

مطالعه مقاومت اصطکاکی شمع‌های فلزی لوله‌ای تحت کشش در خاک ماسه‌ای

عیسی شوش پاشا^{۱*}، آریا شریفی^۲

۱- دانشیار دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران-خاک و پی دانشگاه پردیسان فریدونکنار

Shooshpasha@nit.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۵/۰۶/۰۸]

تاریخ دریافت: [۹۴/۱۲/۱۵]

چکیده

یکی از کاربردهای مهم پی‌های عمیق و به ویژه شمع‌ها، تحمل بارهای کششی اعمال شده بر سازه است. ظرفیت کششی این پی‌ها بیشتر از طریق اصطکاک سطح تماس آنها با خاک ایجاد می‌شود. شمع‌ها، پی‌های عمیقی هستند که به دلیل عملکرد چندگانه‌ای که دارند از مقبولیت زیادی برخوردارند. در طراحی شمع، درک رفتار و پیش‌بینی ظرفیت آن تحت بارگذاری کششی بسیار اهمیت دارد. روش‌های مختلفی از قبیل روش‌های تحلیلی، آزمایشگاهی و صحرایی برای دستیابی به یک طراحی ایمن، قابل اجرا و اقتصادی به وجود آمده‌اند اما همچنان در برخی از موارد با محدودیت‌هایی مواجه‌اند. تعیین ظرفیت کششی شمع‌های لوله‌ای فولادی که با تکنیک جک‌زنی در ماسه‌های نواحی ساحلی نصب می‌شوند از جمله مواردی است که روش‌های مذکور تاکنون به طور جدی به آن نپرداخته‌اند و اطلاعات کافی برای طراحی این نوع از شمع‌ها در اختیار نیست. با توجه به اینکه تکنیک جک‌زنی در راستای دستیابی بهتر به مقاومت خاک و رفع نقایص در سایر روش‌های نصب، پیشنهاد شده است، پس بررسی اثر آن در رفتار شمع ضروری است. در این روش، پس از نصب شمع‌ها با استفاده از جک‌های هیدرولیکی، مطابق استاندارد ASTM D-3689 ظرفیت کششی آنها تعیین می‌شود. پس از ثبت نتایج، با استفاده از معیارهای تعیین ظرفیت کششی، ظرفیت نهایی کششی شمع‌ها تعیین و سپس با ظرفیت کششی تحلیلی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج، ضمن آشکار ساختن تکرارپذیری آزمایش‌های انجام شده، نشان دادند که ظرفیت کششی بدست آمده بزرگتر از ظرفیت کششی تحلیلی است و جابه‌جایی خاک و تراکم آن در اثر نصب شمع می‌تواند مقاومت اصطکاک جداره را افزایش دهد. همچنین مشاهده شد که در بیشتر شمع‌ها معیار خطوط مماسی تعیین کننده‌ی ظرفیت کششی نهایی است.

واژه‌های کلیدی: آزمایش کشش، جک‌زنی، ظرفیت کششی نهایی، شمع لوله‌ای، ماسه ساحلی

۱- مقدمه

پرداخته شده است. بررسی تکرار پذیری نتایج آزمایش کشش در خاک‌های همگن و اثرگذاری لایه‌های سطحی ماسه در تامین نیروی اصطکاکی موارد خاصی هستند که در شرایط

مطالعه ظرفیت کششی شمع‌های لوله‌ای نصب شده در ماسه- های نواحی ساحلی موضوعی است که در این مقاله به آن

واقعی ساختگاه سنجیده نشده‌اند. اهمیت این موضوع زمانی بیشتر می‌شود که شمع‌ها با استفاده از روش جدیدی که به تازگی استفاده شده، نصب شده باشند. جاگذاری شمع با استفاده از سیستم جک زنی^۱ تکنیکی است که مستلزم استفاده از جک‌های هیدرولیکی برای راندن شمع‌ها به داخل زمین است. در مقایسه با روش‌های مرسوم شمع‌کوبی دینامیکی از قبیل چکش‌های ارتعاشی و سقوط آزاد، جک‌زنی شمع مزیت‌های بسیاری دارد. اولاً، این فرآیند بدون ایجاد ارتعاش و سر و صدا بوده و به طور خاص برای مناطقی که حساس به سر و صدا و ارتعاش هستند روش مناسبی است. ثانیاً، ظرفیت باربری هر یک از شمع‌ها حاصل می‌شود و دست‌خوردگی خاک به کمترین حالت ممکن می‌رسد [1].

پژوهش‌هایی در خصوص مقاومت جداری شمع‌ها در طی پنج دهه‌ی گذشته افزایش یافته است. بیشتر مطالعات قبلی به بررسی ظرفیت جداری شمع‌های در معرض بارهای فشاری، پرداخته‌اند و این در حالی است که پژوهش‌های کمی در مورد شمع‌ها تحت بار کششی انجام شده است. ظرفیت باربری کششی شمع‌ها وابسته به تنش برشی نسبی خاک و نسبت طول به قطر شمع است [2].

در سال ۲۰۱۳، به منظور درک رفتار شمع و پیش‌بینی ظرفیت آنها تحت بارهای کششی آزمایش‌هایی انجام شد که در آنها تاثیر عمق مدفون شدگی شمع و تراکم نسبی خاک بر روی ظرفیت کششی شمع‌ها بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش تراکم نسبی مقدار ظرفیت کششی را برای تمامی مقادیر طول به قطر (L/D) شمع افزایش می‌دهد. همچنین نتایج آنها نشان داد که تراکم نسبی خاک سهم قابل توجهی در ظرفیت کششی خالص و در جابه‌جایی متناظر با ظرفیت کششی داشته است در حالی که عمق مدفون شدگی شمع تاثیر اصلی را روی ظرفیت کششی خالص می‌گذارد [3].

در سال ۲۰۰۳، دانشمندان با انجام ۳۶ آزمایش روی مدل شمع‌های لوله‌ای که در ماسه نصب شده بودند، با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف، تاثیر بار فشاری را روی ظرفیت کششی شمع‌ها بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که در سه گام

انتهایی بارگذاری، ظرفیت کششی خالص در ماسه‌ی سست به یک مقدار ثابت میل می‌کند ولی در ماسه‌ی متراکم این روند برای بیشتر شمع‌ها از ابتدای بارگذاری در یک مقدار ثابت باقی می‌ماند. همچنین در یک L/D ثابت، مقدار ظرفیت کششی خالص با افزایش گام بارگذاری کاهش می‌یابد در حالی که با افزایش L/D شمع در یک گام بارگذاری ثابت، ظرفیت کششی خالص افزایش می‌یابد. بنابراین گام‌های بارگذاری فشاری پارامتر مهمی است که روی ظرفیت کششی خالص شمع تاثیر می‌گذارد [4].

اهداف اصلی این مطالعه شامل (۱) تعیین ظرفیت کششی شمع‌ها بعد از جک‌زنی (۲) مطالعه تکرارپذیری نتایج آزمایش کشش روی شمع‌های مشابه در خاک ماسه‌ای همگن و (۳) مقایسه نتایج حاصل از آزمایش با نتایج روش تحلیلی و بررسی علل اختلاف نتایج دو روش است.

در این مقاله در ابتدا، ویژگی‌های ساختگاه و شمع‌های به کار رفته در آزمایش بررسی می‌شود. سپس نمودارهای مربوط به آزمایش بارگذاری کششی روی شمع‌ها ارائه و تفسیر می‌شود و در بخش جمع‌بندی به مرور روند انجام آزمایش‌ها و نتایج به دست آمده پرداخته می‌شود. امروزه برای محاسبات مقاومت جداری شمع‌ها از فرمول‌ها و جداول مربوطه استفاده می‌شود که ممکن است مقدار محاسبه شده همراه با خطا باشد. در این مقاله، با مقایسه نتایج از دو روش این مقدار خطا نیز مشخص می‌شود. بنابراین، امید است که مطالعه‌ی کنونی بتواند منجر به درک بهتر واکنش‌های کششی در شمع‌هایی نصب شده با تکنیک جک‌زنی در زمین‌های ماسه‌ی ساحلی شود.

۲- انجام آزمایش

۱۸۳ است. ضخامت جداره‌ی (t) تمامی شمع‌ها ۳mm بوده و D_{out}/t در شمع‌های A تا D به ترتیب ۶۷، ۳۸۳، ۲۶ و ۱۶۳ است.

فاصله بین شمع‌ها طوری در نظر گرفته شده که در هنگام بارگذاری روی یکدیگر تاثیرگذار نباشد. فاصله لازم بین شمع‌ها طبق استاندارد ASTM D-3689 [5] کمینه باید ۵ برابر قطر شمع باشد. بنابراین، فاصله‌ی مرکز به مرکز هر یک از شمع‌ها حدود ۱/۲ متر در نظر گرفته شده است. برای اعمال بار روی شمع‌ها از جک هیدرولیکی با ظرفیت ۳۰ تن و دامنه‌ی حرکت ۲۰ cm استفاده شده است. به منظور اندازه‌گیری تغییر مکان‌ها دو گیج با کورس ۵ و ۱۰ cm بکار گرفته شده‌اند. قاب واکنش برای تحمل بارهای وارد شده با استفاده از بلوک‌های بتنی ۲/۵ تنی، شاتیر و تکیه‌گاه ایجاد شده است. نکات ایمنی باید در حین کار کاملاً رعایت شود.

۲-۳ آزمایش کشش

در این مرحله، ابتدا قاب بارگذاری تشکیل شد که در ساخت آن، از بلوک‌های بتنی به عنوان پایه‌ها و سربار (به منظور نیروی عکس‌العمل) و از تیر آهن شماره ۲۶ به عنوان تیر اصلی آزمایش استفاده شد. پس از نصب شمع‌ها در خاک به روش استاتیکی (روش جک زنی) شرایط برای انجام آزمایش کشش آماده شد. با استفاده از سیستم جک هیدرولیکی و زنجیر، شمع‌ها به سمت بالا کشیده شدند. برای اتصال مناسب زنجیر به سر شمع‌ها، سوراخ‌هایی مستطیلی روی صفحات جوش شده به سر شمع، ایجاد شد. شکل‌های (۱ - ۳) چگونگی اتصال زنجیر کشش را در سیستم اعمال نیرو نشان می‌دهند. سایر جزئیات انجام آزمایش مطابق استاندارد ASTM D-3689 است. بارگذاری شمع‌ها به صورت کنترل تنش و از طریق روش بار نگهداشته شده ۱ صورت گرفت. به منظور اطمینان برای نتایج آزمایش، تمامی مراحل گفته شده برای نصب و آزمایش شمع دو بار دیگر نیز بر روی شمع‌ها انجام شدند. بنابراین هر اندازه از شمع‌ها در مجموع سه بار مورد آزمایش قرار گرفتند که با نشانه‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند (مانند A-1، A-2 و A-3).

شود. در این بخش ضمن ارائه‌ی ویژگی‌های ساختگاه و مشخصات شمع‌های بکار رفته در آزمایش، چگونگی انجام آزمایش بارگذاری کششی شمع شرح داده شده است.

۲-۱ مشخصات ساختگاه

ساختگاه مورد نظر در استان مازندران، در ناحیه‌ی شمالی جاده‌ی کمربندی سرخورد - محمود آباد و در شهرک ساحلی چاکسر واقع شده است. بر اساس آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) انجام شده در محل و مشخصات گمانه‌های خاکی حفاری شده، پروفیل خاک مورد نظر از نوع خاک ماسه‌ای ساحلی بوده که بر اساس سیستم طبقه بندی یونیفاید ماسه‌ی بد دانه‌بندی شده (SP) نامگذاری شده است. وزن مخصوص ماسه $\gamma = 17/5 \text{ kN/m}^3$ و سطح آب زیر زمینی در عمق ۳ متری از سطح زمین واقع شده است و خاک محل آزمایش در عمق ۲/۵ متری رطوبت بسیار بالایی دارد. تا این عمق، ماسه‌ی مورد نظر ماسه‌ای سست تا متوسط با تراکم نسبی $Dr = 20\%$ است.

۲-۲ مشخصات شمع‌ها و تجهیزات

جزئیات چهار شمع لوله‌ای مورد آزمایش شامل اندازه، عمق استقرار و سایر مشخصات هندسی آنها در جدول (۱) ارائه شده است که در آن A_{st} مساحت مقطع فولادی، A_{in} مساحت توخالی مقطع، P_{in} محیط داخلی مقطع، P_{out} محیط خارجی مقطع، L طول شمع، D_{out} قطر خارجی مقطع و D_{in} قطر داخلی مقطع است.

جدول ۱. مشخصات شمع‌های آزمایش

Pile	L (cm)	D_{out} (cm)	D_{in} (cm)	A_{in} (cm ²)	A_{st} (cm ²)	P_{in} (cm)	P_{out} (cm)
A	210	14	13.4	141	12.9	42.1	43.9
B	195	11.5	10.9	93.3	10.5	34	36
C	140	7.8	7.2	40.7	7.1	22	24
D	90	4.9	4.3	14.5	4.3	13.5	15.3

Table 1. Properties of piles

این شمع‌ها از جنس فولاد بوده و با نام‌های A، B، C و D نشانه‌گذاری شده‌اند که L/D_{out} آنها به ترتیب ۱۵، ۱۶۹، ۱۷/۹ و

شد. با توجه به قرائت‌های ثبت شده در مدت مراحل آزمایش امکان پردازش آنها مطابق روش‌های استاندارد و در قالب منحنی‌های بار کششی - جابه‌جایی فراهم شد. در این بخش، ضمن ارائه‌ی منحنی‌های بار کششی-جابه‌جایی، مقادیر ظرفیت کششی نهایی بدست آمده با ظرفیت کششی نهایی تحلیلی مقایسه می‌شود تا میزان اختلاف آنها مشخص شود.

روش‌های تعیین بار گسیختگی در آزمایش کششی شمع بسته به تغییر مکان مجاز سازه متغیر است. به طور کلی در عمل برای تخمین بار کششی نهایی، کمترین مقدار بدست آمده از دو معیار زیر را انتخاب می‌نمایند [6]:

- ۱- بارگسیختگی ممکن است مقدار باری در نظر گرفته شود که تغییر مکانی برابر با $6/25 \text{ mm}$ تولید می‌کند.
- ۲- بار گسیختگی کششی بار متناظر با محل برخورد دو خط مماس بر منحنی بار- تغییر مکان است.

۳-۱ نتایج آزمایش کشش شمع‌های نوع A

شکل (۴) نتایج مربوط به بارگذاری کششی شمع‌های نوع A را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود، منحنی‌های آزمایش کشش روی شمع‌های نوع A تشابه بسیار زیادی با یکدیگر دارند. این منحنی‌ها از دو قسمت با شیب متفاوت تشکیل شده‌اند و شیب قسمت دوم منحنی کمتر از شیب ابتدایی نمودار است. محل تغییر شیب منحنی‌ها در جابه‌جایی تقریباً 6 mm رخ داده است که معادل $4/2$ درصد قطر شمع‌ها است. همچنین جابه‌جایی انتهای آزمایش برای شمع A1، A2 و A3 به ترتیب $10/7$ ، $11/4$ و $12/1$ درصد قطر شمع است. برای این نوع شمع‌ها از معیارهای خطوط مماسی و بار متناظر با جابه‌جایی $6/25 \text{ mm}$ استفاده شد. در هر سه شمع، معیار خطوط مماسی کمترین ظرفیت کششی را در اختیار می‌گذارد. شکل (۵) چگونگی استفاده از معیارهای خطوط مماسی و بار متناظر با نشست $6/25$ میلی‌متر برای شمع A1 را نشان می‌دهد. اختلاف ظرفیت باربری‌های بدست آمده توسط دو معیار اشاره شده برای شمع A1، A2 و A3 به ترتیب $7/5$ و $6/1$ و $6/5$ درصد است. جابه‌جایی متناظر با کمترین ظرفیت باربری حاصل از دو معیار فوق (که

شکل ۱. فاصله شمع‌های نصب شده در خاک و چگونگی جایگذاری گیج‌های اندازه‌گیری تغییر مکان



Fig. 1. The distance of installed piles in soil and application of displacement dial gauges

شکل ۲. اتصال زنجیر به سر شمع به منظور بیرون کشی شمع‌ها



Fig. 2. Attachment of chain to piles for removing them

شکل ۳. چگونگی اتصال زنجیر به تیر بالای جک

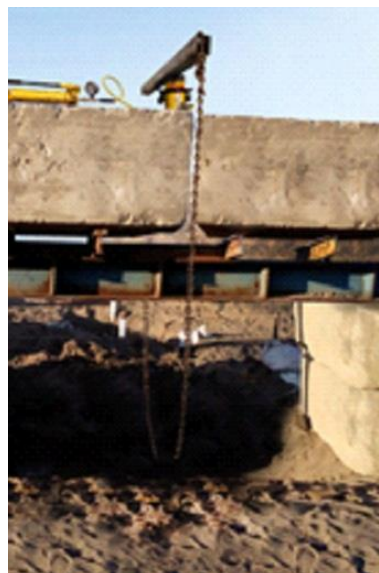


Fig. 3. Attachment of chain to the beam on the jack

۳- نتایج و تفسیر آنها

پس از نصب شمع‌ها به طور استاتیکی (روش جک زنی)، آزمایش کشش بر اساس استاندارد ASTM D-3689 انجام

آزمایش به مقدار مشخصی میل نمی‌کند. جابه‌جایی متناظر با تغییر شیب این منحنی‌ها در ۸/۷ درصد قطر شمع رخ می‌دهد. در این نوع از شمع‌ها معیار جابه‌جایی $6/25$ mm تعیین کننده‌ی ظرفیت کششی نهایی است. اختلاف ظرفیت باربری بدست آمده به وسیله دو معیار برای شمع‌های B1، B2 و B3 به ترتیب ۳۳، ۲۱ و ۱۷ درصد است. جابه‌جایی انتهایی آزمایش برای B1، B2 و B3 به ترتیب برابر با ۲۳، ۱۹/۶ و ۲۴/۸ درصد قطر شمع است.

شکل ۶. نتایج آزمایش کشش روی شمع‌های نوع B

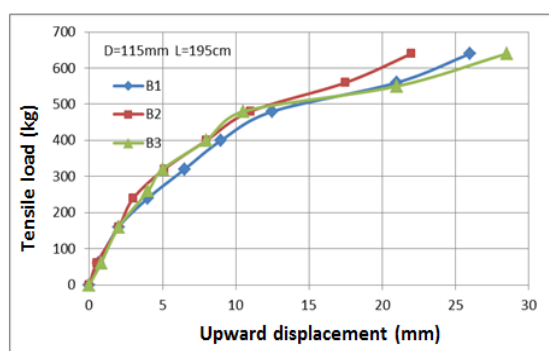


Fig. 6. The results of tension test on piles type B

۳-۳ نتایج آزمایش کشش بر روی شمع‌های نوع C

شکل (۷) نتایج مربوط به آزمایش‌های انجام شده بر روی شمع‌های نوع C را نشان می‌دهد. منحنی‌های بدست آمده برای این شمع‌ها تطابق بسیار زیادی با یکدیگر دارند و آزمایش‌های انجام شده بر روی این اندازه از شمع‌ها کاملاً تکرار پذیر می‌باشد. تغییر شیب این منحنی‌ها بسیار تدریجی صورت گرفته و نقطه‌ی متناظر آن به راحتی قابل تشخیص نمی‌باشد. معیار خطوط مماسی تعیین کننده‌ی ظرفیت کششی نهایی برای این دسته از شمع‌ها می‌باشد. اختلاف ظرفیت‌های کششی بدست آمده توسط دو معیار برای شمع‌های C1، C2 و C3 به ترتیب ۲۸/۹، ۲۲/۳ و ۲۱/۷ درصد می‌باشد. ظرفیت کششی بدست آمده برای این شمع‌ها اختلاف ناچیزی با یکدیگر دارند. جابه‌جایی ظرفیت کششی انتهایی آزمایش برای این شمع‌ها تقریباً ۲۱/۸ درصد قطر شمع می‌باشد.

جابه‌جایی‌های متناظر برای هر سه شمع از $6/25$ mm کوچکتر است و به وسیله معیار خطوط مماسی، نشست متناظر با ظرفیت باربری برای شمع‌های C1، C2 و C3 به ترتیب برابر ۳/۸،

در اینجا روش مماسی تعیین کننده است) برای این شمع‌ها تقریباً معادل ۳/۵ درصد قطر شمع است. ظرفیت باربری‌های بدست آمده برای شمع A3 تفاوت زیادی با مقادیر بدست آمده برای شمع‌های A1 و A2 دارند. دلیل این موضوع را می‌توان در عدم تشابه قسمت ابتدایی منحنی آزمایش این شمع نسبت به دو شمع دیگر این گروه و نیز ناشی از خطای آزمایش یا تغییرات ناچیز در ویژگی‌های تراکمی خاک تقریباً همگن ساختگاه دانست.

شکل ۴. نتایج آزمایش کشش روی شمع‌های نوع A

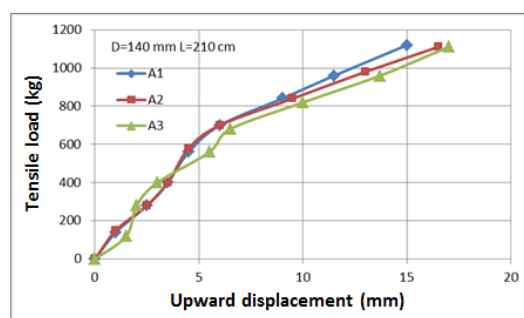


Fig. 4. The results of tension test on piles type A

شکل ۵. چگونگی استفاده از روش‌های خطوط مماسی و تغییر مکان $6/25$ میلیمتر

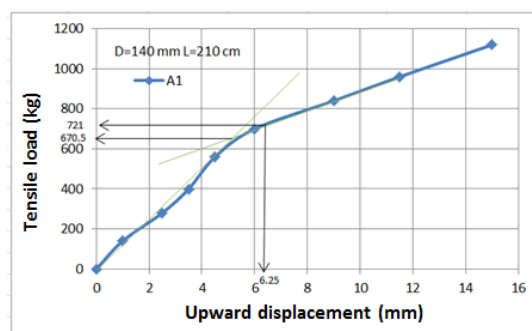


Fig.5. The application of tangent lines and 6.25-mm displacement methods

۲-۳ نتایج آزمایش کشش روی شمع‌های نوع B

شکل (۶) نتایج آزمایش‌های کششی روی شمع‌های نوع B را نشان می‌دهد. منحنی‌های بار کششی - جابه‌جایی این شمع‌ها مشابه یکدیگر بوده و بر تکرارپذیری این آزمایش در خاک‌های ماسه‌ای تقریباً همگن تاکید می‌کند. این منحنی‌ها دارای دو شیب متفاوت هستند و مانند شمع‌های نوع A روندی صعودی دارند و تا پایان

۴-۳ نتایج آزمایش کشش روی شمع‌های نوع D

شکل (۸) نتایج مربوط به ظرفیت کششی نهایی شمع‌های D1، D2 و D3 را نشان می‌دهد. معیار اصلی برای تعیین ظرفیت کششی شمع‌های مذکور، روش خطوط مماسی است. اختلاف مقادیر ظرفیت کششی دو معیار در شمع‌های D1، D2 و D3 به ترتیب برابر ۱۳، ۱۵ و ۱۲ درصد بوده و جابه‌جایی متناظر با ظرفیت کششی شمع‌ها در انتهای آزمایش به ترتیب ۳۲، ۳۲ و ۳۵ درصد قطر شمع است. در این نوع شمع‌ها، جابه‌جایی تجمعی در سه گام انتهایی آزمایش در مقایسه با ۵ گام ابتدایی آزمایش اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارند و می‌توان فهمید که شمع‌ها از گام پنجم بارگذاری کششی وارد مرحله‌ی جدیدی از رفتار خاک شده‌اند و رفته رفته به گسیختگی نزدیک‌تر می‌شوند. لازم به ذکر است که جابه‌جایی متناظر با ظرفیت کششی نهایی شمع‌های مذکور به ترتیب برابر ۵، ۵ و ۶ درصد قطر شمع است. تکرار پذیری آزمایش در این شمع‌ها نیز به خوبی نمایان است و مقادیر ثبت شده اختلاف اندکی با یکدیگر دارند.

۳/۲ و ۳/۵ درصد قطر شمع است. مورد بسیار مهمی که در این سه منحنی به خوبی نمایان است، مربوط به میزان جابه‌جایی‌ها در چهار گام انتهایی آزمایش است. جابه‌جایی‌های تجمعی در این چهار گام با جابه‌جایی‌های تجمعی چهار گام ابتدایی آزمایش اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارند و به نظر می‌رسد که رفته رفته شرایط گسیختگی در شمع‌های مذکور در حال ایجاد شدن است.

شکل ۷. نتایج آزمایش کشش روی شمع‌های نوع C

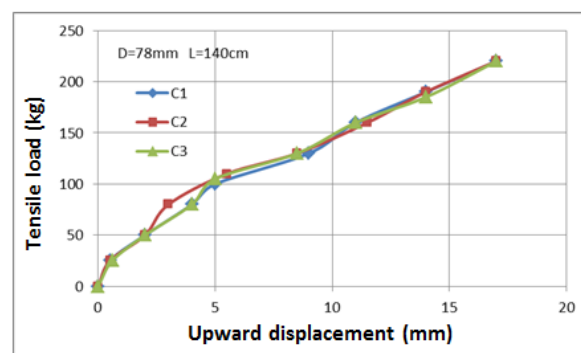


Fig. 7. The results of tension test on piles type C

جدول ۲. ظرفیت کششی نهایی شمع‌ها با استفاده از آزمایش و روش تحلیلی

Pile (Column1)	Model (Column2)	Tensile capacity (tangent lines method) (kg) (Column3)	Average of tensile capacity values (tangent lines method) (kg) (Column4)	Tensile capacity (corresponding to 6.25 mm displacement) (kg) (Column5)	Average of tensile capacity values (corresponding to 6.25 mm displacement) (kg) (Column6)	Analytical values of Coyle & Castello method (kg) (Column7)	Weight of plug (kg) (Column8)	Weight of pile (kg) (Column9)	Net tensile capacity (T_{net}) (kg) (Column10)
A	A1	670.5	649.8	721	693.5	556	25.2	24.1	621.2
	A2	679		720.5					629.7
	A3	600.1		639					550.8
B	B1	400.1	407.5	301.7	330.9	320	12	18.7	271
	B2	402.6		332					301.3
	B3	420		359.2					328.5
C	C1	89.3	90.2	115.1	112.1	108	3.9	11.8	73.5
	C2	90.1		110.2					74.3
	C3	91.2		111					75.4
D	D1	36.5	38.3	41.3	43.5	35	0.9	9.1	26.5
	D2	39.1		45					29.1
	D3	39.5		44.3					29.5

Table 2. Ultimate tension bearing capacity of piles using tests and analytical method

۳-۵ تفسیر نتایج آزمایش کشش روی مدل شمع‌ها

برای محاسبه مقادیر تحلیلی در ستون ۷ جدول (۲) به روش کویل و کاستلو از رابطه (۱) استفاده شده است:

$$Q_U = Q_P + Q_S = q' N_q^* A_p + f_{av} PL \quad (1)$$

که در آن، Q_U ظرفیت باربری نهایی شمع، Q_P ظرفیت باربری نوک شمع، Q_S ظرفیت باربری اصطکاکی جدار شمع، q' تنش قائم موثر در نوک شمع، N_q^* ضریب ظرفیت باربری، A_p مساحت نوک شمع، P محیط مقطع شمع، L طول شمع و f_{av} مقاومت اصطکاکی متوسط برای تمام طول شمع بوده که طبق رابطه (۲) تعریف می‌شود:

$$f_{av} = K \sigma_v' \tan \delta \quad (2)$$

که در آن، K ضریب فشار جانبی خاک، σ_v' فشار قائم موثر متوسط و δ زاویه اصطکاک بین خاک و شمع است. با ترکیب روابط (۱) و (۲)، رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$Q_U = q' N_q^* A_p + PLK \sigma_v' \tan(0.8\phi) \quad (3)$$

که در آن، ϕ زاویه اصطکاک داخلی خاک است [7].

همانگونه که در جدول (۲) ملاحظه می‌شود، مقادیر تحلیلی (پیش‌بینی شده) با مقادیر بدست آمده از روش‌های تفسیری (معیار ۱ و ۲ بخش ۳) مقادیری اختلاف دارند. کمترین مقدار بدست آمده از نتایج آزمایش به عنوان ظرفیت کششی نهایی شمع-ها در نظر گرفته می‌شود که در جدول (۲) با رنگ خاکستری مشخص شده‌اند. ظرفیت کششی شمع‌ها که با استفاده از روابط تحلیلی کویل کاستلو محاسبه شده‌اند، پس از اضافه کردن وزن شمع‌ها به عنوان ظرفیت طراحی شمع (ستون ۹ جدول ۲) در نظر گرفته شده و پله‌های اعمال نیروی کششی در آزمایش بر اساس این مقادیر اعمال شدند. یکی از دلایل بیشتر بودن ظرفیت کششی آزمایشی نسبت به ظرفیت کششی تحلیلی، عدم در نظر گیری وزن پلاگ خاکی محصور شده در شمع‌ها است. زیرا شمع‌های مذکور با توجه به اندازه‌ای که دارند، شمع‌های مدل شده‌اند و با شمع‌های مقیاس واقعی تا حدود زیادی متفاوت هستند بنابراین تاثیر وزن پلاگ خاکی روی ظرفیت کششی آنها غیر قابل اغماض است.

صعودی بودن منحنی و داشتن شیب تدریجی از ویژگی‌های بارز این منحنی‌ها بوده و همچون شمع‌های نوع C منحنی‌های مذکور از دو قسمت مجزا با شیب تقریباً ثابت تشکیل نشده است و نقطه‌ی متناظر با تغییر شیب در آنها رویت نمی‌شود. جدول (۲). نتایج بدست آمده و ظرفیت کششی نهایی تحلیلی و مشخصات شمع و پلاگ خاکی محصور در آن را ارائه می‌کند.

شکل ۸. نتایج آزمایش کشش روی شمع‌های نوع D

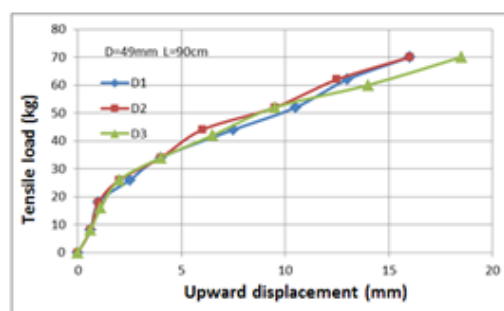


Fig. 8. The results of tension test on piles type D

پس از بیرون کشی کامل شمع‌ها از درون خاک، طول پلاگ خاکی اندازه‌گیری شده و سپس با توجه به وزن پلاگ خاکی و اطلاعات هندسی شمع، وزن مخصوص پلاگ تعیین شد که در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش طول و قطر شمع، وزن مخصوص و طول پلاگ افزایش می‌یابد. از آنجایی که اندازه‌ی شمع‌های بکاررفته در آزمایش کوچک است، آگاهی از وزن پلاگ برای دستیابی به ظرفیت کششی خالص ضرورت دارد زیرا می‌تواند تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر ظرفیت کششی بدست آمده بگذارد. خاک‌های ماسه‌ای برای جبران جابه‌جایی ناشی از فروراندن شمع در داخل آن محصور می‌شوند و در شمع‌هایی که قطر بزرگتری دارند، میزان محصورشدگی پلاگ بیشتر است.

جدول ۳. اطلاعات پلاگ محصور شده در شمع‌ها

Pile	Pile length (cm)	Plug length (cm)	Unit weight of plug soil (kN/m ³)
A	210	96	21.4
B	195	67	19.8
C	140	50	19.3
D	90	30	18.75

Table 3. Information of surrounded plug in piles

می دهد که کم یا زیاد شدن خمیدگی و شیب منحنی های بار کششی - تغییر مکان تاثیر محسوسی بر ظرفیت کششی بدست آمده می گذارد که این تاثیر ممکن است با بزرگتر شدن نیروهای کششی قابل لمس تر شود. ضمن آنکه نباید از خطاهای اپراتور در هنگام کار کردن با جک های هیدرولیکی چشم پوشی نمود که این موضوع می تواند از تکرار پذیری آزمایش در خاک تقریباً همگن ماسه ای بکاهد.

جدول ۴. ظرفیت کششی نهایی و تغییر مکان متناظر آن برای شمع های مختلف

Pile	Model	Ultimate tensile capacity(kg)	Displacement (mm)
A	A1	670.5	5.01
	A2	679	4.8
	A3	600.1	3.65
B	B1	301.7	6.25
	B2	332	6.25
	B3	359.2	6.25
C	C1	89.3	3.11
	C2	90.1	2.61
	C3	91.2	2.85
D	D1	36.5	2.48
	D2	39.1	2.51
	D3	39.5	2.97

Table 4. Ultimate tension bearing capacity and corresponding settlements for different piles

۴- نتیجه گیری

در این مقاله به منظور بررسی رفتار کششی شمع های لوله ای نصب شده در ماسه های ساحلی، یک سری آزمایش های استاندارد کششی (ASTM D-3689) روی آنها انجام شد. روند کار به این صورت بود که ابتدا شمع ها از طریق جک زنی در داخل ماسه نصب شدند و سپس آزمایش های بارگذاری کششی انجام شد. مقادیر اندازه گیری شده در این آزمایش ها به صورت منحنی های نیروی کششی - جابه جایی ترسیم شدند و با استفاده از معیارهای استاندارد، ظرفیت کششی نهایی آنها تعیین شد. نتایج این آزمایش ها نشان داد که ظرفیت کششی نهایی بدست آمده برای شمع ها در بیشتر موارد بیشتر از ظرفیت های تحلیلی محاسبه شده

همچنین همانگونه که در رابطه ای محاسبه ظرفیت کششی به روش کوپل کاستلو مشاهده می شود، به منظور محاسبه ی فشار افقی خاک روی جداری شمع از تنش موثر قائم استفاده شده است، بنابراین اثر تراکم خاک در اطراف شمع و در اعماق پایین تر که در نزدیک نوک شمع قرار دارند در این رابطه کم رنگ تر می شود. با توجه به این موضوع، کاملاً آشکار است که انجام آزمایش روی مدل شمع - ها در شرایط واقعی محل، توزیع واقعی تنش افقی و در واقع مقدار واقعی ضریب فشار جانبی در طول شمع را در خود گنجانده است. البته ذکر این نکته اهمیت دارد که در شمع های نوع C ظرفیت های کششی تعیین شده با استفاده از خطوط مماسی از مقادیر ظرفیت کششی تحلیلی و ظرفیت کششی متناظر با تغییر مکان ۶۲۵ mm (معیار ۱ بخش ۳) کوچکتر است. در مجموع نتایج نشان می دهد که روش خطوط مماسی برای تمامی شمع ها تعیین کننده نبوده و در برخی موارد، جابه جایی دیکته شده ی ۶۲۵ mm تعیین کننده ی ظرفیت باربری کششی است. بنابراین با توجه به مقادیر متوسط برای هر روش، مشخص است که ظرفیت کششی بدست آمده با معیار ۱ بخش ۳ در تمامی موارد از ظرفیت کششی نهایی تحلیلی بزرگتر است. مقایسه ی دو معیار تعیین کننده ی ظرفیت کششی در شکل های بالا نشان می دهد که در تمامی مدل شمع ها جابه جایی متناظر با ظرفیت کششی نهایی در روش خطوط مماسی کمتر از جابه جایی ۶۲۵ mm است و به نظر می رسد که در شمع های نوع B جابه جایی ۶۲۵ mm سبب بسیج شدن مقاومت اصطکاکی کمتری می شود. خمیدگی زیاد منحنی های شمع های B مشخصه بارز آنها است. عمق استقرار شمع های نوع B برابر با ۱۹۵ cm است و ممکن است ویژگی های مقاومتی خاک قرار گرفته در چنین عمقی بر رفتار این نوع شمع تاثیر خاصی گذاشته باشد. اختلاف ظرفیت کششی متوسط مدل شمع ها با ظرفیت کششی تحلیلی برای شمع های A، B، C و D به ترتیب ۱۶/۸، ۳/۴، ۱۶/۴ - و ۹/۶ درصد است. جدول (۴) تغییر مکان های متناظر با ظرفیت کششی نهایی هر یک از مدل شمع ها را ارائه می کند. مقایسه ی ظرفیت های کششی شمع های هر نوع با یکدیگر نشان می دهد که هر چه قطر شمع ها کوچکتر شود (شمع - های نوع C و D) ظرفیت کششی نهایی شمع ها اختلاف کمتری با یکدیگر دارند و در شمع های با قطر بزرگتر (نوع A و B) این مقادیر در برخی موارد اختلاف بیشتری دارند. این موضوع نشان

References

۶- مراجع

- [1] Alawneh A.S., Malkawi A.I. & Al-Deeky H. 1999 Tension tests on smooth and rough model piles in dry sand. *Canadian Geotechnical Journal*, **36**, 746-753.
- [2] Niroumand H., Kassim K.A., Ghafooripour A. & Nazir R. 2012 Uplift capacity of enlarged base piles in sand. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, **17**, 2721-2737.
- [3] Gaaver K. 2013 Uplift capacity of single piles and pile groups embedded in cohesionless soil. *Alexandria Engineering Journal*, **52**, 365-372.
- [4] Dash B. K. & Pise P. J. 2003 Effect of compressive load on uplift capacity of model piles. *Journal of the Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, **129**(11), 987-992.
- [5] ASTM D-3689. 2007 Standard test methods for deep foundations under static axial tensile load. *American Society for Testing and Materials Specifications*.
- [6] Prakash S. & Sharma H. 1982 Pile foundation in engineering practice. *John Wiley and Sons*, New York.
- [7] Coyle H.M. & Castello R.R. 1981 New design correlations for piles in sand. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, **107** (7), 965-986.

است. مهم‌ترین دلیل آن، نادیده گرفتن وزن پلاگ خاکی محصور شده در شمع‌ها و همچنین دستخوردگی کمتر ماسه بر اثر تکنیک جک‌زنی است. همچنین آنچه که از این نوع منحنی‌ها به طور آشکار قابل درک است روند صعودی آنها می‌باشد. نتایج بدست آمده برای ظرفیت کششی نهایی با استفاده از دو معیار مذکور نشان داد که معیار خطوط مماسی برای تمامی مدل شمع‌ها تعیین کننده نیست. به طور کلی تغییر مکان‌های متناظر با معیار خطوط مماسی کمتر از ۶۲۵ mm است و کم یا زیاد شدن خمیدگی و شیب منحنی‌های بار کششی - تغییر مکان تاثیر محسوس بر ظرفیت کششی بدست آمده می‌گذارد و این تاثیر ممکن است با بزرگتر شدن نیروهای کششی قابل لمس تر شود. ضمناً عوامل انسانی در هنگام اعمال بار کششی ممکن است بر نتایج نیرویی تاثیر بگذارد که نیاز به دقت بیشتر در اعمال بار نگهداشته شده است.

۵- تشکر و قدردانی

لازم می‌دانیم از گروه خاک و پی دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل برای در اختیار قرار دادن تجهیزات مورد نیاز آزمایش‌ها تشکر و قدردانی شود.

A Study on Frictional Resistance of Steel Pipe Piles under Tension in Sandy Soil

Issa Shooshpasha ^{1*}, Aria Sharifi ²

a Associate Professor, Babol Noshirvani University of Technology

b MSc. in Geotechnical Engineering, Pardisan University, Fereydukenar

Shooshpasha@nit.ac.ir

Abstract:

Pile foundations often used to transfer structural loads into deeper layers. On granular soils shaft resistance is an important factor bearing capacity of axially loaded, especially when the pile is subjected to tensile loading. Tensile forces apply on the pile holding the position of ship repair, basements, pumping stations, waterworks structures which are under water. In addition, transmission lines towers, tall chimneys, submerged platforms, masts, and other similar structures that are built on piles, in exposed disturbing moments resulting from wind, earthquakes and sea waves. In such structures, disturbing moments transferred, in some piles for pressure and other piles for tensile load. So, study the behavior of these piles and also effective parameters on the tensile capacity of is very important. Bearing the applied tensile loads on structures is one of the important applications of deep foundations, especially piles. Tensile capacity of these foundations is often produced by the frictional resistance in soil-pile interface. Piles are deep foundations which have considerable acceptance because of multi-applications. Understanding the behavior of piles and prediction of their tensile capacity is so important. In the last three decades various theories have been created regarding the behavior of piles under different loading conditions. The validity of these theories is evaluated by comparing the test results on models or structures piles with the predictions of theoretical. The field tests are Perfect scale and highly desirable, but often costly and difficult. For this reason, laboratory experiments are used to study the behavior of piles under tensile load. But to consider real conditions of the area, especially coastal sites, can be installed the piles in the soil that have been used to study the tensile behavior of piles.

The reliability of tension test results in the homogeneous soils and the impact of surface layers of sand in providing friction force are special cases that have not been tested in real conditions of the site. Different methods are developed to achieve safe, constructible and economic design, such as analytical, experimental and in-situ methods, but in some cases they are still subjected to limitations. These methods can't neither determine tensile capacity of pipe piles in coastal sand nor examine behavior of them. Since jacking technique is recommended for achieving improved soil properties and eliminating the deficiencies of other installation methods, so investigation of its effect is important. In this method, after jacking the piles with hydraulic jacks, the piles are arbitrarily tested under compressive loading to determine their compressive bearing capacity and then their tensile capacity is determined based on ASTM D-3689 procedure. After reading test data, the ultimate tensile capacity of piles were determined using tensile capacity criteria and then compared with analytical results. Tensile behaviors of piles at large displacements are also investigated and required force for larger pull out displacements were measured.

The results showed that determined uplift capacities are more than analytical results and sand compaction due to pile installation can increase frictional resistance. It also revealed that the tangential criterion is determinant to obtain ultimate tensile capacity in most piles.

Keywords: tensile test, jacking, ultimate tensile capacity, pipe pile, coastal sand