

# بررسی تأثیر اسلامپ بتن در ظرفیت کششی شمع بتنی درجا

عبسی شوش پاشا\* (استادیار)

رضا نوزاد (استادیار)

غیاث‌الدین مظفری (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

مهندسی عمران شریف، بهار ۱۳۹۴ (ص. ۵۱-۶۰)  
دربی ۲- ۳۱، شماره ۱/۱، ص. ۵۱-۶۰

با توجه به پیچیدگی اندرکنش خاک و شمع و تأثیر پارامترهای متعدد در رفتار متقابل آنها، بهترین روش تخمین ظرفیت باربری شمع‌ها، استفاده از آزمایش بارگذاری است. پژوهشگران با انجام پژوهش‌های آزمایشگاهی به بررسی پارامترهای گوناگون در رفتار شمع پرداخته‌اند. در این مطالعه، اسلامپ بتن به‌عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار در ظرفیت باربری شمع‌های درجا مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور آزمایش بارگذاری بر روی ۱۲ عدد شمع در اندازه‌ی آزمایشگاهی انجام شده است. در این پژوهش که بر روی ۱۲ نمونه به طول ۱۲۰ و قطر ۱۲ سانتی‌متر انجام شده است، شمع‌ها در ۴ گروه با اسلامپ‌های ثابت ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ سانتی‌متر مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. طبق مشاهدات تجربی، ظرفیت کششی جداری شمع با اسلامپ بتن تشکیل‌دهنده‌ی بدنه‌ی شمع ارتباط مستقیم دارد، به طوری که در اسلامپ‌های بالاتر مقاومت کششی بیشتری در نمونه‌ها مشاهده شده است.

shooshpasha@nit.ac.ir  
rnoorzad@nit.ac.ir  
gh.mozaffari@gmail.com

واژگان کلیدی: اسلامپ، ماسه، شمع درجا، بتن، ظرفیت.

## ۱. مقدمه

علی‌رغم پیشرفت علم مکانیک خاک، تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها هنوز با دشواری‌هایی همراه است. تعیین ظرفیت باربری فشاری و کششی پی‌های عمیق همواره از دغدغه‌های مهندسان ژئوتکنیک بوده است. خواص فیزیکی و مکانیکی منحصر به فرد خاک، پارامترهای گوناگون مؤثر در اندرکنش خاک و شمع، طول زیاد سیستم پی شمع و مواجهه آن با لایه‌های متعدد خاک موجب شده است که تخمین چگونگی رفتار و ظرفیت باربری شمع به‌سادگی میسر نباشد. به دلیل نسبتاً پر هزینه بودن اجرای این‌گونه پی‌ها که نیاز به مصالح زیاد، نیروی انسانی متخصص و ماشین‌آلات سنگین دارد، هرگونه تلاشی جهت بهبود دقت در طراحی و اجرا در رابطه با این‌گونه سیستم پی‌سازی، اهمیت ویژه‌ی دارد. شمع‌ها را می‌توان با توجه به ویژگی‌های مختلف آن دسته‌بندی کرد. شمع‌های کششی به‌عنوان دسته‌ی از شمع‌ها در مقاوم‌سازی سازه‌ها در برابر زیرفشارها، واژگونی و سایر نیروهای نامتعادل‌کننده استفاده می‌شود. این نیروها تحت شرایط مختلف از جمله قرارگرفتن سازه روی خاک‌های متورم‌شونده، تنش‌های ناشی از بارهای جانبی از قبیل باد و زلزله و بار ناشی از یخ‌زدگی به شالوده‌ی سازه‌ها وارد می‌شود. در سازه‌هایی مانند: دکل‌های انتقال نیرو، شمع‌ها و تکیه‌گاه پایه‌های دکل باید برای هر دو نیروی کششی و فشاری طراحی شوند. براساس آزمایش‌ها و مطالعات انجام‌شده توسط پژوهشگران، پارامترهای

مختلف در ظرفیت کششی شمع‌ها مؤثر است، که از آن جمله می‌توان به مواردی از قبیل نوع شمع، قطر شمع، طول مدفون شمع، تراکم نسبی خاک، مسلح‌کردن خاک، سطح زبری شمع، قطر یا فیلی در شمع، پدیده‌ی قوس‌زدگی، زاویه‌ی اعمال نیروی کششی، روش‌های اجرای شمع و نوع انتهای شمع نام برد. پژوهشگران میزان و چگونگی تأثیر هر یک از این پارامترها را مورد بررسی قرار داده‌اند.<sup>[۱]</sup> برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهند تاریخچه، مقدار و نوع بارگذاری‌های قبلی نیز در میزان مقاومت کششی شمع مؤثر است.<sup>[۲]</sup> به‌طور کلی روش‌های تعیین ظرفیت کششی پی‌های عمیق به دو دسته‌ی مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. روش‌های غیرمستقیم شامل انواع تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی می‌شوند، که البته آنها نیز با ضرایبی مشابه روش‌های مستقیم هم‌سنجی می‌شوند. روش‌های مستقیم براساس ایجاد رابطه بین آزمون‌های درجا با ظرفیت باربری پی است، که از جمله‌ی این آزمون‌ها می‌توان به آزمایش نفوذ استاندارد، نفوذ مخروط، پرسومیتری، دیلاتومتری، برش پره و... را نام برد. با توجه به گستردگی استفاده از شمع‌های بتنی درجا، میزان تأثیر پارامتر روانی بتن در ظرفیت نهایی کششی جداری شمع‌ها در این سری از آزمایش‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. برای نیل به این هدف، اقدام به اجرای ۱۲ نمونه شمع بتنی درجا در ۴ اسلامپ مختلف با مقطع دایره‌ی و ابعادی به طول ۱۲۰ و قطر ۱۲ سانتی‌متر شد و آزمایش تعیین ظرفیت کششی بر روی آنها انجام شد. در این مجموعه آزمایش‌ها، نمونه‌ها دارای اسلامپ‌های ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ سانتی‌متری بودند و محل اجرای نمونه‌ها به‌صورت دستی حفاری شد. در مراحل حفاری از یک لوله (پلاستیکی

\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۱/۷/۲۵، اصلاحیه ۱۳۹۲/۵/۳۰، پذیرش ۱۳۹۲/۶/۱۶.

### ۳.۲. روش ارائه‌شده‌ی داس (۱۹۸۳)

این روش را داس براساس نتایج آزمایشگاهی ارائه کرده است. در این مدل اصطکاک بین بدنه‌ی خاک و شمع به‌طور خطی تا عمقی موسوم به عمق بحرانی ( $L_{cr}$ ) افزایش می‌یابد و پس از آن ثابت می‌ماند. این عمق به تراکم نسبی خاک بستگی دارد (رابطه‌های ۳ الی ۶):<sup>[۱]</sup>

$$\left(\frac{l}{d}\right)_{cr} = 0.15 D_r + 3.58 \quad D_r \leq 70\% \quad (3)$$

$$\left(\frac{l}{d}\right)_{cr} = 14.5 \quad D_r \geq 70\% \quad (4)$$

$$p_{nu} = \frac{1}{3} \rho \gamma L^{\prime} k_u \tan \delta \quad \frac{l}{d} \leq \left(\frac{l}{d}\right)_{cr} \quad (5)$$

$$p_{nu} = \frac{1}{3} \rho \gamma L_{cr}^{\prime} k_u \tan \delta + \rho \gamma L_{cr} k_u \tan \delta (L - L_{cr}) \quad \frac{l}{d} > \left(\frac{l}{d}\right)_{cr} \quad (6)$$

که در آنها،  $D_r$  درصد تراکم نسبی خاک،  $d$  قطر شمع و سایر پارامترها همان ضرایب تعریف‌شده در مراحل قبل هستند.

### ۴.۲. روش ارائه‌شده‌ی چاتوپادایا و پیس (۱۹۸۶)

این پژوهشگران یک روش کلی برای یک شمع قائم دایره‌ی در خاک ماسه‌ی ارائه دادند و سطح شکستی به شکل منحنی برای خاک در نظر گرفتند (رابطه‌ی ۷):

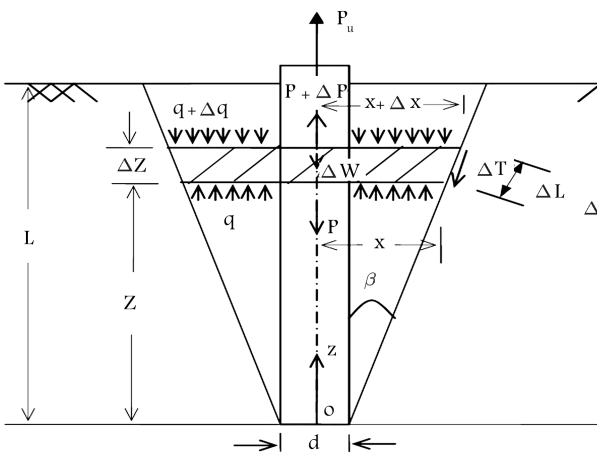
$$p_{nu} = A_1 \gamma \rho L^{\prime} \quad (7)$$

که در آن،  $A_1$  فاکتور ظرفیت کششی نهایی است، که به  $\varphi$ ،  $\delta$  و نسبت  $\frac{l}{d}$  بستگی دارد.<sup>[۶]</sup>

### ۵.۲. روش پیشنهادی شانکر و همکاران (۲۰۰۷)

در این روش، برای سادگی سطح شکست به شکل مخروط ناقص با زاویه‌ی  $\beta$  با راستای محوری شمع و خط سطوح عبوری از نوک شمع در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱).

زاویه‌ی  $\beta$  به فاکتورهایی مانند زاویه‌ی اصطکاک داخلی خاک و زاویه‌ی اتساع خاک که خود به تراکم نسبی خاک مرتبطاند، وابسته است و مقدار آن برابر با



شکل ۱. الگوی مخروط ناقص.

(PVC) به‌عنوان غلاف استفاده شده است، که جهت جلوگیری از ریزش جداره، همراه با حفاری در زمین رانده و هنگام بتن‌ریزی به‌طور مرحله‌ی از زمین خارج شده است. جهت جلوگیری از دست‌خوردگی جداره، همواره لوله‌ی جداره، ۱۰ الی ۱۵ سانتی‌متر جلوتر از عمق حفاری قرار داشته است. در این آزمایش‌ها، پارامتر روانی با استفاده از آزمایش اسلامپ ارزیابی و برای ایجاد اسلامپ‌های متفاوت، برای نزدیکی بیشتر به وضعیت کارگاهی، از تغییر مقدار آب مصرفی در نسبت اختلاط بتن استفاده شده است. در این مطالعه، ابتدا به ارزیابی تاریخچه‌ی مطالعات ظرفیت باربری کششی شمع پرداخته و سپس نحوه‌ی انجام آزمایش‌ها و نتایج به‌دست‌آمده در خصوص تأثیر اسلامپ بتن در ظرفیت باربری کششی جداره شمع ارائه شده است.

## ۲. ارزیابی ظرفیت باربری کششی با تحلیل استاتیکی

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، آنالیز استاتیکی یکی از متداول‌ترین روش‌ها در ارزیابی ظرفیت باربری شمع‌های کششی است. در آنالیز استاتیکی از تحلیل‌های تئوریک رایج در مکانیک خاک و استفاده از پارامترهای مقاومت برشی در حالت‌های تنش کلی و مؤثر و بر مبنای فرض مدل‌های مختلف گسیختگی متناسب با اندرکنش خاک و شمع استفاده می‌شود.<sup>[۵،۲]</sup> وقتی از شمع‌ها جهت تحمل بار کششی استفاده می‌شود، طراحی امن و اقتصادی آنها، اهمیت بالایی دارد. برای تخمین ظرفیت کششی جداره شمع‌ها، چندین نظریه براساس تئوری تعادل حدی گسترش پیدا کرده است (مایرهوف ۱۹۷۳، داس (۱۹۸۳)، چاتوپادایا، و پیس ۱۹۸۶). صحت این روابط براساس آزمایش‌های تجربی مورد تأیید قرار گرفته است و اختلاف در تئوری‌های اعلام‌شده به شکل، سطح شکست و فرضیات ساده‌کننده در نظر گرفته‌شده بستگی دارد.<sup>[۸-۶]</sup> مدل‌هایی ارزیابی که عموماً مورد استفاده قرار می‌گیرد، به این شرح است:

### ۱.۲. مدل مخروط کوتاه

این مدل با فرض یک مخروط کوتاه وارونه، که شمع را احاطه کرده است، و با راستای قائم شمع زاویه‌ی  $\varphi/2$  دارد، در نظر گرفته می‌شود و وزن خاک موجود در مخروط وارونه به‌عنوان ظرفیت کششی شمع در نظر گرفته می‌شود (رابطه‌ی ۱):<sup>[۹]</sup>

$$p_{nu} = \frac{\pi}{3} L^{\prime} \tan^2 \frac{\varphi}{2} \gamma \quad (1)$$

که در آن،  $p_{nu}$  مقاومت اصطکاک کششی شمع،  $\varphi$  زاویه‌ی اصطکاک داخلی خاک،  $\gamma$  وزن مخصوص خاک، و  $L$  طول شمع است.

### ۲.۲. روش ارائه‌شده‌ی مایرهوف (۱۹۷۳)

مایرهوف با نادیده‌گرفتن وزن شمع، برای تعیین مقاومت کششی محوری در وضعیتی که شکست در توده‌ی خاک اتفاق می‌افتد، رابطه‌ی ۲ را پیشنهاد داد:

$$p_{nu} = \frac{1}{3} \rho \gamma L^{\prime} k_u \tan \delta \quad (2)$$

که در آن،  $p_{nu}$  مقاومت اصطکاک کششی شمع،  $k_u$  ضریب تأثیر فشار زمین،  $\delta$  ضریب اصطکاک خاک و شمع،  $\rho$  محیط سطح مقطع شمع،  $\gamma$  وزن مخصوص خاک و  $L$  طول شمع است. علاوه بر خصوصیات خاک به نحوه‌ی اجرای شمع نیز بستگی دارد.<sup>[۸]</sup>

مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. چون در هر صورت فشار آب مغذی اضافی در درازمدت مستهلک و تنش مؤثر خاک کاملاً فعال می‌شود. این روش برای استفاده در خاک‌های اصطکاکی مانند: شن، ماسه، و سلیت مناسب است. پژوهش‌های انجام شده از مطابقت مناسب مقادیر  $\beta$  منتشر شده توسط پژوهشگران و داده‌های ناشی آزمایش‌های بارگذاری حکایت دارد. [۱۸، ۱۹] ضریب  $\beta$  از رابطه‌ی ۱۳ به دست می‌آید:

$$k m \tan \varphi = k \tan \delta = \beta \quad (13)$$

که در آن،  $k$  ضریب تبدیل فشار قائم به فشار جانبی،  $\delta$  ضریب اصطکاک بین جداری شمع و خاک، و  $m = \frac{\tan \delta}{\tan \varphi}$  است. لذا مقدار مقاومت جداری در واحد سطح ( $f_s$ ) از رابطه‌ی ۱۴ به دست می‌آید:

$$f_s = \beta \sigma'_z \quad (14)$$

که در آن،  $\sigma'_z$  تنش مؤثر قائم در عمق مورد نظر است. معادله‌ی مذکور برای سربار  $\sigma'_s$  به صورت رابطه‌ی ۱۵ اصلاح می‌شود:

$$f_s = \beta (\sigma'_z + \sigma'_s) \quad (15)$$

ظرفیت کششی شمع در ماسه معمولاً به صورت رابطه‌ی ۱۶ در نظر گرفته می‌شود. هر چند مقاومت اصطکاکی در شمع کششی خطی نیست، اما با فرض ثابت بودن مدول برشی خاک، کمینه و بیشینه‌ی آن در ابتدا و انتهای آن رخ می‌دهد (رابطه‌ی ۱۶): [۲۰]

$$Q_s = \pi D \int_0^L \sigma'_{rf} \tan \delta_f dz \quad (16)$$

که در آن،  $Q_s$  مقاومت نهایی کششی جداری شمع،  $D$  قطر،  $L$  طول مدفون شمع، و  $\delta_f$  زاویه‌ی اصطکاک خاک و شمع در زمان تسلیم شمع است. برخی پژوهشگران در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند که تنش شعاعی مؤثر روی بدنه‌ی شمع از دو مؤلفه تشکیل شده است (رابطه‌ی ۱۷): [۱۷، ۱۹]

$$\sigma'_{rf} = \sigma'_{rc} + \sigma'_{rd} \quad (17)$$

مؤلفه‌ی  $\sigma'_{rc}$  که تنش شعاعی مؤثر ایستایی قبل از بارگذاری و بعد از نصب شمع است و مؤلفه‌ی  $\sigma'_{rd}$  که تنش مؤثر اضافی است، که در اثر اتساع ماسه در طول بارگذاری ایجاد می‌شود. با توجه به معادله‌ی مذکور، روابط ۱۸ و ۱۹ را خواهیم داشت:

$$\sigma'_{rf} = \sigma'_v \left[ k_m(z) + \frac{\sigma'_{rd}}{\sigma'_v} \right] \quad (18)$$

$$k(z) = \left[ k_m(z) + \frac{\sigma'_{rd}}{\sigma'_v} \right] \quad (19)$$

که در آنها،  $k$  ضریب فشار زمین شامل اثر اتساع ماسه،  $\sigma'_v$  تنش مؤثر قائم و  $z$  عمق نقطه‌ی مورد نظر از سطح زمین است. در روابط مذکور،  $k$  و  $\delta_f$  فاکتورهایی هستند که باید تخمین زده شوند. برای این موضوع پژوهشگران مقادیر مختلفی ارائه کرده‌اند. [۲۱]

زاویه‌ی اتساع خاک،  $\varphi/2$  یا تابعی از  $\varphi$  است. در این حالت فرض می‌شود در طی اعمال نیروی کششی حجمی از خاک در اطراف شمع به طور متقارن به سمت سطح زمین حرکت می‌کند. نیروی کششی توسط نیروی برشی در سطح شکست و وزن خاک و شمع مقابله می‌شود. گوه‌ی خاک به ضخامت  $\Delta z$  در نظر گرفته می‌شود، و نیروهای وارد بر آن در شکل ۱ مشاهده می‌شود. برای محاسبه‌ی مقاومت بسیج شده‌ی  $\Delta T$  در سطح شکست و در شرایط حدی فشار جانبی زمین در گوه برابر با  $(1 - \sin \varphi) \tan \delta / \tan \varphi$  در نظر گرفته می‌شود. با در نظر گرفتن  $\varphi = \delta$ ، در این روش  $k = 1 - \sin \varphi = k_0$  خواهد شد و برای سایر مقادیر  $\delta$ ،  $k$  تابعی از  $k_0$ ،  $\varphi$  و  $\delta$  است. [۲۶] با فرض برابری وزن شمع با خاک و اعمال معادلات تعادل (شکل ۱) روابط ۸ الی ۱۰ به دست می‌آید:

$$p_u = \frac{C_1}{\gamma} L^2 + \frac{C_2}{\gamma} L^6 \quad (8)$$

$$C_1 = \pi D \gamma \left( \frac{1}{\tan \theta} + (\cos \theta + k \sin \theta) \tan \varphi \right) \quad (9)$$

$$C_2 = \frac{\gamma \pi \gamma}{\tan \theta} \left( \frac{1}{\tan \theta} + (\cos \theta + k \sin \theta) \tan \varphi \right) \quad (10)$$

با کسر وزن معادل حجم شمع، مقدار مقاومت اصطکاکی شمع به دست می‌آید (رابطه‌ی ۱۱):

$$p_{nu} = p_u - \frac{\pi D^2}{4} L \gamma \quad (11)$$

مقاومت جلدی واحد سطح در خاک ماسه‌یی از رابطه‌ی ۱۲ تعیین می‌شود:

$$f_s = C_a + \bar{q} k \tan \delta \quad (12)$$

که در آن،  $C_a$  کسری از چسبندگی خاک،  $\bar{q}$  تنش مؤثر قائم در عمق مورد نظر  $k$ ، ضریب فشار جانبی خاک و  $\delta$  زاویه‌ی اصطکاک بین خاک و شمع است.

## ۶.۲. رابطه‌ی جابجایی و مقاومت جداری

برخی از پژوهشگران مقدار مشخصی از جابجایی بین خاک و شمع را صرف نظر از هندسه‌ی شمع، نشان‌دهنده‌ی فعال شدن کامل مقاومت اصطکاکی معرفی و طی پژوهش‌های مختلف، مقادیری را در این مورد اعلام کرده‌اند. در سال‌های ۱۹۸۴ و ۱۹۸۵، [۲۱، ۲۲] جابجایی ۵ تا ۱۰ میلی‌متر، در سال ۱۹۸۴، [۲۳] ۲ الی ۴ میلی‌متر در خاک ماسه‌یی، در سال ۲۰۱۳، [۲۴] جابجایی ۳ تا ۴ میلی‌متر، و... پژوهشگران مختلف جهت تعیین ضرایب مؤثر در مقاومت کششی شمع ( $\delta$ ،  $k$ ) با در نظر گرفتن پارامترهای متفاوت از قبیل نوع شمع، نوع اجرا، میزان تراکم ماسه و... مقادیر و شیوه‌های گوناگونی ارائه کرده‌اند. [۲۵، ۲۶]

## ۷.۲. روش $\beta$ در تعیین مقاومت اصطکاکی

این روش توسط بیروم<sup>۱</sup> و جانسون<sup>۲</sup> (۱۹۶۵) و برلند (۱۹۷۳) پیشنهاد شده است و به همین دلیل این روش به روش بیروم - برلند نیز معروف است. این پژوهشگران معتقد بودند که مقاومت اصطکاکی با تنش مؤثر در خاک اطراف شمع متناسب  $\beta$  و ضریب این تناسب است. [۲۷]

این روش متداول‌ترین روش برای تعیین مقاومت اصطکاکی شمع‌هاست. از این روش در تعیین تاب فشاری و کششی اصطکاکی شمع‌های منفرد استفاده می‌شود و ضرایب پیشنهادی در دو حالت اشاره شده، بسته به پیشنهاد پژوهشگران

### ۳. روش‌های متداول بارگذاری کششی

استاندارد (۱۹۹۵) ASTM-D۳۶۸۹-۹۰ با عنوان «روش استاندارد آزمایش بر روی شمع منفرد تحت نیروی کششی استاتیکی»، نحوه‌ی آزمایش بارگذاری بر روی شمع تحت نیروی کششی را شرح داده است. در این پژوهش از میان روش‌های مختلف توصیه‌شده، از شیوه‌ی بارگذاری آرام (SM test) جهت اعمال نیرو استفاده شده است. جزئیات این روش در ASTM-D۱۱۴۳-۸۱ نیز بیان شده است. بارگذاری در این حالت تا ۲۰٪ بار طراحی اعمال می‌شود و در افزایش‌های حدود ۲۵٪ از بار طراحی اعمال نیرو انجام می‌پذیرد. بارگذاری به صورت پله‌یی است و در هر دوره، فرصت کافی برای تثبیت نشست داده می‌شود. بارگذاری باید در سرعتی انجام شود که آهنگ جابه‌جایی شمع کمتر از ۰٫۲۵ میلی‌متر یا ۰٫۱ اینچ بر ساعت باشد و در هر صورت نباید از ۲۴ ساعت بیشتر شود. این روش نزدیک‌ترین روش به وضعیت بارگذاری استاتیکی است و با عنوان «روش آزمایش با کنترل بارگذاری»<sup>[۲۴-۲۲]</sup> نیز نامیده می‌شود. این شیوه رایج‌ترین روش اعمال نیرو در بارگذاری کششی است.



شکل ۲. محل انجام آزمایش.

### ۲.۴. عملیات صحرایی انجام‌شده

در نزدیکی ساخت‌گاه آزمایش در ضلع جنوبی زمینی به مساحت ۷۸۰۰۰ مترمربع واقع در منطقه‌ی ساحلی سرخ‌رود، در محدوده‌ی ۶ × ۳ متر، گمانه‌ی جهت انجام عملیات شناسایی خاک محل حفر شد. گمانه‌ی حفاری شده با روش ماشینی اجرا و در حین آزمایش، نمونه‌های دست‌خورده از اعماق مختلف جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی تهیه شد. در ضمن در طی روند حفاری به انجام آزمایش نفوذ استاندارد SPT اقدام شد. اطلاعات به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها نشان می‌دهد که خاک منطقه‌ی درشت‌دانه در حد ماسه‌ی بد دانه‌بندی شده است. خلاصه‌ی اطلاعات دانه‌بندی و طبقه‌بندی خاک، مقادیر عدد SPT، وزن مخصوص، درصد رطوبت و نتایج آزمایش برش مستقیم تا عمق ۵ متر به شرح جدول‌های ۱ الی ۴ ارائه شده است. بنابر بررسی‌های انجام‌شده، در مراحل حفر گمانه، سطح آب زیرزمینی

### ۱.۳. روش‌های انتخاب بار نهایی

پژوهشگران مختلف روش‌های گسترده و متفاوتی را جهت مشخص کردن ظرفیت باربری نهایی شمع‌ها ارائه کرده‌اند. روش‌های مورد قبول معمول در تعیین بار نهایی کششی شمع، کمترین مقدار به‌دست آمده از ۳ ضابطه‌ی شکست تعریف شده بدین صورت است:<sup>[۲۱-۲۳]</sup>

۱. بار شکست باری است که در سر شمع جابجایی به سمت بالا به میزان ۶٫۲۵ میلی‌متر ایجاد کند.

۲. بار شکست باری است که از نقطه‌ی برخورد مماس‌های منحنی بار - نشست (مماس در ابتدا و انتهای منحنی) به‌دست می‌آید.

۳. بار شکست باری است که در آن به‌طور ناگهانی جابجایی قائم به سمت بالا افزایش می‌یابد.

جدول ۱. طبقه‌بندی خاک به روش یونیفاید.

عمق (m)	۲	۳٫۵	۵
$D_{۱۰}$ (mm)	۰٫۱۵۱	۰٫۱۳۸	۰٫۱۳۱
$D_{۳۰}$ (mm)	۰٫۲۰۶	۰٫۱۸۶	۰٫۱۸۳
$D_{۵۰}$ (mm)	۰٫۲۶۱	۰٫۲۲۶	۰٫۲۲۲
$D_{۶۰}$ (mm)	۰٫۲۸۹	۰٫۲۴۶	۰٫۲۴۱
$D_{۲۰۰}$ (%)	۱٫۳۲	۰٫۳۲	۰٫۱۶
Cc	۰٫۹۷۴	۱٫۰۲۴	۱٫۰۵۳
Cu	۱٫۹۱۲	۱٫۷۸۷	۱٫۸۳۵
نوع خاک	Sp	Sp	Sp

جدول ۲. نتایج آزمایش SPT جهت تعیین بافت تراکم.

شماره‌ی نمونه	عمق (m)	عدد SPT		تراکم نسبی
		$N_{cor}$	$N$	
۱	۲	۱۶	۱۶	نیمه متراکم
۲	۳٫۵	۱۷	۱۵	نیمه متراکم
۳	۵	۱۹	۱۷	نیمه متراکم

جدول ۳. خصوصیات خاک محل آزمایش.

شماره‌ی ردیف	عمق (m)	w (%)	Gs	$\gamma_{wet}$ ( $gr/cm^3$ )	$\gamma_d$ ( $gr/cm^3$ )	e
۱	۲٫۰	۱۹٫۱۲	۲٫۷۳	۱٫۹۹	۱٫۶۷	۰٫۶۳
۲	۳٫۵	۱۴٫۱۸	۲٫۳۲	۲٫۰۶	۱٫۸۰	۰٫۲۹
۳	۵٫۰	۱۲٫۹۳	۲٫۸۴	۲٫۰۷	۱٫۸۳	۰٫۵۵

### ۴. انجام آزمایش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها، باید ساختگاهی مناسب در نظر گرفته شود. این ساختگاه با مطالعات ژئوتکنیکی شناسایی و مراحل بررسی خاک محل و فراهم‌کردن تمهیدات لازم جهت اجرای شمع و اعمال نیرو در این بخش به تفکیک ارائه می‌شود.

### ۱.۴. معرفی محل آزمایش

محل اجرای نمونه‌های آزمایشی، در منطقه‌ی ساحلی دریای خزر در ناحیه‌ی البرز مرکزی، در شهر سرخ‌رود و منطقه‌ی ساحلی چاکسر واقع شده است. از دیدگاه تقسیمات زمین‌شناسی ایران، این منطقه جزء زون گرگان - رشت محسوب می‌شود، که از نظر رسوبات زمین‌شناسی شامل رسوبات دوره‌ی پالئوژن و دوران کواترنری است. این منطقه طی سالیان متمادی و در اثر عملکرد نیروهای زمین‌ساختی دامنه‌ی شمالی البرز و در اثر شکستگی‌ها و گسل‌های شمال و مازندران و طی تغییرات آب و هوایی و یوراندگی و فرورفتگی قسمت دشتی ساحل دریای خزر به‌صورت فعلی درآمده است (شکل ۲).

جدول ۴. پارامترهای به دست آمده از آزمایش برش مستقیم (مقدار چسبندگی به دست آمده ناشی از کشش سطحی آب است).

شماره ی نمونه	عمق (m)	$\phi$	C (kg/cm <sup>2</sup> )
۱	۳	۳۳	۰/۰۴
۲	۶	۳۲	۰/۰۴

جدول ۵. میزان مصالح مصرفی در هر اسلامپ.

آب (Liter)	سیمان (kg)	شن و ماسه (kg)	اسلامپ (cm)
۱۰	۴۱	۱۵۸	۸
۱۴	۴۱	۱۵۸	۱۲
۱۵	۴۱	۱۵۸	۱۶
۱۶	۴۱	۱۵۸	۲۰

در عمق ۵ متری زمین است که با توجه به طول شمع‌های در نظر گرفته شده (۱/۲ متر)، کف تمامی آنها حدوداً به اندازه‌ی ۳/۵ متر بالای سطح آب زیرزمینی واقع شده است.

#### ۳.۴. مشخصات نمونه‌های مورد آزمایش

نمونه‌ها شامل ۱۲ شمع بتنی درجا ریخته شده با سطح مقطع دایره‌یی به طول ۱۲۰ و قطر ۱۲ سانتی‌متر هستند، که در ۴ گروه سه‌تایی با اسلامپ‌های ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ سانتی‌متر اجرا شده‌اند.

#### ۴.۴. پارامتر اسلامپ

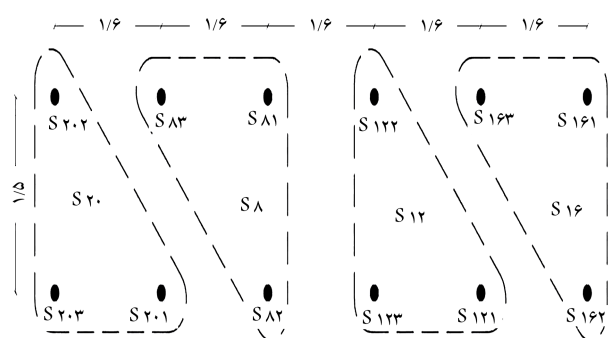
از عوامل مؤثر در اسلامپ بتن می‌توان به مقدار آب و سیمان، خصوصیات مصالح سنگی، افزودنی‌های بتن و میزان هوای وارد شده در بتن اشاره کرد. در این آزمایش اسلامپ‌های متفاوت با تغییر میزان آب مصرفی در نسبت‌های اختلاط مصالح بتن به دست آمده است، یعنی مصالح سنگی، و سیمان در تمامی اسلامپ‌ها ثابت در نظر گرفته شده و فقط با تغییر میزان آب مصرفی در نسبت اختلاط بتن، اسلامپ‌های متفاوت ایجاد شده است.

در جدول ۵، نسبت مصالح استفاده شده در مخلوط‌کننده‌ی بتن، که منجر به دست‌یابی به اسلامپ مورد نظر شده است، ارائه شده است. این تذکر لازم است که برای ساخت بتن تمام شمع‌ها از مصالح سنگی با دپوی واحد و شرایط ثابت نگهدار استفاده شده است. سیمان مصرفی از نوع سیمان نوع II مطابق استاندارد ASTM C ۱۵۰ است. [۲۵]

با توجه به مشخصات سیستم اعمال نیرو و اعمال رواداری‌های مورد نظر، پلان شمع‌های اجرایی به شرح شکل ۳ است.

#### ۵.۴. طریقه‌ی انجام آزمایش

در این آزمایش‌ها از یک جک هیدرولیکی با دو گیج فشار ۱۶ و ۶۰ بار، پمپ دستی اعمال فشار و از یک زنجیر فولادی جهت انتقال نیروی کششی از تکیه‌گاه به شمع استفاده شده است. دو صفحه‌ی فلزی در بالا و پایین جک هیدرولیکی به عنوان صفحه‌ی تقسیم فشار قرار داده شده و تیر رابط هم‌زمان با پمپ دستی به بالا رانده شده و با استفاده از زنجیر قلاب شده، نیروی کششی به شمع انتقال داده



شکل ۳. پلان آرایش شمع‌ها.

شده است. عکس‌العمل نیروی کشش به شکل نیروی فشاری به وسیله‌ی تیر اصلی به پایه‌های بتنی و از آنجا به زمین منتقل شده است. طریقه‌ی اعمال بارگذاری به صورت پله‌یی و به شیوه‌ی کنترل بارگذاری بوده و در هر مرحله فرصت کافی برای تثبیت نشست داده شده است. در این آزمایش‌ها پله‌های بارگذاری تا رسیدن به مرحله‌ی شکست ادامه پیدا کرده است. از دو عدد پروفیل با مقطع مربعی و ابعاد ۱۰ × ۱۰ سانتی‌متر و طول ۳ متر، که در فاصله‌ی ۱/۵ متر از سر شمع‌ها به زمین تکیه داده شده است، به عنوان تیر مرجع استفاده شده است، که با اتصال دو گیج جابه‌جایی میزان جابه‌جایی شمع در دو طرف آن قرائت شده است. با توجه به اینکه توصیه‌ی استاندارد ASTM-D ۳۶۸۹-۹۰ پله‌های بارگذاری به میزان ۲۵٪ بار طراحی بوده است، با در نظر گرفتن این موضوع که آزمایش نمونه‌ها تا مرحله‌ی گسیختگی ادامه یافته و با توجه به ظرفیت باربری تئوری شمع و دقت نمایش گیج‌های نیرو، پله‌های بارگذاری به میزان ۷۲ کیلوگرم معادل فشار ۱ بار (bar) به بیستون جک در نظر گرفته شده و این پله‌های بارگذاری تا رسیدن به مرحله‌ی شکست ادامه پیدا کرده است (برای ساخت دستگاه جانمایی شمع‌ها و اعمال بارگذاری از توصیه‌های استاندارد ASTM-D ۳۶۸۹-۹۰ استفاده شده است). نمایش از تجهیزات و سیستم اعمال بار کششی بر روی شمع‌ها در شکل‌های ۴ الی ۶ ارائه شده است.

#### ۵. نتایج و تجزیه تحلیل اطلاعات

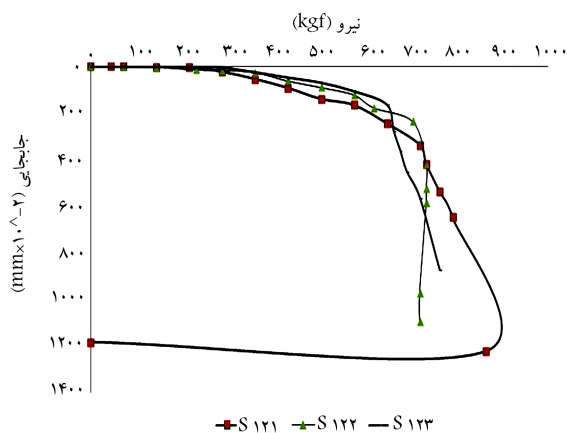
در این بخش به تجزیه و تحلیل نتایج حاصل آزمایش کشش بر روی ۱۲ شمع جدول ۶ شامل نمودارهای بار - جابه‌جایی، ظرفیت کششی شمع و استخراج ضرایب و پارامترهای مقاومتی پرداخته شده است.

#### ۱.۵. رفتار منحنی‌های بار - جابه‌جایی

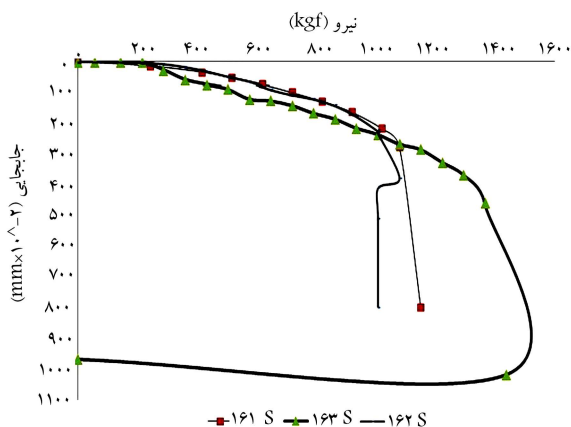
در تمام منحنی‌های بارگذاری مشاهده می‌شود که نمونه‌ها صرف نظر از مقدار اسلامپ تا محدوده‌ی بارهای حدود ۲۰۰ کیلوگرم رفتار خطی نسبتاً یکسان، با جابه‌جایی‌های متناظر مشابه ارائه می‌دهند. محدوده‌ی جابه‌جایی جهت رسیدن به مقاومت ۲۰۰ کیلوگرم بسیار کوچک است. با توجه به مشاهدات صورت گرفته از این نقطه می‌توان صرف نظر از مقدار اسلامپ به عنوان نقطه‌ی تسلیم اولیه در اندرکش خاک و شمع یاد کرد. در تمامی حالات اسلامپ، بارگذاری پس از این مرحله، که منحنی با یک شیب ملایم به محدوده‌ی بار ۲۰۰ کیلوگرم می‌رسد، وارد محدوده با شیب به نسبت تندتری می‌شود، که این مسیر تا رسیدن به بار مقاومت نهایی ادامه می‌یابد (شکل‌های ۱۷ الی ۱۰).

### ۲.۵. تأثیر اسلامپ در ظرفیت باربری کششی شمع

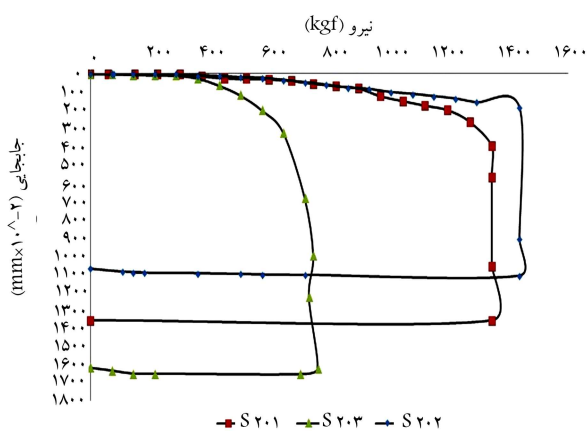
طی آزمایش‌های انجام‌شده در ۱۲ نمونه‌ی شمع بتنی با اسلامپ‌های ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ با مقطع دایره‌یی و به ترتیب با طول و قطر ۱۲۰ و ۱۲ سانتی‌متر، منحنی‌های بار-تغییرمکان و نتایج حاصل از آن در این بخش ارائه شده است. نمونه‌ها مورد آزمایش کششی قرار گرفته‌اند و نتایج متوسط ظرفیت باربری برای هر اسلامپ به‌عنوان نتایج نمونه‌ی آن اسلامپ در نظر گرفته شده است.



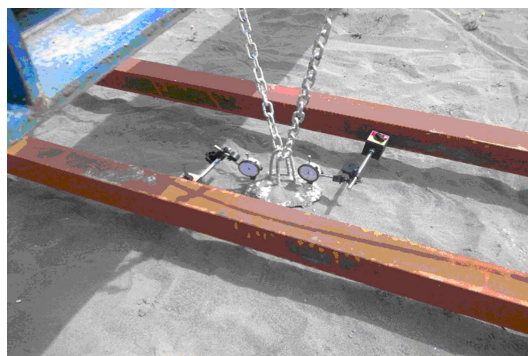
شکل ۸. نمودار تجمعی بار - تغییرمکان برای نمونه‌های اسلامپ ۱۲.



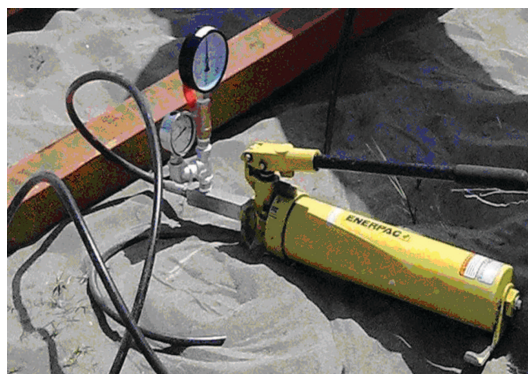
شکل ۹. نمودار تجمعی بار - تغییرمکان برای نمونه‌های اسلامپ ۱۶.



شکل ۱۰. نمودار تجمعی بار - تغییرمکان برای نمونه‌های اسلامپ ۲۰.



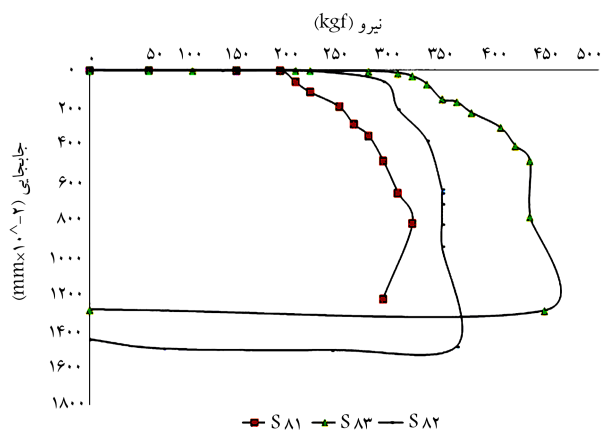
شکل ۴. نمایی از نصب گیج‌های قرائت تغییرمکان.



شکل ۵. نمایی از پمپ اعمال فشار روغن به پیستون به همراه گیج‌های قرائت فشار.

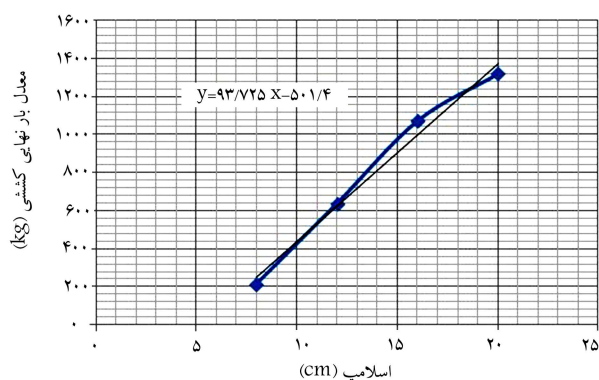


شکل ۶. نمایی از تجهیزات سیستم اعمال نیروی کششی به شمع.



شکل ۷. نمودار تجمعی بار - تغییرمکان برای نمونه‌های اسلامپ ۸.





شکل ۱۱. تغییرات بار نهایی کششی متوسط بر حسب اسلامپ.

نازک از خاک تسلیح شده با سیمان که باعث ایجاد رفتارهای بهتر برشی در خاک شده است، که عملاً بدنه‌ی شمع را در خاک امتداد می‌دهد.

#### ۴.۵. سطوح نمونه‌ها

با مشاهده‌ی سطوح نمونه‌ها به وضوح مشخص شده است که در اسلامپ‌های بالا، شمع‌های بیرون کشیده شده روی سطح خارجی لایه‌ی نازک و پیوسته از ماسه دارند، که به بدنه‌ی شمع‌ها متصل است. به نظر می‌رسد با هیدراته شدن سیمان، خاک اطراف جزئی از بدنه‌ی شمع شده است و لنت نازکی از ماسه و بدنه به هم پیوسته شده‌اند، ولی در اسلامپ‌های پایین، سطوحی ناهموار با خلل و فرج زیاد و با پیوستگی‌های مقطعی با خاک مشاهده شده است (شکل‌های ۱۲ الی ۱۵). طبق مشاهدات انجام شده‌ی سطح تماس خاک و شمع در شمع‌های با اسلامپ بالاتر در مقایسه با شمع‌های با اسلامپ پایین‌تر، بزرگ‌تر است و در اسلامپ پایین سطوح اتصال مقطعی و ناپیوسته‌اند.

#### ۵.۵. ارتباط جابه‌جایی و بار نهایی

همان‌طور که در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ مشاهده می‌شود، طبق نتایج به دست آمده در محدوده‌ی هر اسلامپ، تفاوت زیادی در میزان جابه‌جایی متناظر بار نهایی مشاهده می‌شود، که این مقدار تفاوت در میزان بار نهایی این شمع‌ها مشاهده نشده است. آنچه در رفتار شمع در وضعیت اسلامپ ۸ مشاهده می‌شود، این است که به نظر می‌رسد (طبق مشاهدات ناشی از آزمایش) به‌طور ناگهانی و با آنک جابجایی ارتباط اصطکاکی بین خاک و بدنه‌ی شمع قطع می‌شود (جدول ۱۰). از این نمودار می‌توان مشاهده کرد که بین میزان مقاومت و جابه‌جایی ارتباط است، به طوری که می‌توان گفت شمع‌هایی با جابه‌جایی بیشتر که به مرحله‌ی بار نهایی رسیده‌اند، توانایی تحمل بار نهایی بزرگ‌تری را دارند. برآزش نمودار در نقاط متناظر در شکل ۱۷، این موضوع را بیان می‌کند.

#### ۶.۵. مقادیر به دست آمده از روابط تئوری

یکی از اهداف انجام این آزمایش‌ها، مقایسه‌ی میزان مقاومت آزمایشگاهی نمونه‌ها با میزان مقاومت پیشنهادی پژوهشگران و آیین‌نامه‌های مختلف بوده است، که این مقایسه در شکل ۱۸ مشهود است. اصلی‌ترین موضوع که در این نتایج قابل مشاهده است، اختلاف فاحش بین روش‌های مختلف است که این موضوع گستردگی و عدم تخمین مناسب از ظرفیت شمع‌ها و لزوم انجام آزمایش بارگذاری شمع را نشان می‌دهد. هر چند برخی پژوهش‌های انجام شده و آزمایش‌های صورت گرفته در مقیاس واقعی

جدول ۶. ظرفیت باربری نهایی کششی نمونه‌ها.

شماره‌ی نمونه‌ی شمع	ظرفیت نهایی کششی (kg)	جابه‌جایی متناظر با بار کششی نهایی (mm)
S۸۱	۱۸۷	۰٫۰۵
S۸۲	۲۹۵	۰٫۹۵
S۸۳	۳۳۰	۰٫۸۰
S۱۲۱	۷۱۰	۳٫۴۰
S۱۲۲	۷۰۵	۲٫۴۰
S۱۲۳	۶۲۵	۱٫۷۰
S۱۶۱	۱۰۶۰	۲٫۴۰
S۱۶۲	۹۸۰	۲٫۱۰
S۱۶۳	۱۳۵۰	۴٫۲۰
S۲۰۱	۱۳۱۰	۳٫۲۰
S۲۰۲	۱۴۴۰	۱٫۸۰
S۲۰۳*	۶۶۰	۳٫۶۰

\*: از داده‌های شمع S۲۰۳ به علت تفاوت زیاد با دو نمونه‌ی دیگر استفاده نخواهد شد.

جدول ۷. متوسط مقاومت کششی شمع‌ها در اسلامپ‌های مختلف.

شماره‌ی نمونه	S۸	S۱۲	S۱۶	S۲۰
ظرفیت نهایی (kg)	۲۷۰	۶۵۹	۱۱۳۰	۱۳۷۵

جدول ۸. وزن نمونه‌ی شمع در هر اسلامپ.

اسلامپ	S۸	S۱۲	S۱۶	S۲۰
وزن نمونه (kg)	۳۶٫۵	۳۸	۳۸٫۵	۳۶٫۵

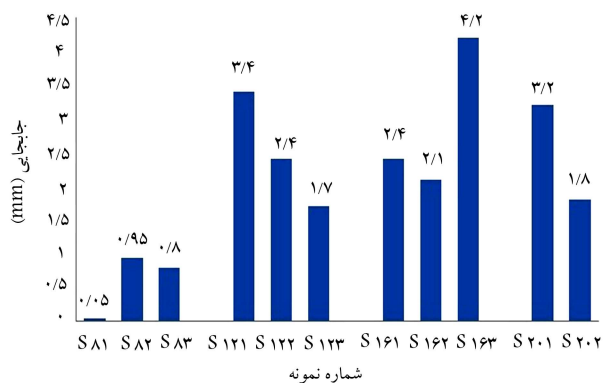
جدول ۹. متوسط مقاومت نهایی اصطکاکی بین خاک و جداره‌ی شمع کششی در هر اسلامپ.

اسلامپ (cm)	۸	۱۲	۱۶	۲۰
مقاومت اصطکاکی کششی نهایی Qs (kg)	۲۱۴	۶۳۸	۱۰۷۲	۱۳۱۹

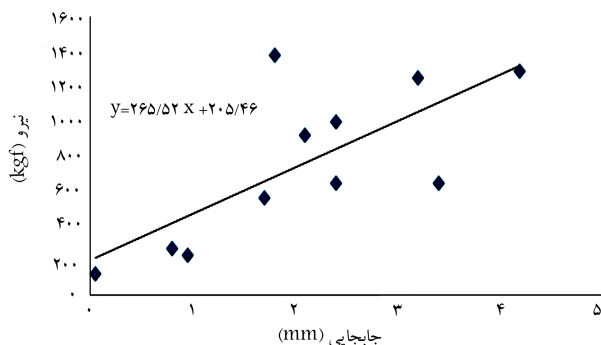
#### ۳.۵. مقاومت نهایی کششی متوسط

با توجه به اینکه در هر اسلامپ ۳ نمونه مورد آزمایش قرار گرفته‌اند، متوسط مقاومت نمونه‌ها به عنوان نتیجه‌ی حاصل شده در شمع‌های با اسلامپ مربوط در جدول‌های ۷ الی ۹ و شکل ۱۱ ارائه شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش اسلامپ، میزان مقاومت اصطکاکی کششی بیشتری از شمع‌ها مشاهده می‌شود. این موضوع می‌تواند ناشی از چند پارامتر باشد، مواردی مانند: رهاشدگی بتن در هنگام اجرای شمع با توجه به اسلامپ‌های بالاتر و ایجاد یک فشار جانبی هیدرو استاتیک جهت اتصال کامل‌تر سطوح خاک و شمع و نفوذ دوغاب بتن با اسلامپ بالاتر در خاک اطراف بدنه و ایجاد یک باند



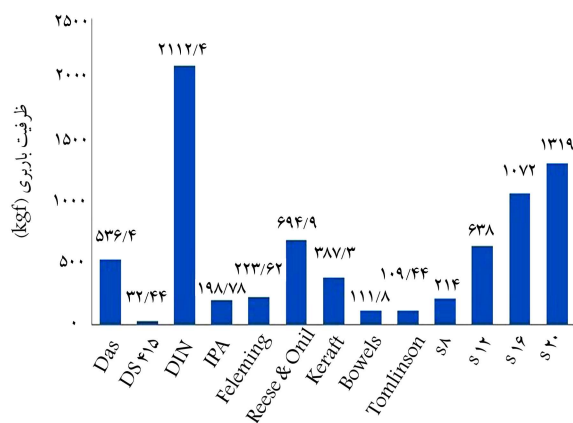
شکل ۱۶. جابه‌جایی متناظر با بار نهایی برای هر یک از نمونه‌ها.



شکل ۱۷. تغییرات جابه‌جایی - مقاومت کششی.

جدول ۱۰. متوسط جابه‌جایی متناظر با بار نهایی.

اسلامپ (cm)	۸	۱۲	۱۶	۲۰
جابجایی (mm)	۰/۶	۲/۵	۲/۹	۲/۵



شکل ۱۸. مقادیر به دست آمده از روابط تئوری و آزمایش‌ها.

اعتبار این روابط را تأیید کرده است، اما استفاده از آن نیازمند در نظر گرفتن شرایط و اندازه‌گیری صحیح پارامترهای روابط است. [۲۶-۳۰] اما همان‌طور که در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود، با نتایج آزمایش‌های مطالعات حاضر اختلاف نسبتاً زیادی دارد.

### ۷.۵. ضریب $\beta$ برای بار کششی

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، مقاومت اصطکاکی جداری شمع را می‌توان از رابطه‌ی



شکل ۱۲. سطح مربوط به نمونه‌ی ۸ از اسلامپ.



شکل ۱۳. سطح مربوط به نمونه‌ی ۱۲ از اسلامپ.



شکل ۱۴. سطح مربوط به نمونه‌ی ۱۶ از اسلامپ.



شکل ۱۵. سطح مربوط به نمونه‌ی ۲۰ از اسلامپ.



را پوشش می‌دهد. این بدین معناست که با توجه به ثابت بودن نوع خاک، پارامترهای دیگر در تخمین مقدار  $\beta$  تأثیر اساسی دارند.<sup>[۱۹]</sup>

### ۸.۵. ضریب تأثیر اسلامپ

می‌توان با ثابت گرفتن مقادیر ثابت روابط تجربی پیشنهادی، ضریب  $(\lambda)$  را به عنوان ضریب تأثیر اسلامپ در ظرفیت مقاومت برشی پیشنهاد داد، که در این راستا با در نظر گرفتن  $\delta = 25$  و  $k_0 = k = 1$  ضریب تأثیر اسلامپ را می‌توان به صورت شکل ۲۱ ارائه داد.

بدیهی است برای ارائه‌ی یک ضریب کاربردی احتیاج به انجام آزمایش‌های وسیع‌تر با ابعاد مختلف و در نظر گرفتن تأثیرات اسلامپ در پارامترهای گوناگون تأثیرگذار در شمع است و این مورد جهت ارائه‌ی پیشنهاد مطرح شده است.

### ۶. نتیجه‌گیری

-- از نتایج آزمایش‌ها مشخص می‌شود که با افزایش اسلامپ مقاومت کششی شمع افزایش می‌یابد، این اختلاف، تأثیر تا حدود ۵ برابر در پایین‌ترین اسلامپ در مقایسه با بالاترین اسلامپ را نشان داده است. این امر اهمیت پارامتر اسلامپ بتن در شمع‌های درجا ریز را مورد تأیید قرار می‌دهد.

-- اختلاف مقاومت کششی بین اسلامپ‌های پایین در مقایسه با اسلامپ‌های بالا بیشتر است و با افزایش اسلامپ این اختلاف کمتر می‌شود.

-- مشاهده می‌شود در محدوده‌ی بار ۲۰۰ کیلوگرم، تمام نمونه‌ها، مستقل از میزان اسلامپ رفتار تقریباً مشابهی دارند که با توجه به محدوده‌ی جابه‌جایی متناظر می‌توان از این مقدار جابه‌جایی (حدود ۰/۵ میلی‌متر) به عنوان نقطه‌ی تسلیم اولیه یا نقطه‌ی پایان رفتار کشسان خاک نام برد.

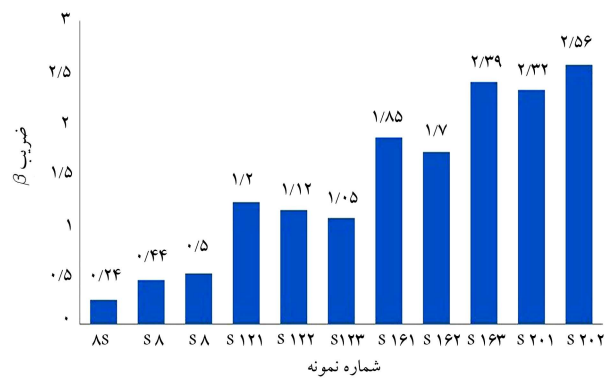
-- به جز نمونه‌های بتن اسلامپ ۸ (عموماً از آن در شمع‌های درجا استفاده نمی‌شود)، محدوده‌ی ۲-۴ میلی‌متر را می‌توان به عنوان نقطه‌ی متناظر ظرفیت باربری نهایی، صرف‌نظر از میزان اسلامپ نمونه‌ها در نظر گرفت (ارجاع به بخش ۶.۲).

-- از بررسی منحنی‌های ظرفیت نهایی - جابه‌جایی مشاهده می‌شود شمع‌هایی که در جابه‌جایی بالاتر به بار نهایی می‌رسند، توانایی تحمل بار نهایی بزرگ‌تری را دارند.

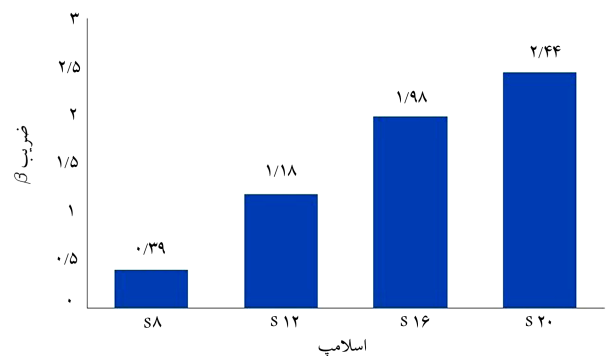
-- در محدوده‌ی هر اسلامپ، درصد اختلاف جابه‌جایی متناظر بار نهایی بیشتر از درصد تفاوت در بار نهایی است.

-- مشخص شد که روابط موجود، بازه‌ی گسترده‌ی از میزان ظرفیت کششی را ارائه می‌کنند، که این موضوع ضرورت انجام آزمایش‌ها در محل را جهت تعیین مقاومت شمع تأیید می‌کند.

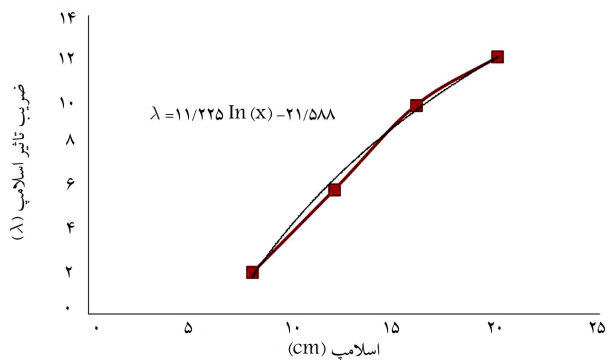
-- همان‌گونه که اشاره شد، در بدنه‌ی شمع با اسلامپ‌های بالاتر، سطحی کامل و پیوسته با اتصال کامل بین خاک و شمع مشاهده می‌شود، ولی در اسلامپ‌های پایین‌تر، سطوحی ناهموار با خلل و فرج زیاد و با پیوستگی‌های مقطعی با خاک مشاهده می‌شود. این موضوع نشان‌دهنده‌ی سطح بیشتر درگیر با خاک و پیوستگی لایه‌ی از خاک به بدنه و در نتیجه عملکرد بهتر اصطکاکی در شمع‌های با اسلامپ بالاتر است. هر چند نمی‌توان از تأثیر افزایش فشار جانبی و افزایش تأثیر ضریب جانبی خاک، که خود یکی از دلایل پیوستگی حاصل شده است، صرف‌نظر کرد.



شکل ۱۹. ضریب  $\beta$  در هر یک از نمونه‌ها.



شکل ۲۰. متوسط  $\beta$  - اسلامپ.



شکل ۲۱. ضریب تأثیر اسلامپ.

۲۰ مشخص کرد:<sup>[۱۸]</sup>

$$f_s = k \tan \delta \sigma'_z = \beta \sigma'_z \quad (20)$$

که در آن،  $f_s$  مقاومت اصطکاکی واحد سطح شمع، و  $\sigma'_z$  تنش مؤثر قائم در عمق مورد نظر است.

با مطابقت نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه با رابطه‌ی ۲۰، مقادیر ضرایب  $\beta$  به‌دست می‌آید، که به شرح نمودار ارائه‌شده در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر به‌دست‌آمده محدوده‌ی وسیعی را پوشش داده است، به‌طور مثال راهنمای مهندسی پی کانادا، مقادیر  $\beta$  را در خاک‌های ماسه‌یی در محدوده‌ی ۰/۳ تا ۰/۸ اعلام کرده است، که مقادیر به‌دست‌آمده‌ی محدوده‌ی اسلامپ‌های پایین

## پانوشته‌ها

1. Bjerrum
2. Johannessen
3. slow maintained load test method
4. load controlled mode of test

## منابع (References)

1. Bang, S., Jones, K.D., Kim, K.O., Kim, Y.S. and Cho, Y. "Inclined loading capacity of suction piles in sand", *Ocean Engineering*, **38**(7), pp. 915-924 (2011).
2. Shelke, A. and Patra, N.R. "Effect of arching on uplift capacity of single piles", *Geotechnical & Geological Engineering*, **27**, pp. 365-377 (2009).
3. Shelke, A. and Patra, N.R. "Effect of compressive load on uplift capacity of cast-insitu bored piles", *Geotechnical & Geological Engineering*, **29**(5), pp. 927-934 (2011).
4. Eslami, A. "Foundation engineering design and construction", Building and Housing Research Center, Tehran (2011).
5. Zhang, Z., Zhang, Q. and Yu, F. "A destructive field study on the behavior of piles under tension and compression", *Journal of Zhejiang University-Science A (Applied Physics & Engineering)*, **12**(4), pp. 291-300 (2011).
6. Chattopadhyay, B.C. and Pise, P.J. "Uplift capacity of piles in sand", *J. Geotech Eng.*, **112**(9), pp. 888-904 (1986).
7. Das, B.M. "A procedure for estimation of uplift capacity of rough piles", *Soils Found*, **23**(3), pp. 122-126 (1983).
8. Meyerhof, G.G. "Uplift resistance of inclined anchor sand piles", *Proceedings of the 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering* (1973).
9. Jardine, R.J. and Chow, F.C., *New Design Methods for Offshore Piles*, Center for Petroleum and Marine Technology (CPMT), MTD Publication, U.K. London (1996).
10. Shanker, K., Basudhar, P.K. and Patra, N.R. "Uplift capacity of single piles: Predictions and performance", *Geotech. Geol. Eng.*, **25**, pp. 151-161 (2007).
11. Sharma, H.D., Sengupta, S. and Harron, G. "Cast-In-place bored piles on soft rock under artesian pressures", *Canadian Geotechnical Journal*, **21**(4), pp. 684-698 (1984).
12. AISI.153, *Steel Pile Load Test Data*, American Iron and Steel Institute, Washington. DC (1985).
13. Levencher, D.R. and Sieffert, S.G. "Tests on model tension piles", *Journal of Geotechnical Engineering*, **110**(12), pp. 1735-1748 (1984).
14. Fllenius, B.H. and Nguyen, M.H. "Large diameter piles in the mekong delta", *International Journal of Case Histories*, **2**(3), pp. 196-207 (2013).
15. Bose, K. and Krishna, A. "Pullout capacity of model piles in sand", *Indian Geotechnical Society Chennai Chapter*, pp.50-54 (2009).
16. Hans, F., *Winterkorn and Hsai-Yang, Fang*, Foundation Engineering Handbook, Litton Educational Publishing, New York (1975).
17. Burland, J.B. "Shaft friction piles in clay-A simple fundamental approach", *Ground Engineering*, **6**(3), pp. 30-42 (1973).
18. Amini, A., Fllenius, B.H., Sabbagh, M., Neaesgaard, E. and Buehler, M. "Pile loading at golden ears bridge", *Canadian Geotechnical Conference*, Edmonton (2008).
19. Fllenius, B.H. and Ocha, M. "Testing and design of a piled foundation project (a case history)", *Geotechnical Engineering Journal the Southeast Asian Geotechnical Society*, **240**(3), pp. 129-137 (2009).
20. Li, Y.X. and Feng, Z.J. "Displacement and deformation analysis for uplift piles", *Journal of Central South University of Technology*, **15**(6), pp. 906-910 (2008).
21. Lehane, B.M., Jardine, R.J., Bond, A.J. and Frank, R. "Mechanisms of shaft friction in sand from instrumented pile tests", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, **119**(1), pp. 19-35 (1993).
22. American Society for Testing and Materials ASTM D 3689-90, *Standard Test Method for Individual Piles under Static Axial Tensile Load*, Philadelphia, 04.08 (1995).
23. American Society for Testing and Materials ASTM D 1143-81, *Standard Test Method for Piles under Static Axial Compressive Load*, Philadelphia, 04.08 (1994).
24. Prakash, Sh. And Sharma, H., *Pile Foundation in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, Toronto (1982).
25. Kumar Mehta, P. and Monteiro, P.J.M., *Concret, Microstructur, Properties and Materials*, McGraw-Hill, New York (2006).
26. Kulesza, R.L. and Fllenius, B.H. "Design and testing of piles on telecommunications project in morocco", *ASCE, Geo Institute Geo - Congress*, Okland, pp. 452-470 (2012).
27. API, *Recommended Practice for Planning Designing and Construction of Fixed Offshore Platforms*, American Petroleum Institute, Washington. DC, pp. 64-69 (1983).
28. DIN 4014, Bohrfpahie (March 1990).
29. Fleming, W.G.K., Weltman, A.J., Randolph, M.F. and Elson, W.K., *Piling Engineering*, Taylor & Francis Group, London and New York (1992).
30. Reese, L.C. and O'Neill, M.W. "Drilled shafts: Construction procedures and design methods", *FHWAHI-88-042*, U.S. Dept of Transportation, Washington D.C., pp. 564-564 (1988).