

## ده سال تجربه استفاده از سکوهای خود بالا رو برای شناسایی‌های ژئوتکنیکی

علی فاخر : دانشیار دانشکده فنی دانشگاه تهران - مهندسین مشاور ساحل  
بدیل پهلوان : دکترای زمین شناسی مهندسی - مهندسین مشاور ساحل  
اکبر چشمی : دانشجوی دکترای زمین شناسی دانشگاه تربیت مدرس، مهندسین مشاور ساحل  
سید جعفر هاشمی علوی : کارشناس زمین شناسی، بخش ژئوتکنیک مهندسین مشاور ساحل  
سید مهدی کاظمی نژاد : کارشناس ژئوتکنیک، بخش ژئوتکنیک مهندسین مشاور ساحل

### چکیده

این مقاله در تکمیل مقاله قبلی مولفین در شش سال قبل است که تجربیات ذیل را تا آن تاریخ ذکر می‌کرد. این تجربیات عبارتست از (الف) ارزیابی عملکرد سیستم‌های بالابر هیدرولیکی و تیفوری سکوها؛ (ب) تجربه استفاده از کفشک‌های مختلف برای پایه‌ها در شرایط مختلف بستر دریا؛ (ج) حمل، لنگر اندازی و بالابردن سکو، فرو کردن پایه‌ها در بستر دریا و کنترل نشست. برخی از تجربیات جدید که در مقاله قبلی به آن اشاره نشده است حاصل از بررسی حوادثی می‌باشد که چک آپ‌های مورد نظر با آن مواجه شده‌اند.

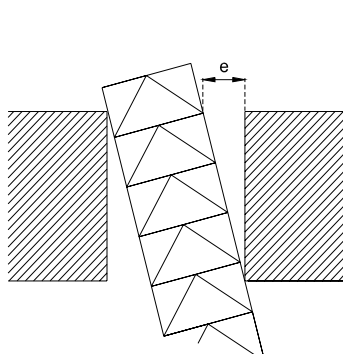
### ۱- مقدمه

استفاده از سکوهای خودبالارو در شناسایی‌های ژئوتکنیکی در ایران و جهان استفاده روز افزون داشته و دارد. لذا اقدام به تدوین تجربیات چندین ساله مولفین گردید که در طی ۱۷ پروژه و با استفاده از سه چک‌آپ بارج، در سواحل شمالی و جنوبی کشور و برخی رودخانه‌ها کسب شده است. که مشکل ابتدایی حفر گمانه در دریا و رودخانه عبارت از ایجاد محل استقرار تجهیزات حفاری و نمونه‌گیری می‌باشد. بنحویکه حرکات سطح آب موجب تغییر مکان قائم تجهیزات حفاری نشود (Sheffield, 1980). جهت حل این مشکل میتوان استفاده از سکوهای خود بالارو یا چک‌آپ‌ها (Jack-up) را بعنوان متداول ترین روش حفاری ژئوتکنیکی قلمداد کرد. با توجه به محیط دریا چک‌آپ‌ها در طول عمر خود ممکن است دچار سوانح مختلفی شود. اصولاً چک‌آپ‌ها پرحادثه‌ترین سازه‌های دریا رو هستند (Gerwick, 1986). توصیه‌های آیین نامه‌های بین المللی معمولاً برای چک‌آپ‌های بزرگ است که عمدتاً برای مقاصد نفتی و استخراج نفت از دریا استفاده می‌شود. اصول کلی ایمنی برای چک‌آپ‌ها در مقاله دیگری آمده است (Fakher & Pahlavan, 2000). از آنجایی که چک‌آپ‌های ژئوتکنیکی به منظور شناسایی ژئوتکنیکی بکار گرفته می‌شوند، مستقر کردن آنها در موقعیت مورد نظر نباید نیازمند شناسایی قبلی باشد. این امر مستلزم کم وزن بودن آنها می‌باشد. لذا چک‌آپ‌های ژئوتکنیکی چندان بزرگ نبوده و عمدتاً در عمق‌های کم (حداکثر ۲۰ متر) فعالیت می‌کنند. به منظور شناسایی ژئوتکنیکی در عمق‌های بیشتر از ۲۰ متر از شناور بدلیل فنی و اقتصادی استفاده می‌شود. در این شناورها حرکات قائم شناور با استفاده از مستهلک کننده‌های حرکات قائم (Heave Compensator) مهار می‌شود (فاخر و همکاران، ۱۳۷۸).

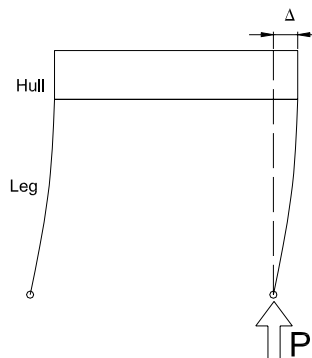
### ۲- بررسی نیروهای وارد بر چک‌آپ‌ها

کلی بارهای مؤثری که بر یک چک‌آپ وارد می‌شوند عبارت از بارهای دائمی (مثل وزن بدنه و پایه‌ها)، بارهای متغیر (مثل پرسنل، سوخت، دستگاه حفاری)، بارهای محیطی (مثل موج و جریان آب) هستند (Lui, 1991).

علاوه بر بارهای فوق الذکر بارهای ثانویه ناشی از دوران و تغییر شکل نیز وارد می‌شود که همانند شکل (۱) لنگری معادل  $P.\Delta$  در سازه ایجاد می‌کند. شکل (۲) نیز حالت دیگری از بروز بارهای ثانویه را نشان می‌دهد (Clarom, 1973). تجربیات حاصل از بررسی مشکلات بروز کرده در عملکرد جک‌آپ‌ها نشان می‌دهد که نیروهای ثانویه نقش مهمی دارند.



شکل ۲- تغییر مکان استاتیکی



شکل ۱- نیروی  $P.\Delta$  (نیروی برون محوری در پایه‌ها)

### ۳- مشخصات جک‌آپ بارج‌های مورد استفاده

سه جک‌آپ بارج طی ده سال با مشخصات مندرج در جدول (۱) استفاده شده است. جک‌آپ بارج‌های ایتالکو و ۱۱۰ از ابتدا برای حفاری‌های ژئوتکنیکی طراحی و ساخته شده‌اند ولی جک‌آپ ۱۰۶ با تغییرات اساسی جهت این منظور درآمده است.

جدول ۱- مشخصات جک‌آپ‌های بکار گرفته شده

نام	ساحل ۱۱۰	ایتالکو	ساحل ۱۰۶
تعداد پایه‌ها	۳	۳	۴
طول پایه‌ها (متر)	۱۲	۹	۱۲
کفشک	هشت ضلعی به قطر ۱۶۰ میلی متر	کفشک‌های پاردکی	کفشک فلزی توخالی به شکل هرم ناقص
مشخصات سطحه	سه مدول شناور با پلان دوزنقه‌ای قاعده ۹ متری	مستطیلی به ابعاد ۲/۴×۹ متر	مستطیلی به ابعاد ۶×۱۲×۱ متر با آب‌خور ۶۰ سانتیمتر
دستگاه حفاری معمول	HKP 100	Acker2	DB456
سیستم بالا بر	جک هیدرولیکی	جک هیدرولیکی	تیفوری

حداکثر عمق آب برای حفاری با سکوه‌های مذکور حدوداً ۱۳/۵ متر است. دو مورد حفاری در عمق آب بیشتر در بندر پتروشیمی پارس با استفاده از جک‌آپ بزرگتر انجام گرفته که تشریح آن در این مقاله نمی‌گنجد.

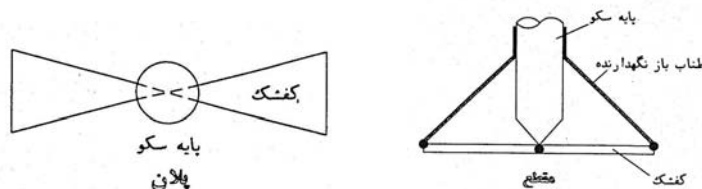
### ۴- ارزیابی عملی سیستم‌های مختلف بالابری

در سه جک‌آپ بارج معرفی شده متداولترین سیستم‌های بالابری یعنی سیستم تیفوری و سیستم هیدرولیکی بکار رفته است. لذا امکان مقایسه و ارزیابی عملی این دو سیستم در پروژه‌های مختلف فراهم آمد. جزئیات مقایسه در مقاله منتشر شده قبل (فاخر و همکاران، ۱۳۷۷) آمده است. بتدریج طی سالهای اخیر نتیجه‌گیری شد که برای جک‌آپ‌هایی که دائماً مورد استفاده قرار می‌گیرند، فقط از سیستم هیدرولیکی استفاده شود. زیرا سیستم هیدرولیکی سریع می‌باشد. مثلاً در سیستم بالابری جک‌آپ بارج ۱۱۰ که بصورت هیدرولیکی و با کورس جک حدود ۰/۵ متر است، عملیات بالا بردن از سطح آب حداکثر یک ساعت طول می‌کشد. در جک‌آپ بارج ۱۰۶ که از سیستم بالابری تیفوری استفاده شده است بعضاً حدود یک روز طول می‌کشد تا ۲ متر بالا بیاید. عدم امکان تحرک سریع در مواقع بحرانی مثل طوفان می‌تواند خطرآفرین باشد.

## ۵- بکارگیری کفشک‌های مختلف

طی پروژه‌های مختلف کفشک‌های پا اردکی، هرمی شکل و صفحه فلزی تجربه گردید. کفشک هرمی قبلاً ذکر شده است (فاخر و همکاران، ۱۳۷۷) و در اینجا نمی‌آید.

پایه‌های خود بالارو ایتالکو که عمدتاً برای حفاری در بسترهای لجنی طراحی شده است دارای کفشک‌هایی همچون پای‌اردک است (شکل ۳). پای اردک در هنگام فرو رفتن در لجن باز می‌شود لذا حداکثر مقاومت فشاری را بروز می‌دهد. اما در هنگام بالا آمدن که باید از لجن خارج گردد بسته می‌شود تا مقاومت کششی به حداقل برسد. استفاده از این نوع کفشک در عمل کارایی خود را اثبات نمود و مشکل ناشی از آن در پروژه‌های مختلف ملاحظه نگردید.



شکل ۳- کفشک پارردکی مورد استفاده در بسترهای لجنی

شکل کفشک پارردکی موجب می‌شود که ضریب جمله چسبندگی (Nc) در محاسبه ظرفیت باربری کمتر از مقدار آن در پی دایره‌ای باشد (پارنج، ۱۳۷۷). البته برای سکوه‌های خود بالارو بزرگ در بسترهای لجنی باید از پی‌های استفاده کرد (Tirant, 1979).

کفشک‌های سکوی ۱۱۰ به شکل صفحه فلزی چند ضلعی است این صفحات با نوارهای فلزی قائم تقویت می‌شوند تا صلیب خمشی کافی را بدست آورند. بکارگیری این کفشک‌ها در بسترهای خاکی متوسط تا محکم بسیار مناسب بوده است. اما تجربه حاصل از بکارگیری این نوع کفشک در بستر سنگی (مثلاً تنب بزرگ) موفقیت‌آمیز نبود زیرا بستر سنگی صاف نمی‌باشد و انعطاف‌پذیری لازم را بروز نمی‌دهد و در نهایت کفشک آسیب می‌بیند. جالب اینکه در این مورد عملیات برپا کردن سکو بدون استفاده از کفشک در بستر سنگی صورت گرفت و مشکلی مشاهده نگردید.

## ۷- حمل دریایی و برپا کردن سکوها

حمل دریایی و برپا کردن جک‌آپ بارچها اهمیت بسیار زیادی داشته و باید با دقت انجام شود. مطالعات آماری جک‌آپ بارچ‌های بزرگ و کوچک اعم از سکوه‌های حفاری یا ساختمانی نشان می‌دهد که صدمات جدی آنها در زمان حمل و برپا کردن ۶ برابر بیشتر از صدمات آنها در هنگام استقرار بوده است (Gerwick, 1986).

معمولاً یک یدک کش برای کشیدن جک‌آپ بارچ ایتالکو در بهمنشیر بکار می‌رفت. اگر شرایط طوفانی باشد احتمال پاره شدن طناب زیاد است لذا یک طناب یدکی شل نیز بکار می‌رود. معمولاً برای یدک کشیدن سکوی ۱۰۶ از دو قایق با موتور ۴۸ اسب استفاده گردید.

پس از اینکه سکو با استفاده از لنگر در محل مورد نظر قرار گرفت عملیات استقرار پایه‌ها روی بستر دریا و سپس بالا بردن عرشه صورت می‌گیرد. لحظاتی که سکو در حال بلند شدن از سطح آب است و تا زمانی که فاصله آن از سطح آب زیاد نمی‌باشد بسیار خطرناک است. زیرا موج می‌تواند به زیر بارچ ضربه زده و آن را ناپایدار نماید. فاصله زیر عرشه جک‌آپ بارچ ۱۰۶ تا سطح آب در پروژه بهرگان به ۰/۵ متر بسنده شد. این فاصله کم موجب بروز خطر برای سکو گردید (فاخر و همکاران، ۱۳۸۲).

## ۸- بررسی برخی از سوانح اتفاق افتاده

از آنجا که جک‌آپ‌ها بسیار حادثه خیز هستند، ریسک بالای بروز سوانح برای آنها در سطح بین المللی شناخته شده

است، لذا نرخ بیمه آنها نیز بسیار بالا است. مطالعه دقیق حوادث جک‌آپ‌ها می‌تواند موجب کاهش نسبی حوادث شود. سکوهای مزبور در این مقاله شاهد ۴ حادثه مهم طی ده سال بوده‌اند که در اینجا تشریح می‌شود.

### ۸-۱- پروژه طرح توسعه اسکله های نفتی تدارکاتی بهشهر (نکاء)



شکل ۵- جک‌آپ ساحل ۱۱۰

مطالعات ژئوتکنیکی پروژه با استقرار جک‌آپ بارج ساحل ۱۱۰ در عمق ۵/۵ متری و استقرار عرشه در ۳ متری بالا سطح آب آغاز گردید و متعاقب آن دریا به شدت طوفانی شد. در اثر ضربات موج با ارتفاع حدود ۶ تا ۷ متر ارتفاع پس از مدتی با شکستن یکی از پایه‌ها بارج به حالت شناور درآمد و پس از حدود یک ساعت سرگردانی در دریای موج، بدنه بارج به همراه یک پایه شکسته به ساحل رسید.

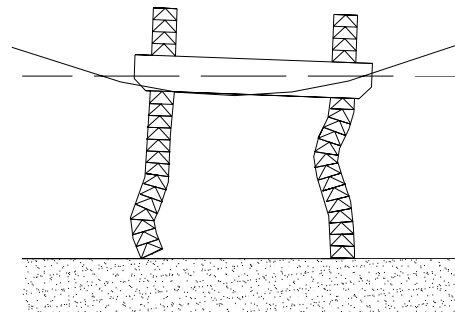
تجهیزات حفاری و دو پایه پس از آرام شدن دریا با استفاده از لیفتینگ‌بگ (Lifting Bag) از آب خارج شدند. در این شیوه ابتدا کیسه‌ای بادکنکی شکل در زیر آب به تجهیزات غرق شده متصل می‌گردند. سپس کیسه را پر از هوا کرده و تجهیزات شناور می‌شود. (چشمی، موسوی، ۱۳۸۱).

پس از بیرون آوردن پایه‌ها خم‌شدگی در آنها مشاهده شد. با توجه به افزایش ارتفاع آب در محل طوفان و نحوه خم شدن و پایه چنین بر می‌آید که جک‌آپ در اثر موجی بلند از کف دریا جدا شده است. سپس سطح آب سریعاً

افت کرده و جک‌آپ پایین آمده و پایه‌های آن بشدت با کف دریا برخورد می‌کند (شکل‌های ۶ و ۷). چنانچه در پروژه مذکور اطلاعات دقیق هواشناسی موجود بود، شاید می‌شد از بروز چنین حادثه‌ای جلوگیری کرد.



شکل ۷- پایه جک‌آپ ساحل ۱۱۰ پس از حادثه



شکل ۶- برخورد شدید پایه‌ها با بستر دریا

### ۸-۲- پروژه مطالعات ژئوتکنیک مسیر خط لوله ۳۲" در فاز یک پارس جنوبی

مطالعات ژئوتکنیک پروژه با استقرار جک‌آپ بارج ساحل ۱۱۰ آغاز گردید. در تاریخ ۷۹/۱۱/۱۸ در منطقه عسلویه در ساعت ۴/۵ بعد از ظهر بدلیل طوفان شدید هر سه پایه جک‌آپ بارج از محل اتصال قطعه ۱۲ متری به قطعه ۶ متری بصورت برشی بریده شده و سطحه همراه با دستگاه حفاری و پمپ آب به کنار ساحل آمده بود. در محل استقرار جک‌آپ بارج عمق آب ۱۰ متر و فاصله سطحه از سطح دریا حدود ۲ متر بوده است. بررسی‌های کارشناسی نشان داد که در اثر طوفان نیروی جانبی شدیدی بر پایه‌های جک‌آپ بارج اعمال شده است. تنشهای پیچشی و برشی در محل اتصال به حد گسیختگی رسیدند. پیچ هادی پایه‌ها در شکل (۸) این نظریه را تایید می‌کند. لذا برای مقاومت در برابر نیروی پیچشی

توصیه می شود یکسری خریای داخلی نیز در پایه ها نصب شود. همچنی محل اتصال دو قسمت پایه باید مستحکم تر طراحی شود.



شکل ۸- پیچش هادی تحت نیروهای وارده بر آن

### ۳-۸- پروژه طرح لایروبی و ساماندهی رودخانه بهمنشیر

مطالعات گسترده ژئوتکنیک در پایین دست رودخانه بهمنشیر در اوایل سال ۱۳۷۵ آغاز گردید. در شکل (۹) شمایی از جک آپ بارج ایتالکو مورد استفاده آورده شده است.

در مهر ماه سال ۱۳۷۵ در پایین دست رودخانه بهمنشیر (پل چوبیده) پس از استقرار جک آپ بارج بر روی گمانه، پرسنل جهت استراحت به کمپ رفتند. حدود ۳



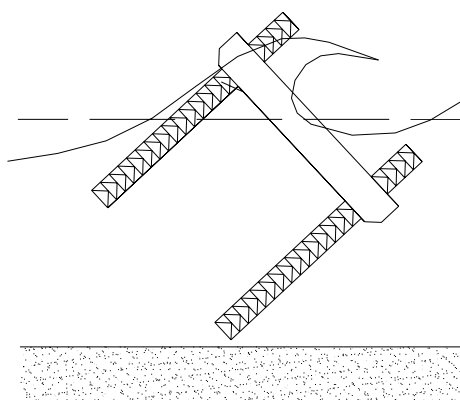
شکل ۹- شمایی از جک آپ بارج ایتالکو

ساعت بعد مشاهده شد که یکی از پایه های جک آپ به میزان حدود ۵ متر در بستر فرو رفته و لذا سطح به طرف آن پایه کج شده است. پس از آزاد نمودن پایه درگیر شده از بروز حادثه جدی جلوگیری بعمل آمد. جهت جلوگیری از بروز این حوادث استفاده از کفشک های مناسب مثلاً کفشک های پا اردکی برای محیط های آبرفتی نرم ضروری است (پارنج، ۱۳۷۶). با توجه به این که در زمین های لجنی احتمال نشست پایه ها وجود دارد، توصیه می گردد که پس از جک آپ کردن و قبل از شروع عملیات حفاری ۶ تا ۱۲ ساعت مدت زمان انتظار در نظر گرفته شود.

### ۴-۸- پروژه مطالعات ژئوتکنیک اسکله بهرگان

به منظور مطالعات ژئوتکنیک در این پروژه از جک آپ بارج ساحل ۱۰۶ در سال ۱۳۷۴ استفاده شده است. پس از حفر سه گمانه جک آپ بارج روی گمانه چهارم مستقر گردید. عمق آب حدود ۹ متر بوده و فاصله کف سطح تا سطح آب بدلیل سیستم خاص پایه ها حدود ۱ متر تنظیم شده بود. در حدود ۱ ساعت پس از بالا آوردن جک آپ، دریا بسرعت متلاطم گردید و موج به کف بارج رسیده و باعث واژگونی آن گردید (شکل ۱۰).

بررسی های کارشناسی نشان داد که پس از جک آپ کردن، فاصله کف سطح از سطح آب بسیار کم بود. به همین خاطر وقتی دریا متلاطم گردید آب به راحتی به کف بارج رسید و باعث کم شدن وزن آن شده یا کاملاً از کف بستر دریا جدا شد، در این حالت جک آپ شناور بوده با امواج بعدی و جریانات دریا واژگون می شود (فاخر و همکاران، ۱۳۸۲).



شکل ۱۱- غوطه وری جک آپ در دریا



شکل ۱۰- جک آپ بارج ساحل ۱۰۶ پس از واژگونی

## ۹- نتیجه گیری

در این قسمت نتایج و پیشنهادات اصلی مبتنی بر تجربیات ذکر شده ارائه می‌گردد:

- کفشک‌هایی شبیه پای اردک برای پایه‌های سکوه‌های مورد استفاده در بسترهای لجنی و سست توصیه می‌شود.
- اگر سکوی خود بالارو بطور موقت در دریا رها می‌شود مطلوب آن است که سکو در حالت استقرار در بالای سطح آب باشد یا اینکه با لنگر مناسب در حالت شناور رها شود. همچنین پس از استقرار حدود ۶ الی ۱۲ ساعت زمان انتظار برای ثابت شدن نسبی تغییر شکل‌های بستر و شروع عملیات حفاری لازم می‌باشد.
- حداقل یک متر فاصله کف عرشه سکو از سطح آب در هنگام مد برای استقرار کوتاه مدت در حفاری‌های ژئوتکنیکی نیاز است. بالا بردن یا پایین آوردن سکو در محدوده‌ای که فاصله زیر عرشه و سطح آب کم است و موج می‌تواند به زیر سکو ضربه زند باید به سرعت انجام گیرد.
- اگرچه سیستم بالابری هیدرولیکی گران‌تر از سیستم تیفوری است لیکن مزایای سرعت بالا و پرسنل را دارا می‌باشد.
- تخمین ظرفیت باربری پی جک‌آپ‌ها از ابتدا ضروری است.
- برای افزایش مقاومت پایه‌ها توصیه می‌شود خرپای داخلی در پایه‌ها نصب شود. همچنین جهت افزایش مقاومت برشی در محل اتصال دو قسمت پایه باید با ضریب اطمینان بزرگ‌تر طراحی شود.
- فاصله کف سطح از سطح آب باید متناسب با شرایط در نظر گرفته شود و حداقل میزان این فاصله رعایت شود.
- کسب اطلاعات هواشناسی دقیق حداقل برای چند روز کاری آینده ضروری بنظر می‌رسد

## – مراجع

- پارتیج م (۱۳۷۶) "ظرفیت باربری پی جک‌آپ های کوچک در خاکهای لجنی"، پایان نامه های کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی، فاخر ع (استاد راهنما)، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه تهران
- چشمی ا، موسوی م (آبان ۱۳۸۱) "گزارش حادثه جک‌آپ بارج در پروژه مطالعات ژئوتکنیک اسکله های نفتی تدارکاتی بهشهر (نکاء)" ، مؤسسه مهندسی مشاور ساحل، ۲۹ صفحه
- فاخر ع، پهلوان ب، هاشمی علوی ج (۱۳۷۷) "تجربیات استفاده از سکوی خود بالارو در رودخانه و دریا برای مطالعات ژئوتکنیکی"، سومین کنفرانس بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، ۲۲-۲۴ آذر ۱۳۷۷، جلد اول، صفحات ۴۴۲ تا ۴۵۶
- فاخر ع، پهلوان ب، چشمی ا، کاظمی نژاد س م (۱۳۸۲) "بررسی چهار حادثه برای جک‌آپ بارج‌های ژئوتکنیکی در چند پروژه در ایران"، فصلنامه علمی - ترویجی ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، شماره ۹۳، صفحه ۲۴ تا ۳۵
- فاخر ع، صابر س، پهلوان ب، فرحبخش ا (۱۳۷۸) "فن‌آوری مورد نیاز نرزمینه شناسایی‌های دور از ساحل و نحوه دستیابی به آن"، همایش ملی صنایع دریایی، ریاست جمهوری و سازمان برنامه بودجه، اردیبهشت ۱۳۷۸، صفحات ۲۵۱ تا ۲۳۹
- Clarom (1993) "Design guides for offshore structures", Stability and operation jackups, Edited by Pierre Le Tirant & Christian Perol, Editions Technip, Paris, 315 p
- Fakher A, Pahlavan B (2000) "Lessons learned from using Jack up barges for geotechnical drilling", Proceeding of the first international conference on geotechnical, geoenvironmental engineering and management in arid lands, Al-Ain/United Arab Emirates, 4-7 November 2000
- Gerwick B.C (1986) "Construction of offshore structures", John Wiley & Sons .Inc, 552 p
- Liu P (1991) "Dynamics of elevated jack-up structures", Delft University Press, 177p
- Bramlette M, Young GA & Remmes BD (1981) "Avoiding jack-up rig foundation failures", Symposium on Geotechnical Aspects of Coastal and Offshore Structures, Bangkok, 14-18 December 1981
- Poulos H.G (1988) "Marine Geotechnics", Uuwing Hyman Ltd, 473p
- Wieland Martin (1981) "Dynamic analysis of soil structure systems", Symposium on Geotechnical Aspects of Coastal and Offshore Structures, Bangkok, 14-18 December 1981
- Jefferies, M.G. and Funegard, E. (1983) "Cone penetration testing in the Beaufort Sea", Proceedings of the Conference on Geotechnical Practice in Offshore Engineering, Wright (ed.), ASCE, pp 220-243
- Richards, A.F. and Zuidberg, M.H. (1986) "Sampling and in-situ geotechnical investigations offshore", Proceedings of the Conference on Marine Geotechnology and Near Shore Offshore Structures, Chaney and Fang (eds), ASTM, pp 51-73.
- Sheffield, R. (1980) "Floating drilling: Equipment and use", Gulf Publishing Company, 257 p.
- Tirant, P.L. (1979) "Seabed reconnaissance and offshore soil mechanics for the installation of petroleum structures", Editions Technip, 508 p.