



بی بعد کردن محورهای لنگر - دوران ، راه حلی برای مقایسه صلبیت اتصالات مختلف

با مصالح و شرایط متفاوت

محمد فروغی^۱

۱- دکترا سازه، دانشگاه یزد، دانشکده عمران

Email: foroughi_mohammad@yahoo.com

خلاصه

یکی از پارامترهای مهمی که در بررسی اتصالات مختلف مورد توجه قرار می گیرد، رفتار آنها تحت تأثیر لنگر وارده می باشد. و برای این منظور منحنی های لنگر - دوران اتصال، تهیه و مورد ارزیابی قرار می گیرند و نسبت به صلبیت، سختی اولیه و رفتار کلی اتصال تحت اعمال لنگر خمشی، قضاوت می گردد. در این سیستم هر گاه اتصالات مختلفی با مصالح و شرایط یکسان تیر و ستون مورد آزمایش قرار گرفته باشند، به راحتی قابل مقایسه اند ولی هر گاه یکی از این پارامترها تغییر یابد، مقایسات اعتبار خویشتن را از دست خواهند داد. این مقاله سعی دارد، با ارائه روشی برای بی بعد کردن محورهای لنگر و دوران، رفتار اتصالات مختلفی را که تحت شرایط آزمایشگاهی متفاوت و با مشخصات مقطع تیر و مصالح مختلف بررسی شده اند، بر روی یک نمودار، به مقایسه بکشاند.

کلید واژه : صلبیت، اتصالات، بی بعد، نرمالیزه، نیمه صلب، اتصالات نیمه صلب، اتصالات نیمه گیردار

مقدمه

هر گاه مشخصات رفتاری اتصال را که خود وابسته به پارامترهای متعددی از قبیل مشخصات تک تک عناصر اتصال و نوع مصالح هر یک دارد، در یک عبارت تحت عنوان نوع اتصال خلاصه کنیم، بطور کلی دوران نسبی تیر و ستون و یا دوران تیر در تکیه گاه به نوع اتصال، طول دهانه، میزان بار، شرایط توزیع بار و نیز مشخصات هندسی و مصالح مقاطع تیر و ستون وابسته می باشد. بنابراین هر گاه میزان لنگر تولید شده در اتصال را به لنگر تولید شده در آن تحت همان شرایط با فرض صلبیت کامل ایده آل تقسیم نموده، حاصل آنرا نسبت صلبیت بنامیم، هر اتصال تحت یک شرایط خاص در طول زمان بارگذاری، در هر لحظه، نسبت صلبیت متفاوتی خواهد داشت. بنابراین تحلیل سازه با رفتار واقعی اتصالات آن بسیار پیچیده است و به همین دلیل با تمهیداتی از جمله استفاده از مفهوم خط تیر، به هر اتصال، صلبیت خاصی را نسبت می دهند و بدین طریق آنها را دسته بندی می نمایند [۱].

در یک مجموعه آزمایش، معمولاً مصالح و مشخصات تیر و ستون و تنظیمات کلی آزمایش را یکسان در نظر گرفته، فقط شرایط اتصال را تغییر میدهند و روند بارگذاری را نیز در کلیه آزمایشات ثابت می گیرند و در یک دستگاه مختصات لنگر- دوران به مقایسه آن ها می پردازند. اما زمانی که بخواهیم آزمایشات و تحقیقاتی با شرایط مختلف را مورد مقایسه قرار دهیم، این سیستم مختصات، پاسخگو نخواهد بود.

^۱استادیار دانشگاه یزد



بررسی روش مرسوم

شکل (۱)، نمونه ای از نمودارهای لنگر- دوران اتصالات مختلف را در مقایسه با هم نشان می دهد [۱]. در این شکل خط تیر با شرایط زیر رسم شده است [۸].

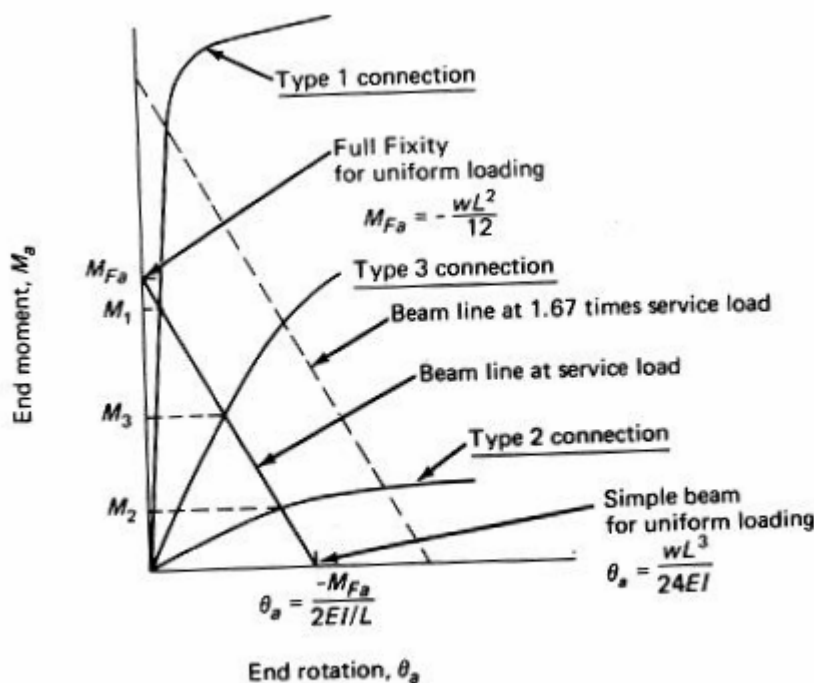
الف - مختصات محل تقاطع با محور دوران

$$\left(\frac{-M_{Fa}}{2EI/L}, 0 \right)$$

ب- مختصات محل تقاطع با محور لنگر

$$(0, M_{Fa})$$

برای تعیین صلبیت هر اتصال، از محل تلاقی منحنی لنگر - دوران آن اتصال با خط تیر، خطی افقی رسم کرده، مقدار لنگر را بر روی محور لنگر خوانده، نسبت این لنگر به لنگر صلب را نسبت صلبیت اتصال می دانیم. حال اتصالاتی با نسبت صلبیت صفر تا ۲۰ درصد را در رده اتصالات ساده قرار داده، ۹۰ درصد تا ۱۰۰ درصد را صلب و بقیه را نیمه صلب تلقی می کنیم.



Moment-rotation characteristics of AISC connection types.

شکل (۱)

برخی از محققین شیب اولیه منحنی لنگر - دوران را که نشاندهنده سختی اولیه اتصال است، ملاکی برای این تقسیم بندی قرار داده، سختی آستانه [۲] را تعریف می نمایند و هرگاه سختی اولیه اتصال از این میزان تجاوز نماید، آن را در رده اتصالات صلب قرار داده و زیر این میزان را نیمه صلب می دانند. بطور مشابه، مرزی برای تفکیک اتصالات نیمه صلب و ساده قابل تعریف است. از آنجا که مسیر منحنی لنگر- دوران هر اتصال، تابعی از تنظیمات

آزمایش و نیز مشخصات هندسی مصالح تیر و ستون می باشد، اعتبار روش اخیر به شرایط خاص آزمایش بوده، فاقد عمومیت کافی است. ولی روش قبلی، با توجه به اینکه خط تیر نیز بطور مشابه به طول دهانه، مشخصات هندسی و مصالح تیر وابستگی دارد، از عمومیت بیشتری برخوردار است.

معرفی سیستم مختصات بدون بعد

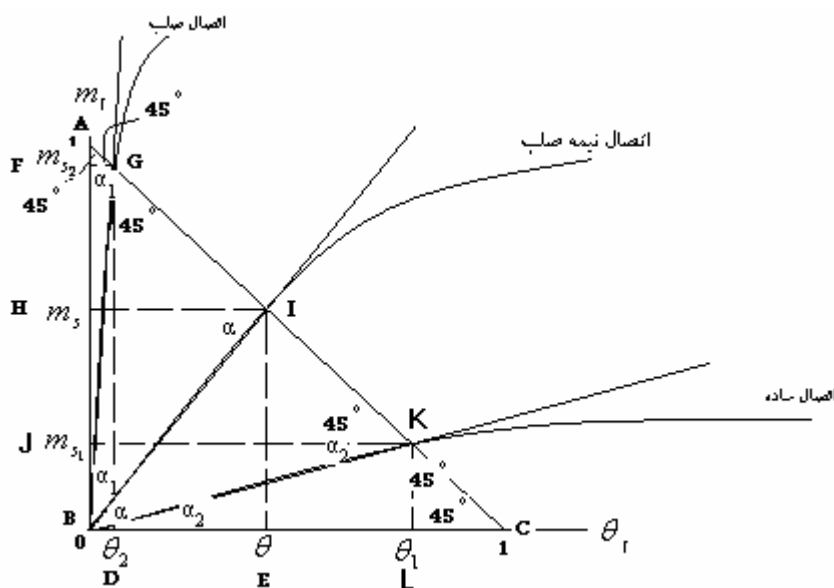
برای رفع نقیصه روش مرسوم، بعضی از محققین روش هایی را برای بی بعد کردن محورهای لنگر و دوران پیشنهاد کرده اند [۳ و ۴]. در این مقاله روش مشابه ولی متفاوتی [۵ و ۶] پیشنهاد شده است که با نتایج حاصله از کاربرد آن در تعیین میزان صلبیت اتصالات مختلف، دقیقاً با نتایج حاصله از روش مرسوم که منطبق بر آیین نامه AISC [۷] می باشد، تطابق می نماید.

در این روش [۵ و ۶] برای هر نمونه اتصال، مقادیر لنگر را بر میزان لنگر نمونه با فرض رفتار صلب ایده آل و اتصال تمام قدرت تقسیم نموده، آن را لنگر نسبی (M_r) و یا لنگر بدون بعد می نامیم. همچنین مقادیر دوران را بر میزان دوران نمونه با فرض رفتار ساده ایده آل و اتصال تمام قدرت، بخش نموده، آن را دوران نسبی (θ_r) و یا دوران بدون بعد می نامیم. و بدینوسیله هر یک از محورهای لنگر و دوران، بدون بعد می گردد و مختصات خط تیر برای تمامی نمونه ها بشرح زیر خواهد شد.

الف - مختصات محل تلاقی با محور دوران (۰ و ۱)

ب- مختصات محل تلاقی با محور لنگر (۰ و ۱)

و می توانیم تمامی نمونه ها را بر روی یک دستگاه مختصات (بدون بعد)، ترسیم و آنها را مورد مقایسه و بررسی قرار دهیم (شکل ۲) [۵].



شکل (۲)

به نظر می رسد در این روش، استفاده از مفاهیمی چون سختی آستانه بدون بعد، از عمومیت کافی برخوردار باشد.

$$\text{تغییر نسبی اولیه} = \tan \alpha = \frac{m_s}{\theta} \quad (1)$$

$$AH = 1 - m_s \quad (2)$$

مثلاً AHI متساوی الساقین است. بنابر این:

$$HI = AH = 1 - m_s \quad (۳)$$

و یا

$$\theta = 1 - m_s \quad (۴)$$

$$tg \alpha = \frac{IE}{BE} = \frac{BH}{HI} = \frac{m_s}{1 - m_s} \quad (۵)$$

الف - تعیین مرز اتصال صلب با نیمه صلب

$$m_s = 90\%$$

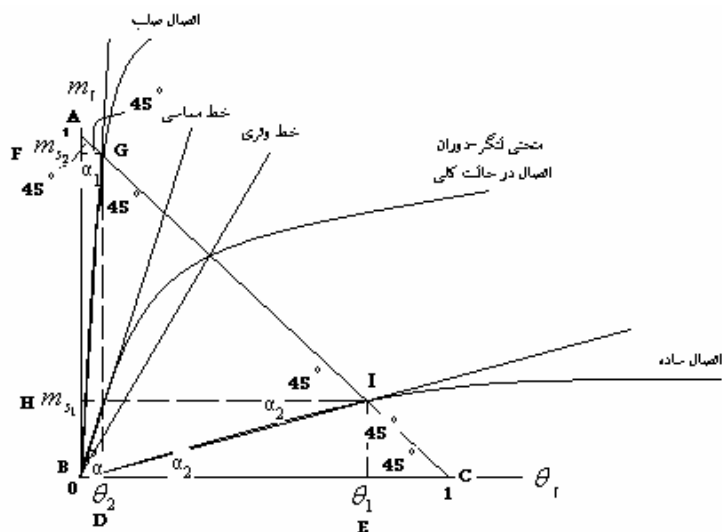
$$tg \alpha_1 = \frac{0.9}{1 - 0.9} = 9 \quad (۶)$$

ب- تعیین مرز اتصال ساده با نیمه صلب

$$m_s = 20\%$$

$$tg \alpha_2 = \frac{0.2}{1 - 0.2} = 0.25 \quad (۷)$$

بنابراین در اتصال صلب، سختی اولیه نسبی بالای ۹ و در اتصال ساده، زیر ۰/۲۵ است و اتصالات با سختی اولیه نسبی بین این مقادیر در رده اتصالات نیمه صلب، قرار می گیرند. بدیهی است استفاده از مفهوم سختی اولیه نسبی برای تقسیم بندی نوع اتصال، در صورتی مقبول است که منحنی لنگر - دوران اتصال تا محل تقاطع با خط تیر، خطی باقی بماند. در غیر اینصورت بایستی از مفهوم سختی اولیه نسبی معادل استفاده کرد، بدین ترتیب که خطی از مرکز مختصات به محل تلاقی منحنی لنگر نسبی - دوران نسبی با خط تیر رسم نموده، شیب این خط را به عنوان سختی اولیه نسبی معادل، برای تفکیک اتصالات مختلف به کار گرفت (شکل ۳) [۵].



شکل (۳)



مزایا

مزیت اصلی این روش، حذف وابستگی منحنی‌های لنگر- دوران از مشخصات هندسی و مصالح تیر و نیز طول و شرایط بارگذاری نمونه است. امکان مقایسه مطلوب رفتار نمونه‌های مختلف با شرایط متفاوت در تنظیم آزمایش و طول دهانه، شرایط بارگذاری و مشخصات هندسی مصالح تیر، بوجود می‌آید. همچنین امکان استفاده از ملاک سختی نسبی اولیه یا سختی نسبی اولیه معادل برای تفکیک انواع اتصالات بصورت مقبول فراهم می‌آید. همچنین چنانکه قبلاً آمد، نتایج ارزیابی میزان صلبیت اتصال با استفاده از این سیستم مختصات بدون بعد با نتایج حاصله از روش مرسوم تطابق کامل دارد.

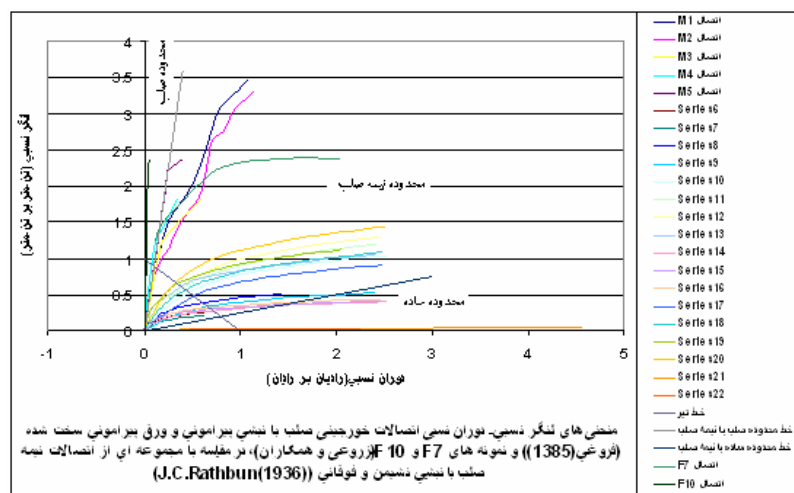
معایب

به نظر می‌رسد این روش نسبت به روش موجود، هیچگونه ضعفی ندارد ولی در نمونه‌هایی که قسمتی از ستون نیز مورد مدل‌سازی قرار گرفته‌اند، تأثیر پارامترهای مربوط به ستون در منحنی‌های لنگر- دوران با این روش قابل حذف نیست و این امر از نقاط ضعف کلیه روش‌های مرسوم و نیز این روش، محسوب می‌گردد. البته از آنجا که در یک طرح مطلوب سازه، همواره بایستی ستون و اتصال نیز با تیر تناسب داشته باشند و این امر در طرح نمونه‌های آزمایشگاهی نیز بایستی مد نظر قرار گیرد، می‌توان این تأثیرات را در ارزیابی و مقایسه نمونه‌های مختلف اتصال، با این سیستم مختصات بدون بعد ناچیز شمرد.

ضمناً با توجه به مشکل فوق، به نظر می‌رسد علیرغم کارائی بالاتر نمونه‌های شامل ستون در بررسی رفتار اتصالات مختلف، برای مقایسه منحنی‌های لنگر- دوران آنها و نیز بررسی میزان صلبیت هر اتصال خاص، استفاده از نمونه‌های فاقد ستون نیز جایگاه خاص خویش را داشته باشد.

ارائه نمونه کار با دستگاه مختصات بدون بعد

در شکل (۴) مجموعه‌ای از نمونه‌های آزمایشگاهی و یا اجزاء محدود که با شرایط مختلف توسط پژوهشگران متفاوت مورد بررسی قرار گرفته‌اند، در یک دستگاه مختصات بدون بعد معرفی شده در این مقاله در مقایسه با هم ترسیم شده‌اند. همچنانکه مشهود است، رفتار انواع نمونه‌های مزبور، از نظر منحنی‌های لنگر- دوران در این سیستم مختصات براجتی قابل مقایسه، بررسی و تعبیر است [۵].



شکل (۴)



از این شکل به خوبی می توان دریافت که اتصال سری ۲۲ [۸]، از نوع مفصلی و اتصالات سری های ۶ تا ۲۱ [۸]، همگی نیمه صلب می باشند و اتصالات نمونه M1 و M3 تا M5 [۵، ۶ و ۹] و نیز اتصالات نمونه F7 و F10 [۱۰] تماما در ردیف اتصالات صلب قرار می گیرند. اتصال نمونه M2 [۵ و ۶] نیز رفتاری نیمه صلب ولی بسیار نزدیک به صلب دارد. همچنین به طور مشخص اتصال F10 از صلبیت بسیار بالایی برخوردار است. هر چند این نتیجه گیری، با مطالعه موردی هریک از این نمونه ها در سیستم مختصات مرسوم لنگر – دوران نیز قابل حصول بود، ولی مطالعه کل مسیر منحنی های لنگر – دوران این نمونه ها در مقایسه باهم بدون استفاده از سیستم مختصات بدون بعد، در روش مرسوم، عملا امکان پذیر نیست.

جمع بندی، نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد

در یک جمع بندی کلی به نظر میرسد بهره گیری از سیستم محورهای مختصات بدون بعد پیشنهادی برای بررسی رفتار اتصالات مختلف، از دیدگاه منحنی های لنگر – دوران بر روش مرسوم ارجحیت دارد. این روش در بلند مدت، قابلیت مقایسه طرح های مختلف را که تحت شرایط مختلف در پژوهش های مستقل انجام شده و می شوند، به نحو مطلوبی فراهم می آورد و این در حالیست که نتیجه ارزیابی صلبیت هراتصال با این روش، با ارزیابی آن توسط روش مرسوم تطابق کامل دارد.

از آنجا که تهیه نمودارهایی با این روش برای نمونه های مختلف، نیاز به داشتن اطلاعاتی از نوع مصالح، مشخصات هندسی مقاطع، و شرایط تنظیم آزمایش ها می باشد و در عموم مقالات و بسیاری از گزارشات طرح های پژوهشی، این اطلاعات بطور دقیق در دسترس نیستند، پیشنهاد می شود، در مطالعات آتی، این روش جایگزین روش فعلی گردد تا در آینده راه بررسی های مقایساتی هموارتر شود.

قدردانی

نویسندگان از جناب آقایان دکتر احمد نیکنام، دکتر علی اکبر آقا کوچک و دکتر طارق المهدی به خاطر کمک های بی شائبه شان در پیشبرد این طرح پژوهشی، کمال تشکر را دارند.

مراجع

1. Charles G. Salmon and John E. Johnson, Steel Structures – Design and Behavior, Second Edition, Harper & Row, Publishers, New York, 1980, pp.732.
- ۲- مقدم – حسن، خواص مکانیکی اتصالات خورجینی، مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ۲۷-۲۵ اردیبهشت ۱۳۷۲، صفحه ۱۰۵۵.
3. R.M. Richard, A Study of Structural System Having Nonlinear Elements, Doctoral Dissertation, Purdue University, 1961.
4. R. Brozzetti Bjorhovde and A. Colson, A Classification System for Beam to Column Connections, J. Struct. Eng., 1990.
- ۵- فروغی – محمد، بررسی اتصالات خورجینی با استفاده از آنالیز غیرخطی (پایان نامه دکترا سازه در دست انجام، به راهنمایی دکتر محمد علی برخوردار و مشاوره دکتر احمد نیکنام)، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.
6. M. Foughi and M. A. Barkhordari, "An Improved Saddle-Like Connection With Rigid Behavior", in Proceedings of the Eleventh International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, B. H. V. Topping, (Editor), Civil-Comp Press, Stirlingshire, United Kingdom, Paper 206, 2007.
7. AISC, "Qualifying Cyclic Tests of Beam – to – Column and Link – to Column Connections", Seismic Provisions for Steel Building, Appendix S, pp. 25-32.
8. J.C. Rathbun, Elastic Properties of Riveted Connections, Trans, ASCE, 101.



9. 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, (Editor), G. Montero and R. Montenegro, (Editors), Civil-Comp Press, Stirlingshire, United Kingdom, Paper 115,2006.

۱۰- مزروعی- علی و میرقادی- سیدرسول و بهنامفر- فرهاد و دهقانیرنانی- مهدی ، بررسی ضوابط طراحی و مشخصات فنی اتصال خورجینی و ارائه دستورالعمل ، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران .