

# بررسی پاسخ سکوهای فراساحلی ثابت فلزی مجهز به آلیاژ حافظه دار شکلی در عمق های مختلف تحت نیروی امواج

ناصر شهابختی<sup>۱</sup>، امیر گیوکی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران؛ shabakhty@eng.usb.ac.ir

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد سازه های دریایی، شرکت نفت و گاز پارس؛ amir.givkay@gmail.com

## چکیده

در این مقاله پاسخ سکوهای فراساحلی ثابت فلزی در عمق های مختلف تحت اثر نیروی موج، که مهاربندهای آن مجهز به آلیاژ حافظه دار شکلی فوق ارتجاعی می باشد، مورد مطالعه قرار گرفته شده است. برای این منظور سکوهای واقع شده در عمق های آب مختلف شامل ۷۰، ۱۱۰ و ۱۵۰ متری بررسی شده است. ابتدا برای ارزیابی رفتار غیرخطی سکوها و بدست آوردن مقاطع سکوها در رفتار غیرخطی از تحلیل بارافزون با استفاده از نرم افزار SACS استفاده شده است، سپس تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی با استفاده از نرم افزارالمان محدود ANSYS برای سکوهای در عمق های مختلف و در دو حالت مجهز به سیستم مهاربندی آلیاژحافظه دار شکلی وبدون آلیاژ حافظه دار شکلی تحت امواج طوفانی انجام شده است. با مقایسه وبررسی نتایج مشخص می گردد که سکوی موجود در عمق ۷۰ متری تحت امواج طوفانی دارای رفتار خطی بوده واستفاده از آلیاژ حافظه دار شکلی تاثیری در رفتار سکو نخواهد داشت، در حالیکه درسکوهای واقع شده در عمق های ۱۱۰ و ۱۵۰ متری با استفاده از سیستم مهاربندی آلیاژ حافظه دار شکلی رفتار غیر خطی و کرنش های پسماند در سازه حذف گردیده وانرژی وارده به سکو بوسیله آلیاژ حافظه دار شکلی جذب می گردد و انرژی در المانهای اصلی سازه به میزان قابل توجهی کاهش می یابد.

## اطلاعات مقاله

ناریخچه مقاله:

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۲۰

تاریخ انتشار مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۲۸

کلمات کلیدی:

سکوهای فراساحلی ثابت فلزی

سیستم مهاربندی آلیاژ حافظه دار شکلی

فوق ارتجاعی

پارامتر هندسی عمق

## Investigation on Response of Fixed Offshore Platforms Equipped With Shape Memory Alloy Elements at Different Depth under Extreme Wave Loading

Naser Shabakhty<sup>1</sup>, Amir Givkay<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Assistance Professor, Sistan and Baluchistan University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering; shabakhty@eng.usb.ac.ir

<sup>2</sup> MSc in Marine Structures, Pars Oil and Gas Company; amir.givkay@gmail.com

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received: 19 Sep. 2013

Accepted: 11 Mar. 2014

Available online: 19 Mar. 2014

#### Keywords:

Jacket Offshore Platforms

Shape Memory Alloy Bracing

System

Super-elasticity

Water Depth Variation

### ABSTRACT

In this research, the response of fixed offshore platforms equipped with shape memory alloy elements at the different depths under extreme wave loading are taken into account. For this purpose platforms located in different water depths 70, 110 and 150 has been considered. At first for evaluation of the nonlinear behavior of three platforms, pushover analysis using SACS has been engaged. Then nonlinear time history analysis under storm environmental condition using ANSYS finite element program has been performed on platforms situated in each water depths for two cases of with and without SMA. Based on results of this study, platform located in 70 meter water depth under storm wave has linear behavior and use of SMA doesn't have any effect on it, while with equipped SMAs on 110 and 150 meters water depth platforms, SMA can be used such as a damper in structure because they have re-centering and energy dissipation capabilities. Applying the SMA damper in the jacket bracing, topside displacement and energy dissipation is controllable via mechanical properties of SMA selected by designer judgment as well re-centering capability of related damper prevents to generate residual strain in structure joint cans and members.

را کاهش و مانع از برجای گذاشتن کرنش پسماند در اعضا و اتصالات سازه گردد. بعلاوه می تواند با کاهش مشخصات هندسی مقاطع مورد استفاده در سکو باعث بهینه شدن طرح و کاهش تاثیر نیروی امواج بر المانهای سازه گردد. با بازنگری تحقیقات گذشته آشکار شده است که تاکنون هیچگونه مطالعه ای در مورد کاربرد SMA در سکوهای دریایی انجام نشده است، بنابراین تحقیق حاضر با هدف رفع فقدان این اطلاعات و امکان و تاثیر استفاده از SMA در سکوهای فراساحلی ثابت فلزی بعنوان تجهیزات ابتکاری و جدید در کنترل رفتار این سازه ها برای محافظت آنها در برابر شرایط محیطی حاکم و بویژه نیروی امواج انجام شده است. اگرچه بارگذاری ها و حالات طراحی مختلفی در طراحی سکوهای ثابت فلزی موثر می باشند، در این مقاله که هدف آن تنها تحقیقات مقدماتی در این زمینه می باشد رفتار سکوهای دریایی مجهز به مهارندهای آلیاژهای حافظه دار شکلی و تاثیر پارامتر هندسی عمق بر پاسخ آنها توسط مدل های اجزا محدود دوعبدهی سکوهای در عمق ۷۰، ۱۱۰ و ۱۵۰ متری با انجام تحلیل بارافزون<sup>۵</sup> و تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی بررسی شده است.

#### ۱-۱- آلیاژهای حافظه دار شکلی

آلیاژهای حافظه دار شکلی (SMA) بعنوان یک مصالح هوشمند، نوین و بسیار کارآمد شناخته شده است. از مزایا و ویژگیهای منحصر به فرد آلیاژهای حافظه دار شکلی می توان به: قابلیت تحمل کرنش های زیاد تا حدود ۱۰٪ بدون اثرات غیرخطی و باقی گذاشتن کرنش پسماند، بدون محدودیت عمر مفید (عدم نیاز به تعویض، پس از زلزله یا بارهای محیطی در شرایط حداکثر)، مقاومت بالا در برابر خوردگی، مقاومت بالا در برابر خستگی، توانایی بازگشت به شکل اولیه بوسیله اعمال دما و قابلیت جذب و استهلاک انرژی بالا اشاره کرد [۳،۲]. SMA ها در سال ۱۹۳۲ کشف شدند و در سال ۱۹۶۰ آلیاژهایی بر پایه عناصر نیکل و تیتانیوم (نایتینول) تولید شدند که بهترین رفتار را نسبت به سایر آلیاژهای حافظه دار شکلی از خود نشان دادند. پس از آن تحقیقات گسترده ای در مورد کاربردهای عملی SMA ها در علوم مختلف از جمله علم پزشکی، صنعت هوافضا، مهندسی عمران و غیره انجام گردید. SMA ها مواد چندریختی می باشند، به این معنی که با یک ترکیب شیمیایی دارای چندین ساختار یا فاز کریستالی می باشد. فاز کریستالی غالب در SMA وابسته به دما و تنش اعمالی می باشد. فاز غالب در دمای بالا آستنیت و در دمای پایین مارتنزیت می باشد [۵،۴]. رفتار ماکروسکوپی متمایز SMA مربوط به انتقالات بین این دو فاز می باشد. اثر حافظه شکلی و فوق ارتجاعی دو ویژگی منحصر به فرد SMA می باشند. اثر حافظه دار شکلی قابلیت بازگشت به شکل اولیه با فرآیند حرارت

بخش عمده ای از سکوهای دریایی به منظور استخراج و بهره برداری از مخازن هیدروکربنی استفاده می شود که این امر باعث می شود که عدم مقاومت کافی اعضا و اتصالات سازه در اثر بارهای محیطی وارده در طول عمر مفید سازه موجب کاهش عمر و خرابی کلی و جزئی در این نوع از سازه ها شده و گاه خسارات جبران ناپذیری برجای گذارد. از طرف دیگر بعلت قرار گیری این سازه ها در محیط دریا، تعویض و تعمیر اعضا آسیب دیده سخت و گاه مستلزم هزینه های بسیاری می باشد. مهمترین بارگذاری محیطی وارد بر سکوهای دریایی نیروی چرخه ای امواج می باشد که دارای ماهیت تصادفی می باشد و رفتار واقعی سازه در اثر این نیرو در شرایط عادی و طوفانی و همچنین اثرات آن در پدیده خستگی و عمر مفید اعضا و اتصالات سازه از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. سکوهای فراساحلی ثابت فلزی نوع شابلونی یا جکت ها<sup>۱</sup>، که ۹۸ درصد سکوهای فراساحلی موجود در جهان را بخود اختصاص می دهد، دارای مقاطع دایره ای و اتصالات صلب مهاربند به المان اصلی، که اصطلاحاً جوینت کن<sup>۲</sup> نامیده می شود، و همچنین عمدتاً دارای شیب و جوه جکت می باشند. در این سکوها بمنظور جلوگیری از شکست ناشی از پدیده خستگی در اتصالات جوینت کن در اثر نیروی چرخه ای امواج که باعث تمرکز تنش در محیط اتصال مهاربند به المان اصلی می گردد و همچنین برش پانچ ایجاد شده در این اتصالات، که بخش عمده ای از نیروهای انتقالی مهاربند به المان اصلی را تشکیل می دهد، در اثر نیروی موج در شرایط طوفانی و زلزله که منجر به کماتش موضعی در این اتصالات و نهایتاً شکست و فروپاشی سازه می گردد، ناگزیر به استفاده از مقاطع بسیار قوی می باشند. ویژگیهای خاص اشاره شده بالا در مورد سکوهای فراساحلی شابلونی و تحقیقات گسترده ای که در مورد رفتار غیرخطی این سازه تحت نیروهای تحمیل شده نظیر امواج طوفانی، زلزله، ضربه کشتی، انفجار و غیره انجام شده است [۱]، و همچنین از نتایجی که در این مقاله در تحلیل پوش اور سکوها در اثر بار افزایشی موج حاصل شده است نشان می دهد که این سکوها دارای سختی بالا، شکل پذیری محدود و ظرفیت جذب انرژی پایین در محدوده الاستیک می باشند.

از آنجایی که رفتار غیرخطی سکوهای جکتی تحت بارگذاری محیطی امواج به میزان قابل توجهی وابسته به اعضا مهاربندی و اتصالات جوینت کن می باشد، آلیاژهای حافظه دار شکلی (SMA)<sup>۳</sup> فوق ارتجاعی<sup>۴</sup> می تواند در سیستم مهاربندی بعنوان راهکاری برای بهبود رفتار غیر خطی این سازه ها مورد بررسی قرار گیرد. آلیاژ حافظه دار شکلی فوق ارتجاعی با داشتن ظرفیت جذب انرژی مناسب همراه با قابلیت بازگشت پذیری می تواند با جذب و استهلاک انرژی اعمالی امواج تلاشهای وارد بر اعضای اصلی سازه

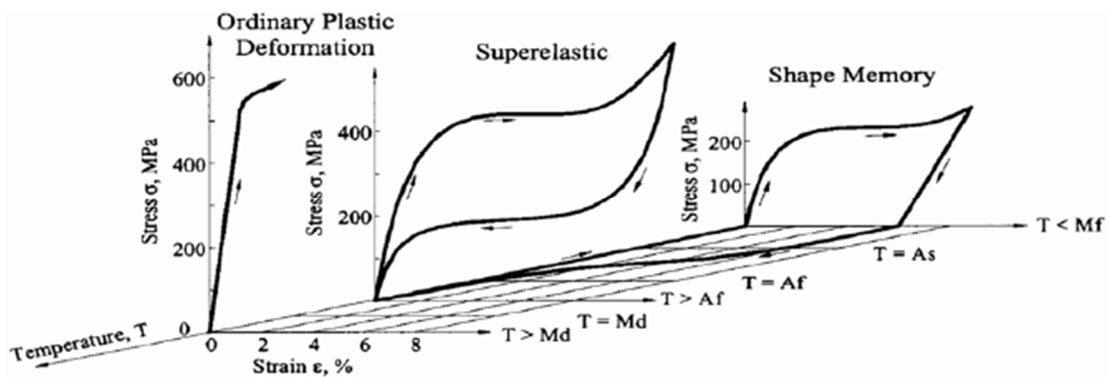
و تاثیر تجهیزات SMA در سکوهای دریایی تحت شرایط محیطی خاص آنها، وجود تحقیقات عددی و آزمایشگاهی و توسعه ضوابط طراحی این سازه ها مجهز به این مصالح نوین ضروری بنظر می رسد.

## ۲- مشخصات قابها و بارگذاری محیطی مورد بررسی

در این مقاله بمنظور بررسی رفتار غیرخطی سکوهای فراساحلی ثابت شابلونی و مقایسه پاسخ آنها با سازه های مجهز به سیستم مهاربندی SMA فوق ارتجاعی، سه گروه از قابهای دو بعدی سکو، که از دیدگاه عمق متفاوت می باشند، مطالعه شده است. چنانچه در شکل ۲ نشان داده شده است، این سکوها دارای مهاربند نوع K و در عمق های ۷۰، ۱۱۰ و ۱۵۰ در نظر گرفته شده است. مقاطع مورد استفاده در این سکوها در جدول ۱ ارائه شده است، که در آنها بمنظور ساده سازی مدل، تمامی المانهای پایه، شمع، بادبند قطری، افقی و غیره از یک تیپ واحد انتخاب شده اند. مقاطع المان پایه و مهاربندها قطری از نتایج تحلیل پوش اور بمنظور ایجاد رفتار غیرخطی در سکوها حاصل شده است. در این تحقیق سکوهای مورد مطالعه تحت اثر نیروی امواج در شرایط حداکثر طوفانی (با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله) بررسی شده اند که برای سکوی موجود در عمق ۷۰ متر شرایط امواج طوفانی در خلیج فارس و برای سکوهای موجود در عمق ۱۱۰ و ۱۵۰ متری شرایط امواج طوفانی در خلیج مکزیک مطابق با پیشنهاد آیین نامه API استفاده شده است. همچنین بمنظور انتخاب تئوری موج مناسب از نمودار موجود در آیین نامه API که محدوده تئوری های موج براساس عمق آب و ارتفاع موج را نشان میدهد [۱۷]، استفاده شده است، که در سه گروه عمق مورد بررسی در این مقاله تئوری موج مناسب، مرتبه پنجم استوکس در نظر گرفته شده است.

دهی و اثر فوق ارتجاعی مربوط به توانایی برگشت پذیری در تغییر شکلهای بزرگ بعد از باربرداری می باشد [۶]. شکل ۱ رفتار مکانیکی SMA را بعنوان تابعی از تنش، کرنش و دما را نشان می دهد. چنانچه دیده می شود، در دمای کمتر از پایان فاز مارتنزیت، SMA دارای رفتار حافظه شکلی می باشد، در این حالت تغییر مکان پسماند ایجاد شده در اثر تنش اعمالی با حرارت دهی، بالاتر از دمای پایان فاز آستنیت، حذف گردیده و نمونه به شکل اولیه خود باز می گردد. در دمای بالاتر از SMA،  $A_f$  در فاز آستنیت قرار دارد و بمحض بازگذاری آستنیت به مارتنزیت در اثر اعمال تنش تبدیل می شود که با باربرداری فاز مارتنزیت ناپدید شده و دوباره به آستنیت تبدیل می گردد، که این خاصیت رفتار فوق ارتجاعی یا سوپرلاستیک نامیده می شود. در دماهای بالاتر (بالاتر از  $M_d$ )، SMA رفتار الاستوپلاستیک با مقاومت بسیار بالا را نشان می دهد [۳]. لازم به ذکر است که  $A_s$  دمای شروع فاز آستنیت به مارتنزیت می باشد. این دو رفتار منحصر بفرد SMA باعث شده است که در یک دهه اخیر تحقیقات عددی و آزمایشگاهی زیادی در زمینه کاربرد SMA بعنوان سیستم های کنترل رفتار لرزه ای فعال، نیمه فعال و غیر فعال در سازه های مهندسی عمران از جمله ساختمان و پل ها انجام گردد [۴، ۵، ۷].

تعداد زیادی از این تحقیقات مربوط به ارزیابی عملکرد لرزه ای پل های مجهز به SMA بعنوان سیستم جداگر لرزه ای [۸] و تجهیزات کنترل غیرفعال لرزه ای [۹] می باشد. علاوه بر این مطالعات گسترده ای در مورد کاهش خطر لرزه ای و ارزیابی عملکرد ساختمانها با استفاده از تجهیزات SMA، با تمرکز روی قابلیت جذب انرژی و خاصیت بازگرداندگی آنها، در مهاربندهای قابهای ساختمانی [۱۰، ۱۱]، میراگرها [۱۲، ۱۳]، اتصالات در سازه های فولادی و بتنی [۱۴، ۱۵] و بهسازی بناهای موجود [۱۶] انجام شده است. واضح است که بعلت فقدان اطلاعات در زمینه امکان کاربرد



شکل ۱- نمودار سه بعدی ارتباط بین تنش، کرنش و دما برای مشخصات مکانیکی SMA [۳]

$$F_D (Total) = F_{D(In-Plane)} + F_{D (Out of Plane)}$$

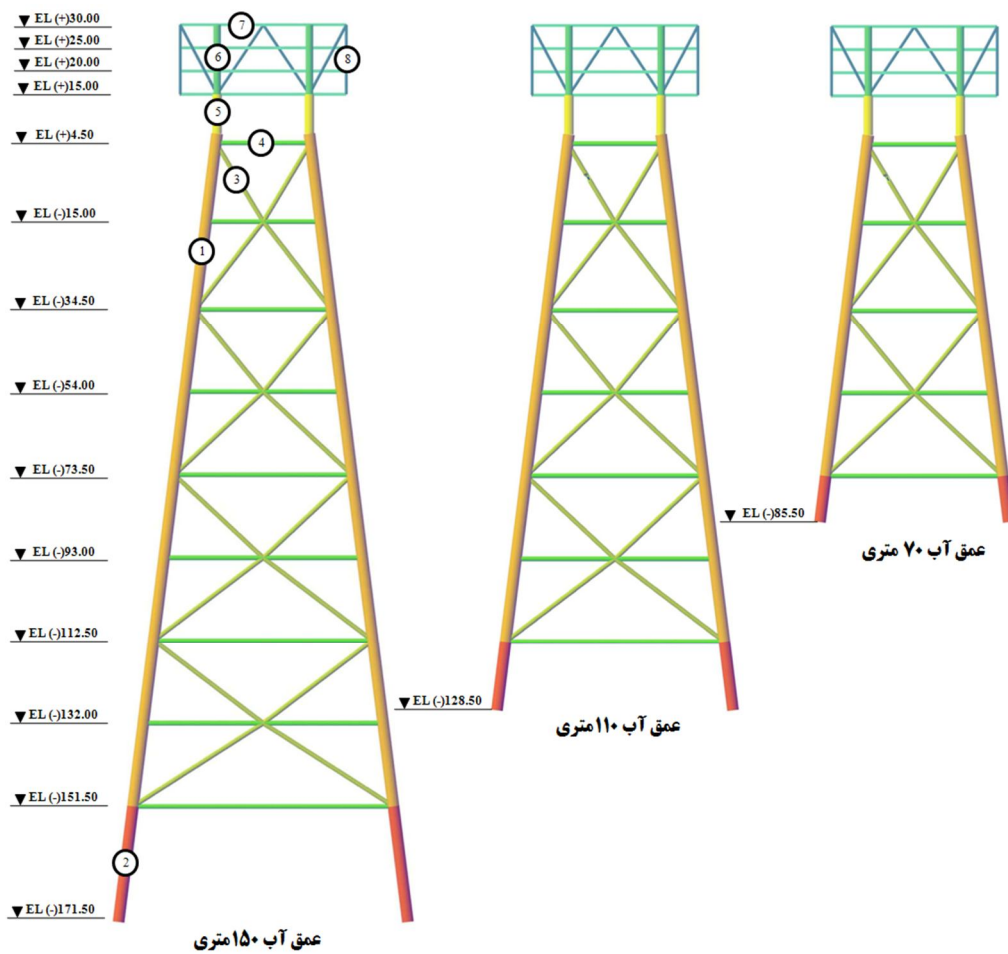
$$C_{D eq}LD = C_D LD + D_p L_p C_D \quad (1)$$

$$F_I (Total) = F_{I(In-Plane)} + F_{I (Out of Plane)}$$

$$C_{m eq}LD^2 = C_m LD^2 + D_p^2 L_p C_m \quad (2)$$

در این روابط  $C_D$  و  $C_m$  ضریب اینرسی و دراگ در سازه ابتدایی سه بعدی می باشد،  $L_p$  طول کل المانهای موجود در وجوه دیگر زیر سازه سکو (به استثنای وجه دو بعدی مورد نظر) ،  $D_p$  قطر المانهای موجود در وجوه دیگر زیر سازه سکو ،  $L$  طول کل المان ها در قاب دو بعدی مورد نظر و  $D$  قطر المان در قاب دو بعدی مورد نظر می باشد. در جدول ۲ شرایط محیطی و پارامترهای مربوط به سه گروه سکوها ارائه شده است. لازم ذکر می باشد که در این تحقیق از اثر جریان دریایی به علت آنکه تاثیرات دینامیکی بر روی نیروها و تنش ها در اعضا و اتصالات سازه در تحلیل تاریخیچه زمانی ایجاد نمی نماید، صرف نظر شده است.

برای محاسبه بار توزیع شده روی المانها از معادله موریسون که در آن برای محاسبه سرعت و شتاب از سرعت و شتاب نسبی که هم سرعت ذرات آب و هم سرعت سازه در نظر گرفته می شود، استفاده شده است. در معادله موریسون برای محاسبه سرعت سازه با استفاده از استدلال انتگرال گیری زمانی نیومارک در تحلیل تاریخیچه زمانی استفاده می گردد. از دو نقطه انتگرال گیری در امتداد طول المان برای ایجاد بردار نیرو استفاده می شود که نقاط انتگرال گیری زیر خط بستر دریا در نظر گرفته نمی شود. برای المانهای متقاطع با سطح آزاد آب، نقاط انتگرال گیری فقط در امتداد منطقه خیس توزیع می شود. همچنین به منظور در نظر گرفتن اثرات نیروهای امواج اعمالی به سازه واقعی سه بعدی و المانهای عمود بر صفحه سکو در قاب دو بعدی از معادل سازی ضرایب دراگ و اینرسی معادل سازی شده در رابطه موریسون استفاده شده است. با توجه به اینکه در رابطه موریسون عبارت نیروی اینرسی با مربع قطر المان لوله ای و عبارت نیروی دراگ با قطر المان لوله ای متناسب می باشد ضرایب اینرسی و دراگ به صورت روابط (۱) و (۲) معادل سازی می گردد.



شکل ۲- سکوهای بررسی شده در عمق های مختلف ۷۰، ۱۱۰ و ۱۵۰ متری

جدول ۱- مشخصات هندسی سکوها موجود در عمق های ۷۰، ۱۱۰ و ۱۵۰ متری

عمق	نوع المان	شماره مقطع (شکل ۲)	تراز	قطر [Cm]	ضخامت [Cm]	طول [Cm]	ضریب کماتش K
۷۰ متری	المان پایه	۱	در تمامی ترازها	۱۵۰	۱/۰۰	۱۸/۱۴	۱
	شمع	۲		۱۵۰	۱/۰۰	۱۲/۰۰	۱
	مهاربند قطری	۳		۳۰	۰/۸	۱۹-۲۶	۰/۸
۱۱۰ متری	المان پایه	۱	در تمامی ترازها	۲۰۰	۱/۵۰	۱۸/۱۴	۱
	شمع	۲		۲۰۰	۱/۵۰	۱۶/۰۰	۱
	مهاربند قطری	۳		۵۰	۱/۰۰	۱۹-۲۹	۰/۸
۱۵۰ متری	المان پایه	۱	در تمامی ترازها	۲۵۰	۲/۵۰	۱۸/۱۴	۱
	شمع	۲		۲۵۰	۲/۵۰	۲۰/۰۰	۱
	مهاربند قطری	۳	در تمامی ترازها	۶۰	۱/۱۰	۱۹-۳۳	۰/۸
در تمامی عمق ها	مهاربند افقی	۴	در تمامی ترازها	۳۰	۰/۸	۲۰-۳۸	۰/۸
در تمامی عمق ها	قطعه انتقالی	۵		۱۲۰	۱/۰۰	۸/۵۰	۱
در تمامی عمق ها	ستون اصلی عرشه	۶	در تمامی ترازها	۱۰۰	۱/۰۰	۵/۰۰	۱
در تمامی عمق ها	تیر عرشه	۷	در تمامی ترازها	IPE60		۳۶	۰/۷
در تمامی عمق ها	خرپای عرشه	۸	در تمامی ترازها	۳۰	۰/۶	۱۸	۱

جدول ۲- شرایط محیطی و پارامتر های در نظر گرفته شده برای سه گروه سکوها

انواع سکوها مورد مطالعه از دیدگاه عمق آب	ارتفاع موج (متر)	پریود موج (ثانیه)	ضریب دراگ معادل $C_{D eq}$	ضریب اینرسی معادل $C_{M eq}$	تئوری موج
سکوی در عمق ۷۰ متری شرایط امواج طوفانی در خلیج فارس	۱۲	۱۰	۱/۵	۲/۰	استوکس مرتب ۵
سکوی در عمق ۱۱۰ متری شرایط امواج طوفانی در خلیج مکزیک مطابق با API RP 2A	۱۸	۱۲	۱/۷	۲/۲	استوکس مرتب ۵
سکوی در عمق ۱۵۰ متری شرایط امواج طوفانی در خلیج مکزیک مطابق با API RP 2A	۲۴	۱۵	۱/۹	۲/۵	استوکس مرتب ۵

### ۳- مدل سازی عددی

در این تحقیق بمنظور شبیه سازی مدل عددی از دو نرم افزار SACS و ANSYS استفاده شده است، که ابتدا با استفاده از زیر برنامه Collapse از نرم افزار SACS [۱۸] و انجام تحلیل بارافزون، رفتار غیرخطی سکوها مورد ارزیابی قرار گرفته و همچنین مقاطع سکوها در رفتار غیرخطی بدست آورده شده است، سپس با استفاده از نرم افزار المان محدود ANSYS [۱۹]، تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی برای سکوها در عمق های مختلف و در دو حالت مجهز به سیستم مهاربندی آلیاژحافظه دار شکلی وبدون آلیاژ حافظه دار شکلی تحت امواج طوفانی انجام شده است. برای مدل سازی المان ها در ناحیه تغییر شکلهای غیرخطی، فولاد ST37-2 با مشخصات زیر در نظر گرفته شده است. منحنی تنش-کرنش دوخطی مستقل از جرم و نیرو از مجموعه مصالح نرم افزار ANSYS انتخاب شده است. بمنظور

بررسی رفتار الاستوپلاستیک ایدآل برای مصالح فولادی تنش های تسلیم کششی و فشاری مساوی با تنش تسلیم فولاد در نظر گرفته شده است. همچنین کرنش سختی ۲ درصد وماکزیمم شکل پذیری ۱۵ تا ۲۰ درصد برای محدوده غیرخطی تغییر شکل بررسی گردیده است (شکل ۳). برای شبیه سازی کامل جرم سازه سه بعدی در تحلیل دینامیکی، جرم ترازهای مختلف سکو با استفاده از ایجاد جرم متمرکز در گره های سکو اعمال شده است. ضریب میرایی ۵ درصد در نظر گرفته شده است. ستونها ومهاربندها برای تسلیم وکمانش در حین امواج طوفانی فرض شده اند، از اینرو هر دو غیرخطی مصالح و هندسی در مدل سازه لحاظ گردیده است. در این تحقیق از اثراندرکنش شمع و خاک صرفنظر شده است و از روش طول گیرداری معادل (۸ برابر قطر المان پایه برای خاک های سست [۲۰]) برای مدل سازی شمع ها استفاده شده است.

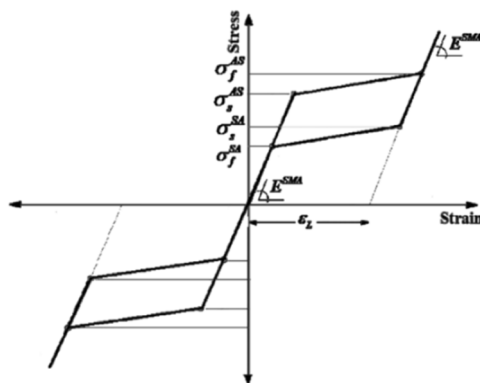
#### ۴- مدل سازی و طراحی سیستم مهاربندی SMA فوق

##### ارتجاعی

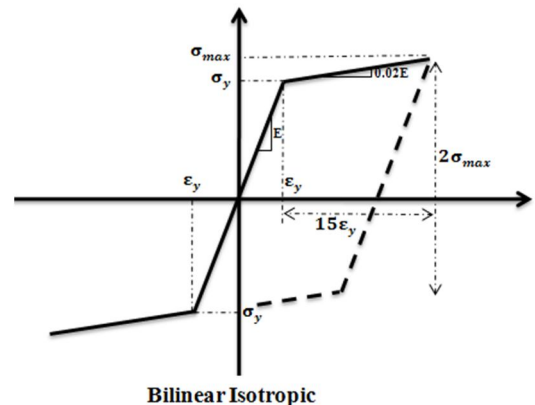
در یک دهه گذشته مدل سازی تحلیلی رفتار SMA توجه بسیاری را بخود جلب نموده است و چندین پژوهشگر مدل های عددی سازگار با رفتار SMA را پیشنهاد کرده اند. در این مقاله برای شبیه سازی رفتار فوق ارتجاعی SMA از مدل عددی سازگار پیشنهادی Auricchio و همکاران [۲۱]، که یک مدل یک محوره می باشد، استفاده شده است. پارامترهای کمی برای ساختن این مدل مورد نیاز می باشد، که همانطور که در شکل ۴ بصورت شماتیک نشان داده شده است، عبارتست از: تنش شروع فاز آستنیت به مارتنزیت  $(\sigma_s^{AS})$ ، تنش پایان فاز آستنیت به مارتنزیت  $(\sigma_f^{AS})$ ، تنش شروع فاز مارتنزیت به آستنیت  $(\sigma_s^{SA})$ ، تنش پایان فاز مارتنزیت به آستنیت  $(\sigma_f^{SA})$ ، مدول ارتجاعی برای فازهای آستنیت و مارتنزیت  $(E^{SMA})$  و طول کرنش مسطح فوق ارتجاعی  $(E_L)$ . مزایای عمده این مدل توانمندی در شبیه سازی رفتار فوق ارتجاعی و سادگی در اجرای آن، سادگی در گرفتن پارامترهای مورد نیاز مصالح (پارامترهای استخراج شده از آزمونهای تک محوره برای میله و مفتول) و قابلیت شبیه سازی الگوهای انتقالی جزئی (حلقه های جزئی) و کامل (حلقه های کامل انتقالی از آستنیتی کامل به مارتنزیتی کامل) در هر دو تنش فشاری و کششی می باشد. این مدل یک بعدی می تواند رفتار SMA را تحت بارگذاری های اختیاری نظیر زلزله و امواج تصادفی (با ارتفاع و پریود متفاوت) شبیه سازی کند. معادلات معرفی شده توسط Auricchio، براساس پدیده رژیم تغییر شکلهای کوچک و با فرض ارتباط میان تنش ها و کرنش های یکسری منحنی های خطی، که فرم آنها بوسیله میزان انتقال فاز تعیین شده است، پایه گذاری شده است. نقاط ضعف این مدل پیشنهادی داشتن مدول ارتجاعی یکسان در فاز آستنیت و مارتنزیت و مستقل بودن آن از سرعت بارگذاری، دما، تعداد سیکلهای بارگذاری می باشد که تاثیر هر یک از این عوامل در رفتار SMA توسط چندین محقق مطالعه شده

است [۲۲،۳]. اما با وجود این نواقص، این مدل می تواند با تقریب خوبی رفتار فوق ارتجاعی نایتینول را شبیه سازی نماید، که برای صحت این موضوع و اطمینان از رفتار مناسب المانهای SMA در سازه، قابلیت این مدل تحلیلی در شبیه سازی رفتاری مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. برای این منظور ابتدا یک آزمون عددی با الگوی تنش یک محوره افزایشی روی یک المان ساده SMA فوق ارتجاعی در نرم افزار ANSYS مطابق شکل ۵ انجام شده و سپس پاسخ این مدل فوق ارتجاعی با داده های آزمایشگاهی بدست آمده توسط Fuggaza [۲۳]، که بر روی یک نوع تجاری مفتول نایتینول فوق ارتجاعی به قطر ۱ میلیمتر تولیدشده توسط CNR-IENI (Lecco Italy) [۲۳] انجام گردیده، همانطور که در شکل ۶ ملاحظه می گردد، مقایسه شده است. از بازبینی منحنی های تنش-کرنش آزمایشگاهی، مشخصات مکانیکی SMA مطابق با جدول ۳ برای شبیه سازی عددی استخراج شده است. نتایج این مقایسه حاکی از توانایی بالای این مدل در بازتولید منحنی تنش-کرنش برای SMA می باشد.

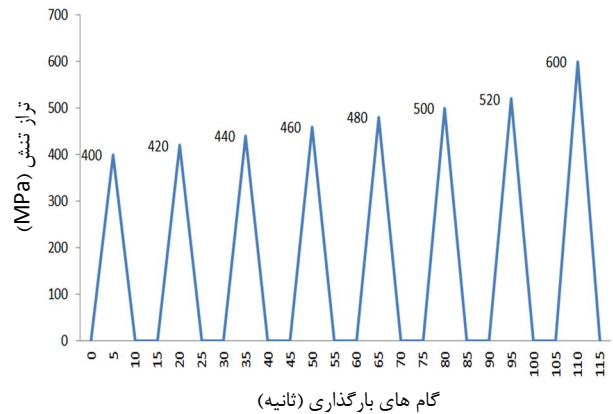
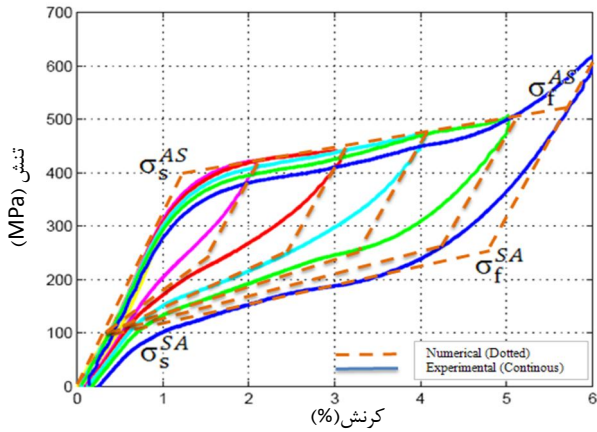
برای طراحی سیستم مهاربندی پیشنهادی SMA در مدل تحلیلی مطابق شکل ۷ المان های SMA در داخل هر مهاربند مدل شده است. برای کاهش طول SMA این المان توسط میله های صلب به ابتدا وانتهای مهاربند متصل شده است. با استفاده از چندین فرآیند تکرار و سعی و خطا در تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، سطح مقطع این المان طوری در نظر گرفته شده است که تحت اثر بارگذاری موج اعمالی SMA دارای رفتار غیرخطی بوده و حلقه پسماند کامل ایجاد گردد (در محدوده مقاطعی از ۶\*۶ تا ۸\*۸ سانتیمتر در سکوهای با عمق های مختلف و در تراز های مختلف) و طول المان بصورتی است که تغییر شکل کلی سازه از حد مجاز ۲۰۰÷۱ تجاوز ننماید (در محدوده طول های ۴۰ سانتیمتر برای سکوی در عمق ۷۰ متری، ۵۰ سانتیمتر برای سکوی در عمق ۱۱۰ متری و ۶۰ سانتیمتر برای سکوی در عمق ۱۵۰ متری).



شکل ۴- پارامتر های مورد نیاز برای معرفی مدل SMA [۲۳]



شکل ۳- منحنی تنش-کرنش فولاد در نظر گرفته شده



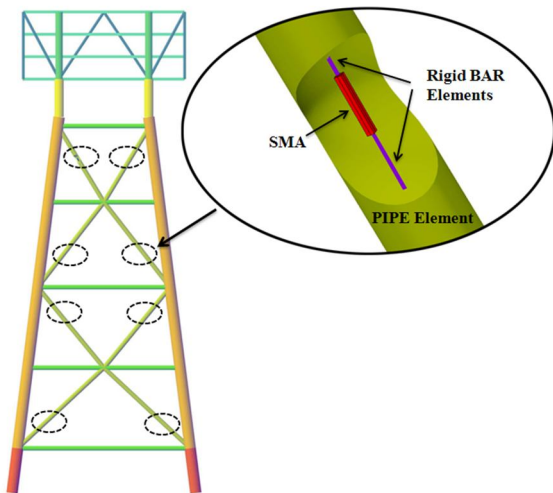
شکل ۵- الگوی تنش اعمالی به المان SMA

شکل ۶- حلقه پسماند تنش- کرنش برای الگوی تنش در شکل ۵ (خط چین)

و مقایسه نتایج عددی با داده های آزمایشگاهی [۲۳] (خطوط ممتد)

جدول ۳: مشخصات مکانیکی SMA استخراج شده از نتایج آزمایشگاهی Fuggaza [۲۳].

مقدار	کمیت
۳۰	$E^{SMA} [GPa]$
۴۰۰	$\sigma_s^{AS} [MPa]$
۵۲۰	$\sigma_f^{AS} [MPa]$
۲۵۰	$\sigma_s^{SA} [MPa]$
۱۰۰	$\sigma_f^{SA} [MPa]$
۴	$\epsilon_L [%]$



شکل ۷- طراحی سیستم مهاربندی پیشنهادی SMA

می باشد. اشکال ۸، ۹، ۱۰ الف، میزان و درصد غیرخطی یا پلاستیسیته، با تقسیم بندی در رنگ، برش پایه و نقطه شکست سازه مشخص شده است. اشکال ۸، ۹، ۱۰ ب، تغییرات برش پایه نسبت به جابجایی عرشه سکو، که منحنی بارافزون نامیده می شود، را نشان میدهد، با استفاده از آنها جابجایی حد ارتجاعی، حد شکست و ضریب شکل پذیری، که نسبت جابجایی حد شکست به حد ارتجاعی می باشد، حاصل میگردد. همچنین در اشکال ۸، ۹، ۱۰ ج، تغییرات جابجایی عرشه سکو نسبت به ضریب نیروی موج اعمالی به سازه<sup>۹</sup> می باشد، که با استفاده از آن می توان میزان مقاومت باقیمانده سازه در برابر بار وارده را ارزیابی نمود. علاوه براین در این تحلیل با سعی و خطای صورت گرفته، مقاطع المان پایه و مهاربندهای زیر سازه سکو، بطوری که سازه تحت امواج طوفانی در نظر گرفته شده رفتار غیرخطی از خود نشان دهد،

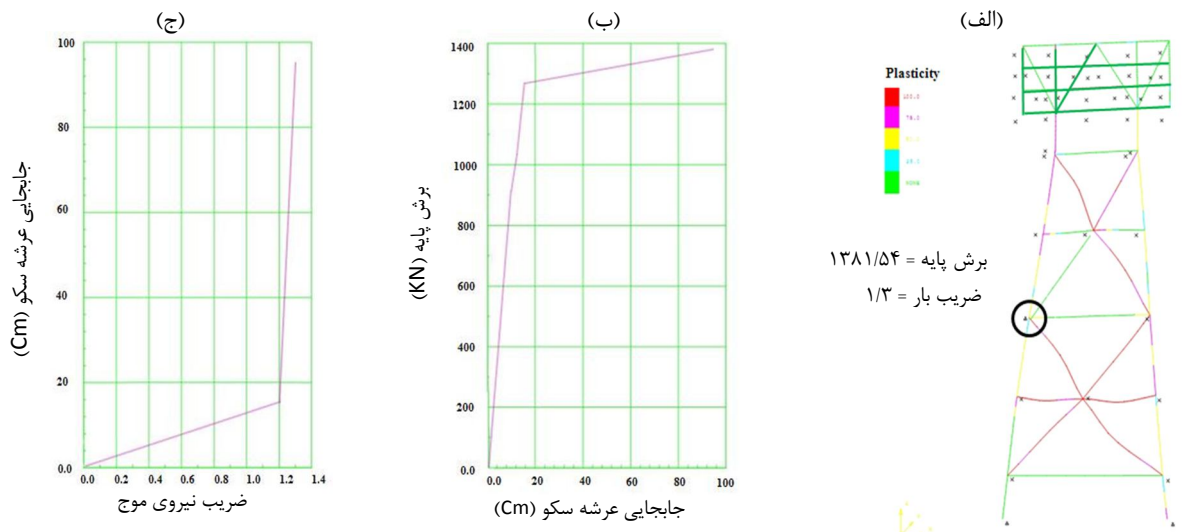
### ۵- تحلیل بارافزون و نتایج

همانطور که پیشتر ذکر گردید، تحلیل غیرخطی بارافزون با بار فزاینده موج بمنظور ارزیابی رفتار غیرخطی و عملکرد سازه انجام شده است. این تحلیل با استفاده از زیر برنامه Collapse از نرم افزار SACS انجام شده است. در این تحلیل سکوهایی مختلف که دارای پیکربندی مهاربند یکسان نوع K می باشند در عمق های ۷۰، ۱۱۰ و ۱۵۰ متری با یکدیگر مقایسه شده اند.

در تحلیل غیر خطی بارافزون ظرفیت نهایی اعضا و اتصالات و بطور کلی پایداری سکوی بدون تجهیز به المان SMA در معرض بارگذاری افزایشی موج ارزیابی میگردد. در این تحلیل تراز بارگذاری موج گام به گام افزایش می یابد بطوری که در ابتدا رفتار سازه بصورت ارتجاعی و دارای تغییر شکل های الاستیک بوده و سپس با افزایش بار، سازه به محدوده پلاستیک وارد شده و تغییر شکلهای پسماند در سازه ایجاد میگردد، که در این حالت میزان تنش موضعی در اعضا و ظرفیت اتصالات زیر سازه سکو از حد مجاز متجاوز گردیده و کمناش موضعی<sup>۶</sup> در اعضا و اتصالات لوله ای حادث شود. با تداوم روند افزایش بار، مفاصل پلاستیک دائمی<sup>۷</sup> در اتصالات شکل گرفته و در نهایت شکست و فروپاشی کلی<sup>۸</sup> در سازه اتفاق می افتد. خروجی این تحلیل شامل اشکال و نمودارهایی می باشد که بیانگر رفتار غیر خطی و شکست سازه

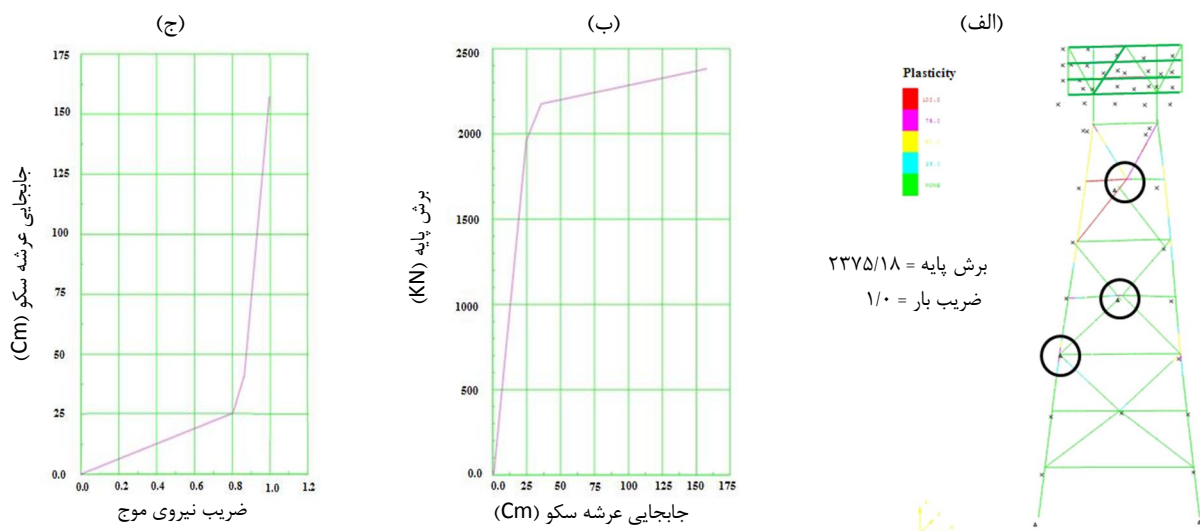
در برابر امواج طوفانی اعمالی رفتار خطی داشته و با افزایش نیروی موج به میزان ۳۰٪ رفتار غیرخطی و شکست در سازه رخ می دهد و بیانگر این واقعیت می باشد که در سکوی موجود در عمق ۷۰ متری بدلیل سختی بسیار بالای سازه و رفتار خطی سازه تحت امواج طوفانی، استفاده از آلیاژ حافظه دار شکلی تاثیری در رفتار سازه نخواهد داشت. در مورد جابجایی حد ارتجاعی و شکست مشاهده می گردد که با افزایش عمق، میزان این جابجایی ها بیشتر شده بطوری که ضریب شکل پذیری سازه در تمامی عمق ها تقریباً یکسان و برابر ۶/۴ می باشد.

مطابق با جدول ۱ برای سکوها در عمق های مختلف بدست می آید. مهمترین نتیجه گیری که از تحلیل بارافزون سکوها می توان داشت، این واقعیت می باشد که فروپاشی در سکوهای دریایی ناشی از شکست در اتصال المان اصلی به مهاربند یا اتصال جوینت کن می باشد. همانطور که در اشکال ۸، ۹، ۱۰ و جدول ۴ ملاحظه می گردد، پیوند ارتعاشی سازه با افزایش عمق افزایش می یابد که ناشی از افزایش جرم و کاهش سختی سازه می باشد. با مقایسه ضریب نیروی موج برای سکوها با عمق های مختلف مشاهده میگردد که سکوی موجود در عمق ۷۰ متری با مقاطع فرض شده



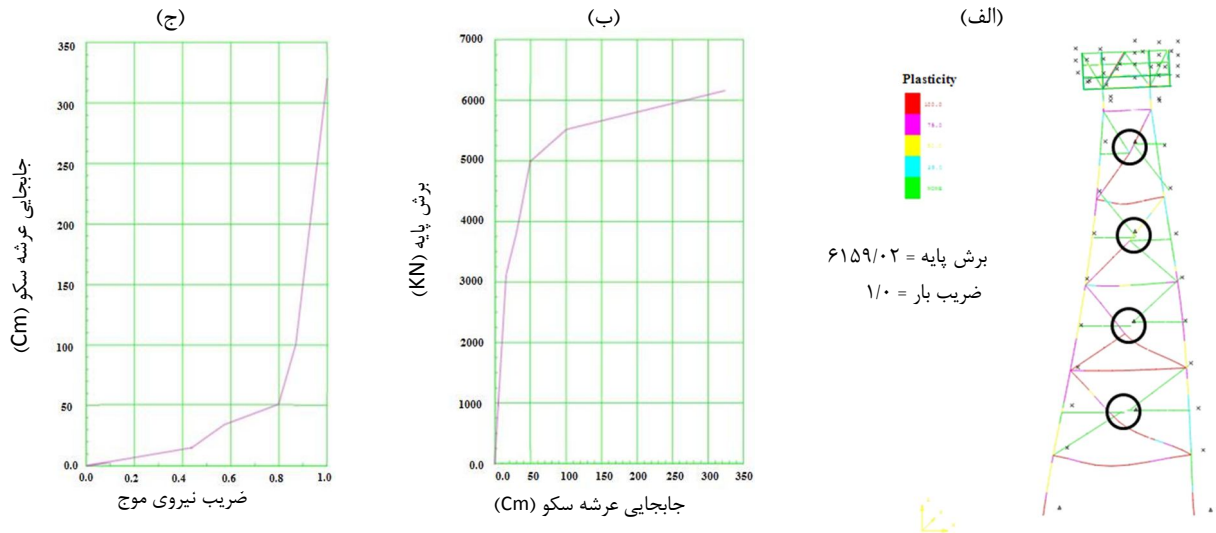
شکل ۸- نتایج تحلیل بار افزون تحت گام های افزایشی بار موج برای سکوی واقع در عمق ۷۰ متری

(الف): درصد غیر خطی و نقطه شکست سازه در گام نهایی، (ب): منحنی بارافزون سازه، (ج): نمودار جابجایی عرشه نسبت به ضریب نیروی موج



شکل ۹- نتایج تحلیل بار افزون تحت گام های افزایشی بار موج برای سکوی واقع در عمق ۱۱۰ متری

(الف): درصد غیر خطی و نقطه شکست سازه در گام نهایی، (ب): منحنی بارافزون سازه، (ج): نمودار جابجایی عرشه نسبت به ضریب نیروی موج



شکل ۱۰- نتایج تحلیل بار افزون تحت گام های افزایشی بار موج برای سکوی واقع در عمق ۱۵۰ متری (الف): درصد غیر خطی و نقطه شکست سازه در گام نهایی، (ب): منحنی بارافزون سازه، (ج): نمودار جابجایی عرشه نسبت به ضریب نیروی موج

جدول ۴- نتایج تحلیل بارافزون برای عمق های مختلف

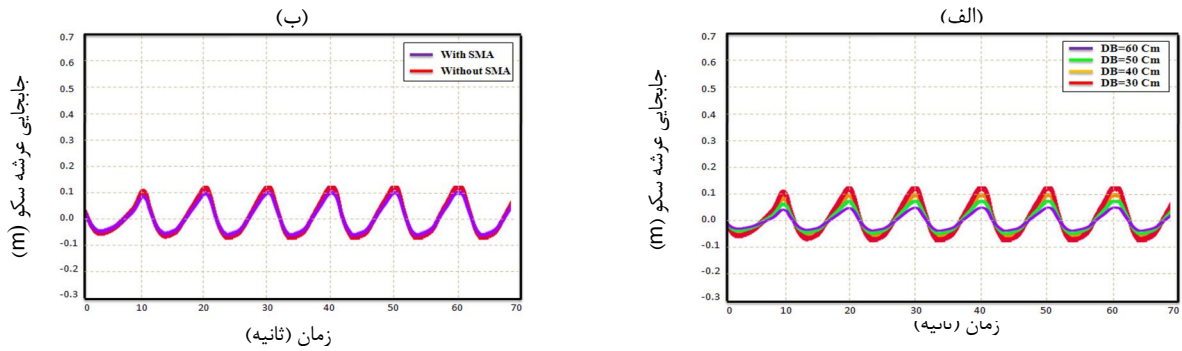
ضریب شکل R	جابجایی عرشه حد شکست $\Delta_{Failure}$ (Cm)	جابجایی عرشه حد ارتجاعی $\Delta_{Yield}$ (Cm)	برش پایه (KN)	ضریب نیروی موج	پریود طبیعی	نوع سکو از دیدگاه عمق آب
۶/۳۰	۹۵	۱۵	۱۳۸۱/۵۴	۱/۳	۲/۶۷	پیکر بندی مهاربندی نوع K - عمق ۷۰ متری
۶/۲۰	۱۵۵	۲۵	۲۳۷۵/۱۸	۱/۰	۳/۶۵	پیکر بندی مهاربندی نوع K - عمق ۱۱۰ متری
۶/۴۰	۳۲۰	۵۰	۶۱۵۹/۰۲	۱/۰	۴/۵۶	پیکر بندی مهاربندی نوع K - عمق ۱۵۰ متری

موجود در عمق ۱۵۰ متری مجهز به مهاربند های آلیاژ حافظه دار شکلی و مقایسه آن با سکوی نظیر بدون آلیاژ حافظه دار شکلی بمنظور ارزیابی میزان انرژی پلاستیک جذب شده توسط سازه در شکل ۱۴ مشخص شده است، تنش در اتصالات و اعضا سازه در سکوی موجود در عمق ۱۵۰ متری بدون تجهیز به مهاربندهای SMA و مقایسه آن با سازه مجهز به مهاربندهای SMA نیز همچنانکه در شکل های ۱۵ و ۱۶ ملاحظه می گردد، بررسی شده است.

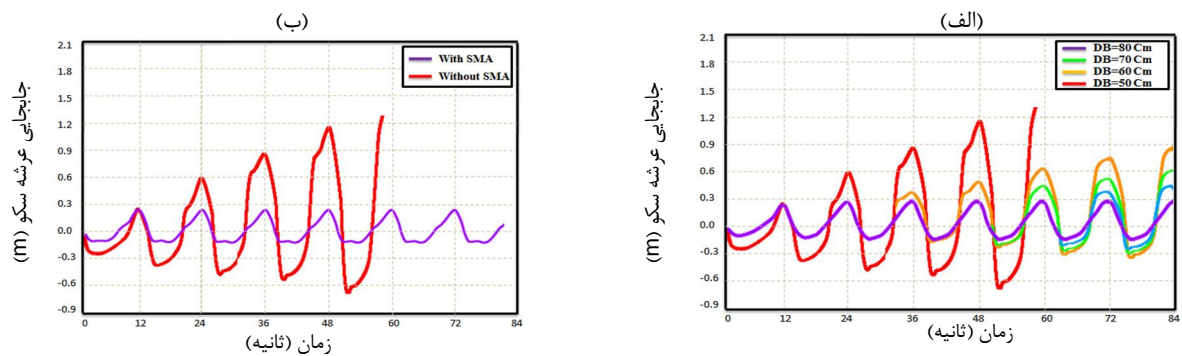
همانطور که در شکل ۱۱- الف ملاحظه می گردد با کمتر شدن قطر مهاربندهای زیر سازه سکوی موجود در عمق ۷۰ متری، سازه همچنان رفتار خطی از خود نشان می دهد، که این موضوع از نتایج تحلیل بارافزون اثبات گردید. در شکل ۱۱- ب می بینیم که با تجهیز سازه به مهاربند SMA هیچ تاثیری در رفتار سازه ایجاد نمی شود و تنها به میزان ناچیزی تغییر شکل سازه کاهش می یابد که دلیل آن سختی بالای رفتار خطی سازه می باشد.

## ۶- تحلیل تاریخیچه زمانی و نتایج

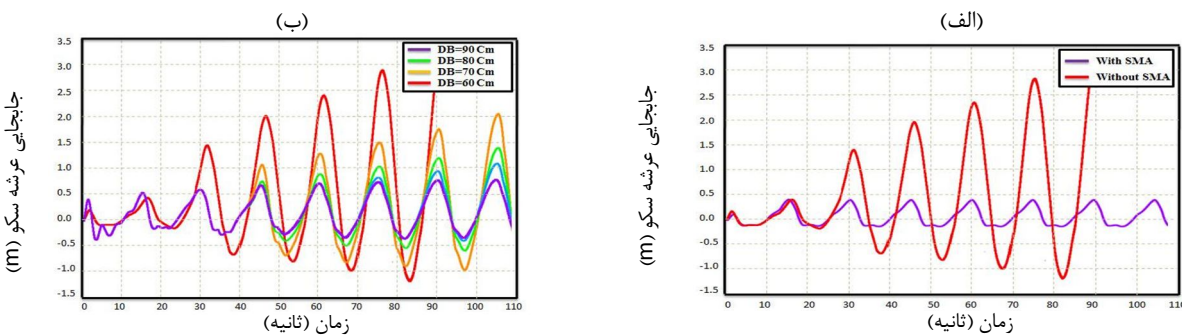
پس از مطالعه و بررسی رفتار غیرخطی انواع سکوهای بدون مهاربند SMA در عمق های مختلف، در این بخش به بررسی رفتار این سکو ها تحت امواج طوفانی و مقایسه نتایج هر یک از سکوها با سکوهای نظیر مجهز به آلیاژ حافظه دار شکلی پرداخته می شود. این تحلیل با استفاده از نرم افزار ANSYS و با مشخصات المانها و بارگذاری موج و سایر پیش فرضهای گفته شده انجام شده است. در این بخش تحلیل غیرخطی تاریخیچه زمانی سکوها در معرض امواج طوفانی بادر نظر گرفتن عوامل مختلفی از قبیل تغییرات در قطر مهاربندهای زیر سازه سکوی بدون تجهیز به آلیاژ حافظه دار شکلی به منظور ارزیابی عملکرد رفتار غیرخطی آن در اشکال ۱۱، ۱۲، ۱۳- الف به ترتیب برای سکوهای در عمق ۷۰، ۱۱۰ و ۱۵۰ متری نشان داده شده است، همچنین جابجایی عرشه سکوی مجهز به مهاربند های آلیاژ حافظه دار شکلی و مقایسه آن با سکوی بدون آلیاژ حافظه دار شکلی در اشکال ۱۱، ۱۲، ۱۳- ب به ترتیب برای سکوهای در عمق ۷۰، ۱۱۰ و ۱۵۰ متری نشان داده شده است، نمودار برش پایه نسبت به جابجایی عرشه برای سکوی



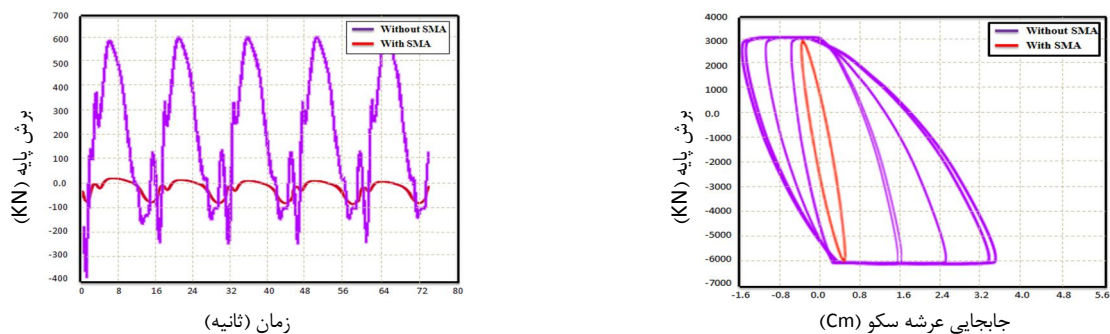
شکل ۱۱- تحلیل تاریخچه زمانی تحت امواج طوفانی برای سکوی واقع در عمق ۷۰ متری  
(الف): تاثیر قطر مهاربند در پاسخ سکوی بدون تجهیز به مهاربند SMA، (ب): مقایسه پاسخ سکوی مجهز به SMA و بدون SMA



شکل ۱۲- تحلیل تاریخچه زمانی تحت امواج طوفانی برای سکوی واقع در عمق ۱۱۰ متری  
(الف): تاثیر قطر مهاربند در پاسخ سکوی بدون تجهیز به مهاربند SMA، (ب): مقایسه پاسخ سکوی مجهز به SMA و بدون SMA



شکل ۱۳- تحلیل تاریخچه زمانی تحت امواج طوفانی برای سکوی واقع در عمق ۱۵۰ متری  
(الف): تاثیر قطر مهاربند در پاسخ سکوی بدون تجهیز به مهاربند SMA، (ب): مقایسه پاسخ سکوی مجهز به SMA و بدون SMA



شکل ۱۴- تنش در اتصالات سازه مجهز به SMA و بدون SMA در سکوی واقع شده در عمق ۱۵۰ متری

شکل ۱۴- جذب انرژی در سکوی مجهز به SMA و بدون SMA در سکوی واقع شده در عمق ۱۵۰ متری

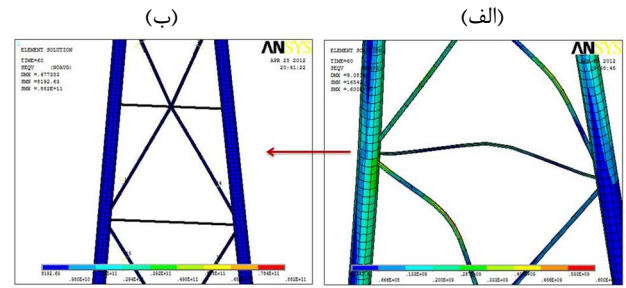
واستهلاک انرژی موج توسط SMA و کم شدن انرژی در اعضا اصلی سازه می باشد.

#### ۷- نتیجه گیری و جمع بندی

در بررسی کلی سکوهای دریایی مجهز به SMA اینطور استنباط می گردد استفاده SMA در سازه های دریایی از اهمیت زیادی برخوردار می باشد و می تواند در بهبود رفتار این سازه ها تحت بارگذاری دینامیکی چرخه ای امواج مفید واقع شود. SMA ها از یک طرف با داشتن قابلیت استهلاک انرژی مناسب تلاشهای وارد بر اعضای اصلی سازه مانند اتصالات و اعضای مهاربند و المان پایه را کاهش داده واز این طریق سازه از آسیب های عمده ناشی از امواج طوفانی در امان خواهد بود و از طرف دیگر با داشتن خاصیت بازگرداندگی مانع بوجود آمدن کرنش های پس ماند در اتصالات و اعضا سازه می گردد. این دو خاصیت باعث می شود که در بارگذاری محیطی چرخه ای امواج در سازه های دریایی و یا حتی پس از زلزله مانع بوجود آمدن کرنش های پس ماند گردد و سازه به وضعیت اولیه خود بازگردد و مجدداً مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج بررسی پارامتر هندسی عمق آب در این تحقیق نشان داد که این پارامتر در رفتار سکوها بسیار موثر می باشد. هرچه عمق سکو بیشتر می شود تاثیر مهاربند SMA در بهبود رفتار سازه بیشتر می گردد بطوری که در سکوی موجود در عمق ۷۰ متری با تجهیز زیر سازه سکو به مهاربند SMA هیچ تاثیری در رفتار سازه ایجاد نمی شود، در حالیکه در عمق های ۱۱۰ و ۱۵۰ متری مهاربندهای SMA، با جذب واستهلاک بخش عمده ای از انرژی موج باعث کاهش انرژی در اعضا اصلی سازه و تغییر شکلهای زیرسازه سکو شده و به سازه نسبتاً صلب و دارای رفتار خطی تبدیل می گردد.

همچنین در بررسی و مقایسه تنش در اعضا و اتصالات سکو مشاهده می گردد، در سازه مجهز به مهاربند SMA، تنش در اتصالات سکو بشدت کاهش داشته که در نتیجه جذب واستهلاک انرژی موج توسط SMA رخ می دهد. این کاهش تنش در اتصالات و اعضا سکو آثار و نتایج مثبتی را در پی خواهد داشت که عبارتست از کوچکتر و بهینه شدن مقاطع مورد استفاده در سکو، کاهش خرابی ناشی از پدیده خستگی و افزایش عمر مفید سکو می باشد. در پایان دانستن این نکته ضروری می باشد که به این تحقیق، که برای اولین بار به بررسی استفاده از این مصالح در سکوهای دریایی پرداخته شده است، به دیده یک کار تحقیقاتی (و نه مهندسی) نگریسته شده است و هدف از آن، ایجاد فضایی برای نگاه متفاوت به سکوهای دریایی و گسترش تحقیقات تئوری و آزمایشگاهی مفصل آتی و همچنین گسترش سیستم های جدید در ساخت سکوهای دریایی بوده است. اگر چه در این مقاله از برخی بحث های مهندسی و الزامات آیین نامه ای (انواع بارگذاری ها و حالات



شکل ۱۶- مقایسه تنش در اتصالات سازه در سکوی واقع شده در عمق ۱۵۰ متری (الف): بدون تجهیز به SMA، (ب): با تجهیز به SMA

برای سکوهای در عمق ۱۱۰ و ۱۵۰ متری، همانطور که در اشکال ۱۲ و ۱۳-الف ملاحظه می گردد با کمتر شدن قطر مهاربندها، به تدریج میزان جابجایی عرشه تحت شرایط موج طوفانی افزایش می یابد. یکی از دلایل آن می تواند رسیدن اعضا و اتصالات سازه به محدوده غیرخطی و پدید آمدن تغییر شکل های پسماند در اثر سیکل های بارگذاری و باربرداری نیروی موج باشد. همچنین برای سکوهای در عمق ۱۱۰ و ۱۵۰ متری، با مقایسه سکوی با مهاربندی SMA و بدون SMA در اشکال ۱۲ و ۱۳-ب، مشاهده می گردد که، در سازه دارای SMA جابجایی عرشه به میزان قابل توجهی کاهش یافته و سازه رفتار غیرخطی از خود نشان نمی دهد که این بدلیل استهلاک انرژی موج و قابلیت بازگرداندگی SMA هایی است که در مهاربندهای سکو اجرا شده است. مهاربندهای SMA ترازهای زیرسازه سکو را به حالت نسبتاً صلب تبدیل نموده و با جذب واستهلاک بخش عمده ای از انرژی موج باعث کم شدن انرژی در اعضا اصلی سازه و کاهش رفتار غیر خطی آنها می گردد. کاهش جابجایی عرشه در سکوی واقع در عمق ۱۱۰ متری حدود ۸۰ درصد و در سکوی ۱۵۰ متری ۸۵ درصد می باشد.

با مقایسه میزان جذب انرژی در سکوهای دارای سیستم مهاربندی SMA و بدون SMA در شکل ۱۴ ملاحظه می گردد که، در سازه بدون SMA انرژی موج توسط تغییر شکلهای پلاستیک در مهاربندها و اتصالات سازه جذب می شود. هرچقدر سازه بیشتر وارد محدوده غیرخطی شود مقدار انرژی جذب شده توسط تغییر شکلهای پلاستیک بیشتر می شود و تعداد بیشتری از اعضا به حد پلاستیک می رسند. میزان این جذب انرژی در زمان پریود موج به مقدار حداکثر خود می رسد و این دلیل ورود سازه به محل تغییر شکلهای خیلی بزرگ می باشد. در حالیکه در سازه مجهز به SMA انرژی ورودی به سازه کاهش یافته و تغییر شکلهای نیز به مقدار قابل توجهی کاهش می یابد.

در نمودارهای ۱۵ و ۱۶ مشاهده می گردد که با تجهیز سازه به مهاربندهای SMA تنش در اتصالات و اعضا سازه بیش از ۸۵ درصد کاهش داشته که مطابق آنچه ذکر گردید دلیل آن جذب

*seismic control of cable-stayed bridges*, Engineering Structures Journal, Vol.31, p. 607-16.

10- Yang, W., DesRoches, R., Leon, RT., (2010), *Design and analysis of braced frames with shape memory alloy and energy-absorbing hybrid devices*, Engineering Structures Journal, Vol.32, p. 498-507.

11- McCormick, J., DesRoches, R., Fugazza, D., Auricchio, F., (2007), *Seismic assessment of concentrically braced steel frames with shape memory alloy braces*, Structural Engineering Journal, Vol. 133(6), p. 862-70.

12- Motahari, SA., Ghassemieh, M., Abolmaali, SA., (2007), *Implementation of shape memory alloy dampers for passive control of structures subjected to seismic excitations*, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 63, p. 1570-9.

13- Pan, Q., C.h.o, C., (2007), *The investigation of a shape memory alloy micro-damper for MEMS applications*, Sensors Journal, Vol. 7, p. 1887-1900.

14- Ocel, J., DesRoches, R., Leon, RT., Hess, WG., Krumme, R, Hayes, JR., et al., (2004), *Steel beam-column connections using shape memory alloys*, Journal of the Structural Engineering, Vol. 130(5), p. 732-40.

15- Alam, M.S., Youssef, M.A., Nehdi, M., (2008), *Analytical prediction of the seismic behavior of superelastic shape memory alloy reinforced concrete elements*, Journal of Engineering Structures, Vol. 30, p. 3399-3411.

16- Cardone, D., Dolce, M., Ponzio, FC., (2004), *Experimental behavior of R/C frames retrofitted with dissipating and re-centering braces*, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 8, p. 361-96.

17- *API RP 2A-WSD*, 21<sup>st</sup> Edition, Supplement 3, (2007).

18- *SACS Version 5.2-Collaps Module, Release 6 User's Manual*, (2005).

19- *ANSYS Version 13.0 User's Manual*, (2011).

20- Hallam, M. G., (1978), *DYNAMIC OF MARINE STRUCTURES: Method of calculating the dynamic response of fixed structures subject to wave and current action-* (Report - CIRIA Underwater Engineering Group).

21- Anricchio, F., (1995), *SHAPE MEMORY ALLOYS: micromechanics, macromodeling and numerical simulations*, PhD thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California at Berkeley.

22- Dolce, M. and Cardone, D., (2001), *Mechanical behavior of shape memory alloys for seismic applications I. Martensite and austenite bars subjected to torsion*, International Journal of Mechanical Sciences, Vol.43, p. 2631-2656.

23- Fugazza, D., (2005), *Experimental Investigation on the Cyclic Properties of Superelastic NiTi Shape-Memory Alloy Wires and Bars*, PHD thesis, Italy, University of Pavia.

دیگر طراحی) صرفنظر شده است، سیستم کنونی شاید درآینده بتواند بعنوان جایگزینی برای سیستم های فعلی که دربرگیرنده الزامات و ضرایب ایمنی بسیار بالا با صرف مصالح فراوان می باشد با الزامات مخصوص به خود مورد توجه محققان و شرکت های فعال در زمینه صنایع نفت و گاز قرار گیرد.

## کلید واژگان

- 1- Jacket Platform
- 2-Joint Can
- 3-Shape Memory Alloy
- 4-Super-Elasticity
- 5-Analysis Pushover
- 6-Local Buckling
- 7-Permanent Plastic Hinge
- 8-Collapse
- 9-Load Factor

## ۸ - مراجع

- 1- Skallerud, B., and Amdahl, J., (2002), *Nonlinear analysis of offshore structures*, Research Studies Press LTD (RSP).
- 2- Dolce, M., Cardone, D. and Marnetto, R., (2000), *Implementation and testing of passive control devices based on shape memory alloys*, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.29, p. 945-968.
- 3- DesRoches, R., McCormick, J. and Delemont, M., (2004), *Cyclic properties of shape memory alloy wires and bars*, Journal of Structural Engineering, Vol.130, p. 38-46.
- 4- Song, G., Ma, N., Li, H.N., (2006), *Applications of shape memory alloys in civil structures*, Engineering Structures Journal, Vol.28, p. 1266-74.
- 5- Janke, L., Czaderski, C., Motavalli, M., Ruth, J., (2006), *Applications of shape memory alloys in civil engineering structures-overview, limits and new ideas*, Materials and Structures Journal, Vol.38, p. 578-92.
- 6- Bruno, S., Valente, C., (2002), *Comparative response analysis of conventional and innovative seismic protection strategies*, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.31, p.1067-1092.
- 7- Alam, M.S., Yousef, M.A., (2007), *Utilizing shape memory alloy to enhance the performance and Safety of Civil Infrastructure: A Review*, Canadian journal of Civil Engineering, Vol.34, p. 1075-86.
- 8- Ozbulut, OE., Hurlbaas, S., (2010), *Evaluation of the performance of a sliding-type base isolation system with a NiTi shape memory alloy device considering temperature effects*, Engineering Structures Journal, Vol.32, p. 238-49.
- 9- Sharabash, AM., Andrawes, BO., (2009), *Application of shape memory alloy dampers in the*