رویکردهای نوین در مهندسی عمران
دوره ششم، شماره سوم، ۱۴۰۱، صفحه:۶۹- ۷۶

بررسی عددی بهسازی خاک بستر واحد های زلال ساز بندر ماهشهر به وسیله سربار و زهکش های عمودی (مطالعه موردی)

محمد مهدی پاردسویی*[*۱]، سید محمدعلی زمردیان[۲]، مهدی مخبری[۳]، محمدهادی پاردسویی[۴]

*[*۱] دانشجوی دکتری مهندسی عمران-ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی، استهبان، ایران*
(m.m.pardsouie@gmail.com)

[۲] دانشیار، دانشکده مهندسی آب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

[۳] استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی، استهبان، ایران

[۴] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی، استهبان، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۰۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۰۶)

چکیده

استفاده از پیش بارگذاری، به عنوان یکی از روش های کلاسیک و محبوب در کارهای عملی شمرده می شود. پیش بارگذاری یکی از روش های اقتصادی و در عین حال کارآمد در اکثر پروژه های عمرانی، که معمولا در سواحل جنوبی ایران در حال انجام است می باشد. عملیات پیش بارگذاری معمولا همراه با استفاده از زهکشهای قائم عمودی جهت تسریع در فرآیند تحکیم و یک سرباره خاکریزی می باشد. عملیات پیش بارگذاری موجب نشست لایه های تراکم پذیر شده و نشست سازه را پس از احداث به میزان قابل توجهی کاهش می دهد و مضافا ریسک ناشی از نشست های تفاضلی در زمان بهره برداری را نیز کاهش می دهد . در این نوشتار به مدل سازی عددی پروژه پیش باز گذاری واحد های زلال ساز بندر ماهشهر به روش اجزای محدود پرداخته شده و سپس نتایج تحلیل های انجام شده با داده های ابزار گذاری شده در پروژه مورد مقایسه قرار گرفته است.

کلمات کلیدی

پیش بارگذاری ، زهکش عمودی ، اجزای محدود ، بهسازی خاک ، تحکیم.

رویکردهای نوین در مهندسی عمران
دوره ششم، شماره سوم، ۱۴۰۱، صفحه:۶۹- ۷۶

Numerical Investigation of Soil Treatment of Mahshar Clarifying Units with Surcharge and New Prefabricated Vertical Drains

Mohammd Mehdi Pardsouie, [1*] Seyed Mohammad Ali Zomorodian [2], Mehdi Mokhberi [3],

Mohammad Hadi Pardsouie [4]

[1] Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran (m.m.pardsouie@gmail.com)*

[2] Associate professor, Water Engineering Faculty, Shiraz University, Shiraz, Iran

[3] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran

[4] M.Sc.student, Department of Civil Engineering, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran

(Date of received: 23/07/2022, Date of accepted: 27/11/2022)

ABSTRACT

Preloading is a well-known and classic way for soil treatment in engineering practice. For south part of Iran, this method is an economic and also effective way for soil treatment. In this method, the preloading is done using vertical drains to accelerate the consolidation and also a surcharge that is embankment. The preloading induces the required settlement to weak and compressible layers and hence the settlement would be reduced considerably after the compilation of the main structure and also the risk of differential settlement in the future would be decreased considerably. In this article the Mahshahr clarifying unit has been modeled and then the results were compared with instrumentation on site.

Keywords:

Preloading, Vertical drains, Finite element, Soil treatment, Consolidation.

۱- مقدمه

محل پروژه در حدود ۲۰ کیلومتری شمال غربی منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی بندر ماهشهر قرار دارد. دو مخزن موجود بر روی ریز شمع قرار دارند. به خاطر مسایل اقتصادی تصمیم گرفته شد که بستر دو مخزن دیگر به روش پیش بارگذاری اصلاح گردد[۱]. مطالعات پیشین انجام شده توسط ایزدی و فاخر نشان داده اند که با توجه به مشخصات ژئوتکنیکی خاک موجود در منطقه میتوان یک نشست ۴۵۰ و ۹۰۰ میلیمتری را با استفاده از ترکیب سربار ۶ و ۹ متری و زهکش های عمودی در مدت ۵ ماه مشاهده نمود[۲]. یک پیش بارگذاری، استفاده از بار سربار بر روی محل اجرایی، قبل از قرار گیری سازه دائم می باشد که تحت آن تحکیم اولیه حادث خواهد شد. در طول عملیات پیش بارگذاری و با خروج اضافه فشار آب حفرهای از سیستم، نشست خاک صورت گرفته و تنش موثر در لایه های سست و تراکم پذیر زیرسطحی افزایش یافته و لذا امکان نشست سازه پس از احداث به میزان قابل توجهی کاهش می یابد[۳]. در این مقاله با توجه به نتایج ابزارهای دقیق بکار رفته در پروژه مورد اشاره که شامل نشست سنجهای سطحی، مغناطیسی در عمق و پیزومترهای تار لرزان می باشد. روند تحکیم در حین عملیات پیش بارگذاری و پس از آن در مقایسه با مدل سازی عددی المان محدود ۲۰۰۷ Geo studio مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- وضعیت لایه های تحت الارضی

لایه یک: این لایه از سطح زمین شروع شده و تا عمق ۱۶ متر ادامه مییابد. این لایه چسبنده و عمدتاً از جنس رس لاغر بوده و استحکام آن نرم تا نیمه سفت میباشد. از مشخصات قابل توجه این لایه وجود لنزهای ماسه ای و سیلتی در اعماق مختلف بوده که بعضاً باعث افزایش عدد SPT در آن عمق شده اند. لایه دو: این لایه از عمق متوسط ۱۶ متر شروع و تا عمق متوسط ۲۲ متر ادامه مییابد. لایه مورد نظر غیرچسبنده و عمدتاً از جنس ماسه سیلتی و یا سیلت ماسهای میباشد که دارای میان لایه هایی از جنس رس لاغر با ضخامت کم می باشد. این لایه از نظر تراکم در رده با تراکم متوسط تا خیلی متراکم قرار گرفته است. لایه سه: از عمق متوسط ۲۲ متر تا انتهای عمق شناسایی در اکثر گمانه ها مجدداً لایه چسبنده از جنس رس لاغرمشاهده شده است. این لایه از نظر استحکام در رده سفت تا سخت قرار گرفته است [۱] . جدول ۱ خلاصه پارامترهای متوسط ژئوتکنیکی لایه های خاک را نشان میدهد. بر اساس نتایج بدست آمده،سطح آب زیرزمینی بین حداقل ۲/ ۰ متر و حداکثر ۱/۲ متر در محل گمانه ها متغیر بوده است[۱, ۴].

جدول ۱ : خصوصیات ژئوتکنیکی خاک در محل [۵].

پارامترهای ژئوتکنیکی	واحد	شماره لایه					
لایه		I			II		III
ضخامت لایه	m	۰-۳	۳-۱۳	۱۳-۱۶	۱۶-۱۸	۱۸-۲۳	>۲۳
طبقه‌بندی خاک بر اساس U.S.C.S		CL	CL	CL	SM,ML	SM,ML	CL-ML CL
عدد SPT		۵	۶	۱۰	۲۵	۳۶	۴۰
متوسط درصد رطوبت طبیعی (ω)	%	۲۸	۳۰	۲۵	۲۵	۲۴	۲۳
متوسط چسبندگی زهکشی نشده (C)	kPa	۴۵	۳۰	۳۵	۰	۰	۱۵۰
حد روانی (LL)	%	۴۰	۳۸	۳۴			۴۰
شاخص خمیری (PI)	%	۱۸	۱۸	۱۵			۲۳
Cc		۰/۲	۰/۲۲	۰/۲۲			۰/۱۸
Cs		۰/۰۲۶	۰/۰۳۰	۰/۰۲۸			۰/۰۳۰
OCR		۴/۵	۲/۵-۱/۴		۱	۱	۱
مدول الاستیسیته زهکشی نشده (E)	MPa	۱۳	۱۰	۱۱	۲۲	۳۰	>۴۰
ضریب پواسون (μ)		۰/۴۵-۰/۵	۰/۴۵-۰/۵	۰/۴۵-۰/۵	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۴۵-۰/۵

۳- مشخصات خاکریز و زهکش های عمودی مورد استفاده

به خاطر نفوذ پذیری کم خاک های رسی و سست بودن خاک در محل پیش بار گذاری بهترین گزینه برای افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست بود. در نهایت تصمیم به استفاده توامان از بار سربار و زهکش های عمودی گرفته شد. استفاده از زهکش های عمودی باعث تسریع جریان شعاعی گردیده و علاوه بر کاهش مدت زمان پیش بارگذاری ، ارتفاع خاکریز را نیز به مقدار قابل توجهی کاهش می دهد که به نوبه خود باعث صرفه جویی اقتصادی قابل توجهی می گردد. با کاهش ارتفاع خاکریز مشکلات مربوط به پایداری خاکریز و گسیختگی های احتمالی، به خودی خود به مقدار قابل توجهی کاهش می یابد. زهکش ها با صورت مثلثی با فواصل ۱/۵ متری اجرا گردیدند. مشخصات زهکش مورد استفاده در پروژه در جدول ۲ ارائه شده است. از مصالح تونان در عملیات خاکریزی سربار استفاده گردید تا پس از اتمام عملیات پیش بارگذاری به عنوان مصالح ساختمانی و جهت مصالح بستر مورد استفاده قرار گیرد. دانسیته مصالح تونان بر اساس آزمایشات انجام شده ۱۷ کیلو نیوتون بر متر مکعب بدست آمد. به منظور شیب بندی به منظور تخلیه آب خارج شده از زهکش ها پیش از احداث خاکریز بین ۰/۵ تا ۱ متر خاکبرداری ، با توجه به توپوگرافی محل انجام شد. با توجه به اینکه تنش طراحی ۶۰ کیلو پاسکال برآورد شده بود ارتفاع خاکریز با احتساب خاکبرداری انجام شده جهت تخلیه آب های زهکشی شده ۶ متر در نظر گرفته شد.

جدول ۲ : مشخصات زهکش عمودی مورد استفاده [۶].

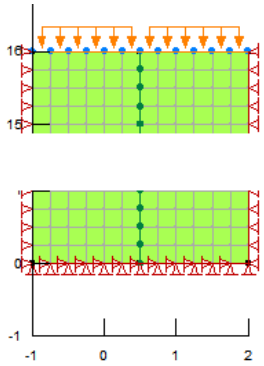
Properties		Unit	Test Method	Malaysia Specs	Measured Value
DRAIN					
Width		mm	ASTM D3774	100 ± 2	100.0
Thickness		mm	ASTM D5199	3 to 4	3.7
Tensile Strength					
Logitudinal Direction	Strength per width	N	ASTM D4595		2541
	Elongation at break	%		>2	26
	Elongation at 0.5kN	%		<10	0.79
	Strength at 10% strain	N		>1500	2018
Discharge Capacity					
P= 250 kPa, straight, i = 1.0		m^3/s	ASTM D4716	$>50 \times 10^{-6}$	9.468E-05
P= 200 kPa, bend, i = 1.0		m^3/s		$>37.5 \times 10^{-6}$	7.034E-05

۴- ابزارگذاری

در این پروژه از نشست سنجهای سطحی و مغناطیسی به منظور کنترل مقدار نشست در سطح و اعماق مختلف و همچنین از پیزومترهای الکتریکی تار لرزان در دو عمق ۴ و ۱۲ متری از روی سطح پتوی زهکش استفاده شده است[۴].

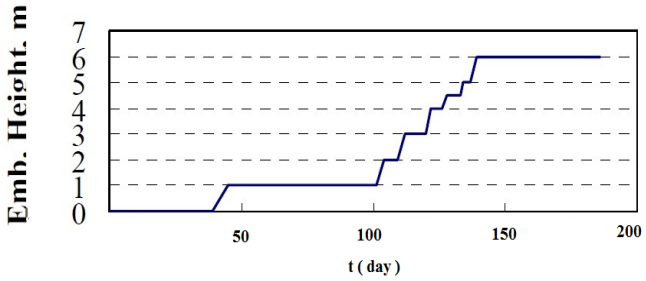
۵- مدل اجزاء محدود

مدل عددی ساخته شده از نوع کرنش صفحه ای و به روش اجزاء محدود و با استفاده از نرم افزار Geostudio 2007 تحلیل شده است.در این مدل سازی از مدل رفتاری Modified Cam Clay که از قانون هم بسته جریان تبعیت می کند و کارآمدی آن در مدل سازی مسائل این چنینی به اثبات رسیده است استفاده گردید [۷]. المان مورد استفاده از نوع Quads and Triangles بوده و پتوی ماسه ای و زهکش ها به صورت شرایط مرزی در مدل اعمال شدند. شکل ۱ شبکه بندی مدل در برنامه اجزای محدود را نشان می دهد. از منطقه تاثیر در اطراف زهکش صرفنظر شده است. از آن جایی که بخش اعظم نشست در ۱۶ متر بالایی روی می دهد در مدل سازی اجزای محدود تنها لایه بالایی در نظر گرفته شده است. پارامترهای خاک مورد استفاده همان پارامترهای ذکر شده در جدول ۱ می باشد. سطح آب زیرزمینی به خاطر بارش شدید باران در ابتدای پروژه و بالاآمدن متعاقب آن در سطح زمین در نظر گرفته شده است.



شکل ۱: مش اجزای محدود مورد استفاده در مدل سازی.

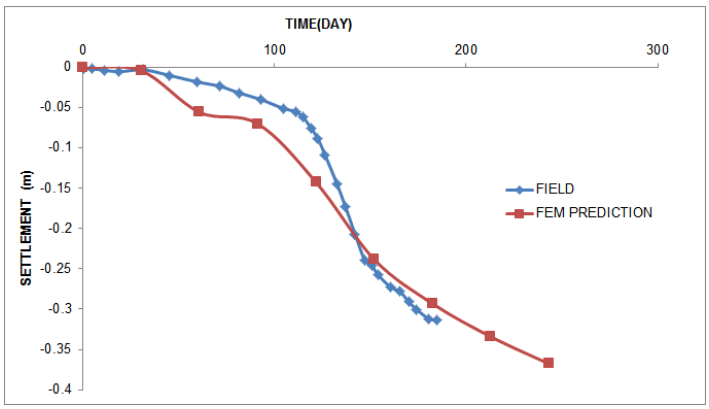
شکل ۲ میزان پیشرفت خاکریزی را در طول زمان پروژه نشان می دهد. به خاطر شرایط نامناسب جوی در آغاز پروژه روند خاکریزی در ابتدا با یک وقفه طولانی مدت مواجه شده ولی با مساعد شدن شرایط جوی سرعت اجرای پروژه رشد چشمگیری یافته است[۱, ۲].



شکل ۲: نمودار شماتیک پیشرفت خاکریزی نسبت به زمان.

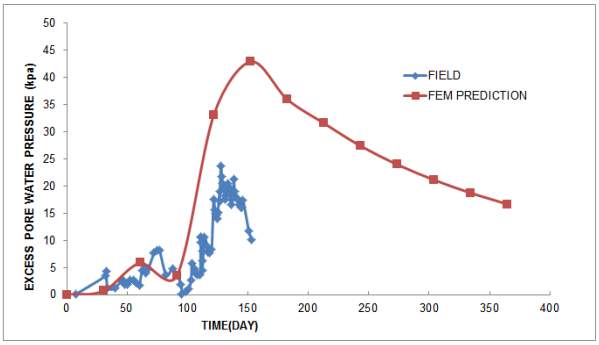
۶- بحث و بررسی نتایج

شکل ۳ نشست بسترخاک پیش بینی شده در مدل اجزای محدود را در برابر داده های در محل نشان می دهد. همانطور که انتظار می رفت به خاطر بارش های سیل آسا و پایین و بالا رفتن مداوم سطح آب زیر زمینی مدل سازی انجام شده مقدار نشست را بیش مقدار برآورد نموده است. این نشان می دهد که علیرغم وجود زهکش های قایم، فشار آب حفره ای به طور کامل زایل نشده است و عدم لحاظ این مورد باعث عدم تطابق نمودار در مرحله اول گردیده است. همانطور که نمودار داده های اندازه گیری شده در محل و پیش بینی شده به وسیله مدل نشان می دهند تحکیم در مراحل انتهایی می باشد و نمودار حاصل از مدل اجزای محدود به خوبی نشست نهایی را پیش بینی نموده و توافق خوبی با داده های در محل دارد. این امر نشان دهنده کارآمدی مدل ارائه شده در پیش بینی عملکرد توامان سربار و زهکش های عمودی موجود در محل می باشد. داده های ابزار های در محل تنها تا روز ۱۸۰ را نشان می دهد. همانطور که انتظار می رفت میزان افزایش نشست با گذشت زمان به خاطر زایل شدن فشار های آب حفره ای به وجود آمده و رسیدن تحکیم به مراحل پایانی کاهش یافته است.

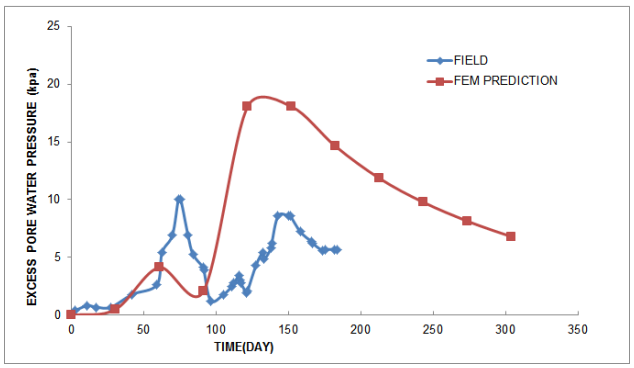


شکل ۳: نشست پیش بینی شده در برابر داده اندازه گیری شده در محل.

شکل ۳ و ۴ به ترتیب مقدار پیش بینی شده و اندازه گیری شده فشار آب حفره ای اضافی را در عمق ۴ متری و ۱۲ متری نشان می دهند. به غیر از یک دوره کوتاه در ابتدا به نظر می رسد که مدل اجزای محدود مقدار فشار آب حفره ای را بیش مقدار محاسبه نموده است .ولی واقعیت این است که داده های محلی در حقیقت کمتر از مقدار واقعی بدست آمده اند. همانطور که در بخش وضعیت لایه های تحت الارضی نیز عنوان شد در لایه بالایی خاک لنز های ماسه ای وجود دارند. در مقالات منتشره یکی از دلایل کاهش کارآمدی زهکش های عمودی را وجود همین لنز های ماسه ای عنوان نموده اند. لنز های ماسه ای فرآیند تسریع زهکشی شعاعی توسط زهکش های عمودی را کند می نمایند. در بعضی از موارد به خاطر وجود گسترده همین لنز های ماسه ای در محل از روش های بهسازی جایگزین استفاده گردیده است. با اینکه در طراحی فرض میشود به علت گستردگی بار، تنش ها در عمق به صورت یکسان توزیع می گردند، اما از آنجاکه در عمل ، در محدوده هر پیزومتر خاک بصورت موضعی ریخته میشود، اثر یک متر خاکریزی که تقریباً معادل ۱۷ کیلوپاسکال می باشد بخوبی نمایان نمی گردد. همچنین عملیات تحکیم با اولین مراحل خاکریزی شروع میشود و با توجه به فواصل کم زهکشهای نواری و همچنین وجود لنزهای ماسه ای عملاً در هر مرحله از خاکریزی به نظر می رسد که تنها قسمتی از فشار اعمال شده توسط پیزومترها احساس گردد. همچنین به نظر می رسد که به علت نزدیکی پیزومتر ها در عمق ۴ متری سطح زمین و اثرات بیش تحکیمی خاک لایه اول و احتمالا گرفتگی هایی که معمولا در پس از مدتی در قسمت بالایی زهکش های عمودی رخ می دهد و باعث تداخل در زهکشی آزاد آب می گردد این پیزومترها نمی توانند به خوبی پیزومترهای قرار گرفته در عمق ۱۲ متری تغییرات روند اضافه فشار آب حفره ای رانشان دهند.



شکل ۴: فشار آب حفره ای اندازه گیری شده در محل در برابر مقدار پیش بینی شده در عمق ۴ متری.



شکل ۵: فشار آب حفره ای اندازه گیری شده در محل در برابر مقدار پیش بینی شده در عمق ۱۲ متری.

همانطور که در شکل ها مشاهده می شود بلافاصله بعد از اتمام فشار آب حفره ای فشار منفذی اضافی تولید شده مستهلک می گردند و فرآیند تحکیم با سرعت بیشتری ادامه می یابد.

۷- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله به مدل سازی اجزای محدود پروژه تحکیم خاک بستر واحد های زلال ساز بندر ماهشهر به وسیله سربار و زهکش های عمودی متخلخل پرداخته شد. جهت مدل سازی از مدل اصلاح شده کم کلی استفاده گردید و سپس نتایج بدست آمده با داده های بدست آمده در محل مقایسه شد. توافق خوبی میان داده های بدست آمده از تحلیل ها و داده های ابزار دقیق در محل مشاهده شد که نشان دهنده کارآمد بودن شیوه مدل سازی و همچنین مدل کم کلی در محاسبه موثر نشست و فشار آب منفذی در این چنین پروژه های بهسازی خاک می باشد. استفاده از زهکش های عمودی باعث تسریع در جریان شعاعی شده و مدت زمان مورد نیاز برای رسیدن به درجه تحکیم مورد نظر را به مقدار قابل توجهی کاهش می دهد که در پروژه عنوان شده این مقدار به یکسال می رسد.

۸- مراجع

[۱]- فخاریان، ک.، تسلطی، س.، مهدی زاده، ا. و محمدلو، ا.، ۱۳۸۹، **مدلسازی عددی تحکیم شعاعی و کالیبراسیون آن با استفاده از دادههای ابزارگذاری پروژه پیشبارگذاری واحدهای زلالساز سربندر خوزستان**، چهارمین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران. https://civilica.com/doc/94445

[۲]-پردازی، م.، و ایزدی، م.، ۱۳۸۰، **پیش بارگذاری همراه با نصب زهکش های فنری در صنایع پتروشیمی بندر امام خمینی (ره)**، نخستین کنفرانس بهسازی زمین. https://civilica.com/doc/3690

[3]- Yapriadi, M. C., Sumarli, I., and Iskandar, A. S., 2020, **Evaluasi Settlement Menggunakan Surcharge Preloading Dengan Pvd Pada Proyek Di Bandung Selatan**, J. J. J. M. T., 3, 3, 911-922.

[۴]-مهدی زاده، ا.، فخاریان، ک.، و تسلطی، س.،۱۳۸۹، **بررسی مقدماتی ابزارهای پروژه پیش بارگذاری واحدهای زلال ساز بندر ماهشهر**، چهارمین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران. https://civilica.com/doc/94519

[۵]- ش. م. م. ژ. پارس، ۲۰۰۸، گزارش مرحله اول پروژه پیشبارگذاری مخازن و واحد تصفیه خانه سربندر.

[6]- Tasalloti, A., Fakharian, K., and Mehdizadeh, A., 2010, **Preliminary investigation of instrumentation in decanter units preloading project in Mahshahr port (South-west of Iran)**.

[7]-Kang, G., Kim, T. H., and Yun, S., 2021, **Measured Performance and Analysis of the Residual Settlement of a PVD-Improved Marine Soft Ground**, Journal of Ocean University of China, 20, 5, 1055-1066.