بهبود رفتار خرابی شبکه‌های دولایه فضاکار چلیکی با استفاده از ابزارهای محدود کننده نیرو

محمدرضا شیدایی، دانشیارگروه مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه ارومیه
مهدی درویش هاشمی*، مربی گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد بناب
هادی زرین طلا، مربی گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بناب
محمد عزیز افشاری، مربی گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بناب

*m_d_hashemi@yahoo.com

چکیده :

شبکه‌های دولایه فضاکار از جمله سازه‌هایی هستند که در برابر پدیده خرابی پیش‌رونده آسیب‌پذیر هستند. بر این اساس برای شبکه‌های دولایه فضاکار باید روش‌هایی مورد بررسی قرار گیرد تا رفتار خرابی آن‌ها را از رفتار ترد به رفتار نرم و شکل‌پذیر تبدیل کند. از این رو جهت بهبود رفتار خرابی شبکه‌های دولایه فضاکار با روش استفاده از ابزار محدودکننده نیرو برای جلوگیری از کمانش عضو فشاری، رفتار سازه به رفتار شکل‌پذیر تبدیل خواهد شد، بنابراین افزایش شکل‌پذیری خرپا با استفاده از ابزارهای محدودکننده نیرو می‌تواند روشی موثر در نظر گرفته شود. به همین دلیل در این مقاله تاثیر بهینه تعداد ابزارهای محدودکننده نیرو در بهبود رفتار خرابی این سازه ها مبنی بر این‌که ابزارهای محدودکننده تا چه حدی از نظر تعداد بر افزایش شکل‌پذیری و تغییر ظرفیت باربری شبکه‌های دو لایه فضاکار چلیکی موثر واقع می‌باشند، مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژگان: شبکه‌های چلیکی، ابزار محدود کننده نیرو، خرابی پیش‌رونده، شکل‌پذیری

۱- مقدمه

سازه فضاکار یکی از مهم‌ترین سیستم‌های سازه‌ای است که در ساختمان‌های مدرن با ابعاد بزرگ، کاربرد فراوان دارد. در مقایسه با سایر سیستم‌های سازه ای، سازه فضایی دارای چندین مزیت اساسی است که این مزایا می‌تواند شامل سبکی، اقتصادی بودن آن برای پوشش فضاها با دهانه‌های بزرگ، تولید و ساخت عضوهای آن با استفاده از روش‌های صنعتی باشد. اتصالات در این نوع سازه‌ها عموما پیش ساخته و عملیات اتصال اعضا نسبتاً ساده است، از این رو قطعات یک سازه فضایی را غالباً کارگران نیمه متخصص نیز می‌توانند نصب کنند[۱].

یک شبکه دولایه فضاکار، متشکل از دو شبکه موازی بالایی و پائینی است که اتصال این دو شبکه توسط اعضای مورب یا قائم جان انجام می گیرد. این نوع سازه‌ها معمولاً از درجهٔ نامعینی استاتیکی بالایی برخوردار بوده و بر همین اساس تصور می‌شود که پس از خرابی عضو یا بخشی از سازه، سایر قسمت‌های آن بتوانند نیروهای

باز توزیع شده را به راحتی جذب کرده و حتی بار بیشتری را نیز تحمل نمایند [۲ و ۳]. هدف اصلی در این تحقیق ایجاد رفتاری شکل‌پذیر با استفاده از ابزارهای محدودکننده نیرو به منظور جلوگیری از کمانش عضو فشاری درشبکه های دو لایه فضاکار چلیکی می‌باشد که شامل دوازده مدل از شبکه‌های دولایه فضاکار چلیکی می‌باشد که این مدل‌ها دارای شرایط مختلف تکیه‌گاهی، عمق سازه، شکل هندسی پلان سازه و همچنین شامل ناکاملی هندسی می‌باشند. در دو دهه اخیر، چندین روش برای کنترل رفتار خرپاهای فضایی توسعه داده شده است [۴]، که یکی از بیشترین روش‌های رایج استفاده از ابزارهای محدودکننده نیرو می‌باشد (Force Limiting Devices) روش پیشنهاد شده در اینجا ایجاد یک عضو جدید (شکل‌پذیر) تحت بارگذاری فشاری می‌باشد که یک پاسخ بار – جابجایی الاستیک پلاستیک را ارائه می‌دهد. وقتی که بیشتر عضوهای فشاری در شبکه‌های دو لایه فضاکار تحت تنش قرار می‌گیرند، عضوهای شکل‌پذیر جدید جایگزین آنها می‌شوند و در نتیجه یک توزیع مجدد نیرو در سازه رخ می‌دهد و این منجر به افزایش ظرفیت حمل بار و بهبود شکل‌پذیری فرا ارتجاعی خواهد شد [۵].

۲- مشخصات رفتاری شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار

شبکه‌های دولایه فضاکار معمولا دارای درجه نامعینی بالایی هستند و معمولاً ۱۵ الی ۲۰ درصد اعضای آن‌ها اضافی هستند[۶] و با حذف این اعضا، سازه از لحاظ استاتیکی پایدار خواهد ماند. لذا ممکن است چنین تصور شود که شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار از ایمنی بسیار بالایی در برابر خطر خرابی برخوردار بوده و با از بین رفتن تعدادی از اعضایشان می‌توانند به مقاومت خود ادامه دهند. اما در این سازه‌ها به دلایلی مانند کمانش یک عضو فشاری، تسلیم یک عضو کششی، ناپایداری گرهی، اتصال نامناسب اعضا و وجود ناکاملی‌های هندسی، خرابی موضعی در سازه پدید می‌آید. اگر سازه قادر به تحمل این خرابی موضعی باشد، خرابی به صورت موضعی در سازه باقی مانده و به سایر قسمت‌ها منتقل نخواهد شد، در غیر این‌صورت خرابی به صورت موضعی نخواهد ماند و به سایر قسمت‌های سازه منتشر شده و در نهایت منجر به خرابی کل سازه خواهد شد که این حالت مکانیسم زنجیری خرابی پدیدهٔ خرابی پیش‌رونده نامیده می‌شود[۷] .

از مهم‌ترین مشخصات رفتاری شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار می‌توان به موارد زیر اشاره کرد[۷] :

- رفتار کلی سازهٔ شبکهٔ دو لایهٔ فضاکار بستگی به عواملی مانند مشخصات هندسی و مصالح سیستم سازه‌ای، سطح مقطع اعضا، نوع اتصالات و روش اجرای آنها دارد.
- یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در رفتار خرابی سازه، وجود عوامل غیرخطی هندسی و غیرخطی مصالح در عمل می‌باشد برای شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار تاثیر غیرخطی بودن مصالح بسیار با اهمیت‌تر از غیرخطی بودن هندسی است [۸]
- در بعضی موارد خرابی یک یا چند عضو بحرانی از این سازه‌ها، می تواند به پدیدهٔ خرابی پیش‌رونده منجر شده و موجب خرابی کل سازه شود . پدیدهٔ خرابی پیش‌رونده در شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار به‌خاطر عوامل متعددی مانند کمانش یک عضو فشاری (با ظرفیت فراکمانشی یا بدون ظرفیت فراکمانشی)، تسلیم یک عضو کششی، گسیختگی ترد عضو یا پیونده، ناپایداری دورانی گره ها (ناشی از برون محوری و سختی کم عضو در محل گره) ایجاد می‌گردد.
- در شبکه‌های دو لایه فضاکار رفتار اعضای فشاری یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در رفتار خرابی آنها می‌باشد. رفتار عضو فشاری، تابعی از سه پارامتر مهم نسبت لاغری، تنش تسلیم مصالح و میزان ناکاملی عضو بوده و بر این اساس می‌تواند از حالت خیلی ترد تا خیلی نرم تغییر نماید [۷]. وقتی که یک عضو فشاری از یک شبکه دولایه فضاکار کمانه می‌کند، ظرفیت باربری آن کاهش یافته و بار خود را به اعضای مجاور پخش می‌کند که این پخش نیروها، به رفتار فراکمانشی عضو فشاری بستگی دارد. با در نظر گرفتن رفتار پس کمانشی اعضای فشاری در تحلیل خرابی شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار، رفتار خرابی این سازه‌ها به یکی از سه حالت خرابی کلی سازه، خرابی موضعی همراه با فروجهش دینامیکی و خرابی موضعی همراه با فروجهش دینامیکی خواهد بود [۹] .

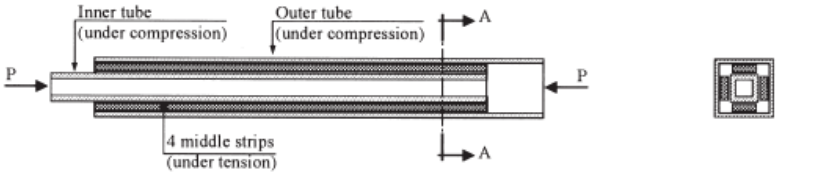
۳- روش استفاده از ابزار محدود کننده نیرو برای‌جلوگیری از کمانش عضو فشاری

ابزار محدود کننده نیرو دارای مشخصه رفتاری صلب ـ پلاستیک بوده و بر روی عضو فشاری نصب می‌شود وقتی که نیروی عضو فشاری به نیروی حدی ابزار مزبور (که اندکی کمتر از نیروی کمانش عضو فشاری است) می رسد این ابزار فعال شده و رفتاری الاستوپلاستیک را بر عضو تحمیل می نماید. این عمل در نهایت باعث بوجود آمدن رفتار شکل پذیر در سازه خواهد شد [۱۰]. این شکل‌پذیری در واقع باعث ایجاد شکل پذیری در سازه شده و احتمال وقوع خرابی پیش رونده را که دراثر تنش بیشتر در عضو فشاری بوجود آمده است کاهش می‌دهد . شکل پذیری ایجاد شده در رفتار عضو فشاری با قرار دادن ابزار محدودکننده نیرو می‌تواند به وجود آید. هدف این ابزار محدود کردن نیروی وارد بر عضو فشاری به مقداری از قبل تعیین شده می‌باشد که نتیجه آن ثابت ماندن نیرو تحت افزایش تغییر شکل خواهد بود[۱۱].

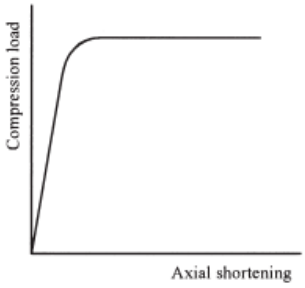
در نتیجه یک عضو فشاری توسط یک ابزار محدودکننده نیرو محافظت شده که مشخصات بار- تغییر شکل الاستیک – پلاستیک

آن در شکل (۱) نشان داده شده، که در مقابل ناپایداری زیادی که تحت تاثیر خصوصیات ترد فراکمانشی در عضوهای فشاری بوجود آمده، قرار می‌گیرد. مقدار سطح بار ثبت شده توسط ابزار محدود کننده نیرو بایستی کمتر از بار کمانشی عضو فشاری باشد که این ابزار قبل از کمانش عضو موثر واقع می شود. در نتیجه این‌گونه استنباط می‌شود که ابزار محدود کننده نیرو می تواند بارکمانشی عضو را اصلاح کند. ابزار محدود کننده نیرو بایستی توانایی یک نیروی محدودکننده ثابت با یک سطح بار به طول کافی را داشته باشد در نتیجه فرصت توزیع مجدد نیروها را به اعضای دیگر شبکه‌های دولایه فضاکار خواهد داد.

مطالعات انجام شده [۱۱و۱۲] نشان می دهد به‌کارگیری ابزاهای محدودکننده نیرو بر روی شبکه‌های دولایه فضاکار تخت باعث افزایش چشمگیری در ظرفیت باربری و شکل پذیری این سازه‌ها شده که منجر به بهبود رفتار خرابی این سازه ها گردیده است .



(a) Detail of a member with an FLD



(b) Typical behaviour pattern of a member with an FLD

شکل ۱ – عضو فشاری با مشخصات اصلاح یافته برای شکل پذیری FLD

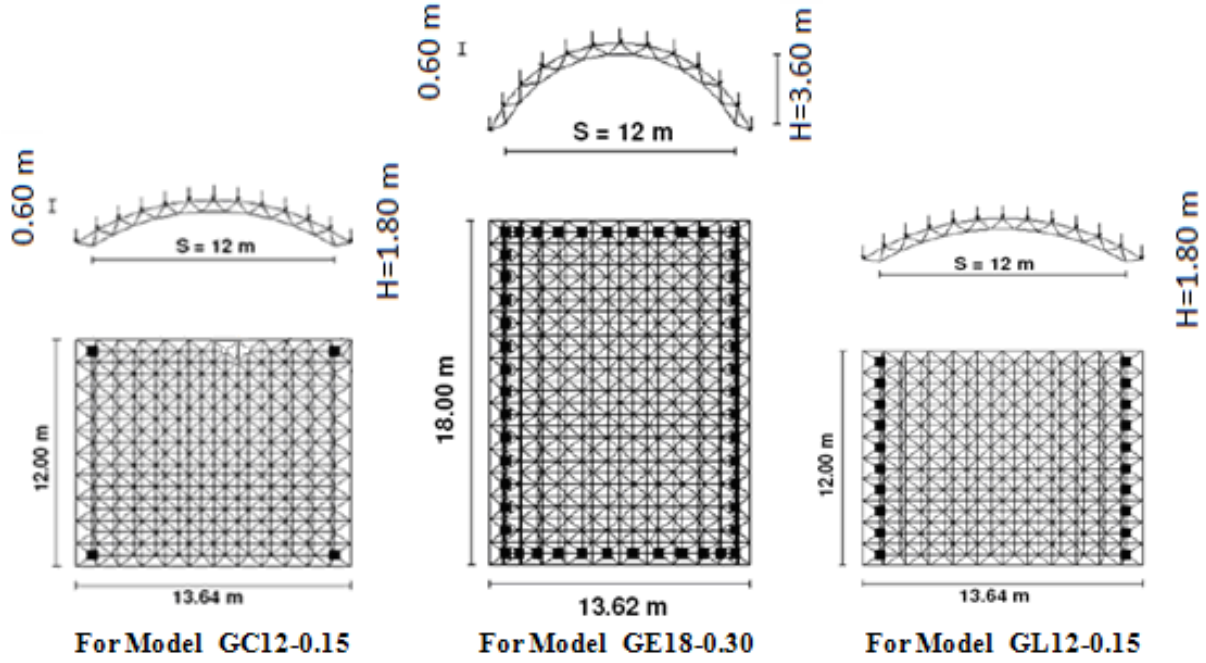
٤- مطالعه تحلیل رفتار خرابی شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار چلیکی

در این تحقیق مدل‌های مورد بررسی قرار گرفته دوازده نوع از شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار چلیکی می‌باشند که در سه شرایط تکیه‌گاهی با بافتارهای متفاوت به صورت گوشه ای، محیطی و لبه‌ای عمود بر قوس با دو حالت H/S = 0.15 و H/S =0.30 (که H ارتفاع مفید وS طول مفید دهانه است) و نسبت دهانه به عمق۲۰ در تمامی مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند که سه مدل از این شبکه‌ها در شکل (۲) نشان داده شده‌اند.

در بررسی این مدل ها طراحی بر اساس آیین نامه AISC می‌باشد. در ادامه با تحلیل هر عضو از اعضای مدل‌ها، رفتار بار – تغییر شکل هرکدام بدست آمده که با وارد کردن رفتار هر عضو در مدل‌ها با انجام تحلیل غیر خطی استاتیکی به روش عناصر محدود با استفاده از نرم افزارLUSAS، رفتار بار – تغییر شکل سازه تعیین شده و اعضای بحرانی در سازه مشخص می‌شود.

در این تحقیق اعضای شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار چلیکی از مقاطع لوله‌ای توخالی دایره‌ای تشکیل شده‌اند. این شبکه‌ها دارای چهار طول عضو متفاوت طبق جدول (۱) با سطح مقطع یکسان در هر مدل برای لایه‌های بالایی، پایین و جان می‌باشند. همچنین تنش تسلیم ۳۶۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، ضریب الاستیسیته $۲/۱ \times ۱۰^{۶}$ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع ، ضریب پواسون ۰,۳ و ناکاملی اعضا شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار چلیک 0.001L در نظر گرفته شده است.

بارگذاری تحت بارهای مرده و زنده که به ترتیب دارای مقادیر ۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع می باشند انجام شده است، مشخصات



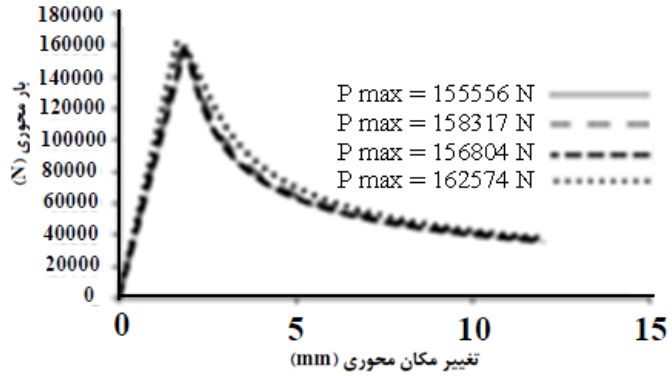
شکل ۲- بافتار مدل‌های نمونه با تکیه‌گاه‌های مختلف

مدل‌های طراحی شده با تکیه‌گاه‌های مختلف در جدول (۱) نشان داده شده است. در این جدول در ستون اول نام مدل، حرف G نماد شبکه، C نماد تکیه‌گاه گوشه، E نماد تکیه‌گاه محیطی و L نماد تکیه‌گاه طولی در امتداد عمود بر قوس می‌باشد. اندیس اول، نشان‌دهندهٔ طول شبکه در امتداد عمود بر قوس و اندیس دوم، نمایانگر نسبت H/S می‌باشد.

برای انجام تحلیل خرابی بر روی شبکه‌های دولایه فضاکار، ابتدا باید رفتار اعضای سازه تعیین شود. در تحقیق حاضر، رفتار بار محوری – تغییر مکان محوری اعضاء در کشش به صورت الاستو پلاستیک کامل در نظر گرفته شده است. و برای تعیین رفتار بار محوری – تغییر مکان محوری اعضاء در فشار از روش عناصر محدود استفاده شده است. نتایج بدست آمده از واکنش رفتار بار محوری – تغییر مکان محوری اعضای فشاری مورد استفاده در سازه‌های دولایه فضاکار چلیکی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته شده که به طور خلاصه رفتار مدل $GC_{12\text{-}0.15}$ برای نمونه در شکل (۳) نشان داده شده‌اند.

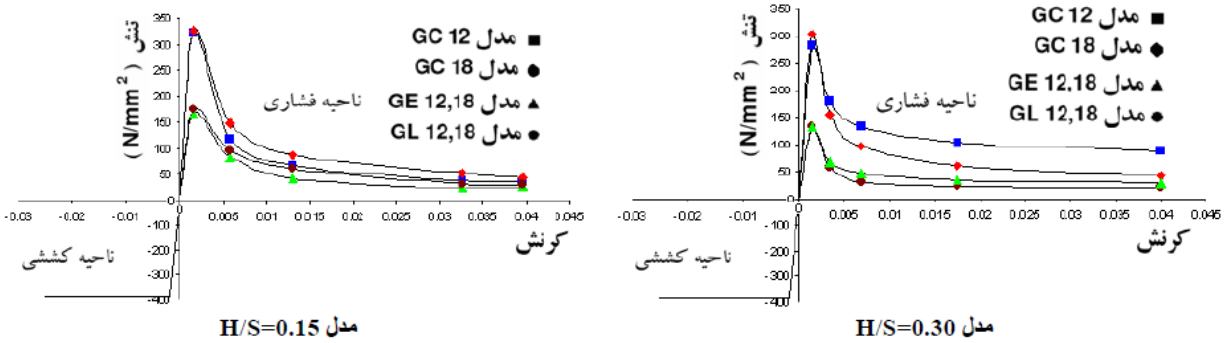
جدول۱ – مشخصات مدل‌های طراحی شده با تکیه‌گاه‌های مختلف

Model Name	Structure Dimension (m)	CHS (mm)	TOP Members Slenderness and Length (m)	BOT Members Slenderness and Length (m)	Length Members Slenderness and Length (m)	Web Members Slenderness and Length (m)
$GC_{12\text{-}0.15}$	12*12	57*2.9	λ =64 L=1.22	λ =60 L=1.15	λ =63 L=1.20	λ =54 L=1.04
$GC_{12\text{-}0.30}$	12*12	51*4	λ =87 L=1.45	λ =80 L=1.33	λ =72 L=1.20	λ =67 L=1.11
$GC_{18\text{-}0.15}$	12*18	60.3*4.5	λ =62 L=1.22	λ =58 L=1.15	λ =61 L=1.20	λ =53 L=1.22
$GC_{18\text{-}0.30}$	12*18	57*4.5	λ =78 L=1.45	λ =71 L=1.33	λ =64 L=1.20	λ =60 L=1.11
$GE_{12\text{-}0.15}$	12*12	33.7*2.6	λ =111 L=1.22	λ =104 L=1.15	λ =109 L=1.20	λ =94 L=1.22
$GE_{12\text{-}0.30}$	12*12	33.7*2.6	λ =131 L=1.45	λ =121 L=1.33	λ =109 L=1.20	λ =101 L=1.11
$GE_{18\text{-}0.15}$	12*18	33.7*2.6	λ =111 L=1.22	λ =104 L=1.15	λ =109 L=1.20	λ =94 L=1.22
$GE_{18\text{-}0.30}$	12*18	33.7*2.6	λ =131 L=1.45	λ =121 L=1.33	λ =109 L=1.20	λ =101 L=1.11
$GL_{12\text{-}0.15}$	12*12	33.7*2.6	λ =111 L=1.22	λ =104 L=1.15	λ =109 L=1.20	λ =94 L=1.22
$GL_{12\text{-}0.30}$	12*12	33.7*2.6	λ =134 L=1.45	λ =123 L=1.33	λ =111 L=1.20	λ =102 L=1.11
$GL_{18\text{-}0.15}$	12*18	33.7*2.6	λ =111 L=1.22	λ =104 L=1.15	λ =109 L=1.20	λ =94 L=1.22
$GL_{18\text{-}0.30}$	12*18	33.7*2.6	λ =134 L=1.45	λ =123 L=1.33	λ =111 L=1.20	λ =102 L=1.11



شکل ۳ – واکنش بار محوری – تغییر مکان محوری اعضای فشاری مدل نمونه $GC_{12\text{-}0.15}$

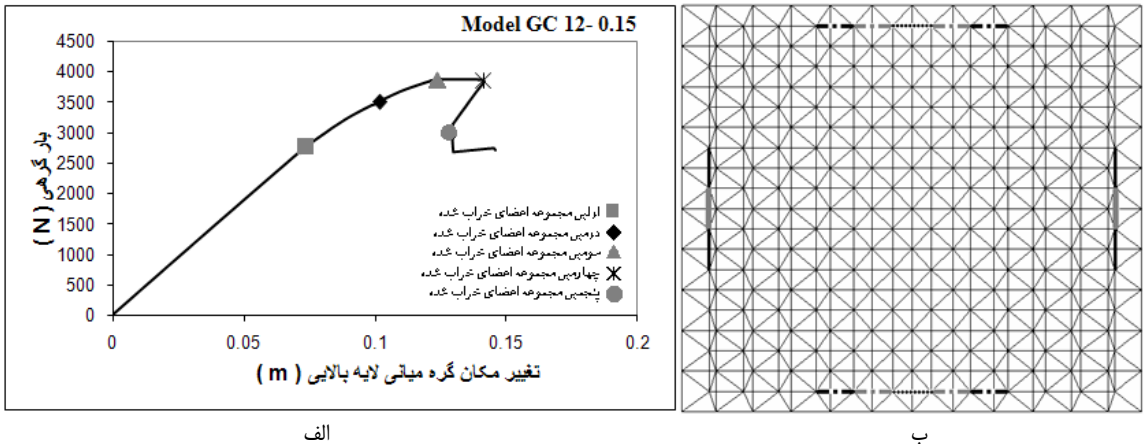
بر اساس واکنش بار – تغییر مکان عضو فشاری و به کمک روش خطی سازی قطعه به قطعه می توان رابطه ایده‌آل تنش – کرنش محوری هر عضو را تعیین نموده و در تحلیل خرابی سازه مورد استفاده قرار داد. رابطه ایده‌آل تنش – کرنش محوری اعضاء برای حالت (H/S=0.15 و H/S=0.30) همانند شکل (۴) می‌باشند.



شکل ۴ – رابطه ایده آل میانگین تنش –کرنش محوری اعضا برای تمامی مدل‌ها

۵-تحلیل غیر خطی استاتیکی و تعیین نوع خرابی مدل‌ها

برای مطالعه رفتار خرابی و نوع مکانیسم خرابی شبکه‌های دولایه فضاکار چلیکی ، تحلیل استاتیکی غیر خطی بر روی این سازه‌ها انجام شده است. هر دو عامل غیر خطی هندسی و غیر خطی مصالح در این تحلیل‌ها در نظر گرفته شده‌اند . هر یک از اعضاء سازه به صورت یک عنصر میله‌ای با مدل رفتار ایده‌آل مطابق شکل (۴) در نظر گرفته شده‌اند . حل معادلات غیر خطی تعادل به روش طول کمان انجام گرفته است. منحنی‌های بار – تغییر مکان قائم گره مرکزی مدل‌های مورد مطالعه که از تحلیل استاتیکی آنها بدست آمده است و همچنین ترتیب و موقعیت خرابی اعضا در شکل (۵) برای نمونه نشان داده شده است.



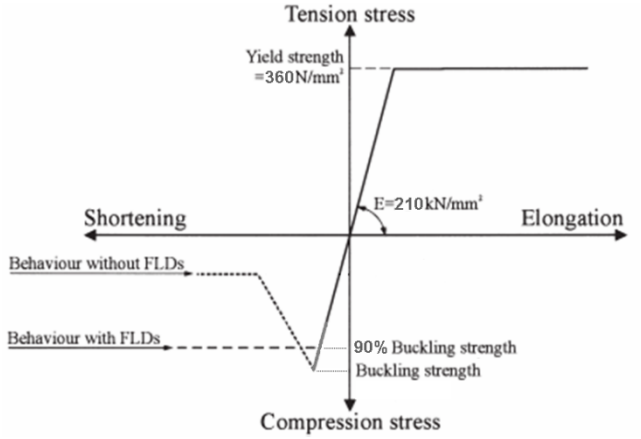
شکل ۵ – موقعیت و ترتیب خرا بی اعضاء و واکنش استاتیکی بار– تغییر مکان مدل GC 12- 0.15

از طراحی مدل‌های نمونه این‌گونه استنباط می‌شود که در شبکه‌های دو لایهٔ فضاکارچلیکی تبدیل تکیه‌گاه‌های گوشه‌ای به لبه‌ای عمود بر قوس و محیطی موجب کاهش وزن سازه و افزایش لاغری اعضا می شود و همچنین کاهش تعداد تکیه گاه‌ها باعث کاهش سختی سازه و به تبع آن افزایش خطر وقوع خرابی پیش‌رونده در شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار می‌شود.

با توجه به شکل (۵–ب) که از تحلیل غیرخطی مدل‌ها با تکیه‌گاه‌های گوشه‌ای به دست آمده است، خرابی از اعضای کناری شروع شده و با ادامهٔ بارگذاری و دنبال نمودن مسیر تعادل سازه ، به سوی اعضای داخلی منتشر می‌شود. بنابراین در شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار با تکیه‌گاه‌های گوشه‌ای ، معمولاً بحرانی‌ترین اعضا، اعضای ردیف‌های کناری می‌باشند، اما در مدل‌های با تکیه‌گاه‌های محیطی، خرابی از داخلی‌ترین اعضای شبکه شروع شده و به سمت اعضای کناری انتشار می‌یابد. بنابراین در شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار باتکیه‌گاه‌های محیطی، معمولاً بحرانی‌ترین اعضا، اعضای میانی لایهٔ بالایی می‌باشند، همچنین در مدل‌های با تکیه‌گاه‌های لبه‌ای عمود برقوس، خرابی از داخلی‌ترین اعضای لایهٔ بالایی شبکه در امتداد قوس شروع شده و به سمت اعضای کناری در همان جهت گسترش می‌یابد، بنابراین در شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار با تکیه‌گاه‌های عمود در امتداد قوس، معمولاً بحرانی‌ترین اعضا، اعضای میانی لایهٔ بالایی می‌باشند.

٦-تحلیل غیر خطی استاتیکی مدل‌ها با نصب ابزارهای محدود کننده نیرو

برای بررسی اثر این ابزارها بر افزایش مقاومت و شکل پذیری شبکه های دولایه فضاکار، برای هر کدام از مدل‌های مطرح شده در این تحقیق ، با توجه به بار کمانشی اعضای آن‌ها یک ابزار محدود کننده نیرو اعمال می‌شود. ابزار محدود کننده نیرو در باری برابر با ۹۰ درصد بار کمانش اعضا فعال شده و بر روی اعضای فشاری بحرانی نصب می‌شود، که شکل (۶) نمودار مشخصات عضو در کشش – فشار را با و بدون FLD نشان می‌دهد.



شکل ۶- مشخصات عضو در کشش – فشار (با حالتFLD وبدون نصب FLD)

۷- نتایج مربوط به بکارگیریFLD

در جدول شماره ۲ درصدهای افزایش و شکل پذیری و تغییر ظرفیت باربری بر اساس تعداد FLD مشخص شده است.

جدول۲ – نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی خرابی مدل‌ها

نام مدل	حداکثر ظرفیت باربری بدون FLD	حداکثر ظرفیت باربری با FLD	Δy تغییرشکل اولیه بدون FLD	Δu تغییرشکل نهایی بدون FLD	μ = Δu /Δy ضریب شکل پذیری بدون FLD	تغییر شکل نهایی با FLD	بار اولین خرابی با FLD	تغییر شکل اولین خرابی با FLD	درصد افزایش ظرفیت باربری	درصد افزایش شکل پذیری
$GC_{12\text{-}0.15}$	2760	4262	0.0738	0.1263	1.71	0.3238	2760	0.0738	54	339
$GC_{12\text{-}0.30}$	4288	5257	0.0944	0.1101	1.17	0.1685	4366	0.0966	23	78
$GC_{18\text{-}0.15}$	2563	4257	0.0894	0.2395	2.68	0.3999	2481	0.0860	66	374
$GC_{18\text{-}0.30}$	3528	4936	0.1125	0.1451	1.29	0.3413	3528	0.1125	40	203
$GE_{12\text{-}0.15}$	4686	6481	0.0262	0.0318	1.21	0.0836	4553	0.0267	38	219
$GE_{12\text{-}0.30}$	7308	9547	0.0200	0.0369	1.84	0.0482	5951	0.0156	31	141
$GE_{18\text{-}0.15}$	2658	3384	0.0377	0.0377	1.00	0.1171	2356	0.0317	27	211
$GE_{18\text{-}0.30}$	3859	5540	0.0252	0.0663	2.63	0.0609	3555	0.0234	44	142
$GL_{12\text{-}0.15}$	1435	1347	0.0427	0.0427	1.00	0.2099	1308	0.0390	-4	392
$GL_{12\text{-}0.30}$	1022	963	0.0315	0.0382	1.22	0.0997	931	0.0286	-6	216
$GL_{18\text{-}0.15}$	1394	1373	0.0402	0.0402	1.00	0.1644	1342	0.0408	-2	309
$GL_{18\text{-}0.30}$	1030	963	0.0341	0.0341	1.00	0.0687	939	0.0280	-7	101

بنابراین نتیجه‌ای که می‌توان از جدول (۲) گرفت این است که با به‌کارگیری مجموع ۲۰ تا FLD در مدل نمونه $GC_{12\text{-}0.15}$ ظرفیت باربری سازه ۵۴ درصد و شکل‌پذیری سازه ۳۳۹ درصد افزایش داشته است. در ادامه با به‌کارگیری این ابزارها در تمامی اعضای فشاری لایه بالایی ظرفیت باربری سازه ۵۳ درصد و شکل پذیری سازه ۳۰۵ درصد افزایش یافته است و همچنین با به‌کارگیری ابزار محدود کننده نیرو در تکیه‌گاه‌های گوشه ظرفیت باربری ۲۳ تا ۶۶ درصد و شکل‌پذیری ۷۸ تا ۳۷۴ درصد افزایش می‌یابد.

با به‌کارگیری مجموع ۲۳ تا FLD در مدل نمونه $GE_{18\text{-}0.30}$ ظرفیت باربری سازه ۴۴ درصد و شکل پذیری سازه ۱۴۲ درصد افزایش داشته است. در ادامه با به‌کارگیری این ابزارها در تمامی اعضای فشاری لایه بالایی ظرفیت باربری سازه ۴۴ درصد و شکل پذیری سازه ۱۳۲ درصد افزایش یافته است و همچنین با بکارگیری ابزار محدود کننده نیرو در تکیه‌گاه‌های محیطی ظرفیت باربری ۲۷ تا ۴۴ درصد و شکل پذیری ۱۴۱ تا ۲۱۹ درصد افزایش می‌یابد.

با به‌کارگیری مجموع ۱۸ تا FLD در مدل نمونه $GL_{12\text{-}0.15}$ ظرفیت باربری سازه ۴ درصد کاهش و شکل پذیری سازه ۳۹۲ درصد افزایش داشته است. در ادامه با به‌کارگیری این ابزارها در تمامی اعضای فشاری لایه بالایی ظرفیت باربری سازه ۶ درصد کاهش و شکل پذیری سازه ۳۹۲ درصد افزایش یافته است و همچنین با به‌کارگیری ابزار محدود کننده نیرو در تکیه‌گاه‌های لبه‌ای عمود بر قوس ظرفیت باربری ۲ تا ۷ درصد کاهش و شکل‌پذیری ۱۰۱ تا ۳۹۲ درصد افزایش می یابد، اما در مطالعه این مدل‌ها ملاحظه می‌شود که ظرفیت مدل‌ها در این حالت خیلی کم کاهش یافته ولی در مقابل افزایش شکل‌پذیری را از خود نشان داده است که با استفاده از این ابزارها در این مدل‌ها از خرابی کلی به خرابی موضعی رسیده می‌شود.

۸-نتیجه گیری

۱- برای مقاوم‌سازی شبکه‌های دو لایه فضاکار، روش استفاده از ابزارهای محدودکننده نیرو برای جلوگیری از کمانش اعضای فشاری باعث افزایش شکل‌پذیری و ظرفیت باربری سازه شده که با مطالعه اثرات این ابزار بر روی شبکه‌های دولایه فضاکار چلیکی مشخص شد که این روش توانایی قابل ملاحظه‌ای در افزایش شکل پذیری و ظرفیت باربری سازه را دارا می‌باشد.

۲- در شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار چلیکی تبدیل تکیه‌گاه‌های گوشه‌ای به لبه‌ای در امتداد عمود بر قوس و محیطی موجب کاهش شدید وزن سازه و افزایش لاغری اعضا می‌شود.

۳- در مدل‌های با تکیه‌گاه‌های گوشه‌ای در چلیک‌ها، خرابی از اعضای کناری شروع شده و با ادامهٔ بارگذاری و دنبال نمودن مسیر تعادل سازه، به سوی اعضای داخلی منتشر می‌شود. بنابراین در شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار با تکیه‌گاه‌های گوشه‌ای، معمولاً بحرانی‌ترین اعضا، اعضای ردیف‌های کناری می‌باشند.

۴- در مدل‌های با تکیه‌گاه‌های محیطی در چلیک‌ها، خرابی از داخلی‌ترین اعضای شبکه شروع شده و به سمت اعضای کناری انتشار می‌یابد. بنابراین در شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار با تکیه‌گاه‌های محیطی، معمولاً بحرانی‌ترین اعضا، اعضای میانی لایهٔ بالایی می‌باشند.

۵- در مدل‌های با تکیه‌گاه‌های عمود در امتداد قوس در چلیک‌ها، خرابی از داخلی‌ترین اعضای لایهٔ بالایی شبکه در امتداد قوس شروع شده و به سمت اعضای کناری در همان جهت گسترش می یابد. بنابراین در شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار با تکیه‌گاه‌های عمود در امتداد قوس، معمولاً بحرانی‌ترین اعضا، اعضای میانی لایهٔ بالایی می‌باشند.

۶- شرایط تکیه‌گاهی تاثیر بسزایی بر رفتار خرابی شبکه‌های دو لایهٔ فضاکار چلیکی دارد. نتایج حاصله بیانگر آن است که با تبدیل تکیه‌گاه‌های گوشه‌ای به محیطی و لبه‌ای عمود در امتداد قوس در این سازه‌ها، شکل‌پذیری آن‌ها افزایش می‌یابد که علت این امر می‌تواند مسیرهای انتقال بار بیشتری باشد که در حالت تکیه‌گاه‌های محیطی و لبه‌ای عمود در امتداد قوس فراهم می‌شود.

۷- کاربرد ابزارهای محدودکننده نیرو در شبکه‌های دولایه فضاکار چلیکی با تکیه‌گاه‌های گوشه بیشترین مزیت را دارد.

مراجع:

[۱] کاوه ع . کروبی ف . و کیوانی ج . ۱۳۸۳ ، تحلیل ، طراحی و ساخت سازه های فضایی فولادی، نشریه مرکز تحقیقات و مسکن شماره ک – ۳۸۲ .

[2] Schmidt et al . , 1980, Dynamic response and progressive.J. Struct . Eng , ASCE, Vol .No .9.

[3] Schmidt.L.C,Morgan P .R .and Clorkson J.A. 1976 , Space trusses with brittle type strut buckling .J. Struct .Div, ASCE,Vol .102.9 ,1479-1492.

[4] Hanaor A, Marsh C, Parke GAR . 1989, Modification of behaviour ofdouble-layer grids: overview. J Struct Engng, ASCE;115(5):1021–37.

[5] Parke GAR . 1993, A novel soft member for space trusses. Fourth Int Conf Space Struct. Surrey, UK, pp. 116–26.

[6] El- Sheikh A . 1998 , Sensitivity of Space Trusses to Sudden Member Loss . Int J.of Space Structures , Vol .12 , No .1 , 31- 41.

[۷] شیدایی محمدرضا ،۱۳۸۰، پایان نامه دکتری تحت عنوان بررسی رفتار شبکه های دو لایه فضاکاردر برابرکمانش پیشرونده.

[8] Gioncu V. 1995, Buckling of reticulated shells : State- of –the –art . Int.J. Space Struct, Vol. 10 , No . 1, 1-46.

[9] Sheidaii M.R , Abedi.K , Behravesh.A. 2001, Collapse Behaviour of Double Layer Space Trusses ,proceeding of the IASS symposium on . Theory design and realization of shell and spatial structure , Nagoya , Japan.

[10] Hanaor A and Ong A-F . 1988, On structural redundancy in Space trusses .Int. J. of Space Struct, Vol .3 No. 4, 237-241.

[11] El- Sheikh A . 1999, Effect of force limiting devices on behaviour of space trusses . Engineering Structures 21 , 34–44.

[۱۲] عزیز افشاری محمد، ۱۳۸۷، پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان بهبود رفتار خرابی شبکه های دولایه فضاکار با استفاده از ابزار محدود کننده نیرو(FLD). دانشکده مهندسی عمران آزاد مراغه.

Collapse Behavior Modification of Double Layer Barrel Vault Space Structures Using Force Limiting Devices

M.R. Sheidaii
Urmia University of Technology, Iran

M.Darvish Hashemi
Islamic Azad University, Bonab Branch, Iran

H.Zarrintala
Islamic Azad University, Bonab Branch, Iran

M.Azizafshar
Islamic Azad University, Bonab Branch, Iran

ABSTRACT

Space double-layer grids are the structures that are vulnerable to the progressive collapse phenomenon. So, some methods should be looked for space double-layer grids that change their collapse behavior from brittle to a soft and ductile. In order to improve the space double-layer grids collapse behavior by using force limiting devices and also to avoid buckling, in compression members the structure element will be changed into the ductile ones. Hence space truss ductility can be done by force limiting devices. In the present study the effects of a number of force limiting devices on the progressive collapse behavior improvement of these structures have been studied. The present study determines the extent to which the limiting devices increase the ductility and load-carrying capacity variation of the double-layer space barrel vaults grids considering their number.

Keywords: Barrel vault, Force limiting device, Progressive collapse, Ductility grids