

ارزیابی آسیب پذیری سازه فلزی قاب خمشی به روش تحلیل دینامیکی غیر خطی

بهروز عسگریان، استادیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران^۱

غلامحسین ادبی فیروزجائی، کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران^۲

^۱ asgarian@kntu.ac.ir

^۲ gh.adabi@gmail.com

چکیده:

در این مقاله به ارزیابی ساختمانهای فلزی با سیستم قاب خمشی طراحی شده بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ ایران ویرایش اول پرداخته شده است. روش ارزیابی تحلیل دینامیکی غیر خطی میباشد و ضمن آن عملکرد سیستم های طراحی شده در دو حالت ایمنی جانی و آستانه فرو ریزش مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به تحلیل های انجام شده میتوان اینگونه اظهار نظر نمود که فرضیات طراحی لرزه ای در بسیاری موارد تحت سطح خطر یک با سطح عملکرد ایمنی جانی برای اعضای تیر و ستون جوابگوی نیاز های طرح می باشد و با احتیاط می توان گفت سازه طراحی شده سطح عملکرد ایمنی جانی را تحت سطح خطر یک جوابگوست. همچنین ارزیابی این سری از سازه ها برای سطح عملکرد آستانه فرو ریزش تحت زلزله سطح خطر دو نشان می دهد که تقریباً در هیچ موردی تحت این سطح خطر سطح، عملکرد مورد نظر برآورده نمی گردد

۱- مقدمه

در حال حاضر، فلسفه کلی طراحی مقاوم لرزه ای برای سازه های معمول که در اکثر آیین نامه های طراحی لرزه ای به آن اشاره می شود و در سطح جهانی پذیرفته شده است به صورت زیر بیان می شود [2]:

- سازه، زمین لرزه های کوچک و خفیف را بدون خسارت سازه های و غیر سازه ای پشت سر بگذارد.
- سازه، زمین لرزه های متوسط را بدون خسارت سازه ای و همراه با خسارت غیر سازه ای پشت سر بگذارد.
- سازه زمین لرزه های شدید را بدون فرو ریزش پشت سر بگذارد.

با وجود اینکه تمامی آیین نامه ها به طور ضمنی اهداف فوق را دنبال می کنند. با این پیش فرض می باشند که همه اهداف طراحی لرزه ای با طراحی در سطح عملکرد بدست خواهد آمد ولی تجربه هایی که بعد از زلزله های اخیر بدست آمد نشان داد که ساختمانهای طراحی شده با استفاده از آیین نامه ها در بعضی از موارد نتوانست هدف تعیین شده را ارضاء نمایند. به منظور جبران این کاستیها، انجمن مهندسی سازه کالیفرنیا (SEAOC) سعی در بیان چارچوب جامعی برای آیین نامه های زلزله نموده است و قبل از آن نیز

در نیوزیلند این چارچوب تحت عنوان طراحی سازه بر پایه عملکرد (PBD¹) کلیه دستورالعملهای ضروری آیین نامه ها را در بر می گیرد [3].

مطالعات و تحقیقات گذشته نشان می دهند که تعداد سطوح عملکرد لرزه ای بر حسب ریسک وقوع زلزله و رفتار مورد انتظار از سازه، متعدد می باشند. به همین دلیل هر سطح عملکرد شامل میزان خسارت مورد انتظار وارده به سازه و شدت تحریکات وارده و احتمال وقوع آنها در نظر گرفته می شود. سپس با توجه به هر یک از سطوح تعریف شده، می توان سازه را برای اهداف مختلف، طراحی نموده و عملکرد آنها را ارزیابی نمود.

۲- معرفی مدل‌های مورد مطالعه

با توجه باینکه طراحی لرزه ای در خیلی از کشورها دستخوش تغییر و تحولات زیادی شده است و با توجه به بحث طرح لرزه ای بر اساس عملکرد بررسی و ارزیابی آسیب پذیری ساختمانهای طراحی شده بر طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش اول و مقایسه آن با خواسته های ضوابط جدید حائز اهمیت می باشد. به همین منظور در این قسمت قابهای مختلف فلزی با کار بری مسکونی واقع در شهر تهران با سیستم مقاوم قاب خمشی مورد بررسی قرار گرفته اند. پارامتر در نظر گرفته شده در اینجا تعداد طبقات و تعداد دهانه می باشند که ارتفاع کلیه طبقات در اینجا سه متر و طول دهانه نیز پنج متر در نظر گرفته شده است. در ضمن تعداد طبقات به صورت چهار، شش، هشت، ده و تعداد دهانه به صورت سه و چهار و پنج متغیر می باشند.

در طراحی اعضاء با فرض پلان و ارتفاع منظم برای سازه بر اساس ویرایش اول از روش استاتیکی استفاده می شود و در نظر گرفته می شود که قابها به فاصله شش متر از یکدیگر قرار گرفته اند. نیروی زلزله مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش اول یعنی شتاب مبنای طرح $A=0.35$ زمین نوع سه ($T_0=0.5$) و ضریب رفتار $R=6$ و ضریب اهمیت ساختمان $I=1$ در نظر گرفته شده است و در طراحی از فولاد St-37 استفاده شده است که در آن تنش تسلیم $F_y=2400 \text{ kg/cm}^2$ و مدول ارتجاعی $E = 2.1 \text{ E}6 \text{ kg/cm}^2$ در نظر گرفته شده است. همچنین در طراحی از روش تنش مجاز مطابق با مبحث ده مقررات ملی ساختمان ایران عمل شده است.

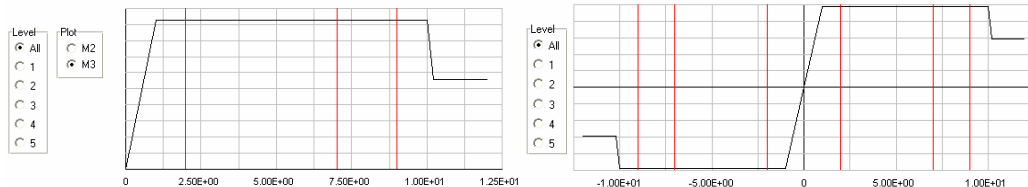
۳- مدلسازی جهت تعیین آسیب پذیری لرزه ای

از آنجائیکه آسیب پذیری معمولاً در منطقه پلاستیک و در محدوده رفتار غیرخطی رخ خواهد داد نیاز به مدلسازی و بررسی رفتار غیرخطی حائز اهمیت می گردد. در این مقاله از نرم افزار RAM-Perform استفاده گردید.

در تلاش کنترل شونده توسط تغییر شکل که رفتار غیر الاستیک انتظار می رود، کفایت عضو با شکل پذیری آن مشخص می شود و جهت تعیین سطح عملکرد اعضا و در نهایت سطح عملکرد کل سازه لازم

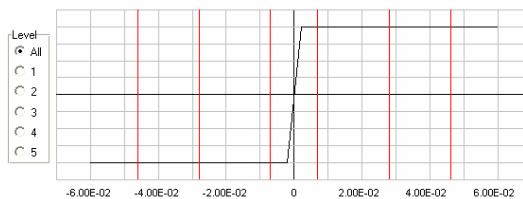
¹ Performance Based Design

می باشد که معیار های کمی پذیرش برای اجزای مختلف تعریف گردد. معیارهای کمی پذیرش برای مفاصل پلاستیک مدل شده بصورت حداکثر ظرفیت تغییر شکل دورانی در سطوح مختلف عملکرد می باشد. مدل رفتاری تعریف شده برای هر یک از اعضا برای نمونه در شکل های (۱) و (۲) و (۳) آمده است. در این نمودارها محور قائم بسته به رفتار کنترل کننده عضو، لنگر یا نیروی محوری و محور افقی چرخش یا تغییر شکل محوری می باشد.



شکل ۲- مدل رفتاری نمونه ای از عضو ستون

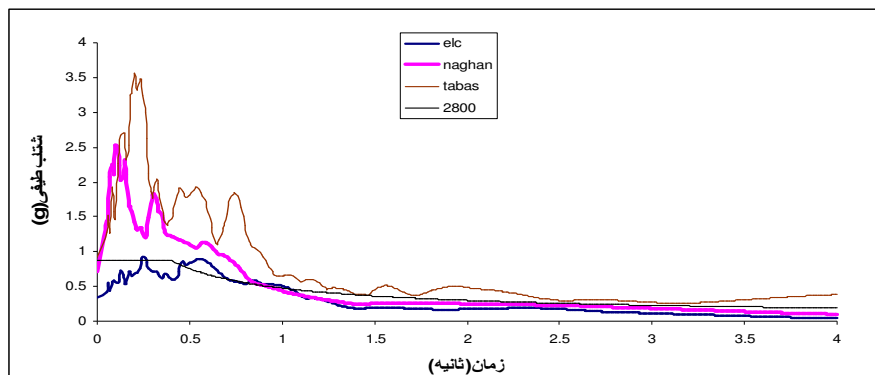
شکل ۱- مدل رفتاری نمونه ای از عضو تیر



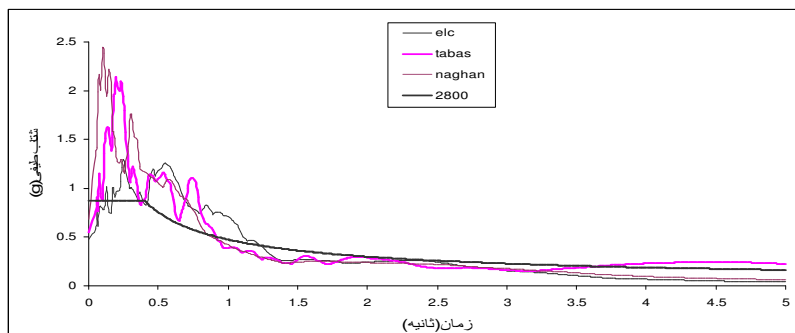
شکل ۳- مدل رفتاری نمونه ای از چشمه اتصال

۴- تحلیل دینامیکی غیرخطی مدلها

برای تحلیل سازه های مورد نظر از سه رکورد ناغان، طبس و السنترو استفاده گردیده است. مساله قابل توجه در اینجا این است که شتاب نگاشت های انتخابی باید به مقیاس درآید تا طیف پاسخ آن با طیف طرح سازگار باشد. با نوعی متوسط گیری از نسبت های بین طیف های پاسخ و طیف هدف در محدوده زمان های تناوب بین مورد نیاز در فواصل زمانی ۰/۱ ثانیه و پس از متوسط گیری از آنها نهایتاً ضرایب مقیاس برای هر شتابنگاشت مطابق جدول (۲) و (۳) در آمده است. در ضمن نتایج برای مدل شش طبقه قبل و بعد از نرمالیزه در شکل ۴ و ۵ آمده است.



شکل ۴- طیفهای شتاب مربوط به رکوردهای مورد نظر قبل از اصلاح کردن برای مدل های شش طبقه



شکل ۵- طیفهای شتاب مربوط به رکوردهای مورد نظر بعد از اصلاح کردن مدل‌های شش طبقه

جدول ۲- ضرایب بدست آمده از روش دوم اصلاح کردن رکوردها برای مدلها برای سطح خطر ۱

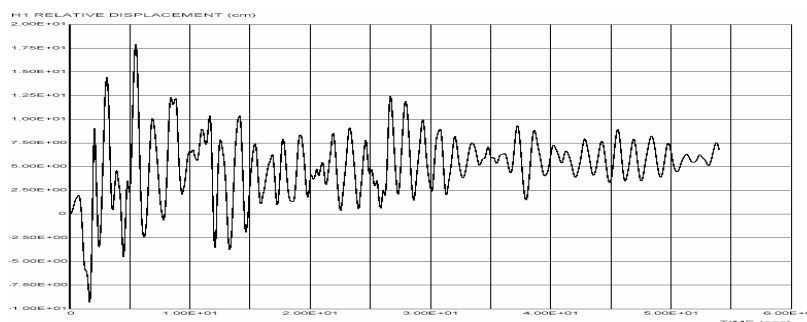
	ضرایب بدست آمده			ضرایب بدست آمده		
	ELCENTRO	TABAS	NAGHAN	ELCENTRO	TABAS	NAGHAN
M-4	1.37	.62	1	.477	.578	.722
M-6	1.39	.62	1	.484	.578	.722
M-8	1.42	.624	1.03	.494	.582	.744
M-10	1.42	.63	1.04	.494	.588	.75
M-12	1.44	.647	1.04	.501	.604	.75

جدول ۳- ضرایب بدست آمده از روش دوم اصلاح کردن رکوردها برای مدلها برای سطح خطر ۲

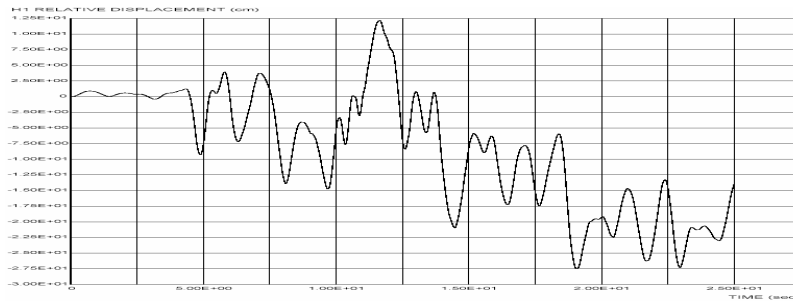
	ضرایب بدست آمده			ضرایب بدست آمده		
	ELCENTRO	TABAS	NAGHAN	ELCENTRO	TABAS	NAGHAN
M-4	1.95	0.88	1.42	0.68	0.82	1.02
M-6	1.98	0.89	1.43	0.69	0.83	1.03
M-8	2.01	0.89	1.45	0.7	0.83	1.05
M-10	2.02	0.89	1.46	0.7	0.83	1.05
M-12	2.03	0.89	1.48	0.71	0.83	1.07

۵- ارزیابی مدلها برای سطح خطر ۱

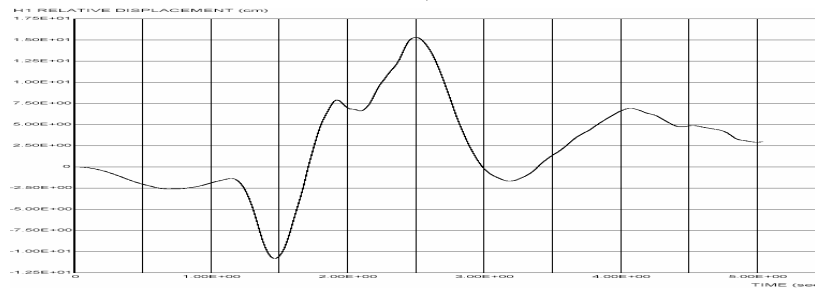
همانطور که انتظار می‌رفت و نتایج آنالیز نشان داد، رفتار غالب سازه‌ها تحت رکوردهای مختلف وارد مرحله غیر خطی شده است. پاسخ تغییر شکل متناظر با تغییر مکان نقطه بام به عنوان نمونه در شکل‌های (۶)، (۷)، (۸) نشان داده شده است.



شکل ۶- نمودار تغییر مکان نقطه بام در مدل M-3-4 تحت رکورد استرو



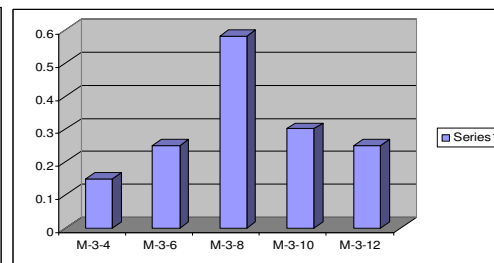
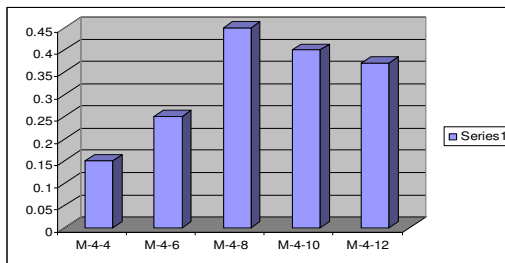
شکل ۷- نمودار تغییر مکان نقطه بام در مدل M-3-4 تحت رکوردطیس



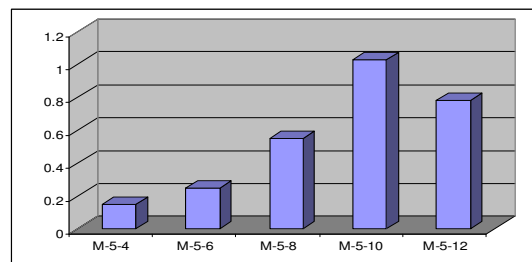
شکل ۸- نمودار تغییر مکان نقطه بام در مدل M-3-4 تحت رکوردناغان

۵-۱- ارزیابی تیرها

با توجه به اینکه عملکرد خمشی در تیرها بر مبنای رفتار کنترل شونده توسط تغییر شکل می باشد. لذا با توجه به نتایج حاصل از تحلیل مشاهده گردید که ماکزیمم DCR فقط در مدل ساختمان ده طبقه، پنج دهانه به مقدار ۱/۱۲ رسیده و در بقیه مدلها عدد کوچکتر از یک می باشد. مشاهده گردید که تیرها تقریباً دارای سطح عملکرد مطلوب تحت سطح خطر مورد نظر می باشند. نمودار میله ای DCR مربوط به هر مدل در بحرانی ترین وضعیت تیرها در سطح عملکرد ایمنی جان تحت سطح خطر یک در نمودارهای (۹)، (۱۰) و (۱۱) آورده شده است.

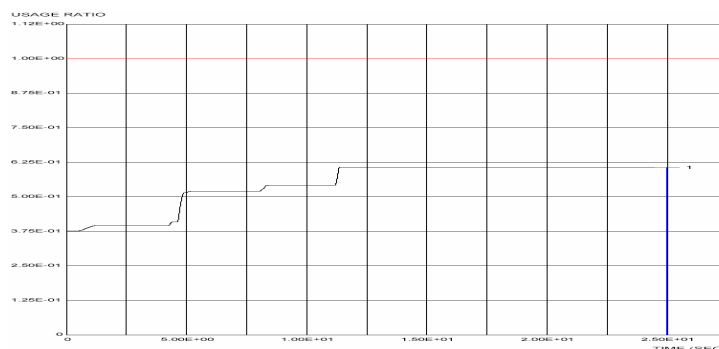


شکل ۹ و ۱۰- میزان حداکثر DCR در تیرهای مدل سه و چهار دهانه در آنالیز دینامیکی در بهسازی مبناء



شکل ۱۱- میزان حداکثر DCR در تیرهای مدل پنج دهانه در آنالیز دینامیکی در بهسازی مبناء

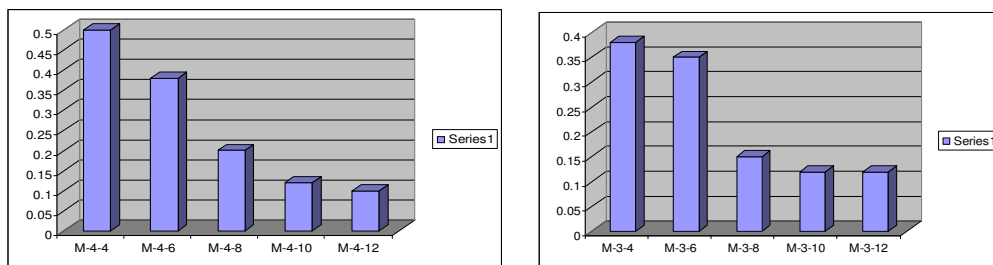
برای عملکرد برشی تیرها نیز با رفتار کنترل شونده توسط نیرو نتایج در بحرانی ترین حالتها برای مدل‌های سه ، چهار و پنج دهانه در شکل (۱۲) آمده است. با توجه به این اشکال مشاهده می گردد که مقدار بحرانی برش در بدترین حالت به ۰,۶ رسیده است.



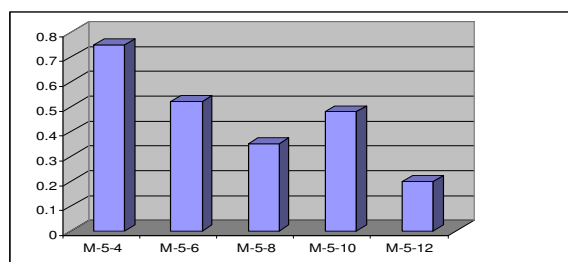
شکل ۱۲- نمودار DCR برش تیرها در بحرانی ترین حالات در مدل‌های پنج دهانه تحت رکورد طبس

۲-۵- ارزیابی ستونها

با توجه به نتایج حاصله در مورد ستونها نیز مشاهده گردید، که بیشترین DCR خمشی ستونها با تحلیل دینامیکی در حدود ۰,۷۵ می باشد و این نیز نشان می دهد که ستونها نیز سطح عملکرد مورد نظر را تحت سطح خطر مورد نظر بر آورده می سازند.



شکل ۱۳ و ۱۴- میزان حداکثر DCR در ستونهای مدل سه و چهار دهانه در آنالیز دینامیکی در بهسازی مبناء

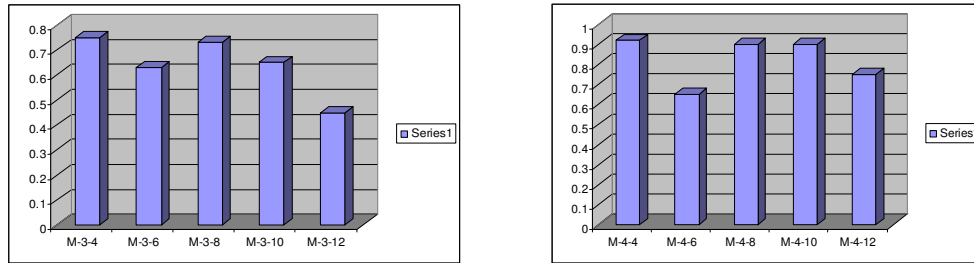


شکل ۱۵- میزان حداکثر DCR در ستونهای مدل پنج دهانه در آنالیز دینامیکی در بهسازی مبناء

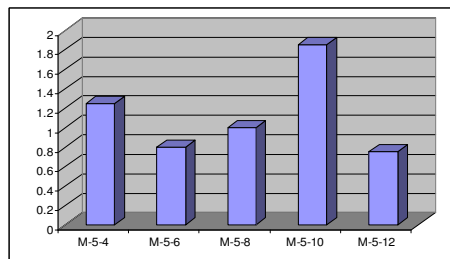
۳-۵- ارزیابی چشمه اتصال

با توجه به اینکه چشمه اتصال کنترل شونده توسط تغییر شکل برشی در این ناحیه می باشد، نتایج حاصل از تحلیل انجام شده برای چشمه اتصال نشان می دهد که DCR برای مدل‌های سه و چهار دهانه جواب داده است و برای مدل پنج دهانه در آنالیز دینامیکی در یک مورد از یک تجاوز نموده است و به حدود ۱,۸۵ رسیده است. که البته با کنترل انجام شده مشخص شد که فقط در دو نمونه چشمه اتصال مدل ده

طبقه نسبت DCR از یک تجاوز نموده است که با در نظر گرفتن رفتار این دو مورد با کنترل شونده توسط نیرو نتایج به حدود ۱,۱۴ رسیده است.



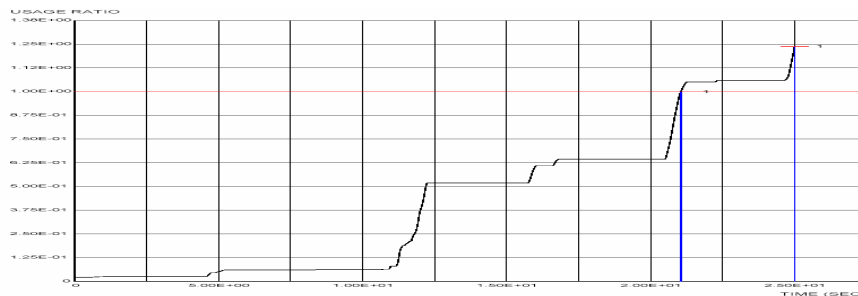
شکل ۱۶ و ۱۷- میزان حداکثر DCR در چشمه اتصال مدل های سه و چهار دهانه در بهسازی مبناء



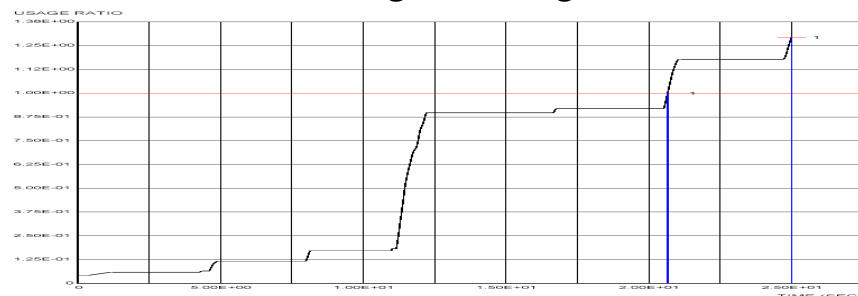
شکل ۱۸- میزان حداکثر DCR در چشمه اتصال مدل های پنج دهانه در بهسازی مبناء

۶- ارزیابی مدلها برای سطح خطر ۲

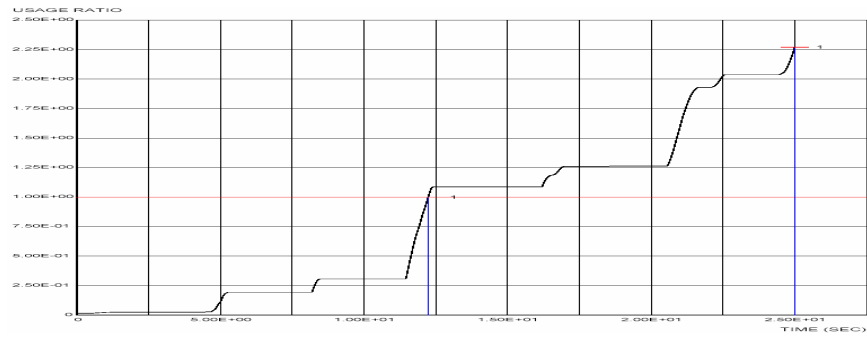
با توجه به اینکه یکی دیگر از اهداف آیین نامه ۲۸۰۰ رفتار قابل قبول سازه (سطح عملکرد آستانه فروریزش) برای سطح خطر دو می باشد، این موضوع در اینجا مورد بررسی قرار گرفت که نتایج برای مدل M-5-12 در اشکال (۲۲)، (۲۳) و (۲۴) آورده شده است. همانطور که ملاحظه می گردد مدل مورد بررسی تحت سطح خطر دو، جوابگوی نیاز نمی باشد. برای بقیه مدلها نیز این موضوع مورد بررسی قرار گرفت که می توان گفت تقریباً در همه مدلها وضعیت به همین صورت بوده است.



شکل ۲۲- نمودار DCR تحت سطح خطر دو برای سطح عملکرد CP در ستون های مدل M-5-12



شکل ۲۳- نمودار DCR تحت سطح خطر دو برای سطح عملکرد CP در تیر های مدل M-5-12



شکل ۲۴- نمودار DCR تحت سطح خردو برای سطح عملکرد CP در چشمه اتصال مدل M-5-12

۸- نتیجه گیری

با توجه به نتایج مشاهده شده برای اعضای مختلف این چنین به نظر می رسد که فرضیات طراحی لرزه ای در بسیاری موارد تحت سطح خطر یک با سطح عملکرد ایمنی جانی برای اعضای تیر و ستون جوابگوی نیاز های طرح می باشد. چنانچه این سری از سازه ها را، با ضوابط جدید آیین نامه بهسازی مورد کنترل قرار دهیم تقریباً در همه سازه ها، شکل پذیری موضعی خوبی در اعضای تیر و ستون در محدوده عملکرد ایمنی جانی وجود دارد. کنترل برش در ناحیه چشمه اتصال هم بیانگر بر تقریباً جوابگو بودن این ناحیه می باشد، که در صورتیکه از ناحیه اتصال مشکل خاصی نداشته باشد، با احتیاط می توان گفت سازه طراحی شده سطح عملکرد ایمنی جانی را تحت سطح خطر یک جوابگوست. همچنین ارزیابی این سری از سازه ها برای سطح عملکرد آستانه فروریزش تحت زلزله سطح خطر دو نشان می دهد که تقریباً در هیچ موردی تحت این سطح خطر سطح، عملکرد مورد نظر برآورده نمی گردد.

۹- مراجع

- [1] - Federal Emergency Management Agency, Nehr Guidelines for the Sismic Rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency, Report no. 273,274,356,357
- [2]-Bertero, V.V.(1996). "The Need for multi-level seismic design criteria". Proc. 7th Wcee., Acapulco, Mexico.
- [3]- SEAOC(1995), Vision 2000 performance Based Seismic Engineering of building, "structural Engineering Association of California".
- [4]-Federal Emergency Agency, (1999). "Seismic Evaluation and Upgrade Criteria for Existing Welded Moment Resisting Frame Structures", SAC Joint Ventur, acramen to , California, Jan.
- [5]- دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود - پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (خرداد ۱۳۸۱).

سختی‌های موثر الاستیک سازه‌ای در تیرهای لانه‌زنبوری

امید کهنه‌پوشی، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه ارومیه

حسین شوکتی، استادیار، عضو هیئت علمی گروه عمران، دانشگاه ارومیه*

تلفن: ۳-۲۷۷۷۰۴۰-۰۴۴۱، شماره ۲۲-۲۷۷۷۰۴۱-۰۴۴۱، پست الکترونیکی: h.showkati@urmia.ac.ir

چکیده

بررسی و تعیین سختی‌های معادل سازه‌ای در تیرهای لانه‌زنبوری مورد نیاز همه طراحان و محققان در مطالعه رفتار این سازه‌ها می‌باشد. به دلیل استفاده زیاد این نوع تیرها در صنعت سازه‌های فولادی و هندسه خاص آنها و نیز تأثیرات قابل توجه بازشوها در رفتار تیر، تعیین سختیهای موثر سازه‌ای در این تیرها نیازمند یک مطالعه و تحقیق جدی است. در مقاله حاضر سختیهای موثر خمشی حول هر دو محور قوی و ضعیف، سختی کششی (سطح مقطع موثر تیر)، ضریب برش و سختیهای پیچشی سن ونان و اعوجاجی محاسبه گردیدند. بدین منظور با استفاده از یک برنامه معتبر المان محدود مدل‌های مختلف تیرهای لانه‌زنبوری از نوع CPE مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای محاسبه سختی خمشی، مدلها تحت اثر خمش خالص مورد تحلیل قرار گرفته اند تا تأثیر تغییر شکل‌های برشی در آنها به حداقل برسد. محاسبه ضریب پیچشی [بکمک تحلیلهای غیر خطی هندسی انجام گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده از این مقاله معلوم گشت که این تیرها حول محور قوی بیشتر از ۹۶ درصد ظرفیت خمشی مقطع با جان پر را دارا هستند و این نشاتگر عملکرد بسیار خوب این تیرها در برابر خمش غیر کماتشی است. اثر سوراخها در عملکرد خمشی حول محور ضعیف کاملاً قابل اغماض می‌باشد. اما در برابر برش تغییرشکل‌های بزرگتری از خود نشان داده و معلوم گشت که عملکرد کاملاً ضعیفی دارند. سختی پیچشی سن ونان در تیرهای لانه‌زنبوری بدلیل تأثیر سوراخهای متناوب در جان دارای مقدار متغیر است و با نسبت دهانه به ارتفاع رابطه دارد.

کلید واژه‌ها: تیر لانه‌زنبوری، سختی خمشی، سختی کششی، ضریب برش، ضریب پیچشی، سختی الاستیک، سازه فولادی،

۱- مقدمه و هدف

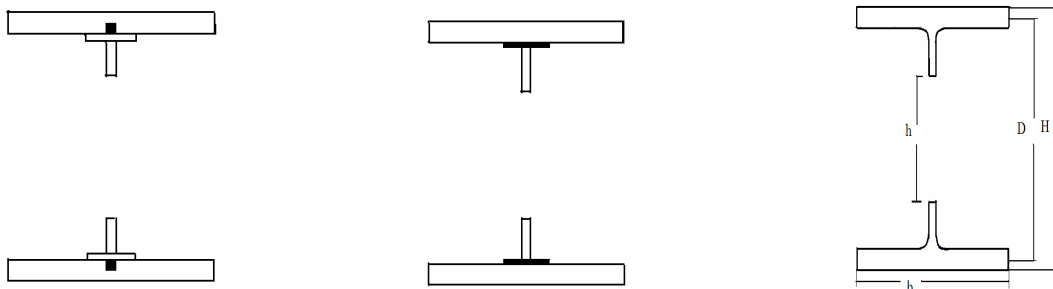
در ساخت وسازه‌های فولادی برای تامین ظرفیت خمشی بزرگتر برای تیرها نیمرخهای لانه‌زنبوری به کار می‌رود تیرهای لانه‌زنبوری علاوه بر کاهش وزن سازه، با عبور دادن لوله‌های تاسیسات از داخل فضاها ایجاد شده در جان به کاهش ضخامت کفها کمک می‌کنند. در طرح و تحلیل تیرهای لانه‌زنبوری دسترسی به مقادیر دقیق سختی‌های سازه‌ای این تیرها از اولویت خاصی برخوردار می‌باشد، که به علت وجود سوراخهای جان این توابع دارای مقادیر ثابتی در طول نیمرخ نمی‌باشند. در رابطه با این تیرها در زمینه‌های گوناگون تحقیقاتی انجام گرفته که از جمله تحقیقات بلا دجت [۱]، تحقیقات ردوود [۲، ۳]، ندرکات و کردال [۴]، چانگ [۵] و شوکتی [۶، ۷] و بسیاری از تحقیقات دیگر را می‌توان نام برد. اما بررسی و تعیین سختی‌های موثر سازه‌ای این تیرها از جمله کارهای مهمی است که تاکنون هیچگونه گزارشی در این باره منتشر نشده است. در مقاله حاضر سعی بر آن شده که با استفاده از یک برنامه قوی المان محدود، به بررسی این موضوع پرداخته شود. بدین منظور بکمک نرم

افزار ANSYS5.4 سختی های موثر خمشی تیر حول هر دو محور، سختی موثر کششی، سختی موثر برشی و به بیانی ضریب موثر برش و سختی موثر پیچشی در این تیرها بدست می آیند. در بدست آوردن سختی های سازه ای از اندرکنش تیرها با دیگر اعضاء سازه ای نظیر ستونها صرف نظر شده و منحصراً تیرهای منفرد مورد کاوش قرار گرفته اند. ده شماره پروفیل CPE10 تا CPE30 با ۴ یا ۵ طول مختلف برای هر نیمرخ مورد ارزیابی قرار گرفتند. در بدست آوردن سختی پیچشی از روش تحلیل غیر خطی و برای بدست آوردن بقیه سختیها از تحلیلهای خطی استفاده شد. از انواع بارگذاریهای خمش خالص، گسترده، متمرکز و کشش خالص در بدست آوردن سختیها استفاده شده است.

۲- مدلسازی و تحلیل

۲-۱- مدل اجزاء محدود

در این تحقیق از المان SHELL181 نرم افزار ANSYS که المان چهارگره ای و با ۶ درجه آزادی در هر گره است استفاده شده است. انتخاب شبکه بندی المانها با مقایسه نتایج حاصل از تحلیل یک تیر IPE صورت گرفت. بدین ترتیب که تیر IPE در جهات مختلف تحت بارگذاری خمش خالص قرار گرفت و جوابهای تغییر مکان حاصل از تحلیل با جوابهای موجود مقایسه و حداکثر ابعاد لازم المانها انتخاب شدند، طوری که خطای تحلیل از ۱ درصد کمتر باشد. رفتار مصالح تحت تنش تک محوری به صورت دو خطی سخت شونده فرض شده است. مشخصات مصالح به کار رفته عبارت است از: مدول الاستیسیته برابر $2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ، مدول مماسی مساوی 700 N/mm^2 ، ضریب پواسون برابر 0.3 و تنش حد تسلیم فولاد نیز مساوی 240 N/mm^2 . با المان صفحه ای نمی توان انحنای اتصال بال به جان تیرها را مدل کرد. برای رفع این نقص از یک صفحه معادل با مساحتی برابر مساحت دو قسمت انحنا استفاده شده است. با انجام این عمل تقریب بسیار خوبی برای انحناها بدست می آید. در شکل (۱-الف) نیمرخ واقعی مقطع و شکل (۱-ب) نحوه مدل کردن مقطع نشان داده شده است. با این نوع مدل کردن باید در نظر داشت که قسمتی به ارتفاع نصف بال $(t_f/2)$ و عرض جان (t_w) در محل تقاطع بال با جان دوبار در تحلیلهای در نظر گرفته می شود که در استخراج نتایج این نکته در نظر گرفته شده و هر جا لازم باشد تصحیحات لازم انجام گرفته است. در شکل (۱-ج) مقدار این اضافه سطح به صورت پررنگ نشان داده شده است. برای کاهش خطا مقداری از طول دو انتهای تیر تقریباً به اندازه ۲ تا ۳ سوراخ از جان بدون سوراخ در نظر گرفته شد.



شکل (۱-الف): شکل واقعی مقطع شکل (۱-ب): نحوه مدل کردن مقطع شکل (۱-ج): اضافه سطح ساخت مدل

۳- تحلیل سختیهای موثر الاستیک

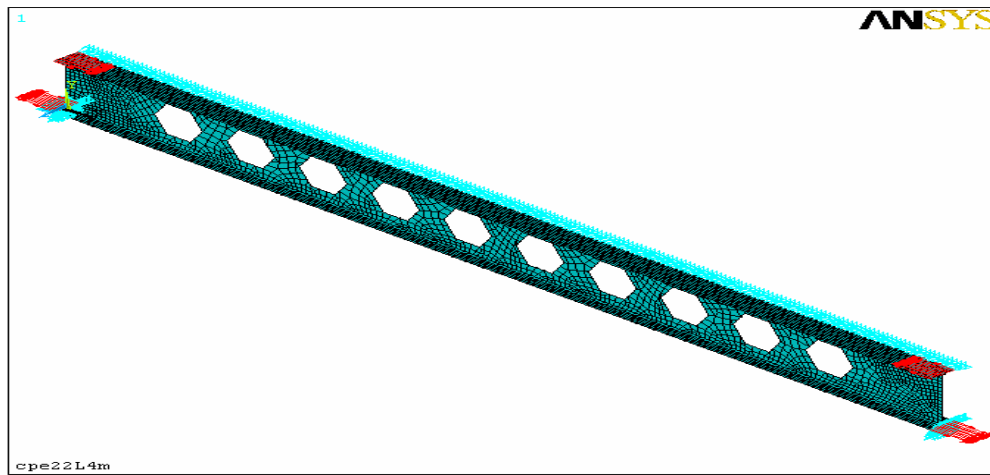
۳-۱- ممان اینرسی موثر حول محور قوی (I_{ze}) و ضعیف (I_{ye})

در این حالت تیرها با دو نوع قید تکیه گاهی دوسرمفصل و طره در نظر گرفته شدند. به منظور جلوگیری اثر تغییرشکل‌های برشی بارگذاری به صورت خمش خالص و با اعمال کوپل نیرو به بالهای فوقانی و تحتانی تیر [۶] انجام گرفت. در شکل ۲ خمش خالص حول محور قوی تیر نشان داده شده است. در تیرهای دوسرمفصل تغییرشکل در گره‌های وسط تیر و در تیرهای طره تغییر مکان انتهایی آزاد تیر از نرم افزار بدست آمد. و با استفاده از روابط ۱ و ۲ زیرمان اینرسیها حول هر دو محور محاسبه شدند [۸].

بایستی حول محور قوی تصحیح مربوط به اضافه سطح ساخت مدل مربوط به شکل (۱-ج) انجام گیرد. حول محور ضعیف این تصحیح انجام نخواهد گرفت، زیرا که مقدار تصحیح این ممان اینرسی حول محور ضعیف قابل اغماض است.

$$\delta = \frac{ML^2}{8EI} \rightarrow I_z = \frac{ML^2}{8E\delta} \quad (1) \quad \text{در تیر دوسرمفصل}$$

$$\delta = \frac{ML^2}{2EI} \rightarrow I_z = \frac{ML^2}{2E\delta} \quad (2) \quad \text{و در تیر طره}$$



شکل ۲: شرایط تکیه گاهی و نحوه بارگذاری خمش خالص حول محور قوی تیر دوسرمفصل

۳-۳- سطح مقطع موثر (A_e)

برای ارزیابی سختی کششی تیرها به صورت طره انتخاب شدند، و تحت کشش خالص قرار گرفتند، بدین منظور بار ثابتی بین گره‌های بالهای فوقانی و تحتانی توزیع شد. با انجام تحلیلهای خطی تغییرمکانهای محوری وسط تیر طره از نرم افزار به دست آمده و با طول مربوطه ارزیابی شد. و با توجه به رابطه ۳ سطح مقطع موثر تیر لانه زنبوری به دست می آید. در اینجا نیز اثر اضافه سطحهای در نظر گرفته شده در ساخت مدل در نظر گرفته شد.

$$\delta = \frac{PL}{A_e E} \rightarrow A_e = \frac{PL}{\delta E} \quad (3)$$

۳-۴- ضریب برش موثر (α_{se})

صلبیت برشی با رابطه $\frac{GA}{\alpha_s}$ بیان می‌شود [۸]، که در آن α_s همان ضریب برش می‌باشد. با توجه به ثابت بودن G و محاسبه A_e در قسمت قبلی برای بیان صلبیت برشی، محاسبه ضریب برش کافی می‌باشد. اثر تغییر شکل‌های برشی توسط ضریب برش در روابط بار تغییر مکان تاثیر گذار خواهد بود. پس تیرها به صورت دو سر مفصل در نظر گرفته شدند، و بارهای متمرکز به مقدار ثابت در وسط تیر و بار گسترده با شدت ثابت بر تیرها وارد شدند. تغییر مکانهای وسط تیر از نرم افزار استخراج گردید و با استفاده از روابط (۴) و (۵) مقادیر α_s محاسبه شد [۸].

$$\delta = \frac{5wL^4}{384EI_z} \left(1 + \frac{48EI_z\alpha_s}{5GA_eL^2} \right) \rightarrow \alpha_s = \frac{8GA_eL^2}{EI_z} \left(\frac{EI_z\delta}{wL^4} - \frac{5}{384} \right) \quad (۴)$$

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI_z} \left(1 + \frac{12EI_z\alpha_s}{GA_eL^2} \right) \rightarrow \alpha_s = \frac{4GA_eL^2}{12EI_z} \left(\frac{EI_z\delta}{PL^3} - \frac{1}{48} \right) \quad (۵)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{2 \cdot 1 \times 10^5}{2(1+\nu)} = 807692.3 \text{ N/mm}^2 \text{ می‌باشد.}$$

۳-۵- پیچش سن و نان و اعوجاجی

سختیهای پیچشی سن و نان و اعوجاجی به کمک توابع J و C_w بیان می‌شود که برای نیمرخهای I شکل دارای مقادیر زیر

$$J = \sum \frac{bt^3}{3} \quad (۷) \quad , \quad C_w = \frac{t_f \cdot b_f^3 \cdot h^2}{24} = \frac{I_y \cdot h^2}{4} \quad (۶) \quad \text{هستند [۹].}$$

که: t_f ضخامت بال، b_f عرض بال، و h فاصله مرکز تا مرکز بالها، b عرض هر کدام از قطعات بال و جان و t ضخامت آنها می‌باشد. چنانچه ملاحظه میشود در رابطه C_w جان تیر نقش قابل توجهی ندارد پس میتوان رابطه عمومی نیمرخهای I شکل را برای مقاطع لانه زنبوری پذیرفت. در بدست آوردن ضریب J به روش عددی از تحلیلهای غیرخطی استفاده شد. بارهای کمناشی نمونه‌های دو سر مفصل که تحت خمش خالص قرار داشتند از نرم افزار بدست آمد. سپس با استفاده از رابطه (۸) ضرایب پیچشی سن و نان بدست آمد [۱۰]. این رابطه در صورتی قابل قبول است که کمناش نمونه‌ها در ناحیه الاستیک باشد. بدین منظور بایستی $L_r > L_b$ باشد که L_b دهانه بدون مهار تیر و L_r حد فاصل کمناش الاستیک و غیرالاستیک است [۹]. مقادیر L_r برای تیرهای لانه زنبوری توسط شوکتی [۷] محاسبه شده است.

$$M_{cr} = \left(\frac{\pi^4 \cdot E \cdot I_y \cdot E \cdot C_w}{L^4} + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y \cdot G \cdot J}{L^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (۸)$$

۴: ارزیابی و مقایسه نتایج

سختی‌های موثر سازه‌ای بدست آمده از نرم افزار با سختی‌های حداقل و حداکثر مربوط به جان پر و سوراخدار و تیرهای IPE مبنای ارزیابی می‌گردند.

۴-۱- ارزیابی نتایج مربوط به ممان اینرسی حول محور قوی (I_{ze}) و ضعیف (I_{ye})

در جدول ۱ نمونه نتایج ممان اینرسی موثر حول محور قوی و ضعیف بدست آمده از نرم افزار و نسبت‌های آنها به ممان اینرسی - های حداقل و حداکثر تیرهای لانه زنبوری و تیرهای IPE داده شده است. با میانگین گیری از کل داده‌های موجود معلوم شد که ممان اینرسی موثر حول محور قوی نسبت به ممان اینرسی حداکثر تیر لانه زنبوری برابر ۰/۹۶۴ می‌باشد. ممان اینرسی موثر

حول محور قوی ۴/۲۸٪ از ممان اینرسی حداقل بیشتر است. نسبت ممان اینرسی موثر حول محور قوی به ممان اینرسی نیمرخ IPE مبنا برابر ۲/۴۳۷ می‌باشد. نتایج فوق بیانگر عملکرد بسیارخوب این تیرها در خمش غیر کمانشی می‌باشد. مقادیر ممان اینرسی حول محور ضعیف با حداکثر مقادیر خود در قسمت جان پر تفاوت اندکی دارند. البته در این تحقیق به منظور بررسی کامل سختی‌های سازه‌ای این ممان اینرسی‌ها هم بدست آمدند. این تیرها با نیمرخهای IPE مبنا مقایسه شده‌اند. از جدول ۱ مشاهده می‌شود که نسبت‌های ممان اینرسی حول محور ضعیف تیرهای CPE و IPE مبنا تقریباً یکسان می‌باشند.

جدول ۱: ممان اینرسی‌های موثر، حداقل و حداکثر تیرهای لانه‌زنبوری و تیرهای IPE مبنا

	ممان اینرسی موثر حول محور قوی $I_{Ze} \left(\frac{mm^4}{10^6} \right)$	ممان اینرسی حداقل به حداکثر $\frac{I_{Z \min}}{I_{Z \max}}$	ممان اینرسی موثر به حداکثر $\frac{I_{Ze}}{I_{Z \max}}$	ممان اینرسی موثر به حداقل $\frac{I_{Ze}}{I_{Z \min}}$	ممان اینرسی موثر به ممان اینرسی IPE مبدل $\frac{I_{Ze}}{I_{Z.IPE}}$	ممان اینرسی موثر حول محور ضعیف $I_{Ye} \left(\frac{mm^4}{10^6} \right)$	ممان اینرسی موثر به ممان اینرسی IPE مبدل CPE $\left(\frac{I_{Ye}}{I_{Y.IPE}} \right)$
CPE10	۴/۲۱	۰/۹۲۲	۰/۹۶۳	۱/۰۴۴۵	۲/۴۶۲	۰/۱۵۹۴	۱/۰۰۲۵
CPE14	۱۳/۲۲۳	۰/۹۲۷	۰/۹۶۵	۱/۰۴۱۲	۲/۴۴۴	۰/۴۴۷۵	۰/۹۹۶۷
CPE18	۳۲/۰۹۲	۰/۹۲۲	۰/۹۶۴	۱/۰۴۵۳	۲/۴۳۱	۱/۰۰۳	۰/۹۹۳۰
CPE22	۶۷/۳۲۳	۰/۹۲۴	۰/۹۶۳	۱/۰۴۲۲	۲/۴۳۰	۲/۰۴۲	۰/۹۹۶۱
CPE30	۲۰۲/۲۵۲	۰/۹۲۴	۰/۹۶۳	۱/۰۴۲۰	۲/۴۲۰	۶/۰۲۱	۰/۹۹۶۹

۴-۲- ارزیابی نتایج مربوط به سطح مقطع موثر

در جدول ۲ مقادیر سطح مقطع موثر تیر لانه‌زنبوری و نیز نسبت‌های آنها از برای چند نمونه نمونه داده شده است. با میانگین‌گیری از مقادیر کامل نتایج معلوم شد که نسبت سطح مقطع موثر به حداکثر آن برابر ۰/۷۶۷ می‌باشد. سطح مقطع موثر ۱۴/۴٪ درصد بیشتر از سطح مقطع حداقل است، نسبت سطح مقطع موثر به نیمرخ IPE مبنا برابر ۰/۹۲ می‌باشد که بیانگر کاهش سختی کششی تیر لانه‌زنبوری نسبت به نیمرخ IPE می‌باشد.

جدول ۲: مقادیر سطح مقطع در حالات مختلف از تیر لانه‌زنبوری و نیمرخ IPE مبنا

	نسبت سطح مقطع موثر به سطح مقطع نیمرخ IPE مبدل CPE $\frac{A_e}{A_{IPE}}$	نسبت سطح مقطع موثر به سطح مقطع حداقل $\frac{A_e}{A_{\min}}$	نسبت سطح مقطع موثر به سطح مقطع حداکثر $\frac{A_e}{A_{\max}}$	نسبت سطح مقطع موثر به سطح مقطع حداکثر $\frac{A_e}{A_{\max}}$	نسبت سطح مقطع موثر به سطح مقطع حداکثر $\frac{A_e}{A_{\max}}$
CPE10	۰/۹۱۵۸	۱/۱۴۳۴	۰/۷۶۰۷	۰/۶۶۵	۹۴۳/۳
CPE14	۰/۹۱۴۲	۱/۱۴۴۵	۰/۷۶۱۱	۰/۶۶۵	۱۴۹۹/۳
CPE18	۰/۹۲۳۶	۱/۱۵۵۷	۰/۷۶۹۱	۰/۶۶۵	۲۲۰۷/۴
CPE22	۰/۹۱۷۳	۱/۱۳۹۰	۰/۷۶۷۹	۰/۶۷۴	۳۰۶۳/۸
CPE30	۰/۹۲۵۳	۱/۱۵۲۴	۰/۷۷۱۸	۰/۶۷۰	۴۹۸۰

۴-۳- ارزیابی نتایج مربوط به ضریب برش

ضریب برش موثر تیر لانه زنبوری با ضرایب برش تیرهای IPE که با رابطه ۱۱ بیان میشود مقایسه میشود [۸].

$$\alpha_{S \cdot IPE} = \frac{A}{A_W} \quad (11)$$

که در این رابطه A سطح مقطع کل و A_W سطح مقطع جان تیر میباشد. بر اساس این تحقیق و بررسی های مختلف انجام شده توسط نگارندگان رابطه ۱۲ برای ضریب برش نیمرخهای لانه زنبوری پیشنهاد میشود:

$$\alpha_{S \cdot CPE} = \frac{A_e}{A_{W \min}} \quad (12)$$

که A_e سطح مقطع موثر بدست آمده از نرم افزار و $A_{W \min}$ سطح مقطع حداقل جان نیمرخ لانه زنبوری می باشد. در جدول ۳ مقادیر ضریب برش تیرهای IPE، CPE بدست آمده از نرم افزار، رابطه ۱۲ و همچنین نسبتهای آنها برای برخی نیمرخهای CPE10 تا CPE30 داده شده است. از نتایج بدست آمده معلوم شد که رابطه پیشنهادی (۱۲) حداکثر خطایی برابر ۴/۳٪ دارد. میانگین نسبتهای ضریب برش تیر لانه زنبوری به تیر IPE مبنای برابر ۲/۰۳ می باشد، که بالا بودن این ضریب به معنای تغییر-شکل های زیاد برشی و عملکرد نامطلوب این تیرها در مقابل برش می باشد.

جدول ۳: مقادیر ضریب برش تیرهای IPE، تیرهای CPE بدست آمده از نرم افزار و همچنین مقادیر نسبتهای آنها

نسبت ضریب برش موثر به رابطه	ضریب برش از رابطه $\alpha_{S \cdot CPE} = \frac{A_{ef}}{A_{W \min}}$	نسبت ضریب برش موثر به ضریب برش تیر IPE مبدل cpe	میانگین ضریب برش موثر ناشی از بار گسترده و متمرکز α_{S_e}	ضریب برش تیر IPE مبدل CPE $(\alpha_{S \cdot IPE} = \frac{A}{A_W})$	نسبت ضریب برش موثر به رابطه
۰/۹۵۷	۵/۹۶	۲/۰۱	۵/۷۰۵	۲/۸۳۵	CPE10
۰/۹۹۴	۵/۶۷۶	۲/۰۴	۵/۶۳۹	۲/۷۶۵	CPE14
۰/۹۷۷	۵/۶۲۸	۲/۰۰	۵/۵۰	۲/۷۵۰	CPE18
۱/۰۰۳	۵/۶۶۹	۲/۰۲	۵/۶۸۵	۲/۸۰۸	CPE22
۰/۹۸۲	۵/۴۵۲	۱/۹۷	۵/۳۵۵	۲/۷۲۰	CPE30

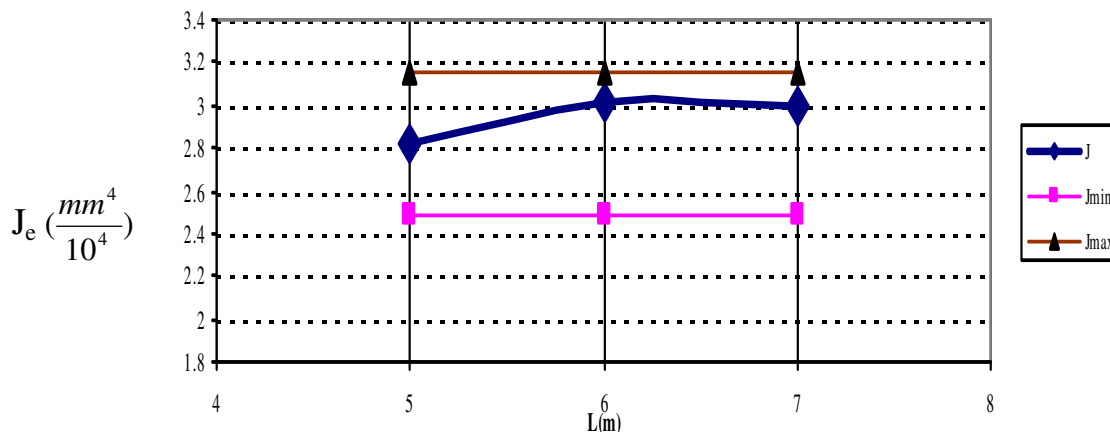
۴-۴- ارزیابی نتایج مربوط به ضریب پیچشی سن ونان

در جدول ۴ ضرایب پیچشی سن ونان بدست آمده در این تحقیق، مقادیر حداکثر این ضریب، مقادیر $(\frac{l}{H})$ و $(\frac{J_e}{J_{\max}})$ به عنوان نمونه برای نیمرخ CPE16 داده شده است.

جدول ۴: مقادیر ضرایب پیچشی سن ونان و مقادیر حداکثر و حداقل این ضریب برای CPE16

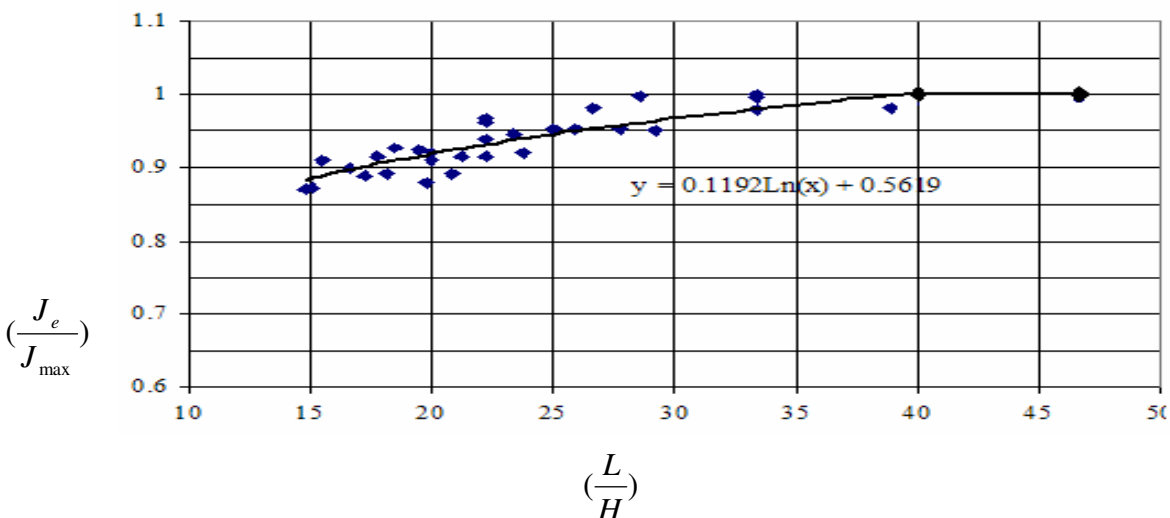
نسبتهای $(\frac{J_e}{J_{\max}})$	طول به ارتفاع $(\frac{l}{H})$	ضریب سن ونان حداکثر $J_{\max} (\frac{mm^4}{10^4})$	ضریب پیچشی سن ونان اصلاح- شده $J_e (\frac{mm^4}{10^4})$	طول تیر متر (m)
۰/۸۹۲	۲۰/۸۳	۳/۱۵۹	۲/۸۱۷	۵
۰/۹۵۲	۲۵		۳/۰۱۵	۶
۰/۹۵۱	۲۹/۱۷		۳/۰۰۲	۷

ضرایب پیچشی در نیمرخهای لانه‌زنبوری مقادیر ثابتی نیستند و به طول نیمرخ بستگی دارند. که در شکل ۳ نمونه‌ای از نمودارهای مربوط به طول نیمرخ و ضریب پیچشی سن‌ونان رسم شده و با مقادیر حداقل و حداکثر مقایسه شده است. این نمودارها برای ۱۰ نیمرخ CPE10 تا CPE30 ترسیم و ارائه شده است [۱۱]. از نمودارها مشاهده شد که ضرایب پیچشی به طول تیر بستگی دارند و هرچه دهانه آزاد تیر بیشتر باشد ضرایب به مقدار حداکثر خود نزدیکتر می‌شوند، این پدیده به دلیل



شکل ۳: نمودار J بر حسب طول ($L(m)$) نیمرخ CPE16

نزدیک شدن رفتار تیر به کمانش ارتجاعی می‌باشد که با افزایش طول دهانه رخ می‌دهد. همچنین مشاهده شد هر چه نسبت طول به ارتفاع تیر بیشتر باشد ضرایب پیچشی به مقدار حداکثر خود نزدیکتر می‌شوند. پس در اینجا نمودارهای $(\frac{J_e}{J_{max}})$ بر حسب $(\frac{L}{H})$ رسم می‌شود. با استفاده از مجموع کامل نتایج نمودار شکل ۴ بدست می‌آید که در آن مقادیر $(\frac{J_e}{J_{max}})$ بر حسب $(\frac{l}{H})$ رسم شده است. در بدست آوردن این نمودار برای اطمینان و دقت کافی و جلوگیری از کمانش غیرالاستیک نمونه‌ها، طولهایی انتخاب شدند که به اندازه کافی بزرگتر از L_r باشند.



شکل ۴: مقادیر $(\frac{J_e}{J_{max}})$ برحسب $(\frac{L}{H})$

پس میتوان نتیجه گرفت که: ضریب پیچشی سن ونان در تیرهای لانه زنبوری مقدار ثابتی ندارد. بر اساس ارزیابی ها و مطالعه های فراوان برای محاسبه ضریب پیچشی J_e در تیرهای لانه زنبوری رابطه ۱۳ بدین منظور پیشنهاد می گردد. ضریب پیچشی این تیرها با افزایش $(\frac{L}{H})$ افزایش می یابد و در مقادیر $(\frac{L}{H})$ نزدیک به ۴۰ مقدار $(\frac{J_e}{J_{max}})$ به سمت یک همگرا میشود. .

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{L}{H} < 40 \Rightarrow \frac{J_e}{J_{max}} = 0.1192 \ln(\frac{L}{H}) + 0.5619 \leq 1 \\ \frac{L}{H} \geq 40 \Rightarrow \frac{J_e}{J_{max}} = 1 \end{array} \right. \quad (13)$$

۵- نتیجه گیری:

در طراحی تیرهای لانه زنبوری حول محور قوی مقدار ممان اینرسی آنرا می توان حداقل ۰.۴٪ نسبت به آنچه در طراحی رایج است افزایش داد. در حقیقت سختی خمشی این نیمرخها حول محور قوی مقطع در حد وسط از مقادیر حداقل و حداکثر قرار دارد. به علت تأثیر بسیار ناچیز جان در بالابردن ممان اینرسی حول محور ضعیف، مقادیر مربوط به ممان اینرسی حول محور ضعیف تیرهای CPE و IPE با نمره مشابه تقریباً یکسان می باشند. برای اهداف طراحی می توان مقدار حداقل از سطح مقطع نیمرخ لانه زنبوری را توصیه نمود، که به مقدار ۰.۱۴٪ بیش از حداقل سطح مقطع در محل سوراخهای لانه زنبوری است. ضمناً در محاسبات مربوط به سختی محوری در کشش این اعضاء مقدار سطح مقطع را باید حداکثر ۰.۹۱٪ سطح مقطع نیمرخ اولیه در نظر گرفت. تطابق خوبی بین ضرایب برش حاصل از رابطه و نرم افزار مشاهده می شود و بالا بودن ضریب برش به معنای تغییر شکل های زیاد برشی و عملکرد نامطلوب این تیرها در مقابل برش می باشد. ضریب پیچشی تیرهای لانه زنبوری با افزایش $(\frac{L}{H})$ افزایش میابد و در مقادیر $(\frac{L}{H})$ نزدیک به ۴۰ مقدار $(\frac{J_e}{J_{max}})$ به سمت یک همگرایی دارد. و حداکثر کاهش J در نیمرخهای لانه- زنبوری برابر ۰.۱۵٪ در محدوده نمونه های مطالعه شده می باشد.

۶- مراجع

- [1] Blodjet O.W "Desing of welded structures" James F.Linclon Arc Welding Foundation, Cleveland, USA, Section 4.7, 1969.
- [2] Redwood R & Zaarour W " Web Buckling in Webbed Castellated Beam" J of ST, August 1996
- [3] Redwood R & Demirdjian S " Castellated Beam Web Buckling in Shear" J of ST, October 1998
- [4] keredal d & Nethercot D.A " Lateral- Torsional Buckling of castellated Beams" J. The Structural Engineer, Vol 60 B, No.3, 1982.
- [5] Liu T.C.H & Chung K.F "Steel Beams With Large Web Openings Of Various Shape And Size" J of Constructional Steel Research" 59 , 1159-1176, 2003
- [۶] شوکتی، حسین، " مطالعه نظری رفتار کمانشی تیرهای لانه زنبوری ایرانی " طرح تحقیقاتی ملی، دانشگاه ارومیه، ۱۳۸۱.
- [۷] شوکتی، حسین، " تحلیل و طراحی تیرهای لانه زنبوری با استفاده از اصول و مبانی روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) " پنجمین کنفرانس بین المللی عمران ، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۷۹.
- [۸] عادل، حجت الله، مقاومت مصالح، انتشارات دانشگاه تهران ،
- [9] W.F, Chen & E.M, Lui " STRUCTURAL STABILITY THEORY AND IMPLEMENTATION" ELSEVIER, New York, 1987.
- [10] D.O, Brush & B.O, Almroth" Buckling of Bars, Plates, and Shells" Mc-Graw, 1975.

[۱۱] کهنه‌پوشی، امید، "خواص سازه ای مقاطع لانه‌زنبوری در رفتارهای محوری، برشی، خمشی و پیچشی" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، ۱۳۸۳