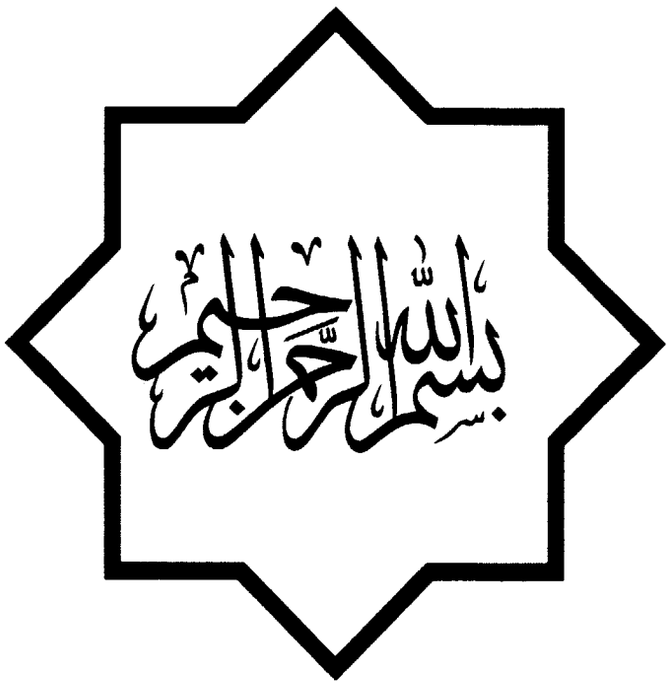

٣٩١٤٨

۱۳۸۰ /۱۱/ ۱۰

دانشگاه مازندران
دانشکده فنی و مهندسی

موضـــوع:

رفتـــار استاتیکی گنبدهای مشبک تک لایه تحت تأثیر نیمه صلبیت اتصالات گویسان

پـایـان‌نـامـــه:

جهت اخذ درجهٔ کارشناسی ارشد

در رشتهٔ مهندسی عمران - سازه

016374

استاد راهنما:
آقای دکتر مرتضی نقی‌پور

اساتید مشاور:
آقای دکـــتر جـواد واثـــقی
آقای مهندس محمدرضا داوودی

نگارش:
امین مصطفویان
دی‌مـــاه ۱۳۸۰

۳۹۸۴۸

باسمه تعالی

دانشگاه مازندران

معاونت آموزشی

تحصیلات تکمیلی

ارزشیابی پایان نامه در جلسه دفاعیه

دانشکده فنی ومهندسی

نام و نام خانوادگی دانشجو: سید امین مصطفویان شماره دانشجوئی: ۷۷٤۸۰۹

رشته تحصیلی: مهندسی عمران - سازه مقطع: کارشناسی ارشد

سال تحصیلی: نیمسال اول ۸۱-۱۳۸۰

عنوان پایان نامه :

" رفتار استاتیکی گنبدهای مشبک تک لایه تحت تاثیر نیمه صلبیت اتصالات گویسان "

تاریخ دفاع: ۱۳۸۰/۱۰/۱۸

نمره پایان نامه (به عدد): ۱۸/۵

نمره پایان نامه (به حروف): هجده و پنجاه صدم با احسنت به تکله

هیات داوران :

استاد راهنما: دکتر مرتضی نقی پور امضا

استاد مشاور: دکتر جواد واثقی امضا

استاد مدعو: دکتر غلامرضا قدرتی امیری امضا

استاد مدعو: دکترجواد جلالی امضا

نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی: دکتر بهرام نوائی نیا امضا

تقدیر و تشکر

بدین وسیله، لازم می‌دانم از تمامی اساتید محترم دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه مازندران-گروه عمران، بخصوص حضرات آقایان:

- دکتر مرتضی نقی‌پور، استاد راهنما،
- دکتر جواد واثقی امیری، استاد مشاور، و
- مهندس محمدرضا داوودی،

که در طول تحصیل اینجانب، با مساعی و علاقهٔ فراوان، در امر برخورداری از علوم مربوطه، از بذل مساعدت و همکاری بی‌دریغ مضایقه ننموده‌اند و از دریای بیکران علوم و فضائل خود، اینجانب را بهره‌مند کرده‌اند، کمال تشکر و امتنان را داشته باشم.

تقدیم به

پدر و مادرم،

که درس زندگی به من آموختند،

و برادرم،

که همواره یار و یاورم بوده است.

چکیده

به منظور ساده سازی تحلیل و طراحی سازه‌های مشبک، معمولاً رفتار اتصالات بصورت مفصل ایده‌آل و یا صلب کامل در نظر گرفته می‌شود. اما رفتار هیچ اتصالی منطبق بر این دو حالت حدی نیست و در واقع اتصالات رفتاری بین دو حالت فوق‌الذکر و بصورت نیمه صلب از خود نشان می‌دهند.

در کار حاضر، برای بررسی کیفیت و کمیت تأثیر نیمه صلبیت اتصالات گویسان بر رفتار استاتیکی گنبدهای مشبک تک لایه، مطالعهٔ پارامتریکی انجام شده است. گنبد بکار رفته برای این منظور دارای بافتار سه‌راهه استاندارد و پلان مربعی بوده، و سختی اتصالات، نسبت دهانه به ارتفاع، و شرایط تکیه‌گاهی پارامترهای متغیر هستند که در مجموع ۱۸ مدل مختلف را تشکیل داده‌اند. برای لحاظ نمودن نیمه صلبیت اتصالات در تحلیل، مدلی برای اتصالات گویسان در نظر گرفته شده است که دارای فنرهای غیرخطی خمشی و یک المان تیری کوچک می‌باشد و از اثر نیمه صلبیت در درجات آزادی دیگر صرفنظر شده است. برای کنترل صحت عملکرد این مدل، نتایج بدست آمده از آن، با نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی مقایسه شده و توافق خوبی را نشان داده است.

با استفاده از برنامهٔ عمومی تحلیل اجزاء محدود ANSYS، سه نوع تحلیل برای هر مدل انجام شده است: تحلیل غیرخطی (هندسی و مصالح) برای تعیین بار نهایی الاستیک و پلاستیک، تحلیل کمانش مقدار ویژه برای محاسبهٔ بار کمانش خطی، و تحلیل خطی معمولی برای بررسی نحوهٔ توزیع نیروی محوری و لنگر خمشی در اعضای گنبد. با استفاده از نتایج این تحلیل‌ها، مقادیر سختی اولیه، بار نهایی الاستیک، بار نهایی پلاستیک، بار کمانش خطی، و حداکثر نیروی محوری و لنگر خمشی گنبد بین مدل‌های مختلف با هم مقایسه شده است.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند، حساسیت گنبدهای مشبک تک لایه به درجهٔ صلبیت اتصالات، بستگی به نسبت دهانه به ارتفاع آنها دارد، بطوریکه هر چه گنبد کوتاه‌تر باشد، حساسیت آن به درجه صلبیت اتصالات، بیشتر است.

فهرست مطالب

فصل اول - کلیـــات

۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ سازه‌های فضاکار و انواع آن ۳
۱-۳ سیستم‌های اتصال در سازه‌های فضاکار ٦
۱-٤ تعریف مسئله ۷
۱-۵ محدودیت‌ها ۸
۱-٦ کارهای دیگران ۹
۱-۷ ساختار پایان‌نامه ۱۲

فصل دوم - مقدمه‌ایی بر رفتار استاتیکی غیرخطی سازه‌ها

۲-۱ مقدمه ۱٤
۲-۲ لزوم تحلیل غیرخطی ۱۵
۲-۳ انواع رفتار غیرخطی ۱٦
۲-٤ اشاره‌ایی به رفتار پلاستیک ۱۹
۲-۵ کرنش بزرگ در مقابل جابجایی بزرگ ۲۱
۲-٦ سختی هندسی ۲۲
۲-۷ معادلات تعادل در سیستمهای غیرخطی ۲۳
۲-۸ حل دستگاه معادلات غیرخطی ۲٤
۲-۸-۱ روش نموی خطی ۲۵
۲-۸-۲ روش نیوتن - رافسون ۲٦
۲-۸-۳ روش نیوتن - رافسون اصلاح شده ۲۸
۲-۸-٤ روش تنش اولیه ۲۹
۲-۸-۵ معیار همگرایی ۳۰
۲-۹ تحلیل کمانش و خرابی ۳۱
۲-۹-۱ تحلیل غیرخطی کمانش و خرابی ۳۱
۲-۹-۲ تحلیل خطی کمانش (کمانش مقدار ویژه) ۳۲

فصل سوم - رفتار اتصالات گویسان و مدل‌سازی آنها با نرم‌افزار ANSYS

۳-۱ مقدمه ۳۵

۳-۲ جزئیات سیستم اتصال مرو ۳۶

۳-۳ نحوهٔ انتقال نیرو در سیستم مرو ۳۷

۳-٤ رفتار لنگر- دوران اتصالات گویسان ۳۹

۳-٤-۱ تعریف زاویه دوران اتصال ٤۰

۳-٤-۲ منحنی لنگر- دوران ٤۱

۳-٤-۳ نیروی محوری و رفتار لنگر- دوران ٤۳

۳-۵ مدل‌های مختلف اتصالات نیمه صلب ٤٤

۳-۵-۱ مدل فنری ٤۵

۳-۵-۲ مدل تیری ٤٦

۳-۵-۳ مدل مکانیکی ٤٦

۳-۵-٤ مدل کلی ٤۷

۳-٦ مدل تحلیلی اتصالات گویسان ٤۷

۳-۷ معرفی نرم‌افزار ANSYS ٤۹

۳-۸ مدل‌سازی اتصالات گویسان در برنامهٔ ANSYS ۵٤

۳-۸-۱ المان‌های بکار رفته در مدل‌سازی ۵٤

۳-۸-۲ دوران دستگاه مختصات گره‌ایی ۵۷

۳-۸-۳ بهم بستن گره‌ها ۵۸

۳-۹ ساخت مدل گنبدها ۵۹

فصل چهارم - رفتار گنبدها تحت تأثیر نیمه صلبیت اتصالات

٤-۱ مقدمه ٦۲

٤-۲ تأثیر اجزاء مدل تحلیلی بر رفتار سازه ٦۳

٤-۳ کنترل صحت عملکرد مدل تحلیلی ۷۲

٤-۳-۱ مدل‌سازی حالات حدی اتصال ۷۳

٤-۳-۲ مقایسه با نتایج آزمایشگاهی ۷٦

٤-٤ معرفی مدل‌ها و پارامترهای مورد مطالعه ۷۹

٤-٤-١ سختی اتصالات ٨٠
٤-٤-٢ نسبت دهانه به ارتفاع ٨٣
٤-٤-٣ شرایط تکیه‌گاهی ٨٤
٤-٥ تحلیل‌های انجام شده و نتایج حاصله ٨٥
٤-٥-١ تحلیل‌های غیرخطی و نتایج ٨٥
٤-٥-١-١ نمودارهای نیرو- تغییرمکان ٨٧
٤-٥-١-٢ مقایسهٔ نتایج ٩٣
٤-٥-١-٣ تغییرشکل مدل‌های مختلف ٩٧
٤-٥-٢ تحلیل‌های کمانش مقدار ویژه و نتایج ١٠٨
٤-٥-٢-١ مقایسهٔ نتایج ١٠٨
٤-٥-٢-٢ شکل مد کمانش مدل‌های مختلف ١٠٩
٤-٥-٣ تحلیل‌های خطی و نتایج ١١٥
٤-٥-٣-١ مقایسهٔ نتایج ١١٥
٤-٥-٣-٢ توزیع نیروها در مدل‌های مختلف ١١٩

فصل پنجم - نتیجه گیری

٥-١ مقدمه ١٢٨
٥-٢ نتایج ١٢٩
٥-٣ پیشنهاد برای تحقیقات آتی ١٣٢

فهرست مراجع ١٣٣

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ نمونه‌هایی از شبکه‌های دولایه ٤
شکل ۱-۲ نمونه‌هایی از چلیک‌های یک و دولایه ٥
شکل ۱-۳ نمونه‌هایی از گنبدهای تک لایه ٥

شکل ۲-۱ طبقه بندی انواع رفتارهای سازه‌ایی ۱۷
شکل ۲-۲ رفتار الاستو پلاستیک: (الف) پلاستیک ایده‌آل، (ب) پلاستیک با سخت شدگی کرنش. ۱۹
شکل ۲-۳ رابطهٔ تنش- کرنش استفاده شده برای فولاد ۲۱
شکل ۲-٤ ماتریس سختی هندسی برای دو المان خرپا و تیر صفحه‌ایی ۲۲
شکل ۲-٥ خطای روش نموپی خطی ۲٦
شکل ۲-٦ روش نیوتن-رافسون کامل در یک گام ۲۸
شکل ۲-۷ روش نیوتن-رافسون اصلاح شده در دو گام ۲۹
شکل ۲-۸ (الف) منحنی بار- تغییرمکان غیرخطی، (ب) منحنی بار- تغییرمکان خطی ۳۳

شکل ۳-۱ (الف) سیستم اتصال مرو، (ب) مقطع آن ۳٦
شکل ۳-۲ نحوهٔ انتقال نیرو در سیستم مرو ۳۸
شکل ۳-۳ تغییر شکل اتصال در مرکز تیر ٤۰
شکل ۳-٤ ویژگی‌های عمومی منحنی M - θ ٤۲
شکل ۳-٥ اثر نیروی محوری فشاری بر منحنی M - θ ٤۳
شکل ۳-٦ (الف) مدل فنری، (ب) مدل مکانیکی ٤٥
شکل ۳-۷ (الف) مدل فیزیکی یک جزء از سیستم‌های گویسان، (ب) مدل تحلیلی ٤۷
شکل ۳-۸ رابط کاربر گرافیکی نرم‌افزار ANSYS ٤۹
شکل ۳-۹ تعدادی از المان‌های سازه‌ایی نرم‌افزار ANSYS ٥۱
شکل ۳-۱۰ پنجرهٔ انتخاب نوع تحلیل در برنامهٔ ANSYS ٥۲
شکل ۳-۱۱ المان‌های بکار رفته در مدلسازی ٥٥
شکل ۳-۱۲ المان PIPE20 ..... ٥٥
شکل ۳-۱۳ المان COMBIN39 ..... ٥٦
شکل ۳-۱٤ دستگاه مختصات گره‌ایی فنر، (الف) موازی دستگاه سراسری، (ب) دوران یافته ٥۸

شکل ٤-١ یک واحد تشکیل دهندهٔ گنبد، بهمراه شماره گره‌ها و المان‌ها ٦٤
شکل ٤-٢ اثر طول المان تیری کوچک (L_1)، بر رفتار گنبد ٦٥
شکل ٤-٣ اثر سختی المان تیری کوچک $(EA/L)_{small}$; $EI/L)_{small}$)، بر رفتار گنبد ٦٦
شکل ٤-٤ اثر سختی فنر محوری (K_{axi})، بر رفتار گنبد ٦٧
شکل ٤-٥ اثر سختی فنر برشی (K_{she})، بر رفتار گنبد..... ٦٨
شکل ٤-٦ اثر سختی فنر پیچشی (K_{tor})، بر رفتار گنبد ٦٩
شکل ٤-٧ اثر سختی فنر خمشی (K_{ben})، بر رفتار گنبد..... ٧٠
شکل ٤-٨ سازهٔ گنبدی برای کنترل مدلسازی حالات حدی اتصال توسط مدل تحلیلی ٧٤
شکل ٤-٩ نمودارهای تحلیلی نیرو-تغییرمکان گنبد شکل ٤-٨ اتصالات مفصل ٧٥
شکل ٤-١٠ نمودارهای تحلیلی نیرو-تغییرمکان گنبد شکل ٤-٨ اتصالات صلب ٧٥
شکل ٤-١١ نمودارهای آزمایشگاهی لنگر- دوران اتصالات S14 و D14..... ٧٦
شکل ٤-١٢ نمودارهای نیرو-تغییر مکان گنبد شکل ٤-١، اتصالات از نوع S14..... ٧٧
شکل ٤-١٣ نمودارهای نیرو-تغییر مکان گنبد شکل ٤-١، اتصالات از نوع D14 ..... ٧٧
شکل ٤-١٤ شکل شماتیک گنبدهای مدل شده ٧٩
شکل ٤-١٥ مقطع اعضاء گنبد ٨١
شکل ٤-١٦ نمودارهای لنگر- دوران اتصالات..... ٨٢
شکل ٤-١٧ پلان و نمای جانبی گنبدهای مدل شده ٨٣
شکل ٤-١٨ شرایط تکیه‌گاهی B1 و B2 ..... ٨٤
شکل ٤-١٩ موقعیت گره a در مدل‌ها ٨٧
شکل ٤-٢٠ نمودار نیرو- تغییرمکان مدل‌های GDS1RjB1..... ٨٩
شکل ٤-٢١ نمودار نیرو- تغییرمکان مدل‌های GDS1RjB2..... ٨٩
شکل ٤-٢٢ نمودار نیرو- تغییرمکان مدل‌های GDS2RjB1..... ٩٠
شکل ٤-٢٣ نمودار نیرو- تغییرمکان مدل‌های GDS2RjB2 ..... ٩٠
شکل ٤-٢٤ نمودار نیرو- تغییرمکان مدل‌های GDS3RjB1 (مسیرهای الاستیک) ٩١
شکل ٤-٢٥ نمودار نیرو- تغییرمکان مدل‌های GDS3RjB2 (مسیرهای الاستیک) ٩١
شکل ٤-٢٦ نمودار نیرو- تغییرمکان مدل‌های GDS3RjB1 (مسیرهای الاستیک و پلاستیک) ٩٢
شکل ٤-٢٧ نمودار نیرو- تغییرمکان مدل‌های GDS3RjB2 (مسیرهای الاستیک و پلاستیک) ٩٢
شکل ٤-٢٨ تغییرشکل مدل GDS2R1B1 در بار نهایی الاستیک ٩٨
شکل ٤-٢٩ تغییرشکل مدل GDS2R2B1 در بار نهایی الاستیک ٩٩

شکل ٤-٣٠ تغییرشکل مدل GDS2R2B1 در بار نهایی پلاستیک ١٠٠
شکل ٤-٣١ تغییرشکل مدل GDS2R3B1 در بار نهایی الاستیک ١٠١
شکل ٤-٣٢ تغییرشکل مدل GDS2R3B1 در بار نهایی پلاستیک..... ١٠٢
شکل ٤-٣٣ تغییرشکل مدل GDS2R1B2 در بار نهایی الاستیک ١٠٣
شکل ٤-٣٤ تغییرشکل مدل GDS2R2B2 در بار نهایی الاستیک ١٠٤
شکل ٤-٣٥ تغییرشکل مدل GDS2R2B2 در بار نهایی پلاستیک..... ١٠٥
شکل ٤-٣٦ تغییرشکل مدل GDS2R3B2 در بار نهایی الاستیک ١٠٦
شکل ٤-٣٧ تغییرشکل مدل GDS2R3B2 در بار نهایی پلاستیک..... ١٠٧
شکل ٤-٣٨ مد اول کمانش، مدل GDS1R2B1 ..... ١١٠
شکل ٤-٣٩ مد اول کمانش، مدل GDS1R3B1 ..... ١١٠
شکل ٤-٤٠ مد اول کمانش، مدل GDS1R2B2 ..... ١١١
شکل ٤-٤١ مد اول کمانش، مدل GDS1R3B2 ..... ١١١
شکل ٤-٤٢ مد اول کمانش، مدل GDS3R2B1 ..... ١١٢
شکل ٤-٤٣ مد اول کمانش، مدل GDS3R1B1 ..... ١١٢
شکل ٤-٤٤ مد اول کمانش، مدل GDS2R1B1 ..... ١١٣
شکل ٤-٤٥ مد اول کمانش، مدل GDS2R2B1 ..... ١١٣
شکل ٤-٤٦ مد اول کمانش، مدل GDS2R3B1 ..... ١١٤
شکل ٤-٤٧ نحوهٔ توزیع نیروی محوری، مدل GDS2R1B1..... ١٢١
شکل ٤-٤٨ نحوهٔ توزیع لنگر خمشی، مدل GDS2R1B1 ..... ١٢١
شکل ٤-٤٩ نحوهٔ توزیع نیروی محوری، مدل GDS2R2B1..... ١٢٢
شکل ٤-٥٠ نحوهٔ توزیع لنگر خمشی، مدل GDS2R2B1 ..... ١٢٢
شکل ٤-٥١ نحوهٔ توزیع نیروی محوری، مدل GDS2R3B1..... ١٢٣
شکل ٤-٥٢ نحوهٔ توزیع لنگر خمشی، مدل GDS2R3B1 ..... ١٢٣
شکل ٤-٥٣ نحوهٔ توزیع نیروی محوری، مدل GDS2R1B2..... ١٢٤
شکل ٤-٥٤ نحوهٔ توزیع لنگر خمشی، مدل GDS2R1B2 ..... ١٢٤
شکل ٤-٥٥ نحوهٔ توزیع نیروی محوری، مدل GDS2R2B2..... ١٢٥
شکل ٤-٥٦ نحوهٔ توزیع لنگر خمشی، مدل GDS2R2B2 ..... ١٢٥
شکل ٤-٥٧ نحوهٔ توزیع نیروی محوری، مدل GDS2R3B2..... ١٢٦
شکل ٤-٥٨ نحوهٔ توزیع لنگر خمشی، مدل GDS2R3B2 ..... ١٢٦

فهرست گرافها

گراف ٤-١ تغییرات سختی اولیهٔ نرمال شده گنبد، نسبت به سختی اولیه اتصالات ٩٤

گراف ٤-٢ تغییرات بار نهایی الاستیک نرمال شده، نسبت به سختی اولیه اتصالات ٩٤

گراف ٤-٣ تغییرات بار نهایی پلاستیک نرمال شده، نسبت به سختی اولیه اتصالات ٩٤

گراف ٤-٤ تغییرات سختی اولیهٔ نرمال شده گنبد، با نسبت دهانه به ارتفاع ٩٥

گراف ٤-٥ تغییرات بار نهایی الاستیک نرمال شده، با نسبت دهانه به ارتفاع ٩٥

گراف ٤-٦ تغییرات بار نهایی پلاستیک نرمال شده، با نسبت دهانه به ارتفاع..... ٩٥

گراف ٤-٧ تغییرات حداکثر نیروی محوری نرمال شده، با سختی اولیهٔ اتصالات ١١٧

گراف ٤-٨ تغییرات حداکثر لنگرخمشی نرمال شده، با سختی اولیهٔ اتصالات ١١٧

گراف ٤-٩ تغییرات حداکثر نیروی محوری نرمال شده، با نسبت دهانه به ارتفاع ١١٨

گراف ٤-١٠ تغییرات حداکثر لنگرخمشی نرمال شده، با نسبت دهانه به ارتفاع ١١٨

فهرست جداول

جدول ٤-١ مشخصات المان تیری کوچک برای حصول بهترین نتایج‌منطبق‌برنتایج‌آزمایشگاهی ... ٧٨

جدول ٤-٢ مشخصات هندسی گنبدهای مدل شده..... ٨٣

جدول ٤-٣ سختی اولیه و بارهای نهایی برای مدل‌های مختلف ٩٣

جدول ٤-٤ مقایسه بار نهایی پلاستیک و بار نهایی الاستیک ٩٦

جدول ٤-٥ بارهای کمانش مقدار ویژه و مقایسه با بار نهایی الاستیک ١٠٩

جدول ٤-٦ حداکثر نیروی محوری و حداکثر لنگرخمشی در مدل‌های مختلف ١١٦

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

با وجود اینکه مفهوم نیمه صلبیت اتصال، از سالیان گذشته مطرح و معرفی شده است، سازه‌های فلزی معمولاً با فرض اتصالات صلب یا مفصلی طراحی می‌شوند. این فرضیات سادگی زیادی را در محاسبات بوجود می‌آورد، اما مدل سازه قادر به انعکاس رفتار حقیقی آن نخواهد بود. فرض اتصال صلب، دلالت بر این دارد که هیچ چرخش نسبی بین انتهای اعضای متصل شده، وجود ندارد، بطوریکه در هر اتصالی، توزیع لنگر بر حسب سختی خمشی اعضای متصل به آن، انجام می‌شود. از طرف دیگر، فرض اتصال مفصلی، بدان معناست که اعضا در انتهایشان می‌توانند دوران آزادانه‌ایی داشته باشند، بطوریکه لنگر در محل اتصالات برابر صفر خواهد بود. اما مشخص شده است که همهٔ اتصالات، علی‌رغم صلبیت ظاهریشان، اجازهٔ مقداری تغییرشکل خمشی نسبی را خواهند داد، یا بر خلاف دوران آزادانهٔ ظاهریشان، قدری گیرداری خمشی ایجاد خواهند نمود. به عبارت دیگر، همهٔ اتصالات واقعی، یک رفتار "نیمه صلب" از خود نشان می‌دهند که در حالت کلی، به لحاظ تغییرشکل نسبی انتهای اعضاء، فقط قسمتی از تلاش‌های یک عضو، به اعضای دیگر انتقال خواهد یافت. این نیمه صلبیت اتصالات، در صورت وجود روش‌های کارا و مطمئن، هم برای پیشگویی رفتار اتصال و هم برای تحلیل، می‌تواند در محاسبات لحاظ شود و با وضع قوانین مناسب برای طراحی، از مزایای سازه‌ایی و اقتصادی آنها، به نحو احسن استفاده کرد.