بررسی آزمایشگاهی نقطه کمانش ستون و ارائه معیاری جدید در تخمین بار بحرانی ستون

سیدرضا رضائی موسوی
دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه ارومیه
E-mail : Reza.mosavi@Gmail.com
حسین شوکتی
استادیار دانشکده فنی دانشگاه ارومیه
E-mail : h.showkati@mail.urmia.ac.ir

چکیده

از جمله مهمترین عوامل در خرابی ستون‌ها، ناپایداری کمانشی آنها است. کمانش باعث ایجاد تغییر شکل‌های بزرگ در عضو و خرابی آن می‌گردد. در تعیین لحظه کمانش ستونهای واقعی می‌توان به معیاری بنام نخستین تسلیم (first yield) که در کلیه مراجع موجود است، اشاره نمود. این معیار تا حدود زیادی مسئله تعیین آستانه کمانش ستون را حل میکند، ولی نقاط ضعفی نیز دارد، که در طول مقاله به آن اشاره شده است. معیار جدیدی که در این مقاله معرفی شده و نتایج آزمایشگاهی آن درمتن آورده شده است، خالی از چنین ایراداتی بوده و روشی نوین (بخصوص برای ارزیابی نتایج آزمایشگاهی) در تخمین لحظه کمانش ستون به شمار می‌رود. در ساخت نمونه های آزمایشگاهی، از مقاطع قوطی (box) استفاده شده است. پارامتر لاغری نمونه‌های آزمایشگاهی، حتی‌الامکان متناسب با لاغری ستون‌های استفاده شده در صنعت سازه‌های فولادی در نظر گرفته شده است.

کلید واژه‌ها: کمانش‌الاستیک،کمانش غیر الاستیک، نقص هندسی، ستون قوطی شکل، معیار کمانش

۱- مقدمه

ستون، مهمترین عضو فشاری سازه است که از دیر باز تحت تحقیقات و آزمایشات فراوانی قرار گرفته است. ستونها، اعضای منتقل‌کننده بار سازه به پی محسوب می‌شوند. طبق تحقیقات و گزارشات ارائه گرفته، خرابی ساختمانها در اکثر موارد به علت فرو ریختگی و ناپایداری ستونها می‌باشد. علیرغم تحقیقات و آزمایشات صورت گرفته در رابطه با ستون‌ها، هنوز انجام تحقیقات و آزمایشات جدیدتری، ضروری است. بهینه سازی روشها و فرایندهای بکار گرفته شده در طراحی ستونها و نیز افزایش دقت موجود در محاسبهٔ پارامترهای مورد نیاز در ستونها، امری اجتناب ناپذیر است. ناپایداری کمانشی، مهمترین عامل در خرابی ستونها میباشد. کمانش باعث ایجاد تغییر شکلهای بزرگ در عضو شده و در نهایت باعث خرابی آن میگردد. میزان بار ماکزیمم ستون و نیز شکل پذیری ستون را میتوان از منحنی بار–کوتاه‌شدگی ستون بدست آورد (Brian Uy.,2001). نحوه افت منحنی بار – کوتاه شدگی ستون نیز در این حالت، نحوه خرابی ستون بعداز بار ماکزیمم را مشخص می‌کند. سقوط ناگهانی این منحنی بعد از بار ماکزیمم بیانگر خرابی ناگهانی ستون است. (Jintang Yan et al.,2002) برای یافتن نخستین لحظه‌ای که ستون به سمت کمانش، میل میکند وتغییرات عمده‌ای در جابجایی کمانشی آن رخ می‌دهد، تاکنون معیار دقیقی ارائه نشده است. عمده بحث این مقاله در رابطه با کمانش کلی ستون، تعیین معیاری بهتر در رابطه با تخمین لحظهٔ کمانش و در نهایت بررسی آزمایشگاهی چنین معیاری میباشد. در ستونهای ایده‌ال، قبل از ایجاد بار بحرانی، هیچ تغییرشکل کمانشی در عضو روی نمیدهد. در چنین ستونی، به محض رسیدن به بار بحرانی ستون کمانش کرده و با پیدایش انشعاب در مسیر تعادل ستون، تغییر شکل بزرگ و آنی در آن روی میدهد. در ستونهای دارای نقص هندسی، منحنی P-Δ، از

منحنی حالت ایده‌ال فاصله گرفته و با افزایش نقص هندسی، این فاصله بیشتر میگردد(Theodor V. Galambos.,1988). تعیین نقطهٔ کمانش ستون, به علت انحنای منحنی P-Δ، در این حالت، مشکلتر میگردد. آیین‌نامه‌ها در چنین مواردی، یک مقدار مجاز برای تغییرشکل کمانشی معرفی کرده و بار بحرانی نظیر آن را به عنوان بار بحرانی ستون در نظر میگیرند. مهمترین معیار مورد استفاده توسط آیین‌نامه‌ها، معیار نخستین تسلیم (First Yield) است. که لحظهٔ کمانش ستون را جاری شدن اولین تار در مقطع بحرانی معرفی میکند. این معیار کاملاً فیزیکی بوده و رابطهٔ مستقیم با تسلیم شدگی مادهٔ تشکیل دهنده و شکل مقطع ستون دارد. نقاط ضعف معیار تسلیم را میتوان بصورت زیر خلاصه نمود.

۱ – اگر کمانش بصورت الاستیک روی دهد، بعلت پایین بودن تنشها از حد تسلیم در تمام تارهای مقطع، نمیتوان معیار نخستین تسلیم را بکار برد.

۲ – آغاز تسلیم شدگی با جاری شدن بخشی از مقطع در آستانهٔ کمانش، دو مقولهٔ جدا از هم بوده و در نتیجه معیار تسلیم نمیتواند لحظهٔ وقوع کمانش را در ستونهای غیر الاستیک به دقت تعیین نماید. در واقع کمانش و بحث پایداری، یک مقولهٔ هندسی (تغییرشکلهای بزرگ) بوده و بررسی چنین رفتاری، با یک معیار فیزیکی (تسلیم شدگی)، تا حدودی معیار نخستین تسلیم را زیر سئوال میبرد.

۳ – در تحقیقات آزمایشگاهی تعیین دقیق تسلیم شدگی و محل آن بسیار مشکل بوده و امکان استفاده از این معیار وجود ندارد.

در تعیین آستانه کمانش، بهتر است، معیاری پایه‌ریزی و معرفی گردد که از مشکلات فوق بدور باشد. ارائهٔ معیاری که تنها اصول هندسی را در تعیین لحظهٔ کمانش بکار برد، گام مهمی در تعیین بار بحرانی ستونهای واقعی است. به نظر میرسد با ارتباط دادن لحظهٔ کمانش ستون به تغییرشکلهای هندسی آن، بتوان از اثرات فیزیکی موجود، صرفنظر نموده و لحظهٔ کمانش ستون را تنها بر پایهٔ رفتار هندسی ستون تخمین زد. چنین معیاری علی‌الخصوص، در کارهای آزمایشگاهی، قادر است نتیجه بهتری نسبت به معیار نخستین تسلیم، ارائه نماید. معیار تسلیم که ارتباط مستقیمی با تسلیم شدگی اولین تار مقطع دارد، بدلیل عدم توانایی در حدس صحیح محل این تار، در کارهای آزمایشگاهی، ممکن است خطای زیادی را برای تعیین لحظه کمانش ستون وارد مسئله نماید. ارائه معیاری با این قابلیت می‌تواند یکی از مهمترین مشکلات موجود، در تخمین لحظه کمانش ستون‌های حاوی نقص هندسی را از میان بردارد. در مقاله‌ای که در کنفرانس (ASEM) در کره جنوبی ارائه گردید، این بحث در مورد ستون‌های الاستیک توسط تحلیل‌های کامپیوتری بررسی شده (Showkat 1383) و نقطه کمانش ستون محاسبه گردید. در اثنا یک برنامه مستقل پژوهشی که بخشی از نتایج آن در این مقاله ارائه می‌شود، تحقیق آزمایشگاهی، روی ستون‌هائی با مقطع قوطی(box) صورت گرفته و منحنی‌های مربوط به آن استخراج شده است. ارائه روشی متناسب‌تر با تعریف کمانش که قادر به تخمین لحظه کمانش ستون و نیز بازگو کننده نحوه تغییرات کمانشی نمونه در حین بارگذاری باشد، در رأس مطالب این مقاله قرار میگیرد. منحنی‌های معرفی شده در این مقاله کاملا بیانگر فرم تغییر شکل هندسی نمونه بوده و رفتار کمانشی ستون را از ابتدای بارگذاری تا انتهای آن، کاملاً بازگو میکنند. بحث کمانشی در روی این منحنی‌ها، رفتار کمانشی را با تکیه بر اصل تغییر-شکل‌های بزرگ روشن میکند. منحنی‌های معیار جدید بر اساس دو پارامتر جابجایی انتهای فوقانی ستون در امتداد ستون (کوتاه شدگی) و جابجایی منطقه بحرانی ستون در امتداد عمود بر بارگذاری (جابجایی کمانشی) رسم شده و مقادیر حاصله با نمودارهای نیرو–جابجایی کمانشی مقایسه شده‌اند. این بحث و بررسی ونتیجه‌گیری کاملا مستقل از عوامل فیزیکی نظیر تسلیم-شدگی، دنبال می‌شود.

۲- تکیه‌گاههای مورد استفاده

نمونه‌ها در سه حالت "دوسرگیردار"، "یکسرمفصل‌و-یکسرگیردار" و "دوسرمفصل"، تحت آزمایش قرار گرفته‌اند. درنمونه‌های دوسر گیردار دو انتهای نمونه به ترتیب به زمین و جک بار گذاری، متصل شده و کلیه شرایط گیرداری، در دو انتهای نمونه فراهم شده است. با نصب غلطک‌هائی در انتهای متصل به جک بارگذاری، جابجائی قائم نمونه آزاد نگهداشته شده و از تغییرشکل‌های دیگر این تکیه‌گاه جلوگیری شده است. در نمونه‌های یکسرمفصل‌ویکسرگیردار نیز با توجه به شرایط جک آزمایشگاه، تکیه‌گاه‌هایی به فرم مفصلی کامل در یک جهت بر اساس پیشنهاد Estuary and Tall 1967 مطابق شکل۱:الف طراحی و به جک بارگذاری طبق (شکل۱:ب) نصب گردید. در حالت دوسر مفصلی نیز، از دو قطعه تکیه‌گاه مفصلی، در دوسر ستون استفاده شده است. در حالت دو سرمفصلی جابجایی قائم نمونه در امتداد اعمال نیرو آزاد بوده ولی از هرگونه جابجایی در دیگر جهات جلوگیری شده است.

۳- بارگذاری نمونه‌ها

بعد از نصب نمونه در محل و تأمین شرایط لازم تکیه‌گاهی، مقادیر نقص هندسی موجود در آن بدقت اندازه‌گیری شده و سپس ابزار لازم اندازه‌گیری نظیر خیزسنج‌ها و کرنش‌سنج‌ها بر روی نمونه متصل شده و به دیتالاگر وصل گردیدند. در این مرحله برای اطمینان از شرایط نمونه در داخل دستگاه تست باربرداری انجام شد. دلیل این بارگذاری اولیه، حفظ پایداری

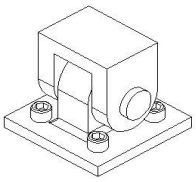
وترازمندی نمونه در شروع آزمایش بود. در این بارگذاری، قرائت تمامی دستگاه‌های سنجش به عنوان قرائت‌های اولیه ثبت میشد. در بارگذاری نهایی، اعمال بار بصورت آرام ویکنواخت انجام شد و تا مشاهده تغییر شکل کمانشی ستون ادامه یافت. روند باربرداری در مرحله آخر نیز صورت گرفت.

۴- ابزارآلات اندازه‌گیری

در حین آزمایشات از کرنش‌سنج‌هایی که با سه رشته سیم به کانال‌های دیتالاگر وصل میشود،استفاده شده است. برای اندازه‌گیری تغییر شکل‌های ستون نیز، از خیز سنج‌هایی در محل‌های مورد نیاز، استفاده شده است. خیز سنج‌ها، به ترتیب در جهت جابجائی کمانشی نقطه بحرانی ستون و جابجائی قائم انتهای فوقانی ستون نصب شده بودند. محل خیز سنج‌ها به گونه‌ای انتخاب شده بود که تنها تغییر شکل‌های مد نظر را مورد سنجش قرار دهد.

برای به حداقل رساندن اثرات احتمالی کمانش موضعی در محاسبات هر جفت خیز سنج بصورت متقابل نسبت به هم قرار گرفته بودند تا میانگین اثرات ایندو به عنوان جابجائی‌های مربوطه مورد استفاده قرار گیرد.

د: مهار فوقانی تکیه‌گاه مفصلی فوقانی



الف:شکل شماتیک تکیه‌گاه مفصلی

ب: نمونه یکسرمفصل یکسرگیردار، قبل از آزمایش

ج: نمونه یکسرمفصل یکسرگیردار، حین آزمایش

شکل ۱: آزمایش ستون یکسرمفصل یکسرگیردار و نحوه تنظیم آن در دستگاه آزمایش

۵- انتخاب نمونه‌های آزمایشگاهی

در طراحی وساخت نمونه‌های آزمایشگاهی سعی شده است،که لاغری نمونه‌ها با لاغری‌های موجود در صنعت ساختمان سازی متناسب باشد. لذا محدودیت لاغری در تهیه نمونه‌ها، مطابق جدول ۱ مدنظر قرار گرفته است. بدلیل محدودیتهای آزمایشگاهی از انتخاب طول‌های بیش از ۱۰۵ سانتیمتر اجتناب شده است. لیست نمونه‌های ساخته شده وپارامترهای مربوط به آن در جدول ۱ آورده شده است. نمونه‌ها مطابق شکل ۱:ب، از پروفیل‌های با مقطع قوطی ساخته شده که به دو انتهای آن صفحه‌ای به ابعاد $15\times15\times1(cm)$ برای اتصال به تکیه‌گاههای موجود، جوش شده است. در دو انتهای ستون وروی صفحات از لچکی‌هایی در هرامتداد مقطع برای ایجاد صلبیت بیشتر در اتصال ستون استفاده شده است

۶- تراز کردن نمونه‌ها

تراز نمونه‌ها طبق استاندارد تکنیکی شماره ۴ ستـــون‌ها (Theodore V. Galambos., 1988) و با متد هندسی تنظیم گردید. نمونه‌ها با مرجع قرار دادن خط مرکزی دستگاه آزمایش بصورتی کاملا دقیق تحت اثر بار قائم جک آزمایشگاهی تنظیم و نصب شدند.

۷- اندازه‌گیری نقص‌های هندسی اولیه

نقص‌های هندسی کلیه نمونه‌ها، در طول‌های ۵ سانتی‌متری اندازه‌گیری شده ومقادیر آن ثبت گردید.جدول ۲ نقص هندسی ماکزیمم هر نمونه را در جهت کمانشی، ارائه میکند.

جدول ۱: مشخصات نمونه‌های آزمایش شده

ردیف	نام نمونه	شرایط تکیه‌گاهی	مقطع نمونه (cm)	طول ستون (cm)	لاغری محاسباتی
۱	Box2×3(FF)	دو سرگیردار	۳/۰۸×۲/۰۵۵×۰/۲۳	۱۰۱/۶	۶۴/۳
۲	Box2×2(SF)	یکسرگیردار و یکسرمفصل	۲/۱×۲/۱×۰/۲۳	۶۵/۷	۵۹/۷۹
۳	Box4×4(SS)	دو سر مفصل	۴/۰۵×۴/۰۵×۰/۲۳	۹۰/۲۸	۵۷/۶۴
۴	Box2×3(SF)	یکسرگیردار یکسرمفصل	۳/۰۸×۲/۰۵۵×۰/۲۳	۶۸/۵	۶۰/۷

جدول ۲: مقادیر نقص هندسی ماکزیمم هر نمونه در جهت کمانشی

ردیف	نام نمونه	میزان نقص هندسی ماکزیمم(mm)
۱	Box2×3(FF)	۱/۴
۲	Box2×2(SF)	۰/۷
۳	Box4×4(SS)	۰/۹
۴	Box2×3(SF)	۰/۸

۸- هدف از آزمایشات

همانطور که قبلا نیز ذکر شد، هدف از آزمایشات که بر روی ستون‌های غیر الاستیک صورت گرفت، ارائه منحنی‌هایی در مورد ستون‌ها بود که بتواند رفتار کمانش ستون را به صورتی کاملا هندسی بیان کرده و نحوه ایجاد پدیده کمانش در ستون را مشخص نماید. تعیین منحنی‌هایی بر اساس تغییر شکل‌های ستون در حین کمانش، نسبت به معیار نخستین تسلیم، دارای مزیت‌هایی است که در مقدمه مقاله به آنها اشاره گردید. چنین منحنی‌هایی قادرند فرم شروع کمانش ستون را از ابتدای بارگذاری تا خرابی نهایی ستون، بصورتی واضح مشخص نمایند. تغییر شکل‌های مورد نظر که در حین آزمایشات ستون‌ها بطور دقیق مورد سنجش قرار گرفته و نسبت به رسم منحنی‌های مربوطه اقدام گردید، عبارت از تغییر شکل جانبی یکی از مقاطع (که در این آزمایشات محل بحرانی ستون از لحاظ کمانش بود) و تغییر شکل قائم انتهای فوقانی ستون (کوتاه شدگی) بود.

۹- نحوه قرائت داده‌های آزمایش

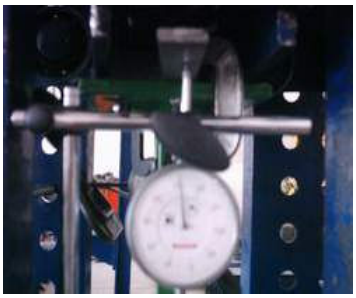
داده‌های مورد نیاز در رسم منحنی‌های مربوطه، جابجایی-های نقطه بحرانی ستون از لحاظ کمانش و نیز کاهش ارتفاع نمونه در اثر بارگذاری بود. مقادیر جابجایی کمانشی از میانگین قرائت دو خیزسنج روبروی هم در مقطع بحرانی ستون بدست آمد (شکل ۲: الف). مقدار کوتاه شدگی نیز توسط خیز سنج‌های قائم نصب شده روی انتهای فوقانی در محل اتصال به جک بار-گذاری حاصل گردید. کلیه این مقادیر مطابق شکل۲: ج، توسط دیتالاگری که به کامپیوتر وصل میشود جمع‌آوری شدند.

۱۰- منحنی‌های حاصل از آزمایشات

در شکل۳ برای هر ۴ نمونه، دیاگرامهای نیرو-جابجایی-کمانشی و جابجایی‌کمانشی-کوتاه‌شدگی رسم شده است. همانگونه که قبلاً نیز ذکر گردید، نقطه کمانش بر اساس معیار تسلیم از منحنی‌های تنش-کرنش و بر اساس پارامترهای تعیین شده توسط آئین‌نامه‌ها تا حدودی بدست می‌آید. فرم کمانش ستون و لحظه ایجاد تغییر شکل کمانشی را میتوان به طریق دقیقتری از منحنی‌های "جابجایی‌کمانشی-کوتاه‌شدگی" نیز بدست آورد که این منحنی‌های جالب از ترسیم دو جابجایی کمانشی و کوتاه شدگی نمونه‌ها در برابر هم بدست می‌آید. نقطه کمانش ستون در این منحنی، در محدوده‌ایست، که مقدار تغییر مکان کمانشی ستون، نسبت به کوتاه شدگی نمونه، بطور

ناگهانی دچار تغییرات زیادی می‌شود. طبق شکل۳، تعیین این نقطه بحرانی در بعضی نمونه‌ها، می‌تواند بسهولت انجام گیرد ولیکن در برخی دیگر، به بررسی‌های بیشتری نیاز است.

الف: نحوه اتصال خیزسنج‌های جانبی



ب: نحوه اتصال خیزسنج‌های قائم

ج: دیتالاگر

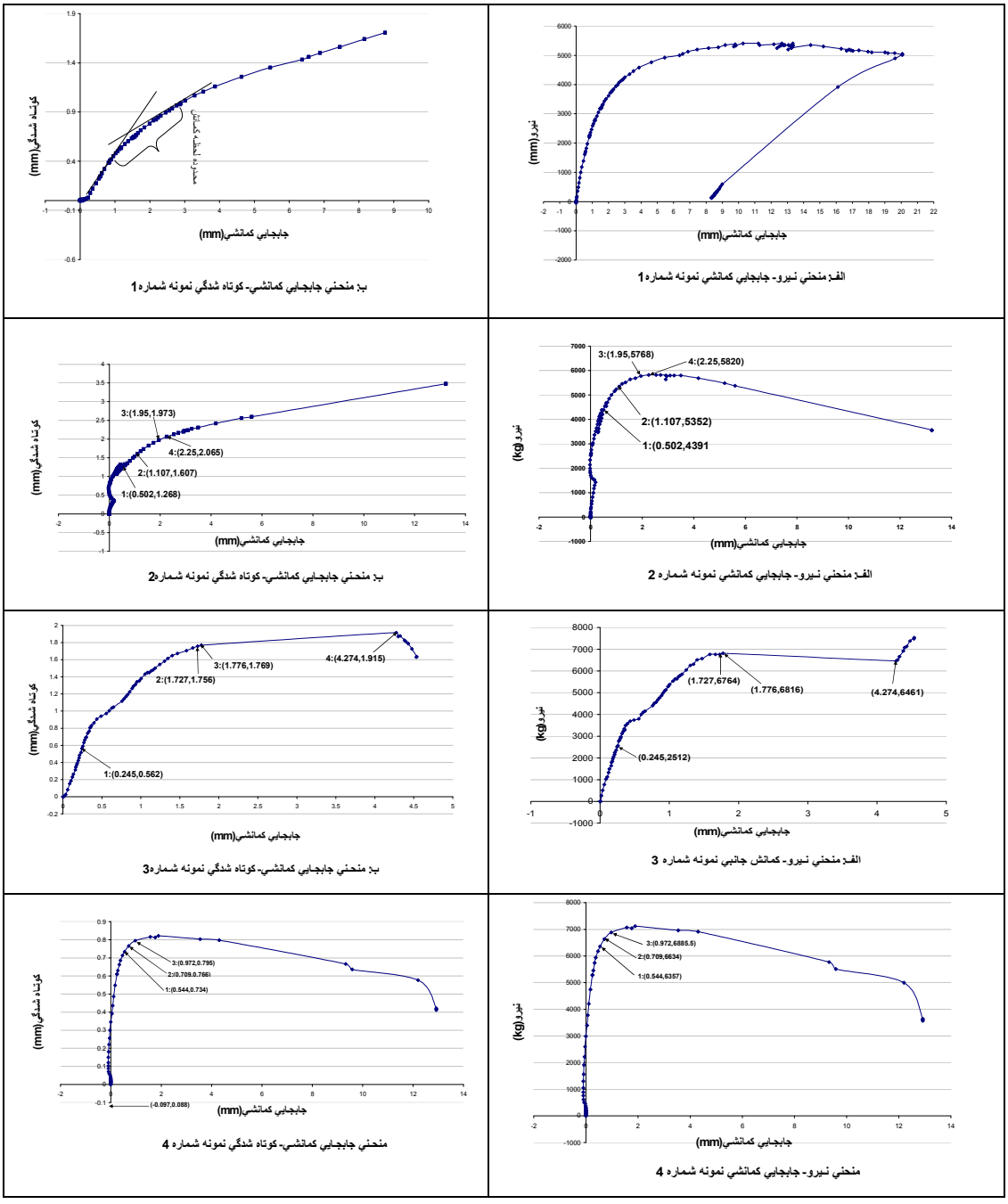
شکل۲ : مشخصات دستگاه ثبت داده‌ها

در حقیقت نقطه‌ای از نمودار جابجایی کمانشی- جابجایی قائم، که در آن رژیم تغییرات منحنی عوض می شود ، همان لحظه کمانش نمونه بوده و بار متناظر آن ، بار بحرانی کمانش ستون میباشد. منحنی در ابتدا با شیب زیادی شروع به نمو میکند که بیانگر زیادتر بودن میزان کوتاه شدگی نسبت به جابجایی کمانشی ستون است. در مرحله‌ای که ستون دچار فرایند کمانش میشود، شیب منحنی رفته رفته، عوض میشود که دلیل آن افزایش ناگهانی جابجایی کمانشی (ایجاد تغییر شکل بزرگ) در محدوده‌ای از منحنی است. تحلیل و بررسی ستون توسط منحنی‌های وابسته به تغییر شکل‌های ایجاد شده در آن، گامی مهم در تخمین آستانه کمانش و محاسبه بار بحرانی ستون می‌باشد.

۱۱- نتایج حاصل از آزمایشات

منحنی‌های شکل ۳، از نتایج آزمایشگاهی صورت گرفته بر روی مقاطع معرفی شده در جدول۱ حاصل شده است. منحنی‌های جابجایی کمانشی – کوتاه شدگی ستون‌ها رفتار هندسی ستون را بطور کاملا صریحی تبیین میکنند. این منحنی‌ها، با شیب اولیه‌ای که در آن کوتاه شدگی نمونه بیش از جابجایی کمانشی آن است شروع میشوند. با ازدیاد بار، بدلیل ازدیاد جابجایی کمانشی نمونه در فرم منحنی‌های حاصل تغییراتی واضح بچشم می‌خورد. برداشت چنین رفتاری با تکیه بر این منحنی‌ها، نسبت به روش نخستین تسلیم، میزان خطای موجود در تخمین لحظه کمانش را تا حد زیادی کاهش میدهد. منحنی‌های شکل۳، بیانگر افزایش جابجایی کمانشی نسبت به کوتاه شدگی ستون می‌باشد. استفاده از این منحنی‌ها در تحقیقات و آزمایشات ستون، فرم کمانش ستون را از شروع بارگذاری تا انتهای تغییر شکل ستون، کاملا مشخص میکند.

تعیین لحظه کمانش ستون با روشی که تنها منطبق بر اصول هندسی سازه است، تناسب بیشتری با این پدیده دارد، چرا که کمانش ستون در واقع نوعی ناپایداری هندسی (تغییر شکل بزرگ) در اثر اعمال بارگذاری فشاری در امتداد ستون است. بدیهی است معیار تسلیم شدگی و بحث ناپایداری هندسی، دو مقوله جدا از هم بوده و تعیین لحظه کمانش توسط معیاری از سنخ تسلیم شدگی، تا حدودی با تعریف پدیده کمانش منافات دارد. استفاده از معیار تسلیم در تعیین لحظه کمـــانش ستون، در ستون‌های دارای تنش پس‌ماند نیز با مشکلاتی مواجه است. تعیین نقطه‌ای از ستون‌های واقعی، که اولین تسلیم شدگی در آن روی بدهد و براورد لحظه کمانش ستون بر اساس آن، در واقع کاری غیر عملی و یا محدود به تقریب است. به همین دلیل استفاده از منحنی‌های متکی بر اصول هندسی، از چنین اثرات تقریب برانگیزی جلوگیری میکند. استفاده از این معیار جدید میتواند لحظه کمانش ستون‌های الاستیک را نیز با دقت بیشتری تعیین نماید، در صورتی که معیار تسلیم فاقد چنین قدرتی می‌باشد. بهرحال رابطه مابین جابجایی‌های ستون، همواره قادراست منحنی‌هایی مناسب در جهت بیان دقیقتر کمانش ستون (علیرغم نحوه کمانش آن) ارائه کنند.



شکل ۳: نمودارهای جابجایی کمانشی- کوتاه شدگی نمونه‌ها

۱۲- نتیجه‌گیری

بیان هرچه دقیق‌تر رفتار کمانشی ستون، علی‌الخصوص در کارهای آزمایشگاهی، یکی از مشکلات عمده محققان در زمینه سازه‌های فولادی است. ارائه منحنی‌های ذکر شده در این مقاله، که از نتایج آزمایشگاهی گسترده‌ای، انتخاب شده است، تا حد قابل قبولی قادر به رفع این مشکلات شده است. محققان عصر حاضر، با تکیه بر منحنی‌های بار-کوتاه‌شدگی، مقدار بار ماکزیمم قابل تحمل توسط ستون را بدست میاورند. فرم خرابی

ستون، بعد از کمانش نیز تا حدودی بر اساس این منحنی‌ها، قابل استنتاج است. ولی فرآیند رسیدن نمونه تا بار کمانشی همواره مورد بحث و بررسی بوده و تخمین لحظه کمانش ستون بر اساس معیار نخستین تسلیم همواره نسبت به تعریف پدیده کمانش جای شک و تردید داشته است. تخمین لحظه کمانش با منحنی‌های ذکر شده در این مقاله، روندی نوین در بحث ستون‌ها محسوب میشود. ترسیم این منحنی‌ها و بررسی تغییرات موجود مابین مقادیر دو پارامتر هندسی آن، قادر است روند کمانشی نمونه را از ابتدای بارگذاری تا خرابی کامل ستون، مشخص نماید و هرگونه فرایند غیرعادی هندسی ایجاد شده در نمونه را، حین بارگذاری کاملا مشخص نماید.

۱۳- تشکر و قدردانی

مولفین، با توجه به همکاری‌های فراوان آقای جعفرعظیم-زاده، تکنسین آزمایشگاه سازه دانشکده فنی دانشگاه ارومیه، از نامبرده قدردانی وتشکر می نمایند.

۴- مراجع

1-Brian Uy, Member, ASCE, June 2001. "Local and Postlocal Buckling of Fabricated Steel and Composite Cross Sections" Journal of Structural Engineering, Vol. 127, No. 6, pp, 666-677.

2-Estuary, F.R.,and Tall, L, (1967)."Testing Pinned-End Steel columns,"in Test Methods for compression Members,ASTM STP419, American Society for Testing and Materials,Philadelphia,Pa.

3-Jintang Yan, Ben Young, June 2002. "Column Tests of Cold-Formed Steel Channels with Complex Stiffeners" Journal of Structural Engineering, Vol. 128, No. 6, pp, 737-745.

4-Theodore V.Galambos, 1998. "Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures".

5-Pourshargh, F. Showkati, H. 2004," A New Geometric Criterion for the Buckling of Columns", (ASEM'04).

Experiment on column Buckling to Obtain a New Criterion for Predicting Critical Load

S.R.Mossavi
Postgraduati student
Reza.mosavi@Gmail.com

H.Showkati
ph.D in ciril engineering
h.showkati@mail.urmia.ac.ir

Buckling instability is the most important factor at columns failune. Icauses large deflection and mostly is analysed by first yield criterion . due fo some difficulties in application of the criterion, soecially in inelastic columns , a new method, namely geometric criterion is introduced in this paper to improve the buckling analysis of real columns. In this research project a number box-section columns are designed and tested until the buckling failure is reached. The slenderness ratios in the specimens are selected so to fit with the manufactured columns in steel structures .

Keywords: Elastic Buckling, Inelastic Buckling, Imterseetion, Box Column, Buckling Criterion.