



مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

بررسی عملکرد لرزه ای سقف های عرشه فولادی

مجری:

فرهنگ فرحید

همکاران:

لیلی ارشاد - مریم خرمی آذر

محمد رضا بیات - کیان خلیلی - حسام اتقائی

شماره نشر: گ - ۹۹۹

چاپ اول: بهار ۱۴۰۱

| | |
|---------------------|---|
| سرشناسه | : فرحبد، فرهنگ، ۱۳۴۵ - |
| عنوان و نام پدیدآور | : بررسی عملکرد لرزه‌ای سقف‌های عرشه فولادی / مجری فرهنگ فرحبد، همکاران لیلی ارشاد ... [و دیگران]. |
| مشخصات نشر | : مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ۱۴۰۱. |
| مشخصات ظاهری | : ۱۲۵ ص: مصور، نمودار |
| فروست | : مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، شماره نشر: گ-۹۹۹ |
| شابک | : ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۴۰۹-۸ |
| وضعیت فهرستویسی | : فیبا |
| یادداشت | : همکاران لیلی ارشاد، مریم خرمی آذر، محمدرضا بیات، کیان خلیلی، حسام اتقایی. |
| یادداشت | : کتابنامه: ص. ۱۲۳ - ۱۲۵. |
| موضوع | : سقف‌های آهنی و فولادی |
| موضوع | : Roofing, Iron and steel |
| موضوع | : دال‌ها -- اثر زلزله |
| موضوع | : Slabs-- Earthquake effects |
| موضوع | : ساختمان‌های فلزی -- اثر زلزله |
| موضوع | : Building, Iron and steel -- Earthquake effects |
| شناسه افزوده | : ارشاد، لیلی، ۱۳۵۴ - |
| شناسه افزوده | : مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی |
| شناسه افزوده | : Road, Housing and Urban Development Research Center |
| رده بندی کنگره | : TH۲۴۵۷ |
| رده بندی دیویی | : ۶۹۵ |
| شماره کتابشناسی ملی | : ۸۸۷۱۵۷۵ |
| وضعیت رکورد | : فیبا |



نام کتاب: بررسی عملکرد لرزه‌ای سقف‌های عرشه فولادی

مجری: فرهنگ فرحبد

همکاران: لیلی ارشاد، مریم خرمی آذر، محمدرضا بیات، کیان خلیلی، حسام اتقایی

شماره نشر: گ-۹۹۹

ناشر: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

نوبت چاپ: اول

تیراژ: ۳۰۰ جلد

قطع: وزیری

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: اداره انتشارات و چاپ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

قیمت: ۳۵۰۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-113-409-8

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۴۰۹-۸

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.
کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر برای مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی محفوظ است.

نشانی ناشر: تهران، بزرگراه شیخ فضل ... نوری، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۶۹۶ تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۳۸۴۱۳۲
پست الکترونیکی: pub@bhrc.ac.ir فروش الکترونیکی: http://pub.bhrc.ac.ir

پیشگفتار

یکی از فاکتورهای مهم در اجرای ساختمان به روشهای جدید، سرعت بالای اجرا، سبک سازی و حذف مصالح و روش های قدیمی وقت گیر و پرهزینه می باشد. سبک سازی و اجرای سریع دو اصل بسیار مهم است که در تمامی دنیا توجه ویژه به آنها شده است و مهندسين، معماران و توليدکنندگان مصالح ساختمانی همه تلاش خود را بر آن داشته اند تا بتوانند محصولاتی را روانه بازارکنند و طرح و نقشه ای پیاده سازند تا وزن سازه به حداقل رسیده و صنعتی سازی بیشترین سرعت را در امر ساخت و ساز داشته باشد.

سقفهای مختلط با عرشه فولادی از جمله فناوریهای سازه‌ای است که در حال حاضر بطور چشمگیری در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار گرفته است. این فناوری با عملکرد مطلوب سازه‌ای و قابلیت‌های ویژه اجرایی از جنبه‌های مختلف فنی، اقتصادی و مدت زمان ساخت مورد توجه سازندگان می‌باشد. این سقف‌ها در مقایسه با سقف‌های مرسوم در اسکلت‌های معمولی، از وزن کمتری برخوردار بوده و به ویژه با ساختمان‌های فولادی همخوانی دارد. لذا عمده‌ترین کاربرد این سقف‌ها در سازه‌های فولادی اعم از سرد یا گرم نورد شده می‌باشد.

لازمه بهره گیری همه جانبه از شیوه‌های نوین ساخت رعایت ضوابط و اصول فنی در طراحی، محاسبه و اجرا مطابق با آئین نامه‌ها و استانداردهای معتبر می‌باشد. در این پروژه عملکرد این نوع سقف‌های مختلط فولادی - بتنی به عنوان دیافراگم در انتقال بارهای ناشی از زلزله توأم با بارهای ثقلی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این پروژه می‌تواند گام بزرگی در توسعه و کاربرد این نوع روش‌ها و صنعتی‌سازی آنها در آینده‌ای نزدیک باشد.

علیرضا قاری قرآن

رئیس مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول: کلیات

| | |
|--|----|
| ۱-۱- مقدمه | ۱ |
| ۲-۱- سابقه تحقیقات | ۲ |
| فصل ۲: اجزای تشکیل دهنده و رفتار سقف های مرکب | ۲۱ |
| ۱-۲- اجزای تشکیل دهنده | ۲۱ |
| ۱-۱-۲- ورق های فولادی | ۲۱ |
| ۱-۱-۱-۲- رده های فولاد | ۲۱ |
| ۲-۱-۱-۲- تنش تسلیم و شکل پذیری | ۲۲ |
| ۳-۱-۱-۲- پوشش عرشه | ۲۲ |
| ۴-۱-۱-۲- انواع ورق های سرد نورد مورد استفاده در دال های مرکب | ۲۳ |
| ۲-۱-۲- بتن | ۲۵ |
| ۱-۲-۱-۲- میلگردهای فولادی | ۲۵ |
| ۲-۲-۱-۲- شبکه فولادی جوش شده | ۲۶ |
| ۳-۲-۱-۲- الیاف | ۲۶ |
| ۲-۲- انواع سقف های مرکب | ۲۷ |
| ۳-۲- رفتار سقف های مرکب | ۲۷ |
| ۴-۲- انتقال نیروهای بین فولاد و بتن | ۲۹ |
| ۵-۲- عملکرد مختلط دال | ۳۱ |
| ۶-۲- حالت های شکست دال مرکب | ۳۳ |
| فصل ۳: معرفی نمونه های تجربی، تنظیمات آزمایش و ابزارگذاری آزمایشگاهی | ۳۵ |
| ۱-۳- مقدمه | ۳۵ |
| ۲-۳- نمونه های تحت بار ثقلی | ۳۶ |
| ۱-۲-۳- ساخت نمونه ها | ۳۸ |
| ۲-۲-۳- مشخصات عرشه های مورد استفاده | ۳۹ |
| ۳-۲-۳- جزییات نمونه ها دارای برشگیرهای پیچی از نوع پیچ خودکار | ۴۱ |



- ۴۴ ۲-۳-۴ تنظیمات آزمایش و ابزارگذاری آنها
- ۴۴ ۳-۲-۴-۱ سیستم بارگذاری
- ۴۶ ۳-۲-۴-۲ نحوه و موقعیت بارگذاری بر روی نمونه‌ها :
- ۴۶ ۳-۲-۴-۱ تحت عملکرد برشی:
- ۴۶ ۳-۲-۴-۲ تحت عملکرد خمشی:
- ۴۷ ۳-۲-۵ سیستم اندازه گیری:
- ۵۰ ۳-۳-۳ نمونه ی ارزیابی دیافراگم
- ۵۰ ۳-۳-۱ جزئیات نمونه‌های مورد آزمایش
- ۵۱ ۳-۳-۲ بارهای ثقلی و تکیه گاه آنها
- ۵۱ ۳-۳-۳ نحوه ی برآورد بار ثقلی وارده:
- ۵۱ ۳-۳-۴ تکیه گاه بارهای ثقلی:
- ۵۲ ۳-۳-۵ تکیه گاههای بار داخل صفحه ای و تغییر مکان خارج از صفحه ی دال:
- ۵۳ ۳-۳-۶ ابزار گذاری نمونه‌ها :
- ۵۹ فصل چهارم : آزمایش های جنبی و نتایج آن
- ۵۹ ۴-۱-۱ مقدمه
- ۵۹ ۴-۲-۲ مشخصات ورق مصرفی در ساخت نمونه‌ها
- ۶۰ ۴-۲-۱-۱ آزمون تعیین ترکیب شیمیایی به روش اسپکترومتری نشری
- ۶۰ ۴-۲-۲-۲ شناسایی جرم پوشش
- ۶۱ ۴-۲-۳-۲ ضخامت پوشش
- ۶۱ ۴-۲-۴-۲ آزمون کشش در دمای محیط
- ۶۲ ۴-۳-۳ دانه بندی مصالح سنگی در ساخت بتن دال
- ۶۵ ۴-۴-۲ آزمون مقاومت فشاری نمونه‌ها ی بتن
- ۶۷ ۴-۵-۵ مشخصات میلگرد مصرفی در ساخت نمونه‌ها ی دال
- ۶۹ فصل پنجم : نتایج حاصل از آزمایشها، تجزیه و تحلیل آنها
- ۶۹ ۵-۱-۱ مقدمه
- ۶۹ ۵-۲-۲ نتایج رفتار عرشه ها تحت بار ثقلی
- ۷۰ ۵-۲-۱-۱ نمونه دال SP1-A
- ۷۱ ۵-۲-۲-۲ نمونه دال SP1-B
- ۷۲ ۵-۲-۳-۲ نمونه دال SP2-A
- ۷۳ ۵-۲-۴-۲ نمونه دال SP2-B

| | | | | |
|-----|-------|-------|---|--------|
| ۷۴ | ..... | SP3 | نمونه دال | ۵-۲-۵ |
| ۷۶ | ..... | SP4 | نمونه دال | ۶-۲-۵ |
| ۷۸ | ..... | SP5-A | نمونه دال | ۷-۲-۵ |
| ۷۹ | ..... | SP5-B | نمونه دال | ۸-۲-۵ |
| ۸۰ | ..... | SP6-A | نمونه دال | ۹-۲-۵ |
| ۸۲ | ..... | SP6-B | نمونه دال | ۱۰-۲-۵ |
| ۸۴ | ..... |  | مقایسه نتایج حاصل شده از آزمایش بر روی ۱۰ نمونه | ۱۱-۲-۵ |
| ۹۱ | ..... |  | ضربشکل پذیری در نمونه‌های مختلف و مقایسه آنها با یکدیگر | ۱۲-۲-۵ |
| ۹۵ | ..... |  | میزان جذب انرژی | ۱۳-۲-۵ |
| ۹۷ | ..... |  | نتایج آزمایشات باربری جانبی دیافراگم | ۳-۵ |
| ۹۷ | ..... |  | نمونه‌ی دیافراگم اول (نمونه‌ی شاهد) | ۱-۳-۵ |
| ۱۰۳ | ..... |  | نمونه‌ی دیافراگم دوم و نتایج حاصل از آن | ۲-۳-۵ |
| ۱۱۰ | ..... |  | نمونه‌ی دیافراگم سوم و نتایج حاصل از آن | ۳-۳-۵ |
| ۱۱۷ | ..... |  | فصل ۶: نتیجه‌گیری | |

پیشگفتار مؤلف

از نکات مهم در مورد سقف‌های عرشه فولادی عملکرد این سقف به عنوان دیافراگم در انتقال بارهای ناشی از زلزله توام با بار ثقلی می باشد. از سویی عملکرد مختلط ورق‌های فولادی موجدار عرشه به شدت به تعداد، هندسه و میزان برجستگی آج‌های ورق عرشه و میزان چسبندگی آن با بتن رویه بستگی دارد. به عبارتی چنانچه در این نوع سقف‌ها، تحت اثر نیروهای زلزله در داخل صفحه دیافراگم، لغزش میان ورق موجدار سازه‌ای عرشه و بتن رویه رخ دهد و آج‌ها از کفایت لازم برای جلوگیری از چنین پدیده‌ای برخوردار نباشند، چه بسا باربری ثقلی سقف مختلط با کم رنگ شدن یا حذف نقش ورق کششی تحتانی عرشه، ممکن است به خطر افتد. لذا ارزیابی اندرکنش بارهای لرزه‌ای توام با بارهای ثقلی در این نوع سقف‌های مختلط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که در این پژوهش مورد بررسی قرار خواهد گرفت. برای این منظور ابتدا تعداد ۱۰ نمونه آزمایشگاهی سقف مختلط عرشه فولادی به طول ۳ متر با در نظر گرفتن متغیرهای مختلف دو نوع بارگذاری خمشی و برشی، دو نوع مقاومت فشاری بتن رویه و در نظر گرفتن عرشه فولادی بدون و با برشگیر پیچی تحت بارگذاری ثقلی ارزیابی شدند. سپس جهت ارزیابی رفتار درون صفحه ای سقف های مرکب عرشه فولادی تحت بارهای توام ثقلی و جانبی رفت و برگشتی نیز سه نمونه‌ی آزمایشگاهی یکی تحت بار داخل صفحه بدون بار ثقلی و بدون برشگیر پیچی، دیگری تحت اثر بار داخل صفحه توام با بار ثقلی و بدون برشگیر، و نمونه آخر تحت اثر بار داخل صفحه توام با بار ثقلی به همراه برشگیر پیچی مورد بررسی آزمایشگاهی و مقایسه نتایج آن‌ها با یکدیگر قرار گرفتند.

چکیده

سقف‌های مختلط با عرشه فولادی از جمله فناوری‌های نوین سازه‌ای است که به طور چشمگیری در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار گرفته است. این سقف‌ها از ورق‌های موجدار و آجدار سازه‌ای در قسمت تحتانی و دال بتن مسلح در قسمت رویه تشکیل شده است. در این سیستم، عرشه‌های فولادی علاوه بر نقش قالب باربر و ماندگار به هنگام ساخت، به عنوان عضو کششی تحتانی دال بتنی پس از کسب مقاومت بتن عمل می‌نماید. آنچه حائز اهمیت است اطمینان از عملکرد عرشه‌ها به عنوان عضو باربر کششی دال (عرشه مختلط) می‌باشد و این ویژگی به واسطه پیوستگی بین بتن و فولاد از طریق برجستگی‌های (آج) مناسب بر روی عرشه فولادی محقق می‌گردد. علاوه بر عملکرد عرشه‌های فولادی تحت بارهای ثقلی، رفتار دیافراگمی آن‌ها در برابر بارهای جانبی از نکات حائز می‌باشد که به عوامل مختلفی بستگی دارد. مقاومت و سختی دیافراگم با در نظر گرفتن ظرفیت عرشه فولادی با بتن رویه و یا بتن رویه به تنهایی قابل محاسبه است. در پژوهش حاضر جهت ارزیابی سختی برشی دیافراگم سقف‌های عرشه فولادی تحت بارهای درون صفحه حاصل از زلزله، آزمون‌های برش داخل صفحه پیش بینی شده است. علاوه بر این به منظور ارزیابی رفتار برشی-خمشی سقف‌ها آزمایش‌های خمش دو نقطه‌ای نیز انجام شده است. در آزمون خمشی-برشی، جهت تعیین مقاومت اسمی سقف‌ها با در نظر گرفتن دو نوع بارگذاری خمشی و برشی، دو نوع مقاومت فشاری مختلف برای بتن رویه، ۶ نمونه دال سقف، و به منظور بررسی اثر تعداد، هندسه و آرایش آج‌های ورق عرشه بر روی عملکرد خمشی و برشی سقف مختلط عرشه فولادی و استفاده هم‌زمان از برشگیرهای پیچی و آج‌های ورق عرشه و بررسی اثر آن‌ها در بهبود ظرفیت باربری ثقلی و شکل پذیری عرشه مختلط نیز ۴ نمونه دال ساخته و آزمایش‌های مربوطه انجام شده است. برای ارزیابی رفتار درون صفحه‌ای سقف‌های مرکب عرشه فولادی تحت بارهای توام ثقلی و جانبی رفت و برگشتی بدون و با در نظر گرفتن برشگیرهای پیچی نیز سه نمونه‌ی آزمایشگاهی کاملاً مشابه از نظر مشخصات هندسی و مکانیکی مصالح ساخته و آزمایش شده است.

نتایج حاصل از آزمایشات لزوم استفاده از برشگیرهایی نظیر پیچ‌های خودکار یا ادوات مشابه، برای تامین مقاومت و شکل‌پذیری مطلوب این نوع سقف‌ها و تضمین عملکرد مختلط کامل میان ورق عرشه فولادی و بتن رویه، را ضروری می‌داند. علاوه بر این امر عملکرد مطلوب لرزه‌ای دیافراگم دارای برشگیر پیچی با وجود اثر توام بار داخل صفحه و ثقلی در مقایسه با نمونه فاقد برشگیر و حتی نمونه شاهد فاقد بار ثقلی اثبات می‌شود.

فصل اول

کلیات

۱- مقدمه

سقف‌های مختلط با عرشه فولادی از جمله فناوری‌های نوین سازه‌ای است که بطور چشمگیری در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار گرفته است. این فناوری با عملکرد مطلوب سازه‌ای و قابلیت‌های ویژه اجرایی از جنبه‌های مختلف فنی، اقتصادی و مدت زمان ساخت مورد توجه سازندگان می‌باشد بطوری که در پروژه‌های انبوه سازی و بلند مرتبه سازی با اسکلت فلزی، جایگزینی مناسب برای سایر موارد مشابه شده است. مضافاً اینکه اقتضای امروز صنعت ساختمان کشور، سریع سازی، سبک سازی، ایمن سازی و در یک کلام صنعتی سازی می‌باشد و این مشخصه اساسی فناوری‌های نوین مانند سقف مختلط عرشه فولادی می‌باشد. سقف مختلط بتنی با عرشه فولادی، از اجزای عرشه فولادی، گل میخ‌های فولادی و دال بتن مسلح تشکیل شده است که بر روی شبکه تیرهای اصلی و فرعی فولادی قرار می‌گیرد. در این سیستم عرشه‌های فولادی علاوه بر نقش قالب باربر و ماندگار به هنگام ساخت به عنوان عضو کششی تحتانی دال بتنی پس از کسب مقاومت بتن عمل می‌نماید. ورق مورد استفاده از جنس فولاد با روکش گالوانیزه و

در ضخامت‌های $0/8$ الی $1/2$ میلیمتر می‌باشد. این ورق به شکل مقطع دوزنقه ای مطابق با جداول مشخصات تولید کننده، فرم داده می‌شود. آنچه حائز اهمیت است اطمینان از عملکرد عرشه‌ها به عنوان عضو باربر کششی دال (عرشه مختلط) می‌باشد و این ویژگی به واسطه پیوستگی بین بتن و فولاد از طریق برجستگی‌های (آج) مناسب بر روی عرشه فولادی محقق می‌گردد. برای حصول اطمینان از عملکرد مرکب بتن و فولاد باید با انجام آزمایش‌های بارگذاری، عملکرد انتقال برش در برجستگی‌ها کنترل گردد. در صورتی که آج‌ها قادر به ایجاد پیوستگی برشی (shear bonding) بین عرشه فولادی و دال نباشند عرشه بایستی فقط به عنوان قالب در نظر گرفته شود و از آرماتور تحتانی برای تحمل کشش در حد فاصل تیرچه‌ها استفاده شود.

علاوه بر رفتار عملکرد عرشه‌های فولادی تحت بارهای ثقلی، رفتار دیافراگمی آنها در برابر بارهای جانبی از نکات حائز می‌باشد که به عوامل مختلفی بستگی دارد. مقاومت و سختی دیافراگم با در نظر گرفتن ظرفیت عرشه فولادی با بتن رویه و یا بدون بتن رویه قابل محاسبه است.

۱-۲ سابقه تحقیقات

در سال‌های ۱۹۵۷ تا ۱۹۶۷ بارنس ۱ و همکاران با ساخت چند سری سقف عرشه فولادی پر شده با بتن و اعمال بار درون صفحه‌ای به آنها به بررسی رفتار دیافراگمی این نوع سقف پرداختند. این آزمایش‌ها دارای بار گذاری استاتیکی مونوتونیک بوده و اعمال بار بصورت سه نقطه ای انجام شده بود. تکیه گاه‌ها نیز از نوع ساده بودند و در محل اتصال ورق به بتن نیز هیچ نوع برشگیری استفاده نشد. هدف اصلی این بررسی، بدست آوردن رابطه و ارائه فرمول برای محاسبه‌ی ظرفیت درون صفحه‌ای سقف‌های عرشه فولادی بود.

بررسی مدهای خرابی در نمونه‌های مورد آزمایش بیانگر این بود که عمدتاً خرابی ناشی از پارگی ورق عرشه در ناحیه جوش شده به اعضای لبه‌ای قاب، بریده شدن جوش‌ها، خرابی بتن رویه در اثر برش، ترک‌های محلی و جداسازی بتن از ورق عرشه بوده است.

همچنین بر اساس آزمایشات انجام شده، یک روش طراحی دیافراگم با در نظر گرفتن سقف بصورت کنسولی و نوشتن روابط ساده‌ی استاتیکی ارائه شد. روابط ارائه شده بصورت تجربی بوده و با نتایج تعداد محدودی آزمایش موجود کالیبره شده بودند. روابط ارائه شده برای هر تولید کننده‌ی ورق عرشه نیز متفاوت بودند. متأسفانه جزئیات بیشتری از این تحقیق در دسترس نمی‌باشد [1].

در سال ۱۹۶۰ تحقیقات زیادی بر روی رفتار داخل صفحه دیافراگمهای عرشه فولادی صورت گرفت. این تحقیقات توسط نیلسون و همکاران [2] پایه گذاری شده است. آنها مطالعاتی بر مبنای اثرات تیرهای تکیه‌گاهی، دهانه و عمق عرشه پانل را بر روی میزان انعطاف پذیری عرشه انجام دادند. در ادامه Luttrell و همکارانش کارهای قبلی را با بررسی اثر مشخصات مصالح، طول دهانه و روش مهار دیافراگم ادامه دادند. ایشان همچنین روشی را برای تخمین سختی برشی عرشه های دوزنقه‌ای فولادی استاندارد ارائه داد.

اواسط دهه ۱۹۶۰، تعدادی از تولید کنندگان، عرشه های مرکب فولادی با ظرفیت باربری قابل قبولی اجرا می‌کردند. هر یک از تولید کننده عرشه های فولادی، با به کارگیری اصول طراحی مهندسی، محصولات خود را با تحقیقات گسترده و مستقل توسعه دادند و آئین نامه های ساختمانی این سیستم را تحت عنوان عرشه های فولادی خاص معرفی کردند.

با توجه به نیاز به وجود یک استاندارد، موسسه آهن و فولاد AISI یک پروژه تحقیقاتی در دانشگاه ایالتی آیووا زیر نظر پروفیسور Carl Ekberg، به منظور توسعه بخشیدن به یک پایه و اساس و معیاری مدون جهت طراحی سقف های عرشه فولادی در سال ۱۹۶۷ آغاز کرد. تحقیقات گسترده توسط اساتید Carl Ekberg و Max Porter در ایالت آیووا، و محققان دیگر در دانشگاه

Waterloo، دانشگاه Lehigh، موسسه پلی تکنیک Virginia و دانشگاه ایالتی، دانشگاه West Virginia، و دانشگاه Washington، سبب ایجاد دامنه اصلی دانش در دال‌های کامپوزیت عرشه فولادی گردید.

یکی از مجموعه برنامه‌های تحقیقاتی منسجمی که برای بدست آوردن مشخصات طراحی دال‌های مرکب انجام شد، مربوط به تحقیقات سال ۱۹۶۶ در دانشگاه ایالت آیووا^۲ تحت حمایت موسسه فولاد آمریکا^۳ بوده است. تعداد زیادی آزمایش‌های با مقیاس واقعی تعریف گردید که در آن رفتار پدیده پیچیده برش-چسبندگی بین بتن و فولاد را در سقف‌های مرکب مدنظر قرار می‌داد [3-5].

در سال ۱۹۶۸، Bryan و El-Dakhkhani آزمون‌هایی بر روی صفحات عرشه فولادی و مهارهای آن انجام دادند و روشی برای محاسبه انعطاف پذیری برشی و مقاومت برشی دیافراگم ارائه دادند.

آزمون‌های زیادی بر روی عرشه‌های فولادی تحت بارهای یکنواخت انجام شد در حالی که تاکید اصلی روی مقاومت برشی و سختی جانبی آنها بود.

در سال ۱۹۷۱ لاری لوترل^۴ یک تحقیق بر پایه‌ی آزمایش را با ساخت ۱۱ نمونه سقف عرشه فولادی انجام داد. از این تعداد، ۲ نمونه فاقد بتن و ۹ نمونه دیگر دارای بتن پرکننده با مقاومت فشاری حدود ۱ مگاپاسکال بودند. مشخصات کامل نمونه‌های مورد آزمایش در جدول شماره ۱-۱ منعکس شده است.

هدف اصلی این تحقیق، بررسی میزان تاثیر وجود بتن پرکننده در رفتار دیافراگمی سقف عرشه فولادی بوده است. نتایج آزمایش انجام شده نشان می‌دهد که افزایش مقاومت و سختی در نمونه‌های دارای بتن پرکننده (هر چند با مقاومت بسیار پایین) قابل توجه بوده است.

نمودارهای نشان داده شده در شکل شماره ۱-۱ نیز بیانگر میزان تاثیر حضور بتن در ظرفیت درون صفحه‌ای نمونه‌های مورد بررسی می‌باشد. همچنین از دیگر مزایای

² Iowa State University (ISU)

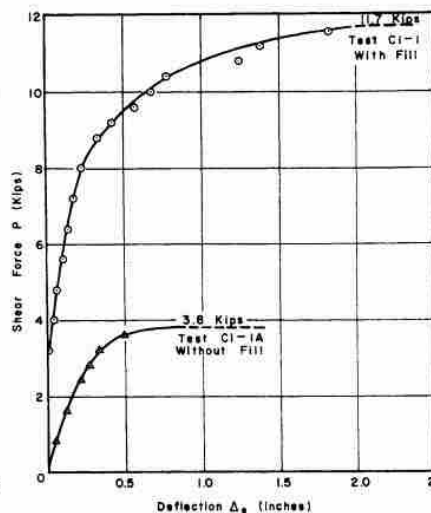
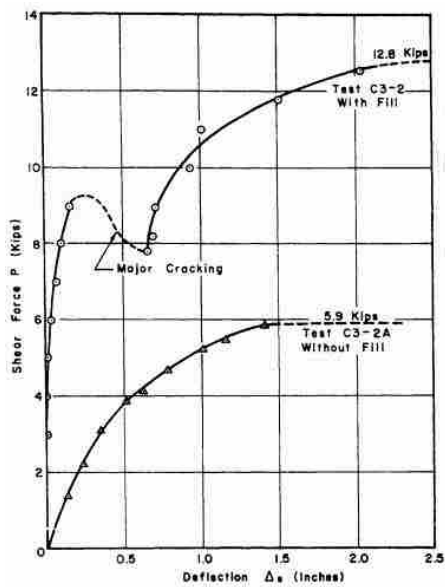
³ American Iron and Steel Institute (AISI)

⁴ Larry D. Luttrell

استفاده از بتن پرکننده ی سقف، ایجاد عایق های صوتی و حرارتی و همچنین مقید کردن حرکات خارج از صفحه ورق عرشه و جلوگیری از اعوجاج آن عنوان شده است. [6]

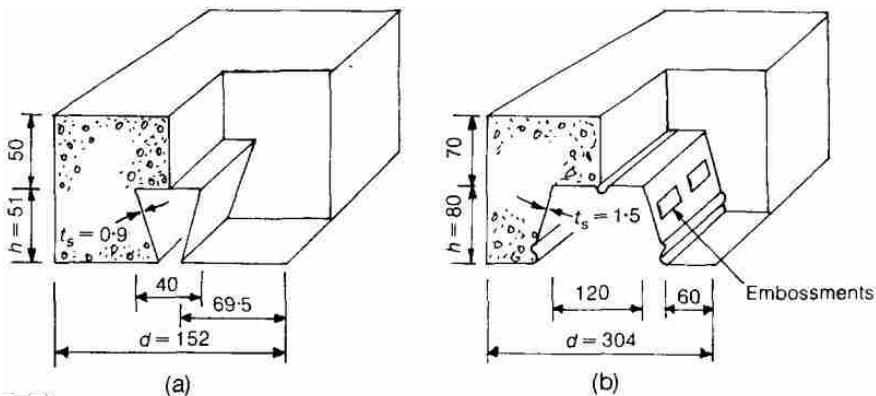
جدول شماره ۱-۱ - مشخصات نمونه های سقف در آزمایش آقای لوترل

| Test No. | C1 - 1 | C3 - 2 | P1 - 1 | P3 - 2 | P3 - 3 | P3 - 4 | P3 - 5 | P3 - 6 | P3 - 7 | C1 - 1A | C3 - 2A |
|--------------------------------|-----------------|--------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|---------|---------|
| Purlin Sp. (ft) | 4'-0" | 6'-8" | 5'-0" | 5'-0" | 5'-0" | 4'-0" | 3'-4" | 5'-0" | 5'-0" | 4'-0" | 6'-8" |
| Welds | ends | 1'-3" | 13 1/2" | each valley | each valley | each valley | each valley | each valley | each valley | 1'-3" | 13 1/2" |
| | Purlin | 1'-3" | 13 1/2" | alt. valley | each valley | each valley | each valley | alt. valley | each valley | 1'-3" | 13 1/2" |
| | Longitud. edges | 4'-0" | 6'-8" | 2'-6" | 2'-6" | 2'-6" | 2'-0" | 1'-8" | 0'-8" | 0'-8" | 4'-0" | 6'-8" |
| Conc. f'_c (psi) | 171 | 154 | 157 | 160 | 142 | 105 | 110 | 158 | 162 ^b | none | none |
| Conc. Den. (pcf) ^c | - | 25.2 | 27.0 | 26.6 | 25.0 | 24.1 | 26.0 | 31.1 | - | none | none |
| Steel Yield (ksi) | 101 | 112 | 105 | - | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 101 | 112 |
| Steel Thick. (in) ^d | 0.0165 | 0.0246 | 0.0192 | 0.0355 | 0.0243 | 0.0243 | 0.0243 | 0.0243 | 0.0243 | 0.0165 | 0.0246 |
| S_u (#/ft) | 585 | 640 | 1055 | 1650 | 1350 | 1440 | 1550 | 2400 | 2280 | 190 | 295 |
| G' (k/in) | 58.8 | 180 | 193 | 1056 | 259 | 307 | 354 | 384 | 429 | 13.4 | 7.7 |



شکل شماره ۱-۱ نمودار نیرو-جابجایی در نمونه های با و بدون بتن پرکننده

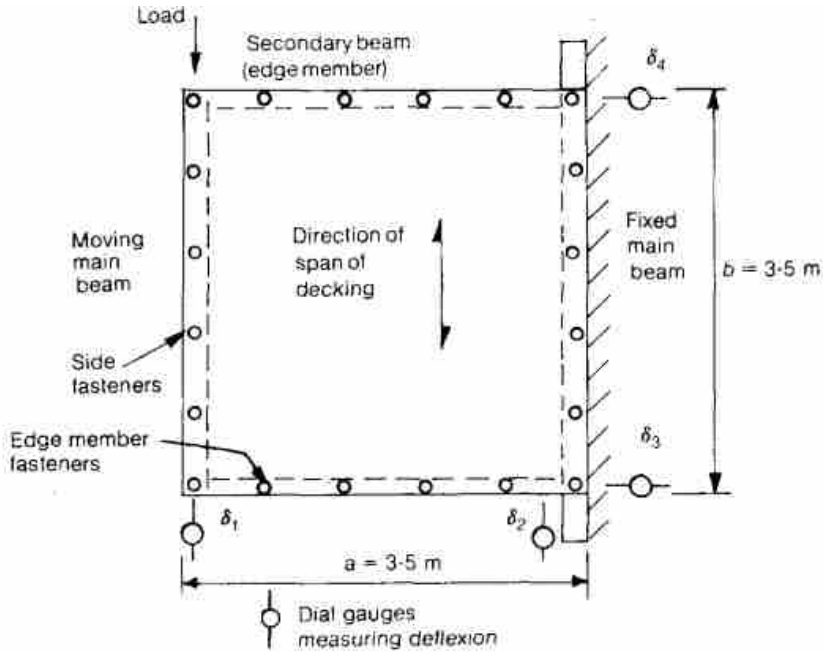
در سال ۱۹۷۹ در دانشگاه سالفورد، دیویس و فیشر ۶ تعداد ۴ نمونه‌ی آزمایشگاهی با ورق عرشه دوزنقه‌ای و پر شده با بتن سازه‌ای (با مقاومت فشاری ۲۸ روزه حدود ۲۵ مگاپاسکال) با ضخامت رویه بین ۵ تا ۷ سانتی‌متر را ساختند. (شکل شماره ۱-۲) اتصال ورق عرشه به قاب اصلی سازه، توسط پیچ‌های خودکار در محیط ورق انجام شده بود. در این تحقیق فواصل پیچ‌ها به عنوان متغیر اصلی در نظر گرفته شده بودند. محدوده‌ی فواصل پیچ‌های دور بین ۳۰ تا ۷۰ سانتی‌متر (متفاوت در نمونه‌ها) عنوان شده است. (شکل شماره ۱-۳)



Decking profile types ; (a) re-entrant profile, (b) trapezoidal profile

| Test | Sheeting type | Slab thickness, mm | Topping thickness, mm | Nominal pitch of fasteners, mm | |
|------|---------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------|
| | | | | Main beam | Secondary beam |
| 1 | Re-entrant | 100 | 50 | 300 | 304 |
| 2 | Trapezoidal | 150 | 70 | 585 | 608 |
| 3 | Re-entrant | 100 | 50 | 500 | 304 |
| 4 | Re-entrant | 100 | 50 | 700 | 456 |

شکل شماره ۱-۲ - مشخصات نمونه‌های مورد آزمایش



شکل شماره ۱-۳ - پلان آزمایش، عناصر اتصال دهنده لبه‌ای

پس از اعمال بار درون صفحه‌ای به هر نمونه تا مرحله‌ی خرابی، مدهای خرابی مورد بررسی قرار گرفتند. در تمامی نمونه‌ها خرابی در محل اتصال پیچ‌ها به قاب اصلی دیده شده است. فقط در یک نمونه علاوه بر محل اتصال پیچ، خرابی در ورق نیز مشاهده گردید. بر این اساس روابط منتج شده از این تحقیق تماماً بر اساس مقاومت اتصال دهنده‌ها تنظیم و ارائه شد. [7]

در زلزله‌های سال ۱۹۶۴ آلاسکا و سال ۱۹۷۱ سن فرناندو و سال پ ۱۹۹۴ نورتریج خرابی‌های جدی سازه‌ای در این سقفها مشاهده شد که ناشی از عدم طرح لرزه‌ای سقفها بوده است.

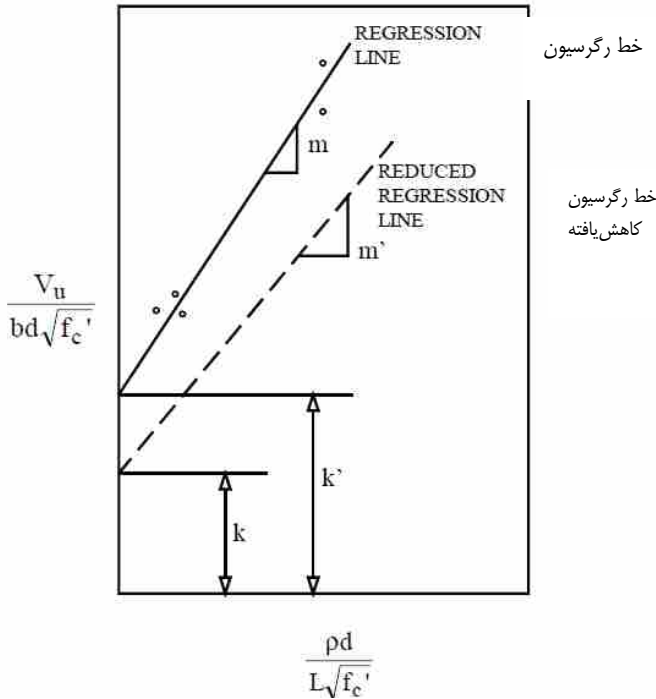
در سال ۱۹۷۶ تعداد زیادی مطالعات آزمایشگاهی روی ورق‌های فولادی سردنورد بدون سختی میانی توسط پورتر^۷ و ایکبیرک^۸ انجام شد که در این مجموعه، سقف‌های تک دهانه تا لحظه خرابی مورد آزمایش قرار گرفت [8]. پیشنهادهایی که

در طراحی نمونه‌ها مدنظر قرار گرفت، براساس محاسبات برش-چسبندگی و مقاومت خمشی برای شرایط با تکیه‌گاه ساده ارائه شده‌است. هم‌چنین آزمایش‌هایی برای بررسی خرابی برش-چسبندگی در دال‌های یک طرفه با مفتول‌های عرضی جوش شده که در قسمت فوقانی عرشه و به عنوان ابزار انتقال برش استفاده شده‌اند، انجام شده‌است. بر همین اساس، روش تجربی توسط این دو محقق در سال ۱۹۷۶ ارائه گردید که در بسیاری از استانداردها مورد توجه قرار گرفت و به نام روش برش-چسبندگی (روش m-k) شناخته شد.

در این روش، به طور کلی مقاومت برشی قائم، V_u ، در لحظه خرابی برش-چسبندگی، و طول دهانه برشی، l_s ، که در آن خرابی رخ می‌دهد، مدنظر قرار می‌گیرد. پارامترهای m و k به ترتیب، شیب و عرض از مبدا خط برش-چسبندگی است (شکل ۱-۱) که با تحلیل رگرسیون خطی روی مجموعه‌ای از نتایج آزمایش بدست می‌آید. مقادیر تعریف شده روی محور طول، با محاسبه مقدار $\rho_d / (L\sqrt{f_c})$ برای هریک از آزمون‌های انجام شده، و مقادیر تعریف شده روی محور عرض، با محاسبه مقدار $V_u / (bd\sqrt{f_c})$ برای تمامی آزمون‌های انجام شده، بدست می‌آید و رگرسیون خطی بین نقاط مختصاتی بدست آمده، انجام می‌شود.

نتایج تحقیقات حاصل از این آزمایشات منجر به ارائه استاندارد ASCE-03 برای طراحی دال‌های مرکب گردید که در سال ۱۹۸۴ ارائه شد. در سال ۱۹۹۱ این استاندارد مورد تجدید نظر قرار گرفت و تبدیل به دو استاندارد «طراحی» [9] و «ساخت و اجرای دال‌های مرکب» [10] شد. هر دو استاندارد در سال ۱۹۹۲ توسط ANSI مورد پذیرش قرار گرفت. روش m-k در استانداردها و آئین‌نامه‌هایی دیگر از جمله CSSBI [11]، BS-5950 [12]، EuroCode 4 [13] و سایر مراجع معتبر طراحی سقف‌های مرکب ارائه و مورد استناد و استفاده قرار گرفته‌است. علاوه بر این موارد، در سال ۱۹۹۴ NEHRP [14] ضوابطی در یک فصل در این خصوص تهیه و چاپ کرده است.

براساس نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام‌شده، بیشترین مود خرابی بوجود آمده در نمونه‌های مورد بررسی، مربوط به حالت حدی برش-چسبندگی بوده‌است. در روشی که در **ASCE** مورد استفاده قرار گرفت، پیشنهاد شد که مقدار برش قائم از مقدار ظرفیت برش افقی برش-چسبندگی بیشتر نباشد. روابط مورد استفاده در این روش طراحی به نحوی انتخاب شده‌است که بتواند معادلات تعادل برشی ارائه شده در آئین‌نامه **ACI** وقت را برآورده نماید. در نهایت رابطه محاسباتی توسط شوستر^۹ در سال ۱۹۷۰ ارائه شد [15] و توسط پورتر و ایکبیرک در سال ۱۹۷۱ اصلاح گردید [16]. رابطه (۱) اولین رابطه ارائه شده برای این روش را بیان می‌کند:



شکل ۴-۱ خط برش-چسبندگی در روش m-k

$$V_u \leq \phi V_n \quad (1)$$

$$V_n \geq bd \left[\frac{m \phi_l}{l} + k \sqrt{f'_c} \right] \quad (2)$$

در رابطه (۱)، V_u ظرفیت نهائی برش بدست آمده از آزمایش است. در رابطه (۲)، b عرض واحد طول دال، d عمق موثر دال که از دورترین تار فشاری تا مرکز هندسی عرشه فولادی تعریف شده است، $\rho = A_s/bd$ برابر درصد فولاد موجود در مقطع، l' طول دهانه برشی، f'_c مقاومت فشاری بتن، A_s سطح مقطع عرشه فولادی در واحد عرض، و m و k پارامترهای خط برش-چسبندگی است که با رگرسیون خطی بدست آمده است.

لازم به ذکر است که به منظور محاسبه مقادیر m و k مجموعه‌ای از آزمون‌ها توسط **ASCE** پیشنهاد شده است که برآن اساس، سقف برای مود خرابی خمشی و برشی مورد آزمون قرار می‌گیرد و نتایج حاصله در نموداری مشابه با نمودار شکل ۱-۴ مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. نمونه‌ای از تنظیمات انجام آزمون‌ها در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.



شکل ۱-۵- آزمون استاندارد بارگذاری دال

در سال ۱۹۸۱ گروهی بنام **ABK** (متشکل از چند محقق و شرکت‌های سرمایه‌گذار در لس‌آنجلس آمریکا) تعداد ۱۴ نمونه‌ی آزمایشگاهی از سقف با ورق عرشه

ساختند. از این تعداد فقط یک نمونه متشکل از ورق با بتن بوده است. ضخامت ورق عرشه در این نمونه ۰/۸ میلی متر و بتن مورد استفاده، بتن با مقاومت فشاری ۲۸ روزه حدود ۲۰ مگاپاسکال و ضخامت بتن رویه حدود ۶۵ میلی متر بوده است. نمونه‌ی ساخته شده به عرض حدود ۶ متر و طول حدود ۱۸ متر، دارای سه دهانه با تکیه‌گاه‌های ساده بود. در این تحقیق نمونه‌های ساخته شده، تحت انواع مختلف بارگذاری‌های استاتیکی و دینامیکی قرار داده می‌شدند (۱۱ نوع بارگذاری) و لذا بارگذاری‌ها تا تخریب ادامه داده نمی‌شدند. نتیجه این تحقیق مقادیر عددی بدست آمده از آن برای هر نمونه و تحت انواع مختلف بارگذاری بود. [17] هرچند اعمال بار روی نمونه تا لحظه تخریب ادامه داده نشد، بیشترین مقاومت برشی گزارش شده در این نمونه 2.85 Kip/ft بود.

در دهه ی ۱۹۹۰ یک تحقیق گسترده روی ۳۲ نمونه سقف عرشه فولادی پر شده با بتن توسط یک گروه از محققین از جمله ساموئل استرلینگ ۱۰ در دانشگاه ایالت آیووا انجام شد. [19,18] هدف اصلی در این تحقیق توسعه روابط موجود و ارائه روابط پیشنهادی جدید برای طراحی دیافراگم در سقف عرشه فولادی پر شده با بتن بود.

این برنامه ی تحقیقاتی را می توان به دو بخش تقسیم نمود. بخش اول مشتمل بر ۹ نمونه ی آزمایشگاهی بود که نتایج آن توسط گریمن ۱۱ و پورتر ۱۲ منتشر شد. هدف از انجام این آزمایشات تعیین میزان بار حداکثر، شکل پذیری، سختی و همچنین مشخص کردن مدهای خرابی بود. روابط ارائه شده حاصل از تحقیق در فاز اول، بر پایه ی مقاومت نواحی لبه‌ای تنظیم شده بودند که هدفشان انتقال صحیح نیرو بین اعضای قاب باربر سازه و دیافراگم بود.

در روابط پیشنهادی فاز اول تحقیق، توزیع بار بر اجزای لبه‌ای بر اساس یک تحلیل اجزای محدود خطی بود. همچنین توزیع نیرو در سطح بار حداکثر فرض شده بود.

10 W. Samuel Easterling

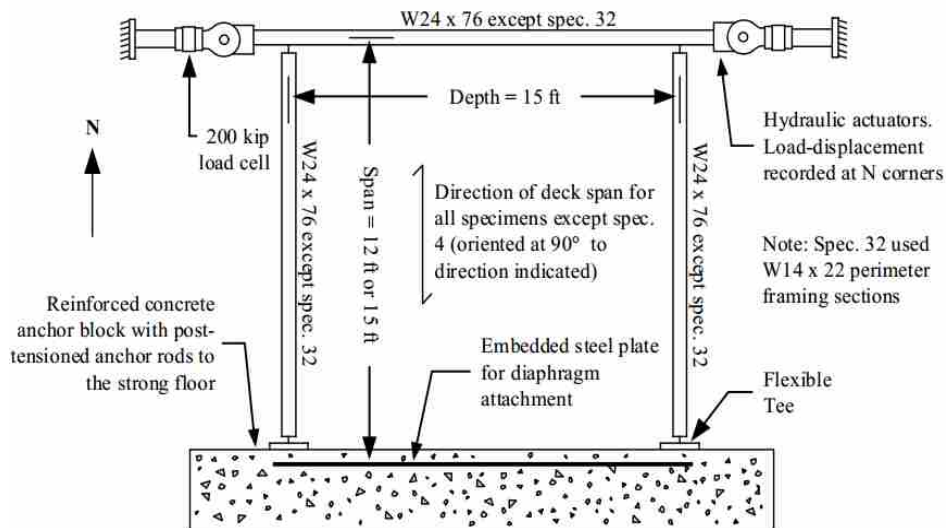
11 Lowell F. Greimann

12 Max L. Porter

خلاصه نتیجه گرفته شده از این ۹ نمونه بیانگر این موضوع بود که تعداد نمونه و بررسی انجام شده کافی نبوده و لازم است در آینده با تعداد نمونه بیشتر و بررسی دقیق تر این کار ادامه یابد. (بخش دوم برنامه تحقیقاتی)

در بخش دوم تعداد ۲۳ نمونه آزمایشگاهی (نمونه شماره ۱۰ تا ۳۲) به گونه ای مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت تا پیوستگی تحقیق با بخش اول حفظ شود. نتایج این تحقیق توسط پورتر و استرلینگ منتشر شد.

در این بخش، با اضافه نمودن متغیرها و به تبع تعداد نمونه‌ها، تحقیق جامع‌تری انجام شد. متغیرهای در نظر گرفته شده عبارت بودند از نوع عرشه، ضخامت ورق عرشه، نوع اتصال دهنده‌ها، تعداد اتصال دهنده‌ها، ضخامت بتن رویه، نسبت عمق به طول دهانه و اندازه اجزای لبه‌ای بود. در شکل شماره ۱-۶ نحوه آزمایش دیافراگم بصورت شماتیک و در جدول شماره ۱-۲ اطلاعات عددی مربوط به هر نمونه‌ی مورد آزمایش منعکس شده است.



شکل شماره ۱-۶- مشخصات آزمایش دیافراگم در دانشگاه آیووا

تمامی نمونه های آزمایش شده بصورت کنسولی ساخته شده و در انتها تحت بار گذاری رفت و برگشتی با سرعت ثابت قرار گرفتند. ابعاد پلان برای نمونه‌ها ی ۱ تا ۲۱ به اندازه‌ی 15x15 ft و برای نمونه‌ها ی ۲۲ تا ۳۲ 12x15 ft بودند.

از آنجایی که تمامی آزمون‌ها بصورت کنسولی انجام می‌شدند، برای تکیه گاه گیردار از یک بلوک بتن آرمه‌ی پس کشیده قوی استفاده شد. برای بستن عرشه فولادی به قاب آزمایش، یک صفحه‌ی فلزی داخل بلوک بتنی تعبیه شده بود.

در تمامی نمونه‌ها اتصال دیافراگم به سازه با جوش نقطه‌ای قوسی ورق به قاب، یا برشگیر گلمیخ، و یا ترکیبی از آن دو بود.

در تمامی نمونه‌ها از بتن سازه‌ای با وزن معمول استفاده شد بجز نمونه‌ی شماره ۲۶ که دارای بتن سبک بود. محدوده تغییرات مقاومت فشاری بتن در نمونه‌ها بین ۱۶/۵ تا ۴۲/۵ مگاپاسکال بود.

در پروتکل بارگذاری چرخه‌ای تعیین شده، بعد از سه رفت و برگشت، میزان جابجایی در هر رفت و برگشت افزایش پیدا می‌کند. برای مشاهده و بررسی میزان افت مقاومت، در یک جابجایی مشخص در هر چرخه مقادیر مقاومت برداشت شدند. ضابطه دوم برای افزایش مقادیر جابجایی هر چرخه بعد از نقطه‌ی بیشینه‌ی بار، این بود که مقدار این افزایش در هر گام به اندازه‌ی ۰.۵٪ جابجایی در نقطه اوج به گام قبلی افزوده می‌شد.

جدول شماره ۱-۲- اطلاعات دقیق آزمون‌های دیافراگمی انجام شده در دانشگاه آیووا

| شماره نمونه | ضخامت ورق (in) | تنش تسلیم ورق (ksi) | تنش نهایی ورق (ksi) | ضخامت بتن (in) | مقاومت فشاری بتن (psi) | نوع اتصالات / تعداد در هر سمت |
|-------------|----------------|---------------------|---------------------|----------------|------------------------|-------------------------------|
| 1 | 0.034 | 41.7 | 53.4 | 5.38 | 5634 | 30 / studs |
| 2 | 0.034 | 41.7 | 53.4 | 5.50 | 5250 | 30 / studs |
| 3 | 0.034 | 41.7 | 53.4 | 5.65 | 4068 | 60 / welds |
| 4 | 0.034 | 41.7 | 53.4 | 5.28 | 3849 | 60 / welds |
| 5 | 0.062 | 48.2 | 60.7 | 3.53 | 2966 | 30 / welds |
| 6 | 0.062 | 48.2 | 60.7 | 7.44 | 4549 | 60 / welds |
| 7 | 0.058 | 49.7 | 61.1 | 5.40 | 5435 | 60 / welds |
| 8 | 0.035 | 41.7 | 53.4 | 5.47 | 3345 | 4 / studs |
| 9 | 0.058 | 52.0 | 64.0 | 5.48 | 5412 | 60 / welds |
| 10 | 0.062 | 40.4 | 53.2 | 5.53 | 3311 | 60 / welds |
| 11 | 0.047 | 89.7 | 93.7 | 5.72 | 3533 | 60 / welds |
| 12 | 0.062 | 40.4 | 53.2 | 5.59 | 3412 | 60 / welds |
| 13 | 0.058 | 52.0 | 64.0 | 5.53 | 6187 | 60 / welds |
| 14 | 0.062 | 40.4 | 53.4 | 8.20 | 3699 | 60 / welds |
| 15 | 0.047 | 89.7 | 93.6 | 4.21 | 2844 | 60 / welds |
| 16 | 0.047 | 89.7 | 93.6 | 4.18 | 2952 | 60 / welds |
| 17 | 0.062 | 46.0 | 54.4 | 7.44 | 4261 | 60 / welds |
| 18 | 0.062 | 40.4 | 53.4 | 5.55 | 3052 | 60 / welds |
| 19 | 0.062 | 49.4 | 55.5 | 5.75 | 2681 | 60 / welds |
| 20 | 0.037 | 48.6 | 56.2 | 5.55 | 3973 | 40 / welds |
| 21 | 0.062 | 40.4 | 53.4 | 5.67 | 3638 | 15 / welds |
| 22 | 0.062 | 40.4 | 53.4 | 5.68 | 3301 | 60 / welds |
| 23 | 0.037 | 48.6 | 56.2 | 5.75 | 3496 | 40 / welds |
| 24 | 0.062 | 49.4 | 55.5 | 5.63 | 4047 | 48 / welds |
| 25 | 0.062 | 40.4 | 53.4 | 5.69 | 4672 | 16 / studs |
| 26 | 0.036 | 92.8 | 93.6 | 4.72 | 3462 | 8 / studs |
| 27 | 0.037 | 48.6 | 56.2 | 5.66 | 2883 | 8 / studs |
| 28 | 0.037 | 48.6 | 56.2 | 5.60 | 3611 | 8 / studs |
| 29 | 0.035 | 86.9 | 89.8 | 5.55 | 2887 | 16 / studs |
| 30 | 0.035 | 86.9 | 89.8 | 5.68 | 3565 | 12 / studs |
| 31 | 0.035 | 86.9 | 89.8 | 5.75 | 3336 | 23 / welds |
| 32 | 0.035 | 86.9 | 89.8 | 5.66 | 2452 | 30 / welds |

نتایج مهم گرفته شده از این تحقیق از این قرار بود:

دیافراگم عرشه فولادی پر شده با بتن سازه‌ای دارای مقاومت و سختی قابل توجهی است.

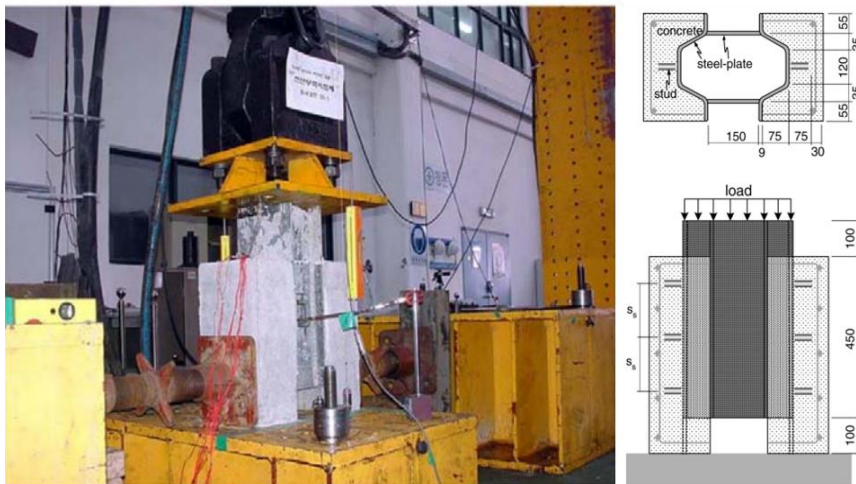
در تامین مقاومت و سختی دیافراگم چندین عامل نقش دارند، اما بیشترین تاثیر مربوط به نوع و تعداد اتصال دهنده‌های دیافراگم به سازه‌ی اصلی می‌باشد. دیافراگم عرشه فولادی پر شده با بتن یک رفتار ترد از خود نشان می‌دهد بطوریکه پس از رسیدن به نقطه‌ی بیشینه‌ی مقاومت یک افت ناگهانی قابل توجه در ظرفیت باربری مشاهده می‌شود. بنابراین و بر اساس روابط کلاسیک می‌توان گفت که این نوع دیافراگم دارای هیچ شکل‌پذیری نیست. از بررسی مقاومت دیافراگم‌ها به عنوان قسمتی از این تحقیق، مشخص شد که عوامل اصلی در تعیین ظرفیت دیافراگم، کشش قطری، مکانیسم انتقال برش و خرابی در اتصال دهنده‌های لبه‌ای می‌باشد. نوع و فاصله‌ی بین اتصال دهنده‌ها باید در هر طرف دیافراگم مشابه باشند تا بتواند توزیع نیروی لبه را بصورت یکنواخت امکان‌پذیر سازد.

در سال ۲۰۰۵ آقای یون جو جونگ ۱۳ و همکاران در کره جنوبی با انجام ۹ آزمایش بارگذاری فشاری روی نمونه‌های جزئی از سقف عرشه فولادی تقویت شده با گلمیخ به بررسی میزان اندرکنش فولاد و بتن در سطح مشترک آن دو پرداختند.

در این نمونه‌ها فاصله گلمیخ‌ها (۱۵۰، ۲۵۰ و ۴۰۰ میلی‌متر) بعنوان متغیر در نظر گرفته شده بود و ۹ نمونه‌ی مذکور شامل ۳ دسته‌ی ۳ تایی از نمونه‌ها با فواصل گلمیخ‌های مذکور بودند. تیپ نمونه‌های مورد آزمایش در شکل شماره ۱-۷ مشخص شده است. در این شکل پارامتر SS نشان دهنده‌ی فواصل بین گلمیخ‌ها است. هدف اصلی انجام این آزمایش شناسایی مدل رفتاری فصل مشترک صفحه‌ی فولادی و بتن بود تا با داشتن اطلاعات این قسمت بتوان آن را بصورت یک المان در تحلیل نرم افزاری شبیه‌سازی کرد. [20]

پس از انجام آزمایش برشی بارگذاری فشاری روی نمونه‌ها (با فواصل گلمیخ‌های متفاوت) مقادیر بار حد تناسب، بار حد نهایی و میزان لغزش بین فولاد و بتن در حد تناسب، حد نهایی و نوع خرابی مشخص شد. سپس با استفاده از نرم افزار

تحلیل اجزای محدود DIANA و در نظر گرفتن المان‌هایی برای شبیه سازی اثر اندرکنش فولاد و بتن (اصطکاک، لغزش و ...) به بررسی تحلیلی پرداخته شد. پس از انطباق نتایج تحلیلی با آزمایش پوش اوت، تعدادی نمونه دیگر این بار تحت آزمایش خمش قرار گرفتند. هدف از انجام این سری آزمایشات صحت سنجی مدل رفتاری در نظر گرفته شده در بررسی تحلیلی با نمونه‌ی آزمایشگاهی تحت خمش بود.



شکل ۱-۷- آزمایش بارگذاری فشاری انجام شده توسط یون جو جونگ و همکاران [20]

بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق:

نتایج بررسی آزمایش‌های پوش اوت نشان می‌دهد که میزان اندرکنش فولاد و بتن تاثیر قابل توجهی در مقدار بیشینه‌ی بار دارد اما روی میزان لغزش نسبی تاثیر زیادی ندارد. از این رو وقتی که میزان اندرکنش بالاتر است، مقدار ظرفیت باربری نهایی و همچنین سختی مماسی اولیه نیز بیشتر خواهد بود.

صرف نظر از میزان اندرکنش ورق و بتن، در منحنی بار-لغزش نسبی، ناحیه الاستیک خطی به اندازه حدود ۹۰٪ بار نهایی قابل تحمل است.

بزرگی لغزش نسبی در ناحیه الاستیک خطی حدود $0.16d$ و در نقطه بار نهایی $0.3d$ است. از این قسمت به بعد خرابی در قسمت فصل مشترک شروع شده و تا

لغزش نسبی به اندازه 0.77d که خرابی بطور کامل اتفاق می‌افتد، ادامه خواهد یافت. پارامتر d قطر گلمیخ‌های مورد استفاده در این آزمایش می‌باشند. آنالیز غیرخطی اندرکنش بتن و فولاد با مدل کردن یک المان رابط در آن محل انجام خواهد شد. خواص این المان از آزمایش پوش اوت بدست خواهد آمد که می‌تواند بطور کاربردی رفتار غیر خطی اندرکنش بین فولاد و بتن را با در نظر گرفتن ناحیه نرم شوندگی (همانند ناحیه الاستیک خطی) شبیه سازی کند.

در این روش تحلیل مشخص شد که یک ارتباط خوبی بین نتایج با حالت بارگذاری تحت خمش نیز برقرار است.

مشخص شد که اندازه‌ی مش در المان رابط، تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر دقت نتایج ندارد.

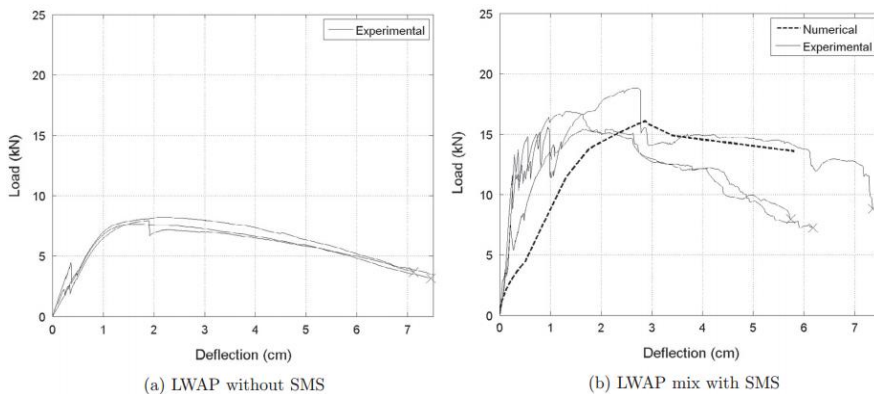
با استفاده از روش عنوان شده در این تحقیق می‌توان بجای انجام یک آزمایش با ابعاد واقعی (شیوه‌ی کار روش سنتی) آن را بصورت یک آزمایش ساده‌ی پوش اوت برای تعیین رفتار اندرکنش فولاد و بتن و در اندازه‌ی کوچک انجام داد.

غلامحسینی و همکارانش در سال ۲۰۱۴ [21] با انجام آزمونهایی بر روی ۸ نمونه عرشه فولادی تمام مقیاس، اثرات برش لغزشی و میزان چسبندگی بین بتن و عرشه فولادی را تحت بررسی قرار دادند شکل ۱-۸. در این آزمونها با روشهای متفاوت، مقدار چسبندگی بین عرشه و بتن و حداکثر تنش برشی طولی بین عرشه و بتن محاسبه شد. مدل‌های اجزا محدود که در آنها خواص چسبندگی بین عرشه و بتن مدل شده بود ایجاد شده و رفتار آنها بررسی شد. برای تمام دالها لغزش بین بتن و عرشه فولادی تعیین کننده حداکثر ظرفیت خمشی بوده و در هیچکدام از آزمونها حداکثر ظرفیت خمشی پلاستیک حاصل نشد. همچنان که پیش‌بینی می‌شد نتایج مدل‌های اجزا محدود با نتایج آزمایشگاهی منطبق بود.

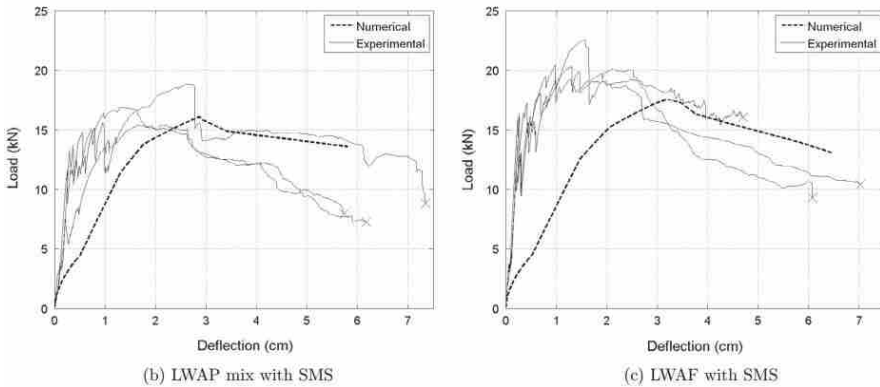


شکل ۱-۸- تغییر شکل نهایی دال

در سال ۲۰۱۵ آقای مک کام ۱۴ و تهرانی با انجام چند نمونه آزمایش به بررسی رفتار خمشی سقف‌های عرشه فولادی با عملکرد مرکب بتن و ورق عرشه پرداختند. [22] اضافه کردن پیچ به ورق عرشه جهت تقویت برشی و اضافه کردن الیاف مصنوعی به بتن بعنوان متغیرهای اصلی نمونه‌های مورد آزمایش در نظر گرفته شدند. طبق نتایج بدست آمده از این تحقیق، افزودن پیچ‌ها سبب افزایش مقاومتی در حدود ۱۰۰٪ شده (شکل شماره ۱-۹) و اضافه کردن الیاف به بتن نیز حدود ۱۰٪ افزایش مقاومت را به همراه داشته است. (شکل ۱-۱۰)



شکل ۱-۹- منحنی بار-تغییر مکان در دو حالت با و بدون پیچ



شکل ۱-۱-۱- منحنی بار-تغییر مکان در دو حالت با و بدون وجود الیاف در بتن

معتمدی و همکاران در سال ۲۰۱۶ با انجام ۲۱ آزمون تمام مقیاس بر روی دیافراگم‌های عرشه فولادی با ضخامتهای متفاوت عرشه و اتصالات مختلف، پاسخ غیر خطی عرشه و رفتار هیستریزیس و عملکرد برشی آن‌ها را مورد بررسی قرار دارند. (شکل ۱-۱۱). در این آزمونها رفتار عرشه بدون بتن رویه مورد بررسی قرار گرفت [23]. بارگذاری‌ها به صورت یکنواخت و سیکلی رفت و برگشتی انجام پذیرفت. در تمام نمونه‌ها تغییر شکل غیرالاستیک در عرشه‌ها در لبه‌های دیافراگم که موازی با بار جانبی هستند اتفاق افتاد. در عرشه‌ها با اتصال پرچی رفتار پیش رونده شکست به صورت انعطاف پذیر بوده در حالی که دیافراگم‌های با اتصالات جوشی شکست‌های ترد با انعطاف پذیری محدود داشتند. اگرچه سختی هر دو سیستم تقریباً یکی بود ولی مقاومت تحت بار سیکلی در عرشه دارای اتصالات پرچی حدود ۲۰ درصد بیشتر از اتصالات جوشی بود. نتایج آزمونها نشان دهنده آن است که روش طراحی به کار رفته در آیین نامه طراحی دیافراگم عرشه‌های فولادی SDI، روش مناسبی است.



شکل ۱-۱۱ - تنظیمات آزمون عرشه فولادی

فصل ۲

اجزای تشکیل دهنده و رفتار سقف های مرکب

۲-۱-۱- اجزای تشکیل دهنده

سقف های مختلط عرشه فولادی شامل قسمتهای زیر است:

ورق فولادی گالوانیزه

بتن

شبکه آرماتور

گل میخ برای اتصال مجموعه به تیرهای زیرسری.

۲-۱-۱-۱- ورق های فولادی

۲-۱-۱-۱-۱- رده های فولاد

رده ی فولاد مورد استفاده در ساخت عرشه فولادی باید براساس بند ۱-۷ آئین نامه

طراحی و اجرای سازه های فولادی سبک سردنورد باشد [24].

۲-۱-۱-۲- تنش تسلیم و شکل پذیری

تمام ورق‌های فولادی مورد مصرف در عرشه یا ادوات جانبی باید حداقل تنش تسلیم مشخصه‌ی ۲۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۲۳۰ مگاپاسکال) را داشته باشد. به عنوان ضابطه شکل پذیری، هرگاه ازدیاد طول نسبی روی طول ۵۰ میلی‌متر، ۱۰٪ یا بیشتر اندازه‌گیری شده باشد، حداکثر تنش تسلیم طراحی نباید از حداقل دو مقدار F_y و ۳۴۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۳۴۵ مگاپاسکال) تجاوز کند. از طرف دیگر، اگر ازدیاد طول نسبی کمتر از ۱۰٪ باشد، حداکثر تنش تسلیم طراحی نباید از حداقل دو مقدار $0.75F_y$ و ۳۴۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۳۴۵ مگاپاسکال) تجاوز کند. هرگاه ازدیاد طول نسبی فولاد مصرفی برای عرشه فولادی که روی ۵۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است کمتر از ۱۰٪ باشد، توان عملکردی فولاد بدون بوجود آمدن ترک یا شکاف باید مورد بررسی قرار گیرد [25].

۲-۱-۱-۳- پوشش عرشه

پوشش عرشه باید متناسب با محیط سازه و توسط طراح تعیین شود. ورق‌های فولادی باید در مقابل خوردگی محافظت شوند. بدین منظور می‌توان از رنگ‌آمیزی، فسفات‌ها و یا گالوانیزه کردن ورق‌ها استفاده کرد. هرگاه استفاده از ورق‌های گالوانیزه مدنظر قرار گیرد، باید هر دو وجه بالا و پائین ورق فولادی گالوانیزه شده باشد. در غیر اینصورت و با درنظر گرفتن محافظت در برابر خوردگی با استفاده از رنگ‌آمیزی، وجه بالائی ورق که در تماس با بتن سقف قرار دارد می‌تواند بدون پوشش محافظ یا با پوشش فسفات‌ها باشد ولی باید قبل از بتن ریزی، زنگ زدائی شود. وجه پائینی که در معرض هوا قرار دارد باید با یک لایه اصلی پوشش رنگی محافظت شود [25]. به طور خلاصه، لایه محافظ در برابر خوردگی باید متناسب با محیط اقلیمی سازه انتخاب شود. از آنجاکه عرشه فولادی، به عنوان آرماتور تسلیح مثبت برای دال محسوب می‌شود، باید برای عمر نهائی سازه طراحی و محاسبه شده باشد.

برای محافظت ورق‌های فولادی در برابر خوردگی، علاوه بر موارد ذکر شده در بالا، رعایت ضوابط بند ۱۰-۴-۵ مبحث دهم مقررات ملی کشور الزامی است. همچنین، در خصوص شرایط گالوانیزه کردن ورق‌ها، موارد مندرج در بند ۱-۸-۱ آیین‌نامه طراحی و اجرای سازه‌های فولادی سبک سردنورد باید مورد توجه قرار گیرد. لازم به ذکر است که فرآیند گالوانیزه کردن باید مطابق با استانداردهای مورد قبول این دستورالعمل باشد^{۱۵}

۲-۱-۱-۴- انواع ورق‌های سرد نورد مورد استفاده در دال‌های

مرکب

انواع ورق‌هایی که از لحاظ شکل، ارتفاع و عرض کنگره‌ها با یکدیگر متفاوت می‌باشد در دال‌های مرکب کاربرد دارد (شکل ۲-۱). بعضی از ویژگی‌های مشترک این ورق‌ها به شرح زیر می‌باشد:

ضخامت بین ۰/۸ تا ۱/۲ میلی‌متر

عمق کنگره‌ها بین ۴ تا ۸ سانتی‌متر و فواصل ناو‌ها ۱۶ تا ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد.

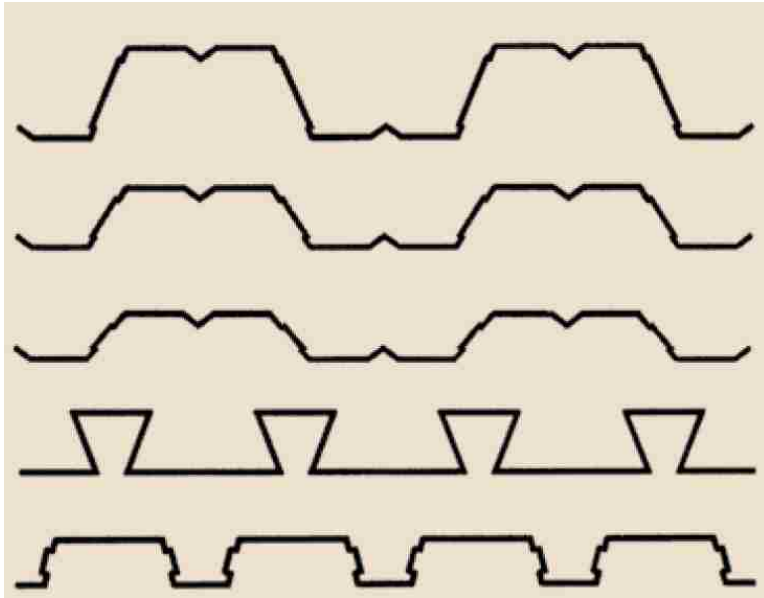
به منظور جلوگیری از خوردگی ورق باید پوشش گالوانیزه استاندارد داشته باشند. در محیط‌های خورنده، پیش‌آغشتگی فولاد با پلی‌استر یا رنگ‌های پلی‌وینیلیدین فلوراید^{۱۷} ممکن است ضروری باشد و در هوای جوی خورنده تدابیر محافظتی کاربردی مورد نیاز است.

ورق‌های سرد نورد کاربردی معمولاً از نوع S235 می‌باشد.

^{۱۵} تا تهیه و تدوین استاندارد ملی ایران در این زمینه، مطالب مندرج در استاندارد ASTM A653M (A653) ملاک عمل خواهد بود.

16. Trough

17 Polyvinylidene flouride



شکل ۲-۱- انواع ورق‌ها کاربردی در دال‌های مرکب

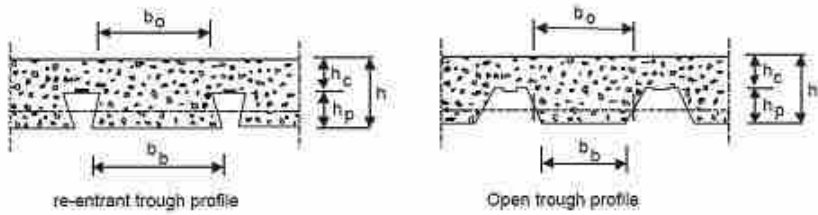
در بیشتر موارد، در صورتی که فاصله تیرها از یکدیگر کمتر از $3/5$ متر باشد، در زمان بتن ریزی لزومی به استفاده از پایه‌های موقت نمی‌باشد. در اینگونه موارد، لازم است طراحی ورق فولادی برای تحمل نیروهای ناشی از وزن بتن و فعالیت‌های انسانی هنگام بتن ریزی انجام شود. معمولاً ورق عرشه فولادی مورد استفاده با مقاطع دوزنقه‌ای شکل ۱۸ است (شکل ۲-۲ الف).

در صورتی که فاصله تیرها از یکدیگر بیشتر از $3/5$ متر باشد و در صورت عدم استفاده از پایه‌های موقت، ورق فولادی مورد استفاده باید از مقاومت برشی چسبندگی افقی ۱۹ کافی برخوردار باشد. جهت تامین این مقاومت، معمولاً از نوعی مقاطع دوزنقه‌ای خاص استفاده می‌شود (به شکل کلاهی معکوس با جانهای متمایل به سمت خارج ۲۰) که این امر منجر به افزایش وزن در متر مربع مساحت ساختمان می‌شود (شکل ۲-۲ ب).

^{۱۸}Trapezoidal steel sheets

19 Horizontal shear bond resistance

20 Re-entrant profiles



ب

الف

شکل ۲-۲ - ورق‌های ذوزنقه‌ای در تیرهای مرکب

۲-۱-۲- بتن

مصالح بتن شامل افزودنی‌ها و میلگردها، باید با ضوابط مبحث نهم مقررات ملی سازگار باشد، مگر در مواردیکه به طور خاص مورد اشاره قرار گرفته باشد. حداقل مقاومت فشاری بتن یا باید ۲۱۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۲۱ مگاپاسکال) در نظر گرفته شود و یا براساس نیازهای دوام و آتش‌سوزی تعیین شود. در محاسبه مقاومت دال مرکب نباید مقاومت فشاری بتن بیشتر از ۴۲۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۴۲ مگاپاسکال) در نظر گرفته شود. استفاده از افزودنی‌ها دارای نمک‌های کلرید یا سایر جایگزین‌های آنها که خورنده بوده یا به عرشه فولادی یا قطعات مدفون در سقف آسیب می‌زنند، در بتن مجاز نمی‌باشد.

۲-۱-۲-۱- میلگردهای فولادی

ویژگی‌های میلگردهای گرم نوردیده فولادی باید مطابق استاندارد ۳۱۳۲ ایران و میلگردهای سرد نوردیده فولادی باید مطابق با استانداردهای مورد قبول این دستورالعمل باشد ۲۱.

میلگردهای گالوانیزه، تا تعیین استانداردهای لازم برای آنها، باید مطابق با استانداردهای مورد قبول این دستورالعمل تهیه شوند ۲۲.

۷. تا تهیه و تدوین استاندارد ملی ایران در مورد ویژگی‌های میلگردهای سردنورد فولادی، مطالب مندرج در استاندارد ISO 10544 ملاک عمل خواهد بود.

میلگرد آجدار با حداکثر مقاومت تسلیم ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۴۰۰ مگاپاسکال) قابل استفاده است.

میلگردهای فولادی باید تمیز و عاری از پوسته‌های رنگ، روغن، گرد و خاک و هر نوع آلودگی دیگر باشند، زیرا این آلودگی‌ها سبب کاهش چسبندگی بین ماده چسباننده (بتن، ملات دوغابی، ملات) و میلگرد می‌شود.

استفاده از میلگردهای زنگ زده و پوسته شده مجاز نیست مگر اینکه با برس زدن یا ماسه پاشی کاملاً تمیز شوند. سطح مقطع واقعی ضعیف شده باید در محاسبات در نظر گرفته شود.

۲-۱-۲-۲- شبکه فولادی جوش شده

شبکه فولادی جوش شده باید مطابق با استاندارد ۳-۸۱۳۳ ایران باشد.

۲-۱-۲-۳- الیاف

الیاف مورد استفاده باید مطابق با موارد زیر باشند.

الف- الیاف فولادی ۲۳، تا تعیین استانداردهای لازم برای آن‌ها، باید مطابق با استانداردهای مورد قبول این دستورالعمل تهیه شوند ۲۴.

ب- الیاف ماکرو سینستیک ۲۵ «الیاف درشت» ۲۶ از پلی اولفین دست نخورده ساخته شده است. قطر این الیاف بین ۰/۴ میلی‌متر و ۱/۲۵ میلی‌متر بوده و نسبت طول / قطر معادل آن باید بیشتر از ۵۰ باشد [26].

۲۸. تا تهیه و تدوین استاندارد ملی ایران در مورد ویژگی‌های میلگردهای گالونیزه، مطالب مندرج در استاندارد ASTM A 767 ملاک عمل خواهد بود.

۲۳. Steel fibers

۲۴. تا تهیه و تدوین استاندارد ملی ایران در مورد ویژگی‌های الیاف فولادی، مطالب مندرج در استاندارد

ASTM A 820 ملاک عمل خواهد بود.

25. Macrosynthetic fibers

26. Coarse fibers

۲-۲- انواع سقف‌های مرکب

سقف‌های مرکب متداول دارای انواع مختلفی به شرح زیر هستند:
سقف مرکب متشکل از تیرهای فولادی گرم نورد شده و بتن رویه با قالب‌بندی موقت.

سقف مرکب متشکل از تیرهای فولادی گرم نورد شده و بتن رویه بدون قالب (خود ایستا).

سقف مرکب متشکل از تیرهای فولادی (گرم نورد شده یا سرد نورد شده یا مختلط) کاملاً محاط در بتن ۲۷ بدون استفاده از پایه‌های موقت.

سقف مرکب متشکل از تیرهای فولادی (گرم نورد شده یا سرد نورد شده یا مختلط) پر شده با بتن ۲۸ بدون استفاده از پایه‌های موقت.

سقف مرکب متشکل از تیرهای فولادی و بتن رویه با قالب غیر باربر ماندگار.

سقف مرکب متشکل از تیرهای فولادی گرم نورد یا سرد نورد شده و بتن رویه با قالب باربر از جنس ورق گالوانیزه.

۳-۲- رفتار سقف‌های مرکب

در سقف‌های مرکب، مقطعی شامل عرشه فولادی و دال بتنی مسلح که به هم متصل شده‌اند، به عنوان عضو خمشی برای تحمل بارهای ثقلی عمل می‌نماید.

عرشه فولادی باید به تنهایی بارهای حین اجرا به ویژه بار بتن تر را تحمل نماید. به محض اینکه بتن شروع به سخت شدن می‌نماید، عرشه به عنوان آرماتور کششی در برابر بارهای مختلف عمل می‌کند.

به منظور اطمینان از صحت عملکرد مرکب بتن و فولاد به عنوان سقف، لازم است تا نیروی برشی افقی بین بتن و فولاد منتقل شود. علاوه بر این، خمش وارد بر عضو می‌تواند برش قائمی را ایجاد نماید که باعث جدایی بتن و ورق فولادی شود.

^{۲۷} Encased composite members

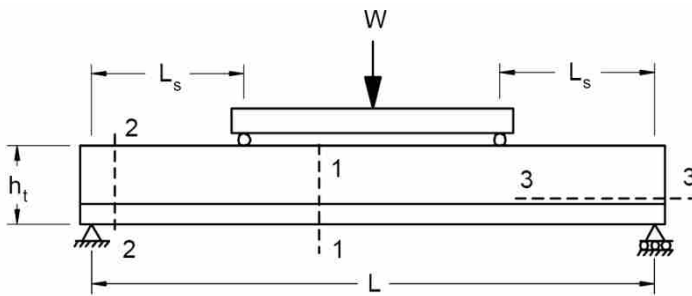
28 Filled composite member

بنابراین، مقطع مرکب باید توان مقابله در برابر این جداسدگی قائم را نیز داشته باشد.

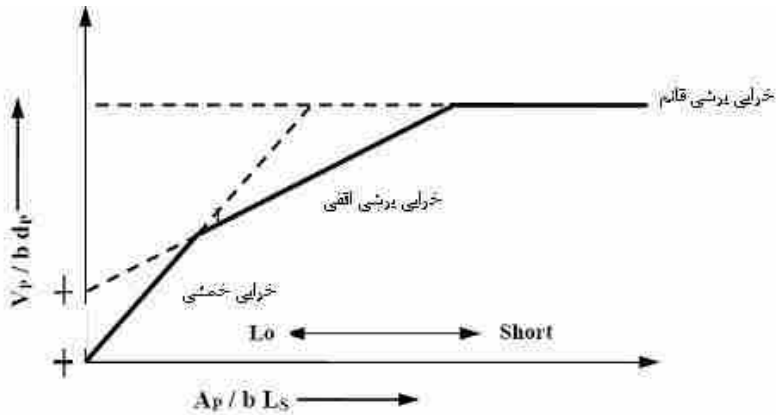
به طور کلی خرابی‌هایی که ممکن است در سقف‌های مرکب بتنی-فولادی بوجود بیاید (شکل ۲-۳)، سه نوع است.

- خرابی خمشی که در مقطعی مانند مقطع ۱-۱ رخ می‌دهد.
- خرابی برشی قائم که در مقطعی مانند مقطع ۲-۲ اتفاق می‌افتد و
- خرابی برشی افقی که با جداسدگی بتن و فولاد در مقطعی مانند مقطع ۳-۳ همراه خواهد بود.

نمودار سه خطی حاصل از ارزیابی خرابی‌های محتمل در سقف‌های مرکب تحت اثر نیروی عمود بر صفحه (W)، در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. این نمودار که از نتایج بدست آمده از مجموعه وسیعی از آزمون‌های انجام شده، حاصل شده است نشان می‌دهد که احتمال وقوع خرابی خمشی در مقادیر برش کم، نسبت به خرابی‌های برشی بیشتر است.



شکل ۲-۳- نمائی کلی از مقاطع بحرانی در خرابی‌های محتمل در سقف‌های مرکب



شکل ۲-۴- نمودار سه خطی رفتار سقف‌های مرکب در مقابل نیروی عمود بر صفحه (W)

به‌طور کلی رفتار برشی سقف‌های مرکب، به ویژه ظرفیت و توان انتقال برش بین بتن رویه و ورق فولادی، پارامتر حائز اهمیتی در ارزیابی رفتار این سقف‌ها به شمار می‌رود. به همین دلیل، ارزیابی رفتار خمشی اغلب بر اساس روابط استاندارد تحلیل و مقاومت مصالح انجام می‌شود ولی در مقابل، برای محاسبه ظرفیت برشی این سقف‌ها روش‌های متفاوتی وجود دارد. از مهم‌ترین و پایه‌ای‌ترین روش‌های موجود برای محاسبه ظرفیت انتقال برش در سقف‌های مرکب می‌توان به دو روش برش-چسبندگی ۲۹ (روش m-k) و روش اتصالات برشی جزئی ۳۰ (روش PCS) اشاره کرد.

۲-۴- انتقال نیروهای بین فولاد و بتن

فرآیند انتقال برش در سقف‌های مرکب فرآیندی پیچیده است. علاوه بر مشخصات مصالح مصرفی، میزان کارایی این سقف‌ها به پارامترهای زیادی از جمله پارامترهای مرتبط با ورق فولادی و تغییرشکل‌های آن وابسته است. از جمله این پارامترها می‌توان به هندسه (ارتفاع، شکل و جهت قرارگیری) و فاصله فرورفتگی‌های ورق فولادی از هم و نیز، میزان انعطاف خارج از صفحه ی مجموعه ی ورق فولادی را

نام برد. همچنین، میزان چسبندگی بین بتن و فولاد به صورت شیمیائی ۳۱ یا اصطکاکی ۳۲ و یا میزان اتصالات مکانیکی برشی ۳۳ نیز باید به طور دقیقی مدل شوند که مدل‌های قابل اعتمادی از آن‌ها موجود نمی‌باشد. علاوه بر این، نحوه ی مهار ورق در گوشه سقف که ممکن است در تکیه‌گاه‌ها و به واسطه کلیدهای برشی ۳۴ یا اعمال تغییر شکل‌های مناسب ۳۵ در ورق تامین شود، از بوجود آمدن لغزش بین بتن و فولاد جلوگیری می‌کند و باعث ایجاد مقاومت دال نسبت به خرابی برشی افقی می‌شود. در برخی موارد، عملکرد مرکب برش-چسبندگی در میانه‌ی دهانه و مهار انتهایی نیز باید مدنظر قرار گیرد (شکل ۲-۵).

پیچیدگی این پدیده و نبود مدل‌های تحلیلی دقیق و قابل استناد، سبب شده است تا اغلب تولیدکنندگان و مصرف کنندگان این نوع سقف‌ها از مجموعه‌ای از جداول کلی که شامل دهانه‌های متداول و ضخامت‌های موجود می‌باشند، کار کنند.

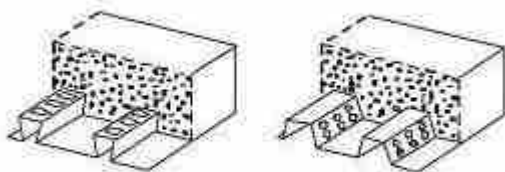
31 chemical bond

32 Friction

33 mechanical interlock

34 shear connectors or steel anchors

35 End anchorage by deformation



(ب) اتصال مکانیکی

(الف) مهار انتهایی



(ت) اتصال اصطکاکی

(پ) مهار انتهایی با تغییر مکان

شکل ۲-۵- انواع اتصال برشی

۲-۵- عملکرد مختلط دال

در یک سقف مختلط مجموعه دال متشکل از مقاطع فولادی، ورق و آرماتورهای تقویتی می‌باشد که پس از گیرش و سخت شدن بتن برای انتقال بار ۳۶ بین اجزای سیستم مقاوم در برابر بارهای ثقلی لرزه‌ای به صورت یک عضو یکپارچه عمل می‌کنند.

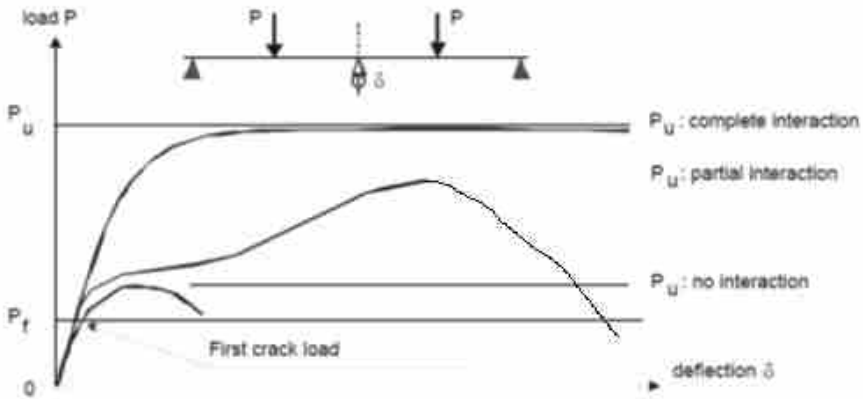
ورق فولاد باید توانایی انتقال برش افقی بین فولاد و بتن را داشته باشد. تغییر مکان‌های خمشی و تنش‌های برشی در مقطع تحت تاثیر بارهای وارده ایجاد می‌شود. در صورتیکه انتقال برش بین فولاد و بتن به صورت مناسب انجام شود این تغییر مکان‌ها در بتن و فولاد یکسان خواهد بود. اتصالات برشی باعث ایجاد عملکرد یکپارچه بین بتن و فولاد می‌شوند. در صورتیکه بین بتن و فولاد به علت عملکرد ناقص برشگیرها، جابه‌جایی پیش‌آید که اصطلاحاً لغزش نامیده می‌شود و عملکرد یکپارچه حاصل نمی‌شود.

با توجه منحنی بار- تغییر مکان، سه نوع عملکرد دال مختلط را می‌توان انتظار داشت (شکل ۲-۶):

عملکرد کامل مختلط بین فولاد و بتن: در این حالت هیچ لغزشی در سطح مشترک بتن و فولاد مشاهده نمی‌شود. انتقال برش به صورت کامل انجام می‌شود. و در این حالت بار نهایی (P_u) حداکثر مقدار خود را دارد. انتظار می‌رود که سقف مختلط با تسلیم فولاد کششی عرشه و به دنبال آن خرد شدگی بتن فشاری رویه سقف، رفتاری شکل پذیر از خود نشان دهد.

عدم وجود عملکرد مختلط بین بتن و فولاد: لغزش ایجاد شده بین بتن و فولاد کنترل شده نمی‌باشد و انتقال برش نیز صورت نمی‌گیرد. مقدار بار نهایی حداقل مقدار خود را دارد و هیچ‌گونه عملکرد مختلط مشاهده نمی‌شود. در این حالت شکست به صورت ترد خواهد بود.

عملکرد نسبی مختلط بین فولاد و بتن: در این حالت بین بتن و فولاد لغزش ایجاد می‌شود ولی قابل کنترل می‌باشد. نیروی نهایی در این حالت ما بین مقدار حداکثر و حداقل خود (در دو حالت قبلی) می‌باشد. قسمتی از برش ایجاد شده انتقال می‌یابد. در این حالت نیز ابتدا رفتار شکل پذیر و سپس به علت حذف چسبندگی بین ورق عرشه و بتن رویه شکست به صورت ترد خواهد بود.

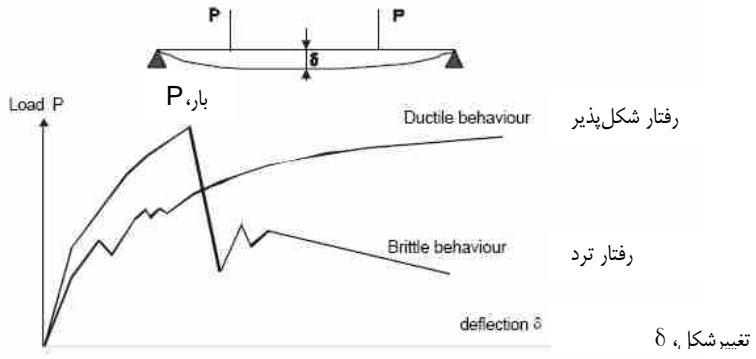


شکل شماره ۲-۶- رفتار دال مرکب عرشه فولادی

۲-۶- حالت‌های شکست دال مرکب

گسیختگی دال مرکب ممکن است (شکل ۲-۷) به حالت ترد باشد که در این صورت، شکست به طور ناگهانی بدون تغییر شکل قابل مشاهده اتفاق می‌افتد. در صورت گسیختگی شکل پذیر، شکست تدریجی همراه با نشانه‌هایی قابل مشاهده با تغییر شکل قابل توجه اتفاق می‌افتد.

نوع گسیختگی شکننده و یا شکل پذیر بستگی به ویژگی‌های سطح مشترک بتن و فولاد دارد. دال با مقطع دوزنقه‌ای مطابق شکل (۲-۲ الف) عمدتاً به صورت ترد گسیخته می‌شود. از طرفی دیگر، دال با مقطع دوزنقه‌ای خاص (کلاهی معکوس با جانهای متمایل به سمت خارج) شکل (۲-۲ ب) تمایل به رفتار شکل‌پذیر در شکست را نشان می‌دهد. برشگیرهای اتصال حالت شکست را تحت تاثیر قرار می‌دهند.



شکل ۲-۷- رابطه بار-تغییر مکان برای حالت‌های شکست مختلف

فصل ۳

معرفی نمونه های تجربی ، تنظیمات آزمایش و ابزار گذاری آزمایشگاهی

۳-۱ مقدمه

از نکات مهم در مورد سقف های عرشه فولادی عملکرد این نوع سقف به عنوان دیافراگم در انتقال بارهای ناشی از زلزله می باشد. در پژوهش حاضر جهت ارزیابی سختی برشی دیافراگم سقف های عرشه فولادی تحت بارهای درون صفحه حاصل از زلزله، آزمونهای برش داخل صفحه پیش بینی شده است. علاوه بر این به منظور ارزیابی رفتار برشی- خمشی سقفها آزمونهای خمش دو نقطه ای نیز انجام خواهد شد.

آزمون خمشی-برشی سقف جهت تعیین مقاومت اسمی سقفها (مقاومت برشی- پیوستگی ورق ها) مطابق استاندارد SDI T-CD-2011 [27] انجام می شود. در این مرحله ۶ نمونه دال سقف به طول ۳ متر با عرشه به ضخامت ۰/۸ میلی متر با ضخامت بتن رویه ۶/۵ سانتی متر در محل آزمایشگاه ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت. علاوه بر این به منظور بررسی اثر تعداد، هندسه و آرایش آج های ورق

عرشه بر روی عملکرد خمشی و برشی سقف مختلط عرشه فولادی و استفاده همزمان از برشگیرهای پیچی و آج‌های ورق عرشه و بررسی اثر آن‌ها در بهبود ظرفیت باربری برشی و شکل پذیری عرشه مختلط نیز ۴ نمونه دال به طول ۳ متر با عرشه به ضخامت ۰/۸ میلی متر ساخته و آزمایشات مربوط انجام شده است. جهت ارزیابی رفتار درون صفحه ای سقف های مرکب عرشه فولادی تحت بارهای توام ثقلی و جانبی رفت و برگشتی مطابق استاندارد [28] AISI S907-13، سه نمونه‌ی آزمایشگاهی کاملاً مشابه از نظر مشخصات هندسی و مکانیکی مصالح ساخته خواهد شد. منظور از مشخصات هندسی، هندسه‌ی ورق عرشه شامل ضخامت ورق، اندازه و گام تکرار دوزنقه‌ها، اندازه‌ی آج‌ها و ضخامت بتن رویه می‌باشد. منظور از مشخصات مکانیکی مصالح تنش حدود تسلیم و نهایی ورق عرشه و کرنش‌های متناظر، همچنین مقاومت فشاری بتن مورد استفاده می‌باشد. نمونه‌ی اول صرفاً تحت بارگذاری رفت و برگشتی درون صفحه‌ای قرار خواهد گرفت. برای نمونه دوم و سوم، در گام نخست بار ثقلی به اندازه‌ی مجموع بارمرده و درصد مشارکت بار زنده هنگام زلزله در یک ساختمان مسکونی متعارف وارد خواهد شد. سپس در حضور بار ثقلی، بار جانبی رفت و برگشتی درون صفحه‌ای (مشابه نمونه‌ی اول) اعمال خواهد شد.

۲-۳- نمونه های تحت بار ثقلی

مطابق جدول ۱-۳، تعداد ده نمونه‌ی مختلف سقف مختلط عرشه فولادی برای یک ورق فولادی عرشه با آرایش و هندسه آج های مشخص یکسان و در نظر گرفتن متغیرهایی نظیر دو نوع عملکرد مختلف رفتاری خمشی و برشی عرشه مختلط که مستلزم بارگذاری عمودی دال با دهانه‌های برشی مختلف می‌باشد، دو نوع رده مختلف مقاومت فشاری مشخصه بتن با $f^c = 13 \text{ MPa}$ و $f^c = 31 \text{ MPa}$ و همچنین دو نوع مختلف ورق عرشه بدون و با استفاده از برش‌گیرهای پیچی از نوع پیچ خودکار، تحت بارگذاری استاتیکی قائم یکنواخت مورد آزمایش قرار می‌گیرند.



لازم به توضیح است بارگذاری و باربرداری به صورت سیکلیک مطابق با پروتکل استاندارد ASTM E-72-15 انجام شده است.

نظر به اینکه در بسیاری از موارد اجرایی در بتن‌ریزی سقف‌های عرشه فولادی، از پمپ بتن و در برخی موارد اسلالمپ بالا جهت بتن‌ریزی در طبقات فوقانی ساختمان‌های بلند مرتبه استفاده می‌شود، گاهی به دلیل طولانی شدن زمان ساخت و حمل نمونه نسبت به زمان بتن‌ریزی به نحو نامناسبی با افزایش آب بتن، کارایی بتن را افزایش و مقاومت فشاری بتن کاهش می‌یابد. لذا سعی شده است تا تعدد با استفاده از بتن فشاری مقاومت پایین نظیر 13MPa عملکرد آن بر روی رفتار خمشی و برشی سقف‌های مختلط عرشه فولادی مورد ارزیابی قرار گیرد.

بر اساس جدول ۱-۳ نمونه SP1 با مقاومت فشاری بتن رویه 13MPa و عملکرد خمشی با دو نمونه کاملاً مشابه و یکسان در دو دسته A,B بدون استفاده از هر گونه برش‌گیر پیچی مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته است. به همین ترتیب نیز نمونه SP2 مشابه نمونه SP1 نیز در دو دسته مشابه A,B و با مقاومت فشاری بتن 13MPa می‌باشد، ولی با این تفاوت که نوع بارگذاری تغییر نموده و عملکرد برشی در نمونه SP2 ارزیابی شده است. نمونه SP3 و SP4 نیز بدون برش‌گیر از نوع پیچی ولی با مقاومت فشاری بتن 31MPa به ترتیب با عملکرد خمشی و برشی طراحی، ساخته و آزمایش گردیده است. تفاوت نمونه های SP5 و SP6 با سایر نمونه‌ها در آن است که اولاً از برش‌گیر پیچی از نوع پیچ خودکار مطابق با جزئیاتی که بعداً ارائه خواهد شد، در ورق عرشه و در ناحیه دهانه برشی دال مختلط استفاده شده است و ثانیاً مقاومت فشاری مشخصه بتن این نمونه‌ها نیز 31MPa در نظر گرفته شده است. تفاوت نمونه های SP5 و SP6 با یکدیگر به ترتیب در نوع بارگذاری یا ارزیابی عملکرد برشی و خمشی دال های مختلط است و همان گونه که در جدول ۱-۳ نیز مشاهده می‌شود از هر یک دو نمونه در دسته های A و B به صورت کاملاً مشابه ساخته و برای آزمون در نظر گرفته شده‌اند.

جدول ۳-۱- مشخصات نمونه‌های مورد آزمایش

| بدون برش‌گیر | با برش- گیر | مکانیزم رفتاری | | مقاومت- فشاری بتن f_c (MPa) | تیپ‌بندی دال مختلط عرشه فولادی | ردیف |
|-----------------|----------------|----------------|------|-------------------------------------|--------------------------------------|------|
| | | برشی | خمشی | | | |
| ■ | | | ■ | 13 | SP1-A | ۱ |
| ■ | | | ■ | 13 | SP1-B | ۲ |
| ■ | | ■ | | 13 | SP2-A | ۳ |
| ■ | | ■ | | 13 | SP2-B | ۴ |
| ■ | | | ■ | 31 | Sp3 | ۵ |
| ■ | | ■ | | 31 | Sp4 | ۶ |
| | ■ | ■ | | 31 | SP5-A | ۷ |
| | ■ | ■ | | 31 | SP5-B | ۸ |
| | ■ | | ■ | 31 | SP6-A | ۹ |
| | ■ | | ■ | 31 | SP6-B | ۱۰ |

۳-۲-۱- ساخت نمونه‌ها

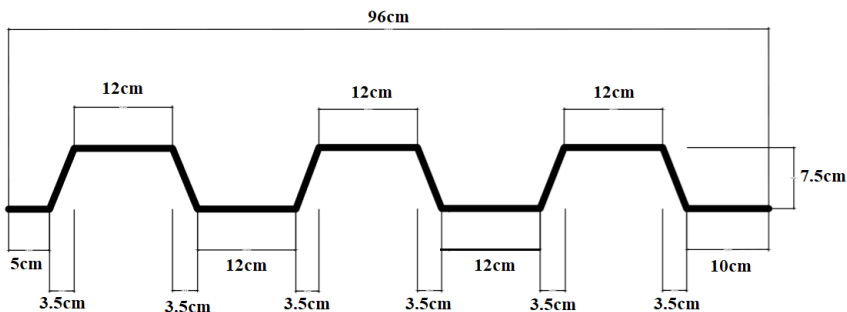
آزمون خمشی- برشی سقف جهت تعیین مقاومت اسمی سقف‌ها (مقاومت برشی- پیوستگی ورق‌ها) مطابق استاندارد SDI T-CD-2011 انجام می‌شود. بدین منظور ۶ نمونه دال سقف مطابق ردیف ۱ الی ۶ جدول ۳-۱ که فاقد هرگونه برش‌گیر پیچی می‌باشند، به طول ۳ متر با عرشه به ضخامت ورق ۰/۸ میلی‌متر و ارتفاع ۷۵ میلی‌متر و اجرای بتن رویه با ضخامت ۶/۵ سانتی‌متر در محل آزمایشگاه ساخته و

مورد آزمایش قرار گرفت. علاوه بر آن به منظور بررسی اثر تعداد، هندسه و آرایش آج‌های ورق عرشه بر روی عملکرد خمشی و برشی سقف مختلط عرشه فولادی و استفاده همزمان از برش‌گیرهای پیچی و آج‌های ورق عرشه و بررسی اثر آن‌ها در بهبود ظرفیت باربری برشی و شکل‌پذیری عرشه مختلط نیز ۴ نمونه دال مطابق ردیف ۷ الی ۱۰ جدول ۳-۱ به طول ۳ متر با عرشه به مشخصات ورق عرشه مشابه ساخته و آزمایشات مربوط انجام شده است.

همان‌گونه که قبلاً نیز ذکر شد در مجموع ۱۰ نمونه دال مطابق مشخصات جدول ۳-۱ ساخته شده است. تمامی دال‌ها دارای طول ۳۰۰ سانتی‌متر، عرض ۹۶ سانتی‌متر و ضخامت کل ۱۴ سانتی‌متر (با در نظر گرفتن بتن رویه) می‌باشند.

۳-۲-۲- مشخصات عرشه‌های مورد استفاده

مشخصات هندسی کلیه عرشه‌های به کار رفته در نمونه دال‌های ساخته شده که از جنس ورق گالوانیزه می‌باشند مطابق شکل ۳-۱ می‌باشد:



شکل ۳-۱- مشخصات هندسه عرشه فولادی

آرایش آج‌های عرشه فولادی مطابق شکل ۳-۲ می‌باشد. درکف دوزنقه‌های ورق عرشه ۲ شیار طولی وجود دارد، یعنی در حقیقت ۲ نوار برجسته (که مقدار برجستگی آن ۰/۸ میلی‌متر است) اما در سطح برجسته ورق عرشه یک شیار طولی در مرکز سطح وجود دارد و در طرفین آن، برجستگی‌های کوچک منقطع به طول ۴ سانتی‌متر و عمق ۰/۸ میلی‌متر و عرض ۲ سانتی‌متر وجود دارد. لازم به ذکر است که در طول

۳۰۰ سانتی‌متر ورق عرشه فولادی به تعداد ۱۱۲ عدد از این برجستگی‌های عرضی وجود دارد.



شکل ۳-۲- آرایش آج‌های در عرشه

تعداد ۱۰ نمونه دال در طی مرحله ساخته و بتن‌ریزی شدند. ارتفاع نهایی دال مختلط پس از بتن‌ریزی ۱۴ سانتی‌متر می‌باشد (شکل ۳-۵). مقادیر ارتفاع‌های موجود در دال به شرح زیر می‌باشد: بیشترین ارتفاع دال بتن (از کف فرورفتگی تا سطح فوقانی بتن) برابر با ۱۴ سانتی‌متر می‌باشد.

ارتفاع از کف فرورفتگی تا مرکز میلگرد حرارتی بتن برابر با ۱۱/۵ سانتی‌متر است. ارتفاع از کف برجستگی تا مرکز میلگرد حرارتی بتن بین ۳ تا ۳/۵ سانتی‌متر است. در هر مرحله بتن‌ریزی تعداد ۳ نمونه استوانه‌ای استاندارد با قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر آماده شد و پس از ۲۸ روز عمل‌آوری در حوضچه آب مقدار مقاومت فشاری بتن تعیین و مورد استفاده قرار گرفت.

بتن‌ریزی کلیه نمونه‌ها در محل آزمایشگاه سازه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی انجام شد. در هر مرحله ابتدا قطعات عرشه تمیز و سپس شبکه



میلگردهای حرارتی داخل آن قرار گرفت. قالب‌بندی انجام و در مرحله بعد بتن-ریزی انجام شد.

فاصله اولین میلگرد طولی از کناره دال تقریباً ۳ الی ۴ سانتی‌متر و فاصله اولین میلگرد عرضی از کناره دال تقریباً ۷ سانتی‌متر است.

فاصله میلگردهای طولی مورد استفاده در نمونه‌های دال از یکدیگر در حدود ۱۷/۷ سانتی‌متر و تعداد آنها ۶ عدد است. همچنین فاصله میلگردهای عرضی مورد استفاده از یکدیگر در حدود ۲۰ سانتی‌متر بوده که تعداد آنها ۱۵ عدد می‌باشد.

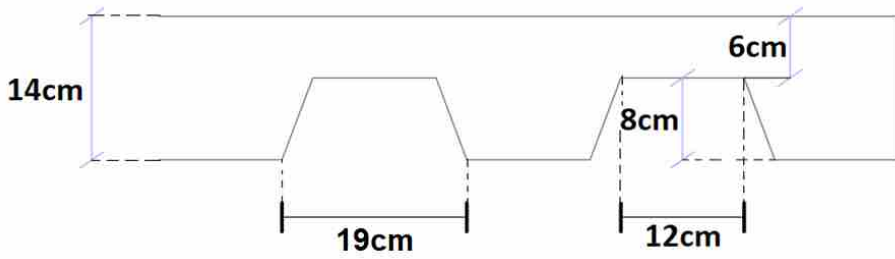
۳-۲-۳- جزئیات نمونه‌ها دارای برش‌گیرهای پیچی از نوع پیچ خودکار

همان‌طور که قبلاً به‌طور مختصر به آن اشاره شد، نمونه‌های مورد بررسی SP5 و SP6 از نظر مکانیزم ساختاری، تفاوت‌هایی با نمونه‌های SP1 تا SP4 دارند. از جمله آن که در این نمونه‌ها، جهت افزایش ظرفیت باربری و شکل‌پذیری در عملکردهای خمشی و برشی، به برش‌گیرهای پیچی از نوع پیچ خودکار مجهز شدند. در ادامه به معرفی ساختاری این نمونه‌ها پرداخته خواهد شد.

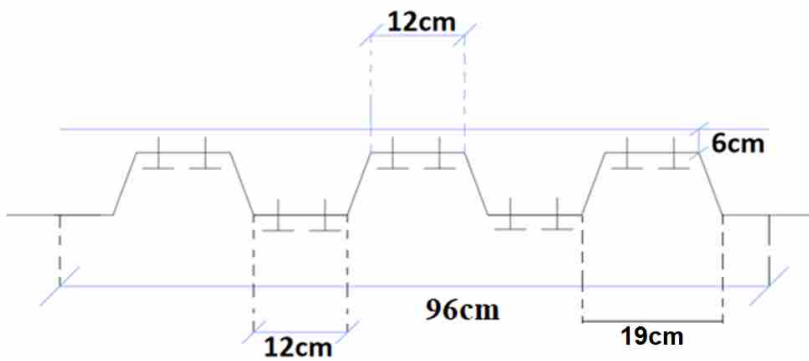
مشخصات کلی این نمونه‌ها عیناً مشابه نمونه‌های ساخته شده قبلی پروژه می‌باشد، با این تفاوت که برش‌گیرهای پیچی از نوع پیچ خودکار به ورق عرشه فولادی اضافه شده است. ورق‌های عرشه دوزنقه‌ای در هر عرض ۹۶ سانتی‌متر، دارای ۲ عدد فرورفتگی و ۳ عدد برآمدگی می‌باشد.

فاصله مرکز تا مرکز برش‌گیرهای پیچی مورد استفاده در راستای طولی نمونه‌ها ۱۵ سانتی‌متر و فاصله مرکز برش‌گیرهای کناری از لبه دال ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد (شکل ۳-۸).

طول پیچ‌های خودکار مورد استفاده در کف فرورفتگی‌های ورق (کف دوزنقه) ۵ سانتی‌متر و در کف برجستگی‌های ورق (بالای دوزنقه) ۳ سانتی‌متر می‌باشند.



شکل ۳-۵- ابعاد و اندازه‌های ورق عرشه



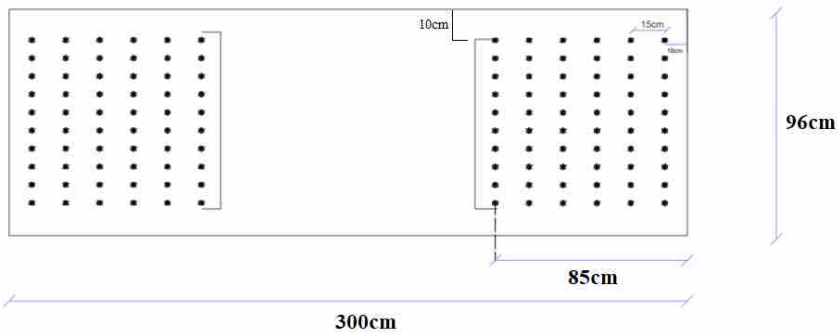
شکل ۳-۶- نمایش اطلاعات مرتبط با ابعاد ورق عرشه و جزئیات نصب برش‌گیرهای پیچی از نوع پیچ خودکار



شکل ۳-۷- استفاده از برش‌گیرهای پیچی و محل دقیق تعبیه آنها در نمونه دال‌ها

در نمونه‌های مربوط به آزمون خمش SP6 در هر برآمدگی ۲ سری پیچ در طول ورق به فواصل ۱۵ سانتی‌متر و در هر طرف آن نصب شده که هر سری شامل ۶ عدد برش‌گیر پیچی می‌باشد (شکل ۳-۸). همچنین در هر فرورفتگی ۲ سری پیچ نیز در طول ورق و در هر سمت آن نصب شده که هر سری شامل ۶ عدد پیچ می‌باشد. لذا تعداد پیچ‌ها در هر برآمدگی و در هر طرف طول ورق برابر $6+6=12$ عدد می‌گردد. ۳ برآمدگی در کل ورق عرشه وجود دارد و مجموعاً ۳۶ عدد برش‌گیر پیچ خودکار در این قسمت مورد استفاده قرار گرفته است.

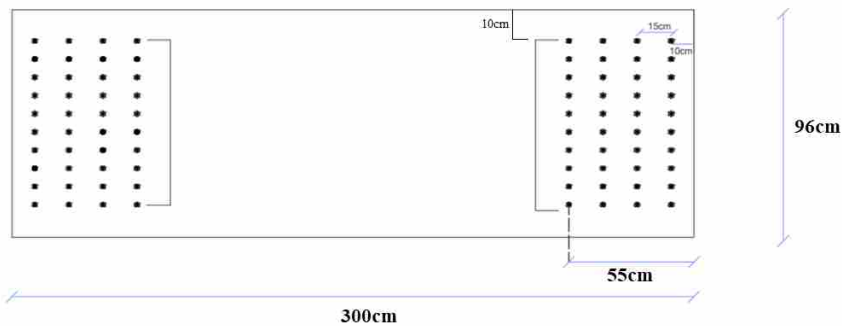
به همین ترتیب در هر فرورفتگی ورق عرشه و در هر طرف طول ورق مجموعاً $6+6=12$ عدد پیچ خودکار تعبیه شده است. ۲ عدد تورفتگی در کل وجود دارد، بنابراین مجموعاً ۲۴ عدد برش‌گیر پیچ خودکار در این قسمت استفاده شده است. بنابراین مجموعاً ۶۰ عدد برش‌گیر پیچ خودکار برای یک طرف ورق عرشه و ۱۲۰ عدد برش‌گیر در کل عرشه تعبیه شده است.



شکل ۳-۸- نمایش برش‌گیرهای پیچی در نمونه مورد آزمایش تحت خمش

در نمونه‌های مربوط به آزمون برش SP5 در هر برآمدگی ۸ عدد در راستای طولی ورق و در هر طرف آن تعبیه شده است (شکل ۳-۹). بنابراین با توجه به ۳ برآمدگی در کل وجود دارد، مجموعاً ۲۴ عدد برش‌گیر در این قسمت و در هر طرف ورق به کار گرفته شده است.

در هر فرورفتگی نیز ۸ عدد پیچ خودکار در راستای طولی مورد استفاده قرار گرفته است که با توجه به ۲ فرورفتگی که در در کل عرض وجود دارد، مجموعاً ۱۶ عدد برش‌گیر در این قسمت و در هر طرف نصب شده است. در نهایت مجموعاً ۴۰ عدد برش‌گیر برای یک طرف دال و ۸۰ عدد برش‌گیر برای کل دال عرشه فولادی پیش‌بینی و مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۳-۹- نمایش برش‌گیرهای پیچی مورد آزمایش تحت برش

۳-۲-۴ تنظیمات آزمایش و ابزارگذاری آنها

در این قسمت، جزییات مربوط به تنظیمات آزمایش (Test setup) و نحوه ابزارگذاری تمام نمونه دال‌های عرشه مختلط فولادی- بتنی ارائه می‌گردد.

۳-۲-۴-۱- سیستم بارگذاری

همان‌گونه که در شکل ۳-۱۰ ملاحظه می‌شود، مجموعه تجهیزات بارگذاری دال‌ها شامل جک هیدرولیکی می‌باشد که وظیفه آن اعمال نیروی عمودی می‌باشد. نیروی عمودی ایجاد شده توسط نیرو سنج ۳۷ در طول آزمایش اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۳-۱۰- تجهیزات مورد استفاده برای آزمایش دال‌ها

با توجه به نوع آزمایش که خمش چهار نقطه‌ای می‌باشد، قطعه‌های زیر برای انجام آزمایش تهیه و مورد استفاده قرار گرفت:

- دو قطعه نیمرخ فولادی IPE 14 به طول ۱ متر و وزن ۱۹/۳ کیلوگرم به عنوان نقاط بارگذاری.

- یک قطعه نیمرخ فولادی IPB 18 به طول ۳ متر به وزن ۱۳۵ کیلوگرم جهت توزیع بار به نقاط بارگذاری.

- دو عدد میله فولادی با قطر ۴۰ میلی‌متر برای ایجاد تکیه‌گاه مفصلی در زیر عرشه مختلط فولادی-بتنی.

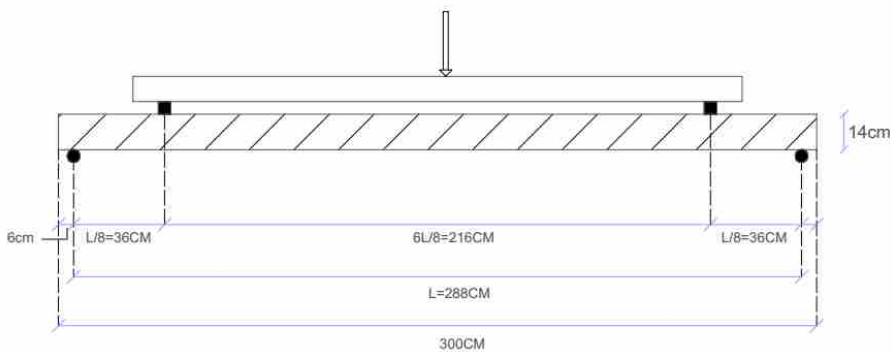
بارگذاری و باربرداری به صورت سیکلیک مطابق با پروتکل استاندارد ASTM E-72-15 انجام شده است به گونه‌ای تا قبل از رسیدن به ظرفیت باربرداری حداکثر، بارگذاری و باربرداری به صورت کنترل نیرو با گام‌های افزایشی ۲/۵ کیلونیوتن در هر گام در شاخه صعودی اعمال گردید و با ثبت تغییر مکان وسط دهانه متناظر با هر میزان نیرو، منحنی شاخه‌ی صعودی بار- تغییر مکان ترسیم شده است؛ سپس و به همین ترتیب برای ترسیم منحنی بار- تغییر مکان در شاخه نزولی یعنی از نقطه بار حداکثر نمونه به بعد، اعمال بارگذاری و باربرداری به روش کنترل جابجایی در

گام‌های افزایشی یکسان ۵ تا ۱۰ میلی‌متر به نمونه اعمال و نیروی متناظر با هر جابجایی ثبت و در نهایت منحنی بار- تغییر مکان قائم وسط دهانه دال در شاخه نزولی رسم گردیده است.

۳-۲-۴-۲ نحوه و موقعیت بارگذاری بر روی نمونه‌ها:

۳-۲-۴-۲-۱ تحت عملکرد برشی:

از مجموع نمونه‌های ساخته شده در طول این پژوهش، ۵ عدد تحت عملکرد برش مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌های SP2-A و SP2-B و SP4 و SP5-A و SP5-B نمونه‌هایی هستند که تحت بارگذاری برشی مورد بررسی قرار گرفتند. در بارگذاری بر روی نمونه‌های تحت عملکرد برشی، محل اثر بار به تکیه‌گاه (دهانه برشی) نزدیک‌تر است (شکل ۳-۱۱).

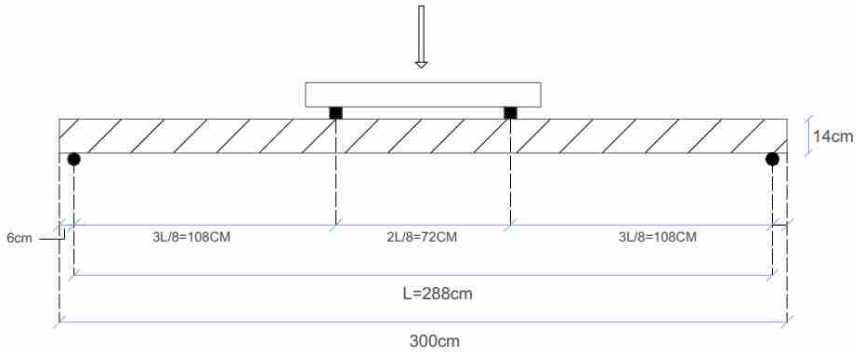


شکل ۳-۱۱- نحوه بارگذاری بر روی نمونه‌های مورد آزمایش تحت برش

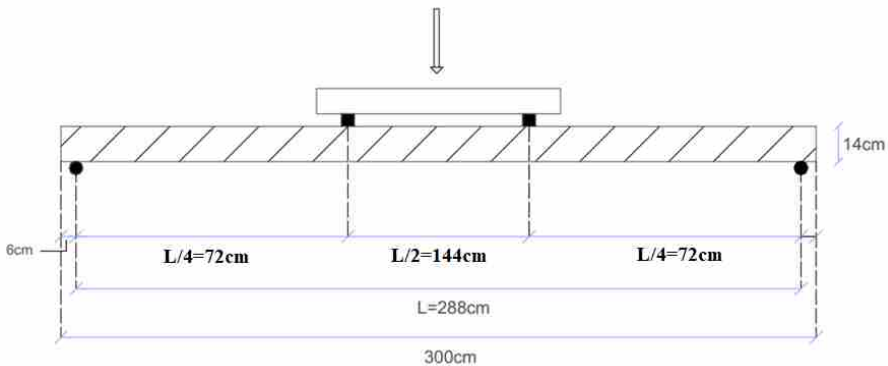
۳-۲-۴-۲-۲ تحت عملکرد خمشی:

از مجموع نمونه‌های ساخته شده در طول این پژوهش، ۵ عدد تحت عملکرد خمشی مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌های SP1-A و SP1-B و SP3 و

SP4-A و SP4-B نمونه‌هایی هستند که تحت اثر بارگذاری و عملکرد خمشی ارزیابی شدند. در بارگذاری بر روی نمونه‌های تحت عملکرد خمشی، محل اثر بار تا تکیه‌گاه (دهانه برشی) دورتر است (شکل ۳-۱۲ و ۳-۱۳).



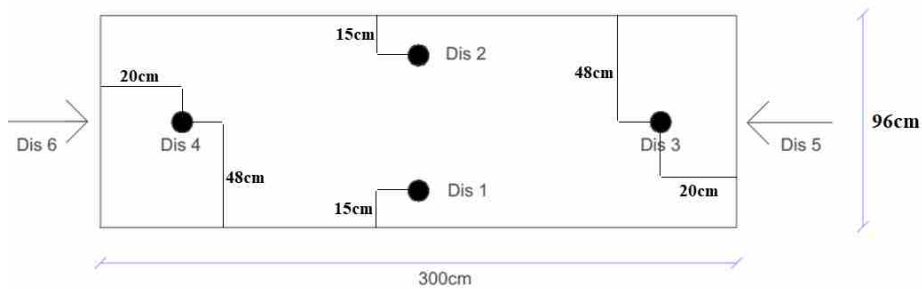
شکل ۳-۱۲- نحوه بارگذاری بر روی نمونه‌های مورد آزمایش تحت خمش SP1-A و SP1-B



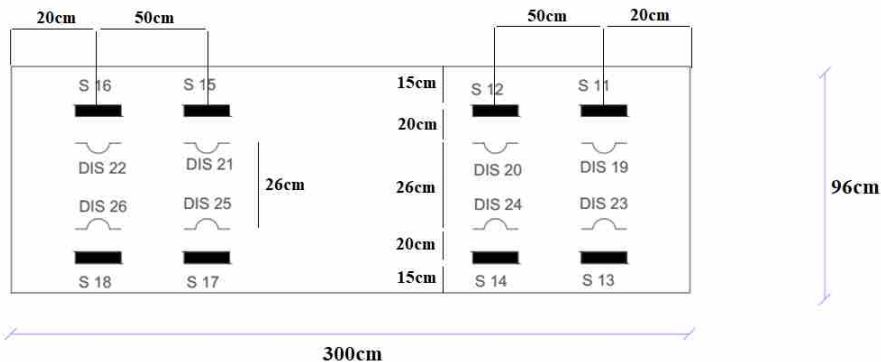
شکل ۳-۱۳- نحوه بارگذاری بر روی نمونه‌های مورد آزمایش تحت خمش SP3 و SP6-A و SP6-B

۳-۲-۵- سیستم اندازه‌گیری:

در شکل ۳-۱۴، جزئیات مربوط به ابزارگذاری جابجایی سنج‌های قائم و افقی نمایش داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، LVDT با علامت Dis1 تا Dis4 مربوط به جابجایی سنج‌های قائم و علائم Dis5 و Dis6 مربوط به جابجایی سنج‌های افقی است.



شکل ۳-۱۴- محل بارگذاری در وسط دال و محل قرارگیری جابجایی‌سنج‌های نصب شده بر روی دال



شکل ۳-۱۶- محل قرارگیری جابجایی‌سنج‌ها و کرنش‌سنج‌ها در زیر دال

شکل ۳-۱۶، ادوات اندازه‌گیری شامل کرنش‌سنج‌های الکتریکی ۳۸ (S11) الی (S18)، تغییر مکان‌سنج‌های U شکل (DIS19 الی DIS26) ملاحظه می‌شود. لازم به ذکر است کرنش‌سنج الکتریکی به منظور اندازه‌گیری تغییرات کرنش در ورق عرشه و اندازه‌گیری کرنش‌های حد تسلیم ورق در صورت لازم، نصب شده‌اند. هم چنین تغییر مکان‌سنج U شکل به منظور اندازه‌گیری میزان لغزش ورق عرشه فولادی و بتن مورد استفاده قرار گرفته است، به گونه‌ای که یک پایه از بدنه این

^{۳۸} Electrical Strain gage

سنسور با چسب‌های مخصوص بر روی ورق عرشه نصب شده و پایه دیگر از آن با پیچ وارد بدنه بتن می‌شود؛ به این ترتیب به‌طور هم‌زمان اثر جابجایی نسبی یا به عبارت دیگر لغزش میان بتن و ورق عرشه بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری می‌شود. کرنش‌سنج‌های الکتریکی مربوط به شرکت TML ژاپن و از نوع YEFLA 5-10 با مقاومت الکتریکی $120 \Omega \pm 0.4$ می‌باشد و بر اساس افزایش و تغییرات مقاومت الکتریکی، مقدار کرنش‌های ورق عرشه فولادی را اندازه‌گیری می‌نماید.



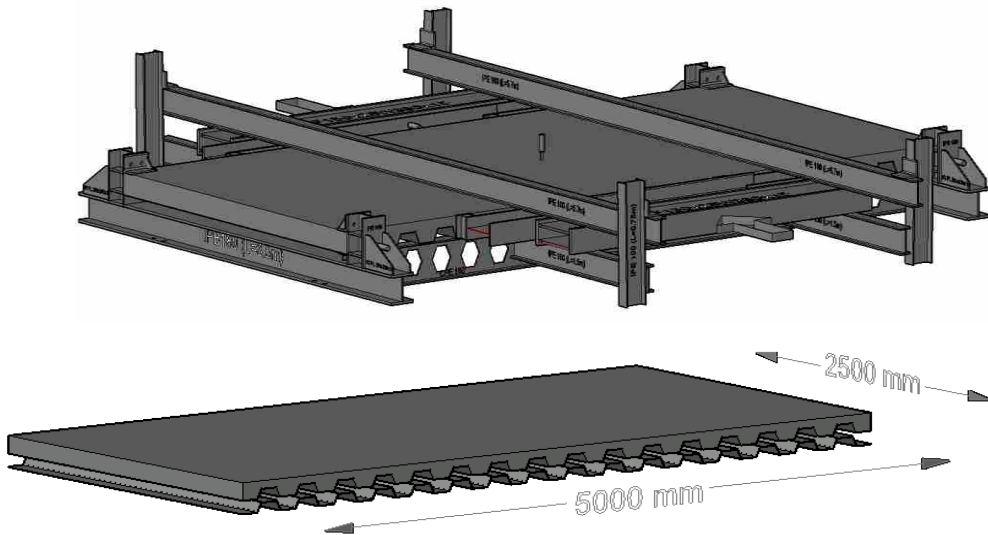
شکل ۳-۱۸- نصب جابجایی‌سنج‌ها با چسب مخصوص و تعبیه رول‌پلاک در داخل بتن جهت نصب یک

پایه از کرنش‌سنج‌های U شکل در زیر نمونه‌ها

۳-۳ نمونه‌ی ارزیابی دیافراگم

۳-۳-۱- جزئیات نمونه‌های مورد آزمایش

نمونه‌های مورد آزمایش شامل سه سقف عرشه فولادی به ابعاد $2/50 \times 5/00$ متر مطابق شکل شماره ۳-۱۹ می‌باشند. ابعاد مذکور بر گرفته از یک نمونه واقعی از سقف عرشه فولادی به ابعاد $5/00 \times 5/00$ متر بوده که دارای یک تیر فرعی در وسط دهانه می‌باشد.



شکل شماره ۳-۱۹ - نمای کلی نمونه‌های مورد آزمایش

عرض هر یک از ورق‌های عرشه حدود ۹۵ سانتی‌متر می‌باشد. لذا برای تامین طول $5/00$ متر با احتساب همپوشانی ورق‌ها، لازم است برای هر نمونه تعداد ۶ عدد ورق کنار هم قرار گیرند. طول هر کدام از ورق‌ها نیز $2/50$ متر است.



۳-۳-۲- بارهای ثقلی و تکیه‌گاه آن‌ها

-وزن سقف‌ها:

تمام نمونه‌ها قبل از اعمال بارگذاری تحت بار ثقلی وزن خود قرار دارند. نکته‌ی قابل توجه این‌که در زمان بتن ریزی ورق عرشه صرفاً نقش قالب برای بتن تازه را ایفا می‌کند. و پس از گیرش بتن نهایتاً مقطع مختلط شکل می‌گیرد. لذا قبل از اعمال بارهای حین آزمایش، قسمت بتنی نمونه تحت اثر وزن خود دارای هیچ نوع تنش نمی‌باشد.

-سربار مرده و بار زنده:

از سه نمونه‌ی مورد بررسی، مورد اول فاقد هرگونه بار ثقلی (به جز وزن خود) بوده و صرفاً تحت اثر بار درون صفحه‌ای قرار خواهد گرفت. در نمونه‌های دوم و سوم قبل از اعمال بار درون صفحه‌ای، بار ثقلی معادل ۶۰۰ کیلوگرم بر متر مربع بصورت ثابت وارد خواهد شد. نحوه‌ی برآورد عدد فوق الذکر برای اعمال بار ثقلی در ادامه آورده شده است.

۳-۳-۳- نحوه‌ی برآورد بار ثقلی وارده:

۲۵۰ کیلوگرم بر مترمربع برای در نظر گرفتن سر بار مرده (کف سازی در بالای نمونه و سقف کاذب در زیر نمونه)

۱۰۰ کیلوگرم بر متر مربع برای در نظر گرفتن بار معادل تیغه بندی

۲۵۰ کیلوگرم بر متر مربع به عنوان بار زنده (بار زنده ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مربع با میزان مشارکت ۵۰٪ هنگام زلزله)

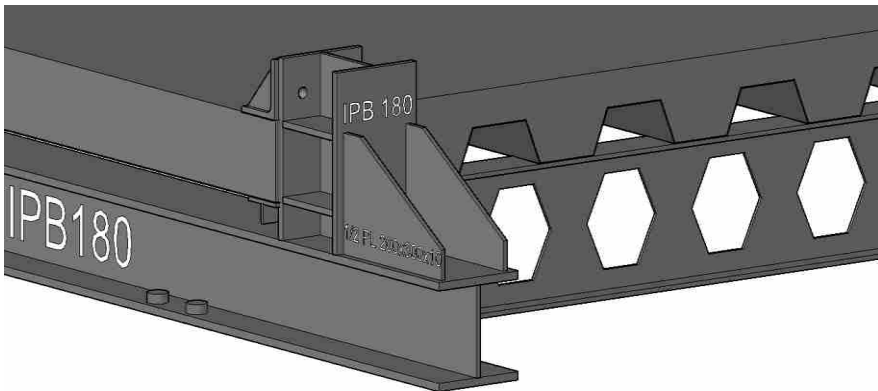
۳-۳-۴- تکیه‌گاه بارهای ثقلی:

برای ایجاد تکیه‌گاه بارهای ثقلی از دو عدد پروفیل CPE160 در طرفین نمونه استفاده شده است. پروفیل‌های مذکور همانطور که در شکل شماره ۲ نیز دیده می‌شوند، محل نشیمنی برای دال بوده و به دلیل باز بودن جان، امکان نصب و کنترل تجهیزات آزمایش و بررسی بیشتر حین آزمایش را فراهم خواهند آورد.

۳-۳-۵- تکیه گاه‌های بار داخل صفحه‌ای و تغییر مکان خارج از صفحه‌ی دال:

برای هر یک از نمونه‌های مورد بررسی لازم است دیافراگم در ۴ نقطه‌ی گوشه‌ای توسط تکیه‌گاه‌هایی که قادر به تحمل نیروی وارده باشند، مقید گردند. طراحی تکیه‌گاه‌ها با توجه به حداکثر نیروی برآورد شده و همچنین شرایط محل انجام آزمایش انجام شده است.

در این طراحی ابتدا دو عدد پروفیل بال پهن IPB180 با طول ۳/۵ متر در دو طرف نمونه (به فاصله ۵ متر از هم) قرار خواهند گرفت. هر پروفیل با ۸ عدد پیچ M24 به کف قوی آزمایشگاه متصل خواهد شد. سپس برای هر سمت، دو عدد پروفیل IPB180 با طول تقریبی ۳۰ سانتی‌متر عمود بر پروفیل مذکور در مرحله قبل اجرا شده و توسط ورق‌های سخت‌کننده مطابق شکل شماره ۳-۲۰ سخت می‌شوند.



شکل شماره ۳-۲۰- تکیه‌گاه‌های بار داخل صفحه‌ای

برای جلوگیری از بلندشدگی احتمالی سقف و همچنین ادوات اعمال بار فشاری درون صفحه‌ای حین بارگذاری، دو عدد پروفیل IPE160 در قسمت میانی و عمود بر محور طولی، بر روی سقف قرار داده شده‌اند. ابعاد ادوات اعمال بار نیز به گونه‌ای طراحی شده‌اند تا بتوانند از مهار مذکور استفاده نمایند.



۳-۳-۶- ابزار گذاری نمونه‌ها :

جهت اندازه گیری مقدار نیروی وارده و تغییر مکان‌های نظیر آن نیرو در هر گام بارگذاری، در محل‌های مشخصی از نمونه‌ی مورد آزمایش، نیرو و تغییر مکان سنج‌هایی نصب خواهد شد. محل و نحوه قرار گیری این ابزارهای اندازه‌گیری برای نمونه‌های شماره ۱ تا ۳ در ادامه تشریح شده است.

ابزار گذاری نمونه شماره ۱:

نمونه‌ی شماره ۱ نمونه‌ای از یک سقف عرشه فولادی به ابعاد ۲/۵ در ۵ متر (بدون تقویت پیچی) بوده که فاقد بارگذاری ثقلی می‌باشد. این نمونه صرفاً تحت بارگذاری رفت و برگشتی داخل صفحه‌ای قرار می‌گیرد. برای اندازه گیری مقدار نیروی وارده و همچنین تغییر مکان‌های نظیر آن نیرو در هر گام بارگذاری، در محل‌های مشخصی از نمونه‌ی مورد آزمایش، نیرو و تغییر مکان سنج‌هایی نصب خواهند شد. محل و نحوه قرار گیری این ابزارهای اندازه‌گیری برای نمونه‌ی شماره ۱ در شکل شماره ۳-۲۱ نشان داده شده است. هدف از قرار دادن هر یک از این ابزار در ادامه شرح داده شده است.

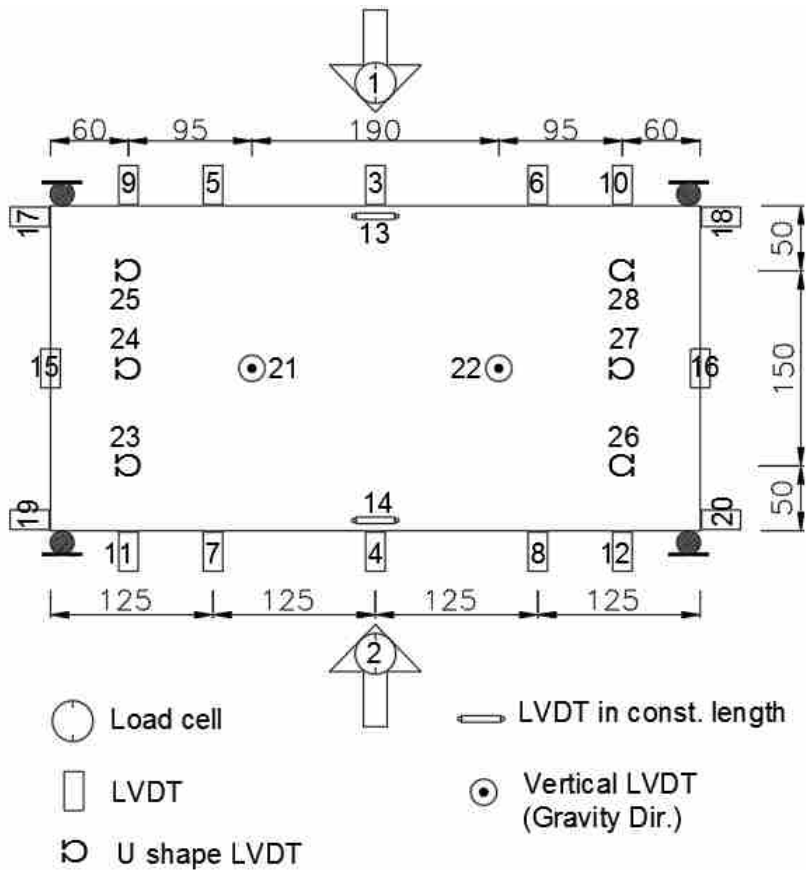
از آنجایی که اعمال بار درون صفحه‌ای این آزمایش بصورت رفت و برگشتی است، دو عدد نیرو سنج در محل اعمال نیروی فشاری در طرفین نمونه تعبیه شده است. این نیرو سنج‌ها با شماره‌های ۱ و ۲ در شکل مشخص شده‌اند.

تغییر مکان سنج‌های شماره‌ی ۳ و ۴ مهم ترین تغییر مکان سنج‌ها بوده که تغییر مکان افقی (در امتداد نیروی داخل صفحه‌ای) را در وسط نمونه گزارش خواهند نمود. از آنجایی که تمامی آزمایشات دارای بارگذاری چرخه‌ای می‌باشند، ابزار گذاری در دو سمت نمونه متقارن خواهد بود.

تغییر مکان سنج‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ در فواصل یک چهارم طول نمونه از لبه نصب خواهند شد و میزان جابجایی نقاط مذکور در راستای اعمال بار را گزارش خواهند کرد. هدف از قرار دادن این تغییر مکان سنج‌ها داشتن اطلاعات بیشتر از تغییر مکان

در طول نمونه است تا مبنایی برای قیاس با اعداد گزارش شده‌ی تغییر مکان سنج-های ۳ و ۴ باشد.

تغییر مکان سنج‌های ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ برای سنجش میزان لغزش بین بتن و ورق عرشه در لبه‌ی نمونه نصب می‌شوند. این تغییر مکان سنج‌ها از نوع معمولی بوده و یک پایه آن‌ها به زیر ورق عرشه ثابت شده و پایه‌ی دیگر به وجه بتن متصل خواهد شد.



شکل شماره ۳-۲۱ - محل قرار گرفتن ابزارهای اندازه‌گیری نیرو و تغییر مکان

تغییر مکان سنج‌های ۱۳ و ۱۴ نقش کرنش سنج را ایفا می‌کنند. این تغییر مکان سنج‌ها در طولی ثابت در وسط لبه‌های کششی و فشاری دیافراگم نصب شده و



میزان جابجایی نسبی در انتهای خود را گزارش خواهند نمود. با تقسیم عدد مذکور بر طول ثابت در نظر گرفته شده میزان کرنش در ناحیه میانی در دسترس خواهد بود. دلیل استفاده از این شیوه برای بدست آوردن کرنش، عملکرد نامطلوب کرنش سنج‌ها در بارگذاری های رفت و برگشتی و گزارش اعداد غیر واقعی می‌باشد.

تغییر مکان سنج‌های شماره ۱۵ و ۱۶ در وسط وجوه کناری (وجوه ۲/۵ متری) و روی بتن قرار خواهند گرفت. هدف از قرار دادن این تغییر مکان سنج‌ها، بدست آوردن تغییر مکان کلی نمونه قبل از درگیری نمونه با تکیه‌گاه (اندازه گیری میزان لقی در محل تکیه‌گاه‌ها) می‌باشد. طبیعتاً سایر تغییر مکان‌هایی که قرائت خواهند شد حاصل تفاضل اعداد گزارش شده توسط تغییر مکان سنج نسبت به تغییر مکان سنج‌های قرار داده شده در این محل خواهند بود. (تغییر مکان نسبی)

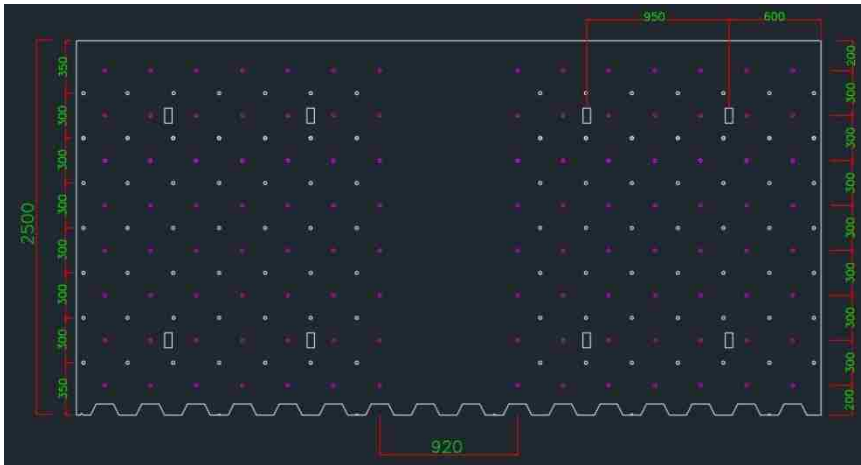
تغییر مکان سنج‌های ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ برای اندازه گیری تغییر مکان جانبی (عمود بر محور اعمال بار درون صفحه‌ای) در چهار گوشه‌ی نمونه قرار خواهند گرفت. تغییر مکان سنج‌های ۲۱ و ۲۲ برای اندازه‌گیری میزان تغییر مکان در جهت عمود بر صفحه‌ی دال می‌باشد. این اعداد در این نمونه برای کنترل میزان بلندشدگی احتمالی در حین اعمال بار در نظر گرفته شده‌اند.

تغییر مکان سنج‌های U شکل ۲۳ تا ۲۸ در زیر نمونه برای اندازه گیری میزان لغزش بین ورق و بتن نصب خواهند شد. یکی از پایه‌های این تغییر مکان سنج روی بتن و دیگری روی ورق عرشه بسته خواهد شد. لذا تغییر مکان گزارش شده از این قسمت بیانگر میزان لغزش بین بتن و ورق خواهد بود.

ابزار گذاری نمونه‌های شماره ۲ و ۳:

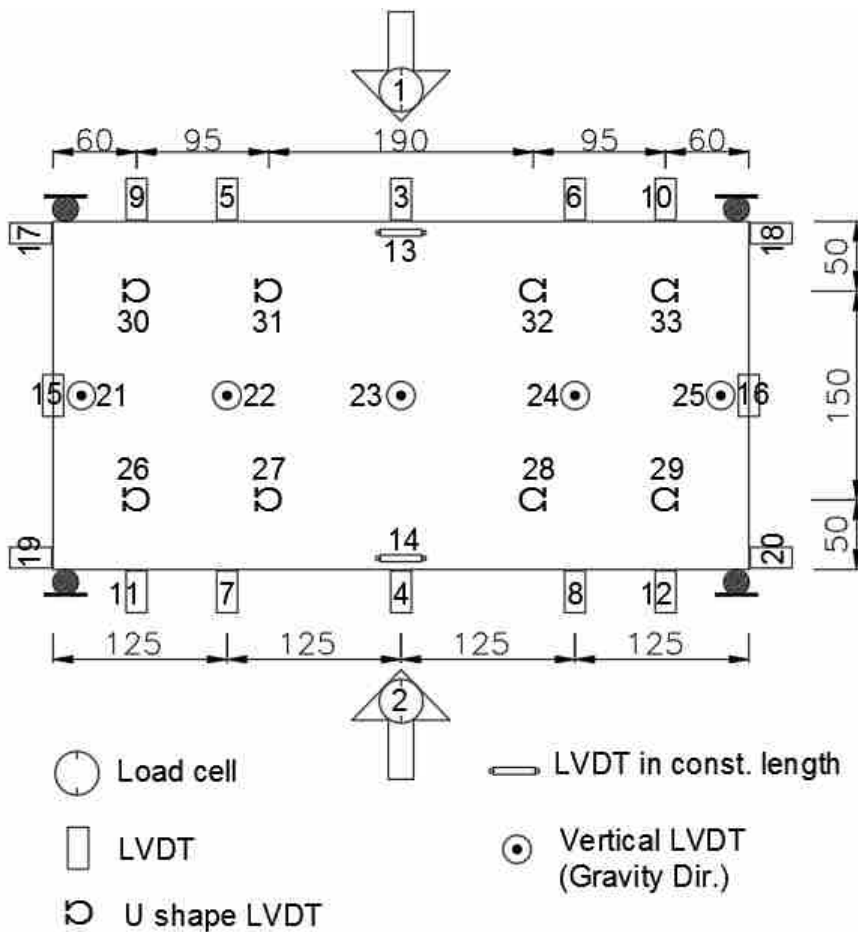
نمونه‌ی شماره ۲ مانند نمونه‌ی شماره ۱، یک سقف عرشه فولادی به ابعاد ۲/۵ در ۵ متر (بدون تقویت پیچی) می‌باشد. با این تفاوت که در زمان آزمایش، ابتدا روی نمونه بار ثقلی به اندازه ۶۰۰ کیلوگرم بر متر مربع وارد خواهد شد و سپس تحت بارگذاری رفت و برگشتی داخل صفحه‌ای قرار خواهد گرفت. در نمونه‌ی سوم از پیچ خودکار برای اتصال بهتر ورق به بتن استفاده شده است به این صورت که این

پیچ‌ها قبل از بتن ریزی با الگوی نشان داده شده در شکل شماره ۳-۲۲ به ورق بسته شده‌اند.



شکل شماره ۳-۲۲ - نحوه چیدمان پیچ‌های خودکار در نمونه شماره ۳

بارگذاری نمونه‌ی شماره ۳ عیناً مشابه نمونه شماره ۲ انجام شده است. جزئیات ابزار گذاری برای نمونه‌های شماره ۲ و ۳ در شکل شماره ۳-۲۳ نشان داده شده است. در این نمونه‌ها نیرو و تغییر مکان سنج‌های شماره ۱ تا ۲۰ با هدفی مشابه آن چه برای نمونه‌ی اول بیان شد، و در همان محل‌ها نصب خواهند شد.



شکل شماره ۳-۲۳- محل قرار گرفتن ابزارهای اندازه‌گیری نیرو و تغییر مکان

در نمونه‌های ۲ و ۳ پنج عدد تغییر مکان سنج قائم روی سطح بتن قرار خواهند گرفت. دلیل قرار دادن این تغییر مکان سنج‌های قائم اندازه‌گیری خیز قائم پس از اعمال بار ثقلی، اندازه‌گیری تغییر مکان در جهت عمود بر صفحه‌ی دال حین بار گذاری درون صفحه‌ای و همچنین کنترل بلند شدگی احتمالی نمونه می‌باشد. این تغییر مکان سنج‌ها با شماره‌های ۲۱ تا ۲۵ در شکل مشخص شده است.

تغییر مکان سنج‌های U شکل ۲۶ تا ۳۳ در زیر نمونه برای اندازه‌گیری میزان لغزش بین ورق و بتن نصب خواهند شد. یکی از پایه‌های این تغییر مکان سنج روی بتن و دیگری روی ورق عرشه بسته خواهند شد. پس تغییر مکان گزارش شونده از این قسمت بیانگر میزان لغزش بین بتن و ورق خواهد بود.

فصل چهارم

آزمایش های جنبی و نتایج آن

۴-۱- مقدمه

به منظور تعیین مشخصات مصالح مصرفی در ساخت نمونه‌ها، تعدادی آزمایش جانبی صورت پذیرفته که نتایج آنها در ادامه‌ی این فصل ارائه می‌گردد. در این راستا مشخصات شیمیایی و مکانیکی ورق‌های مورد استفاده در عرشه فولادی، دانه-بندی مصالح سنگی جهت ساخت بتن، طرح اختلاط و تعیین مقاومت فشاری بتن در این فصل آورده شده است.

۴-۲- مشخصات ورق مصرفی در ساخت نمونه‌ها

در این تحقیق عرشه‌های فولادی که محصول کارخانه تولیدی سابط سازه می‌باشد، استفاده شده است. عرشه فولادی جهت ساخت نمونه‌ها از نوع گالوانیزه با ضخامت ۰/۸ میلی‌متر و ارتفاع ۸۰ میلی‌متر می‌باشد. مشخصات شیمیایی و مکانیکی ورق‌ها به شرح نتایج آزمایشات زیر می‌باشد.

۴-۲-۱- آزمون تعیین ترکیب شیمیایی به روش اسپکترومتری نشری ترکیب شیمیایی (معدل) نمونه آزمایش شده با ضخامت ۰/۸ میلی‌متر بر حسب درصد وزنی عناصر، به شرح جدول ۴-۱ است. استاندارد مرجع آزمون ASTM E415-08 و حداکثر درصد مجاز برای هر عنصر، بر اساس استاندارد مرجع ASTM A 1003 در پراتنز آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان عناصر، ترکیب شیمیایی فولاد مصرفی براساس استاندارد مرجع، مورد تأیید می‌باشد.

جدول ۴-۱- میزان عناصر، ترکیب شیمیایی فولاد مصرفی

| Carbon | Si | Manganese | Phosphorus | Sulfur | Chromium | Nickel | Molybdenum |
|----------------|------------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|---------------|----------------|
| ۰/۰۵ (۰/۲۵) | ۰/۰۱ | ۰/۲۵ (۱/۱۵) | ۰/۰۰۸ (۰/۲) | ۰/۰۰۶ (۰/۰۴) | ۰/۰۰۵ (۰/۱۵) | ۰/۰۲ (۰/۲) | ۰/۰۱ (۰/۰۶) |
| Copper | Vanadium | W | Titanium | Columbium | Al | Sn | Pb |
| ۰/۰۰۶ (۰/۲) | Trace (۰/۰۰۸) | ۰/۰۰۲ | Trace (۰/۰۰۸) | ۰/۰۰۴ (۰/۰۰۸) | ۰/۰۴ | ۰/۰۰۴ | Trace |
| As | Sb | Zr | Nb | Fe | | | |
| Trace | Trace | None | ۰/۰۰۲ | Base | | | |

۴-۲-۲- شناسایی جرم پوشش

براساس الزامات استاندارد به شماره ۲۱۹۷۳ حداقل پوشش گالوانیزه مورد قبول برای ورق‌های مورد استفاده در عرشه‌های فولادی رده Z120 مطابق ویژگی‌های ارائه شده در استاندارد ASTM A653 می‌باشد. این مقدار پوشش برای محیط‌های غیر خورنده و یا اقلیم غیر مرطوب قابل استفاده می‌باشد. برای محیط‌های

خورنده و اقلیم مرطوب باید نظر طراح ساختمان رعایت شود و در هر حال حداقل پوشش نباید از Z180 کمتر در نظر گرفته شود.

براساس استاندارد مرجع آزمون ISIRI 1545-1385، متوسط جرم پوشش برای نمونه‌های تحت آزمون، برابر با ۱۲۷ گرم بر مترمربع تعیین شده است که با توجه به الزامات بالا از مقدار حداقل ۱۲۰ گرم در مترمربع (Z120) بیشتر و در محدوده قابل قبول می‌باشد.

۴-۲-۳- ضخامت پوشش

با تعریف استانداردهای ASTM E3-11، ASTM E883-11 و ASTM B487-02 به عنوان استانداردهای مرجع به ترتیب برای آماده‌سازی نمونه‌های متالوگرافی، تصاویر میکروسکوپ نوری و اندازه‌گیری ضخامت پوشش فلزی و اکسیدی، ضخامت لایه پوشش فلزی در یک طرف، بین ۹ تا ۱۰ میکرون و در طرف دیگر، ۹ میکرون گزارش شده است.

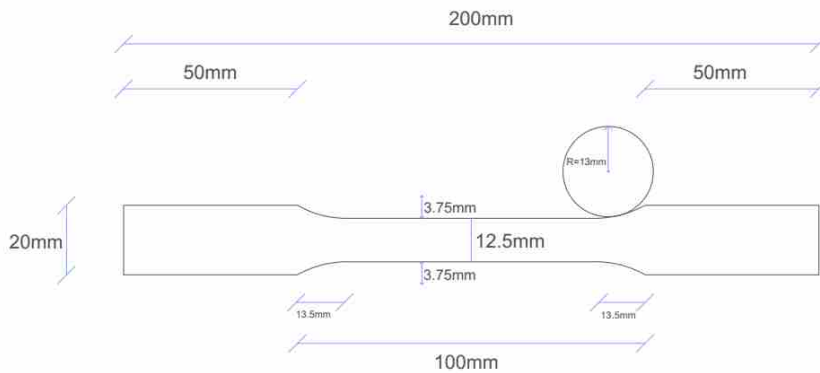
۴-۲-۴- آزمون کشش در دمای محیط

براساس استاندارد مرجع BS EN ISO 6892-1 (2009) آزمون کشش بر روی نمونه آماده‌سازی شده از فولاد مصرفی انجام شده است (شکل ۴-۱). براساس نتایج حاصله و نیز نمودار تهیه شده، برای نمونه با ضخامت ۰/۸ میلی‌متر، مشخصات فولاد مصرفی به شرح جدول ۴-۲ می‌باشد.

جدول ۴-۲- نتایج آزمون کشش نمونه‌های تهیه شده از ورق عرشه فولادی

| معدل تنش تسلیم (مگاپاسکال) | معدل تنش نهایی (مگاپاسکال) | معدل ازدیاد طول نسبی (روی ۵۰ میلی متر) |
|----------------------------|----------------------------|--|
| ۲۴۵ | ۳۳۰ | ۰/۳۵ |

بر اساس موارد مندرج در رعایت مشخصات فولادهای بکار برده شده بر اساس استاندارد ASTM A653 با حداقل تنش تسلیم مشخصه (FY) برابر ۲۳۰ مگا- پاسکال الزامی است. به عنوان ضابطه شکل‌پذیری، هر گاه ازدیاد طول نسبی روی ۵۰ میلی‌متر، ۱۰٪ یا بیشتر اندازه‌گیری شده باشد، حداکثر تنش تسلیم طراحی نباید از حداقل دو مقدار FY و ۳۴۵ مگاپاسکال تجاوز کند. از طرفی دیگر اگر ازدیاد طول نسبی کمتر از ۱۰٪ باشد، حداکثر تنش تسلیم طراحی نباید از حداقل دو مقدار ۰/۷۵FY و ۳۴۵ مگاپاسکال تجاوز کند. بنابراین همان‌گونه که در نتایج جدول ۲-۴ مشهود است، تنش تسلیم ورق فولادی عرشه از مقدار تنش مجاز ۲۳۰ مگاپاسکال بیشتر بوده است و مورد قبول می‌باشد. هم‌چنین مقدار ازدیاد طول نسبی نمونه ۳۵٪ بر روی طول ۵۰ میلی‌متر نتیجه شده است که از مقدار حداقل استاندارد ۱۰٪ بیشتر می‌باشد و موید شکل‌پذیری قابل قبول ورق‌های عرشه است.



شکل ۴-۱- نمونه‌های تهیه شده برای آزمایش تست کششی

۴-۳- دانه بندی مصالح سنگی در ساخت بتن دال

در ساخت نمونه دال از طرح اختلاط به روش حجمی استفاده گردید. جدول ۴-۳ و ۴-۴ بیانگر طرح اختلاط نهایی مورد استفاده می‌باشد.

جدول ۴-۳- طرح اختلاط برای بتن با مقاومت فشاری ۱۳ مگاپاسکال

| مقاومت فشاری هدف (MPa) | سیمان (kg/m ³) | شن (kg/m ³) | ماسه (kg/m ³) | آب (kg/m ³) |
|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 13 | 350 | 750 | 1000 | 210 |

جدول ۴-۴- طرح اختلاط برای بتن با مقاومت فشاری ۳۰ مگاپاسکال

| مقاومت فشاری هدف (MPa) | سیمان (kg/m ³) | شن (kg/m ³) | ماسه (kg/m ³) | آب (kg/m ³) |
|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 30 | 375 | 800 | 950 | 190 |

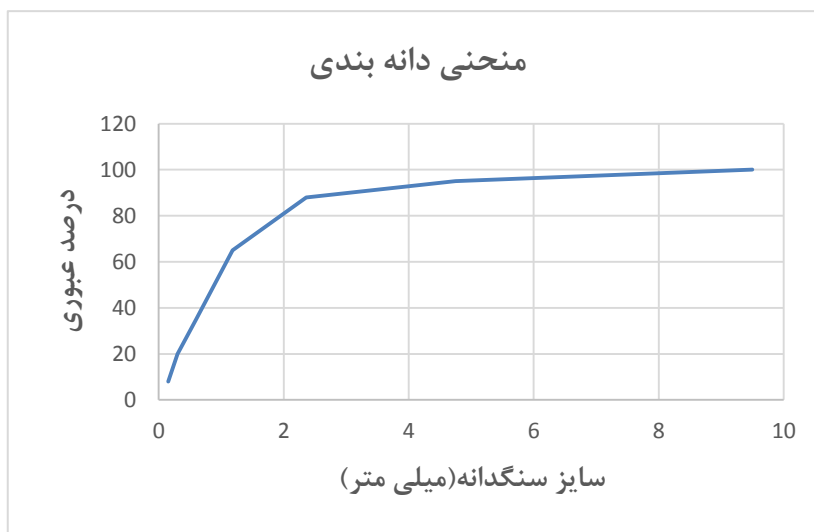
ماسه مصرفی از نوع شکسته می‌باشد که ابعاد آن در بازه ۰-۵ میلی‌متر قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه وجود گرد و غبار زیاد در ماسه باعث ضعف در بتن می‌گردد، لذا می‌بایست تمامی ماسه مصرفی قبل از استفاده شسته شود تا آلودگی آن از بین برود. نتایج دانه‌بندی ماسه مصرفی در مقایسه با استاندارد ASTM C133 ارایه شده است. همچنین دانه‌بندی مربوط به ماسه مصرفی در شکل ۴-۲ و جدول ۴-۵ ملاحظه می‌شود. شن مصرفی در تحقیق حاضر از نوع شکسته می‌باشد که ابعاد آن در بازه ۵-۱۹ میلی‌متر قرار می‌گیرد. تمامی شن مصرفی باید قبل از مصرف به طور کامل شست و شو داده شود تا هرگونه آلودگی آن از بین برود. وجود مقادیر زیاد دانه‌های پولکی و یا سوزنی شکل در سنگ‌دانه‌های مصرفی مطلوب نمی‌باشد، لذا در انتخاب سنگ‌دانه‌ها باید دقت لازم مبذول گردد. در شکل ۴-۳ و جدول ۴-۶ دانه‌بندی شن مصرفی مطابق با استاندارد ASTM C33 ارائه شده است.

جدول ۴-۵- دانه‌بندی ماسه مصرفی

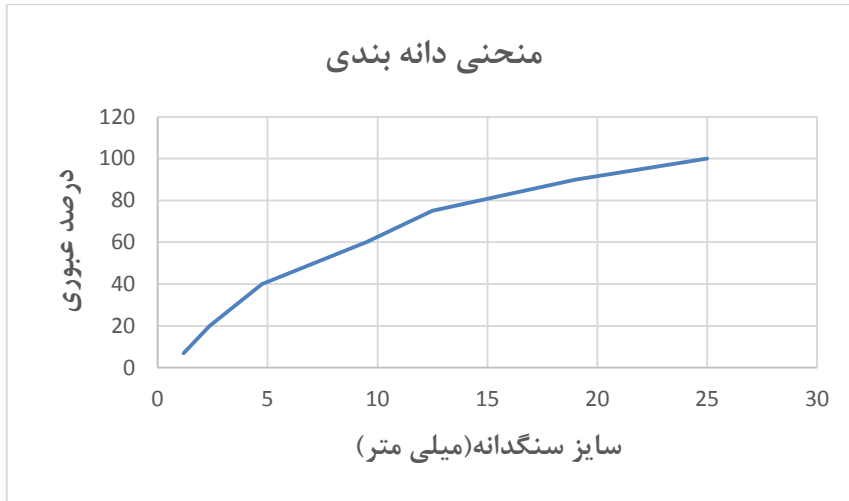
| | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|--------|--------|-----|---|
| ۰/۱۵ | ۰/۳ | ۰/۶ | ۱/۱۸ | ۲/۳۶ | ۴/۷۵ | ۹/۵ | اندازه الک (میلی‌متر) |
| ۳-۱۷ | ۱۰-۳۴ | ۲۸-۶۵ | ۵۳-۸۷ | ۸۲-۱۰۰ | ۹۷-۱۰۰ | ۱۰۰ | محدوده‌ی مجاز درصد عبوری مطابق با ASTM 33 |
| ۸ | ۲۰ | ۳۵ | ۶۵ | ۸۸ | ۹۵ | ۱۰۰ | درصد عبوری از الک |

جدول ۴-۶- دانه‌بندی شن مصرفی

| | | | | | | | |
|------|------|-------|--------|------|----|-----|---|
| ۱/۱۸ | ۲/۳۶ | ۴/۷۵ | ۹/۵ | ۱۲/۵ | ۱۹ | ۲۵ | اندازه الک (میلی‌متر) |
| ۰-۵ | ۰-۱۰ | ۱۰-۳۰ | ۸۵-۱۰۰ | ۱۰۰ | - | - | محدوده‌ی مجاز درصد عبوری مطابق با ASTM 33 |
| ۷ | ۲۰ | ۴۰ | ۷۰-۵۰ | ۷۵ | ۹۰ | ۱۰۰ | درصد عبوری از الک |



شکل ۴-۲- نمودار دانه‌بندی ماسه مصرفی



شکل ۴-۳- نمودار دانه‌بندی شن مصرفی

۴-۴- آزمون مقاومت فشاری نمونه‌های بتن

ساخت نمونه دال‌ها در سه مرحله انجام شده است. در هر مرحله بتن‌ریزی تعداد ۳ نمونه استوانه‌ای با قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر آماده شد و پس از حداقل ۳۱ روز عمل‌آوری در حوضچه آب آماده آزمون تعیین مقاومت فشاری شدند (شکل ۴-۴). نمونه‌های استوانه‌ای ابتدا کلاهک‌گذاری شدند و سپس در دستگاه بتن‌شکن تحت آزمایش فشاری قرار گرفتند. نتایج حاصله در جدول ۴-۷ ارائه شده است.



جدول ۴-۷- نتایج مقاومت فشاری اندازه‌گیری شده

| مقاومت فشاری (MPa) | زمان انجام آزمون پس از نمونه‌برداری (روز) | شماره نمونه‌های استوانه‌ای | تیپ‌بندی دال | مرحله بتن ریزی |
|--------------------------|--|-------------------------------|-----------------|-------------------|
| ۱۳ | ۴۳روز | ۱ | SP1-A | اول |
| ۱۳/۵ | ۴۳روز | ۲ | SP1-B SP2-A | |
| ۱۴/۳ | ۴۳روز | ۳ | SP2-B | |
| ۳۶ | ۱۱۱روز | ۱ | SP3 SP4 | |
| ۳۷/۵ | ۱۱۱روز | ۲ | | دوم |
| ۲۸/۹ | ۱۱۱روز | ۳ | | |
| ۳۳/۲۵ | ۳۱روز | ۱ | SP5-A SP5-B | |
| ۳۷/۵ | ۳۱روز | ۲ | SP6-A | سوم |
| ۳۰/۹ | ۳۱روز | ۳ | SP6-B | |

۴-۵- مشخصات میلگرد مصرفی در ساخت نمونه‌های دال

در این تحقیق از میلگرد ساده AIII که محصول کارخانه ذوب‌آهن اصفهان می‌باشد استفاده شده است. میلگرد مصرفی جهت ساخت نمونه‌ها با کاربرد حرارتی با قطر ۱۰ میلی‌متر استفاده گردید. مشخصات مکانیکی میلگردها با انجام آزمایش کشش ساده به شرح جدول زیر تعیین گردید.

جدول ۴-۸- مشخصات مکانیکی فولادهای حرارتی

| کرنش نهایی (%) | مدول الاستیسیته (GPa) | تنش نهایی (MPa) | تنش تسلیم (MPa) | قطر میلگرد (mm) |
|-------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0.0018 | 200 | 360 | 240 | 10 |

فصل پنجم

نتایج حاصل از آزمایش‌ها، تجزیه و تحلیل آنها

۱-۵ مقدمه

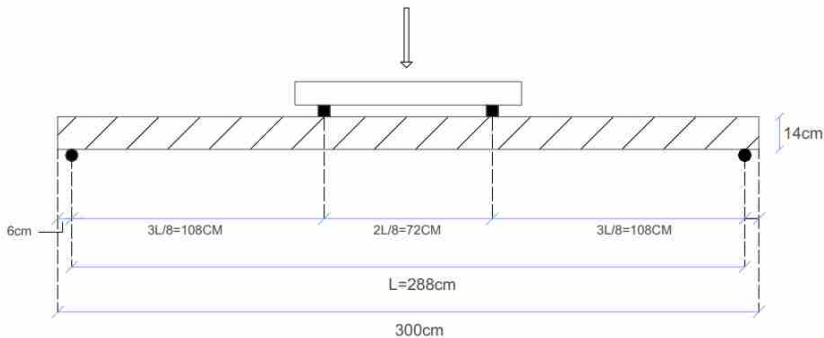
در فصول قبل، مشخصات کامل نمونه دال‌ها مختلط بتنی-عرشه فولادی تشریح گردید و جزئیات مربوط به تنظیمات آزمایش و نحوه ابزارگذاری تمام نمونه‌ها ارائه شد. در این فصل به استخراج نتایج حاصل از آزمایش نمونه‌های مذکور و تجزیه و تحلیل نتایج آنها پرداخته خواهد شد. نتایج در دو قسمت رفتار عرشه‌ها تحت بار ثقلی و و بررسی رفتار دیافراگمی ارائه خواهد شد.

۲-۵- نتایج رفتار عرشه‌ها تحت بار ثقلی

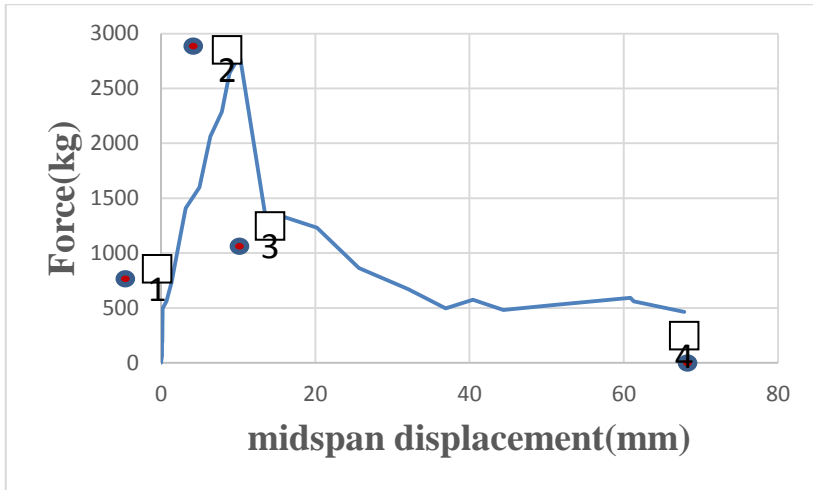
خروجی نتایج شامل مودهای شکست حاکم بر نمونه‌ها، منحنی‌های سیکلیک بارگذاری-باربرداری بر حسب تغییر مکان حداکثر وسط دهانه دال، پوش منحنی بار تغییر مکان وسط دهانه، ارزیابی کرنش‌ها در ورق عرشه و میزان لغزش ورق نسبت به بتن، محاسبه میزان شکل‌پذیری و جذب انرژی در نمونه‌های مختلف و مقایسه نتایج آن‌ها با یکدیگر می‌باشد.

۵-۲-۱- نمونه دال SP1-A

نمونه دال SP1-A جهت بررسی برای عملکرد خمشی در نظر گرفته شده است. لذا محل اثر بار تا تکیه‌گاه (دهانه برشی) بزرگتر ($3L/8$) انتخاب شده است. با شروع بارگذاری مطابق پروتکل عنوان شده در فصل سوم و رسیدن به مقدار بار ۱۱۳۶ کیلوگرم (نقطه ۱) ترک‌های مویی و لغزش میان بتن و عرشه فولادی در دال آغاز می‌شود (شروع لغزش در کرنش سنج‌ها). با رسیدن بار به مقدار ۲۸۰۰ کیلوگرم (نقطه ۲) متناظر با تغییر مکان ۱۰ میلی‌متر در وسط دهانه هم‌زمان با ادامه ترک خوردگی بتن، افت باربری و شکست ترد و ناگهانی ناشی از جداسدگی بتن از ورق عرشه مشاهده می‌شود. در ادامه بارگذاری با افزایش تغییر مکان تا ۱۵ میلی‌متر مجدداً بین بتن و آج‌های عرشه درگیری مشاهده می‌شود و افزایش بار تا ۱۵۰ کیلوگرم (نقطه ۳) مشاهده می‌شود. در نهایت با افزایش تغییر مکان تا ۶۸ میلی‌متر (نقطه ۴) و جداسدگی کامل ورق عرشه فولادی بتن غیرمسلح تحت بارگذاری دچار شکست کامل شده است.



شکل ۵-۱- محل اعمال بار بر روی نمونه SP1-A

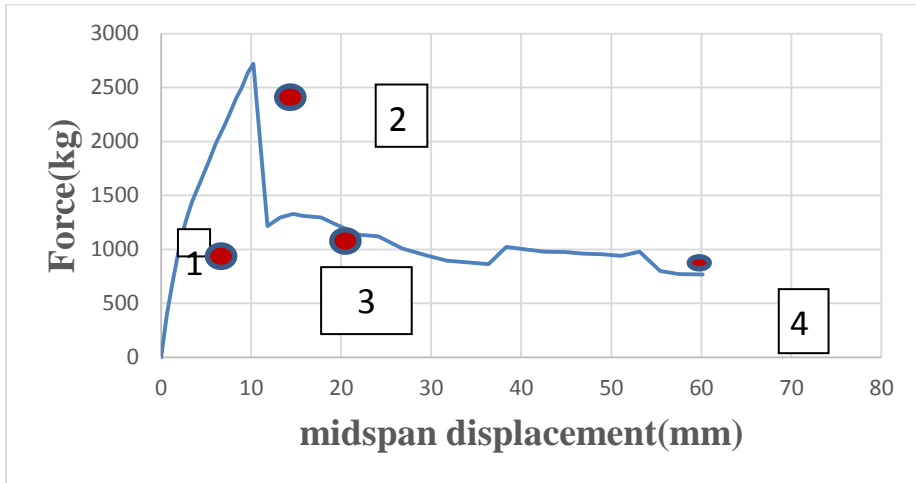


شکل ۲-۵- نمودار نیرو- تغییر مکان قائم در وسط دهانه- نمونه SP1-A

۲-۲-۵- نمونه دال SP1-B

نمونه SP1-B نیز جهت بررسی برای عملکرد خمشی در نظر گرفته شده است. تمامی مشخصات نمونه و نحوه اعمال بار مشابه نمونه SP1-A می‌باشد. این نمونه نیز در بار در حدود ۲۷۲۰ کیلوگرم متناظر با میزان ۱۰ میلی‌متر تغییر مکان وسط دهانه دال با شکست ترد مواجه شده است.

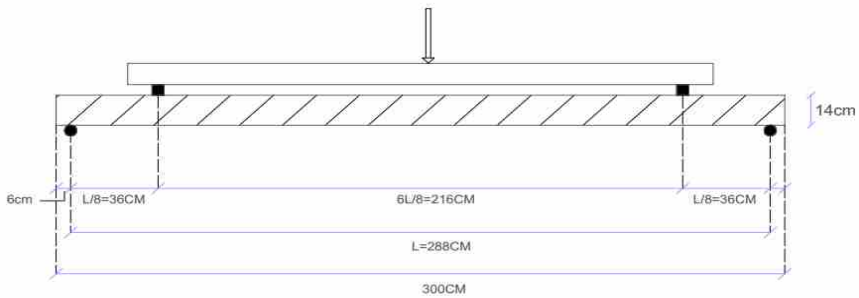
با شروع بارگذاری مطابق پروتکل عنوان شده در فصل سوم و رسیدن به مقدار بار ۱۰۵۶ کیلوگرم (نقطه ۱) ترک‌های مویی و لغزش میان بتن و عرشه فولادی در دال آغاز می‌شود (شروع لغزش در کرنش سنج‌ها که مقدار ۲/۰۹ میلی‌متر اعلام شده است). با رسیدن بار به مقدار ۲۷۲۰ کیلوگرم (نقطه ۲) متناظر با تغییر مکان ۱۰ میلی‌متر در وسط دهانه هم‌زمان با ادامه ترک خوردگی بتن، افت باربری و شکست ترد و ناگهانی ناشی از جداسدگی بتن از ورق عرشه مشاهده می‌شود. در ادامه بارگذاری با افزایش تغییر مکان تا ۱۳/۲۲ میلی‌متر مجدداً بین بتن و آج‌های عرشه درگیری مشاهده می‌شود و افزایش بار تا ۱۱۲ کیلوگرم (نقطه ۳) مشاهده می‌شود. در نهایت با افزایش تغییر مکان تا ۶۳ میلی‌متر (نقطه ۴) و جداسدگی کامل ورق عرشه فولادی بتن غیر مسلح تحت بارگذاری دچار شکست کامل شده است.



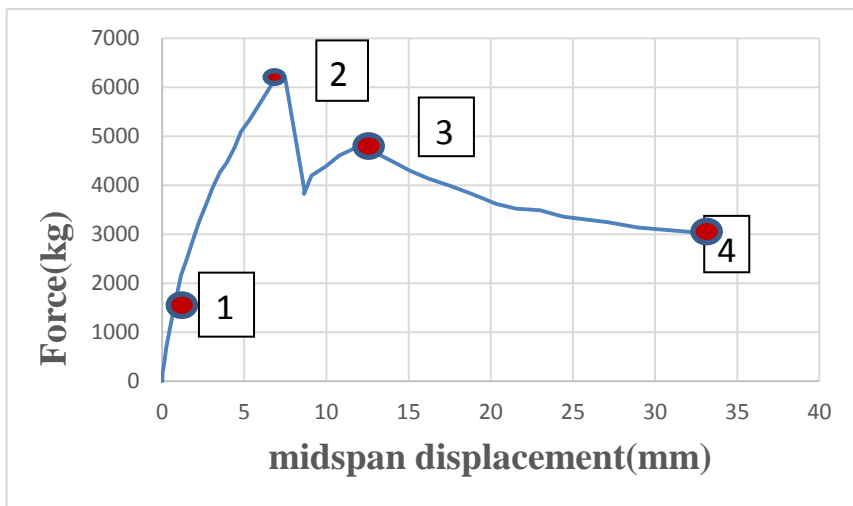
شکل ۳-۵- نمودار نیرو- تغییر مکان قائم در وسط دهانه - نمونه SP1-B

۳-۲-۵- نمونه دال SP2-A

نمونه دال SP2-A جهت بررسی برای عملکرد برشی در نظر گرفته شده است. لذا محل اثر بار تا تکیه‌گاه (دهانه برشی) کوچکتر ($L/8$) انتخاب شده است. با شروع بارگذاری مطابق پروتکل عنوان شده در فصل سوم و رسیدن به مقدار بار ۱۸۷۰ کیلوگرم (نقطه ۱) ترک‌های مویی و لغزش میان بتن و عرشه فولادی در دال آغاز می‌شود با رسیدن بار به مقدار ۶۲۰۰ کیلوگرم (نقطه ۲) متناظر با تغییر مکان ۷ میلی‌متر در وسط دهانه هم‌زمان با ادامه ترک خوردگی بتن، افت باربری و شکست ترد و ناگهانی ناشی از جداسدگی بتن از ورق عرشه مشاهده می‌شود در ادامه بارگذاری با افزایش تغییر مکان مجدداً بین بتن و آج‌های عرشه درگیری مشاهده می‌شود و افزایشی بار تا ۹۵۰ کیلوگرم (نقطه ۳) مشاهده می‌شود اما مجدداً تنها با افزایش تغییر مکان تا ۳۲ میلی‌متر (نقطه ۴) و جداسدگی کامل ورق عرشه فولادی از بتن دچار انهدام کامل شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود مقاومت باربری دال‌ها در عملکرد برشی دال‌ها بیشتر از نمونه‌ها با رفتار خمشی می‌باشد.



شکل ۵-۴- محل اعمال بار بر روی نمونه SP2-A



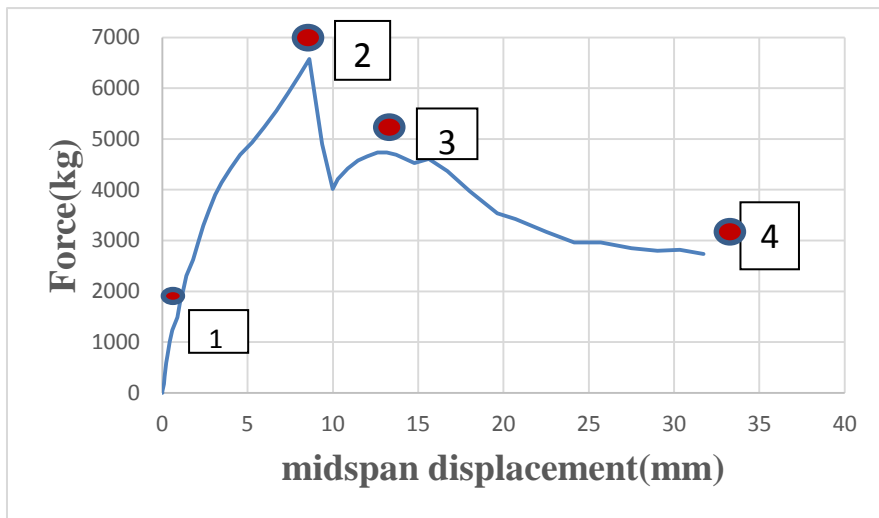
شکل ۵-۵- نمودار نیرو- تغییر مکان- نمونه SP2-A

۵-۲-۴- نمونه دال SP2-B

نمونه SP2-B نیز جهت بررسی برای عملکرد برشی در نظر گرفته شده است. تمامی مشخصات نمونه و نحوه اعمال بار مشابه نمونه SP2-A می‌باشد. این نمونه نیز در بار در حدود ۶۵۰۰ کیلوگرم متناظر با میزان ۲۵ میلی‌متر تغییر مکان وسط دهانه دال با شکست ترد مواجه شده است.

با شروع بارگذاری مطابق پروتکل عنوان شده در فصل سوم و و رسیدن به مقدار بار حدود ۲۰۰۰ کیلوگرم (نقطه ۱) ترک‌های مویی و لغزش میان بتن و عرشه فولادی در

دال آغاز می‌شود. با رسیدن بار به مقدار ۶۵۷۶ کیلوگرم (نقطه ۲) متناظر با تغییر مکان ۸ میلی‌متر در وسط دهانه هم‌زمان با ادامه ترک خوردگی بتن، افت باربری و شکست ترد و ناگهانی ناشی از جداشدگی بتن از ورق عرشه مشاهده می‌شود. در ادامه بارگذاری با افزایش تغییر مکان، مجدداً بین بتن و آج‌های عرشه درگیری مشاهده شده و افزایش بار تا ۷۴۰ کیلوگرم (نقطه ۳) مشاهده می‌شود اما مجدداً تنها با افزایش تغییر مکان تا ۳۲ میلی‌متر (نقطه ۴) و جداشدگی کامل ورق عرشه فولادی از بتن دچار انهدام کامل شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود مقاومت باربری دال‌ها در عملکرد برشی دال‌ها بیشتر از نمونه‌ها با رفتار خمشی می‌باشد.



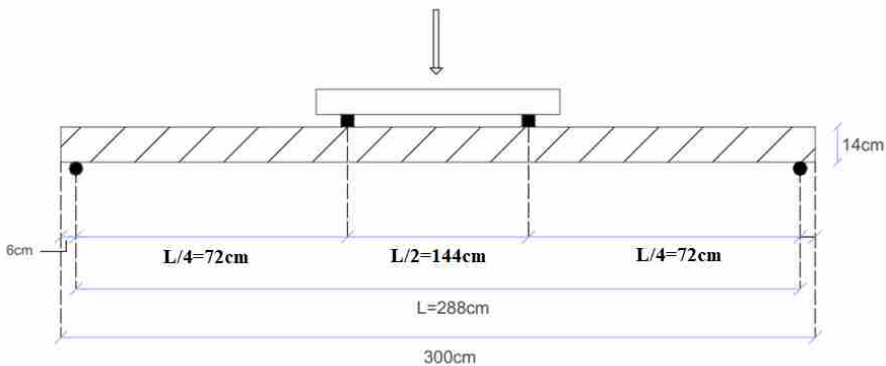
شکل ۵-۶- نمودار نیرو- تغییر مکان- نمونه SP2-B

۵-۲-۵- نمونه دال SP3

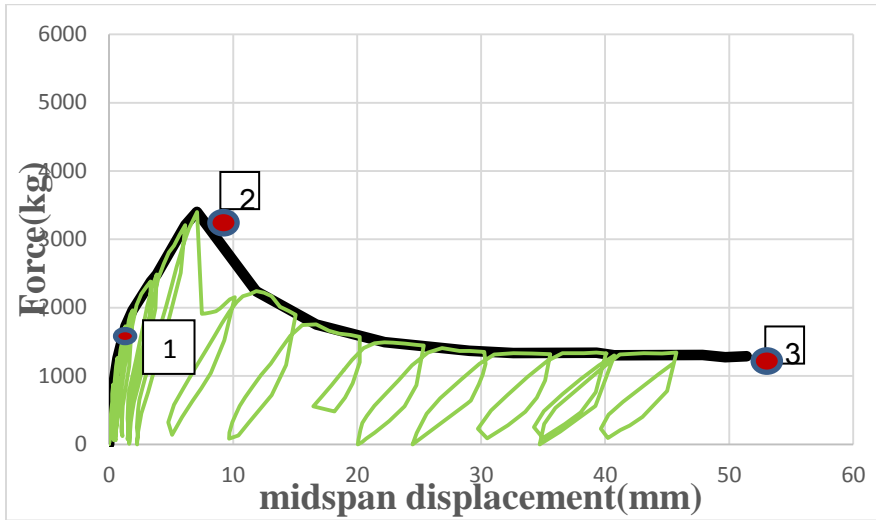
نمونه دال SP3 نیز جهت بررسی برای عملکرد خمشی در نظر گرفته شده است. محل اثر بار تا تکیه‌گاه (دهانه برشی) ($L/4$) انتخاب شده است. همان‌طور که در فصل سوم به صورت کامل توضیح داده شد تفاوت این نمونه دال با نمونه‌های خمشی SP1-A و SP1-B در مقدار مقاومت فشاری بتن رویه دال می‌باشد. در این نمونه مقاومت فشاری بتن تا 31MPa افزایش پیدا کرده است. با شروع



بارگذاری و رسیدن به مقدار بار ۱۵۷۰ کیلوگرم ترک‌های مویی و لغزش میان بتن و عرشه فولادی در دال آغاز می‌شود (نقطه ۱). با رسیدن بار به مقدار ۳۴۰۰ کیلوگرم متناظر با تغییر مکان ۸ میلی‌متر در وسط دهانه هم‌زمان با ادامه ترک خوردگی بتن، افت باربری و شکست ترد و ناگهانی ناشی از جدایش بتن از ورق عرشه مشاهده می‌گردد (نقطه ۲). کلیه مشخصات نمونه و اعمال بار در نمونه‌های خمشی SP1-A و SP1-B و SP3 مشابه می‌باشد. تنها تفاوت در مقدار مقاومت فشاری بتن است که از مقدار 13MPa به 31MPa تغییر پیدا کرده است. در نتایج نیز افزایش میزان باربری دال از مقدار ۲۸۰۰ کیلوگرم به ۳۴۰۰ کیلوگرم را مشاهده می‌کنیم. مجدداً تنها با افزایش تغییر مکان تا ۵۲ میلی‌متر (نقطه ۳) و جدایش کامل ورق عرشه فولادی از بتن، انهدام کامل صورت گرفته است.



شکل شماره ۵-۷- محل اعمال بار بر روی نمونه SP3

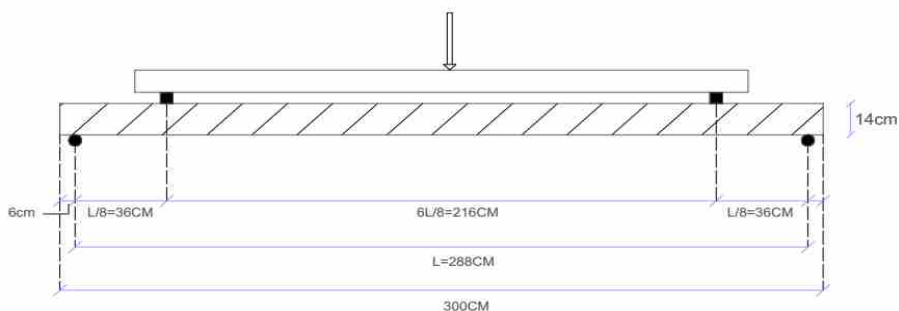


شکل ۵-۸- نمودار نیرو- تغییر مکان- نمونه SP3

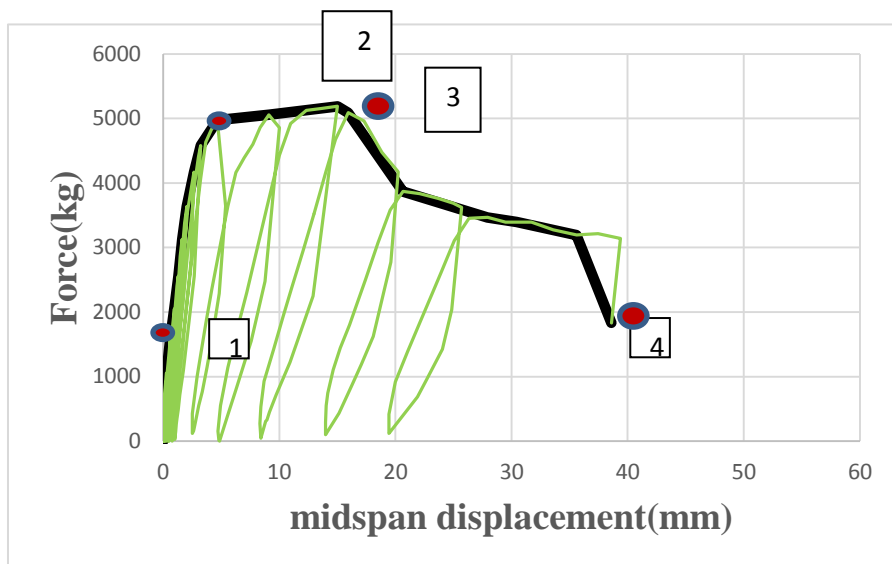
۵-۲-۶- نمونه دال SP4

نمونه دال SP4 نیز جهت بررسی برای عملکرد برشی در نظر گرفته شده است. محل اثر بار تا تکیه‌گاه (دهانه برشی) ($L/8$) انتخاب شده است. همان‌طور که در فصل سوم به صورت کامل توضیح داده شد، تفاوت این نمونه دال با نمونه‌های برشی SP2-A و SP2-B در مقدار مقاومت فشاری بتن رویه دال می‌باشد. در این نمونه مقاومت فشاری بتن تا 31MPa افزایش پیدا کرده است. با شروع بارگذاری و رسیدن به مقدار بار 1800 کیلوگرم ترک‌های مویی و لغزش میان بتن و عرشه فولادی در دال آغاز می‌گردد (نقطه ۱). با رسیدن بار به مقدار 5000 کیلوگرم متناظر با تغییر مکان 5 میلی‌متر در وسط دهانه هم‌زمان با ادامه ترک خوردگی بتن، جدایش بتن از ورق عرشه مشاهده می‌شود (نقطه ۲). با ادامه بارگذاری و افزایش تغییر مکان تا 15 میلی‌متر در بار 5300 کیلوگرم و افزایش جدایش بتن و عرشه، بتن شکست خورده و دال با افت باربری مواجه می‌گردد (نقطه ۳). مجدداً تنها با افزایش تغییر مکان تا 38 میلی‌متر (نقطه ۴) و جدایش کامل ورق عرشه فولادی از بتن، انهدام کامل صورت گرفته است.

لازم به ذکر است کلیه مشخصات نمونه و اعمال بار در نمونه‌های خمشی SP2- A و SP2-B و SP4 مشابه می‌باشد. تنها تفاوت در مقدار مقاومت فشاری بتن است که از مقدار 13MPa به 31MPa تغییر پیدا کرده است. در نتایج تغییر فرآیند شکست از ترد و ناگهانی به سمت شکست تدریجی و شکل‌پذیر مشاهده می‌شود.



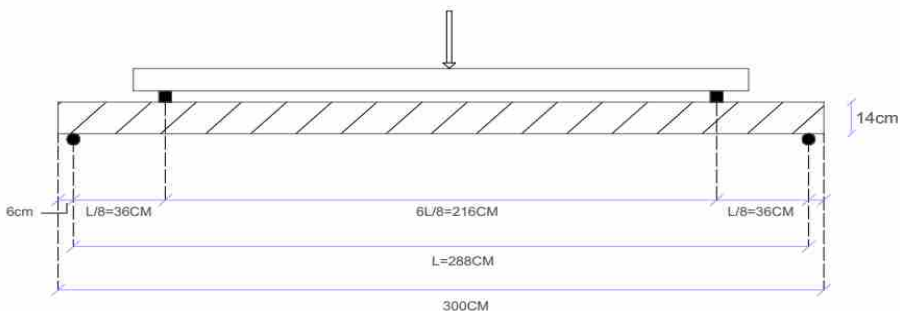
شکل ۵-۹- محل اعمال بار بر روی نمونه SP4



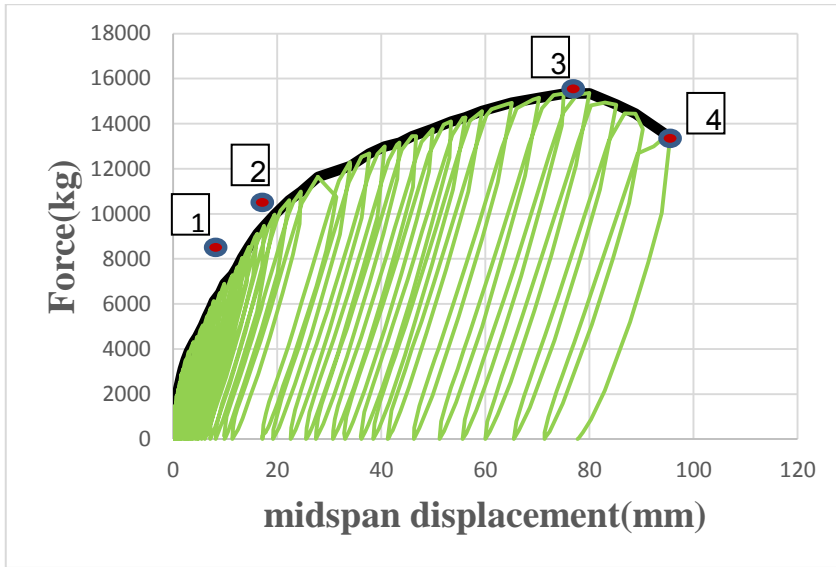
شکل ۵-۱۰- نمودار نیرو- تغییر مکان- نمونه SP4

۵-۲-۷- نمونه دال SP5-A

نمونه دال SP5-A جهت بررسی برای عملکرد برشی در نظر گرفته شده است. در این نمونه با جزئیاتی که در فصل سوم ارائه شده است، از برش‌گیر پیچی از نوع پیچ خودکار در ورق عرشه و در ناحیه دهانه برشی دال مختلط استفاده شده است. مقاومت فشاری مشخصه بتن این نمونه نیز 31MPa در نظر گرفته شده است. پس از شروع بارگذاری با رسیدن به بار 9100 کیلوگرم و تغییر مکان متناظر وسط دهانه 16 میلی‌متر اولین ترک‌ها در منطقه برشی (حوالی تکیه‌گاه و نقطه اعمال بار) ایجاد شده (نقطه ۱) و سپس به تدریج به مناطق میانه دال توسعه پیدا کردند (شکل ۵-۱۳). با افزایش مقدار بار و افزایش میزان ترک‌ها در بار 11000 کیلوگرم و تغییر مکان 25 میلی‌متر اولین مقادیر لغزش بین بتن و عرشه توسط کرنش سنج‌ها (0.7 میلی‌متر) ثبت شده است (نقطه ۲). در بار 15360 کیلوگرم و تغییر مکان 78 میلی‌متر جداشدگی بین ورق عرشه و بتن رویه مشاهده می‌شود (نقطه ۳). از این نقطه با توجه به کاهش شیب نمودار نشان از شروع تسلیم ورق عرشه می‌باشد. با ادامه بارگذاری نمونه با افزایش تغییر مکان تا 95 میلی‌متر در نهایت شکست نرم و انعطاف‌پذیرتری را نسبت به نمونه‌های قبلی تجربه می‌کند (نقطه ۴) (شکل ۵-۱۵). علاوه بر این، افزایش قابل توجه مقاومت برشی از 6500 کیلوگرم به 15360 کیلوگرم مشاهده شده که بیانگر افزایش ظرفیت برشی به علت نصب برش‌گیرهای پیچی در ناحیه برشی سقف مختلط عرشه فولادی می‌باشد.



شکل ۵-۱۱- محل اعمال بار بر روی نمونه SP5-A

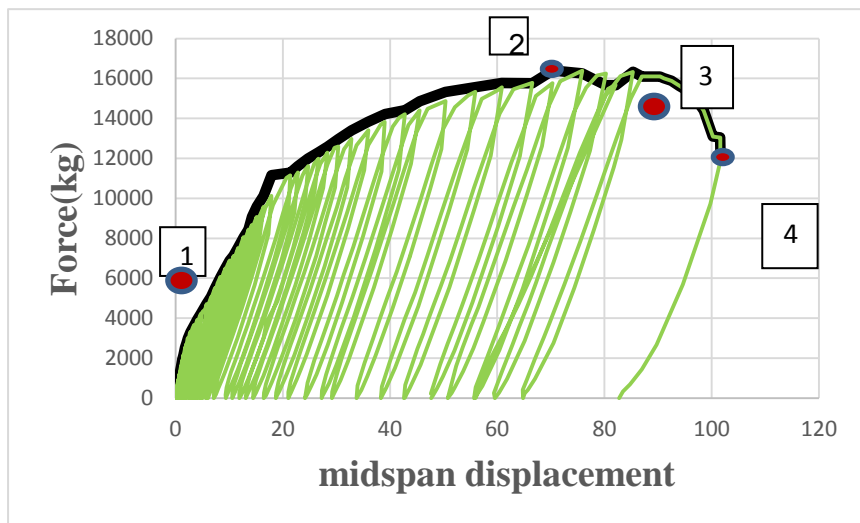


شکل ۵-۱۶- نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه SP5-A

۵-۲-۸- نمونه دال SP5-B

نمونه SP5-B نیز جهت بررسی عملکرد برشی در نظر گرفته شده است. تمامی مشخصات نمونه و نحوه‌ی اعمال بار مشابه نمونه SP5-A می‌باشد. پس از شروع بارگذاری با رسیدن به بار ۸۰۰۰ کیلوگرم و تغییر مکان متناظر وسط دهانه ۱۳ میلی-متر اولین ترک‌ها در منطقه برشی (حوالی تکیه‌گاه و نقطه اعمال بار) ایجاد شده (نقطه ۱) و سپس به تدریج به مناطق میانه دال توسعه پیدا کردند (شکل ۵-۲۰). با افزایش مقدار بار و افزایش میزان ترک‌ها در بار ۱۱۰۰۰ کیلوگرم و تغییر مکان ۱۸ میلی‌متر اولین مقادیر لغزش بین بتن و عرشه توسط کرنش‌سنج‌ها (۵/۰ میلی‌متر) ثبت شده است (شکل ۵-۲۱). در بار ۱۶۵۰۰ کیلوگرم و تغییر مکان ۷۳ میلی‌متر جداسدگی بین ورق عرشه و بتن رویه مشاهده می‌شود (نقطه ۲). از این نقطه با توجه به کاهش شیب نمودار نشان از شروع تسلیم ورق عرشه می‌باشد. با ادامه بارگذاری تا مقدار تغییر مکان ۸۵ میلی‌متر در بار متناظر ۱۶۳۰۰ کیلوگرم، سخت‌شدگی اتفاق افتاد که مقدار افزایش مقاومت در این قسمت مقدار ۹۰ کیلوگرم مشاهده می-

گردد (نقطه ۳). با ادامه بارگذاری نمونه با افزایش تغییر مکان تا ۱۰۰ میلی‌متر در نهایت شکست نرم و انعطاف‌پذیرتری را همانند به نمونه SP5-A تجربه می‌کند (نقطه ۴) (شکل ۵-۲۴).

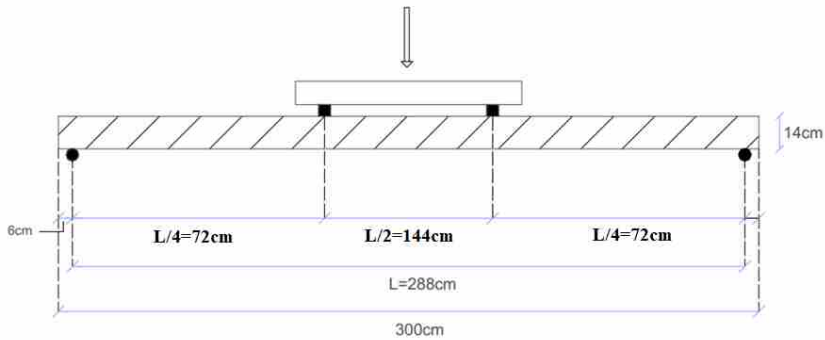


شکل ۵-۲۵- نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه SP5-B

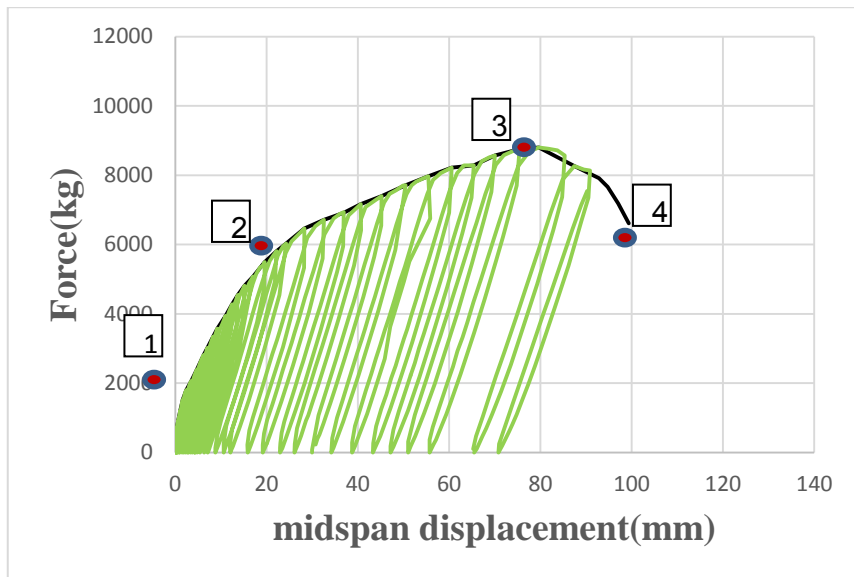
۵-۲-۹- نمونه دال SP6-A

نمونه دال SP6-A جهت بررسی برای عملکرد خمشی در نظر گرفته شده است. در این نمونه با جزئیاتی که در فصل سوم ارائه شده است، از برش‌گیر پیچی از نوع پیچ خودکار در ورق عرشه و در ناحیه دهانه برشی دال مختلط استفاده شده است. مقاومت فشاری مشخصه بتن این نمونه نیز 31MPa در نظر گرفته شده است. پس از شروع بارگذاری با رسیدن به بار 3000kg و تغییر مکان متناظر وسط دهانه 8mm اولین ترک‌ها ایجاد شده و سپس به تدریج با افزایش مقدار بار توسعه پیدا کردند (نقطه ۱) (شکل ۵-۲۹). با افزایش مقدار بار و افزایش میزان ترک‌ها در بار 4800kg و تغییر مکان 18mm اولین مقادیر لغزش بین بتن و عرشه توسط کرنش‌سنج‌ها ثبت شده است. در مقدار بار 6100kg رفتار نمونه

از حالت خطی خارج می‌شود و فولاد ورق عرشه به حد جاری شدن می‌رسد (نقطه ۲). در بار ۸۸۰۰ کیلوگرم و تغییر مکان ۸۰ میلی‌متر، جداسازی بین ورق عرشه و بتن رویه مشاهده می‌گردد (نقطه ۳) (شکل ۵-۳۰). روند بارگذاری تا مقدار تغییر مکان ۱۰۰ میلی‌متر اتفاق افتاده تا انهدام کامل صورت گرفت (نقطه ۴). از این نقطه با افت باربری و در نهایت شکست نسبتاً نرم و انعطاف‌پذیر نمونه اتفاق می‌افتد (شکل ۵-۳۱). افزایش قابل توجه مقاومت برشی از ۳۵۰۰ کیلوگرم به ۸۸۰۰ کیلوگرم بیانگر افزایش ظرفیت خمشی دال به علت نصب برش‌گیرهای پیچی می‌باشد.



شکل ۵-۲۸- نحوه بارگذاری بر روی نمونه SP6-A

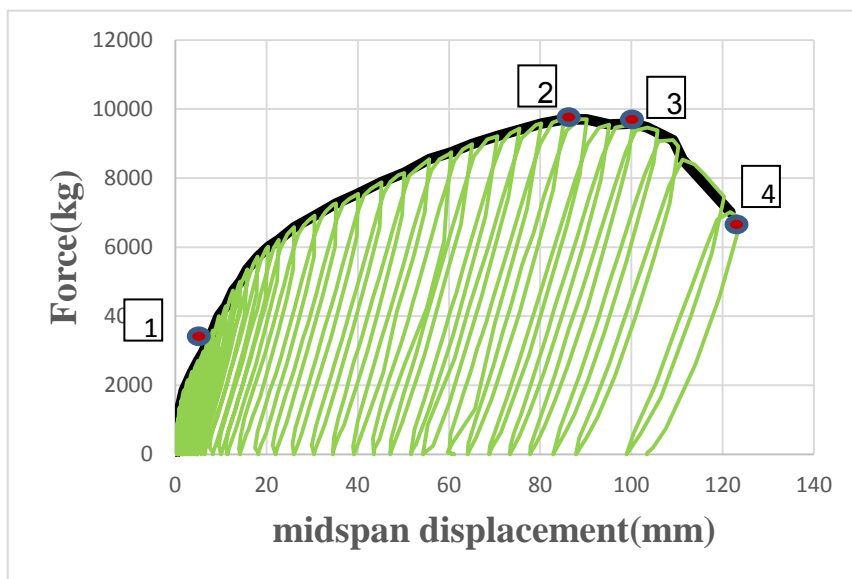


شکل ۵-۳۳- نمودار نیرو- تغییرمکان نمونه SP6-A

۵-۲-۱۰- نمونه دال SP6-B

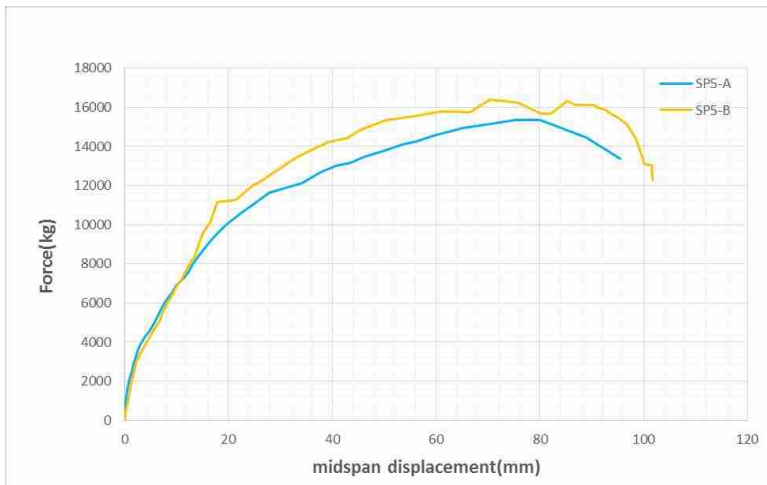
نمونه SP6-B نیز جهت بررسی عملکرد خمشی در نظر گرفته شده است. تمامی مشخصات نمونه و نحوه‌ی اعمال بار مشابه نمونه SP6-A می‌باشد. پس از شروع بارگذاری با رسیدن به بار ۳۶۰۰ کیلوگرم و تغییرمکان متناظر وسط دهانه ۱۰ میلی‌متر اولین ترک‌ها ایجاد شده (نقطه ۱) و سپس به تدریج با افزایش مقدار بار توسعه پیدا کردند (شکل ۵-۳۶). با افزایش مقدار بار و افزایش میزان ترک‌ها در بار ۵۷۰۰ کیلوگرم و تغییرمکان ۱۸ میلی‌متر اولین مقادیر لغزش بین بتن و عرشه توسط کرنش‌سنج‌ها ثبت شده است. در مقدار بار ۶۶۰۰ کیلوگرم رفتار نمونه از حالت خطی خارج می‌شود فولاد ورق عرشه به حد جاری شدن می‌رسد. در بار ۸۸۰۰ کیلوگرم و تغییرمکان ۶۰ میلی‌متر جداسدگی بین ورق عرشه و بتن رویه مشاهده می‌شود (شکل ۵-۳۷). در بار ۹۸۰۰ کیلوگرم و تغییرمکان ۸۹ میلی‌متر افت باربری و در نهایت شکست نسبتاً نرم و انعطاف‌پذیر نمونه اتفاق می‌افتد (نقطه ۲) (شکل ۵-۳۱). شکست انعطاف‌پذیر دال از این مقدار بار آغاز شده که

در ادامه با سخت‌شدگی با افزایش مقاومت ۱۸۰ کیلوگرم بوده است (نقطه ۳). نهایتاً در مقدار تغییر مکان ۱۲۰ میلی‌متر، انهدام کامل صورت گرفته است (نقطه ۴). افزایش قابل توجه مقاومت برشی از ۳۵۰۰ کیلوگرم به ۹۸۰۰ کیلوگرم بیانگر افزایش ظرفیت خمشی دال به علت نصب برش گیرهای پیچی می باشد.



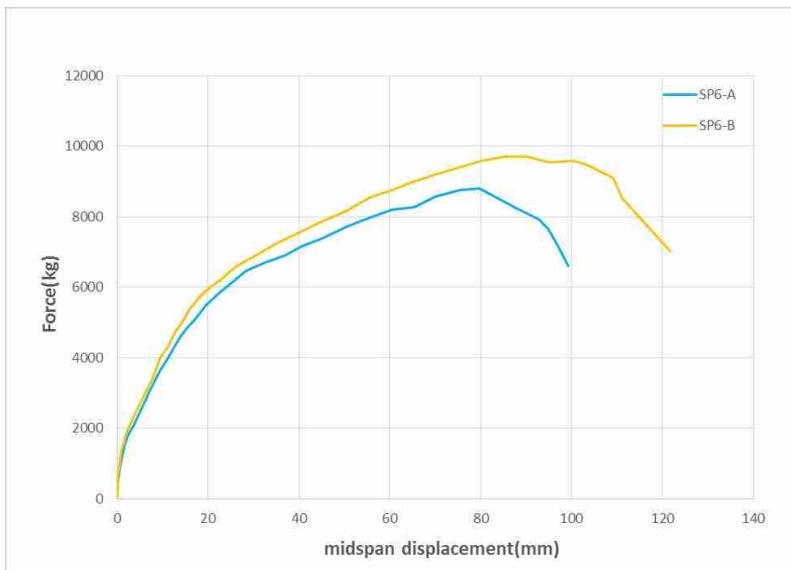
شکل ۵-۴۱- نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه SP6-B

۵-۲-۱۱- مقایسه نتایج حاصل شده از آزمایش بر روی ۱۰ نمونه



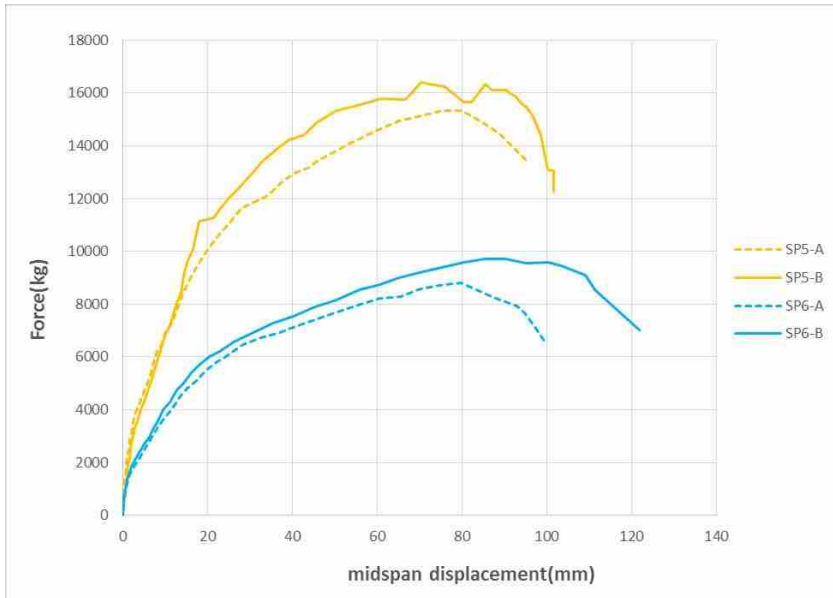
شکل ۵-۴۴- نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه‌ها ی SP5-A,B

همان‌طور که مشاهده می‌گردد، هر دو نمونه تحت عملکرد برشی، رفتاری مشابه دارند.



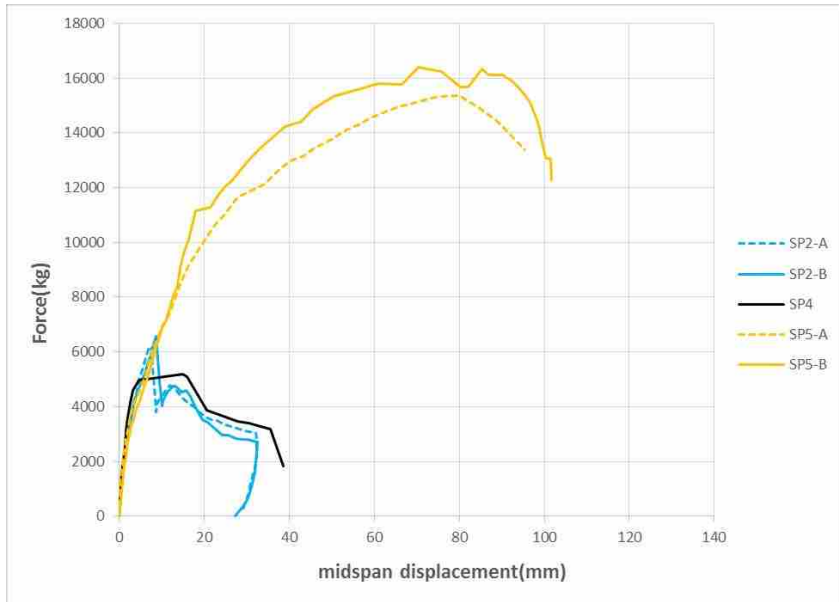
شکل ۵-۴۵- نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه‌ها ی SP6-A,B

همان‌طور که مشاهده می‌گردد، نتایج حاصل شده هر دو نمونه تحت عملکرد خمشی، رفتاری مشابه دارند.



شکل ۵-۶- نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه‌ها ی SP6-A,B و SP5-A,B

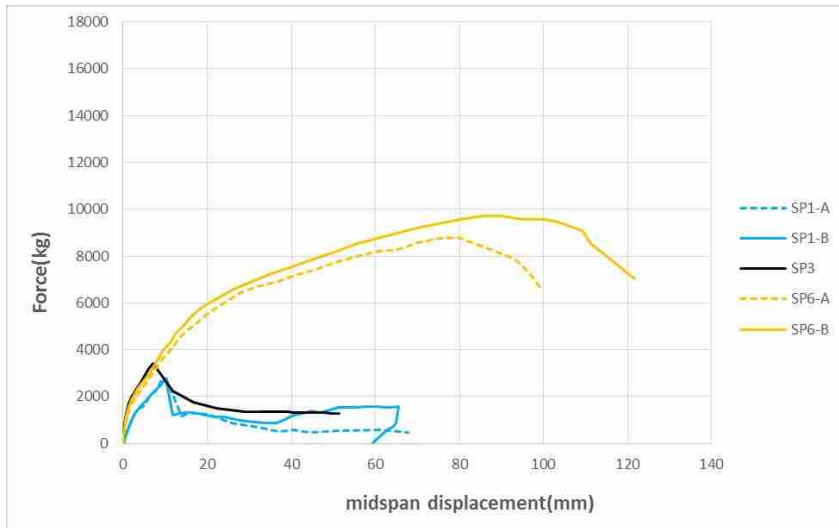
در عملکرد برشی، بارگذاری با توجه به بحرانی بودن شرایط تکیه‌گاه‌ها، عمده بار به نواحی تکیه‌گاهی انتقال می‌یابد. به همین دلیل است که ظرفیت باربری خمشی در مقایسه با ظرفیت باربری برشی، کمتر است. به همین ترتیب، بدیهی است که در عملکرد برشی، دال مورد آزمایش، محدوده بیشتری را با رفتار خطی نسبت به عملکرد خمشی طی می‌کند. از دیگر نتایج حاصل شده از مقایسه منحنی‌های شکل بالا، می‌توان اشاره کرد که هر دو نمونه خمشی و برشی، تقریباً در مقدار کرنش برابر، از باربری خارج می‌شوند.



شکل ۵-۴۷- نمودار نیرو- تغییر مکان برای کلیه نمونه‌های با عملکرد برشی

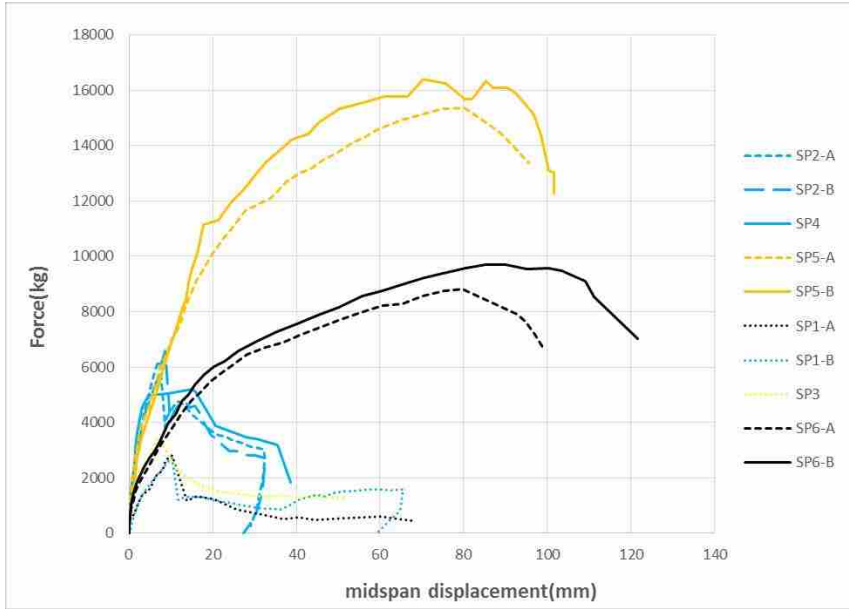
در شکل بالا، منحنی‌های آبی رنگ، مربوط به مود خرابی نمونه‌های تحت برش با مقاومت فشاری ۱۳ مگاپاسکال می‌باشد. همان‌طور که نمایان است، ظرفیت باربری این دو نمونه نسبت به بقیه منحنی‌ها، کمتر است.

منحنی مشکی رنگ، مربوط به مود خرابی نمونه تحت عملکرد برشی با مقاومت فشاری ۳۰ مگاپاسکال و بدون برش‌گیرهای پیچی می‌باشد. ظرفیت باربری این نمونه نسبت به نمونه‌های اول، افزایش یافته است. در نمونه‌های بدون برش-گیرهای پیچی، ظرفیت نهایی دال عرشه فولادی در عملکرد برشی، در حدود ۶۰۰۰ کیلوگرم برداشت شده است؛ در صورتی که در همین نمونه با مشخصات مشابه و تنها تفاوت استفاده از برش‌گیرهای پیچی، ظرفیت باربری برشی در حدود سه برابر افزایش و به مقدار حدوداً ۱۶۰۰۰ کیلوگرم رسیده است. بدیهی است که با افزایش مقدار ظرفیت باربری دال عرشه فولادی، محدوده بیشتری را با رفتار خطی طی خواهد کرد. همچنین با توجه به مقادیر ثبت شده از لغزش‌های بین بتن و ورق دال، برش‌گیرهای پیچی نقش به‌سزایی در بهبود عملکرد مختلط دال بتنی و عرشه داشته است.



شکل ۵-۴۸- نمودار نیرو- تغییر مکان برای کلیه نمونه‌های با عملکرد خمشی

نمونه خمشی با مقاومت بتن ۳۰ مگاپاسکال ظرفیت باربری بیشتری نسبت به نمونه‌های با مقاومت بتن ۱۳ مگاپاسکال قبلی دارا هستند. با استفاده از برش‌گیرهای پیچی مشاهده می‌گردد که ظرفیت باربری نمونه‌ها تا حدود سه برابر افزایش یافته است. بدیهی است که نمونه‌های با برش‌گیر پیچی، محدوده رفتاری بیشتری را به صورت خطی خواهند پیمود که سبب رفتار مناسب دال در مقابل بارهای وارده خواهد شد.



شکل ۵-۴۹- نمودار نیرو- تغییر مکان برای کلیه نمونه‌های با عملکرد خمشی و برشی

در جدول ۵-۱ متوسط ظرفیت باربری خمشی و برشی و همچنین میزان تغییر مکان حداکثر ناشی از این مقدار بار، آورده شده است.

جدول ۵-۱- جمع‌بندی حداکثر ظرفیت باربری نمونه‌ها و بیشترین مقادیر تغییر مکان ایجاد شده در آنها

| تغییر مکان حداکثر قایم وسط دهانه (mm) | متوسط بار (kg) | بار وارده حداکثر (kg) | نام نمونه |
|---|-------------------|-----------------------------|--------------|
| 69 | 2760 | 2800 | SP1-A (خمشی) |
| 65 | | 2720 | SP1-B (خمشی) |
| 32 | 6384 | 6192 | SP2-A (برشی) |
| 32 | | 6576 | SP2-B (برشی) |
| 61 | 3402 | 3402 | SP3 (خمشی) |
| 39 | 5056 | 5056 | SP4 (برشی) |
| 95 | 15872 | 15346 | SP5-A (برشی) |
| 101 | | 16399 | SP5-B (برشی) |
| 99 | 9252 | 8801 | SP6-A (خمشی) |
| 121 | | 9703 | SP6-B (خمشی) |

در جدول ۵-۲ میزان افزایش ظرفیت باربری نمونه‌ها ی با برش‌گیر پیچی در مقایسه با نمونه‌ها ی بدون برش‌گیر پیچی آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در نمونه‌ها ی با برش‌گیر، ۲ مقدار متوسط برای رفتارهای برشی و خمشی

قید گردیده است. همچنین برای نمونه‌های بدون برش‌گیر پیچی، ۴ مقدار متوسط برای رفتارهای برشی و خمشی، لحاظ گردیده است. با عنایت به نسبت اعداد حاصله از جدول کاملاً مشهود است که وجود برش‌گیرهای پیچی سبب شده تا میزان ظرفیت باربری نمونه‌ها در عملکرد خمشی و همچنین برشی، تا چند برابر افزایش یابد. لازم به ذکر است که تفاوت نمونه‌های SP1 و SP3 و همچنین SP2 و SP4 در میزان مقاومت فشاری بتن مصرفی در ساخت نمونه‌ها بوده که این تفاوت مقاومت مشخصه بتن، تأثیر آنچنانی در ظرفیت باربری نمونه‌ها در مقایسه با نمونه‌های با برش‌گیر نداشته و در حقیقت وجود همین برش‌گیرهای پیچی عامل اصلی افزایش ظرفیت باربری نمونه‌ها در مقایسه با نمونه‌های فاقد برش‌گیر پیچی گردیده‌اند.

جدول ۵-۲- مقایسه افزایش میزان متوسط باربری نمونه‌های با برش‌گیر نسبت به متوسط باربری نمونه‌های بدون برش‌گیر

| SP6 (خمشی) | SP5 (برشی) | با برش‌گیر بدون برش‌گیر |
|------------------|------------------|----------------------------|
| $SP6/SP1 = 3.35$ | - | SP1 (خمشی) |
| $SP6/SP3 = 2.72$ | - | SP3 (خمشی) |
| - | $SP5/SP2 = 2.48$ | SP2 (برشی) |
| - | $SP5/SP4 = 3.14$ | SP4 (برشی) |



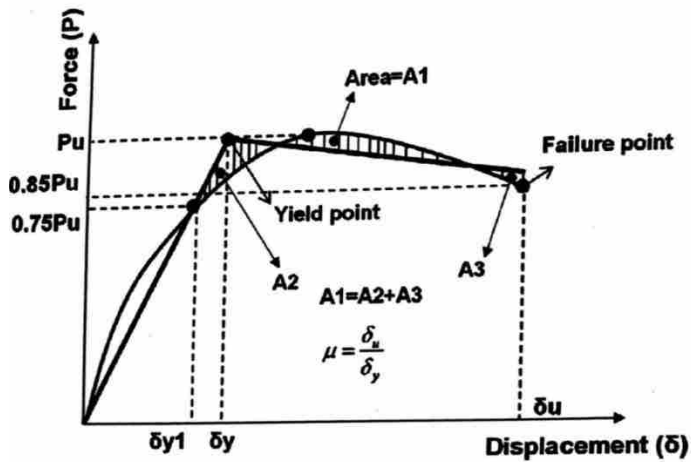
۵-۲-۱۲- ضریب شکل پذیری در نمونه‌های مختلف و مقایسه آنها با

یکدیگر

توانایی تجربه تغییر شکل‌های بزرگ در محدوده غیرالاستیک، بدون کاهش قابل ملاحظه مقاومت اجزای سیستم سازه‌ای را شکل‌پذیری می‌نامند. شکل‌پذیری در این تحقیق با ضریب شکل‌پذیری تغییر مکانی و مطابق رابطه زیر انجام می‌شود:

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$$

که Δ_u و Δ_y به ترتیب متناظر با مقادیر جابجایی نهایی و تسلیم می‌باشند. تعیین تغییر مکان تسلیم در سازه‌های بتن مسلح به دلیل نبود نقطه تسلیم مشخص در منحنی بار-تغییر مکان همواره با پیچیدگی‌های زیادی روبرو بوده است. در این تحقیق تغییر مکان تسلیم با دوخطی‌سازی منحنی پوش نمونه‌ها بر اساس شیوه سختی کاهش‌یافته انجام می‌شود. در این روش تغییر مکان متناظر با کوچکترین دو مقدار تسلیم آرماتور و یا ۷۵ درصد بار حداکثر بر روی منحنی رفتاری سازه تعیین شده و شیب ناحیه‌ی الاستیک منحنی دوخطی به صورت سختی سکانتی این نقطه تعیین می‌شود. تغییر مکان متناظر با ۱۵ درصد افت مقاومت در تمامی تکرارهای منحنی چرخه‌ای نیز به عنوان تغییر مکان نهایی در نظر گرفته شده است. در جدول مقادیر شکل‌پذیری نمونه‌ها ارایه شده است.



شکل ۵-۵-۰- تعریف تغییر مکان تسلیم با دو خطی سازی منحنی آزمایشگاهی

برای تمامی نمونه‌های فاقد برش‌گیر پیچی (SP1-A، SP1-B، SP2-A، SP2-B، SP3 و SP4) همان‌طور که در جدول ۳-۵ مشاهده می‌گردد، مقادیر ضریب شکل‌پذیری پایین بوده و لذا مود شکست در این نمونه‌ها ترد می‌باشد. ولیکن در ۴ نمونه دارای برش‌گیر پیچی، ضریب شکل‌پذیری بالا بوده و مود شکست از حالت ترد خارج شده و شکست نرم را تجربه می‌کند.



جدول ۳-۵- ضریب شکل‌پذیری تغییر مکانی

| شماره نمونه | Δ_u (mm) | Δ_y (mm) | $\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$ |
|-------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|
| SP1-A | 11 | 9.8 | 1.12 |
| SP1-B | 10.5 | 9.5 | 1.1 |
| SP2-A | 8 | 7.5 | 1.07 |
| SP2-B | 8.5 | 7.5 | 1.13 |
| Sp3 | 8.5 | 6.8 | 1.25 |
| Sp4 | 15 | 12 | 1.25 |
| SP5-A | 92.36 | 28 | 3.3 |
| SP5-B | 97 | 27 | 3.6 |
| SP6-A | 95 | 31 | 3.06 |
| SP6-B | 115 | 35 | 3.28 |

در جدول ۳-۵ مقایسه افزایش ضریب شکل‌پذیری نمونه‌ها ی با برش‌گیر پیچی نسبت به نمونه‌ها ی بدون برش‌گیر پیچی، صورت گرفته است. همان‌طور که از مقادیر حاصل شده در این جدول نمایان است، افزایش قابل‌توجهی در مقدار ضریب شکل‌پذیری نمونه‌ها ی با برش‌گیر نسبت به نمونه‌ها ی بدون برش‌گیر پیچی حاصل شده است. این بدان معناست که استفاده از برش‌گیرهای پیچی در دال عرشه فولادی می‌تواند سبب ارتقاء خاصیت شکل‌پذیری شده که امری بسیار حائز اهمیت می‌باشد. لازم به ذکر است که مقادیر ضریب شکل‌پذیری هر نمونه دال جهت محاسبه مقادیر حاصل شده در این جدول، از جدول ۳-۵ استخراج شده است.



جدول ۵-۴- مقایسه افزایش ضریب شکل‌پذیری نمونه‌ها ی با برش‌گیر پیچی نسبت به نمونه‌ها ی بدون

برش‌گیر پیچی

| SP6- (خمشی)B | SP6- (خمشی)A | SP5- (برشی)B | SP5- (برشی)A | با برش‌گیر بدون برش‌گیر |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| SP6- B/SP1-A = 2.92 | SP6- A/SP1-A = 2.73 | - | - | SP1-A(خمشی) |
| SP6- B/SP1-B = 2.98 | SP6- A/SP1-B = 2.78 | - | - | SP1-B(خمشی) |
| SP6- B/SP3 = 2.62 | SP6- A/SP3 = 2.45 | - | - | SP3(خمشی) |
| - | - | SP5- B/SP2-A = 3.36 | SP5- A/SP2-A = 3.08 | SP2-A(برشی) |
| - | - | SP5- B/SP2-B = 3.18 | SP5- A/SP2-B = 2.92 | SP2-B(برشی) |
| - | - | SP5- B/SP4 = 2.88 | SP5- A/SP4 = 2.64 | SP4(برشی) |

۵-۲-۱۳- میزان جذب انرژی

میزان انرژی جذب شده در هر نمونه برابر با سطح محصور زیر نمودار نیرو- تغییرمکان افقی بوده که این مقدار با کمک روش سیمپسون^{۳۹} برای همه نمونه‌ها اندازه‌گیری و در جدول ۵-۵ مندرج شده است.

جدول ۵-۵- میزان جذب انرژی در نمونه‌ها

| میزان جذب انرژی (KJ) | بدون برش گیر | با برش گیر | مکانیزم رفتاری | | مقاومت فشاری بتن f_c (MPa) | تیبندی دال مختلط عرشه فولادی |
|-------------------------|-----------------|---------------|----------------|------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | | برشی | خمشی | | |
| 0.6133114 | ■ | | | ■ | 13 | SP1-A |
| 0.866949 | ■ | | | ■ | 13 | SP1-B |
| 1.2314984 | ■ | | ■ | | 13 | SP2-A |
| 1.2123198 | ■ | | ■ | | 13 | SP2-B |
| 0.8632114 | ■ | | | ■ | 31 | Sp3 |
| 1.5142912 | ■ | | ■ | | 31 | Sp4 |
| 11.4485349 | | ■ | ■ | | 31 | SP5-A |
| 13.2351223 | | ■ | ■ | | 31 | SP5-B |
| 8.7753589 | | ■ | | ■ | 31 | SP6-A |
| 9.2152589 | | ■ | | ■ | 31 | SP6-B |

در جدول ۵-۶ میزان افزایش جذب انرژی در نمونه‌های با برش‌گیر پیچی نسبت به نمونه‌های بدون برش‌گیر پیچی آورده شده است. نمونه‌های دارای رفتار برشی و خمشی به‌طور مجزا مقایسه شده‌اند؛ به این ترتیب که میزان جذب انرژی در نمونه‌های با برش‌گیر پیچی، در رفتار برشی، نسبت به نمونه‌های بدون برش‌گیر پیچی، مقایسه شده‌اند و به همین ترتیب برای نمونه‌های تحت رفتار خمشی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که از نتایج این جدول نمایان است، استفاده از برش‌گیرهای پیچی در نمونه دال‌های عرشه فولادی، سبب افزایش چشم‌گیری در میزان جذب انرژی در مقایسه با نمونه‌های بدون برش‌گیر پیچی شده است. لازم به ذکر است که مقادیر انرژی‌های جذب شده برای هر نمونه دال از جدول ۵-۵ استخراج شده است.

جدول ۵-۶- مقایسه افزایش جذب انرژی نمونه‌های با برش‌گیر پیچی نسبت به نمونه‌های بدون برش-

گیر پیچی

| SP6-B (خمشی) | SP6-A (خمشی) | SP5-B (برشی) | SP5-A (برشی) | با برش‌گیر بدون برش‌گیر |
|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|
| SP6-B/SP1-A = 15 | SP6-A/SP1-A = 14.3 | - | - | SP1-A (خمشی) |
| SP6-B/SP1-B = 10.62 | SP6-A/SP1-B = 10.12 | - | - | SP1-B (خمشی) |
| SP6-B/SP3 = 10.67 | SP6-A/SP3 = 10.16 | - | - | SP3 (خمشی) |
| - | - | SP5-B/SP2-A = 10.74 | SP5-A/SP2-A = 9.29 | SP2-A (برشی) |
| - | - | SP5-B/SP2-B = 10.91 | SP5-A/SP2-B = 9.44 | SP2-B (برشی) |
| - | - | SP5-B/SP4 = 8.74 | SP5-A/SP4 = 7.56 | SP4 (برشی) |

۳-۵ نتایج آزمایشات باربری جانبی دیافراگم

۳-۵-۱- نمونه‌ی دیافراگم اول (نمونه‌ی شاهد)

بررسی ترک‌ها:

در نمونه اول بدون حضور بار ثقلی، بارهای جانبی بصورت افزایشنده در هر سیکل و بصورت رفت و برگشتی به نمونه اعمال شد. بررسی ترک‌های ایجاد شده روی دال نشان دهنده آن است که ترک‌ها در ابتدا هم جهت با اعمال نیرو و در ناحیه میانی دال تشکیل می‌شوند شکل ۵-۵۱. شروع ترک خوردگی از کناره‌ی دال بوده و در هر مرحله از بارگذاری با افزایش بار، طول ترک در همان امتداد بیشتر می‌شود. با توجه به محل و راستای ترک خوردگی، می‌توان این ترک‌ها را از نوع ترک‌های خمشی برشمرد.



شکل ۵-۵۱ - ترک‌های خمشی ایجاد شده در ناحیه میانی دال

حضور این ترک‌ها و بازشدگی آن‌ها تحت اثر افزایش بار جانبی، طبیعتاً منحنی بار-تغییر مکان را تحت تاثیر قرار داده و از حالت کاملاً خطی خارج خواهد نمود که به این مورد در قسمت منحنی بار-تغییر مکان بیشتر پرداخته خواهد شد.

با پیشرفت آزمایش و اعمال نیروی بیشتر به دال، ترک‌هایی بصورت مورب در نزدیکی تکیه‌گاه‌ها ظاهر شدند. شروع این ترک‌ها از لبه دال بوده و با افزایش نیرو به سمت نواحی میانی دال پیشروی می‌کنند. (شکل ۵-۵۲)

با توجه به جهت مورب این ترک‌ها و محل شکل‌گیری آن‌ها در ناحیه‌ی بیشینه‌ی نیروی برشی (حد فاصل آخرین نقطه‌ی اعمال بار تا تکیه‌گاه) می‌توان این ترک‌ها را از نوع ترک‌های برشی دانست.



شکل شماره ۵-۵۲ - ترک‌های برشی ایجاد شده در نزدیکی تکیه‌گاه

خرابی در دال:

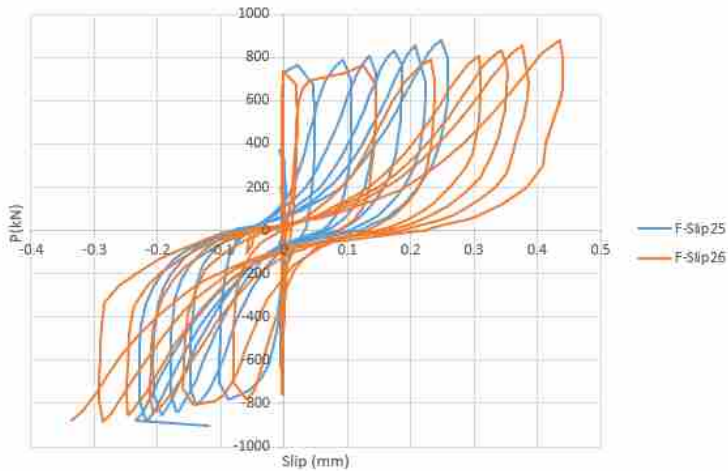
با پیشرفت آزمایش و رسیدن نیروی داخل صفحه‌ای وارد بر دال به ۹۰۰ کیلوتن، خرابی در ناحیه تکیه‌گاه و بصورت ناگهانی اتفاق می‌افتد. همانطور که در شکل ۵-۵۳ نیز دیده می‌شود، یک قسمت مثلثی شکل از ناحیه انتهایی دال در محل تکیه‌گاه دچار تخریب شده است. با توجه به شکل و ناحیه‌ی تمرکز خرابی، بنظر می‌رسد تحت اثر نیروی برشی بالا، بتن تحت فشار زیاد دچار خردشدگی شده است.



شکل ۵-۵۳ - خرابی نمونه اول

لغزش دال بتنی نسبت به ورق عرشه:

بررسی خروجی تغییرمکان سنج‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری لغزش بین ورق عرشه و بتن، نشان می‌دهد که این مقدار بسیار کم است. بطوریکه بیشینه‌ی این مقدار هم کمتر از ۰/۵ میلی‌متر است. در شکل ۵-۵۴ نمودار نیرو-تغییرمکان نسبی (بین ورق عرشه و بتن) بر اساس داده‌های دو تغییرمکان سنج که بیشترین مقادیر را ثبت کرده اند ترسیم شده است.



شکل ۵-۵۴ - نمودار نیرو-تغییر مکان نسبی بین ورق عرشه و بتن

در بررسی و تفسیر شکل نمودارهای فوق می‌توان موارد زیر را مطرح نمود.

(الف) به دلیل لغزش بسیار کم، میزان خطای اندازه‌گیری در تغییر مکان سنج‌های مورد استفاده، قابل توجه و تاثیرگذار است.

(ب) با توجه به کوچکی تغییر مکان‌ها، تفاوت در مدول الاستیسیته فولاد و بتن نیز می‌تواند در این نمودار تاثیرگذار باشد.

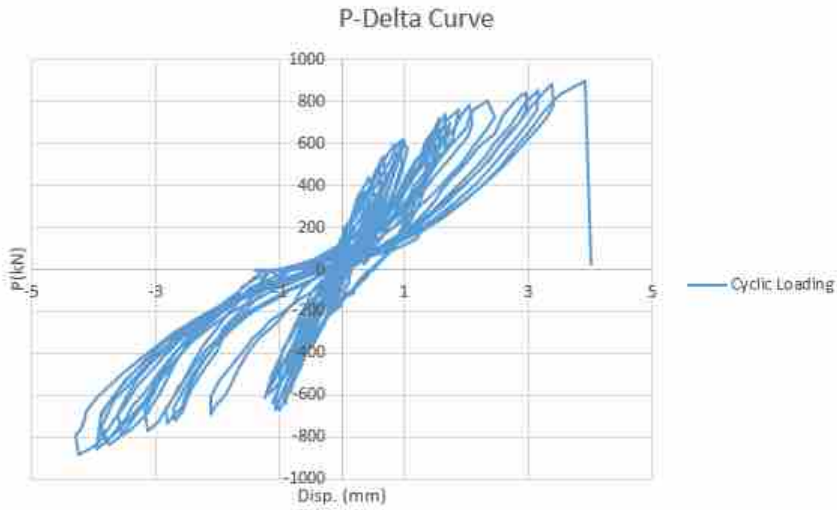
(ج) با توجه به مرکزگرا بودن منحنی، بنظر می‌رسد تغییر شکل‌ها تقریباً الاستیک بوده و سرخوردگی قابل توجهی بین ورق عرشه و بتن اتفاق نیفتاده است.

(د) با توجه به نمودار می‌توان نتیجه گرفت تا قبل از رسیدن نیرو به تراز ۷۳۰ کیلونیوتن، هیچ گونه لغزشی در دال اتفاق نیفتاده است.

منحنی نیرو-تغییر مکان جانبی دال:

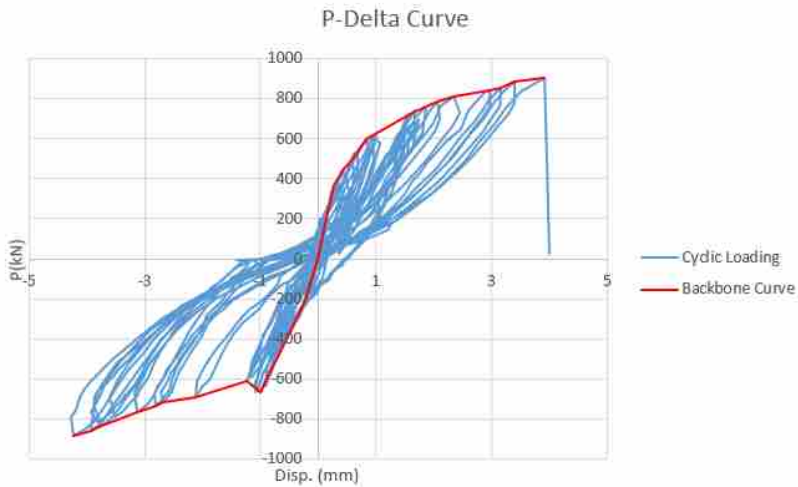
برای بررسی بهتر رفتار سقف در بارهای رفت و برگشتی زلزله، منحنی نیرو در مقابل تغییر مکان برای نقطه میانی لبه‌ی دال (عمود بر امتداد نیرو) ترسیم شده است. از آن‌جا که هدف از ترسیم این منحنی، داشتن تغییر مکان نسبی (نسبت به تکیه‌گاه-ها) نقطه میانی دال است، مقدار جابجایی کلی دال از میزان جابجایی گزارش شده برای میانگین نقاط میانی لبه دال (در امتداد نیرو) کسر شده است. شکل ۵-۵۵ نشان دهنده نمودار نیرو-جابجایی نسبی برای نقطه میانی دال می‌باشد.

همانطور که دیده می‌شود در سیکل‌های اولیه (تقریباً تا نیروی ۶۰۰ کیلونیوتن) رفتار بصورت خطی است و با افزایش نیرو رابطه بین نیرو و جابجایی کم کم از حالت خطی فاصله می‌گیرد. اولین پرش قابل توجه در منحنی از نیروی ۶۲۰ به ۷۰۵ کیلونیوتن است که جابجایی نظیر آن نیز از ۰/۹۹ میلی‌متر به ۱/۵۴ میلی‌متر اتفاق افتاده است. در این محدوده عمدتاً ترک‌های خمشی در ناحیه میانی گسترش پیدا کرده و برخی ترک‌های جدید نیز ایجاد شدند.



شکل ۵۵-۵ - نمودار نیرو-جابجایی در بارگذاری درون صفحه‌ای رفت و برگشتی

برای مشاهده بهتر روند تغییرات سختی بر اثر افزایش نیرو، پوش نمودار رفت و برگشتی نیرو-جابجایی با وصل کردن نقاط بیشینه‌ی جابجایی در هر چرخه ترسیم و در شکل ۵۶-۵ منعکس شده است.

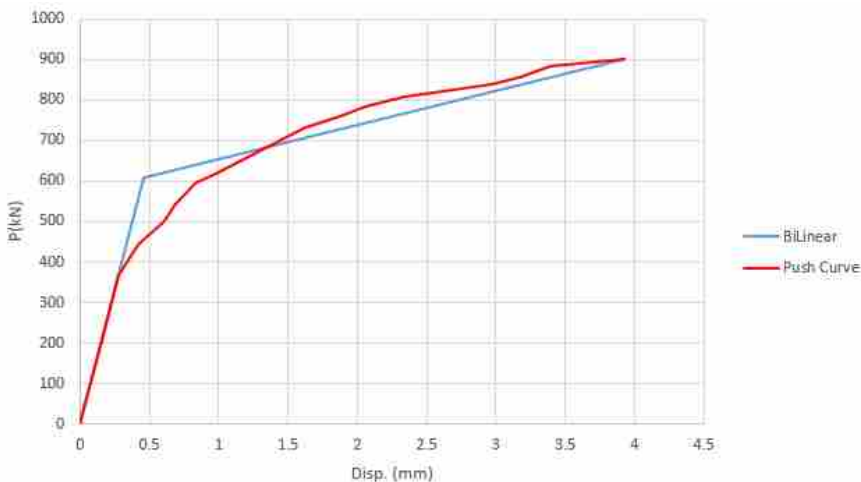


شکل شماره ۵۶-۵ پوش منحنی نیرو-جابجایی در بارگذاری درون صفحه‌ای رفت و برگشتی

در شکل فوق پوش نمودار رفت و برگشتی نیرو-تغییر مکان با رنگ قرمز ترسیم شده است. در این نمودار محل شکستگی (تغییر شیب) در سطح نیرویی حدود ۶۰۰ کیلونیوتن و تغییر مکان کمتر از ۱ میلی‌متر دیده می‌شود. از آنجایی که شکست این نمونه بصورت برشی و کاملاً ترد است، دلیل اصلی غیرخطی شدن منحنی (مطابق آنچه پیشتر ذکر شد) ناشی از بازشدن بیشتر ترک‌های موجود و همچنین شکل-گیری ترک‌های جدید است.

اگرچه در طراحی سازه از خود دیافراگم انتظار شکل‌پذیری نداریم، ولی در این مطالعه بصورت پژوهشی این مورد نیز بررسی خواهد شد. برای تعیین مرز حالت خطی و غیرخطی از ضوابط استاندارد ASCE41 برای دوخطی کردن نمودار پوش منحنی استفاده شده است. این نمودار دوخطی با رنگ آبی در شکل ۵-۵۷ نشان داده شده است.

دو خطی منحنی پوش بر اساس ضوابط ASCE41:



شکل شماره ۵-۵۷ دوخطی منحنی پوش در نمونه اول

در نمودار فوق محل شکست منحنی دوخطی نقطه‌ی نظیر نیروی ۶۰۷ کیلونیوتن و جابجایی ۰.۴۶ میلی‌متر است. بر این اساس میزان سختی اولیه نمونه ۱۳۲۰ کیلونیوتن بر میلی‌متر است.

$$\text{Initial Stiffness: } \frac{607 \text{ kN}}{0.46 \text{ mm}} = 1320 \left(\frac{\text{kN}}{\text{mm}} \right)$$

اگر مقدار شکل پذیری نمونه‌ی مورد بررسی را حاصل تقسیم جابجایی نهایی به تسلیم تعریف نماییم، داریم:

$$\text{Ductility: } \frac{3.92 \text{ mm}}{0.46 \text{ mm}} = 8.5$$

و با توجه به سطح زیر منحنی، مقدار کل انرژی جذب شده در سیستم بصورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$\text{Energy Absorption: } 2754 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

۵-۳-۲ - نمونه‌ی دیافراگم دوم و نتایج حاصل از آن

در نمونه‌ی دوم، قبل از اعمال بار درون صفحه‌ای، بار ثقلی روی سقف عرشه فولادی قرار داده شده است. اعمال بار ثابت ثقلی به دلیل شبیه سازی حضور بار زنده و سربار مرده بوده و مقدار آن مطابق آنچه پیش‌تر ذکر شد، ۶۰۰ کیلوگرم بر متر مربع است.

برای اعمال این بار از وزنه‌های توپر فولادی (وزن تقریبی هر یک حدود ۱۵ کیلوگرم) با الگوی ۴۰ عدد در هر متر مربع مطابق شکل ۵-۵۸ استفاده شده است.



شکل شماره ۵-۵۸ - اعمال بار ثابت ثقلی

پس از قرار دادن بار ثقلی روی نمونه، بار درون صفحه‌ای به نمونه اعمال شد. به منظور شبیه‌سازی بار گسترده درون صفحه‌ای، اعمال این بار بصورت ۴ نقطه‌ای در فواصل مساوی انجام شد.

بررسی ترک‌ها:

در این نمونه به دلیل حضور گسترده وزنه‌های مورد استفاده برای بار ثقلی، روند بررسی ترک‌ها با سختی مواجه شد، اما وضعیت کلی ترک‌ها بیانگر این موضوع است که محل، شکل و روند ترک خوردگی‌ها مشابه نمونه‌ی اول اما در سطح نیروی کمی پایین‌تر از نمونه‌ی اول اتفاق افتاده است. تصویر ۵-۵۹ نشان دهنده ترک‌های موجود در نزدیکی یکی از تکیه‌گاه می‌باشد.



شکل ۵-۵۹ - بررسی ترک خوردگی در نمونه دوم

خرابی در دال:

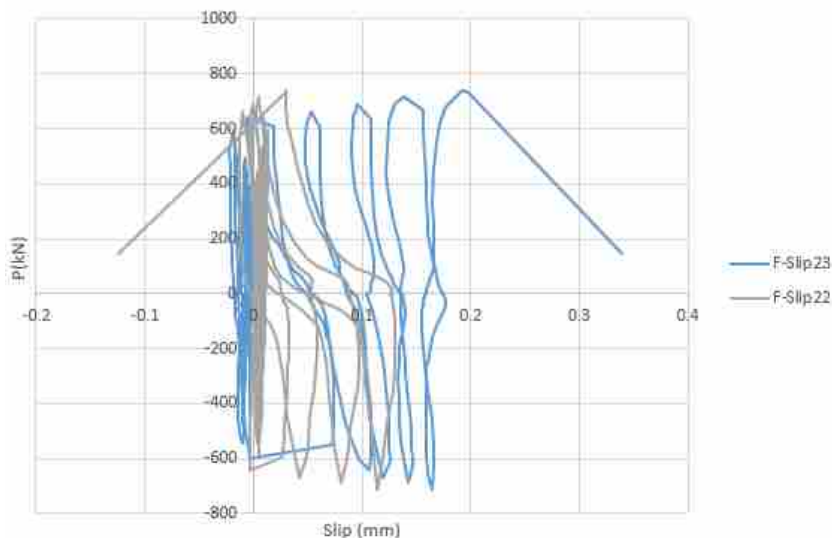
در نمونه دوم نیز خرابی دال بصورت ترد و ناگهانی در ناحیه تکیه‌گاه بوده ولی مقدار نیرو در لحظه خرابی کمتر از نمونه اول بوده است. همانطور که در ۵-۶۰ نیز دیده می‌شود، خرابی از نوع خردشدگی بتن در محل اتصال به تکیه‌گاه رخ داده است. کماتش می‌لگرد حرارتی در دال نیز بیانگر خرابی از نوع فشار است.



شکل ۵-۶۰- خرابی نمونه دوم

لغزش دال بتنی نسبت به ورق عرشه:

بررسی نتایج تغییرمکان سنج‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری لغزش بین ورق عرشه و بتن (شماره ۲۲ تا ۲۹)، نشان دهنده آن است که در ناحیه میانی دال (تغییرمکان سنج‌های میانی شماره ۲۴ تا ۲۷) لغزش بین ورق عرشه و دال اتفاق نیفتاده است ولی در نواحی یک چهارم دهانه ابتدایی و انتهایی (تغییرمکان سنج‌های شماره ۲۲، ۲۳، ۲۸ و ۲۹) که محل بیشینه برش است، پس از گذشت نیرو از تراز ۵۹۰ کیلو نیوتن، لغزش بین ورق عرشه و بتن اتفاق می‌افتد. این سطح نیرو نسبت به نمونه اول (۷۳۰ کیلو نیوتن) کاهش ۲۰ درصدی را نشان می‌دهد. شکل ۵-۶۱ نشان دهنده نتایج تغییرمکان سنج‌های شماره ۲۲ و ۲۳ هستند که بین بتن و ورق عرشه در یک چهارم ابتدایی نمونه قرار داده شده‌اند.

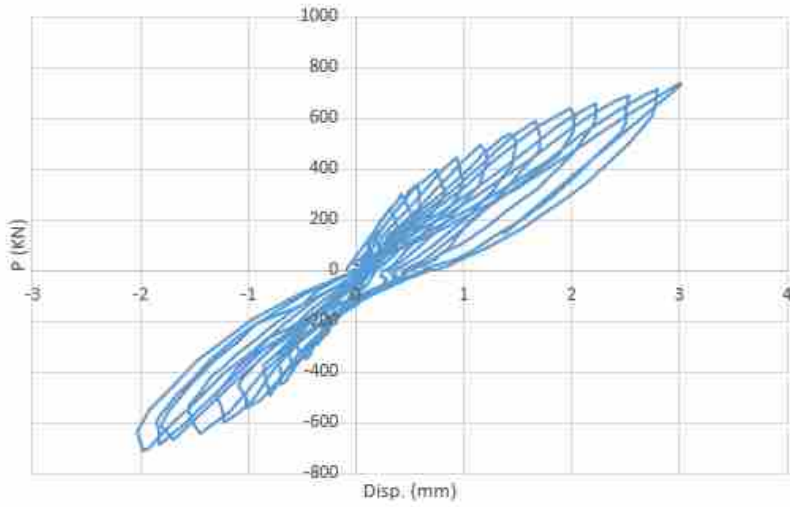


شکل ۵-۶۱ - نمودار نیرو-تغییر مکان نسبی بین ورق عرشه و بتن

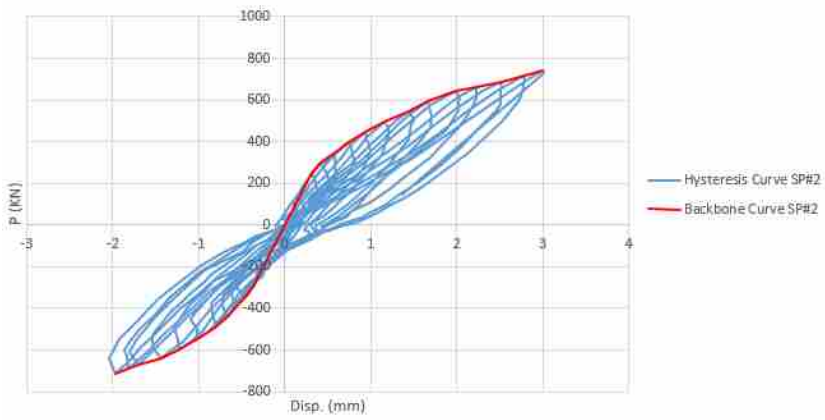
منحنی نیرو-تغییر مکان جانبی دال:

پس از انجام آزمایش، منحنی بار در مقابل تغییر مکان وسط دهانه مطابق آنچه در مورد نمونه اول بیان شد، ترسیم شده است. همانطور که در شکل ۵-۶۲ دیده می‌شود، مقدار حداکثر نیروی داخل صفحه وارد بر دال تا قبل از بروز خرابی، ۷۴۰ کیلونیوتن بوده که این مقدار در مقایسه با نمونه شاهد، ۱۸٪ افت را نشان می‌دهد. در این نمونه تغییر مکان حداکثر نیز ۳ میلی‌متر بوده است.

در این نمونه روند بازشدن ترک‌ها و به تبع غیرخطی شدن نمونه حالت یکنواخت‌تری نسبت به نمونه شاهد داشته است. برای بررسی بهتر موضوع پوش منحنی بار-تغییر مکان مطابق شکل ۵-۶۳ ترسیم شده است. مطابق آنچه در پوش منحنی ملاحظه می‌شود، با فراتر رفتن نیرو از ۳۰۰ کیلونیوتن، شیب منحنی در حال کاهش است. در این نمونه نیز بصورت پژوهشی میزان شکل پذیری مورد بررسی قرار داده شده است. برای تعیین مرز حالت خطی و غیرخطی از ضوابط استاندارد ASCE41 برای دوخطی کردن نمودار پوش منحنی استفاده شده است. این نمودار دوخطی با رنگ قرمز در شکل ۵-۶۴ نشان داده شده است.



(شکل ۵-۶۲ - نمودار نیرو-جابجایی برای نمونه دوم)



(شکل ۵-۶۳ - ترسیم پوش نمودار چرخه‌ای نیرو-تغییر مکان برای نمونه دوم)



شکل ۵-۶۴ - دوخطی منحنی پوش در نمونه دوم)

در نمودار فوق محل شکست منحنی دوخطی نقطه‌ی نظیر نیروی ۴۱۲ کیلو نیوتن و جابجایی ۰.۵۲ میلی‌متر است. بر این اساس میزان سختی اولیه نمونه ۱۳۲۰ کیلو نیوتن بر میلی‌متر است.

$$\text{Initial Stiffness: } \frac{412 \text{ kN}}{0.52 \text{ mm}} = 792 \left(\frac{\text{kN}}{\text{mm}} \right)$$

اگر مقدار شکل پذیری نمونه‌ی مورد بررسی را حاصل تقسیم جابجایی نهایی به تسلیم تعریف نماییم، داریم:

$$\text{Ductility: } \frac{3.00 \text{ mm}}{0.52 \text{ mm}} = 5.77$$

و با توجه به سطح زیر منحنی، مقدار کل انرژی جذب شده در سیستم بصورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$\text{Energy Absorption: } 1535 \text{ kN.mm}$$

۵-۳-۳- نمونه‌ی دیافراگم سوم و نتایج حاصل از آن:

در نمونه‌ی سوم نیز مشابه نمونه دوم، قبل از اعمال بار درون صفحه‌ای، بار ثقلی روی سقف عرشه فولادی قرار داده شده است. میزان بار ثقلی و نحوه اعمال آن کاملاً مشابه نمونه‌ی دوم است. تفاوت نمونه سوم نسبت به نمونه دوم، نصب پیچ‌های خودکار قبل از بتن ریزی روی ورق عرشه می‌باشد.

بررسی ترک‌ها:

در این نمونه نیز حضور گسترده وزنه‌های مورد استفاده برای بار ثقلی، روند بررسی ترک‌ها با سختی مواجه نمود، اما وضعیت کلی ترک‌ها بیانگر این موضوع است که سطح نیرویی بازشدگی ترک‌ها نسبت به نمونه قبل بالاتر رفته است ولی محل شروع اولین ترک و توالی ترک خوردگی مشابه نمونه‌ها ی قبلی بوده است. شکل ۵-۶۵ نشان دهنده ترک‌های موجود در ناحیه میانی دال می‌باشد.



شکل ۵-۶۵ - گسترش ترک‌ها در ناحیه میانی دال نمونه سوم

خرابی دال:

در نمونه سوم نیز مانند نمونه‌های قبلی خرابی دال بصورت ترد و ناگهانی در ناحیه تکیه‌گاه اتفاق افتاد. مقدار نیروی وارده در لحظه‌ی تخریب کمتر از نمونه اول ولی نسبت به نمونه دوم اندکی افزایش داشته است. همانطور که در شکل ۵-۶۶ نیز دیده می‌شود، خرابی از نوع خردشدگی بتن در محل اتصال به تکیه‌گاه رخ داده است.



شکل شماره ۵-۶۶ - تخریب دال در نمونه سوم

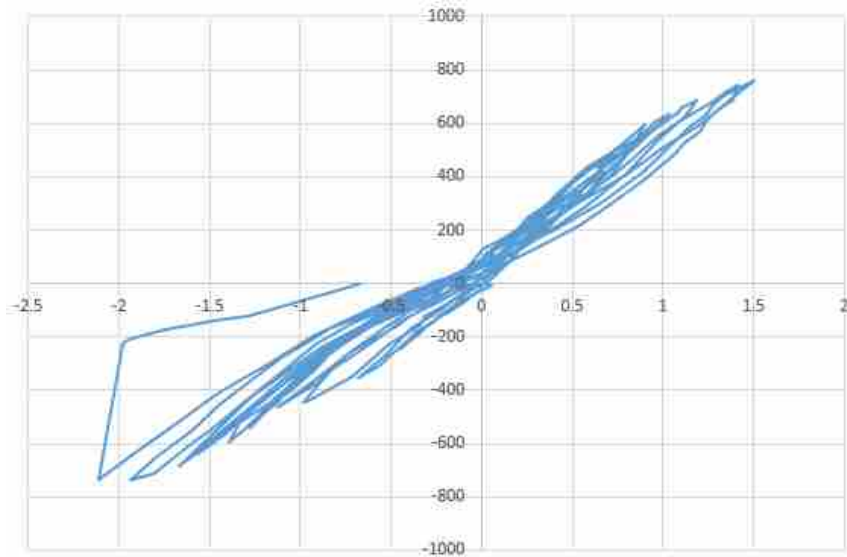
لغزش دال بتنی نسبت به ورق عرشه:

در این نمونه لغزش بین ورق عرشه و بتن در حد صفر گزارش شده است. دلیل این امر وجود پیچ خودکار و ایجاد انسجام کامل بین ورق عرشه و بتن رویه است. منحنی نیرو-تغییر مکان جانبی دال:

منحنی بار در مقابل تغییر مکان وسط دهانه، برای نمونه سوم در شکل ۵-۶۷ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود رابطه بار-تغییر مکان به حالت خطی بسیار نزدیک است. دلیل این امر محدود شدن بازشدگی ترک‌های بتن توسط ورق عرشه می‌باشد. ورق عرشه توسط پیچ‌های خودکار اتصال مناسب با بتن

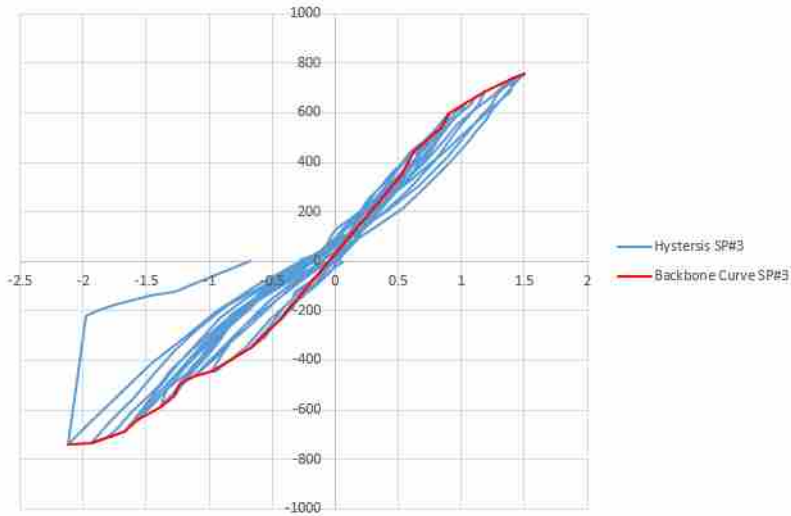
پیدا کرده و لذا نقش تقویت بتن و محدود کردن ترک خوردگی آن را ایفا می‌کند. این عامل سبب کاهش تغییر مکان وسط دهانه و نزدیک شدن رفتار به حالت خطی می‌گردد.

در نمونه سوم مقدار حداکثر نیروی داخل صفحه وارد بر دال تا قبل از بروز خرابی، ۷۶۰ کیلونیوتن بوده که این مقدار در مقایسه با نمونه شاهد، ۱۶٪ افت و در مقایسه با نمونه دوم ۳٪ افزایش را نشان می‌دهد. در این نمونه تغییر مکان حداکثر نیز به ۲ میلی‌متر محدود شده است.



شکل ۵-۶۷ - نمودار نیرو-جابجایی برای نمونه سوم

برای بهتر دیده شدن رفتار دال نمونه سوم در بارهای رفت و برگشتی، پوش منحنی بار-تغییر مکان ترسیم و در شکل ۵-۶۸ نشان داده شده است.



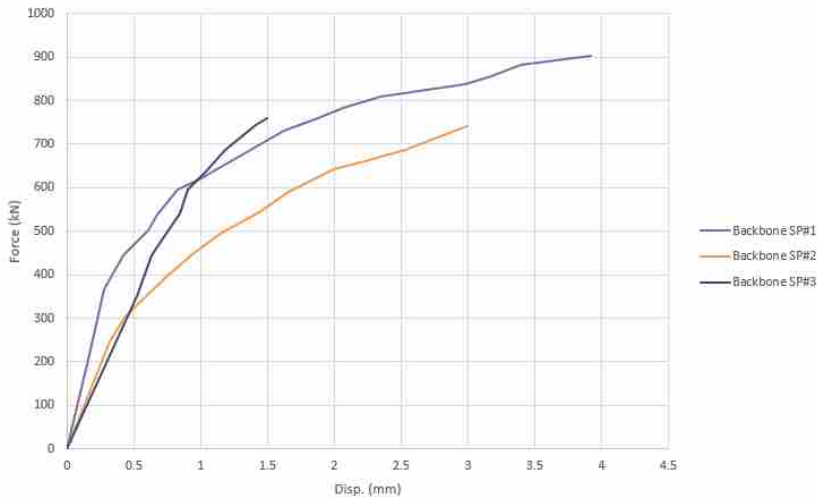
شکل ۵-۶۸ - ترسیم پوش نمودار چرخه‌ای نیرو-تغییر مکان برای نمونه سوم

با رسم نمودار بار-تغییر مکان برای هر سه نمونه بصورت یکجا (شکل ۵-۶۹) نتایج زیر حاصل شده است:

الف) بیشینه تغییر مکان وسط دهانه با اندازه‌ی حدود ۴ میلی‌متر مربوط به نمونه اول بوده است. در نمونه‌ی سوم به دلیل حضور پیچ‌های خودکار و اتصال مناسب ورق عرشه با بتن، ترک‌ها بصورت محدود و به تبع تغییر مکان نسبت به نمونه‌ها ی دیگر کاهش داشته است.

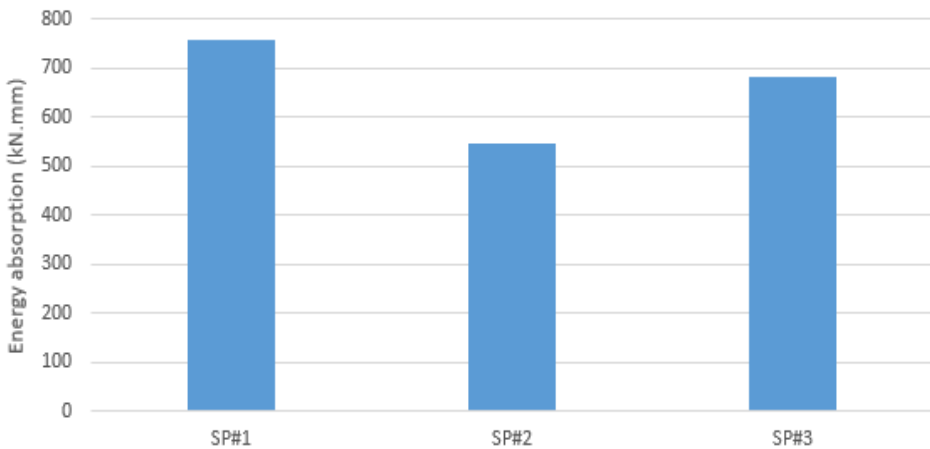
ب) اگر چه در نمودارهای ترسیم شده‌ی بار-تغییر مکان، نمونه‌ی شماره ۱ بیشترین ظرفیت باربری را نشان می‌دهد ولی در یک جابجایی مشخصی که همه ی نمونه‌ها به آن رسیده باشند (مانند جابجایی ۱/۵ میلی‌متر) ظرفیت باربری نمونه شماره ۳ بیشترین است. بررسی دقیق‌تر این مورد در تحقیقات آتی انجام خواهد شد.

ج) در نمونه‌ی سوم تا قبل از رسیدن نیرو به ۶۰۰ کیلو نیوتن، رفتار به حالت خطی بسیار نزدیک است. دلیل اول این موضوع حذف ترک‌هایی است که در سطح نیروی پایین‌تر اتفاق می‌افتد و دلیل دوم حذف لغزش بین ورق عرشه و بتن می‌باشد.



شکل ۵-۶۹ - پوش منحنی‌های نیرو-تغییر مکان

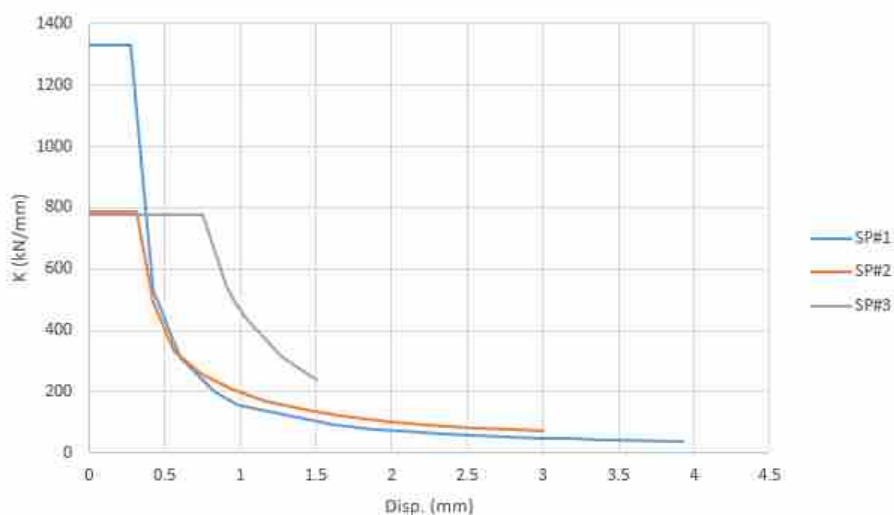
د) برای قیاس میزان انرژی جذب شده در نمونه‌ها، این پارامتر برای هر سه نمونه تا جابجایی ۱/۵ میلی‌متر محاسبه و نمودار میله‌ای آن در شکل ۵-۷۰ منعکس شده است. با مقایسه میزان انرژی جذب شده در نمونه‌های شماره ۱ و ۲ مشخص می‌شود که حضور بارثقلی سبب کاهش ۲۸ درصدی شده است. همچنین قیاس نمونه‌های شماره ۲ و ۳ نشان می‌دهد که افزودن پیچ‌های خودکار سبب افزایش میزان انرژی جذب شده به اندازه ۲۵ درصد شده است.



شکل ۵-۷۰ - نمودار میله‌ای انرژی جذب شده در نمونه‌ها تا جابجایی ۱/۵ میلی‌متر

ه) جهت مقایسه تغییرات سختی در نمونه‌ها، مقادیر سختی سکانت در جابجایی‌های مختلف برای هر سه نمونه ترسیم و در شکل ۵-۷۱ نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، سختی اولیه در نمونه شماره ۳ تا تغییر مکان بیش‌تری (حدود ۲ برابر) نسبت به نمونه‌های دیگر حفظ شده است.

در یک تغییر مکان مشخص (مانند ۱/۵ میلی‌متر) برای هر سه نمونه، بیش‌ترین سختی مربوط به نمونه شماره ۳ و بعد از آن نمونه‌های شماره ۲ و ۱ با اختلاف بسیار کمی از یکدیگر قرار دارند.



شکل ۶-۳ - نمودار تغییرات سختی سکانت نمونه‌ها

فصل ۶

نتیجه گیری

نتایج مهم تحقیق حاضر را می توان در دو قسمت به شرح زیر بیان نمود:
۶-۱ نتایج حاصل از آزمایشات و تحلیل های انجام شده روی عملکرد ثقلی و شکل پذیری سقف های مختلط عرشه فولادی

- مود شکست در سقف های مختلط عرشه فولادی بدون برشگیر، اعم از بارگذاری خمشی یا برشی، با جداشدگی بتن رویه سقف از ورق عرشه فولادی و خرابی ترد ناگهانی سقف همراه بوده است. حال آن که در سقف های دارای برشگیر پیچی از نوع پیچ خودکار، مود شکست با خرابی شکل پذیر از نوع تسلیم فولاد کششی ورق عرشه و در نهایت خردشدگی بتن ناحیه فشاری رویه سقف نتیجه شده است.

- در نمونه های خمشی دارای برشگیر پیچی در دهانه برشی سقف، میزان ظرفیت باربری حداکثر خمشی به طور متوسط $3/03$ برابر نسبت به نمونه های خمشی فاقد برشگیر افزایش یافته است.

- در نمونه های برشی دارای برشگیر پیچی از نوع پیچ خودکار در دهانه برشی سقف نیز میزان ظرفیت باربری حداکثر به طور متوسط $2/81$ برابر نسبت به نمونه های شاهد برشی فاقد برشگیر رشد نموده است.

- مقایسه میان سقف های عرشه فولادی بدون برشگیر با رفتار خمشی در مقایسه با رفتار برشی نشان دادند، اگر چه در تمام این دسته از سقف ها، مود شکست ترد

جداشدگی ورق عرشه حاکم شده است، ولی سقف‌های با رفتار برشی میزان ظرفیت باربری بزرگ‌تری را به میزان $1/5$ تا $2/3$ برابر نسبت به سقف‌های با رفتار خمشی از خود نشان دادند.

- مقایسه میان سقف‌های عرشه فولادی دارای برشگیر از نوع پیچ خودکار با رفتار خمشی در مقایسه با رفتار برشی حاکی از آن است اگر چه در تمام این دسته از سقف‌ها، مود شکست شکل پذیر حاکم شده است، ولی سقف‌های با رفتار برشی میزان ظرفیت باربری حدود $1/66$ برابر بیشتر را نسبت به سقف‌های با رفتار خمشی از خود نشان دادند.

- با محاسبه ضریب شکل‌پذیری تغییرمکانی در نمونه‌های با رفتار خمشی مشاهده شد که شکل‌پذیری نمونه‌های دارای برشگیر به طور متوسط $2/75$ برابر بیش از نمونه‌های خمشی بدون برشگیر می‌باشد.

- ضریب شکل‌پذیری تغییرمکانی نمونه‌های با رفتار برشی نشان‌دهنده این مطلب مهم است که شکل‌پذیری نمونه‌های دارای برشگیر به طور متوسط 3 برابر بیش از نمونه‌های برشی فاقد برشگیر است.

- نمونه‌های دارای برشگیر از نوع پیچ خودکار با رفتار خمشی، حدود 12 برابر جذب انرژی بیشتری نسبت به نمونه‌های بدون برشگیر نظیرشان از خود نشان دادند.

- در نمونه‌های دارای برشگیر از نوع پیچ خودکار با رفتار برشی، میزان جذب انرژی حدود $9/5$ برابر بیش‌تر نسبت به نمونه‌های بدون برشگیر نظیرشان مشاهده شد.

- بررسی بر روی نمونه‌های مختلف عرشه فولادی با دو نوع متفاوت مقاومت فشاری بتن 13 و 30 مگاپاسکال نشان داد که مقاومت فشاری مشخصه بتن (f'_c) بر روی باربری ثقلی سقف‌های مختلط عرشه فولادی، تاثیر چندانی ندارد و به عبارتی در تمامی سقف‌های مختلط بدون برشگیر، اعم از بارگذاری خمشی یا برشی، به ترتیب ظرفیت باربری تقریباً یکسانی نتیجه شده است. اگر چه به منظور افزایش دوام و پایایی بتن و نیز جلوگیری از خوردگی میلگردهای حرارتی، استفاده

از بتن‌های با مقاومت فشاری پایین توصیه نمی‌شود ولی در عین حال این نتایج اثبات می‌نماید که در بتن رویه سقف مختلط، به جای استفاده از بتن معمولی می‌توان از بتن‌های سبک با دانسیته و مقاومت پایین‌تر مانند بتن‌های سبک الیافی نیز استفاده نمود.

- مطالعه صورت گرفته بر روی سقف‌های مختلط عرشه فولادی بدون برشگیر و مقایسه آن با سقف‌های دارای برشگیر فولادی نشان داد که صرفاً اتکاء به آج‌های ورق فولادی عرشه برای تامین عملکرد مختلط میان ورق فولادی سازه‌ای و بتن رویه کافی نمی‌باشد. به عبارتی در موارد بارگذاری فوق‌العاده مانند زلزله، تغییرشکل‌های ناشی از حریق و ، سقف‌های عرشه فولادی بر اثر از بین رفتن چسبندگی میان بتن رویه و ورق فولادی و شکست کششی بتن، به صورت ناگهانی و بدون هشدار قبلی، دچار شکست ترد و نابهنگام خواهند شد. بنابراین لزوم استفاده از برشگیرهایی نظیر پیچ‌های خودکار یا ادوات مشابه، برای تامین شکل‌پذیری این نوع سقف‌ها و تضمین عملکرد مختلط ورق عرشه و بتن رویه، ضروری به نظر می‌رسد.

۶-۲ نتایج حاصل آزمایشات و تحلیل‌های انجام شده بر روی عملکرد دیافراگمی سقف‌های مختلط عرشه فولادی

-بررسی ترک‌ها حین انجام آزمایشات بیانگر این موضوع بود که در هر سه نمونه شروع ترک خوردگی مانند ترک‌های خمشی از ناحیه میانی دال و در امتداد نیروی وارده بوده است و با افزایش مقدار نیرو، ترک‌های برشی (بصورت مایل) در نواحی نزدیک به تکیه‌گاه‌ها شکل گرفتند. نوع خرابی در تمامی سه نمونه بصورت ترد و در اثر خردشدگی بتن در نواحی اطراف تکیه‌گاه‌ها اتفاق افتاده است. این قسمت همان ناحیه بیشینه‌ی نیروی برشی است و لذا خرابی در تمامی نمونه‌ها، نهایتاً تحت اثر برش اما با مقادیر متفاوت نیرو اتفاق افتاده است.



- در نمونه‌ی دیافراگم اول (نمونه شاهد)، ترک خوردگی‌ها بصورت غیر یکنواخت اتفاق افتاد. حال آن که در نمونه‌ی دیافراگم دوم به دلیل حضور بار ثقلی، شکل-گیری ترک‌ها از مراحل ابتدایی اعمال بار جانبی آغاز شد و در هر گام، با افزایش نیرو، طول ترک‌های قبلی افزایش و یا ترک‌های جدید در دال شکل گرفتند. در نمونه‌ی دیافراگم سوم به دلیل اتصال مناسب ورق عرشه با بتن (حضور پیچ‌های خودکار) ترک خوردگی بصورت محدود و در سطح نیرویی بالاتر اتفاق افتاد.

- در نمونه دافراگم‌های مورد بررسی، بیش‌ترین لغزش بین ورق عرشه و دال بتنی در نمونه شماره ۲ (نمونه دارای بار ثقلی و فاقد پیچ) مشاهده شد. در این نمونه، به دلیل اعمال بار ثقلی، در ابتدا یک جریان برش بین ورق عرشه و بتن شکل گرفت و لذا پس از اعمال بار جانبی پتانسیل بالاتری برای لغزش از خود نشان داد. در نمونه اول میزان جابجایی نسبی بسیار محدود و حالت برگشت پذیر داشته است. در نمونه سوم نیز به دلیل حضور پیچ‌های خودکار، لغزش بین ورق عرشه و بتن در حد صفر بوده است.

- از آنجایی‌که در هر سه نمونه، خرابی بصورت متمرکز در محل تکیه‌گاه اتفاق افتاده است، به نظر می‌رسد در صورتی که از این مد خرابی پیش‌گیری شود (با توزیع یکنواخت تنش در نواحی انتهایی و نه بصورت متمرکز در نقاط تکیه‌گاهی) ادامه‌ی منحنی بار-تغییر مکان نیز قابل رصد بوده و همچنین دستیابی به مقاومت بالاتر را نیز می‌توان متصور بود.

- به منظور مقایسه میزان انرژی جذب شده در نمونه دیافراگم‌های مختلف، مشاهده شد که در یک جابجایی داخل صفحه مشخص نظیر ۱/۵ میلی‌متر و در نمونه دیافراگم‌های فاقد هر گونه برشگیر پیچی، اثر بار ثقلی توام با بار جانبی، سبب کاهش انرژی جذب شده به میزان حدودی ۲۸ درصد نسبت به نمونه شاهد فاقد بار ثقلی شده است. حال آن که استفاده از برشگیر پیچی در این جابجایی ۱/۵ میلی‌متر، برای نمونه‌های دارای بار ثقلی توام با بار جانبی، سبب افزایش ۲۵ درصدی انرژی جذب شده در نمونه‌ی سوم دارای برشگیر پیچی در مقایسه با نمونه دوم فاقد برشگیر شده است.

- سختی اولیه دیافراگم عرشه فولادی دارای بار ثقلی توام با بار داخل صفحه، در مقایسه با نمونه فاقد بار ثقلی حدود ۴۰ درصد کاهش یافته است و برش گیرپیچی تأثیری در افزایش سختی اولیه در مقایسه با نمونه فاقد برشگیر (نمونه دو و سه) نداشته است.

- با افزایش تغییر مکان داخل صفحه (بیش از حدود ۰/۵ میلی‌متر)، سختی دیافراگم‌ها روند نزولی را نشان می‌دهند. نمونه‌ی بدون برشگیر و بدون بار ثقلی (شاهد) در مقایسه با نمونه مشابه دارای بار ثقلی، سختی تقریباً یکسانی را در روند کاهش از خود نشان دادند.

- با بزرگ شدن تغییر مکان‌های داخل صفحه دیافراگم (بیش از ۰/۵ میلی‌متر) نمونه دارای برشگیر و تحت اثر توام بار ثقلی همراه با نیروهای داخل صفحه، در یک تغییر مکان مشخص، سختی بیشتری را نسبت به نمونه‌های فاقد برشگیر و حتی فاقد بار ثقلی از خود نشان داده است. به گونه‌ای که سختی در نمونه دارای برشگیر تا تغییر مکان جانبی حدود ۱/۵ میلی‌متر، افزایش به میزان ۷۰ درصد تا ۱۰۰ درصد را بیش از سایر نمونه‌ها نشان می‌دهد. بنابراین این امر عملکرد مطلوب لرزه‌ای دیافراگم دارای برشگیر پیچی را با وجود اثر همزمان بار داخل صفحه و ثقلی در مقایسه با نمونه فاقد برشگیر و حتی نمونه شاهد فاقد بار ثقلی اثبات می‌نماید.

1. Barnes, S. B. and Associates. "Report of Test Program on Mahon Steel Decks to Demonstrate Adequacy When Used as Horizontal Diaphragms." S. B. Barnes and Associates, Los Angeles, April, 1957.
2. Nilson AH. Shear diaphragm of light gage steel . J Struct Div, ASCE 1960;86(11):111-39
3. Ekberg, C E & Schuster, R M, Floor systems with composite form reinforced concrete slabs. Proceedings, 8th Congress of the International Association for Bridge and Structural Engineers (IABSE), New York, pp 385-394, 1968.
4. Porter, M. L. and Ekberg, C. E., Summary of full scale laboratory tests of concrete slabs reinforced with cold-formed steel decking. International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), Amsterdam, Preliminary Report, 173-183, 1972.
5. Porter, M. L. and Ekberg, C. E., Investigation of cold-formed steel-deck-reinforced concrete floor slabs. Proc. 1st. International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures. Ed.: W. W. Yu, 179-185, 1971
6. Luttrell, Larry D. "Shear Diaphragms with Lightweight Concrete Fill." The First Speciality Conference on Cold Formed Steel Structures, ed. Wei-Wen Yu. Roll a: Civil Engineering Dept., Univ. of Missouri-Rolla, 1971, 111-117
7. .Davies, J. M. and Fisher, J. "The Diaphragm Action of Composite Slabs". Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part 2 67 (1979):891-9Q6.
8. .Porter, M. L. and Ekberg, C. E., Design recommendations for steel deck floor slabs. ASCE Journal of the Structural Division, 102 (11), pp. 2121-2136, 1976.
9. ASCE, Standard for the Structural Design of Composite Slabs, ANSI/ASCE 3-91, 1992.
10. ASCE, Standard Practice for Construction and Inspection of Composite Slabs, ANSI/ASCE 9-91, 1992.
11. Canadian Sheet Steel Building Institute, Standard for Composite Steel Roof Deck, CSSBI 12M – 08, October 2008.

12. BSI, Structural Use of Steelwork in Building- Part 4: Code of Practice for Design of Composite Slabs with Profiled Steel Sheeting, British Standard BS 5950: Part 4: 1994.
13. CEN (European Committee for Standardization), Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures-Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings, prEN 1994-1-1, Final Draft, Brussels, 2004.
14. FEMA, NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings – Part 1: Provisions, FEMA 222A, Washington, D. C., USA, Building Seismic Safety Council (BSSC), 1995.
15. Schuster, R. M., Strength and behavior of cold-rolled steel-deck-reinforced concrete floor slabs, Ph.D Dissertation, Iowa State University, Ames, Iowa, 1970.
16. Porter, M. L. and Ekberg, C. E., Investigation of cold-formed steel-deck-reinforced concrete floor slabs. Proc. 1st. International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures. Ed.: W. W. Yu, 179-185, 1971.
17. ABK, A Joint Venture. "Methodology for Mitigation of Seismic Hazards in Existing Unreinforced Masonry Buildings: Diaphragm Testing." ABK-TR-03. ABK, A Joint Venture, El Segundo, California, December, 1981.
18. Bolluyt, James E., "Behavior of composite steel deck diaphragms" (1980). Retrospective Theses and Dissertations. 17260. <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/17260>
19. Easterling, William Samuel, "Analysis and design of steel-deck-reinforced concrete diaphragms" (1987). Retrospective Theses and Dissertations. 8637. <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/8637>
20. Jeong, Y., Kim, S., and Kim, H. (2005). Partial-interaction analysis with push-out tests. Journal of Constructional Steel Research 61 (2005) 1318–1331.
21. A.Gholamhoseini, R.I. Gilbert, M.A. Bradford, Z.T. Chang, Longitudinal shear stress and bond-slip relationships in composite concrete slabs, 2014
22. McComb, C., Tehrani, F. (2015). Enhancement of shear transfer in composite deck with mechanical fasteners. Engineering Structures 88 (2015) 251–261.
23. Mehrtash Motamedi, Carlos E. Ventura, Inelastic response of steel roof deck diaphragm with nailed and welded connection, 2016

۲۴. آیین‌نامه طراحی و اجرای سازه‌های فولادی سبک سردنورد، نشریه ض-

۶۰۸، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۰.

۲۵. استاندارد ملی ایران به شماره ۲۱۹۷۳ با عنوان سقفهای مرکب عرشه

فولادی

26. SDI, Use Of Reinforcing Steel in Concrete Filled Steel Deck Diaphragms, 2008.
27. SDI-ANSI-T-CD 2013, Standard Test Method for Composite Steel Deck
28. AISI S907-13 Test Standard for Cantilever Test Method for Cold Formed Steel Diaphragms

Abstract

Composite metal decks are one of the new structural technologies that have been used extensively in the construction industry. These roofs are made of corrugated and embossment structural steel sheets at the bottom part and reinforced concrete at the top part of the slab. In this system, steel decks, in addition to the role of load-bearing and durable formwork during construction, act as the lower tensile member of the concrete slab after gaining concrete strength. The critical point is to ensure the bonding between concrete and steel sheet achieves the decks' performance as a member of the tensile load-bearing slab (composite deck) and this feature through appropriate embossments (lug) on the steel deck. In addition to steel decks' performance under gravity loads, their diaphragm behavior against in-plane lateral loads has points that depend on various factors. The diaphragm's strength and stiffness can be calculated by considering the steel deck's capacity with top concrete or the top concrete alone.

In the present study, in-plane shear tests have been predicted to evaluate the shear stiffness of steel deck roofs under in-plane loads caused by earthquakes. Also, two-point bending tests have been performed to evaluate the shear-flexural behavior of roofs. In the bending-shear test, to determine the nominal strength of roofs by considering two types of flexural and shear loads, two different compressive strengths for the top concrete, six samples of roof slabs were tested and studied. Moreover, in order to investigate the effect of the number, geometry and arrangement of the sheet embossments on the flexural and shear performance of composite steel deck and simultaneous use of screw shear connectors and their effect on improving gravity bearing capacity and ductility of composite steel deck, four slab specimens are made, and relevant tests were performed. To evaluate the in-plane behavior of steel deck composite under combined gravity and lateral cyclic loads without and considering self-screw shear connectors, three completely similar laboratory samples in terms of geometric and mechanical properties of materials have also been fabricated and tested.

The experimental results indicate the need to use shear connectors such as self-tapping screws or similar connectors to provide the suitable strength and ductility of this type of roof and ensure the complete composite performance between the steel deck sheet and

the top concrete. Besides, diaphragm's adequate seismic performance with screw shear connectors is proved despite the combined effect of in-plane and gravity load compared with the sample without shear connector and even the control specimen without gravity load.



Road, Housing & Urban Development Research Center

Seismic performance of metal deck under gravity loads

By:

Farhang Farahbod

Leili Ershad

MARYam Khorrami Azar

Mohammadreza bayat

Kian Khalili

Hesam Atghaei

Research Report

BHRC Publication No: R-999

2022