



ارزیابی رفتار غیرخطی و میزان اتلاف انرژی تیرهای پیوند متوسط

حسین لطفی پارسا¹، مهدی علیرضایی²

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ملایر، گروه سازه، ملایر، ایران

Hosein_parsaa@yahoo.com

2- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ملایر، گروه سازه، ملایر، ایران

M.Alirezai@iiees.ac.ir

چکیده

مزیت اصلی مهاربندهای واگرا در مقایسه با مهاربندهای همگرا شکل پذیری مناسب آنها همراه با سختی می باشد. عمده مطالعات انجام گرفته بر روی تیرهای پیوند با طول کوتاه بوده است. همچنین آیین نامه AISC ضوابط کاملی درباره پیوندهای کوتاه و بلند منتشر کرده است. از جمله درباره زاویه دوران غیرارتجاعی پیوندهای کوتاه و بلند مقدار مشخصی معین است. این در حالی است که پیوندها با طول متوسط کمتر مورد بررسی قرار گرفته اند. در این تحقیق رابطه معینی برای زاویه دوران غیرارتجاعی تیر پیوند با طول متوسط تعیین شده است. برای نیل به این هدف نمونه های مختلفی با نرم افزار ANSYS مدل و تحلیل می گردند و از نتایج آن برای تعیین رابطه زاویه دوران غیرارتجاعی پیوندهای متوسط استفاده می شود. در ادامه چند پارامتر مهم در تبیین رفتار پیوندهای متوسط مورد بحث قرار می گیرد. به این صورت که مفاهیمی همچون منحنی هیستریزیس، اتلاف انرژی، میرایی ویسکوز معادل و سختی سکانتی نمونه ها با نرم افزار MATLAB با طول متوسط محاسبه می گردند.

واژه های کلیدی: مهاربند واگرا، اتلاف انرژی، میرایی معادل

1. مقدمه

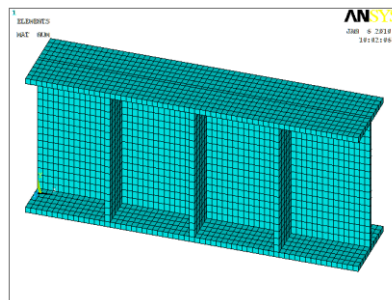
قاب های مهاربندی شده ی واگرا قاب هایی هستند که در آنها مهاربندها در هر دهانه با فاصله کمی از یکدیگر روی محور طولی تیر و یا با فاصله ی کمی از اتصال تیر به ستون به تیر متصل می شوند. در این قاب ها رفتار جانبی لرزه ای سازه ترکیبی از عملکرد خمشی - برشی تیرها و ستون های دهانه مهاربندی شده و عملکرد کششی فشاری مهاربندها می باشد. از جمله مزایای مهاربندی های واگرا داشتن شکل پذیری مناسب و سختی قابل قبول می باشد که سبب برتری آن در مقایسه با سایر سیستم های مقاوم جانبی، از جمله قاب خمشی و مهاربند هم محور می گردد [1].

رفتار مناسب مهاربندهای واگرا به عوامل بسیاری بستگی دارد. از جمله پارامترهای تأثیرگذار در رفتار این مهاربندها طول تیر پیوند می باشد. تحقیقات نشان داده اند که تیرهای پیوند برشی در مقایسه با دو نوع دیگر، دارای رفتار مناسب تری هستند. به این معنا که شکل پذیری، سختی و مقاومت بهتری از خود به نمایش می گذارند. اما در

بسیاری از موارد، دلایلی همچون محدودیت‌های معماری طراحان را به استفاده از پیوندهای متوسط و بلند نیز ترغیب می‌کنند. زیرا که استفاده از پیوندهای بلند و متوسط فضای معماری بیشتری را در اختیار معماران قرار می‌دهند. از جمله مهم‌ترین پارامترهای نشان‌دهنده رفتار سازه‌ای پیوندها، زاویه دوران غیرارتجاعی آنها است. آیین‌نامه‌های مختلف همچون AISC مقدار زاویه دوران مجاز تیر پیوند را برای پیوندهای کوتاه و بلند معین کرده‌اند [2]. میزان دوران بین تیر پیوند و تیر خارج از تیر پیوند برای جاری شدن برشی برابر $0/08$ و برای جاری شدن خمشی $0/02$ در نظر گرفته شده است. نکته مهم آنجاست که AISC رابطه‌ای مشخص برای دوران غیرارتجاعی پیوندهای متوسط ارائه نکرده است. همچنین بسیاری از خصوصیات و رفتارهای پیوندهای متوسط در مقایسه با پیوندهای کوتاه و بلند کمتر مورد تحقیق و مطالعه قرار گرفته‌اند.

2. مدل‌سازی

تحلیل غیرخطی با استفاده از نرم‌افزار Ansys انجام می‌گیرد. با توجه به ماهیت مسأله و دقت مورد نیاز آن سه المان Solid45، Shell181 و Shell281 برای مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفت که المان Shell281 به علت مشکلات عددی ایجاد شده در حین آنالیز استفاده نشد و پس از مقایسه جامع بین المان‌های Shell181 و Solid45 و مقایسه پاسخ آنها، استفاده از المان Solid45 مناسب تشخیص داده شد. این المان دارای 8 گره بوده و هر گره دارای سه درجه آزادی انتقالی می‌باشد و برای تحلیل‌های غیرخطی با تغییر شکل‌های بزرگ بسیار مناسب خواهد بود. [3]



شکل (1): نمونه‌ای از مش‌بندی مدل

مش‌بندی براساس دو معیار انجام می‌گیرد. اول آنکه مش‌بندی به نحوی باشد که مدل‌ها بیشترین تشابه را با شرایط واقعی و آزمایشگاهی داشته باشند. معیار دوم آن است که ابعاد مش‌ها باید دو پارامتر را به طور همزمان ارضاء نماید. به این معنا که ابعاد مش باید طوری انتخاب شوند که تا جایی که ممکن است کوچک باشند و در عین حال زمان انجام تحلیل نیز مناسب باشد. زیرا ابعاد مش بسیار کوچک قطعاً دقت تحلیل را افزایش می‌دهد ولی چون زمان تحلیل به طور غیرمنطقی زیاد می‌شود، این کار مناسب نخواهد بود. شرایط مرزی و بارگذاری در تیر پیوند باید به نحوی انتخاب شوند که به طور صحیحی بازتابی از شرایط واقعی سازه باشند. در این پژوهش شرایط مرزی شبیه به آنچه که ریچارد و یوانگ [4] پیشنهاد کرده‌اند انتخاب شده است. با اعمال بار عمودی در شرایط



مرزی فرض شده، در تیر پیوند نیروی برشی ثابتی و دو ممان انتهایی برابر به وجود می‌آیند و این در حالی است که هیچ نیروی محوری در تیر پیوند به وجود نمی‌آید. تنش تسلیم و مقاومت نهایی به ترتیب 2.35×10^8 و 3.62×10^8 پاسکال در نظر گرفته شده‌اند. ضریب پواسون 0.3 و مدول الاستیسیته 2.06×10^{11} پاسکال فرض شده‌اند. در این پژوهش از دو دسته تیر پیوند با جزئیات متفاوت استفاده شده است. یک دسته از IPE270 و دسته دیگر از تیر ورق ساخته شده‌اند. در مدل تیر ورق، عمق کلی 38، ضخامت جان 1، ضخامت بال 2 و عرض بال‌ها 22 سانتیمتر در نظر گرفته شده است. در این تحقیق مجموعاً 28 نمونه مدل، بارگذاری و تحلیل شده‌اند که نیمی از آنها از IPE270 و نیمی دیگر از تیرورق ساخته شده‌اند. از مجموع چهارده نمونه ساخته شده از هر نوع، چهار نمونه با طول کوتاه (برشی)، شش نمونه با طول متوسط (برشی - خمشی) و چهار نمونه با طول بلند (خمشی) مدل شده‌اند. علاوه بر پارامتر طول، عوامل دیگری نیز در ساخت مدل‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند. از جمله اینکه در چندین نمونه با طول برابر، سخت‌کننده‌ها یکطرفه و دوطرفه تعبیه شده‌اند تا تأثیر آنها نیز در نظر گرفته شود. جدول (1) مدل‌ها و مشخصات آنها را نشان می‌دهد.

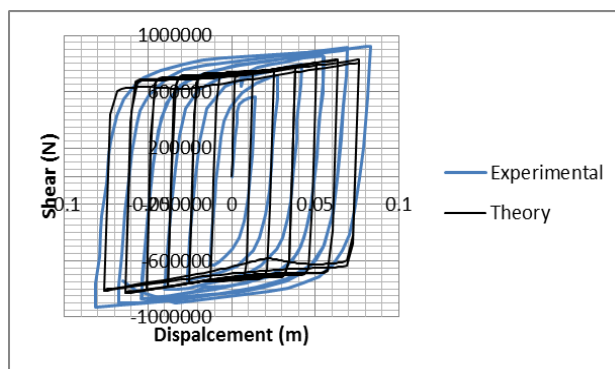
جدول (1): مشخصات کلی مدل‌های استفاده شده

NO.	Link specifications				stiffener properties		
	Name	Section	e(mm)	Vp(t)	Mp(t.m)	as(mm)	ts(mm)
1	IP60-n	IPE270	600	23.72	11.05	152.5	10
2	IP60-2n	IPE270	600	23.72	11.05	152.5	10
3	IP70-n	IPE270	700	23.72	11.05	140	10
4	IP70-2n	IPE270	700	23.72	11.05	140	10
5	IP80-2n	IPE270	800	23.72	11.05	126.7	10
6	IP80-n	IPE270	800	23.72	11.05	126.7	10
7	IP100-2n	IPE270	1000	23.72	11.05	145	10
8	IP100-n	IPE270	1000	23.72	11.05	145	10
9	IP120-2n-n	IPE270	1200	23.72	11.05	155	10
10	IP120-2n	IPE270	1200	23.72	11.05	155	10
11	IP130-2n-n	IPE270	1300	23.72	11.05	885	10
12	IP130-n-n	IPE270	1300	23.72	11.05	885	10
13	IP140-2n-n	IPE270	1400	23.72	11.05	985	10
14	IP140-n-n	IPE270	1400	23.72	11.05	985	10

15	BU135-2n	built-up	1350	48.96	44.95	226.67	10
16	BU135-n	built-up	1350	48.96	44.95	226.67	10
17	Bu145-2n	built-up	1450	48.96	44.95	208.5	10
18	BU145-n	built-up	1450	48.96	44.95	208.5	10
19	BU160-2n-n	built-up	1600	48.96	44.95	232.5	10
20	BU160-n-n	built-up	1600	48.96	44.95	232.5	10
21	BU190-2n-n	built-up	1900	48.96	44.95	205	10
22	BU190-n	built-up	1900	48.96	44.95	205	10
23	BU230-2n-n	built-up	2300	48.96	44.95	232.85	10
24	BU230-n	built-up	2300	48.96	44.95	232.85	10
25	BU240-2n-n	built-up	2400	48.96	44.95	1730	10
26	BU240-n	built-up	2400	48.96	44.95	1730	10
27	BU250-2n-n	built-up	2500	48.96	44.95	1830	10
28	BU250-n	built-up	2500	48.96	44.95	1830	10

3. صحت سنجی نتایج

برای تحقیق در صحت و درستی پروسه مدل سازی، ابتدا باید درستی مدل سازی و تحلیل نرم افزار مورد تأیید قرار گیرد. برای این هدف یک نمونه تیر پیوند با مشخصات آزمایشات انجام گرفته توسط پوپوف و همکاران ساخته شد. [5]



شکل (2): صحت سنجی نتایج

منحنی هیستریزیس نمونه ساخته شد با مورد نظیر آزمایش مقایسه شد که انطباق مناسبی بین نتایج مشاهده شد.

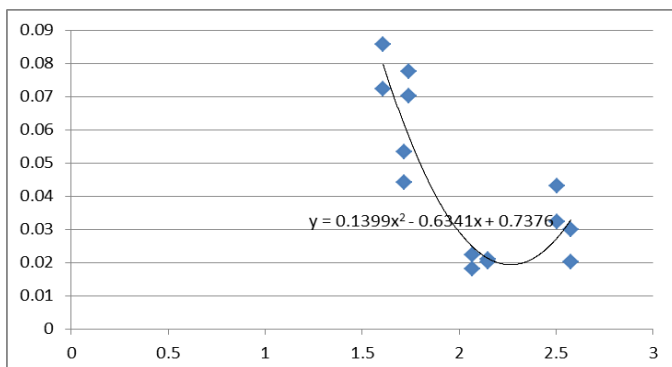
4. میزان دوران غیرارتجاعی، اتلاف انرژی نمونه‌ها و نتیجه گیری

در این پژوهش 12 نمونه برشی-خمشی یعنی با طول متوسط مدل و تحلیل گردیده است. هدف از این تحلیل حصول به یک رابطه برای زاویه دوران تیرهای پیوندی است که رفتاری برشی-خمشی دارند. برای نیل به این هدف ابتدا هر دوازده نمونه تحلیل شدند و نتایج آنها استخراج گردید. جدول شماره 2 مشخصات این نمونه‌ها به همراه نتایجی که برای به دست آوردن رابطه مذکور نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در این مرحله 2 نمونه کمکی نیز مدل و تحلیل شدند. (نمونه های 29 و 30) دلیل این کار بیشتر شدن نمونه‌ها و افزایش دقت در بدست آوردن رابطه است.

جدول (1): مشخصات و نتایج تحلیل نمونه های برشی-خمشی

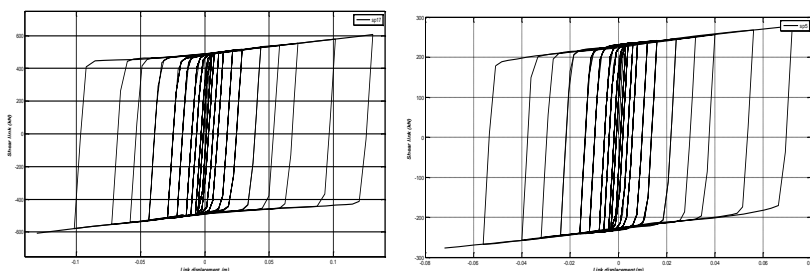
شماره نمونه	e(m)	DMX(m)	دوران(rad)	$\frac{e \times V_p}{M_p}$
5	0.8	0.024141	0.03017625	1.717
6	0.8	0.038571	0.04821375	1.717
7	1	0.02103	0.02103	2.1466
8	1	0.020073	0.020073	2.1466
9	1.2	0.036036	0.03003	2.57592
10	1.2	0.0243	0.02025	2.57592
19	1.6	0.124139	0.077586875	1.742
20	1.6	0.112381	0.070238125	1.742
21	1.9	0.038078	0.020041053	2.069
22	1.9	0.038381	0.020200526	2.069
23	2.3	0.115192	0.050083478	2.505
24	2.3	0.09256	0.040243478	2.505
29	0.75	0.06425	0.085666667	1.6095
30	0.75	0.054265	0.072353333	1.6095

در جدول مذکور DMX حداکثر جابه جایی نمونه‌ها هستند زمانی که تغییر شکل در آنان اتفاق افتاده است و دوران هر نمونه از تقسیم DMX بر طول هر نمونه به دست می‌آید. بعد از یافتن DMX که منوط به قضاوت مهندسی در نرم افزار ANSYS است، دوران هر نمونه را می‌یابیم. دوران هر نمونه در برابر پارامتر بدون واحد $\frac{e \times V_p}{M_p}$ رسم می‌شود. بعد از اینکه تمامی نقاط مشخص گردیدند با درونیایی خطی که تمام نقاط را ارضا نماید معادله خط استخراج می‌گردد. خصوصیت مهمی که رفتار تیرهای پیوند را تبیین می‌کند، انرژی مستهلک شده توسط تیر پیوند است. به این معنا که هر قدر توانایی تیر پیوند در استهلاک انرژی بالاتر باشد، به همان مقدار تیر پیوند کارایی بهتری دارد [5]. در تحقیق حاضر، بررسی این خصوصیت با چند پارامتر انجام می‌گردد که بررسی منحنی هیستریزیس، میرایی ویسکوز معادل از جمله آنان هستند. به جهت تحلیل نمونه‌ها، هر یک از آنها تحت بارگذاری رفت و برگشت، مطابق با پروتکل AISC قرار گرفتند.



شکل (3): زاویه دوران تیرهای پیوند متوسط تحلیل شده

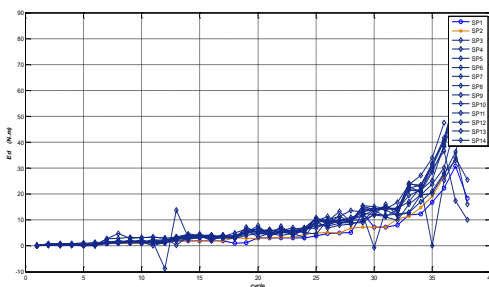
بدلیل اختصار و نیز به خاطر اهمیت و تمرکز موضوع پژوهش بر روی پیوندهای متوسط، فقط منحنی هیستریزس نمونه های با طول متوسط ساخته شده از IPE و نیز تیوروق مورد بررسی قرار می گیرند. دو نمونه از منحنی های هیستریزس نمونه شماره 5 و 17 در شکل 4 نمایش داده شده است.



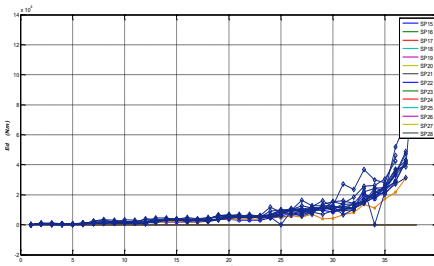
شکل (4): منحنی هیستریزس دو عدد از نمونه های مدل شده (نمونه شماره 5 و 17)

نمونه های ساخته شده از IPE و با طول متوسط، دارای رفتار برشی - خمشی هستند. طول این نمونه ها در محدوده طول های برشی و خمشی قرار دارد و بالطبع رفتار در چنین محدوده ای، اندرکنشی بین برش و خمش خواهد بود (نمونه شماره 5 تا 10). شش نمونه با طول متوسط ساخته شده از IPE270، مدلسازی، بارگذاری و تحلیل شده اند. نمودارهای چاق و کامل همچنان نشان دهنده ی رفتار مناسب آنها در برابر بارگذاری هستند. نمونه های شماره 6 و 8 دارای سخت کننده یکطرفه هستند. همین نمونه ها با دوطرفه شدن سخت کننده ها، نمونه های شماره 5 و 7 هستند. آنچه از مقایسه این نمونه ها با هم به دست می آید تاثیر بسیار ناچیز یکطرفه و دو طرفه کردن سخت کننده های میانی است. زیرا که سطح زیر منحنی هیستریزس با دوطرفه کردن سخت کننده ها افزایش بسیار ناچیزی دارد. از طرف دیگر در مدل کردن نمونه های 9 و 10 تغییراتی اعمال شده است. به این معنا که نمونه 10 دارای سخت کننده میانی دوطرفه و نمونه شماره 9 علاوه بر سخت کننده میانی دارای سخت کننده

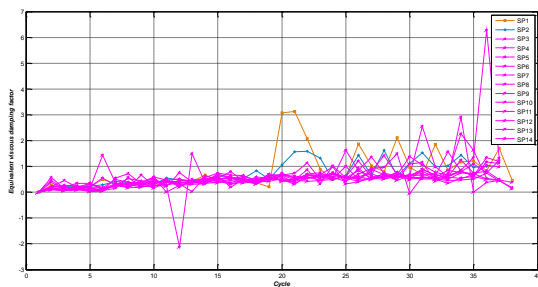
انتهایی هم هستند. آنچه از منحنی هیستریزیس این دو نمونه هویدا است آنست که نمونه‌ی شماره 9 اتلاف انرژی بهتری دارد. نکته قابل تامل دیگر آن است که در این شش نمونه به تدریج با افزایش طول تیر پیوند منحنی هیستریزیس لاغر می‌شود. در ساخت مدل های تیرورق همچون مدل های ساخته شده از IPE شش نمونه با طول متوسط در نظر گرفته شده اند (نمونه های شماره 19 تا 24). دو نمونه اول دارای سخت کننده انتهایی نیز هستند. بدین صورت که نمونه شماره 19 دارای سخت کننده میانی دوطرفه به همراه سخت کننده انتهایی و نمونه شماره 20 دارای سخت کننده میانی یکطرفه همراه با سخت کننده انتهایی هستند. منحنی هیستریزیس این دو نمونه رفتار مناسبی را نشان می‌دهند. زیرا علاوه بر آنکه طول این دو نمونه خمشی - برشی در نزدیکی تیرهای پیوند با طول کوتاه است، تعبیه سخت کننده‌های زیاد آنها را مستحکم کرده است. چهار نمونه دیگر یعنی نمونه های 21 تا 24 به صورت دیگر سخت شده‌اند. به این ترتیب که نمونه های 21 و 23 همزمان دارای سخت کننده میانی دو طرفه و انتهایی هستند درحالیکه نمونه های 22 و 24 فقط با سخت کننده میانی یکطرفه سخت شده اند. منحنی‌های هیستریزیس نشان می‌دهند تاثیر طول تیر پیوند بیشتر از چگونگی تعبیه سخت کننده‌ها است. به این معنا که بزرگتر بودن سطح زیر منحنی دو نمونه با طول کوتاهتر از دو نمونه با طول بلندتر، فارغ از نوع و چگونگی جایگذاری سخت کننده‌ها، مشهود است. مقایسه نمونه های 21 و 23 با 22 و 24 نیز نشان‌دهنده‌ی رفتار تا حد بسیار زیادی مشابه آنها در تحمل تغییر شکل های بزرگ است. میرایی یک سازه واقعی معمولا به روش خیلی ایده آلی در نظر گرفته می‌شود. این ایده آل سازی میرایی ویسکوز معادل نامیده می‌شود [6]. در شکل‌های زیر میرایی ویسکوز معادل دو گروه نمونه های IPE و تیرورق با نرم افزار MATLAB رسم و با هم مقایسه شده‌اند.



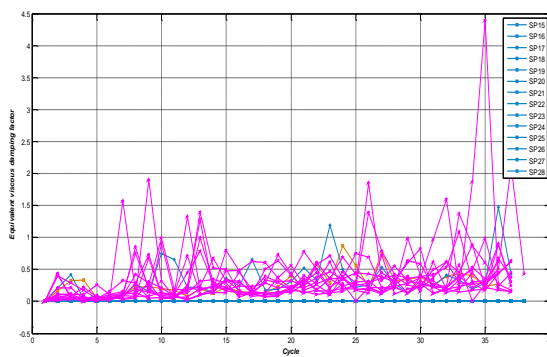
شکل (5): منحنی انرژی مستهلک شده (Ed) نمونه اول در هر سیکل



شکل (6): منحنی انرژی مستهلک شده (Ed) نمونه دوم در هر سیکل

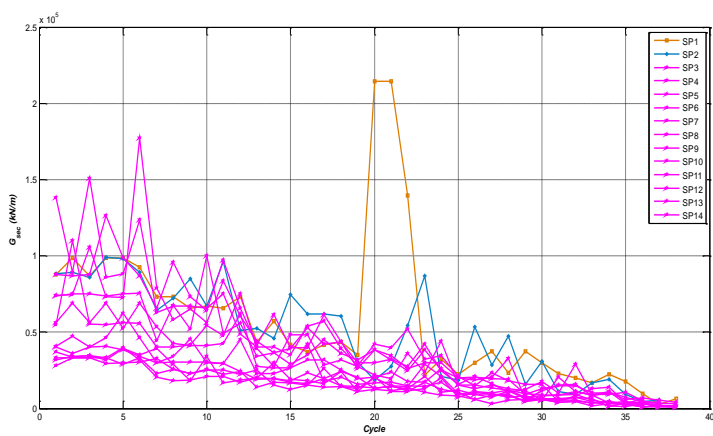


شکل (7): میرایی ویسکوز معادل 14 نمونه IPE

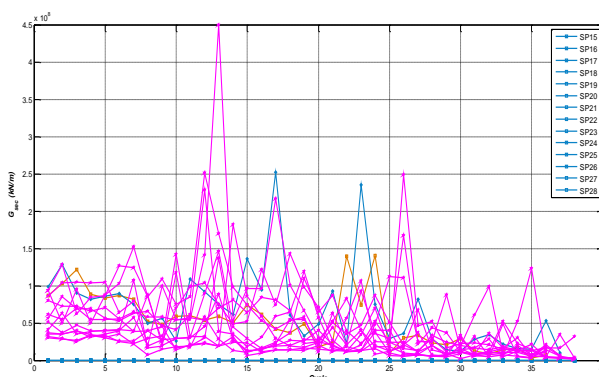


شکل (8): منحنی میرایی ویسکوز معادل 14 نمونه تیرورق

. همچنین در ادامه سختی سکانتی نمونه‌ها با هم مقایسه شده است.



شکل (9): سختی سکانتی 14 نمونه IPE



شکل (10): سختی سکانتی 14 نمونه تیرورق

آنچه از مقایسه این دو منحنی مشخص می شود آنست که میرایی ویسکوز معادل در نمونه های ساخته شده از IPE به وضوح بیشتر از نمونه های تیرورق است. از طرف دیگر آهنگ افزایش شیب نمودار شکل اول متناسب تر و با پرش های کمتر نسبت به شکل دوم است. بالاتر بودن میرایی ویسکوز معادل در یک دسته تیر پیوند به معنای رفتار متناسب تر آنها است.

9. مراجع

- [1] 1- آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله: استاندارد 2800 ایران (ویرایش سوم)، 1384، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
- [2] 2- AISC, (2005), "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel in Construction," Chicago, IL.
- [3] 3-ANSYS Users manual. S.I. :Swanson Analysis Systems, 1992.
- [4] 4-Richards, P and Uang, C.M. Evaluation of rotation capacity of links in eccentrically braced frames. Department of structural engineering, University of California, *san diego. California :s.n.,2002,Report No,SSRP-2002/18.*
- [5] 5- Hjelmstad, K.D and Popov, E.p. Seismic behavior of active link beams in Eccentrically braced frames.; *Earthquake Engineering Research Center, July 1983.*
- [6] 6-Chopra A. K. (1995): Dynamics of structures, *Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.*