

مطالعه موردی کوبش شمع به همراه آزمایش دینامیکی PDA

احسان سیدی حسینی نیا، کارشناس ژئوتکنیک مهندسی مشاور ساحل

تلفن: ۰۹۱۲۲۶۳۴۹۸، فاکس: ۸۸۹۱۳۱۱۹-۰۲۱، پست الکترونیکی: esevedi@ut.ac.ir

چکیده

با به عرصه گذاشتن آزمایش دینامیکی و کاربرد تئوری پخش موج در شمع، تحول بزرگی در رفتارنگاری شمع کوبی، بررسی وضعیت شمع های نصب شده و مهمتر از همه تعیین ظرفیت باربری شمع ایجاد کرده است. در حقیقت می توان گفت که این تکنیک جایگزین مناسبی برای آزمایش مرسوم بارگذاری استاتیکی می باشد. در این مقاله به تشریح انجام آزمایش دینامیکی شمع با دستگاه PDA پرداخته شده و نتایج آن شامل کنترل فعالیت شمع کوبی، بررسی سلامت و تعیین ظرفیت باربری شمع ارائه می گردد.

کلید واژه ها: شمع، شمعکوب، آزمایش بارگذاری دینامیکی، PDA، رفتارنگاری کوبش شمع، آنالیز CAPWAP

۱- مقدمه

در ساخت بناهای روی بستر زمین، گاهی اوقات با مقاومت کم مواجه هستیم و در نتیجه لازم است نیروی اعمالی به داخل اعماق از طریق شمع وارد گردد. روشهای تئوریک مختلفی جهت طراحی شمع برای تعیین ظرفیت باربری آن وجود دارد [۱ و ۲]. البته باید گفت که طراحی شمع بر اساس اطلاعات ژئوتکنیکی در محل شمع بایستی انجام گیرد که در اکثر موارد این امر امکان پذیر نیست و معمولاً از شرایط ژئوتکنیکی حاصل از گمانه‌های مجاور شمع استفاده می‌شود. از طرفی، تغییرات در جنس و تراز لایه‌ها وجود دارد و نمی‌توان یک پروفیل قطعی ژئوتکنیک برای طراحی شمع در نظر گرفت. همچنین روشهای تئوریک شمع بر اساس تجربیات مختلف بدست آمده‌اند که ممکن است با برخی از شرایط خاک سازگار نباشد. به عنوان مثال، در روابط تئوریک ارائه شده، اثر گذر زمان (گرفتگی (setup) و وارفتگی (relaxation)) در نظر گرفته نشده است. در چنین شرایطی باید گفت که آزمایش بارگذاری شمع بهترین گزینه جهت تعیین ظرفیت باربری آن می‌باشد. دقیقترین آزمایش بارگذاری شمع، بارگذاری

استاتیکی است. در این روش بر روی شمع آنقدر بار اعمال می‌شود تا شمع گسیخته شود. با این حال، باید گفت که انجام این آزمایش در اکثر شرایط، بسیار پرهزینه، زمان‌بر و دشوار می‌باشد که اغلب از انجام آن دوری می‌شود. با پیشرفت تکنولوژی، گزینه‌های دیگری نظیر آزمایش دینامیکی کوبش شمع، آزمایش اوستربرگ و استاتامیک پا به عرصه وجود گذاشته و جایگزین مناسبی برای آزمایش بارگذاری استاتیکی شده‌اند. از میان این روشها، آزمایش بارگذاری دینامیکی کوبش شمع، جزء راحت‌ترین آزمایشات می‌باشد. همچنین با این تکنیک، علاوه بر اندازه‌گیری ظرفیت باربری نهایی شمع، می‌توان عملیات کوبش را نیز کنترل نمود.

۲- آزمایش دینامیکی کوبش شمع با دستگاه PDA

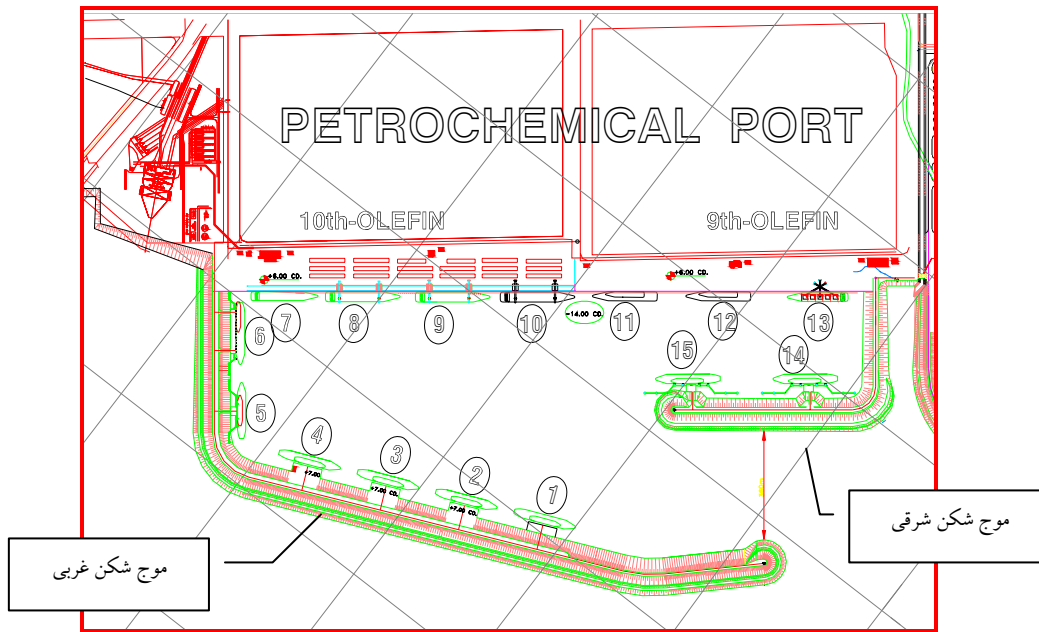
بر اثر اعمال هر ضربه به سرشمع، یک موج فشاری در شمع ایجاد شده که باعث فرو راندن آن به داخل خاک می‌شود. موج ایجاد شده در داخل شمع به صورت یک بعدی منتشر می‌شود. نحوه حرکت و پخش موج بسته به شرایط خاک احاطه کننده دور و نوک شمع، تغییرات سطح مقطع شمع (مثلاً وجود ترک، باز شدن جوش و غیره) و یا وجود یک مانع در سر راه کوبش شمع، می‌تواند متفاوت باشد. در نتیجه با اندازه‌گیری موج ایجاد شده و بررسی فرم و شکل آن می‌توان به اطلاعات مفیدی در بخش مدفون شده دست یافت. این امواج توسط حسگرهایی که بر سرشمع نصب شده‌اند، اندازه‌گیری شده و توسط دستگاه PDA ثبت و آنالیز می‌گردد.

از جمله کاربردهای این تکنیک، کنترل عملیات شمع کوبی است. مثلاً اگر شمع حین فرو رفتن به یک لایه سخت سنگی برخورد نماید و یا اینکه جوش شمع در عمق مدفون شده بر اثر ضربات پی در پی شکسته شود، براحتی قابل تشخیص است. در صورت عدم تشخیص لایه سخت در نوک شمع، ادامه شمع کوبی ممکن است باعث لهیدگی نوک شمع گردد و یا اینکه بر اثر باز شدن جوش، شمع به کلی بشکند. این نکته قابل ذکر است که در بررسی امواج بدست آمده بایستی تبحر کافی داشت و در تفسیر نتایج دقت نمود.

اگر از تئوری پخش موج در فضای یک بعدی استفاده شود، با مدلسازی عددی فرو رفتن شمع به داخل خاک، ظرفیت باربری نهایی آن را می‌توان تخمین زد. نرم افزار CAPWAP با شبیه سازی پدیده پخش موج ناشی از ضربه چکش این توانایی را دارد. این نرم افزار از امواج واقعی ایجاد شده در شمع بهره گرفته و آن را به مدل عددی اعمال می‌کند. سپس تغییر پارامترهای مختلف خاک (نظیر سختی و میرایی)، آنقدر انجام می‌شود که بهترین انطباق بین موج پخش شده در مدل و موج واقعی ثبت شده بوجود آید. در نهایت، پارامترهای خاک تعریف شده در تئوری پخش موج و ظرفیت باربری نهایی شمع تعیین می‌شوند.

۳- ضرورت انجام آزمون PDA

در منطقه عسلویه که در حال حاضر پروژه‌های مختلف عمرانی جهت بهره‌برداری از حوزه نفت و گاز پارس جنوبی در حال انجام است، حجم عملیات شمع کوبی بالایی وجود دارد. به عنوان مثال بندر پتروشیمی پارس دارای ۱۵ پست اسکله می‌باشد که اکثر این اسکله‌ها به صورت شمع و عرشه اجرا می‌شوند. پلان بندر پتروشیمی پارس و موقعیت اسکله‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ پلان و موقعیت پست اسکله‌های بندر پتروشیمی پارس

اصولاً بافت خاک در این منطقه درشت دانه می‌باشد. تنوع رسوبات به گونه‌ای است که در طول اسکله ساحلی علاوه بر لایه‌های شن و ماسه‌ای یک لایه رسی به ضخامت ۵ متر نیز مشاهده می‌شود، در صورتیکه این لایه در داخل حوضچه و در محل موج شکن‌ها، اصلاً وجود نداشته و در عوض، هم در لایه‌های سطحی و هم عمیق به یک لایه ماسه سنگ کربناتی ضعیف تا قوی برخورد می‌شود [۴]. شمع کوبی در طول اسکله ساحلی بدون مشکل انجام شد، در صورتیکه در اسکله‌های مجاور موج شکن غربی مشکلات عدیده شمع کوبی وجود داشته که بعضاً در آن مناطق شمع کوبی متوقف گردیده است. دلیل آن وجود لایه‌های ماسه سنگی بوده است. در بعضی مناطق، لایه ماسه سنگی ضعیف بوده و شمع کوبی با شدت بالاتری که باعث شکستن لایه فوق شده، امکان پذیر بوده است. ولی در دیگر نقاط، پس از رسیدن به لایه مورد نظر، شمع اصلاً فرو نرفته است. شمع‌های اسکله به صورت لوله ای با قطر خارجی ۵۶ اینچ، ضخامت ۱/۹ سانتیمتر و طول ۴۵ متر می‌باشند. طول مدفون شدگی شمع‌ها، حدود ۲۰ متر می‌باشد. برخی از شمع‌های اسکله فوق به صورت فشاری و برخی دیگر به صورت کششی در سازه شمع و عرشه عمل می‌کنند. در مورد شمع‌های فشاری باید گفت در صورتیکه شمع مورد نظر به یک لایه سخت سنگی برسد، با اینکه به عمق فرو رفت در طرح نرسیده باشد، می‌تواند بار اعمالی را به این لایه سخت

وارد کند که البته برای قطع عملیات شمع کوبی و رها کردن شمع در عمق موجود، بایستی طبق آیین‌نامه‌ها (بسته به شرایط شمع کوب، عمق فرورفت، تعداد ضربات و مقدار نفوذ در هر ضربه) عمل نمود [۵].

این نکته در مورد شمع‌های کششی متفاوت است. در شمع‌های کششی، عمق فرو رفت بسیار مهم می‌باشد. زیرا در این نوع شمع‌ها، ظرفیت باربری نوک دیگر کارایی نداشته بلکه فقط اصطکاک جدار شمع است که ظرفیت کششی شمع را تشکیل می‌دهد. در نتیجه رسیدن به عمق نهایی طرح بسیار مهم بوده و با رسیدن به یک لایه سخت خاک یا سنگ، نمی‌توان از ادامه فرو رفت آن منصرف شد.

در مورد شمع‌های کششی، پیمانکار مربوطه سعی داشت تا جایی که امکان داشت شمع‌های کششی را به عمق طرح برساند. این امر موجب شد تا یکی از شمع‌های کششی در حین عملیات شمع کوبی بشکند. با بررسی شمع مورد نظر با خالی کردن خاک داخل آن با فرستادن مقنی به داخل مشاهده شد که دلیل فرو رفتن شمع به داخل زمین وجود یک لایه سنگی سخت در مسیر شمع مورد نظر و فقط در یک طرف نوک شمع می‌باشد، به طوریکه موقعیت این لایه سخت سنگی باعث شد تا یک طرف شمع کاملاً جمع شده و منجر به پارگی نوک شمع نیز گردد. این شمع تغییر شکل داده را به هیچ وجه نمی‌توان بیرون کشید و در نهایت تصمیم گرفته شد تا بریده شود.

یکی دیگر از شمع‌های دیگر این اسکله با همین مشکل مواجه شد. شمع مورد نظر با چکش D62-22 تا عمق ۶/۶ متری کوبیده شده بود و دیگر نفوذ نمی‌کرد و از آنجاییکه که هم مطالعات ژئوتکنیکی و هم از دست دادن یک شمع در تجربه قبلی، نشانگر احتمال برخورد به لایه سخت سنگی بود، عملیات شمع کوبی متوقف گردید. در چنین شرایطی تصمیم گرفته شد تا از آزمایش دینامیکی کوبش شمع با دستگاه PDA استفاده گردد.

۴- عملیات شمع کوبی به همراه کنترل آن با دستگاه PDA

شمع مورد نظر به فاصله ۵۰ متری از موج شکن غربی واقع بوده و عملیات شمع کوبی از داخل بارج مستقر در کنار آن انجام شد. شکل ۲، موقعیت بارج و شمع مورد نظر را نشان می‌دهد. در آزمون PDA، لازم است که حداقل دو جفت حسگر شامل شتاب سنج و کرنش سنج به طور متقارن نسبت به محور شمع روی بدنه نصب شوند. محل حسگرها از سرشمع حدود ۲ متر می‌باشد (۱/۵ تا ۲ برابر قطر شمع) [۷۶]. از آنجاییکه ضربات اعمالی ناشی از چکش دارای قدرت بالایی است (شتاب ۵۰۰g) حسگرها بایستی کاملاً به جدار بچسبند که از پیچ کردن حسگرها به بدنه استفاده می‌شود. شکل ۳ مراحل مختلف آزمون فوق شامل سوراخ کردن بدنه، نصب حسگرها و اندازه‌گیری رکوردها را نشان می‌دهد. با اتصال کابل‌های حسگرها به دستگاه PDA، عملیات شمع کوبی شروع شده و همزمان با اعمال ضربات ناشی از چکش بر شمع، امواج سرعت و شتاب ثبت می‌گردند.



شکل ۲ نمایش موقعیت شمع مورد آزمایش و بارج پهلو گرفته جهت شمع کوبی



(ب)



(الف)



(ت)



(پ)

شکل ۳ (الف) سوراخ کردن بدنه شمع؛ (ب) نصب حسگرها؛ (پ) نمایش حسگرهای نصب شده؛ (ت) نمایش

دستگاه PDA، کامپیوتر دستی و کابل‌های مربوطه

با بررسی امواج ثبت شده در کوبش شمع مورد نظر نتایج زیر بدست آمد:

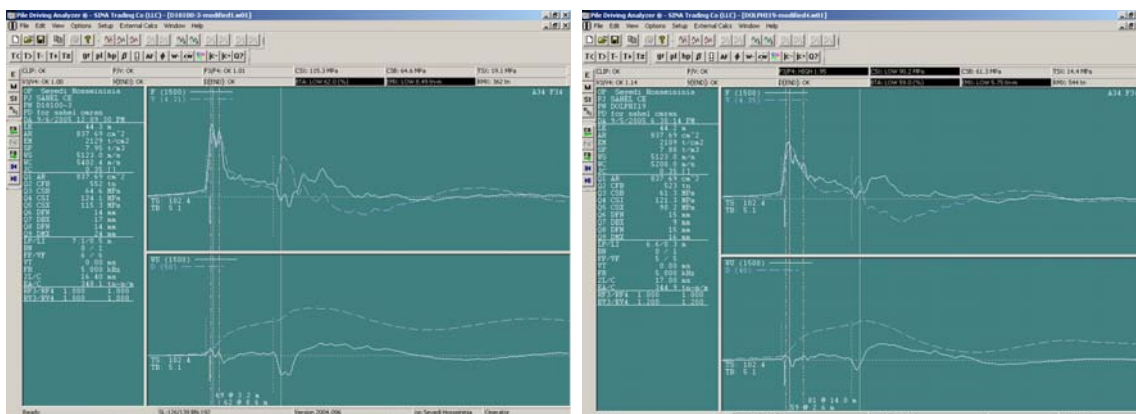
۱- نتایج، طول مدفون شدگی شمع را ۶/۶ متر پایین تر از سطح بستر دریا نشان می دهد.

۲- نوک شمع سالم است [۸و۶].

۳- فرورفت شمع به ازاء هر ضربه، کمتر از ۱ میلیمتر می‌باشد که نشانگر عدم توانایی فرو بردن شمع با شمع کوب D62-22 می‌باشد.

۴- از مقایسه میزان انرژی وارده به شمع با حداکثر انرژی نامی چکش که از مشخصات فنی چکش بدست می‌آید، نتیجه می‌شود که شمع کوب کمتر از ۳۰٪ توان حداکثر خود استفاده می‌کند. پایین بودن راندمان چکش را می‌توان بدلائیل مختلف ذکر کرد نظیر نامناسب بودن وضعیت سندان، استهلاک چکش، نوع خاک و مهمتر از همه، کوبش شمع به صورت مایل. شمع کوبی بر روی شمع مایل باعث می‌شود تا کلیه وزن کوبه چکش بر شمع اعمال نگردد. همچنین وجود اصطکاک تماسی بین کوبه و پیستون احاطه کننده آن نقش مهمی در پایین آوردن راندمان چکش دارد. نظر به اینکه نوک شمع سالم بوده و دلیل فرو نرفتن شمع بخاطر عدم کافی بودن انرژی بوده، تصمیم گرفته شد تا از شمع کوب قویتر D100-13 جهت فرو راندن شمع استفاده گردد.

روز بعد، شمع مورد نظر با چکش D100-13 و با تعداد ۸۱ ضربه به مقدار ۱/۷ متر (تا جایی که شابلون موجود در مجاورت شمع اجازه می‌داد) کوبیده شد. همچنین حین کوبش، شمع مورد نظر تحت آزمایش PDA بود تا در صورت بروز مشکل در شمع، عملیات متوقف شود. شکل ۴، مسیرهای موج ضربه شماره ۹۵ با چکش D62-22 و ضربه شماره ۱۹۲ با چکش D100-13 را نشان می‌دهد.



(ب)

(الف)

شکل ۴ (الف) مسیر موج ضربه شماره ۹۵ با چکش D62-22؛ (ب) مسیر موج ضربه شماره ۱۹۲ با چکش D100-13

با بررسی امواج ثبت شده در شمع کوبی با D100-13 موارد زیر دریافت می‌شود:

- ۱- شمع بصورت Easy driving به داخل خاک فرو می‌رود.
- ۲- فرورفت میانگین شمع به ازاء هر ضربه، معادل ۸ میلیمتر می‌باشد.

۳- در طول شمع کوبی، بدنه و نوک شمع سالم می‌باشد [۸۶].

۴- با اینکه انرژی حاصل از شمع کوب باعث فرو بردن شمع به داخل بستر می‌شود، با این حال از ماکزیمم انرژی چکش استفاده نمی‌گردد. (کمتر از ۳۰٪ حداکثر انرژی نامی چکش). دلیل آن بخاطر مقاومت کم زمین در مقابل فرورفتن شمع و عدم استفاده از حداکثر توان سوخت چکش می‌باشد.

موقعیت شمع مورد آزمایش نسبت به شابلون در مجاورت آن، در شکل ۵ نمایش داده شده است. پس از آزمون PDA معلوم شد که محل شمع مورد نظر، لایه سخت سنگی وجود ندارد و شمع تا عمق نهایی می‌تواند کوبیده شود. بقیه شمع‌هایی که با چکش D62-22 فرورفته بودند نیز با D100-13 کوبیده شدند.



(ب)

(الف)

شکل ۵ موقعیت شمع نسبت به شابلون: (الف) قبل از شمع کوبی با D100-13؛ (ب) بعد از شمع کوبی با D100-13

۵- تعیین ظرفیت باربری

در مجاورت شمع مورد نظر که به صورت کششی عمل می‌کند، یک شمع فشاری تا عمق مدفون شدگی ۱۸ متر فرو رفته بود و کارفرما نیاز داشت تا عمق فرو رفتن موجود را جهت بار طراحی کنترل کند. به همین منظور از تست PDA جهت برآورد ظرفیت باربری نهایی شمع استفاده شد. در تعیین ظرفیت باربری نهایی، شمع مورد نظر بایستی تحت چند ضربه قرار گیرد، به گونه‌ای که بتواند مقاومتهای خاک جدار و نوک شمع را بسیج کند. پدیده بسیج شدگی خاک را می‌توان از روی شکل امواج ثبت شده بررسی نمود. شمع مورد نظر قبلاً با چکش D100-13 کوبیده شده بود. ولی در آزمون دوباره PDA بدلیل در دسترس نبودن آن چکش، عمل کوبش مجدد (Restrike) با چکش D62-22 انجام شد. بررسی رکوردها نشان می‌دهد که اکثر ضربات ضعیف بوده و توان بسیج کردن خاک اطراف شمع را نداشته‌اند. با این وجود، بهترین موجی که تا حد ممکن خاک اطراف شمع را بسیج کرده انتخاب شد و روی آن آنالیز CAPWAP انجام گردید [۹]. ظرفیت باربری نهایی شمع فشاری حدود ۵۰۰

تن برآورد می‌شود. در نتیجه مقدار ظرفیت باربری طراحی ۲۷۰ تن با در نظر گرفتن ضریب اطمینان طراحی ۲، (بر اساس آیین نامه API)، قابل قبول است [۵].

۶- خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله به ارائه یک تجربه آزمایش دینامیکی با دستگاه PDA پرداخته شد. با انجام این آزمون، علاوه بر کنترل عملیات کوبش و جلوگیری از اتفاقات غیر قابل پیش بینی حین نصب شمع، میتوان ظرفیت باربری نهایی شمع را تخمین زد که در مقایسه با آزمایش بارگذاری استاتیکی، یک روش ارزان قیمت، آسان و سریع می باشد. در این پروژه، با استفاده از آزمون PDA، امکان فرورفت شمعهای فولادی یک اسکله با توجه به احتمال وجود یک لایه سنگی در لایه های تحت الارضی بررسی شده و سپس ظرفیت باربری یک شمع فشاری تعیین و با بار طراحی مقایسه شد.

۷- تشکر و قدردانی

در پایان لازم است از همکاری صمیمانه جناب آقای مهندس سلمان صابر، مدیر اجرایی پروژه بندر پتروشیمی پارس و عوامل اجرایی موسسه عمران ساحل تشکر و قدردانی شود. همچنین از آقای مهندس رضا موسوی و عیسی نقی زاده جهت همکاری در انجام آزمایشات تشکر می گردد.

۸- مراجع

- 1- Fang, Hsai-Yang, 1991, "Foundation Engineering Handbook", 2nd edition, Chapman & Hall, New York, P.P.993
- 2- EAU, "Recommendation of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways", 1990, Ernst & Sohn, Germany, P.P. 623
- 3- The overseas coastal area development institute of Japan, "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan (OCDI 2002)", Japan, P.P. 600
- ۴- "گزارش جمع بندی مطالعات ژئوتکنیک، مطالعات طراحی و مهندسی تفصیلی بندر پتروشیمی پارس"، مهر ۱۳۸۱، مهندسین مشاور ساحل
- 5- American Petroleum Institute, "Recommendations for Planning, Designing and Construction, Fixed offshore platforms, RP2A-WSD", Washington DC, 21st edition, December 2000
- 6- Pile Dynamics Inc., "PDA-W Users Manual", 2000
- 7- ASTM Committee D-18 & Subcommittee D-18.11, American Society for Testing and Materials, "Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles", ASTM Designation: D 4945-89, 1989.
- 8- Webster, S.D., Teferra, W., 1998, "Pile damage assessments using the pile driving analyzer", downloaded from PDI web site (<http://www.pile.com>)
- 9- Pile dynamics, Inc., "CAPWAP: CAsE Pile Wave Analysis Program" manual, 2000, Cleveland, Ohio, USA