Archive of SID

Journal of Structural and Construction Engineering, 8(1), 2021, pp. 111-130

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Management of Optimum Design and Construction on Landfills

Majid Ahmadpor*

Faculty member, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

ABSTRACT

Assessment and investigation of soil and bedrock properties is of an essence for construction of residential, commercial as well as industrial complexes. In order for the foundation system of such projects to be opted, it is necessary to assess the geotechnical characteristics of the site. In many projects where the site is located on problematic soils or non-engineered fills, if the accumulation of the soil is done with no specific consideration of controlling the fill thickness and compaction, the soil will experience some major problems regarding volumetric changes, bearing deficiencies, and internal instability. Therefore, it is crucial in such fills to employ some soil improvement and preservation measures in accordance with their materials, time and circumstance of the fill formation. In construction procedure of a complex near Tehran, due to non-engineered accumulation of debris and inappropriate compaction, it was recognized that the project was prone to unallowable differential settlement and instability, and for this reason, it was required to improve the subsoil properties by means of ground improvement techniques. Moreover, owing to the significant depth of problematic soils, the shallow improvement approaches would not suffice, and consequently, using semi-deep or deep improvement techniques were mandatory. In this paper, the geological characteristics of the site in line with assessment of the soil geotechnical properties after improvement were analyses in order to select the more appropriate improvement methods. Among different alternatives, the combination of earth works, shallow compaction, jet grouting and employing micropiles was shown to be the more optimum option from economical, technical, and feasibility perspectives, and therefore, was employed in the project.

ARTICLE INFO

Receive Date: 28 November 2018
Revise Date: 19 February 2019
Accept Date: 09 March 2019

Keywords:
Non-engineered fill
Landfills
Settlement
Soil improvement technique
Grouting
Micropile

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2019.159031.1722

*Corresponding author: Majid Ahmadpour
Email address: ahmadpour.mjd@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

مدیریت طراحی و ساخت بهینه بر روی مدفن های ضایعات ساختمانی و اجرایی

مجید احمدپو*

- عضو هیئت علمی دانشکده معماری دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

چکیده

برای احداث شهرک‌ها، مجموعه های ساختمانی و اماکن تجاری و صنعتی بررسی و مطالعات مصالح خاکی و سنگ بستر تحت عنوان مطالعات ژئوتکنیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. برای انتخاب نوع و چگونگی پی‌ها و زیرسازه این اماکن خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه باید مورد بررسی قرار گیرد. در بسیاری از فعالیت‌های عمرانی، ساختگاه پروژه در اعماق سطحی متشکل از خاک‌های مسئله‌دار دستی یا خاکریزهای غیرمهندسی می‌باشد. اگر انباشتن خاک‌های ذکر شده به‌صورت انبوهی و بدون درنظر گرفتن تمهیدات ویژه مربوط به ضخامت خاکریزی و متراکم‌سازی صورت گیرد، پس از بارگذاری ناشی از ساخت و ساز، عوارضی از قبیل تغییرات حجمی، ضعف باربری و ناپایداری داخلی را به‌دنبال خواهد داشت. در مجموع در انواع خاکریزهای غیرمهندسی متناسب با نوع ماده متشکله آن‌ها، زمان و چگونگی جاگذاری، گستره آن‌ها در پلان و پروفیل و چگونگی فعالیت‌های عمرانی برروی آن‌ها اقدامات ویژه بهسازی و محافظت ضروری می‌باشد. برای یک مجموعه ساختمانی در اطراف تهران به‌دلیل انباشت غیراصولی نخاله‌ها و در نتیجه تراکم نامناسب و طبیعت متخلخل، وقوع نشست‌های غیرعادی در اثر اعمال بارهای سازه‌ای بسیار محتمل بود، به‌همین دلیل اقدامات ویژه بهسازی و محافظتی ضروری می‌شود. همچنین با توجه به عمق قابل توجه لایه‌های خاک‌دستی، بهسازی سطحی به تنهایی کافی نبوده و می‌بایست روش‌های بهسازی نیمه عمیق و یا عمیق جهت کنترل شرایط موجود به کار گرفته می‌شد. در این مقاله رابطه خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه پروژه و ارزیابی پارامترهای ژئوتکنیکی خاک‌های دستی بهسازی شده در انتخاب نوع و روش‌های بهسازی مورد بررسی قرار گرفت. روش‌های خاک‌برداری، متراکم‌سازی سطحی، تزریق انبوهی بستر و ریزشمع به عنوان مناسب ترین گزینه از منظر اقتصادی، فنی و اجرایی انتخاب و مورد آزمایش قرار گرفتند. در مجموع با حصول اهداف بهسازی و مقاوم‌سازی شالوده و تأمین اهداف ژئوتکنیکی، اقدامات معمول پی سازی سطحی برای زیرسازه تحقق یافت.

کلمات کلیدی: مدیریت بهینه، خاکریز غیرمهندسی، مدفن ضایعات ساختمانی، عوارض ژئوتکنیکی، بهسازی بستر

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:	
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/JSCE.2019.159031.1722	doi:
۱۳۹۷/۰۶/۰۷	۱۳۹۷/۱۱/۳۰	۱۳۹۷/۱۲/۱۸	۱۳۹۷/۱۲/۱۸	۱۴۰۰/۰۱/۳۰	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2019.159031.1722	

***نویسنده مسئول:** مجید احمدپور

پست الکترونیکی: ahmadpour.mjd@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

با توجه به روند رو به رشد جمعیت بحث کاربری اراضی برای استفاده بهینه از زمین بیش از هر زمانی مشهود است. از این رو ساخت وساز مجتمع‌های بزرگ مسکونی و تجاری در شهرها و مناطق در حال توسعه ناگزیر مشمول همین رشد می‌باشند. اهمیت بالای چنین سازه‌هایی از لحاظ فنی و اقتصادی بررسی ژئوتکنیکی بسیار دقیق‌تری را از لحاظ ظرفیت باربری، نشست و پایداری می‌طلبد [۱، ۲]. پی‌ها و زیرسازی در گودبرداری‌های شهری از جمله طرح‌های عمرانی و توسعه‌ای کشور می‌باشد که برای منظورهای مختلف از جمله احداث شهرک‌ها و ساختمان‌ها و اماکن تجاری و صنعتی در راستای توسعه شهرها بکار می‌رود. برای انتخاب نوع و چگونگی پی‌ها و زیرسازی این اماکن خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه باید مورد بررسی قرار گیرد، دربسیاری از فعالیت‌های عمرانی، خاک‌های حاصل از حفاری، خاک‌های برداشت شده از منابع قرضه، ضایعات ساختمانی، روباره و پس‌ماندهای صنعتی و معدنی و زباله‌های شهری در مکان‌هایی انباشته می‌شوند که در پاره‌ای از موارد به آنها خاک‌دستی نیز اطلاق می‌شود که در بسیاری از موارد کیفیت مطلوبی ندارند و شاید نامناسب یا ضعیف تلقی شوند اما به دلیل حجم بسیار زیاد و هزینه‌های سنگین مرتبط بر تعویض آن‌ها مهندس طراح باید قادر باشد از همان مصالح به عنوان پی یا ماده اولیه برای ساخت پروژه مورد نظر استفاده کند. اگر انباشتن این مصالح به صورت انبوهی و بدون درنظر گرفتن تمهیدات ویژه مربوط به ضخامت خاکریزی و متراکم‌سازی صورت گیرد، پس از بارگذاری عوارضی از قبیل تغییرات حجمی و ضعف باربری و ناپایداری داخلی را به دنبال دارد.

خاکریزی‌های غیرمهندسی به مرور زمان تحت وزن خود نشست می‌کنند که مقدار این نشست خزشی رابطه مستقیم با ضخامت خاکریز و با عوامل دیگری از جمله نوع مصالح خاکریزی، سن، تاریخچه تنش‌های وارده بر خاکریز و سرازیر شدن آب و مشکلات دیگر نیز ارتباط دارد [۳، ۴، ۵]. علاوه بر نشست فوق نشست تحت بارهای پی و نشست تحت بارهای ارتعاشی زلزله نیز در خاکریزی‌های غیرمهندسی قابل ملاحظه خواهد بود که در این شرایط نشست‌های موجود در زیر پی بیش از مقادیر مجاز خواهد بود و نشست بیش از حد موجب می‌شود که در دراز مدت عواقب مخاطرات سرویس‌پذیری اعم از ایجاد ترک‌های غیر سازه‌ای در ناسازه‌ها از جمله دیوارها، نما و...، آسیب رساندن به لوله‌کشی‌ها، لوازم و تجهیزات تاسیساتی و بالاخره ایجاد حس ناامنی در ساکنین ساختمان خواهد نمود. برای بهبود شرایط فوق و کاهش معضلات نشست‌پذیری نخاله‌های انباشته شده لازم است بستر فونداسیون با درنظر گرفتن جنبه‌های فنی، اجرایی و اقتصادی و عوامل تاثیرگذار مثل محدودیت‌های سایت، زمان‌بندی ساخت پروژه، دسترسی به تکنولوژی و پیمانکاران مجرب به روشی مناسب بهسازی شود.

در این مقاله به ارزیابی پارامترهای ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی خاک‌های دستی ناشی از انباشت زباله در پروژه میدان شهید صیاد شیرازی شهریار پرداخته شده است. سپس با توجه به شرایط موجود روش‌های مختلف بهسازی از منظر هزینه و اجرا مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته و گزینه برتر معرفی شده است. با توجه به گزینه برتر اقدامات انجام شده در ساختگاه تشریح و در انتها با مقایسه مشخصات خاک ساختگاه قبل و پس از بهسازی، کفایت روش منتخب بررسی شده است.

۲- خاک‌های مسئله‌دار دستی، خاکریزهای غیرمهندسی

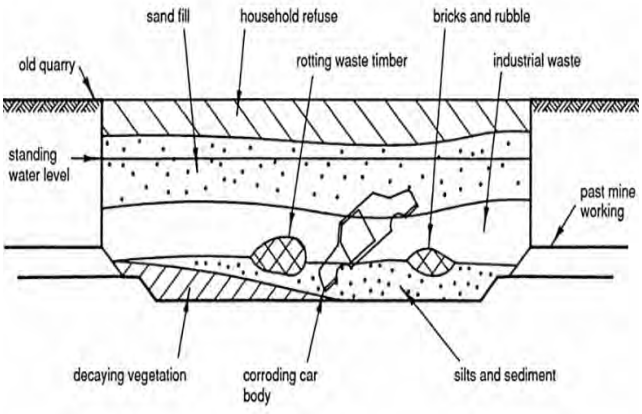
در مورد خاک‌های حاصل از حفاری و حمل شده از منابع قرضه و همچنین روباره‌های معدنی می‌توان با در نظر گرفتن یک سری نکات مانند دانه‌بندی مصالح و نوع مصالح و چگونگی خاکریزی کردن و متراکم‌سازی مخاطرات حاصل از این نوع خاک‌های دستی را به حداقل ممکن رساند، ولی در رابطه با نخاله‌های ساختمانی و زباله‌های شهری اینگونه نیست. به طور کلی تمامی زائده‌های حاصل از عملیات ساختمانی، خاک‌برداری، حفاری‌ها، تخریب ساختمان‌های قدیمی و یا تعمیرات که شامل مواردی نظیر خاک، گچ، موزاییک، آجر، کاشی، سرامیک، قیر، آسفالت، بتن و غیره می‌باشد نخاله نامیده می‌شود که این مصالح در هنگام اعمال بار رفتاری غیر قابل پیش‌بینی از خود بروز می‌دهند که از آن جمله نشست‌های ناگهانی و غیر قابل محاسبه و هم چنین تغییرات حجمی بسیار زیاد در حالت غیرمهندسی مدفون کردن‌شان پیش می‌آید [۶، ۷]. این مصالح بخاطر یکنواخت نبودن جنس و تفاوت در مقاومت‌های مختلف مصالح‌شان به شدت

www.SID.ir

Archive of SID

تغییرپذیر هستند به طوری که در آن‌ها موادی چون پلاستیک، چوب و گچ در کنار موادی چون آهن و آلومینیوم وجود دارد و این امر سبب مقاومت‌های مختلف می‌شود [۸، ۹]. همچنین در پاره‌ای از اوقات وجود قطعات بزرگ در این خاک‌ها سبب می‌شود که در هنگام تخلیه مصالح در محل در زیر این قطعات حفرات بزرگ ایجاد شود که خود این حفرات با گذشت زمان و آمدن سربار بیشتر بر روی مصالح سبب نشست‌های بزرگی می‌گردند [۱۰]. خاک‌های دستی که به صورت غیرمهندسی دفن شده‌اند و هیچ عملیاتی برای لایه‌ریزی فنی و اصلاح مصالح انجام نشده باشد معمولا دارای شیب ۳۰-۴۰ درجه می‌باشند که این شیب نشانگر تخلیه سقوط آزاد مصالح از کامیون و وضعیت انباشت ردیفی مصالح است [۱۱].

خاک‌های مسئله دار دستی براساس طبیعت مصالح، توزیع دانه‌بندی، عمق و نحوه اجرا به سطوح مختلفی تقسیم می‌گردند. این طبقه بندی‌ها می تواند بر اساس این موارد باشد: (۱) طبیعت مصالح تشکیل دهند (خاک های طبیعی یا شامل مصالحی از قبیل ضایعات صنعتی، ساختمانی، شیمیائی و بهداشتی)، (۲) توزیع دانه‌بندی مصالح (درشت‌دانه و ریزدانه)، (۳) وضعیت قرارگیری مصالح (شل یا متراکم)، (۴) عمق (کمتر از ۳ متر کم عمق، بیشتر از ۱۰ متر عمیق و مقدار بین این دو متوسط)، (۵) نحوه اجرا (متراکم شده مهندسی و غیرمهندسی متراکم نشده) [۱۲]. نمونه‌ای از مقطع یک خاکریز کنترل نشده در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: نمونه‌ای از مقطع یک خاکریز کنترل نشده.

به طور کلی دو مشکل اساسی ناشی از ساخت و ساز روی خاکریز شامل تامین مقاومت برشی و وقوع نشست اضافی می‌باشد. از منظر مقاومت برشی، خاکریزها معمولاً در شرایط شلی قرار داشته و زاویه اصطکاکی در حدود زاویه اصطکاک در حجم ثابت دارند. در صورت قرار گرفتن پارامتر زاویه اصطکاک در حدود ۲۰ تا ۳۰ درجه برای خاکریز رسی، ۳۲ تا ۳۷ درجه برای خاکریز ماسه‌ای و ۳۵ تا ۴۲ برای خاکریز سنگی، ظرفیت باربری برای اکثر بارهای معمول فونداسیون‌های سطحی عامل مسئله سازی نخواهد بود [۱۳].

همچنین در خصوص نشست، نشست‌های محتمل در خاکریزها در اثر اضافه بار (وزن خود خاکریز و یا وزن سازه روی خاکریز)، حرکت آب یا غرقاب شدن (نرم شدگی در اثر مرطوب شدن) و بارهای دینامیکی می‌باشد. در خاکریزها به طور کلی چهار نوع نشست وجود دارد:

- نشست تحت وزن خود خاکریز
- نشست خزشی در خاکریزهای مختلف
- نشست تحت بارهای دینامیکی
- نشست در اثر مرطوب شدن

تاریخچه تنش‌های وارد بر خاکریز در طول عمر خاکریز مثل ساخت و سازهای قبلی بر خاکریز، نوسانات تراز آب زیرزمینی و تغییر تراز خاکریز نیز از جمله پارامترهای موثر بر میزان نشست خاکریزها می‌باشد. نکته قابل توجه این است گرچه ممکن است تحت شرایط استاتیکی ظرفیت باربری محدودی برای این نوع خاکریزی‌ها همچنان که در بعضی مراجع برای ساخت و سازهای سبک و کم

www.SID.ir

Archive of SID

اهمیت پیشنهاد شده را در نظر گرفت ولی بدلیل رفتار نامشخص خاکریزی‌های غیرمهندسی، امکان مدل‌سازی و وارد نمودن جنبه‌های مختلف در ارزیابی‌های نشست و ظرفیت باربری تحت بارهای استاتیکی و زلزله موجود نمی‌باشد.

از مخاطرات دیگر ساخت و ساز برروی خاکریزی‌های غیرفنی می‌توان به پتانسیل فروریزش پی‌های واقع بر این خاکریزها به دلیل تراکم پایین اشاره نمود که این فرآیند با افزایش رطوبت و اشباع شدن بستر فونداسیون و وقوع نرم شدگی کرنشی در خاک تشدید می‌شود [۱۰].

در پروژه‌هایی که خاک‌دستی به صورت غیراصولی بکار رفته است سعی بر آن می‌شود این مصالح خاک‌برداری و جای‌گذاری شود و پی و فونداسیون بنا بر روی خاک بکر قرار گیرد که این امر مستلزم هزینه زیاد است و اگر این خاک‌های دستی حجم زیادی را دربربگیرند، حمل و جایگذاری مقرون به صرفه نیست و باید برای تثبیت بستر و تحکیم این خاک‌های دستی از روش‌های بهسازی استفاده کرد.

۳- مورد عملی: معرفی ساختگاه و پروژه

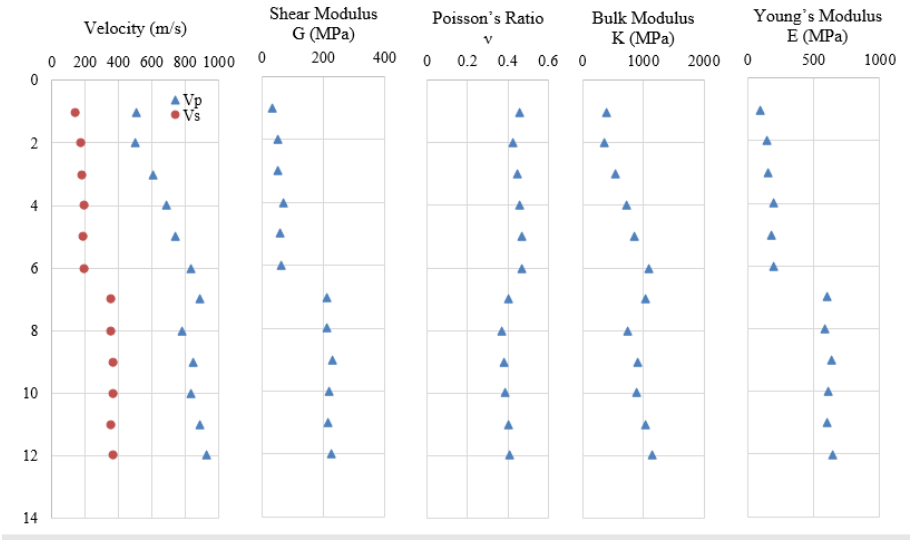
پروژه مورد نظر در استان تهران، شهریار، میدان شهید صیاد شیرازی با مختصات تقریبی 35°40`44``N, 51°02`02``E واقع شده است. مساحت تقریبی زمین حدود ۶۴۰۰۰ مترمربع بوده و سازه‌هایی با تعداد ۷ طبقه به صورت مجتمع‌های مسکونی قرار است در این سایت اجرا گردد. موقعیت ماهواره‌ای پروژه در شکل ۲ نشان داده شده است. براساس نقشه‌های معماری تهیه شده برای سایت تعدادی بلوک ساختمانی که براساس نقشه‌های طرح معماری، سطح اشغال ساختمان‌های احداثی تجاری و مسکونی حدود ۲۲۳۰۰ متر مربع می‌باشد. ساختمان‌های احداثی شامل دو مجموعه بلوک‌های تجاری A و B و مجموعه بلوک‌های مسکونی M1 و M2 و M3 می‌باشد. در مجموع براساس نقشه‌های معماری در ساختگاه مجتمع سطح اشغال ساختمان‌های ۷ طبقه ۱۱۸۸۵ مترمربع، سطح اشغال ساختمان‌های ۶ طبقه ۴۸۰۰ مترمربع و سطح اشغال ساختمان‌های ۲ طبقه ۵۶۰۰ مترمربع می‌باشد.

شکل ۲: موقعیت ماهواره‌ای پروژه مجتمع مسکونی شهریار(google earth)

بر اساس مطالعات صورت گرفته پروفیل طولی ژئوتکنیکی از کل سایت جهت تشخیص ضخامت لایه‌های خاک‌دستی ترسیم شده است. با توجه به بررسی‌ها حداکثر عمق خاک دستی در برخی مناطق در حدود ۲۰ متر قابل مشاهده بوده که طرح بهسازی و روش‌های موجود را تحت تاثیر قرار می‌دهد. براساس اطلاعات حاصل از مطالعات ژئوتکنیک صورت گرفته، مقادیر پارامترها و مشخصات خاک به صورت شکل ۳ است. همچنین مقادیر ضایعات و نخاله های موجود در خاک براساس جدول ۱ می باشد. همچنین درصد ضایعات در شکل ۴ نشان داده شده است.

www.SID.ir

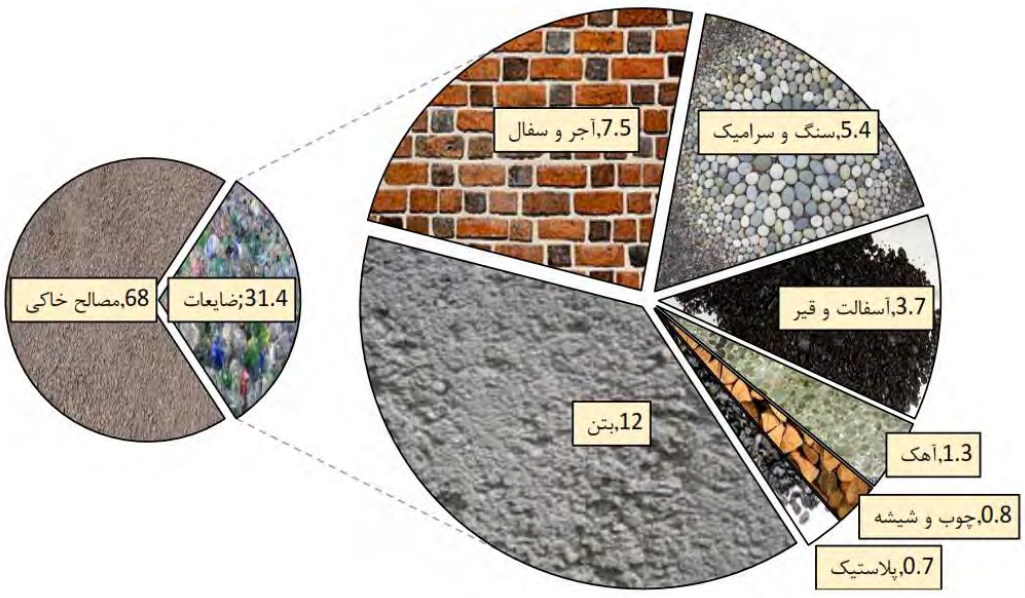
Archive of SID



شکل ۳: پارامترهای ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی ساختگاه

جدول ۱: تفکیک درصد محدوده و متوسط درصد مقادیر مصالح معمول سایت

	ملات و بتن	انواع پلاستیک	آسفالت و قیر	آجر و سفال	آهک	سنگ و سرامیک	چوب و شیشه	مصالح خاکی
درصد محدوده مصالح	۷/۱-۱۶/۸	۰/۲-۱/۱	۰/۶-۶/۸	۰/۷-۱۴/۳	۰/۹-۱/۶	۲/۲-۸/۷	۰/۲-۱/۳	۵۹-۷۷
متوسط درصد محدوده	۱۲	۰/۷	۳/۷	۷/۵	۱/۳	۵/۴	۰/۸	۶۸



شکل ۴: درصد و انواع ضایعات موجود در بستر [۱۴]

مسئله وجود لایه‌های خاک‌دستی با ضخامت قابل توجه در بخش قابل ملاحظه‌ای از سایت، به عنوان موضوع مهم و تاثیرگذار بوده و وجود لایه‌های خاک‌دستی سبب وقوع نشست‌های نامتقارن و غیرمجاز به سبب بارهای وارده از سازه‌های مورد احداث خواهد شد. به دلیل انباشت غیراصولی نخاله‌ها و در نتیجه تراکم نامناسب، وقوع نشست‌های غیرعادی در اثر اعمال بارهای سازه‌ای و یا تغییر رطوبت و نفوذ آب‌های آزاد به درون آن‌ها بسیار محتمل است. در مجموع با توجه به نوع مصالح خاک‌دستی، گستره آن‌ها در پلان و پروفیل و میزان

www.SID.ir

Archive of SID

بارهای اعمالی از سازه‌های مورد احداث، اقدامات ویژه بهسازی و محافظت ضروری می‌باشد. همچنین با توجه به عمق قابل توجه لایه‌های خاک‌دستی و نخاله‌ها، بهسازی سطحی به تنهایی کفایت لازم را نداشته و بایستی از سیستم‌های بهسازی نیمه عمیق و یا عمیق جهت کنترل شرایط موجود بکار گرفته شود. شکل ۵ نمونه‌ای از ترانشه های حفاری شده و وضعیت لایه های خاک را نشان می دهد.

شکل ۵: عملیات حفاری ترانشه‌ها و وضعیت لایه‌های خاک موجود [۱۵]

۴- ارزیابی گزینه‌های بهسازی بستر

نتایج آزمایشات بارگذاری نشان می‌دهد که با شروع اشباع شدن بستر فونداسیون نشست‌های قابل ملاحظه‌ای در مصالح بستر به وقوع می‌پیوندد و با افزایش درجه اشباع و افزایش بارها میزان نشست روند صعودی می‌گیرد که این نشست‌ها در مقایسه با نشست‌های حالت رطوبت طبیعی روند خیلی زیادتری دارد و در محدوده تنش‌های معمول ۰/۵ تا ۱/۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع مقادیر نشست در حالت اشباع بین ۲/۵ تا ۵ برابر حالت رطوبت طبیعی می‌باشد. این افزایش نشست را می‌توان به عواملی از جمله تغییر آرایش ذرات در اثر فشارهای آب در حالت اشباع شدن و شستشوی ذرات و انتقال آن به داخل حفرات، افزایش لغزندگی سطح ذرات به هنگام تماس با آب (پدیده گریسی شدن) و کاهش مقاومت اصطکاکی و از بین رفتن باندهای کاذب بین ذرات، نرم‌شدگی بعضی از ذرات موجود در مصالح از جمله گچ وخاک رس، ناپایداری داخلی در اثر فرآیند غرقابی و سربار (collapse) و کاهش سختی در اثر پدیده مرطوب شدن مرتبط دانست. مضافاً اینکه رسوبات موجود از نوع جوان بوده و سیمانتاسیون در آن مشهود نیست. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که ملاحظات نشست بر ظرفیت باربری حاکم می‌باشد و برای پی‌های معمول اعم از نواری یا گسترده سطحی میزان نشست‌ها باتوجه به مشخصات سازه‌های احداثی و بارهای وارده بیش از مقادیر مجاز می‌باشد و لازم است سیستم‌های فوق در تلفیق با سیستم مناسب بهسازی بستر بکار گرفته شوند.

تحلیل‌های نشست با استفاده از پارامترهای نشست‌پذیری تعیین شده از نتایج بارگذاری صفحه، نشان می‌دهد که با توجه به مشخصات ساختمان‌های احداثی تا ۷ طبقه اعم از گستره و بارهای حاصل از آن و ضخامت قابل ملاحظه مصالح انباشته شده، نشست موجود در پی‌ها تحت بار موجود ساختمان به مراتب بیش از مقادیر مجاز خواهد بود که مخاطرات آسیب‌رسانی به سازه و تاسیسات و ایجاد ترک در دیوارها و کاهش احساس امنیت برای ساکنین را در پی خواهد داشت. در مجموع نشست‌های موجود مصالح تحت تاثیر وزن خاکریزی، بار فونداسیون و بارهای دینامیکی حاصل از زلزله یا ارتعاشات، بخصوص در شرایط آبگرفتگی و اشباع بیش از مقادیر مجاز می‌باشد و لازم است طراحی سیستم فونداسیون با بهسازی بستر فونداسیون توام باشد. برای بهبود شرایط و کاهش مخاطرات نشست پی تحت بارهای استاتیکی و لرزه‌ای زلزله لازمست به یکی از روش‌های متداول بهینه موجود بهسازی با در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف اقتصادی، اجرایی، زمانی، امکان‌پذیری و محدودیت‌های موجود انجام شود که علاوه بر ایجاد باند بین ذرات، استفاده از عناصر سخت‌تر و مسلح‌کننده و افزایش سختی در عمق مجموعه یکپارچه‌ای حاصل شده که ضمن دست‌یابی به اهداف نشست و جابجایی‌های مجاز به لحاظ معیارهای مقاومتی و باربری نیز پاسخگوی ساختمان‌های مورد نظر طراحی خواهد بود.

www.SID.ir

Archive of SID

برداشت و متراکم‌سازی: استفاده از این روش در مقایسه با دیگر روش‌های کاربردی بایستی مورد بررسی قرارگیرد. ضخامت لایه خاک‌دستی در گمانه‌های اکتشافی حداقل ۴ متر و حداکثر ۲۰ متر بوده و به دلیل حجم بالای خاکریزی‌های انجام شده، برداشت و جایگزینی کل آن متحمل هزینه‌های بسیار بالایی است که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. البته تسطیح و خاکبرداری در اعماق سطحی با در نظر گرفتن عمق تاثیر تنش زیر پی می‌تواند در دستور کار قرار گیرد. لازم به ذکر است بکارگیری هر یک از روش‌های بهسازی جهت بهبود شرایط ژئوتکنیکی بستر همراه با ایجاد لایه‌های متراکم در بستر فونداسیون (بلانکت‌های بستر) جهت کنترل نشست و افزایش باربری می‌باشد.

روش ویبره‌ای: در این پروژه خاک‌های زیرسطحی شامل لایه‌های خاک‌دستی و خاک طبیعی شن و ماسه با اعداد نفوذ استاندارد بالا می‌باشد. از جمله مصالح موجود در لایه‌های خاک دستی قطعات بتنی با ابعاد قابل توجه، آسفالت و دیگر مصالح سنگین بوده که کاربرد این روش و استفاده از دستگاه ویبره را با مشکلاتی همراه می‌کند لذا بکارگیری این روش توصیه نمی‌گردد. همچنین این روش از لحاظ زمان اجرا نیز می‌تواند مناسب نباشد.

ستون سنگی: با توجه به جنس لایه‌های خاک‌دستی، وجود خاکریزها با عمق قابل ملاحظه که سبب افزایش طول این ستون‌ها و طبعاً افزایش زمان اجرا و هزینه‌ها می‌گردد، مشخصات ژئوتکنیکی محل و ریزشی بودن جداره چاه‌ها کاربرد این سیستم با مشکلات اجرایی رو به رو می‌باشد.

تزریق: در این پروژه بکارگیری سیستم تزریق مواد جهت یکپارچه کردن و کاهش فضای خالی مابین ذرات خاک و نخاله‌های موجود به عنوان گزینه مناسبی می‌تواند بکار برده شود. با توجه به اینکه کلیه سیستم‌های مورد بررسی از جنبه‌های مختلف فنی، اقتصادی، اجرایی و زمان اجرا مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، لذا این روش با توجه به مثبت بودن از لحاظ فنی بایستی از جنبه‌های اقتصادی و زمان نیز با دیگر روش‌ها مقایسه گردد که در پایان به آن پرداخته می‌شود.

شمع درجا: در پروژه مورد بررسی می‌توان با اجرای شمع‌های درجا، عبور از لایه‌های خاک‌دستی و رسیدن به لایه‌های خاک با باربری مناسب، بارهای روسازه را به بستر مناسب منتقل کرد. به دلیل ضخامت قابل توجه خاک‌دستی امکان اجرای شمع‌های بلند مقدور بوده که به دلیل وسعت ساخت و ساز، اجرای تعداد بالای شمع‌های درجا مباحث اقتصادی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین حفاری چاه‌های جهت اجرای شمع‌ها نیز به دلیل نوع مصالح خاک‌دستی می‌تواند با دشواری‌هایی از جمله ریزش جداره همراه باشد. لازم به ذکر است به دلیل جنس مصالح موجود، وقوع پدیده اصطکاک منفی شمع‌ها نیز می‌تواند به عنوان یکی از نقاط منفی بکارگیری این روش مطرح گردد. عملکرد شمع‌ها در شرایط لرزه‌ای به همراه نخاله‌ها و کف طبیعی آسیب رسان است.

شمع‌های کوبیدنی: در این سیستم خطرات صدمه دیدن شمع‌ها در حین اجرا وجود داشته و به علت واقع شدن پروژه در محیط شهری، مقاومت نسبتاً بالای خاک در مقابله با نفوذ شمع و اینکه سر و صدای حاصل از شمع‌کوبی مشکلات زیست محیطی را به دنبال دارد، امکان استفاده از این سیستم وجود ندارد. ضمن این‌که شمع‌کوبی ممکن است موجب صدمه به سازه‌های مجاور گردد.

انفجار: معضل پیش رو در بکارگیری این روش مباحث زیست‌محیطی و آلودگی‌های صوتی و ضربه‌های ناشی از این روش بر روی سازه‌های اطراف با توجه به واقع شدن سایت در محیط شهری می‌باشد. علاوه بر آن تراکم خاک‌های‌دستی به شکل نخاله‌های ساختمانی با این روش مشخص نبوده و قابل اجرا نمی‌باشد.

تراکم عمیق دینامیکی: سرعت بالا، هزینه‌های مقرون به صرفه و ایجاد تغییرشکل‌های قابل توجه به واسطه کوبش و در نتیجه تراکم مناسب لایه‌های خاک‌دستی از جمله مزیت‌های بکارگیری از این روش می‌باشد. در این پروژه وجود قطعات بزرگ، موانعی که مانع تراکم مناسب لایه‌های بستر می‌گردند و همچنین بروز تنش‌های اجتماعی در محل به واسطه معضلات زیست محیطی و ایجاد سروصدا کاربرد این روش را با دشواری‌هایی روبرو می‌نماید. با توجه به عمق قابل ملاحظه لایه‌های خاکریز عملیات کوبش بایستی در چند فاز و یا به کمک وزنه‌های فوق‌العاده سنگین کوبیده شود که عملاً با توجه به موقعیت و مشخصات پروژه اجرایی نیست.

www.SID.ir

Archive of SID

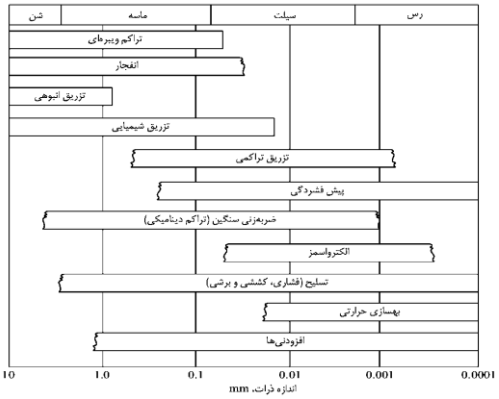
تزریق با فشار: کاربرد این روش با توجه به نیاز به حفاری چاه جهت تزریق و توجه به ریزشی بودن جداره خاک بستر می‌تواند با مشکلاتی رو به رو باشد. همچنین نیاز به دستگاه‌ها و نیروهای متخصص، هزینه‌های اجرای این روش را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

ریزشمع‌ها: به طورکلی از کاربردهای ریزشمع می‌توان به مواردی همچون، مقابله بانیروی بالابرنده و نیروی ناشی از زلزله و باد، جلوگیری از لرزش اشاره نمود. استفاده از سیستم اجرای ریزشمع‌ها به دلیل عملکرد دوگانه تزریق بستر و همچنین تسلیح خاک می‌تواند مثمر فایده واقع گردد. با توجه به اتصال مناسب ریزشمع‌ها با فونداسیون سازه‌های مورد احداث انتقال بار روسازه به خوبی و همچنین به دلیل تزریق بستر فونداسیون کنترل نشست‌های نامتقارن به درستی قابل انجام است. از معضلات مربوط به این روش عدم امکان رسیدن به فشار نهایی در تزریق، خورده شدن سیمان به مرور زمان به دلیل وجود سولفات در خاک، فواصل بسیار نزدیک ریزشمع‌ها به دلیل پوک بودن خاک می‌توان اشاره نمود.

۵- مقایسه سیستم‌های بهسازی و انتخاب متدهای برتر

در این بخش روش‌های قابل اجرای بهسازی در پروژه مذکور مورد ارزیابی و بررسی قرار می‌گیرد. به ندرت می‌توان از روشی نام برد که در تمامی خاک‌ها موثر واقع شود. برای انتخاب مناسب‌ترین روش بهسازی، باید فاکتورهای مهمی را درنظر گرفت از قبیل: (۱) اهمیت پروژه، (۲) هدف از بهسازی، (۳) گسترهٔ ساخت وساز در ارتفاع، پلان و یا در عمق، (۴) نوع خاک، مشخصات اولیه وتنوع آن در سایت، (۵) وسعت منطقهٔ موردنظر تثبیت در پلان و پروفیل، (۶) در دسترس بودن مصالح، تجهیزات و نیروهای متخصص مورد نیاز، (۷) فاکتورهای زیست محیطی، دفع فاضلاب، فرسایش، آلودگی آب، تأثیر روش بهسازی بر سازه‌ها و تأسیسات مجاور، (۸) تجارب و سلایق محلی، (۹) زمان در اختیار جهت بهسازی، (۱۰) اقتصاد پروژه و هزینه‌های انجام شده برای بهسازی.

با در نظر داشتن عوامل مذکور و تجارب حاصل از پروژه‌های مشابه میتوان ایده کلی در مورد مناسب بودن روش‌های مختلف برای تثبیت و بهسازی درخاک‌های مختلف را ارائه نمود. محدوده کاربرد روش‌های مختلف به صورت شکل ۶ است. لازم به ذکر است با توجه به تحقیقات محلی انجام گرفته به دلیل رطوبت اندک خاک، تمام خاک مانند خاک دانه‌ای عمل می‌کند.



شکل ۶: محدوده کاربرد روش‌های مختلف بهسازی در خاک‌های مختلف [۱۶]

در ادامه با توجه به اهداف تعیین شده از بهسازی (تقلیل جابه‌جایی و نشست‌های آنی و بهسازی خاک‌ها جهت جلوگیری از ناپایداری‌های داخلی) و با توجه به جنس مصالح خاکریز، گزینه های مختلف بهسازی از منظر معیارهای فنی، اجرایی و اقتصادی مورد مقایسه قرار گرفته تا گزینه‌های منتخب بهسازی بیان شوند.

از منظر اقتصادی نیز هزینه‌های اجرای پروژه شامل دو گروه اصلی به نام‌های هزینه‌های مستقیم وهزینه‌های غیرمستقیم است. از مجموع این هزینه‌ها هزینه‌های کل اتمام پروژه بدست می‌آید:

www.SID.ir

Archive of SID

هزینه‌های مستقیم: هزینه‌های مربوط به کلیه منابعی است که مستقیماً برای انجام فعالیت به کار می‌روند. به عبارت دیگر هزینه‌هایی است که مستقیماً صرف کاهش زمان پروژه می‌شود و مقدار آن با کاهش زمان اتمام پروژه افزایش می‌یابد.مجموع هزینه‌های مربوط به تمامی نیروی انسانی، ماشین آلات و تجهیزات و مواد و مصالحی‌که مستقیماً برای انجام فعالیت مورد نیاز هستند، هزینه‌های مستقیم آن فعالیت محسوب می‌گردند.

هزینه‌های غیرمستقیم: این هزینه‌ها مستقیماً در انجام یک فعالیت صرف نمی‌شوند و معمولاً به کل پروژه یا بخشی از پروژه (تعدادی از فعالیت‌ها) مربوط می‌گردند. هزینه‌های غیرمستقیم باید بین فعالیت‌های مربوط به آنها تسهیم (سرشکن) شوند. این هزینه‌ها با افزایش زمان اتمام پروژه، افزایش می‌یابند. برای نمونه، هزینه‌های مربوط به اخذ مجوزهای قانونی لازم برای آغاز فعالیت اجرای پروژه ساخت یک برج مسکونی و همین‌طور هزینه‌های، بیمه، اجاره محل، جریمه دیر کرد، هزینه بخش اداری، بخش برنامه‌ریزی، بخش فنی، بخش مالی (ودیگر هزینه‌های ستادی).

علاوه بر فاکتورهای یاد شده، روش مورد نظر بایستی از نظر فنی نیز مناسب باشد. در ادامه بصورت موردی و کلی روش‌های منتخب بهسازی بر اساس مباحث اقتصادی و اجرا مقایسه می‌گردند. با توجه به مطالب ذکر شده و در نظر گرفتن معیارهای مهندسی از میان روش‌های مورد مطالعه هفت روش به عنوان گزینه‌های برتر بهسازی انتخاب گردیده و در ادامه بر اساس ابعاد فنی، اجرایی، زمان و اقتصادی با یکدیگر مقایسه شده اند.

- **برداشت و متراکم‌سازی:** برای خاک‌های نرم و یا شل که روی لایه‌ای با باربری مناسب در اعماق سطحی قراردارند و ضخامت آن‌ها کمتر از حدود ۵ متر است ممکن است اقتصادی‌ترین راه حل بهسازی متناسب با نوع پروژه برداشت و جایگزینی آن‌ها با مصالح مناسب قرضه و یا با همان خاک اولیه پس از عمل‌آوری باشد. گاهی ضخامت خاک‌دستی و نشست پذیر در یک پروژه بسیار بیشتر از ۵ متر می‌باشد و روش برداشت و جایگزینی و یا روش تراکم سطحی به تنهایی نمی‌تواند تمامی ملاحظات نشست پذیری و مقاومت را تامین نماید و نمی‌توانند به عنوان گزینه بهینه فنی و اقتصادی انتخاب شود. از این روش در مواردی که بار روسازه سبک و یا وسعت ساخت‌وساز در پلان محدود می‌باشد به عنوان گزینه بهینه اجرایی و اقتصادی استفاده می‌گردد.
- **ستون‌های سنگی:** با توجه به جنس لایه‌های خاک‌دستی، وجود خاکریزها با عمق قابل ملاحظه که سبب افزایش طول این ستون‌ها و طبعاً افزایش زمان اجرا و هزینه‌های می‌گردد، مشخصات ژئوتکنیکی محل و ریزشی بودن جداره چاه‌های کاربرد این سیستم با مشکلات اجرایی روبه‌رو می‌باشد. همچنین فاکتورهایی از قبیل نیروی انسانی، هزینه و دسترسی به مصالح، آب‌وهوا، جنبه زیست محیطی در هزینه اجرای ستون‌های سنگی مؤثر هستند. به هزینه هر متر طول ستون سنگی بایستی هزینه حمل و نقل، تست‌های آزمایشگاهی و صحرایی و تست‌های اعتبارسنجی نیز اضافه گردد. هزینه اجرای روش ستون سنگی شامل هزینه حمل و نقل (که به تعداد دستگاه‌های حفاری و جرثقیل‌ها و همچنین فاصله حمل و نقل بستگی دارد) و هزینه ایجاد ستون سنگی است. جایی‌که مصالح دسترس نیست، افزایش هزینه حمل و نقل می‌تواند هزینه‌های چشمگیری را به پروژه تحمیل کند.
- **تزریق:** این روش پرهزینه است و تنها در حالت‌های خاص، مانند تثبیت بستر سازه‌های بزرگ که روش‌های دیگر بهسازی امکان پذیر نیستند، انجام می‌شود. برای انجام یک تخمین اولیه برای روش تزریق نفوذی حجم ماسه‌ای که اضافه می‌شود در یک ضریب 30 درصدی برای تعیین حجم گروت ضرب می‌گردد. محدوده تغییر هزینه‌ها زیاد است و بسته به شرایط هر پروژه هزینه به طور چشم‌گیری تغییر می‌کند،که این هزینه‌ها با مقدار خورند دوغاب بستر هم رابطه مستقیم دارد و با افزایش خلل و فرج بستر و زیاد شدن میزان خورند هزینه تزریق افزایش چشمگیری پیدا می‌کند.
- **ریزشمع‌ها:** هزینه ریزشمع تابع فاکتورهای زیادی است، از جمله دسترسی فیزیکی به شرایط زیست محیطی، و نیروی انسانی، شرایط زیرسطحی، حمل‌ونقل، محل پروژه، تعداد ریزشمع، ظرفیت، طول و شیب. به دلیل این فاکتورهای متنوع هزینه ریزشمع در پروژه‌های مختلف متغیر است. برای تخمین دقیق‌تر بایستی فاکتورهای هزینه شامل لوله‌کوبی یا حفاری، مقدار لوله و حجم سیمان مصرفی و همچنین تجهیزات تزریق مورد بررسی دقیق تر قرار گیرند.

www.SID.ir

Archive of SID

- **شمع‌های درجا:** به دلیل ضخامت قابل توجه خاک‌دستی امکان اجرای شمع‌های بلند مقدور بوده که به دلیل وسعت ساخت‌وساز، اجرای تعداد بالای شمع‌های درجا مباحث اقتصادی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. شاخص‌های زیادی مثل طول، قطر، آرماتور و نوع بتن مصرفی در قیمت تمام شده مؤثر هستند. هزینه‌ها همچنین با توجه به موقعیت جغرافیایی، وسعت پروژه و نوع تجهیزات در محل، تغییر می‌کند.

انتخاب روش‌های بهینه بهسازی با در نظر گرفتن تمامی عوامل تاثیرگذار در پروژه آن‌طور که پیش از این اشاره گردید، انجام گردید و خلاصه مقایسه های انجام شده در جدول های ۲ تا ۵ نشان داده شده است.

جدول ۲: مقایسه روش‌های بهسازی بر اساس معیار فنی

روش‌های بهسازی	معیار فنی		
	بسیار خوب	خوب	متوسط
تراکم عمیق دینامیکی			
شمع‌های درجا			
ستون‌های سنگی با قالب جدار			
ریزشمع‌ها			
تزریق انبوهی			
برداشت+شمع‌های کوچک			
پایه‌های شنی کوبشی			

جدول ۳: مقایسه روش‌های بهسازی بر اساس معیار اجرایی

روش‌های بهسازی	معیار اجرایی		
	بسیار خوب	خوب	متوسط
تراکم عمیق دینامیکی			
شمع‌های درجا			
ستون‌های سنگی با قالب جدار			
ریزشمع‌ها			
تزریق انبوهی			
برداشت+شمع‌های کوچک			
پایه‌های شنی کوبشی			

جدول ۴: مقایسه روش‌های بهسازی بر اساس معیار زمان اجرا

روش‌های بهسازی	زمان اجرا		
	کم	متوسط	زیاد
تراکم عمیق دینامیکی			
شمع‌های درجا			
ستون‌های سنگی با قالب جدار			
ریزشمع‌ها			
تزریق انبوهی			
برداشت+شمع‌های کوچک			
پایه‌های شنی کوبشی			

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵: مقایسه روش‌های بهسازی بر اساس معیار اقتصادی

روش‌های بهسازی	هزینه اجرا		
	کم	متوسط	زیاد
تراکم عمیق دینامیکی			
شمع‌های درجا			
ستون‌های سنگی با قالب جدار			
ریزشمع‌ها			
تزریق انبوهی			
برداشت+شمع‌های کوچک			
پایه‌های شنی کوبشی			

۶- عملیات اجرایی بهسازی

اقدامات بهسازی با اهداف اصلی متراکم سازی فرآیند فیزیکی و شیمیائی به کمک مواد افزودنی و اختلاط با خاک، مسلح‌سازی خارجی و داخلی و عملیات خاکی همراه می‌باشد. با توجه به عمق قابل توجه لایه‌های خاک‌دستی و نخاله‌ها، بهسازی سطحی به تنهایی کفایت لازم را نداشته و بایستی از سیستم‌های بهسازی نیمه عمیق جهت کنترل شرایط موجود بکار گرفته شود.

با توجه به شناخت لایه‌های زیرسطحی و مشخصات پروژه، پانزده روش مختلف بهسازی با هدف اصلاح عملکرد خاک مورد بررسی قرار گرفت. در نتیجه با در نظر گرفتن فاکتورهای مهم و تاثیرگذار، نوع خاک، وسعت منطقه، تجهیزات و نیروهای متخصص مورد نیاز، فاکتورهای زیست محیطی، زمان در اختیار جهت بهسازی، استراتژی‌های اجرایی و فنی و اقتصاد پروژه چهار روش به عنوان گزینه‌های برتر انتخاب گردیدند. در تمامی روش‌های بهسازی منتخب، هدف اصلی انتقال بار به لایه‌های باربر زیرسطحی بوده و عمده روش‌های فوق در زیر فونداسیون توسط یک سیستم بلانکت مسلح یا نیمه مسلح جهت افزایش باربری، کنترل نشست‌ها و همچنین توزیع مناسب بار به لایه‌های زیرسطحی تقویت می‌گردند.

با توجه به معیارهای فنی، اجرایی، اقتصادی و زمان پروژه، روش بهسازی تلفیقی در چندین مرحله و متشکل از چند روش بهسازی سطحی و عمیق به صورت زیر پیشنهاد گردید.

۱) برداشت خاک (سبک‌سازی)

۲) متراکم سازی سطحی (لایه‌ریزی خاک، آرماتور بندی، بتن مگر)

۳) تزریق انبوهی بستر

۴) تزریق و مسلح سازی (ریزشمع)- اجرای المان‌های ریز شمع در زیر ستون‌های با بار زیاد

۶-۱- برداشت خاک (سبک سازی)

در مرحله اول که شامل سبک‌سازی و برداشت خاک تا رسیدن به رقوم مورد نظر در طرح‌های فنی بهسازی و معماری است سطح ناحیه بهسازی در حدود ۳۲۵۰۰ مترمربع و خاکبرداری تا عمق متوسط ۳ متر می‌باشد. هزینه‌های اجرای سبک‌سازی و برداشت خاک با توجه به ارزش افزوده یک طبقه زیرزمین با کاربری پارکینگ برای ساختمان‌های اداری و تجاری قابل جبران است. لازم به ذکر است با در نظر گرفتن فونداسیون نواری مرکب به همراه بهسازی بستر به جای کاربرد فونداسیون گسترده در مرحله نهایی حدود ۵۰ درصد از هزینه‌های اجرای فونداسیون تقلیل می‌یابد که مجموعاً تاثیر بهینه‌ای در به حداقل رساندن هزینه‌های برداشت خاک طبیعی پروژه دارد. برای رسیدن به تراکم متوسط مقدار ۳ متر در بلوک‌ها گودبرداری انجام گرفت که این بدان علت است که وزن خاک سربار باعث شده است

www.SID.ir

Archive of SID

خاک زیرین به تراکم در دراز مدت برسد و عمل خزش که اعمال نیروی ثابت در دراز مدت عامل آن است انجام گیرد. حجم کل گودبرداری انجام شده در قسمت مسکونی پروژه برابر با ۹۹,۵۳۰ متر مکعب است. که مساحتی در حدود ۳۲۵۰۰ متر مربع را در برمی‌گیرد.

برداشت این حجم از خاک به سبک شدن حجم سربار روی بستر کمک می‌کنیم، که این سبک شدن می‌تواند اگر دانسیته خشک خاک‌های‌دستی حمل شده چیزی حدود ۱,۵ باشد معادل حدودا ۷۰ درصد وزن ساختمانی باشد که قرار است بر روی بستر بنا شود، یعنی ما یک پیش بارگذاری را که از قبل روی بستر قرار داشته است کم کرده‌ایم و با اینکار بستر قبل از هر اقدام دیگر ظرفیت تحمل حدودا ۷۰ درصد وزن ساختمان را از قبل تجربه کرده است.

تمامی عملیات خاکبرداری در پروژه مطابق با خطوط و تراز نقشه‌های اجرایی و دستگاه نظارت انجام پذیرفت و مصالح خاکبرداری شده در بلوک‌های مسکونی به دلیل نامناسب بودن از محل کارگاه خارج گردید و با نظر دستگاه نظارت در محل‌های مناسب تخلیه و به فرم مورد قبول پخش و رگلاژ گردید.

۶-۲- متراکم‌سازی سطحی با غلتک (خاکریزی و تسطیح لایه)

در پروژه رویال شهریار برای ایجاد متراکم‌سازی سطحی پس از گودبرداری و رساندن ارتفاع به مقدار مورد نظر بستر پروژه با گریدر تسطیح گردید. سپس با عبور چند باره غلتک تراکم بیشتری نسبت به تراکم اولیه در بستر ایجاد شد، بدین منظور برای رسیدن به تراکم مطلوب رطوبت و ایجاد آبپاشی بر روی بستر انجام گردید، بستر ساختگاه پروژه قبل از تراکم یافتن دارای تراکم اولیه ۸۰ تا ۸۵ درصد بود که پس از کوبیده شدن این تراکم به ۹۰ تا ۹۵ درصد رسید، برای ایجاد خاکریزهای روی بستر از مصالح مناسب رودخانه‌ای موجود در ضلع غربی پروژه که حاصل از گودبرداری مجتمع تجاری که بر روی خاک بکر قرار داشت استفاده گردید، استفاده از این مصالح با تایید دستگاه نظارت صورت گرفت. در هر بلوک ۲ لایه ۱۵ سانتیمتری با تراکم بیشتر از ۹۵ درصد از این مخلوط ایجاد شد، مراحل خاکریزی ابتدا با دپو مصالح توسط کامیون شروع می‌شود که هر کامیون حدود ۷ تا ۸ متر مکعب مصالح را حمل می‌کند و سپس تسطیح و رگلاژ بوسیله گریدر انجام گرفت. پس از آن که لایه کاملا هم سطح گردید، بوسیله غلتک و آبپاش به تراکم مطلوب می‌رسیم. برای رسیدن به بیشترین تراکم مطلوب از عبور چند باره غلتک و آبکوب کردن لایه استفاده شد (شکل ۷ تا ۹). تراکم خاک طبیعی محل و سپس اجرای لایه‌های مخلوط رودخانه‌ای به ضخامت حدود ۳۰ سانتی‌متر و انجام عملیات تراکم سطحی (در دو مرحله قبل و بعد از اجرای لایه ۳۰ سانتی‌متری) تا میزان حدود ۹۰ درصد می‌باشد. با احتساب سطح ناحیه بهسازی به میزان ۳۲۵۰۰ مترمربع و ضخامت حدود ۳۰ سانتی متری مصالح رودخانه‌ای، حجم کل خاکریزی و تراکم به مقدار ۹۷۵۰ مترمکعب برآورد می‌گردد.

شکل ۷: خاک‌برداری در محل سایت، بلوک ۲ و ۳

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۸: دپو مصالح و رگلاژمصالح -بلوک ۲

شکل ۹: شبکه آرماتور جهت بتن مگر- بلوک ۳ و عملیات بتن ریزی بر روی خاکریزها- بلوک ۱

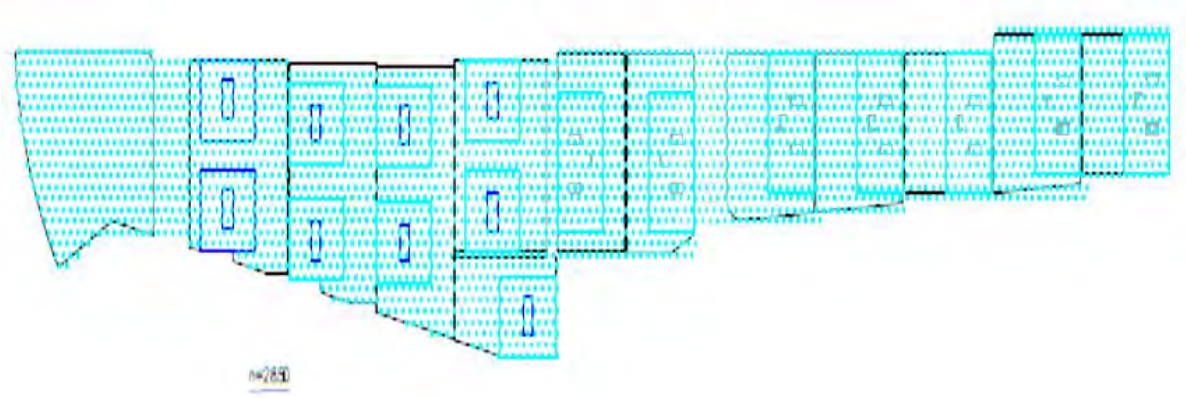
در مرحله بعد در روی این خاکریزها شبکه آرماتورهایی با سایز میلگردهای ۸ میلیمتری ایجاد کرده که این شبکه بیشتر برای مقاومت کششی بتن ایجاد گردید، چشمه‌های این شبکه ۲۰*۲۰ بوده و پس از آرماتوربندی شروع به ریختن بتن مگر با مقاومت ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع انجام گرفت. این سیستم بتن مگر و شبکه آرماتور داخلی آن بیشتر برای مقاومت در برابر فشار دوغاب در تزریق ریز شمع‌ها بکار می‌رود. پس از این‌که بتن مگر بر روی خاکریزها ریخته شد بلوک آماده حفاری جهت تزریق انبوهی و پس از آن کوبش و تزریق میکروپایل می‌گردد.

۶-۳- تزریق انبوهی

در این پروژه بکارگیری سیستم تزریق مواد جهت یکپارچه کردن و کاهش فضای خالی مابین ذرات خاک و نخاله‌های موجود به عنوان یکی از گزینه‌های مناسب استفاده گردید. در پروژه رویال شهریار تزریق انبوهی در کل سایت بر روی مصالح کوبیده شده بستر انجام شده و عملیات تراکم بستر نقش موثری در تزریق مناسب لایه‌های زیرسطحی و عدم بازگشت دوغاب‌های مصالح تزریقی به سطح زمین خواهد داشت. در این مرحله حدود ۲۹۰۰ مورد تزریق انبوهی در کل سایت جهت بهسازی بستر و به فواصل حدود ۳ متری از یکدیگر اجرا می‌گردد. (شکل ۱۰) عمق متوسط تزریق حدود ۶ متر می‌باشد. تعداد و فواصل اجرای چاهک‌ها با پیشرفت عملیات، میزان خورند مصالح بستر و همچنین کیفیت سطوح بهسازی لایه‌های زیرسطحی بر اساس نتایج آزمایش‌های کنترلی بهینه و نهایی می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰: موقعیت تزریق انبوهی در بستر فونداسیون [۱۷]

به منظور پر کردن فضاهای خالی و تثبیت بستر بوسیله تزریق انبوهی بستر ابتدا توسط دستگاه‌های دریل‌واگن گمانه‌هایی به عمق ۶ تا ۱۲ متر حفر گردید که ترتیب قرارگیری این گمانه‌ها به صورت شبکه‌ای و در ابعاد ۳*۳ (شکل ۱۱) است که کل مساحت زیر هر بلوک را پوشش می‌دهد. در بالای هر گمانه برای گذاشتن و قرار دادن پکر سر چاهی لوله PVC قرار داده می‌شود، سپس فرآیند تزریق انبوهی شروع می‌شود که بدین منظور از دو ست تزریق مجزا با ظرفیت ۸۰۰ کیلوگرم استفاده شد. دوغاب تزریق شده در گمانه‌ها با WCR[1] (نسبت آب به سیمان) ۰,۵ است که ۲۰۰ لیتر آب به همراه ۴۰۰ کیلوگرم سیمان درون ست تزریق با هم میکس شده و سپس از طریق پمپ تزریق به سمت گمانه‌ها پمپاژ می‌شود. به منظور تزریق در گمانه‌ها از پکر سر چاهی استفاده گردید و در هرگمانه به طور متوسط ۲ یا ۳ میکسر دوغاب استفاده شد، عمل تزریق انبوهی در هر گمانه تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که فشار دوغاب به پکر سر چاهی اعمال شود. شکل ۱۲ عملیات تزریق و نمونه یک گمانه تزریق شده را نشان می دهد.

شکل ۱۱: الف) شبکه ۳*۳ تزریق انبوهی-بلوک ۲، ب) لوله PVC جهت سرچاهی، ج) ست تزریق دوغاب

شکل ۱۲: تزریق دوغاب به گمانه های انبوهی و یک گمانه تزریق شده- بلوک ۲

[1] Water cement ratio

www.SID.ir

Archive of SID

۶-۴- تزریق و مسلح‌سازی (ریزشمع)

برای بهبود شرایط بستر و تثبیت بستر از میکروپایل به همراه تزریق دوغاب سیمان استفاده شده است. اجرای المان‌های عمیق شامل ریزشمع یا شمع درجا در زیر ستون‌های با بار زیاد و اطراف دیوارهای برشی سازه جهت کنترل تنش‌های وارده از روسازه و جلوگیری از نشست‌های نامتقارن سیستم فونداسیون می‌باشد. در نتیجه با توجه به موقعیت پی‌ها و ستون‌ها، نحوه توزیع و مقدار بارهای گسترده و متمرکز، پارامترهای مقاومتی و ظرفیت باربری خاک، نفوذپذیری خاک، عمق ریزشمع‌ها و مشخصات هندسی و سازه‌ای پی سازه برای بلوک‌های تجاری و مسکونی، تعداد ۲۳۰۰ مورد ریزشمع به عمق حدود ۱۱ متر با عملکرد تزریق و تسلیح در نظر گرفته شده است. روش اجرای ریزشمع مشتمل بر چهار مرحله حفاری (در صورت نیاز)، لوله‌کوبی، تزریق و تقویت می‌باشد. در بخش‌های ریزشی، حفاری به روش حفاری و تزریق مجدد تا رسیدن به عمق مورد نظر انجام گرفت.

به منظور استقرار لوله‌های ریزشمع در محل گمانه، غالبا از عملیات لوله‌کوبی استفاده می‌گردد. عملیات کوبش تا زمانی که امکان کوبیدن لوله‌ها میسر باشد ادامه می‌یابد و اگر در ازای ۳۰ ضربه متوالی لوله‌کوب، لوله بیشتر از ۱۰ سانتی‌متر فرو نرود، عملیات کوبش لوله ریزشمع متوقف می‌گردد. در این حالت تا رسیدن به عمق طراحی، حفاری انجام شده و سپس لوله‌های مربوط به ریزشمع در درون گمانه نصب می‌گردد.

عملیات بهسازی بستر توسط ریزشمع‌ها با اجرای چندین ریزشمع آزمایشی، حفاری، لوله‌کوبی و تزریق انجام گرفت. بعد از پر شدن گمانه و تکمیل شدن فرآیند تزریق انکری به طول ۶ متر در درون میکروپایل قرار گرفته و سر آن بوسیله رزوه‌های از قبل تعبیه شده به صفحه‌ای که بالای آن قرار می‌گیرد (فلنج) متصل شد، وظیفه این انکر متصل کردن صفحه بالا که قرار است درون آرماتورهای پی ساختمان قرار گیرد و سیستم کلی میکروپایل که شامل لوله فولادی و دوغاب تزریق شده است. شکل ۱۳ نمونه‌ای از میکروپایل های اجرا شده به همراه تجهیزات مورد استفاده جهت لوله کوبی را نشان می دهد.

(ب) (الف)

(د) (ج)

شکل ۱۳: الف) میکروپایل‌های کوبیده شده، ب) دستگاه لوله کوب استفاده شده در پروژه، ج) تزریق در میکروپایل‌های آزمایشی، د) نمونه یک میکروپایل آماده

www.SID.ir

Archive of SID

بعد از اتمام کلیه مراحل بهسازی و تثبیت بستر حال نوبت به اجرای فونداسیون نواری مرکب (پی‌نواری + ریزشمع) بر روی سطح بهسازی شده می‌باشد. اجرای نوارهای متعامد به عرض حدود ۱ الی ۱/۵ متری به عنوان جایگزین برای فونداسیون‌های رادیه، نقش موثری در کاهش هزینه‌های پی‌سازی در پروژه داشته و ضمن فراهم نمودن توان باربری مورد نظر، امکان پل‌زدگی بر روی مناطق نرم و یا فضاهای خالی موضعی را میسر سازد.

۷- جمع بندی و نتایج حاصله پس از عملیات بهسازی

برای بهسازی و تحکیم بستر در پروژه رویال شهریار در مجموع چهار مورد عملیات بهسازی شامل خاک‌برداری، متراکم‌سازی، تزریق انبوهی بستر و ریزشمع انجام گرفت. درمرحله اول عملیات خاک‌برداری با مجموع سطح بهسازی ۲۹۸۶۷ مترمربع انجام گرفت که با احتساب ۳/۳ متر خاک‌برداری از کف حجم خاک‌برداری انجام شده ۹۹۵۳۰ مترمکعب بوده است. در مرحله دوم بهسازی عملیات خاک‌ریزی و متراکم‌سازی با مجموع سطح بهسازی ۳۲۵۰۰ مترمربع و با لایه‌هایی که دارای ضخامت ۳۰ سانتی‌متر است انجام گردید که حجم کل خاک‌ریزی انجام شده ۹۷۵۰ مترمکعب می‌گردد. تزریق انبوهی بستر با تعداد ۲۹۰۰ گمانه مرحله سوم بهسازی پروژه بوده است که وزن کل دوغاب تزریق شده در بستر با توجه به این‌که در هر گمانه ۱۲۰۰ کیلوگرم دوغاب تزریق شد است ۳۴۸۰ تن است. مرحله چهارم که شامل ریزشمع‌ها است با کوبش و نصب ۲۳۰۰ مورد ریزشمع به پایان انجامید که عمق متوسط هر ریزشمع برابر با ۱۱ متر بوده است.

براساس نتایج آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی انجام گرفته قبل و پس از عملیات بهسازی، مشخصات فیزیکی بستر به ترتیب در محدوده مقادیر جدول ۶ و ۷ می‌باشد که نشان‌دهنده افزایش مقاومت بستر بعد از عملیات بهسازی می‌باشد. همچنین به منظور نشان دادن کفایت بهسازی انجام شده نمونه‌ای از نتایج آزمایش بارگذاری صفحه قبل و پس از بهسازی در شکل ۱۴ نشان داده شده است که نشانگر بهبود مشخصات خاک ساختگاه است.

جدول ۶: مشخصات فیزیکی مصالح محل قبل از بهسازی

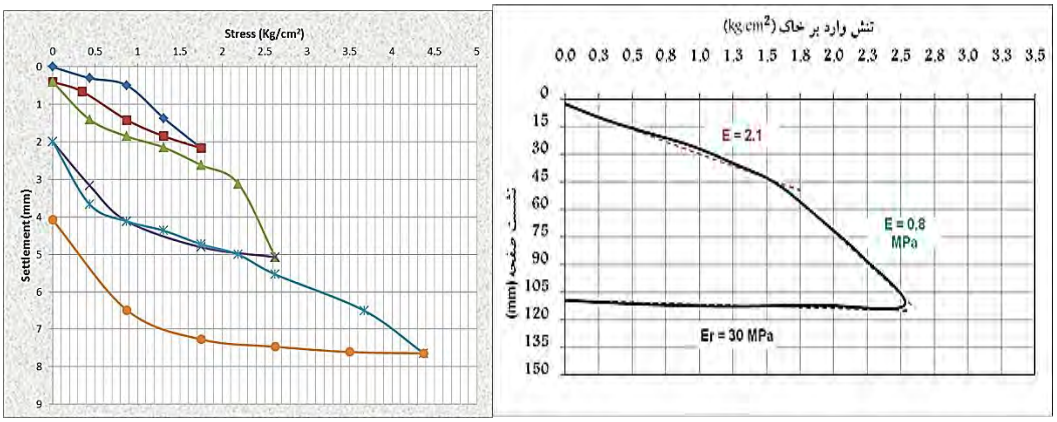
ویـــــژگـــی	مقـــــدار	واحد
دانسیته طبیعی	۱/۵۵- ۱/۷	Ton/m^3
مدول الاستیسیته نخاله‌ها در حالت طبیعی	۳۵-۲۰۰	kg/cm^2
مدول الاستیسیته نخاله‌ها در حالت اشباع	۱۰-۱۰۰	kg/cm^2
ضریب پواسون	۰/۴-۰/۳۵	
درصد رطوبت مصالح	۲ – ۹	-
درصد تراکم مصالح خاکریزی	۷۰-۸۰	٪
چسبندگی	۰/۰۴-۰/۱	kg/cm^2
زاویه اصطکاک	۲۷-۳۰	deg

جدول ۷: مشخصات فیزیکی مصالح محل بعد از بهسازی

ویـــــژگـــی	مقـــــدار	واحد
دانسیته طبیعی(بستر)	۱/۸- ۱/۹	Ton/m^3
دانسیته خاک در خاک‌ریزها	۲/۱۹-۲/۱	Ton/m^3
مدول الاستیسیته نخاله‌ها در حالت طبیعی	۳۵۰-۳۰۰	kg/cm^2
درصد تراکم مصالح خاکریزی(بستر)	۹۰-۹۵	٪
در صد تراکم در خاکریزها	۱۰۰-۹۵	٪
چسبندگی	۰/۱۱-۰/۲	kg/cm^2
زاویه اصطکاک	۳۳-۳۸	deg

www.SID.ir

Archive of SID



(ب) (الف)

شکل ۱۴: نمونه نتایج آزمایش بارگذاری صفحه الف) قبل از بهسازی، ب) پس از بهسازی

با توجه به نیازهای هر پروژه آزمایش‌هایی برای آن پیش بینی می‌شود که با تکیه بر اطلاعات بدست آمده از این آزمایشات طراحی مناسب و امنی برای ساختگاه این‌گونه پروژه‌ها صورت گیرد. از میان آزمایش‌های انجام شده در پروژه آزمایش‌های دانسیته در محل جهت تعیین تراکم مناسب لایه‌های خاکریز و رساندن به درصد تراکم بالای ۹۵ درصد صورت گرفت که در مجموع ۳۷۹ آزمایش دانسیته در محل بر روی بستر قبل و بعد کوبش و دو لایه خاکریز انجام گرفت، شرایط لایه‌های خاک بستر نسبت به قبل از بهسازی تغییرات زیادی کرده است به طوری که دانسیته خشک بستر سایت قبل از گودبرداری ۱/۷-۱/۵۵ و تراکم آن ۸۰-۷۰ بوده است و پس از خاک‌برداری و سبک سازی این دانسیته به حدود ۱/۷۳-۱/۵۶ رسید که این افزایش تقریبی تراکم به‌علت وزن سربار خاکی بوده که از روی بستر برداشته شده است بستر پروژه بعد از کوبش توسط عبور چندباره غلتک به دانسیته خشک ۱/۹- ۱/۸۲ رسید که با توجه به اینکه دانسیته خشک آزمایشگاهی ما بین ۱/۹۸-۲/۰۲ است بنابراین بستر ما تراکمی در حدود ۹۰-۹۵ درصد پیدا کرد که نشان‌دهنده بالا رفتن γ در بستر سایت است. با انجام آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) جهت ارزیابی تراکم نسبی مصالح لایه‌های بستر، مقادیر ۳۵-۴۲ ضربه برای نفوذ ۳۰ سانتی‌متر بدست آمد که نشان‌دهنده این است که مصالح بستر در رده مصالح متراکم قرار گرفته است این مصالح قبل از بهسازی دارای تراکم کم تا متوسط بوده‌اند. از بستر بعد از بهسازی به منظور دستیابی به چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی مصالح بستر ۴ نمونه آزمایش برش مستقیم تند انجام گرفت که طی آن مقادیر ۰/۲-۰/۱۱ برای چسبندگی مصالح و مقادیر ۳۸-۳۳ درجه برای زاویه اصطکاک داخلی مصالح بدست آمد که با مقایسه این مقادیر با مقادیر قبل از بهسازی شاهد بهبود چشمگیری در افزایش چسبندگی و همچنین زاویه اصطکاک داخلی در مصالح بستر هستیم. با نگاهی به شرایط فیزیکی بستر بعد از بهسازی شاهد این هستیم که بستر پروژه از شرایط فیزیکی مطلوبی برخوردار است. به منظور تعیین ضریب ارتجاعی و دستیابی به خصوصیات نشست‌پذیری لایه‌های خاک در پروژه، آزمایش بارگذاری صفحه با قطرهای ۱۵ و ۴۰ سانتیمتر در بخش‌های مختلف انجام شد. عمق استقرار صفحه در لایه‌های سطحی و همچنین اعماق پایین‌تر از سطح زمین می‌باشد. برای تأمین عکس العمل مورد نیاز از وزن کامیون با مصالح در کارگاه استفاده شد. بارگذاری در چند مرحله بصورت پلکانی افزایش یافته و قرائت نشست‌ها و ثبت رکوردها بوسیله ۳ عدد گیج با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر در فواصل زمانی انجام شد. پس از تکمیل قرائت نشست‌ها در پایان مراحل بارگذاری، عملیات باربرداری انجام شد و قرائت تغییر شکل‌ها در هر مرحله در فواصل زمانی مشخص انجام گردید و نشست حاصل در محدوده مجاز قرار گرفته است. در آزمایش‌های کششی و فشارشی میکروپایل نتایج آزمایشات نشان می‌دهد در آزمایش‌های فشاری بر روی ریزشمع‌ها تحت بار اعمالی جابه‌جایی‌های کمتر از حد مجاز برای ظرفیت باربری ریزشمع‌های طراحی شده را در برداشته است. گسیختگی آرماتورهای مسلح کننده و خرابی‌های سازه‌ای در آزمایش‌های انجام شده مشاهده نگردیده و همچنین میزان خزش در بار ثابت بر روی میکروپایل‌های مورد آزمایش به میزان کمتر از مقادیر مجاز است. میکروپایل‌های اجرا شده از لحاظ اجرا و عملکرد بر اساس نتایج آزمایش‌ها رفتار قابل قبولی نشان داده و کفایت سازه‌ای و ژئوتکنیکی در برابر بار وارده از روسازه را دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

در مجموع با احتساب تایید کیفیت تزریق، میزان خورند و فشار مناسب دوغاب در ریزشمع‌ها و همچنین میزان بالای سیمان مصرفی، عملیات بهسازی بستر با عملکرد تزریق، افزایش باربری، کنترل برکنش و مقابله با وقوع معضلات موضعی در لایه‌های خاک بستر مورد تایید قرار گرفت.

۸- نتیجه گیری

در پروژه رویال شهریار به‌دلیل انباشت غیراصولی نخاله‌ها و در نتیجه تراکم نامناسب و با توجه به مشخصات ساختمان‌های احداثی تا ۷ طبقه و بارهای حاصل از آن و ضخامت قابل ملاحظه مصالح انباشته شده، در مجموع نشست‌های موجود مصالح تحت تاثیر وزن خاکریزی، بار فونداسیون وبارهای دینامیکی حاصل از زلزله یا ارتعاشات، بخصوص در شرایط آبگرفتگی و اشباع بیش از مقادیر مجاز بود و لازم گردید طراحی سیستم فونداسیون با بهسازی بستر فونداسیون توام باشد. همچنین با توجه به عمق قابل توجه لایه‌های خاک دستی و نخاله‌ها، بهسازی سطحی به تنهایی کفایت لازم را نداشته و بایستی از سیستم‌های بهسازی نیمه عمیق و یا عمیق جهت کنترل شرایط موجود بکار گرفته می‌شد.

برای بهبود شرایط و کاهش مخاطرات نشست پی تحت بارهای استاتیکی و لرزه‌ای زلزله روش‌های متداول بهینه موجود بهسازی با در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف اقتصادی، اجرایی، زمانی، امکانپذیری و محدودیت‌های موجود مورد بررسی قرار گرفت که علاوه بر ایجاد باند بین ذرات، استفاده از عناصر سخت‌تر و مسلح کننده و افزایش سختی در عمق مجموعه یکپارچه‌ای حاصل شده که ضمن دستیابی به اهداف نشست و جابجایی‌های مجاز به لحاظ معیارهای مقاومتی و باربری نیز پاسخگوی ساختمان‌های مورد نظر طراحی باشد. در نتیجه با در نظر گرفتن فاکتورهای نوع خاک، وسعت منطقه، تجهیزات و نیروهای متخصص مورد نیاز، فاکتورهای زیست محیطی، زمان در اختیار جهت بهسازی، استراتژی‌های اجرایی و فنی و اقتصاد پروژه چهار روش به عنوان گزینه‌های برتر بهسازی انتخاب گردید. در نهایت موارد زیر در خصوص ارزیابی های صورت گرفته قابل اشاره است:

۱-خاک‌های دستی از جمله خاک‌های مسئله‌داری هستند که در برخورد با آن‌ها باید تمامی ملاحظات لازم را بکار برد،خاک‌های دستی شامل منابع قرضه، روباره معدنی، پسماند کارخانه‌ها، زباله‌های شهری و نخاله‌ها ساختمانی هستند که درصورتی که به صورت مهندسی خاکریزی نشده باشند دارای نشست‌های نامتقارن زیادی خواهند بود.

۲- پروژه رویال شهریار بر روی خاک‌های دستی قرار گرفته که جنس آن‌ها از نخاله‌های ساختمانی است ؛ پس رفتاری غیر قابل پیش بینی از آن انتظار می‌رفت. این خاک‌ها دارای تراکم متوسط تا شل بوده است و جنس خاک‌ها به صورت دانه‌ای بوده و به همین دلایل انتظار گسیختگی موضعی در آن بود. ۶۸٪ مصالح موجود مصالح خاکی و مابقی مصالح متشکله نخاله است.

۳- بدلیل حجم بالای خاک‌های دستی باید از چند روش بهسازی سطحی، عمیق و نیمه عمیق استفاده می‌شد که در مجموع برداشت و متراکم سازی، تزریق انبوهی و ریزشمع به عنوان روش‌های برتر انتخاب گردید.

۴- برای بهبود وضعیت ساختگاه از روش‌های بهسازی برداشت خاک، متراکم سازی سطحی، تزریق انبوهی بستر و همچنین ریز شمع‌ها استفاده گردید. که خاکبرداری جهت سبک‌سازی متراکم سازی جهت ایجاد سطحی دارای تراکم مطلوب و بالاتر از تراکم اولیه بستر؛ تزریق انبوهی بستر برای یکپارچه کردن خاک‌های دستی و پرکردن حفرات و جلوگیری از نشست‌های زیاد انجام گرفت. و ریزشمع‌ها سبب افزایش و بهبود مشخصات مقاومتی خاک می شود و همچنین نقش تامین باربری ستون‌های روی پی و انتقال بار به لایه های عمیق‌تر بستر که دارای مقاومت بیشتری هستند را دارا می‌باشد.

۵- در رابطه با بهبود پارامترهای ژئوتکنیکی برداشت خاک و تراکم سطحی سبب افزایش تراکم ساختگاه گردید و دانسیته خشک خاک را بالا برده، و تزریق به دو روش انبوهی و ریز شمع باعث پرشدن حفرات و چسبندگی بین مصالح بستر گردید و بدین صورت چسبنگی و زاویه اصطکاک داخلی بالاتر گردید و با این پارامترها ظرفیت باربری خاک افزایش یافت و از نشست نامتقارن بستر جلوگیری شد و همچنین مدول عکس‌العمل بستر در قبال اعمال بار افزایش یافت و بستر آمادگی تحمل بار حاصل از سازه‌ی بالایی را پیدا کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

۶- تغییرات بعد از بهسازی نشان می‌دهد که بر اساس رابطه پایه ظرفیت باربری،ظرفیت باربری ما از $\frac{ton}{m^2}$ 11.9 به $\frac{ton}{m^2}$ 49 افزایش یافته است، همچنین مقدار نشست در بستر پروژه به تقریبا $\frac{1}{3}$ کاهش پیدا کرده است و از 6 cm به 1.8 cm رسیده است.

مراجع

[1] Morris, Derek V., and Calvin E. Woods. (1990) "Settlement and engineering considerations in landfill and final cover design." In Geotechnics of waste fills—Theory and practice. ASTM International.

[2] Eslami, A., Ahmadnezhad, M., Eslami Kenarsari, A., Rezazadeh, S., (2014) Experimental Study on Stiffness Properties of Non- Engineered Clay and Granular Fills, Arabian journal of geosciences (AJSE).

[3] Hudson. 2005. Ground Improvement – Case Histories. Elsevier Geo-Engineering Books Series Volume 3.

[4] Jarvis, S. T. (2011). Earthworks to reclaim UK quarry for housing development. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering, 164(2), 79-87.

[5] Watts, K. S., & Charles, J. A. (2015). Building on fill: geotechnical aspects. IHS BRE Press.

[6] Charles, J. A. (2008). The engineering behaviour of fill materials: the use, misuse and disuse of case histories. Géotechnique, 58(7), 541-570.

[7] Goodger, H. K., & Leach, B. A. (1990). Building on derelict land. Construction Industry Research and Iinformation Association, London.

[8] Skinner, H. (1998), Construction on fill. In: Jefferson I, Murray EJ, Faraghar E and Fleming PR (eds), Problematic soil: Proceedings of the symposium held at the Nottingham, Thomas Telford Ltd, London, pp 127-143.

[9] Soupios, P., Papadopoulos, I., Kouli, M., Georgaki, I., Vallianatos, F., & Kokkinou, E. (2007). Investigation of waste disposal areas using electrical methods: a case study from Chania, Crete, Greece. Environmental Geology, 51(7), 1249-1261.

[10] Ali, M. M. (2011) "Identifying and analyzing problematic soils." Geotechnical and Geological Engineering 29, no. 3: 343-350.

[11] Morgan, C. S., Holden, J. M. W., O'brien, P. S., & Gardner, J. W. (1993). Engineered fill for Sheffield and Rotherham City Airport. In Engineered Fills. Proceedings of The Conference 'Engineered Fills'93', Held on 15-17 September 1993 In Newcastle Upon Tyne.

[12] Bell, F.G. 1993. Engineering Treatment of Soils. Department of Geology and Applied JOHN A.

[13] Tomlinson, M. J., & Boorman, R. (2001). Foundation design and construction. Pearson education.

[14] Shame Consulting Engineering Company (2013) "Design of soil improvement procedure in Sayyad Shirazi complex project", Technical Report.

[15] Shabani, N., (2015) "Construction management and design optimization for buildings on non-engineered modified fills, Case Study: Sayyad Shirazi complex", M.Sc. Thesis, Amirkabir University of Technology (AUT).

[16] Moseley, M. P. and Kirsch, K. (2004) Ground Improvement, 2nd edition, Spon Press Publication, 430 p.

[17] Takbiri, N., (2015) Experimental studies and investigation of geotechnical parameters of improved fills. A case study of Royal Shahriar site, M.Sc. thesis, Islamic Azad University Science and Research Branch.

www.SID.ir