

# استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی قابهای فولادی با اتصالات نیمه صلب

اصغر وطنی اسکویی<sup>۱</sup>، سهند سریع الاطلاق فرد<sup>۲</sup>  
(دریافت: ۸۸/۳/۱۵، پذیرش: ۸۸/۱۰/۲۵)

## چکیده

با توجه به نقش اتصال تیر به ستون، در عملکرد قاب های فولادی در این مقاله سعی شده است جهت تحلیل غیر خطی و طراحی بهینه قابهای فولادی نیمه صلب، از الگوریتم ژنتیک استفاده شود. در الگوریتم استفاده شده با ارضای محدودیت ها و قید های اعمالی (کنترل تنش های محوری و اندرکنشی، جابجایی نسبی و تعداد مفاصل پلاستیک ایجاد شده)، سعی در طراحی قاب با مناسب ترین و کمترین وزن شده است. اعمال قید تعداد و محل رخداد مفاصل پلاستیک در کنار بقیه قید ها موردی است که می تواند در عملکرد غیر خطی قاب نقش مهمی داشته باشد. جهت تحلیل و طراحی اعضای قاب های انتخاب شده از مقاطع استاندارد I شکل (برای تیر ها) و Box (برای ستون ها) استفاده شده است. با توجه به ابعاد تیر و ستون، همچنین مقدار بار اعمال شده، با توجه به آزمایشات صورت گرفته سختی اولیه به گره های اتصال، اختصاص داده شده است. مقدار این سختی ها توسط الگوریتم ژنتیک در حین روند بهینه سازی تغییر یافته و با حداقل شدن وزن قاب انتخابی، تحت تلاشهای اعمالی مقدار سختی مناسب آن نیز بدست آمده است. در این مقاله جهت بهینه کردن وزن قاب، برنامه کامپیوتری تحت نرم افزار MATLAB نوشته شده است که به کمک نرم افزار Excel، توانایی ارتباط (انتقال و دریافت داده) با نرم افزار SAP2000 جهت تحلیل و طراحی، را دارا می باشد. در فرایند بهینه سازی وزن سازه بوسیله الگوریتم ژنتیک، از روش های تحلیل استاتیکی خطی و غیرخطی با در نظر گرفتن اثر  $P-\Delta$ ، بهره گرفته شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، تاثیر کاهش سختی اتصال تیر به ستون (اتصال نیمه صلب) در بهینه کردن وزن قابهای کوتاه مرتبه، کمتر از قاب های بلند مرتبه انتخاب شده می باشد. به طوریکه در قابهای کوتاه مرتبه با کاهش سختی اتصالات، وزن سازه افزایش می یابد و در قابهای بلند مرتبه، کاهش سختی اتصال منجر به کاهش وزن سازه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده در قابهای نیمه صلب، سختی متوسط اتصالات در هر طبقه از بالا به پایین افزایش یافته تا اینکه تقریباً در طبقات پایین به مرز گیرداری نزدیک شده است. همچنین در قاب های بهینه شده مقدار سختی اتصالات مورد نیاز در حالت تحلیل خطی بیشتر از تحلیل غیرخطی میباشد. که این اختلاف در طبقات بالا زیاد و در طبقات پایتیر تقریباً کمتر می باشد.

## کلمات کلیدی

بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک، اتصالات نیمه صلب، تحلیل غیر خطی، مفصل پلاستیک

## Using Genetic Algorithm for Optimization of Steel Frames with Semi-Rigid Connection

A. Vatani Oskouei, S. Sarioletlagh Fard

### ABSTRACT

Beam-column connection have a significant role on the results of analysis and design of steel structures. In this paper, a genetic algorithm has been used for non-linear analysis and design of steel frames. In this paper for minimized the weight of frame by satisfying the applied constraint and restraints such as amount of axial and combined stresses, target displacement and the number and location of plastic hinges criteria was used. To analyze and design the frame elements, I and Box shape standard sections have been used for beams and columns, respectively. Finally, semi-rigid connection stiffness allocated to the beam to column connection will be obtained. The degrees of these rigidities are made by genetic algorithm during the procedure of optimization in order to finally result in the creation of a frame with the minimum weight. To perform modal analysis, linear static and non-linear static operations as well as design of elements, SAP2000 software and to perform the optimization procedure, the program written in MATLAB software domain have been Used. Optimization procedure based on weight minimization for 9 steel frames have done, therefore connection stiffness could obtain when the structure weight is minimized. The results of selected frames by assuming rigid and semi-rigid connection, linear and non-linear static (pushover) analysis are compared. The results showed that, for short period frames with rigid connections, non-linear analysis give less weight, but with increasing period of frames least weight are obtained in non-linear analysis with semi-rigid connections.

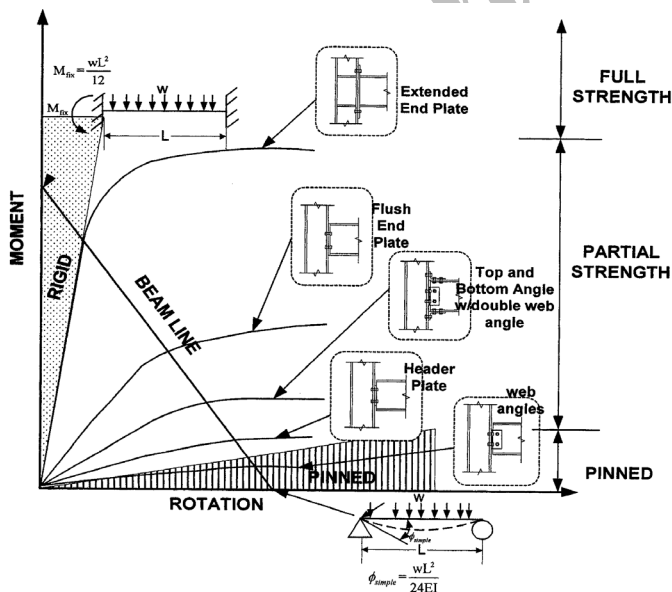
### Keywords

Optimization, Genetic Algorithm, Semi-Rigid Connection, Non-linear Analysis, Plastic Hinge

۱. استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران، [asvatani@gmail.com](mailto:asvatani@gmail.com) (نویسنده مسئول)

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، [sahand.s@email.com](mailto:sahand.s@email.com)

همانند: تکثیر، پیوند و جهش، نسل جدیدی با صلاحیت بالاتر تولید می گردد. با تکرار نسل ها، طرح ها با توجه به معیارهای انتخاب شده، بهبود یافته و سرانجام، طرح بهینه بدست می آید [۵ و ۴]. مطالعات ارزشمندی در زمینه بهینه سازی قابهای فولادی با استفاده از الگوریتم های ژنتیک و شبکه عصبی انجام شده است [۷ و ۶] که در آنها معمولاً اثر یک قید یا یک محدودیت مورد بررسی قرار گرفته شده. برای مثال حداقل سازی وزن خرپاها و یا سازه های فضاکار با تغییر مشخصات هندسی اعضا [۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱]، یا بهینه سازی وزن قاب ها با مکان یابی مهاربندها در چشمه های مختلف [۱۲ و ۱۳]، حداقل سازی هزینه ساخت [۱۴ و ۱۵]، بهینه سازی هندسه مقاطع سوله ها [۱۵] و یا بهینه سازی اتصالات صلب و نیمه صلب در یک قاب [۱۶ و ۱۷ و ۱۸] و .....، مطالعاتی است که در این زمینه انجام شده است. در این مقاله علاوه بر بهینه سازی هندسه المانها (بر اساس پروفیل های استاندارد) سعی شده است تا با بدست آوردن سختی بهینه اتصال برای هر گره (که در هر مرحله توسط فرآیند الگوریتم ژنتیک خلق میگردد) و ارضای قید های اعمالی شامل کنترل تنش های اندرکنشی در المان ها، تغییر مکان نسبی طبقات (Drift) و تعداد مفاصل پلاستیک ایجاد شده در المان ها، به حداقل وزن سازه دست پیدا نماییم.



شکل (۱): رابطه لنگر-دوران اتصال های فولادی [۲۰، ۱]

عملکرد سازه های فولادی تا حد بسیار زیادی به سختی و مقاومت اتصال تیر به ستون بستگی دارد. جهت بدست آوردن عملکرد مناسب قاب های فولادی، لازم است رفتار واقعی اتصال را در نظر گرفت از آنجاییکه فرض گیر داری کامل (اتصال صلب) و مفصلی مطلق (اتصال ساده) در میان مهندسان سازه همیشه وجود داشته و طراحی ها قاب های فولادی با این دو فرض انجام میگردد. ولی نتایج آزمایشگاهی نشان داده است که بدست آوردن اتصال کاملاً صلب و یا مفصلی مطلق (اتصال ساده) مشکل بوده و رفتار اتصال تیر و ستون تا حد زیادی به صورت نیمه صلب (نیمه گیر دار) می باشد شکل (۱) [۲۰، ۱]. بنابراین لازم است جهت درک بهتر رفتار سازه و طراحی بهینه اتصالات تیر به ستون، سازه را به صورت دقیق تر (با اتصالات نیمه صلب) در نظر بگیریم. آزمایشات نشان داده اند که منحنی لنگر-دوران اتصال نیمه صلب دارای رفتاری غیر خطی دارد. [۳] عملکرد و پایداری قابهای فلزی تا حد زیادی به اتصالات آن بستگی دارد. درصد گیرداری (منحنی لنگر-دوران) طیف وسیعی از اتصالات فولادی، در محدوده اتصالات نیمه صلب می باشد. بنابراین وقتی از اتصال نیمه صلب و یا اتصال با مقاومت جزئی استفاده میشود، تاثیر اتصال در رفتار قاب چشمگیر خواهد بود و بایستی رفتار غیر خطی اتصال تا مرز گسیختگی بررسی گردد.

عملکرد روش ژنتیک بر پایه جستجوی اتفاقی است که توانایی فراوانی در حل مسائل گسسته دارد. این شیوه بهینه سازی با متغیرهای طراحی به صورت رشته هایی با طول معین که به صورت ۰ و ۱ رمزگذاری شده اند، کار می کند. هر یک از این رشته ها همانند کروموزم در یک دستگاه زنده و رمزهای دودویی ۰ و ۱، مشابه ژن ها می باشد. هر رشته نماینده یک طرح است. فنون ژنتیکی، سرشت تکراری دارند که با تعدادی طرح از پیش تعیین شده کار می کند. تکرار هر گام یک نسل نامیده می شود. با توجه به معیار کیفی که صلاحیت نام دارد، طرح های مطلوبتر برای ایجاد نسل انتخاب شده و با عملگرهائی

۲- بهینه سازی قاب های فولادی با اتصال نیمه صلب  
 در این مقاله ۹ قاب با ارتفاع طبقات ۳ متر و طول دهانه ۴ متر، که بارهای مرده و زنده گسترده یکنواخت به ترتیب به شدت  $3000 \text{ Kg/m}$  و  $1500 \text{ Kg/m}$  (جدول ۱) به آن وارد میشود، انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفته است. جهت تحلیل لرزه ای و طراحی اولیه قاب ها از استاندارد  $2800 [17]$  و  $AISC [18]$  استفاده شده است. در طراحی اولیه قاب ها توسط نرم افزار  $SAP2000 \text{ ver } 11.07 [19]$  نسبت تنش ها، بین  $0.9$  الی  $1$  انتخاب شده است. عملیات بهینه سازی با الگوریتم ژنتیک، یکبار با تحلیل خطی و بار دیگر با تحلیل غیرخطی استاتیکی (با در نظر گرفتن اثر  $P-\Delta$ )، انجام میگردد.

جدول (۱): قاب های انتخاب شده برای تحلیل

شماره قاب	تعداد ارتفاع	تعداد دهانه
1	3	1
2	3	2
3	3	3
4	6	1
5	6	2
6	6	3
7	9	1
8	9	2
9	9	3

در طراحی قاب و روند بهینه سازی علاوه بر محدودیت های آیین نامه ای (الف-تنش های اندرکنشی (ترکیب تنش های خمشی + تنش های محوری) در المان ها،  $(C_1)$  ب- تغییر مکان نسبی طبقات (Drift)،  $(C_2)$  محل و تعداد مفاصل پلاستیک ایجاد شده در المان ها،  $(C_3)$  نیز در نظر گرفته شده است. بنابراین امتیاز کلی هر قاب از مجموع امتیاز های بدست آمده به صورت رابطه (۱) تعیین می گردد:

$$C = b_1 * C_1 + b_2 * C_2 - b_3 * C_3 \quad (1)$$

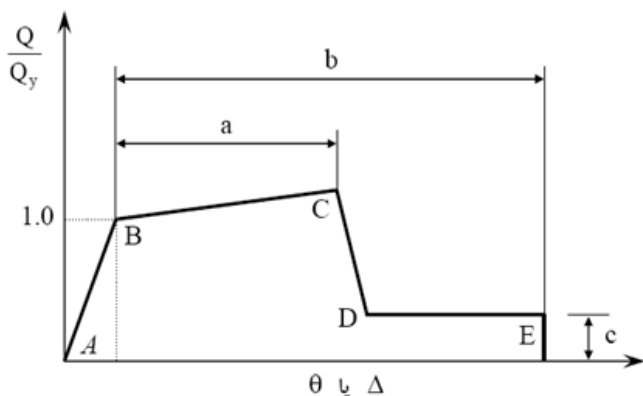
که در معادله بالا  $b_i$  ضریب مشارکت امتیازی هر محدودیت در امتیاز نهایی قاب می باشد و روند بهینه سازی را به سمت هدف مورد نظر سوق می دهد. مقادیر  $b_i$  با استفاده از کارهای انجام شده [۹ و ۲۰] و سعی و خطا، برابر با مقادیر  $b_1 = 1/15$ ،  $b_2 = 1/30$ ،  $b_3 = 1/10$ ، بدست آمده است.

با توجه به تابع امتیاز کلی که در بالا ذکر شد، تابع هدف نیز به صورت رابطه (۲) انتخاب شده است:

$$F = 3 \left( 10000 / (W * (1 + C)) \right) \quad (2)$$

که در آن  $W$  وزن عناصر سازه و  $C$  امتیاز کلی قاب که در معادله رابطه (۱) بدست آمده، می باشد.

محدودیت های تنش محوری و اندرکنشی، تغییر مکان نسبی طبقات، طبق ضوابط آیین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد  $2800$  - ویرایش ۳) [۱۷] و آیین نامه  $AISC [18]$  و محدودیت تعداد و محل رخداد تشکیل مفاصل پلاستیک در المان ها (ترجیحاً در تیر ها)، همچنین ضوابط مربوط به تخصیص مفاصل به المان های قاب، مطابق با دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود [۲۱] و  $FEMA-356 [22]$  شکل (۲)، در نظر گرفته شده است.



شکل (۲): منحنی نیرو-تغییر شکل تعمیم یافته برای اعضای فولادی [۲۱ و ۲۲]

روشهای زیادی برای طراحی ساختمانها در برابر تلاشهای ناشی از زلزله توسط محققین بسط و گسترش داده شده است که تعدادی از آنها در آیین نامه های طراحی

بدست آمده در رساله دکتری Rassak Abdul Sultan [۳۱] مقایسه گردیده که نتایج در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): مقایسه نتایج تحلیلی نرم افزار SAP با نمونه های انجام

ابعاد تیر	حداکثر لنگر در محل اتصال (K.in) $M_u$	سختی فنر دورانی $K_i$ (K.in/rad)	روش
W8x21	۴۰۶	۲۲۷۹۵	نتایج رساله Sultan Rassak [۳۱]
W8x21	۴۰۵/۵۳	۲۲۷۹۵	نتایج با نرم افزار SAP

اولین گام آنالیز با تخصیص سختی اتصالات ارائه شده [۳۲] در جدول (۳)، به گره های اتصال هر یک از قاب ها، با توجه به ویژگی و مشخصات اعضای تشکیل دهنده آن، شروع و در ادامه عملیات بهینه سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، پس از ۱۰۰ بار تکرار (تولید نسل)، نتایج مربوطه بدست آمده است.

در قابهای کوتاه مرتبه (سه طبقه با دهانه های متفاوت)، با توجه به نتایج حاصله از تحلیل خطی وزن قاب با در نظر گرفتن اتصالات نیمه صلب به حداکثر و در حالت تحلیل غیر خطی با اتصالات صلب به حداقل می رسد شکل (۴) که خلاصه نتایج بدست آمده از تحلیل های فوق در شکل (۵) ارائه شده است. میانگین سختی گره اتصال قاب های نیمه صلب در تحلیل های غیر خطی از دیگر روش ها کمتر می باشد، شکل (۶). با استفاده از طیف پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ [۱۷] به عنوان طیف نیاز، در قابهای کوتاه با توجه به نرم تر شدن سازه به علت استفاده از اتصالات نیمه صلب و قرار گرفتن در بازه تغییرات زمان تناوب در محدوده شتاب ثابت، تاثیری چندانی در کاهش وزن سازه بوجود نمی آید.

ساختمانها در برابر تلاشهای ناشی از زلزله استفاده شده است. این روش ها عبارتند از:

الف- روش طراحی بر حسب نیرو FBD [۲۳] Force-Based Design

ب- روش مبتنی بر تغییر مکان مستقیم DDBD [۲۴] Direct Displacement-Based Seismic Design

ج- روش طیف ظرفیت [۲۵]

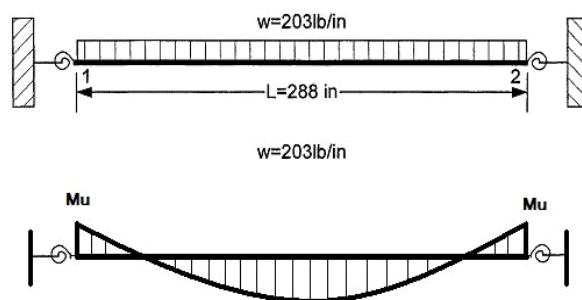
د- روش مبتنی بر انرژی [۲۶]

ه- تغییر مکان نسبی یکسان [۲۷ و ۲۸].

در این مقاله در کنار طراحی بر مبنای روشهای الف، ب و ج، از روش رخداده مفصل پلاستیک نیز استفاده شده است. که محل و تعداد مفاصل پلاستیک تشکیل شده، نقش مهمی در عملکرد و پایداری قاب خواهد داشت.

در این مقاله اندازه جمعیت برابر ۳۰، احتمال جهش برابر ۰/۰۰۵ و حداکثر تکرار نسل برابر ۱۰۰ فرض شده اند.

برای مدلسازی قابها از نرم افزار SAP2000 ver 11.07 [۱۹] و برای انجام روند بهینه یابی برنامه ای تحت نرم افزار Matlab [۲۹] نوشته و استفاده شده است. جهت برقراری ارتباط میان نرم افزار های فوق (انتقال داده ها) از نرم افزار Excel بهره گرفته شده است. همچنین شبیه سازی اتصالات نیمه صلب، بر اساس ایده فنرهای دورانی با سختی خمشی معادل انجام شده است، شکل (۳) [۳۰].

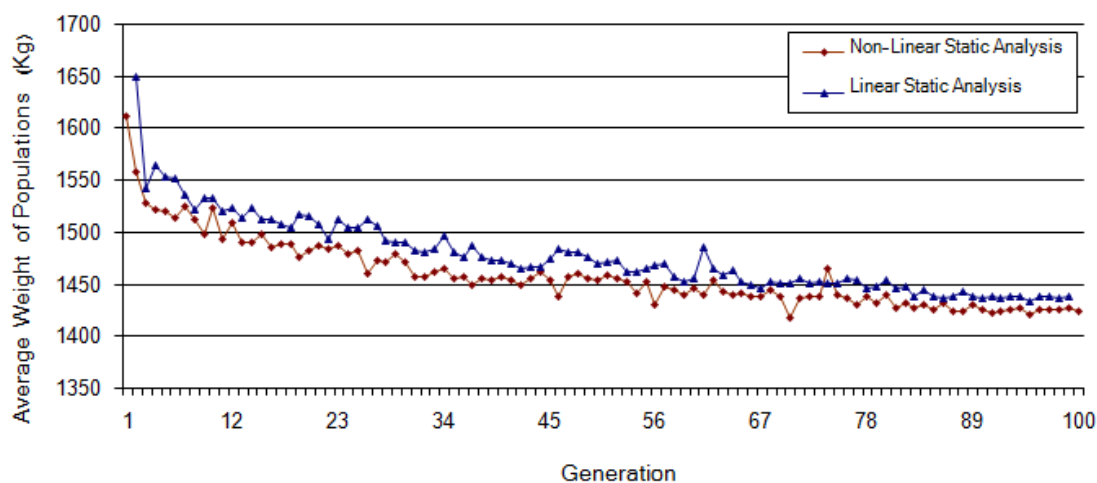


شکل (۳): مدل فنر دورانی جهت اتصال نیمه صلب

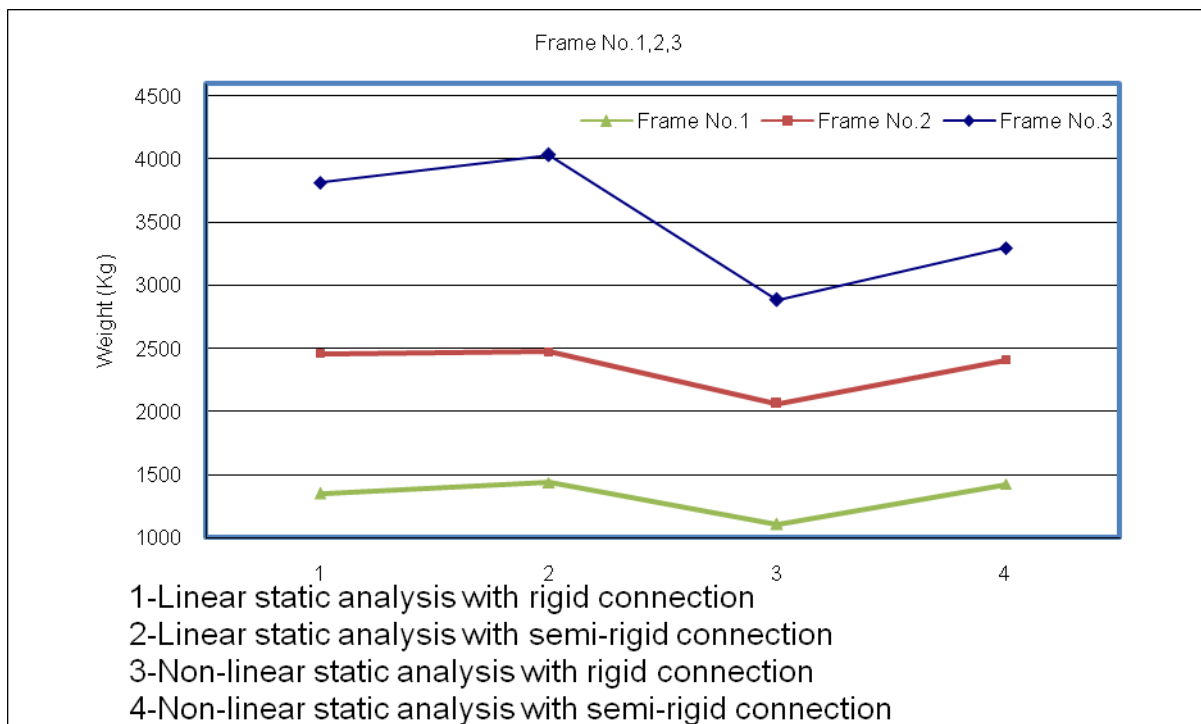
اتصالات نیمه صلب، یک تیر با اتصال نیمه صلب به مشخصات شکل (۳) مدلسازی گردیده و نتایج آن با مقادیر

جدول (۳): مشخصات اتصالات نیمه صلب استفاده شده برای حدس اولی [۳۲]

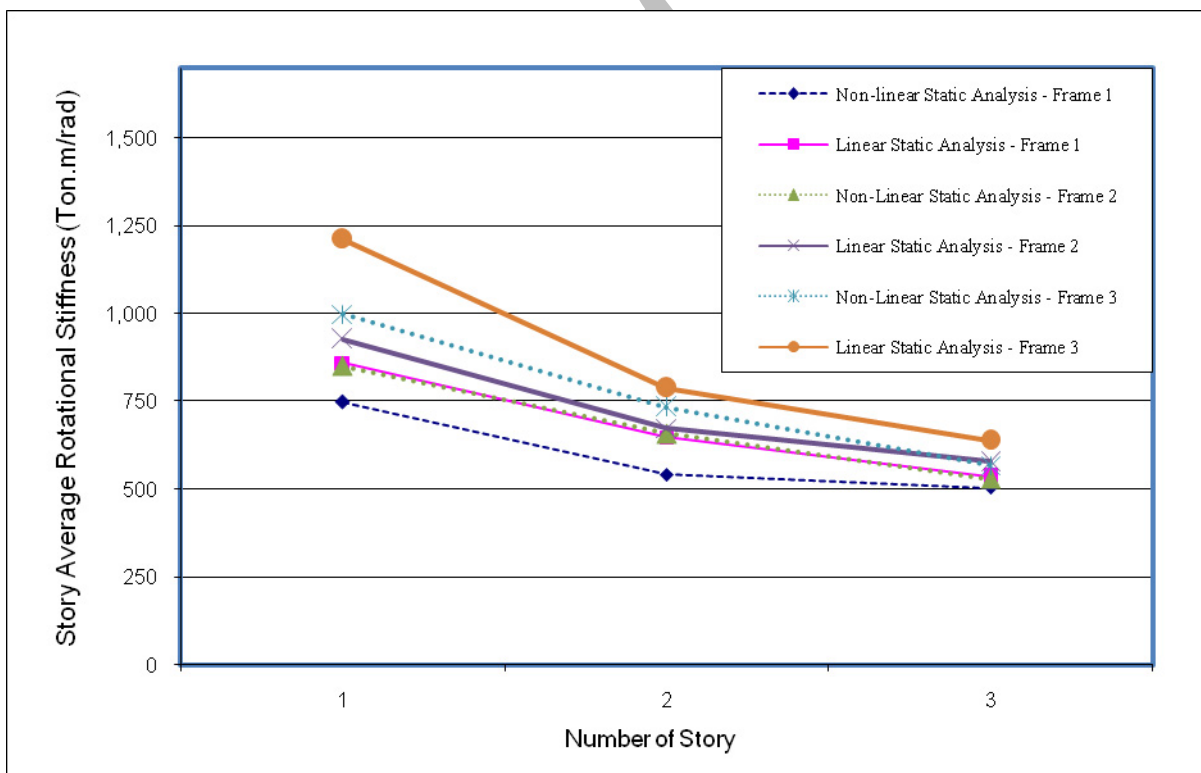
شماره اتصال	ترکیب اتصال	سختی اتصال (t.m/rad)	شکل منحنی	محدوده لنگرها (t.m)	نحوه جوشکاری
۱	نبشی تحتانی به طول ۱۲ سانتیمتر، نبشی فوقانی به طول ۸ سانتیمتر، نبشی ها به طول ۱۲ سانتیمتر، ورق های تقویتی در بالا و پائین تیر	۱۸۰۰	خطی	۰ - ۲/۰۰	کلیه جوشها از نوع تخت، ۵ سانتیمتر از نبشی فوقانی بریده شود، جوشهای اجرائی
		۴۱۰	غیر خطی	۲/۰۰ - ۴/۸۵	
۲	نبشی ها به طول ۱۲ سانتیمتر، ورق های تقویتی در بالا و پائین تیر، بتن ریزی بین ورق ها، نبشی ها به طول ۱۲ سانتیمتر، دو لچکی داخل هر نبشی	۳۳۰۰	خطی	۰ - ۸/۰۰	جوشهای اجرائی، ۵ سانتیمتر از نبشی فوقانی بریده شود
		۶۵۰	غیر خطی	۹/۱۰ - ۸/۰۰	
۳	نبشی ها به طول ۱۲ سانتیمتر، ورق ها مابین جان تیر و لبه بال ستون	۴۰۰۰	خطی	۰ - ۷/۰۰	جوشهای اجرائی، ۵ سانتیمتر از نبشی فوقانی بریده شود
		۷۵۰	غیر خطی	۹/۲۰ - ۷/۰۰	
۴	نبشی تحتانی به طول ۱۲ سانتیمتر، نبشی فوقانی به طول ۸ سانتیمتر، نبشی ها به طول ۱۲ سانتیمتر، ورق های تقویتی در بالا و پائین تیر	۱۱۵۰	خطی	۰ - ۴/۱۰	کلیه جوشها از نوع تخت، ۵ سانتیمتر از نبشی فوقانی بریده شود، جوشهای اجرائی
		۵۱۰	غیر خطی	۱۰/۰۰ - ۴/۱۰	
۵	نبشی ها به طول ۱۲ سانتیمتر، ورق های تقویتی در بالا و پائین تیر، بتن ریزی بین ورق ها، نبشی ها به طول ۱۲ سانتیمتر، دو لچکی داخل هر نبشی	۳۱۰۰	خطی	۰ - ۶/۵۰	جوشهای اجرائی، ۵ سانتیمتر از نبشی فوقانی بریده شود
		۸۰۰	غیر خطی	۹/۵۰ - ۶/۵۰	
۶	نبشی ها به طول ۱۲ سانتیمتر، ورق ها مابین جان تیر و لبه بال ستون	۱۲۰۰	خطی	۰ - ۵/۱۰	جوشهای اجرائی، ۵ سانتیمتر از نبشی فوقانی بریده شود
		۵۰۰	غیر خطی	۹/۰۰ - ۵/۱۰	



شکل (۴): مقایسه تاریخیچه تغییرات وزن در قاب سه طبقه یک دهانه با اتصالات نیم صلب (قاب ۱) تحت تحلیل خطی و غیر خطی



شکل (۵): مقایسه تغییرات وزن در قاب های سه طبقه با دهانه های متفاوت با اتصالات صلب و نیم صلب تحت تحلیل خطی و غیر خطی

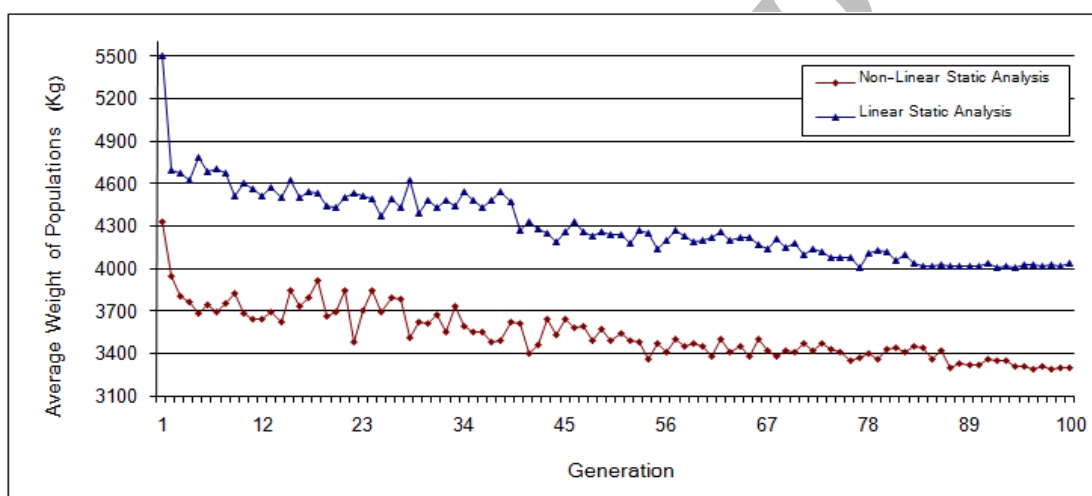


شکل (۶): مقایسه تغییرات سختی میانگین اتصالات در قاب های سه طبقه با دهانه های متفاوت تحت تحلیل خطی و غیر خطی

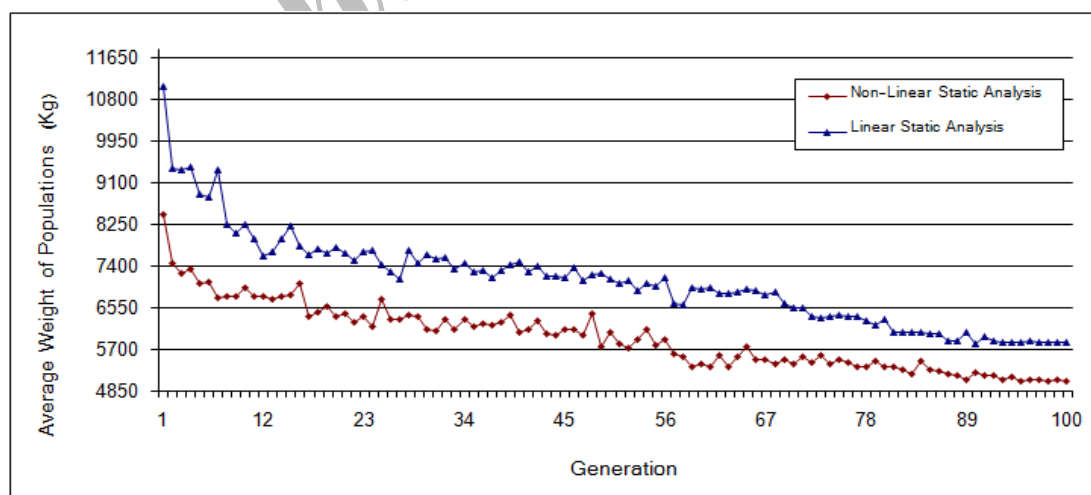
و کاهش سختی قاب، بازه تغییرات زمان تناوب در محدوده نزولی طیف نیاز (مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ [۱۷]) بوده و با افزایش زمان تناوب، شتاب و نیرو نیز تقلیل یافته و در نتیجه با کاهش نیرو، وزن سازه نیز کاهش می یابد. موضوع دیگری که تقریباً در تمامی قابهای مورد مطالعه مشترک می باشد این است که به طور کلی وزن سازه در حالتی که با روش غیر خطی تحلیل میشود کمتر از حالت مشابه با روش تحلیل خطی می باشد.

این روند در قابهای ۶ شکل (۷) و ۹ طبقه شکل (۸) به گونه دیگری میباشد. به این ترتیب که در قابهای ۶ و ۹ طبقه، وزن قاب در حالت تحلیل خطی به همراه اتصالات صلب به حداکثر و در حالت تحلیل غیر خطی به همراه اتصالات نیمه صلب به حداقل میرسد. در حالت تحلیل خطی با اتصالات نیمه صلب نیز وزن سازه نسبت به حالت تحلیل غیر خطی با اتصالات صلب، کاهش می یابد، شکل های (۹) تا (۱۲).

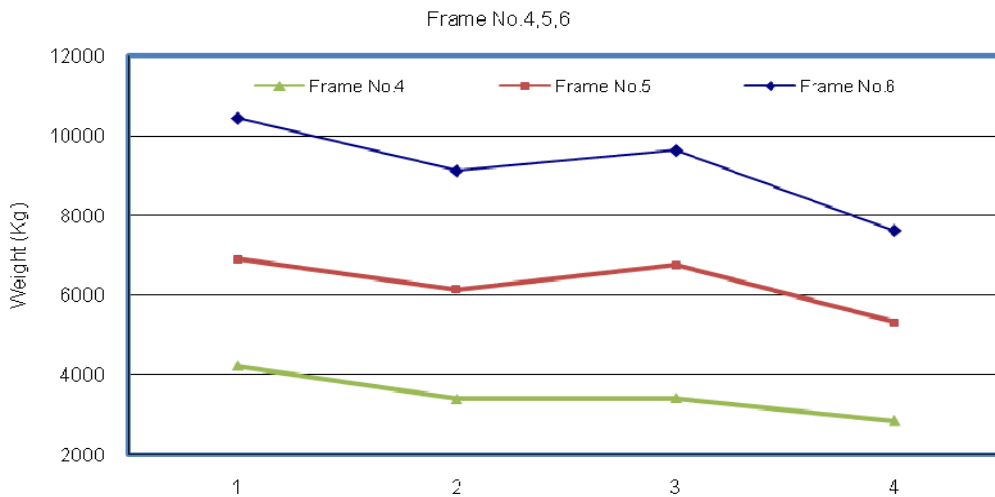
در قابهای ۶ طبقه و ۹ طبقه، با نیمه صلب کردن اتصالات



شکل (۷): مقایسه تاریخیچه تغییرات وزن در قاب شش طبقه یک دهانه با اتصالات نیم صلب (قاب ۴) تحت تحلیل خطی و غیر خطی

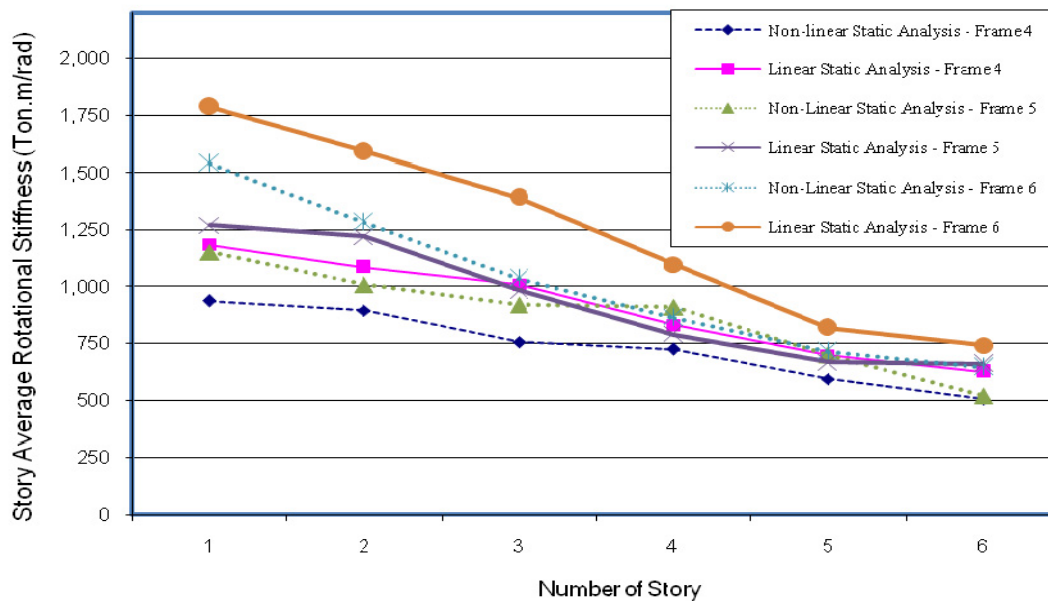


شکل (۸): مقایسه تاریخیچه تغییرات وزن در قاب نه طبقه یک دهانه با اتصالات نیم صلب (قاب ۷) تحت تحلیل خطی و غیر خطی



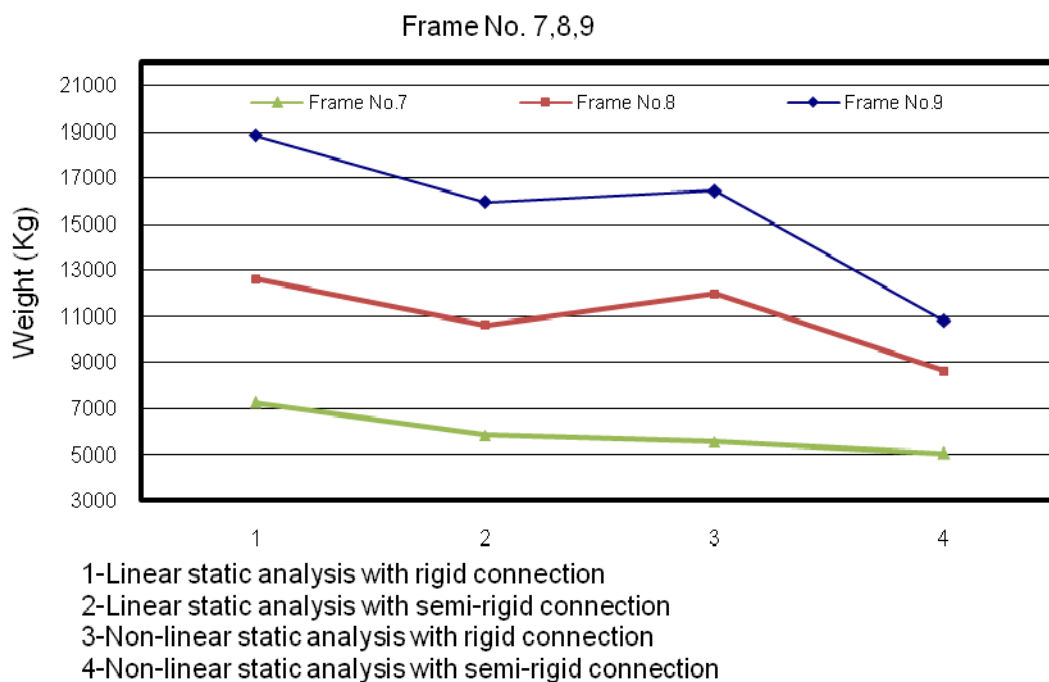
- 1-Linear static analysis with rigid connection
- 2-Linear static analysis with semi-rigid connection
- 3-Non-linear static analysis with rigid connection
- 4-Non-linear static analysis with semi-rigid connection

شکل (۹): مقایسه تغییرات وزن در قاب های شش طبقه با دهانه های متفاوت با اتصالات صلب و نیم صلب تحت تحلیل خطی و غیر خطی

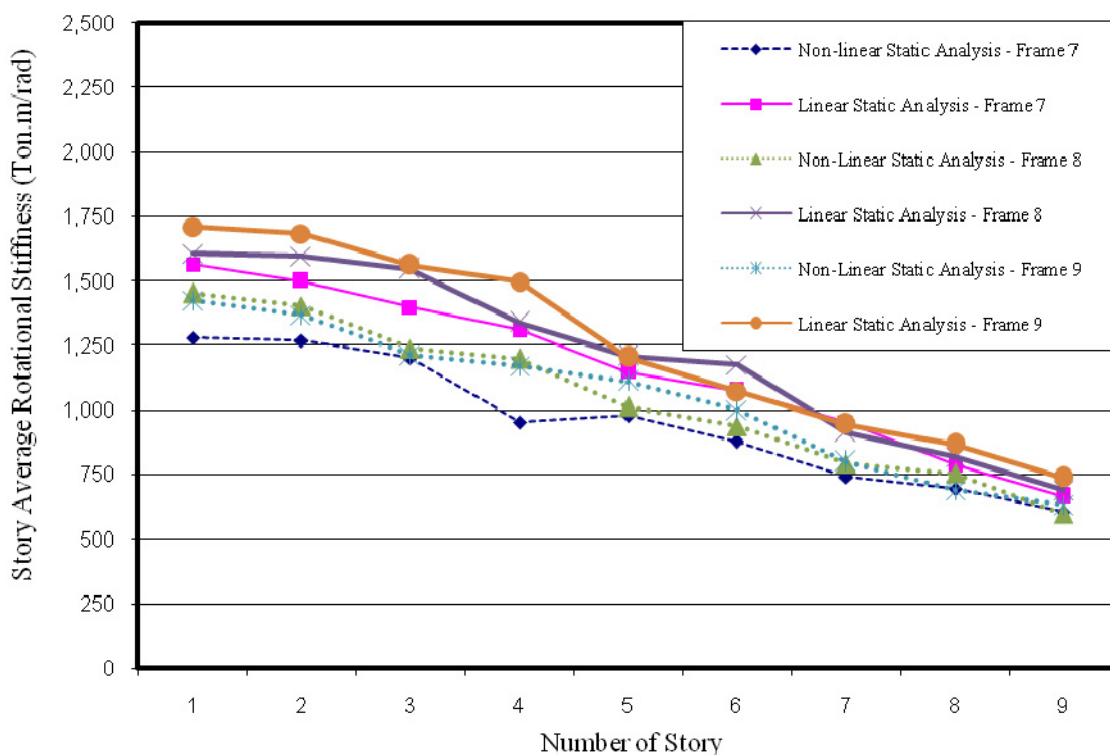


شکل (۱۰): مقایسه تغییرات سختی میانگین اتصالات در قاب های شش طبقه با دهانه های متفاوت تحت تحلیل خطی و غیر خطی





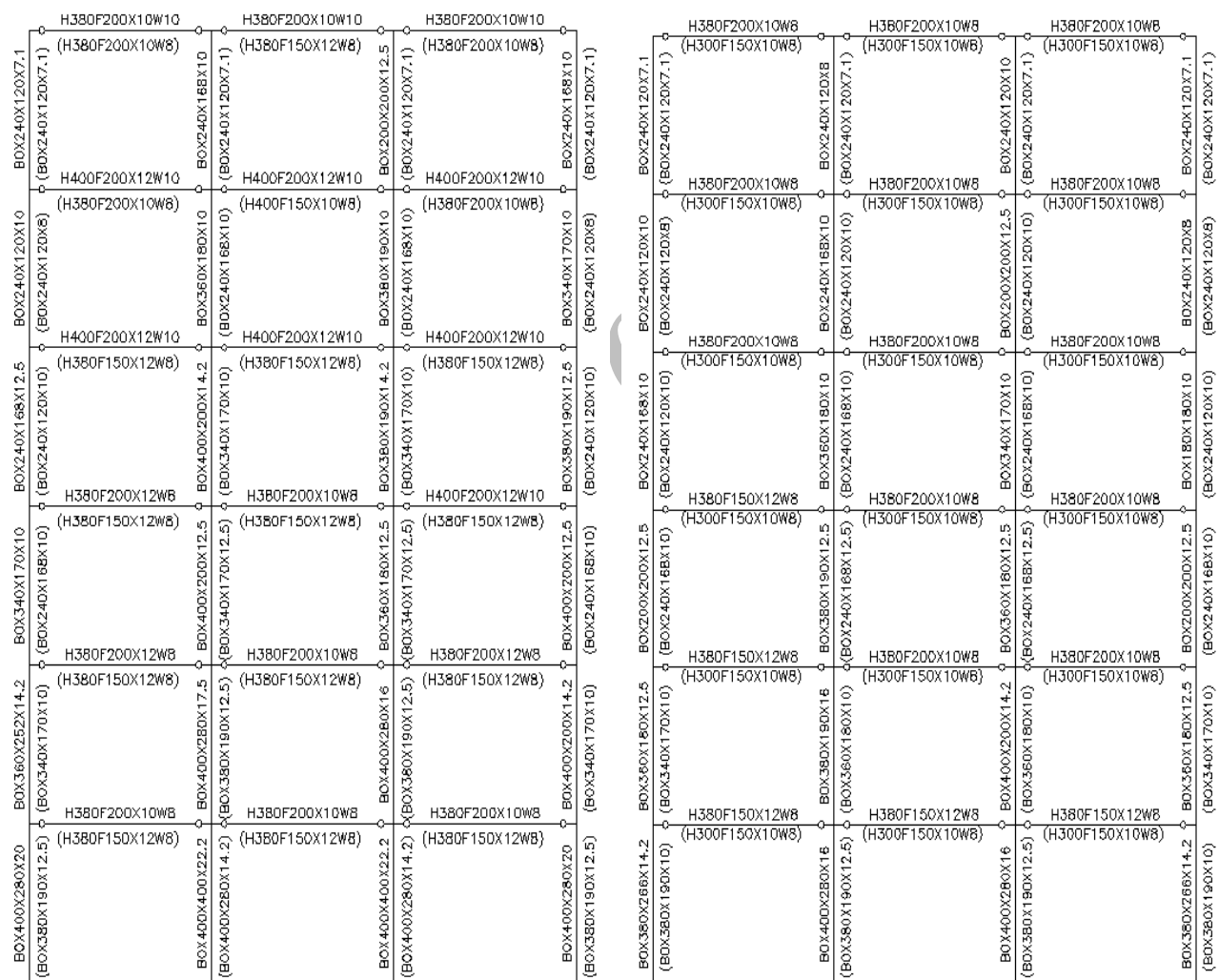
شکل (۱۱): مقایسه تغییرات وزن در قاب های نه طبقه با دهانه های متفاوت با اتصالات صلب و نیم صلب تحت تحلیل خطی و غیر خطی



شکل (۱۲): مقایسه تغییرات سختی میانگین اتصالات در قاب های نه طبقه با دهانه های متفاوت تحت تحلیل خطی و غیر خطی

طبقات بالا که نیروهای برش پایه کمتر است به سختی کمتری نیاز می باشد، کاهش سختی متوسط اتصالات طبقات از پایین به بالا منطقی به نظر می رسد. در شکل (۱۵) و (۱۶) مقادیر سختی اتصال در تحلیل خطی و غیر خطی با در نظر گرفتن اثر  $P-\Delta$  در حالت قبل و بعد از بهینه سازی نشان داده شده است. همانطور که در نمودارها مشاهده می شود، شکل های (۶) و (۱۰) و (۱۲) سختی متوسط اتصالات طبقات پایینی تقریباً نزدیک به مرز گیرداری کامل می باشد و این اهمیت نیروی برشی پایه در طبقات پایینی را نشان می دهد.

این واقعیتی است که روش تحلیل غیر خطی به مراتب دقیق تر از تحلیل خطی است و در واقع از درصد بیشتری از ظرفیت المانها استفاده میشود که بالطبع کاهش مصالح مصرفی را در بر خواهد داشت. شکل های (۱۳) و (۱۴)، مقاطع انتخابی برای اعضای قابها قبل و پس از بهینه سازی در دو حالت تحلیل خطی و غیر خطی با در نظر گرفتن اثر  $P-\Delta$ ، را نشان می دهد. نکته دیگری که در نتایج حاصله وجود دارد افزایش سختی اتصال از طبقات بالا به پایین می باشد. در طبقات پایینی با توجه به بالا بودن مقدار نیروهای برش پایه، نیاز به سختی بیشتر و در

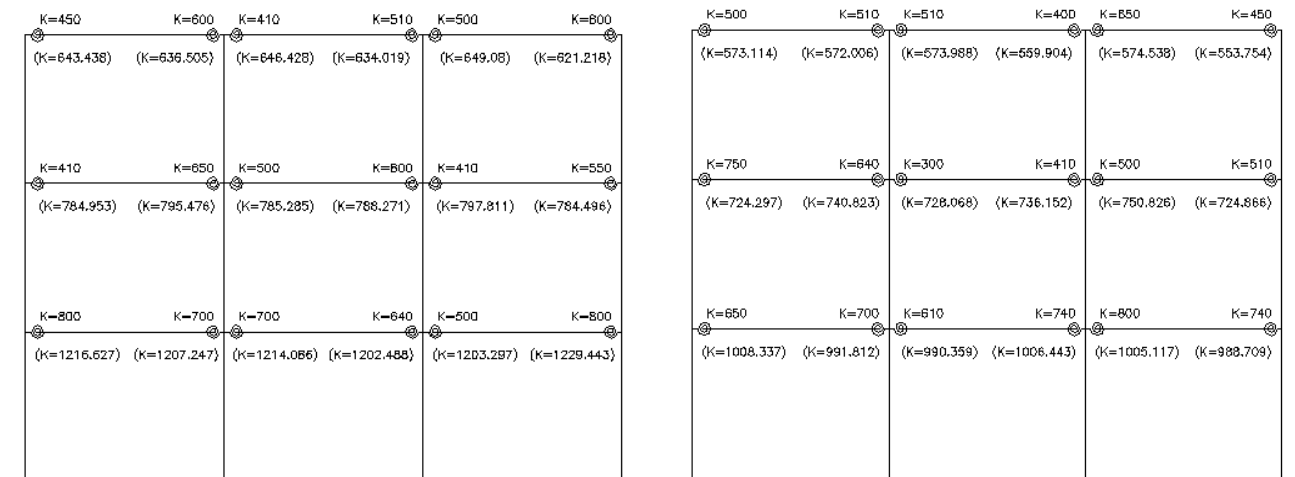


شکل (۱۳): مقاطع المان ها، قبل از بهینه سازی و (پس از بهینه سازی)، با تحلیل استاتیکی خطی (شکل سمت چپ) و تحلیل استاتیکی غیرخطی (شکل سمت راست)، با اتصالات نیمه صلب - قاب شماره ۶

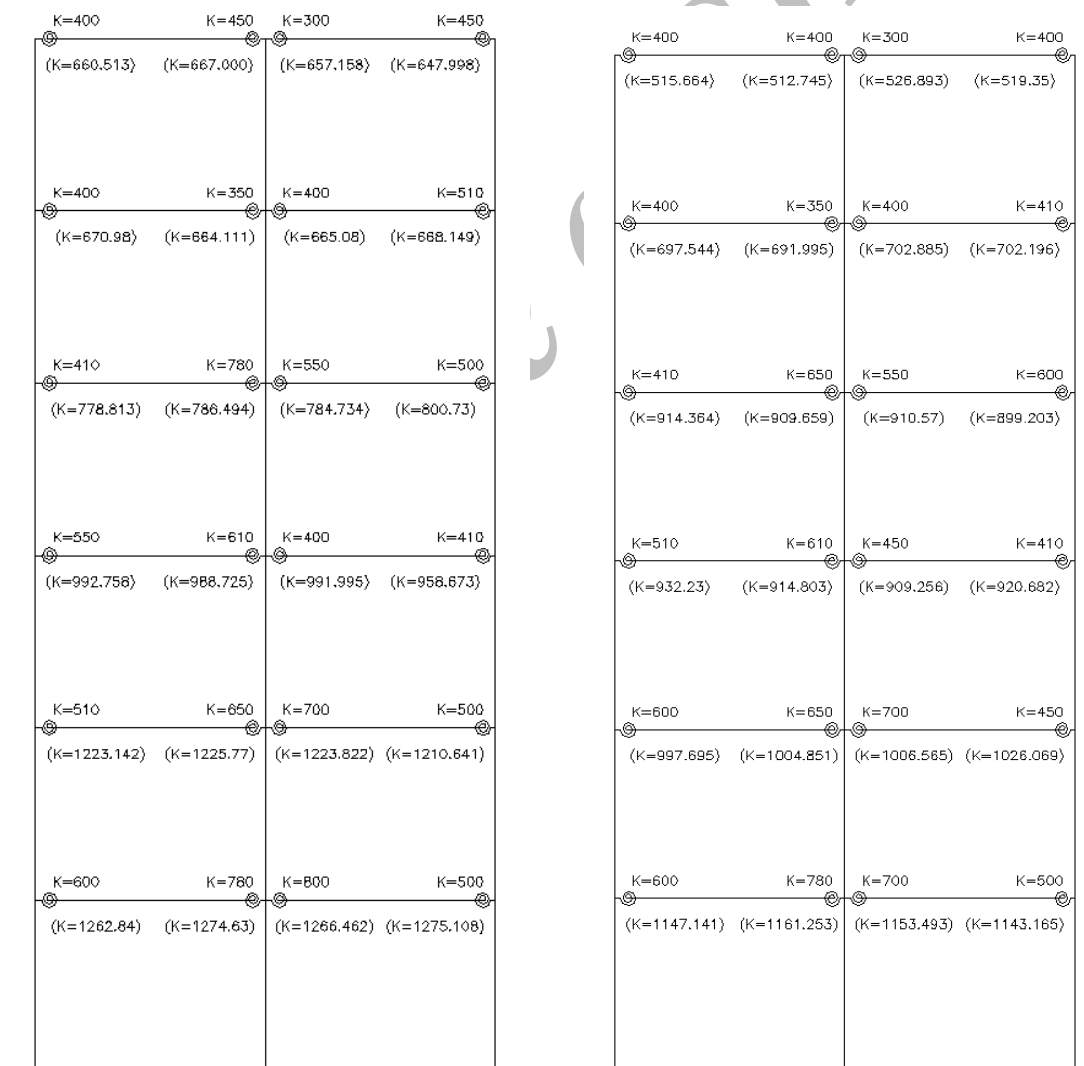


BOX400X400X28	BOX380X380X20	BOX400X280X16	BOX360X190X14.2	BOX360X180X10	BOX340X170X10	BOX200X200X12.5	BOX240X120X10	BOX240X120X8
(BOX400X280X16)	(BOX400X200X12.5)	(BOX360X190X10)	(BOX340X170X10)	(BOX240X168X12.5)	(BOX240X168X10)	(BOX240X120X10)	(BOX240X120X7.1)	(BOX240X120X7.1)
H380F200X10W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8	H380F200X12W8	H380F200X12W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8
(H380F150X12W8)	(H380F150X12W8)	(H400F150X10W8)	(H380F150X12W8)	(H380F150X12W8)	(H380F150X12W8)	(H380F150X12W8)	(H400F150X10W8)	(H380F150X12W8)
BOX400X400X35	BOX400X400X25	BOX400X280X25	BOX400X280X16	BOX400X200X14.2	BOX360X180X12.5	BOX360X180X12.5	BOX360X190X10	BOX240X168X12.5
(BOX400X280X17.5)	(BOX400X200X16)	(BOX400X200X14.2)	(BOX360X190X12.5)	(BOX340X170X12.5)	(BOX340X170X10)	(BOX340X170X10)	(BOX240X168X10)	(BOX240X120X7.1)
H380F200X10W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8	H380F200X12W8	H380F200X12W8	H380F20X12W10	H380F200X12W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8
(H380F150X12W8)	(H380F150X12W8)	(H380F150X12W8)	(H380F150X12W8)	(H380F150X12W8)	(H380F150X12W8)	(H380F150X12W8)	(H400F150X10W8)	(H380F150X12W8)
BOX360X360X20	BOX400X280X14.2	BOX400X200X12.5	BOX340X170X12.5	BOX340X170X10	BOX340X170X10	BOX340X170X10	BOX240X168X12.5	BOX240X168X10
(BOX400X200X12.5)	(BOX360X190X10)	(BOX340X170X10)	(BOX200X200X12.5)	(BOX240X168X10)	(BOX240X168X10)	(BOX240X120X10)	(BOX240X120X7.1)	(BOX240X120X7.1)
H380F200X10W8	H400F150X10W8	H400F150X10W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8
(IPE270)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)
BOX380X380X20	BOX400X280X17.5	BOX400X280X14.2	BOX380X190X14.2	BOX400X200X12.5	BOX360X190X12.5	BOX360X180X12.5	BOX360X180X10	BOX340X170X10
(BOX400X200X14.2)	(BOX360X190X12.5)	(BOX360X190X10)	(BOX340X170X10)	(BOX340X170X10)	(BOX340X170X10)	(BOX240X168X10)	(BOX240X168X10)	(BOX240X120X7.1)
H380F200X10W8	H400F150X10W8	H400F150X10W8	H380F200X12W8	H380F200X12W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8
(IPE270)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)
BOX360X360X20	BOX380X266X16	BOX400X200X12.5	BOX360X180X12.5	BOX360X180X10	BOX340X170X10	BOX340X170X10	BOX240X168X12.5	BOX200X200X12.5
(BOX400X200X12.5)	(BOX380X190X10)	(BOX340X170X10)	(BOX200X200X12.5)	(BOX240X168X10)	(BOX240X168X10)	(BOX240X120X10)	(BOX240X120X7.1)	(BOX240X120X7.1)
H380F200X10W8	H380F200X10W8	H400F150X10W8	H380F200X12W8	H380F200X12W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8	H380F200X10W8
(IPE270)	(IPE270)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)	(H300F150X10W8)

شکل (۱۴): مقاطع المان ها ، قبل از بهینه سازی و (پس از بهینه سازی)، با تحلیل استاتیکی خطی (شکل سمت چپ) و تحلیل استاتیکی غیرخطی (شکل سمت راست)، با اتصالات نیمه صلب- قاب شماره



شکل (۱۵): سختی دورانی اتصال، قبل از بهینه سازی و (بعد از بهینه سازی) برای قاب سه طبقه سه دهانه، با تحلیل استاتیکی خطی (شکل سمت چپ) و تحلیل استاتیکی غیر خطی (شکل سمت راست) - واحد ها بر حسب تن. متر میباشد



شکل (۱۶): سختی دورانی اتصال، قبل از بهینه سازی و (بعد از بهینه سازی) برای قاب شش طبقه دو دهانه، با تحلیل استاتیکی خطی (شکل سمت چپ) و تحلیل استاتیکی غیر خطی (شکل سمت راست) - واحد ها بر حسب تن. متر میباشد



#### ۴- خلاصه و نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از تحلیل قاب های فولادی، ملاحظه می شود که اعمال الگوریتم ژنتیک بر روی برنامه های تحلیل و طراحی می توانند این روند را متحول نمایند. به این ترتیب که دیگر نیازی به حدس اولیه مقاطع و کنترل تنشها توسط طراح نبوده و تحلیل، طراحی و انتخاب مقاطع بهینه توسط برنامه انجام می پذیرد. طرح نهایی نیز با توجه به مقاطع پیشنهادی توسط برنامه و مسائل اجرایی خاص آن پروژه می تواند در آن لحاظ گردد که بالطبع وقت بسیار کمی را از طراح خواهد گرفت.

با توجه به نتایج حاصله، جدول های و نمودارها نتایج پیشنهادی به صورت ذیل ارائه می شود:

۱- در قابهای کوتاه مرتبه با زمان تناوب پائین که در منحنی طیف ضریب بازتاب مطابق با آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (۲۸۰۰ - ویرایش ۳) [۱۷] که به عنوان طیف نیاز در تحلیل استاتیکی غیر خطی انتخاب شده است، سازه در ناحیه خطی (شتاب ثابت) قرار می گیرد، لذا با کاهش سختی اتصالات، وزن سازه افزایش می یابد.

۲- در قابهای بلند مرتبه که زمان تناوب بیشتری دارند، سازه در ناحیه نزولی طیف نیاز قرار گرفته و با کاهش سختی اتصال و افزایش زمان تناوب سازه، شتاب و نیروی وارده به سازه نیز کاهش یافته که در نتیجه منجر به کاهش وزن سازه می شود.

۳- در سازه های بلند مرتبه مورد مطالعه در این مقاله، استفاده از اتصالات نیمه صلب و روش تحلیل غیر خطی، سبب کاهش وزن سازه، همچنین کاهش هزینه می شود. در صورتیکه در سازه های کوتاه استفاده از اتصالات صلب و روش تحلیل غیرخطی سبب مقرون به صرفه شده طرح می گردد.

۴- در قابهای نیمه صلب، سختی متوسط اتصالات در هر طبقه از بالا به پایین افزایش یافته تا اینکه تقریباً در طبقات پایین به مرز گیرداری نزدیک شده است.

۵- در قابهایی که با اتصالات نیمه صلب تحلیل گردیده اند، با توجه به نمودارهای فوق سختی بهینه اتصالات در حالت تحلیل خطی بیشتر از تحلیل غیرخطی می باشد. که این اختلاف در طبقات بالا زیاد و در طبقات تقریباً برابر می باشد.

#### ۵- مراجع

- 1- Kishi, N. and Chen, W.F., "Steel Connection Data Bank Program" Structural Engineering Report No. CE-STR-86-11, School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1986.
- 2- Kishi, N. and Chen, W.F., "Data Base of Steel Beam-to-Column Connections", Vol.I and Vol. II, Structural Engineering Report No. CE-STR-86-26, School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1986.
- 3- Abdulla, K.M., Chen, W.F. "Expanded Database of Semi-Rigid Steel Connections", Computer Structures 1995; 56(4):553-64.
- ۴- غفاریان، ت.، ۱۳۷۷، آشنایی با الگوریتم های ژنتیکی، نشریه صفر و یک گروه کامپیوتر دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۱.
- ۵- کاوه، ع.، و ثروتی، ه.، ۱۳۷۹، شبکه های عصبی مصنوعی در تحلیل و طراحی سازه ها، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، گ-۳۲۰.
- 6- Hayalioglu, M.S. and Degertekin, S.O., "Minimum Cost Design of Steel Frames with Semi-Rigid Connections and Column Bases via Genetic Optimization", Computers and Structures 83 (2005) 1849-1863
- 7- Kameshki, E.S. and Saka, M.P., "Optimization Design of Non-Linear Steel Frames with Semi-Rigid Connection Using Genetic Algorithm", Computer and Structures 79 (2001), 1593-1604
- 8- Saka, M.P. "Optimization Geometry Design of Trusses By Genetic Algorithm", Computer and Structures, Vol.38, No 1, PP 83-92 - 1991
- 9- Erbatu, F., Hasancelebi, O., Tutuncu, I., Kilic, H. "Optimal Design of Planar and Space Structures with Genetic Algorithms" Computers and Structures 75 (2000) 209-224.
- 10- M.P. Saka, "Optimum topological design of geometrically nonlinear single layer latticed domes using coupled genetic algorithm", Computers and Structures (2007) 534-541
- 11- S.O. Degetekin, M.P. Saka, M.S. Hayalioglu "Optimal load and resistance factor design of

- 27-Teal, E. J., "Seismic Drift Control Criteria", AISC, 2 quarter, 1975.
- 28-Lee, W. and Chen, C., "A seismic assessment on long period reinforced concrete high-rise frames by pseudo-elastic equal drift method", Structural Engineering, Vol. 11, No. 4, pp. 5-7, December, 1996.
- 29-MATLAB (1997). The Language of Technical Computing, Version 5.0. The Mathworks Inc., Natick, Mass.
- 30-J.G.S. da Silva , L.R.O.de Lima , P.C.G da S.Vellasco, S.A.L.de Andrade , "Nonlinear Dynamic analysis of steel portal frames with semi rigid connection " Journal of Engineering Structures 30 (2008) 2566-2579.
- 31-Sultan Abdul ,R. S. ," Performance Based Optimal Design of Semi- Rigid Connection Steel Frame under Seismic Loading " Doctor of Philosophy Degree Thesis , University of Iowa , December 2007.
- ۳۲- ناطقی الهی ، ف، و کاظم ، ح ، ۱۳۸۲، رفتار لرزه ای اتصالات نیمه صلب، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- geometrically nonlinear steel space frames via tabu search and genetic algorithm " , Journal of Engineering Structures 42 (2007) 876-891
- 12-E.S.Kameshki , M.P. Saka , "Genetic algorithm based optimum bracing design of non-swaying tall plane frames " , Journal of Constructional Steel Research 57 (2001) 1081-1097
- 13-Hagishita,T. and Ohsaki,M." Optimal placement of braces for steel frames with semi-rigid joints by scatter search, Computers and Structures, Volume 86, 21-22 (2008) 1983-1993.
- 14-Vanessa Cristina de Castilhoa, Mounir Khalil El Debsa, Maria do Carmo Nicolette , "Using a modified genetic algorithm to minimize the production costs for slabs of precast prestressed concrete joists", Engineering Applications of Artificial Intelligence 20 (2007) 519-530.
- 15-M.P. Saka "Optimal design of pitched roof steel frames with hunched rafters by genetic algorithm " , Journal of Computers and Structures 81 (2003) 1967-1978.
- 16-S.W. Boyd , J.I.R. Blake , R.A. Shenoj , J. Mawella , "Optimization of steel-composite connections for structural marine applications, Composites": Part B 123 (2007) 1873-1892.
- ۱۷- آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ - ویرایش ۳) ۱۳۸۳.
- 18-Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (AISC)- May 21, 2002.
- 19-Computers and structures. Inc. CSI Analysis Reference Manual. SAP2000 version 11.07. Berkeley (CA); 2008.
- 20-Pezeshk, S., Camp, C.V. and Chen, D. "Design of Nonlinear Framed Structures Using Genetic Algorithm Optimization "Journal of Structural Engineering.
- ۲۱- دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود - نشریه ۳۶۰ - تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله ۱۳۸۵.
- 22-Federal Emergency Management Agency (FEMA 356 ).
- 23-International Conference of Building Officials, "1997 Uniform Building Code, Vol. 2." Whittier, CA, 1997.
- 24-Priestley M.J.N., Calvi G.M. and Kowalsky M.J., "Direct Displacement-Based Seismic Design of Structures,. IUSS Press, 2007.
- 25-Fajfar, P., "Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol.28, No. 9, 1999.
- 26-McKevitt, W.E., Anderson, D.L., and Cherry, S., "Hysteretic energy spectra in seismic design", 2nd WCEE, Tokyo and Kyoto, Japan, Vol. 7, Japan, Tokyo, pp. 487-494, 11-18 July 1960.

