

بررسی اتصالات خورجینی صلب با نبشی پیرامونی در مقایسه با اتصالات خورجینی صلب پیشنهادی آیین نامه

محمد فروغیⁱ؛ محمد علی برخوردارⁱⁱ

چکیده

اتصالات خورجینی به عنوان اتصالات رایج در ایران، از عملکرد مناسبی در مقابل بارهای ناشی از زلزله برخوردار نیستند. به همین دلیل در دو دهه اخیر کارهای تحقیقاتی زیادی برای شناخت و بهبود عملکرد آن ها صورت گرفته است. این مقاله، جزئیات پیشنهادی جدیدی با عنوان "اتصالات خورجینی صلب با نبشی پیرامونی" را ارائه می‌کند. در تحقیق حاضر؛ که اساساً به صورت تحلیلی و به روش اجزای محدود و با استفاده از نرم افزار "ANSYS 8.0" صورت پذیرفته است، سه نمونه از این نوع اتصال، با ملحوظ کردن رفتار غیر خطی مصالح و نیز هندسی، تحت بار چرخه ای، مطالعه شده است. نتایج، حاکی از عملکرد مطلوب و شکل پذیر اتصال است.

کلمات کلیدی

اتصالات خورجینی، نبشی پیرامونی، اتصالات صلب، قیچی سان، قیچی، رکابی، خورجینی، خورجینی

Rigid Khorjini Connections With Peripheral Angle and Comparison With the Proposed Rigid Khorjini Connections Code

M. Foroughi, M.A. Barkhordari

ABSTRACT

Khorjini connections as the common connections in Iran have not a desirable behavior against earthquake loads. Consequently, several researches have been conducted during two recent decades in Iran, to evaluate the behavior of these connections and expand their performance. This paper, introduces a new proposed detail as "Khorjini Connections with Peripheral Angles". In the current research, numerical analysis has been conducted using Ansys 8.0 Finite Element Code. Three kinds of these connections have been studied with non-linear behavior material as well as non-linear geometry, under cyclic loads. According to the results, these connections have a desirable behavior and adequate ductility.

KEY WORDS

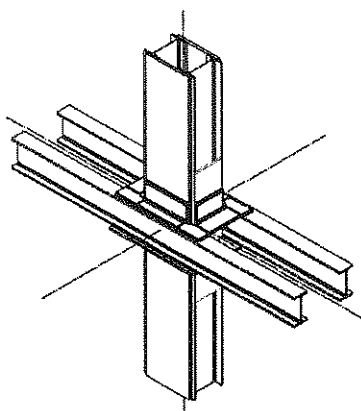
khorjini connections, peripheral angle, rigid connections, scissors, saddle like connection, khorjini

ⁱ عضو هیأت علمی دانشگاه یزد، تلفن: ۰۳۵۱-۸۲۱۲۲۳۱، نمابر: ۰۳۵۱-۸۲۱۲۲۳۰، پست الکترونیکی: foroughi_mohammad@yahoo.com

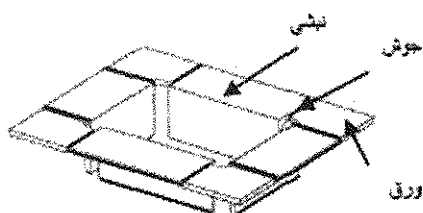
ⁱⁱ دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران، تلفن: ۰۲۱-۲۲۹۳۴۰۱۱، نمابر: ۰۲۱-۷۷۷۴۰۳۹۸، پست الکترونیکی: barkhordar@iust.ac.ir

شده است.

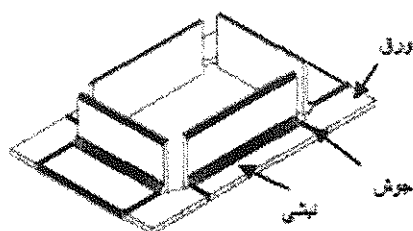
در این اتصال، قطعات نبشی عمود بر تیر نقش تسمه‌های رابط را در اتصال ایفا کرده، صلبیت اتصال را در جهت چرخش تیر تأمین می‌کند.



شکل (۱): شمای کلی اتصال خورجینی صلب با نبشی پیرامونی



(الف) نبشی پیرامونی نشیمن



(ب) نبشی پیرامونی فوقانی

شکل (۲): نبشی‌های پیرامونی نشیمن و فوقانی

لزوم وجودی این تسمه‌ها برای پایداری اتصال، حتی در مقابله با بارهای ثقلی، به اثبات رسیده است [۱]، [۲]، [۶]. شکل (۳) وضعیت نبشی‌های نشیمن و جوش آن‌ها به ستون را در اتصالات خورجینی بدون تسمه‌های رابط نشان می‌دهد. همچنان که در این شکل می‌بینیم در صورت عدم وجود این تسمه‌ها و ایجاد تعادل نسبی بین تیرهای طرفین، اتصال در مقابل لنگر پیچشی ناشی از خروج از مرکزیت تیرها نسبت به بر اتصال دچار مشکل جدی خواهد شد.

جوش‌های افقی نبشی‌ها به تیر، تأمین کننده اصلی مقاومت اتصال در برابر کوپل نیروی ناشی از لنگر تیر در اتصال و نیز مقابله با لنگر ناشی از خروج از مرکزیت تیر نسبت به بر اتصال بوده و جوش‌های افقی این نبشی‌ها به ستون، انتقال این نیروها به ستون را به عهده دارند.

حسن اصلی اتصالات خورجینی، سهولت اجرایی آن برای اسکلت کاران داخلی است و می‌توان آن را به عنوان یک اصل در تحقیق بر روی این اتصالات دانست؛ بنابراین به اعتقاد نگارندگان ارائه هرگونه جزئیات اجرایی با هدف بهبود رفتار این اتصالات، به شرطی مقبول است که به این اصل اساسی؛ یعنی سهولت اجرایی اتصال، خدشه‌ای وارد نیاید. ایده اتصالات خورجینی صلب؛ که در ابتدا فروغی مطرح کرد [۱] و جزئیات اجرایی که بعداً ارائه و تحقیق کرده است [۲]، با در نظر داشتن این اصل بوده است. خوشبختانه اخیراً؛ که پیش نویس ضوابط طراحی و اجرای ساختمان‌های با اتصال خورجینی [۳] در سطح محدود منتشر شده است، اتصالات خورجینی، دسته بندی شده و جزئیاتی برای اتصالات خورجینی با عملکرد مفصل قیچی و سان و جزئیات دیگری برای عملکرد صلب ارائه شده است که بحث ما در این مقاله، فقط جزئیات داده شده با رفتار صلب را پوشش می‌دهد.

بررسی‌های اخیر [۴] نشان می‌دهد اتصالات خورجینی صلب نوع اول و دوم پیش نویس [۳] از نظر اجرایی، مشکلاتی را در بر دارد و خصوصاً اجرای نوع دوم بسیار مشکل‌تر از اتصال صلب استاندارد و تقریباً غیر قابل اجراست. این موضوع، مشروحاً به جامعه علمی ارائه شده است [۵]؛ بنابراین نگارندگان جزئیات جدیدی را تحت عنوان «اتصال خورجینی صلب با نبشی پیرامونی» ارائه داده‌اند [۴] که از سهولت نسبی اجرایی خوبی برخوردار است و اجرای آن، نه تنها از اجرای جزئیات ارائه شده در پیش نویس [۳]، بلکه از اجرای اتصالات صلب استاندارد، سهل‌تر و با برخورداری از طول برش و جوش کمتر، مجموعاً هزینه‌های کمتری را در بر خواهد داشت.

۲- معرفی «اتصال خورجینی صلب با نبشی پیرامونی»

شکل (۱) شکل کلی اتصال خورجینی صلب با نبشی پیرامونی را نشان می‌دهد. همان گونه که می‌بینیم این اتصال از دو مجموعه، یکی نبشی نشیمن پیرامونی و دیگری نبشی فوقانی پیرامونی تشکیل شده است. همچنان که در شکل (۲) مشخص است هر یک از این دو مجموعه، از ۴ نبشی تشکیل شده است که ساق‌های قائم آن‌ها، به نحو مطلوبی برش داده شده و به ستون جوش شده است و در ۴ گوشه ساق افقی آن‌ها، ۴ ورق قرار گرفته و به یکدیگر جوش شده، یک صفحه تخت پیرامونی را برای نشیمن تیر و یا قرار گرفتن بر روی تیر تعبیه کرده‌اند. مواضع جوش در شکل (۱) به خوبی نشان داده

عناصر در ضخامت و هر یک از ابعاد جوش، حداقل به ۲ قسمت تقسیم شده و به تناسب ابعادی در مدل توجه کافی مبذول گشته است.

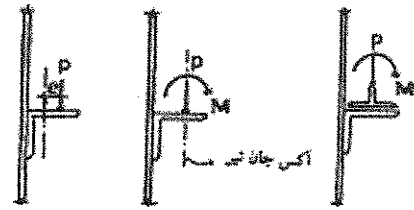
در مدل سازی نمونه‌ها، در حد امکان، شرایط آزمایشگاهی، به دقت مدل شدند و با توجه به تقارن مستقیم نمونه‌ها، فقط نصف آن‌ها با اعمال شرایط تقارن (Symmetry) مدل شد. نتیجه مقایسه منحنی پوش لنگر-دوران یکی از نمونه‌های مورد بررسی "F7" تحت شرایط آزمایشگاهی [۷] و تحلیل اجزای محدود "F7-m9(NEW3)" [۴] در شکل (۴) نشان داده شده است. همچنان که می‌بینیم منحنی‌ها، مطابقت مطلوبی را بین نتایج نشان می‌دهد؛ بنابراین با قبول نحوه مدل سازی پیشنهادی، اتصالات پیشنهادی مورد نظر را بررسی کرده‌ایم.

۳-۲- مدل سازی اتصال مورد نظر؛ یعنی نبشی پیرامونی

برای امکان مقایسه بین عملکرد انواع اتصال، کلیه شرایط اعم از مقاطع تیر، ستون و طول آن‌ها و نیز شرایط تکیه گاهی، همچنین روند بارگذاری، اعم از محوری و سیکی را به صورت یکسان با شرایط مدل‌های آزمایشگاهی مورد مقایسه؛ یعنی (F7 و F10) [۷] که به ترتیب همان اتصالات صلب نوع اول و دوم پیش نویس [۲] می‌باشند، منظور کردیم و چون توان تحمل بار در اتصال، بیش از اتصالات مورد مقایسه بود، بار گذاری سیکی را با روند قبلی، ادامه دادیم. بار کل محوری اعمالی به ستون ۱۰ تن و بار سیکی اعمالی مطابق شکل (۵) است.

شکل (۶)، شبکه بندی اجزای محدود نمونه «M1» را در محدوده اتصال نشان می‌دهد. در این نمونه تعداد عناصر محدود SOLID45، ۴۱۳۴۰، و تعداد درجات آزادی، ۱۸۸۸۹۱ و مدت زمان مدل سازی و تحلیل کامل اتصال، حدود ۳ ماه تمام وقت بوده است. شکل (۷) منحنی‌های هم شدت تنش وان میسر را در محدوده اتصال در نمونه نشان می‌دهد. شکل (۸) منحنی های چرخه ای لنگر - دوران اتصال و شکل (۹) منحنی های پوش لنگر - دوران اتصال نمونه پیشنهادی «M1» را در مقایسه با نمونه‌های F7 و F10 به عنوان اتصالات صلب نوع اول و دوم پیش نویس [۲] نشان می‌دهد. با بررسی این منحنی‌ها، نتایج زیر قابل استخراج است:

- وضعیت توزیع تنش در اتصال از نوع نبشی پیرامونی (نمونه M1)، روی هم رفته مناسب است و قبل از انهدام اتصال، بال تیر در مجاورت اتصال به حالت جاری شدن می‌رسد. چرخه‌های لنگر - دوران اتصال پایدار است و بدون کاهش سختی تا زمان انهدام ادامه یافته است و اتصال از خاصیت جذب انرژی و شکل پذیری مطلوبی برخوردار است.



شکل (۳): ایجاد لنگر ناشی از خروج از مرکزیت تیر نسبت به بر ستون در اتصالات خورجینی مرسوم

در گزینه‌ای جایگزین، به جای استفاده از ورق در ۴ گوشه نبشی‌های پیرامونی ساق‌های افقی نبشی‌ها فارسی بر شده، به یکدیگر جوش می‌شوند و نبشی پیرامونی را تشکیل می‌دهند. جوش‌های قائم نبشی‌ها به ستون، عمدتاً عهده دار انتقال نیروی عکس العمل تکیه گاهی تیر به ستون می‌باشند. بدیهی است در عمل، هر یک از این جوش‌ها، نقشی ترکیبی خواهند داشت که این واقعیت در تمامی اتصالات استاندارد، کمابیش صدق می‌کند.

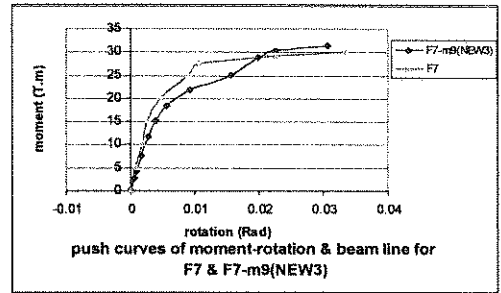
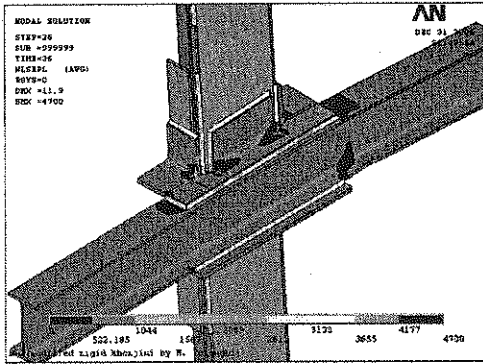
۳-۳- بررسی رفتار اتصال

با توجه به مشکلات جدی مطالعات آزمایشگاهی در کشور و کمبود شدید امکانات، روش تحقیق در این پژوهش [۴]، مدل سازی نمونه با استفاده از روش اجزای محدود و با منظور کردن رفتار غیرخطی مادی و هندسی بوده و از نرم افزار Ansys، عمدتاً ویرایش‌های 8.0 و 10.0 استفاده شده است.

۳-۱- انتخاب مدل اجزای محدود

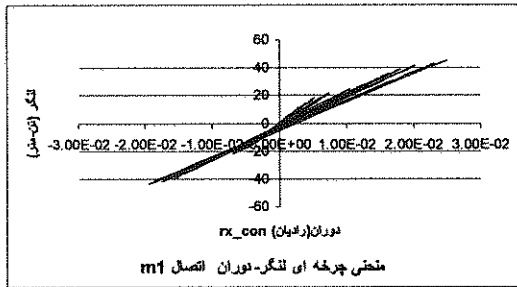
برای انتخاب مدل سازی مناسب، اولاً از مدل سازی مسائل ساده؛ که حل آن‌ها به راحتی امکان پذیر است، و مقایسه نتایج استفاده شد و در درجه بعدی کار آزمایشگاهی مزروعی و همکاران [۷] مدل سازی سپس نتایج مقایسه شد. درگزینه انتخابی، برای مدل سازی کلیه قطعات اتصال اعم از اعضای اتصال، تیر و ستون و نیز جوش‌ها از عناصر محدود SOLID45 استفاده شده است. برای مدل سازی تماس، از عناصر محدود تماسی CONTACT52 و برای اتصال کامل عناصر جوش به عناصر مجاور، در موارد لزوم، از دستورهای merge و یا coupled به نحو مناسب استفاده شده است. ذکر این نکته لازم است که در مدل‌های دیگر، از عناصر SHELL63، SHELL181، SOLID95، SOLID73، عناصر تماسی صفحه به صفحه CONTACT173 و TARGE170 نیز استفاده شده است. در نهایت می‌توان گفت مدل فوق الذکر مطلوب‌ترین رفتار را نشان داده است.

برای امکان مدل سازی چرخش‌ها در ضخامت عناصر ورقي، شامل ساق نبشی‌ها و بال و جان تیر و ستون، این

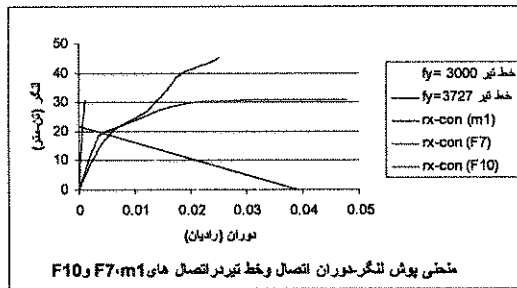


شکل (۴): نمودار مقایسه ای لنگر-دوران نمونه (آزمایشگاهی و تحلیلی)

شکل (۷): منحنی‌های هم شدت تنش وان میسنز در محدوده اتصال نمونه MI



شکل (۸): منحنی‌های چرخه ای لنگر-دوران اتصال نمونه MI

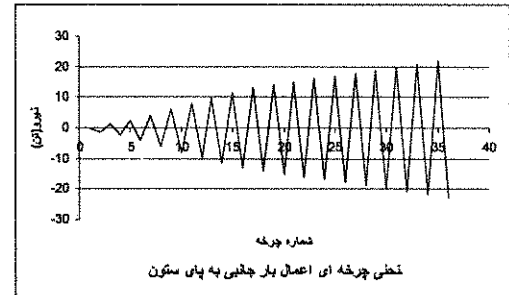


شکل (۹): منحنی پوش لنگر-دوران نمونه MI در مقایسه با نمونه‌های F7 و F10

در بررسی دقیق تر بر روی رفتار اتصال، به این نتیجه می‌رسیم که به دلیل خیلی کوتاه و غیرواقعی بودن طول تیر و ستون، در این نمونه و نیز نمونه‌های F7 و F10 [۷]، اتصالات این نمونه‌ها در معرض برش بیش از حد و غیر واقعی است که به نظر می‌رسد در شرایط واقعی، رفتار مطلوب‌تری داشته باشند. این نتیجه گیری، قبلاً نیز برای نمونه‌های F7 و F10 شده بود [۷]. بنابراین، نمونه‌های M3 و سپس M4 را برای اتصال از نوع نبشی پیرامونی، طراحی و با روند تأیید شده فوق، به مدل سازی و تحلیل اجزای محدود آن پرداخته، بار دیگر رفتار اتصال را بررسی می‌کنیم.

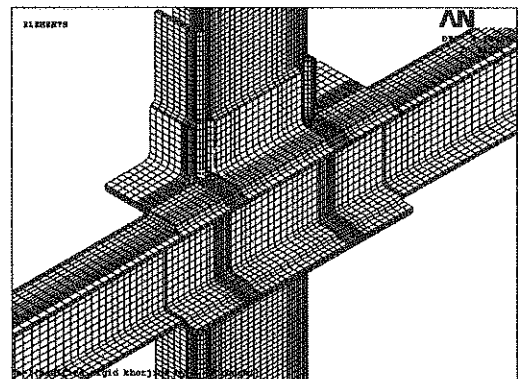
۳-۳- معرفی اتصال پیرامونی نمونه M3 و M4 و مدل سازی نمونه‌ها

سیستم کلی اتصال، همان است که در مدل M1 معرفی و



شکل (۵): منحنی چرخه ای اعمال بار جانبی به پای ستون

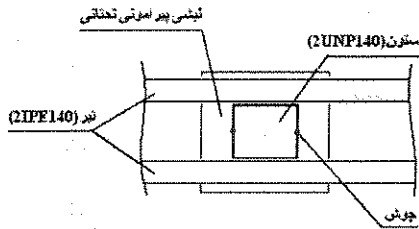
اتصال از نوع نبشی پیرامونی «MI» با صلبیت حدود ۹۰٪ در رده اتصالات صلب قرار دارد و از نظر صلبیت با اتصال نوع یک پیش نویس [۲] تقریباً برابری می‌کند؛ ولی اتصال نوع دوم پیش نویس [۲] با حدود ۹۹٪ صلبیت، از صلبیت به مراتب بالاتری برخوردار است.



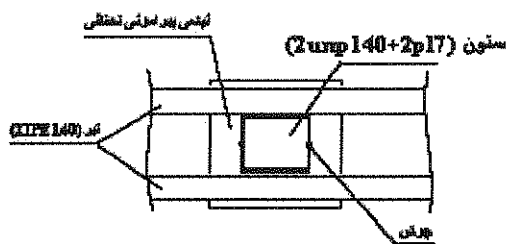
شکل (۶): شبکه بندی اجزای محدود نمونه MI در محدوده اتصال

این اتصال (نمونه MI) با سختی اولیه ۲۷۶۶ تن-متر بر رادیان، از اتصال نوع اول با سختی اولیه ۵۶۳۲ تن-متر بر رادیان، تا حدودی نرم تر و از اتصال نوع دوم با سختی اولیه ۳۰۶۲۵ تن-متر بر رادیان، خیلی نرم تر است. این اتصال (نمونه MI)، چرخه های بارگذاری و باربرداری بیشتری را نسبت به اتصالات نوع اول و دوم، تقبل کرده و در نهایت از توانایی تحمل لنگر بالاتری برخوردار بوده است.

بارگذاری باید تا جایی که نمونه مقاومت می‌کند، ادامه یابد تا تغییر مکان‌های $\Delta = 5 \Delta y$ ، $\Delta = 6 \Delta y$ ، $\Delta = 7 \Delta y$ و ... ایجاد شود که هر یک از تغییر مکان‌ها بایستی در دو چرخه تکرار شود.

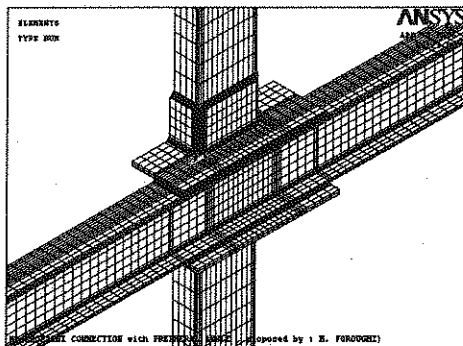


الف) شکل شماتیک نمونه M3



ب) شکل شماتیک نمونه M4

شکل (۱۱): شکل شماتیک نمونه های M3 و M4



شکل (۱۲): نمای شبکه بندی اجزای محدود نمونه های M3 و M4 در محدوده اتصال

برای دستیابی به تخمینی مطلوب از Δy ، ابتدا مقدار دلخواهی بار در محدوده رفتار خطی اتصال به آن وارد می‌شود (بارگذاری در انتهای پایینی ستون و در راستای موازی محور تیر انجام می‌گیرد)، میزان جابجایی این موضع، یعنی لبه انتهایی پایینی ستون و نیز تنش بیشینه ایجاد شده در عناصر تیر را از نتایج تحلیل استخراج می‌کنیم. سپس با یک تناسب ساده به شرح زیر، Δy را استخراج می‌کنیم:

$$\frac{\Delta y}{\Delta} = \frac{f_y}{\sigma} \rightarrow \Delta y = \Delta * \frac{f_y}{\sigma} \quad (1)$$

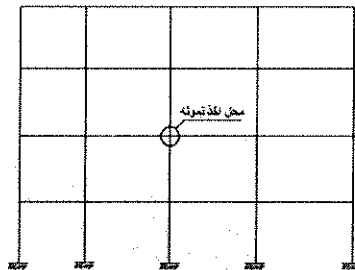
با به دست آمدن Δy ، انجام مراحل شش‌گانه بارگذاری جانبی به شرح فوق، به سادگی میسر خواهد بود. شکل (۱۴) نمودار

بحث شد؛ اما این بار، اولاً برای واقعی تر شدن شرایط اتصال و ثانیاً پرهیز از کاربرد ورق تقویت در مقطع ستون، برای انتخاب نمونه، به شرح زیر عمل شد:

الف - مدل سازه‌ای ۲ طبقه و ۴ دهنه با ارتفاع طبقات ۱/۶۰ متر و طول دهانه‌های ۲/۴۰ متر، انتخاب و با شرایط معمولی بارگذاری و تحت بار ثقلی و زلزله، با روش استاتیکی معادل، تحلیل و با اعمال ترکیبات بار مورد نظر آیین نامه [۹]، طراحی شد. یک اتصال میانی مطابق شکل (۱۰)، انتخاب و مدل سازی و بررسی شد. قاب مورد نظر مذکور، با قاب های خورجینی مورد تحقیق آفاکوچک و همکاران [۱۰]، از نظر کلی؛ یعنی طول دهانه‌ها، ارتفاع طبقات و شرایط تکیه گاهی و در نتیجه مشخصات تیر و ستون در اتصال نمونه مورد نظر، نیز تقریباً با شرایط مرجع مذکور [۱۰] همخوانی داشت.

در نمونه M3، تیر 2IPE140 و ستون 2UNP140 به هم چسبیده بود که بعداً با تأکید بر فلسفه تیر ضعیف- ستون قوی، مشخصات مقطع ستون، به صورت 2UNP140+2PL7 به شکل (۱۱) اصلاح شد و نام آن را نمونه M4 نهادیم. حسن اصلی این نمونه‌ها، پرهیز از ورق تقویت بر روی ستون است و در نتیجه اتصالات بدون واسطه و مستقیماً به ستون متصل می‌شوند.

ب- شکل‌های (۱۲) و (۱۳)، شبکه اجزای محدود نمونه های M3 و M4 را نشان می‌دهند. همان گونه که مشهود است اصول مدل سازی اجزای محدود، انواع عناصر محدود استفاده شده و نیز نرم افزار تحلیلگر، همان است که در مدل M1 بوده است.

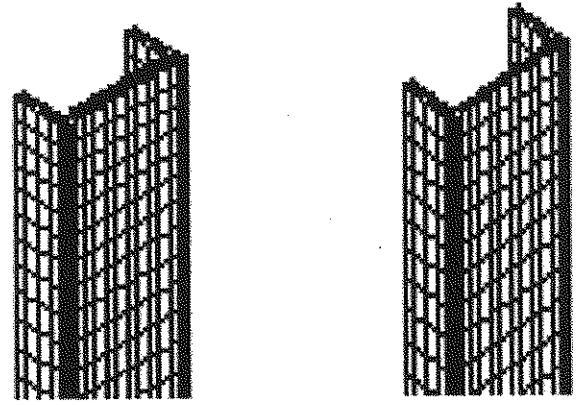


شکل (۱۰): شکل شماتیک قاب خورجینی مورد نظر و محل قرارگیری اتصال انتخاب شده (نمونه های M1 و M2)

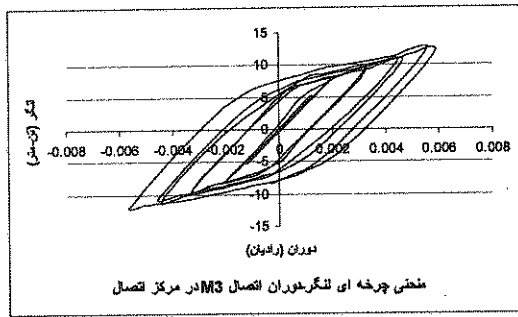
ج - اعمال بار جانبی بر روی این نمونه، به صورت اعمال تغییر مکان‌های چرخه‌ای در پای ستون و با توصیه‌های مرجع [۱۱] به شرح زیر صورت گرفت:

- سه چرخه تا تغییر مکان $0.25 \Delta y < \Delta \leq 0.5 \Delta y$
 - سه چرخه تا تغییر مکان $0.6 \Delta y < \Delta \leq 0.8 \Delta y$
 - سه چرخه تا تغییر مکان $\Delta = 1 \Delta y$
 - سه چرخه تا تغییر مکان $\Delta = 2 \Delta y$
 - سه چرخه تا تغییر مکان $\Delta = 3 \Delta y$
 - سه چرخه تا تغییر مکان $\Delta = 4 \Delta y$
- پس از تکمیل چرخه بارگذاری $\Delta = 4 \Delta y$ ، چرخه‌های

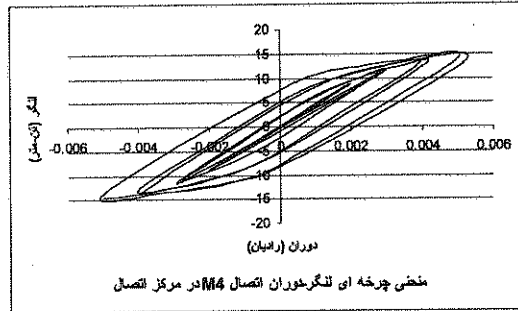
تغییر مکان‌های چرخه ای اعمالی به پای ستون را در این نمونه‌ها نشان می‌دهد.



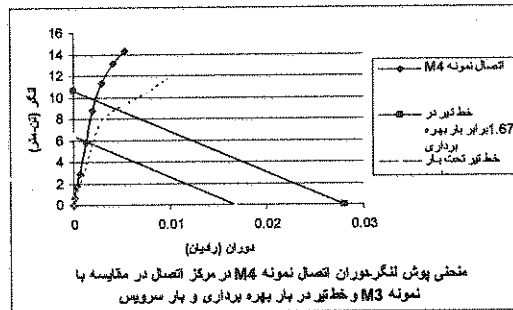
شکل (۱۳): نمای شبکه بندی اجزای محدود نمونه های M3 و M4 در انتهای ستون



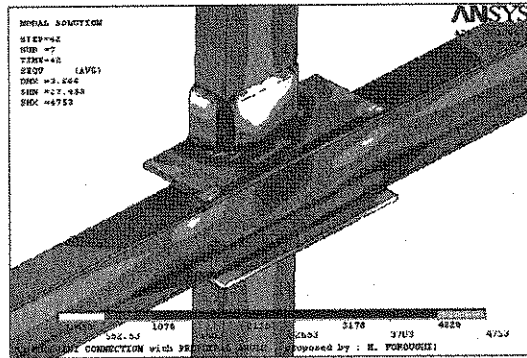
شکل (۱۵): منحنی چرخه ای لنگر-دوران اتصال نمونه M3



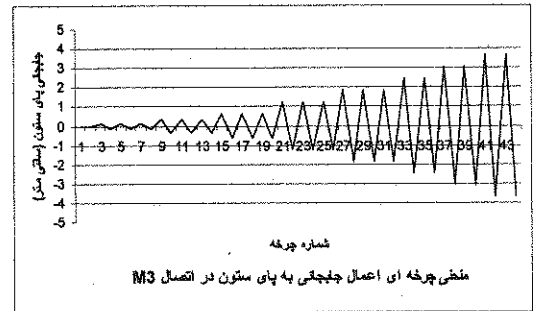
شکل (۱۶): منحنی چرخه ای لنگر-دوران اتصال نمونه M4



شکل (۱۷): منحنی پوش لنگر-دوران اتصال نمونه M4 در مقایسه با نمونه M3



شکل (۱۸): منحنی های هم شدت تنش وان میسز در محدوده اتصال در نمونه M4



شکل (۱۹): نمودار اعمال جابجایی چرخه ای به پای ستون در نمونه های M3 و M4

۳-۴- نتایج حاصله از تحلیل مدل های M3 و M4

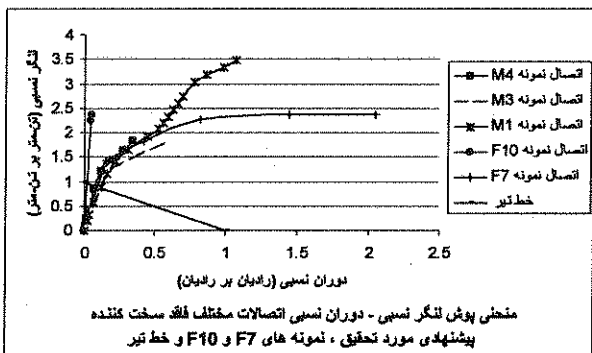
شکل‌های (۱۵) و (۱۶) به ترتیب منحنی‌های چرخه ای لنگر-دوران نمونه‌های M3 و M4 را نشان می‌دهد. همچنان که مشهود است، این منحنی‌ها، دوکی شکل و کاملاً پایدار هستند و تا زمان انهدام اتصال، بدون کاهش سختی، از استهلاك انرژی بالایی برخوردار می‌باشند و اتصال در این نمونه‌ها، شکل پذیری مطلوبی دارد. شکل (۱۷)، منحنی‌های پوش لنگر-دوران این دو نمونه را در مقایسه با یکدیگر، به همراه خط تیر درحالات بار بهره برداری و $1/67$ برابر بار بهره برداری، نشان می‌دهد. می‌بینیم که هر دو نمونه، با صلیبیت حدود ۹۰٪ در ردیف اتصالات صلب تلقی می‌شوند و تأثیر افزایش سختی ستون را در میزان صلیبیت اتصال می‌توانیم بخوبی ببینیم. صلیبیت نمونه M4، $92/3$ ٪ است. شکل (۱۸) سطوح هم شدت تنش وان میسز را در این نمونه، به تصویر می‌کشد. در این شکل نیز مشاهده می‌کنیم در زمانی که بال‌های تیز به حد جاری شدن رسیده‌اند، اتصال هنوز پایداری خویش را حفظ کرده است. هرچند که همچون سایر اتصالات در مواضع محدودی از جوش‌ها (در کنج نبشی‌ها) تمرکز تنش‌هایی وجود دارد.

۴- مقایسه اتصال خورجینی صلب با نبشی پیرامونی و اتصالات خورجینی صلب نوع اول و دوم آیین نامه

مختصات نرمالیزه شده، به شرح مذکور در بخش (۴-۱) در مقایسه با هم ترسیم شده‌اند. آنچه‌ان که مشهود است، نمونه F10 [V] که همان اتصال خورجینی صلب نوع دوم آیین نامه است، با صلیبیت نسبی حدود ۹۸٪ به نحو بارزی از بقیه صلب‌تر و سخت‌تر است. رفتار این نمونه تا آخر، تقریباً خطی مانده و فقط در انتها، با کندی به ناحیه غیر خطی وارد شده است. بعد از این اتصال، اتصال خورجینی صلب با نبشی پیرامونی، نمونه M4 [۴] با صلیبیت ۹۲/۳٪ از صلیبیت و سختی اولیه بیشتری برخوردار است که بعد از آن، نمونه‌های نبشی پیرامونی M1 و M3 [۴] و نیز F7 [V] که همان اتصال خورجینی صلب نوع اول آیین نامه [۳] است، با صلیبیت نسبی حدود ۹۰/۴٪ قرار می‌گیرند که منحنی‌های لنگر نسبی - دوران نسبی این سه نمونه، در محدوده رفتار خطی، تقریباً به طور کامل بر هم منطبق هستند و در محدوده رفتار غیر خطی نیز رفتار نمونه M3 به F7 خیلی نزدیک است.

لنگر نسبی نهایی نمونه‌های M3 و M4، حدود ۱/۸ تن-متر بر تن-متر است که به طور قابل ملاحظه‌ای از نمونه‌های F7 و F10؛ یعنی ۲/۳ تن-متر بر تن-متر، کمتر است و نمونه M1، با قابلیت تحمل لنگر نسبی حدود ۳/۴ تن-متر بر تن-متر، به طور قابل توجهی قابلیت بیشتری را در تحمل لنگر نسبی، نسبت به سایر نمونه‌ها، از جمله F7 و F10، از خود بروز داده است.

آنچه مسلم است. تمامی این نمونه‌ها در ردیف اتصالات صلب قرار می‌گیرند.



شکل (۱۹): منحنی‌های پوش لنگر-دوران اتصال نمونه‌های مختلف در دستگاه محورهای مختصات نرمالیزه

۴-۳- مقایسه نمونه‌های مختلف، از دیدگاه مسائل اجرایی و هزینه‌ها

الف - اتصالات خورجینی صلب با نبشی پیرامونی [۴] به دلیل اینکه فاقد ورق‌های سخت کننده به اصطلاح لچکی می‌باشند، با معماری بنا همخوانی بیشتری دارند. از این دیدگاه اتصال خورجینی نوع اول آیین نامه [۳]، در رده دوم و اتصال

از آنجا که مشخصات تیر و ستون در میزان لنگر قابل تحمل اتصال، کاملاً تاثیرگذار است و منحنی‌های لنگر-دوران نمونه‌های مختلف به صورت عادی، قابل مقایسه با یکدیگر نیستند، تدبیری اندیشیده شد که با بی بعد کردن (نرمالیزه کردن) محورهای لنگر و دوران، بتوان به مقایسه این منحنی‌ها با یکدیگر پرداخت.

۴-۱- طریقه بی بعد کردن محورها

برای تمامی مقاطع تیرها، لنگر گیرداری را تحت بار بهره برداری و با فرض تمام قدرت ($M_p = \sigma * S$) محاسبه می‌کنیم و حاصل تقسیم لنگر اتصال در هر لحظه بر لنگر گیرداری با شرایط فوق را لنگر نسبی (M_r) می‌نامیم.

همچنین برای کلیه مقاطع تیرها، دوران در اتصال کاملاً مفصلی را تحت بار بهره برداری و با فرض اتصال تمام قدرت، محاسبه می‌کنیم و حاصل تقسیم چرخش اتصال در هر لحظه بر این چرخش را، دوران نسبی (θ_r) می‌نامیم.

بدین ترتیب، توانسته‌ایم محورهای لنگر و دوران را نرمالیزه کرده و به صورت بدون بعد در آوریم. پرواضح است که رسم منحنی لنگر-دوران هر نمونه، در این دستگاه مختصات، بخوبی روال معمول قابل تفسیر است. علاوه بر این، به نظر می‌رسد با حذف خصوصیات هندسی و مصالح تیر (که مبنای طراحی اتصال، نیز متناسب با آن است)، شرایط مقایسه نسبتاً منصفانه‌ای را برای اتصالات مختلف با یکدیگر فراهم آورده‌ایم. هر چند که هنوز مشخصات ستون، می‌تواند تأثیر خویش را در این منحنی‌های نرمالیزه شده بگذارد؛ ولی اگر این فرض اساسی را بپذیریم که در یک سازه درست طراحی شده، مقاطع ستون‌ها، نیز به نوعی متناسب با مقاطع تیرها هستند، مقایسه نمونه‌های مختلف، در این دستگاه محورهای مختصات، به نظر مقبول می‌نماید. علاوه بر این، در این دستگاه، مفهوم جدیدی قابل تعریف است که آن را سختی بدون بعد می‌نامیم و آن عبارت است از شیب منحنی لنگر نسبی- دوران نسبی. به نظر می‌رسد که بتوان از مفهوم سختی بدون بعد، نیز به عنوان ملاکی برای میزان صلیبیت اتصال بهره جست.

۴-۲- مقایسه رفتار نمونه‌های مختلف

در شکل (۱۹)، منحنی‌های پوش لنگر نسبی- دوران نسبی نمونه‌های مطرح شده در این مقاله، در دستگاه محورهای

خورجینی صلب نوع دوم [۲]، با دارا بودن ابعاد قابل توجه این ورق‌ها و وجود سخت‌کننده‌های زیرین، در رده آخر قرار می‌گیرد و بیشترین مشکل را با معماری بنا دارد.

ب- اجرای اتصال خورجینی صلب با نبشی پیرامونی، به طور بارزی سهل‌تر از اتصالات خورجینی صلب نوع اول و خصوصاً دوم آیین‌نامه [۲] است و مطالعات [۴] نشان می‌دهد که طول برش (۶/۲۸ متر) و جوش (۹/۳۶ متر) در این اتصال (M1)، به مراتب کمتر از آن دو، خصوصاً نوع دوم (با طول برش ۱۱/۵ متر و طول جوش ۱۵/۴۷ متر) است؛ و به طور مشخص از نظر اقتصادی، این اتصال (نبشی پیرامونی)، از آن دو گزینه خصوصاً نوع دوم با صرفه‌تر است.

این در حالی است که هرگاه از نبشی‌های فارسی بر شده در ساخت نبشی‌های پیرامونی استفاده کنیم، علاوه بر افزایش سهولت اجرا، طول برش در نمونه M1، به ۲/۸ متر و طول جوش، به ۸/۸ متر کاهش می‌یابد.

۵- نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد

الف - اتصال خورجینی صلب از نوع نبشی پیرامونی، در رده اتصالات صلب تشخیص داده می‌شود.

ب- از نظر خصوصیات رفتاری، خصوصاً قابلیت جذب انرژی و بروز رفتار شکل‌پذیر و نیز قابلیت تحمل لنگر نهایی و نیز سختی اولیه، این اتصال، اتصالی مطلوب می‌نماید.

ج- از نظر سهولت‌های اجرایی و سازگاری با معماری طرح، این اتصال بر انواع خورجینی صلب مورد نظر آیین‌نامه [۴] برتری دارد.

د- پیشنهاد می‌شود این نوع اتصال، برای اضافه شدن به گزینه‌های خورجینی صلب آیین‌نامه [۴]، برای بررسی در دستور کار آیین‌نامه نویسی قرار گیرد.

ه- به نظر می‌رسد برای مقایسه بهتر نمونه‌های مختلف، بهتر است مدل‌هایی فاقد ستون؛ که فقط اتصال و تیر در آنها موجود باشد، تحت آزمایش و تحلیل اجزای محدود قرار گیرد و متحنی‌های لنگر - دوران آن‌ها، در سیستم محوره‌های مختصات بدون بعد پیشنهادی در این پژوهش [۴]، مقایسه و بررسی شود.

و- پیشنهاد می‌شود تحقیقات آزمایشگاهی کافی بر روی اتصالات خورجینی صلب با نبشی پیرامونی انجام و نتایج با تحلیل‌های اجزای محدود، مقایسه و بررسی شود. در ادامه، تأثیر شماره نبشی‌ها بر روی رفتار این نوع اتصالات بررسی گردد.

ز- در این پژوهش [۴]، روابط ساده‌ای برای طراحی اتصالات خورجینی صلب با نبشی پیرامونی ارائه شده است. پیشنهاد می‌شود کارهایی تحقیقاتی بر روی این روابط و در صورت

لزوم، روابط جایگزین، برای طراحی این گونه اتصالات، انجام گیرد و در نهایت روابطی مطمئن برای طراحی آن‌ها ارائه شود.

۶- تقدیر و تشکر

نویسندگان از جناب آقایان دکتر احمد نیکنام، دکتر علی اکبر آقا کوچک و دکتر علی مزروعی به خاطر کمک‌های بی‌شائبه‌شان در پیشبرد این طرح پژوهشی، کمال تشکر را دارند.

۷- مراجع

[۱] فروغی، محمد؛ «بررسی اتصالات خورجینی و چگونگی مدل کردن کامپیوتری آن‌ها»؛ سمینار کارشناسی‌ارشد سازه، به راهنمایی دکتر مرتضی زاهدی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، آذرماه ۱۳۸۱.

[۲] فروغی، محمد؛ «بررسی اتصالات خورجینی و ارائه روشی برای حل آن‌ها»؛ پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد سازه، به راهنمایی دکتر مرتضی زاهدی و دکتر محمدعلی برخوردار، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، تیرماه ۱۳۷۲.

[۳] مقدم، حسن؛ آفاکوچک، علی‌اکبر؛ مزروعی، علی؛ میرقادر، سیدرسول، «پیش‌نویس ضوابط طراحی و اجرای ساختمان با اتصال خورجینی»، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، اسفند ۱۳۸۲.

[۴] فروغی، محمد؛ «بررسی اتصالات خورجینی با استفاده از آنالیز غیرخطی»؛ پایان‌نامه دکترای سازه، به راهنمایی دکتر محمد علی برخوردار و مشاوره دکتر احمد نیکنام، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، اسفند ۱۳۸۵.

[۵] فروغی، محمد؛ برخوردار، محمدعلی؛ «نقدی بر پیش‌نویس ضوابط طراحی و اجرای ساختمان‌های با اتصال خورجینی»، هفتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۲۰-۱۸ اردیبهشت ماه ۱۳۸۵.

[۶] فروغی، محمد؛ «طرح تسمه‌های اتصال تیر دابل در اتصالات خورجینی»، مجله علمی-ترویجی بنا؛ انجمن مهندسان راه و ساختمان ایران، شماره‌های ۱۴ و ۱۵، ۱۳۸۱.

[۷] مزروعی، علی؛ میرقادر، سیدرسول؛ بهنام‌فر، فرهاد؛ دهقانی‌رنانی، مهدی؛ «بررسی ضوابط طراحی و مشخصات فنی اتصال خورجینی و ارائه دستورالعمل»، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران.

[۸] M.A. Barkhordari and M. Foroughi, "An Improved Saddle-Like Connection for Steel Structures", in *Proceedings of the Eighth International Conference on Computational Structures Technology*, B.H.V.

Topping, G. Montero and R. Montenegro, (Editors),
Civil-Comp Press, Stirlingshire, United Kingdom,
paper 115, 2006.

[۹] مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، بارهای وارد بر
ساختمان، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان،
۱۳۸۰.

[۱۰] - آقا کوچک، علی اکبر؛ وشکینی، پیمان؛ «مطالعه شکل
پذیری قاب‌های فولادی دارای اتصالات خورجینی»، مجله
فنی و مهندسی مدرس، شماره چهاردهم، زمستان ۱۳۸۲.

[۱۱] AISC, "Qualifying Cyclic Tests of Beam - to -
Column and Link - to Column Connections",
Seismic Provisions for Steel Building, Appendix S,
pp. 232.