



بررسی عملکرد سکوی شابلونی مجهز به مهاربند کمانش تاب (BRB) تحت اثر بار زلزله

علی اکبر گل افشانی^۱، محمدرضا تابش پور^۲، ولی الله پرتوی کلور^۳

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

۲- استادیار، قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرک‌های دریایی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

۳- کارشناس ارشد مهندسی زلزله، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

valiollah.partovi@gmail.com

خلاصه

از سکوهای پایه ثابت^۴ در حوزه آب‌های کم عمق، مانند خلیج فارس، به طور گسترده، برای برداشت از مخازن نفتی استفاده می‌شود. عمر مفید سکوهای پایه ثابت حدود ۲۵ سال می‌باشد. بسیاری از سکوهای موجود در منطقه خلیج فارس، عمری بیش از ۲۵ سال را سپری می‌کنند. در اکثر موارد به دلایل اقتصادی، ادامه فعالیت یک سکو بر ساخت سکوی جدید اولویت دارد. به این ترتیب بررسی و بهسازی سکوهای پایه ثابت موجود امری ضروری است. علاوه بر روش‌های مرسوم مقاوم سازی، که ظرفیت سازه را افزایش می‌دهند، روش‌های کنترلی نیز وجود دارند که به جای افزایش ظرفیت اعضا، انرژی وارد شده بر سازه را کاهش می‌دهند. در این مقاله از مهاربند کمانش تاب^۵ که از نوع کنترل غیرفعال است و به روش هیستریزیسی انرژی را مستهلک می‌کند، برای بهسازی سکوی رسالت واقع در منطقه خلیج فارس استفاده شده است. این مهاربند در تراز بالای سکو قرار داده شده است و رفتار سکو تحت زلزله بررسی شده است. با توجه به نتایج مدل‌سازی در نرم افزار آباکوس، سکوی مجهز به مهاربند کمانش تاب، نسبت به سکوی بدون تقویت، در زلزله‌های شدید رفتار مناسب‌تری دارد.

کلمات کلیدی: سکوی شابلونی، تحلیل دینامیکی، مهاربند کمانش تاب، مهاربند BRB، بار زلزله

۱. مقدمه

سکوهای شابلونی سازه‌های ارزشمندی هستند که برای برداشت نفت و گاز در آب‌های کم عمق (مانند خلیج فارس) استفاده می‌شوند. به دلایل اقتصادی، اغلب ادامه فعالیت یک سکو؛ به کمک مقاوم‌سازی، بر ساخت سکوی جدید الویت دارد. سکوهای دریایی تحت اثر بارهای محیطی مانند موج، زلزله، باد و جریان دریایی قرار دارند [۱]. سکوهای پایه ثابت درجه نامعینی پایینی دارند و با حذف یا ضعف شدید یک عضو، سکو به شدت آسیب می‌بیند و حتی ممکن است منهدم شود. بسیاری از سکوهای موجود در خلیج فارس عمری بیش از عمر مفید طراحی خود را سپری می‌کنند، با توجه به اهمیت اساسی برداشت نفت برای کشور ایران، بهسازی این سکوها ضروری است. امروزه در کنار روش‌های مرسوم مقاوم‌سازی، مانند اضافه کردن عضو کمکی، کاهش وزن سازه، تغییر کاربری و ...، روش‌های کنترل سازه نیز مطرح است. در این مقاله از سیستم مهاربند کمانش تاب (BRB) برای مقاوم‌سازی سکوی دریایی استفاده شده است. این سیستم مهاربندی از نوع کنترل غیرفعال است. این سیستم تحت فشار کمانش نمی‌کند و می‌تواند در کشش و فشار جاری شود، به این ترتیب به صورت هیستریزیسی انرژی را مستهلک می‌کند. با انجام تحلیل‌های دینامیکی در نرم‌افزار آباکوس، رفتار سکوی بدون تقویت و سکوی مقاوم شده با مهاربند کمانش تاب، تحت اثر بار زلزله، مقایسه شده است.

^۱ دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

^۲ استادیار، قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرک‌های دریایی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

^۳ کارشناس ارشد مهندسی زلزله، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

^۴ Jacket Platform

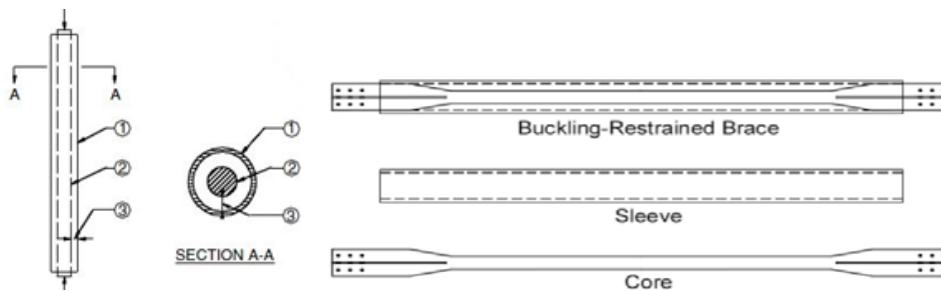
^۵ Buckling Restrained-Brace (BRB)

۲. مهاربند کمانش تاب BRB^۱

بسیاری از مشکلاتی که در مهاربندهای هم محور ایجاد می شود ناشی از تفاوت در ظرفیت کشش و فشار، به دلیل کمانش مهاربند در فشار است. یکی از شیوه های مطرح برای تسلیم فولاد تحت فشار، استفاده از مکانیزم خارجی در محل کمانش است. در این حالت هسته مرکزی مستقل از مکانیزم مقاوم در برابر کمانش، امکان تغییر طول دارد. به ازای مقاومت مواد، سطح مقطع، طولی از هسته که الاستیک می ماند و طولی از هسته که به تسلیم می رسد، می توان دامنه وسیعی از سختی و مقاومت را برای مهاربند ارائه کرد. این مهاربند از هسته فولادی محصور شده در غلاف بتن و فولاد، تشکیل می شود. هسته فولادی شکل پذیر است، به نوعی که در کشش و فشار جاری می شود. برای جلوگیری از کمانش کلی مهاربند، هسته داخل یک غلاف فولادی قرار می گیرد و بین آن ها با ملات یا بتن پر می شود. قبل از پر کردن، یک فضای خالی بین هسته و بتن در نظر گرفته می شود و در این فاصله از یک ماده غیر چسبنده استفاده می شود، تا انتقال نیروی محوری به بخش غلاف حداقل شود و هسته به تنهایی نیروی محوری را تحمل کند. از سوی دیگر به دلیل اثر پواسون، هسته تحت فشار دچار افزایش حجم می گردد، پس وجود فضای خالی برای جلوگیری از اصطکاک ضروری است.

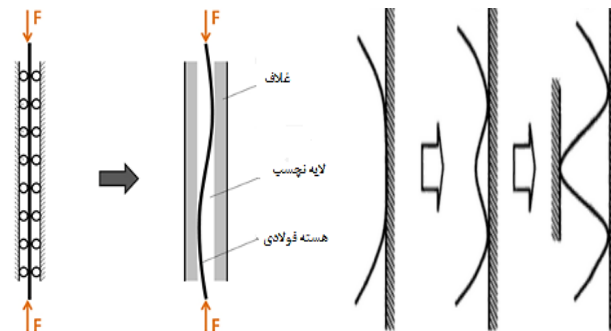
با توجه به شکل ۱ مهاربند کمانش تاب از قسمت های زیر تشکیل شده است:

۱. غلاف بیرونی ۲. هسته فولادی ۳. بتن یا ماده پرکننده



شکل ۱- (راست) هسته و غلاف در مهاربند کمانش تاب (سابلی و همکاران^۲ ۲۰۰۳)، (چپ) قسمت های مختلف مهاربند کمانش تاب [3]

مطابق شکل ۲ زمانی که هسته تحت فشار قرار می گیرد، غلاف از کمانش کلی هسته جلوگیری می کند و هسته را به کمانش در مودهای بالاتر و می دارد، به این ترتیب هسته می تواند در فشار جاری شود. به منظور جلوگیری از دخالت غلاف در تحمل نیروی محوری، میان هسته و بتن ماده ای نجسب و یا گپ در نظر گرفته می شود، به گونه ای که هسته به راحتی درون غلاف بلغزد^۳ (کیانگ^۳ ۲۰۰۵). گپ نباید آنقدر کم باشد که به دلیل اصطکاک، غلاف در تحمل نیروی محوری درگیر شود، همچنین نباید آنقدر زیاد باشد که کمانش در مود های اولیه رخ دهد و هسته نتواند در فشار جاری شود. میزان گپ بسته به نوع مهاربند کمانش تاب بین ۰.۷ تا ۳.۵ میلی متر انتخاب می گردد [3].



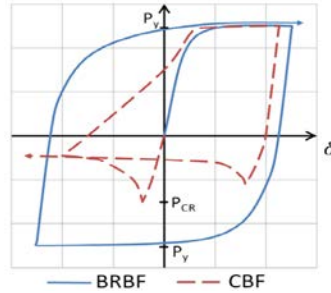
شکل ۲- نحوه عملکرد مهاربند کمانش تاب تحت نیروی فشاری

در شکل زیر رفتار هیسرتیک یک مهاربند کمانش تاب با مهاربند معمولی مقایسه شده است. در صورتی که مکانیزم مقاوم در برابر کمانش ابعاد مناسبی داشته باشد، هسته می تواند در فشار نیز جاری شود و مقاومت فشاری و کششی یکسانی را با رفتار منظم هیسرتزیسی تا کرنش های بالای ۰.۲٪ از خود بروز دهد. این مهاربندها از نوع کنترل هیسرتزیسی و غیرفعال می باشند و مزیت اصلی استفاده از آن ها، جذب انرژی در مهاربندها می باشد. با

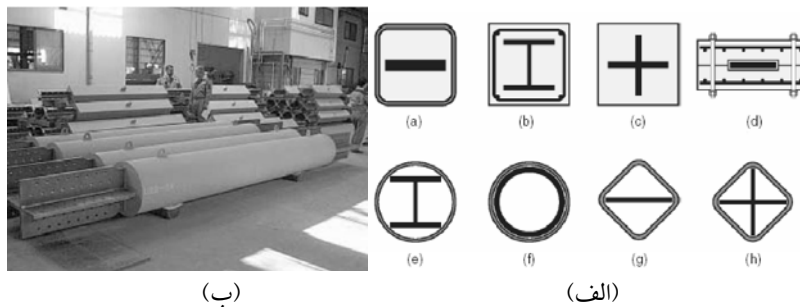
² Sabelli et al.

³ Qiang

توجه به شکل ۳، مهاربند کمانش تاب دارای چرخه متقارن است، این به آن معناست که مهاربند در کشش و فشار رفتاری مشابه دارد و می‌تواند هم در کشش و هم در فشار جاری شود. همچنین چرخه هیستریزس مربوط به مهاربند کمانش تاب نسبت به مهاربند متداول دارای مساحت بیشتری است، بنابراین مهاربند کمانش تاب انرژی بیشتری را جذب و مستهلک می‌کند. مهاربند کمانش تاب تنوع مقطع بسیاری دارد. در مورد سکوی پایه ثابت با توجه به نیروهای محیط دریا و مباحث مربوط به خوردگی از غلاف با مقاطع لوله‌ای استفاده می‌گردد. تصویر زیر نمونه‌ای از غلاف با مقطع لوله‌ای شکل را نشان می‌دهد.

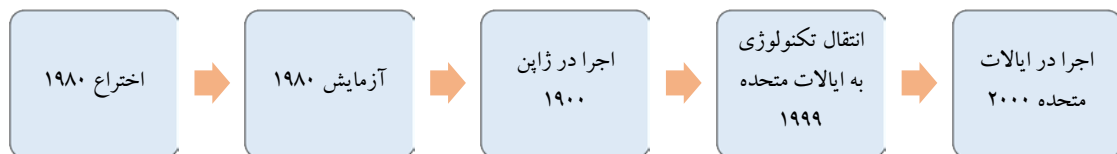


شکل ۳- مقایسه رفتار هیستریزس مهاربند معمولی (خط چین) و کمانش تاب (خط ممتد)



شکل ۴- الف) تنوع مقاطع مهاربند کمانش تاب (ینگ و همکاران، ۲۰۰۴)^۱ ب) مهاربند کمانش تاب با غلاف لوله‌ای (براون و همکاران ۲۰۰۱)^۲

به طور کلی می‌توان سیر تکامل مهاربند کمانش تاب را در شکل زیر خلاصه کرد:



نخستین بار در سال ۱۹۸۰ پرفسور وادا^۳ تلاش کرد تا کمانش را در عضو فشاری حذف کند و ایده اولیه مهاربند کمانش تاب مطرح گردید. استفاده از سیستم مهاربندهای کمانش تاب برای کاربردهای لرزه‌ای در ژاپن بعد از زلزله ۱۹۹۵ کوبه؛ بسیار متداول شد (رینا و نورمیل^۴ ۱۹۹۷). وتانپ و همکارانش^۵ (۱۹۸۸) اثرات مثبت مهاربند کمانش تاب و اثر غلاف بر افزایش باربری جانبی را تایید کردند [4]. تربلی و همکارانش^۶ (۱۹۹۹) با بارگذاری شبه استاتیکی سخت شونده‌گی کرنشی^۷ مهاربند کمانش تاب را مورد بررسی قرار دادند. کومار و همکارانش^۱ (۲۰۰۷) تاثیر مهاربند کمانش تاب بر کنترل

¹ Uang et al.

² Brown et al.

³ Wada

⁴ Reina & Normile

⁵ Watanbe et al

⁶ Trebly et al

⁷ Strain Hardening

دریافت^۲ طبقات قاب را تایید نمودند. دلکار و همکارانش^۳ (۲۰۱۰) با انجام تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی روی قاب ۵ طبقه مجهز به مهاربند کماتش تاب تحت زلزله، به بررسی چیدمان مهاربند کماتش تاب در قاب پرداختند و نسبت‌هایی نیز برای طول و مساحت قسمت‌های مختلف مهاربند کماتش تاب ارائه کردند [2].

۳. سکوی مورد مطالعه

سکوی خدمت رسالت در آب‌های خلیج فارس، در فاصله ۸۰ کیلومتری جنوب جزیره لاوان و در عمق ۶۷/۴ متری واقع شده است [5]. این سکو در دوران جنگ ایران و عراق و همچنین به دلایل محیطی دچار آسیب‌هایی شده است. این سکو شامل یک جاکت چهارپایه و عرشه می‌باشد که با پل به سکوی تولید متصل شده است. عمر خدمت دهی این سکو ۲۵ سال است و جزو سکوهایی با خطرپذیری بالا به‌شمار می‌آید.



شکل ۵- مدل ۳ بعدی (تصویر راست) و مختصات محل سکوی رسالت در خلیج فارس (تصویر چپ)

۴. مدل‌سازی

۱.۴ مدل‌سازی سکو

مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Abaqus به صورت دو بعدی انجام شده است. برای لحاظ تقریبی اثر اندرکنش خاک و شمع، طول شمع به اندازه ۱۰ برابر قطر شمع ادامه یافته (۹ متر) و انتهای آن به صورت گیردار در نظر گرفته شده است. شمع‌ها درون پایه‌ها به صورت Ungrounted، مدل شده‌اند و بین شمع و پایه از اتصال دهنده به تعداد کافی استفاده شده است. در مدل‌سازی سکو، جرم عرشه به اندازه ۱۰ متر بالاتر از آخرین تراز جکت قرار داده شده است. جهت مدل‌سازی مصالح سکو، از مشخصات فولاد ۳۷ که در سکوی رسالت به کار رفته، استفاده شده است. جرم استفاده شده در آنالیز دینامیکی شامل جرم اعضای سازه‌ای و غیر سازه‌ای و متعلقات، جرم آب محصور در اعضا، جرم ناشی از رشد گیاهان دریایی، جرم افزوده ناشی از حرکت سازه در آب می‌باشد. این جرم به صورت جرم‌های متمرکز در ترازهای مختلف اعمال شده است. میرایی سازه به صورت میرایی رایلی وارد شده است، برای محاسبه ضرایب میرایی رایلی از فرکانس‌های طبیعی اول و دوم سکو، (که بیش از ۹۰٪ درصد کل جرم موثر سازه را تشکیل می‌دهند)، استفاده شده است.

$$C = \alpha M + \beta K, \alpha = \frac{2\zeta\omega_1\omega_2}{\omega_1 + \omega_2}, \beta = \frac{2\zeta}{\omega_1 + \omega_2} \quad (1)$$

C ماتریس میرایی، M ماتریس جرم، K ماتریس سختی، α ضریب میرایی رایلی متناسب با جرم، β ضریب میرایی متناسب با سختی، ω_1, ω_2 فرکانس زاویه ای مودهای اول و دوم سکو، ζ نسبت میرایی است که بر اساس توصیه استاندارد ای پی آی^۴، برای نیروی زلزله، ۵ درصد منظور شده است. ضریب α برابر ۰.۱۸۵ و ضریب β برابر ۰.۰۱۰۵ محاسبه شده است.

دوره تناوب مود ۲: ۰.۹۱ ثانیه

دوره تناوب مود ۱: ۲.۴۲ ثانیه

¹ Kumar et al.

² Drift

³ Deulkar et al.

⁴ American Petroleum Institute (API)



شکل ۶- (تصویر راست) مود طبیعی اول سکو - (تصویر چپ) مود طبیعی دوم سکو

اعضای سکو به صورت Wire در ماژول Part ایجاد و مش بندی شده اند. برای مش بندی پایه ها^۱ و مهاربندهای معمولی و شمع ها^۲ از المان نوع Beam استفاده شده است. ابعاد المان ها پس از حساسیت سنجی به اندازه ۱ متر انتخاب شده است.



شکل ۷- نحوه استقرار شمع در پایه سکو، مدل سازی شمع به صورت UngROUTED انجام شده است.

۲.۴ مدل سازی رفتار مهاربندهای کمانش پذیر متداول (CBF)

پدیده غیرخطی که ممکن است در هنگام زلزله برای یک قاب مهاربندی شده رخ می دهد، کمانش عضو مهاربندی است و این مسئله بر رفتار قاب تأثیر مستقیم دارد. در مدل سازی برای فراهم کردن امکان کمانش اعضا، ابتدا یک تحلیل کمانش بر روی سکو انجام و پس از آن تغییر شکل اعضا در مودهای کمانشی؛ به صورت نقص اولیه بر اعضا وارده است. این تغییر مکانهای اولیه نباید آنقدر کوچک باشد که عضو کمانش نکند و نه باید آنقدر زیاد باشد که سختی عضو را کاهش دهد، این مقدار با حساسیت سنجی انتخاب می شود. نقص اولیه به اندازه $L/1000$ به عنوان حدس اولیه مناسب است. L طول عضو مورد نظر است. استفاده از مهاربند کمانش تاب، مودهای کمانشی اول و دوم سکوی معمولی را حذف کرده و کمانش در مودهای کمانشی ۳ به بعد، که در مهاربندهای دیگری غیر از ترازای که مهاربند کمانش تاب جایگزین شده است، رخ خواهد داد. بنابراین نیروی پوش لازم برای رخ دادن اولین کمانش در سکوی مقاوم شده با مهاربند کمانش تاب، از نیروی پوشی که منجر به اولین کمانش در سکو معمولی می شود، بیشتر است.

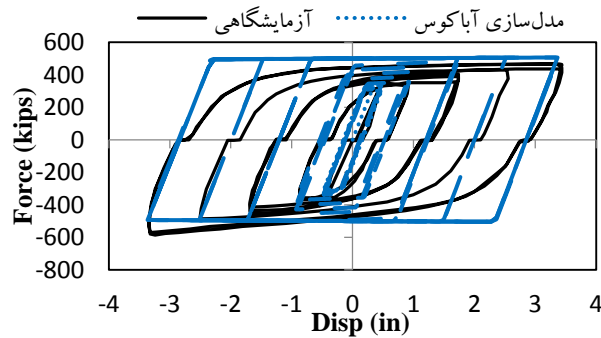
۳.۴ مدل سازی رفتار مهاربند کمانش تاب (BRB)

برای مدل سازی مهاربند کمانش تاب از المان Truss استفاده شده است، این نوع المان در فشار کمانش نمی کند، بنابراین مدل مناسبی برای مهاربند کمانش تاب است. در شکل زیر مقایسه ای بین رفتار مهاربند واقعی، که توسط موسسه Seismic Star آزمایش شده است، با مدل مهاربند به صورت عضو خرابایی ارائه شده است. مهاربند تحت پروتکل بارگذاری استاندارد SAC قرار گرفته است [6]. برای مدل سازی از مدل دو خطی فولاد با سختی شونده Isotropic استفاده شد است. با توجه به اینکه هدف در این مقاله بررسی رفتار سکو به صورت ماکرو و کلی است، اختلافات موجود قابل اغماض است. با توجه به شکل ۸، در مدل آزمایشگاهی به دلیل وجود اصطکاک بین هسته و غلاف، مقاومت فشاری بیشتری نسبت به مدل نرم افزاری مشاهده می شود [7].

¹ Leg

² Pile

³ Conventional bracing frame

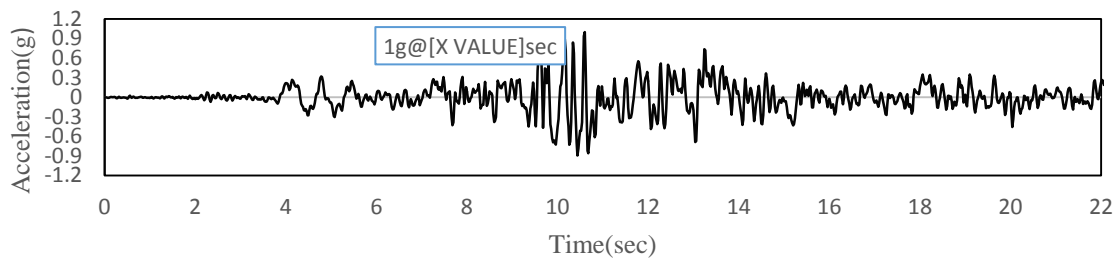


شکل ۸- مقایسه رفتار مهاربند کماتش تاب مدل سازی شده در نرم افزار Abaqus، با مهاربند تست شده توسط Seismic Star

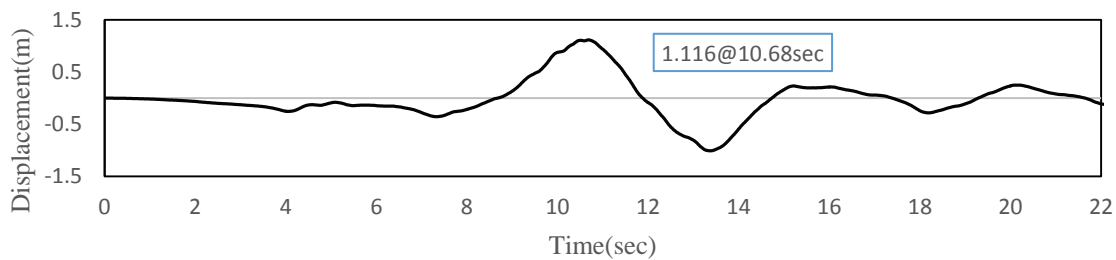
۵. نتایج و بحث

۱.۵ رکورد تاریخچه زمانی زلزله مورد استفاده

برای تحلیل تاریخچه زمانی از رکورد زلزله طیس، با بیشینه شتاب زلزله برابر با $0.851g$ ، استفاده شده است. مدت زمان حرکت قدرتمند این زلزله به کمک روش تریفونک و برادی^۱ برابر ۲۲ ثانیه محاسبه شده است. رکورد تاریخچه زمانی زلزله طیس، به صورت جابجایی، در جهت افقی بر انتهای شمع‌ها وارد شده است.



شکل ۹- تاریخچه زمانی شتاب زلزله طیس (در مدت زمان حرکت قدرتمند زمین)-مقیاس شده به g



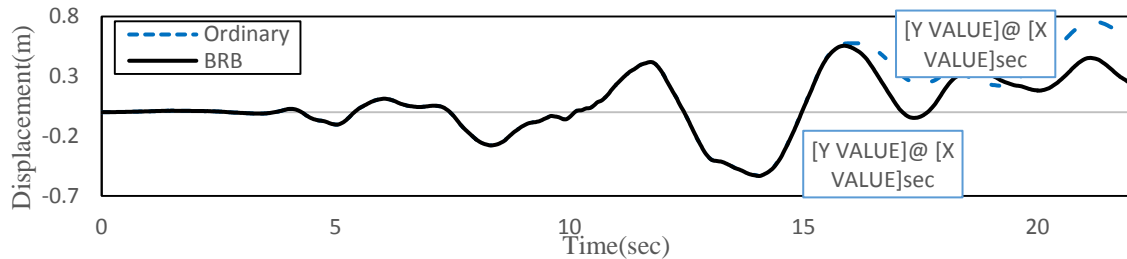
شکل ۱۰- تاریخچه زمانی جابجایی زلزله طیس (در مدت زمان حرکت قدرتمند زمین)-مقیاس شده به g

۲.۵ بررسی عملکرد سکوی مجهز به مهاربند کماتش تاب (BRB)

در سکوی مجهز به مهاربند کماتش تاب، مهاربندهای بالاترین تراز سکوی رسالت، حذف گردیده و مهاربندهای کماتش تاب با همان مقطع، جایگزین شده است. هر دو سکو، تحت تحریک زلزله طیس قرار داده شده و آنالیز تاریخچه زمانی بر روی آن‌ها صورت گرفته است. رکورد زلزله طیس به PGAهای $0.4g$ ، $0.45g$ و $0.5g$ مقیاس شده و به سکوی دارای مهاربند معمولی و سکوی دارای مهاربند کماتش تاب اعمال شده است. در شکل ۱۱، تاریخچه زمانی تغییر مکان عرشه سکو در دو حالت معمولی و مقاوم شده با BRB، نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که

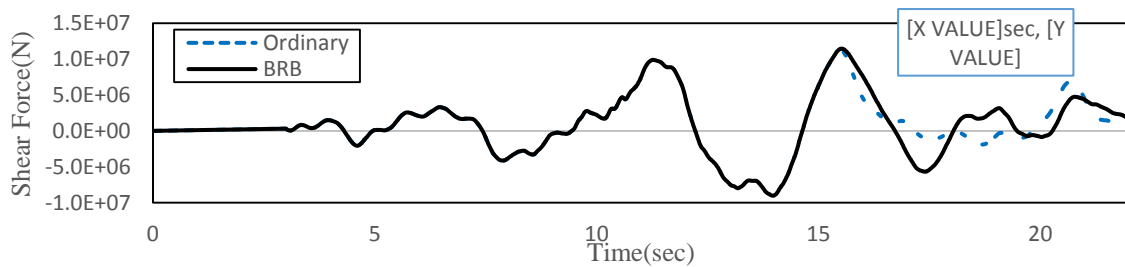
¹ Trifunac & Brady(1975)

بعد از ثانیه ۱۶، جابجایی عرشه در دو سکو تفاوت پیدا می کند و دلیل آن کماتش مهاربند معمولی در بالاترین تراز سکوی معمولی است، که منجر به ایجاد جابجایی بیشتری در سکو می شود، این درحالیست که در سکوی مجهز به مهاربند کماتش تاب، کماتش رخ نداده و نتیجه آن جابجایی کمتر عرشه است. مقدار جابجایی حداکثر که نقش تعیین کننده ای در طراحی و کنترل سکو دارد، در سکوی تقویت شده نسبت به سکوی معمولی ۲۶/۵٪ کاهش یافته است.



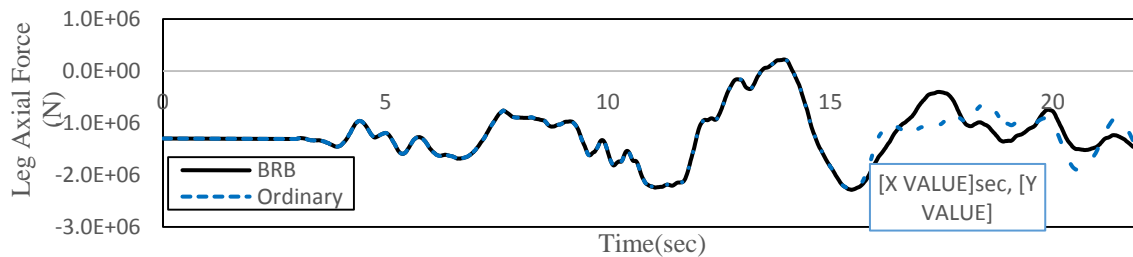
شکل ۱۱- تاریخچه زمانی جابجایی عرشه تحت رکورد طیس مقیاس شده به ۰/۵g

در شکل ۱۲، نیروی برشی پایه های سکو با مهاربند معمولی و مهاربند BRB در طول رکورد زلزله با یکدیگر مقایسه شده است. هرچه زلزله شدیدتر شود، کماتش مهاربند بیشتر می شود، و به تبع آن انتقال نیروی افقی به ترازهای پایین تر نسبت به سکوی دارای مهاربند کماتش تاب کمتر است، بنابراین پس از کماتش مهاربند معمولی، نیروی برشی کمتری در سکوی معمولی نسبت به سکوی مقاوم شده، ایجاد می شود. این درحالیست که تفاوتی در مقدار حداکثر نیروی برشی پایه ها که عامل مهمی است، در دو سکو وجود ندارد.



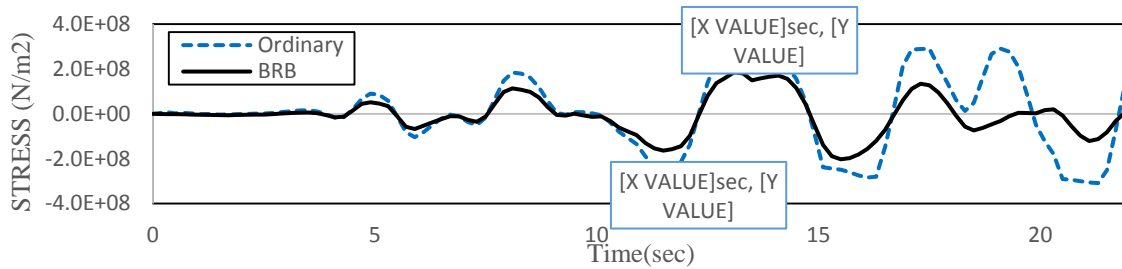
شکل ۱۲- تاریخچه زمانی نیروی برشی پایه تحت رکورد طیس مقیاس شده به ۰/۵g

شکل ۱۳ نتایج مربوط به نیروی محوری ایجاد شده در پایه های سکو تحت بار زلزله طیس، را نمایش می دهد. مشابه آنچه در مورد نیروی برشی پایه ها بیان گردید، پس از کماتش مهاربند معمولی، انتقال نیرو به پایه در سکوی معمولی نسبت به سکوی مقاوم شده، کاهش می یابد، اما نیروی محوری حداکثر پایه، در هر دو سکو تقریباً یکسان است.



شکل ۱۳- تاریخچه زمانی نیروی محوری پایه تحت رکورد طیس مقیاس شده به ۰/۵g

شکل ۱۴ تاریخچه زمانی تنش در المان واقع در محل اتصال مهاربند معمولی و کماتش تاب در بالاترین تراز سکو است. مطابق شکل استفاده از مهاربند کماتش تاب، مقدار تنش در محل اتصال را به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش می دهد. اهمیت این قضیه به دلیل افزایش عمر خستگی به دلیل کاهش قابل ملاحظه تنش در نقطه اتصال است.



شکل ۱۴-تاریخچه زمانی تنش در اتصال مهاربند تحت رکورد طیس مقیاس شده به ۰/۵g

۶. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این مقاله سکوی رسالت توسط نرم‌افزار Abaqus مدل و تحت زلزله طیس قرار داده شد و رفتار سکو در دو حالت معمولی و حالت تقویت شده با مهاربند BRB در آخرین تراز، مقایسه گردید. با توجه به جدول ۱ نتایج را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

- مهاربند کمانش تاب جزو کنترل غیر فعال است و برای فعال شدن نیاز به پاسخ سازه دارد، به همین دلیل با توجه به نتایج، در زلزله‌هایی که منجر به کمانش مهاربند معمولی می‌شود، مهاربند کمانش تاب رفتار مناسبی را در سازه ایجاد می‌کند.
- در همه زلزله‌ها، استفاده از مهاربند کمانش تاب با انتهای مفصلی، تنش را در محل اتصال مهاربند به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد. این کاهش تنش می‌تواند به نحو موثری عمر خستگی اتصال را ارتقا دهد.
- سکوی مهار شده با مهاربند کمانش تاب در زلزله‌های شدید رفتار مناسب‌تری نسبت به سکوی معمولی دارد، و جابجایی را کنترل می‌کند.
- در زلزله‌های قوی که منجر به کمانش مهاربند معمولی می‌شود، استفاده از مهاربند کمانش تاب، بدون تغییر چندانی در مقدار حداکثر برش و نیروی محوری پایه، جابجایی عرشه را به خوبی کنترل می‌کند.

با توجه به نتایج تحلیل‌ها، با افزایش مقدار PGA رکورد زلزله، مقدار پاسخ‌های سکو افزایش می‌یابد و منجر به کمانش مهاربند معمولی در بالاترین تراز می‌شود، و به این ترتیب مهاربند BRB با حذف کمانش، رفتار مناسبی در سکو ایجاد می‌کند. چنین نتیجه‌گیری می‌شود که، استفاده از مهاربند کمانش تاب گزینه مناسبی برای طراحی سکوهای جدید و همچنین برای بهسازی سکوهای موجود، در مقابل زلزله‌های شدید است.

جدول ۱ - مقادیر حداکثر پاسخ سکوی معمولی و سکوی مجهز به مهاربند کمانش تاب تحت اثر زلزله طیس

حداکثر نیروی برش پایه (N)			حداکثر جابجایی عرشه (m)			PGA(g)
درصد کاهش	Equipped - BRB	Ordinary	درصد کاهش	Equipped - BRB	Ordinary	
-0.9	10053200	9959200	1.0	0.476	0.481	0.4
-1.8	10828600	10639000	1.9	0.518	0.528	0.45
-2.3	11465200	11211000	26.5	0.556	0.756	0.5
حداکثر تنش در محل اتصال مهاربند بالاترین تراز (N)			حداکثر نیروی محوری پایه (N)			PGA(g)
درصد کاهش	Equipped - BRB	Ordinary	درصد کاهش	Equipped - BRB	Ordinary	
27.6	183860000	253896000	-0.1	2219760	2217240	0.4
33.1	194642000	290761000	-0.2	2256060	2250820	0.45
36.0	202608000	316554000	-0.2	2286660	2283030	0.5

۷. مراجع

1. Tabeshpour, M.R., Komachi, Y., and Golafshani, A.A. (2012), "Assessment and Rehabilitation of Jacket Platforms". Prof. Abbas Moustafa (Ed.), ISBN: 978-953-51-0123-9, InTech, DOI: 10.5772/29927.
2. Deulkar, W. N., Modhera, C. D., Patil, H. S. (۲۰۱۰), "Buckling Restrained Braces for Vibratin Control of Building Structure", IJRRAS ۴(۴).



3. Xie, Q. (2005), "State of the art of buckling-restrained braces in Asia", Journal of Constructional Steel Research, 61, 727-748.
4. Watanabe, A., et al. (1988), "Properties of braces encased in buckling-restrained concrete and steel tube", 10th World Conference on Earthquake Engineering.: Tokyo-kyoto, Japan.
5. Resalat (R1) Offshore Complex Renovation and Reconstruction Project, (1992) "Production Platform-In place Analysis Report", Rsl-P1-St-Cn-1001-C2, Amid Engineering & Development Company.
6. Merritt, S., Uang, C. M., Benzoni, G. (۲۰۰۳), "Subassembly Testing of Star Seismic Buckling-Restrained Braces", Report no. TR-۰۴/۲۰۰۳, Final Report to Star Seismic, LLC., Department of Structural Engineering, University of California, San Diego, La Jolla, California ۰۰۸۵-۹۲۰۹۳.
۷. پرتوی کلور، و.، بررسی عملکرد سکوی پایه ثابت مجهز به مهاربند کمانش تاب (BRB) تحت اثر بارهای دینامیکی زلزله و موج، پایان نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر علی اکبر گل افشانی و دکتر محمدرضا تابش پور، مهندسی عمران. دانشگاه صنعتی شریف. ۱۳۹۲.