هر یک ۱۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.



شکل ۱-۱۴- ابزارگذاری آزمون بارگذاری دو دهانه

دیاگرام ابزارگذاری در شکل ۱-۱۵ نمایش داده شده است.



شکل ۱-۱۵- دیاگرام ابزار گذاری

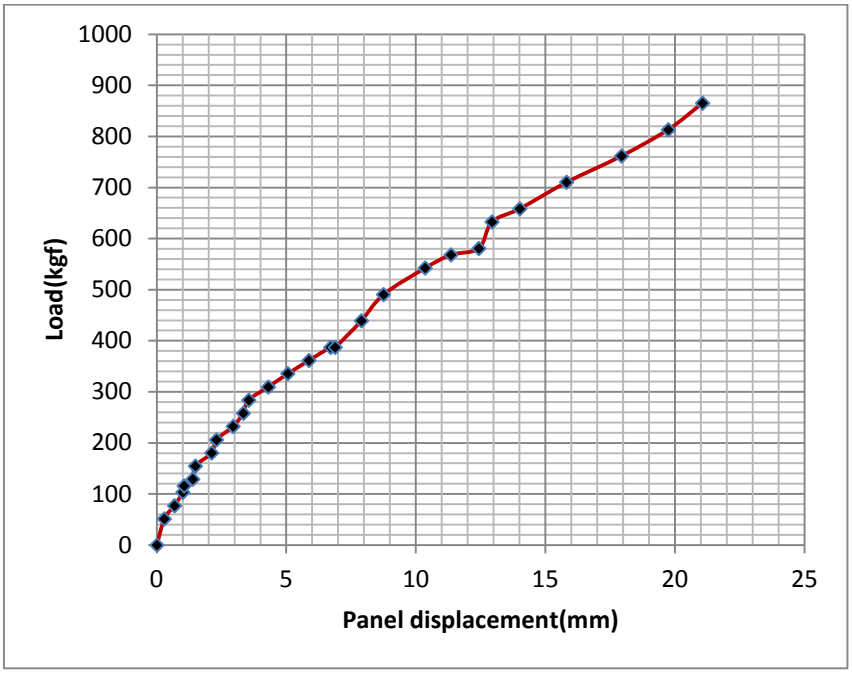
شکل ۱-۱۶- بارگذاری معادل بار مرده به صورت مساوی در هر دو دهانه (هر دهانه ۱۲ عدد وزنه)

شکل ۱-۱۷- بارگذاری قبل از شکست پانل در دهانه اصلی (۹۵ وزنه در دهانه اصلی)

جدول ۱-۶- نتایج آزمون بارگذاری دو دهانه پانل

مرحله	تعداد وزنه اضافه شده در هر مرحله دهانه اصلی	تعداد وزنه اضافه شده در دهانه مجاور	بار در دهانه اصلی(kgf) به اضافه وزن پانل	تعداد کل	تغییر مکان وسط دهانه اصلی	تغییر مکان وسط دهانه مجاور	تغییر مکان روی تیر میانی(کانال ۵)	تغییر مکان روی تیر میانی (کانال ۶)	روی تیر کناری	معدل خیز تیرچه میانی	معدل خیز تیرچه ها در وسط دهانه	خالص خیز کامپوزیت	میزان بار در یک متر مربع
	0	0	0		0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0
1	2	2	61.6	4	0.48	0.61	0.18	0.28	0.14	0.23	0.19	0.30	51
2	2	2	92.6	8	1.09	1.21	0.56	0.62	0.23	0.59	0.41	0.68	77
3	2	2	123.6	12	1.57	1.69	0.69	0.76	0.4	0.73	0.56	1.01	103
4	1	1	139.1	14	1.74	2.41	0.87	1.01	0.43	0.94	0.69	1.06	116
5	1	1	154.6	16	2.17	2.71	0.94	1.06	0.56	1.00	0.78	1.39	129
6	2	2	185.6	20	2.43	2.78	1.11	1.17	0.75	1.14	0.95	1.49	155
7	2	2	216.6	24	3.23	3.58	1.51	1.03	0.95	1.27	1.11	2.12	181
8	2	0	247.6	26	3.38	3.58	1.58	0.68	1.02	1.13	1.08	2.31	206
9	2	0	278.6	28	4.17	3.57	1.68	0.79	1.22	1.24	1.23	2.94	232
10	2	0	309.6	30	4.75	3.57	1.78	0.88	1.5	1.33	1.42	3.34	258
11	2	0	340.6	32	5.1	3.58	1.9	0.88	1.72	1.39	1.56	3.55	284
12	2	0	371.6	34	5.99	3.43	1.93	0.92	1.94	1.43	1.68	4.31	310
13	2	0	402.6	36	6.93	3.29	2.08	0.97	2.22	1.53	1.87	5.06	336
14	2	0	433.6	38	7.92	3.1	2.19	1.18	2.41	1.69	2.05	5.87	361
15	2	0	464.6	40	9.02	2.85	2.33	1.39	2.77	1.86	2.32	6.71	387
16	0	3	464.6	43	9.25	3.13	2.37	1.51	2.8	1.94	2.37	6.88	387
17	4	0	526.6	47	10.61	3.13	2.6	1.74	3.27	2.17	2.72	7.89	439
18	4	0	588.6	51	11.86	3.13	2.77	1.88	3.89	2.33	3.11	8.75	491
19	4	0	650.6	55	13.83	2.91	2.89	2.06	4.48	2.48	3.48	10.35	542
20	2	0	681.6	57	15.06	2.72	3.04	2.19	4.81	2.62	3.71	11.35	568
21	1	2	697.1	60	16.43	2.52	3.32	2.41	5.13	2.87	4.00	12.43	581
22	4	0	759.1	64	17.1	2.52	3.36	2.58	5.36	2.97	4.17	12.94	633
23	2	0	790.1	66	18.41	2.52	3.51	2.63	5.74	3.07	4.41	14.01	658
24	4	0	852.1	70	20.56	2.26	3.77	2.88	6.18	3.33	4.75	15.81	710
25	4	0	914.1	74	23.11	1.81	4.05	3.27	6.7	3.66	5.18	17.93	762
26	4	0	976.1	78	25.24	1.48	4.25	3.39	7.19	3.82	5.51	19.74	813
27	4	0	1038.1	82	26.9	1.28	4.49	3.68	7.61	4.09	5.85	21.05	865
28	2	0	1069.1	84									
29	4	0	1131.1	88									
30	4	0	1193.1	92									
31	4	0	1255.1	96									
32	4	0	1317.1	100									
33	4	0	1379.1	104									
34	4	0	1441.1	108									
35	4	0	1503.1	112									

بارگذاری در ابتدا تا سطح بارمرده $150\,\frac{kg}{m^2}$ به صورت هماهنگ در هر دو دهانه انجام شد، در ادامه بارگذاری بار زنده در دهانه اصلی به میزان بار زنده ادامه یافت (تعداد وزنه در دهانه اصلی ۲۸ عدد معادل ۴۳۴ کیلوگرم که با احتساب عرض پانل به میزان ۱٫۲ متر بار واحد سطح معادل ۳۶۱ کیلوگرم بر متر مربع می‌باشد). بارگذاری تا انهدام ادامه یافت و در نهایت در دهانه اصلی تعداد ۹۵ عدد وزنه معادل ۱۴۷۲ کیلوگرم بار ثقلی اعمال شد که معادل بار ۱۲۲۶ کیلوگرم در متر مربع می‌باشد. بر این اساس منحنی بار تغییر مکان تا مرحله‌ای که به منظور حفظ ایمنی، تجهیزات ثبت تغییر مکان برداشته شد در شکل ۱-۱۸ ارائه شده است.



شکل ۱-۱۸- منحنی بار تغییر- مکان آزمون پانل در دهانه ۲ متری

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 درون‌یابی از منحنی ارائه شده در شکل ۱-۱۸ متناظر تغییر مکان ۴٫۱۶ میلی‌متر باری معادل ۳۰۵ کیلوگرم بر متر مربع سطح پانل حاصل می‌شود. همانگونه که ملاحظه می‌شود این میزان بار قابل تحمل از مجموع بار مرده و زنده ($350\frac{kg}{\mathrm{m}^2}$)کمتر است و لذا بنا بر ضابطه حداکثر تغییر مکان مجاز عملکرد پانل مورد قبول نیست.

با توجه به نتایج آزمایشات انجام شده روی ظرفیت خمشی کامپوزیت به شرکت پیشنهاد شد که به جای استفاده از بتن سبک به عنوان ملات پرکننده از بتن با مقاومت فشاری حداقل ۲۰ مگاپاسکال به عنوان پرکننده استفاده کرده و نمونه‌های به ابعاد دو در نیم متر برای آزمون به مرکز ارسال نماید.

فصل دوم

آزمایشات با پرکننده شماره ۲

۲-۱- مقدمه

با توجه به نتایج آزمایشات انجام شده روی ظرفیت خمشی کامپوزیت به شرکت و نتایج نامناسب آن در دهانه یک متر به پیشنهاد شد که به جای استفاده از بتن سبک به عنوان ملات پرکننده از بتن با مقاومت فشاری حداقل ۲۰ مگاپاسکال به عنوان پرکننده استفاده کرده و نمونه‌های به ابعاد دو در نیم متر برای آزمون به مرکز ارسال نماید. نتایج حاصل از نمونه‌های ارسالی جدید به شرح زیر است.

۲-۲- مقاومت فشاری ملات پرکننده

طرح مخلوط ملات در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۲-۱- طرح مخلوط به کار رفته در ساخت ملات پرکننده

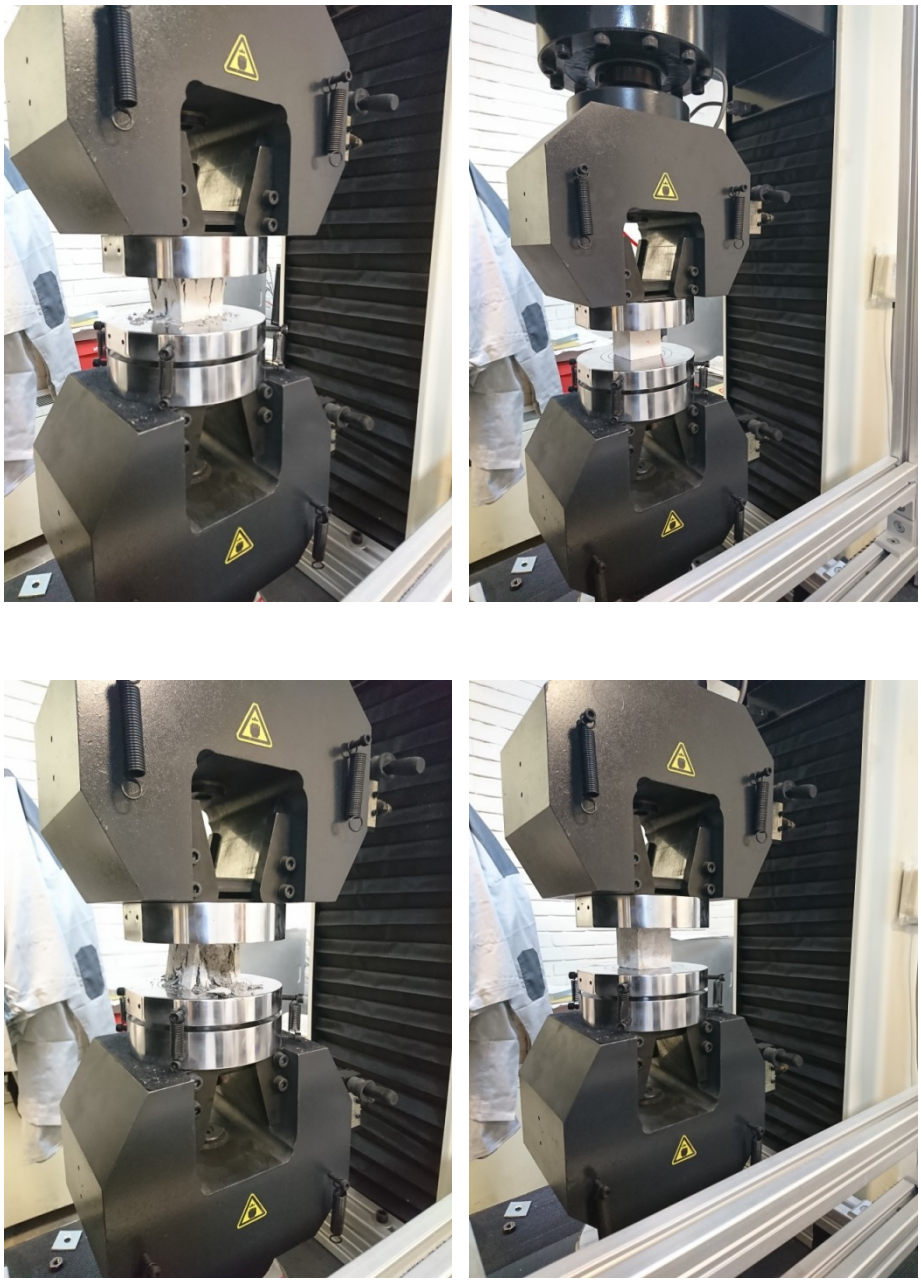
ردیف	مواد به کار رفته	مقدار
۱	آب	۲۲۷ لیتر
۲	سیمان تیپ ۲	۴۲۱ کیلوگرم
۳	ماسه	۱۵۵۳ کیلوگرم
۴	فوق روان‌کننده	یک درصد وزنی مجموع سیمان و ماسه

جدول ۲-۲- وزن نمونه‌های مکعبی

ردیف	ابعاد	وزن
۱	۵*۵*۵	۲۶۳/۸
۲	۵*۵*۵	۲۵۸/۷
۳	۵*۵*۵	۲۶۵/۹
۴	۵*۵*۵	۲۶۴/۳
میانگین		۲۶۳/۲

وزن واحد حجم نمونه‌های مکعبی ملات پرکننده ۲/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد.

مقاومت فشاری نمونه ملات در ادامه آورده شده است.



شکل۲-۱- آزمون فشاری نمونه‌های مکعبی از ملات پرکننده

۲-۳- خواص کامپوزیت

برای کاربرد کامپوزیت به عنوان سقف، اندازه گیری مقاومت خمشی نمونه و بدست آوردن ظرفیت خمشی پانل کامپوزیتی و همچنین خزش نمونه از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. لذا در ادامه آزمون بارگذاری خمشی روی نمونه انجام شده است.

۲-۳-۱- آزمون بارگذاری خمشی

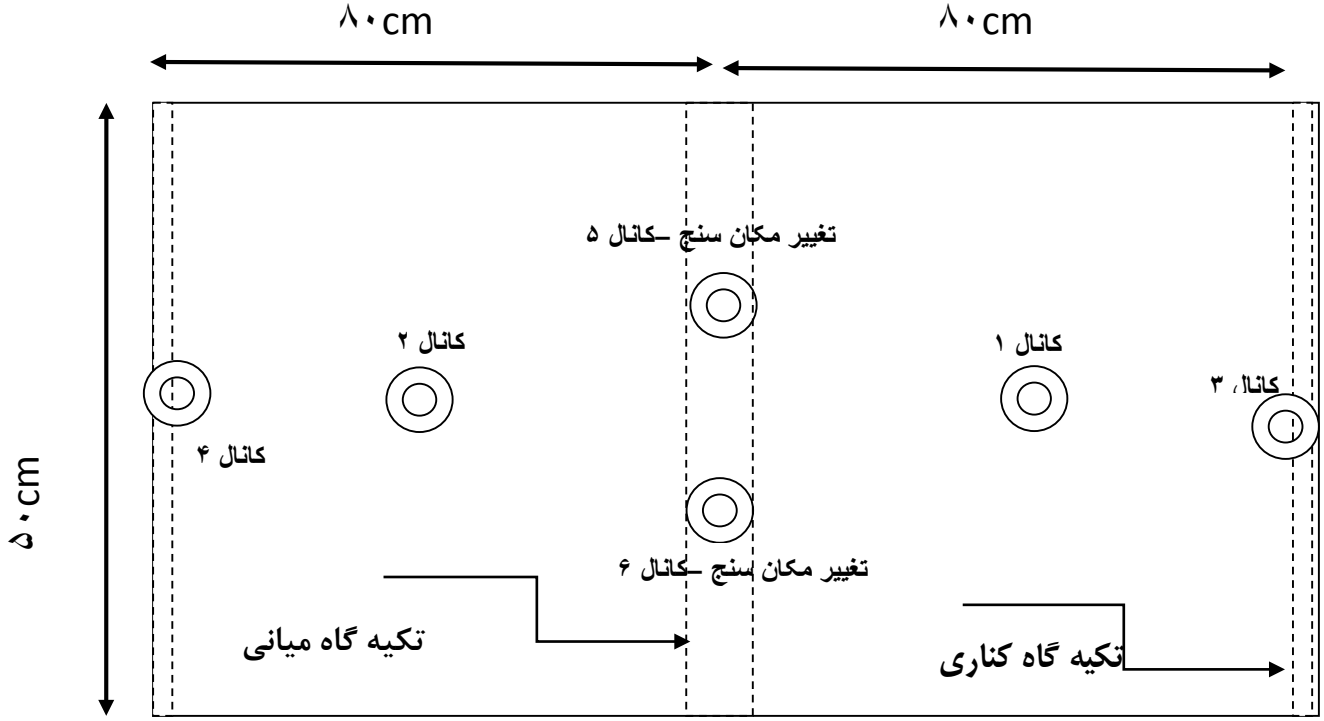
به منظور بدست آوردن ظرفیت خمشی پانل کامپوزیتی نمونه‌های پانل به ابعاد ۱۸۰ در ۵۰ سانتی‌متر ساخته شده و برای انجام آزمون آماده‌سازی شد.

۲-۳-۱-۱- آزمون بارگذاری شماره (۳)

در این مرحله پانل سه بعدی با ملات ریزدانه شامل سیمان و ماسه بادی (بدون کاربرد سنگدانه سبک) ساخته شده و مجدد به صورت پوشش دو دهانه مورد آزمون بارگذاری قرار گرفت. با توجه به اینکه وزن بتن معمولی موجب می‌شود که قطعات سنگین‌تر از حالت بتن سبک باشد و به دلیل ایجاد امکان حمل آسان، در این بخش تصمیم گرفته شد که پانل‌ها با عرض ۵۰ سانتی‌متر ساخته شود. آزمون مورد نظر بر روی پانل‌های به طول ۱۸۰ سانتی‌متر و به عرض ۵۰ سانتی‌متر صورت پذیرفت. قاب زیر سازه مورد استفاده متشکل از پروفیل‌های سرد نورد با مقطع C بوده و قاب به صورتی تنظیم شد که دهانه‌های مجاور هر یک ۹۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.

شکل ۲-۲– ابزارگذاری آزمون بارگذاری دو دهانه (دهانه ۸۰ سانتی‌متر)

دیاگرام ابزارگذاری در شکل ۲-۳ نمایش داده شده است.



شکل ۲-۳- دیاگرام ابزار گذاری

شکل ۲-۴- بارگذاری ۸ وزنه در دهانه هدف و ۴ وزنه در دهانه مجاور

شکل ۲-۵- بارگذاری در انتهای آزمون (۵۷ وزنه در دهانه اصلی و ۱۶ وزنه در دهانه فرعی)

جدول ۲-۳- نتایج آزمون بارگذاری دو دهانه پانل

مرحله بارگذاری	تعداد وزنه در دهانه هدف	بار روی نمونه (kgf)	بار در واحد سطح(kgf)	کانال ۲	کانال ۵	کانال ۶	کانال ۴	تغییر مکان خالص وسط پانل هدف(mm)
1	1	15.5	38.75	0.01	0.08	0.11	0	0.005
2	2	31	77.5	0.01	0.16	0.18	0	0.008
3	3	46.5	116.25	0.21	0.33	0.33	0.09	0.011
4	4	62	155	0.24	0.54	0.52	0.12	0.011
5	6	93	232.5	0.41	0.58	0.6	0.27	0.012
6	8	124	310	0.54	0.7	0.7	0.35	0.015
7	9	139.5	348.75	0.9	0.77	0.76	0.41	0.3125
8	11	170.5	426.25	1.02	0.81	0.83	0.43	0.395
9	12	186	465	1.11	0.96	0.95	0.45	0.4075
10	13	201.5	503.75	1.45	1	0.99	0.5	0.7025
11	17	263.5	658.75	1.66	1.3	1.3	0.58	0.72
12	21	325.5	813.75	2.16	1.61	1.57	0.73	1
13	25	387.5	968.75	3.17	1.96	1.93	0.92	1.7375
14	29	449.5	1123.8	4.8	2.33	2.25	1.23	3.04
15	33	511.5	1278.8	6.59	2.63	2.55	1.53	4.53
16	37	573.5	1433.8					
17	41	635.5	1588.8					
18	45	697.5	1743.8					
19	49	759.5	1898.8					
20	53	821.5	2053.8					
21	57	883.5	2208.8					

بارگذاری در ابتدا تا سطح بارمرده $150\frac{kg}{m^2}$ به صورت هماهنگ در هر دو دهانه انجام شد، در ادامه بارگذاری بار زنده در دهانه اصلی به میزان بار زنده ادامه یافت(تعداد وزنه در دهانه اصلی ۹ عدد معادل ۱۳۹٫۵ کیلوگرم که با احتساب عرض پانل به میزان ۰٫۵ متر بار واحد سطح معادل ۳۴۹کیلوگرم بر متر مربع می‌باشد). بارگذاری ادامه یافت و در نهایت در دهانه اصلی تعداد ۵۷ عدد وزنه معادل ۸۸۳ کیلوگرم بار ثقلی اعمال شد که معادل بار ۲۲۰۸

کیلوگرم در متر مربع می‌باشد. بر این اساس منحنی بار تغییر مکان تا مرحله‌ای که به منظور حفظ ایمنی، تجهیزات ثبت تغییر مکان برداشته شد در شکل ۲-۶ ارائه شده است.

شکل ۲-۶- منحنی بار تغییر- مکان آزمون پانل در نمونه به دهانه ۰/۸ متر (آزمون دودهانه)

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:

$$\frac{l}{240}=\frac{800}{240}=3.33mm$$

با درون یابی از منحنی ارائه شده در شکل ۲-۶ متناظر تغییر مکان ۳/۳۳ میلی‌متر باری معادل ۴۵۰ کیلوگرم حاصل می‌گردد که معادل ۱۱۲۵کیلوگرم 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

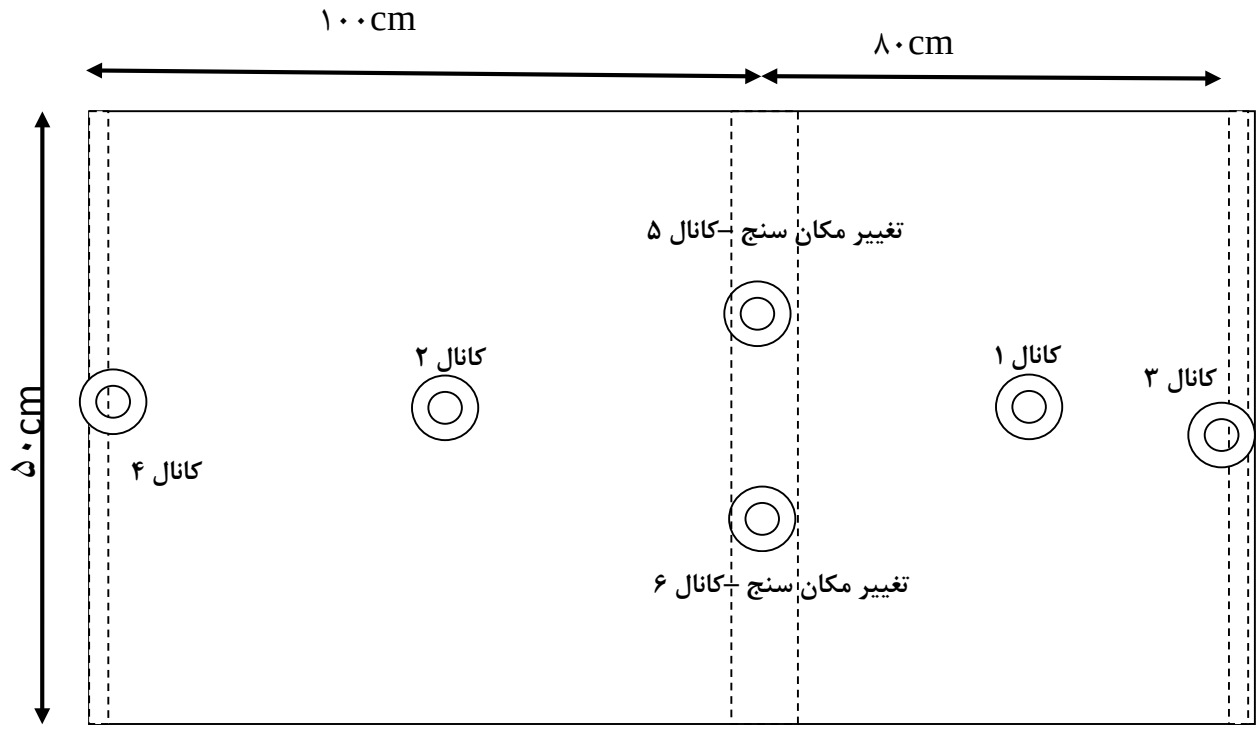
تحت بار ضریب دار معادل $1.2D + 1.6L$ در دهانه اصلی قرار داده شده و خرابی یا تغییرشکلی که باعث از سرویس خارج شدن پانل شود رخ نداده است می توان بیان نمود که از لحاظ معیار مقاومت خمشی و برشی نیز مورد قبول است .

۲-۳-۱-۲- آزمون بارگذاری شماره (۴)

با توجه به نتایج حاصل از آزمون شماره ۳ و رضایتبخش بودن عملکرد خمشی پانل کامپوزیت در دهانه ۸۰ سانتی‌متر در آزمون شماره ۴ اقدام به بررسی رفتار خمشی در دهانه ۱۰۰ سانتی‌متر شد. قاب زیر سازه مورد استفاده متشکل از پروفیل های سرد نورد با مقطع C بوده و قاب به صورتی تنظیم شد که دهانه‌های مجاور به ترتیب ۱۰۰ و ۸۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.

شکل ۲-۷– ابزارگذاری آزمون بارگذاری دو دهانه (دهانه ۸۰ سانتی‌متر)

دیاگرام ابزارگذاری در شکل ۲-۸ نمایش داده شده است.



شکل ۲-۸- دیاگرام ابزار گذاری

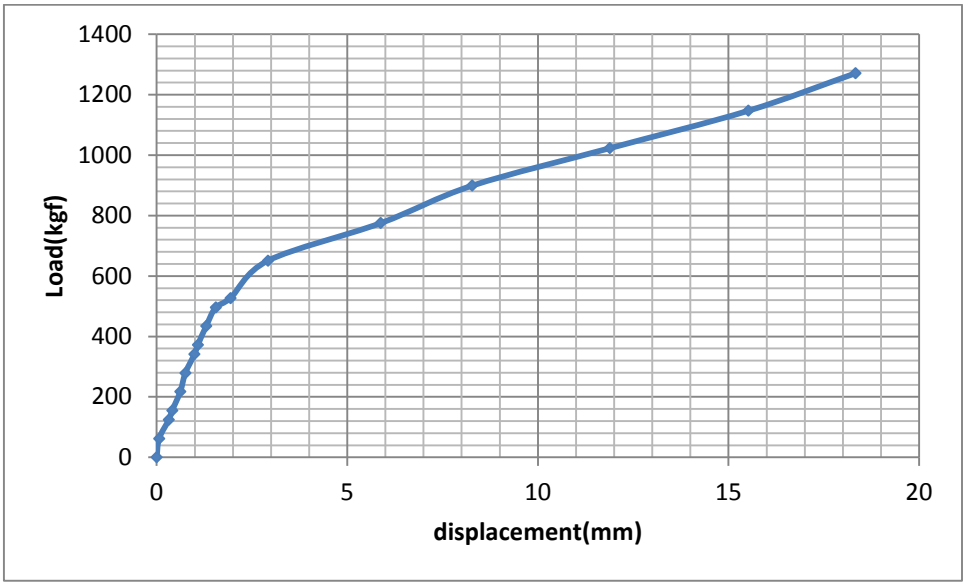
شکل ۲-۹- بارگذاری ۱۲ وزنه در دهانه هدف و ۹ وزنه در دهانه مجاور (□+□درهر دو دهانه)

شکل ۲-۱۰- بارگذاری در انتهای آزمون (۴۸ وزنه در دهانه اصلی و ۱۵ وزنه در دهانه فرعی)

جدول ۲-۴- نتایج آزمون بارگذاری در دهانه ۱ متر(نمونه دو دهانه)

مرحله	تعداد وزنه در دهانه هدف	بار روی نمونه	بار در واحد سطح	کانال ۲	کانال ۵	کانال ۶	کانال ۴	تغییر مکان خالص وسط پانل هدف
1	2	31	62	0.39	0.44	0.41	0.23	0.0625
2	4	62	124	0.92	0.87	0.82	0.36	0.3175
3	5	77.5	155	1.12	0.99	0.9	0.48	0.4075
4	7	108.5	217	1.64	1.37	1.34	0.69	0.6175
5	9	139.5	279	2.01	1.71	1.64	0.84	0.7525
6	11	170.5	341	2.48	2.01	1.95	1	0.99
7	12	186	372	2.64	2.05	1.99	1.1	1.08
8	14	217	434	3.05	2.23	2.2	1.29	1.2975
9	16	248	496	3.53	2.43	2.46	1.52	1.5475
10	17	263.5	527	4.09	*	2.71	1.6	1.935
11	21	325.5	651	5.43	*	3.15	1.87	2.92
12	25	387.5	775	8.95	*	3.91	2.24	5.875
13	29	449.5	899	11.88	*	4.45	2.76	8.275
14	33	511.5	1023	16.15	*	5.25	3.28	11.885
15	37	573.5	1147	20.44	*	5.96	3.88	15.52
16	41	635.5	1271	23.82	*	6.66	4.32	18.33
17	45	697.5	1395					
18	48	744	1488					

بارگذاری تا سطح مجموع بار مرده و زنده $350\frac{kg}{m^2}$ به صورت هماهنگ در هر دو دهانه انجام شد (تعداد وزنه در دهانه اصلی ۱۲ عدد معادل ۱۸۶کیلوگرم که با احتساب عرض پانل به میزان ۰/۵ متر، بار واحد سطح معادل ۳۷۲کیلوگرم بر متر مربع می باشد) . بارگذاری ادامه یافت و در نهایت در دهانه اصلی تعداد۴۸ عدد وزنه معادل ۷۴۴ کیلوگرم بار ثقلی اعمال شد که معادل بار ۱۴۸۸ کیلوگرم در متر مربع می باشد . بر این اساس منحنی بار تغییر مکان تا مرحله‌ای که به منظور حفظ ایمنی، تجهیزات ثبت تغییر مکان برداشته شد، در شکل ۲-۱۱ ارائه شده است .



شکل ۲-۱۱- منحنی بار تغییر- مکان آزمون پانل در نمونه به دهانه ۱ متر (آزمون دودهانه)

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 ارائه شده در شکل ۲-۱۱ متناظر تغییر مکان ۴/۱۶ میلی‌متر باری معادل ۳۶۰ کیلوگرم حاصل می گردد که معادل ۷۲۰کیلوگرم 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

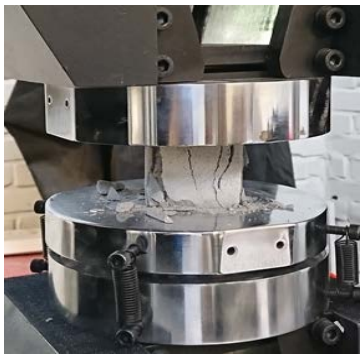
یا تغییرشکلی که باعث از سرویس خارج شدن پانل شود رخ نداد، می توان بیان نمود که از لحاظ معیار مقاومت عملکرد مورد قبول است .

فصل سوم

آزمایشات با پرکننده شماره ۳

۳-۱- آزمون مقاومت فشاری

آزمون مقاومت فشاری نمونه‌های جدید و نتایج آن به ترتیب در شکل ۳-۱ و جدول ۳-۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱- آزمون مقاومت فشاری پرکننده شماره ۳

جدول ۳-۱- نتایج آزمون مقاومت فشاری پرکننده

ردیف	ابعاد mm	وزن واحد حجم g/cm^3	مقاومت فشاری MPa
۱	۵۰/۳×۵۰/۸×۵۰/۵	۱/۶۲	۳/۵۳
۲	۵۱/۳×۵۱/۲×۵۱/۰	۱/۷۶	۵/۹۵
۳	۵۰/۸×۵۲/۳×۵۰/۸	۱/۶۳	۴/۳۴
میانگین		۱/۶۷	۴/۶۰

به دلیل مقاومت فشاری بسیار کم، آزمون مقاومت خمشی انجام نشده و نتایج برای تغییر پرکننده به شرکت اطلاع‌رسانی شد.

فصل چهارم

آزمایشات با پرکننده شماره ۴

۴-۱- مقاومت فشاری

با توجه به تغییر پرکننده داخل کامپوزیت، آزمون مقاومت فشاری روی ملات جدید انجام گرفت که نتایج آن به شرح زیر است:

جدول ۴-۱- نتایج آزمون روی پرکننده شماره ۴

ردیف	ابعاد cm	وزن واحد حجم g/cm^3	مقاومت فشاری MPa
۱	۵×۵×۵	۲/۱۱	۳۰/۳۷
۲	۵×۵×۵	۲/۰۷	۳۴/۰۳
۳	۵×۵×۵	۲/۱۳	۳۷/۳۴
۴	۵×۵×۵	۲/۱۱	۳۴/۹۱
میانگین	۵×۵×۵	۲/۱۰	۳۴/۱۶

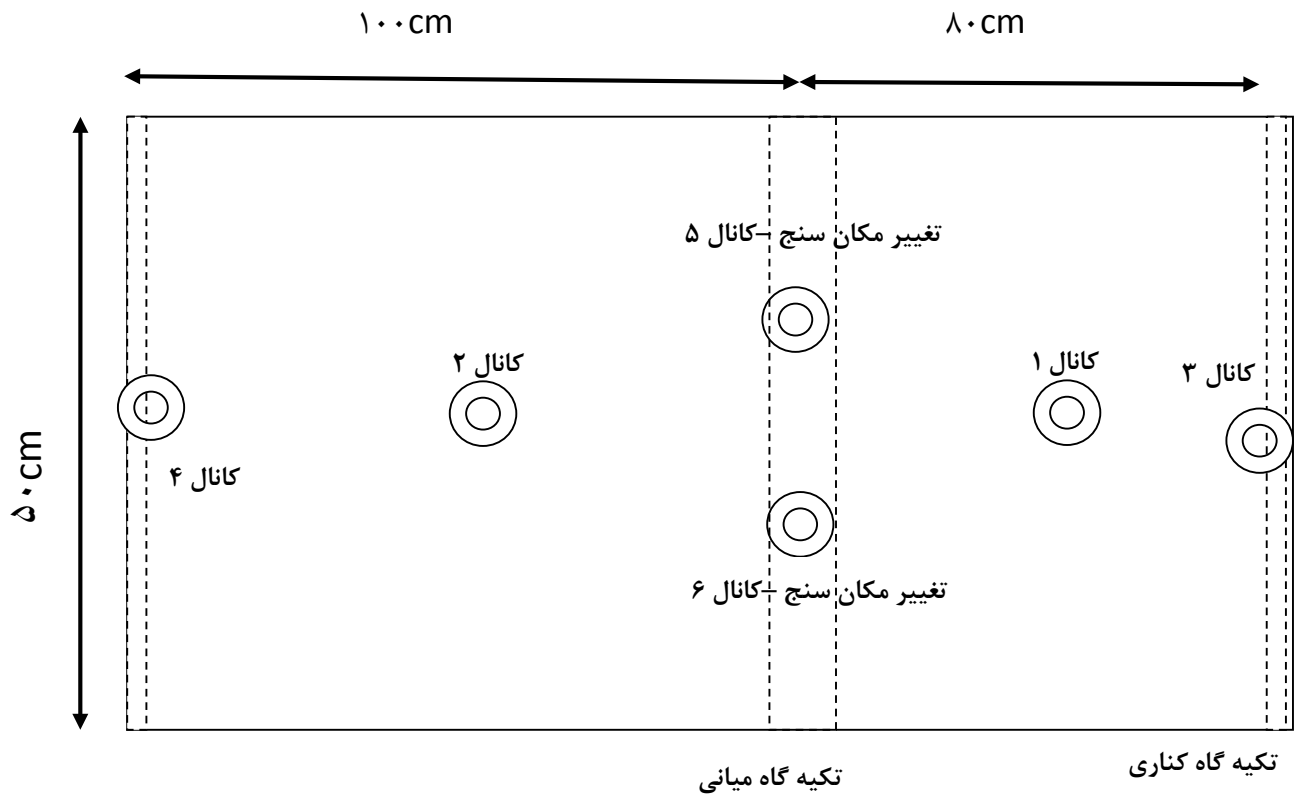
۴-۲-آزمون بارگذاری خمشی

۴-۲-۱- آزمون بارگذاری شماره (۵)

نظر به تغییر طرح اختلاط ملات مورد استفاده در ساخت پانل‌ها در این مرحله مجدداً آزمون برای پانل دو دهانه (دهانه ۱۰۰سانتی‌متر در مجاورت دهانه ۸۰ سانتی‌متر) به صورت بارگذاری تا انهدام قرار گرفت. قاب زیر سازه مورد استفاده مانند آزمون (۴) متشکل از پروفیل‌های سرد نورد با مقطع C بوده و قاب به صورتی تنظیم شد که دهانه‌های مجاور به ترتیب ۱۰۰ و ۸۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. در این آزمون از پانل‌های به عرض ۵۰ سانتی‌متر و به طول ۲۱۰ سانتی‌متر به عنوان آزمونه استفاده شده است.

شکل ۴-۱- ابزارگذاری آزمون بارگذاری دو دهانه برای مصالح جدید (دهانه ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر)

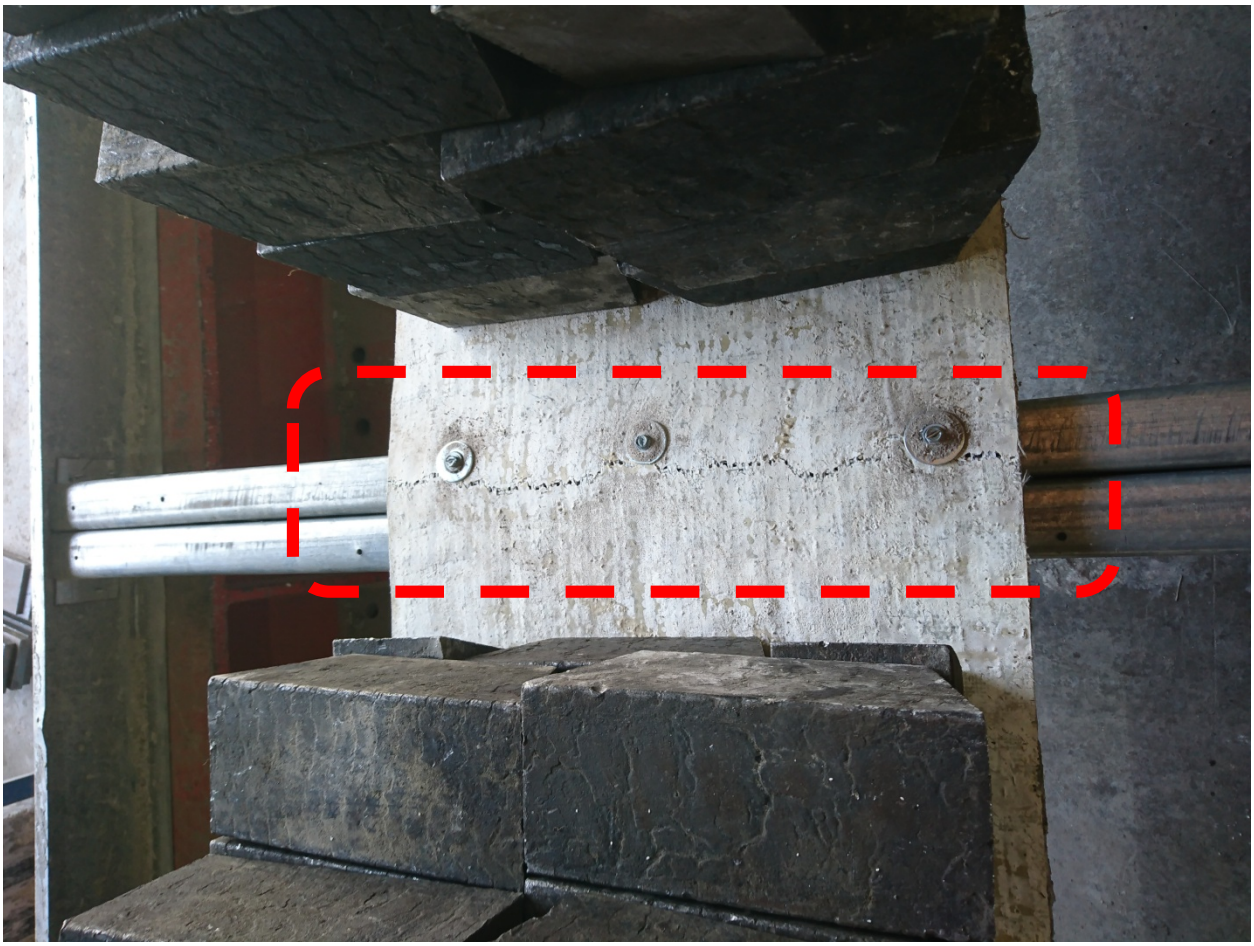
دیاگرام ابزارگذاری در شکل ۴-۲ نمایش داده شده است .



شکل ۴-۲- دیاگرام ابزارگذاری

شکل ۴-۳- بارگذاری ۲۱ وزنه در دهانه ۱۰۰سانتی‌متری

شکل ۴-۴- بارگذاری در انتهای آزمون (۵۹ وزنه در دهانه اصلی و ۱۶ وزنه در دهانه فرعی)



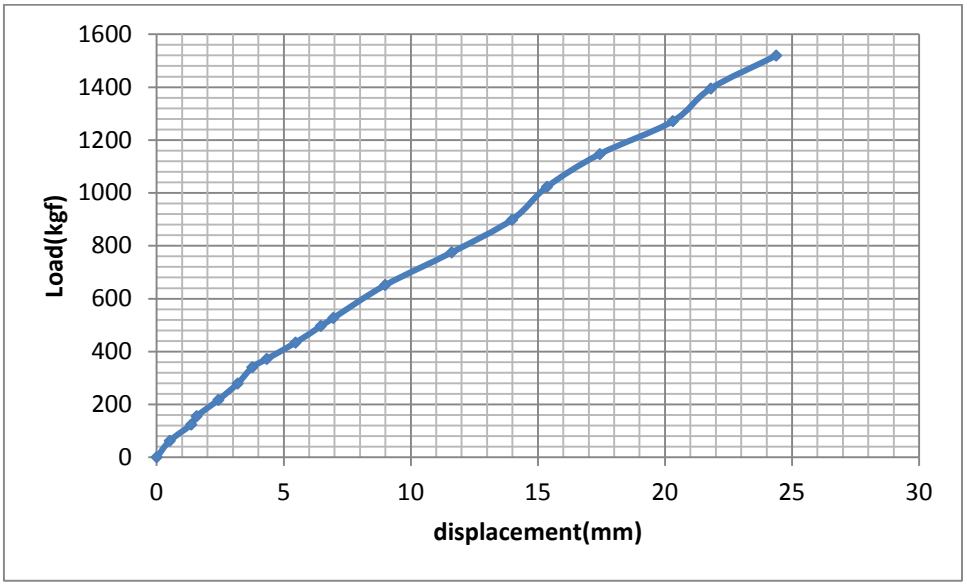
شکل ۴-۵- بروز گسیختگی در الیاف شیشه روی تکیه‌گاه میانی در هنگام خرابی

بارگذاری تا سطح مجموع بار مرده و زنده $350\frac{kg}{m^2}$ به صورت هماهنگ در هر دو دهانه انجام شد (تعداد وزنه در دهانه اصلی ۱۲ عدد معادل ۱۸۶کیلوگرم که با احتساب عرض پانل به میزان ۰/۵ متر، بار واحد سطح معادل ۳۷۲کیلوگرم بر متر مربع می‌باشد). بارگذاری ادامه یافت و در نهایت در دهانه اصلی تعداد ۵۹ عدد وزنه معادل ۹۱۴/۵ کیلوگرم بار ثقلی اعمال شد که معادل بار ۱۸۲۹ کیلوگرم در متر مربع می باشد .

جدول ۴-۲- نتایج آزمون بارگذاری در دهانه ۱ متر(نمونه دو دهانه)

مرحله	تعداد وزنه در دهانه هدف	بار روی نمونه	بار در واحد سطح	کانال ۲	کانال ۵	کانال ۶	کانال ۴	5+6/2	تغییر مکان خالص وسط پانل هدف
1	2	31	62	1	0.63	0.54	0.4	0.585	0.5075
2	4	62	124	2.35	1.29	1.08	0.8	1.185	1.3575
3	5	77.5	155	2.76	1.52	1.26	1	1.39	1.565
4	7	108.5	217	4.13	2.3	1.8	1.37	2.05	2.42
5	9	139.5	279	5.24	2.84	2.24	1.58	2.54	3.18
6	11	170.5	341	5.94	2.94	2.35	1.71	2.645	3.7625
7	12	186	372	6.63	3.01	2.4	1.9	2.705	4.3275
8	14	217	434	8.04	3.1	2.5	2.35	2.8	5.465
9	16	248	496	9.31	3.43	2.85	2.57	3.14	6.455
10	17	263.5	527	9.76	3.43	2.85	2.77	2.85	6.95
11	21	325.5	651	12.34	3.91	3.23	3.48	3.23	8.985
12	25	387.5	775	15.43	4.1	3.4	4.25	3.4	11.605
13	29	449.5	899	18.28	4.55	3.77	4.83	3.77	13.98
14	33	511.5	1023	20.1	4.82	4.01	5.48	4.01	15.355
15	37	573.5	1147	22.64	5.25	4.34	6.08	4.34	17.43
16	41	635.5	1271	26.04	5.54	4.61	6.87	4.61	20.3
17	45	697.5	1395	28.01	5.87	4.94	7.48	4.94	21.8
18	49	759.5	1519	31.11	6.27	5.29	8.19	5.29	24.37
19	52	806	1612						
20	56	868	1736						
21	59	914.5	1829						

بر این اساس منحنی بار تغییر مکان تا مرحله‌ای که به منظور حفظ ایمنی، تجهیزات ثبت تغییر مکان برداشته شد، در شکل ۴-۶ ارائه شده است.



شکل ۴-۶- منحنی بار تغییر- مکان آزمون پانل در نمونه به دهانه ۱ متر (آزمون دودهانه)

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 ارائه شده در شکل ۳-۶ متناظر تغییر مکان ۴/۱۶ میلی‌متر باری معادل ۴۱۵کیلوگرم حاصل می گردد که معادل ۸۳۰کیلوگرم 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، می توان بیان نمود که از لحاظ معیار مقاومت عملکرد مورد قبول است .

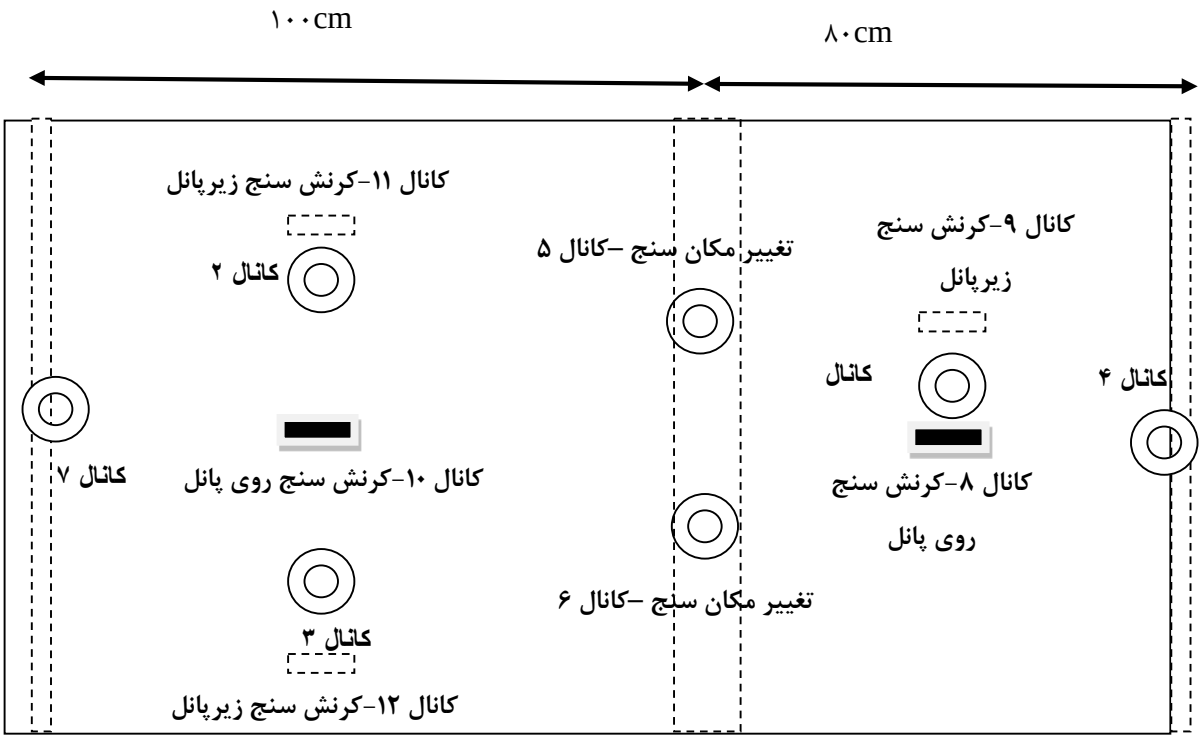
۴-۲-۲- آزمون بارگذاری شماره (۶)

به منظور ارزیابی رفتار پانل تحت بارگذاری سرویس در خیز دراز مدت، نمونه با ست آپ مشابه آزمون ۴ و ۵ تحت بار ثابت D+20% قرار گرفته است .

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

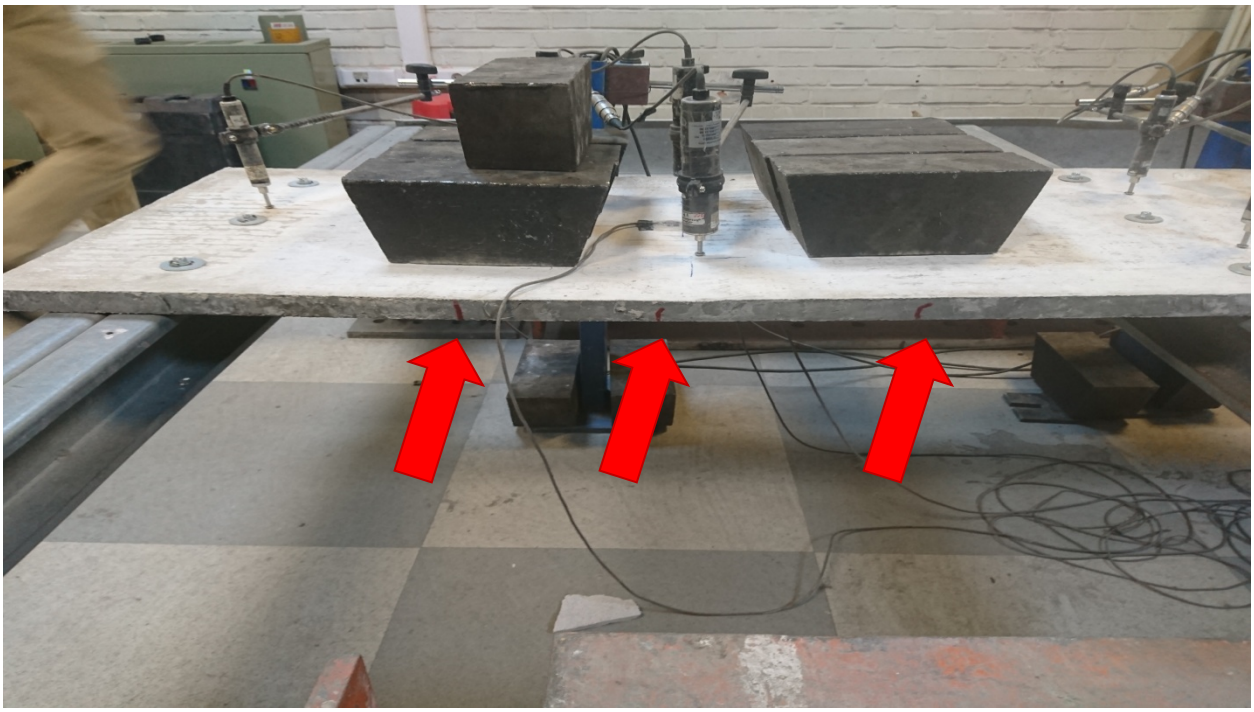
معادل بار فوق ، در دهانه ۱ متری ۷ عدد وزنه و در دهانه ۸۰ سانتی متری ۵ عدد وزنه که هر یک ۱۵٫۵ کیلوگرم می‌باشد قرار داده شده است. به مدت ۴۸ روز روند افزایشی خیز قرائت گردیده است. همچنین به منظور ثبت کرنش کششی و فشاری در تارهای قطعه کامپوزیت در امتداد دهانه پانل تعداد ۵ عدد کرنش سنج نیز نصب شده است.

دیاگرام نصب ابزارآلات و کرنش سنج ها مطابق شکل زیر می‌باشد.



شکل ۴-۷- دیاگرام ابزارگذاری نمونه برای ارزیابی خیز درازمدت پانل

شکل ۴-۸- نمونه تحت آزمون خیز درازمدت



شکل ۴-۹- الگوی ترک‌های موئین مشاهده شده در پایان بارگذاری

جدول ۴-۳- نتایج آزمون خیز دراز مدت پانل دو دهانه

مرحله قرائت	زمان حسب روز	کانال های تغییرمکان						خیز خالص پانل ۸۰	خیز خالص پانل ۱۰۰
		1	2	3	4	5	6		
1	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.65	1.49	3.14	3.28	0.29	1.62	1.45	0.5775	1.8775
3	0.66	1.54	3.14	3.31	0.29	1.63	1.45	0.625	1.91
4	0.67	1.55	3.14	3.36	0.29	1.63	1.45	0.635	1.955
5	0.67	1.56	3.14	3.38	0.29	1.63	1.45	0.645	1.975
6	1.34	1.65	3.13	3.64	0.28	1.65	1.45	0.735	2.205
7	1.35	1.65	3.13	3.64	0.28	1.65	1.45	0.735	2.205
8	1.38	1.65	3.13	3.64	0.28	1.65	1.45	0.735	2.205
9	1.42	1.65	3.13	3.65	0.28	1.65	1.45	0.735	2.215
10	1.60	1.65	3.13	3.66	0.28	1.65	1.45	0.735	2.225
11	1.68	1.67	3.13	3.67	0.28	1.65	1.45	0.755	2.23
12	2.49	1.75	3.13	3.78	0.28	1.68	1.45	0.8275	2.3225
13	2.65	1.77	3.13	3.8	0.28	1.69	1.45	0.845	2.34
14	3.36	1.81	3.13	3.86	0.28	1.69	1.45	0.885	2.39
15	3.46	1.81	3.13	3.87	0.28	1.69	1.45	0.885	2.4
16	3.85	1.83	3.13	3.9	0.28	1.69	1.45	0.905	2.43
17	6.36	2.15	3.14	4.2	0.28	1.76	1.49	1.1975	2.6825
18	6.50	2.15	3.13	4.19	0.28	1.77	1.49	1.195	2.665
19	6.59	2.16	3.13	4.2	0.28	1.77	1.49	1.205	2.675
20	6.68	2.18	3.13	4.2	0.28	1.77	1.48	1.2275	2.6775
21	7.39	2.27	3.13	4.3	0.28	1.77	1.49	1.315	2.77
22	7.53	2.27	3.13	4.3	0.28	1.78	1.49	1.3125	2.7575
23	8.37	2.33	3.13	4.39	0.28	1.79	1.49	1.37	2.84
24	8.49	2.34	3.13	4.4	0.28	1.79	1.49	1.38	2.85
25	8.55	2.34	3.13	4.4	0.28	1.79	1.49	1.38	2.85
26	8.60	2.34	3.13	4.39	0.28	1.79	1.49	1.38	2.84
27	8.77	2.35	3.13	4.41	0.28	1.79	1.49	1.39	2.855
28	8.81	2.36	3.13	4.42	0.28	1.79	1.49	1.4	2.865
29	9.37	2.41	3.13	4.48	0.28	1.8	1.49	1.4475	2.9175
30	9.65	2.41	3.13	4.48	0.28	1.8	1.52	1.44	2.905
31	9.70	2.41	3.13	4.48	0.28	1.8	1.52	1.44	2.905
32	10.36	2.45	3.12	4.53	0.28	1.81	1.52	1.4775	2.9525
33	10.60	2.47	3.12	4.53	0.28	1.81	1.52	1.4975	2.9475
34	10.68	2.47	3.12	4.54	0.28	1.81	1.52	1.4975	2.9325
35	13.40	2.62	3.13	4.87	0.28	1.85	1.52	1.6375	3.2525

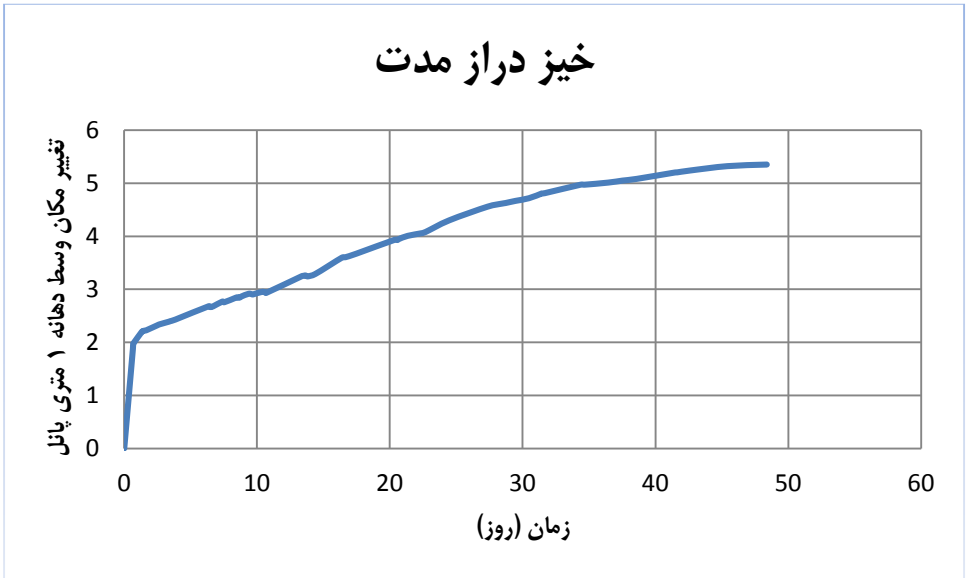
36	13.50	2.62	3.13	4.87	0.28	1.85	1.52	1.6375	3.2525
37	13.61	2.62	3.13	4.88	0.28	1.85	1.52	1.6375	3.2625
38	13.67	2.62	3.13	4.88	0.28	1.85	1.53	1.635	3.26
39	13.81	2.64	3.16	4.89	0.28	1.85	1.55	1.65	3.245
40	14.39	2.65	3.15	4.93	0.28	1.85	1.55	1.66	3.29
41	16.38	2.71	3.38	5.27	0.28	1.87	1.56	1.7125	3.5975
42	16.67	2.71	3.37	5.28	0.28	1.87	1.56	1.7125	3.6075
43	17.47	2.71	3.37	5.34	0.28	1.87	1.56	1.7125	3.6725
44	20.36	2.82	3.38	5.62	0.28	1.91	1.57	1.81	3.935
45	20.56	2.86	3.44	5.65	0.28	1.93	1.59	1.84	3.93
46	20.69	2.87	3.44	5.67	0.28	1.93	1.59	1.85	3.95
47	21.35	2.87	3.46	5.73	0.28	1.93	1.59	1.85	4.01
48	22.34	2.91	3.56	5.83	0.28	1.95	1.6	1.8825	4.0575
49	22.69	2.91	3.56	5.85	0.28	1.95	1.6	1.8825	4.0825
50	24.47	2.93	3.74	6.07	0.28	1.95	1.6	1.9025	4.3025
51	27.35	2.96	3.85	6.33	0.28	1.96	1.6	1.93	4.56
52	28.43	2.98	3.98	6.42	0.28	1.97	1.6	1.9475	4.6175
53	28.68	2.98	3.98	6.43	0.28	1.97	1.6	1.9475	4.6275
54	28.68	2.99	3.98	6.43	0.28	1.97	1.6	1.9575	4.6275
55	29.47	3.04	4.03	6.48	0.28	1.96	1.6	2.01	4.67
56	30.48	3.05	4.04	6.53	0.28	1.96	1.6	2.02	4.72
57	31.45	3.05	4.13	6.62	0.28	1.96	1.6	2.02	4.81
58	31.45	3.05	4.13	6.62	0.28	1.96	1.6	2.02	4.81
59	31.67	3.04	4.13	6.63	0.28	1.96	1.6	2.01	4.815
60	34.37	3.05	4.13	6.79	0.28	1.96	1.6	2.02	4.975
61	34.67	3.05	4.13	6.79	0.28	1.96	1.6	2.02	4.975
62	36.45	3.06	4.13	6.84	0.28	1.96	1.6	2.03	5.015
63	37.52	3.05	4.13	6.88	0.28	1.96	1.61	2.0175	5.0525
64	38.60	3.06	4.19	7.01	0.28	1.97	1.61	2.025	5.085
65	41.46	3.06	4.19	7.13	0.28	1.97	1.61	2.025	5.205
66	41.63	3.06	4.2	7.14	0.28	1.97	1.62	2.0225	5.2075
67	42.61	3.06	4.19	7.17	0.28	1.97	1.62	2.0225	5.2425
68	45.42	3.06	4.19	7.25	0.28	1.97	1.61	2.025	5.325
69	48.39	3.07	4.19	7.28	0.28	1.97	1.61	2.035	5.355

با توجه به بروز ایراد فنی در LVDT نصب شده در کانال شماره ۲ و عدم ثبت تغییر مکان در بخشی از زمان آزمون، تنها مقادیر کانال ۳ که به موازات کانال ۲ پیش‌بینی شده بود مبنای عمل قرار گرفت .

نتایج خیز در دهانه ۱ متری نشان می دهد که تحت بارگذاری به میزان D+20% پس از گذشت ۴۸ روز از بارگذاری خیز به ۵٫۳۵ میلی‌متر رسیده که فراتر از $l/240$ با احتساب دهانه ۱ متری می‌باشد.

$$L/240 = \frac{1000}{240} = 4.16mm < 5.35mm$$

ملاحظه می‌شود که با فرض بار مرده و بخشی از بار زنده رفتار خیز پانل در دهانه ۱۰۰ سانتی‌متری قابل قبول نیست.



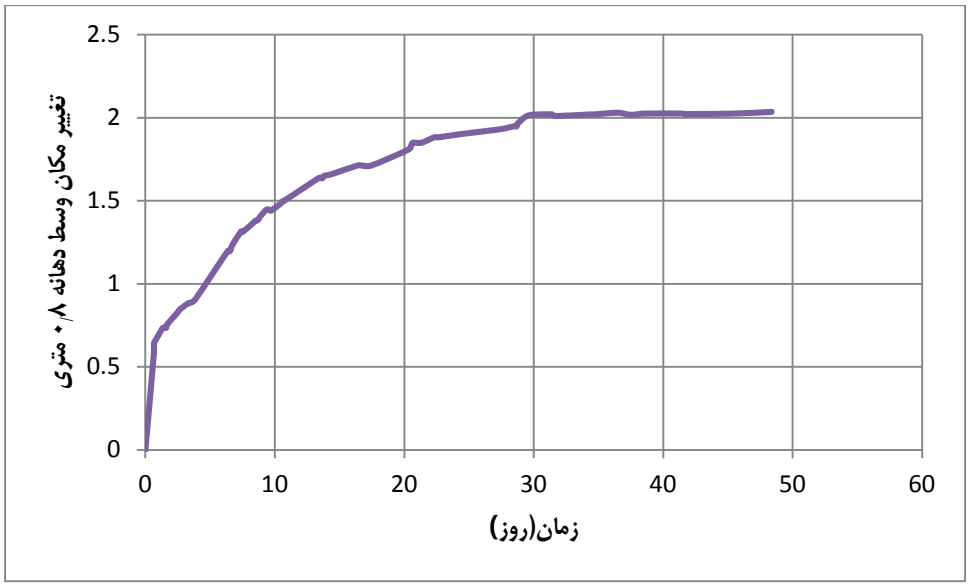
شکل ۴-۱۰- دیاگرام خیز درازمدت-زمان برای دهانه ۱ متری

با توجه به دو دهانه بودن پانل نتایج دهانه ۸۰ سانتی‌متری مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج خیز در دهانه ۰٫۸ متری نشان می‌دهد که تحت بارگذاری به میزان D+20% پس از گذشت ۴۸ روز از بارگذاری خیز به ۲٫۰۳ میلی‌متر رسیده که کمتر از $l/240$ با احتساب دهانه ۰٫۸ متری می‌باشد.

$$L/240 = \frac{800}{240} = 3.33mm > 2.03mm$$

ملاحظه می‌شود که با فرض بار مرده و بخشی از بار زنده رفتار خیز پانل در دهانه ۸۰ سانتی‌متری قابل قبول است.

دیاگرام خیز وسط پانل در دهانه ۸۰ سانتی‌متری در مقابل زمان نشان می‌دهد که میزان افتادگی پس از گذشت ۴۸ روز به میزان قابل توجهی کمتر از محدوده مجاز است و افزایش آن در ۱۵ روز انتهایی تقریبا صفر است.

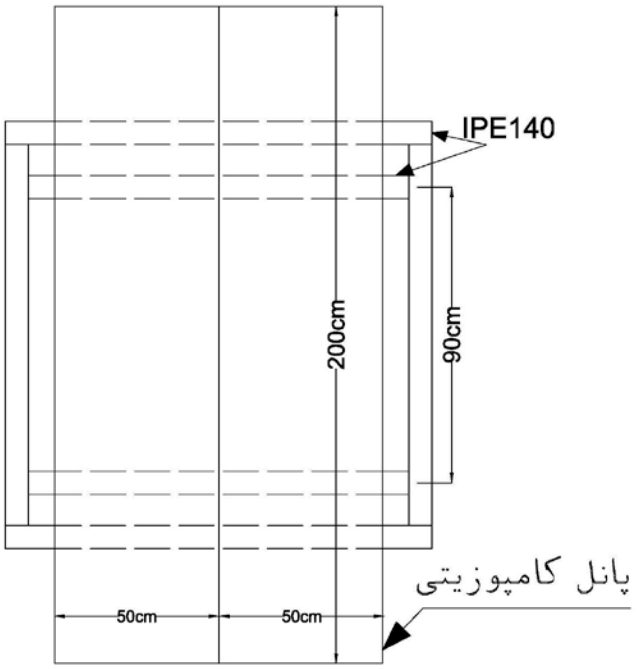


شکل ۴-۱۱- دیاگرام خیز دراز مدت-زمان برای دهانه ۰٫۸ متری

با توجه به انجام آزمون‌ها در بازه دهانه ۸۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر و دست بالا بودن دهانه ۸۰ سانتی‌متر و در مقابل غیر قابل قبول بودن دهانه ۱۰۰ سانتی‌متر، در این مرحله دهانه ۹۰ سانتی‌متر به عنوان حد قابل قبول با توجه به جمیع ملاحظات سازه‌ای تعیین می‌گردد.

۴-۲-۳- آزمون سقف تحت اثر توام بارهای مرده و زنده و آتش

در این آزمون، سقف ابتدا تحت اثر بارگذاری ثقلی ناشی از بار مرده و ۵۰٪ بار زنده قرار می‌گیرد سپس این سقف از زیر تحت اثر بارگذاری حرارتی قرار خواهد گرفت. هندسه نمونه ساخته شده در بخش سازه مطابق شکل ۴-۱۲ بوده است.



شکل ۴-۱۲- هندسه نمونه ساخته شده برای آزمون

لایه‌های تشکیل دهنده سقف شامل موارد زیر است:

- لایه گچ برگ به ضخامت ۱۲٫۵ میلی‌متر که در زیر قاب سازه‌ای پروفیل IPE140 متصل شده است.
- قاب متشکل از پروفیل‌های IPE140 که در شکل ۴-۱۲ نحوه اتصالات آن نمایش داده شده است.

- لایه پشم سنگ به ضخامت ۵ سانتی‌متر که به زیر پانل کامپوزیتی اتصال داده شده است.
- لایه کامپوزیت تولیدی شرکت سیلک به ضخامت ۳ سانتی‌متر که بر روی پروفیل IPE140 در فواصل ۳۰ سانتی‌متری پیچ شده است. دو قطعه کامپوزیتی به عرض ۵۰ و به طول ۲۰۰ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفته است.

شکل ۴-۱۳ نحوه اجرای سقف بر روی تیرچه‌های گرم نورد را نشان می‌دهد.

شکل ۴-۱۳- نحوه اجرای پوشش سقف و عایق پشم سنگ

بار ثقلی پیش بینی شده برای آزمون معادل بار مرده به اضافه ۵۰ درصد بار زنده بوده است. به این منظور ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع بار مرده به همراه ۱۰۰ کیلوگرم بار زنده اعمال شده است.

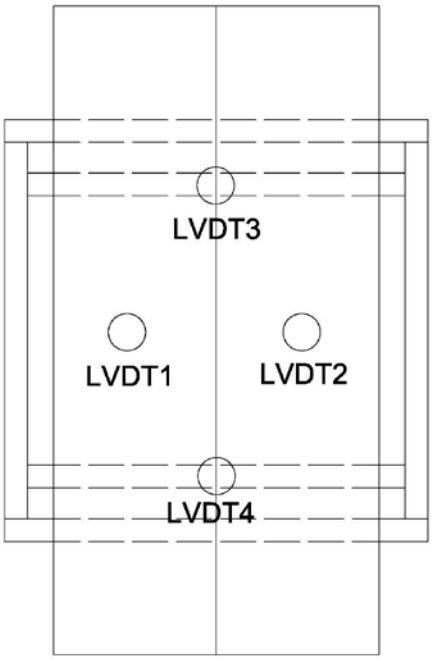
تعداد وزنه برای دهانه ۹۰ سانتی‌متری:

250×.9=225Kg

تعداد وزنه ها= 225/15.5=14.51 say 15

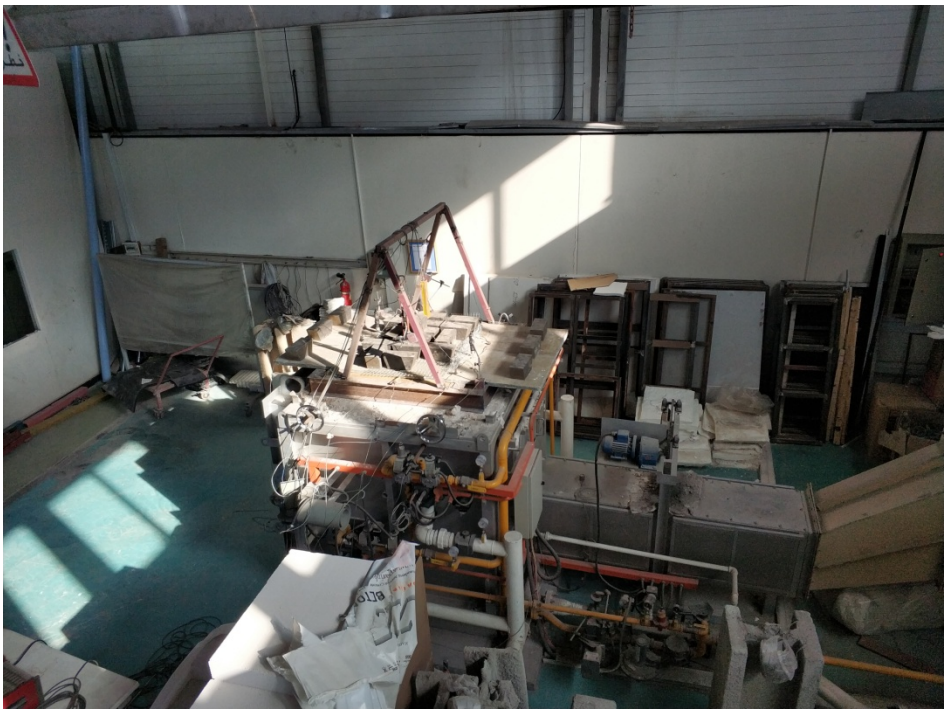
همچنین برای تامین عملکرد دهانه‌های پیوسته در هر طرف دهانه ۹۰ سانتی‌متری تعداد ۳ عدد وزنه قرار داده شد.

در شکل زیر دیاگرام نحوه قرارگیری تغییرمکان‌سنج‌ها بر روی نمونه نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱۴- دیاگرام قرارگیری تغییرمکان‌سنج‌ها در آزمون مقاومت در برابر آتش

شکل ۴-۱۵- ابزارگذاری آزمایش و نحوه وزنه‌گذاری روی پانل



شکل ۴-۱۶- نحوه قرارگیری نمونه بر روی دهانه فوقانی کوره

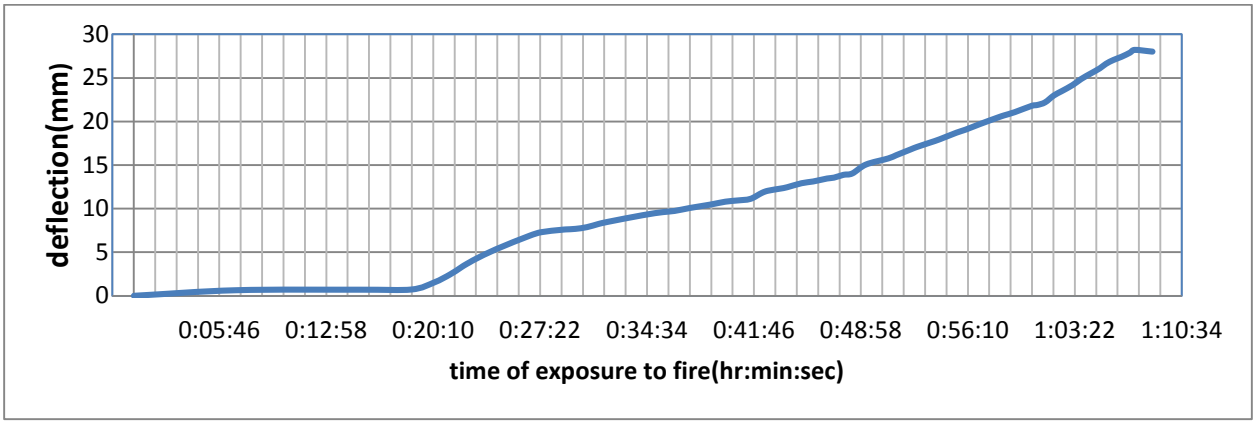
نتایج حاصل از آزمون

پس از قرارگیری قاب آماده‌سازی شده بر روی کوره در مرحله اول وزنه‌گذاری صورت گرفت و پس از به تعادل رسیدن نمونه، حرارت دهی آغاز شد.

در جدول ۴-۳ نتایج خیز خالص پانل در مقابل طول زمان سپری شده از ابتدای آزمون آتش و در شکل ۴-۱۷ تغییرات خیز خالص پانل کامپوزیتی طی حدود یک ساعت و نه دقیقه طول آزمون نمایش داده شده است.

جدول۴-۴- نتایج خیز خالص پانل در مقابل طول زمان سپری شده از ابتدای آزمون آتش

زمان	خیز خالص پانل	زمان	خیز خالص پانل	زمان	خیز خالص پانل	زمان	خیز خالص پانل
0:00:00	0	0:36:25	9.74	0:53:39	17.6	1:07:24	28.22
0:06:53	0.64	0:37:27	10.08	0:54:16	17.96	1:08:36	28.02
0:15:13	0.7	0:38:52	10.48	0:55:24	18.72		
0:18:41	0.72	0:39:50	10.8	0:56:00	19.06		
0:20:14	1.54	0:40:39	10.94	0:56:58	19.7		
0:21:17	2.44	0:41:31	11.12	0:58:11	20.46		
0:21:58	3.18	0:42:17	11.8	0:58:36	20.7		
0:22:13	3.46	0:42:43	12.06	0:59:20	21.08		
0:22:40	3.9	0:43:32	12.3	1:00:28	21.8		
0:23:02	4.24	0:44:00	12.46	1:00:51	21.9		
0:24:23	5.34	0:44:58	12.92	1:01:22	22.2		
0:26:36	6.86	0:45:45	13.12	1:01:57	22.98		
0:27:26	7.3	0:46:41	13.46	1:02:29	23.48		
0:28:43	7.56	0:47:09	13.56	1:03:13	24.18		
0:29:06	7.62	0:47:47	13.88	1:03:48	24.88		
0:29:44	7.68	0:48:23	14.04	1:04:27	25.52		
0:30:31	7.88	0:49:18	15.06	1:05:03	26.1		
0:31:17	8.24	0:50:48	15.76	1:05:28	26.62		
0:31:54	8.48	0:51:21	16.14	1:05:58	27.06		
0:34:18	9.26	0:52:19	16.8	1:06:31	27.43		
0:35:37	9.6	0:52:44	17:08	1:07:05	27.9		



شکل ۴-۱۷ نمودار تغییر شکل سقف ناشی از بارگذاری آتش

مطابق مشاهدات و با بررسی نمودار فوق موارد زیر قابل ذکر است:

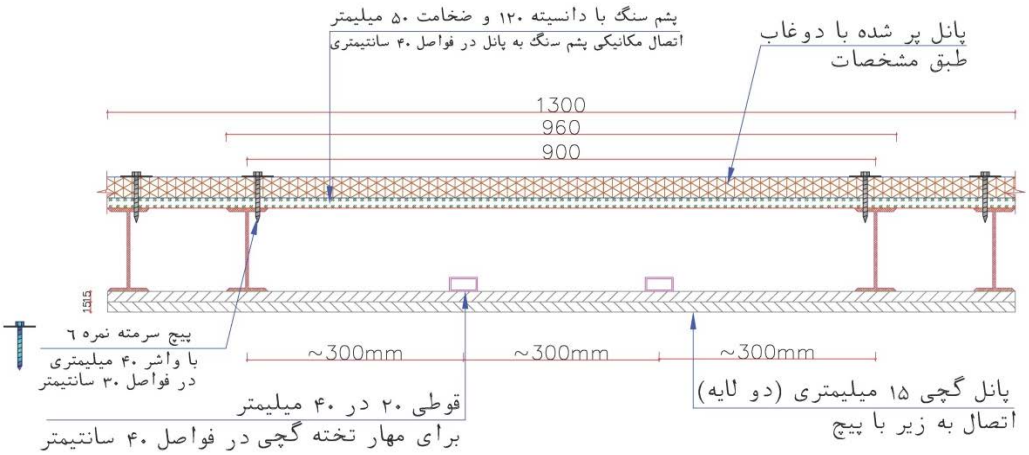
تا حدود دقیقه ۲۰ از شروع آزمون خیز قابل توجهی در پانل مشاهده نمی‌شود. در این آزمایش گچ برگ زیر سقف پس از ۲۰ دقیقه دچار فرو ریزش شد و عملا پشم سنگ زیر پوشش جدا شد. پس از آن پوشش سقف مستقیما تحت اثر آتش و حرارت قرار داشت همانگونه که از منحنی زمان- تغییر شکل ناشی از حرارت نمونه در شکل ۴-۱۷ مشاهده می‌شود، نمونه تا پیش از ریزش گچ برگ تقریبا تغییر شکل اضافه‌ای ناشی از آتش ندارد و پس از ریزش گچ برگ و جدا شدن پشم سنگ در دقیقه ۲۰ منحنی تغییر شکل آن با زمان نزدیک به یک خط مستقیم می‌باشد که با زمان افزایش می‌یابد. در دقیقه ۷۰ به خاطر تغییر شکل نمونه و ترس از ریزش آن آزمایش متوقف شد. با توجه به آزمایش انجام شده نمونه با فاصله تیرچه ۹۰ سانتی‌متر با جزییات ارائه شده عملا تا یک ساعت مقاومت در برابر حریق دارد. آزمون بدلیل افت مقاومت خمشی زیاد پانل و احتمال ریزش پانل در زمان یکساعت و نه دقیقه از شروع، ختم شد.

شکل ۴-۱۸ شرایط سقف در انتهای آزمایش را نشان می دهد.

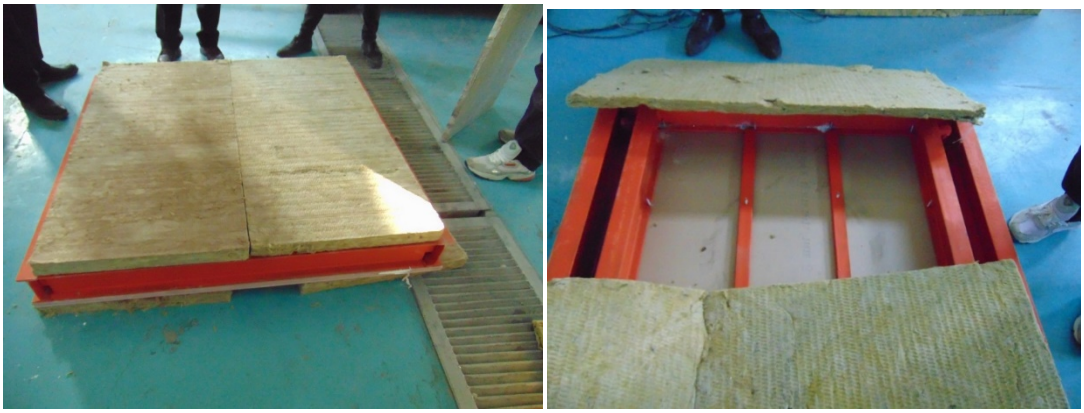
شکل ۴-۱۸- شرایط سقف در انتهای آزمایش آتش

۴-۲-۴- آزمون مجدد سقف تحت اثر توام بارهای مرده و زنده و آتش

با توجه به اینکه سقف بر اساس مبحث سوم مقررات ملی برای ساختمان‌های بیش از دو طبقه باید حداقل دو ساعت در برابر آتش مقاومت کند، جزییات اجرای یک لایه عایق پشم سنگ و دو لایه گچ برگ زیر سقف براساس جزییات ارائه شده در شکل ۴- ۱۹ و ۴-۲۰ اصلاح گردید و سقف با همان روش و جزییات و ابزارگذاری نشان داده شده در بخش ۴-۲-۳ مجددا مورد آزمایش قرار گرفت.



شکل ۴-۱۹- جزییات اصلاح شده اجرای عایق پشم سنگ و گچ برگ در زیر سقف



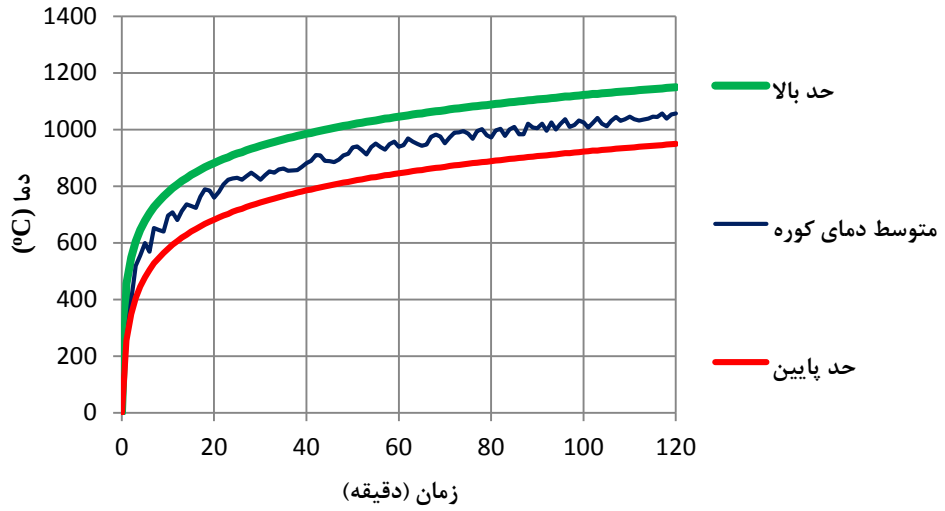
شکل ۴-۲۰- تصویر جزییات اجرای سقف

بار مرده و درصدی از بار زنده مانند حالت قبل بر روی سقف با کمک سرب اعمال گردید که مجموع بار وارده بر دهانه ۹۰ سانتی‌متری سقف ۲۳۲٫۵ کیلوگرم بود که در قالب ۱۵ عدد وزنه ۱۵٫۵ کیلوگرمی اعمال شد و ابزارگذاری نیز مانند حالت قبل همانگونه که در شکل ۴-۲۱ نشان داده شده، انجام شده است.

شکل ۴-۲۱- شکل ابزار گذاری و بارگذاری نمونه

منحنی دما-زمان کوره:

دمای متو سط کوره به و سیله ترموکوپل‌های ن صب شده در داخل کوره اندازه‌گیری شد. مقادیر دمای به د ست آمده از ترموکوپل‌ها و محدوده رواداری‌ها در شکل ۴-۲۲ نمایش داده شده که در محدوده استاندارد بوده است.

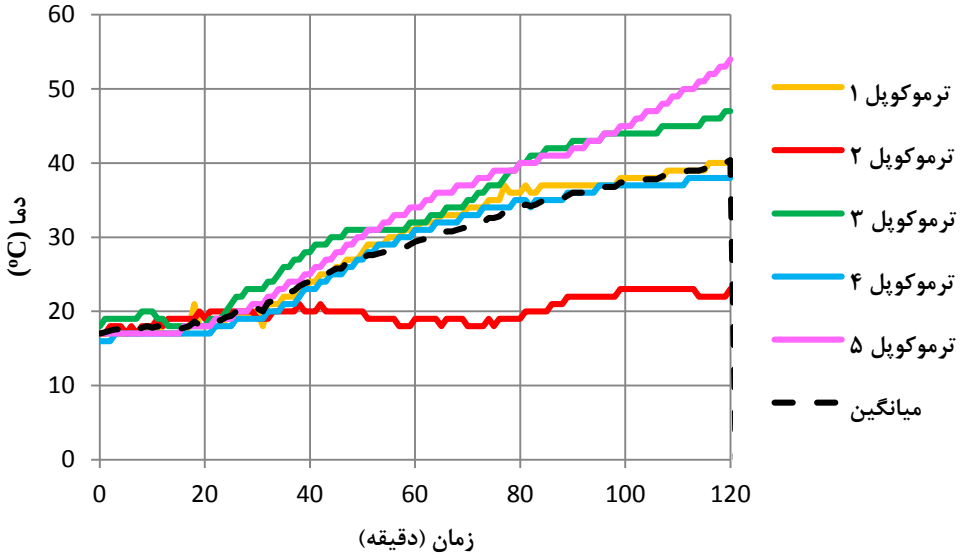


شکل ۴-۲۴- منحنی دما-زمان کوره و مقایسه آن با منحنی استاندارد

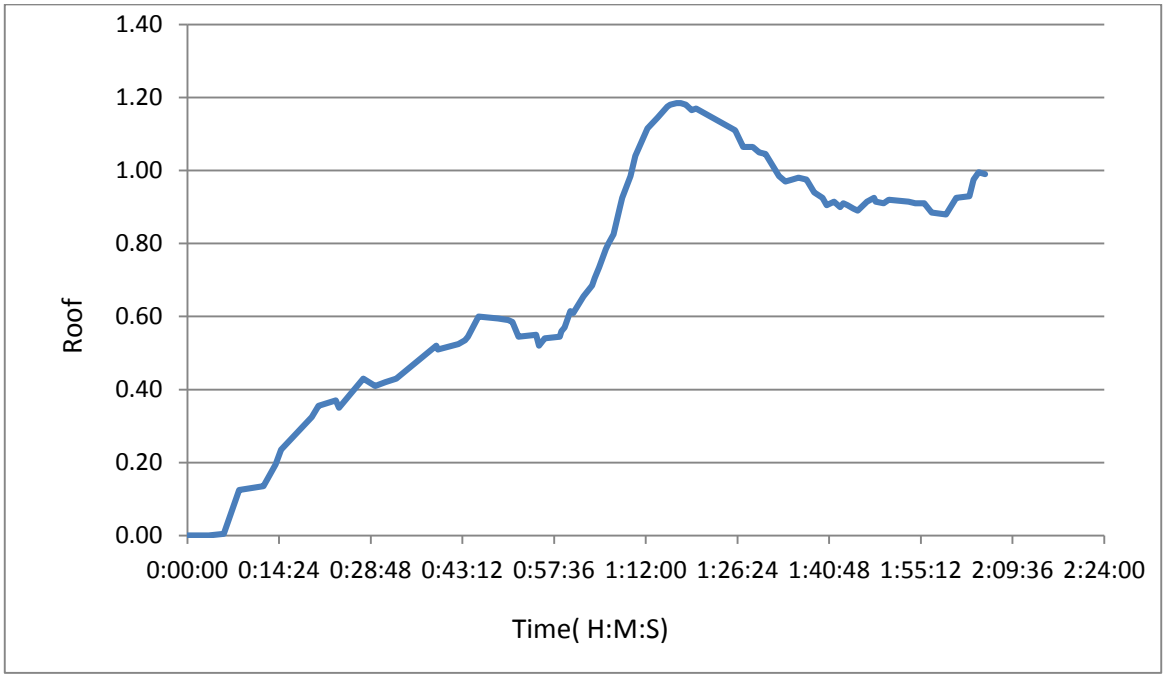
شکل ۴-۲۵ وضعیت نمونه‌ای که تحت اثر بارهای مرده و زنده بود را پس از دو ساعت قرار گیری بر روی کوره آتش نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود با کم کردن فاصله مهار گچبرگ‌ها و مهار بهتر آنها و مهار مناسب پشم سنگ به زیر پانل سقفی با پیچ خودار عملا پس از دو ساعت فقط دو لایه گچبرگ دچار خرابی شده است و آسیبی به لایه عایق پشم سنگ و پانل سقفی وارد نشده است.

شکل ۴-۲۵- وضعیت نمونه بعد از تست بار مرده زنده همراه با آتش

همچنین شکل ۴-۲۶ وضعیت درجه حرارت ترموکوپل‌های نصب شده بر روی سقف را نشان می‌دهد که درجه حرارت هیچ‌کدام از آنها به شصت درجه سانتی‌گراد نرسیده است. همچنین نمودار ۴-۲۷ نمودار اضافه تغییر مکان سقف پس از اعمال بارهای مرده و زنده ناشی از اعمال حرارت را نشان می‌دهد که با توجه به اینکه درجه حرارت پانل سقفی چندان بالا نرفته است، حداکثر تغییر مکان اضافه ایجاد شده در سقف ۱/۴ میلی‌متر است که بسیار کمتر از مقدار مجاز می‌باشد و سقف حتی معیار تغییر شکل بارهای ثقلی بدون اعمال آتش را نیز تامین می‌نماید.



شکل ۴- ۲۶- منحنی دما- زمان ترموکوپل‌های نصب شده بر روی سقف



شکل ۴-۲۷- منحنی اضافه تغییر مکان سقف پس از اعمال ثقلی ناشی از آتش بر اساس زمان اعمال آتش

با توجه به نتایج بدست آمده این سقف با رعایت جزییات اصلاح شده در خصوص مهار عایق پشم سنگ با پیچ خودکار به زیر سقف و مهار گچ برگ‌ها، همان‌گونه که در شکل ۴-۱۹ نشان داده شده تحت اثر بارهای مرده و زنده و آتش تا دقیقه ۱۲۰ هر دو معیار یکپارچگی و نارسانایی مد نظر بخش آتش را برآورده کرده است. همچنین مقدار تغییر شکل‌های مجاز سقف را نیز از لحاظ سازه‌ای تامین نموده است.

۴-۳- عملکرد دیافراگمی سقف

با توجه به ضوابط بار لرزه‌ای استاندارد ۲۸۰۰ ، مقدار بار لرزه‌ای هر مترمربع سقف ناشی از بارهای مرده و قسمتی از بار زنده محاسبه شده و برای ساختمان‌های مسکونی در حداکثر شتاب آیین‌نامه ۲۸۰۰ مقدار حداکثر بار جانبی که دیافراگم باید برای آن کنترل شود برابر با ۹۰ کیلوگرم بر متر مربع سقف تعیین شده است. در این حالت برای دهانه ۵ متر حداکثر تغییر شکل سقف تحت اثر این بار در حدود ۰/۱ میلی‌متر می‌باشد که در محدوده مناسب است. همچنین در صورت استفاده از پیچ‌های نمره ۸ برای اتصال مقطع کامپوزیت سقف به تیرچه‌های فولادی این پیچ‌ها ظرفیت لازم برای انتقال برش به تیرچه ها را دارد.

جهت تامین صلبیت سقف باید براساس نشریه ۶۱۲ سازمان برنامه بودجه از تسمه‌های فولادی به ضخامت حداقل ۱ میلی‌متر و عرض ۵ سانتی‌متر 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.