



تأثیر حالات مختلف بارگذاری در تحلیل بار فزاینده سکوه‌های ثابت فلزی

دریایی در خلیج فارس

بهرروز عسگریان، استادیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

Asgarian@kntu.ac.ir

روح الله محمدی فارغ التحصیل مهندسی عمران گرایش سازه های دریایی

Mohammadi_285@yahoo.com

چکیده:

سکوه‌های ثابت فلزی دریائی، متشکل از یک سازه ساخته شده از لوله‌های فولادی است که بوسیله شمع‌هایی به کف دریا متصل می‌گردند. یکی از مرسوم‌ترین روش‌های تعیین ظرفیت نهایی سکوها استفاده از تحلیل بار افزون می‌باشد. آنالیز بار افزون، نوعی آنالیز استاتیکی غیر خطی است که در آن سازه توسط پروفیل خاص بارگذاری تغییر شکل می‌یابد و رفتار سازه در اثر افزایش تغییر شکل مورد بررسی قرار می‌گیرد. منحنی بار فزاینده هر سکوه به خصوصیات سکوه، از جمله درجه نامعینی سکوه، انعطاف پذیر بودن اتصالات، اثرات اندرکنش شمع و خاک و نوع و روشی که برای کمانش موضعی در نظر گرفته می‌شود و همچنین نوع بارگذاری بستگی دارد. بنابراین بسته به نوع روابط و همچنین در نظر گرفتن پارامترهای متفاوت سکوه رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند. بارهای محیطی در نظر گرفته شده عبارتند از جریان، موج، باد، در دو حالت با دوره بازگشت یکساله (operating) و صدساله (storm) و بار متناسب با تغییر مکان مد اول که از نتایج آنالیز دینامیکی استخراج می‌شود.

در این مقاله با مطالعه نتایج تحلیل بار افزون سکوه‌های نمونه در منطقه خلیج فارس، به بررسی تأثیر الگوی بار در سه حالت پرداخته شده است. با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته، مقادیر سختی اولیه، مقاومت نهایی و شکل پذیری این سازه‌ها در الگوهای بار مختلف، متفاوت می‌باشد.

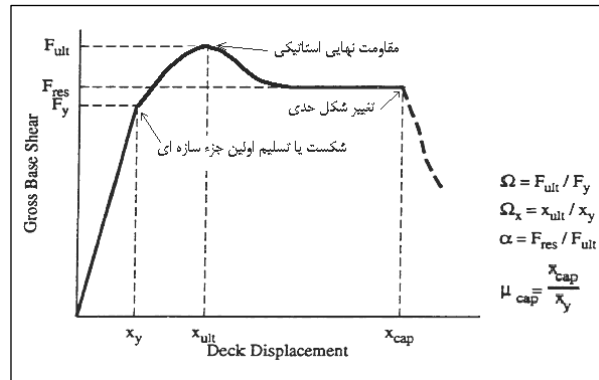
کلید واژه‌ها: سکوه‌های دریایی - تحلیل بار فزاینده - ظرفیت باربری نهایی -

تحلیل بار فزاینده

آنالیز بار افزون، نوعی آنالیز استاتیکی غیر خطی است که در آن سازه در مقابل بارگذاری جانبی در مرحله خطی و غیر خطی تحلیل می‌گردد و رفتار سازه در اثر افزایش تغییر شکل مورد بررسی قرار می‌گیرد. افزایش تغییر شکل می‌تواند با افزایش بار یا تغییر مکان صورت گیرد [۱]. انتخاب بین دو روش افزایش بار و یا افزایش تغییر مکان به رفتار سازه پس از مقاومت نهایی وابسته می‌باشد. در آنالیز استاتیکی غیر خطی، ابتدا بارهای عملیاتی شامل بارهای مرده و زنده به سازه اعمال می‌شود و سپس حالت کلی بارهای محیطی که می‌تواند ناشی از بارهای محیطی دریا و یا بارهای متناسب با مقادیر نیروی زلزله باشد، با یک پروفیل مشخص به سازه اعمال می‌شود. بارهای محیطی تا جایی افزایش می‌یابند که سبب فرو ریزش کامل سازه و یا رسیدن به تغییر مکان تعریف شده به عنوان فرو ریزش شوند [۱].

مشخصات منحنی بار افزون

برخی از مشخصات کلیدی که از نمودار بار افزون استاتیکی قابل تشخیص است همچنان که در شکل ۱ آمده است به صورت زیر می باشد :



شکل ۱: پاسخ معمول سکوها در تحلیل بار افزون [۱]

بار F_y و تغییر شکل مرتبط x_y که در اولین جزء (عضو، اتصال و غیره) به حالت تسلیم می رسد یا این که به نحوی گسیخته می شود.

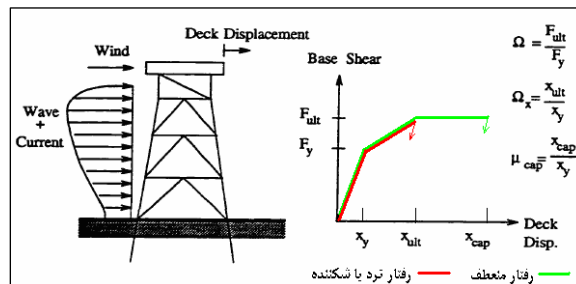
مقاومت استاتیکی F_{ult} ، و تغییر شکل مرتبط x_{ult}

مقاومت باقیمانده F_{res}

حداکثر ظرفیت تغییر شکل x_{cap}

بار تسلیم F_y و تغییر شکل متناظر آن x_y ، مربوط به رخ دادن اولین رفتار غیر خطی حین تحلیل بار فزاینده می باشد. با استفاده از منحنی بدست آمده از تحلیل بار افزون، می توان مقادیر نسبت مقاومت ذخیره، فاکتور فزونی، فاکتور ظرفیت باقیمانده و ظرفیت شکل پذیری را تعریف نمود.

فاکتور ایمنی کلی سکو برای بارگذاری جانبی به عنوان نسبت مقاومت ذخیره، RSR ، شناخته می شود و به صورت نسبت حداکثر بار جانبی قابل تحمل سازه به بار جانبی در حالت طراحی تعریف می شود. با توجه به مقادیر بدست آمده فوق از تحلیل بار افزون، می توان یک سازه را بر اساس رفتار استاتیکی قبل و بعد از حد نهایی طبقه بندی کرد. در شکل ۲، انواع رفتارهای ترد و شکننده این سکوها نشان داده شده است.



شکل ۲: رفتارهای متفاوت سکوها [۲]

بارگذاری حالات دریا

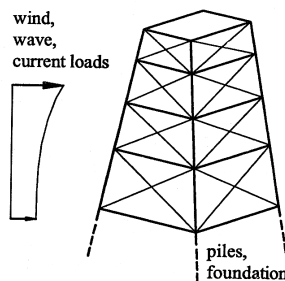
برای تحلیل بار افزون این سازه ها، ابتدا الگوی بار مورد نظر تشکیل می گردد و سپس سکو در دو حالت کنترل بار و یا تغییر مکان تحت تحلیل قرار می گیرد. در این مقاله به بررسی و مقایسه نتایج تحلیل بار فزاینده سکوهای نمونه در دو حالت الگوی بارهای محیطی ناشی از باد، جریان و موج در شرایط طوفان و بهره برداری و الگوی بار متناسب با تغییر شکل مود اول پرداخته شده است.

الگوی بار ناشی از باد، جریان و موج:

به دو روش می توان بارهای دریا را افزایش داد:

۱- ثابت فرض کردن پروفیل بارگذاری و افزایش دامنه پروفیل تا حد فروریزش [۱]: در این روش پروفیل اولیه ثابت فرض می شود و تنها دامنه بارگذاری افزایش می یابد. در این روش در هر مرحله پروفیل اولیه در ضریبی به عنوان ضریب بار ضرب می شود.

۲- تغییر پروفیل بارگذاری با تغییر شرایط دریا: در این روش در هر گام بارگذاری کل پارامترهای شرایط دریا که شامل ارتفاع موج، پرپود موج، سرعت باد و سرعت جریان می باشد، تغییر خواهد کرد. این روش با توجه به ماهیت تصادفی پدیده های دریا و اهمیت بررسی وقوع توأم آنها پایه ریزی شده است. در این روش ارتفاع موج، پرپود موج، سرعت باد و سرعت جریان قابل وقوع بطور همزمان و در یک مرحله به سازه اعمال می گردد. شکل ۳ نمونه ای از بارگذاری دریا و آنالیز استاتیک غیر خطی تحت بارهای دریا را نشان می دهد.



شکل ۳: پروفیل بارگذاری دریا در آنالیز استاتیک غیر خطی، از مرجع [۳].

الگوی بارگذاری موج:

برای محاسبه الگوی تغییرات بار موج، از معادله مورسیون جهت محاسبه نیروی وارد بر پایه های سکو استفاده می شود. (رابطه ۶)

$$f = C_M \frac{\pi}{4} \rho D^2 \dot{u} + \frac{1}{2} C_D \rho D u |u| \quad (6)$$

f : نیرو در واحد طول عضو، C_M : ضریب اینرسی، C_D : ضریب رانش، u : سرعت ذرات آب، D : قطر عضو و ρ : چگالی آب می باشد.

الگوی بار باد

به علت استفاده از آیین نامه API در محاسبه بار باد، در ادامه، تنها روابط این آیین نامه مورد بررسی قرار می گیرد. نیروی رانش ناشی از باد از رابطه ۷ محاسبه می شود [۶].

$$F = (\rho / 2) W_y^2 C_w A \quad (7)$$

که در آن :

F : نیروی ناشی از باد، ρ : چگالی هوا، W_y : سرعت باد در ارتفاع قرار گیری جسم، C_w : ضریب شکل، A : سطح مقطع جسم عمود بر جهت وزش باد
 تغییرات سرعت در ارتفاع به صورت رابطه ۸ تعریف می گردد. در رابطه ۸، W سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر بالاتر از تراز میانگین دریا، y فاصله از تراز میانگین دریا، x فاکتور تغییرات می باشند.

$$W_y = W_{10} (y / 10)^x \quad (8)$$

الگوی نیروهای ناشی از جریان

برای محاسبه نیروی کل وارد بر عضو با داشتن پروفیل سرعت از دو رابطه ۹ و ۱۰ در طول عضو انتگرال گیری می شود [۱].

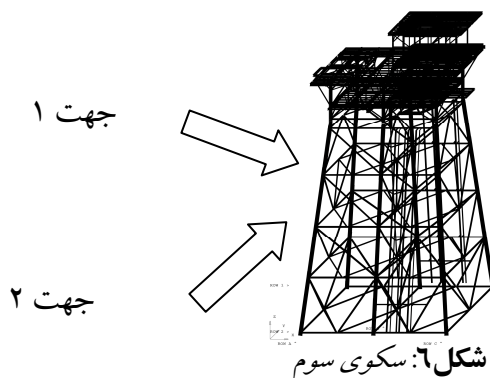
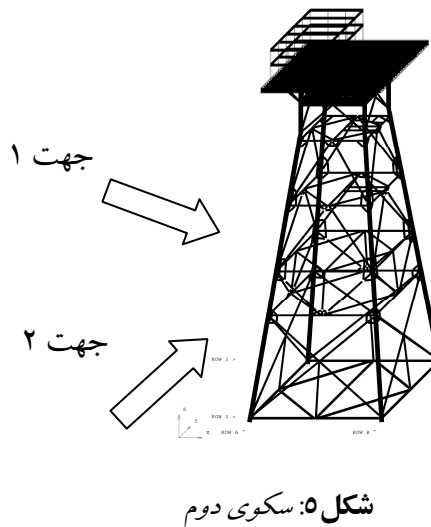
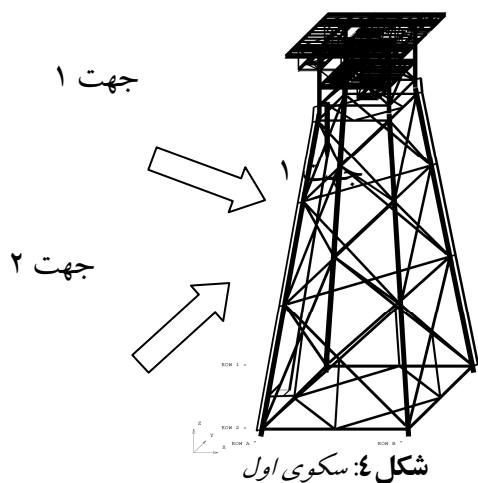
$$f_D = \frac{1}{2} \rho D C_D U^2 \quad (9)$$

$$f_L = \frac{1}{2} \rho D C_{L,max} V^2 \quad (10)$$

برای حالت جریان همراه با موج، علاوه بر در نظر گرفتن اثرات متقابل موج و جریان، بردار سرعت جریان با بردار سرعت ذرات موج به صورت برداری جمع شده، و سپس در رابطه موريسون قرار داده می شوند.

معرفی مدل‌های مورد بررسی

سکوها نشان داده شده در شکل های ۴ و ۵ و ۶ در خلیج فارس احداث شده اند. این سکوها دارای ارتفاع حدود ۵۳ متر در قسمت جاکت بوده و ارتفاع کل سازه نیز حدود ۶۵ متر برای سکوها ۱ و ۲ و ۷۹ متر برای سکوی شماره ۳ می باشد. در شکل‌های صفحه بعد جهت های تحلیل این سکوها نشان داده شده است.



الگوی بارگذاری مدلها [۵]

مدلهای فوق تحت سه حالت بارگذاری موج یک ساله (operating)، موج صد ساله (storm) و بارگذاری متناسب با تغییر مکان مد اول قرار میگیرند که مشخصات آنها به شرح زیر می باشد. هریک از بارهای فوق باعث ایجاد نیروها و ولنگرهای در سکو می شوند که خلاصه آن در جدول زیر ارائه گردیده است.

جدول ۴: مقادیر برش پایه و ممان پایه سکوی اول

ممان پایه (kN-m)			برش پایه (kN)			جهت	حالت بارگذاری
M_x	M_y	M_z	F_x	F_y	F_z		
۱۳۷،۸۶	-۷۳۳،۴۳	-۳۱۱،۸۷	۹۱۵،۱۷۷	-۱،۰۶	۲۱،۸۹۳	۱	Operating
۷۸۰،۶۷۲	-۵۰،۳۲۳	-۵۳۶،۱۴	-۰،۱۹	۹۸۰،۶۳۳	۱۳،۵۳۷	۲	Operating
۲۵۶،۳۴	-۴۳۸۲،۰۸	-۹۵۸،۹۵	۳۰۸۳،۵۲	-۴،۰۵	۲۵۰،۰۷۵	۱	Storm
۴۶۲۱۰،۷	-۱۶۲،۳۳	-۱۹۴۱،۸	-۲،۹۲	۳۲۷۹،۸	-۴۱،۵۵	۲	Storm
۶۸۰،۶۵۷	۴۱۸۱،۱۷	-۴۰۱۵،۷	-۲۳۳،۷۴	۵۵۱۲،۱۶	-۱۸۲،۴	۲	Modal

جدول ۵: مقادیر برش پایه و ممان پایه سکوی دوم

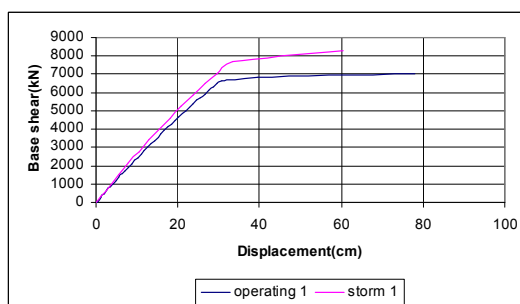
ممان پایه (Kn-m)			برش پایه (kN)			جهت	حالت بارگذاری
M_x	M_y	M_z	F_x	F_y	F_z		
-۹۹۳,۷۸	-۷۰,۴۶,۲	۱,۷۵۳	۸۳۹,۹	۶۰,۳۳	-۲۲,۹۸	۱	Operating
۵۹۴۹,۲	۹۹۴,۹۷	-۶۰,۵۷	۶۰,۳۹۵	۱۰۱۱,۸۶	-۲۳,۶۹	۲	Operating
-۹۹۹,۷۵	-۴۱۹۳۳,۲	-۳۲,۵۱	۲۹۱۸,۳۵	۶۰,۳۴	-۸۶,۳۹۳	۱	Storm
۴۲۷۱۲,۱	۱۰۱۵,۷۵	۲۰,۶,۳	۶۰,۵	۳۲۸۷,۵	-۸۹,۹۵	۲	Storm
۲۸۹۰,۲,۳	-۶۳۴۹,۹۲	۱۸۴,۰,۶,۳	-۱۵۸,۴	۴۶۷۱,۳۷	-۳۰,۷	۲	Modal

جدول ۶: مقادیر برش پایه و ممان پایه سکوی سوم

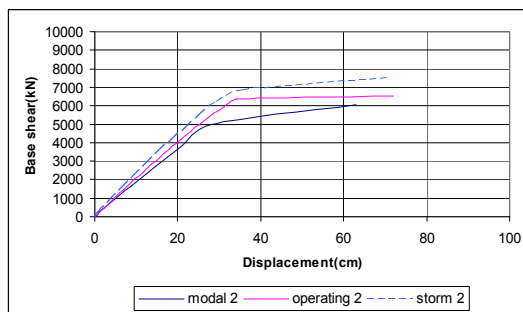
ممان پایه (kN-m)			برش پایه (kN)			جهت	حالت بارگذاری
M_x	M_y	M_z	F_x	F_y	F_z		
-۱۱۵,۵۱	-۱۲۸۵۷,۹	-۴۵۶,۷۲	۱۶۳۷,۹۵	-۱,۰۹	-۴۰,۲۷	۱	Operating
۱۱۱۳۶,۴	۱۹۵,۲۷	۳۷۴۴,۳	.۴۴۹	۲۰۵۵,۸	-۸,۸۵	۲	Operating
-۲۱۹,۰۷	-۸۷۲۱۹,۲	-۳۵۱,۳	۵۹۴۳,۵۷	-۰,۵۰۶	-۱۶۹,۷۲	۱	Storm
۸۷۳۰,۸,۷	۳۵۹,۸۱	۹۳۸۰,۷۵	.۴۴۹	۶۵۶۸,۹	۷۲,۵۷	۲	Storm
-۹۹۴۳۳,۱	۱۰۵۹,۲۶	۶۸۶۶,۰,۳	۹۳۲,۸۴	۱۶۲۱۶,۰۳	۳۹,۹۸۱	۲	Modal

نتایج تحلیل بار افزون سکوها:

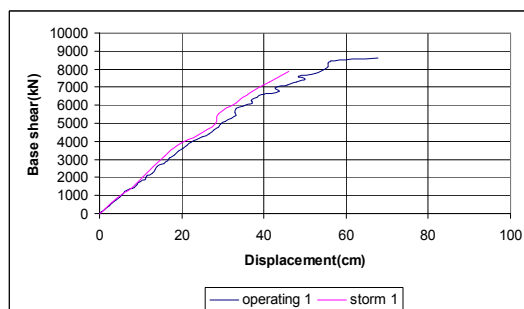
با توجه به شکل بارگذاری در جهات نشان داده شده ۱ و ۲ سکو، نمودار بار افزون در هر شکل بارگذاری با در نظر گرفتن کمانش موضعی و انعطاف پذیری اتصالات و اثر اندرکنش شمع و خاک مطابق اشکال ۷ الی ۱۲ می باشد.



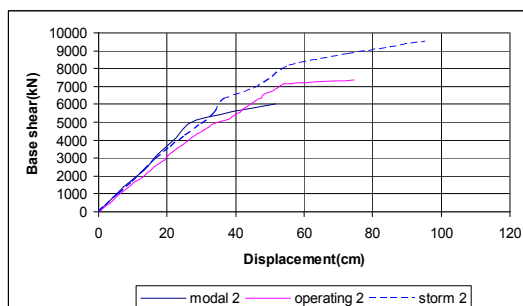
شکل ۷: مقایسه تأثیر توزیع بارگذاری بر ظرفیت باربری سکوی اول در جهت ۱



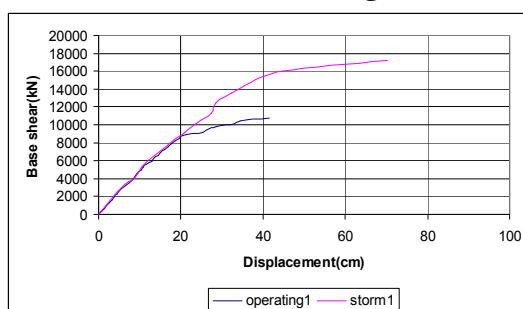
شکل ۸: مقایسه تأثیر توزیع بارگذاری بر ظرفیت باربری سکوی اول در جهت ۲



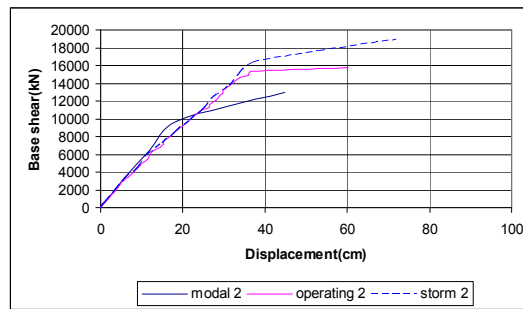
شکل ۹: مقایسه تأثیر توزیع بارگذاری بر ظرفیت باربری سکوی دوم در جهت ۱



شکل ۱۰: مقایسه تأثیر توزیع بارگذاری بر ظرفیت باربری سکوی دوم در جهت ۲



شکل ۱۱: مقایسه تأثیر توزیع بارگذاری بر ظرفیت باربری سکوی سوم در جهت ۱



شکل ۱۲: مقایسه تأثیر توزیع بارگذاری بر ظرفیت باربری سکوی سوم در جهت ۲

همانطور که مشاهده میشود مقادیر سختی اولیه، مقاومت نهایی و شکل پذیری این سازه ها در الگوهای بار مختلف، متفاوت می باشد. عموماً، بیشترین سختی اولیه و مقاومت نهایی در بارگذاری storm در جهت ۱ و کمترین سختی اولیه و مقاومت نهایی در بارگذاری مودال می باشد.

نتیجه گیری

منحنی بار افزاینده هر سکو به خصوصیات سکو، از جمله درجه نامعینی سکو، انعطاف پذیر بودن اتصالات، اثرات اندرکنش شمع و خاک و نوع و روشی که برای کماتش موضعی در نظر گرفته می شود بستگی دارد. بنابراین بسته به نوع روابط و همچنین در نظر گرفتن پارامترهای متفاوت، سکوها رفتار متفاوتی از خود نشان می دهد. و این رفتار بستگی به ماهیت سازه و در نظر گرفتن عوامل مختلف فوق دارد. در نتیجه در ارزیابی این نوع از سازه ها، میبایست الگوی بار مناسب را مورد استفاده قرار داد.

مراجع

- [1] HSE Book, Report OTO 98092 Offshore Technology, "Dynamic pushover Analysis of jacket Structures", April 1999
- [2] G. Schmucker "Near-Failure behavior of jacket-type offshore platform in the extreme wave environment" A dissertation submitted to the department of civil Engineering and the committee on graduate studies of Stanford university, June 1996
- [3] Skallerud, B. and Amdahl, J., "Nonlinear Analysis of Offshore Structures:". Research Studies Press LTD. UK 2002.
- [4] American Petroleum Institute 2000. "Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design", API-RP2A, Washington, DC 21st Edition.

[۵] محمدی، روح الله، "تأثیر عوامل محیطی در تحلیل ظرفیت باربری نهایی سکوه‌های ثابت فلزی دریایی" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هرمزگان، آذر ماه ۱۳۸۴ به راهنمایی دکتر بهروز عسگریان.