یادداشت فنی

بررسی تاثیر اجرای بهینه عملیات به آب اندازی سکوهای شابلونی برکاهش وزن سکو

علی ذاکری[۱] ، احمد شانه سازاده[۲*]

[۱] کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشگاه اصفهان
[۲] استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه اصفهان؛ a.shanehsazzadeh@eng.ui.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۵/۳۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۰۲

کلمات کلیدی:
سکوهای شابلونی
آب اندازی
مطالعه پارامتری
نرم افزار SACS

چکیده

یکی از روش های نصب سکوهای ثابت فلزی نوع شابلونی روش آب اندازی است. یکی از مراحل مهم در طراحی و اجرای سکوهای دریایی بررسی شرایط سکو در حالت آب اندازی می‌باشد. با انتخاب شرایط مناسب به آب اندازی، با حفظ ایمنی عملیات، وزن سکو را می‌توان به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. در این مقاله، در یک تحلیل پارامتری و با استفاده از نرم افزار تخصصی SACS، عوامل موثر بر مقدار نیروهای اعمال شده بر سکوهای شابلونی در حین آب اندازی مورد بررسی قرار می‌گیرند. بدین منظور دو مولفه‌ی اصلی حداکثر نیروی توزیع شده در سکو و فاصله سکو تا کف دریا در حین آب اندازی، برای دو سکوی نفتی شابلونی با ارتفاع ۸۱ و ۷۵ متر، نصب شده در خلیج فارس متاثر از پارامتر های موثر آب اندازی شامل تغییر زاویه‌ی چرخش، آبخور بارج، میزان شناوری و شکل هندسی مورد تحلیل قرارگرفته است. از مطالعه‌ی انجام شده بر تاثیر عوامل مذکور می‌توان نتیجه گرفت که پارامترهای زاویه چرخش اولیه بارج، مخازن شناوری و آبخور بارج به ترتیب بر روی نیروی اعمال شده به سکو در حالت آب اندازی تاثیر بیشتری دارند. نتیجه این تحقیق نشان می دهد اجرای کنترل شده و بهینه مرحله آب اندازی و اصلاح پارامترهای موثر بر آن علی الخصوص زاویه چرخش و شناور می تواند باعث کاهش ۲۰ درصدی نیروهای آب انداری و درنتیجه کاهش ۴ درصدی وزن سکو گردد.

The Effect of Optimum Launching on the Reduction of Offshore Jacket Weight

Ali Zakeri[1], Ahmad Shanehsazzadeh[2*]

[1] Msc Graduated, University of Isfahan; zakeri_civil@yahoo.com
[2] Asistant Professor, University of Isfahan; a.shanehsazzadeh@eng.ui.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 22 Aug. 2014
Accepted: 21 Feb. 2016

Keywords:

Template (jacket) platform
Lunching
Parametric analysis
SACS software

ABSTRACT

Launching method is commonly applied for installation of heavy template (jacket) platforms. One of the important phases in design and construction of offshore platforms is launching condition. This will insure the safty of the procedure and will optimize the weight of the related members of the jacket. In this article, effective factors and amount of forces that applied on steel jacket during launching and the minimum distance of jacket to sea bed are studied through a parametric analysis. For simulation of the launching procedure the technical softwate of SACS is applied. The analyses are applied on two jackets installed in Persian Gulf. The initial tilting angle, draft, and bouyancy are among the parameters which are studied. The results of the study show that the tilting angle and bouyancy are the most effective parameters which reduce the launching forces up to 20%. The study shows that optimizing the procedure of launching in the case of the jackets of the present study can reduce the weight up to 4 percent.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1395.12.23.1.6]

۱ - مقدمه

رایج‌ترین نوع سکوهای دریایی جهت استحصال نفت و گاز و صنایع وابسته در مناطق با عمق کم و متوسط، سکوهای فولادی نوع شابلونی می‌باشند. سکوهای شابلونی باید برای تحمل بارهای حین ساخت، حمل، آب اندازی و نصب طراحی شوند. در مواقعی که پایه سکو وزن بالایی داشته باشد برای نصب سکو از روش آب اندازی استفاده می‌گردد. لذا یکی از مراحل طراحی و اجرای سکوهای دریایی بررسی شرایط سکو در حالت آب اندازی می‌باشد. علیرغم زمان کوتاه عملیات آب اندازی، از آنجا که در حین آب اندازی، سکو تحت تاثیر نیروهای هیدرودینامیکی قرار گرفته و معادلات دینامیکی حرکت حاکم می باشند، لذا یکی از مهمترین و پیچیده ترین بخش های طراحی سکو تحلیل و طراحی آن در حالت آب اندازی می باشد که موضوع تحقیق مقاله حاضر می باشد.

مطالعات انجام شده بر سکوها با ابعاد واقعی بسیار محدود می‌باشد و تعمیم نتایج به دست آمده بر روی سکوهای ساده شده برای شرایط واقعی نیاز به مطالعات بیشتر دارد. خلاصه تعدادی از مطالعات ویژه منتشر شده در این زمینه به شرح زیر می‌باشد:

جو و همکاران به مدل‌سازی چندین سکو به صورت ساده و شماتیک پرداخته و اثر زاویه چرخش و آبخور بر روی آن‌ها را مورد بررسی قرار داد. از نتایج به دست آمده از این تحقیق به کاهش نیروی آب اندازی با افزایش زاویه چرخش، نقش ناچیز پارامتر آبخور در کاهش نیروی آب اندازی، نقش موثر مخازن شناوری در حداقل فاصله سکو از بستر دریا و کاهش اثر ضربه وارد به سکو در حین شیرجه و ورود به آب با افزایش آبخور و زاویه چرخش نام برد [۱].

هنرور و همکاران در تحقیقی به بررسی آب اندازی سکوی بلال (از سکوهای خلیج فارس) با کمک مدل‌های فیزیکی و عددی پرداخته‌اند و تغییرات موقعیت مکانی و سرعت را در دو راستای افقی و قائم به دست آورده و آن را با نتایج نرم افزار SACS مقایسه کردند که نتایج به دست آمده نشان دادند برای مدل‌سازی فیزیکی عملیات به آب اندازی سکوهای دریایی، مدل مبتنی بر عدد فرود مدل مناسبی نمی‌باشد و باید از مدل مبتنی بر عدد رینولدز - فرود استفاده نمود، [۲].

باتاچاریا و ایدیچاندی با ساخت مدل آزمایشگاهی سکو، شرایط عملیات‌های سوار شدن سکو بر روی بارج، آب اندازی و برپاداری را در محیط آزمایشگاهی ایجاد نمودند. در عملیات آب اندازی نیروی وارد به تیر چرخشی، زاویه دوران تیر چرخشی و تاریخچه زمانی حرکت سکو و بارج را برای سه زاویه چرخش ۲،۱ و ۳ درجه محاسبه نمودند. از نتایج به دست آمده از آزمایشات اجرا شده می توان به کاهش نیروی آب اندازی با افزایش نیروی شناوری، آغاز چرخش تیر چرخشی با عبور مرکز ثقل سکو از مرکز آن و تعیین زمان بیشترین نیروی وارد به تیر چرخشی که قبل از تماس سکو با آب و در آغاز دوران تیر چرخشی می‌باشد، اشاره نمود [۳].

هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی پارامتر های موثر در آب اندازی سکوهای ثابت شابلونی و بررسی میزان تاثیر هر یک از این پارامترها بر ایمنی عملیات و مقدار و توزیع نیروها در حین آب اندازی می‌باشد. با شبیه سازی عملکرد سکو در فرایند به آب اندازی و یافتن ترکیب مناسب پارامتر های موثر می‌توان نسبت به بهبود طراحی اقدام نمود. نوع مطالعه تحلیل پارامتریک بوده و به‌وسیله شبیه سازی عددی حالت‌های مختلف آب‌اندازی با استفاده از نرم افزار SACS انجام می‌شود. طرح کلی مقاله حاضر به شرح زیر می باشد: ابتدا پس از شناخت مفاهیم پایه و شناخت ماهیت نیروهای وارد بر سکو در فرآیند آب اندازی نسبت به استخراج روابط و نمودارهای لازم برای محاسبه نیروها و تغییر مکان سکو در زمان و فازهای مختلف آب اندازی با استفاده از آیین نامه‌های بین المللی همچون API [۴] اقدام می گردد.

مدل‌سازی دو سکوی موجود در خلیج فارس همراه با مهاربندی‌های آن به صورت کامل و با اعمال بارگذاری نیروهای موثر جهت تحلیل دینامیکی در برنامه SACS صورت گرفته و میزان تاثیر پارامترهای مختلف شامل زاویه چرخش اولیه بارج، آبخور، ضریب اصطکاک جنبشی، مخازن شناوری و شکل هندسی سکو بر دو مولفه‌ی حداکثر نیروی وارد به سکو و نزدیکترین فاصله سکو تا کف دریا بررسی گردیده است.

با تحلیل، ارزیابی و مقایسه نتایج داده های به دست آمده و کنترل همزمان پایداری سکو و بارج در حین و بعد از آب اندازی که مستلزم یک آب اندازی موفق می‌باشد، نتایج حاصله از تغییر هر پارامتر بیان می‌گردد و در انتها با استفاده از نتایج به دست آمده، شرایط بهینه در آب اندازی سکوها که باعث کاهش در نیروها و نهایتاً کاهش وزن سکو می باشد ارائه می گردد.

۲- مراحل آب اندازی

برای تحلیل فرآیند به آب اندازی، لازم است که مراحل مختلف آب اندازی از یکدیگر تفکیک شوند. بدین منظور حرکت سکو و بارج در حین آب اندازی به پنج مرحله (فاز) تقسیم می‌شود:[۱]

فاز یک: زمانی آغاز می‌شود که سکو توسط وینچ بر روی بارج سر می‌خورد و چرخشی در بازوی چرخنده اتفاق نمی‌افتد.

فاز دو: زمانی آغاز می‌شود که سکو بر اثر وزن خود بر روی بارج سر می‌خورد و چرخشی در بازوی چرخنده اتفاق نمی‌افتد.

فاز سه: زمانی آغاز می‌شود که سکو بدون لغزش بر روی بازوی چرخنده دوران می‌کند.

فاز چهار: زمانی آغاز می‌شود که سکو بر اثر وزن خود بر روی بازوی چرخنده سر می‌خورد و چرخش در آن رخ می‌دهد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1395.12.23.1.6]

فاز پنج: زمانی آغاز می‌شود که سکو از بارج جدا شده و به داخل آب شیرجه می‌رود.

در فازهای سه و چهار که سکو در حال دوران و شیرجه به داخل آب است، تنها از طریق بازوی چرخنده به بارج اتکا دارد. لذا وظیفه بازوی چرخنده، پخش نیروی عکس العمل مفصل به صورت بار گسترده است. بخش‌هایی از سکو که حین به آب اندازی با اتکا به بازوی چرخنده، تمام نیروی عکس العمل را تحمل می‌کنند، نیاز به تقویت دارند. این بخش از سازه خرپای به آب اندازی نام دارد و حدودا ۷ الی ۱۲ درصد وزن سکو را به خود اختصاص می‌دهد. بهینه نمودن فرآیند به آب اندازی باعث کاهش وزن خرپای به آب اندازی می گردد.

بعد از جدا شدن از بارج، سکو باید روی سطح آب شناور بماند، به این منظور نیروی شناوری آن در حالت کاملاً مغروق بایستی از وزنش بیشتر باشد.

۳- معادلات حرکت و شبیه سازی عددی فرآیند به آب اندازی

معادلات نیوتن - اولر حرکت اجسام در فضای سه بعدی را توصیف می‌کنند. بیان فیزیکی این معادلات این است که نرخ تغییر مومنتم خطی/ زاویه‌ای یک جسم برابر نیروها / لنگرهای وارده به آن است. موقعیت هر جسم صلب در فضا را می‌توان با شش مولفه، یعنی سه مختصات انتقالی و سه مختصات دورانی نشان داد. به عبارت دیگر هر جسم صلب دارای شش درجه آزادی می‌باشد که برای هر کدام از درجات آزادی می‌توان یک معادله حرکت نوشت. در عمل برای به آب اندازی لازم است سکو و بارج در یک صفحه حرکت کنند.معادلات حرکت سکو و بارج در مراجع معتبر به تفصیل بیان گردیده اند [۵].

به منظور برآورد نیروهای کلی وارد شده به سکو و تعیین موقعیت سکو در مراحل مختلف آب اندازی، معادلات حرکت به صورت عددی بوسیله نرم افزار تجاری SACS تحلیل شده است [۶]. نرم افزار SACS حرکت سکو و بارج را به صورت همزمان در نظر می‌گیرد. در تحلیل آب اندازی سرعت و شتاب در هر ثانیه مورد بررسی قرار می‌گیرد و نرخ تغییرات میزان سرعت، زاویه‌ی بازوی چرخنده و بارج، فاصله سکو تا کف دریا و نیرو وارد به بازوی چرخنده مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد.

در تحقیق حاضر جهت بررسی فرآیند به آب اندازی و تحلیل پارامترهای موثر در این فرآیند از دو سکو با ابعاد واقعی و با در نظر گرفتن کلیه المان ها و مشخصات هندسی استفاده شده است. مشخصات سکوهای شبیه سازی شده در این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

سکوی شماره ۱: سکوی نفتی ۴ پایه طراحی شده برای خلیج فارس است. با وزن ۲۰۱۸ تن و وزن شناوری کل ۲۳۵۹ تن.

سکوی شماره ۲: سکوی نفتی ۸ پایه طراحی شده برای خلیج فارس با وزن ۱۶۶۲ تن و وزن شناوری کل ۲۰۷۷ تن.

مشخصات کلی سکوهای شماره ۱ و ۲ در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱- مشخصات سکوهای مدل شده و عمق آب

نوع سکو	وزن	ارتفاع	تعداد المان	عمق آب	وزن شناوری
	ton	m	No.	m	ton
سکوی شماره ۱	۲۰۱۷	۸۲	۱۵۰۰	۷۰	۲۳۶۰
سکوی شماره ۲	۱۶۶۲	۷۶	۷۰۰	۶۵	۲۰۷۷

۴- تحلیل پارامتری عوامل موثر در آب اندازی

در این بخش با معرفی پارامترهای اصلی موثر در آب اندازی به بررسی تاثیر هر کدام از پارامترها در روند آب اندازی پرداخته می شود. این پارامترها عبارتند از: ۱- میزان چرخش بارج ۲- میزان آبخور بارج ۳- مخازن شناوری ۴- شکل سکو ۵- اصطکاک بین سکو و بارج ۶- جریان های دریایی مورد بررسی قرار گرفته اند که به طور تفصیلی در مرجع [۷] ارائه گردیده است.

تاثیر پارامترهای مذکور بر دو مولفه‌ی اصلی زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۱- حداقل فاصله بین سکو و بستر دریا جهت کنترل ایمنی فرآیند به آب اندازی

۲- حداکثر نیروی اعمال شده به سکو در فرآیند به آب اندازی که جهت طراحی سکو (خرپای به آب اندازی) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این مقاله تعدادی از پارامترها معرفی و تاثیر آن‌ها بر مولفه‌های مذکور مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۴-۱- پارامتر میزان چرخش

برای رسیدن به بهترین زاویه چرخش، به دست آوردن الگوی رفتاری سکو به ازای زوایای مختلف چرخش در آبخورهای متفاوت بسیار با اهمیت می‌باشد. در فرآیند به آب اندازی، آبخور عقب در سمت بازوی چرخنده قرار دارد و مقدار آن بزرگتر از آبخور جلو بارج می‌باشد (سکو از سمت پشت بارج به آب انداخته می‌شود). بدین منظور برای دو سکوی ۴ و ۸ پایه، چهار حالت آبخور (جلو) در نظر گرفته شده است و در زوایای چرخش مختلف نیروی اعمال شده به سکو (برحسب درصد وزن سکو) و فاصله‌ی حداقل تا کف مورد بررسی قرار گرفته است. میزان آبخور نماینده‌ی فاصله‌ی اولیه سکو تا سطح آب در ابتدای فرآیند آب اندازی می‌باشد. برای هر دو

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1395.12.23.1.6]

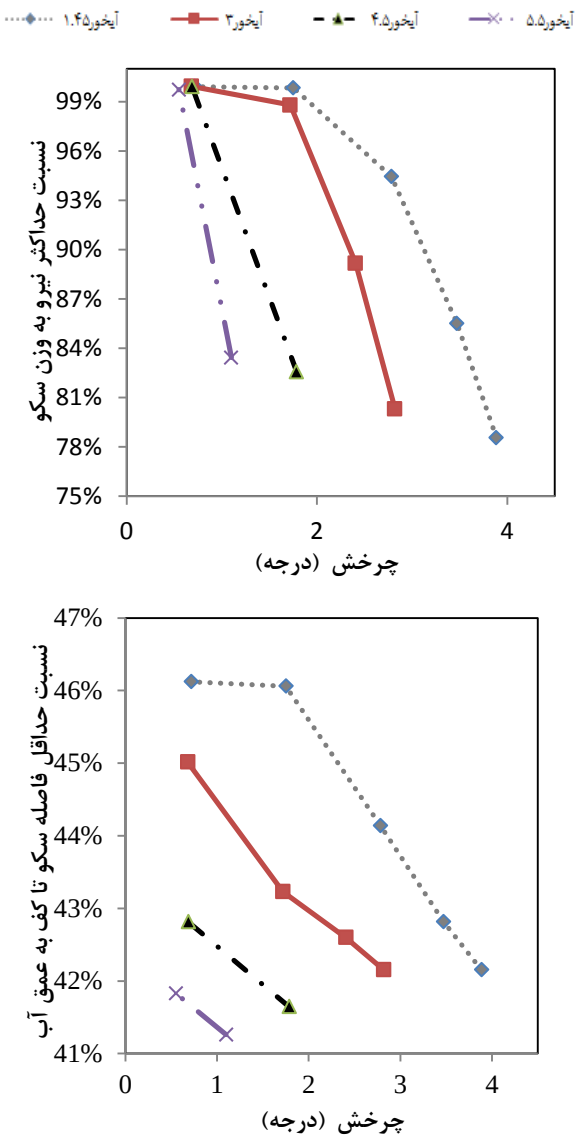
سکو با ثابت نگه داشتن آبخور جلوی بارج در چهار تراز مختلف، با تغییر در آبخور عقب تغییرات زاویه چرخش ایجاد می گردد.

نمودارهای تغییرات نیرو و فاصله تا کف دریا برای بارج ۸ پایه برای آبخور های مختلف در شکل ۱ ارائه شده است. جهت سهولت در مقایسه‌ی بین نتایج حاصله، از نسبت نیرو به وزن سکو (درصد نیرو به وزن) که پارامتری بی بعد است برای هر دو سکو استفاده شده است که در آن وزن سکوهای ۴ و ۸ پایه همان است که در جدول شماره ۱ ارائه گردیده است. همچنین جهت مقایسه‌ی بین نتایج حاصله از فاصله سکو تا کف دریا از نسبت فاصله سکو تا کف به عمق آب (به صورت درصد) استفاده شده است.

لازم به توضیح است نیروی وارد شده به تیر چرخشی معادل نیروی وارد شده به خرپای به آب اندازی سکو می‌باشد. بر طبق آیین‌نامه API حداقل فاصله مجاز سکو تا کف دریا ۵ متر یا ۱۰ درصد عمق آب هر کدام که بیشتر باشد، می‌باشد که بر این اساس حداقل فاصله برای سکوی ۴ پایه ۶.۹۶ متر و سکوی ۸ پایه ۶.۵ متر خواهد شد لذا درصد فاصله سکو تا کف به عمق آب برای سکوی ۴ و ۸ پایه اگرکمتر از مقادیر فوق الذکر باشد، قابل قبول نخواهد بود.

با مقایسه‌ی کیفی نمودارهای مربوط به تغییر زاویه چرخش در آبخورهای مختلف مشاهده می‌شود که با افزایش زاویه چرخش، نیروی اعمال شده به تیر چرخشی روندی نزولی خواهد داشت و همین روند برای نزدیکترین فاصله تا کف دریا نیز برقرار می‌باشد. لازم به توضیح است که از نظر فنی و جهت پایداری بارج برای آبخورهای بالای ۴.۵ متر نمی‌توان زاویه چرخشی بیشتر از ۲ درجه را ایجاد نمود.

بررسی مقادیر جدول همچنین بررسی کمی نمودارها نشان می دهد که تا زاویه چرخش ۲.۵ درجه شیب کاهشی نیرو کند می باشد، ولی با گذشتن از زاویه ۳ درجه در هر ارتفاع آبخور شیب تندی در کاهش آن مشاهده می‌گردد که برای سکوی ۴ پایه در بیشترین حالت حدود ۸ درصد و برای سکوی ۸ پایه حدود ۲۱ درصد می‌باشد. برای مولفه‌ی فاصله تا کف برای هر دو سکو شیب تقریباً ثابتی را خواهیم داشت. علت تفاوت در بیشترین مقدار کاهش نیرو در دو سکو را می‌توان در بعد عرضی سکوها (و یا به بهتر تعداد بیشتر اعضا) دانست، زیرا سکوی ۸ پایه حدودا ۲.۵ برابر سکوی ۴ پایه عریض می‌باشد که این باعث افزایش نیروهای هیدرودینامیکی (دراگ، لیفت و شناوری) شده که باعث کاهش نیروهای وارد به تیر چرخشی و گهواره ای شدن عملیات جدا شدن سکو از بارج می‌گردند.



شکل ۱- تاثیر پارامتر میزان چرخش اولیه بارج بر حداقل فاصله تا کف (نمودار پایین) و حداکثر نیروی وارد شده بر سکو در حین آب اندازی (نمودار بالا) - سکوی ۸ پایه

افزایش زاویه برخورد به سطح آب باعث عملکرد سریعتر نیروی شناوری گردیده و باعث کاهش نیروی مبادله شونده می گردد. لذا افزایش زاویه‌ی چرخش، نیروی اعمال شده به سکو در زمان شیرجه را به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش خواهد داد که این باعث کاهش قابل ملاحظه ای در وزن خرپاهای تقویت کننده و در نتیجه کاهش وزن، هزینه و ساخت سکو می‌شود. نتایج مشابهی در خصوص تاثیر زاویه چرخش بر نیروی ایجاد شده در سکو برای سکوها با وزن کمترگزارش گردیده است که نشان می‌دهد نتایج مذکور در این خصوص عمومیت دارند[۸].

۴-۲- پارامتر مخازن شناوری

برای این‌که سکو در هنگامی‌که وارد آب می‌گردد به کف دریا برخورد نکند و غرق نشود، نیاز به مخازن شناوری می‌باشد که از دو

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1395.12.23.1.6]

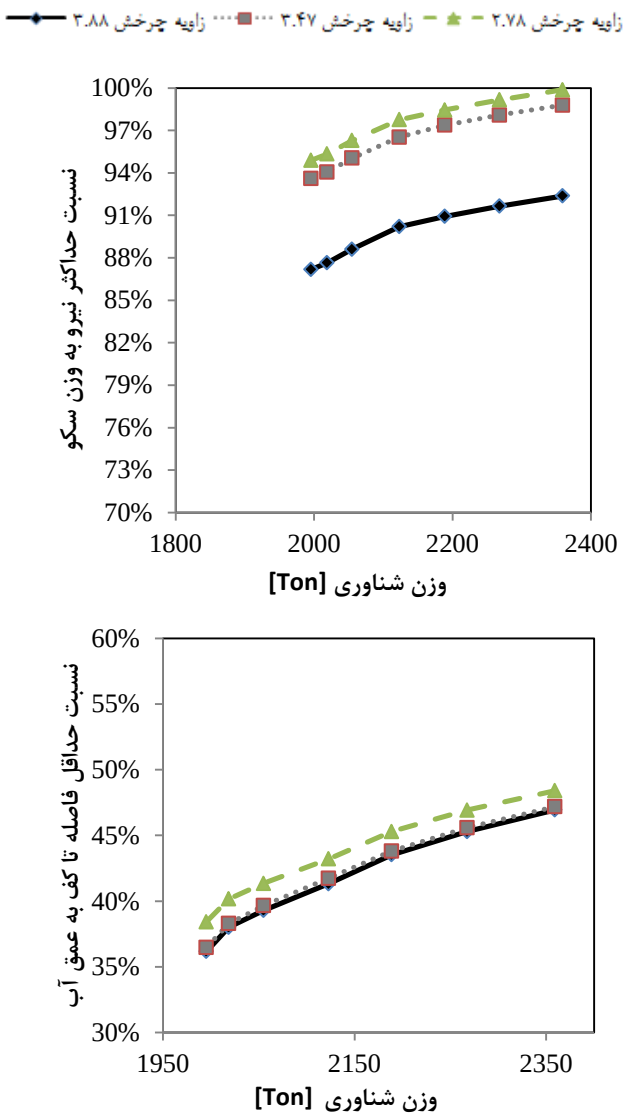
طریق تامین می‌گردند. روش اول بـا زدن درپـوش لاسـتیکی بـرای پایه‌های سکو و غـلاف‌هـای شـمع و آب بنـد کـردن آن‌هـا حاصـل می‌شود. در روش دوم با نصب تانک‌های شناوری کـه بـر روی پایـه های اصلی در قسمت بالای سکو نصب می‌گردند. غالباً وزن شناوری مورد نیاز تنها از روش اول به دست نمی‌آید و نیازمند تـامین آن بـا روش دوم می‌باشد. مخازن شناوری در محلی نصـب مـی‌شـوند کـه بیشترین تاثیر را داشته باشند. در فاز چهارم آب انـدازی پایـه‌هـای سکو و این مخازن باعث کاهش نیرو وارد بر تیـر چرخشـی و سـکو می‌شوند. در این قسمت با تغییر در وزن مخازن شناوری رفتار سکو مورد بررسی قرار می‌گیرد. نمودارهای تغییرات نیرو به وزن سـکو و فاصله تا کف دریا نسبت به میزان مخازن شناوری سکو برای سکوی ۴ پایه در زوایای مختلف چرخش در شکل ۲ آورده شده است.

با بررسی نمودارهای شکل‌های ۲ مشاهده می‌گـردد کـه بـا کـاهش حجم مخازن که منجر به کاهش شناوری و بالتبع کاهش وزن سکو می‌گردد، نیروی وارده به تیر چرخشی کاهش می‌یابد. از نظر کمـی این کاهش نیرو در سکوی ۴ پایه ۵٪ و در سکوی ۸ پایـه تنهـا ۲٪ می‌باشد که می‌تواند متاثر از کاهش وزن سکو باشد. مولفه‌ی حداقل فاصله سکو تا کف دریا نیز با کاهش شناوری شـیبی نزولـی خواهـد داشت که برای سکوی ۴ پایه ۲۳ درصد و سکوی ۸ پایه ۴۰ درصـد کاهش می‌باشد، لذا مشاهده می‌گردد عمـده تـاثیر ایـن پـارامتر بـر حداقل فاصله تا کف می‌باشد. بر طبق آیین نامه API حداقل فاصله سکو تا کف دریا ۵ متر یا ۱۰ درصد عمق آب هر کـدام کـه بیشـتر باشد که باید دقت نمود ایـن محـدودیت در تعیـین مقـدار مخـازن شناوری لحاظ گردد.

به طور کلی می‌توان گفت با توجه به زمان بیشترین نیروی وارد بـه سکو که آغاز دوران تیر چرخشی می‌باشد اعضای تو خالی و مخازنی از سکو در آب اندازی موثر می‌باشند که در قسمت بالای سـکو و در محلی قرار گرفته باشند که در زمان بیشینه نیرو در داخل آب قـرار داشته باشند تا بتوانند باعث کاهش سرعت سـکو، عمـق شـیرجه و بیشینه نیروی وارده به تیر چرخشی شوند. مابقی مخازن و لوله‌های تو خالی در زمان شیرجه زدن سکو بر حداقل فاصله تا بستر دریـا و شناور شدن آن تاثیرگذار خواهند بود.

۵- بهبود طرح سکو با اعمال بهترین ترکیب پارامترهای آب اندازی

با استناد به جداول و نمودارهای به دست آمده حاصل از تحلیل‌های پارامتریک می‌توان با اعمال بهترین شـرایط آب انـدازی نسـبت بـه بهبود طرح اقدام نمود.



شکل ۲- تاثیر پارامتر مخازن شناوری سکو بر حداقل فاصله تا کف (نمودار پایین) و حداکثر نیروی وارد شده بر سکو در حین آب اندازی (نمودار بالا) - سکوی ۴ پایه

بدین منظور در محدوده ممکن برای تغییرات پارامترهـای مختلـف تاثیر گذار در این فراینـد، بهتـرین شـرایط آب انـدازی کـه باعـث کاهش نیروی اعمـال شـده بـه سـکو مـی گـردد و درعـین حالـت محدودیت فاصله تا کف دریا را نیز ارضا می نماید بـه عنـوان مـدل بهبود یافته انتخاب گردید و اختلاف آن با طراحی اولیه و شـرایطی که بیشترین نیرو تولید می گردد (به عنوان مدل اصلی) بدست آمد. نتایج حاصل از این مقایسه برای سکوهای ۴ و ۸ پایه به شـرح زیـر می باشد:

سکوی ۴ پایه: شرایط بهبود یافته برای آب اندازی به شرح زیر مـی باشد:

- ارتفاع ریل آب اندازی بارج ۰/۵ متر در نظر گرفته شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1395.12.23.1.6]

- مقدار ۷٫۱ متر برای آبخور عقب و ۱٫۴۵متر برای آبخور جلو لحاظ شده است که معادل ۳٫۸۸۵ درجه زاویه چرخش می‌باشد. شرایط مذکور با تجربه های موفق به آب اندازی بسیار نزدیک می باشد.
- وزن شناوری به ۲۰۵۴٫۹۰۲ تن تغییر یافت که متعاقباً وزن سکو به ۱۹۵۶٫۳۰۶ تن کاهش یافت.

در جدول ۲ حداکثر نیروی آب اندازی و حداقل فاصله تا کف برای مدل اصلی و بهبود یافته سکوی ۴ پایه پس از تحلیل آورده شده است. منظور از مدل پایه، طرحی که در آب اندازی این سکو در خلیج فارس طراحی گردیده، می‌باشد.

جدول ۲- نیرو آب اندازی و فاصله تا کف در مدل پایه و بهبود یافته سکوی ۴ پایه

سکوی ۴ پایه	حداکثر نیروی آب اندازی	حداقل فاصله تا کف	وزن سکو	وزن شناوری
	Kn	m	ton	ton
مدل پایه	۱۹۴۳۸	۳۲.۵۳	۲۰.۱۸	۲۳۵۹
مدل بهبود یافته	۱۵۶۵۰	۲۴.۳۶	۱۹.۳۶	۲۰۵۵
درصد اختلاف (٪)	-۱۹/۵	-۲۵/۱	-۴	-۱۲/۹

بر اساس جدول ۲ می‌توان در حالت بهبود یافته میزان نیروی آب اندازی را به اندازه ۱۹٫۵ درصد کاهش داد. با فرض این‌که حدود ۱۰ درصد وزن سکو را خرپاهای آب اندازی تشکیل می‌دهند که برابر با ۲۰۱ تن می‌شود، با این مقدار کاهش نیرو می‌توان کاهش ۲۰ تنی در خرپاها را انتظار داشت که با لحاظ نمودن ۶۱ تن کاهش وزن سکو ناشی از مخازن شناوری، در جمع ۸۱ تن کاهش وزن سکو را شاهد بود و وزن سکو را به ۱۹۳۶٫۳ تن یعنی به میزان تقریبی ۴٪ کاهش داد. با کاهش وزن شناوری حداقل فاصله تا کف از ۳۲٫۵۳ متر به ۲۴٫۳۶ کاهش می‌یابد که در وضعیت ایمن قرار دارد.

سکوی ۸ پایه:

- ارتفاع ریل آب اندازی بارج ۰٫۵ متر در نظر گرفته شده است.
- ضریب اصطکاک جنبشی برابر با ۰٫۱۱ منظور گردید.
- مقدار ۷٫۱ متر برای آبخور عقب و ۱٫۴۵ متر برای آبخور جلو لحاظ شده است که معادل ۳٫۸۸۵ درجه زاویه چرخش می‌باشد.
- وزن شناوری به ۱۹۴۰٫۷۳ تن تغییر یافت که متعاقباً وزن سکو به ۱۶۳۶٫۸۲ تن کاهش یافت.

در جدول ۳ حداکثر نیروی آب اندازی و حداقل فاصله تا کف برای مدل پایه و بهبود یافته سکوی ۸ پایه پس از تحلیل آورده شده است.

جدول ۳- نیرو آب اندازی و فاصله تا کف در مدل پایه و بهبود یافته سکوی ۸ پایه

سکوی ۸ پایه	حداکثر نیروی آب اندازی	حداقل فاصله تا کف	وزن سکو	وزن شناوری
	Kn	m	ton	ton
مدل پایه	۱۲۴۳۶	۲۷.۳	۱۶۶۲	۲۰۷۷
مدل بهبود یافته	۱۱۷۹۰	۱۵.۲	۱۶۳۳	۱۹۴۱
درصد اختلاف (٪)	-۵/۲	۴۴/۳	۱/۸	۶/۶

بر اساس جدول ۳ می‌توان در حالت بهبود یافته با کاهش ۵٫۲ درصدی نیروی آب اندازی و با فرض ۱۰ درصدی وزن خرپاهای آب اندازی کاهش ۴٫۳ تنی در خرپاها را انتظار داشت که با لحاظ نمودن ۲۵ تن کاهش وزن سکو ناشی از مخازن شناوری در جمع ۲۹٫۸ تن کاهش وزن سکو را شاهد بود و وزن سکو را به ۱۶۳۳ تن به میزان تقریبی ۲٪ کاهش داد. چنانچه ملاحظه می‌شود نیروی حداکثر آب اندازی وارده به سکوی ۴ پایه در مدل بهبود یافته (جدول ۶) در حدود ۱۹/۵ درصد کاهش را نشان می‌دهد. همچنین به دلیل کاهش حجم مخازن شناوری و وزن خرپاهای آب اندازی کاهش ۸۱ تنی را در وزن سکو شاهد خواهیم بود. کاهش فاصله تا کف در حدود ۲۵/۱ درصد می‌باشد که با توجه به حداقل لازم برای این فاصله که ۷ متر می باشد، قابل قبول می‌باشد.

همچنین برای سکوی ۸ پایه طبق جدول ۳ کاهش نیرو در حدود ۵/۲ درصد ملاحظه می‌شود. حداقل فاصله تا کف دریا نیز در حدود ۴۴ درصد کاهش یافته است که با توجه به حداقل لازم برای این فاصله که ۷ متر می‌باشد، قابل قبول می‌باشد. با کاهش حجم مخازن شناوری و وزن خرپاهای آب اندازی به مقدار مورد نیاز جهت اجرای عملیات وزن سکو کاهش ۲۹٫۳ تنی خواهد داشت.

با در نظر گرفتن میزان کاهشی که ناشی از بهبود عملیات آب اندازی حاصل گردیده است، در صورتی که هزینه خرید فولاد، ساخت، حمل، آب اندازی، عملیات نصب و بهره برداری از سکو به ازای هر کیلو ۱٫۰۰۰٫۰۰۰ ریال (۲۰ یورو) در نظر گرفته شود، بهبود در عملیات آب اندازی کاهش ۸ میلیارد تومانی برای سکوی ۴ پایه را در پی خواهد داشت.

از مقایسه‌ی نتایج حاصل شده از طرح اصلی و بهبود یافته می‌توان گفت که سکوی ۸ پایه نصب شده در خلیج فارس به طرح بهبود یافته شده نزدیک‌تر می‌باشد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1395.12.23.1.6]

۶- نتیجه گیری

از مطالعه پارامتری انجام شده بر روی عوامل موثر در فرآیند به آب اندازی که بر حداکثر فرورفتگی سکو در آب و همچنین حداکثر نیروی اعمال شده به سازه سکو تاثیر گذار هستند، نتایج زیر به صورت خلاصه حاصل گردید:

میزان چرخش اولیه بارج: برای هر دو سکوی ۴ و ۸ پایه با افزایش زاویه چرخش بیشترین نیروی وارد به تیر چرخشی کاهش می‌یابد که بیشترین کاهش در زاویای بزرگتر از ۲٫۵ درجه ملاحظه می-شود. این مقدار کاهش برای سکوی ۴ پایه تا حدود ۸ درصد و سکوی ۸ پایه تا ۲۱ درصد می‌باشد. در مورد مولفه‌ی حداقل فاصله سکو تا بستر دریا اگرچه افزایش زاویه چرخش بارج باعث کاهش فاصله تا کف می‌گردد. این مقدار کاهش برای سکوی ۴ پایه حدود ۵ درصد و سکوی ۸ پایه تا ۴ درصد می‌باشد. با توجه به ضوابط آیین نامه‌ها این مقدار کاهش، خطری را برای سکو ایجاد نمی‌نماید. همچنین افزایش زاویه چرخش باعث کاهش فاصله سکو از آب می-گردد که کاهش دوران تیر چرخشی بارج و کاهش سرعت سکو بر روی آن را به همراه خواهد داشت که این امر به کاهش نیرو و ضربه ناشی از شیرجه به اعضا منجر می‌گردد. در مورد بارج‌هایی با ارتفاع کم که نمی‌توان زوایای چرخش بالای ۲٫۵ درجه را ایجاد نمود لازم است با انتخاب آبخور مناسب شرایط را بهبود بخشید. به طور کلی پارامتر میزان چرخش از طریق کاهش نیروی وارد به تیر چرخشی در کاهش وزن خرپاهای به آب اندازی موثر خواهد بود.

پارامتر مخازن شناوری: برای هر دو سکوی ۴ و ۸ پایه با کاهش حجم مخازن بیشترین نیروی وارد به تیر چرخشی کاهش می‌یابد که دلیل عمده‌ی آن کاهش وزن مخازن نصب شده بر روی سکو و به تبع آن کاهش وزن کلی سکو می‌باشد. کاهش بیشینه نیروی آب اندازی برای سکوی ۴ پایه حدود ۵ درصد و سکوی ۸ پایه تا حدود ۲ درصد می‌باشد. این پارامتر بر روی حداقل فاصله تا کف دریا بیشترین تاثیر را دارد، زیرا کاهش حجم مخازن، ظرفیت شناوری سکو را کاهش می‌دهد و فرو رفتگی سکو در داخل آب پس از شیرجه زدن افزایش می‌یابد. این مقدار کاهش فاصله تا کف برای سکوی ۴ پایه تا حدود ۱۱ درصد و سکوی ۸ پایه در حدود ۱۷ درصد می‌باشد. این پارامتر با کاهش بیشترین نیروی وارد به تیر چرخشی و کاهش وزن سکو به صورت توام نقش بسیار موثرتری در کاهش وزن خرپاها و وزن کلی سکو دارد.

به طور کلی از پارامترهای موثر بر نیروی آب اندازی می‌توان به ترتیب پارامتر زاویه چرخش اولیه بارج، مخازن شناوری، آبخور بارج و شکل هندسی سکو را نام برد. پارامترهای دیگری نظیر اصطکاک بین سکو وبارج و جریان بیشتر تاثیرگذار بر ایمنی عملیات هستند. عامل موثر بر مولفه‌ی حداقل فاصله سکو تا کف دریا نیز مخازن شناوری می‌باشد.

با اعمال بهترین ترکیب پارامترهای فوق الذکر نیروی حداکثر آب اندازی وارده به سکوی ۴ پایه در طرح بهینه در حدود ۱۹٫۴٪ کاهش می‌یابد. همچنین به دلیل کاهش حجم مخازن شناوری و وزن خرپاهای آب اندازی کاهش ۸۱ تنی در وزن سکو یعنی ۴٪ ایجاد می‌گردد. کاهش فاصله تا کف در حدود ۲۵٫۱٪ می‌باشد که با توجه به حداقل لازم برای این فاصله که ۷ متر می باشد، قابل قبول می‌باشد. نیروی حداکثر آب اندازی وارده به سکوی ۸ پایه در طرح بهینه در حدود ۵٫۲٪ کاهش می‌یابد. همچنین به دلیل کاهش حجم مخازن شناوری و وزن خرپاهای آب اندازی کاهش ۲۹٫۸ تنی در وزن سکو معادل ۱.۸٪ ایجاد گردید. کاهش فاصله تا کف در حدود ۴۴٪ می‌باشد که با توجه به حداقل لازم برای این فاصله که ۷ متر می‌باشد، قابل قبول می‌باشد.

نتایج تحقیق حاضر نشان می دهد که کنترل و اصلاح عملیات به آب اندازی می تواند منجر به بهبود طراحی سکوهای شابلونی از نظر ابعاد و وزن گردیده و عملیات ساخت و اجرای این سکو ها را به طور قابل ملاحظه ای اقتصادی تر نماید.

مراجع

1- Jo, C. H., Kim, K. S., Lee, S. (2002), *Parametric study on offshore jacket launching*, Ocean engineering, vol. 29, pp. 1959-1979.

2- Honarvar, M., Pirooz, M. D., Bahaari, M. R., (2008), *A Physical and Numerical Modeling for Launching of Jackets (Case Study on Balal PLQ Platform)*, Journal of offshore mechanics and Arctic engineering, vol. 130,pp.101-109.

3- Bhattacharyya S., Idichandy V. (1985). *On experimental investigation of load-out, launching and upending of offshore steel jackets*. Applied Ocean Research, vol. 7, pp. 24-34.

4- American Petroleum Institute (API), (2000) *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms–Working Stress Design*, 21th Edition.

5- Resnick R., Halliday D., Kenneth K. S, (1992) *Physics*. Vol.1:Wiley.

6- SACS. 5.1, User Manual, Release 5, Revision 4.

7- Zakeri, A. (2013), *Analysis of offshore jacket launching*, MSc thesis, university of Isfhan. (In Persian).

8- Zakeri, A., Shanehsazzadeh, A (2013), *Study on effective parameters on launching to optimize offshore jackets*, 15th Conference on Marine Industry, Kish, Iran (In Persian).

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1395.12.23.1.6]