



بررسی پایداری سازه‌های فضاکار دولایه چلیکی

محسن دانا^۱، کریم عابدی^۲

۱- کارشناس ارشد عمران

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه سهند تبریز

mohsen.dana۶۸@gmail.com

خلاصه

شبکه‌های دولایه‌ی فضاکار سازه‌هایی با سختی بالا و وزن کم می‌باشند که از آنها اغلب برای پوشش دهانه‌های وسیع استفاده می‌شود. این نوع از خراباهای فضایی که از اعضا با اتصالات مفصلی و تحت نیروی محوری تشکیل شده‌اند و غالباً دارای رفتار تردند به طوریکه خرابی یک عضو و یا بخشی از سازه (خرابی موضعی) می‌تواند در کل سازه منتشر شده که ناگهانی و فاجعه‌بار است. خرابی اعضا در این سازه‌ها بر اثر تسلیم در کشش یا کماتش در فشار صورت می‌گیرد با ارزیابی رفتار پس بحرانی اعضا می‌توان رفتار سازه پس از خرابی عضو یا اعضایی از آن و امکان وقوع خرابی سازه را تعیین کرد. در سازه‌های فضاکار دولایه چلیکی خرابی اعضای فشاری در مکانیزم‌های خرابی سازه تعیین‌کننده است و ملاحظات عملی ایجاب می‌کند اعضای فشاری مورد استفاده دارای نسبت لاغری متوسط باشند که پس از کماتش دچار افت ظرفیت بسیار شدید می‌شوند و رفتار پس کماتشی تردی نمایش می‌دهند. در مطالعه حاضر پایداری سازه‌های فضاکار دولایه چلیکی با در نظرگیری تاثیر پارامترهایی نظیر میزان ناکاملی اولیه اعضا، نوع تاشه، شرایط تکیه‌گاهی، لاغری اعضا، نسبت ارتفاع به دهانه، نسبت طول به دهانه، بارگذاری نامتقارن در نصف سطح سازه و نیز بارگذاری خطی بر روی محور عمود بر قوس با استفاده از روش عناصر محدود مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: سازه‌های فضاکار، چلیک‌های دولایه، پایداری سازه، خرابی

مقدمه

یک سازه فضاکار مشبک، سیستم سازه‌ای متشکل از اعضای منفرد بوده که به صورت سه‌بعدی به همدیگر متصل بوده و بارهای وارده را در هر نقطه، تحت هر زاویه‌ای نسبت به سطح سازه و در هر جهت تحمل می‌نماید. این سازه‌ها راه حل مناسبی برای پوشش سطوح وسیع بدون ستون می‌باشند [۱]. خرابی گنبد سالن نمایشگاه Bucharest در سال ۱۹۶۳ موجب تحقیقات وسیعی درباره رفتار کماتشی و پس کماتشی و تحلیل خرابی سازه‌های فضاکار گردید [۲]. ناپایداری یکی از مهم‌ترین عواملی است که میزان بارگذاری و تغییر شکل سازه‌ها را محدود می‌کند و نقش بنیادی در طراحی سازه‌هایی دارد که بارگذاری آن‌ها عمدتاً به صورت فشاری می‌باشد. در سازه‌های فضاکار دولایه (به ویژه سازه‌های چلیکی دولایه) با اتصالات مفصلی انتقال بار عمدتاً به صورت نیروی محوری صورت خواهد گرفت. از این رو در این سازه‌ها، کماتش عضوی، نقش تعیین‌کننده‌ای در رفتار خرابی سازه دارد. خرابی این سازه‌ها مستقیماً از طریق رفتار مشخصه‌ی اعضا و نیز با رفتار مشخصه‌ی اتصالات کنترل می‌شود [۳]. معمولاً رفتار خرابی سازه‌های فضاکار دولایه از طریق مشخصات ناپایداری اعضای فشاری تعیین می‌شود. بر اساس رفتار اعضای فشاری و تاشه‌ی سازه فضاکار دولایه و شرایط

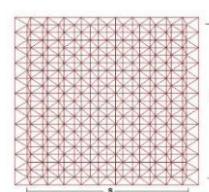
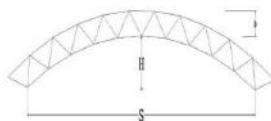
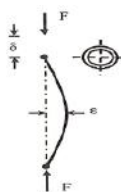
^۱ کارشناس ارشد عمران (mohsen.dana۶۸@gmail.com)

^۲ عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی سهند تبریز (K_abedi@sut.ac.ir)

تکیه گاهی می توان تعیین نمود که پاسخ سازه بعد از اولین تسلیم (ناپایداری فشاری) به صورت شکل پذیر یا ترد خواهد بود [۴]. با ارزیابی مشخصات پس بحرانی رفتار اعضای کششی و فشاری تعیین رفتار سازه پس از خرابی عضو یا اعضا امکان پذیر بوده و می توان به بررسی و مطالعه رفتار خرابی سازه و امکان وقوع خرابی پیشرونده در این سازه ها پرداخت [۵]. با توجه به پدیده خرابی پیشرونده در سازه های فضاکار دو لایه در این تحقیق به مطالعه رفتار خرابی و و تاثیر و عوامل گوناگون در سازه های دولایه چلیکی پرداخته شده است.

طراحی مدل ها

سازه های چلیکی دولایه به روش استاتیکی تحت انواع مختلف ترکیبات بارگذاری تحلیل و طراحی گردیده اند. بار مرده شامل وزن اعضا، اتصالات، پرلین ها و پوشش سقف از نوع سبک بوده و معادل 50 Kg/m^2 و بار زنده (برف) 200 Kg/m^2 محاسبه شده است. اعضای این مدل ها از مقاطع لوله ای انتخاب شده که تنش تسلیم، ضریب ارتجاعی مصالح و ضریب پواسون به ترتیب ۲۳۵ مگاپاسکال، ۲۰۵ گیگاپاسکال، ۰/۳ فرض شده است. برای بیان مشخصات مدل های عددی مطابق شکل ۱ الف. **Error! Reference source not found.** از هندسه لایه پایین بهره گرفته شده است. در تمامی مدل ها طول دهانه لایه پایین (S)، ۳۰ متر بوده و ارتفاع آن (H)، طول لایه پایین (L)، ضخامت تاشه (D)، و در تمامی مدل ها برابر ۲/۱۱ متر می باشد.



شکل ۱ ب) عضو فشاری دو سر مفصل با انحنا
اولیه کوچک (به عنوان ناکاملی اولیه)

شکل ۱ الف) جزئیات هندسی چلیک دولایه

مشخصات مدل های عددی در جدول ۱ آمده است در این جدول، ضریب لاغری اعضا (λ)، از رابطه $\lambda = KL/r$ محاسبه شده است CHS معرف مقطع مورد استفاده در لایه بالا و پایین و جان است. DOS و SOD به ترتیب معرف طرح های قطری روی مربع و مربع روی قطری است و SOS معرف طرح مربع روی مربع جابه جا شده می باشد. GL به مفهوم بارگذاری متقارن در کل گره های لایه بالا و AsL برای بارگذاری نامتقارن در نصف گره های لایه بالایی و CL نماینده بارگذاری خطی در امتداد عمود بر قوس در خط الرأس لایه بالایی می باشد.

جدول ۱ مشخصات مدل های عددی

نسبت ارتفاع به دهانه	نسبت طول به دهانه	ناکاملی	بارگذاری	نوع تاشه	λ	CHS (mm)	شرایط تکیه گاه	ابعاد سازه (m)	نام مدل
0.1	1	0.001L	GL	SOS	$T\&W=103.1$ $B=104.5$	$T\&W=90 \times 8.08$ $B=90 \times 9.52$	محیطی	۳۰ × ۳۰	GP1
0.1	1	0.005L	GL	SOS	$T\&W=103.1$ $B=104.5$	$T\&W=90 \times 8.08$ $B=90 \times 9.52$	محیطی	۳۰ × ۳۰	GP2
0.1	1	0.01L	GL	SOS	$T\&W=103.1$ $B=104.5$	$T\&W=90 \times 8.08$ $B=90 \times 9.52$	محیطی	۳۰ × ۳۰	GP3
0.1	1	0.001L	GL	SOS	$T\&W=81.9$ $B=82.6$	$T\&W=108 \times 4.5$ $B=108 \times 5.6$	محیطی	۳۰ × ۳۰	GP4
0.1	1	0.001L	GL	DOS	$T\&W=101.1$ $B=104.5$	$T\&W=90 \times 5.74$ $B=90 \times 9.52$	محیطی	۳۰ × ۳۰	GP7
0.1	1	0.001L	GL	SOD	$T\&W=104.5$ $B=101.1$	$T\&W=90 \times 9.52$ $B=90 \times 5.74$	محیطی	۳۰ × ۳۰	GP8

0.1	1	0.001L	GL	SOS	$T\&W=63.9$ $B=63.9$	$T\&W=139.7 \times 7.1$ $B=139.7 \times 7.1$	گوشه	۳۰ × ۳۰	GC9
0.1	1	0.001L	GL	SOS	$T\&W=103.1$ $B=104.5$	$T\&W=90 \times 8.08$ $B=90 \times 9.52$	کناری	۳۰ × ۳۰	GE14
0.1	1	0.001L	GL	SOS	$T\&W=87.2$ $B=88.9$	$T\&W=101.6 \times 4.5$ $B=101.6 \times 7.1$	محیطی	۳۰ × ۳۰	GP16
0.1	1	0.001L	GL	SOS	$T\&W=69.7$ $B=70.1$	$T\&W=125 \times 3.4$ $B=125 \times 4$	محیطی	۳۰ × ۳۰	GP17
0.15	1	0.001L	GL	SOS	$T\&W=100.1$ $B=104.5$	$T\&W=90 \times 5.74$ $B=90 \times 9.52$	محیطی	۳۰ × ۳۰	GP18
0.2	1	0.001L	GL	SOS	$T\&W=100.1$ $B=104.5$	$T\&W=90 \times 5.74$ $B=90 \times 9.52$	محیطی	۳۰ × ۳۰	GP21
0.1	1.5	0.001L	GL	SOS	$T\&W=103.1$ $B=104.5$	$T\&W=90 \times 8.08$ $B=90 \times 9.52$	محیطی	۳۰ × ۴۵	GP27
0.1	2	0.001L	GL	SOS	$T\&W=103.1$ $B=104.5$	$T\&W=90 \times 8.08$ $B=90 \times 9.52$	محیطی	۳۰ × ۶۰	GP37
0.1	1	0.001L	CL	SOS	$T\&W=103.1$ $B=104.5$	$T\&W=90 \times 8.08$ $B=90 \times 9.52$	محیطی	۳۰ × ۳۰	GP40
0.1	1	0.001L	CL	SOS	$T\&W=81.9$ $B=82.6$	$T\&W=108 \times 4.5$ $B=108 \times 5.6$	محیطی	۳۰ × ۳۰	GP41
0.1	1	0.001L	CL	SOS	$T\&W=69.7$ $B=70.1$	$T\&W=125 \times 3.4$ $B=125 \times 4$	محیطی	۳۰ × ۳۰	GP42
0.1	1	0.001L	AsL	SOS	$T\&W=103.1$ $B=104.5$	$T\&W=90 \times 8.08$ $B=90 \times 9.52$	محیطی	۳۰ × ۳۰	GP46
0.1	1	0.001L	AsL	SOS	$T\&W=81.9$ $B=82.6$	$T\&W=108 \times 4.5$ $B=108 \times 5.6$	محیطی	۳۰ × ۳۰	GP47
0.1	1	0.001L	AsL	SOS	$T\&W=69.7$ $B=70.1$	$T\&W=125 \times 3.4$ $B=125 \times 4$	محیطی	۳۰ × ۳۰	GP48

تعیین رفتار اعضای فشاری به روش عناصر محدود

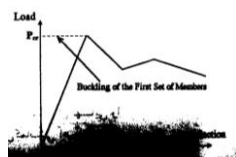
تعیین رفتار اعضای فشاری به روش عناصر محدود و با استفاده از مدلی نظیر شکل ۱ ب انجام گرفته است، رابطه تنش- کرنش مصالح به- صورت الاستیک- پلاستیک کامل در نظر گرفته می شود. با صرف نظر کردن از اثر سخت شدگی کرنشی، منحنی تنش- کرنش در کشش و فشار متقارن فرض می شود. برای تعیین واکنش بار محوری- تغییر مکان محوری عضو فشاری از یک تحلیل استاتیکی غیرخطی (الاستوپلاستیک، تغییر مکان های بزرگ) استفاده می شود، بر اساس واکنش بار محوری- تغییر مکان محوری عضو فشاری و به کمک روش خطی سازی تکه ای- خطی، می توان رابطه ایده آلی تنش- کرنش محوری هر عضو را تعیین کرد.

تحلیل استاتیکی خرابی

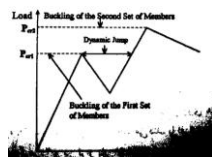
برای انجام تحلیل استاتیکی خرابی بر روی سازه های چلیکی دولایه ابتدا رفتار اعضای سازه تعیین گردید. سپس تحلیل استاتیکی غیرخطی نمود [۶] (الاستوپلاستیک، تغییر مکان های بزرگ)، یعنی با در نظر گیری هر دو عامل غیرخطی مصالح و غیرخطی هندسی بر روی این سازه ها برای بررسی رفتار خرابی و نوع مکانیسم خرابی سازه های چلیکی دولایه با استفاده از نرم افزار پر قدرت اجزای محدود LUSAS انجام پذیرفت.

مکانیزم های خرابی

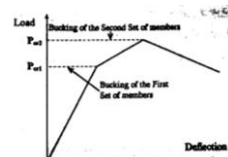
مکانیزم‌های خرابی ممکن از، انجام تحلیل‌های استاتیکی روی انواع مدل‌های مختلف سازه‌های چلیکی دولایه در شکل ۲ بطور شماتیک نشان داده شده است. در حالت مکانیزم خرابی موضعی همراه با فروجهش دینامیکی به دلیل اثر دینامیکی حاصل از فروجهش، امکان دارد که خرابی موضعی انتشار یافته و خرابی موضعی منجر به خرابی کلی گردد. در این حالت، برای ارزیابی رفتار واقعی سازه در طی پدیده فروجهش لازم است اثرات دینامیکی در تحلیل خرابی سازه مورد توجه قرار گیرد.



خرابی کلی سازه



خرابی موضعی سازه با فروجهش دینامیکی



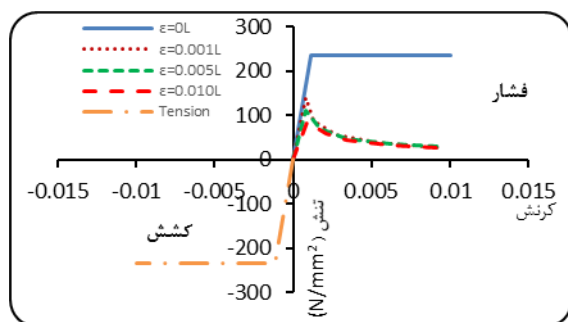
خرابی موضعی سازه بدون فروجهش

شکل ۲ مکانیزم‌های خرابی [۷]

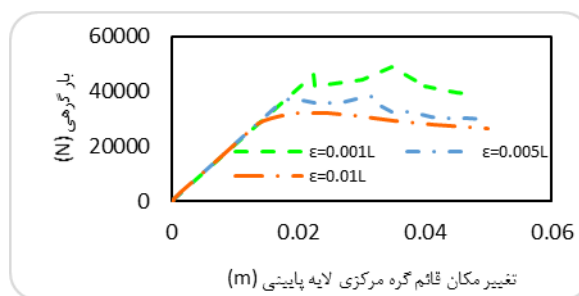
بررسی نتایج

تأثیر میزان ناکاملی اعضا

برای بررسی تأثیر میزان ناکاملی اعضا سه مدل GP_1 ، GP_2 ، GP_3 ، با سه ناکاملی اولیه، $0/001L$ ، $0/005L$ و $0/01L$ برای اعضا در نظر گرفته شده است. در شکل ۳ نتایج پاسخ بار محوری-تغییر مکان محوری اعضای فشاری و بار - تغییر مکان قائم گره مرکزی لایه پایینی مدل‌ها نمایش داده شده است.



رابطه ایده‌آلی تنش-کرنش محوری اعضا



پاسخ بار - تغییر مکان قائم گره مرکزی لایه پایینی مدل‌های GP_1 ، GP_2 ، GP_3

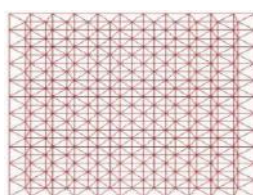
شکل ۳ نتایج تحلیل مدل‌های GP_1 ، GP_2 ، GP_3

با بررسی نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود، سختی پس‌کمانشی منفی عضو، حساسیت شدیدی به میزان ناکاملی اولیه دارد، با افزایش میزان ناکاملی ظرفیت باربری سازه کاهش می‌یابد، این کاهش در ناکاملی‌های بین $0/001L$ تا $0/005L$ حدود ۲۰ درصد و در ناکاملی‌های $0/005L$ تا $0/01L$ به‌طور متوسط ۱۰ درصد می‌باشد. سازه‌های چلیکی دولایه به وجود ناکاملی اعضای آن‌ها حساس می‌باشند، میزان ناکاملی تأثیر به‌سزایی در رفتار خرابی

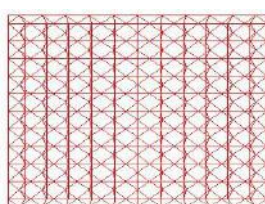
سازه دارد، به گونه‌ای که با تغییر میزان ناکاملی از $0.05L$ به $0.1L$ مکانیزم‌های خرابی از خرابی موضعی با فروجهش دینامیکی به خرابی موضعی بدون فروجهش دینامیکی تغییر می‌کند به ازای افزایش هر $0.05L$ در ناکاملی نسبت بار خرابی به بار طراحی حدود نیم واحد کاهش می‌یابد.

تأثیر نوع تاشه

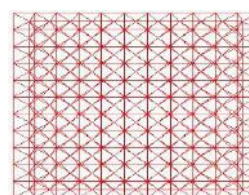
برای بررسی اثر نوع تاشه، مدل‌های $GP1$ ، $GP7$ ، $GP8$ ، در نظر گرفته شده است. (شمای کلی تاشه‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است).



SOS



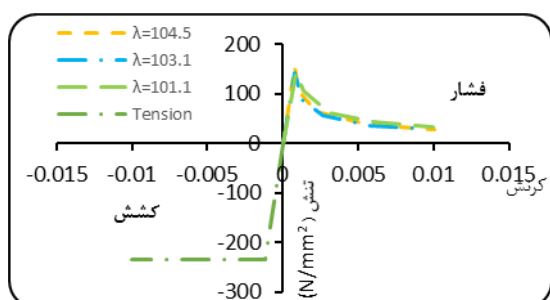
DOS



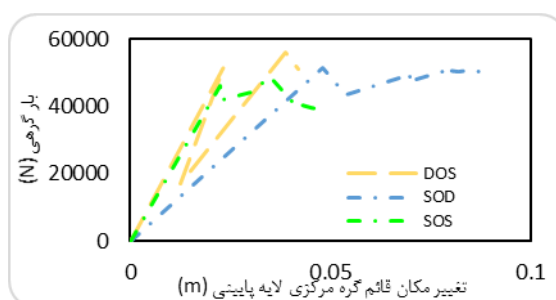
SOD

شکل ۴ شمای کلی تاشه‌ها

در شکل ۵ پاسخ تحلیل انجام شده نشان داده شده است.



رابطه ایده‌آلی تنش-کرنش محوری اعضا



پاسخ بار - تغییر مکان قائم گره مرکزی لایه پایینی مدل‌های $GP1$ ، $GP7$ ، $GP8$

شکل ۵ پاسخ مدل‌های $GP1$ ، $GP7$ ، $GP8$

با بررسی نتایج دیده می‌شود، ظرفیت باربری انواع تاشه‌ها به ترتیب نزولی DOS ، SOD و SOS می‌باشد، سازه با تاشه DOS دارای سختی مقاومت بیشتری می‌باشد، به طوری که ظرفیت سختی این تاشه بیش از ۲ برابر سختی سازه با تاشه SOD است. سازه با تاشه SOD شکل‌پذیری بیشتری دارا است، سطح زیر نمودار آن بیشتر است.

تأثیر شرایط تکیه‌گاهی

برای بررسی اثر شرایط تکیه‌گاهی، مدل‌های $GP4$ ، $GC9$ ، $GE14$ ، مطابق شکل ۶ در نظر گرفته شده است.



تکیه گاه گوشه



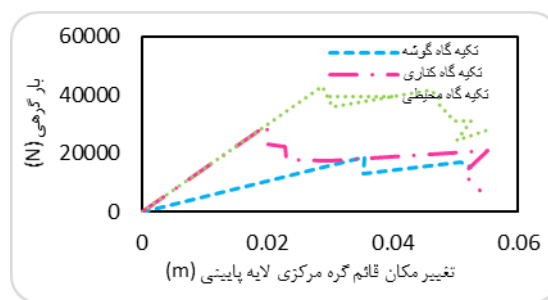
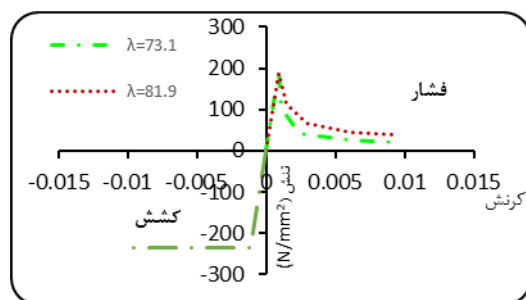
تکیه گاه کناری



تکیه گاه محیطی

شکل ۶ شرایط تکیه گاهی

در شکل ۷ نتایج تحلیل استاتیکی خرابی روی مدل های بالا را نشان داده شده است. مشاهده می شود. ظرفیت باربری سازه های چلیکی دولایه متاثر از شرایط تکیه گاهی آن می باشد، سازه های با تکیه گاه محیطی بیشترین باربری را دارا می باشند به طوری که ظرفیت باربری این سازه ها ۳۰ درصد بیشتر از سازه های با تکیه گاه کناری و ۶۰ درصد بیشتر از سازه های با تکیه گاه گوشه است و باربری سازه های با تکیه گاه کناری حدود ۳۰ درصد از سازه های با تکیه گاه گوشه بیشتر است، با تبدیل تکیه گاه محیطی به گوشه، سختی سازه بیش از ۵۰ درصد کاهش می یابد، مقاومت سازه با تکیه گاه محیطی از مقاومت سازه با تکیه گاه کناری و مقاومت سازه با تکیه گاه کناری از مقاومت سازه با تکیه گاه گوشه بیشتر است، نسبت بار خرابی به بار طراحی به نوع تکیه گاه حساس بوده به طوری که در سازه با تکیه گاه گوشه مقدار آن نزدیک به یک است، و در سازه با تکیه گاه محیطی مقدار آن بیش از دو برابر حالت گوشه می باشد.



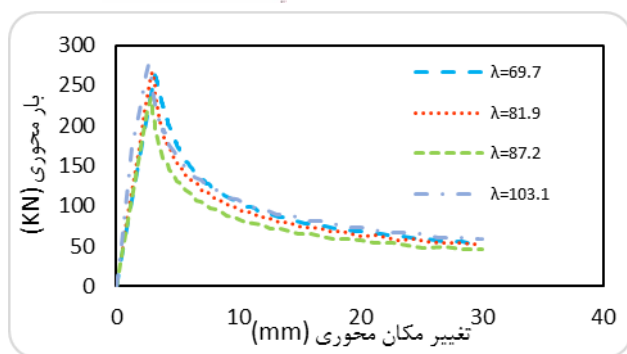
رابطه ایده آلی تنش-کرنش محوری اعضا

پاسخ بار - تغییر مکان قائم گره مرکزی لایه پایینی مدل های GP۴، GC۹، GE۱۴، GE۱۵

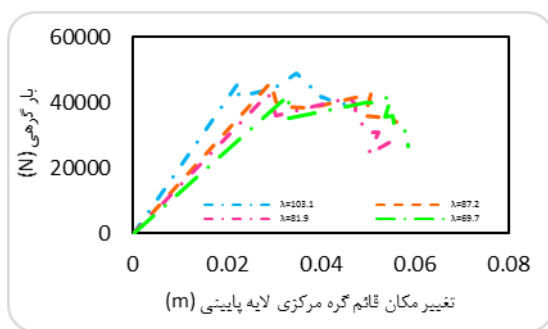
شکل ۷ پاسخ تحلیل استاتیکی GP۴، GC۹، GE۱۴

تاثیر لاغری اعضا

برای بررسی تاثیر لاغری اعضا مدل های GP۱، GP۱۶، GP۴، GP۱۷ مورد تحلیل خرابی قرار گرفتند با توجه به شکل ۸ می توان دید: با تغییر لاغری اعضا در سازه های دولایه چلیکی رفتار خرابی این نوع سازه ها تغییر نموده و انواع مکانیزم های خرابی را از خود نشان می دهند. با کاهش لاغری اعضا در سازه های دولایه چلیکی، ظرفیت باربری این سازه ها به ازای هر ۱۰ واحد لاغری در حدود ۵ تا ۸ درصد کاهش می یابد که این حساسیت در لاغری های بزرگتر بیشتر است. با افزایش لاغری اعضا در سازه های دولایه چلیکی سختی و مقاومت این سازه ها افزایش یافته به طوری که در لاغری بزرگتر نسبت بار خرابی به بار طراحی همواره بزرگتر از ۲ است. افزایش سختی سازه های چلیکی ناشی از افزایش لاغری اعضا در نسبت ارتفاع به دهانه بزرگتر، از ۰/۱۵ بیشتر است.



پاسخ بار محوری - تغییر مکان محوری اعضا

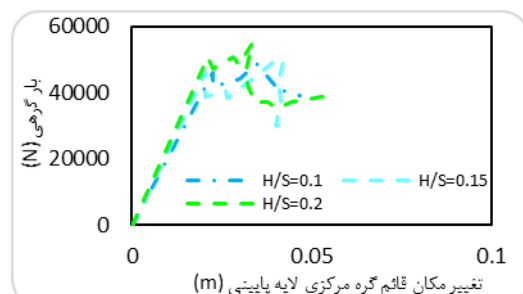
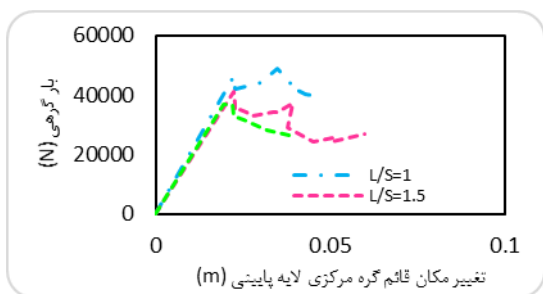


پاسخ بار - تغییر مکان قائم گره مرکزی لایه پایینی

شکل ۸ پاسخ مدل های GP۱، GP۱۶، GP۴، GP۱۷

تأثیر نسبت ارتفاع به دهانه و تأثیر نسبت طول به دهانه

برای بررسی تأثیر نسبت ارتفاع به دهانه سه مدل GP۱، GP۱۸، GP۲۱ و برای بررسی تأثیر نسبت طول به دهانه، مدل های GP۱، GP۲۷، GP۳۷ مورد تحلیل استاتیکی خرابی قرار گرفتند. شکل ۹ نتایج حاصل از تحلیل خرابی نشان داده شده است.



پاسخ بار تغییر مکان قائم گره مرکزی لایه پایینی مدل های GP۱، GP۱۸، GP۲۱، GP۳۷
پاسخ بار تغییر مکان قائم گره مرکزی لایه پایینی مدل های GP۱۴، GP۲۷، GP۳۷

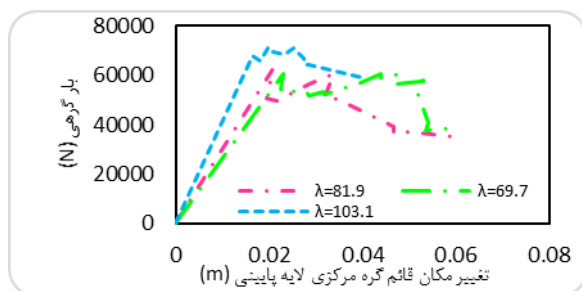
شکل ۹ پاسخ مدل های GP۱، GP۱۸، GP۲۱ و GP۱، GP۲۷، GP۳۷

با بررسی نتایج حاصله، در سازه های چلیکی دولایه با افزایش ارتفاع چلیک نسبت به دهانه آن، سختی قائم این سازه ها افزایش می یابد، به طوری که با دو برابر شدن ارتفاع چلیک سختی آن بیش از ۲۰ درصد افزایش می یابد. در سازه های چلیکی دولایه با افزایش ارتفاع چلیک نسبت به دهانه آن، مقاومت این سازه ها افزایش یافته است. با افزایش ۰/۰۵ در ضریب ارتفاع نسبت به دهانه سازه های دولایه چلیکی باربری این سازه ها در حدود ۵ درصد افزایش یافته است. نسبت بار خرابی به بار طراحی با افزایش ابعاد سازه، در سازه های دولایه چلیکی، کاهش یافته است. به گونه ای که با دو برابر شدن نسبت طول به دهانه سازه های دولایه چلیکی نسبت بار آن ۰/۵ واحد کاهش داشته است. افزایش ابعاد سازه های دولایه چلیکی باعث کاهش سختی سازه ها دولایه چلیکی می شود. با افزایش طول به دهانه سازه های دولایه چلیکی مکانیزم خرابی تغییر می نماید. با افزایش ابعاد در سازه های چلیکی دولایه امکان خرابی موضعی همراه با فروجهش دینامیکی کاهش یافته است.

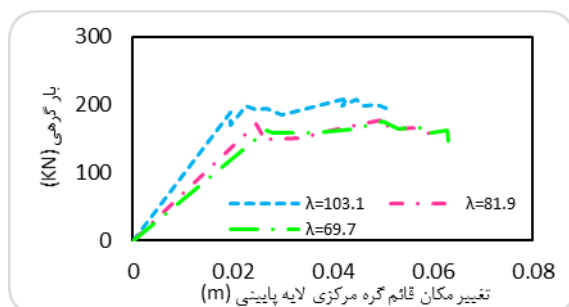
تأثیر بارگذاری نامتقارن و تأثیر بارگذاری خطی

برای بررسی تأثیر بارگذاری نامتقارن بر روی رفتار خرابی سازه‌های دولایه چلیکی سه مدل GP۴۶، GP۴۷، GP۴۸ و برای مطالعه پارامتری

تأثیر بارگذاری خطی سه مدل GP۴۰، GP۴۱، GP۴۲ مورد تحلیل قرار گرفتند. شکل ۱۰ نتایج حاصله را نشان می‌دهد.



پاسخ بار تغییر مکان قائم گره مرکزی لایه پایینی مدل‌های GP۴۶، GP۴۷، GP۴۸



پاسخ بار تغییر مکان قائم گره مرکزی لایه پایینی مدل‌های GP۴۰، GP۴۱، GP۴۲

شکل ۱۰ پاسخ مدل‌های GP۴۶، GP۴۷، GP۴۸، GP۴۰، GP۴۱، GP۴۲

با بررسی نتایج مشاهده می‌شود، نسبت بار خرابی به بار طراحی در این حالت بیشتر از سازه‌های با بارگذاری متقارن است که نشان دهنده این است، سازه‌های چلیکی دولایه به بار نامتقارن حساس نیستند. تحت این شرایط بارگذاری، سازه‌های دولایه چلیکی مقاومت مناسبی دارا می‌باشند. در این حالت بارگذاری برای سازه‌های دارای اعضای با لاغری متوسط امکان خرابی موضعی همراه با فروجهش دینامیکی کم می‌باشد. در سازه‌های چلیکی دولایه رفتار خرابی در بارگذاری خطی عمدتاً خرابی موضعی با فروجهش دینامیکی است.

نتیجه گیری

اهم نتایج حاصل از مطالعات انجام شده بر روی رفتار خرابی نمونه‌های سازه‌های مورد بررسی عبارتند از: ظرفیت باربری سازه‌های چلیکی دولایه به ناکاملی اولیه اعضای فشاری بسیار حساس بوده و با افزایش ناکاملی ظرفیت باربری سازه‌های چلیکی دولایه کاهش می‌یابد، در ناکاملی اولیه ۰/۰۰۵L احتمال وقوع خرابی موضعی با فروجهش دینامیکی بیشتر است. ظرفیت باربری انواع تاشه‌ها به ترتیب نزولی DOS، SOD و SOS می‌باشد. سازه‌های با تاشه SOD نشان دادند که در مقایسه با سازه‌های دیگر شکل‌پذیرتر هستند. سازه‌های با تکیه‌گاه محیطی بیشترین باربری را دارد. با تبدیل تکیه‌گاه محیطی به گوشه، سختی سازه‌های چلیکی دولایه کاهش می‌یابد. با کاهش لاغری ظرفیت باربری سازه‌های چلیکی دولایه کاهش یافته است با افزایش لاغری، احتمال بروز مکانیزم خرابی موضعی با فروجهش دینامیکی در این سازه‌ها بیشتر شده است. در سازه‌های چلیکی دولایه با افزایش لاغری اعضا، سختی سازه افزایش می‌یابد و مقاومت بیشتری در برابر بارهای وارده نشان می‌دهند. با کاهش لاغری اعضا، شکل‌پذیری سازه‌های چلیکی دولایه افزایش می‌یابد. در سازه‌های چلیکی دولایه با افزایش نسبت ارتفاع دهانه، سختی قائم این سازه‌ها افزایش می‌یابد. افزایش ارتفاع همچنین موجب افزایش باربری سازه‌های چلیکی دولایه می‌گردد. افزایش ابعاد سازه‌های دولایه چلیکی باعث کاهش ظرفیت باربری این نوع سازه‌ها گشته است. سازه‌های چلیکی دولایه تحت بارگذاری نامتقارن دارای نسبت بار بیشتری از بارگذاری متقارن هستند، در حالت بارگذاری خطی، رفتار خرابی عمدتاً خرابی



نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵
دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران



موضوعی با فروجهش دینامیکی است. در حالت خرابی با فروجهش دینامیکی برای ارزیابی صحیح رفتار سازه باید تحلیل دینامیکی صورت گیرد.

مراجع

۱-N. Subramanian, *Principles of Space Structures*: A. H. Wheeler Publishing Company Limited, ۱۹۹۹

۲- محمد محمدی، بررسی رفتار سازه‌های فضاکار چلیکی در برابر خرابی پیشرونده، پایان نامه دکتری، دانشگاه تبریز، ۱۳۹۱

۳- محمدرضا شیدائی، بررسی رفتار شبکه‌های دولایه در برابر کماتش پیشرونده، پایان نامه دکتری، دانشگاه تبریز، ۱۳۸۰

۴- A. El-Sheikh, "Sensitivity of space trusses to sudden member loss," *Int. J. of Space Structures*, vol. ۱۲, pp. ۳۱-۴۲, ۱۹۹۷

۵- Murtha-Smith, Erling. "Compression-member models for space trusses: review." *J.Stru.Eng.* ۱۲۰, ۸ (۱۹۹۴): ۲۳۹۹-۲۴۰۷.

۶- Spadea, G., R. N. Swamy, and F. Bencardino. "Strength and ductility of RC beams repaired with bonded CFRP laminates." *Journal of Bridge Engineering* (۲۰۰۱)

۷- K. Abedi, "Instability behaviour and collapse analysis of space structures," in *Proc. of 1st Iranian National Conf. on Space Structures*, ۲۰۰۰.