

پارامترهای لرزه‌ای سقف‌های مرکب عرشه فولادی در تیرچه‌های با فواصل مختلف¹

پرویز عبادی^{۱*}، احمدرضا معصومی^۲، روزبه تبریزی^۳

۱- پرویز عبادی، استادیار دانشکده عمران، موسسه آموزش عالی صدرالمتهین (صدرا)، Ebad@Sadra.ac.ir و Parviz.Ebadi@gmail.com

۲- احمدرضا معصومی، دانشجوی کارشناسی ارشد زلزله، دانشکده عمران، موسسه آموزش عالی صدرالمتهین (صدرا)،

a.r.masoumi90@gmail.com

۳- روزبه تبریزی، دانشجوی کارشناسی ارشد زلزله، دانشکده عمران، موسسه آموزش عالی صدرالمتهین (صدرا)،

Rouzbeh.Tabrizi@gmail.com

چکیده:

روشهای جدید و کارآمد برای ساخت سقف‌های مرکب فولادی باعث گردیده تا احداث ساختمان‌ها با سرعت زیادی انجام گیرد. استفاده از مصالح قدیمی و روش‌های سنتی ساخت دیگر جوابگوی سرعت مورد نظر و نیازهای طراحی نمی‌باشد. از این رو استفاده از مصالح جدید و کارا به همراه تکنیک‌های نوین در ساخت و ساز امر اجتناب ناپذیری محسوب می‌شود. استفاده از سقف‌های عرشه فولادی در ایران و جهان گسترش بسیار زیاد و وسیعی داشته است. سهولت اجرا، سرعت بالای اجرا، کم شدن ضخامت سقف و عوامل بسیار دیگری کارفرما را به استفاده از این سقف ترغیب می‌کند. طراحی این نوع سقف با استفاده از استانداردهای روز دنیا و کنترل دقیق پارامترهای طراحی می‌تواند منجر به طراحی سقف‌هایی با وزن کم‌تر و در نتیجه طراحی اقتصادی‌تر برای سازه شود. در این مقاله ۲۴ نمونه سقف مرکب عرشه فولادی در دهانه ۱۰ متری و با فواصل ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ متری به صورت دستی طراحی و سپس با نرم‌افزار ANSYS مدل گردیده است و در انتها نتایج تحلیلها به همراه پیشنهادهایی در جهت بهینه‌سازی طرح این سقف‌ها به خصوص در دهانه‌های بلندتر ارائه گردیده‌اند. همچنین پارامترهای لرزه‌ای سقف‌های عرشه فولادی با فاصله تیرچه‌های مختلف محاسبه و نحوه خرابی سیستم نیز بحث گردیده است. نتایج به دست آمده بیانگر رفتار مناسب این سقف‌ها در تیرچه‌های با فواصل مختلف و در دهانه‌های بلندتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سقف عرشه فولادی، فاصله تیرچه‌ها، طراحی دستی، پارامترهای لرزه‌ای

۱ مقدمه

دال مرکب با پروفیل عرشه فولادی در دهه‌های اخیر به عنوان یکی از ساده‌ترین، سریع‌ترین، سبک‌ترین و بصره-ترین نوع سقف بخصوص در ساختمان‌های فولادی شناخته شده است. پروفیل ورق‌های عرشه فولادی جداره نازک سرد نورد شده با زائده‌هایی به روی بال بالایی و جان‌ها جزو پرکاربردترین المان‌ها در ساخت این سقف می‌باشد. پروفیل عرشه فولادی دو عملکرد اصلی را انجام می‌دهد. یکی اینکه به عنوان قالب پایدار در بتن‌ریزی و دیگر اینکه به عنوان تقویت کششی بعد از سفت شدن بتن عمل می‌کند. شبکه میلگردهای سبک اضافی که لزوماً برای مراقبت از افت و حرارت بتن تأمین شده‌اند، معمولاً به صورت شبکه‌های جوش شده هستند. شایان ذکر است که استفاده از میلگردها در دهانه‌های پیوسته، جایگاه بتن ترک می‌خورد و مقاومت خود را از دست می‌دهد، نقش مهمی را در باربری لنگر خمشی منفی ایفا

¹ Siesmic Parameters of Composite Steel-Deck Roofs with Difference distance of joists

می‌کنند. ضوابط طراحی و اجرایی سقف‌های مرکب عرشه فولادی در آیین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی همچون [۱] AISC 360-10, [۲, ۳, ۴, ۵ و ۶] Eurocode 3 and 4, [۷] BSI 5950-Part 8, [۸] SDI و [۹ و ۱۰] AISC Design Guide 11 and 19 آورده شده است.

پورتر و اکبرگ^۱ [۱۱] در سال ۱۹۷۵ مطالعات گسترده‌ای بر روی گسیختگی چسبندگی برشی دال مرکب عرشه فولادی با سیم‌های عرضی جوش داده شده در بالای عرشه‌ها بعنوان وسیله‌ای برای انتقال برش انجام دادند. مکلائین و سان^۲ [۱۲] در سال ۱۹۹۹ رفتار اتصال برشی دال‌های مرکب عرشه فولادی با شکل، اندازه و موقعیت مختلف زائده‌ها و همچنین ضخامت عرشه فولادی مختلف را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که عمق زائده‌ها اثر قابل توجهی به توزیع برش طولی در پروفیل ورق‌های فولادی می‌گذارد. نفوذ زائده‌ها نیز می‌تواند تا حد زیادی باعث بهبود مقاومت برشی شود چون بتن درون حفره‌ها نفوذ می‌کند.

رایت و همکاران^۳ [۱۳] در سال ۱۹۸۷ دریافتند که مقاومت‌های مختلف فشاری بتن در بارگذاری متناوب تاثیر کمی روی مقاومت نهایی دال در مقایسه با بارگذاری استاتیکی دارد و همچنین دریافتند که کاهش ۳۰ درصدی در ارتفاع زائده‌ها موجب افت ۵۰ درصدی در ظرفیت باربری می‌شود.

کالیختو و لاوال^۴ [۱۴] در سال ۱۹۹۸ عرشه‌های فولادی با ضخامت، ارتفاع کل دهانه و طول دهانه برشی مختلف را مورد مطالعه قرار دادند. در همه نمونه‌ها حالت گسیختگی دال‌های عرشه فولادی با برشگیرهای انتهایی از نوع چسبندگی برشی بود. چن^۵ [۱۵] در سال ۲۰۰۳ رفتار چسبندگی برشی دال مرکب عرشه فولادی یک دهانه و دو دهانه را بررسی کرد و دریافت که گلمیخ‌های مهار انتهایی برای بالابردن مقاومت چسبندگی برشی موثر می‌باشند. رانا و همکاران^۶ [۱۶] در سال ۲۰۱۵ تاثیر مهار انتهایی (گلمیخ فولادی) را در دال‌های مرکب بتنی و عرشه فولادی برای بارگذاری کوتاه مدت و بلند مدت بررسی کردند و نتایج آن‌ها را با نتایج بدست آمده از روش المان محدود مقایسه کردند.

کرایسنل و ماریمون^۷ [۱۷] در سال ۲۰۰۴ روش ساده‌ای را برای محاسبه ظرفیت انتقال بار دال‌های مرکب پیشنهاد دادند. آندراده و همکاران^۸ [۱۸] در سال ۲۰۰۴ با استفاده از نتایج تحلیلی و تجربی بر روی دال‌های مرکب عرشه فولادی با کنگره عریض و روش حالت حدی مقاومت، منحنی بار-تغییر شکل را به همراه روشی برای طراحی عرشه فولادی ارائه کردند. همچنین تجزیه و روش تحلیل پارامترهای سیستم جدید دال مرکب عرشه فولادی با صفحات فوم^۹ میانی را بررسی نمودند. موهان و همکاران^{۱۰} [۱۹] در سال ۲۰۰۵ یک روش ساده برای طراحی دال‌های مرکب براساس نتایج بدست آمده از آزمایش بلوک لغزش ارائه دادند.

ماریموتو و سیدرامن^{۱۱} [۲۰] در سال ۲۰۰۷ آزمایشاتی برای بررسی رفتار چسبندگی برشی دال مرکب عرشه فولادی زائده‌دار از روش m-k (شیب نمودار و k: عرض از مبدا نمودار) انجام دادند و آن‌ها را با روش EC4 از PSC^{۱۲} مقایسه کردند.

¹ Porter and Ekberg

² Makelainen and Sun

³ Wright et al

⁴ Calixto and Lavall

⁵ Chen

⁶ Rana et al

⁷ Crisinel and Marimon

⁸ Andrade et al

⁹ Foam

¹⁰ Mohan et al

¹¹ Marimuthu and seetharaman

¹² Partial Shear Connection

¹ مقایسه کردند. نامدیو و همکاران² [۲۱] در سال ۲۰۱۲ مقاومت طراحی دال‌های مرکب عرشه فولادی را براساس آیین-نامه‌های EC4 و BS 5950-4³ انجام دادند و نتایج بدست آمده از این دو روش را با هم مقایسه کردند. بشار محمد⁴ در سال ۲۰۱۰ [۲۲] از خرده لاستیک به جای ریزدانه در دال بتنی عرشه فولادی استفاده کرد و نتایج آن را با دال بتنی عرشه فولادی معمولی مقایسه کرد. در ادامه تحقیقات، بشار محمد⁵ [۲۳] و همکاران در سال ۲۰۱۱ به جای استفاده از ریزدانه‌های معمولی در بتن از ریزدانه‌های کلینکر روغن نخل استفاده کردند و ضمن سبک شدن دال به نتایج مشابه مقاومت با بتن معمولی رسیدند.

عبادی و تبریزی در سال ۲۰۱۵ سقف‌های مرکب عرشه فولادی با فواصل تیرهای فرعی مختلف را مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که با کنترل دقیق ضوابط طراحی، امکان ساخت سقف‌های مرکب عرشه فولادی در دهانه‌هایی به مراتب بزرگ‌تر از دهانه‌های موجود، وجود دارد و می‌توان بدون ایجاد تغییرات زیاد در روش‌های موجود، این نوع سقف را تولید و اجرا نمود [۲۴، ۲۵].

در این مقاله ۲۴ نمونه سقف مرکب عرشه فولادی را در دهانه‌های ۲، ۳، ۳/۵، ۴، ۴/۵، ۵، ۵/۵ و ۶ متری در شرایط بهینه و نسبت تنش نزدیک به یک، به صورت دستی طراحی کرده و سپس آنها را در نرم‌افزار مدل کرده‌ایم. نمودارهای بار-تغییر مکان مربوط به هر کدام از نمونه‌ها به دست آمده و رفتار یک نمونه نیز به طور مفصل شرح داده شده است. در ادامه نتایج مربوط به پارامترهای لرزه‌ای از قبیل ضریب شکل‌پذیری، جذب انرژی و ضریب اضافه مقاومت برای تمامی نمونه‌ها نیز در این مقاله آورده شده است و نتایج بیانگر آن است که می‌توان سقف‌هایی با دهانه‌های به مراتب بزرگ‌تر از دهانه‌های موجود طراحی و اجرا نمود.

۲ طراحی نمونه‌ها

به منظور بررسی هر یک از پارامترهای طراحی، نمونه‌هایی با مشخصات سازه‌ای مشخص انتخاب شده و تحت بارهای وارده طراحی و کنترل شده‌اند. در طراحی مدل‌ها از آیین‌نامه AISC 360-10 برای طراحی تیر فولادی در حالت غیر مرکب و مرکب استفاده شده است. همچنین از آیین‌نامه EC4 برای طراحی دال مرکب عرشه فولادی، EC3 برای طراحی عرشه فولادی، آیین‌نامه SDI برای کنترل‌های تکمیلی در ارتباط با سقف‌های عرشه فولادی، AISC Design Guide 11 برای طراحی در برابر ارتعاش و BS 5950 – Part 8 برای طراحی در برابر آتش استفاده شده است.

تمامی نمونه‌های این مقاله در قاب با طول و عرض دهانه ۱۰ متر و در فواصل تیرچه‌های ۲، ۳، ۳/۵، ۴، ۴/۵، ۵، ۵/۵ و ۶ متری تحلیل و بررسی شده‌اند. در طراحی بهینه نمونه‌ها برای ۳ بار زنده ۲۰۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ به صورت دستی، مقادیری برای ضخامت و ارتفاع ورق عرشه فولادی، ضخامت بتن و همچنین مقطعی به شکل IPE برای تیرهای فرعی محاسبه گردیده است. اتصال تیرهای فرعی به تیرهای اصلی به صورت مفصلی می‌باشد. مشخصات مصالح و مشخصات سازه‌ای و همچنین نسبت تنش‌های طراحی اعضا در مراحل مختلف ساخت برای تمامی نمونه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ و جدول ۲ آورده شده است. مشخصات هندسه پروفیل عرشه فولادی، دال مرکب و اندازه‌گذاری آنها در شکل ۱ و شکل ۲ آورده شده است. همچنین پلان تیرریزی در شکل ۳ آورده شده است.

¹ EUROCODE 4

² Namdio et al

³ British Standard

⁴ Bashar Mohammad

⁵ Bashar Mohammad et al

**4th. International Congress on Civil Engineering , Architecture
and Urban Development
27-29 December 2016, Shahid Beheshti University , Tehran , Iran**

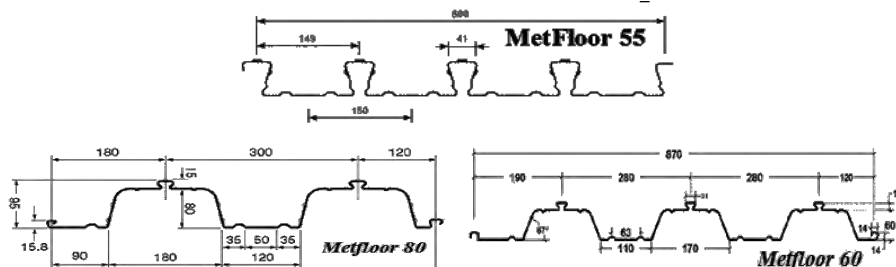
جدول ۱ مشخصات نمونه‌های مورد مطالعه

SD150-S6.0			SD150-S5.5			SD100-S5.0			SD100-S4.5			SD80-S4.0			SD80-S3.5			SD60-S3.0			SD55-S2.0			نام مدل
۶/۰			۵/۵			۵/۰			۴/۵			۴/۰			۳/۵			۳/۰			۲/۰			S
۵۰۰	۳۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۳۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۳۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۳۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۳۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۳۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۳۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۳۵۰	۲۰۰	LL
۲/۰			۱/۵			۲/۰			۱/۵			۱/۰			۱/۲			۰/۸			۰/۸			t _p
۱۵۰			۱۵۰			۱۰۰			۱۰۰			۸۰			۶۰			۶۰			۵۵			h _p
۱۰۰			۱۰۰			۸۰			۸۰			۸۰			۷۰			۷۰			۵۵			t _c
۶۰۰	۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۴۵۰	۵۰۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۳۰	۳۰۰	IPE

جدول ۲ نسبت تنش در اجزای نمونه‌های مورد مطالعه

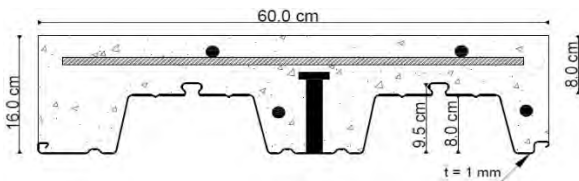
SD150-S6.0			SD150-S5.5			SD100-S5.0			SD100-S4.5			SD80-S4.0			SD80-S3.5			SD60-S3.0			SD55-S2.0			نام مدل																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
۵۰۰	۳۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۳۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۳۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۳۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۳۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۳۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۳۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۳۵۰	۲۰۰	LL																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
۰/۷			۰/۹			۰/۷			۰/۶			۰/۹۹			۰/۵۵			۰/۸۸			۰/۵۱			نسبت تنش			عرشه فولادی	مرحله در جین ساخت																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
۰/۲۲			۰/۳			۰/۲۲			۰/۱۸			۰/۱۸			۰/۱			۰/۱۷			۰/۱۱			لنگر خمشی																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
۰/۹۹			۱/۰۴			۱/۰۴			۰/۹			۱/۰۱			۰/۸۳			۰/۷۸			۰/۳			نیروی برشی																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
۰/۷۲			۰/۹۱			۰/۸۳			۱/۰۵			۰/۷۸			۱/۰			۰/۷۱			۰/۹			۰/۷۷			۰/۶۴			۰/۸۲			۰/۷۱			۰/۸۵			۰/۵۸			۰/۶۵			۰/۸۳			تیر فرعی																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
۰/۲۱			۰/۲۵			۰/۲۳			۰/۲۷			۰/۲			۰/۲۴			۰/۱۸			۰/۲۲			۰/۱۸			۰/۱۵			۰/۱۹			۰/۱۶			۰/۱۸			۰/۱۲			۰/۱۳			۰/۱۵																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
۰/۲۳			۰/۳۱			۰/۲۹			۰/۴			۰/۲۸			۰/۳۹			۰/۲۵			۰/۳۵			۰/۲۹			۰/۲۴			۰/۳۵			۰/۳			۰/۳۹			۰/۲۷			۰/۳۱			۰/۴۳																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
۰/۹۴			۰/۸۵			۰/۷۶			۰/۶۸			۰/۶۱			۰/۵۳			۰/۸			۰/۷			۰/۵۹			۰/۶۱			۰/۵۳			۰/۴۴			۰/۶۲			۰/۵۳			۰/۴۴			۰/۶۶			۰/۵۶			۰/۴۶			۰/۴۸			۰/۴			۰/۳۳			۰/۱۵			۰/۱۳			۰/۱۱			دال مرکب																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
۰/۷۱			۰/۵۹			۰/۴۸			۰/۵۹			۰/۴۹			۰/۳۹			۰/۶۴			۰/۵۲			۰/۴۱			۰/۵۲			۰/۴۳			۰/۳۳			۰/۵۵			۰/۴۴			۰/۳۴			۰/۵۱			۰/۴۱			۰/۳۲			۰/۴۷			۰/۳۸			۰/۲۹			۰/۳۲			۰/۲۶			۰/۲																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
۰/۹۲			۰/۸۴			۰/۷۵			۰/۷۸			۰/۷			۰/۶۱			۰/۶۶			۰/۵۲			۰/۴۹			۰/۵۶			۰/۴۸			۰/۴۱			۰/۵۵			۰/۴۴			۰/۳۶			۰/۴۸			۰/۴۱			۰/۳۲			۰/۴۵			۰/۳۸			۰/۳۱			۰/۱۸			۰/۱۵			۰/۱۳				۰/۱۱			۰/۱۳			۰/۱۵			۰/۱۸			۰/۱۰۸			۰/۱۰۶			۰/۱۰۵																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
۰/۴۸			۰/۳۹			۰/۳			۰/۳۵			۰/۲۸			۰/۲۲			۰/۴۷			۰/۳۸			۰/۳			۰/۳۴			۰/۲۷			۰/۲۱			۰/۳۶			۰/۲۹			۰/۳۸			۰/۳۱			۰/۴۵			۰/۳۸			۰/۴۷			۰/۴۸			۰/۴			۰/۳۳			۰/۱۵			۰/۱۳			۰/۱۱			۰/۱۳			۰/۱۵			۰/۱۸			۰/۱۰۸			۰/۱۰۶			۰/۱۰۵																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
۰/۹۳			۰/۹۹			۰/۸۳			۱/۰۵			۰/۹۱			۰/۹۴			۱/۰۵			۰/۹۳			۰/۹۶			۰/۹۸			۱/۰۴			۰/۸۶			۱/۰۵			۰/۹۱			۰/۷۵			۰/۸۱			۱/۰۱			۰/۸۳			۱/۰۲			۱/۰۴			۰/۸۹			۰/۸۷			۰/۹۳			۰/۹۳			۰/۳۴			۰/۳۶			۰/۴			۰/۳۹			۰/۴			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴			۰/۳۸			۰/۴۶			۰/۵۴			۰/۴۵			۰/۵۳			۰/۵۲			۰/۵۲			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۵۷			۰/۵۷			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹			۰/۴۹					

تمامی اندازه‌ها برحسب میلی‌متر، تنش تسلیم و مقاومت فشاری برحسب مگاپاسکال می‌باشند؛ که در آن، S ، فواصل تیرهای فرعی، t_p ، ضخامت ورق عرشه فولادی، h_p ، ارتفاع عرشه فولادی، f_y ، تنش تسلیم عرشه فولادی، t_c ، ضخامت بتن در بالای کنگره عرشه فولادی و f'_c ، مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه استوانه‌ای می‌باشد.

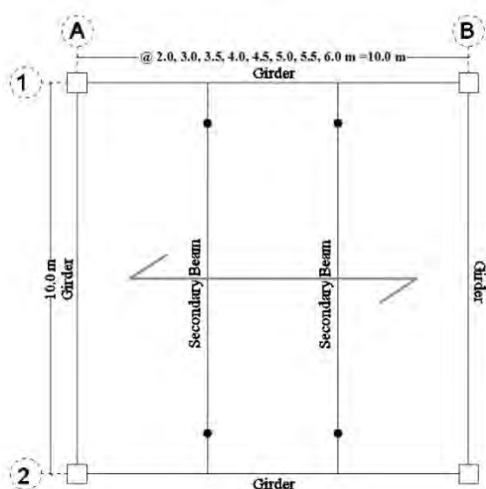


شکل ۱ مشخصات هندسی پروفیل‌های عرشه فولادی نمونه‌های مورد مطالعه

نسبت تنش در هر ۲۴ نمونه در سه مرحله حین ساخت، پس از ساخت و شرایط بهره‌برداری محاسبه شده است. در مرحله حین ساخت، نسبت لنگر خمشی، نسبت نیروی برشی و تغییر شکل برای عرشه فولادی و سپس تیر فرعی محاسبه شده است. در مرحله پس از ساخت همانند مرحله حین ساخت نسبت لنگر خمشی، نسبت نیروی برشی و تغییر شکل، این بار برای دال مرکب و تیر فرعی مرکب محاسبه شده است. با این تفاوت که نسبت نیروی برشی در دال مرکب در دو حالت نسبت نیروی برشی افقی و نیروی برشی عمودی به صورت جداگانه محاسبه می‌گردد. در مرحله آخر باید شرایط بهره‌برداری سقف برای عملکرد دال مرکب در برابر آتش و همچنین نسبت شتاب پانل به دست آمده از فرکانس مورد بررسی قرار گیرد. تمامی نسبت‌های تنش به دست آمده از مراحل بالا به شکلی محاسبه شده است که بیشینه‌ی آن مقادیر برای هر نمونه نزدیک به یک باشد.



شکل ۲ اندازه‌گذاری دال مرکب در نمونه SD80-S4.0



شکل ۳ پلان تیرریزی نمونه‌ها

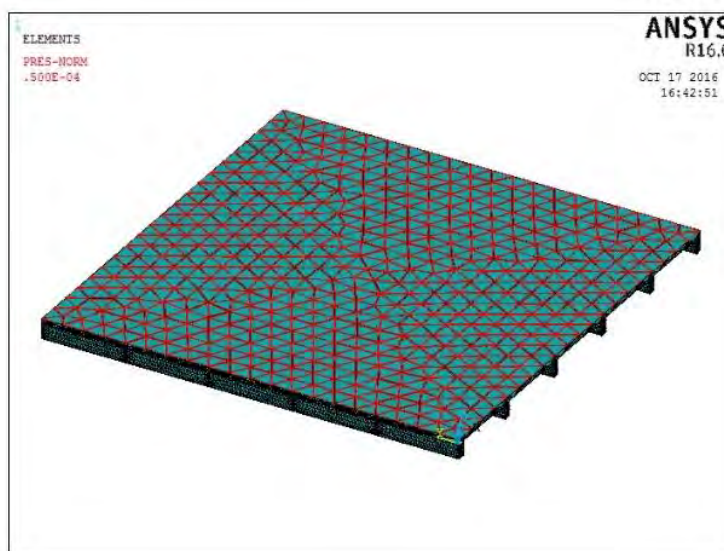
۳ ارزیابی پارامترهای طراحی سقف عرشه فولادی

بعد از طراحی نمونه‌ها به صورت دستی، تمامی آنها در نرم‌افزار ANSYS مدل گردید. مشخصات مصالح مورد استفاده و فرضیات مدل‌سازی برای آزمایش سقف مرکب عرشه فولادی در این مقاله در جدول ۳ آورده شده است. برای مدل‌سازی نمونه‌ها در نرم‌افزار انسیس برای بتن مسلح از المان Solid 65 و برای تیر فولادی و عرشه فولادی از المان Solid 187 استفاده شده است. به‌منظور شبکه‌بندی نمونه‌ها در این فصل برای تیرها و عرشه فولادی از مش‌های ۵۰ میلی‌متری استفاده گردیده است. تمامی مقادیر داده‌شده به نرم‌افزار ANSYS برحسب کیلونیوتن و میلیمتر می‌باشند. نحوه بارگذاری تمامی نمونه‌ها بدین‌صورت است که بار ثقلی بر روی کل سطح بالایی بتن به‌صورت گسترده قرار گرفته است (شکل ۴). با بررسی نمودارهای بار-تغییر مکان، ظرفیت باربری نمونه و پس از آن ضرایب شکل‌پذیری و جذب انرژی به دست می‌آید. رفتار یک نمونه به تفصیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت و در انتها ضریب اضافه مقاومت با مقایسه بین مقاومت به دست آمده از نرم‌افزار و مقدار طراحی محاسبه می‌شود.

جدول ۳ مشخصات مصالح مورد استفاده در مقاله رانا [۱۶]

مصالح	مشخصات	مقدار	مصالح	مشخصات	مقدار
بتن	چگالی	۲۴	فولاد	چگالی	۷۸
	ضریب پواسون	۰/۲		ضریب پواسون	۰/۳
	مقاومت فشاری	۲۵		تنش تسلیم	۶۹۱
	مقاومت کششی	۲/۵		مقاومت نهایی	۷۱۰
	حد رفتار خطی در کشش	۰/۶		مدول الاستیسیته	۲۴۸
	مدول الاستیسیته	۲۸/۹			

که در جدول فوق چگالی مصالح برحسب کیلونیوتن بر مترمکعب، تنش‌های مقاومتی برحسب مگاپاسکال و مدول الاستیسیته برحسب گیگاپاسکال داده شده است.



شکل ۴ نمونه سقف مدل شده در نرم‌افزار با فواصل تیرچه‌های ۲متری

۱-۳ ظرفیت باربری نمونه‌ها

طبق آئین‌نامه AISC، تغییرمکان عمودی دال مرکب عرشه فولادی تحت بار نهایی (DL+SDL+LL) نباید از $L/240$ طول دهانه بیش‌تر شود. در این بخش به بررسی بار معادل با تغییرمکان مجاز $L/240$ به ازای هر نمونه به‌صورت دستی محاسبه شده و مقدار بار معادل آن برای تمامی نمونه‌ها به‌صورت خط‌چین نشان داده شده است.

۱-۱-۳ ظرفیت باربری نمونه SD55-S2.0

همان‌گونه که در شکل ۵-الف مشاهده می‌شود، مقدار بار معادل با تغییرمکان مجاز $L/240$ برای نمونه‌های SD55-S2.0-200, SD55-S2.0-350 و SD55-S2.0-500 به‌ترتیب برابر ۱۰۶۰، ۱۳۲۰ و ۱۶۵۰ کیلونیوتن می‌باشد. همچنین نمونه SD55-S2.0-500 کم‌ترین مقدار تغییرمکان در لحظه نهایی را دارد.

۲-۱-۳ ظرفیت باربری نمونه SD60-S3.0

در شکل ۵-ب مشاهده می‌شود که مقدار بار معادل با تغییرمکان مجاز $L/240$ برای نمونه‌های SD60-S3.0-200,350 و SD60-S3.0-500 به‌ترتیب برابر ۱۳۳۰ و ۱۶۳۰ کیلونیوتن می‌باشد. همچنین نمونه SD60-S3.0-500 کم‌ترین مقدار تغییرمکان در لحظه نهایی را دارد.

۳-۱-۳ ظرفیت باربری نمونه SD60-S3.5

همان‌گونه که در شکل ۵-ج مشاهده می‌شود، مقدار بار معادل با تغییرمکان مجاز $L/240$ برای نمونه‌های SD60-S3.5-200,350 و SD60-S3.5-500 به‌ترتیب برابر ۱۵۲۰ و ۲۲۱۰ کیلونیوتن می‌باشد.

۴-۱-۳ ظرفیت باربری نمونه SD80-S4.0

در شکل ۵-د مشاهده می‌شود که مقدار بار معادل با تغییرمکان مجاز $L/240$ برای نمونه SD80-S4.0-200,350,500 برابر ۲۱۷۰ کیلونیوتن می‌باشد.

۵-۱-۳ ظرفیت باربری نمونه SD100-S4.5

همان‌گونه که در شکل ۵-ه مشاهده می‌شود، مقدار بار معادل با تغییرمکان مجاز $L/240$ برای نمونه‌های SD100-S4.5-200,350 و SD100-S4.5-500 به‌ترتیب برابر ۲۱۲۰ و ۲۴۰۰ کیلونیوتن می‌باشد.

۶-۱-۳ ظرفیت باربری نمونه SD100-S5.0

در شکل ۵-و مشاهده می‌شود که مقدار بار معادل با تغییرمکان مجاز $L/240$ برای نمونه‌های SD100-S5.0-200 و SD100-S5.0-350,500 به‌ترتیب برابر ۱۸۲۰ و ۲۳۲۰ کیلونیوتن می‌باشد.

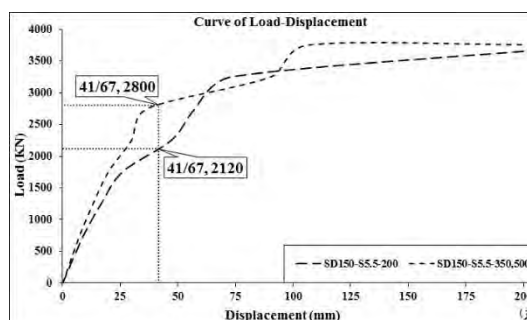
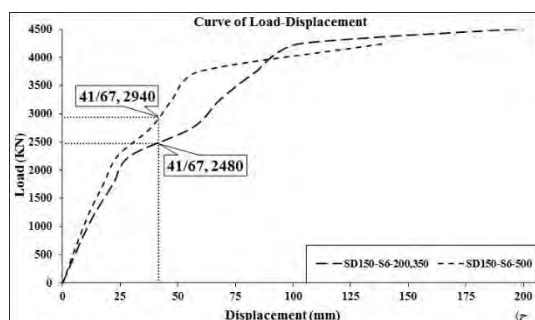
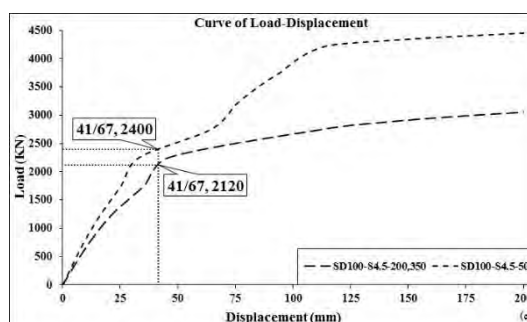
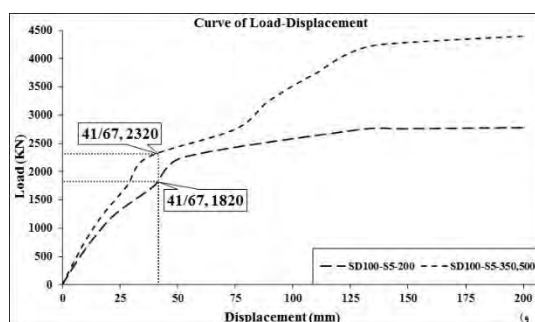
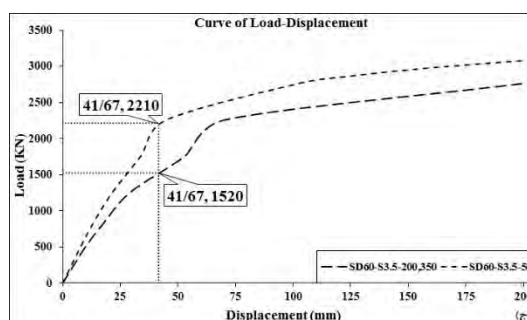
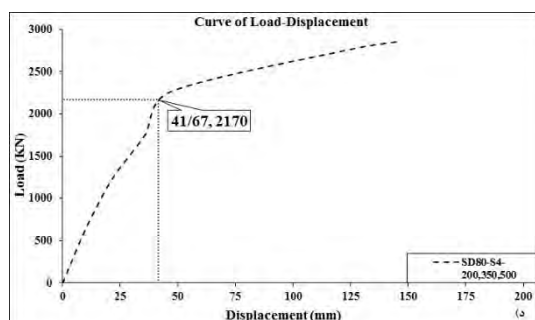
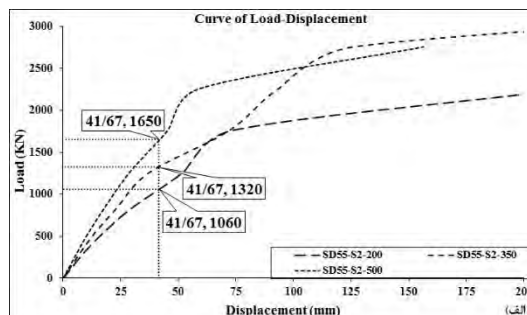
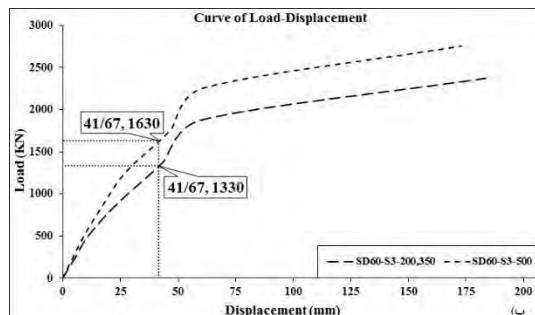
۷-۱-۳ ظرفیت باربری نمونه SD150-S5.5

همان‌گونه که در شکل ۵-ز مشاهده می‌شود، مقدار بار معادل با تغییرمکان مجاز $L/240$ برای نمونه‌های SD150-S5.5-200 و SD150-S5.5-350,500 به‌ترتیب برابر ۲۱۲۰ و ۲۸۰۰ کیلونیوتن می‌باشد.

۸-۱-۳ ظرفیت باربری نمونه SD150-S6.0

در شکل ۵-ح مشاهده می‌شود که مقدار بار معادل با تغییرمکان مجاز $L/240$ برای نمونه‌های SD150-S6.0-200,350 و SD150-S6.0-500 به‌ترتیب برابر ۲۴۸۰ و ۲۹۴۰ کیلونیوتن می‌باشد. نمونه SD150-S6.0-500 در بار نهایی کم‌تری نسبت به

نمونه دیگر گسیخته شده است. همچنین نمونه SD150-S6.0-500 کمترین مقدار تغییرمکان در لحظه نهایی را دارد. سختی نمونه‌ها نیز که از شیب نمودار بار-تغییر مکان به دست می‌آید در تمامی نمودارها به ترتیب افزایش یافته است.



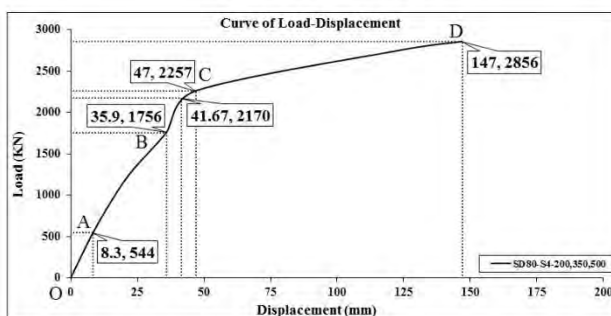
شکل ۵ ظرفیت باربری نهایی نمونه‌های الف) (۲/۰ متری ب) (۳/۰ متری ج) (۳/۵ متری د) (۴/۰ متری ه) (۴/۵ متری و) (۵/۰ متری ز) (۵/۵ متری ح) (۶/۰ متری در تغییرمکان L/240

۲-۳ تحلیل غیر خطی نمونه‌ها

در این بخش به بررسی رفتار نمونه‌ها تا لحظه گسیختگی با استفاده از نرم‌افزار ANSYS پرداخته شده است. برای همین منظور نتایج مربوط به یک نمونه در تغییر مکان‌های مختلف در نواحی مختلف نمودار بار-تغییر مکان نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفته شده است. رفتار تمامی نمونه‌ها در پنج ناحیه از نقطه O تا نقطه D تغییر پیدا می‌کند که در ذیل رفتار یک نمونه آورده شده است.

۱-۲-۳ بررسی نتایج نمونه SD80-S4.0-200,350,500

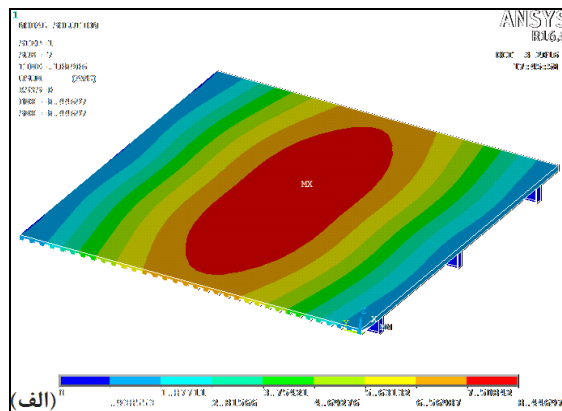
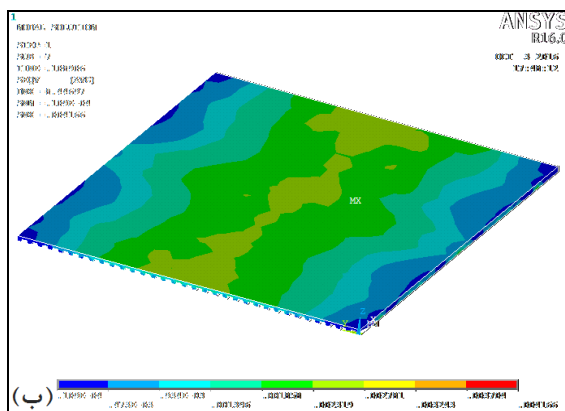
منحنی بار-تغییر مکان عمودی وسط دهانه به همراه نواحی تغییر رفتار نمونه در شکل ۶ آورده شده است.

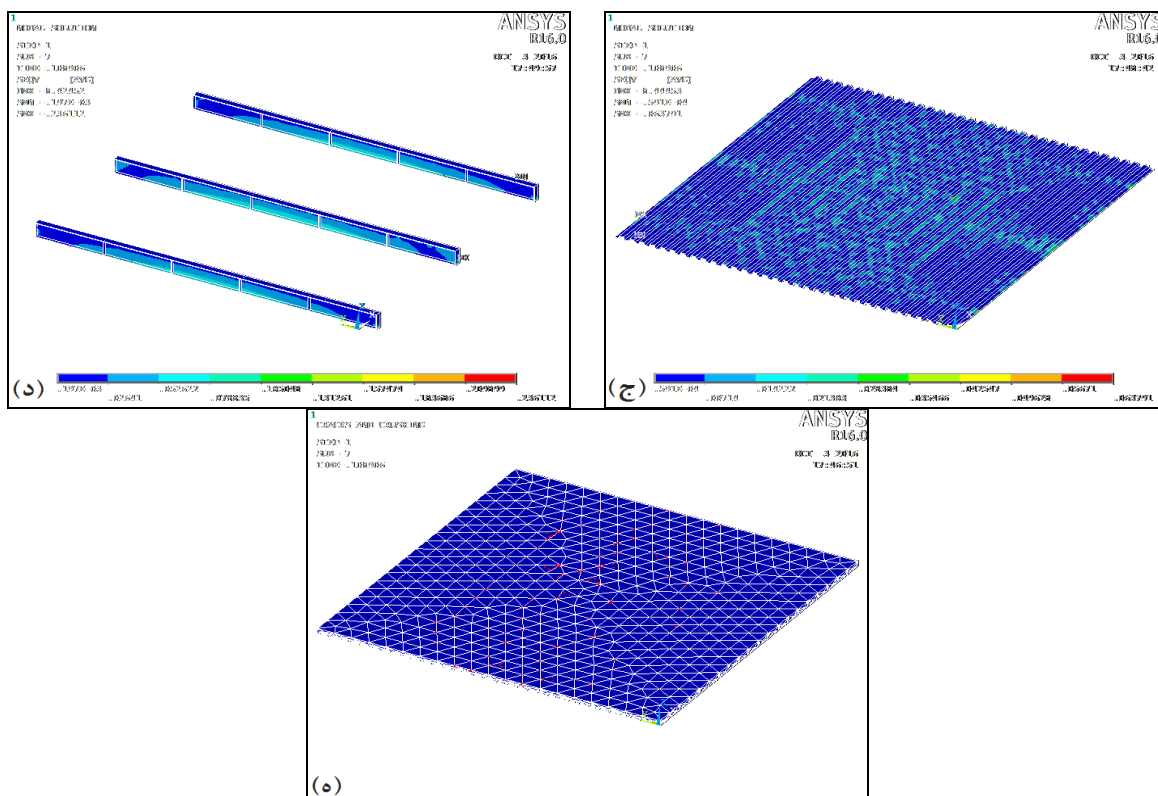


شکل ۶ تغییر رفتار در منحنی بار-تغییر مکان عمودی برای نمونه SD80-S4.0-200,350,500

۲-۲-۳ بررسی رفتار نمونه در ناحیه OA

رفتار بتن در نمونه مورد نظر در ناحیه OA در حالت الاستیک قرار دارد. در شکل ۷-الف رفتار الاستیک نمونه SD80-S4.0-200,350,500 تا تغییر مکان عمودی ۸/۳ میلی‌متر نشان داده شده است. بار اعمال شده در این ناحیه ۵۴۴ کیلو نیوتن می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۷-ب مشاهده می‌شود، تنش بتن در این ناحیه ۲/۸ مگاپاسکال می‌باشد که از تنش ترک خوردگی معادل بتن برابر ۲/۵ مگاپاسکال بیش‌تر می‌باشد که در این حالت بتن شروع به ترک خوردن کرده است. تنش‌های عرشه فولادی و تیر فولادی در این ناحیه به ترتیب برابر ۲۸ و ۷۸ مگاپاسکال است. مقادیر تنش عرشه فولادی و تیر فولادی در شکل ۷-ج و د نشان داده شده است. در شکل ۷-ه شروع ترک خوردگی بتن نشان داده شده است. در این نمونه، ترک خوردگی بتن در منطقه میانی سقف ظهور پیدا کرده است.



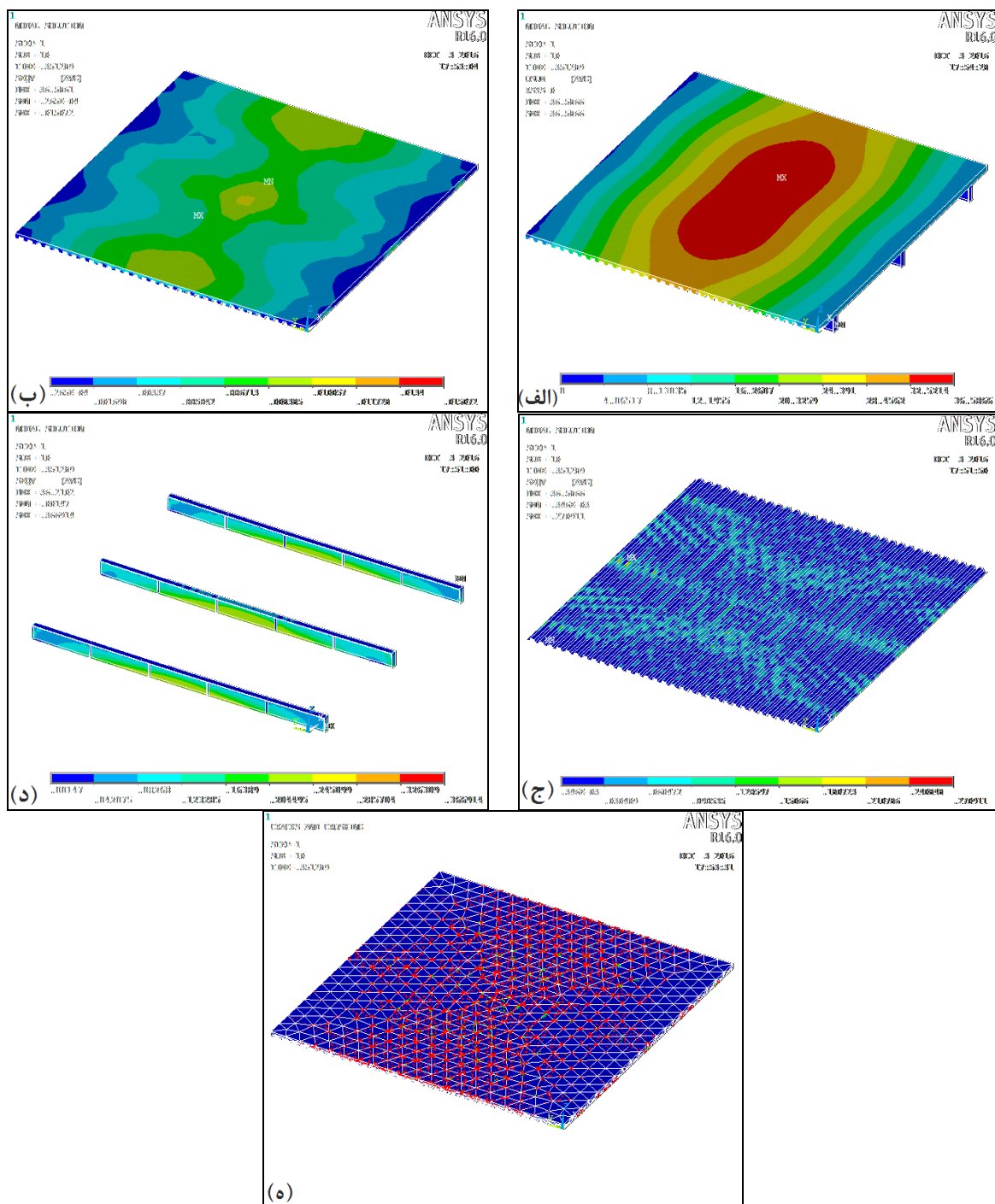


شکل ۷ نتایج به دست آمده از نرم افزار ANSYS برای نمونه SD80-S4.0-200,350,500 در ناحیه OA

(الف) نحوه تغییر شکل نمونه، (ب)، (ج) و (د) نحوه توزیع تنش $Von Mises (KN/mm^2)$ در بتن، عرشه فولادی و تیر فولادی، (ه) نحوه ترک خوردگی نمونه

۳-۲-۳ بررسی رفتار نمونه در ناحیه AB

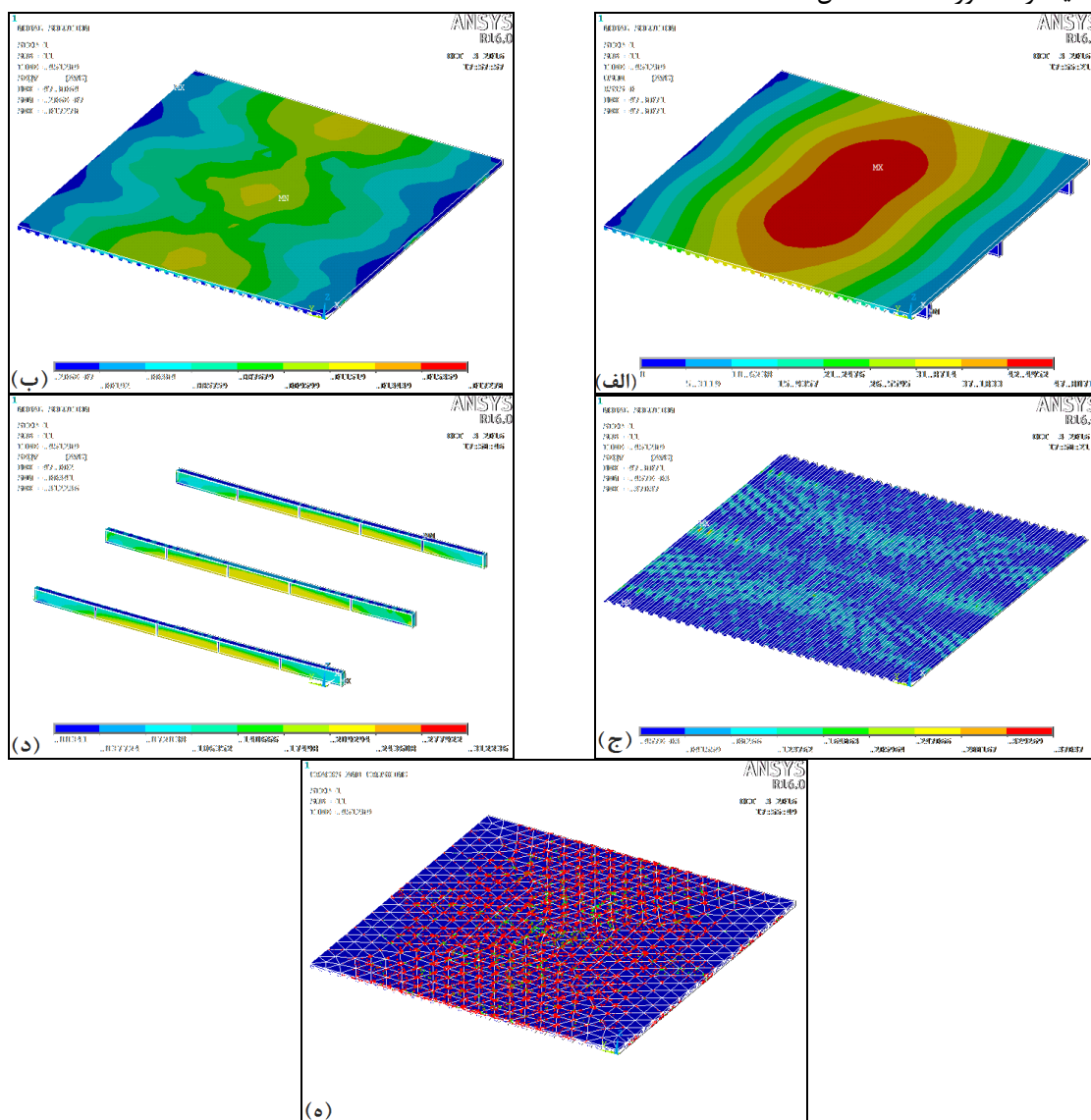
ناحیه AB به دلیل افزایش ترک خوردگی سختی نمونه اندکی کاهش یافته و تا تغییر مکان ۳۶ میلی‌متر ادامه یافته است (شکل ۸-الف). حداکثر ظرفیت باربری نمونه در این ناحیه قرار دارد. تنش بتن و عرشه فولادی نیز به ترتیب برابر ۱۱ و ۱۲۰ مگاپاسکال است (شکل ۸-ب و ج). مقدار تنش بتن حدود ۴۴٪ مقاومت فشاری بتن می‌باشد. در این ناحیه تیر فولادی به تنش تسلیم خود که برابر ۲۴۰ مگاپاسکال است (شکل ۸-د) رسیده است. ناحیه AB را می‌توان ناحیه الاستیک سیستم سقف نام‌گذاری کرد. همچنین بار عمودی وارده بر نمونه در این ناحیه تا مقدار ۱۷۵۶ کیلونیوتن افزایش یافته است. افزایش ترک خوردگی بتن در شکل ۸-ه نشان داده است.



شکل ۸ نتایج به دست آمده از نرم افزار ANSYS برای نمونه SD80-S4.0-200,350,500 در ناحیه AB
 (الف) نحوه تغییر شکل نمونه، (ب)، (ج) و (د) نحوه توزیع تنش Von Mises (KN/mm²) در بتن، عرشه فولادی و تیر فولادی، (ه)
 نحوه ترک خوردگی نمونه

۴-۲-۳ بررسی رفتار نمونه در ناحیه BC

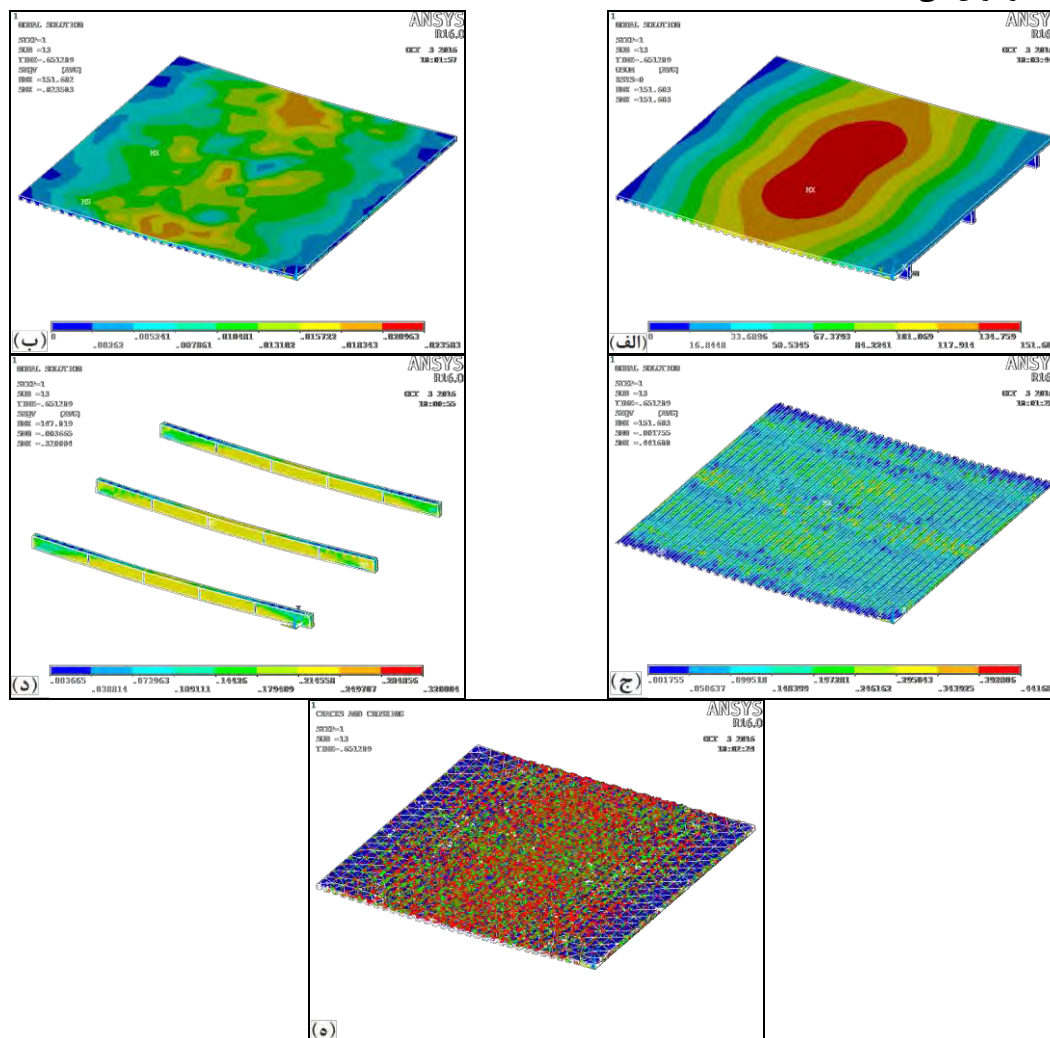
همان گونه که در شکل ۶ مشاهده می شود، در ناحیه BC سختی نمونه افزایش یافته است که این افزایش سختی در این ناحیه تا تغییر مکان عمودی ۴۷ میلی متر ادامه داشته است (شکل ۹-الف). مقدار تنش بتن در این ناحیه تا تنش ۱۳ مگاپاسکال افزایش یافته است (شکل ۹-ب). مقدار تنش عرشه فولادی معادل با ظرفیت باربری مجاز در وسط دهانه نیز حدود ۱۷۰ مگاپاسکال می باشد که برابر ۴۸٪ تنش تسلیم عرشه فولادی برای نمونه مورد نظر می باشد (شکل ۹-ج). در شکل ۹-د تنش تیر فولادی نشان داده شده که برابر ۲۴۵ مگاپاسکال است. ترک خوردگی نمونه در این ناحیه به شدت افزایش یافته است به طوری که حدود ۷۰٪ مقطع بتن در این ناحیه ترک خورده است (شکل ۹-ه).



شکل ۹ نتایج به دست آمده از نرم افزار ANSYS برای نمونه SD80-S4.0-200,350,500 در ناحیه BC
(الف) نحوه تغییر شکل نمونه، (ب)، (ج) و (د) نحوه توزیع تنش (KN/mm²) Von Mises در بتن، عرشه فولادی و تیر فولادی، (ه)
نحوه ترک خوردگی نمونه

۳-۲-۵ بررسی رفتار نمونه در ناحیه CD

با توجه به شکل ۶ با افزایش بارگذاری در این ناحیه، تغییرمکان عمودی نمونه به شدت افزایش یافته و سختی نمونه نیز با شیب ملایمی تا لحظه گسیختگی، کاهش می‌یابد. مقدار تغییرمکان عمودی نمونه در لحظه نهایی برابر ۱۴۷ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۱۰-الف). تنش موجود بتن در لحظه نهایی برابر ۲۱ مگاپاسکال می‌باشد. این تنش معادل ۸۴٪ تنش فشاری بتن می‌باشد (شکل ۱۰-ب). تنش موجود در وسط دهانه عرشه فولادی در لحظه نهایی نیز حدود ۳۹۰ مگاپاسکال می‌باشد که برابر ۱/۱۱ تنش تسلیم عرشه فولادی برای نمونه موردنظر می‌باشد (شکل ۱۰-ج). تنش تیر فولادی نیز در این ناحیه برابر ۲۵۰ مگاپاسکال است (شکل ۱۰-د). تقریباً تمامی بتن در این ناحیه ترک خورده می‌باشد (شکل ۱۰-ه). الگوی ترک خوردگی نمونه موردنظر از ناحیه میانی سقف شروع شده و در راستای عمود بر تیرهای فرعی افزایش پیدا کرده است. پس از آنکه ترک خوردگی در تمامی عرض مقطع افزایش یافت، این ترک خوردگی در راستای طول تیرهای فرعی ادامه می‌یابد. این افزایش ترک خوردگی تا لحظه باربری نهایی نمونه گسترش می‌یابد به گونه‌ای که ترک خوردگی تمامی مقطع را در بر می‌گیرد. بار معادل وارده در لحظه نهایی برای نمونه موردنظر برابر ۲۸۵۶ کیلو نیوتن می‌باشد.



شکل ۱۰ نتایج به دست آمده از نرم افزار ANSYS برای نمونه SD80-S4.0-200,350,500 در ناحیه CD

(الف) نحوه تغییر شکل نمونه، (ب)، (ج) و (د) نحوه توزیع تنش Von Mises (KN/mm²) در بتن، عرشه فولادی و تیر فولادی، (ه)
نحوه ترک خوردگی نمونه

۳-۳ ضریب شکل پذیری و جذب انرژی

به منظور تعیین ضریب شکل پذیری نمونه‌ها، نسبت تغییر مکان عمودی نهایی، معادل با $L/240$ و $L/50$ دهانه، به تغییر مکان عمودی الاستیک برای هر نمونه با استفاده از معادله (۱) محاسبه گردیده است. همچنین به منظور تعیین جذب انرژی توسط سیستم دال مرکب عرشه فولادی، سطح زیر منحنی بار-تغییر مکان عمودی تا تغییر مکان $L/240$ و $L/50$ نیز برای تمامی نمونه‌ها محاسبه گردیده است. مقادیر ضریب شکل پذیری و جذب انرژی در جدول ۴ آورده شده‌اند.

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (1)$$

که در آن Δ_u ، تغییر مکان عمودی معادل با $L/240$ و $L/50$ دهانه برای هر نمونه و Δ_y ، تغییر مکان عمودی الاستیک هر نمونه بر حسب میلی متر می‌باشد. توجه گردد که با توجه به عدم اضافه نیرو در نمونه‌های مورد مطالعه دو حد نهایی برای محاسبه تغییر شکل نهایی و شکل پذیری نمونه‌ها در نظر گرفته شده است.

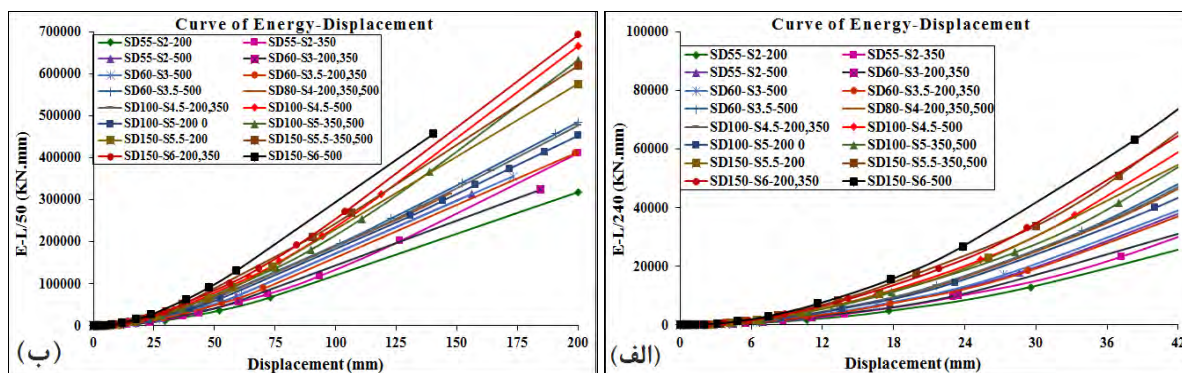
جدول ۴ تعیین ضریب شکل پذیری و جذب انرژی نمونه‌ها

شماره نمونه	نام نمونه	$\mu_{L/240}$	$E_{L/240}(\text{KN.mm})$	$\mu_{L/50}$	$E_{L/50}(\text{KN.mm})$
۱	SD55-S2.0-200	۱/۲	۲۴۴۵۷	۵/۴	۳۱۸۵۳۵
۲	SD55-S2.0-350	۰/۹۳	۲۹۱۱۱	۴/۴	۴۱۱۰۱۷
۳	SD55-S2.0-500	۰/۸	۳۶۹۴۱	۳/۸	۳۱۴۵۶۱
۴	SD60-S3.0-200,350	۰/۹۶	۳۰۳۸۸	۴/۶	۳۲۴۳۱۵
۵	SD60-S3.0-500	۰/۸۹	۳۷۹۰۰	۳/۷	۳۵۶۳۵۹
۶	SD60-S3.5-200,350	۱/۴۲	۳۵۵۳۷	۶/۸	۴۱۱۴۳۵
۷	SD60-S3.5-500	۱/۲۳	۴۷۵۰۱	۵/۹	۴۸۵۳۹۲
۸	SD80-S4.0-200,350,500	۱/۱۶	۴۶۰۰۵	۴/۱	۳۱۴۱۶۵
۹	SD100-S4.5-200,350	۱/۲۵	۴۶۴۷۱	۶/۰	۴۷۷۰۹۳
۱۰	SD100-S4.5-500	۱/۱۸	۵۷۰۶۰	۵/۶	۶۶۵۹۷۵
۱۱	SD100-S5.0-200	۱/۱۳	۴۲۹۰۴	۵/۴	۴۵۲۷۶۵
۱۲	SD100-S5.0-350,500	۱/۰۴	۵۲۴۲۹	۵/۰	۶۳۲۱۵۰
۱۳	SD150-S5.5-200	۱/۶	۵۳۱۶۵	۷/۷	۵۷۶۵۳۶
۱۴	SD150-S5.5-350,500	۱/۳۹	۶۴۰۱۶	۶/۷	۶۱۹۴۱۲
۱۵	SD150-S6.0-200,350	۱/۷۵	۶۲۳۵۱	۶/۸	۶۹۲۰۰۰
۱۶	SD150-S6.0-500	۱/۴۲	۷۲۷۶۰	۵/۹	۴۵۶۷۸۱

همان گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود ضریب شکل پذیری نمونه SD150-S6.0-200,350 تا تغییر مکان $L/240$ و نمونه SD120-S5.5-200 تا تغییر مکان $L/50$ ، بیشترین ضریب شکل پذیری را به خود اختصاص داده‌اند که به نظر می‌رسد به دلیل بلند بودن دهانه نمونه SD150-S6.0-200,350 و کمتر بودن ضخامت اجزای سازه‌ای آن نسبت به نمونه‌های ۶ متری، تغییر مکان

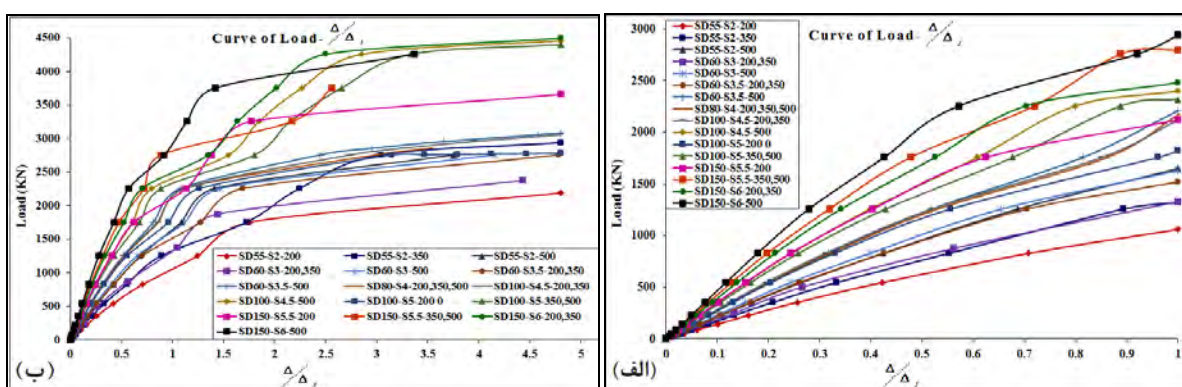
عمودی کمتری در ناحیه الاستیک نسبت به دیگر نمونه‌ها دارند. همچنین نمونه SD55-S2.0-500 تا تغییرمکان $L/240$ و نمونه SD60-S3.0-500 تا تغییرمکان $L/50$ ، کمترین ضریب شکل‌پذیری را دارا می‌باشند که به نظر می‌رسد به دلیل ضخامت بالای اجزای سازه‌ای نسبت به سایر نمونه‌ها می‌باشد.

مقادیر جذب انرژی توسط سیستم دال مرکب عرشه فولادی برای هر نمونه در جدول ۴ آورده شده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود نمونه‌های SD55-S2.0-200 و SD150-S6.0-500 به ترتیب کمترین و بیشترین انرژی را تا تغییرمکان عمودی $L/240$ و نمونه‌های SD80-S4.0-200,350,500 و SD150-S6.0-200,350 به ترتیب کمترین و بیشترین انرژی را تا تغییرمکان عمودی $L/50$ به خود جذب کرده‌اند؛ که می‌توان دلیل این امر را با بزرگ‌تر بودن سطح زیر منحنی بار-تغییرمکان عمودی به دلیل بیشتر بودن ظرفیت باربری در تغییرمکان معادل، برای نمونه‌های SD150-S6.0-500 و SD150-S6.0-200,350 و کوچک‌تر بودن این مقادیر برای نمونه‌های SD55-S2.0-200 و SD80-S4.0-200,350,500 توجیه کرد. منحنی‌های نیرو-شکل‌پذیری نیز در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۱ منحنی‌های جذب انرژی-تغییرمکان

(الف) برای تغییرمکان $L/240$ و (ب) برای تغییرمکان $L/50$



شکل ۱۲ منحنی‌های نیرو-نسبت شکل‌پذیری

(الف) تا تغییرمکان $L/240$ و (ب) تا تغییرمکان $L/50$

۴-۳ ضریب اضافه مقاومت (Ω)

در این بخش ضریب اضافه مقاومت معادل با ظرفیت باربری در تغییرمکان عمودی L/240 برای تمامی نمونه‌ها محاسبه گردیده است. به منظور محاسبه ضریب اضافه مقاومت از معادله (۲.۳) استفاده شده است. مقادیر ضریب اضافه مقاومت و حداکثر بار زنده معادل با ظرفیت باربری در تغییرمکان عمودی L/240 در جدول ۵ آورده شده است. توجه گردد که ظرفیت سقف‌ها بسیار بیشتر از مقادیر داده شده می‌باشد ولی به دلیل افزایش زیاد تغییر شکل‌ها، از نیروی معادل تغییر مکان L/240 به عنوان بار نهایی سیستم استفاده گردیده است.

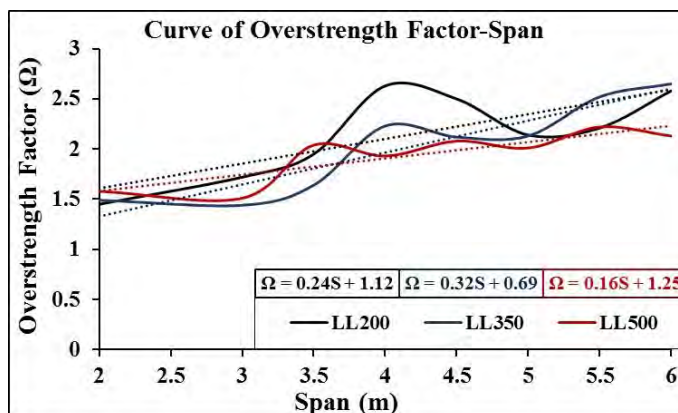
$$\Omega = \frac{W_{L/240(ANSYS)}}{W_{Design}} \quad (۲.۳)$$

جدول ۵ تعیین ضریب اضافه مقاومت نمونه‌ها

شماره نمونه	نام نمونه	W_{ANSYS}	W_{Design}	Ω
۱	SD55-S2.0-200	۱۰/۶۰	۷/۳۲	۱/۴۵
۲	SD55-S2.0-350	۱۳/۲۰	۸/۸۶	۱/۴۹
۳	SD55-S2.0-500	۱۶/۵۰	۱۰/۴۰	۱/۵۸
۴	SD60-S3.0-200	۱۳/۳۰	۷/۷۳	۱/۷۲
۵	SD60-S3.0-350	۱۳/۳۰	۹/۲۳	۱/۴۴
۶	SD60-S3.0-500	۱۶/۳۰	۱۰/۷۶	۱/۵۱
۷	SD60-S3.5-200	۱۵/۲۰	۷/۷۶	۱/۹۵
۸	SD60-S3.5-350	۱۵/۲۰	۹/۲۶	۱/۶۴
۹	SD60-S3.5-500	۲۲/۱۰	۱۰/۸۱	۲/۰۴
۱۰	SD80-S4.0-200	۲۱/۷۰	۸/۲۳	۲/۶۳
۱۱	SD80-S4.0-350	۲۱/۷۰	۹/۷۳	۲/۲۳
۱۲	SD80-S4.0-500	۲۱/۷۰	۱۱/۲۳	۱/۹۳
۱۳	SD100-S4.5-200	۲۱/۲۰	۸/۴۸	۲/۵۰
۱۴	SD100-S4.5-350	۲۱/۲۰	۹/۹۸	۲/۱۲
۱۵	SD100-S4.5-500	۲۴/۰	۱۱/۵۲	۲/۰۸
۱۶	SD100-S5.0-200	۱۸/۲۰	۸/۴۸	۲/۱۴
۱۷	SD100-S5.0-350	۲۳/۲۰	۱۰/۰۲	۲/۱۳
۱۸	SD100-S5.0-500	۲۳/۲۰	۱۱/۵۲	۲/۰۱
۱۹	SD150-S5.5-200	۲۱/۲۰	۹/۵۵	۲/۲۱
۲۰	SD150-S5.5-350	۲۸/۰	۱۱/۰۹	۲/۵۲
۲۱	SD150-S5.5-500	۲۸/۰	۱۲/۵۹	۲/۲۲
۲۲	SD150-S6.0-200	۲۴/۸۰	۹/۵۹	۲/۵۸
۲۳	SD150-S6.0-350	۲۹/۴۰	۱۱/۰۹	۲/۶۵
۲۴	SD150-S6.0-500	۲۹/۴۰	۱۲/۶۹	۲/۱۳

که در آن W_{ANSYS} مقدار بار گسترده معادل با تغییر مکان عمودی $L/240$ و W_{Design} مقدار بار گسترده طراحی بر حسب کیلونیوتن بر متر مربع می باشد.

همان طور که در جدول ۵ مشاهده می شود با افزایش فواصل تیرهای فرعی، ضریب اضافه مقاومت نمونه ها نیز به تدریج افزایش یافته است. در شکل ۱۳ تغییرات ضریب اضافه مقاومت، ضریب اضافه مقاومت برای دهانه های مختلف نشان داده شده است.



شکل ۱۳ تغییرات ضریب اضافه مقاومت با فاصله تیرچه ها

۴ نتیجه گیری

در این مقاله یک سقف عرشه فولادی با طول دهانه ۱۰ متر و فواصل تیرهای فرعی ۲، ۳، ۳/۵، ۴، ۴/۵، ۵، ۵/۵ و ۶ متر مورد بررسی قرار گرفت و طراحی ها به نحوی انجام شد که نسبت تنش ها نزدیک به یک باشند. با بررسی نمونه ها و با توجه به نتایج طراحی و تعیین پارامترهای لرزه ای نظیر ضریب شکل پذیری، جذب انرژی، ضریب اضافه مقاومت و همچنین بررسی نمودار بار-تغییر مکان هر نمونه، مشاهده گردید که با افزایش پارامترهایی نظیر ضخامت و ارتفاع ورق عرشه فولادی، افزایش ضخامت بتن و همینطور مقاطع تیرهای فرعی، می توان سقف عرشه فولادی را به گونه ای در نظر گرفت که فاصله تیرهای فرعی بسیار بیشتر از آنچه باشد که در حال حاضر در صنعت استفاده می گردد.

۵ مراجع

1. AISC 360-10, *Specification for Structural Steel Buildings* American Institute of Steel Construction, American National Standard, June 22, 2010.
2. Eurocode 4 Part 1-1 (2004), *Design of Composite Steel and Concrete Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*, English Version, Incorporating Corrigendum April 2009.
3. Eurocode 3 Part 1-1 (2005), *Design of Steel Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Building*, English Version, Incorporating Corrigendum March 2009.
4. Eurocode 3 Part 1-3 (2006), *Design of Steel Structures – Part 1-3: General Rules – Supplementary Rules for Cold-Formed Members and Sheeting*, English Version, Incorporating Corrigendum November 2009.
5. Eurocode 3 Part 3-1 (2006), *Design of Steel Structures – Part 3-1: Towers, Masts and Chimneys – Towers and Masts*, English Version, Incorporating Corrigendum July 2009.
6. Eurocode 3 Part 1-5 (2006), *Design of steel structures – Part 1-5: General Rules – Plated Structural Elements*,



**4th. International Congress on Civil Engineering , Architecture
and Urban Development
27-29 December 2016, Shahid Beheshti University , Tehran , Iran**

English Version, Incorporating Corrigendum April 2009.

7. BS 5950: Part 8: 1990, British Standard, Structural use of Steelwork in Building, Part 8, Code of Practice for Fire Resistance Design.
8. SDI, Steel Deck Institute, American National Standards Institute, C- 2011 Standard for Composite Steel Floor Deck- Slabs.
9. American Institute of Steel Construction and Canadian Institute of Steel Construction, Steel Design Guide 11, Floor Vibrations Due to Human Activity, Second Printing: October 2003.
10. American Institute of Steel Construction, Steel Design Guide 19, Fire Resistance of Steel Framing, First Printing: December 2003.
11. Max L. Porter, C. E. Ekberg Jr, "*Design Recommendations for Steel Deck Floor Slabs*", Missouri University of Science and Technology, Scholars' Mine, 1976.
12. Pentti Makelainen and Ye Sun, "*The longitudinal shear behaviour of a new steel sheeting profile for composite floor slabs*" Journal of Constructional Steel Research, 117–128, 49, 1999.
13. H.D. Wright et al, "*The use of profiled steel sheeting in floor construction*", Journal of Constructional Steel Research, 279–295, 1987.
14. Jose M. Calixto, Armando C. Lavall, "*Behaviour and Strength of Composite Slabs with Ribbed Decking*", Elsevier Science, 211-212, 110, 1998.
15. Chen, S, "*Load carrying capacity of composite slabs with various end Constraints*", Journal of Constructional Steel Research, 385–403, 59, 2003.
16. Nara et al, "*Experimental and numerical study of end anchorage in composite slabs*", Journal of Constructional Steel Research 372–386, 115, 2015.
17. Crisinel, M, & Marimon, F, "*A new simplified method for the design of composite slabs*", Journal of Constructional Steel Research, 481–491, 60, 2004.
18. Andrade et al, "*Standardized composite slab systems for building constructions*", Journal of Constructional Steel Research, 493–524, 60, 2004.
19. G. Mohan Ganesh et al, "*Simplified Design of Composite Slabs Using Slip Block Test*", Journal of Advanced Concrete Technology, 2005.
20. Marimuthu, V, & Seetharaman, S, "*Experimental studies on composite deck Slabs to determine the shear-bond characteristic (m-k) values of the embossed profiled sheet*", Journal of Constructional Steel Research, 791–63, 2007.
21. Namdeo, A, H & Laxmikant, M, G and Girish, N, R, "*Design of composite slabs with profiled steel decking: a comparison between experimental and analytical studies*", International Journal of Advanced Structural Engineering, 2012.
22. Mohammed, B, "*Structural behavior and m-k value of composite slab utilizing concrete containing crumb rubber*", Construction and Building Materials, 1214–1221, 24, 2010.
23. Mohammed, B, & Abdullahi, M, "*Analytical and experimental studies on composite slabs utilizing palm oil clinker concrete*", Construction and Building Materials, 3550–3560, 25, 2011.

۲۴. عبادی، پ، تبریزی، ر. (۱۳۹۵)، حداکثر فاصله تیرهای فرعی در سقفهای مرکب عرشه فولادی با تاکید بر تغییر شکل و ارتعاش سقفها،

کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، ۷ خرداد ۱۳۹۵، تهران-ایران

۲۵. عبادی، پ، تبریزی، ر. (۱۳۹۵)، بهینه سازی پارامترهای طراحی سقف های مرکب عرشه فولادی، پنجمین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس

بین المللی مصالح و سازه های نوین در مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۵-۶ آبان ۱۳۹۵، تهران-ایران