

Comparison of behavior of Drilled Displacement piles in laboratory and field (Case study; Anzali sand)

Saeed Hejazirad¹, Soheil Ghareh^{*2}, Abolfazl Eslami³, Navid Ganjian⁴

1- PhD Candidate, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

3- Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

4- Assistant professor, Department of civil engineering, science and research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Deep foundation is used to transfer loads of large and high rise building to subsurface layers that have sufficient strength. Piles are one of the most common deep foundations which are installed in the form of driven a bored for many years, the high noise and variation by the driving and the hardness and the limitations of the performance of the bored piles caused to use a new type of pile which installed to the soil using torque and a small amount of axial compressive load, Helical pile can be considered as such piles. Drilled displacement piles are another type of this piles. Due to the increasing use of these piles, there are still limit studies on them and there is a need to study their behaviour in different soils and conditions. Three models of piles in the laboratory section were implemented and loaded in FCV-AUT and compared with studies in the field. Compressive and tensile static load were performed according to ASTM D1143 and ASTM D3689 standard and rapid loading test. Drilled displacement pile in tensile and compressive performance was better than other torque driven pile. Because of concrete is cheaper than steel, these piles can be a good alternative for driven and bored pile in urban areas.

ARTICLE INFO

Receive Date: 31 October 2020

Revise Date: 04 December 2020

Accept Date: 19 January 2021

Keywords:

FCV-AUT

Drilled Displacement piles

Helical piles

Static loading

Physical modeling

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.255307.2281>

*Corresponding author: Soheil Ghareh
Email address: ghareh_soheil@pnu.ac.ir

مقایسه رفتار شمع های جابجایی- جایگزینی به صورت آزمایشگاهی و میدانی (مطالعه

موردی؛ ماسه انزلی)

سعید حجازی راد^۱، سهیل قره^{۲*}، ابوالفضل اسلامی^۳، نوید گنجیان^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۳- استاد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران

۴- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

با توجه به توسعه شهرها، بندر، مراکز تجاری و لزوم بهره گیری حداکثری از زمین های ساحلی و فراساحلی، استفاده از پی های عمیق در انتقال بارهای روسازه به بستر مناسب و یا تأمین ظرفیت باربری به طرق ممکن ناشی از باربری کف و یا جداره امری بدیهی و غیرقابل اجتناب است. در همین راستا استفاده از شمع های کوبشی و درجاریز مرسوم بوده که سروصدا و ارتعاش زیاد ناشی از کوبش و همینطور سختی ها و محدودیت های اجرایی شمع های درجاریز موجب شده است تا گونه جدیدی از شمع ها که با استفاده از نیروی گشتاور و مقدار اندکی نیروی محوری فشاری در خاک نصب می گردند، مورد استفاده قرار بگیرند. شمع پیچشی - پره ای و جابجایی- جایگزینی را می توان از این نوع شمع های نوین دانست. با توجه به افزایش روزافزون استفاده از این شمع ها هنوز مطالعات انجام شده بر روی آنها اندک بوده و نیاز به انجام بررسی های بیشتر بر روی رفتار آنها در خاک ها و شرایط مختلف احساس می شود. از این رو در تحقیق حاضر در دو بخش میدانی و آزمایشگاهی با انجام آزمایش های بارگذاری کششی و فشاری به ارزیابی رفتار این شمع ها پرداخته شده است. سه مدل شمع *Subasa*، *Helical* و *Drilled displacement pile* در بخش آزمایشگاهی در دستگاه فشار همه جانبه مخروطی دانشگاه امیرکبیر اجرا و مورد بارگذاری قرار گرفته و با مطالعات در بخش میدانی مقایسه شده اند. شمع جابجایی- جایگزینی تحقیق در کشش و فشار عملکرد بهتری از بقیه شمع ها داشته و این شمع در هر دو زمینه آزمایشگاهی و شرایط میدانی رفتار سخت تر و ظرفیت بهتری نسبت به دو شمع دیگر اتخاذ کرده است. همچنین گشتاور مورد نیاز این شمع در مقایسه با سایر شمع ها مقادیر بالاتری را داشته است. با توجه به ارزان بودن بتن نسبت به فولاد، شمع های جابجایی- جایگزینی می توانند جایگزین مناسبی از لحاظ ظرفیت باربری برای شمع های کوبشی و درجاریز در ظرفیت های معمول باشند.

کلمات کلیدی: شمع های جابجایی-جایگزینی، شمع های پیچشی - پره ای، مدل سازی فیزیکی، بارگذاری استاتیکی، دستگاه فشار همه جانبه مخروطی دانشگاه امیرکبیر^۱

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.255307.2281	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2021.255307.2281	۱۴۰۰/۰۸/۳۰	۱۳۹۹/۱۰/۳۰	۱۳۹۹/۱۰/۳۰	۱۳۹۹/۰۹/۱۴	۱۳۹۹/۰۸/۱۰
			سهیل قره		*نویسنده مسئول:	
			ghareh_soheil@pnu.ac.ir		پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

پی های عمیق برای انتقال بار سازه های بزرگ و بلند بخصوص سازه های ساحلی و فراساحلی به لایه های زیرین خاک که از مقاومت بیشتری برای تحمل بارها برخوردارند، از سالیان دور مورد استفاده قرار می گیرند. شمع ها متداول ترین نوع پی های عمیق هستند که از غالباً به صورت کوبشی و درجاریز در احداث سازه ها کاربرد دارند.

از پی های عمیق در ساخت و سازهای ساحلی نظیر اسکله، پی مخازن ذخیره نفت و روغن، بهسازی مسیر دسترسی به اسکله، ساخت موج شکن و سازه های فراساحلی نظیر سکوها و پی های توربین های بادی استفاده می شود. در واقع در اکثر سازه های ساحلی و فراساحلی پی ها بیش از ۵۰٪ هزینه پروژه را شامل می شوند. از این جهت بررسی رفتار شمع های متعارف نظیر شمع کوبشی و درجاریز می تواند به بهینه سازی هزینه های این پروژه ها منجر شود؛ اما شمع های کوبشی در حین اجرا دارای سر و صدا و ارتعاش زیادی بوده که استفاده از آنها در محیط شهری و یا در مجاورت سازه های ساحلی و فراساحلی (در حال کار) را با مشکل روبرو می کند [۱ و ۲]. از طرف دیگر عموماً نهشته های دریایی خاک های شل اشباع بوده که اجرای شمع های درجاریز در آنها با مشکلات زیادی همراه است، مشکلاتی نظیر استفاده از گل حفاری، استفاده از غلاف دائم، ریزش دیواره در ته چاه و ... که استفاده از این شمع ها را برای سازه های ساحلی با هزینه بسیار همراه می کند. از این رو در کشورهای پیشرفته به دنبال گسترش تکنولوژی و پیدایش دستگاه های اعمال گشتاور با ظرفیت بالا نوع نوینی از شمع ها ابداع شده است که با نیروی گشتاور و به صورت پیچشی در خاک نصب می شوند. شمع پیچشی پره ای^۲، شمع جابجایی- جایگزینی^۳ و جدیداً شمع سوباسا در ژاپن از این مدل شمع ها هستند.

قطعا با مطالعه بر روی رفتار این شمع های نوظهور و نوین می توان اطمینان بیشتری در بین جامعه مهندسی نسبت به عملکرد این شمع ها ایجاد کرد. این موضوع می تواند منجر به گسترش استفاده از این شمع ها در کشور شده و در نتیجه صرفه جویی در بحث هزینه ها و استفاده صحیح از ذخایر و منابع ملی را در پی خواهد داشت.

در واقع چون اکثر شرکت های اجرا کننده این شمع ها مدل شمع های خود را ثبت اختراع کرده اند، استفاده از این شمع ها بر خلاف شمع های متداول به صورت تجاری در آمده و تنها توسط شرکت های خاص انجام می شود. این اتفاق باعث شده افراد دانشگاهی بر روی این شمع ها تحقیقات کمتری انجام داده و اکثر شرکت ها از انتشار تحقیقات خود خودداری کرده و این دو علت موجب عدم گسترش استفاده از این شمع ها در مابقی کشورها شده است.

هدف از بررسی رفتار شمع، پی بردن به تأثیر عوامل مختلف بر روی ظرفیت باربری شمع است. بطور مثال عواملی همانند: تأثیر هندسه شمع، مشخصات خاک محل، شرایط آب زیرزمینی، روش اجرا، جنس شمع، میزان جابجایی خاک حین نصب، میزان نشست، مقاومت سازه ای و ... برای بررسی رفتار شمع می تواند مورد توجه قرار گیرند [۳]. بارهای وارد بر شمع ها شامل: بار محوری، جانبی و لنگر خمشی بوده که معمولاً مهم ترین عامل طرح شمع از لحاظ ظرفیت باربری، طراحی شمع در مقابل بار محوری است.

رفتار شمع ها را می توان از طریق مدل سازی عددی، مدل سازی فیزیکی و یا انجام آزمایش های میدانی مورد بررسی قرار داد. در استفاده از مدل سازی عددی با بکارگیری روش های عددی به بررسی رفتار شمع پرداخته می شود؛ اما مدل سازی فیزیکی، بررسی تجربی رفتار شمع با استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی است و آزمایش های میدانی معتبر ترین و دقیق ترین راه برای بررسی رفتار شمع ها است [۴].

ون ایمپه و همکاران^۴ با انجام چهار آزمایش بارگذاری استاتیکی بر روی شمع های امگا (ماهیت این شمع در شکل (۱) نشان داده شده است) (با قطر یکسان ۳۶۰ میلی متر) و تغییر برخی از پارامترهای نصب هر کدام از آن شمع ها به بررسی تأثیرات پارامترهای نصب بر ظرفیت باربری این شمع ها اشاره کرد. بر این اساس با افزایش فشار بتن ریزی کمی می توان نتایج بهتری نسبت به بتن ریزی ثقلی گرفت و همچنین افزایش قطر کف و بدنه شمع باعث بهبود عملکرد شمع شده است [۴].

² Helical Pile

³ Drilled Displacement Pile

⁴ Van Impe et al (1998)

فرآیند نصب شمع ها روی خاک و خواص آن تاثیر می گذارد. تحقیقات متعددی برای درک اثرات نصب شمع روی ظرفیت باربری انجام شده است که به عنوان مثال به تحقیقات دبیر^۵ و پیفر و ون ایمپه^۶ اشاره کرد. این مساله واضح است که فرآیند نصب شمع ها شرایط تنش اطراف شمع و ضریب تخلخل خاک محاط کننده شمع را تغییر می دهد. همچنین در بین نتایج تست های نفوذ مخروط انجام شده در قبل و بعد از نصب شمع ها، تفاوت هایی وجود داشته است [۵و۶]. نتایج تحقیقات نسیمیس^۷ با استفاده از بانک اطلاعاتی از ۲۴ شمع APGD^۸ (مدل این شمع در شکل (۱) نشان داده شده است) که مربوط به کمپانی برکل بود، روشی برای طراحی شمع های جابجایی-جایگزینی بر اساس CPT و SPT ارائه کرد. در این تحقیق خاک ماسه ای خوب دانه بندی شده تمیز که در نزدیکی سطح زمین دارای تراکم سست و دارای افزایش تدریجی تراکم در عمق است را برای اجرای این شمع ها بسیار مناسب دانسته، و عنوان شده که پروفیل خاک ایده آل برای شمع های جابجایی - جایگزینی معمولی باید تمیز، تیز گوشه، ماسه خوب دانه بندی شده، در نزدیکی سطح زمین شل و با افزایش تدریجی و یکنواخت چگالی با توجه به عمق همراه باشد [۷].

سیگل و همکاران^۹ برای تعدادی از سایت ها در آمریکا مطالعات میدانی در زمینه افزایش مقاومت qc در آزمایش نفوذ مخروط (CPT) ناشی از نصب شمع های جابجایی - جایگزینی را گزارش داده است. ماکزیمم افزایش (CPT) در خاک های ماسه ای شل مشاهده شده است [۸]. باستی منتی و جینسلی^{۱۰} به این نتیجه رسید که عملکرد شمع های جابجایی - جایگزینی ممکن است به دلیل مشکلات نصب آنها در خاک های ماسه ای خیلی شل و خاک های رسی خیلی نرم با (qc < 1 Mpa) و (SPT < 5) به خطر بیفتد. همچنین در خاک های ماسه ای خیلی متراکم یا لایه های آبرفت ضخیم، علاوه بر کاهش شدید در نرخ نفوذ ممکن است سایش و فرسایش زود هنگام سر پیچ ها (ابزار حفاری) را منجر شود [۹].

نسیمیس و ممبر^{۱۱} نصب شمع های جابجایی - جایگزینی در لایه های ماسه ای متراکم (qc > 14 Mpa) را همراه با دشواری های فراوان دانسته است [۱۰]. در مواردی که لایه رسی ضخیم داریم بحث اضافه فشار آب حفره ای در هنگام نصب شمع های جابجایی - جایگزینی ممکن است که باعث آب انداختن و تازه شدن بتن و از بین رفتن تمامیت شمع شود. موضوع اضافه فشار آب حفره ای در لایه رسی ضخیم در هنگام نصب شمع های جابجایی - جایگزینی موضوع تحقیق منگ و همکاران^{۱۲} می باشد [۱۱]. پیفر^{۱۳} روی توسعه شرایط تنش در اطراف شمع در زمان فرآیند نصب شمع تحقیق کرده است. در انجام این کار، با استفاده از یک حالت اصلاح شده تنش در نزدیکی شمع به بررسی اثرات نصب شمع پرداخته شده است [۱۲]. سکر^{۱۴} نتایج آزمایش های SPT و CPT برای تحقیقات ژئوتکنیک مربوط با اسکلت و لایه بندی خاک ضروری دانسته و خروجی این نتایج را در بدست آوردن ظرفیت باربری شمع های پیچی مهم و قابل بهره برداری ارزیابی کرده است [۱۳]. همانطور که پارک و روبرتر^{۱۵} اشاره کرده است، در مقالاتی که تا به امروز منتشر شده است، تحقیقات محدودی روی معرفی، روش نصب و روش کنترل کیفیت شمع های جابجایی - جایگزینی و محاسبه ظرفیت نهایی بر اساس متدهای طراحی و مقایسه نتایج با نتایج بارگذاری شمع صورت پذیرفته است [۱۴].

بر اساس تحقیقات پرزی و باسو^{۱۶} و بران^{۱۷}، از آنجا که عمدتاً مبنای کار در این شمع ها جابجایی بوده بجای اینکه حفاری شوند، از طریق ساخت این شمع ها شرایط خاک محاطی شمع بهبود خواهد یافت. بنابراین ظرفیت باربری در مقایسه با حالت شفت حفاری شده با هندسه مشابه بیشتر خواهد بود [۱۶ و ۱۵].

آلبکرکی و همکاران^{۱۸} سه شمع از نوع درجا ریز، CFA^{۱۹} و امگا را در شرایط خاک یکسان در سائوپائولو برزیل تحت آزمایش بارگذاری استاتیکی قرار داده و بررسی رفتار این شمع ها تحت بار فشاری صورت گرفته است و برای اطمینان از درستی آزمایش های

5 De Beer (1998)

6 Peiffer & Van Impe (1993)

7 NeSmith (2002)

8 Augered Pressure Grouted Displacement

9 Siegel et al(2007)

10 Bustamanate & Ganeselli (1998)

11 NeSmith & Member (2002)

12 Meng et al. (2015)

13 Peiffer (2009)

14 Sakr (2011)

15 Park & Roberts (2012)

16 Prezzi and Basu(2005)

17 Brown(2005)

18 Albuquerque (2001)

19 Continues Flight Auguring

انجام شده برای هر نوع شمع، سه آزمایش انجام شده است [۱۷]. در همین راستا پیرالا^{۲۰} با اجرای شمع های جابجایی-جایگزینی در منطقه ای در کنار رودخانه در استرالیا و انجام آزمایش CPTu قبل و بعد از نصب شمع ها نتایج Siegel را تایید کرده و ضمناً عنوان کرد که در اثر نصب شمع های جابجایی-جایگزینی اضافه فشار آب حفره ای اندکی افزایش می یابد ولی میزان این افزایش همیشه کمتر از فشار بتن در حین اجرای شمع بوده و نگرانی بابت یکپارچگی ساخت شمع نیست [۱۸].

در مورد شمع های پیچشی-پره ای هم که یکی دیگر از شمع های مورد استفاده در تحقیق می باشد، در سال های اخیر تحقیقاتی صورت گرفته است. در همین راستا توشا و همکاران^{۲۱} تاثیر تعداد و قطر پره ها بر ظرفیت باربری کششی شمع های پیچشی-پره ای در ماسه های خشک با تراکم نسبی کم و متراکم با استفاده از انجام آزمایش کششی بر ۱۲ شمع اجرا شده در مدل دستگاه سانتریفوژ با طول های مختلف و تعداد یک تا سه پره را مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصل از آزمایش های صورت گرفته نشان دهنده آن بود که میزان تأثیر دست خوردگی بر کاهش ظرفیت کششی شمع به تعداد پره و قطر آنها و همچنین مقدار تراکم نسبی خاک وابسته است [۱۹]. همچنین وچ و همکاران^{۲۲} یک سری آزمایش های میدانی فشاری بر روی شمع های پیچشی-پره ای ابزار گذاری شده و رانده شده صورت دادند. نتایج بدست آمده نشان داد که شمع های با نسبت فاصله به قطر پره ۱/۵ دارای عملکرد سیلندری (روش برش استوانه ای) و با نسبت ۳ دارای عملکرد منفرد و اتکایی در شرایط گسیختگی حدی بوده اند [۲۰].

در راستای تحقیق صورت گرفته، مطالعات تجربی بر روی شمع های جابجایی-جایگزینی انجام شده است به این صورت که انتخاب شمع های تحقیق با توجه به امکانات موجود و ساخت شمع های تحقیق برای انجام مطالعات آزمایشگاهی در دستگاه فشار همه جانبه مخروطی دانشگاه امیرکبیر و آزمایش های میدانی در گمرک بندرانزلی صورت پذیرفته است. شمع های منتخب تحقیق شامل Drilled displacement pile و Subasa close end می باشد که در بخش (۲) و (۳) به تفصیل در مورد آنها توضیح داده شده است. اجرای شمع جابجایی-جایگزینی و پیچشی پره ای در دستگاه فشار همه جانبه مخروطی دانشگاه امیرکبیر و همچنین شرایط میدانی گمرک انزلی و انجام آزمایش های بارگذاری استاتیکی کشش و فشار بوده است. سپس اندازه گیری میزان گشتاور وارده برای نصب شمع های تحقیق و بحث و بررسی بر روی علل آن مورد نظر بوده است. در نهایت بررسی تفاوت رفتار شمع های جابجایی-جایگزینی با دیگر شمع های تحقیق انجام گرفته است. بر این اساس انجام مطالعات بر روی این شمع ها می تواند باعث شناخته شدن این شمع ها در کشور شده و استفاده از آن ها و گسترشان را در پی داشته باشد.

۲- معرفی شمع های تحقیق

با توجه به مشکلات اجرایی شمع های درجا ریز در خاک های نرم و مسئله دار و مناطق با آب زیرزمینی بالا شمع های جابجایی-جایگزینی برای بهبود عملکرد و رفع محدودیت شمع های درجاریز و کوبشی مطرح شدند. استفاده از این شمع ها به دلیل عدم ایجاد سر و صدا و ارتعاش در حین نصب، مقاومت مناسب بتن در برابر خوردگی و سازگاری با محیط زیست در محیط های ساحلی رو به افزایش است [۲۱ و ۲۲]. این شمع ها، تجهیزات حفاری تو خالی خاصی دارند که با اعمال مقدار کمی نیروی عمودی و گشتاور به طور هم زمان، در خاک رانده و نصب می شود (با کمترین دست خوردگی خاک) [۲۳ و ۱۵]. پس از رسیدن به عمق دلخواه، فضای خالی داخل پیشران با گروت یا بتن پر شده و سپس با اندکی حرکت به سمت بالا نوک پیشران از بدنه جدا شده و ضمن خروج پیشران حفره یا چاه از بتن پر می شود. در طی اجرای یک شمع جابجایی-جایگزینی نوک پیشران در انتهای حفره باقی می ماند [۲۴].

با توجه به محدود بودن ظرفیت دستگاه های اعمال کننده گشتاور، اجرای شمع های جابجایی-جایگزینی با هر قطر و هر طولی میسر نیست [۱۰]. از این رو این شمع ها به عنوان شمع های با ظرفیت معمول شناخته می شوند. بعلاوه اجرای این نوع شمع در خاک های با مقاومت بالا به علت سختی نفوذ، ممکن نخواهد بود. شمع های جابجایی-جایگزینی به طور معمول دارای قطری بین ۲۷۰ تا ۶۱۰ میلی متر و طولی تا ۲۰ متر هستند [۱۶]. شمع های جابجایی جایگزینی با توجه به نحوه و تجهیزات نصب به انواع مختلفی از جمله اطلس^{۲۳}

20 Pirrello (2017)
21 Tusha (2012)
22 Weech et al (2012)
23 Atlas

برکل^{۲۴}، فوندکس^{۲۵}، الیور^{۲۶}، دی وال^{۲۷}، امگا^{۲۸}، بائر^{۲۹} و ... تقسیم بندی می شوند. این تنوع نام گذاری را شاید بتوان به تنوع تجهیزات نصب این شمع ها نسبت داد. همچنین بر اساس نوع و جهت چرخش تجهیزات حفاری، ممکن است جداره شمع های اجرا شده صاف یا پیچدار باشد.

در این شمع ها به دلیل نیروی زیاد وارده در حین نصب شمع به خاک اطراف و متراکم کردن خاک اطراف، تغییرانی در تنش های قائم و افقی، ساختار خاک، درصد رطوبت و چگالی خاک اتفاق می افتد که تقریباً می توان گفت در نزدیکی جدار شمع برای خاک شرایط جدیدی را به وجود می آورد [۲۵]. وقتی گروهی از این شمع ها نصب می شوند افزایش قابل توجهی در ظرفیت باربری در نتیجه افزایش تنش افقی و متراکم کردن خاک مشاهده می شود.

به طور کلی تجهیزات حفاری شمع های جابجایی-جایگزینی شامل (۱) بدنه جابجا کننده خاک (بخشی با قطر بیشتر که باعث جابجایی خاک اطراف شمع می شود). (۲) بخش مته ای دارای پره های پیچی شکل (۳) یک پیشران قربانی که به طور خاص طراحی شده و به انتهای تجهیزات نصب متصل شده است. (۴) یک غلاف برابر یا کمی کوچک تر از قطر شمع به تجهیزات حفاری متصل است که بتن یا گروت را از داخل خود عبور می دهد. شکل (۱) انواع تجهیزات حفاری شمع های جابجایی-جایگزینی را نشان می دهد.

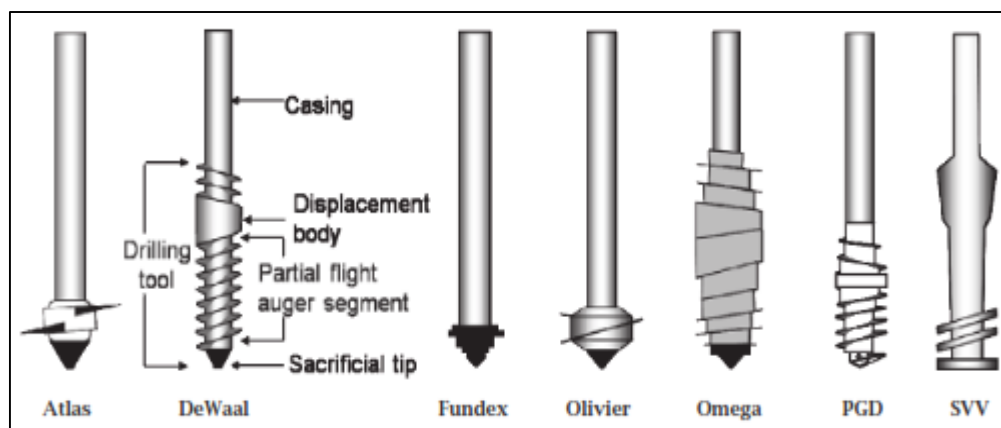
مواردی که کاربرد شمع های جابجایی - جایگزینی توصیه می شود عبارتند از [۱۶]:

۱- سایت های با شرایط خاک ماسه ای که بهبود مشخصات خاک مورد توجه باشد.

۲- در محیط هایی که خاک آلوده وجود دارد و یا به هر دلیلی دست خوردگی خاک مجاز نیست.

۳- در سایت هایی که نگرانی از آسیب رسیدن به سازه های مجاور به علت ارتعاش ناشی از کوبش شمع های کوبشی و یا ریزش زمین

در اثر اجرای شمع های درجاریز وجود داشته باشد.



شکل ۱: انواع تجهیزات حفاری شمع های جابجایی-جایگزینی [۱۸]

در شکل (۲) نمونه ای از تجهیزات حفاری شمع جابجایی - جایگزینی اشاره شده است.

²⁴ Barkel

²⁵ Fundex

²⁶ Oliver

²⁷ Dewall

²⁸ Omega

²⁹ Baur



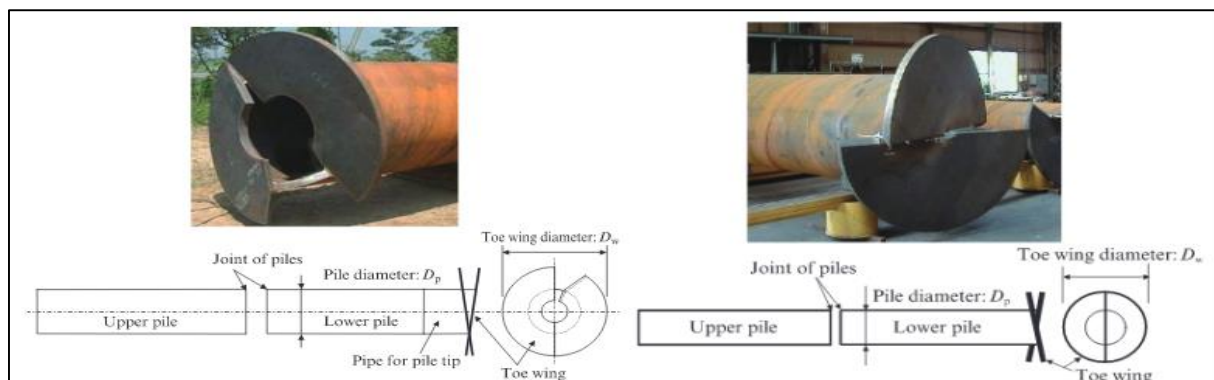
شکل ۲: تجهیزات حفاری شمع جابجایی - جایگزینی [۱۹]

اعمال گشتاور و نیروی عمودی رو به پایین به طور همزمان در شمع های پیچشی-پره ای، خاک اطراف را شکافته و باعث نفوذ شمع به داخل خاک می شود. این روش باعث دست خوردگی خاک شده که یکی از راه حل های پیشنهادی برای حل این مشکل پس تزریق است. در این روش پس از نصب شمع گروت با فشار زیاد از داخل شفت مرکزی پمپ می شود که باعث تقویت مشخصات خاک و کاهش اثر دست خوردگی می شود. در شکل (۳) چند نمونه از شمع های پیچشی-پره ای که در محیط آزمایشگاه مورد استفاده قرار گرفته اند، نشان داده شده است.

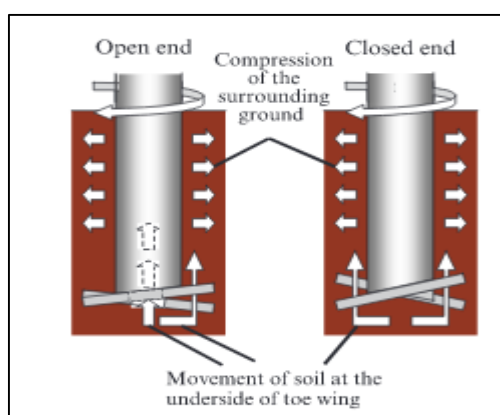


شکل ۳: چند نمونه از شمع های پیچشی-پره ای

یکی از متداول ترین شمع های پیچشی مورد استفاده در ژاپن، شمع سوباسا است. سر و صدای کم در حین اجرا، ارتعاش کمتر، عدم آلودگی محیط در حین ساخت، عدم وابستگی نحوه اجرا به سطح آب زیرزمینی، قابل بازیافت شدن، سرعت بالا در اجرا و همچنین صرفه اقتصادی از مهم ترین مزایای این مدل شمع است. در شکل های (۴) و (۵) شمع سوباسا و جابجایی خاک در حین نفوذ شمع نشان داده شده است [۲۳].



شکل ۴: شمع سوباسا ته باز و ته بسته

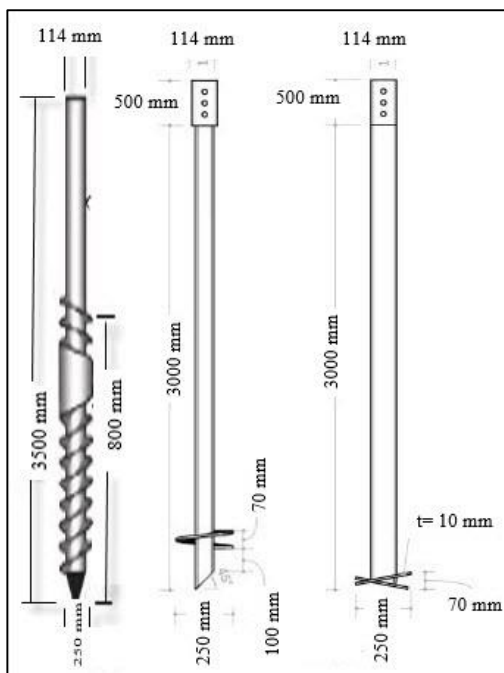


شکل ۵: حرکت و جابجایی خاک در حین نفوذ شمع

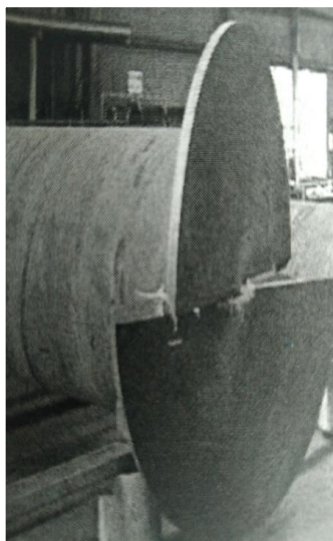
۳- مطالعات تجربی

در تحقیق حاضر سه مدل شمع جابجایی - جایگزینی، پیچشی-پره ای و سوباسا در مقیاس تحقیق میدانی و آزمایشگاهی ساخته شده و به صورت پیچشی نصب شده اند. در بحث تحقیقات میدانی، طول تمام شمع ها ۳/۵ متر بوده که ۳/۲ متر آن در خاک و ۳۰ سانتیمتر آن در بیرون خاک قرار داشته است.

شمع جابجایی - جایگزینی در تحقیق میدانی دارای پیشرانی به قطر ۲۵ سانتی متر و ارتفاع ۸۰ سانتی متر که در ادامه یک لوله ۱۴/۴ سانتی متر به ارتفاع ۲/۷ متر به پیشران متصل شده است. شمع پیچشی-پره ای درای یک پره به قطر ۲۵ سانتی متر و لوله مرکزی به قطر ۱۴/۴ سانتی متر بود. شمع سوباسا یک پره به قطر ۲۵ سانتی متر و لوله مرکزی به قطر ۱۴/۴ سانتی متر بود. در شکل (۶) شمع جابجایی-جایگزینی با بدنه جابجا کننده ساخته شده و شمع سوباسا ته بسته تحقیق و همچنین ابعاد شمع های تحقیق در مطالعات میدانی نشان داده شده است.



ج



ب



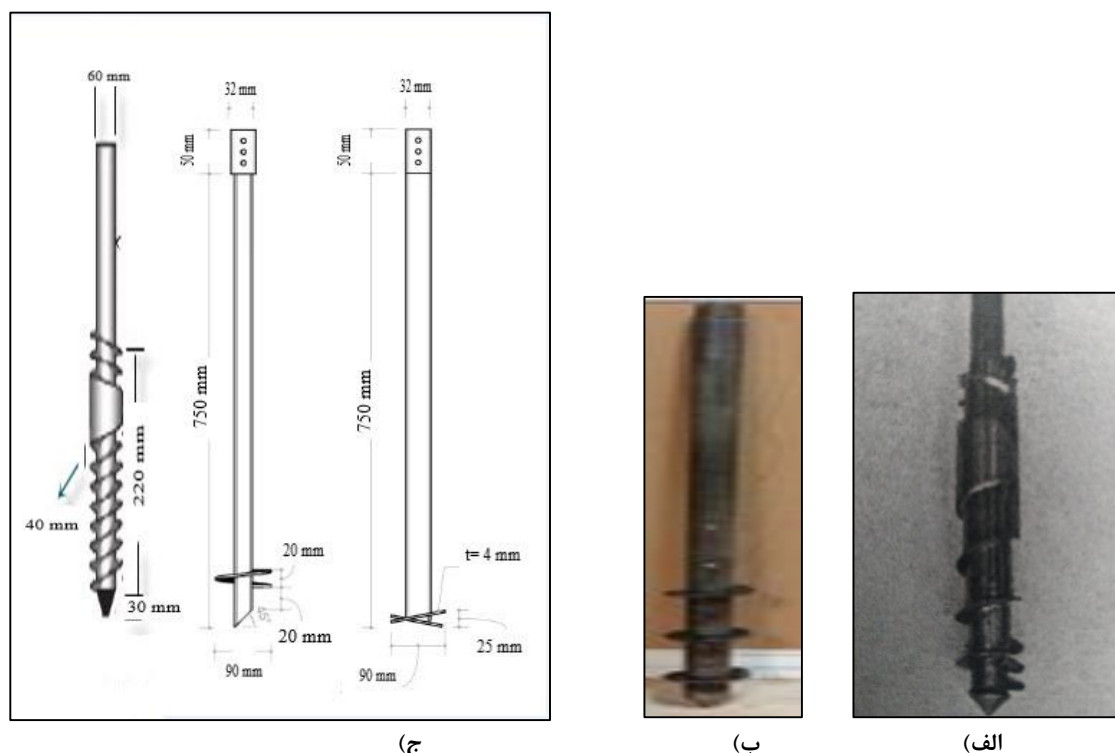
الف

شکل ۶: الف) شمع جابجایی-جایگزینی با بدنه جابجا کننده ساخته شده در تحقیق ب) شمع سوباسا ته بسته تحقیق ج) ابعاد شمع های تحقیق میدانی

در آزمایش های بارگذاری فشاری از ۶ انکر برای تامین نیروی بارگذاری استفاده شده است که آرایشی دوزنقه ای داشته و عمق استقرار انکرها ۵ متر بوده است و انکر ها ۱ متر بیرون از خاک قرار گرفته بودند. فاصله انکرها و شمع ها به گونه ای انتخاب شده که حداقل ۵ برابر قطر شمع مورد آزمایش از انکرها و یا شمع های دیگر فاصله داشته باشند. تجهیزات بارگذاری شامل تیر بارگذاری، انکرها، سرشمع های انکر و شمع اصلی و پیچ های بلند جهت اتصال تیر بارگذاری به سرشمع های انکر در کارگاه ساخته شده و جک بارگذاری و تجهیزات الکترونیکی نظیر لودسل ۳۰ تن، جابجایی سنج و دیتالاگر نیز تهیه شد تا ثبت اطلاعات به صورت الکتریکی باشد. با توجه به یکطرفه بودن جک بارگذاری نیاز بود برای بارگذاری کششی جک بر روی تیر بارگذاری قرار داده شده و با ساخت دو تیر آهن IPE و دو پیچ بلند ۱/۵ متری نیروی کششی جک به لودسل و سپس به شمع منتقل شده است.

برای نصب شمع های تحقیق در شرایط میدانی از یک موتور هیدرولیکی اعمال کننده گشتاور با توان ۱۵۰۰۰ نیوتن متر استفاده شده است. موتور مذکور از انگلیس خریداری شده و به کشور شده و از یک دستگاه اندازه گیر گشتاور برای اندازه گیری گشتاور نصب شمع ها استفاده شده است؛ و نمودار گشتاور بر حسب عمق برای تمام شمع ها تحقیق رسم شده است.

در راستای مطالعات آزمایشگاهی تحقیق یک مدل شمع جابجایی-جایگزینی مدل آزمایشگاهی جهت انجام آزمایش فشاری و کششی در دستگاه FCV-AUT ساخته شده است. شمع ساخته شده از یک میله ترانس توخالی به قطر ۶ سانتی متر بوده است. به علت کوچک بودن نمونه کل طول پیشران حدود ۲۵ سانتی متر بوده و یک نوک قربانی شونده به گونه ای ساخته شد که پس از رسیدن به عمق استقرار از پیشران جدا می شود و گروت در داخل حفره قرار می گیرد. همچنین شمع دیگری که در آزمایش مورد استفاده قرار گرفت، شمع پیچشی- پره ای یا طول مدفون ۷۵ سانتی متر، قطر میله ۳/۲ سانتی متر، قطر پره ها ۹ سانتی متر، تعداد پره ها ۳، ضخامت پره ۴ میلی متر و و گام پره ۲ سانتی متر می باشد. شمع دیگر در مقیاس آزمایشگاهی شمع جابجایی-جایگزینی فولادی (سوباسا) می باشد که متشکل از یک شفت مرکزی از جنس فولاد به قطر ۳/۲ سانتی متر می باشد که پره های فولادی دایره ای شکل به بخش تحتانی آن متصل می شود، قطر پره شمع ۹۰ سانتی متر می باشد. این مدل به صورت ته بسته اجرا شده است. در شکل (۷) شمع جابجایی - جایگزینی مدل آزمایشگاهی نشان داده شده است.



شکل ۷: الف) شمع جابجایی - جایگزینی مدل آزمایشگاهی ب) شمع پیچشی - پره ای مدل آزمایشگاهی ج) ابعاد شمع های تحقیق آزمایشگاهی وجود دشواری های بسیار در مطالعه های میدانی از یکسو و ضرورت ارزیابی رفتار شمع های مختلف از سوی دیگر سبب شده تا مدلسازی فیزیکی کوچک مقیاس و بررسی های پارامترهای تأثیر گذار بر آن در محیط های کنترل شده آزمایشگاهی مهندسی ژئوتکنیک رواج پیدا کند. وجود مزایای تکرار پذیری، هزینه کم، سهولت اجرا و دقت بالای کنترل پارامترها در مقایسه با روش های مطالعه میدانی سبب توجه بیشتر به این روش ها شده است. در همین راستا انتخاب و ساخت شمع های تحقیق با توجه به امکانات موجود برای انجام مطالعات آزمایشگاهی انجام شده است. علیرغم پیشرفت های قابل توجه در زمینه مهندسی ژئوتکنیک، هنوز در شناخت دقیق رفتار انواع پی های عمیق ابهاماتی وجود دارد که نیازمند مطالعه و بررسی های آزمایشگاهی و میدانی بیشتر است. مدلسازی فیزیکی پی های عمیق تا حدودی توانسته با توجه به هزینه کمتر و سهولت انجام کار نسبت به آزمایش های واقعی مورد توجه محققان مختلف قرار گیرد. دستگاه فشار همه جانبه مخروطی یکی از دستگاه های مدلسازی فیزیکی پیشرفته است که در سال ۲۰۱۲ نمونه ای از این دستگاه در دانشگاه صنعتی امیرکبیر ساخته شده که توانایی شبیه سازی تنش هایی با گرادیان خطی و منطبق با واقعیت تا عمق ۳۰ متر خاک را داراست. دستگاه فشار همه جانبه مخروطی دانشگاه امیرکبیر دارای ۱۳۰ سانتیمتر ارتفاع بوده و قطر کف آن ۱۳۵ سانتیمتر و قطر بالایی آن ۳۰ سانتیمتر است. بدنه اصلی دستگاه از ورق به ضخامت ۱۰ میلیمتر و به صورت دو تکه جدا شدنی در فاصله ۷۰ سانتیمتری از کف، جهت سهولت در امر نمونه سازی، ساخته شده است. در کف آن یک صفحه فولادی به ضخامت ۱۵ میلی متر قرار داده شده تا غشای لاستیکی، بین آن و کف دستگاه قرار گیرد تا از طریق آن بتوان فشار کف را اعمال نمود. ابعاد بزرگ دستگاه این امکان را فراهم می کند تا شمع به ابعاد بزرگتری در آن اجرا شود و در نتیجه خطاهای مربوط به اثرات مقیاس و شرایط مرزی تا حد امکان کاهش می یابد. شکل (۸) و (۹) به ترتیب دستگاه فشار همه جانبه مخروطی دانشگاه امیرکبیر به همراه ابعاد بر حسب سانتی متر و تجهیزات مربوط به بارگذاری شمع را نشان می دهد.



شکل ۸: دستگاه FCV-AUT به همراه ابعاد بر حسب سانتی متر

از تحقیقات اخیر انجام گرفته توسط این دستگاه می توان به مطالعه عملکرد پی های عمیق بوسیله دستگاه فشار همه جانبه مخروطی توسط اسلامی و زارع^{۳۰} اشاره کرد [۲۶]. همچنین اسلامی و ضرابی^{۳۱}، بررسی رفتار شمع ها تحت اثرات مختلف ناشی از نصب با مدل سازی فیزیکی را مورد مطالعه قرار دادند [۲۷]. در زمینه مطالعه اثر دست خوردگی در ظرفیت باربری شمع های پیچشی پره ای با مدل سازی آزمایشگاهی در FCV در سال (۲۰۱۶) توسط اسلامی و عسکری^{۳۲} فاتح مطالعاتی انجام شد [۲۸].

به منظور تهیه نمونه برای انجام آزمایش های مربوطه، از شیوه متراکم سازی مرطوب استفاده شده است، ابتدا حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم خاک را از الک شماره ۴۰ عبور داده تا ناخالصی های آن گرفته شود. سپس به خاک مورد نظر ۴ درصد وزن خشک خاک، آب اضافه شده است تا رطوبت خاک به ۴ درصد برسد. خاک به صورت لایه، لایه در دستگاه ریخته شده و بعد از فرآیند پخش و تسطیح با کوبه های طراحی شده متراکم گردیده است.

لیونه و النگر^{۳۳} در سال (۲۰۰۸) ظرفیت فشاری حدی یک شمع پیچشی-پره ای را در جابجایی های رخ داده معادل با ۸ درصد قطر بزرگترین پره بعلاوه نشست الاستیک شمع معرفی کردند [۲۹]. در این رابطه ترازقی ظرفیت باربری نهایی شمع را با بار متناسب با جابجایی های رخ داده در حدود ۱۰ درصد قطر شمع تعریف نمود.

³⁰ Eslami & Zare (2014)

³¹ Eslami & Zarrabi (2016)

³² Askari Fateh & Eslami (2016)

³³ Livneh, B. and Naggari



شکل ۹: تجهیزات مربوط به بارگذاری شمع

خاک مورد استفاده در این تحقیق با توجه به آزمایش دانه بندی انجام شده روی این خاک و بر اساس روش طبقه بندی متحد در دسته ماسه های بد دانه بندی شده (SP) جای می گیرد. جدول (۱) مشخصات خاک را نشان داده است.

جدول ۱ مشخصات خاک مورد آزمایش

آزمایش دانه بندی		آزمایش برش مستقیم				آزمایش تعیین دانسیته نسبی		سایر مشخصات خاک			
Unified method	Cu	Cc	D50 (mm)	C (kPa)	Φ ($^{\circ}$)	γ_d max (gr/cm ³)	γ_d min (gr/cm ³)	emax	emin	ω (%)	Gs
SP (ماسه انزلی)	۱/۲	۱/۱	۰/۲۱	۰/۰۸۷	۳۲-۳۴	۱/۶۵	۱/۴	۰/۸۹	۰/۶۳	۴	۲/۶۹

در اجرای شمع ها به این صورت عمل شده است که پس از فرآیند نمونه سازی خاک و اعمال ۲۰۰ کیلو پاسکال فشار به کف دستگاه جهت مدل سازی شرایط قرار گیری شمع در عمق حدود ۱۰ متری، دستگاه موتور پیچشی بر روی دهانه بالایی دستگاه فشار همه جانبه مخروطی دانشگاه امیرکبیر نصب گردید و سپس با نصب شمع به دستگاه موتور پیچشی، دستگاه با استفاده از گشتاور لازم و نیروی محوری ثابت شمع را تا عمق مورد نظر به داخل خاک به صورت پیچشی می راند. نکته حائز اهمیت توانایی دستگاه موتور پیچشی در اندازه گیری گشتاور لازم جهت پیچش شمع به داخل خاک است. مقدار گشتاور از ابتدا تا رسیدن به عمق استقرار مورد نظر اندازه گیری شده است. پس از قرار گیری در عمق مورد نظر و نصب تیر بارگذاری فشاری و کششی بر روی شمع ها انجام گرفته است. جهت انجام آزمایش بارگذاری فشاری ابتدا یک صفحه صلب بالای شمع ها قرار گرفته و سعی بر آن بوده که مطابق آیین نامه ASTM-1143 بارگذاری انجام شود. جهت آزمایش بارگذاری کششی شمع ها نیز، دو سوراخ روبروی هم به قطر ۲۵۰ میلی متر و به فاصله ۵۰ میلی متر از لبه بالایی شمع ها بر بدنه شمع ها ایجاد شده تا با استفاده از قطعه رابط بین Load cell و شمع آزمایش انجام گیرد و سعی بر آن بوده که مطابق آیین نامه ASTM-3689 بارگذاری انجام گردد.

بارگذاری به صورت گام به گام انجام شده است. بطوری که در هر گام تقریباً ۵ درصد بار نهایی تخمینی به شمع اعمال می گردید. بار اعمالی در هر گام به مدت ۴ دقیقه ادامه داشت تا مقدار تغییر مکان سر شمع تقریباً ثابت گردد. در حین بارگذاری با استفاده از Load cell و LVDT مقادیر بار، جابجایی و زمان توسط سیستم دیتالاگر ثبت و به صورت همزمان در نمایشگر مشاهده و فرآیند آزمایش کنترل گردیده است. بارگذاری تا جابجایی های بسیار بزرگ (بیشتر از ۳۰ درصد قطر شمع) ادامه داده شده است. شکل (۱۰) نحوه اجرای شمع

ها در دستگاه فشار همه جانبه مخروطی دانشگاه امیرکبیر را نشان می دهد.



شکل ۱۰: نحوه اجرای شمع ها در دستگاه FCV-AUT

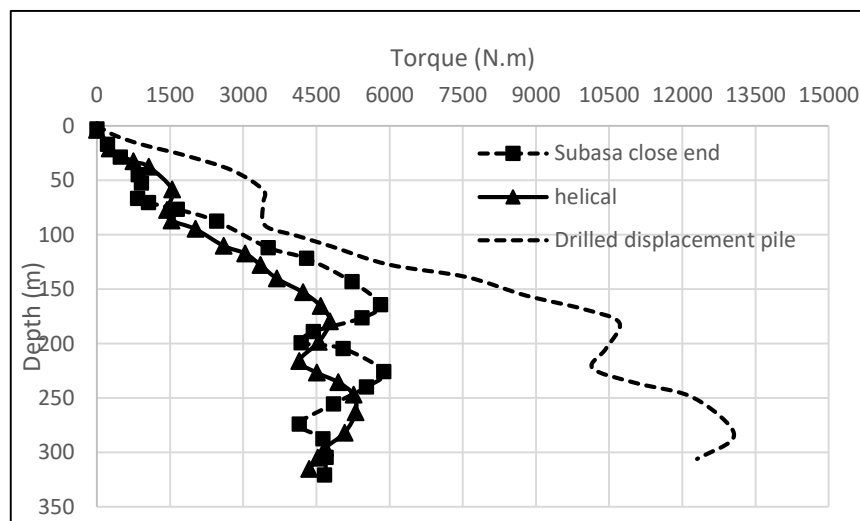
با توجه به اینکه ظرفیت باربری شمع ها و مقدار گشتاور لازم در هنگام نصب با مقاومت برشی خاک مرتبط است از این رو محققان تلاش داشته اند تا بین گشتاور اعمال شده در هنگام نصب و ظرفیت باربری شمع ها رابطه ای ارائه دهند. در صنعت شمع های پیچشی-پره ای از این رابطه برای تعیین ظرفیت باربری و همچنین تضمین کیفیت شمع نصب شده استفاده می شود. در همین راستا برای اجرای شمع های پیچشی-پره ای در دستگاه فشار همه جانبه مخروطی دانشگاه امیرکبیر بطوریکه مشابه شرایط اجرایی در میدان شود؛ تصمیم به ساخت دستگاه موتور پیچشی شده است. این دستگاه از چند بخش مجزا تشکیل شده است که بخش های تشکیل دهنده آن عبارت است از: موتور گیربکس، جک بالا و پایین برنده، کمپرسور فشار هوا برای استفاده جک ها، رابط میان موتور گیربکس و شمع ها، مانومتر، حسگر گشتاور سنج و اسکلت اصلی که در شکل (۱۱) جزئیات دستگاه موتور پیچشی ارائه شده است. قابل ذکر است که حسگر گشتاور سنج به کار رفته در دستگاه موتور پیچشی قابلیت اندازه گیری گشتاور تا ۱۰۰۰ نیوتن در متر را دارد. همچنین موتور گیربکس استفاده شده در این دستگاه قابلیت چرخش در هر دو جهت ساعتگرد و پاد ساعتگرد را داراست..



شکل ۱۱: دستگاه موتور پیچشی

۴- ارائه و ارزیابی نتایج

شمع های تحقیق از نوع پیچشی با طول و قطر شفت مرکزی یکسان بوده که با استفاده از دستگاه اعمال کننده گشتاور نصب شده و گشتاور مورد نیاز آنها بر حسب عمق اندازه گیری شده است. هدف از این تحقیق بررسی میزان ظرفیت باربری کششی و فشاری استاتیکی شمع ها بوده تا ضمن مطالعه تجربی رفتار شمع های جابجایی-جایگزینی، مقایسه ای با رفتار و ظرفیت باربری شمع های پیچشی-پره ای و شمع سوباسا ته بسته صورت پذیرد. در شکل (۱۲) نمودار گشتاور بر حسب عمق شمع ها در بررسی های میدانی نشان داده شده است.

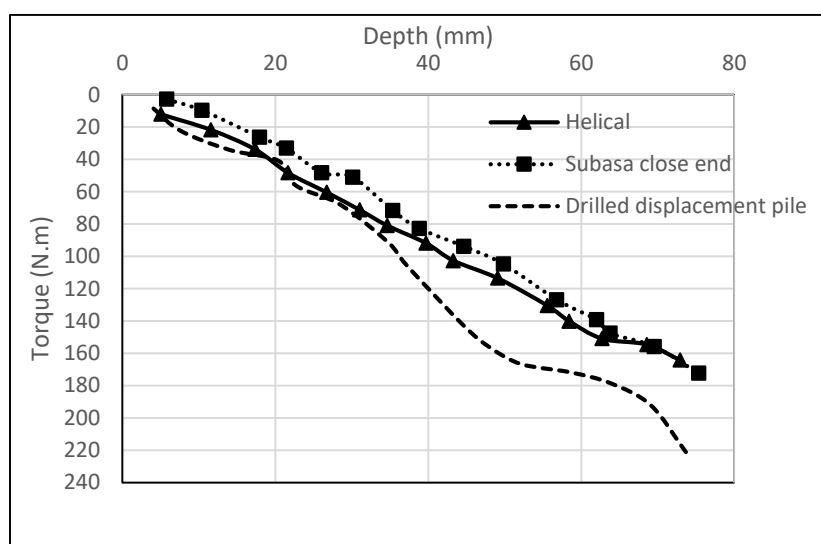


شکل ۱۲: نمودار تغییرات بر حسب عمق گشتاور نصب برای شمع های تحقیق در مطالعات میدانی

شمع سوباسا و پیچشی-پره ای دارای نمودارهای گشتاور یکسانی هستند و تفاوت اندک موجود را می توان به تفاوت مشخصات خاک محل نصب و جزئیات کوچک در زمان نصب نسبت داد. البته شمع سوباسا ته بسته در قسمت هایی دارای گشتاور بیشتری برای نصب بوده که این مقدار را می توان به ته بسته بودن آن نسبت داد.

شمع جابجایی - جایگزینی تحقیق اما به گشتاور به مراتب بالاتری (حدود ۱۳۰۰۰ نیوتن متر) نسبت به دیگر شمع ها برای نصب نیاز داشت؛ که البته معقول بوده به این دلیل که این شمع خاکی با قطر ۲۵ سانتی متر و ارتفاع ۳/۲ متری را به سمت دیواره چاه هدایت می کرده، در صورتی که مابقی شمع ها حجم خاکی به قطر ۱۱/۴ سانتی متر و ارتفاع ۳/۲ متری را به سمت دیواره چاه هدایت می کردند. با ذکر این نکته که انکرهای تحقیق پیچشی - پره ای ۴۰ سانتی متری بوده و به گشتاور ماکزیمم حدود ۱۱۰۰۰ نیوتن متر در خاک نصب گشته و به گشتاور کمتری نسبت به شمع جابجایی - جایگزینی برای نصب احتیاج داشته بودند.

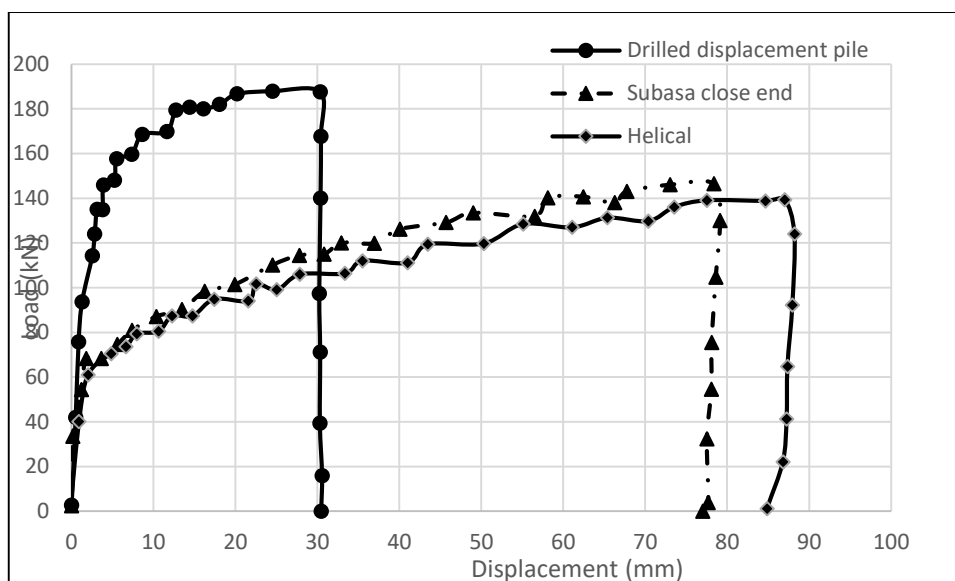
با مشاهده نمودار گشتاور نصب به عمق در مطالعات آزمایشگاهی می توان گفت که با افزایش عمق مقدار گشتاور نصب افزایش می یابد. با بررسی مقایسه نتایج مشاهده گردیده است که بیشترین مقدار گشتاور مربوط به شمع جابجایی - جایگزینی و کمترین مقدار حداکثری گشتاور مربوط به شمع پیچشی - پره ای بوده است. با توجه به نتایج بدست آمده از نمودارهای گشتاور به عمق، هندسه شمع و شرایط و تراکم خاک به شدت بر روی مقدار و بزرگی گشتاور تاثیرگذار بوده است. همچنین با مرور مقادیر گشتاور ها، می توان نتیجه گرفت که افزایش قطر لوله مرکزی نسبت به افزایش قطر پره ها تاثیر بیشتری بر روی افزایش مقدار گشتاور نصب شمع های پیچی شکل داشته است. مطالعات آزمایشگاهی صورت گرفته انطباق کاملی با مطالعات میدانی در رابطه با گشتاور نصب داشته است. شکل (۱۳) نمودار گشتاور به عمق شمع ها در شرایط آزمایشگاهی را نشان می دهد.



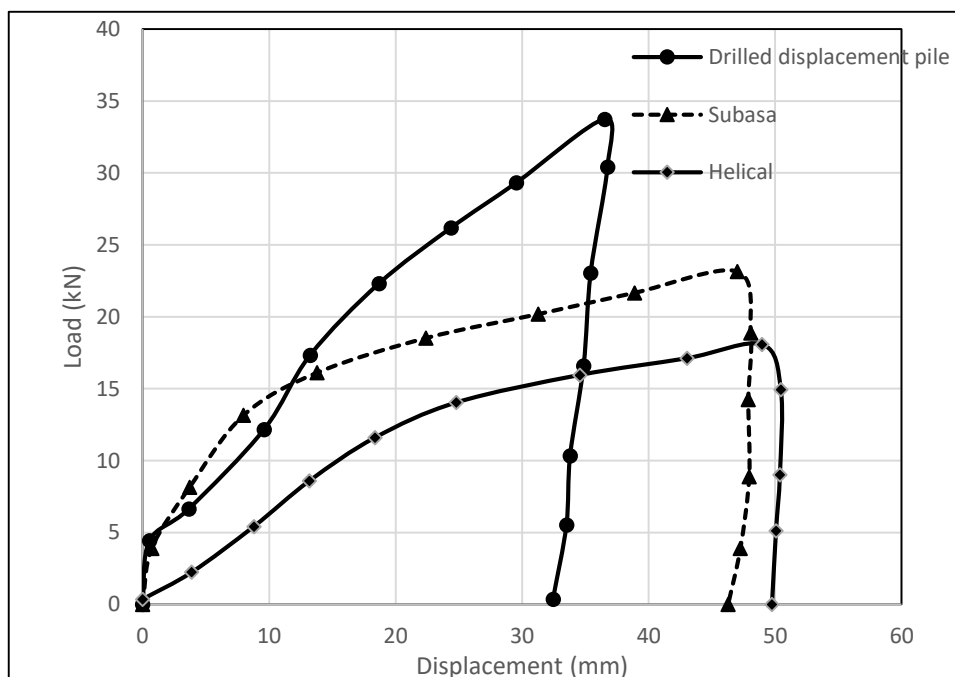
شکل ۱۳: نمودار تغییرات بر حسب عمق گشتاور نصب برای شمع های تحقیق در مطالعات آزمایشگاهی

اگرچه استفاده از یک مدل شمع خاص برای یک پروژه به عوامل متعددی نظیر میزان اهمیت پروژه، شرایط ژئوتکنیکی ساختگاه، سطح آب زیرزمینی، شرایط محیطی، مصالح در دسترس، شرایط دسترسی و ... بستگی دارد؛ اما با مقایسه و بررسی شمع های مختلف می توان به این نتیجه رسید که در شرایط یکسان استفاده از کدام یک می تواند بهتر و اقتصادی تر بوده و یا در شرایط خاص استفاده از کدام شمع مناسب تر است. در ادامه بررسی و مقایسه ظرفیت باربری شمع های تحقیق تحت تاثیر بار کشش و فشار اشاره شده است، تا ضمن دستیابی به نقاط ضعف و قوت یک مدل شمع درک درستی از رفتار آن شمع ارائه گردد.

شمع جابجایی-جایگزینی در جابجایی حدود ۱۰ درصد قطر شمع پلانچ را تجربه کرده است اما دو شمع پیچشی-پره ای و سوباسا جابجایی هایی معادل ۳۰ درصد قطر خود را تجربه کرده اند (این شرایط در آزمایش های آزمایشگاهی هم برقرار بود). اما باید در نظر گرفت که اگر چه این شمع ها تا جابجایی معادل ۳۰ درصد قطر خود بار تحمل می کنند اما این مقدار جابجایی برای سازه هایی که جابجایی در آنها از اهمیت بالایی برخوردار است اصلا مطلوب نیست.



شکل ۱۴: نتایج آزمایش بارگذاری فشاری در مطالعات میدانی

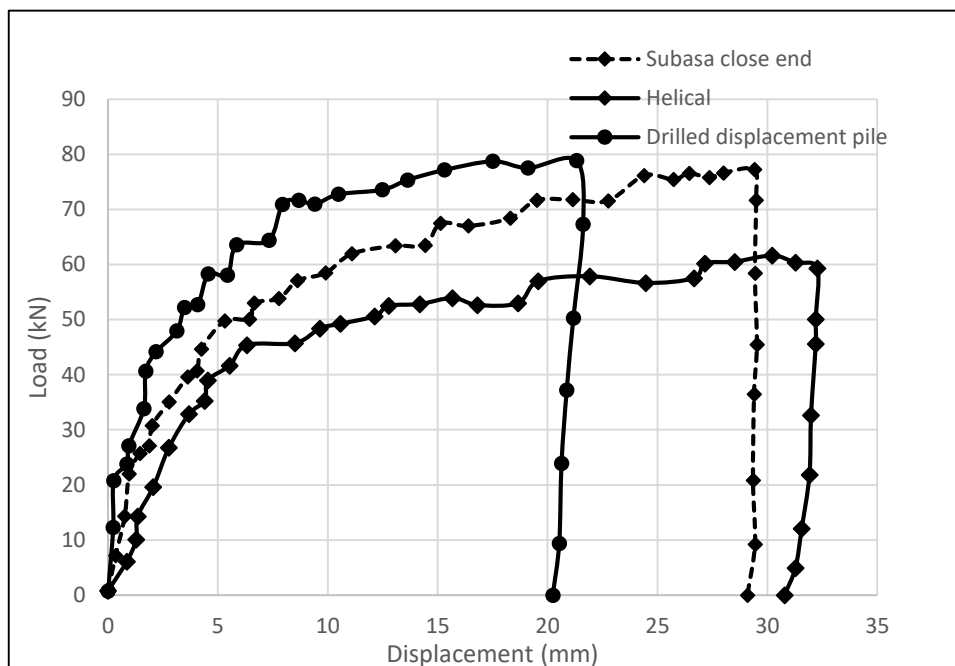


شکل ۱۵: نتایج آزمایش بارگذاری فشاری در مطالعات آزمایشگاهی

در بررسی از روی نمودار بارگذاری کششی، شکل (۱۶) می توان نتیجه گرفت که دو شمع پیچشی-پره ای و سوباسا ته بسته در بارگذاری کششی هم بسیار شبیه هم عمل کرده اند و تنها مقدار کمی با هم اختلاف داشته اند. در این بین اما شمع پیچشی - پره ای دارای سختی کمتری بوده و در کل نسبت به دو شمع دیگر باربری کمتری را داشته است؛ و شمع سوباسا همچون بارگذاری فشاری رفتار نسبتاً بهتری از خود نشان داده است. در نصب این شمع ها معمولاً کمی انحراف از راستای قائم ایجاد می شود و دوباره به حالت قائم بر می گردد که این شرایط باعث دست خوردگی بیشتر در حین نصب شده و نتیجه کاهش ظرفیت باربری مخصوصاً در حالت کششی بوده است.

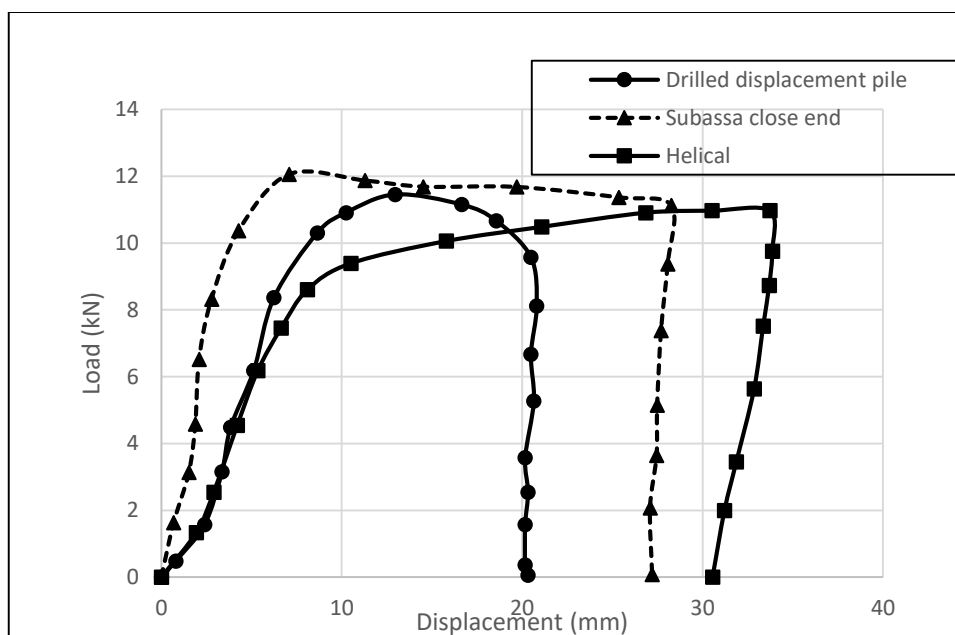
شمع جابجایی-جایگزینی تحقیق اما در باربری کششی هم نیز بهتر از مابقی مدل ها عمل کرده است. این شمع هم از سختی بهتری برخوردار بوده و هم باربری بیشتری را تحمل کرده است. با توجه به اینکه این شمع در حین نصب باعث متراکم شدن خاک

اطراف و بهبود مشخصات خاک اطراف می شود و از طرفی مکانیزم عملکرد این مدل شمع با مدل شمع های پیچشی-پره ای و سوباسا متفاوت است؛ این افزایش باربری کششی قابل پیش بینی بوده است. در واقع در مکانیزم کششی مساحت جانبی شمع جابجایی-جایگزینی استوانه ای به قطر ۲۵ سانتی متر است ولی در شمع پیچشی - پره ای و سوباسا مکانیزم کششی متفاوتی داشته است. از جهت دیگر نیز وزن شمع جابجایی - جایگزینی نسبت به شمع های دیگر چیزی حدود ۳۰۰ الی ۴۰۰ کیلوگرم بیشتر بوده است. تمام این عوامل را می توان علت افزایش باربری کششی شمع جابجایی - جایگزینی و رفتار مناسب تر این شمع دانست.



شکل ۱۶: نتایج آزمایش بارگذاری کششی در مطالعات میدانی

شمع جابجایی-جایگزینی و سوباسا در کشش عملکرد بهتری از لحاظ ظرفیت باربری داشته ولی سختی شمع جابجایی - جایگزینی بیشتر می باشد. همچنین شمع پیچشی-پره ای جابجایی های بیشتری را در کشش تجربه کرده است. در شکل (۱۷) این بررسی ها نشان داده شده است.



شکل ۱۷: نتایج آزمایش بارگذاری کششی در مطالعات آزمایشگاهی

۵- نتیجه گیری

با توجه به استفاده از پی های عمیق در ساخت و سازهای ساحلی نظیر اسکله، پی مخازن ذخیره نفت، پی های توربین ها و ... در کشورهای پیشرفته به دنبال گسترش تکنولوژی و پیدایش دستگاه های اعمال گشتاور با ظرفیت بالا نوع نوینی از شمع های ابداع گردیده است که با نیروی گشتاور و به صورت پیچشی در خاک نصب می شوند. شمع پیچشی-پره ای، شمع جابجایی-جایگزینی و جدیداً شمع سوباسا در ژاپن از این نوع هستند. هدف اصلی تحقیق بررسی و مقایسه سه نوع از این شمع ها که تماماً با گشتاور نصب می شوند، بوده است. همچنین علاوه بر انتخاب اولویت استفاده شمع ها بر اساس ظرفیت باربری کششی و فشاری و میزان گشتاور نصب، طرح مزایا و معایب آنها در بکارگیری در شرایط خاص مطرح بوده است. در همین مورد استفاده از شمع جابجایی-جایگزینی با از بین بردن مشکلات شمع های درجا ریز نظیر آزاد سازی تنش و یا ریزش دیواره ها که به ترتیب کاهش مقاومت جدار و کف شمع را در پی دارد، موجب افزایش چشمگیر ظرفیت باربری و عملکرد بهتر در برابر بارهای سرویس بوده و با توجه به ظرفیت باربری به مراتب بالاتر از شمع های پیچشی دیگر و قیمت کمتر بتن نسبت به فولاد این شمع ها از لحاظ باربری فشاری و کششی جایگزین بهتری برای شمع های کوبشی و درجا ریز در مناطق شهری خواهند بود. همچنین گشتاور مورد نیاز این شمع در مقایسه با سایر شمع ها مقادیر بالاتری را اتخاذ کرده است. همچنین این شمع در باربری کششی هم عملکرد مناسبی نسبت به سایرین داشته زیرا در حین نصب این شمع ها خاک اطراف متراکم شده و این عامل باعث بهبود مشخصات خاک اطراف شمع شده و نتیجتاً افزایش ظرفیت باربری شمع را در پی خواهد داشت. از مزایای استفاده از شمع های پیچشی - پره ای و سوباسا می توان به گشتاور کمتر نصب مورد نیاز و بارگذاری بلافاصله بعد از نصب این شمع ها اشاره کرد.

مراجع

- [1] Basu, P., Prezzi, M., and Basu, D. (2010). Drilled displacement piles: Current practice and design. DFI J., 4(1), 3–20.
- [2] Eslami, A., Aflaki, E and Hosseini, B. (2011). Evaluating CPT and CPTu based pile bearing capacity estimation methods using Urmiyeh Lake Causeway pilling records. Scientica Iranica, 18(5): p. 1009-1019.
- [3] Eslami, A. Fellenius, B.H. (1997). Pile capacity by direct CPT and CPTu methods applied to 102 case histories. Canadian Geotechnical Journal, 34(6):p.886-904.

- [4] Van Impe, W. F., Viggiani, C., Van Impe, P. O., Russo, G., and Bottiau, M. (1998). Load settlement behaviour versus distinctive O-pile execution parameters. Proc., 2nd Int. Geotechnical Seminar Deep Foundation on Bored and Auger Piles-BAP III, A.A. Balkema, Amsterdam, Netherlands, 355-356.
- [5] De Beer, E. (1988). Different behavior of bored and driven piles. In: Proceedings of the 1st international geotechnical seminar on deep foundations on bored and auger piles (BAP I), Rotterdam, Balkema, p. S.47-82.
- [6] Peiffer, H, Van Impe W. (1993). Evaluation of pile performance based on soil stress measurements – field test program. In: Proceedings of the 2nd international geotechnical seminar on deep foundations on bored and auger piles (BAP II), Rotterdam, Balkema, p. S.385-89.
- [7] NeSmith, W. M. (2002). Design and installation of pressure-grouted, drilled displacement piles. Proc., 9th Int. Conf. on Piling and Deep Foundations, Deep Foundations Institute, NJ, 561-567.
- [8] Siegel, T. C., NeSmith, W. M., NeSmith, W. M., and Cargill, P. E. (2007). Ground improvement resulting from installation of drilled displacement piles. Proceedings of DFI's 32nd annual conference on deep foundations, Colorado Springs, U.S.A., pp. 129-138.
- [9] Bustamanate, M. and Gianeselli, L.,(1998). Installation parameters and capacity of screwed piles. Deep Foundations on Bored and Auger Piles, BAP III, Balkema, Rotterdam, pp. 95-108.
- [10] NeSmith, W. M., Member, P.E. (2002). Static capacity analysis of Augered, pressure injected displacement piles: Chief Geotechnical Engineer, Berkel & Company Contractors, Inc., P.O Box 335, Bonner Springs, Kansas 66012, and ASCE.
- [11] Meng, Z, Chen, J, Zhang, M. (2015). Field tests to investigate the installation effects of drilled displacement piles with screw shaped shaft in clay. 10.1061/ (ASCE) GT.1943-5606.0001371. American Society of Civil Engineers.
- [12] Peiffer, H. (2009). The dmt as tool for the monitoring of the effect of pile installation on the stress state in the soil. In: Proceedings of the 5th international geotechnical Seminar on Deep Foundations on bored and auger Piles (BAP V). Ghent: CRC Press, p. S.135-42.
- [13] Sakr, M.,(2011). Installation and performance characteristics of high capacity helical piles in cohesion less soils. Deep Found. (DFI)5(1),39-57.
- [14] Park, S. Roberts, L. (2012). Design methodology for axially loaded auger cast-in-place and drilled displacement piles. DOI: 10.1061/ (ASCE) GT.1943-5606.0000727. American Society of Civil Engineers.
- [15] Prezzi, M and Basu, P. (2005). Overview of construction and design of auger cast in place and drilled displacement piles. In DFI's 30th annual conference on deep foundations. Chicago, U.S.A.
- [16] Brown, D. A. (2005). Practical considerations in the selection and use of continuous flight auger and drilled displacement piles. Proc., Geo-Frontiers: Advances in Designing and Testing Deep Foundations, ASCE, Reston, VA, 251-261.
- [17] Albuquerque, P., Carvalho, D and Massad, F. (2001). Bored continuous flight auger and omega instrumented piles: Behavior under compression. In the 16th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering. Osaka, Japan.
- [18] Pirrello, S. (2017). Design and construction validation of pile performance through high strain dynamic tests for both contiguous flight auger and drilled displacement piles. International Journal of Geotechnical and Geological Engineering, 11(9): p. 759-765.
- [19]Tusha, C. D. H, Aoki, N., Rault, G., Thorel, L. and Garnier, J. (2012). Evaluation of the efficiencies of helical anchor plates in sand by centrifuge model tests, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 49, No. 9, pp. 1102-1114.
- [20] Weech, C. N., Eng, P, and Howie, J. A. (2012). Helical piles in soft sensitive soils- a field study of disturbance effects on pile capacity, VGS Symposium on Soft Ground Engineering.
- [21] Moshfeghi, S and Eslami, A. (2018). Reliability based assessment of drilled displacement piles bearing capacity using CPT records. Marine Georesources and Geotechnology, p 1-14.
- [22] Basou, P, Prezzi, M and Salgado, R. (2014). Modeling of installation and quantification of shaft resistance of drilled displacement piles in sand. International Journal of Geomechanics, 14(2): p. 214-229.
- [23] O'Neil, M. (1994). Review of augered pile practice outside the United States. Journal of the Transportation Research Board, 1994. 1447: p. 3-9.
- [24] Larisch, M. (2014). Behavior of stiff fine grained soil during the installation of screw auger displacement piles. The University of Queensland.
- [25]Gwizdala, K, Pajak, M, (2008). Influence of installation of piles with partial and full displacement of the soil on the subsoil strength. Architecture Civil Engineering Environment, 1:p. 43-50.
- [26]Zare, M. Eslami, A. (2014). Study of deep foundation performances by frustum confining vessel (FCV). International Journal of Civil Engineering, Vol. 12, No. 4, Transaction B: Geotechnical Engineering.
- [27] Zarrabi, M. Eslami, A. (2016). Behavior of Piles under Different Installation Effects by Physical Modeling. Int. J. Geomech., 04016014.ASCE.

- [28] Askari Fateh, A.M. Eslami, A. Fahimifar, A. (2016). Study of soil disturbance effect on bearing capacity of helical pile by experimental modelling in FCV. International Journal of Geotechnical Engineering.
- [29] Livneh, B. and El Naggar, M.H. (2008), axial testing and numerical modeling of square shaft helical piles under compressive and tensile loading. Canadian Geotechnical Journal, 45(8): p.1142-1155.