

تأثیر تغییر سطح آب زیر زمینی بر نشست گروه میکروپایل در خاک های چسبنده و غیر چسبنده

سید مرتضی مرندی^{۱*} و مرضیه خسروی^۲

۱- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، marandi@uk.ac.ir
۲- کارشناس ارشد خاک و پی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، msh.khosravi@yahoo.com

چکیده

میکروپایل ها امروزه به صورت گسترده ای به عنوان عناصر زیرسازی برای جلوگیری از نشست سازه های موجود و افزایش ظرفیت باربری استفاده می شوند. عملکرد مشابه میکروپایل با شمع و همچنین تزریق دوغاب سیمانی برای انسجام و تقویت خاک اطراف باعث افزایش استفاده میکروپایل ها در دنیا شده است. در این پژوهش چگونگی تأثیر تغییر سطح آب زیرزمینی بر نشست نهایی گروه میکروپایل های دوتایی در دو نمونه خاک چسبنده و غیر چسبنده مورد مطالعه قرار گرفته است. مدل سازی توسط نرم افزار Plaxis 3D Foundation برای یک نمونه فونداسیون مینا برای گروه میکروپایل دو تایی در فواصل مختلف از هم، صورت پذیرفته است. نتایج نشان داده است که افزایش نشست فونداسیون با تغییر در سطح آب زیرزمینی در عمقی معادل با $\frac{2}{3}$ طول میکروپایل از سطح زمین، دارای بیشترین تأثیر بوده است.

واژه های کلیدی: میکروپایل، آب زیرزمینی، نشست، فونداسیون

۱- مقدمه

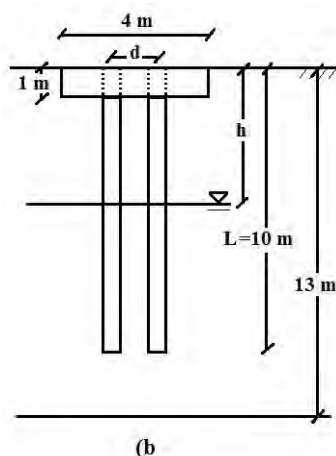
میکروپایل به عنوان شمع بدون جابجایی با قطر کمتر از ۳۰ سانتی متر، تشکیل شده از دوغاب تزریق شده یا قرار گرفته در آن و شامل نوعی از تسلیح فولاد برای مقاومت در برابر بار طراحی معرفی شده است. میکروپایل ها به روش هایی که کمترین آسیب را به خاک و سازه و محیط اطراف خود وارد آورند اجرا می گردند [۱]. آنها را می توان در محیط های با دسترسی مشکل و در همه نوع خاک و شرایط زمین اجرا نمود. میکروپایل ها را می توان تحت هر زاویه ای نسبت به افق (مایل) با استفاده از همان تجهیزات مورد استفاده در پروژه های تزریق و مهار، اجرا نمود. بار اعمالی به میکروپایل ضرورتاً توسط فولاد جذب می شود که حدوداً تا ۵۰٪ حجم کل میکروپایل را تشکیل می دهد و از طریق دوغاب تزریقی به توده خاک یا سنگ اطراف منتقل می شود.

فولاد تقویت شده عنصر اصلی تحمل کننده بار است و دوغاب تزریق شده برای ایجاد اصطکاک با خاک اطراف برای انتقال بار می باشد. سهم مشارکت مقاومت انتهایی در میکروپایل ها با توجه به هندسه آن در حد حداقل است. سطح موجود برای اصطکاک جداره به طور قابل ملاحظه ای بزرگتر از سطح انتهایی میکروپایل است [۲]. میکروپایل ها راه حل عملی برای مقاوم سازی سازه و مقاوم سازی خاک فراهم کرده اند که عمدتاً کاربرد آن ها شامل تقویت فونداسیون های موجود، فونداسیونی برای سازه های جدید، کاهش نشست، تقویت خاک و تثبیت لغزش ها می باشد [۳].

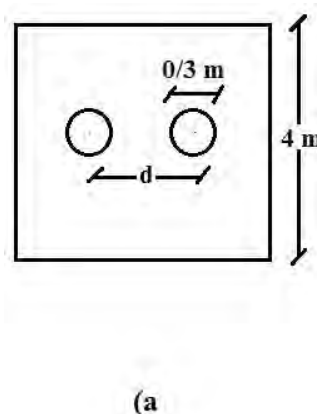
۲- مدل سازی

نرم افزار Plaxis 3D Foundation بعد از نمونه نرم افزار دو بعدی آن مورد توجه بسیاری از مهندسان ژئوتکنیک قرار گرفته است. تقریباً تمام پروژه های ژئوتکنیکی اعم از سد سازی، فونداسیون، شمع، گودبرداری، دیوارهای زیرزمینی و ... در بارگذاری، نشست، تحکیم و دیگر مسائل مد نظر طراح می تواند مورد استفاده قرار گیرد. یکی از بهترین مزیت های نرم افزار مشخص کردن مراحل کار هر پروژه برای به درستی ایجاد شدن تنش ها و یا هر پارامتر مد نظر دیگر می باشد. در تمامی موارد مورد آزمایش میکروپایل ها به طور قائم در نظر گرفته شده اند و نتایج نشست حاصل از تغییر در سطح آب زیر زمینی با توجه به نسبتی از طول میکروپایل و تغییر در فاصله بین دو میکروپایل بررسی شده است. معیار های زیر برای ساخت مدل توسط نرم افزار استفاده شده اند:

۱. بارگذاری فشاری محوری بر روی میکروپایل (اعمال بارگذاری ثابت ۱۰۰ کیلو پاسکال به صورت گسترده بر تمام سطح فونداسیون)
 ۲. دوغاب ریزی تنها توسط وزن خود دوغاب (نوع A)
 ۳. پیوند کامل میکروپایل در طول سطح مشترک خاک / شفت
 ۴. یکنواختی شعاع سطح مقطع میکروپایل در طول
 ۵. شرایط مرزی ۵ برابر بعد پی (پی مربعی به ضلع چهار متر) در هر دو جهت افقی
 ۶. استفاده از روش اجزاء محدود (FEM) برای تعیین رفتار میکروپایل
 ۷. مدل سازی برای مطالعه بر روی رابطه بین طول (L)، سطح آب زیرزمینی (h) و فاصله بین میکروپایل ها (d) در خاک غیرچسبنده و چسبنده
- چگونگی مدل سازی به همراه پارامتر های معرفی شده و ابعاد ثابت مدل سازی به طور شماتیک در شکل (۱) نشان داده است. مش بندی مدل نیز در حالت کلی به صورت مثلثی و اندازه ی متوسط در هر دو حالت دو بعدی و سه بعدی در نظر گرفته شده است، لیکن برای بهتر شدن نتایج ناحیه مربوط به فونداسیون با مش بندی ریزتر تحلیل گردیده است.

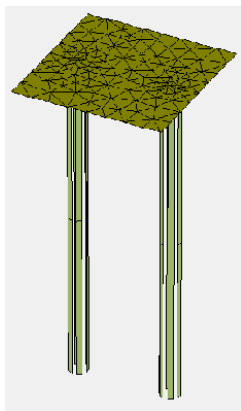


شکل ۱-ب) مقطع عرضی مدل سازی در عمق لایه خاکی



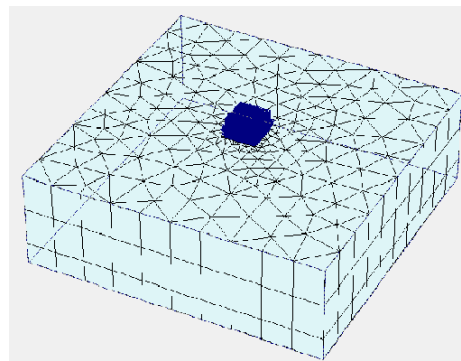
شکل ۱-ا) پلان مدل سازی فونداسیون

در شکل ۲ نحوه مدل سازی به همراه مش بندی در نرم افزار، برای میکروپایل و مدل کلی که فونداسیون به همراه بار گسترده وارد بر آن، در مرکز مدل سازی کلی قرار گرفته است مشاهده می شود. تغییر شکل و در واقع نشست لایه سطحی فونداسیون به همراه مش بندی تغییر یافته آن در شکل (۳) نیز نشان داده شده است.



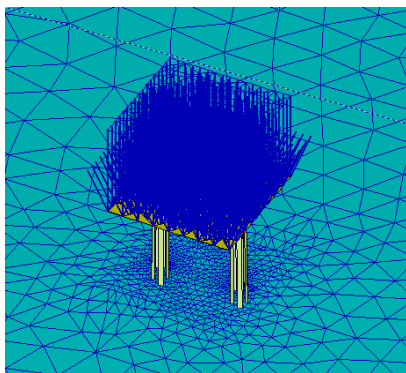
(b)

شکل ۲-ب) مدل سازی میکروپایل و فونداسیون



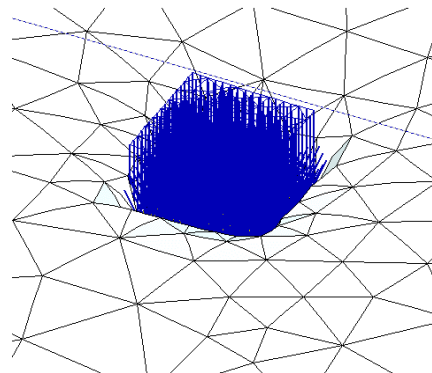
(a)

شکل ۲-ا) مش بندی مدل کلی



(b)

شکل ۳-ب) مقطع عرضی مدل سازی در عمق لایه خاکی



(a)

شکل ۳-ا) پلان مدل سازی فونداسیون

از مزیت های استفاده از نرم افزار Plaxis مدل کردن مراحل کار پروژه است. در تمامی مدل سازی های انجام گرفته چهار فاز زیر در نظر گرفته شده اند:

۱. فاز اولیه: تعیین تنش های اولیه خاک
۲. فاز دوم: نصب و اجرای میکروپایل در داخل زمین
۳. فاز سوم: اجرای فونداسیون مربعی به مرکز گروه میکروپایل
۴. فاز چهارم: بارگذاری گسترده بر روی فونداسیون به صورت گام به گام تا رسیدن به بار طراحی در نظر گرفته شده

۳- مشخصات فونداسیون، خاک و میکروپایل

مدل سازی بر روی فونداسیون مربعی به عمق یک متر و اندازه ضلع چهار متر انجام گرفته است. ابعاد مدل کلی در نرم افزار مربعی به ضلع ۲۰ متر در نظر گرفته شده است تا بتوان از کم شدن تأثیر تنش های ایجاد شده در مرز هر طرف مطمئن شد. مدل سازی مصالح خاکی با روش موهر-کولمب^۱ و از نوع زهکشی شده^۲ و مدل سازی مصالح میکروپایل با روش الاستیک خطی^۳ و از نوع غیر متخلخل^۴ انجام شده است. رفتار فونداسیون نیز از نوع خطی و ایزوتروپیک طراحی شده است.

^۱ Mohr-Coulomb

مصالح خاکی از دو نوع چسبنده و غیر چسبنده به صورت مجزا در مدل سازی‌های مختلف تا عمق ۱۳ متر و میکروپایل‌ها به طول ۱۰ متر بوده‌اند. خواص ژئوتکنیکی استفاده شده در مدل سازی برای فونداسیون، انواع خاک و میکروپایل در جدول (۱) ارائه شده است. در سری آزمایش های اولیه لایه خاکی به عمق ۱۳ متر از نوع غیر چسبنده در نظر گرفته شده است. گروه میکروپایل متشکل از دو میکروپایل به فواصل (d) گوناگون از هم آزمایش شده اند. فواصل (d) از 0.5 متر تا حداکثر فاصله ممکن با توجه به بعد فونداسیون یعنی 3.5 متر متغیر در نظر گرفته شده است.

جدول ۱ خواص ژئوتکنیکی استفاده شده در مدل برای فونداسیون، خاک و میکروپایل

خواص ژئوتکنیکی						مصالح
d (m) عمق	c (kN/m ²)	ϕ (°)	ν	E (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	
۱		-	۰,۱۵	2.5×10^7	۲۴	فونداسیون
۱۰		-	۰,۲۰	5×10^7	۲۴	میکروپایل
۱۳	۰,۰۱	۳۵	۰,۳۰	5.5×10^7	۱۸	خاک غیر چسبنده
۱۳	۱۰	۳۰	۰,۳۵	1×10^3	۱۷	خاک ماسه‌ای لای دار
۱۳	۲۵	۰,۰۱	۰,۳۵	1×10^3	۱۶	خاک چسبنده

سطح آب زیرزمینی از اعماق (h) ۱۰ متر نسبت به سطح زمین (پایین ترین سطح آب نسبت به میکروپایل که در انتها آن واقع شده است) تا عمق ۳,۳ متر متغیر گرفته شده است. تغییر در عمق سطح آب زیرزمینی با توجه به نسبت h/L انجام گرفته است. عمق آب در نسبت های ۱,۳، ۱,۲ و ۲,۳ از طول میکروپایل (۱۰ متر) که در واقع ۳,۳ متر، ۵ متر و ۶,۳ متر می باشد، در نظر گرفته شده است. بعد از مدل سازی‌های انجام گرفته و اعمال تغییرات مورد نظر در هر مرحله، نتایج نشست برداشته و گردآوری شده اند. در سری دوم و سوم آزمایش ها به بررسی نشست تحت شرایط مشابه با سری آزمایش ها اولیه پرداخته شده است، تنها نوع خاک در سری آزمایش دوم خاک ماسه ای لای دار و در سری سوم خاک کاملاً چسبنده در نظر گرفته شده است.

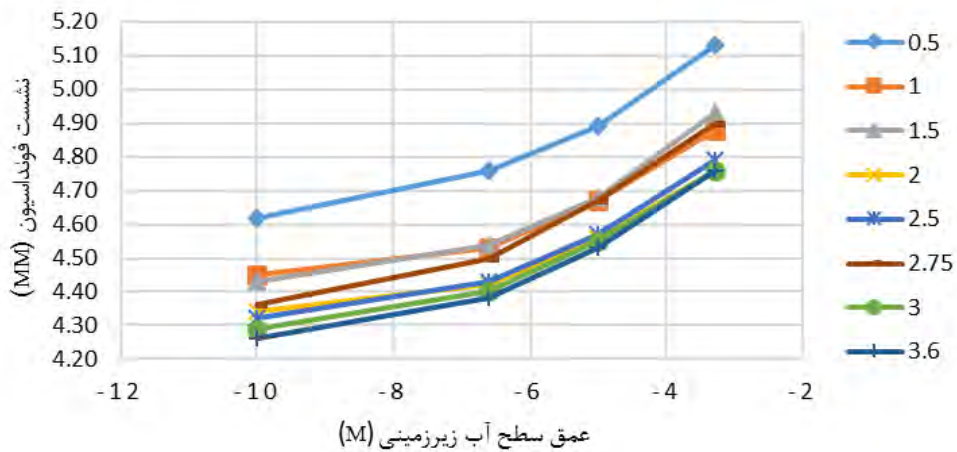
۴- مقایسه نتایج نشست بر اساس تغییر در سطح آب زیرزمینی

از مقایسه نتایج بدست آمده در هر سری از آزمایش ها نمودارهایی ترسیم شده است. در تمامی نمودارها محور قائم میزان نشست فونداسیون بر حسب میلی‌متر و محور افقی عمق سطح آب زیرزمینی بر حسب متر می باشد. با بررسی‌های انجام گرفته به وضوح مشخص است که با افزایش سطح آب زیرزمینی نشست افزایش می یابد. شکل (۱) مربوط به مقایسه نشست های خاک غیر چسبنده، شکل (۲) خاک ماسه ای لای دار و شکل (۳) مربوط به شرایط مشابه با وجود خاک صرفاً چسبنده می باشد. در تمامی اشکال تغییرات نشست با توجه به تغییر در فاصله میکروپایل‌ها از یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته است.

² Drained

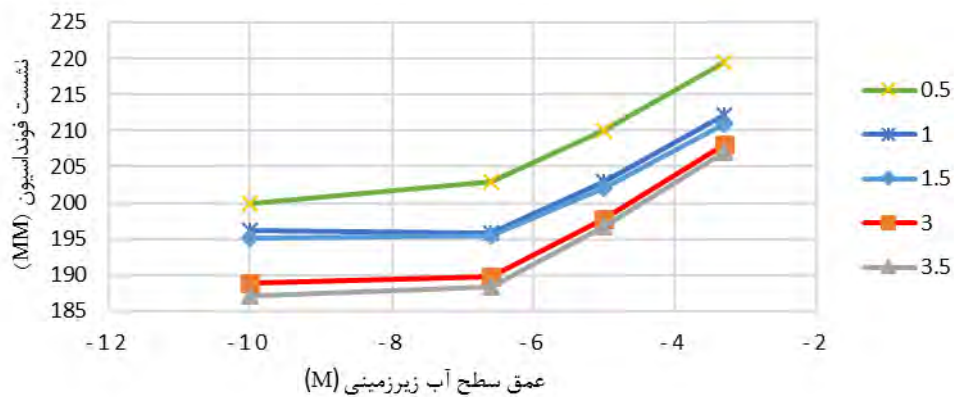
³ Linear Elastic

⁴ Non-porous

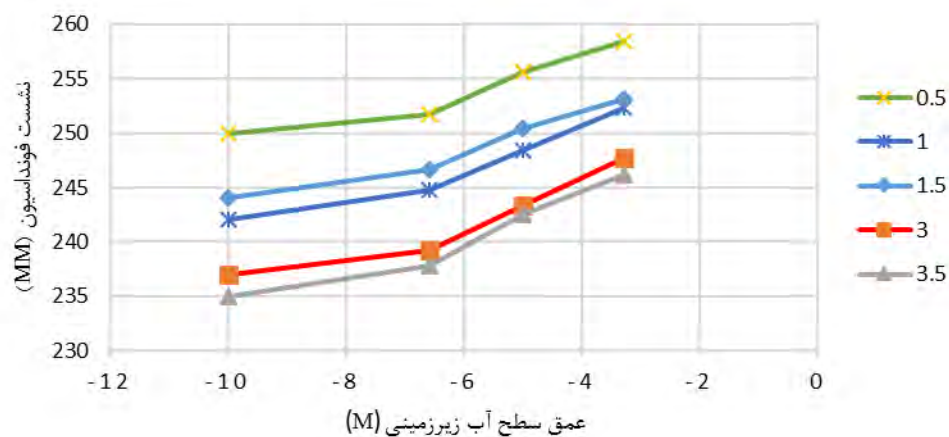


شکل (۱) نتایج نشست فونداسیون قرار گرفته بر روی لایه خاک غیر چسبنده

* هر نمودار ترسیم شده مربوط به یک فاصله بین میکروپایل ها (d) می باشد که در کنار نمودار آن فاصله بر حسب متر نشان داده است.



شکل (۲) نتایج نشست فونداسیون قرار گرفته بر روی لایه خاک ماسه ای لای دار



شکل (۳) نتایج نشست فونداسیون قرار گرفته بر روی لایه خاک چسبنده

۴- نتایج

نشست فونداسیون همراه با گروه میکروپایل متشکل از دو عدد میکروپایل به قطر ۳۰ سانتی متر در خاک‌های غیرچسبنده، ماسه ای لای دار و چسبنده با توجه به تغییر در عمق سطح آب زیر زمینی و فاصله بین میکروپایل ها مورد بررسی قرار گرفته است. کاهش نشست گروه میکروپایل در اثر افزایش فاصله بین میکروپایل ها که به وضوح از نتایج حاصله در نمودار ها مشخص می باشد [۴] به شرح ذیل خلاصه شده است:

۱. در حالت کلی افزایش در میزان فاصله ی بین میکروپایل ها منجر به افزایش در میزان باربری و کاهش نشست در مرکز فونداسیون می شود.
۲. در حالت کلی افزایش در سطح آب زیرزمینی باعث افزایش در میزان نشست فونداسیون می گردد.
۳. میزان نشست فونداسیون با افزایش خاصیت چسبندگی و کاهش اصطکاک داخلی ذرات خاک، بسیار افزایش مییابد.
۴. به طور میانگین میزان افزایش نشست در خاک ماسه ای لای دار نسبت به خاک غیر چسبنده در حدود ۵۰ برابر از نتایج نمودار ها مشخص می باشد.
۵. میانگین میزان افزایش نشست در خاک چسبنده نسبت به خاک ماسه ای لای دار بیشتر از ۲۰٪ بوده است.
۶. شیب تغییرات افزایشی نشست با توجه عمق سطح آب زیرزمینی در $1/3$ انتهائی طول میکروپایل (قسمت پایین میکروپایل) کمتر از شیب نمودار در $2/3$ بالایی از طول میکروپایل می باشد.
۷. در خاک غیر چسبنده شیب نمودار تغییرات نشست در حالتی که سطح آب در $2/3$ بالایی طول میکروپایل قرار دارد تقریباً ۳٫۶ برابر شیب نمودار است، در حالتی که سطح آب از پایین طول میکروپایل تا $1/3$ انتهائی از طول آن جابجا شود.
۸. در خاک ماسه ای لای دار شیب نمودار تغییرات نشست در حالتی که سطح آب در $2/3$ بالایی طول میکروپایل قرار دارد تقریباً ۹ برابر شیب نمودار است، در حالتی که سطح آب از پایین طول میکروپایل تا $1/3$ انتهائی از طول آن جابجا شود.
۹. در خاک چسبنده شیب نمودار تغییرات نشست در حالتی که سطح آب در $2/3$ بالایی طول میکروپایل قرار دارد تقریباً ۳٫۸ برابر شیب نمودار است، در حالتی که سطح آب از پایین طول میکروپایل تا $1/3$ انتهائی از طول آن جابجا شود.
۱۰. برای طراحی میکروپایل‌ها در جهت اطمینان بهتر است طول میکروپایل ها به گونه ای در نظر گرفته شود که افزایش احتمالی سطح آب در محدوده $1/3$ انتهائی طول میکروپایل قرار گیرد.

مراجع

- [1] AASHTO. LRFD bridge design specifications (4th ed.). Washington (DC): American Association of State Highway and Transportation Officials; 2007.
- [2] Bruce, D.A., Bruce, M.E.C., and Traylor, R.P. High Capacity Micropiles – Basic Principals and Case Histories. GeoEngineering for Underground Facilities. Proc. of the 3rd National Conference of the Geo-Institute of the American Society of Civil Engineers. Geotechnical Special Publication No. 90, Urbana-Champaign, IL, June 13-17, pp. 188-199; 1999.
- [3] Elsalfiti A.K. Skin Friction of Micropiles Embedded in Gravelly Soils, Concordia University Montreal, Quebec, Canada; 2011.

[۴] مرندی، م. خسروی، م. چیدمان گروه میکروپایل در خاکهای غیر چسبنده، دومین کنگره بین المللی سازه، معماری و توسعه شهری، تبریز، ۱۳۹۳.