Archive of SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز بررسی اطلاعات علمی

ICOPMAS

www.SID.ir
www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

نهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی
ICOPMAS 2010
10- 8 آذر ماه (تهران)

بررسی و مقایسه روش های کاربردی ساخت پایه در سازه جک آپ

احمد رهبر رنجی ، استادیار ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر ، rahbar@aut.ac.ir
مرضیه هاشم زاده ، دانشجوی کارشناسی ارشد ، شرکت صنایع فراساحل ایران (صف)، m.hashemzadeh@saffgroup.com

کلمات کلیدی: پایه سازه جک‌آپ، روش ساخت F&G، المان‌های پایه

1- مقدمه

سکوهای جک‌آپ سازه‌های شناوری هستند که در هنگام انجام عملیات با جک‌کردن پایه‌های خود و قراردادن آنها بر روی بستر دریا به صورت یک سکوی ثابت با قابلیت عملیات حفاری در آب‌های تا عمق 100 متر، مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. این سازه‌ها به دلیل استقامت بالا و جابه‌جایی کوچک در برابر نیروهای محیطی در هنگام عملیات نسبت به سایر انواع دیگر سکوهای حفاری (مانند سکوهای نیمه‌شناور، کشتی‌های حفاری و ...) و همچنین توانایی انجام عملیات در عمق‌های مختلف، در دهه‌های اخیر مورد توجه بخش فراساحل قرار گرفته‌اند. از مهمترین دلایلی که سبب استقبال از این نوع سکوها جهت انجام حفاری اکتشافی و توسعه‌ای گردید، می‌توان به قابلیت‌های بالای انجام عملیات در آب-های نیمه‌عمیق، توانایی تطبیق با بارهای متغیر محیطی و تغییرشکل کوچک در برابر آنها و قابلیت بالای حمل و نقل بین نقاط مختلف با صرف کمترین هزینه اشاره نمود.

به منظور طراحی بهینه سکوهای جک‌آپ و بررسی دقیق‌تر سازه‌ای آنها، میزان خرابی‌ها در این سازه‌ها مورد مطالعه قرار داده شد. طبق آمار ثبت شده، در بین سالهای ۱۹۵۵ تا ۱۹۸۰سالانه به طور متوسط ۲/۸درصد جک‌آپ‌ها دچار آسیب‌دیدگی شده‌اند. بیشترین سهم از آسیب‌دیدگی جک‌آپ‌ها مربوط به پایه‌های آنها بوده که به علت گسیختگی و یا نشست نامتقارن بستر دریا زیر پایه‌ها و در معدود مواردی ضعف و گسیختگی اتصالات پایه‌ها رخ داده است. مواردی از آسیب‌دیدگی سازه‌ای این سکوها و یا حتی واژگونی آنها نیز ثبت شده است؛ لذا به منظور دستیابی هر چه بیشتر به طراحی بهینه‌تر و ایمن‌تر سکوهای جک‌آپ تلاش‌های فراوانی در بین سالهای ۱۹۵۵ تا ۱۹۷۰ میلادی در این زمینه صورت پذیرفت. در نتیجه پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در طراحی و ساختار سکوهای جک‌آپ و همچنین فرآیند ساخت آنها حاصل گردید. از جمله این پیشرفت‌ها می‌توان به طراحی و ساخت پایه‌های خرپایی به جای پایه‌های استوانه‌ای که شامل Rack، Chord، Brace، Internalها و همچنین طراحی و ساخت Spud canها، اشاره کرد. امروزه با پیشرفت دانش مهندسی در زمینه طراحی، ساخت و بهره‌برداری این سکوها میزان خسارت این سکوها به حداقل رسیده و این سازه‌ها تبدیل به سکوهای نسبتاً ایمن شده‌اند.

از آنجایی که سهم قابل توجهی از آسیب دیدگی در جک‌آپ‌ها مربوط به پایه‌های آنها بوده، از این رو چگونگی طراحی و ساخت پایه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر اساس امکانات کارخانه، دو روش متداول تحت لیسانس کمپانی F&G [1] آمریکا برای ساخت و نصب پایه‌های نسل جدید وجود داشته و روش‌های دیگر نیز که تحت لیسانس سایر کشورها معرفی می‌شوند، مشتق شده از این دو روش هستند. در این مقاله به معرفی، بررسی و مقایسه این دو روش پرداخته شده است. برای این منظور ساخت پایه یک سکوی جک‌آپ تا عمق عملیاتی 90 متر با دو روش مذکور مورد بررسی قرار گرفته و از نقطه نظر سهولت در ساخت و زمان ساخت با یکدیگر مقایسه شده‌اند. این مقایسه نشان می‌دهد که زمان ساخت پایه و نصب آن بر روی سازه در روش دوم به دلیل بهره‌گیری از امکانات ویژه ساخت کمتر از روش اول است. اطلاعات ثبت شده در بخش‌های کنترل پروژه شرکت‌های فراساحلی نیز این نکته را تصدیق نموده که زمان ساخت در روش دوم نسبت به روش اول در حدود پنج درصد از کل زمان ساخت پروژه کمتر است [1و2].

[1] . Friede & Goldman

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

2- المان‌های سازه‌ای در سکوی جک‌آپ

یک سکوی جک‌آپ ازنظر ساختاری به چهار قسمت بدنه، پایه، سامانه‌های جک و سامانه حفاری تقسیم بندی می‌شود. بدنه در یک سازه جک-آپ به صورت یک سازه آب‌بند و دو جداره ساخته می‌شود و شامل تیرچه، تیرهای طولی و عرضی، بالکهدها، براکت‌ها و سایر المان‌های سازه‌ای است. با توجه به این نکته که در زمان بالا بودن پایه‌ها بدنه جک‌آپ در حالت شناور در روی آب قرار می‌گیرد، طراحی و ساخت بدنه با رعایت تمام موارد آیین‌نامه‌های شناورها انجام می‌شود.

پایه‌ها نقش ستون‌ها و تکیه‌گاه‌ها را در سازه جک‌آپ دارند و مجموعه‌ای از المان‌های لوله‌ای و Rackها[1] هستند. پایه‌ها در واقع کلیه بارهای ناشی از وزن سازه و نیروهای محیطی را به فونداسیون سکو (که در واقع همان Spud Canها هستند) و از آنجا به بستر دریا انتقال می‌دهند. نحوه برش دندانه‌های Rack، اتصال Chordها و سایر المان‌های لوله‌ای پایه باید مطابق استانداردهای ساخت جک‌آپ باشد.[2] در شکل 1، نمونه‌ای از المان‌های پایه نشان داده شده است.

سامانه‌های جک در سازه‌های دریایی انواع مختلف دارند، ولی آنچه که امروزه در سکوهای جک‌آپ به علت دقت و قابلیت بالا در تنظیم ارتفاع پایه در عمق‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، عمدتا سامانه‌های فک هیدرولیکی و پینیونی است. نحوه طراحی و انتخاب سامانه‌های جک باید به گونه‌ای باشد که دندانه‌ها توانایی تحمل وزن سازه را در هنگام عملیات پیش بارگذاری[3] و عملیات حفاری داشته باشند. سامانه‌های حفاری نیز از نظر توانایی و میزان کارایی، نسبت به عمق چاه و ژئوتکنیک کلی یک منطقه انتخاب می‌شوند [1].

3- نحوه ساخت المان‌ها در سازه پایه سکوی جک‌آپ و ساخت بلوک‌های تشکیل دهنده پایه

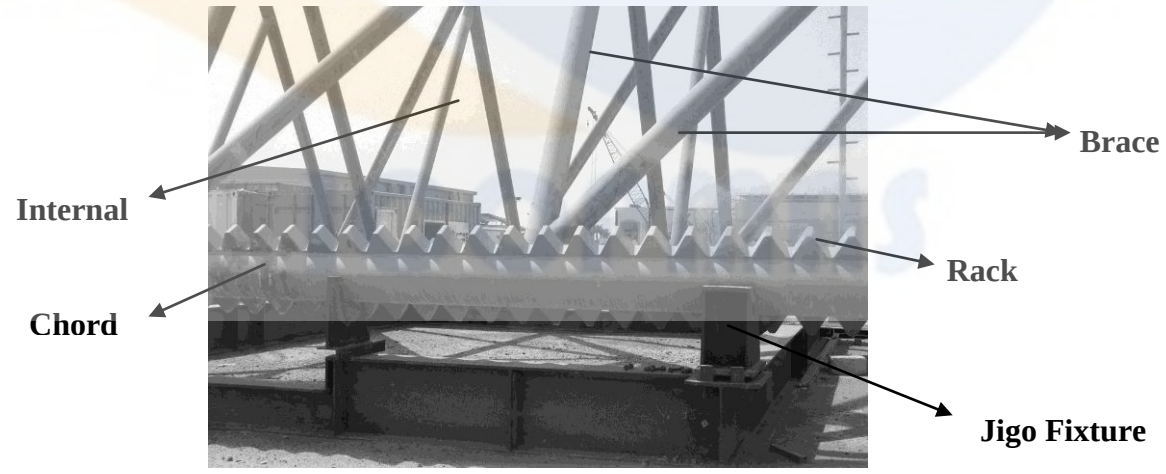
به منظور ساخت پایه‌های سکوی جک‌آپ، با توجه به طویل بودن پایه‌ها، در ابتدا تعدادی مشخص و معین از المان‌های تشکیل‌دهنده پایه به یکدیگر متصل گردیده و بلوک‌های تشکیل دهنده پایه با طول‌های محدود ساخته می‌شود. پس از ساخته شدن بلوک‌ها، با توجه به فرآیند ساخت پایه بر روی یکدیگر سرهم شده و نهایتا ساخت پایه‌ها تکمیل می‌گردد. یکی از مهمترین مراحل ساخت سکوی جک‌آپ، ساخت المان-های پایه آن است. در حالت کلی فرآیند ساخت هر یک از بلوک‌های اصلی تشکیل دهنده پایه را می‌توان به صورت ذیل تقسیم‌بندی نمود:

(1) آماده سازی Rack: ورق‌هایی به عرض حدود ۴۵۰ میلیمتر، ضخامت حدود۱۶۰-۱۳۰ میلیمتر و به طول 4000-3500 میلیمتر به صورت دندانه‌دار استاندارد، در کوره و در دمای حدود $140^{\circ}C$ برش داده می‌شوند.

(2) اجرای اتصالات اصلی: اتصال Chordها والمان‌های K-Beam توسط جوش در همان دما به Rackها.

(3) تکمیل قسمت‌های پایه: قرار دادن قطعات آمده شده درون Brace (Jigo fixture[4]) و سرهم‌بندی کردن قسمت‌های پایه‌ها توسط جوش واضافه کردن قطعات تکمیلی.

لازم به ذکر است با توجه به استانداردهای مربوطه، طول بلوک‌های آماده شده از پایه در این مرحله در حدود 7/5 متر است [3].



شکل ۱) نمایی از سرهم بندی پایه بر روی Jigo fixture

[1] . ورق‌های ضخیم با دندانه‌های استاندارد

[2] . استانداردهای مورد توجه بسیاری از کارفرمایان برای ساخت سکوهای جک‌آپ، عموما استانداردهای ABS و DNV هستند.

[3]. Preload

[4] . این Fixtureها به منظور کاهش تمرکز تنش و تغییر شکل ناشی از جوشکاری با ایجاد نیروی کششی بکار می‌روند. بدین ترتیب می‌توان میزان رواداری‌ها را نیز کاهش داد.

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

4- عوامل موثر در انتخاب روش ساخت سکوی جک‌آپ

عموما عوامل بسیاری همچون امکانات و تجربه ساخت در کارخانه، عمق آب و ... در انتخاب مناسبترین روش جهت ساخت سکوی جک‌آپ دخیل هستند. به طور کلی عوامل موثر در انتخاب روش ساخت سکوی جک‌آپ را می‌توان به صورت ذیل دسته‌بندی نمود:

(1) فونداسیون مناسب جهت ساخت سکو بر روی آن: فونداسیون باید قابلیت تحمل وزن سازه را داشته و از نشست جلوگیری کند.

(2) ابعاد و ظرفیت جرثقیل‌ها و دیگر وسائط و امکانات جابه‌جا نمودن بلوک‌ها و تجهیزات: هر چه میزان ظرفیت باربری جرثقیل‌های مستقر در کارخانه بیشتر باشد، زمان مونتاژ پایه‌ها کوتاه‌تر می‌شود. همچنین می‌توان از روش‌های مناسبتری را جهت ساخت انتخاب نمود (برای مثال سرهم‌بندی قسمت‌های بیشتری در روی زمین صورت پذیرفته و بلوک‌های سرهم‌بندی شده سنگین‌تری توسط جرثقیل در ارتفاع نصب می‌گردند).

(3) امکانات و شرایط به آب‌اندازی سازه: شرایط به آب‌اندازی یکی از مهمترین عوامل ساخت سازه‌های دریایی است. در واقع هر چه شرایط به آب اندازی مساعدتر بوده و تجهیزات و امکانات به‌آب اندازی ظرفیت بالاتری داشته باشند، بخش‌های بیشتری از سازه را می‌توان در شرایط خشکی آماده کرد. از آن جایی که اجرای پروژه در خشکی با سرعت و دقت بالاتری میسر است، زمان اجرا کاهش و کیفیت آن بهبود بیشتری می‌یابد.

(4) عمق آب: درصورتی‌که عمق آب مناسب نباشد، سازه‌های با وزن و ارتفاع (آبخور) زیاد ممکن است با بستر دریا برخورد نمایند.

بدین ترتیب بر حسب نوع سازه و میزان پیچیدگی‌های فرآیند ساخت آن، وزن و حجم آن و شرایط فوق باید مناسبترین روش برای ساخت سازه انتخاب شود. در حالتی که شرایط 3،1 و 4 ثابت بوده و یکسان فرض شوند، کمپانی F&G آمریکا با در نظر گرفتن شرایط (2) (میزان ظرفیت جرثقیل‌ها و سایر ادوات حمل و نقل قطعات)، دو روش ساخت پیشنهاد نموده که در ادامه (بخش 5) به معرفی و بررسی آنها می‌پردازیم.

5- روش‌های مونتاژ پایه

همان‌طور که در بخش 3 به طور مختصری تشریح شد، بعد از ساخت بلوک‌های تشکیل دهنده پایه سکوی جک‌آپ، به مونتاژ پایه می‌پردازند. به علت ارتفاع زیاد و وزن بالای بلوک‌های تشکیل دهنده پایه‌ها، انتخاب روش مونتاژ پایه‌ها باید به دقت و با در نظر گرفتن امکانات و ظرفیت‌های موجود کارخانه صورت پذیرد. عموما به منظور مونتاژ پایه‌ها دو روش استاندارد زیر وجود داشته که هر دو روش تحت لیسانس کمپانیF&G آمریکا طراحی و ارائه شده‌اند. لازم به توضیح است که انتخاب هر کدام از این روش‌ها به تجهیزات و امکانات کارخانه از جمله جرثقیل‌ها، وسایل حمل تجهیزات، امکانات جوشکاری و عوامل دیگر بستگی دارد:

(1) روش اول: اتصال قسمت‌های پایه از زیر محل پایه[1]

(2) روش دوم: اتصال قسمت‌های پایه از بالای محل پایه

5-1 روش اول: اتصال قسمت‌های پایه از زیر محل پایه

از این روش بیشتر در شرایطی استفاده می‌شود که ظرفیت جرثقیل‌های کارگاه محدود بوده و بنابراین در صورت پیاده‌سازی روش دوم (که به جرثقیل‌هایی با ظرفیت نسبتا بالاتر و طول بوم بیشتر نیازمند است) با محدودیت‌های زیادی در وزن و ارتفاع مواجه می‌شویم. به عنوان مثال به منظور ساخت و مونتاژ پایه‌های سکوی جک‌آپ ساخته شده در کارخانجات صدرا در شمال کشور از این روش استفاده شده است. عموما مراحل ساخت و مونتاژ پایه‌های سکوی جک‌آپ بر اساس این روش شامل مراحل زیر است:

(1) ساخت سازه بدنه بر روی پایه[2] قرار گرفته شده بر روی Skid beam[3] (مرحله اول در شکل 2)

(2) نصب اولین بلوک پایه‌ها به وسیله جک‌های زمینی: برای نصب بلوک‌های اولیه پایه آنها را در موقعیت مناسب در زیر محل پایه قرار داده و به وسیله جک‌های زمینی آن را بالا برده تا اولین دندانه Rack به پینیون سامانه جک سازه برسد، پس از آن سامانه جک را روشن کرده و این بلوک از پایه را تا جایی که حدود یک متر انتهای آن از زیر سازه بیرون بماند، بالا می‌برند(مرحله دوم در شکل 2).

(3) نصب بلوک‌های پایه به وسیله سامانه جک سازه: در این مرحله بلوک‌های بعدی را در جای مناسب زیر محل پایه در زیر بدنه قرار داده و پس از تنظیمات عمودی توسط سامانه جک سازه بر روی بلوکی که در داخل بدنه قرار داشته، لبه این بلوک با بلوک جدیدی که در زیر سازه قرار داده شده تماس داده شده و نهایتا به یکدیگر جوش داده می‌شوند. سپس سامانه جک سازه روشن شده و پایه تا

---

[1]. Leg Well

[2]. Saddle

[3]. نشیمنگاه موقت ریل دار

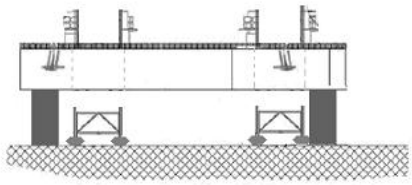
www.SID.ir

www.SID.ir

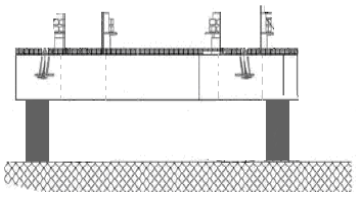
Archive of SID

جایی که حدود یک متر از آن از زیر بدنه باقی بماند، بالا می‌رود. این روند تا جایی ادامه می‌یابد که از نظر طولی ساخت پایه‌ها به اتمام رسد (مرحله سوم در شکل 2).

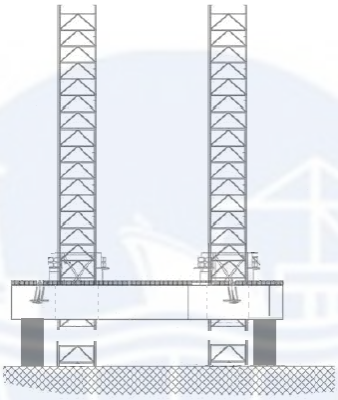
(4) نصب اسپادکن‌ها و به آب‌اندازی سکو (مرحله پایانی در شکل 2).



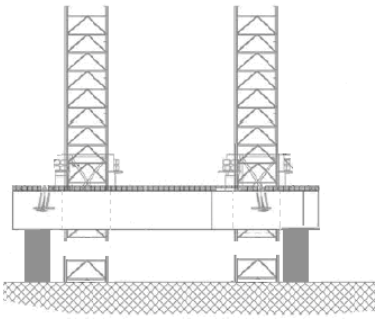
مرحله دوم مونتاژ سکوی جک‌آپ به روش اول : اتصال اولین بلوک پایه به بدنه توسط جک زمینی



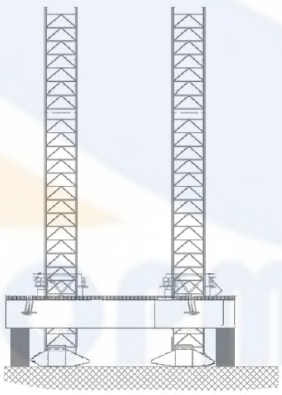
مرحله اول مونتاژ سکوی جک‌آپ به روش اول : ساخت بدنه سکوی جک‌آپ بر روی saddle



مرحله سوم مونتاژ سکوی جک‌آپ به روش اول : اتمام کار ساخت پایه‌ها از نظر طولی



مرحله سوم مونتاژ سکوی جک‌آپ به روش اول : مراحل تکمیلی ساخت پایه توسط سامانه جک کننده سازه جک‌آپ



مرحله پایانی: ساخت اسپادکن‌ها و اتصال قسمت اسپادکن‌ها

شکل 2) مراحل مونتاژ پایه طبق روش اول

2-5 روش دوم: اتصال قسمت‌های پایه از بالای محل پایه

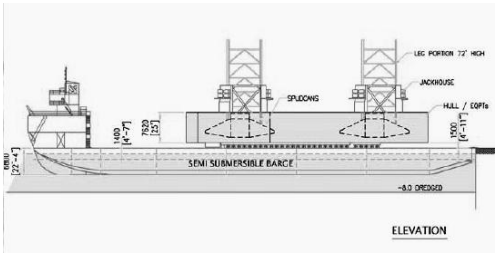
به منظور پیاده‌سازی این روش اجرا، در نظر گرفتن امکانات کارخانه و فراهم بودن شرایط مناسب نصب نظیر در دسترس بودن جرثقیل با ظرفیت مناسب (هم از نظر وزن و هم از نظر ارتفاع) الزامی است. ساخت و مونتاژ پایه‌ها بر اساس این روش، شامل مراحل زیر است:

(1) ساخت بدنه و قرار دادن اسپادکن‌ها و قسمت‌های پائینی پایه: در این مرحله از ابتدای فرآیند ساخت بدنه سکو، ورق‌ها و اسپادکن‌ها بر روی Skid beamها با توجه به محل قرارگیری آنها نسبت به یکدیگر قرار داده می‌شوند. تکمیل بدنه شامل اتصال ورق‌های کف،

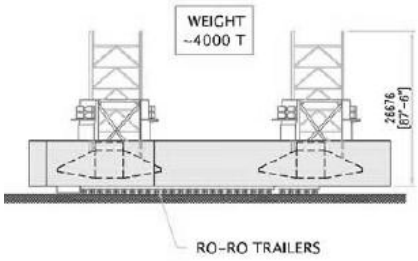
www.SID.ir

Archive of SID

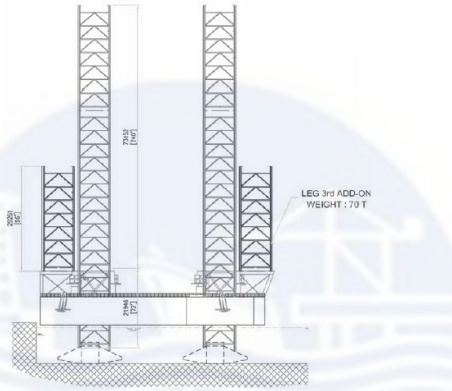
Archive of SID



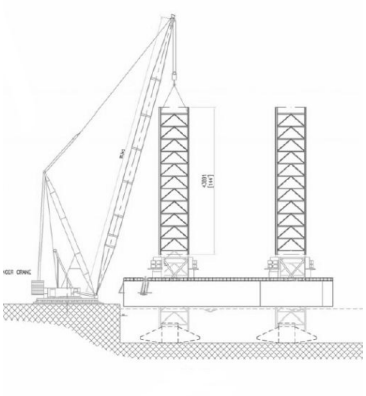
مرحله دوم مونتاژ سکوی جک‌آپ به روش دوم: انتقال سازه بدنه توسط skid و beam و Push & Pull jack بر روی بارج



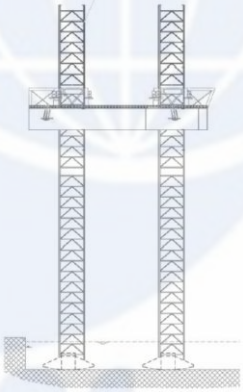
مرحله اول مونتاژ سکوی جک‌آپ به روش دوم: ساخت بدنه سکوی جک‌آپ بر روی سامانه skid



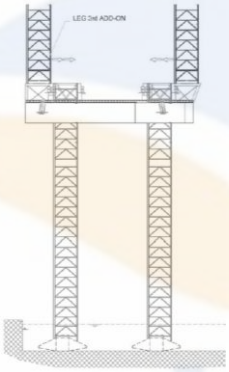
مرحله سوم مونتاژ سازه جک‌آپ به روش دوم: قرار دادن بلوک‌های پایانی پایه‌ها بر روی skidها توسط جرثقیل‌های ساحلی



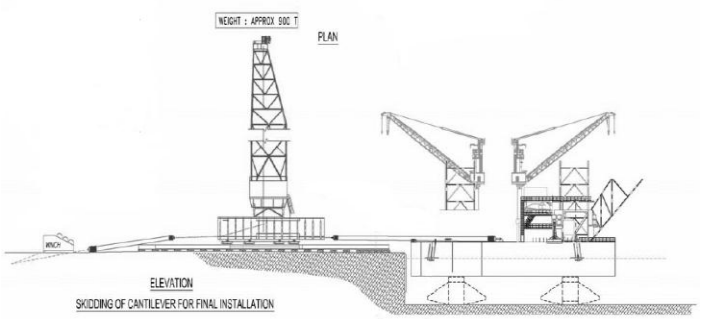
مرحله سوم مونتاژ سازه جک‌آپ به روش دوم: نصب بلوک‌های پایه‌ها توسط جرثقیل تا میزان ارتفاعی که جرثقیل ظرفیت دارد



مرحله سوم مونتاژ سازه جک‌آپ به روش دوم: جوش دادن بلوک‌های پایانی به انتهای پایه‌ها و تکمیل ساخت پایه‌ها از نظر طولی



مرحله سوم مونتاژ سازه جک‌آپ به روش دوم: جک شدن بدنه بر روی پایه‌ها و قرار دادن بلوک‌ها در ارتفاع مناسب و skid کردن بلوک‌های پایه به انتهای بالایی پایه‌ها



مرحله سوم مونتاژ سازه جک‌آپ به روش دوم: برداشتن سامانه‌های skid و نصب تجهیزات سکو

شکل 3) مراحل مونتاژ پایه طبق روش دوم

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

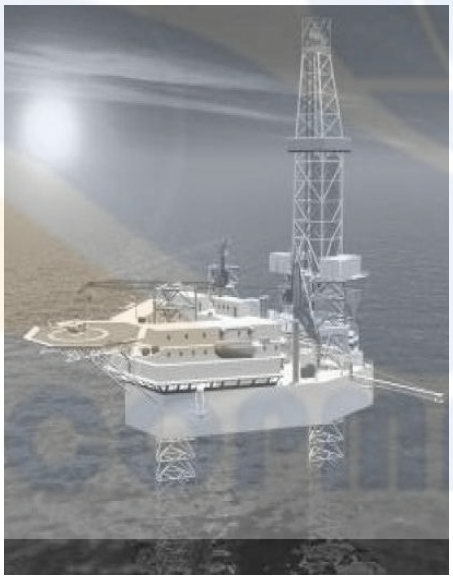
دیواره بالکهدها[1] و سایر قسمت‌ها و همچنین بلوک‌های پایه از اسپادکن‌ها تا عرشه در روی Skid beamها صورت می‌گیرد (مرحله اول در شکل 3).

(2) انتقال سازه توسط سامانه‌های جابجائی بر روی بارج: سازه را با استفاده از Skid beam و Push & Pull jack به نزدیکی اسکله آورده و به روی بارج منتقل می‌نمایند. پس از انتقال سازه بر روی بارج، بارج به نحوی در کنار اسکله پهلو می‌گیرد که اصولاً دو پایه سکو به سمت اسکله قرار گیرد. این کار سبب می‌گردد که نصب پایه‌ها با سهولت بیشتر و با صرف زمان کمتر صورت پذیرفته و همچنین تجهیز سازی بلوک‌های پایه بر روی جک‌آپ با سرعت بیشتری انجام پذیرد (مرحله دوم در شکل 3).

(3) نصب پایه‌ها و تجهیزسازی سکوی جک‌آپ: در این مرحله به کمک جرثقیل‌های ساحلی بلوک‌های بعدی پایه به بلوک‌های اولیه پایه که در هنگام ساخت بدنه در داخل بدنه قرار داده شده بودند و ارتفاع آنها تا اندکی بالای عرشه ادامه دارد، جوش داده می‌شود. این فرآیند تا جایی که جرثقیل بتواند بلوک‌ها را تا ارتفاع مورد نیاز بر روی بالای پایه‌ها قرار دهد، ادامه می‌یابد. سپس به کمک جرثقیل-های ساحلی بلوک‌های پایانی پایه‌ها روی سامانه‌های Skid تعبیه شده بر روی عرشه قرار گرفته و با جک کردن سازه بر روی پایه-ها و قرار گرفتن در ارتفاع مناسب، این بلوک‌ها جهت نصب بر روی انتهای بالایی پایه‌ها آماده می‌شوند. در واقع بلوک‌های پایانی به انتهای پایه‌های جوش داده شده در مراحل قبل، منتقل می‌شوند. بعد از آن با استفاده از Skid beam و Push & Pull jack، این بلوک‌ها در محل مناسب جوش داده می‌شوند. در نهایت با اتمام مونتاژ پایه‌ها، بدنه سکو به سمت پایین جک شده و سامانه‌های Skid از روی عرشه برداشته شده و سایر تجهیزات سکو بر روی آن نصب می‌گردند (مرحله سوم در شکل 3) [4].

6- مقایسه دو روش مونتاژ پایه‌ها در ساخت سکوی جک‌آپ Super M2

جک‌آپ مورد بررسی (شکل 4) یکی از رایج‌ترین مدل‌های سکوی جک‌آپ حفاری است که توسط کمپانی F&G طراحی شده است. مشخصات عمومی این سکوی حفاری در جدول شماره 1 ارائه شده است. به منظور بررسی و مقایسه سرعت اجرایی نمودن هر یک از روش‌های مونتاژ پایه لازم است سرعت جوشکاری و شرایط آن از یک سو و همچنین قابلیت سازماندهی و فعالیت موازی در پیاده‌سازی هر دو روش مونتاژ پایه‌ها از سویی دیگر بررسی شده و مورد ارزیابی قرار گیرد.



شکل 4) نمای شماتیک از یک سکوی جک‌آپ Super M2

نخست به بررسی سرعت جوشکاری در هر یک از دو روش مونتاژ پایه‌ها می‌پردازیم. بدین منظور در ابتدا لازم است، مشخصات المان‌های مورد استفاده در پایه سازه جک‌آپ به صورت دقیق تعیین گردد تا بتوان نوع اتصال جوش المان‌ها به یکدیگر را مشخص نموده و نهایتا برآورد حجم و وزن جوشکاری و همچنین سایر موارد ساخت را مشخص نمود. این مشخصات به صورت مختصر در جدول شماره 2 ارائه شده است. با استفاده از مشخصات المان‌ها، نقشه‌های مهندسی و محاسبات انجام شده و مقایسه آنها با مدارک پروژه، عملیات متره در نقشه‌های اجرایی به صورت جزئی انجام پذیرفته که نتیجه این محاسبات در ردیف پایانی جدول 2 ارائه شده است. به منظور برآورد میزان وزن جوش، ابتدا سطح مقطع هر

[1]. Bulkhead

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

سرجوش را با توجه به نقشه‌های مهندسی استخراج و در طول جوش آن سرجوش ضرب نموده تا حجم جوش آن سرجوش تعیین گردد. سپس با مشخص بودن چگالی مخلوط الکترود و فولاد، مقدار وزن تقریبی جوش محاسبه می‌گردد. اما به منظور تعیین تقریبی سرعت جوشکاری در هر یک از دو روش مونتاژ پایه‌ها، علاوه بر تعیین وزن جوش (که در هر دو روش برابر است)، بایستی حجم عملیات جوشکاری برای هر یک از موقعیت‌های جوشکاری (که نمونه‌ای از این موقعیت‌ها در شکل 5 نشان داده شده است) در هر یک از این دو روش مونتاژ پایه‌ها تعیین گردد. در جدول 3 میزان حجم عملیات جوشکاری در هر یک از موقعیت‌های جوشکاری برای هر یک از روش‌های مونتاژ پایه‌ها به تفکیک ارائه شده است. با توجه به این نکته که میزان تبحر تکنسین‌های جوشکاری در هر یک از موقعیت‌های جوشکاری متفاوت است، محاسبه دقیق زمان جوشکاری در هر یک از دو روش مونتاژ پایه‌ها به دلیل تاثیر بارز فاکتورهای انسانی و طیف وسیع تغییرات در کارایی آنها بسیار دشوار بوده و با خطای زیادی همراه است. اما از سویی دیگر بررسی اسناد کنترل پروژه در ساخت این سکوی جک‌آپ نشان می‌دهد که سرعت جوشکاری در روش دوم در حدود 5 درصد نسبت به روش اول بیشتر است. با بررسی کیفی جدول شماره 3 و مقایسه حجم جوشکاری در هر یک از موقعیت-های جوشکاری برای هر یک از دو روش مونتاژ پایه‌ها و همچنین مشخص بودن وزن تقریبی جوش (جدول 2)، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که در عمل احجام جوشکاری در هر یک از موقعیت‌های جوشکاری، در هر یک از این دو روش با یکدیگر تفاوت چندانی ندارند، در صورتی که فرآیند جوشکاری در روش دوم سریعتر (در حدود 5 درصد) صورت می‌پذیرد. با بررسی‌های کارگاهی صورت پذیرفته مشخص گردید که در این میان فاکتور امکانات کارگاهی در روش دوم تاثیر محسوسی در کاهش زمان جوشکاری دارد. در روش اول می‌بایست هر یک از قسمت‌های پایه‌های سکوی جک‌آپ به طور جداگانه به زیر سازه بدنه سکو برده شده و به سمت بالا جک شده و به انتهای پایه سکو متصل شوند. در صورتی که در روش اول چندین قسمت از پایه می‌تواند در کارگاه به طور جداگانه ساخته شده و بر روی یکدیگر در کارگاه سرهم‌بندی شده و نهایتا بلوک‌های تشکیل شده با توجه به ظرفیت جرثقیل‌های کارگاه بر روی بخش بالایی پایه‌ها، در سکوی جک‌آپ نصب شوند. بنابراین در روش دوم در فرآیند نصب قسمت‌ها بر روی یکدیگر و تشکیل بلوک، می‌توان از امکانات کارگاهی موجود، همچون قابلیت‌های بالای کارگاه برای پیش‌گرم نمودن، سهولت بیشتر برای تست رایوگرافی جوش در کارگاه و ... بهره‌گیری نمود؛ که فراهم نمودن چنین امکاناتی در روش اول (که در زیر سازه بدنه اجرا می‌شود) به دلیل اتصال قسمت‌ها به پایه در خارج از کارگاه با محدودیت‌های زیادی همراه است. به طور مثال در روش دوم پس از اتصال قسمت‌ها به یکدیگر به سهولت می‌توان بلوک تشکیل یافته را در محلی مناسب تحت تست رایوگرافی قرار داد. در صورتی که در روش اول، انجام تست رایوگرافی (که لزوما در زیر بدنه سازه صورت می‌پذیرد) سبب می‌گردد که کلیه فعالیت‌های جوشکاری در پایه‌ها و بدنه و همچنین سایر فعالیت‌ها همچون نصب تجهیزات و نصب لوله[1] و ... در بدنه به طور موقت متوقف گردیده و سازه بدنه و پایه‌ها و محیط نزدیک به محل تست از نیروی انسانی تخلیه شده و تست رایوگرافی صورت پذیرد. بنابر دلایل کارگاهی مذکور علی‌رغم حجم‌های جوشکاری تقریبا یکسان در کلیه موقعیت‌های جوشکاری در هر یک از این دو روش، زمان جوشکاری در روش دوم نسبت به روش اول به صورت غیرمستقیم در حدود 5 در صد کوتاهتر است.

جدول شماره ۱) مشخصات جک‌آپ مورد مطالعه و شرایط محیطی کاری آن

Characteristics		Environmental Operating Conditions		
Length overall	70m		Survival	Operation
Breadth overall	60m	Water depth	91m	76.5m
Depth of hull	7.5m-8m	Max wave height	15.5m	16.5m
Hull camber	0m	Wave period	13.5s	13.5s
Total length of legs	125m	Max wind velocity	100 knot	100knot
Total length of spud cans	4.5m	Current	0knot	0knot
Diameter of spud cans	12.5m	Air gap	11m	13m
Depth of spud can	4.5	Penetration	3m	3m

از سویی دیگر یکی از مهمترین فاکتورهای کاهش زمان اجرای فرآیند مونتاژ پایه‌ها در روش دوم، قابلیت اجرای موازی فرآیند سرهم‌بندی قسمت‌های پایه و تشکیل چندین بلوک به طور همزمان و انجام تست‌های رایوگرافی و ... به صورت همزمان در این روش است؛ ولی در روش اول به دلیل اتصال قسمت‌ها به طور مجزا به پایه‌ها در زیر بدنه سازه، چنین قابلیتی وجود ندارد. لازم به توضیح است که در روش اول به دلیل محدودیت در ارتفاع فضای موجود در زیر سازه بدنه در حال ساخت، نمی‌توان بلوک‌های مرتفع را از زیر به پایه متصل کرد. ولی در صورتی که

[1] Piping

www.SID.ir

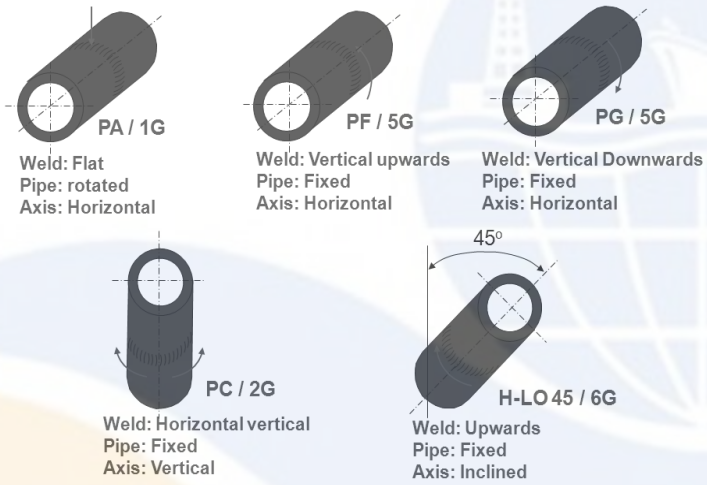
www.SID.ir

Archive of SID

روش دوم جهت مونتاژ پایه‌ها انتخاب گردد، چندین گروه کاری به صورت موازی می‌توانند فعالیت ساخت قسمت‌ها را به اتمام رسانده و با توجه به ظرفیت جرثقیل کارگاه قسمت‌های پایه را به صورت هم‌زمان سرهم‌بندی کرده و چندین بلوک آماده برای نصب را تولید نمایند. بر اساس بررسی اسناد کنترل پروژه ساخت سکوی جک‌آپ تحت بررسی مشخص گردید که فعالیت مونتاژ پایه‌ها بر اساس روش دوم در حدود 20 درصد زمان کمتری را نسبت به روش اول به خود اختصاص داده که در این میان در حدود 15 در صد از این صرفه‌جویی در زمان مربوط به امکان فعالیت چندین گروه کاری به صورت موازی در این روش بوده و در حدود 5 در صد نیز به طور غیر مستقیم مربوط به کاهش زمان جوشکاری و انجام تستهای مربوطه است. بر این اساس با بررسی زمان اجرای کل پروژه در اسناد کنترل پروژه موجود مشخص گردید که اجرایی نمودن روش دوم برای مونتاژ پایه‌ها می‌تواند تا حدود 5 در صد سبب کاهش در زمان اجرای کل پروژه گردد [4و5].

جدول شماره 2) مشخصات المان‌های سازه ای پایه در یک سازه جک‌آپ مدل Super M2، تعداد سرجوش‌ها و وزن جوش در این المان‌ها

المان‌های سازه ای در پایه	Rack-Rack	Chord-Chord	Brace	Internal
قطر(mm)	440	380	220	170
ضخامت(mm)	127 -152	32	18	9/5
تعداد سرجوش‌ها	153	306	1494	612
وزن جوش (mton)	12	5	10	1



شکل 5) موقعیت مختلف جوشکاری پروفیل لوله

جدول شماره 3) مقایسه موقعیت‌های مختلف جوشکاری در روش‌های ساخت پایه در سکوی جک‌آپ

Joint Type	Method of Leg Assembly	PC/2G	H-LO 45/6G	PG/5G	Horizontal/ 1G	Horizontal/ 2G	Vertical/ 3G
Internal	First		100%				
	Second		100%				
Brace	First	25-35%	25-35%	40-50%			
	Second	20-30%	25-35%	35-45%			
Chord-Chord	First	100%					
	Second	20-30%		70-80%			
Rack-Rack	First					100%	
	Second				20-30%	70-80%	
Rack-Chord	First						100%
	Second					50-60%	40-50%

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

7- بحث و نتیجه گیری

با توجه به امکانات و شرایط کارخانه و سازه هر دو روش توضیح داده شده جهت مونتاژ پایه‌ها، جزء تکنولوژی‌های پیشرفته در ساخت سکوهای جک‌آپ محسوب می‌شوند. بر اساس بررسی‌های صورت پذیرفته مشخص گردید که در روش دوم به علت امکان استفاده از جوشکاری زیر پودری و اتوماتیک بیشتر، سرعت جوشکاری به میزان جزئی افزایش می‌یابد. اما دلیل افزایش 5 درصدی سرعت جوشکاری در روش دوم نسبت به روش اول، امکان بهره‌گیری از امکانات مناسبتر در کارگاه در هنگام سرهم‌بندی قسمت‌های پایه و تشکیل بلوک‌های پایه است. همچنین امکان فعالیت چندین گروه به طور موازی جهت ساخت و سرهم‌بندی قسمت‌های پایه‌ها و تشکیل بلوک‌ها در روش دوم، سبب صرفه‌جویی در زمان مونتاژ پایه‌ها به میزان حدودی 15 درصد نسبت به روش اول می‌گردد. صرفه‌جویی 20 درصدی در کاهش زمان مونتاژ پایه‌ها در روش دوم نسبت به روش اول می‌تواند سبب صرف‌جویی تا حدود 5 درصد در زمان اجرای کل پروژه گردد. لازم به توضیح است که پیاده‌سازی روش اجرایی دوم نیازمند بهره‌گیری از جرثقیل‌ها و امکانات جابه‌جایی با ظرفیت مناسب بوده و در صورت محدودیت در موارد مذکور پیاده‌سازی روش اول در کارخانه اجتناب ناپذیر خواهد بود.

تشکرو قدردانی

با تشکر از مساعدت معنوی و علمی مدیریت محترم شرکت صنایع فراساحل (صف) و واحد کنترل پروژه و واحد ساخت آن شرکت محترم که اینجانبان را در به‌ثمر رساندن این تحقیق یاری فرمودند.

8- منابع

[1] Tirant, P.L., Perol, C. (1993), Stability & Operation of Jack ups.

[2] Dier, A., Carroll, B., Abolfathi, S. (2004), Guidelines for Jack-up Rigs with Particular Reference to Foundation Integrity, Health &Safety Executive, research report 289.

[3] American Bureau of Shipping(ABS), (2006),'' Mobile Offshore Drilling Units'' .

[4] Super M2 Construction Sequence1 Report, (2008), F&G Company Report.

[5] Pargeter, R.J. (1989), The Weld Ability of Steels Used in Jack-Up Drilling Platforms, Marine Structures Journal, Vol.2, Issues 3-5, 255-264.

www.SID.ir

www.SID.ir