



بررسی عملکرد سکوی پایه ثابت مجهز به مهاربند RBS در برابر بار زلزله

علی اکبر گل افشانی^۱، محمدرضا تابش پور^۲، یعقوبعلی حاجی نوری^۳

^۱دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف؛ golafshani@sharif.edu

^۲استادیار، قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرک های دریایی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف؛ Tabeshpour@sharif.edu

^۳دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه صنعتی شریف؛ aalihajinoori@gmail.com

چکیده

سکوهای دریایی از مهمترین سازه ها در کشورهای نفتخیز بشمار می روند که سود اقتصادی حاصل از تولید آنها، توقف کارکرد آنها را بسیار پرهزینه می کند. بنابراین ضروری است که عملکرد آنها با وقوع زلزله دچار اختلال نشود. یک سیستم مهاربندی نیمه فعال جدید با عملکرد بالا، توسط دکتر گل افشانی و همکاران ارائه گردیده است که قابلیت حذف تغییر مکان ماندگار طبقات در پایان زلزله و نیز تمرکز خرابی در مهاربندیها را دارا می باشد. بادبند مجهز به این سیستم می تواند سختی پیوسته متغیری را در تمام طول زلزله به سازه اعمال نماید. در تحقیقات گذشته، عملکرد مناسب این مهاربند بر روی قابهای فولادی مشاهده گردیده است. با توجه به اهمیت سکوهای دریایی در اقتصاد کشور و هزینه ساخت بالای آنها از یک سو و ضرورت بهسازی سکوهای موجود در خلیج فارس، از سوی دیگر، در این مقاله عملکرد و کارایی این سیستم بر روی سکوهای دریایی پایه ثابت، تحت بار زلزله، با مدل سازی سکوی مجهز به این نوع مهاربند در نرم افزار اپنسیس^۱ مورد بررسی قرار گرفته و نتایج با پاسخهای مربوط به سکوی دارای مهاربند معمولی مقایسه گردیده است. نتایج نشان دهنده عملکرد مناسب این سیستم، جهت کاهش پاسخ های دینامیکی نسبت به مهاربندهای معمولی است.

کلمات کلیدی: سکوی پایه ثابت، کنترل ارتعاشات، مهاربندی ویژه RBS^۲، بار دینامیکی زلزله

مقدمه

از اواخر قرن ۱۹ میلادی سکوهای ثابت دریایی پا به عرصه تولید نفت و گاز گذاشتند. اما این سکوها معمولاً تحت شرایط سخت محیطی مانند بارهای باد، موج و زلزله قرار دارند. از طرف دیگر، سکوهای دریایی شریان حیاتی برای اقتصاد کشورهای نفت خیز به شمار می روند که سود اقتصادی کلان حاصل از تولید آنها، توقف کارکرد آنها را بسیار پرهزینه می کند. بنابراین ضروری است که عملکرد آنها با وقوع زلزله و یا تحت اثر جریان باد و موج دچار خدشه نشود. از دیگر سو، با توجه به هزینه بسیار بالای ساخت سکوهای جدید، مرمت و مقاوم سازی سکوهای موجود در اولویت قرار دارد.

استفاده از این سازه ها در عمق های کم و متوسط، بسیار مناسب و اقتصادی است، به همین جهت به طور گسترده ای در خلیج فارس مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به اینکه طول عمر متوسط این سازه ها در حدود ۲۵ سال می باشد، بسیاری از سکوهای موجود در خلیج فارس، از طول عمر مفید خود عبور کرده اند، به همین دلیل مقاوم سازی و بهسازی آنها به شدت مورد توجه می باشد. در مورد سکوهای جدید نیز، طراحی آنها بگونه ای که در مقابل وقوع زلزله، بخوبی مقاومت کرده و کارکرد خود را بخوبی ایفا نمایند، بسیار حائز اهمیت می باشد.

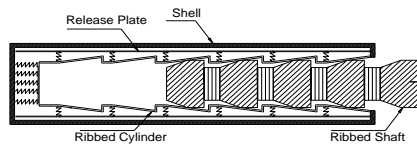
بیش از چند سال از ابداع سیستمهای کنترلی جهت کاهش پاسخ سازه ها تحت اثر زلزله نگذشته است، ولی در طی این مدت سیستمهای متنوعی با کاراییهای متفاوت جهت کنترل پاسخ سازه ها معرفی شده اند. سیستم مهاربندی نیمه فعال جدید با عملکرد بالا که توسط دکتر گل افشانی و همکاران ارائه گردیده است، قابلیت حذف تغییر مکان ماندگار طبقات در پایان زلزله و نیز تمرکز خرابی در مهاربندیها را دارا می باشد. این سیستم مهاربندی نیاز به هیچ گونه محرک یا منبع تغذیه بزرگ جهت فعال شدن نداشته و تنها نیازمند به استفاده از یک باتری جهت قرار دادن مکانیزم دندانه ای در حالت روشن یا خاموش می باشد. [۲]. در مهاربندهای مرسوم فرض می شود مهاربندها تحت اثر نیروی فشاری اندک کمانش می کند، اما در این سیستم مهاربندی دندانه ای تماماً کششی استفاده از سیلندر دندانه ای شکل مانع از کمانش مهاربند تحت اثر نیروی فشاری می گردد. مهاربندی مجهز به این سیستم تحت اثر فشار کاهش طول داده و برخلاف مهاربندهای مرسوم در برگشت در هر نقطه ای می تواند نیروی کششی را دریافت کند. لذا استفاده از قابلیت های این سیستم در سکوهای دریایی میتواند عملکرد مناسبی را در برابر زلزله های احتمالی در طول عمر مفید سازه به همراه داشته باشد.

^۱ OpenSees

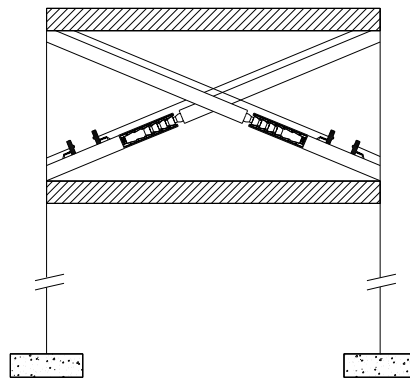
^۲ Ribbed Bracing System

سیستم RBS پیشنهاد شده توسط گل افشانی و همکاران

این سیستم مهاربندی متشکل از یک قطعه الحاقی^۳ است که از فولاد با مقاومت بالا ساخته می‌شود. با نصب این قطعه بر روی مهاربندهای معمولی، سیستم حاصل با رفتار ویژه‌ای که دارد سبب کاهش پاسخ سازه می‌گردد. مزیت استفاده از این سیستم در برابر بادبندهای معمولی را می‌توان در حل مشکل کماتش بادبندهای فلزی و افزایش ظرفیت جذب انرژی بدون نیاز به تغییر مکان نسبی زیاد در طبقات دانست. به عبارت بهتر بر خلاف مهاربندهای معمولی که مشابه با رفتار المان هوک^۴ در هنگام ورود به فاز کششی تنها در نقطه آغاز مرحله فشاری می‌تواند نیرو جذب کند، مهاربندی ویژه ارائه شده این توانایی را دارد که در هر نقطه از پیش تعیین شده‌ای توسط طراح تحت کشش قرار بگیرد. این رفتار سبب می‌شود که سختی مهاربند بصورت پیوسته و در تمام طول زلزله به سازه اعمال و در نتیجه تغییر مکان نسبی در طبقات، میزان خرابی (تشکیل مفاصل پلاستیک) در مزایای این سیستم متمرکز شدن خرابی در بادبندهاست یعنی با کاهش تغییر مکان نسبی در طبقات، میزان خرابی (تشکیل مفاصل پلاستیک) در دیگر اعضای سازه‌ای از قبیل تیرها و ستونها کاهش یافته و بادبندها با افزایش طول متوالی بدون اینکه این افزایش طول موجب ایجاد تغییر مکان نسبی در طبقات گردد انرژی ورودی را به میزان زیادی جذب می‌کنند. شکل ۱ شمایی از قطعه الحاقی مورد بحث را نمایش می‌دهد که مطابق شکل ۲ در مهاربندی فلزی نصب شده‌است.



شکل ۱: قطعه الحاقی ارائه شده توسط گل افشانی و همکاران [۱]



شکل ۲: سازه مجهز به RBS [۱]

همانگونه که ذکر گردید این قطعه الحاقی در یک نقطه دلخواه از بادبند قرار می‌گیرد و بخاطر اینکه تحت اثر نیروی کششی تغییر شکل نداشته باشد از جنس فولاد پرمقاومت ساخته می‌شود. مطابق شکل ۱ قطعه الحاقی از قسمت‌های زیر تشکیل می‌شود:

۱- میله دنداندار^۵

۲- استوانه دنداندار^۶

۳- صفحه آزاد کننده + سویچ^۷

۴- جداره^۸

نحوه عملکرد قاب مجهز به سیستم RBS به این ترتیب است که تحت اثر نیروی فشاری بخاطر وجود فنرهایی در قسمت داخلی جدار این امکان فراهم می‌شود که استوانه دنداندار بدون تحمل نیروی فشاری به سمت جلو حرکت کند. به این ترتیب که فشار دندانهای میله به استوانه دنداندار سبب می‌شود که استوانه به سمت جدار حرکت کرده و میله دنداندار به سمت داخل حرکت می‌کند. در این هنگام با درگیر شدن دندانها فنرها آزاد شده و سیلندر دنداندار از جداره دور می‌شود. به این ترتیب در برگشت هنگامیکه میله تحت کشش قرار می‌گیرد دندانهای

³ Supplement Part

⁴ Hook

⁵ Ribbed Shaft

⁶ Ribbed cylinder

⁷ Switch + Release Plate

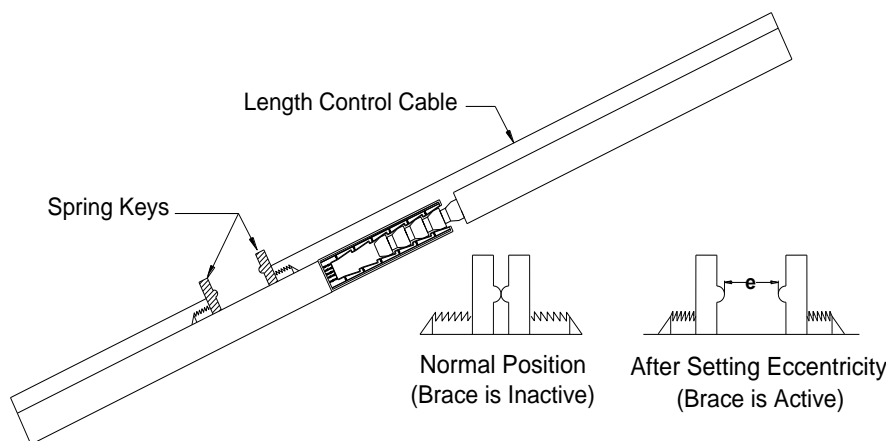
⁸ Shell

میله و سیلندر در هم قفل شده و بادبند تحت اثر کشش نیرو می پذیرد. بنابراین بر خلاف مهاربندی معمولی در فشار بادبندها کمانش نکرده و در کشش بادبند تحت اثر نیرو قرار می گیرد [۳].

تا این مرحله به این هدف که مهاربندها تحت اثر نیروی فشاری کمانه نکنند و اینکه تحت اثر نیروی کششی توانایی پذیرش تغییر شکل پلاستیک زیاد را داشته باشد بدون اینکه موجب تغییر مکان نسبی زیاد در طبقات گردد، رسیده ایم. بنابراین سیستمی طرح شده که بتواند تغییرشکل‌های پلاستیک را جبران کند اما مشکلی که وجود دارد این است که ممکن است تحت اثر شتاب ایجاد شده در طبقات، مهاربند به مقدار زیادی وارد ناحیه فشاری شود و در برگشت به علت قفل شدن دندانها نتواند به حالت عادی برگردد. این عامل موجب می شود که در انتهای زلزله طول مهاربند خیلی کوتاه شده باشد و تغییر شکل ماندگار زیادی داشته باشیم.

برای حل این مساله نیاز به سیستمی است که تنها در محدوده دلخواه و از پیش تعیین شده ای اجازه قفل شدن به سیستم و تحمل نیرو در ناحیه فشاری را به سیستم مهاربندی بدهد. با توجه به اجزای موجود در قطعه الحاقی چنانچه بتوان صفحه آزادکننده را به بوسیله یک سویچ الکترونیکی به سمت جداره حرکت داد، دندانهای میله بدون قفل شدن دندانهای استوانه می تواند به سمت خارج حرکت کرده و فرمان فعال شدن سیستم هنگامی صادر شود که بادبند از محدوده فشاری معین شده فراتر رفته و یا در حالت خاص با تنظیم محدوده فشاری برابر با صفر، به محض ورود به ناحیه فشاری (طول اولیه بادبند) با فرمان به سویچ، دندانهای استوانه آزاد و سیستم تحت کشش قرار بگیرد.

ابزار فرمان به سویچ می تواند یک کامپیوتر مجهز به سنسورهایی باشد که بتواند طول بادبند را در هر لحظه محاسبه و در صورت کم شدن طول بادبند بیشتر از محدوده مجاز دندانها را باز کند. این سیستم دارای هزینه زیادی بوده و نیاز به امکانات پیشرفته ای دارد. راه حل مناسبی که جهت حل این مشکل پیشنهاد شد استفاده از سیستم مکانیکی مطابق شکل ۳ است.



شکل ۳: مدل شماتیک سیستم اصلاحی کنترل طول بادبند [2]

سیستم مکانیکی فوق از یک کابل تشکیل شده است که در طول مهاربند کشیده شده و به دو قسمت فلزی فنردار متصل می شود. این دو قطعه به اندازه محدوده فشاری تعیین شده که فاصله خروج از مرکز^۹ می نامیم، از هم فاصله می گیرد بطوریکه در این حالت کابل کاملاً کشیده شده است. با دور شدن این دو قطعه فلزی از یکدیگر صفحه سویچ قطع بوده ولی به محض تماس این دو به یکدیگر سویچ فعال و دندانهای میله مهاربند آزاد می شوند. در صورت تنظیم این فاصله به میزان صفر، مهاربند در ناحیه فشاری نیرو تحمل نمی کند و با وارد شدن در ناحیه کششی دو قطعه فلزی از هم دور شده و سویچ دندانها را درگیر می کند. در این سیستم تنها قطعه الکترونیکی همان سویچ می باشد که دارای سیستم پیچیده ای نیست. از آنجاییکه جهت عملکرد این سیستم تنها به انرژی یک باتری نیازمند است، جزء ابزارهای نیمه فعال دسته بندی می شود.

تا کنون بر پایه تحقیقات انجام گرفته توسط دکتر گل افشانی و همکاران [۳ و ۴ و ۵ و ۶]، کارکرد بسیار خوبی از سیستم کنترل نیمه فعال RBS بر روی قابهای فولادی مشاهده گردیده است.

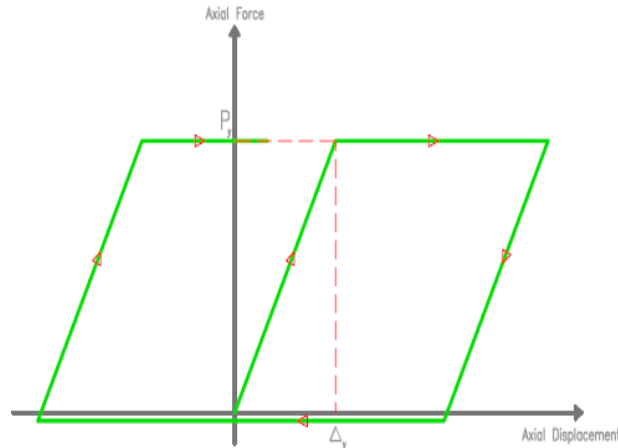
براساس نتایج تحلیل کبیری [۳] بر روی سازه های مجهز به سیستم مهاربندی متداول و RBS این سیستم مهاربندی ویژه سبب کاهش تغییر مکان نسبی طبقات می گردد. همچنین هر چند شاخص خرابی گاهاً در طبقات افزایش می یابد، اما قسمت اعظم این خرابی مربوط به سیستم RBS می باشد که پس از وقوع زلزله، قابل تعویض می باشد و اعضای سازه ای سهم کمتری از شاخص خرابی را به خود اختصاص می دهند. همچنین در شتابهای کم کارایی سیستم بهتر بوده است.

در این مقاله رفتار حالت خاصی از این مهاربند، یعنی حالت کاملاً بسته (CC-RBS) مورد بررسی قرار می گیرد.

⁹ - Eccentricity Distance

مدلسازی رفتار سیستم CC-RBS

نحوه عملکرد قاب مجهز به سیستم CC-RBS به این ترتیب است که تحت اثر نیروی فشاری بخاطر وجود فنرهایی در قسمت داخلی جدار این امکان فراهم می‌شود که استوانه دنداندار بدون تحمل نیروی فشاری به سمت جلو حرکت کند. به این ترتیب که فشار دندان‌های میله به استوانه دنداندار سبب می‌شود که استوانه به سمت جدار حرکت کرده و میله دنداندار به سمت داخل حرکت می‌کند. در این هنگام با درگیر شدن دندان‌ها فنرها آزاد شده و سیلندر دنداندار از جدار دور می‌شود. به این ترتیب در برگشت هنگامیکه میله تحت کشش قرار می‌گیرد دندان‌های میله و سیلندر در هم قفل شده و مهاربند تحت اثر کشش نیرو می‌پذیرد. بنابراین بر خلاف مهاربندی معمولی در فشار مهاربندها کمانش نکرده و در کشش تحت اثر نیرو قرار می‌گیرد. حلقه هیستریزیس این نوع مهاربند در شکل ۴ نشان داده شده است [۴].



شکل ۴: حلقه هیستریزیس مهاربند CC-RBS

مدلسازی رفتار مهاربند های کمانش پذیر متداول (CBF)^{۱۰}

مهمترین پدیده غیرخطی که در هنگام زلزله برای یک قاب مهاربندی شده رخ می‌دهد کمانش عضو مهاربندی است و این مسئله بر رفتار قاب مهاربندی شده در زلزله تاثیر مستقیم دارد. برای مدلسازی کمانش عضو مهاربندی بایستی تغییر مکان های کوچک عرضی و طولی ناشی از ممان های ثانویه را در هنگام تحلیل محاسبه کرد و همچنین اثر نیرو-ممان را با دقت مناسبی در پلاستیک شدن مقطع در نظر گرفت. این کار با توجه به قابلیت های نرم افزار OpenSees در مدلسازی رفتار غیر خطی مواد ممکن می باشد. در این نرم افزار نوع المان مورد استفاده باید از نوع تیر ستون^{۱۱} باشد تا توانایی در نظر گرفتن اثر نیرو-ممان را در مقطع عضو داشته باشد. در نرم افزار OpenSees سه نوع المان تیر ستون با این قابلیت وجود دارد. المانی که در اینجا استفاده می گردد المان کتابخانه ای تیر-ستون غیر خطی^{۱۲} خواهد بود که توانایی در نظر گرفتن اثر پلاستیک شدن را در طول کل عضو دارا می باشد. همچنین نوع مقطعی که برای عضو در نظر می گیریم به صورت فایبر^{۱۳} خواهد بود تا با بیشترین دقت، برنامه به محاسبه تنش های موجود در مقطع بپردازد. تعداد فیبر ها در جهتی که کمانش در مقطع رخ می دهد، از تعداد بیشتری برخوردار خواهد بود.

نرم افزار OpenSees همانند بسیاری از برنامه های المان محدود، سختی عضو را ابتدا در حالت محلی محاسبه می کند و سپس توسط تبدیلهای سختی، آنها را از حالت محلی به حالت کلی تبدیل می کند. دقیق ترین تبدیل موجود در این نرم افزار که توانایی در نظر گرفتن جابجایی های ناشی از ممان های ثانویه را نیز دارا می باشد تبدیل چرخشی^{۱۴} می باشد که ما از آن استفاده می کنیم.

برای مدلسازی نحوه کمانش غیر الاستیک عضو تحت بار محوری در ابتدای تحلیل در محلی که احتمال ایجاد مفصل پلاستیک ناشی از کمانش عضو را می دهیم باید یک خروج از مرکزیت اولیه در عضو ایجاد کنیم تا برنامه در حین تحلیل با تشدید این خروج از مرکزیت بتواند نیروی کمانشی در عضو را بیابد. وضعیت عضو مورد بررسی را در شکل ۵ مشاهده می کنید [۷و۸].

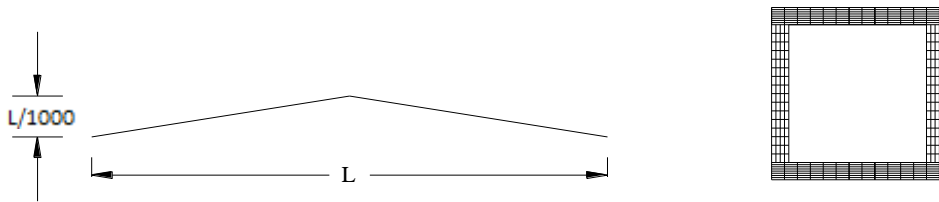
¹⁰ Centrally Braced Steel-Frame

¹¹ Beam Column Element

¹² Nonlinear Beam Column Element

¹³ Fiber Section

¹⁴ Corotational Transformation



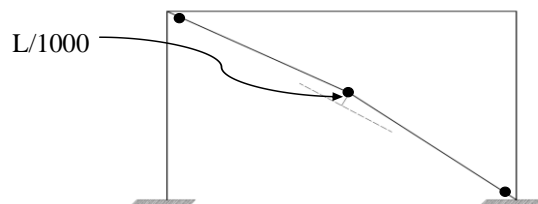
شکل ۵: وضعیت عضو در مدل ایجاد شده در برنامه OpenSees

در جدول ۱ جزئیات مربوط به مدل ایجاد شده در نرم افزار OpenSees را مشاهده می کنید [۹].

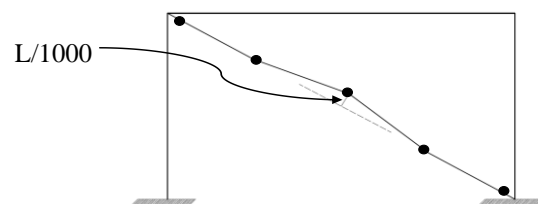
جدول ۱: جزئیات مربوط به مدل ایجاد شده در نرم افزار OpenSees

Uniaxial Material	Steel02
Section	Fiber
Element	NonLinear Beam-Column
Geometric Transformation	Corotation
Constrain	Plain
Numberer	RCM
System	Band General
Test	Energy Increment
Algorithm	KrylovNewton
Intrgrator	Newmark
Analysis	Transient

در این مدل سازی ما از مهاربندهایی با ۲ عضو تیر- ستون غیر خطی استفاده می کنیم که در گره میانی آن یک خروج از مرکزیت به میزان $L/1000$ در نظر گرفته شده است. مدل سازی پیچیده تر استفاده از ۴ عضو تیر- ستون غیر خطی می باشد. مدل سازی انجام شده در شکل های ۶ و ۷ نشان داده شده است.



شکل ۶: استفاده از ۲ عضو تیر - ستون غیر خطی



شکل ۷: استفاده از ۴ عضو تیر - ستون غیر خطی

سکوی مورد مطالعه

حوزه رسالت در آب‌های خلیج فارس و در فاصله ۸۰ کیلومتری جنوب جزیره لاوان، و در عمق ۶۷ متری واقع شده است [۱۰]. مجموعه دور از ساحل رسالت شامل یک سکوی حفاری، یک سکوی تولید، یک سکوی خدمت و یک سه پایه می‌باشد. این حوزه در سال ۱۹۶۸ میلادی توسعه پیدا کرده است. این حوزه در دوران جنگ ایران و عراق و همچنین به دلیل وقایع آب و هوایی دچار آسیب‌هایی شده است. سکوی خدمت رسالت یکی از قسمت‌های این حوزه می‌باشد که در قسمت با عمق ۶۷٫۴ متری واقع شده. شامل یک جاکت چهارپایه و قسمت فوقانی می‌باشد و با یک پل به سکوی تولید متصل شده است. عمر خدمت دهی سکو ۲۵ سال است. سکوی مورد نظر جزو سکوهایی با خطرپذیری بالا می‌باشد [۱۱]. نمای سه بعدی از سکوی مورد نظر در شکل ۸ ملاحظه می‌گردد [۱۲].



شکل ۸: سکوی رسالت واقع در خلیج فارس [۱۲]

برای مدل‌سازی از برنامه OpenSees [۱۳] استفاده شد. مدل‌سازی سکو به صورت دو بعدی و با در نظر گرفتن پایه‌های سکو به صورت گیردار انجام شده است. شبیه‌سازی پاسخ اعضای قاب سکو با استفاده از المان‌های تیر-ستون غیر خطی^{۱۵} بر مبنای نیرو و با پلاستیسیته گسترده و با مقطع از نوع فایبر^{۱۶} صورت گرفته است.

نتایج و بحث

بررسی عملکرد سکوی مجهز به RBS

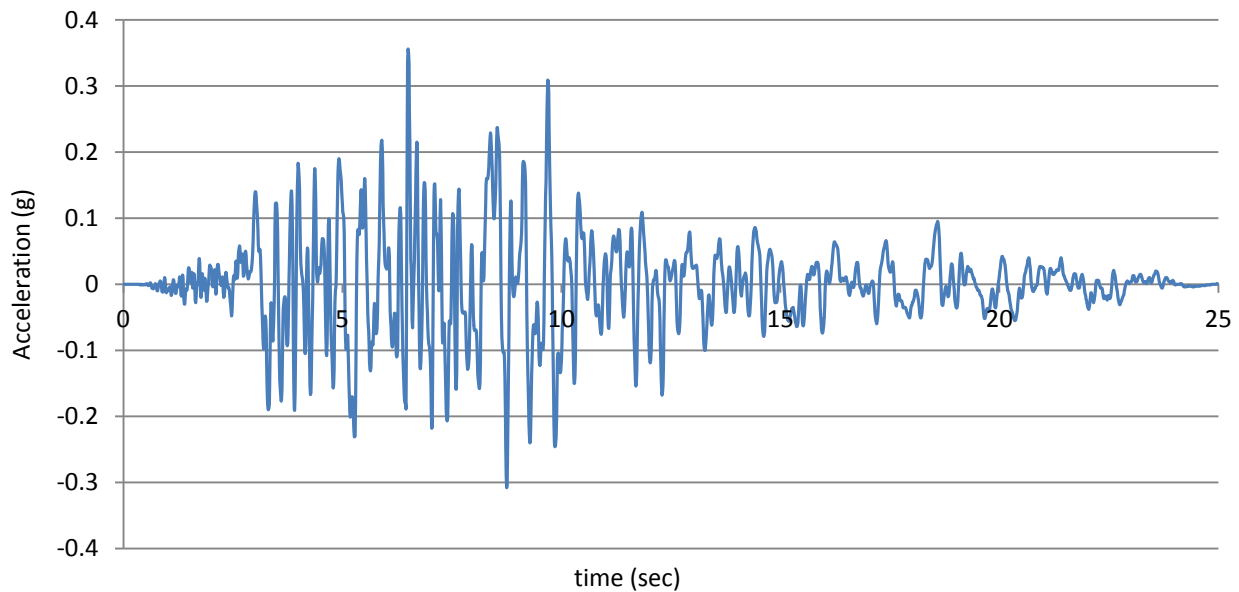
جهت بررسی عملکرد سکوی مجهز به مهاربند RBS نسبت به سکوی دارای مهاربند معمولی، مهاربندهای موجود در تراز بالایی سکوی مورد مطالعه، حذف گردیده و به جای آنها، مهاربندهای RBS با همان مقطع، جایگزین گردیده است. سپس هر دو سکو تحت تحریک زلزله یکسان قرار داده شده و آنالیز تاریخیچه زمانی بر روی آنها به کمک نرم افزار OpenSees صورت گرفته است. جهت انجام آنالیز تاریخیچه زمانی از رکورد زلزله نورثریج^{۱۷} که در ایستگاه کانوگا پارک^{۱۸} ثبت شده و دارای PGA برابر با 0.356g می‌باشد و در ضریب ۰٫۷ ضرب گردیده است، استفاده شده است. رکورد تاریخیچه زمانی شتاب زلزله مورد نظر از سایت PEER دریافت گردیده است. نمودار تاریخیچه زمانی شتاب این زلزله در شکل ۹ نشان داده شده است.

¹⁵ Nonlinear Beam Column Element

¹⁶ Fiber Section

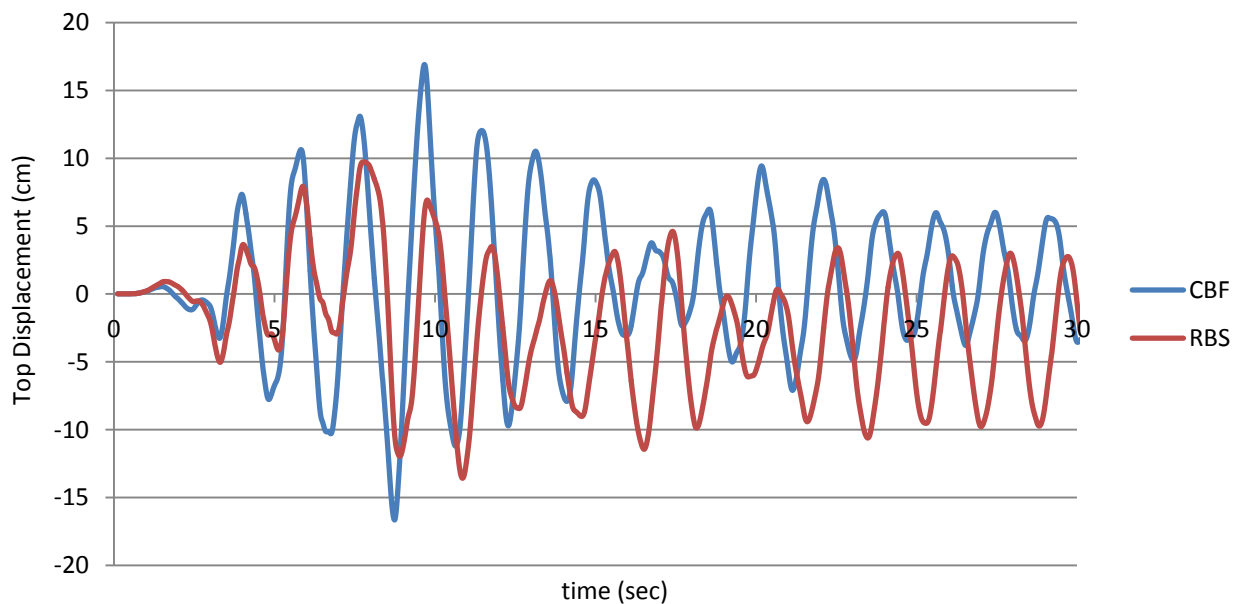
¹⁷ Northridge

¹⁸ Canoga Park



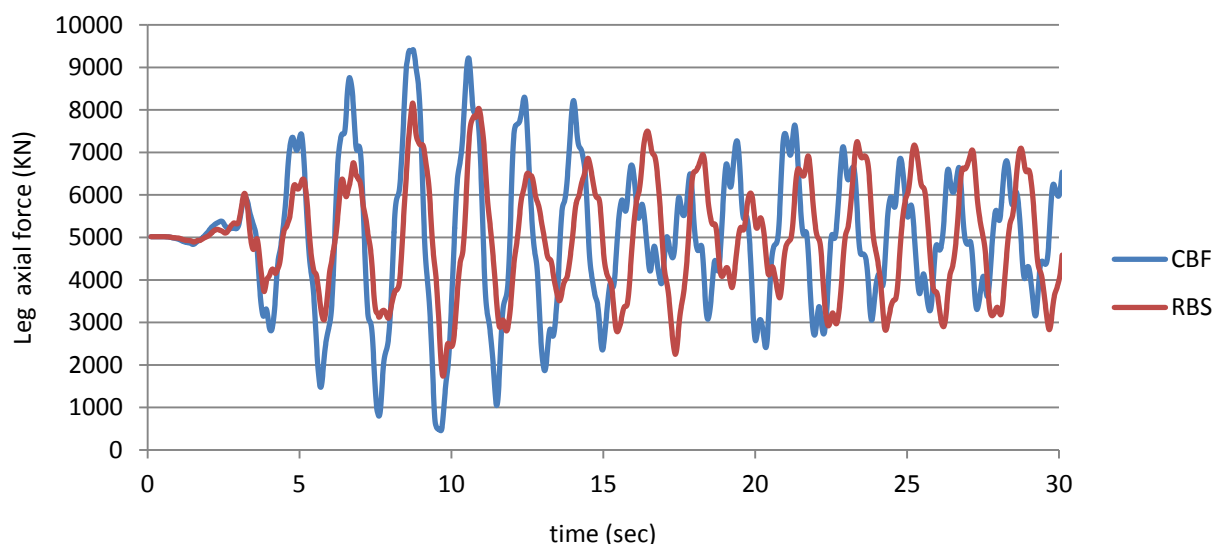
شکل ۹: نمودار تاریخچه زمانی شتاب زلزله نورث ریج

نتایج حاصل از انجام آنالیز تاریخچه زمانی بر روی دو سکو در شکل های زیر ارائه گردیده است. در شکل ۱۰، نتایج مربوط به حداکثر جابجایی قسمت فوقانی سکو نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می گردد، بکارگیری مهاربند RBS به جای مهاربند معمولی، موجب کاهش قابل ملاحظه ای در حداکثر جابجایی قسمت فوقانی سکو می شود.



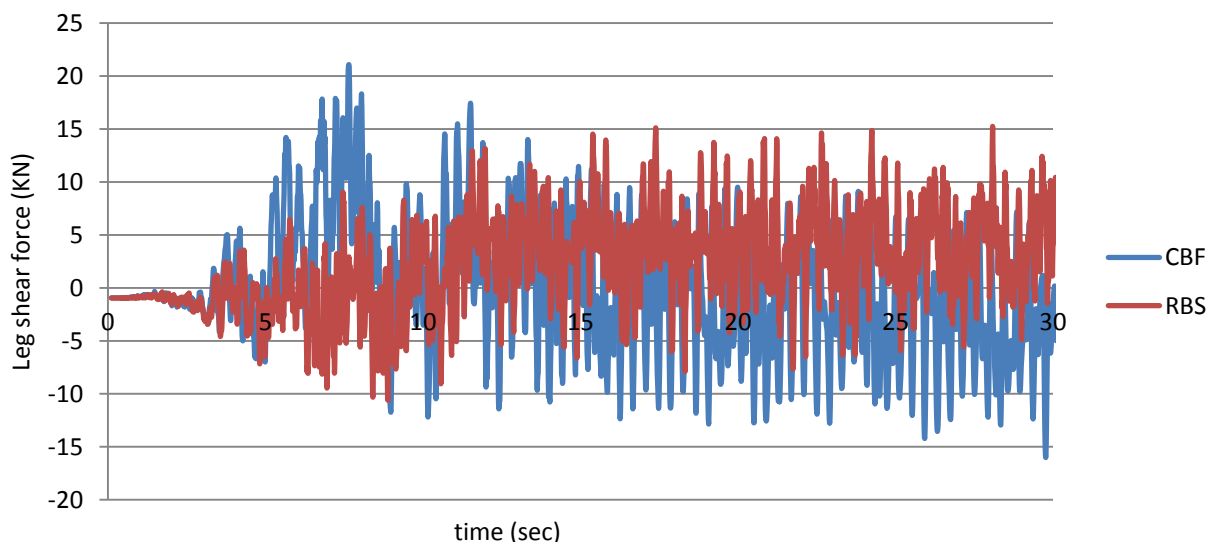
شکل ۱۰: مقایسه حداکثر جابجایی قسمت فوقانی سکو با مهاربند معمولی و سکو مجهز به مهاربند RBS

در شکل ۱۱، نیروی محوری پایه های سکو با مهاربند معمولی و مهاربند RBS با یکدیگر مقایسه گردیده است. در این نمودار نیز به وضوح مشخص است که بکارگیری مهاربند RBS، موجب کاهش نیرو و تنش های موجود در پایه های سکو می گردد که میتواند در الاستیک ماندن این پایه ها و همچنین جلوگیری از غیرخطی شدن رفتار خاک موجود در زیر سکو، تاثیر قابل ملاحظه ای داشته باشد.



شکل ۱۱: مقایسه نیروی محوری پایه های سکو با مهاربند معمولی و سکو مجهز به مهاربند RBS

در شکل ۱۲ نتایج مربوط به برش ایجاد شده در پایه های دو سکو تحت بار زلزله اعمالی ارائه گردیده است. در اینجا نیز نتایج نشان دهنده کاهش بسیار قابل ملاحظه برش پایه ها در سکوی مجهز به مهاربند RBS نسبت به سکوی دارای مهاربند معمولی بخصوص در حداکثر مقادیر برش پایه-ها می باشد.



شکل ۱۲: مقایسه نیروی برشی پایه های سکو با مهاربند معمولی و سکو مجهز به مهاربند RBS

نتیجه گیری و جمع بندی

در این مقاله در مورد به کارگیری سیستم RBS برای بهبود رفتار لرزه ای سکوهای شابلونی تحت تحریک زلزله مطالبی بیان شد. سیستم RBS به عنوان یک گزینه نوین و مناسب جهت طراحی سکوهای جدید و همین طور بهسازی سکوهای موجود معرفی و تشریح گردید. یک سکوی موجود در خلیج فارس مورد بهسازی لرزه ای به وسیله این سیستم قرار گرفت و عملکرد سکو در دو حالت دارای مهاربند معمولی و همچنین مجهز به مهاربند RBS تحت تحریک زلزله بررسی شد. با مقایسه نتایج مربوط به آنالیز تاریخچه زمانی مشخص شد که استفاده از این سیستم به نحو مطلوبی عملکرد سازه را بهبود می بخشد. حتی در مورد معیارهایی مانند جابجایی قسمت بالایی سکو، بکارگیری مهار بند RBS، می تواند موجب کاهش پاسخ سکو بدر حدود ۳۰ درصد گردد. از بحث حاضر اینگونه نتیجه گیری شد که استفاده از سیستم RBS با توجه به مواردی مانند هزینه کم، نصب و نگهداری آسان، سرعت نصب بالا، عملکرد مناسب و قابل تعویض بودن، می تواند به عنوان یک گزینه مناسب در طراحی های سکوهای جدید و همچنین برای بهسازی سکوهای موجود در مقابل بارهای شدید مانند زلزله مورد توجه قرار گیرد.

- [1] Tabeshpour MR , Golafshani AA and Masroor Shalmani A. Response Modification Factors of Steel Moment Frames Equipped with Completely Closed Ribbed Bracing System (CC-RBS). *Advances in Structural Engineering* Vol. 15 No. 7 2012: 1083-1097.
- [2] Golafshani AA, Kabiri Rahani E, Tabeshpour MR. A new high performance semi-active bracing system. *Engineering Structures* 2006; 28:1972-1982.
- [3] Tabeshpour MR and Komachi Y (2012). *Assessment and Rehabilitation of Jacket Platforms, Earthquake-Resistant Structures - Design, Assessment and Rehabilitation*, Prof. Abbas Moustafa (Ed.), ISBN: 978-953-51-0123-9, InTech, DOI: 10.5772/29927. Available from: <http://www.intechopen.com/books/earthquake-resistant-structures-design-assessment-and-rehabilitation/assessment-and-rehabilitation-of-jacket-platforms>
- [۴] محمد منزوی، ۱۳۸۵، بررسی عملکرد قابهای فولادی مجهز به یک سیستم مهاربندی نیمه‌فعال با عملکرد ویژه، رساله کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر علی اکبر گل افشانی و راهنمای همکار دکتر محمدرضا تابش پور، دانشگاه صنعتی شریف .
- [۵] آرمین مسرور شلمانی، ۱۳۸۷، بررسی رفتار سازه‌های فولادی مجهز به مهاربند RBS، رساله کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر علی اکبر گل افشانی و راهنمای همکار دکتر محمدرضا تابش پور، دانشگاه صنعتی شریف .
- [۶] امیرحسین حائری، ۱۳۹۰، بهینه سازی عملکرد مهاربند نیمه فعال RBS در سازه های فولادی با مطالعه موردی بر روی طبقه نرم، رساله کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر علی اکبر گل افشانی، دانشگاه صنعتی شریف.
- [7] *Toward Earthquake-Resistant Design of Concentrically Braced Steel-Frame Structures* Patxi Uriz Exponent-Failure Analysis Associates Menlo Park, California Stephen A. Mahin University of California, Berkeley PEER 2008/08, NOVEMBER 2008
- [۸] مهدی زاده ساری، علیرضا، ۱۳۸۷، بررسی رفتار لرزه‌ای قاب‌های فلزی مهاربندی شده هم‌محور در زلزله‌های حوزه نزدیک گسل با اثر جهت‌پذیری پیش‌رونده، به راهنمایی دکتر علی اکبر گل افشانی، دانشگاه صنعتی شریف
- [۹] گل افشانی علی اکبر، حائری امیرحسین، اعمال یک سیستم جدید برای جلوگیری از شکست طبقه نرم، چهارمین کنفرانس بین‌المللی بهسازی لرزه‌ای، تبریز، ایران، می ۲۰۱۲
- [10] Resalat (R1) Offshore Complex Renovation and Reconstruction Project, Production Platform-In place Analysis Report, Rsl-P1-St-Cn-1001-C2, Amid Engineering & Development Company.
- [۱۱] تابش پور محمدرضا، کماچی یونس، به کارگیری مهاربندهای بدون کمانش در اعضای قطری سکوه‌های شابلونی به منظور بهسازی لرزه‌ای آنها، ارسال شده.
- [12] Komachi Y, Tabeshpour MR, Golafshani AA, Mualla I. Retrofit of Ressalat jacket platform (Persian Gulf) using friction damper device. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering)* 2011 12(9):680-691
- [13] OpenSees, Open System for Earthquake Engineering Simulation, Pacific Earthquake engineering research center, Ver 2.1.0. Berkeley, California.