

\*

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری سازه های دریایی - دانشکده مهندسی - دانشگاه تگزاس (Texas A&M)  
<sup>۲</sup> استاد دانشکده مهندسی عمران - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران  
( // , // , // )

## چکیده

برای طراحی و ارزیابی سکوهای ثابت فلزی، عموماً، دو تراز بارگذاری برای شرایط دریا تعریف می شود: تراز طراحی و تراز حد نهایی. در این مطالعه، این دو تراز برای طراحی سکوها در منطقه پارس جنوبی تعیین شده است. ارتفاع موج متناظر با ظرفیت میانه<sup>۱</sup> در تراز بارگذاری حد نهایی با استفاده از آنالیز خطرپذیری به دست آمده است. برای این منظور احتمال خرابی به برش پایه مربوط شده و رابطه بین برش پایه و ارتفاع موج به دست آمده است. با تخمین مقاومت ذخیره موجود در سکوهای مختلف، بارگذاری تراز طراحی نسبت به بارگذاری تراز حد نهایی مقایسه گردیده و در نهایت روند طراحی بر اساس دو تراز بارگذاری مورد بررسی قرار گرفته و مشاهده شده است که طراحی بر اساس دو تراز در سطحی بالاتر نسبت به بارگذاری در یک سطح طراحی قرار دارد.

**واژه های کلیدی:** سکوی ثابت فلزی - بارگذاری های دریا - تراز حد نهایی - تراز طراحی - منطقه پارس جنوبی

## مقدمه

عبارتند از: تراز طراحی و تراز حد نهایی [۳،۴]. تراز بارگذاری طراحی به منظور کنترل مقاومت جزئی اعضاء تعریف شده است. در حقیقت در این تراز تنش های به وجود آمده در اعضاء با مقادیر مجاز آیین نامه ای کنترل می شود. تراز حد نهایی به منظور کنترل رفتار کلی و فرو ریزش سازه مورد بررسی قرار می گیرد.

برای تعیین ترازهای بارگذاری ابتدا باید شرایط دریا برای منطقه مورد نظر تعیین گردد. منظور از تعیین شرایط دریا تعیین توزیع احتمالاتی ارتفاع موج حداکثر سالانه، پیوند موج، سرعت باد و سرعت جریان و هم چنین بررسی وقوع توأم این پدیده ها می باشد. که در این خصوص از نتایج تحقیقات ارائه شده در [۵، ۶] در مورد شرایط دریا در منطقه پارس جنوبی استفاده شده است.

هدف این تحقیق تعیین تراز های بارگذاری طراحی و حد نهایی برای منطقه پارس جنوبی می باشد. برای این منظور ابتدا سطح خطر سکوها بر اساس ایده آیین نامه  $API-RP2A$  [۱،۲] به سه دسته تقسیم شده، سپس برای هر دسته خطرپذیری قابل قبول با استفاده از مقادیر مجاز آیین نامه های دریایی پیشنهاد شده است. در این تحقیق عمدتاً از توصیه های آیین نامه  $API-RP2A$  [۱،۲] و تحقیقات انجام شده توسط  $DNV$  در مورد

یکی از عوامل تعیین کننده در طراحی سکوهای دریایی، بارگذاری شرایط دریا می باشد. نکته قابل توجه در مورد طراحی سکوهای دریایی بر هزینه و پیچیده بودن طراحی، ساخت، اجرا و ترمیم این سازه هاست که اعمال دقت در آنالیز و طراحی آن ها را کاملاً توجیه پذیر می کند.

امروزه برای طراحی سازه های جدید و هم چنین برای ارزیابی سازه های موجود، اثر ترازهای مختلف بار مورد بررسی قرار می گیرد. طی سالیان اخیر ترازبندی بار در مورد بارگذاری زلزله پیشرفت های فراوانی کرده است. آیین نامه های جدید ارزیابی ساختمان ها مانند FEMA 356 و  $ATC40$  از این روش استفاده می کنند. در سالیان اخیر، در مورد ترازبندی بارهای دریا نیز پیشرفت هایی صورت گرفته است. از آن جمله می توان به ترازبندی بارهای دریا برای خلیج مکزیک اشاره کرد که در آیین نامه  $API-RP2A$  به کار رفته است [۱،۲]. هم چنین به ترازبندی بارهای دریا برای طراحی و ارزیابی سکوها توسط شرکت نفت مکزیک می توان اشاره کرد [۳].

به طور معمول، برای طراحی و ارزیابی سکوهای ثابت فلزی دو تراز بارگذاری دریا تعریف می شود که

سکو های شابلونی [۷] استفاده شده است زیرا این دو مرجع در طراحی سکوها مراجع تأیید شده ای بوده و خصوصاً در بحث بررسی سطوح بارگذاری سکوها پیشتر می باشند.

در این مقاله تراز بارگذاری حد نهایی با استفاده از آنالیز قابلیت اطمینان در طراحی سازه ها تعیین شده است. تراز طراحی با تخمین مقاومت ذخیره موجود در سکوها نسبت به تراز حد نهایی تعریف شده است.

## دسته بندی سکوها

معیارهای زیادی برای دسته بندی سکوها مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می توان به درجه اهمیت، نوع کاربری، میزان تولید و یا انتقال نفت و گاز اشاره نمود. آیین نامه *API-RP2A* در قسمت الحاقی نسخه بیستم [۲] برای اولین بار، دو حالت حدی<sup>۲</sup> زیر را برای سکوها مطرح کرده است:

- ایمنی جانی<sup>۳</sup>

- پیامدهای ناشی از خرابی<sup>۴</sup>

هر کدام از این دو حالت حدی به سه سطح خطر تقسیم شده و سکوها در یکی از این سه دسته قرار می گیرند. در حقیقت سطح خطر هر سکو با ترکیب سطح خطر مربوط به این دو حالت حدی تعیین می شود. نحوه دسته بندی سکوها بر اساس دو حالت حدی فوق در جدول (۱) آورده شده است.

## خطرپذیری قابل قبول، قابلیت اطمینان هدف<sup>۵</sup>، برای سطوح خطر

آیین نامه های متعددی در کارهای دریایی وجود دارد که خطرپذیری قابل قبول برای سازه های فراساحل را مشخص می کنند که از جمله آن ها می توان به آیین نامه های *CSA(1989)* کانادا، *Eurocode 1(1993)*، *DNV*، *NKB* و *API-RP2A* اشاره کرد.

به طور معمول در این آیین نامه ها خطرپذیری قابل قبول برای سه سطح خطر سازه با خطر بالا، سازه با خطر متوسط و سازه با خطر کم بیان می گردد. علاوه بر دسته بندی خطر، رفتار سازه نیز در تعیین خطرپذیری قابل قبول مؤثر باشد. به عنوان مثال در تحقیقات *DNV* و آیین نامه *NKB*، شکل پذیر بودن سازه و هم چنین مقاومت ذخیره آنها عامل تعیین کننده ای در تعیین

خطرپذیری قابل قبول می باشد. آیین نامه های *API-RP2A* و *CSA* و هم چنین مرجع [۳] سکوهایی ثابت فلزی را سازه های شکل پذیر و دارای مقاومت ذخیره می دانند و ضوابط آنها بر این اساس پایه گذاری شده است. با توجه به طرز تفکر این مراجع، در این تحقیق نیز سکوهایی ثابت فلزی، سازه هایی شکل پذیر و دارای مقاومت ذخیره در نظر گرفته شده اند.

برای سازه با رفتار مشخص، به عنوان مثال سازه شکل پذیر و دارای مقاومت ذخیره، مقادیر خطرپذیری قابل قبول آیین نامه ها به هم نزدیک می باشد. با توجه به مقادیر توصیه شده در آیین نامه های مذکور خصوصاً آیین نامه *API-RP2A* [۲] مقادیر خطرپذیری قابل قبول پیشنهادی در این تحقیق در جدول (۲) آورده شده است. در جدول (۲) دسته بندی آیین نامه *API-RP2A* مبنا قرار داده شده است. علت مبنا قرار دادن این آیین نامه در این تحقیق این است که آیین نامه *API-RP2A* یکی از مراجع اصلی در طراحی سکوهایی منطقه پارس جنوبی می باشد. تنها تفاوت مقادیر جدول (۲) با مقادیر *API-RP2A* در سکوهایی سطح  $L_3$  می باشد؛ زیرا آیین نامه *API-RP2A* اجرای سکوهایی سطح  $L_3$  را تنها تا عمق ۳۰ متر مجاز می داند حال آن که اغلب سکوهایی اجرا شده در منطقه پارس جنوبی در عمقی بالاتر از ۳۰ متر اجرا شده اند. با توجه به این موضوع، خطرپذیری قابل قبول برای عمق ۶۰ متر از آیین نامه های *DNV*، مرجع [۴] اقتباس شده است. تفاوت این آیین نامه ها با آیین نامه *API-RP2A* در تعیین خطرپذیری قابل قبول سطح  $L_3$  در این می باشد که محدودیتی برای عمق آب در نظر گرفته نشده است و در نتیجه خطرپذیری قابل قبول سازه در این سطح کمتر از آنچه توسط آیین نامه *API-RP2A* توصیه شده در نظر گرفته شده است. با توجه به شرایط موجود در منطقه پارس جنوبی استفاده از خطرپذیری قابل قبول توصیه شده توسط آیین نامه های *DNV*، *NKB* برای سطح  $L_3$  امکان اجرای سکوهایی با حساسیت کمتر در اعماق مورد نظر در این منطقه را خواهد داد. باید اضافه نمود که، قابلیت اطمینان هدف یا خطرپذیری قابل قبول برای یک سکو باید توسط کارفرما تأیید شود و لذا مقادیر ذکر شده در این مقاله به عنوان مقادیری پیشنهادی ارائه شده اند.

Level	Exposure Category	
	Consequence of failure	Life Safety
L <sub>1</sub>	High Consequence	Manned
	Medium Consequence	
	Low Consequence	
	High Consequence	Manned
L <sub>2</sub>	Medium Consequence	Manned-Evacuated
		Unmanned
L <sub>3</sub>	Low Consequence	Unmanned

:

Level	New		Existing	
	P <sub>ftarget</sub>	b <sub>target</sub>	P <sub>ftarget</sub>	b <sub>target</sub>
L1	5.0E-05	3.89	1.0E-04	3.70
L2	2.0E-04	3.54	4.0E-04	3.35
L3	1.0E-03	3.09	2.0E-03	2.88

و با استفاده از آنالیز قابلیت اطمینان بر پایه نیرو، احتمال خرابی برای تراز نهایی را می توان براساس رابطه بین برش پایه نیاز و برش پایه ظرفیت به صورت رابطه (۱) بیان کرد [۳].

$$P_f = P(BS_{demand} > BS_{capacity}) \quad (1)$$

که در آن، برش پایه ظرفیت،  $BS_{capacity}$ ، و برش پایه نیاز،  $BS_{demand}$ ، هر دو متغیر تصادفی می باشند.  $BS_{capacity}$  به صورت متغیر تصادفی با توزیع لگاریتمی نرمال و با میانه مساوی  $BS_{cap,med}$  و ضریب تغییرات،  $COV$ ، مساوی  $V_{BS_{cap}}$  در نظر گرفته شده است. مقدار  $V_{BS_{cap}}$  برای طراحی سکو های جدید معادل ۰/۱۵ می باشد [۴].

از سوی دیگر، رابطه بین برش پایه حداکثر سالانه نیاز با ارتفاع موج حداکثر سالانه  $H^y$ ، به صورت رابطه توانی (۲) تعریف شده است [۱]. که در آن،  $C$  و  $\alpha$  ضرایب ثابت معین می باشند که این دو ضریب روند تغییرات برش پایه برحسب ارتفاع موج را تعیین می نمایند. عامل  $\Gamma$  ضریبی برای وارد کردن عدم قطعیت موجود در تخمین برش پایه از ارتفاع موج با استفاده از ضرایب  $C$  و  $\alpha$  است.  $\Gamma$  به صورت متغیر تصادفی با توزیع لگاریتمی نرمال با میانه مساوی ۱/۰ و

## تعیین بارگذاری تراز حد نهایی منطقه پارس جنوبی

برای تعیین بارگذاری تراز حد نهایی در این تحقیق از آنالیز قابلیت اطمینان در طراحی سازه ها استفاده شده است. نتایج مطالعات انجام شده بر سکو های با شرایط سازه ای متنوع و با عمق نزدیک ۷۰ متر، حاکی از آن است که ظرفیت نهایی سکوها را می توان به صورت مستقیم وابسته به برش پایه کل سازه دانست [۷]. در حالی که برای سکو های قرار گرفته در عمق بالاتر از ۱۰۰ متر، لنگر واژگونی رابطه مستقیمی با ظرفیت نهایی سکو ها خواهد داشت. در مطالعات مذکور مشاهده شده است که الگوی بارگذاری که وابسته به ارتفاع موج، پرود موج، رابطه سرعت و شتاب ذرات آب با نیروی وارده، ضرایب رانش<sup>۶</sup> و اینرسی و روینده های دریایی می باشد، اثر کمی بر ظرفیت نهایی سکو به دست آمده از آنالیز استاتیک غیر خطی دارد. با عنایت به نتایج این تحقیقات و توجه به عمق آب منطقه پارس جنوبی که در حدود ۶۰ متر می باشد، می توان ظرفیت نهایی سکو های این منطقه را به برش پایه کل وابسته دانست.

### تعریف احتمال خرابی براساس برش پایه

با مربوط دانستن ظرفیت نهایی سازه به برش پایه

ضریب تغییرات مساوی ۰/۱ در نظر گرفته شده است [۱].

$$BS = CH^\alpha \Gamma \quad (2)$$

که در مورد آن باید به نکات زیر توجه کرد:

- عوامل دریا شامل پریود موج، سرعت باد، سرعت جریان همگی به صورت توابعی از ارتفاع مشخصه موج تعریف شده اند [۵،۶]. آنچه در این تحقیق مورد نظر می باشد شرایط دریا در حالت طوفانی است در نتیجه امواج و جریانات دریای مورد نظر در این مطالعه وابسته به باد می باشند که در نتیجه می توان احتمال وقوع آنها را وابسته دانست. با توجه به این که در طراحی سکوهایی خلیج فارس موج عامل اصلی بارگذاری بوده، می توان سایر عوامل دریا را به صورت تابعی معین از ارتفاع موج تعریف نمود. مطالعات انجام شده در [۷] قابل قبول بودن این فرضیات را تایید می کنند. با در نظر گرفتن این موضوع اثر سایر عوامل دریا در رابطه (۲) قابل مدل سازی است.

- عامل  $\alpha$  می تواند عددی بین یک تا دو را اختیار کند.  $\alpha = 1$  نشان دهنده حاکم بودن نیروی اینرسی و  $\alpha = 2$  نشان دهنده حاکم بودن نیروی رانش است [۱]. با توجه به لاغر بودن اعضا و مشبک بودن سکوهایی ثابت فلزی مقدار  $\alpha$  برای این سازه ها بسیار نزدیک به دو خواهد بود. برای بررسی این موضوع سه سکوی  $FZ, FY, FX$  موجود در خلیج فارس واقع در عمق حدود ۵۰ متر مورد مطالعه قرار گرفته است. برای بررسی تغییرات  $\alpha$ ، امواج مختلف با پریودهای مربوطه در سه جهت عرضی، طولی و مورب به سازه برخورد داده شده است. محاسبه نیروی موج وارد به سکو با استفاده از نرم افزار  $SACS$  مدول  $Seastate$  محاسبه گردیده است هدف اصلی از این بررسی یافتن رابطه بین ارتفاع موج و برش پایه برای شرایط حد نهایی است که در آن، آنچنان که در آینده ذکر خواهد شد، امواج با ارتفاع های بالا (بالتر از ۱۰ متر) مورد نظر می باشد. با توجه به عمق متوسط آب در منطقه پارس جنوبی (حدود ۶۰ متر) ارتفاع و پریود موج مورد نظر در این آنالیز، و توصیه های مرجع [۸] برای محاسبه سرعت و شتاب ذرات آب و توزیع آنها در عمق از تئوری استوکس مرتبه پنجم استفاده شده است. این تئوری برای امواج با تیزی بالا در اعماق متوسط و زیاد

توصیه گردیده و در آن پروفیل بار نیز به گونه ای انتخاب شده است که حداکثر برش پایه را تولید نماید.

نتایج این بررسی حاکی از آن بود که  $\alpha$  بین ۱/۹۲ تا ۱/۹۸ با میانگین ۱/۹۵ متغیر است. لذا در این تحقیق مقدار  $\alpha$  مساوی ۱/۹۵ در نظر گرفته شده است.

### تعریف احتمال خرابی برحسب ارتفاع موج

با استفاده از روابط (۱) و (۲) احتمال خرابی را می توان به صورت تابعی از ارتفاع موج حداکثر سالانه که در اینجا با  $H$  نمایش داده می شود، به صورت رابطه (۳) تعریف نمود [۱].

$$P_f = P\left(H > \left(\frac{BS_{cap}}{C\Gamma}\right)^{1/\alpha}\right) \quad (3)$$

که در آن،  $H$ ،  $BS_{cap}$  و  $\Gamma$  هر سه متغیر تصادفی می باشند. با توجه به رابطه (۳) ارتفاع موج ظرفیت،  $H_{cap}$ ، به صورت رابطه (۴) تعریف شده است.

$$H_{cap} = \left(\frac{BS_{cap}}{C\Gamma}\right)^{1/\alpha} \quad (4)$$

با تعریف ارائه شده برای  $H_{cap}$ ، این متغیر تصادفی وابسته به دو متغیر تصادفی غیر وابسته  $BS_{cap}$  و  $\Gamma$  است، که هر دو متغیر تصادفی با توزیع لگاریتمی نرمال می باشند. با توجه به این موضوع و به علت این که ضرب دو تابع لگاریتمی نرمال خود یک تابع لگاریتمی نرمال خواهد بود،  $H_{cap}$  نیز متغیری با توزیع احتمالاتی لگاریتمی نرمال با عوامل ارائه شده در رابطه (۵) و (۶) می باشد [۱].

$$\text{Median of } H_{cap} = H_{cap,med} = \left(\frac{BS_{cap,med}}{C}\right)^{1/\alpha} \quad (5)$$

$$\text{COV of } H_{cap} = V_{Hcap} = \frac{1}{\alpha} \sqrt{V_{BScap} + V_{\Gamma}} \quad (6)$$

با توجه به آنچه گفته شد،  $\alpha$  مساوی ۱/۹۵ در نظر گرفته شده است. با در نظر گرفتن  $V_{BScap} = 0.15$  برای سکوهایی جدید  $V_{Hcap} = 0.092$  به دست می آید با استفاده از تعیین احتمال خرابی به کمک انتگرال گیری خواهیم داشت [۹]:

$$P_f = \int_0^{+\infty} [1 - F_{Hmax}(h)] f_{Hcap}(h) dh \quad (7)$$

که در آن:

درصد کل بار وارده به سکو از طرف دریا بوده و با افزایش ارتفاع موج مقدار آن افزایش می یابد. با توجه به این موضوع استفاده از خطرپذیری قابل قبول کل بارگذاری دریا به عنوان خطرپذیری قابل قبولی ناشی از بارگذاری موج تنها، خطای چندانی وارد مسئله نخواهد کرد. لازم به ذکر است که اثر جریان در زمان وجود موج به مراتب بالاتر از اثر جریان بدون وجود موج است که علت آن جمع برداری سرعت جریان با سرعت ذرات موج می باشد که اثر جریان را دارای اهمیت می نماید.

### توزیع احتمالاتی ارتفاع موج حداکثر سالانه

توزیع احتمالاتی ارتفاع موج حداکثر سالانه با استفاده از نتایج مرجع [۶] در شکل (۱) آورده شده است. به دلیل این که توزیع تجمعی ارتفاع موج حداکثر سالانه از تابع خاصی تبعیت نمی کند، و به منظور بالا بردن دقت تخمین توزیع خصوصاً در دنباله توزیع تجمعی، داده های توزیع خطر<sup>۹</sup> ارتفاع موج، یک منهای توزیع تجمعی، به دو قسمت داده های با دوره بازگشت کمتر و بالاتر از ۱۰۰ سال تقسیم شده اند و برازش منحنی بر این دو قسمت به صورت مجزا صورت گرفته است که نتایج برازش فوق در شکل (۱) آورده شده است. با توجه به تابع خطر ارتفاع موج حداکثر سالانه و رابطه (۸) ارتفاع موج ظرفیت میانه برای سه سطح تعریف گردیده و در جدول (۳) آورده شده است.

### ارتفاع موج ظرفیت اسمی<sup>۹</sup>، $H_{cap,nom}$

در آیین نامه ها معمول است که از ظرفیت اسمی به جای ظرفیت میانه استفاده شود. به همین علت ارتفاع موج ظرفیت میانه  $H_{cap,med}$  به ارتفاع موج ظرفیت اسمی  $H_{cap,nom}$  تبدیل گردیده است. با توجه به تعریف ضریب انحراف<sup>۱۰</sup>، ضریب انحراف ظرفیت،  $B_{CU}$ ، به صورت رابطه (۹) تعریف می شود [۴]:

$$B_{CU} = \frac{BS_{cap,med}}{B_{scap,nom}} \quad (9)$$

که در آن:

$BS_{cap,med}$ : برش پایه ظرفیت میانه

$BS_{scap,nom}$ : برش پایه ظرفیت اسمی

می باشند.

$F_{Hmax}(h)$ : تابع توزیع تجمعی ارتفاع موج حداکثر سالانه  
 $f_{Hcap}(h)$ : تابع توزیع چگالی احتمال ارتفاع موج ظرفیت  
 می باشد.

با مساوی دانستن  $P_f$  در رابطه (۷) با خطرپذیری قابل قبول،  $P_{farget}$ ، ارائه شده در جدول (۲) و معلوم بودن توزیع تجمعی ارتفاع موج حداکثر سالانه، و توزیع چگالی احتمالاتی ارتفاع موج ظرفیت، که به صورت تابع لگاریتمی نرمال در نظر گرفته شد، تنها مجهول رابطه (۷) ارتفاع موج ظرفیت میانه،  $H_{cap,med}$ ، خواهد بود لذا با توجه به این موضوع می توان نوشت:

$$P_{farget} = \int_0^{+\infty} Haz_{Hmax}(h) \times \quad (8)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times \zeta_{Hcap} \times h} \exp \left( -0.5 \left[ \frac{\ln h - \lambda_{Hcap}}{\zeta_{Hcap}} \right]^2 \right) dh$$

که در آن:

$$Haz_{Hmax}(h) = [1 - F_{Hmax}(h)]$$

$$\lambda_{Hcap} = \ln(H_{cap,med})$$

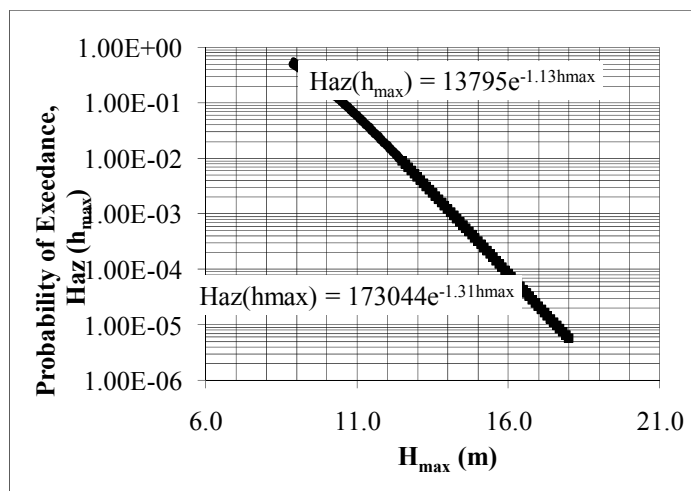
$$\zeta_{Hcap}^2 = \ln(1 - V_{Hcap}^2)$$

می باشد.

برای محاسبه  $\lambda_{Hcap}$  توسط رابطه (۸) از انتگرال گیری عددی و روش تکرار بدین صورت که مقداری برای  $\lambda_{Hcap}$  فرض شده و مقدار انتگرال محاسبه شده با  $P_{farget}$  مقایسه گردیده، استفاده شده است. این عمل آن قدر تکرار گردیده است تا دقت مورد نظر تأمین شود. لازم به ذکر است در مورد رابطه (۸) باید به دو نکته زیر توجه نمود:

- در این رابطه فرض شده است که حداکثر بار وارده از طرف دریا زمانی رخ می دهد که موج با ارتفاع حداکثر به سکو برخورد کند.

- در این رابطه تنها توزیع احتمالاتی موج در محاسبه احتمال خرابی در نظر گرفته شده است، حال آنکه سایر پدیده های دریا مانند باد و جریان، باعث تغییر احتمال خرابی خواهند شد. برای بررسی میزان تقریب وارد شده به مسئله به علت این موضوع، سه سکوی  $FZ, FY, FX$  مورد مطالعه قرار گرفته است. برای یافتن سهم بار موج در کل برش پایه، ابتدا بارگذاری کل اعم از بار موج، جریان و باد و سپس بارگذاری بدون وجود موج در سه جهت عرضی، طولی و مورب به سکو وارد شده است. نتایج حاصله حاکی از آن است که سهم بار موج ۸۵ تا ۹۵



آیین نامه *API-RP2A* در نسخه ۲۱ و نسخه الحاقی [۱،۲] در رابطه با ارزیابی سکوهای ثابت فلزی توصیه می کند که از تنش تسلیم میانه در آنالیز حد نهایی به جای تنش تسلیم اسمی استفاده شود. علت این امر را می توان در فلسفه تراز حد نهایی یافت که در آن اجازه رفتار پلاستیک به سازه داده می شود لذا حاشیه اطمینان موجود در سطح طراحی<sup>۱۱</sup> برای تنش تسلیم در سطح نهایی<sup>۱۲</sup> ملحوظ نگردیده است لذا به همین منظور اثر این انحراف در  $B_{CU}$  مساوی ۱/۰ در نظر گرفته شده و با همین استدلال در این تحقیق از تنش تسلیم میانه در آنالیز حد نهایی سکوهای جدید نیز، استفاده شده است. با توجه به آن چه که گفته شد ارتفاع موج ظرفیت اسمی برای سطوح خطر تعریف شده، در ستون آخر جدول (۳) آورده شده است.

### تعیین بار دریا برای تراز طراحی در منطقه پارس جنوبی

با تعیین تراز نهایی، قابلیت اطمینان لازم در طراحی سکو برآورده خواهد شد. نکته حائز اهمیت این است که سکو با مشخصات اعضاء، اتصالات و پی متفاوت قادر به برآورده کردن این قابلیت اطمینان می باشد. در طراحی سکوهای جدید با تأمین قابلیت اطمینان لازم نمی توان به بهینه بودن طراحی یقین داشت.

با استفاده از رابطه (۴)  $H_{cap,nom}$  به صورت رابطه (۱۰) تعریف می گردد که در آن  $C, \alpha$  ضرایب ثابت تعریف کننده رابطه ارتفاع موج با برش پایه می باشند.

$$H_{cap,nom} = \left( \frac{BS_{cap,nom}}{C} \right)^{1/\alpha} \quad (10)$$

با ادغام روابط (۹) و (۱۰) داریم:

$$H_{cap,nom} = \left( \frac{1}{B_{CU}} \times \frac{BS_{cap,med}}{C} \right)^{1/\alpha} \quad (11)$$

با استفاده از تعریف  $H_{cap,med}$  که در رابطه (۵)

آورده شده است، و همچنین با در نظر گرفتن رابطه (۱۱) رابطه بین  $H_{cap,nom}$  و  $H_{cap,med}$  به صورت رابطه (۱۲) تعریف می شود:

$$H_{cap,nom} = \left( \frac{1}{B_{CU}} \right)^{1/\alpha} \times H_{cap,med} \quad (12)$$

علاوه بر ضریب انحراف ظرفیت، در بارگذاری نیز ضریب انحراف وجود دارد که به علت استفاده از بارگذاری بدون ضریب انحراف در بارگذاری هیدرواستاتیک دریا در آیین نامه *API-RP2A*، ضریب انحراف بارگذاری،  $B_L$ ، مساوی ۱/۰ در نظر گرفته شده است [۴].

$B_{CU}$  نشأت گرفته از دو انحراف در روابط تعیین ظرفیت اعضاء،  $B_{CE}$ ، و اثر استفاده از تنش تسلیم اسمی به جای تنش تسلیم میانه است [۴]. به طور معمول خرابی سکوهای سالم در اثر کماتش بادبندهای قائم رخ خواهد داد. بنا به توصیه مرجع [۴]،  $B_{CU} = 1.2$  در نظر گرفته شده است.

Platforms	Level	$P_f$	$H_{Cap,med}$ (m)	$H_{Cap,nom}$ (m)
New	$L_1$	5.0E-05	17.8	16.2
	$L_2$	2.0E-04	16.6	15.1
	$L_3$	1.0E-03	15.2	13.9

$ULR \quad SRF \quad FMF$  :

Factors	4 legs and less		6 legs and more	
	X Brace	Other Braces	X Brace	Other Braces
FMF	1.50	1.50	1.50	1.50
SRF	1.20	1.10	1.25	1.15
ULR	1.80	1.65	1.88	1.73

$SRF$ : نسبت برش پایه سازه در تراز نهایی به برش پایه تراز شکست اولین عضو می باشد.

نسبت  $FMF$ ، وابسته به ضریب اطمینان موجود در طراحی اعضاء برای بارگذاری دریا و میزان ضریب انحراف در مقاومت اعضاء است. بر اساس آیین نامه  $API - RP2A$  ضریب ایمنی مربوط به طراحی اعضاء تحت بارهای هیدرواستاتیک دریا مساوی  $1/25$  می باشد و ضریب انحراف موجود در تعیین ظرفیت اعضا مساوی  $1/2$  است [۴]. با توجه به این دو عدد نسبت  $FMF$  مساوی  $1/50$  در نظر گرفته شده است.

برای تعیین  $SRF$  سکوها، براساس تعداد پایه به دو دسته سکوهایی دارای چهار پایه و کمتر و سکوهایی دارای شش پایه و بیشتر، و براساس نوع بادبند به سکوهایی با بادبند نوع  $X$  و سکوهایی با سایر انواع بادبند تقسیم بندی شده اند. تحقیقات فراوانی برای محاسبه اثر سیستم و یا مقاومت سازه بعد از شکست اولین عضو انجام گردیده است. در مرجع [۷] نمونه ای از نتایج تحقیقات صورت گرفته بر روی شش سکو با مشخصات متفاوت قرار گرفته در اعماق ۳۵ تا ۱۰۵ متر آورده شده است که حاکی از آن است که سکوها دارای مقادیر  $SRF$  متفاوتی بوده به علاوه برای  $SRF$  اعداد بین  $1/0$  تا  $1/35$  را بیان می کند که در مورد سکو های قرار گرفته در اعماق متوسط  $SRF$  بین  $1/05$  تا  $1/27$  به دست آمده اند. در مرجع [۴] بر اساس تحقیقاتی که بر روی سکوهایی واقع در خلیج مکزیک انجام شده، اعداد بین  $1/15$  تا  $1/30$  برای  $SRF$  در نظر گرفته شده است. در این مرجع دسته بندی براساس تعداد پایه های سکو صورت گرفته است و

در صورتی که بخواهیم پیامدهای ناشی از خرابی و یا هزینه های ناشی از خرابی را به حداقل برسانیم، باید گزینه های متفاوتی از مشخصات سازه و اعضاء سازه ای مورد بررسی قرار گیرد. به این خاطر بررسی رفتار جزئی اعضاء سازه ای در طراحی امری اجتناب ناپذیر می باشد. در این تحقیق تراز طراحی برای سکوهایی جدید بر اساس مراجع [۱،۲،۴] نسبت به تراز نهایی تعریف شده است. در حقیقت با استفاده از تخمین نسبت مقاومت نهایی به بار حالت طراحی،  $ULR$ ، که نشان دهنده مقاومت ذخیره<sup>۱۳</sup> موجود در سکو می باشد، تراز طراحی تعریف شده است. برای این منظور رفتار سازه با افزایش بار از تراز طراحی تا فروریزش مورد بررسی قرار گرفته است. با افزایش بار از سطح طراحی، سازه مدتی به رفتار الاستیک خود ادامه می دهد و سپس ضعیف ترین حلقه سازه ای که می تواند یکی از اعضاء یا اتصالات باشد خواهد شکست. شکست اولین عضو باعث فروریزش کامل سازه نخواهد شد و سازه پس از شکست اولین عضو با بازپخش سهم بار آن عضو به باربری ادامه خواهد داد. با توجه به آنچه گفته شد  $ULR$  را می توان به صورت رابطه (۱۳) تعریف کرد [۴].

$$ULR = \frac{BS_{ult}}{BS_{des}} = FMF \times SRF \quad (13)$$

که در آن:

$BS_{ult}$ : برش پایه سازه در تراز حد نهایی

$BS_{des}$ : برش پایه سازه در تراز طراحی

$FMF$ : نسبت برش پایه سازه در تراز شکست اولین عضو

به برش پایه تراز طراحی

این دو دسته از بارگذاری تراز طراحی یکسانی استفاده نمود و دسته بندی را تنها بر اساس نوع بادبند انجام داد.

## طراحی سکوه‌های ثابت فلزی بر اساس دو تراز بارگذاری دریا

طراحی بر اساس دو تراز بارگذاری به صورت زیر انجام می‌گیرد:

۱- تعیین سطح خطر سکو بر اساس سطوح تعریف شده.

۲- طراحی اعضای سکو برای تمام ترکیبات بارهای وارده و هم چنین ارتفاع موج تراز طراحی. برای این منظور می‌توان از یکی از آیین نامه‌ها مانند *API-RP2A-WSD* [۱۰] استفاده کرد و تنش‌های ایجاد شده در اعضا را با مقادیر مجاز آیین نامه ای کنترل کرد.

۳- استفاده از آنالیز استاتیک غیر خطی، *Pushover*، به منظور تعیین ظرفیت باربری نهایی سکو تحت اثر بارهای دریا.

کنترل ظرفیت باربری نهایی سکو با بارگذاری تراز حد نهایی. در صورت اختلاف ظرفیت باربری نهایی سکو با بارگذاری تراز حد نهایی به مرحله ۲ بازگشته و مشخصات اعضا مورد تجدید نظر قرار می‌گیرد.

عدد ۱/۲۵ برای سکوه‌های شش پایه و بیشتر و عدد ۱/۲۰ را برای سازه‌های دارای چهار پایه و کمتر در نظر می‌گیرد. با استفاده از اعداد ارائه شده در این مرجع و هم چنین در نظر گرفتن اثر نوع بادبند در مقدار *SRF* که در تحقیقات مرجع [۷] ارائه شده، مقادیر *SRF* برای دسته بندی‌های مذکور در جدول (۴) تخمین زده شده است. مقادیر *FMF* و *ULR* نیز در جدول (۴) آمده است. با استفاده از روابط (۴) و (۱۳)، رابطه *ULR* و ارتفاع موج به صورت رابطه (۱۴) و با تغییر رابطه اخیر رابطه (۱۵) به دست آمده است.

$$ULR = \left( \frac{H_{cap,nom}}{H_{des}} \right)^\alpha \quad (14)$$

$$H_{des} = \frac{H_{cap,nom}}{ULR^{1/\alpha}} \quad (15)$$

با توجه به ارتفاع موج ظرفیت اسمی محاسبه شده در قبل، ارتفاع موج تراز طراحی با استفاده از رابطه (۱۵) محاسبه و نتایج آن در جدول (۵) ارائه گردیده است.

همان طور که در جدول (۵) مشاهده می‌گردد اختلاف ارتفاع موج تراز طراحی سکوه‌های شش پایه و بیشتر و سکوه‌های با چهار پایه و کمتر در حدود ۲۰ تا ۳۰ سانتی متر می‌باشد که باعث ایجاد اختلاف قابل توجهی در روند طراحی نمی‌گردد. به همین علت می‌توان برای

Platform	Level	H <sub>Cap,nom</sub> (m)	H <sub>des</sub> (m)			
			4 legs and less		6 legs and more	
			X Brace	Other Braces	X Brace	Other Braces
New	L <sub>1</sub>	16.3	12.1	12.6	11.8	12.3
	L <sub>2</sub>	15.2	11.2	11.8	11.0	11.5
	L <sub>3</sub>	13.9	10.3	10.7	-----	-----

• L<sub>1</sub>

Loading Level	Sea State				
	H <sub>max</sub> m	H <sub>s</sub> M	T <sub>Hmax</sub> Sec	W M/sec	U M/sec
Design Level	12.6	6.8	11.3	27.7	1.14
Ultimate Level	16.3	8.5	12.4	32.0	1.30



Member	Level	Outer Dia.	Thick.	Member	Elev.*	Outer Dia.	Thick.
		cm	cm		M	cm	Cm
Legs	1	101.6	2.5	Horizontal Braces on Circumference	-67.1	45.7	1.5
	2	101.6	2.5		-51.8	45.7	1.5
	3	101.6	2.5		-38.1	45.7	1.5
	4	101.6	2.5		-24.2	45.7	1.5
	5	101.6	2.5		-10.7	45.7	1.5
Piles Inside Legs	1	91.4	2.5	Horizontal Braces Inside the Circumference	3.0	45.7	1.5
	2	91.4	2.5		-67.1	30.5	1.0
	3	91.4	2.5		-51.8	30.5	1.0
	4	91.4	2.5		-38.1	25.4	1.0
	5	91.4	2.5		-24.2	25.4	1.0
Vertical Braces	1	40.6	1.0	Piles Inside the soil	-10.7	20.3	1.0
	2	35.6	1.0		3.0	20.3	1.0
	3	35.6	1.0		18.3**	91.4	2.5
	4	40.6	1.0		24.3**	91.4	1.9
	5	40.6	1.0		55.0**	91.4	1.6

\* تراز بالای سطح آب مثبت فرض شده است.

\*\* تراز قسمت داخل خاک شمع ها از بستر دریا محاسبه شده و تراز در جهت عمق خاک مثبت فرض شده است.

جاکت سکو بر گرفته از اطلاعات یکی از سکوهای سازه دریایی رسالت می باشد که در عمق ۶۷/۴ متری دریا قرار گرفته است. شکل کلی سازه و نمایی از قابهای سازه فوق در شکل (۲) ارائه گردیده است. سکوی مورد مطالعه دارای چهار پایه با بادبند  $K$  و با درجه اهمیت بالا،  $L_1$ ، در نظر گرفته شده است. با توجه به این نکات، شرایط دریای تراز طراحی و ظرفیت نهایی بر اساس نتایج بدست آمده در این مقاله و با استفاده از روابط ارائه شده در مرجع [۶] برای تعیین سایر عوامل شرایط دریا نسبت به ارتفاع مشخصه موج، در جدول (۶) آورده شده است.

برای سادگی سازه فوق برای شرایط دریای تک جهته طراحی شده و شرایط دریا برای کلیه جهات ثابت فرض گردیده است. به علت تقارن سکو این ساده سازی صورت گرفته و نتیجه طراحی اعضای سازه ای سکوی فوق در جدول (۷) آورده شده که این طراحی بر اساس ضوابط آیین نامه  $API-RP2A-WSD$  نسخه بیستم [۱۰] صورت گرفته است.

با استفاده از آنالیز استاتیک غیر خطی، ظرفیت باربری سازه، برای سه جهت عرضی،  $X$ ، طولی،  $Y$  و مورب،  $D$  به دست آمده است از نرم افزار  $SACS$  مدول  $Collapse$  استفاده شده است. در این آنالیز برای مدل سازی اثرات غیر خطی شمع و خاک و طراحی شمع ها از نمودارهای  $Q-Z$  و  $T-Z$ ،  $P-Y$  به دست آمده از

در صورت کمتر بودن ظرفیت باربری نهایی سکو از بارگذاری تراز حد نهایی، در حین انجام آنالیز استاتیک غیر خطی، مودهای خرابی حاکم در ظرفیت باربری نهایی سکو شناخته شده و اعضای مربوطه تقویت می شوند و مراحل ۳ و ۴ دوباره تکرار گردد تا ظرفیت باربری نهایی سکو با بارگذاری تراز حد نهایی مساوی و یا با اختلاف کم از آن بزرگ تر شود. در صورت بیشتر بودن، با اختلاف زیاد، ظرفیت باربری نهایی سکو از بارگذاری تراز حد نهایی می توان به مرحله ۲ بازگشت و مشخصات اعضای سازه ای بار دیگر بررسی و تا حد امکان بهینه گردد.

### طراحی یک سکوی نمونه با استفاده از ترازبندی بارگذاری دریا

سکوهای خلیج فارس به طور معمول تنها در سطح طراحی و برای شرایط دریای با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله طراحی می شوند. در این قسمت سعی بر آن است که تأثیر ترازبندی بارگذاری دریا در طراحی سازه های جدید مورد بررسی قرار گیرد.

### مدل سازه ای مورد مطالعه

برای بررسی تأثیر ترازبندی بارگذاری دریا در طراحی سازه های جدید یک سکوی چهار پایه مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات عرشه و هندسه

می باشد و هم چنین فاصله کم میان برش پایه ظرفیت در جهت  $X$ ،  $6821$  کیلو نیوتن و برش پایه نیاز  $6659$  کیلو نیوتن، تکرار مجدد مراحل جهت بهینه سازی اجزای سازه تغییری در شرایط سازه ایجاد نمی نماید.

### جمع بندی و نتیجه گیری

در این تحقیق سکوها بر اساس سطح خطر در دو حالت ایمنی جانی و پیامدهای ناشی از خرابی بر اساس ضوابط آیین نامه  $API - RP2A$  به سه دسته تقسیم شده اند و خطرپذیری قابل قبول برای هر دسته با استفاده از خطرپذیری قابل قبول آیین نامه های دریایی خصوصاً  $API - RP2A$  [۱،۲] پیشنهاد گردیده است.

با استفاده از قابلیت اطمینان در طراحی سازه ها و مرتبط دانستن احتمال خرابی به برش پایه و ایجاد رابطه بین برش پایه و ارتفاع موج، ارتفاع موج ظرفیت میانه مربوط به تراز بارگذاری حد نهایی برای منطقه پارس جنوبی به دست آمده است. با وارد کردن ضرایب انحراف ظرفیت به مسئله ارتفاع موج ظرفیت اسمی مربوط به تراز بارگذاری حد نهایی محاسبه شده است.

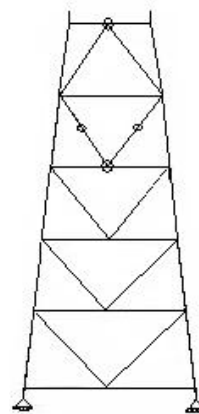
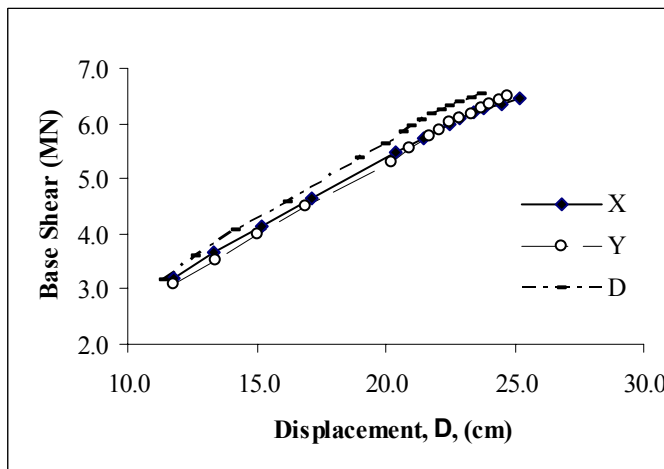
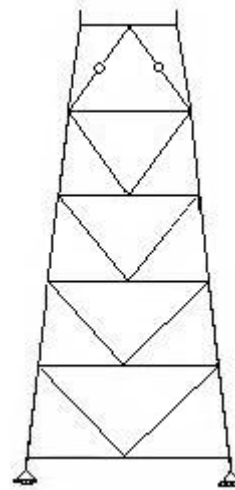
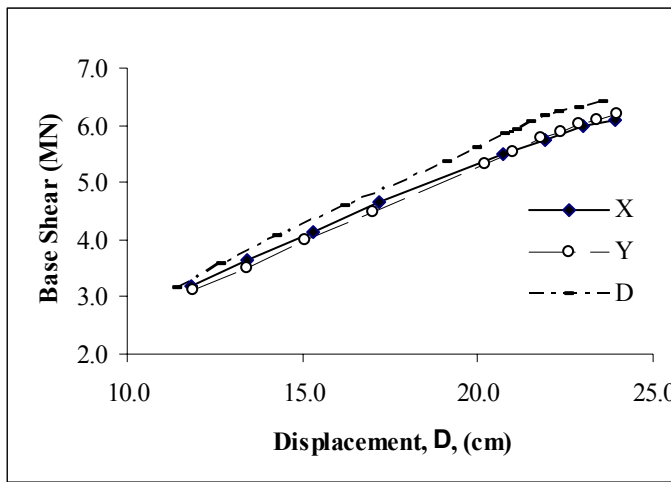
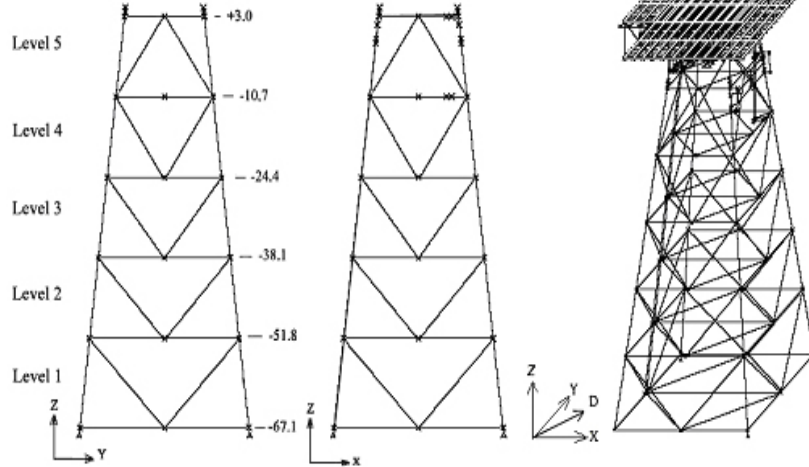
با تخمین نسبت بارگذاری تراز حد نهایی به بارگذاری تراز طراحی، که نشان دهنده مقاومت ذخیره موجود در سازه می باشد، برای سکو با بادبند و تعداد پایه های مختلف بارگذاری تراز طراحی برای منطقه پارس جنوبی به دست آمده است.

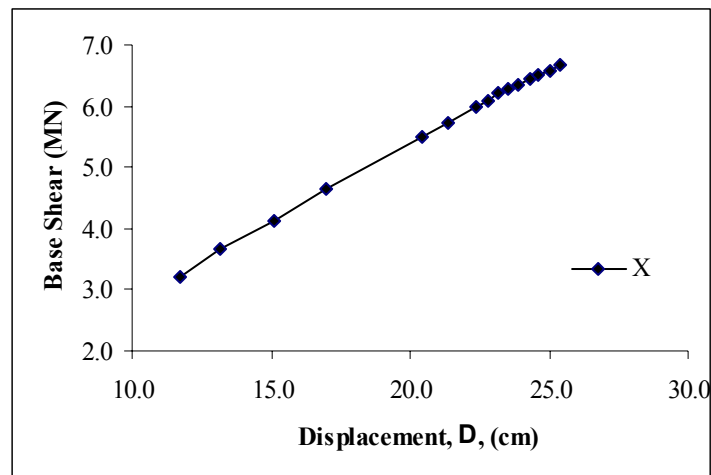
روند طراحی بر اساس دو تراز بارگذاری با حل یک مثال مورد بررسی قرار گرفته و مشاهده شده است که طراحی بر اساس دو تراز بارگذاری در سطحی بالاتر نسبت به طراحی برای تنها سطح بارگذاری حد طراحی قرار دارد. روش مورد بررسی این امکان را به طراح می دهد که بر اساس قابلیت اطمینان مورد نظر، بارگذاری سازه را تعیین کرده و آن را به گونه ای طراحی کند که قابلیت اطمینان مورد نظر را تأمین نماید. باید توجه داشت که در روش مورد بررسی ابتدا سازه برای بارگذاری حد طراحی، طراحی گردیده و سپس برای بارگذاری سطح نهایی کنترل شده است. در نتیجه در تراز حد نهایی تنها نقاط ضعف سازه تقویت خواهد شد. به منظور اطمینان از بهینه بودن سازه باید تقویت اجزا مرحله به مرحله صورت پذیرد تا از افزایش بیش از حد ظرفیت سازه جلوگیری شود.

برداشت های میدانی مربوط به سکوی رسالت عملکردی استفاده شده است. برای تعیین بارگذاری با توجه به عمق آب، ارتفاع و پیروود موج بر اساس توصیه مرجع [۸] از تئوری استوکس مرتبه پنجم استفاده و اثر موج بر جریان، وارد محاسبات گردیده و برای افزایش بارگذاری جانبی در هر مرحله، از تغییر شرایط دریا استفاده شده است [۶].

نتایج آنالیز استاتیک غیر خطی سازه طراحی شده در مرحله اول در شکل (۳) ارائه گردیده است. شرایط دریا با ارتفاع موج  $16/3$  متر که شرایط دریا در بارگذاری تراز حد نهایی است ایجاد برش پایه  $6659$  کیلو نیوتن در جهت  $X$ ،  $6480$  کیلو نیوتن در جهت  $Y$  و  $6522$  کیلو نیوتن در جهت  $D$  می نماید. همان طور که در شکل (۳) مشاهده می گردد برش پایه ظرفیت نهایی در هر سه جهت از مقدار برش پایه تراز حد نهایی کمتر بوده و ظرفیت نهایی این سازه تحت کنترل شکست بادبندهای فشاری تراز ۵ است و شکست آنها به صورت کمانش کلی می باشد. این موضوع در هر سه جهت صادق بوده و به همین علت ضخامت این بادبندها از  $1/0$  به  $1/5$  سانتی متر افزایش داده شده است.

آنالیز استاتیک غیر خطی برای شرایط جدید تکرار و نتایج آن در شکل (۴) آورده شده است. ظرفیت باربری در جهات  $Y$  و  $D$  از مقدار بارگذاری تراز حد نهایی عبور کرده و به همین علت آنالیز آنها تا حد فروریزش ادامه نیافته است. اما در جهت  $X$  ظرفیت نهایی با اختلاف کمی از بارگذاری تراز حد نهایی کمتر است. در این مرحله کمانش بادبندهای قائم تراز چهارم و اتصالات این بادبندها با بادبندهای افقی و اتصالات بادبندهای تراز پنجم با بادبندهای افقی کنترل کننده ظرفیت نهایی جهت  $X$  می باشند. به همین علت ضخامت بادبندهای قائم تراز چهارم از  $1/0$  به  $1/2$  سانتی متر و ضخامت بادبندهای افقی متصل به بادبندهای قائم تراز چهارم و پنجم از  $1/5$  به  $1/8$  سانتی متر افزایش یافته است. با توجه به این تغییرات آنالیز استاتیک غیر خطی برای شرایط جدید در مرحله سوم تنها برای جهت  $X$  تکرار گردیده و نتایج آن در شکل (۵) آورده شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می گردد ظرفیت سکو از بارگذاری تراز حد نهایی بیشتر شده و شرایط تراز بارگذاری حد نهایی را برآورده کرده است. با توجه به این که تغییرات ایجاد شده در تکرار آخر محدود





## مراجع

- 1 - American Petroleum Institute (2000). *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design*, API-RP2A, Washington DC, 21<sup>st</sup> Edition.
- 2 - American Petroleum Institute (1997). *Section 17: Assessment of Existing Platforms, RP2A-WSD*, 20<sup>th</sup> Edition, Supplement 1.
- 3 - Manuel, L., Schmucker, D. G, Cornell, C. A. and Carballo, J. E. (1998). "A Reliability-Based Design Format for Jacket Platforms under Wave Loads." *Journal of Marine Structures*, Vol. 11, PP. 413-428.
- 4 - DNV, (1995). "Guidelines for Offshore Structural Reliability Analysis- Application for Jacket Platforms." *DNV Technical Report 95-2018*, Det Norske Veritas,
- 5 - Bea, R.G. (2000). "Criteria for Design and Requalification of Platforms in the Bay of Campeche, Mexico." *Journal of Water, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 126, No. 5, PP. 254-262.
- 6 - Izadparast, A. H. and Marefat, M. S. (2006). "Annual Maximum Wave Height Probability Estimation of South Pars Field in Persian Gulf for Ultimate Limit State." *Fifth Iranian Hydraulic Conference*, Shahid Bahonar University of Kerman.
- 7 - Izadparast, A. H. (2006). *Reliability-Performance Based Design of Jacket Platform for Seastate Loadings*, Master Thesis, University of Tehran.
- 8 - Dean, R. G. and Dalrymple, R. A. (1991) *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*, World Scientific.
- 9 - Nowak, A. S. and Collins, K. R. (2000). *Reliability of Structures*, McGraw-Hill, USA.
- 10 - American Petroleum Institute, (1996). *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design*, API-RP2A, Washington DC, 20<sup>th</sup> Edition.

## واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Median	2 - Limit State	3 - Life Safety
4 - Consequence of Failure	5 - Target Reliability	6 - Drag Coefficient
7 - Annual Maximum Wave Height	8 - Wave Height Hazard Distribution	9 - Nominal
10 - Bias Factor	11 - Design Level	12 - Ultimate Level
13 - Reserve Strength		