ششمین کنگره ملی مهندسی عمران
۶ و ۷ اردیبهشت ۱۳۹۰
دانشگاه سمنان

# مقایسه تغییرات سطح عملکرد قاب های فولادی پس از افزودن مهاربند برون محورهشتی شکل به روش طیف ظرفیت

**منصور قلعه نوی[1]، سمانه خاکسفیدی[2]، حسین علی رهدار[3]**

۱- استادیار ، دانشکده فنی و مهندسی گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، دانشگاه علوم و فنون مازندران
۳- عضو هئیت علمی، دانشکده فنی و مهندسی گروه مهندسی عمران، دانشگاه زابل

samaneh112@yahoo.com

## چکیده

با توجه به اینکه احداث ساختمان‌ها مستلزم هزینه وزمان زیادی می باشد ومقاوم‌سازی آن ها به طور مستقیم بر روی ایمنی و آرامش نیروهای انسانی به عنوان بزرگترین پشتوانه یک کشور تاثیر دارد، ساختمان ها را جزیی از سرمایه های ملی هر کشوری محسوب میکنند.حضور ایران بر روی کمربند زلزله آلپایدضرورت مقاوم سازی ساختمان ها درکشورمان را بیشتر میکند. وسعت آب وهوای گرم وخشک ومعتدل و وجود منابع کافی فلزات در کشور از یک سو وسرعت خوب اجرا، سهولت ساخت و قیمت مناسب قاب های فولادی از سوی دیگر، موجب رونق استفاده از سیستم قاب های فولادی در صنعت ساختمان ایران شده است. اما در مواردی تغییر کاربری ساختمان، یا طراحی نامناسب اولیه ویا عدم اجرای مطابق نقشه باعث می شود این قاب ها نیاز به مقاوم سازی پیدا می‌کنند. از این رو به جهت سهولت اجرا غالباً اولین پیشنهاد برای تقویت قابهای فولادی افزودن مهاربند به قاب است. از سوی دیگر به دلیل اهمیت طراحی مقاوم سازه‌ها در برابر بارهای دینامیکی هم چون نیروی زلزله و عدم توانایی روش های طراحی بر اساس نیرو در پیش بینی رفتار غیر خطی اعضا ناشی از خواص غیر خطی مصالح، در سالهای اخیر تمایل مهندسان و طراحان در به کارگیری روشهای طراحی بر مبنای عملکرد درکشورمان گسترش زیادی یافته است. در این تحقیق با توجه به ملاحظات معماری انواع قابهای فولادی توسط مهار بند برون محور هشتی شکل تقویت شده و تحت بارگذاری استاتیکی غیرخطی، عملکرد آنها بررسی گردیده و نتایج با مقادیر موجود در دستور العمل ATC-40 مورد مقایسه قرار گرفته است.از نرم افزار SAP2000 برای مدل سازی وتحلیل استفاده شده است.

**کلمات کلیدی: سطح عملکرد، قاب خمشی، برون محور، استاتیکی غیر خطی، رفتار غیر خطی**

# مقایسه تغییرات سطح عملکرد قاب های فولادی پس از افزودن مهاربند برون محور هشتی شکل به روش طیف ظرفیت

**منصور قلعه نوی[۱]، سمانه خاکسفیدی [۲]، حسین علی رهدا ر[۳]**

**۱- استادیار ، دانشکده فنی و مهندسی گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد**

**۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، دانشگاه علوم و فنون مازندران**

**۳- عضو هئیت علمی، دانشکده فنی و مهندسی گروه مهندسی عمران، دانشگاه زابل**

**پست الکترونیکی** Samaneh112@yahoo.com

خلاصه

با توجه به اینکه احداث ساختمان ها مستلزم هزینه وزمان زیادی می باشد ومقاوم سازی آن ها به طور مستقیم بر روی ایمنی و آرامش نیروهای انسانی به عنوان بزرگترین پشتوانه یک کشور تاثیر دارد، ساختمان ها را جزیی از سرمایه های ملی هر کشوری محسوب میکنند.حضور ایران بر روی کمربند زلزله آلپایدضرورت مقاوم سازی ساختمان ها درکشورمان را بیشتر میکند. وسعت آب وهوای گرم وخشک ومعتدل و وجود منابع کافی فلزات در کشور از یک سو وسرعت خوب اجرا، سهولت ساخت وقیمت مناسب قاب های فولادی از سوی دیگر، موجب رونق استفاده از سیستم قاب های فولادی در صنعت ساختمان ایران شده است. اما در مواردی تغییر کاربری ساختمان، یا طراحی نامناسب اولیه ویا عدم اجرای مطابق نقشه باعث می شود این قاب ها نیاز به مقاوم سازی پیدا میکنند.

از این رو به جهت سهولت اجرا غالباً اولین پیشنهاد برای تقویت قابهای فولادی افزودن مهار بند به قاب است. از سوی دیگر به دلیل اهمیت طراحی مقاوم سازه ها در برابر بارهای دینامیکی هم چون نیروی زلزله و عدم توانایی روش های طراحی بر اساس نیرو در پیش بینی رفتار غیر خطی اعضا ناشی از خواص غیر خطی مصالح، در سالهای اخیر تمایل مهندسان و طراحان در به کارگیری روشهای طراحی بر مبنای عملکرد درکشورمان گسترش زیادی یافته است. در این تحقیق با توجه به ملاحظات معماری انواع قابهای فولادی توسط مهار بند برون محور هشتی شکل تقویت شده و تحت بارگذاری استاتیکی غیر خطی، عملکرد آنها بررسی گردیده و نتایج با مقادیر موجود در دستور العمل ATC-40 مورد مقایسه قرار گرفته است.از نرم افزار SAP2000 برای مدل سازی وتحلیل استفاده شده است.

**کلمات کلیدی: سطح عملکرد، قاب خمشی، برون محور، استاتیکی غیر خطی،رفتار غیر خطی.**

## ۱. مقدمه

با توجه به اهمیت طراحی مقاوم سازه ها در برابر بارهای دینامیکی هم چون نیروی زلزله و عدم توانایی روش های طراحی بر اساس نیرو در پیش بینی رفتار غیر خطی اعضا ناشی از خواص غیر خطی مصالح، در سالهای اخیر تمایل مهندسان و طراحان در به کارگیری روشهای طراحی بر مبنای تغییر مکان و رفتار (طراحی بر اساس عملکرد) افزایش یافته است. با توجه به اهمیت طراحی مقاوم سازه ها در برابر بارهای دینامیکی هم چون نیروی زلزله و عدم توانایی روش های طراحی بر اساس نیرو در پیش بینی رفتار غیر خطی اعضا ناشی از خواص غیر خطی مصالح، در سالهای اخیر تمایل مهندسان و طراحان در به کارگیری روشهای طراحی بر مبنای تغییر مکان و رفتار (طراحی بر اساس عملکرد) افزایش یافته است.

با توجه به سرعت اجرا و فراوانی مصالح و نیروی اجرایی، ساخت سازه های فولادی در کشورمان گسترش زیادی یافته است، همچنین حضور ایران بر روی کمربند لرزه خیزی آلپاید ضرورت مطالعه در زمینه رفتار این نوع سازه ها و طراحی مقاوم آنها را آشکار تر می کند. از سوی دیگر اجرای قابهای خمشی ویژه که یکی از توصیه های اکثر آیین نامه ها برای استفاده در مناطق با لرزه خیزی زیاد می باشد توسط نیروی کاری غیر متحصص ممکن نیست؛ به همین جهت قابهای خمشی عمدتاً از نوع خمشی متوسط ساخته می شوند که استفاده از آن به تنهایی در مناطق با لرزه خیزی زیاد مناسب نیست

قاب های ساختمانی تحت اثر بارهای جانبی مانند زلزله دچار تغییر مکان میشوند.متداولترین روش کنترل تغییر مکان های جانبی در قاب های فلزی مهاربندها میباشند که عموما پیکر بندی آن ها از نوع هم محور یا برون محور می باشد.مهاربندی های هم محور سختی سازه را نسبت به قاب خمشی معادل به شدت افزایش داده وتغییر مکان جانبی سازه را محدود می کند اما به علت کمانش اعضای مهاری و رفتار نامناسب در زلزله های گذشته استفاده از این سیستم در مناطق با لرزه خیزی بالا توصیه نمی شود.در مقابل امکان تطابق با ملاحظات معماری و رفتار مناسب تر و قابل پیش بینی در هنگام وقوع زلزله اقبال عمومی برای استفاده از سیستم مهاربندی برون محور افزایش داده است.

در عین حال استفاده از این سیستم در سازه ها با ظرافت ویژه ای همراه است ، به طوریکه عدم توجه به طراحی مناسب وتعیین آرایش بهینه،ارتباط متقابل بادبندها و اعضای قاب ، نقش پارامترهای مختلف در بهبودعملکرد این سیستم هاواجرای نکاتی خاص اعتبار این سیستم هارا به راحتی مخدوش می سازد، به همین جهت به نظر میرسد لازم باشدکه در این زمینه بحث بیشتری صورت پذیرد.

در این تحقیق قاب های فولادی از نوع خمشی متوسط با تعداد دهانه وارتفاع مختلف مدل شده، تحت بارگذاری استاتیکی غیر خطی به روش طیف ظرفیت تحلیل میشوندوتاثیرافزودن مهاربند برون محور هشتی شکل بر سطح عملکرد قاب ها مورد بررسی قرار میگیرد.

## ۲. قاب خمشی

در حالت کلی از لحاظ پیکربندی، این سیستم از شبکه های مستطیلی تیرهای افقی و ستون های قائم با اتصالات صلب تشکیل یافته است. این سیستم باید مقاومت و سختی لازم را جهت مقابله با بارهای ثقلی و نیروهای زلزله و تغییر شکل های ناشی از آن داشته باشد.

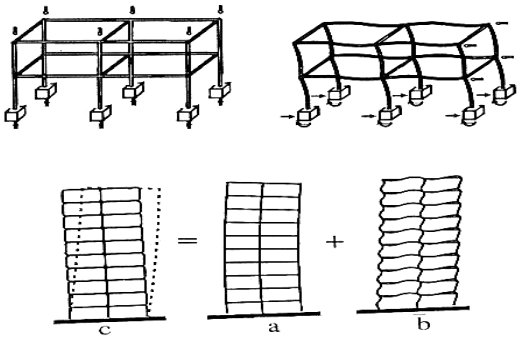
مهمترین خاصیت این سیستم نحوه اتصال اعضای آن می باشد که به نحو مؤثری در رفتار سازه ای و پایداری سیستم دخیل است.

رفتار نسبتاً شکل پذیر این قاب ها ،قابلیت استهلاک انرژی بالایی را فراهم میکند.در حالیکه سختی جانبی کم این نوع قاب ها موجب ایجاد تغییر مکان های زیاد در مقابل بارهای جانبی میشود.که برای جبران آن مجبور به استفاده از مقاطع بزرگ مخصوصاً در طبقات پایین خواهیم بود نه ظبیعتاً در مواردی طرح را غیر اقتصا دی خواهد نمود.

### ۲-۱. رفتار قابهای خمشی در برابر بارهای جانبی

رفتار یک قاب خمشی در برابر بارهای زلزله در حقیقت چرخش گره ها و ایجاد تغییر شکل های در تیرها و ستون های آن می باشد. این تغییر شکل ها در اثر دو عامل عمده زیر بوجود می آیند:

۱- تغییر شکل ناشی از خمش طره ای ۲-تغییر شکل ناشی از خمش تیرها وستون ها

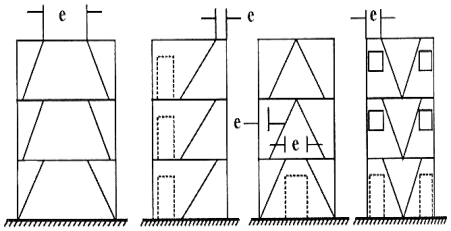



**۱-تغییر شکل قاب صلب خمشی [۱]**

بنابراین با توجه به سهم قابل توجه خمش تیرها در مقدار تغییر شکل قاب خمشی (در برابر خمش ستون)، برای کنترل تغییر شکل قاب خمشی، تقویت تیرها به تقویت ستونها ارجحیت دارد. اما افزایش مقاطع تیرها در مقابل ستون ها نباید ما را از فلسفه تیر ضعیف - ستون قوی غافل کند.[۱]

## ۳. سیستم مهار بند واگرا

ر این سیستم قسمتی از طول تیر که بین مهاربندی و ستون یا بین دو مهاربندی قرار می گیرد تیر پیوند نامیده می شود. تیر پیوند مانند فیوز شکل پذیر عمل می کند و مقدار زیادی از انرژی ناشی از زلزله را جذب می کند. این سیستم توانایی ایجاد سختی مناسب در ناحیه خطی برای مواجهه با زلزله های کوچک و شکل پذیری و ظرفیت جذب انرژی مناسب در ناحیه غیر خطی برای مقابله با زلزله های شدید را دارا می باشد. سیستم EBF در واقع مخلوطی از دو سیستم قاب مهاربندی شده همگرا و سیستم قاب خمشی می باشد. در شکل ۲نمونه هایی از قاب واگرا نشان داده شده است. در این شکل ها طول تیر پیوند با حرف e نشان داده شده است. {۱}




**۲- نمونه هایی از قاب های خارج از مرکز**

## ۴. مزایای روشهای آنالیز غیر خطی

روشهای غیر خطی برای محاسبه واقع بینانه تر نیازهای لرزه ای ساختمان مطرح می شوند زیرا بدین وسیله می توان چگونگی رفتار و عملکرد سازه را پس از ورود به ناحیه غیر خطی در طول یک زلزله مورد بررسی قرار داد.به طور کلی مزایای روشهای تحلیل غیر خطی نسبت به روشهای تحلیل خطی در مرجع FEMA-273/274 بصورت زیر خلاصه شده است:

۱- تخمین واقع گرایانه تر تقاضای نیرو در اجزایی که بالقوه شکننده اند،مانند نیروی محوری در ستونها و لنگر خمشی در اتصالات تیر و ستون.

۲- تخمین واقع گرایانه تقاضای تغییر شکل در اجزایی که باید جهت مقاومت در برابر حرکت زمین ناشی از زلزله متحمل تغییر شکل غیر ارتجاعی شوند.

۳- تخمین واقع گرایانه تر از اثرات کاهش سختی و مقاومت اجزاء بررفتار سیستم سازه ای.

۴- شناختن نواحی بحرانی که در آنها امکان رخ دادن تغییر شکلهای بزرگ وجود دارد.

۵- شناسایی ناپیوستگی های مقاومت

در روش تحلیل استاتیکی غیرخطی، بار جانبی بتدریج افزایش داده می شود تا آنجا که تغییر مکان در نقطه معینی از حد مورد نظر فراتر رود. تغییر شکلها و نیروهای داخلی در هنگام افزایش بار جانبی بطور مداوم تحت نظر قرار می گیرد.

این روش مشابه روش تحلیل استاتیکی خطی است با این تفاوت که:

۱ - رفتار غیر خطی تک تک اعضا و اجزای سازه در تحلیل وارد می گردد.

۲- اثر زلزله بجای اعمال بار مشخص بر حسب تغییر شکل برآورد می گردد.

یکی از مهمترین نتایج این تحلیل تعیین نمودار بار – تغییر مکان یا منحنی ظرفیت است.برای ترسیم این نمودار معمولاً از مقادیر برش پایه در مقابل تغییر مکان جانبی نقطه مرجع تراز بام استفاده می شود. از این نمودار می توان به کمک روش طیف ظرفیت برای تغییر مکان هدف استفاده نمود.علاوه بر آن این تحلیل یکی از روشهای قدیمی در تعیین ضریب رفتار سازه (R) است. [۲].

## ۵. روش بدست آوردن نقطهٔ عملکرد

در طراحی و بهسازی سازه ها براساس عملکرد سازه تحت یک سری نیروهای جانبی کشیده می شود. با افزایش جا به جایی جانبی، نیروهای موجود در اعضای سازه نیز افزایش می یابند تا حدی که در بعضی از نقاط سازه نیروهای موجود از مقدار نیروهای حد تسلیم فراتر می روند و مفاصل پلاستیک در سازه ایجاد می شوند. با توجه به سطح عملکردی که برای ساختمان انتخاب شده است سازه باید بتواند حد معینی از جا به جایی جانبی را بدون اینکه تغییر شکل ها در منحنی Force-Deformation اعضا از یک حد مجاز فراتر رود تحمل کند. [۳]

اگر در بعضی از اعضا نیرو یا تنش ها از این مقدار بیش تر شوند، این اعضا باید تقویت گردند. مقدار این تغییر مکان برای یک سطح عملکرد معین، مشخص است. این تغییر مکان در FEMS-356 ودر دستورالعمل بهسازی تغییر مکان هدف (Target Displacment ) و در ATC-40 جا به جایی تقاضا (Demand Displacement) نامیده می شود. [۴]

روش به دست آوردن نقطهٔ عملکرد در ATC- 40 براساس روش طیف ظرفیت CSM (Capacity Spectrum Method) است. در ATC- 40محل تقاطع منحنی طیف ظرفیت و طیف تقاضا در مختصات جابجایی طیفی - شتاب طیفی نقطهٔ عملکرد (Performance Point ) نامیده می شود. .[۵]

با استفاده از رابطهٔ زیر هر نقطه ای از منحنی طیف پاسخ الاستیک با مختصات ($T_i$, $Sa_i$ ) به نقطه ای از منحنی طیف تقاضا با مختصات ($Sd_i$, $Sa_i$) در فرمت ADRS تبدیل می شود.

$$Sd_i = \frac{T_i^{\,2}}{4\pi} Sa_i g \qquad (۱)$$

با استفاده از رابطه های زیر هر نقطه از منحنی ظرفیت (پوش آور) با مختصات $(\delta_i, \nu_i)$ به نقطه ای منحنی طیف ظرفیت با مختصات $(sd_i, sa_i)$ در فرمت ADRS تبدیل می شود.

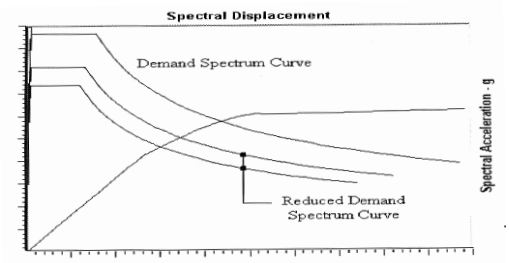
$$Sa_i = \frac{V_i / W}{a_1} \qquad (۲)$$

$$Sd_i = \frac{\Delta_{roof}}{\left(PF_1 \times \varphi_{1,roof}\right)}$$

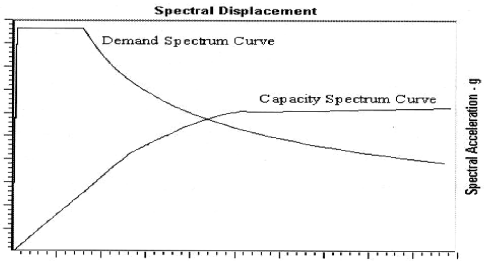
$$a_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{N} \left(w_i \varphi_{i1}\right)/g\right]}{\left[\sum_{i=1}^{N} w_i / g\right]\left[\sum_{i=1}^{N} \left(w_i \varphi_{i1}^{2}\right)/g\right]} \qquad (۳)$$

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N} \left(w_i \varphi_{i1}\right)/g}{\sum_{i=1}^{N} \left(w_i \varphi_{i1}^{2}\right)/g}$$

منحنی طیف تقاضای الاستیک با میرایی $\beta_{eff}$ کاهش یافته با منحنی ظرفیت تداخل داده می شود.




**شکل۳- منحنی های طیف تقاضای کاهش یافته پس از اعمال ضرایب کاهش طیفی در هر مرحله.[ ۳]**




**شکل۴- منحنی طیف ظرفیت و طیف پاسخ همراه با یکدیگر در فرمت ADRS [۳]**

## ۶. مدل سازی و بررسی و آنالیزنمونه ها

در این تحقیق برای مقایسه اثر مهاربندهای برون محور هشتی شکل بر سطح عملکرد قابهای خمشی متوسط، قابهای دو بعدی با تعداد دهانه و تعداد طبقات مختلف در دو حالت در نظر گرفته شده است، به این صورت که ابتدا قابها به صورت قابهای خمشی متوسط بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم،مبحث ششم و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تحلیل و طراحی شده است و پس از معرفی پارامترهای مربوط به آنالیز پوش آور و اختصاص مفاصل پلاستیک تحت آنالیز استاتیکی غیر خطی قرار گرفته و سطح عملکرد آنها بدست آمده است، سپس با افزودن مهاربندهای هشتی شکل برون محور سطح عملکرد قابهای جدید محاسبه گردیده است.

## ۶-۱ مشخصات هندسی نمونه ها و نامگذاری آنها

نمونه های مورد بررسی قابهای ۴، ۷و ۱۵ طبقه با ۳و ۵ دهانه می باشند، طبقات با ارتفاع یکسان ۳ متر و دهانها به طول یکسان ۴ متر در نظر گرفته شده است، همچنین موقعیت مهار بندها در قاب نیز بصورت متقارن در نظر گرفته شده است. مقاطع تیرها و ستونها و بادبندها بر اساس تحلیل خطی و نسبت تنش نزدیک به یک بدست آمده است

. برای اختصار در نامگذاری قابها علائم زیر استفاده شده است:

R : قاب های خمشی  RE : قاب های خمشی+مهاربند EBF

## ۶-۲ مشخصات مصالح

فولاد مصرفی در قابهای مورد بررسی از نوع St37 با $F_U = 3700\,{}^{kg}\!/_{cm^2}$ است در مدل سازی رفتارخطی سازه ازمشخصات کران پایین مقاومت مصالح (Lower-Bound Strength) و در مدل سازی رفتار غیر خطی در اعضای کنترل شونده توسط تغییر شکل از مشخصات مقاومت مورد انتظار (Expected Strength) استفاده شده است. بر اساس دستور العمل بهسازی مشخصات مصالح مورد انتظار برای فولاد برابر است با:

جدول ۱- مشخصات مصالح فولادی

| مشخصه | واحد |
|---|---|
| وزن واحد حجم | $7.849\times10^{-3}\,{}^{kgf}\!/_{cm^3}$ |
| مدول الاستیسیته | $2.1\times10^{6}\,{}^{kg}\!/_{cm^2}$ |
| ضریب پواسون | 0.3 |
| تنش تسلیم | $2400\,{}^{kg}\!/_{cm^2}$ |

$$St_{37} \rightarrow \begin{cases} F_{ue} = 1.1F_u = 1.1\times3700 = 4070\,{}^{kg}\!/_{cm^2} \\ F_{ye} = 1.1F_y = 1.1\times2400 = 2640\,{}^{kg}\!/_{cm^2} \end{cases}$$

## ۶- ۳ مشخصات خاک محل احداث

نمونه های مورد بررسی بر روی زمین نوع چهار بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ با خطر نسبی خیلی زیاد می باشد، با توجه به نوع خاک و محل احداث ساختمان پارامترهای مربوط به ضریب بازتاب ساختمان برابر است با: $T_0$=0.15، $T_S$=1، S=1.75 . [۶]

### ٦-٤ مشخصات بارهای اعمالی

قابهای مورد بررسی ازساختمانهایی با کاربری مسکونی و سقف تیرچه بلوک با بار مرده ۶۰۰ و بار زنده ۲۰۰ فرض شده است. عرض بارگیر قابها ۳ مترمی باشد. در آنالیز استاتیکی خطی نیروی زلزله با استفاده از رابطه محاسبه می شود. بر اساس جدول ۱ آیین نامه ۲۸۰۰ وزن مؤثر ساختمان در هنگام زلزله در بام های مسطح برابر با کل بار مرده بعلاوه ۲۰٪ بار زنده است.

برای قاب خمشی متوسط R=7 و برای ساختمانهای مسکونی I=1 می باشد.

ترکیبات بارگذاری در آنالیز استاتیکی خطی مطابق با ترکیبات مبحث دهم مقررات ملی ساختمان فرض شده و برای ترکیبات بارگذاری آنالیز استاتیکی غیر خطی بر اساس دستور العمل بهسازی لرزه ای دو ترکیب بار برای در نظر گرفتن اثرات بار ثقلی مرده و زنده معرفی شده است.این ترکیبات بار عبارتند از:

$$Q_G = 1.1(Q_D + Q_L) \qquad (۴)$$

$$Q_G = 0.9Q_D \qquad (۵)$$

بر اساس دستور العمل بهسازی $Q_D$بارمرده و$Q_L$ بار زنده بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان می باشد. در این مدل ها ابتدا ترکیبات بار ثقلی معرفی شده و سپس آنالیز استاتیکی غیر خطی تحت اثر الگو های بار جانبی در ادامه این حالات بارگذاری انجام شده است. [۷]

## ۶-۵ مشخصات الگوی توزیع بار جانبی

بر اساس دستور العمل بهسازی از الگوهای بارگذاری الگوی متناسب با بار جانبی در روش استاتیکی،الگوی متناسب با شکل مود اول ارتعاش والگوی توزیع یکنواخت حداقل دو الگوی بار جانبی برای ارزیابی سازه باید در نظر گرفته شود. الگو های بار جانبی باید در دو جهت مثبت و منفی به صورت جدا گانه به سازه اعمال گردد.

## ۶-۶ پارامترهای تحلیل استاتیکی غیر خطی

همانطور که قبلاً بیان شد روش کار در تحلیل استاتیکی غیر خطی بدین ترتیب است که ابتدابايد بارهای ثقلی به سازه اعمال گردد، ترکیبات بار ثقلی دستور العمل بهسازی فقط برای بررسی اثر همزمان بارهای ثقلی و بارهای جانبی ناشی از زلزله است و برای ارزیابی باربری ثقلی سازه استفاده نمی شود.
به طور کلی در تحلیل های غیر خطی دو نوع اثرات غیر خطی می توان در نظر گرفت، این اثرات عبارتند از:تحلیل هندسی که مربوط به اثرات $p-\Delta$ و تغییر شکل های بزرگ است و دیگری اثرات غیر خطی مصالح می باشد که با تعریف مشخصات مفاصل در مدل ها تأثیر داده می شود.
رفتار اعضاء سازه ای تحت اثر بارهای زلزله در آزمایشگاه به وسیلهٔ نیروهای رفت و برگشتی مدل سازی می شودو با استفاده از نمودار هیسترزیس که نشان دهندهٔ نمودار بار – جابجایی است ارزیابی می گردد، اکثر آیین نامه ها و نرم افزارهای کامپیوتری به منظور ساده سازی رفتار اعضا تحت اثر بارهای ناشی از زلزله از مدل چند خطی برای مدل سازی استفاده می کنند.

همچنین با توجه به اینکه در قابهای مورد بررسی اثر میان قاب ها و اجزای غیر سازه ای دیگر در مدل سازی در نظر گرفته نشده و تنها تیر و ستونها مدل شده اند، مشخصات مفاصل پلاستیک و معیارهای پذیرش با توجه به محدودیتهای لاغری بال و جان مقاطع بر اساس ستون اعضای اصلی جدول ۵-۳ دستور العمل بهسازی لرزه ای برداشت شده است. برای تیرها مفاصل بصورت خمشی و برای ستونها به صورت اندرکنش محوری و خمشی در نظر گرفته شده است. همچنین پس از افزودن مهار بندهای برون محور هشتی شکل با توجه به طول تیر پیوند مفصل برشی بر روی تیر پیوند تعریف شده است، اثرات سخت شدگی کرنشی مطابق دستور العمل بهسازی لرزه ای با در نظر گرفتن شیبی برابر با ۳٪ شیب قسمت الاستیک در نظر گرفته شده است. همچنین کلیه اعضا به صورت کنترل شونده توسط تغییر شکل تعریف شده اند.

## ۷. بررسی نتایج

نتایج آنالیز قابهای مورد مطالعه در جداول ۲و۳ نشان داده شده است، نتایج مربوط به سیستم بادبندی مناسب و توزیع بار جانبی بحرانی، ملاک قرار گرفته اند. هم چنین تغییر مکان نسبی مربوط به اولین تغییر مکان بزرگتر از تغییر مکان هدف می باشد. [۸]

**جدول ۲- پارامتر های کنترل معیارهای پذیرش کلی ساختمان برای قابهای ۳ دهانه**

| ردیف | نام قاب | ارتفاع قاب (cm) | جابجا یی جانبی بام (cm) | $\frac{V_P}{V_y}$ | $\frac{\Delta}{h}$ | سطح عملکرد قاب |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | R3D-4T | 1200 | 31.308 | 1.0722 | 0.0261 | CP |
| ۲ | RE3D-4T | 1200 | 4.856 | 1.1889 | 0.0040 | IO |
| ۳ | R3D-7T | 2100 | 43.025 | 1.1186 | 0.0205 | CP |
| ۴ | RE3D-7T | 2100 | 12.364 | 1.3744 | 0.0059 | IO |
| ۵ | R3D-15T | 4500 | 76.451 | 1.082209 | 0.0170 | LS |
| ۶ | RE3D-15T | 4500 | 8.37 | 1.0573 | 0.0019 | IO |

در بررسی قابها با سه دهانه نتایج نشان می دهد که در تمامی قاب ها سیستم برون محور سیتم مناسبی جهت تقویت به نظر می رسد میزان کاهش جابجایی بام برای قابهای ۱۵ طبقه نسبت به قابهای ۴و ۷ طبقه کمتر می باشد ولی این تفاوت زیاد نیست.

**جدول ۳- پارامتر های کنترل معیارهای پذیرش کلی ساختمان برای قابهای ۵ دهانه**

| ردیف | نام قاب | ارتفاع قاب | جابجا یی جانبی بام | $\frac{V_P}{V_y}$ | $\frac{\Delta}{h}$ | سطح عملکرد قاب |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | R5D-4T | 1200 | 32.97 | 1.0576 | 0.0275 | CP |
| ۲ | RE5D-4T | 1200 | 3.046 | 1.07683 | 0.0025 | IO |
| ۳ | R5D-7T | 2100 | 42.817 | 1.0873 | 0.0204 | CP |
| ۴ | RE5D-7T | 2100 | 2.572 | 0.607 | 0.0012 | IO |
| ۵ | R5D-15T | 4500 | 75.742 | 1.0797 | 0.0168 | LS |
| ۶ | RE5D-15T | 4500 | 7.071 | 0.9824 | 0.0016 | IO |

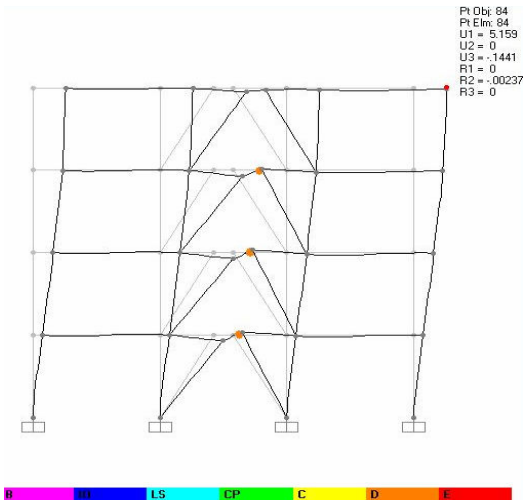
در این دهانه نیز سیستم تقویت با مهار بند EBF برای قابها با ارتفاع کمتر عملکرد بهتری را نشان می دهد.تنها برای قاب هفت طبقه تقویت شده با EBF مقاومت جانبی تأمین نشده است.

پس از بررسی جابجایی نسبی طبقات موارد ذیل بدست آمده است:

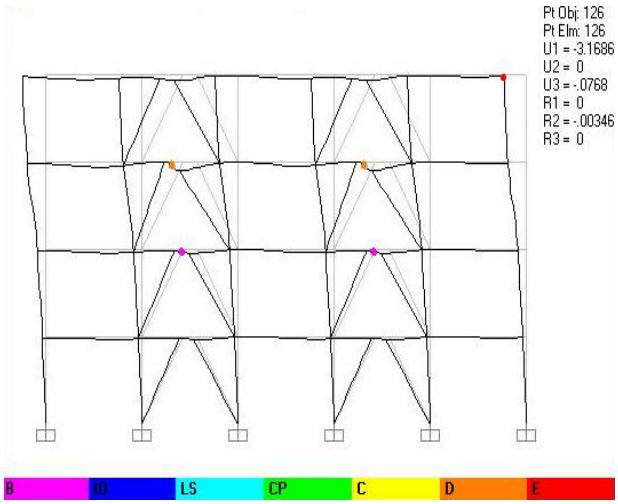
- در قابهای تقویت شده سه دهانه جابجایی نسبی بام برای هیچ یک از طبقات از ۱ درصد ارتفاع طبقه تجاوز نکرده است
- در قابهای تقویت شده پنج دهانه جابجایی نسبی بام برای هیچ یک از طبقات از ۲ درصد ارتفاع طبقه تجاوز نکرده است ، جابجایی نسبی بام در طبقات سوم و چهارم از ۱ درصد ارتفاع طبقه تجاوز نموده است.

## ۸. کنترل وضعیت اعضاء در نقطه عملکرد

برای این که سازه جوابگوی سطح عملکردی مورد نظر باشد، باید در تغییر مکان هدف هیچ کدام از مفاصل سازه در محدودهٔ تغییر شکل های فراتر از معیارهای پذیرش سطح عملکردی انتخاب شده قرار نگیرد. در غیر این صورت اعضایی که در آنها مفاصلی با در محدودهٔ تغییر شکل های فراتر از معیارهای پذیرش سطح عملکردی انتخاب شده تشکیل می شود باید تقویت شوند. برای نمونه چند قاب در شکل زیر آورده شده است.




**شکل ۵- مفاصل تشکیل شده در قاب ۴طبقه ۳دهانه**




**شکل ۶- مفاصل تشکیل شده در قاب ۴طبقه ۵دهانه**

مکان وتعداد مفاصل تشکیل شده در محدوده بزرگتر از سطح عملکرد قاب در اعضا در اولین تغییر مکان بزرگتر از تغییر مکان هدف در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول۴- تعداد مفاصل تشکیل شده در محدوده بزرگتر از سطح عملکرد قاب

| مکان تشکیل مفصل | تعداد مفاصل تشکیل شده در محدوده بزرگتر از سطح عملکرد قاب | سطح عملکرد قاب | نام قاب | ردیف |
|---|---|---|---|---|
| تیر | ۳ | IO | RE3D-4T | ۱ |
| تیر | ۴ | IO | RE3D-7T | ۲ |
| تیر | ۱ | IO | RE3D-15T | ۳ |
| تیر | ۲ | IO | RE5D-4T | ۴ |
| تیر | ۰ | IO | RE5D-7T | ۵ |
| تیر | ۰ | IO | RE5D-15T | ۶ |

## ۹. نتیجه‌گیری

با توجه به فصول قبل می توان به نکات زیر به عنوان جمع بندی اشاره نمود.

۱-استفاده از سیستم مهاربندهشتی شکل برون محور برای تقویت قاب خمشی در ساختمان های کوتاه ومتوسط مناسب به نظر می رسد.اما باید وضعیت مفاصل تشکیل شد ه در اعضا کنترل گردد ودر صورت نیاز اعضایی که وضعیت مفاصل در آن ها در محدوده بزرگتر از سطح عملکرد کل ساختمان قرار دارداصلاح گردد.

۲-در کلیه قاب ها پس از افزودن مهاربند به قاب سختی جانبی سیستم افزایش می یابد وموجب کاهش تغییر مکان جانبی قاب ها می گردد.

۳-با توجه به نمودارهای پوش رسم شده برای توزیع بارهای جانبی مختلف به خوبی فرض توزیع بار جانبی به صورت مثلثی در اکثرآیین نامه ها به جای توزیع بار جانبی مد اول سازه تایید می گردد.

## ۱۰. مراجع

۱ . احمد نیکنام، ابرهیم ثنایی، جواد هاشمی، حسن باجی،" رفتار و ضوابط طراحی لرزه ای ساختمانهای فولادی بر مبنای آیین نامه UBC"، انتشارات دانشگاه هرمزگان و انتشارات سالکان؛ چاپ اول ۱۳۸۱

۲. نوشادروان،آرش.،"روش طیف ظرفیت در طراحی بر اساس عملکرد سازه های بلند"پایان نامه پایان نامه کارشناسی ارشد- دانشگاه تهران ۱۳۸۱

۳. رامین تقی نژاد، " طراحی و بهسازی سازه ها بر اساس سطح عملکرد با استفاده از تحلیل پوش آور SAP2000-ETABS"، انتشارات کتاب دانشگاهی چاپ صادق، چاپ اول، ۱۳۸۸

4. FEMA-356, Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings, Prepared by American Society Of Civil Engineers, Reston, Virginia, Prepared for Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., November 2000, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

5. ATC-40 Report,Applied Technology Council, Seismic Evaluation and Retrofit of concrete Buildings Volume 1,Redwood City, California, November 1996.

۶ . کمیته دائمی بازنگری آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله "آیین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله- استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، وزارت مسکن و شهر سازی،تهران" ،۱۳۸۴

۷. دفتر امور فنی و تدوین معیارها،سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور،" دستور العمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود "،پژوهشکده بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله،۱۳۸۱

۸ . سمانه خاکسفیدی، "سطح عملکرد قاب های فولادی متوسط با مهار بندی برون محور هشتی شکل تحت بارگذاری استاتیکی غیر خطی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون مازندران،بابل، اردیبهشت ۱۳۸۹