

بررسی موردی استفاده از میکروپایلهای تزریقی جهت کنترل نشست در مخازن آبی سنگین در زمینهای رسی سست

رسول عالیپور*، مهدی جامعی، محمود بینا

* Civil.alipour@gmail.com

چکیده

امروزه پیشرفت روزافزون مهندسی ژئوتکنیک در بهبود و اصلاح خواص فیزیکی و مقاومت برشی خاک، امکان ساخت سازه هایی با احجام و بار سرویس بالا بر روی زمینهای سست رسی با صرف هزینه هایی به مراتب کمتر از اجرای شمعهای درجا را میسر نموده است. یکی از این روشها استفاده از میکروپایلهای تزریقی می باشد که عمدتاً جهت کنترل نشستهای نامتقارن، افزایش ظرفیت باربری و مقابله با روانگرایی مورد استفاده قرار می گیرند. در این مقاله به بررسی اثرات بهبود بخش این سیستم بر خصوصیات خاک زیر سازه مخزن آب زیر زمینی به ابعاد 18x7 متر و مقایسه وضعیت نشست در قبل و بعد از اجرای میکروپایلهای تزریقی پرداخته شده است. نتایج بررسی تحلیل انجام شده بیانگر اثرات محسوس آرایش، طول و قطر میکروپایلهای بر کاهش نشستهای کلی و نشستهای نامتقارن می باشد.

کلمات کلیدی: میکروپایل، تزریق، مدول سختی، المان فنی، المان محدود

۱. مقدمه

استفاده از میکروپایلهادر فونداسیونها به منظور تحمل بارهای استاتیکی و دینامیکی به صورت موثر از دهه ۱۹۵۰ میلادی آغاز گردید. همچنین از میکروپایلهای برای تسلیح در محل شیبها و گودبرداریها استفاده می شود. میکروپایلها معمولاً گمانه های حفر شده و سپس تزریق شده با قطر کمتر از ۳۰۰ میلیمتری باشند و معمولاً به صورت تسلیح شده [reinforced] به کار می روند [3]. میکروپایلها می توانند نیروهای محوری و یاجانبی را تحمل کنند همچنین ممکن است آنها را به عنوان جایگزینی برای شمعهای متعارف و یا یک مولفه در ترکیب شمع-خاک به کاربرد [7].

باین روش کمترین دستخوردگی در سازه های مجاور و خاک ایجاد می شود. میکروپایلها را در تمامی انواع خاکها و نیز جاهایی که با محدودیت فضایی روبرو هستند می توان به کار برد. از تجهیزات آن در روشهای مهار زمین [ground anchore] و پروژه های تزریق نیز می توان استفاده کرد. از لحاظ سازه ای ظرفیت باربری سازه ای شمع های درجاریز توسط افزایش سطح مقطع صورت می پذیرد در حالیکه ظرفیت باربری میکروپایلها عمدتاً توسط المان فولادی درون آنها میسر می گردد. این المانهای فولادی حدود نیمی از حجم گمانه حفاری شده را در بر می گیرند. همچنین با استفاده از روشهای خاص حفاری و تزریق می توان به مقادیر زیادی از پیوند زمین-دوغاب در طول سطح مشترک بین آنها دست یافت. دوغاب بارها را از طریق اصطکاک از المان مسلح کننده به زمین در محدوده پیوند میکروپایل [micropile bond zone] منتقل می

نماید. این فرایند شبیه به روش مهار زمین می باشد. به دلیل قطر کم میکروپایلها از هر گونه سهم باربری در انتهای آنها صرف نظر میگردد [5]. مقاومت پیوند بین زمین-دوغاب به نوع زمین، روش تزریق و نیز روش حفاری بستگی دارد. عملیات تزریق با فشار و یا بدون فشار (به صورت ثقلی) صورت می پذیرد.

۲. پیشینه تاریخی

در اوایل دهه ۱۹۵۰ میلادی توسط دکتر Fernando Lizzi از تکنیک شمعهای ریشه ای [root pile] استفاده گردید. آزمایش بارگذاری این شمع های ریشه ای ظرفیتی بالغ بر ۴۰۰ کیلو نیوتن را نشان می داد. اگرچه که امروزه روشهای پیشنهادی ظرفیت باربری کمتر از ۱۰۰ کیلو نیوتن را پیشنهاد می کنند. در سال ۱۹۶۲ این روش در انگلستان استفاده گردید و در سال ۱۹۶۵ برای کارهای حمل و نقل در آلمان استفاده گردید. در این سال بود که از عنوان میکروپایل به جای شمعهای ریشه ای استفاده گردید. استفاده از این روش در آمریکای شمالی توسط Fondedile در ساختمانهایی در بوستن و نیویورک در سال ۱۹۷۳ آغاز گردید. در حال حاضر استفاده از تکنیک میکروپایل رشد فزاینده ای به خود گرفته است.

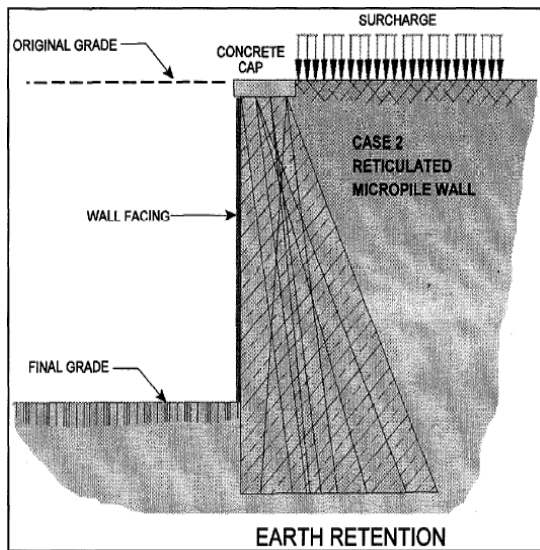
۳. تقسیم بندی سیستمهای میکروپایل

استفاده از میکروپایل در کاربردهای امروزی به دو صورت انجام می شود. روش اول فلسفه رفتاری (در مرحله طراحی) و روش دوم براساس روشهای تزریق (در مرحله ساخت) می باشند.

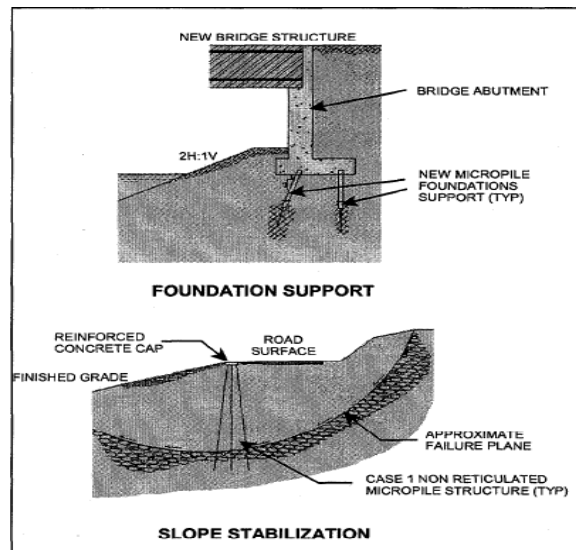
۳.۱. تقسیم بندی میکروپایل ها براساس کاربرد طراحی

طراحی میکروپایل ها به صورت تکی و یا گروهی بسیار متفاوت است از شبکه ای از میکروپایل هایی که در نزدیکی یکدیگر قرار گرفته اند. از اینرو دو نوع میکروپایل تعریف می شود. مورد یک [case 1] میکروپایل هایی هستند که به صورت مستقیم بارگذاری می شوند و المان مسلح کننده بار اعمالی را تحمل می کند. در میکروپایل های مورد دو [case 2] ترکیب تسلیح شده ای از خاک به وجود می آورند. مورد دو به عنوان شبکه شمع مشبک [reticulated pile network] معرفی می شود.

مورد یک میکروپایل ها را می توان به عنوان جایگزینی برای انواع متعارف شمعها برای انتقال بار سازه ای به عمقهای بیشتر (لايه های مستحکم تر) به کار برد. در این شرایط در شمع های تکی بار ابتدا توسط عامل تسلیح کننده فولادی و از لحاظ ژئوتکنیکی توسط پیوندهای دوغاب-خاک منتقل می گردد. حداقل ۹۰ درصد کاربرد میکروپایل ها از مورد یک می باشد. اینگونه میکروپایلها به گونه ای طراحی می شوند که به صورت تکی عمل کنند هرچند که ممکن است به صورت گروهی نیز اجرا شوند. مورد ۲ میکروپایل ها شامل شبکه ای از شمع های گروهی می باشند که به عنوان مولفه هایی جهت تسلیح خاک به کار می روند. مورد ۲ میکروپایل ها به خوبی مورد ۱ عمل تسلیح را انجام نمی دهند زیرا خود آنها به صورت انفرادی بار را تحمل نمی کنند. همچنین یک فلسفه طراحی ترکیبی در بین میکروپایلهای مورد ۱ و مورد ۲ وجود دارد.



شکل ۲- مورد دو میکروپایلها [3]



شکل ۱- مورد یک میکروپایلها [3]

۲.۳. تقسیم بندی میکروپایل ها بر اساس نوع ساخت:

ظرفیت پیوندین زمین-دوغاب مستقیما به روش تزریق بستگی دارد. بر اساس روش تزریق چهار طبقه بندی A، B، C و D وجود دارد. همچنین با استفاده از کیسینگ در حین حفاری و عامل تسلیح کننده طبقه بندی های جزئی نیز به وجود می آید [7].
نوع A: قرارگیری دوغاب به روش ثقلی انجام می پذیرد.

نوع B: تزریق دوغاب معمولا با فشار ۰/۵ تا ۱ مگاپاسکال انجام می شود.

نوع C: شامل دو مرحله تزریق می باشد. ابتدا دوغاب خالص به صورت ثقلی تزریق می شود و سپس (قبل از گیرش اولیه بعد از ۱۵ تا ۲۵ دقیقه) دوغاب توسط لوله های تزریق شیاردار، بدون استفاده از پکر (در سطح مشترک بین منطقه پیوندی) با حداقل فشار ۱ مگاپاسکال انجام می شود.

نوع D: شامل دو مرحله تزریق می باشد. در مرحله دوم تزریق پس از گیرش دوغاب در تزریق اولیه، تزریق توسط لوله های شیاردار با فشار ۲ تا ۸ مگاپاسکال انجام می گیرد.

۴. کاربرد میکروپایل هادر پروژه های حمل و نقل

امروزه میکروپایل ها را عمدتا در دو مورد به کار می برند. برای نگهداری سازه ای و به صورت محدودتری برای تسلیح خاک در محل به کار می روند.

برای نگهداری سازه، میکروپایلهای با قطر کم می توانند جایگزین شمع های متعارف گردند. میکروپایلهای مورد استفاده برای نگهداری سازه ای معمولا به صورت مستقیم بار به آنها اعمال می شود. بنابراین از فلسفه طراحی نوع ۱ برای طراحی استفاده می شود. عمدتا شمعهای به کاررفته در این روش شامل نوع A (تزریق توسط ثقل و پیوند با خاک و سنگ)، نوع B (تزریق با فشار)، نوع D (تزریق نهایی post grouted) می باشد. این میکرو پایلها به صورت انفرادی به عنوان نگهدارنده سازه ای در پروژه های حمل و نقل به کار می روند.

ایک نکته حائز اهمیت است که در روشهای تسلیح در محل برای پایدارسازی شیبها و نگهداری زمین می توان از فلسفه طراحی نوع ۱ و نوع ۲ استفاده کرد. میکرو پایلهای استفاده شده در این روش عمدتا از نوع A می باشند. تحقیقات Pearman نشان می دهد که در صفحه گسیختگی، میکرو پایلهادر معرض نیروهای برشی و خمشی قرار دارند. در چنین شرایطی میکروپایلهای مورد استفاده عمدتا از نوع B و A می باشند.

جدول ۱- تقسیم بندی اداره بزرگراههای آمریکا (۱۹۹۷) [3]

تسلیح خاک در محل			نگهداری سازه ای		
پایداری سازه ای	کاهش نشست	مستحکم سازی زمین	پایدارسازی شیب و نگهداری زمین	- تقویت فونداسیون موجود - فونداسیونهای جدید - مقاومسازی لرزه ای	کاربرد
نوع ۲	نوع ۲	نوع ۲ به همراه مقدار کمی از نوع ۱	نوع ۱ و نوع ۲ به همراه واسطه ها	نوع ۱	رفتار طراحی
نوع A در خاک	نوع A در خاک	نوع A و نوع B در خاک	نوع A و نوع B در خاک	- نوع A (در سنگ و رسهای سخت) - نوع B, C و D در خاک	براساس ساخت
حدود ۵ در صد				احتمالا ۹۵ درصد از کاربردها در دنیا	تخمینی از میزان کاربرد

جدول ۲- تقسیم بندی میکروپایلهای از لحاظ کاربرد [3]

تقسیم بندی میکروپایلهای از لحاظ کاربرد	
نگهدارنده سازه ای	تسلیح در محل
نگهدارنده زمین (earth retention) فونداسیون برای سازه های جدید تقویت پی های موجود مقاومسازی لرزه ای	پایدار سازی شیب مستحکم سازی زمین و محافظت کاهش نشست پایداری سازه ای

امروزه تحقیقات زیادی در خصوص تسلیح خاک در محل به وسیله میکروپایلهای در فرانسه آلمان، اتریش و ژاپن در حال انجام می باشد.

۵. عوامل موثر در انتخاب میکروپایلها

الف- ملاحظات فیزیکی، ب- شرایط زیر سطحی، ج- شرایط محیطی و د- سازگاری با سازه موجود در شرایط یکسان میکروپایلهای عمودی ممکن است در ظرفیت باربری جانبی و از لحاظ اقتصادی محدودیتهایی داشته باشد و از لحاظ باربری محوری میکروپایلها به دلیل سطح مقطع کم آنها نیز محدودیت دارند.

جدول ۳- مقادیر $\alpha_{bond-no\ min\ al-strength}$ (پیوند دوغاب-زمین) برای طراحی اولیه در میکروپایلها (کیلوپاسکال) [3]

تشریح خاک / سنگ	دامنه تغییرات مقاومت اسمی پیوند دوغاب به زمین			
	نوع A	نوع B	نوع C	نوع D
سیلت و رس (نرم، پلاستیسیته متوسط)	۳۵-۷۰	۳۵-۹۵	۵۰-۱۲۰	۵۰-۱۴۵
سیلت و رس (سخت، متراکم تا خیلی متراکم)	۵۰-۱۲۰	۷۰-۱۹۰	۹۵-۱۹۰	۹۵-۱۹۰
ماسه (نرم، تراکم کم تا متوسط)	۷۰-۱۴۵	۷۰-۱۹۰	۹۵-۱۹۰	۹۵-۲۴۰
ماسه (تراکم زیاد)	۹۵-۲۱۵	۱۲۰-۳۶۰	۱۴۵-۳۶۰	۱۴۵-۳۸۵
شن (متوسط-بسیار متراکم)	۹۵-۲۶۵	۱۲۰-۳۶۰	۱۴۵-۳۶۰	۱۴۵-۳۸۵
مصالح یخچالی (متوسط-بسیار متراکم-سیمانته شده)	۹۵-۱۹۰	۹۵-۳۱۰	۱۲۰-۳۱۰	۱۲۰-۳۳۵
شیلهای نرم (تازه-هوازدهگی کم یا بدون هوازدهگی)	۲۰۵-۵۵۰	-	-	-
شیلهای سخت (تازه-هوازدهگی کم یا بدون هوازدهگی)	۵۱۵-۱۳۸۰	-	-	-
سنگ آهک (تازه-باترکهای متوسط-هوازدهگی کم یا بدون هوازدهگی)	۱۰۳۵-۲۰۷۰	-	-	-
ماسه سنگ (تازه-باترکهای متوسط-هوازدهگی کم یا بدون هوازدهگی)	۵۲۰-۱۷۲۵	-	-	-
گرانیت و بازالت (تازه-باترکهای متوسط-هوازدهگی کم یا بدون هوازدهگی)	۱۳۸۰-۴۲۰۰	-	-	-

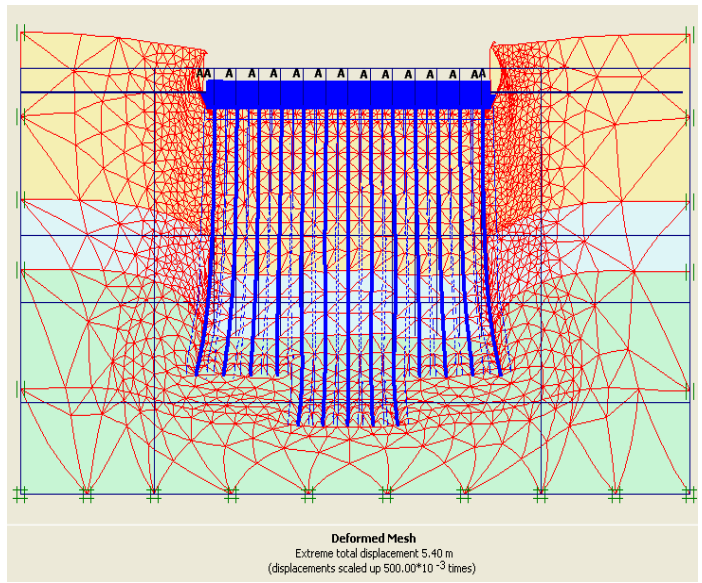
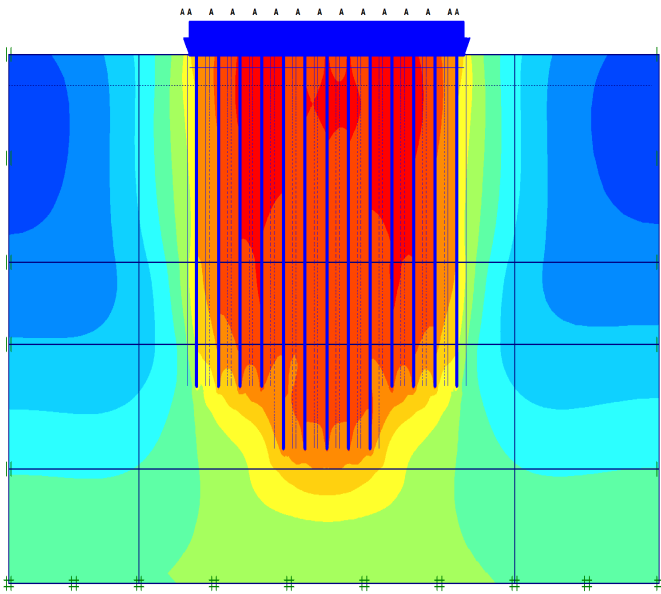
۶. مدل سازه بر روی زمین سست بدون استفاده از میکروپایل

پس از مدل سازی مخزن موجود با استفاده از نرم افزار پلاکسیس بر روی خاک مورد نظر متناسب با بارگذاری آن، براساس مشخصات فیزیکی و مکانیکی استخراج شده از لوگ گمانه ها حفاری شده، مشاهده می گردد که خاک به حالت ناپایداری کلی می رسد. از اینرو ضروری می باشد که از یکی از روشهای افزایش ظرفیت باربری خاک استفاده گردد. در این تحقیق، گزینه میکروپایل مورد بررسی قرار گرفته است.

۷. مدل سازه بر روی زمین سست با استفاده از میکروپایل و تاثیر آن بر کاهش نشست

در مدل پلاکسیس ایجاد شده براساس سازه مورد نظر، از چیدمان خاص میکروپایل در زیر مخزن استفاده گردیده است. در قسمت مرکز مخزن که تمرکز تنش بیشتری وجود دارد از میکروپایلهای تزریقی باطول بیشتری استفاده گردیده است و میکروپایلهای کناری طول کمتری دارند. معمولاً به دلیل قطر کم میکروپایلها از مقاومت نوک آنها صرف نظر می شود. استفاده از میکروپایلها به همراه تزریق سیمان پتانسیل روانگرایی را کاهش می دهد [2]. در این تحقیق پس از اختصاص دادن پارامترهای آزمایشگاهی حاصل از حفاری های ژئوتکنیکی، مدلسازی، بارگذاری و در نهایت تحلیل المان محدود توسط نرم افزار

پلاکسیس، نشست قائم محاسبه شده (۵سانتی متر) می باشد که این مقدار در محدوده استاندارد [American Petroleum Institute] API بوده و به طور موثری از نشست کلی سازه جلوگیری به عمل آورده است. علاوه بر آن پتانسیل روانگرایی رانیز کاهش می دهد.



شکلای ۳ و ۴- مدلسازی مخزن بر روی میکروپایلهای تزریقی روی خاک سست با نرم افزار Plaxis:V8.2

۸. نتیجه گیری

استفاده از تکنیک اصلاح خاک به وسیله میکروپایل به طور موثری از نشستهای کلی می کاهد. از طرف دیگر ماشین آلات و تجهیزات مورد نیاز برای نصب و اجرای میکروپایلهای، تجهیزات سبکی به شمار می روند لذا از لحاظ اجرایی و در دسترس بودن سرعت عمل مناسبی دارند. استفاده از میکروپایل در برخی موارد همانند نشست نسبی و یا کلی ساختمانها و جاهایی که با محدودیت ارتفاع مواجه می باشیم به عنوان موثرترین گزینه (و شاید تنها گزینه ممکن) جهت اصلاح خاک مطرح می باشد.

تشکر و قدردانی

از معاونت محترم مطالعات شرکت مهندسین مشاور سازاب پردازان، جناب آقای مهندس محمود حاجیشاه و نیز معاونت محترم برنامه ریزی و پشتیبانی فنی، جناب آقای مهندس زیبانچی کمال تشکر را داریم.

منابع و مراجع

۱. خشایار همتی، فرزین کلاتری، جواد نظری افشار، علی قربانی (۱۳۸۷)، "بررسی تاثیر مشخصات هندسی شمع ها بر روی میزان نشست کل

سیستم بی-شمع"، چهارمی کنگره ملی مهندسی عمران دانشگاه تهران

۲. وب سایت مرجع شمع ایران www.pile.ir

3. FHWA,(2000), “Micropile designe and construction guidline, Implementation manual”
- 4.F.Tschuchnigg, H.F.Schweiger, (2007), Computational Geotechnics Group, Institute for Soil Mechanic and Foundation Engineering, Geaze University of Technology, Graze, Austria
- 5.G.L.Sivakumar Babu, B. R.Srinivasa Murthy, D.S.N.Murthy, M.S.Nataraj, “Bearing capacity improvement using micropiles a case study”, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore
- 6.Andrew F.Brengola P.E, (2005), “Micropiles”, STRUCTURE magazine
- 7.D.A.Bruce, M.ASCE, M.E.C.Bruce, R.P.Traylor, “High capacity micropiles-Basic principles and case histories”, American Society of Civil Engineering