بررسي پايداري بادبنديهاي ضربدري با توجه به جزئيات اتصال مياني

علي داوران — استاديار دانشكده مهندسي عمران، دانشگاه تبريز

احد فايقي ارجمند — كارشناس ارشد سازه دانشكده مهندسي عمران، دانشگاه تبريز

چكيده

در اين مقاله با توجه ويژه به اتصال مياني، پايداري سيستم بادبندي ضربدري بررسي شده و به منظور بهبود رفتار كمانشي و افزايش ظرفيت باربري سيستم مذكور، يك شيوة ساده و مفيد براي اجراي اتصال مياني پيشنهاد گرديده است. مطابق جزئيات اجرايي موجود در مراجع معتبر و روش رايج در اجراي بادبندي ضربدري، جفت پروفيل يكي از اعضاي قطري در نقطه تلاقي دو قطر قطع گرديده و جفت پروفيل عضو قطري ديگر پيوسته باقي مي‌ماند. ولي در روش پيشنهادي از هر عضو قطري فقط يك پروفيل قطع شده و پروفيل ديگر پيوسته باقي ميماند. لذا با توجه به شيوه اجراي اتصال، نقطه مياني اعضاي قطري به سه شكل پيوسته، مفصلي و نيمه پيوسته مدل شده و نتايج حاصل براي بعضي حالتهاي كاربردي به صورت منحني نمايش داده شده است. سپس براي وضعيتهاي ممكن ناشي از شيوه اجراي اتصال مياني و جهت اثر نيروي جانبي آزمايشهاي عملي انجام شده و با نتايج تئوري مقايسه گرديده و در موردي كه لازم بوده مطالعات تئوري تكميل‌تر شده است. نتايج مطالعات تئوري و تجربي نشان ميدهد كه اتصال مياني و شيوه اجراي آن بر ظرفيت باربري سيستم بادبندي ضربدري تأثير قابل توجهي دارد و بايد در طراحي اين نوع سيستم مورد توجه قرار گيرد. با استفاده از شيوه پيشنهادي، ضمن اصلاح ضعف پيچشي اتصال مياني، مي‌توان ضريب طول مؤثر اعضاي قطري بادبندي را حدود ۰/۵۲ تا ۰/۶ در نظر گرفت.

كلمات كليدي: بادبندي ضربدري، پايداري، اتصال مياني، عضو پيوسته، عضو منقطع، عضو نيمه پيوسته.

Study of Stability of X-bracing Systems Considering Mid-span Connection Detailing

A. Davaran and A. Fayeqi Arjmand
Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz

Abstract

In this paper the stability analysis of X-Bracing systems is performed and a simple and effective mid-span connection detailing is proposed. This detailing can improve the load carrying capacity of the X-Bracing as well as behavior of the bracing system. In the common detailing for mid-span, one diagonal (which is comprised of a pair of channel or angle section) is cut at the mid-span connection, so the other diagonal is continuously passed from the cross connection. In the proposed method one section from each diagonal is cut and the other section is continuous so each diagonal is semi-continuous at the cross connection. There are three kinds of mid-connection which may be verified: a-continuous b-dis continuous (hinged) c-semi-continuous. In this research the stability of the above three cases are studied and several experiments are done. Then the theoretical methods are improved. These results show that the detailing of mid-connection can affect on the load carrying capacity of X-bracing and it must be taken into account in the design.

Key words: X-Bracing, Stability, Mid-span connection, Continuous diagonal, Dis continuous diagonal, Semi-continuous diagonal.

۱- مقدمه

استفاده از بادبنديهاي ضربدري يكي از مطمئن‌ترين و متداول‌ترين روشهاي موجود براي مهاربندي و مقاومسازي سازه‌هاي فولادي در برابر نيروهاي جانبي مي‌باشد. در اين سيستم اعضاي قطري به صورت همزمان عمل نموده و با توجه به جهت نيروي جانبي يكي از اعضا تحت فشار و ديگري تحت كشش قرار ميگيرد. متناوب بودن نيروهاي زلزله باعث مي‌گردد كه در عمل اعضاي قطري بادبندي ضربدري به‌تناوب تحت فشار و كشش قرار گيرند. لذا طراحي اين نوع سيستم به لاغري اعضاي قطري بستگي داشته و يك ارزيابي دقيق‌تر از رفتار كمانشي عضو فشاري و تعيين ضريب طول مؤثر كمانش آن لازم و ضروري به نظر مي‌رسد.

اين كار با آناليز پايداري خارج از صفحه بادبنديهاي ضربدري انجام مي‌شود به دليل آنكه در كمانش داخل صفحه، اتصالات گوشه نسبت به كمانش خارج از صفحه، سختي و گيرداري بيشتري دارند و باعث كاهش طول مؤثر كمانش عضو ميگردند. همچنين در كمانش داخل صفحه، عضو كششي در نقطه مياني به صورت محوري و در كمانش خارج از صفحه به صورت خمشي عمل مي‌كند. بنابراين در اين سيستم، ضريب طول مؤثر در كمانش خارج از صفحه بزرگتر از كمانش داخل صفحه بوده و در نتيجه وقوع كمانش خارج از صفحه محتمل‌تر خواهد بود.

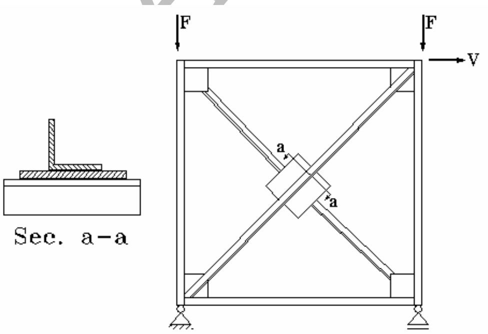
مطالعات و تحقيقات زيادي روي كمانش خارج از صفحه اعضاي بادبنديهاي متقاطع و ضربدري با تمركز در اتصال گوشه انجام شده و مقادير مختلفي را براي ضريب طول مؤثر نتيجه داده است. اكثر اين مطالعات روي بادبنديهاي متقاطع با اعضاي قطري يكسان و مشابه كه يكي از اعضاي قطري آن همواره تحت كشش مي‌باشد معطوف شده است [۶-۱]. در مطالعات مذكور بدون توجه به اتصال مياني، اتصال گوشة اعضاي قطري در دو انتها به صورت مفصلي يا گيردار در نظر گرفته شده است. سگال و همكاران [۷] معادلات لازم براي ارزيابي بار بحراني بادبندي ضربدري با انتهاي نيمهگيردار و با هر مقدار ضريب نيمه‌گيرداري حل كرده‌اند.

يكي از عوامل مهمي كه مي‌تواند بر پايداري بادبنديهاي ضربدري تأثير بگذارد و در مطالعات انجام يافته توجه كافي به آن نشده، اتصال مياني و شيوه اجراي آن مي‌باشد. اجراي اين اتصال در بادبنديهاي ضربدري با اعضاي قطري جفت پروفيل به منظور متصل نمودن عضو قطري منقطع ضروري مي باشد.

اتصال مياني باعث مي‌گردد سختي خمشي عضو كششي در نقطه مياني به صورت تكيه‌گاه جانبي ارتجاعي براي عضو فشاري عمل نمايد كه با افزايش مقدار نيروي كششي، سختي تكيهگاه مفروض افزايش پيدا خواهد نمود. به عبارت ديگر اتصال مياني باعث به وجود آمدن اندركنش بين عضو كششي و فشاري مي‌گردد. در حال حاضر بيشتر طراحها و مهندسين سازه ضريب طول مؤثر ۰/۶۷ تا ۰/۷۵ را براي طراحي بادبنديهاي ضربدري در نظر ميگيرند كه مقدار دقيقي نمي‌باشد. در اين مقاله با فرض اتصال مفصلي دو انتهاي اعضاي قطري، اتصال مياني اين نوع بادبنديها مورد بررسي قرار گرفته و يك شيوه ساده براي اجراي اتصال مياني جهت بهبود وضعيت موجود پيشنهاد گرديده است.

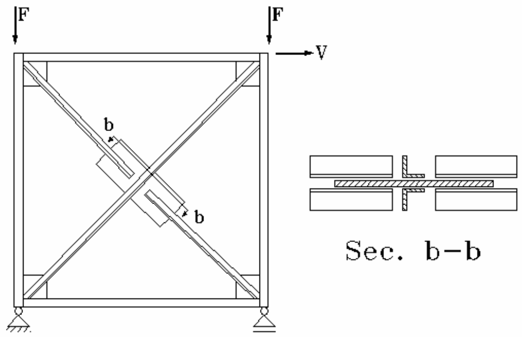
۲- تحليل پايداري بادبندي‌هاي ضربدري با اتصال مياني رايج

اگر اعضاي قطري بادبندي ضربدري به صورت تك پروفيل طراحي شوند با عبور دو عضو قطري از طرفين صفحه اتصال مياني، مشكل ناپيوستگي اعضاء در نقطه تلاقي به وجود نمي‌آيد. در اين حالت سيستم بادبندي نسبت به جهت نيروي جانبي متقارن عمل مي‌كند شكل (۱). ولي در ساختمانهاي فلزي متعارف به دليل بزرگ بودن مقدار نيروي جانبي ناگزير به استفاده از مقاطع جفت پروفيل خواهيم بود چرا كه نسبت به مقاطع تك پروفيل شعاع ژيراسيون بزرگتري دارند و علاوه بر آن دركمانش خارج از صفحه متقارن عمل ميكنند.



شكل ۱- اتصال مياني رايج- تك پروفيل

در اتصال مياني رايج براي اين حالت، مطابق جزئياتي كه در نشريات معتبر ارائه شده [۸ و ۹] جفت پروفيل يك عضو قطري در وسط قطع شده و جفت پروفيل عضو قطري ديگر به صورت پيوسته از ميان آنها عبور مي‌كند و از يك صفحة مستطيلي براي اتصال عضو منقطع استفاده ميشود شكل (۲).



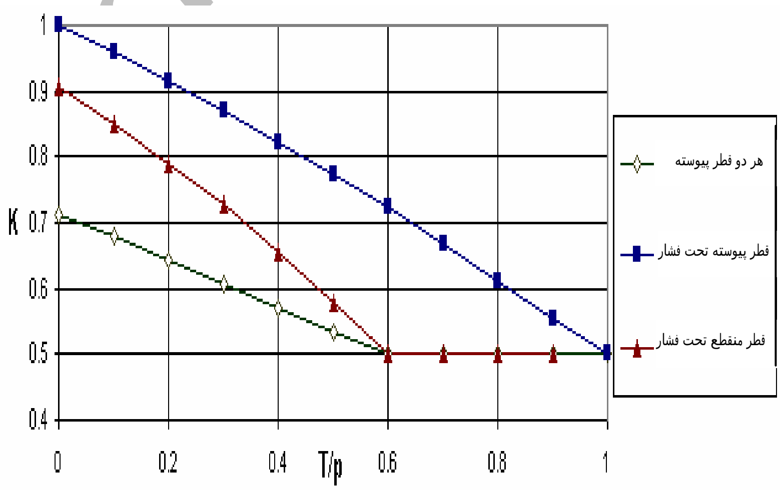
شكل ۲- اتصال مياني رايج- جفت پروفيل

در اين حالت سيستم بادبندي نسبت به جهت نيروي جانبي متقارن نميباشد.

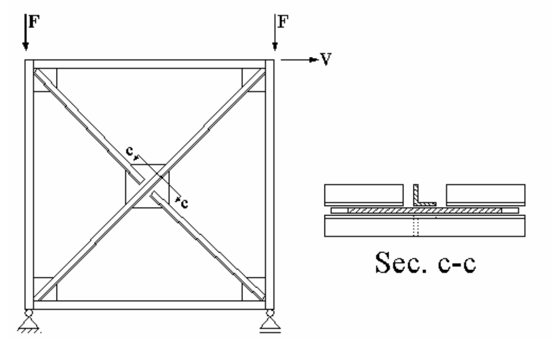
در مراجع [۱۰ و ۱۱] پايداري اعضاي قطري بادبند ضربدري به تفكيك براي سه حالت ممكن (۱ـ هردو عضو قطري پيوسته ۲ـ عضو قطري پيوسته تحت فشار ۳ـ عضو قطري ناپيوسته تحت فشار) مورد بررسي قرار گرفته است. همانطوركه اشاره شد با توجه به رفت و برگشتي بودن نيروهاي زلزله، در بادبنديهاي ضربدري با اعضاي قطري جفت پروفيل، حالت ۲و۳ به طور متناوب رخ مي‌دهد و بزرگترين مقدار ضريب طول مؤثر حاصل از دو حالت تعيين كننده خواهد بود. در نمودار شكل (۳) نتايج حاصل برحسب نسبت نيروي كششي به فشاري نمايش داده شده و نشان مي‌دهدكه ناپيوستگي اعضاء باعث افزايش ضريب طول مؤثر و كاهش ظرفيت باربري بادبندي ضربدري مي‌شود.

۳- تحليل پايداري بادبنديهاي ضربدري با اتصال مياني نيمهگيردار

سختي خمشي صفحه اتصال مياني در مقايسه با پروفيلهاي قطع شده بسيار كوچك ميباشد به طوريكه در قسمتهاي قبل، از گيرداري اندك اتصال مياني صرفنظر شده و اتصال دو قسمت عضو ناپيوسته مفصلي فرض شده است. در صورتيكه با اجراي يك شيوه بسيار ساده و مناسب ميتوان سختي خمشي اتصال مياني را در حد قابل توجهي افزايش داد. در اين‌شيوه از هريك از اعضاي قطري يك پروفيل قطع شده و پروفيل بعدي از ميان پروفيل منقطع قطر ديگر به صورت پيوسته رد ميشود و هر قطر شامل يك پروفيل پيوسته و يك پروفيل منقطع ميباشد شكل (۴). در اين حالت اتصال مياني متقارن و صفحه اتصال مربع شكل بوده و هر دو قطر در محل اتصال نيمه‌پيوسته و نيمه‌گيردار مي‌باشد. حالت نيمه‌گيرداري اعضاء به وسيله يك فنر با سختي دوراني β مدل مي‌گردد.



شكل۳- نمودار تغييرات k براي اتصال رايج



شکل۴- اتصال مياني پيشنهادي

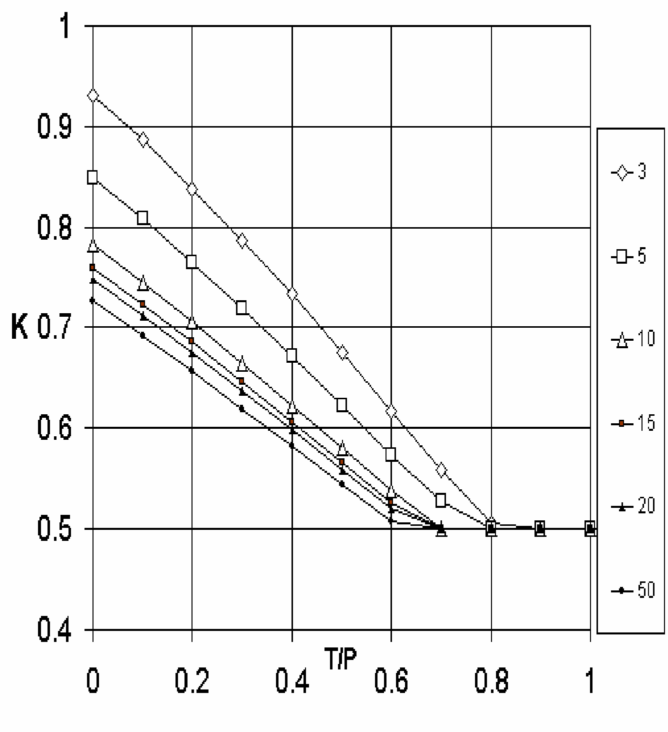
در مراجع [۱۰ و ۱۱] معادلات پايداري براي اين وضعيت تهيـه و نتيجة حل معادلات در نمودار شكل (۵) برحسب $\beta_0 = \frac{\beta L}{EI}$ و نسبت نيروي كششي به فشاري آمده است. نمودار مذكور نشان ميدهد براي نسبت ثابت $\frac{T}{P}$ با افزايش سختي خمـشي اتـصال مياني، ضريب طول مؤثر كمانش كاهش پيدا مي‌كند به طوريكـه براي مقادير خيلي بـزرگ β_0 ، ضـريب طـول مـؤثر بـه سـمت مهاربنديهاي ضربدري با دو قطر پيوسته ميل مي‌كند. واضح است كه انـدازه صـفحه اتـصال ميـاني و ضـخامت آن، ممـان اينرسـي اعضاي قطري، عرض بال داخل صـفحة اعـضاي قطـري و فاصـله بين عضو قطري منقطع و ممتد (gap)، در اندازه β_0 تأثير دارند و مقدار آن به سادگي با استفاده از روشهاي تحليل سازه به دست مي‌آيد [۱۱].

۴- تشريح آزمايشها و نتايج آن

جهـت بررسـي عملـي پايـداري و نحـوه كمـانش اعـضاي بادبنـديهاي ضـربدري، نمونـه‌هـايي بـراي وضـعيتهاي ممكـن و كاربردي ساخته شده و مورد آزمايش قرار گرفتهانـد. ابتـدا نحـوه انجام آزمايش و سپس نحوه ساخت نمونهها و نتايج آن شرح داده خواهد شد.

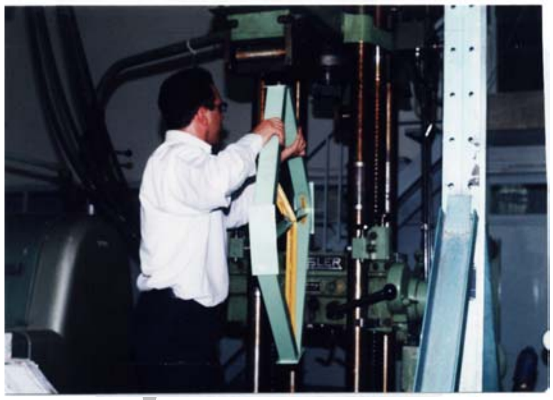
۴-۱- نحوه انجام آزمايشها

بـراي بررسـي موضـوع، از دسـتگاهي استفاده شـده است كه با استفاده از جك هيدروليكي قادر به اعمال نيروي فشاري و كششي در راستاي قائم بوده و تكيه‌گاههاي پائين و بالاي آن در مقايسه با حداكثر نيروي اعمال شده توسط دستگاه، كاملاً صلب ميباشند. حداكثر فاصله ممكن بين دو تكيهگاه يك متر بوده و سرعت اعمال نيرو قابل كنترل ميباشد شكل (۶).



شكل ۵- نمودار تغييرات k براي اتصال پيشنهادي (نيمه‌پيوسته)

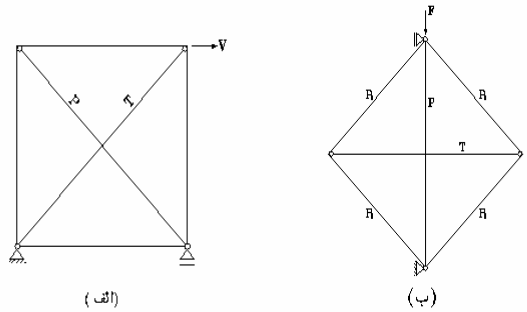
در اين دستگاه مقدار نيرو و تغيير مكان محل اثر آن در هر لحظه قابل قرائت بوده و نمودار نيرو - جابجايي توسط دستگاه رسم مي‌شود.



شكل۶- دستگاه آزمايش

مطابق شكل (۷- الف) اگر بر يك قاب يك دهنه يك طبقه كه از بادبندي ضربدري براي مهاربندي آن استفاده شده است نيروي جانبي V وارد شود يكي از قطرهاي بادبندي تحت نيروي فشاري P و قطر ديگر تحت نيروي كششي T خواهد بود. در صورتيكه طول تير و ستون مساوي باشند، نسبت $\frac{T}{P}$ برابر يك خواهد بود. حال اگر همان قاب را به اندازه ۴۵ درجه حول نقطه تلاقي اعضاي بادبنـدي دوران داده و نيروي عمودي F را مطابق شـكل (۷- ب) وارد كنيم باز هم يكي از اعضاي قطري كه در راستاي نيروي اعمالي قرار دارد تحت فشار بوده و عضو ديگر تحت كشش خواهد بود. در اين حالت با استفاده از روشهاي تحليل سازه مقادير نيروهاي اعضاء قابل محاسبه مي‌باشد (نسبت $\frac{T}{P}$ وقتي كه اتصال تير به ستون مفصلي فرض شود ۰/۵۹ و وقتي گيردار فرض شود ۰/۵۸ به دست مي‌آيد). اين مقدار نسبت $\frac{T}{P}$ براي طول قطرهاي مساوي بوده و مي‌توان مقدار آن را با كاهش يا افزايش طول عضو كششي تغيير داد.

با توجه به اينكه اعضاي قطري بادبندي قسمتي از بارهاي ثقلي را نيز تحمل ميكنند در عمل نسبت $\frac{T}{P}$ كوچكتر از يك مي‌باشد. همچنين با توجه به بررسيهاي تئوريك به دليل اينكه كاهش T در جهت اطمينان و باعث كاهش K ميباشد، نمونه‌هاي مورد آزمايش با طول قطرهاي مساوي ساخته شده و به حالت شكل (۷- ب) در دستگاه پرس قرار داده شده است. در هر آزمايش حداكثر نيروي قابل تحمل ثبت و مقاومت نمونه‌ها و نحوة كمانش آنها با هم مقايسه گرديده است. همچين از روي منحني كمانش اعضاء، فاصلة نقاط عطف اندازهگيري و ضريب طول مؤثر كمانش براي هر نمونه برآورد شده و در نهايت با مقدار ضريب طول مؤثر به دست آمده در بررسيهاي تئوريك مقايسه و نتيجهگيري شده است.



شكل۷- نحوه اعمال نيرو

۴-۲- نحوه ساخت نمونه ها

با توجه به توضيحاتي كه در مورد نحوة انجـام آزمايـشها داده شد، حداكثر طول اعضاي قطري يك متر انتخاب گرديده و سـاير ابعاد و اعضاي سيستم به همـان نـسبت كـوچكتر انتخـاب شـده است. در حقيقت نمونه‌هاي آزمايش شـده مقيـاس كـوچكتري از سيستم بادبندي ضربدري مي‌باشد. بـه غيـر از محـدوديت طـول اعضاي قطري، موارد زير در تعيين ساير ابعـاد و انـدازه‌هـا مـورد توجه قرار گرفته است.

- سعي شده است لاغري اعضاي قطري نمونهها در حدود لاغري متعارف باشد (لاغري ۱۰۰ تا ۱۱۰ مدنظر قرار گرفته است).
- براي اينكه وقوع كمانش در جهت خارج از صفحه حتمي باشـد از نبشيهاي دو ساق نامساوي استفاده شده و ساق كـوچكتر آنهـا عمود بر صفحه قاب قرار گرفته است.
- به دليل اينكه كمانش عضو فـشاري زودتـر از سـاير خرابيهـاي محتمل ديگر اتفاق بيافتد، اعـضاي تيـر و سـتون در مقايـسه بـا

اعضاي قطري و صفحات اتصال گوشه در مقايسه با صفحه اتصال مياني قويتر انتخاب شده‌اند.

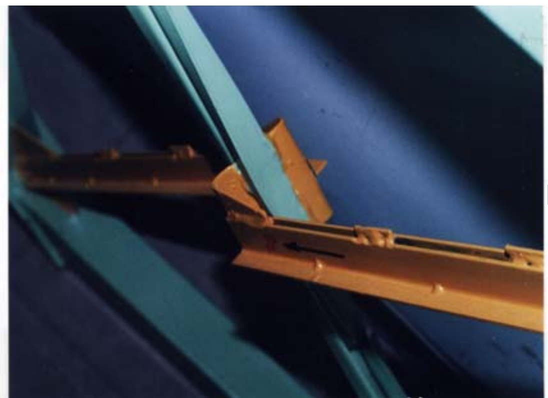
۴-۳- نتايج به دست آمده از آزمايشها

بديهي است كـه شـرايط آزمايشـگاهي با شرايط مفـروض در تئوري در خصوص ميزان گيرداري اتصالات متفاوت ميباشد ولـي به دليل اينكه اين شرايط براي همه نمـونههـا يكـسان مـي‌باشـد مـي‌تـوان بـا بررسـي و مقايـسه مدكمانـشي اعـضاي فـشاري و همچنين مقايسه ظرفيت باربري نهايي نمونههاي مورد آزمـايش، مزيت اتصالات مياني اجرا شده را نسبت به يكديگر نشان داد.

۴-۳-۱- براي وضعيتي كه عـضو پيوسـته تحـت فـشار و عـضو منقطع تحت كـشش قـرار مـي‌گيـرد، نتـايج بـه دسـت آمـده از آزمايشها تا حدود زيادي نتايج تئوري را تأييد ميكند. در تئـوري مقدار ضريب طول مؤثر براي اين وضـعيت ۰/۷۳ محاسـبه شـده است و نتايج به دست آمده از آزمايشها در حدود ۰/۶۷ مـيباشـد. علت اين اختلاف همانطوركه گفته شده گيرداري نسبي اتـصالات گوشه ميباشد كه در تئوري مفصل كامل فـرض شـده اسـت. در نمونههاي اين وضعيت، مد كمانش يافته مطابق مـد پـيش‌بينـي شده بوده و ظرفيت نهـايي در موقـع فـرو ريختگـي بـراي تمـام نمونه‌ها بين ۱۰/۸ تا ۱۱ تن از روي دستگاه قرائت شده است شكل (۸).

شكل ۸- عضو ممتد تحت فشار

۴-۳-۲- در وضعيتي كه عضو منقطع تحت فشار و عضو ممتـد تحت كشش قرار ميگيرد نتايج به دست آمده از آزمايشها با نتايج تئوري تفاوت زيادي دارد. مطابق نتايج تئوري، ضريب طول مـؤثر كمانش براي اين وضعيت كـوچكتر از وضـعيت قبلـي بـوده و در نتيجه ظرفيت باربري بزرگتري بـراي آن پيـشبينـي مـي‌شـد در صورتيكه نتايج آزمايشها در همه نمونه‌هاي اين وضعيت بارنهـايي كوچكتري را نـشان داده و عـلاوه بـر آن بـه جـاي مـد كمـانش پيش‌بيني شده، كمانش خاص عضو قطري منقطع توأم با پيچش عضو قطري ممتد رخ داده است (كمانش صلب). به ايـنصورتكـه در لحظات اوليه اعمال نيروي فشاري، صفحه اتصال ميـاني در دو طرف عضو پيوسته در دو جهت مخالف هم تغيير شكل پيدا كرده (بعد از اين مرحله ديگر امتداد نيروي فشاري از خط تقارن عـضو كششي عبور نميكند) و در نتيجه بر عضو قطري پيوسته علاوه بر نيروي كششي لنگر پيچشي هم وارد شده است. با افزايش نيروي فشاري مقدار لنگر پيچشي و نيروي كششي افزايش پيدا كرده تا اينكه سيستم بادبندي در اثر گسيختگي كششي ـ پيچشي عضـو ممتـد فرو ريختـه است در حـالي كـه دو قـسمت عـضو منقطـع صلب باقـي مانـده ولي از يك امتداد خارج شده‌اند شكل (۹).



شكل ۹- عضو منقطع تحت فشار

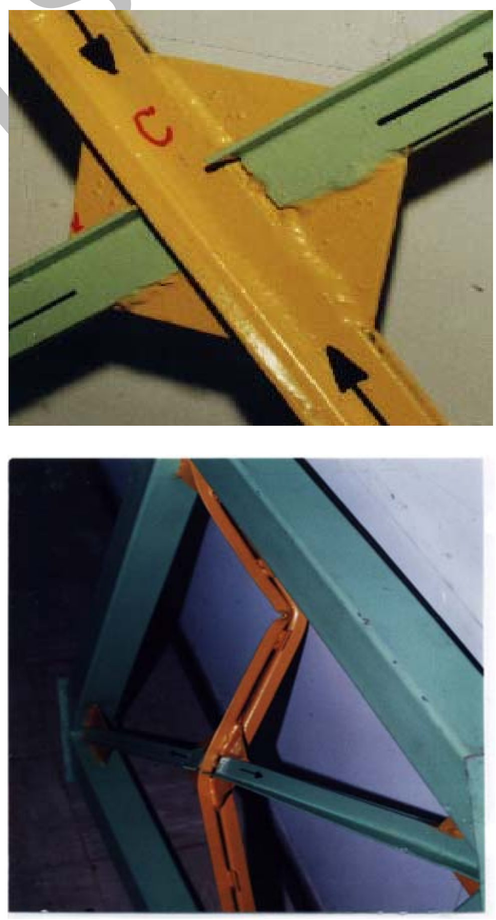
در موقع ساخت بادبنديها وقتي اعضاي قطـر منقطـع بـه صـفحه اتصال مياني جوش داده مي‌شوند به دليل مشكلات اجرايي، اغلب فاصـله‌اي بين انتهاي عضو منقطع تا لبه عضو ممتد باقي مي‌ماندكه آن فاصله را شكاف[1] مينامند. در نمونه‌هاي تهيه شده براي اين وضعيت با كـاهش انـدازه شـكاف، ظرفيـت نهـايي نمونه‌ها افزايش پيدا كرده‌است كه نشان ميدهد اندازه شـكاف بـا ظرفيت بـاربـري سيستم رابطـه معكوس دارد (بـه دليـل ايـنكـه بـا كـاهش انـدازه شـكاف مقـدار لنگـر پيچـشي وارد بـر عـضو ممتدكاهش مي‌يابد). اگر اندازه شكاف برابر صـفر باشـد بـاز هـم بازوي لنگر پيچشي صفر نخواهد شد و حداقل بازو برابر با عرض

1- gap

ساق داخل صفحه عضو ممتد میباشد به طوریکه در نمونهاي کـه با دقت زياد در حين ساخت انتهاي عضو منقطع بـه عـضو ممتـد چسبيده است باز هم پيچش عضو ممتد قابل مشاهده است.

ظرفيت باربري براي نمونه‌هاي اين وضعيت بين ۶ تـا ۱۰ تـن بسته به اندازة شكاف متغير مـي‌باشـد. بنـابراين مـيتـوان نتيجـه گرفت كه عضو منقطع فشاري در تئوري به صـورت كامـل مـدل نشده و مفروضات آن ناقص مي‌باشد.

۴-۳-۳- در وضعيت مربوط به اتصال پيشنهادي (اعضاي نيمـه پيوسته) نتايج آزمايشها در حـد مطلـوبي نتـايج تئـوري را تأئيـد مي‌كند به طوريكه عضو فشاري به ظرفيت كمانشي خود رسـيده و در طول مؤثري نزديك به نصف قطر كمانش پيـدا كـرده است



شكل (۱۰).

شكل۱۰- عضو نيمه‌پيوسته تحت فشار (اتصال پيشنهادي)

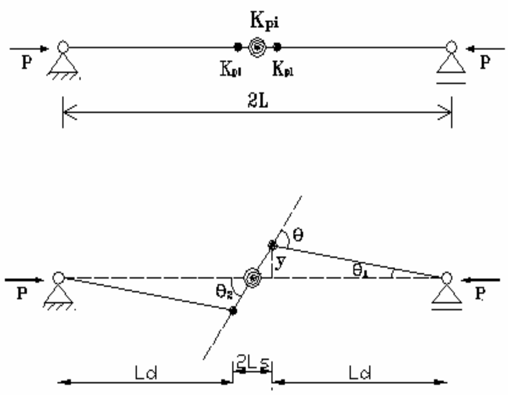
مقدار تقريبي ضريب طول مؤثر ۰/۵۲ به دست آمده است كه با مقدار تئوري آن مطابقت دارد. در آزمايشهاي اين وضعيت، ضعف پيچشي اتصال مياني مشاهده نشده است و مقدار بار نهايي وارد شده برتمامي نمونه ها در حدود ۱۱/۱ تن از روي دستگاه قرائت گرديده است.

۵- بررسي كمانش صلب عضو منقطع فشاري توأم با پيچش عضو ممتد كششي

در بررسي تئوريك مسئله در بخش ۲ با چشمپوشی از شكاف موجود فرض شده است كه دو قسمت عـضو منقطـع بـه صـورت مفصلي به هم متصل مي‌باشند. ولي بررسي نتايج آزمايشها نـشان ميدهد كه عضو فشاري منقطع دست كم از سه قـسمت تـشكيل يافته است و نبايد از عرض داخـل صـفحة عـضو ممتـد و انـدازه شكاف صرفنظر كرد چون عملاً واسطه انتقال نيروي فشاري بـين دو قسمت قطر منقطع ميباشـند. بنـابراين لازم اسـت كـه رفتـار سيستم بادبندي در اين وضـعيت بـا اضـافه كـردن حـداقل يـك پارامتر ديگر بر عضو قطري تحت فشار و تكميل فرضيات تئوري، مورد بررسي مجدد قرار گيرد.

۵-۱- رابطه بين سختي پيچشي عضو ممتد و سختي خمشي صفحه اتصال مياني با نيروي فشاري قابل تحمل

اگر نيروي فشاري معادل كمانش صلب قطر منقطع را با P_p و نيروي فشاري معادل كمانش خارج از صفحه عضو فشاري را با P_{cr} نشان دهيم مي‌توانيم اثر عضو ممتد كششي را با يك فنر دوراني پيچشي با سختي K_{pi} و صفحه اتصال را با دو فنر دوراني با سختي K_{pL} مدل نمائيم. در اينصورت مطابق شكل (۱۱) دو قسمت عضو منقطع به وسيله دو فنر خمشي به يك فنر پيچشي در وسط متصل خواهد بود و خواهيم داشت:



شكل ۱۱- مدل دقيق‌تر براي عضو منقطع تحت فشار

$$L = L_d + L_s \qquad (۱)$$

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 \qquad (۲)$$

$$L_s = gap + \frac{b}{2} \qquad (۳)$$

b عرض داخل صفحهٔ عضو ممتد میباشد.

$$\theta_1 = tg\,\theta_1 = \frac{y}{L_d} \qquad (۴)$$

$$\theta_2 = tg\,\theta_2 = \frac{y}{L_5} \qquad (۵)$$

$$\theta = y(\frac{L}{L_5 . L_d}) \qquad (۶)$$

$$P_p(2y) = (2K_{PL})\theta + K_{Pi}\theta_2 \qquad (۷)$$

$$P_p = \frac{K_{PL}.L}{L_s L_d} + \frac{K_{Pi}}{2L_s} \qquad (۸)$$

معادله (۸) نشان میدهد با افزایش سختي صفحه اتصال و سختي پیچشي عضو ممتد، نیروي فشاري قابل تحمل افزایش و با ازدیاد اندازه شکاف، کاهش مییابدکه با نتایج آزمایش مطابقت دارد. اگر مقدار سختي صفحه اتصال و سختي پیچشي عضو ممتد به اندازه کافي بزرگ باشد عضو منقطع به ظرفیت کمانشي خود ميرسد. در بادبندیهاي با اتصال رایج، سختي خمشي صفحه اتصال در مقایسه با سختي اعضاي قطري ناچیز بوده به طوري که میتوان گفت اتصال عضو منقطع به طرفین عضو ممتد مفصلي عمل ميکند. در صورتیکه براي بادبندیهاي با اتصال میاني پیشنهادي احتمال این کمانش به شدت کاهش مییابد زیرا از هر قطر یك پروفیل پیوسته بوده و سختي خمشي K_{pL} برابر مجموع سختي صفحه و یك پروفیل ميباشد و مقدار بزرگتري براي P_p به دست میآید به طوریکه $P_p > P_{cr}$ شده و کمانش خارج از صفحه روي خواهد داد.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله پایداري سیستم بادبندي ضربدري با توجه ویژه به اتصال میاني مورد بررسي تئوري و عملي قرار گرفته است و نتایج زیر حاصل شده است:

۶-۱- اتصال میاني و شیوهٔ اجراي آن بر پایداري بادبندیهاي ضربدري تأثیر ميگذارد.

۶-۲- در اتصال میاني رایج با صفحه مستطیل شکل، پدیدهٔ کمانش صلب عضو فشاري منقطع توأم با خرابي پیچشي ـ کششي عضو ممتد، محتمل میباشد. این پدیده روي پایداري و ظرفیت باربري نهایي سیستم بادبندي تأثیر ميگذارد که در مراجع و کتب به آن اشارهاي نشده است.

۶-۳- فاصله بین عضو منقطع و ممتد (شکاف) بر رفتار کمانشي عضو فشاري منقطع تأثیر ميگذارد و ظرفیت باربري بادبندي با اندازه شکاف رابطه معکوس دارد.

۶-۴- اجراي اتصال میاني نیمه پیوسته با انقطاع یك در میان اعضاي قطري و استفاده از صفحه مربع شکل باعث کاهش ضریب طول مؤثر کمانش و افزایش ظرفیت باربري سیستم میشود و با ایجاد تقارن رفتاري در برابر بارهاي رفت و برگشتي و ممانعت از کمانش صلب عضو فشاري باعث بهبود رفتار کمانشي سیستم بادبندي ميگردد. ضریب طول مؤثر در این حالت با توجه به مقادیر منطقي شکاف و نسبت نیروي کششي به فشاري از ۰/۵۲ تا ۰/۶ متغییر خواهد بود.

بنابراین استفاده از اتصال میاني نیمه پیوسته به جاي اتصال رایج به عنوان یك روش منطقي که بدون افزایش هزینه و زمان اجرا، باعث افزایش ظرفیت باربري سیستم بادبندي ضربدري و بهبود رفتار کمانشي آن ميشود، پیشنهاد ميگردد. جهت تعیین مقدار دقیق و قابل اطمینان ضریب طول مؤثر در اتصال پیشنهادي، آزمایشهاي زیادي روي نمونههایي با ابعاد واقعي لازم به نظر میرسد. خصوصاً بررسي کمانش غیر ارتجاعي ضروري میباشد چون با کاهش ضریب طول مؤثر، اعضاء بیشتر در محدوده کمانش غیر ارتجاعي قرار خواهند گرفت.

نمادها

P	بار کمانش
L	طول
b	عرض
K	سختي
y	تغيير مكان
θ	تغيير زاويه
β	سختي دوراني

مراجع

[1] DeWolf, J.T., and Pelliccione, J.F. “Cross-Bracing Design”, ASCE Engineering Structral Journal, V. 105, NO. 5, 1979. 1379-1391.

[2] Kitipornchai, S., and Finch D.L. “Stiffness Requirements For Cross Bracing”. J.Struct. Engrg., ASCE, V.112, No.12, 1986. 2702-2707.

[3] Picard, A., and Beauliue, D. “Design of Diagonal Cross Bracings. Part 1: Theoretical Study”. Engrg. J. Am. Inst. Steel Constr. V.24, No.3, 1987. 122-126.

[4] Stoman, S.H. “Stability Criteria For X-Bracing Systems. “J.Engrg. Mech., ASCE, V.114, No.8, 1988. 1426-1434.

[5] Stoman, S.H. “Effective Length Spectra For Cross Bracing”. J.Engrg. Struct., ASCE, V.115, No.12, 1989. 3112-3122.

[6] Wang, D.Q., and Boresi, A.P. “Theoretical Study Of Stability Criteria For X-Bracing Systems”. J.Engrg. Mech., ASCE, V.118, No.7, 1992. 1357-1364.

[7] Segal, F., Levy, R., and Rutenberg, A. “Design Of Imperfect Cross Bracings”. J.Engrg. Mech., ASCE, V.120, No.5, 1994. 1057-1075.

[8] Anonymous.“Detailing For Steel Construction. “AISC, 2001, 8-25 PP.

[9] Hayward, A. and Weare, F. “Steel Detailer’s Manual”, BSP Professional Books. , 1990.

[10] Davaran, Ali., “Effective Length Factor For Discontinuous X-Bracing Systems.” ASCE, Engineering Mechanics Journal, V. 127, NO. 2, February 2001. 106-112.

[۱۱] فايقي ارجمند، احد. "بررسي رفتار غير خطي و تعيين ظرفيت نهايي بادبندي ضربدري" پايانامه كارشناسي ارشد، دانشگاه تبريز، تابستان ۱۳۸۰.