



بهسازی بستر پی با استفاده از ریزشمع ها (میکروپایل) (مطالعه موردی هتل الزهرا)

دانیال محمدزاده شادمهری

کارشناسی ارشد مهندسی عمران مکانیک خاک و مهندسی پی، دانشگاه فردوسی مشهد و عضو گروه مشاوران جوان شهرداری مشهد
Danial.mohammadzadehshadmehri@stu.ac.ir Dmhz1989@yahoo.com

بهنام قربانی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران مکانیک خاک و مهندسی پی، دانشگاه فردوسی مشهد
behnam.ghorbani@stu.um.ac.ir

امیر زبیدی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران مدیریت ساخت، دانشگاه غیرانتفاعی خاوران
Amirzibadi72@gmail.com

حمید رجایی

کارشناسی ارشد مهندسی عمران مکانیک خاک و مهندسی پی، دانشگاه صنعتی شریف
Rajae.hmd@gmail.com

چکیده

این مقاله اثر استفاده از ریز شمع ها را در بهسازی پی مورد بررسی قرار می دهد. تحقیق حاضر در شهر مشهد و در محل پروژه هتل الزهرا با اسکلت فولادی ۲۲ سقف انجام گرفته است. به دلیل شرایط خاص پروژه از جمله وجود تراز فونداسیون در عمق ۱۸ متری و بالا بودن سطح آب زیرزمینی تا تراز کف پی و فرسایش و حفرات ایجاد شده در لایه های خاک ماسه ای و سیلتی زیر فونداسیون در اثر جریان آب زیرسطحی در اثر پمپاژ آب استفاده از ریز شمع ها به عنوان ابزاری برای بهسازی در دستور کار قرار گرفت. در این راستا ۴ ریز شمع مختلف با طول های ۳ و ۶ متر در محل پروژه اجرا شدند و تست بارگذاری روی آن ها انجام گرفت و ظرفیت های فشاری مربوطه محاسبه گردیدند. ظرفیت فشاری ریزشمع های ۶ متری حدود ۱۵ تن و ۳ متری حدود ۷ تن به دست آمد. با توجه به ظرفیت فشاری مناسب بدست آمده برای ریز شمع های ۶ متری و ظرفیت فشاری مناسب این ریز شمع ها در مقایسه با ریزشمع های ۳ متری در این پروژه استفاده از ریز شمع هایی با عمق حفاری حداقل ۶ متر در دستور کار قرار گرفت. در انتها پلان پیشنهادی برای اجرای ریزشمع ها در پروژه ارائه شد.



کلیدی: بهسازی

واژگان

پی، ریز شمع ها، ظرفیت فشاری، تست بارگذاری

مقدمه

ریز شمع ها، شمع هایی با قطر کمتر از ۳۰۰ میلی متر هستند که با حفر گمانه، قرار دادن آرماتور و تزریق دوغاب اجرا می شوند. ریز شمع اولین بار در اوایل دهه ۱۹۵۰ در ایتالیا به عنوان یک روش ابتکاری برای زیر بندی ساختمان های تاریخی و بناهای یاد بود که به مرور زمان و به خصوص در زمان جنگ جهانی دوم آسیب دیده بودند ابداع شد. یک سیستم زیر بندی موثر و مطمئن به عنوان تکیه گاهی برای بارهای سازه ای با حداقل تغییر مکان مورد نیاز بود که در مکان های محدود و با دسترسی دشوار قابل اجرا باشد و نیز حداقل دست خوردگی را در سازه های موجود ایجاد کند. روش های خاص حفاری و تزریق که در اجرای ریز شمع ها مورد استفاده قرار می گیرند، باعث ایجاد اتصال مقاومی بین دوغاب و خاک می گردد و این مسئله موجب افزایش ظرفیت باربری در سطح تماس دوغاب و زمین می شود. دوغاب تزریق شده بار اعمال شده به ریز شمع را بوسیله اصطکاک از آرماتور به زمین در ناحیه اتصال انتقال می دهد. از جمله دیگر مزایای ریز شمع ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

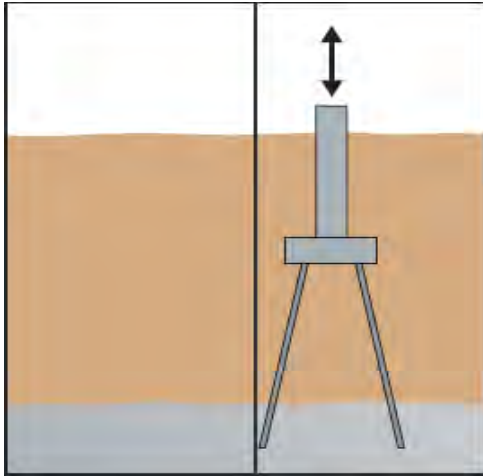
الف. اجرای ریز شمع ها کمترین دست خوردگی را در محیط خاک ایجاد می کند و نیز حجم خاکبرداری در اجرای آن کم است.

ب. جهت بهسازی پی سازه های موجود به راحتی قابل استفاده بوده و در مکان های مسقف با فضای بالاسری کم هم قابل اجرا است.

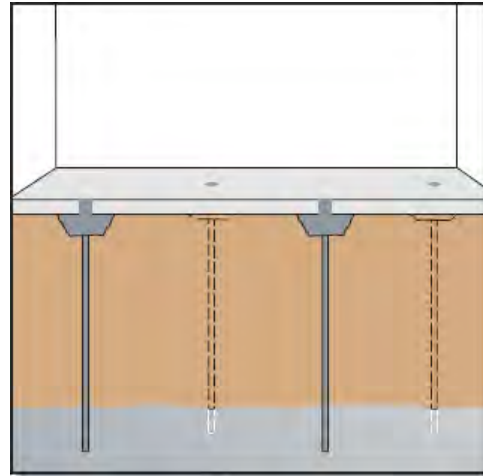
ج. رفتار لرزه ای خوبی بخاطر انعطاف پذیری دارند (نظری مهر، اردکانی، ۱۳۸۸).

با توجه به ویژگی های ذکر شده ریز شمع ها امروزه به طور گسترده در مسائل گوناگون ژئوتکنیکی مورد استفاده قرار می گیرند. شکل ۱ استفاده از ریز شمع ها را بعنوان ابزاری برای مقابله با بارهای دینامیکی و نیروی آپلیفت نشان می دهد.

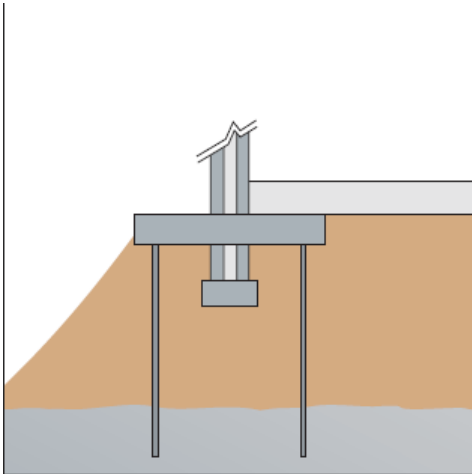
(Jie et all, 2006). علاوه بر این، همان طور که در شکل ۲ و ۳ و ۴ نشان داده شده است، استفاده از ریز شمع ها در مواردی چون کاهش نشست سازه ای، پایداری شیروانی ها، بهسازی لرزه ای (Wong, J.C, 2004) و پایدار سازی فونداسیون های همجوار با خاکبرداری رایج است (FHWA, 2000)



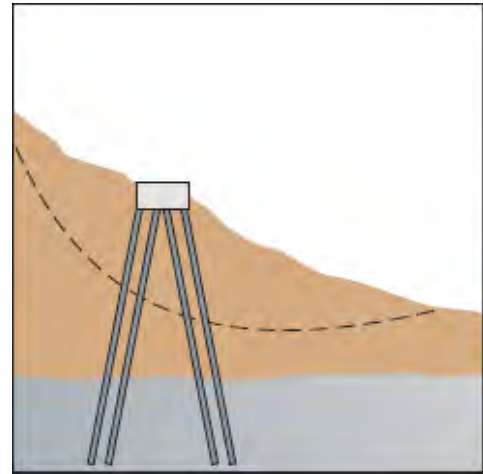
شکل ۲: مقابله با نیروهای دینامیکی و کنترل uplift



شکل ۱: استفاده در خاک های با ظرفیت باربری پایین



شکل ۴: پایدار فونداسیون مجاور گودبرداری توسط ریزشمع



شکل ۳: پایدار سازی شیروانی ها توسط ریز شمع

مراحل اجرای میکروپایل:

مراحل اصلی اجرای ریز شمع به شرح زیر می باشند (شکل ۵):

۱. شروع حفاری یا قرار دادن کیسینگ موقت

۲. پایان حفاری تا عمق مورد نظر

۳. خارج نمودن میله حفاری

۴. تزریق گروت (توسط ترمی)



۵. خارج نمودن پوشش موقت و تزریق گروت تحت فشار

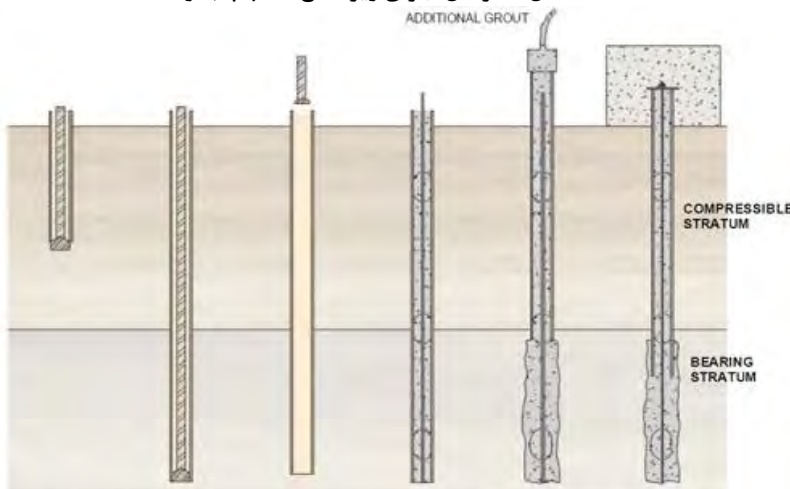
۶. شمع کامل شده (FHWA, 2005)

روش تحقیق

تحقیق حاضر در شهر مشهد و در محل احداث هتل الزهرا (س) واقع در خیابان امام رضا (ع)، نیش دانش شرقی ۱۰ و در شرایطی که مطالعات ژئوتکنیک اولیه در گذشته و در زمان شروع پروژه انجام شده صورت می گیرد. پروژه هتل الزهرا (س)، ساختمانی با اسکلت فلزی حدود ۲۲ سقف، شامل چهار طبقه زیرزمین و تراز زیر فونداسیون به عمق حدود ۱۸ متر می باشد. در هنگام اجرای شمع های بتنی به علت بالا بودن سطح سفره آب زیر زمینی تا تراز کف بتن پی گسترده، مشکلاتی به وجود آمد که باعث مراجعه به مطالعات تکمیلی

شکل ۵: مراحل اجرای ریز شمع ها (چپ به راست)

شده در لایه های
گردید که روش
ست و دو طبقه
اری از ساختمان،
همچنین حذف
نعیین ظرفیت در
نذاری شدند و



ژئوتکنیک گردید.

مشکلات اجرایی شمع
خاک ماسه ای و سیل
بهسازی مناسب را
ساختمان دارای عم
شرایط بسیار دشوار
تعدادی از شمع های
محل پروژه در دستو



فشاری آنها

ظرفیت

محاسبه گردید. در این پروژه اجرای ۴ میکروپایل با عمق‌های یازده، نه، شش و

سه متری در دستورکار قرار گرفت. شکل ۶ موقعیت قرارگیری میکروپایل‌ها را در پروژه نشان می‌دهد (گزارش ژئوتکنیکی، ۱۳۹۲).



شکل ۶: نمایی از میکروپایل‌های اولیه جهت تست بارگذاری

روش اجرای ریز شمع‌ها

در ابتدا با استفاده از دستگاه دریل واگن پنوماتیکی، در چهار موقعیت نشان داده شده و در فاصله حدود چهار متر، حفر گمانه‌هایی با سرمته ۱۰۱ و به عمق حدود ده تا یازده متر همانند شکل ۷ انجام گردید. با شرایط اشاره شده و پس از گذشت یک روز از حفاری چهار گمانه فوق، با استفاده از جرثقیل، کیسینگ‌هایی به قطر ۷۶ میلی‌متر که با انجام جوشکاری به هم متصل شدند و سوراخ‌هایی بر روی آن‌ها در محل ایجاد شده بود، به همراه یک آرماتور آجدار به قطر ۳۲ میلی‌متر و برابر با طول کیسینگ و عمق گمانه در داخل گمانه‌های حفاری شده قرار داده شدند. مقدار پرشدگی گمانه‌ها با فاصله یک روز از حفاری بدون کیسینگ گمانه‌ها، محدود بود.



کیسینگ‌ها و

آرما تورهای سه و شش متری با دست درون گمانه‌ها قرار داده شد، اما جهت قراردادن کیسینگ‌های نه و یازده متری که در بین شمع‌های بتنی پیش‌بینی شده بودند، نیاز به جرثقیل بود که با توجه به در دسترس نبودن جرثقیل در آن زمان، انجام نگردید و با توجه به پایان حفاری اولیه، دستگاه دریل واگن از محل پروژه انتقال داده شد. پس از گذشت دو روز از زمان اشاره شده و با استفاده از جرثقیل، کیسینگ‌ها درون گمانه‌ها قرار داده شدند ولی متأسفانه با وجود تلاش‌های انجام شده فقط به طول سه و شش متر داخل گمانه گردیدند و لذا گزینه‌های ممکن در انجام تست بارگذاری دو میکروپایل سه متری و دو میکروپایل شش متری گردیدند. پس از پایان حفاری، کیسینگ و آرما تورگذاری، همان

طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، تزریق دوغاب درون میکروپایل‌ها انجام شد. در این بین موقعیت‌هایی با دوغاب‌خوری بیش از هفتصد لیتر نیز مشاهده شد (تست شماره ۱)، اما در موقعیت تست شماره دو (میکروپایل شش‌متری) امکان تزریق دوغاب کمی به وجود آمد (گزارش ژئوتکنیکی، ۱۳۹۲).



شکل ۸: تزریق دوغاب سیمان در میکروپایل‌ها



شکل ۷: حفاری قائم چاله میکروپایل‌ها بوسیله واگن

انجام تست بارگذاری و نتایج



منظور انجام

به

بارگذاری، اولین میکروپایل شش متری در فاصله بین دو میکروپایل حدود ده الی یازده متری، کیسینگ و آرماتور مرکزی در تراز مناسبی برش داده شدند و یک صفحه فولادی ۲۰*۲۰ در ۱/۵ سانتی متر با سوراخ مرکزی از داخل سوراخ به آرماتور مرکزی و از پایین صفحه به کیسینگ همان طور که در شکل ۹ نشان داده شده، جوش داده شده است. توسط هشت پروفیل ناودانی متصل شده به هم، دو کیسینگ مجاور محل تست اولین کیسینگ شش متری، به یکدیگر متصل گردیدند و جوشکاری مورد نیاز انجام شد. با قرار دادن جک در موقعیت روی صفحه فولادی بالای کیسینگ شش متری و زیر پروفیل های ناودانی، سه گیج اندازه گیری جابجایی میکروپایل در موقعیت مناسب مستقر گردیدند و تست بارگذاری انجام شد.



شکل ۹: آماده سازی جهت انجام تست بارگذاری



تعیین موقعیت تراز نمودن و اتصال جوشی صفحه فولادی سوراخ دار به آرماتور مرکزی و کیسینگ

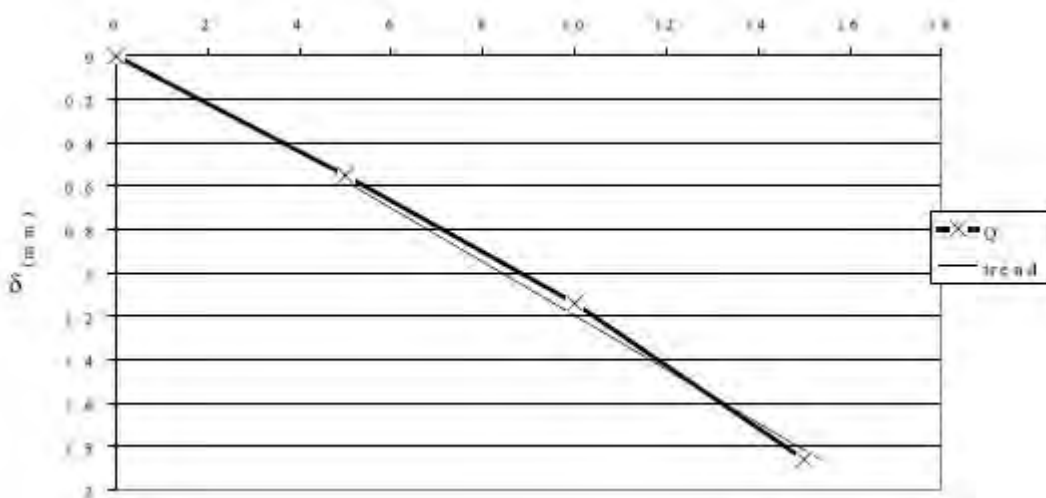
شکل ۹: تعیین موقعیت تراز نمودن و اتصال جوشی صفحه فولادی سوراخ دار به آرماتور

با انجام بارگذاری تا نیروی حدود پانزده تن شرایط مناسب، با نشست های محدود بود اما با افزایش نیرو تا مرز بیست تن با توجه به قائم نبودن میکروپایل شماره دو، جابجایی جانبی میکروپایل اشاره شده اتفاق افتاد و همچنین نشست های میکروپایل شش متری شروع به افزایش زیادی نمود به صورتی که بار بیست تن خارج از ظرفیت میکروپایل اشاره شده بود.



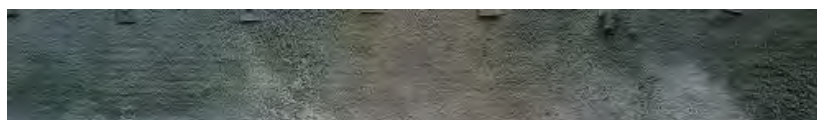


شکل ۱۰: اولین تست بارگذاری میکروپایل شش متری متصل به دو میکروپایل به عمق حدود ۱۰ الی ۱۱ متری



نمودار ۱: بار - تغییر مکان ریز شمع ۶ متری

پس از پایان بارگذاری موقعیت اولین میکروپایل شش متری، با جابجایی تیر فولادی ساخته شده از پروفیل های ناودانی به موقعیت دومین میکروپایل شش متری در فاصله بین دو شمع بتنی، آماده سازی تراز بالای میکروپایل و قرار دادن صفحه فولادی مشابه میکروپایل شش متری قبلی انجام شد. با توجه به آنکه امکان تزریق دوغاب کمی در موقعیت این میکروپایل بوجود آمده بود انتظار می رفت که شرایطی متفاوت با میکروپایل قبلی بوجود آید. همان طور که انتظار می رفت پس از اعمال نیروی پنج تنی که نتایجی نزدیک به موقعیت بارگذاری قبلی داشت، با اضافه کردن نیرو در ادامه کار، میکروپایل شروع به فرو رفتن در خاک با





زیادی نمود و لذا

سرعت

این اطمینان ایجاد شد که تزریق دوغاب در این موقعیت به درستی انجام نشده است و طبیعی است که اگر بکارگیری میکروپایل در این پروژه قطعی شود یکی از مهمترین کنترل‌ها در طی اجرای میکروپایل‌ها اطمینان یافتن از تزریق کامل و در چند مرحله ای دوغاب سیمان می‌باشد.

شکل ۱۱: آماده سازی و انجام تست بارگذاری ریز شمع ۶ متری دوم

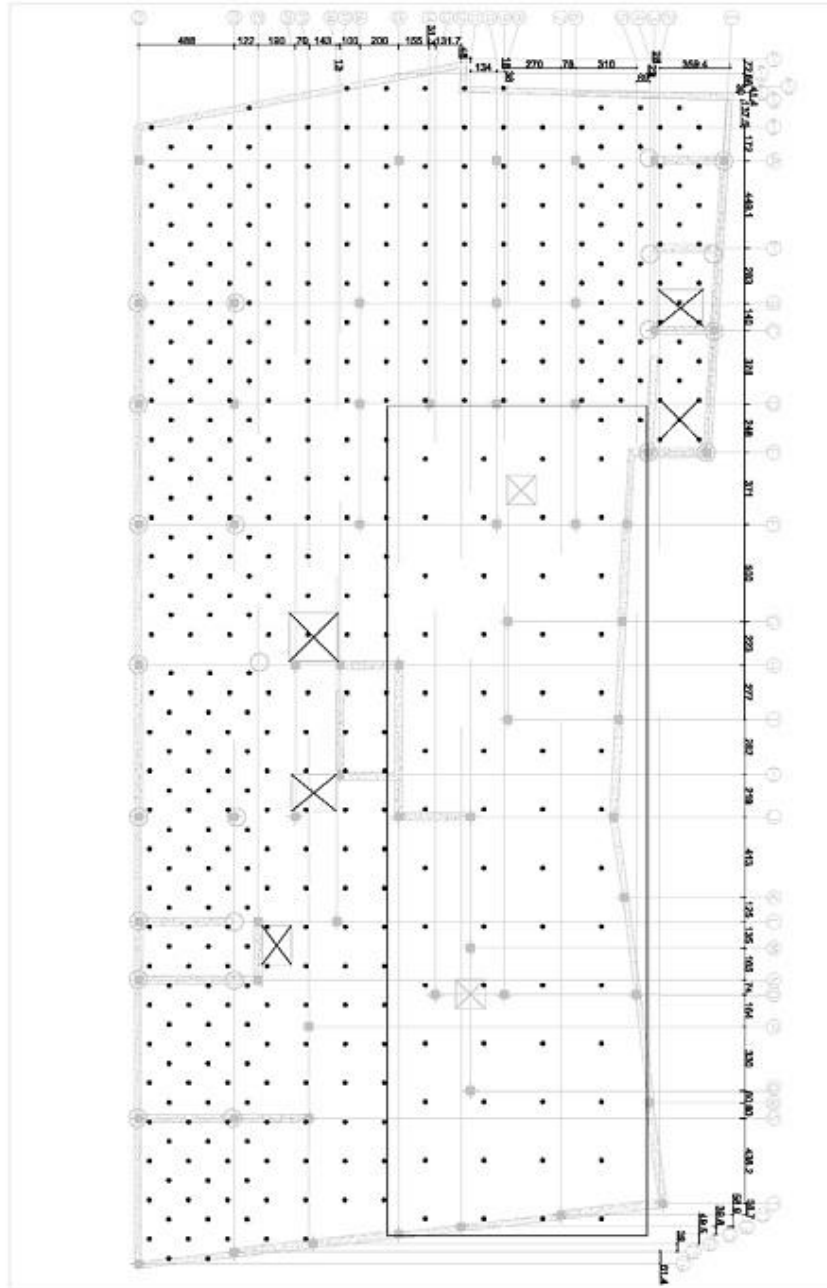
پس از تست موقعیت دوم، تست بارگذاری میکروپایل سه متری در موقعیت سوم، بین دو شمع بتنی انجام گردید. مشابه دو تست قبلی، صفحه روی کیسینگ و آرماتور قرار داده شد. با اعمال نیروی پنج تنی در طی زمان بارگذاری نشست محدودی مشاهده شد. در مرحله بعد یعنی اعمال افزایش بار تا ده تن با افزایش میزان نیرو از هفت تن، میکروپایل نشست‌هایش به میزان زیادی افزایش یافت و لذا ظرفیت نهایی این میکروپایل هفت تن بدست آمد. بعد از تست میکروپایل موقعیت سوم که اشاره شد، میکروپایل سه متری موقعیت چهارم بین میکروپایل‌های ده الی یازده متری مجاور تست موقعیت یک انجام شد. نتایج این موقعیت نزدیک به نتایج موقعیت میکروپایل مشابه در موقعیت سوم بدست آمد و لذا می‌توان ظرفیت باربری نهایی حدود هفت تن را برای میکروپایل‌های سه متری در نظر گرفت.





INTERNATIONAL CONFERENCE ON
**RESEARCH IN SCIENCE
AND TECHNOLOGY**
14 December 2015, Kuala Lumpur – Malaysia

با جمع بندی کلیه موارد فوق الذکر و با توجه به محدودیت‌های زمانی پروژه و بر مبنای آخرین جمع بندی دارای ضریب اطمینان کافی، اجرای تعدادی میکروپایل بصورت نشان داده شده در شکل انتهای گزارش پیشنهاد گردید.



شکل ۱۳: پلان پیشنهادی اجرای ریز شمع ها



بحث و نتیجه گیری

اجرای ریز شمع ها یکی از روش های نوین اصلاح بستر می باشد. در این پروژه با توجه به شرایط خاص ایجاد شده شامل شرایط تراز آب در موقعیت زیر فونداسیون و با وجود شمع های بتنی اجرا شده و بخشی از شمع های بتنی که اجرای آن ها از برنامه خارج شده است و با توجه به لزوم رفع مشکلات ناشی از فرسایش های زیر سطحی خاک و بر اساس مشخصات در نظر گرفته شده جهت فونداسیون، برای رسیدن به شرایط تنش قابل قبول در زیر فونداسیون و اطمینان از عملکرد مناسب فونداسیون و خاک در این پروژه، اجرای حدود سیصد میکروپایل با عمق حفاری حدود هشت و نیم متر و قطر ۱۲۵ میلی متر، با آرماتور مرکزی با طول حدود نه متر و قطر ۳۲ میلی متر، با کیسینگ ۱۰۱ میلی متری به طول چهار متر، به همراه تهیه و تزریق دوغاب تحت فشار مناسب، به همراه پلیت فوقانی میکروپایل شرایط قابل قبول و مناسبی را از نظر شرایط ژئوتکنیکی و طرح فونداسیون ایجاد می نماید. به منظور جلوگیری از پر شدن محل های حفاری، اجرای میکروپایل ها قبل از تزریق دوغاب با حفاری مرحله ای و با فاصله انجام شود.

به منظور اطمینان از عملکرد مناسب میکروپایل های مد نظر و همچنین در صورت لزوم بهینه نمودن گزینه بهسازی بستر در طی عملیات اجرایی، لازم می گردد که بلافاصله پس از اجرای اولین سری میکروپایل ها و تزریق آن ها، پس از گذشت زمان کافی و گیرش دوغاب، بارگذاری در محل گزینه نهایی میکروپایل ها ادامه یابد.

منابع

Federal Highway Administration (2005). Seismic Behavior of Micropiles., Report No. FHWA-WA-RD 604-1, United States Department of Transportation

Micropile Design and Construction Guidelines-FHWA., (2000), Publication No. FHWA - SA-97-70

Bowles, J. E., "Foundation Analysis and Design", Mc Grow Hill.

Wong, J. C. (2004), Seismic behavior of micropiles., M.S. Thesis. Washington State University, Pullman, WA.

Jie, Han. And Shu-Lin, ye. (2006). A field study on the behavior of a foundation underpinning by micropiles, Can. Geotech. Journal. 43, pp. 30-42.



ع، محبوبی اردکانی ا،

نظری مهر

بررسی رفتار لرزه ای ریز شمع ها ، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران ۲۱، دانشگاه شیراز تا ۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۸.

گزارش نهایی و تکمیلی مطالعات ژئوتکنیک هتل الزهراء، شرکت مهندسين مشاور طرح و آزمون پارس، تير و مرداد ۱۳۹۲.