



تقویت پی ها بوسیله میکروپایل ها

احمد نجف آبادیان¹، حمید هاشم الحسینی²

1- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

2- دانشیار دانشگاه صنعتی اصفهان

Ahmad_naj_a@yahoo.com

Hamidh@cc.iut.ac.ir

خلاصه

میکروپایلها عناصر سازه ای هستند که معمولا جهت تقویت سازه های موجود و یا کاهش نشست ها مورد استفاده قرار می گیرد. تقویت فونداسیونها به دو منظور ایجاد میشود. 1- تقویت فونداسیون های ضعیف 2- افزایش میزان بار وارده از طرف ساختمان بر فونداسیون (برای مثال افزایش تعداد طبقات). در این مقاله روش جدیدی برای مقاوم سازی پی های سطحی بوسیله میکروپایل بصورت غیر مستقیم ارائه می گردد. در این روش یک سری دال بتنی در اطراف پی مورد نظر احداث شده و این دالهای بتنی بوسیله میکروپایلها خاک اطراف پی را تحت فشار می گذارد. عملکرد این روش بوسیله شبیه سازی عددی سه بعدی مورد بررسی قرار گرفته شده و در آن نشان داده شده است که اجرای این تمهیدات می تواند به خوبی ظرفیت باربری پی ها را بهبود بخشد. همچنین در این شبیه سازی مقدار مشارکت میکروپایلها به تنهایی و عملکرد میکروپایلها با دال بتنی بررسی گردیده است.

کلمات کلیدی: مقاوم سازی، دال بتنی، مدلسازی عددی، میکروپایل، کاهش نشست

1. مقدمه

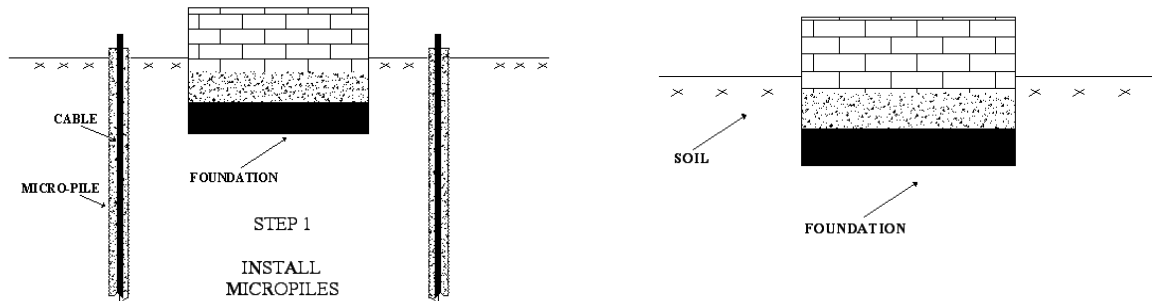
میکروپایل یا ریزشمع به شمع با قطر کوچک (کمتر از 30 سانتیمتر) اطلاق می گردد که پس از حفر گمانه با کوبش کیسینگ، آرماتور فولادی در داخل آن جایگذاری شده و بصورت درجا تزریق می شود. کاربرد آن به دلایلی نظیر صرفه جویی در زمان، کاهش هزینه های اجرایی، مصالح کمتر، امکان تجهیز و حمل سریعتر وسایل برای اجرای میکروپایل و کنترل نشستها در حال افزایش است. [1]

مقاوم سازی پی های سطحی یکی از مهمترین بخشهای مقاوم سازی سازه ها می باشد. که روشهای مختلفی برای آن تا کنون ابداع گردیده است که روشهای پی بندی و استفاده از شمع ها و ریز شمع ها از آن جمله اند. در بسیاری از این روشها مستقیما یا بصورت غیر مستقیم، خود پی یا خاک زیر آن تعویض شده و پی با المانهای سخت تری مانند شمع و ریز شمع دوخته می گردد. استفاده از این روشها همواره در مورد ساختمانهای ناپایدار و شکننده بدون خطر نیست و بخصوص در سازه های قدیمی که جنبه میراث پیدا کرده اند می توانند بحث انگیز باشد. بهترین روشهای تقویت برای این دسته از سازه ها، روشهایی است که مستقیما به پی و خاک زیر آن دست زده نشود. یکی از پارامترهای بسیار مهم در ظرفیت باربری پی ها وجود سربار می باشد. مخصوصا وجود سربار در مواردی که خاک دارای مقاومت اصطکاکی است بسیار در افزایش ظرفیت باربری موثر است.

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

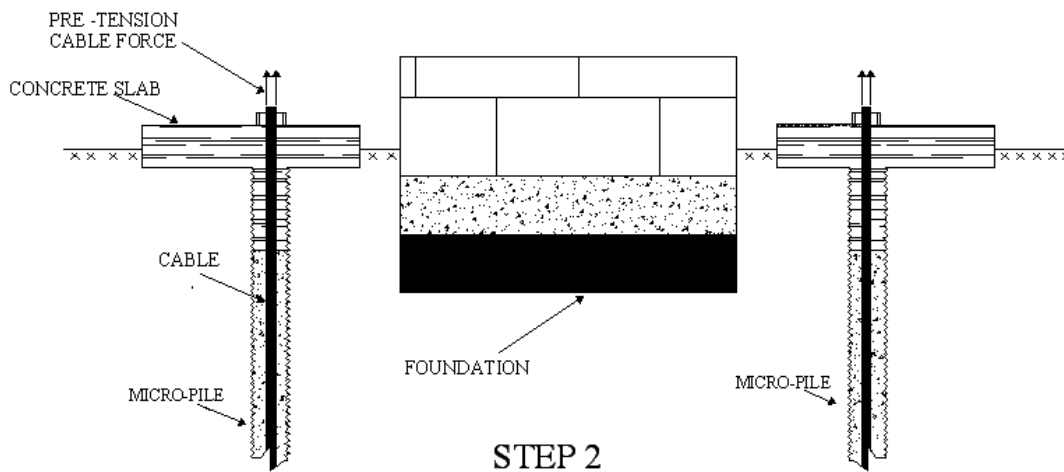
² دانشیار و عضو هیئت علمی دانشکده معدن دانشگاه صنعتی اصفهان

در این مقاله با استفاده از ریز شمع ها سعی بر آن است که فشار سربار را با استفاده از دالهای بتنی (پیش کشیده توسط ریز شمع ها) ، در اطراف پی های ساخته شده افزایش داده بدین وسیله با افزایش ظرفیت باربری بصورت غیر مستقیم پی سطحی مورد نظر مقاوم سازی می گردد. برای تحقیق بر اثر بخشی این روش مقاوم سازی از شبیه سازی عددی بهره جسته شده است. در شکل های 1 تا 3 مراحل انجام کار نشان داده شده است.



شکل 1- فونداسیون اولیه بر روی خاک

شکل 2- نصب میکروپایلها در اطراف فونداسیون



شکل 3- اجرای دال بتنی همراه با ایجاد پیش کشیدگی در کابل

2. تاریخچه

تکنولوژی میکروپایل در اوایل دهه 1950 در ایتالیا متولد شد و به مدت بیش از دو دهه بعد در آمریکا (Bruce, 1988-89) معرفی شد. خصوصاً در اواسط دهه 1980 یک رشد سریع در کاربرد آن بخصوص به عنوان المان نگهدارنده فونداسیون در کاربرد بارهای استاتیکی و لرزه ای، همچنین در مسلح سازی برجای شیب ها و پایدارسازی گود برداری ها مورد استفاده قرار گرفت. بیشتر این کارها مستقیماً به پروژه های حمل و نقل مربوط می شدند. در حال حاضر، دستورالعمل ارائه شده توسط اداره فدرال بزرگراههای آمریکا (U.S.FHWA) بعنوان مرجع قابل قبول و مورد استفاده طراحان و پیمانکاران اجرای میکروپایل می باشد. [2]

3. مدل سازی

برای شبیه سازی عددی از روش تفاضل محدود استفاده شده است. این روش قدیمی ترین تکنیک عددی برای حل معادلات دیفرانسیل است که مقادیر اولیه و شرایط مرزی آنها مشخص است. برای حل معادلات در این روش به ازای هر مشتقی که در معادلات وجود دارد. عبارت جبری بر حسب متغیرهای مساله مانند تنش، جابجایی و .. جایگزین می شود و در این روش هیچ ماتریسی تشکیل نمی شود لذا محدودیت های کمتری دارد و همچنین اجازه آنالیز جابجایی بزرگ را می دهد. نرم افزاری که بر اساس روش تفاضل محدود کار می کند Flac 3D می باشد. فرض بر این است که محیط پیوسته است. مدل رفتاری در نظر گرفته شده جهت آنالیز مدل موهر- کلمب می باشد. برای توده خاک از پارامترهای E, C, γ, ϕ, ψ استفاده می کنیم.

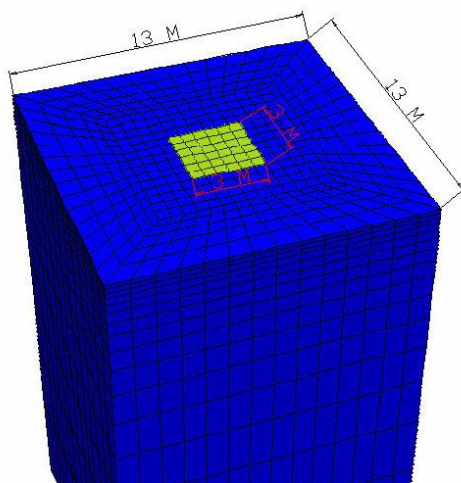
جدول 1 خصوصیات توده خاک و بتن در نظر گرفته شده جهت آنالیز را نشان می دهد.

جدول 1 خصوصیات خاک و بتن به مدل

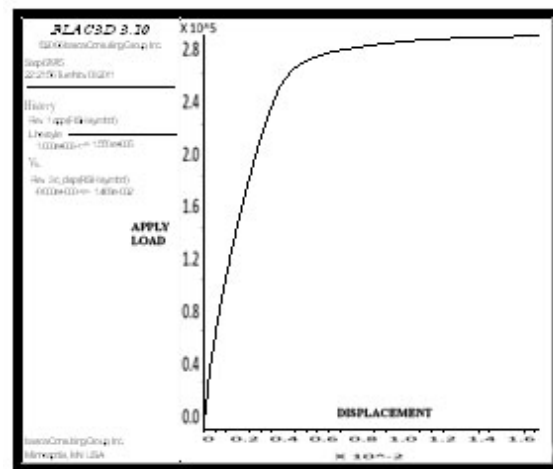
Material	Φ	E , Mpa	C , kpa	γ , kg/m ³	ψ
Soil	20,25,30,35	40	10	1.8	0
Concrete	40	210	200	2.4	0

1-4. مدلسازی طرح

در ابتدا مکعبی با ابعاد 13*13*20 متر ساخته شده می شود. (شکل 4) سپس در مرکز آن پی مربعی شکلی به ابعاد 3*3 متر در آن در نظر گرفته می شود. خصوصیات خاک به مدل در جدول 1 نشان داده شده است. سپس بر روی پی شروع به بارگذاری کرده و طی گامهای محاسباتی این بار را افزایش داده تا اینکه خاک به ظرفیت نهایی باربری خود برسد. نشست ها نیز در گامهای محاسباتی ثبت شده و تاریخچه بار بر حسب جابجایی ترسیم می گردد. نمودار حاصله در نمودار 1 نشان داده شده است.



شکل 4- ابعاد مدل و پی مربعی در مرکز



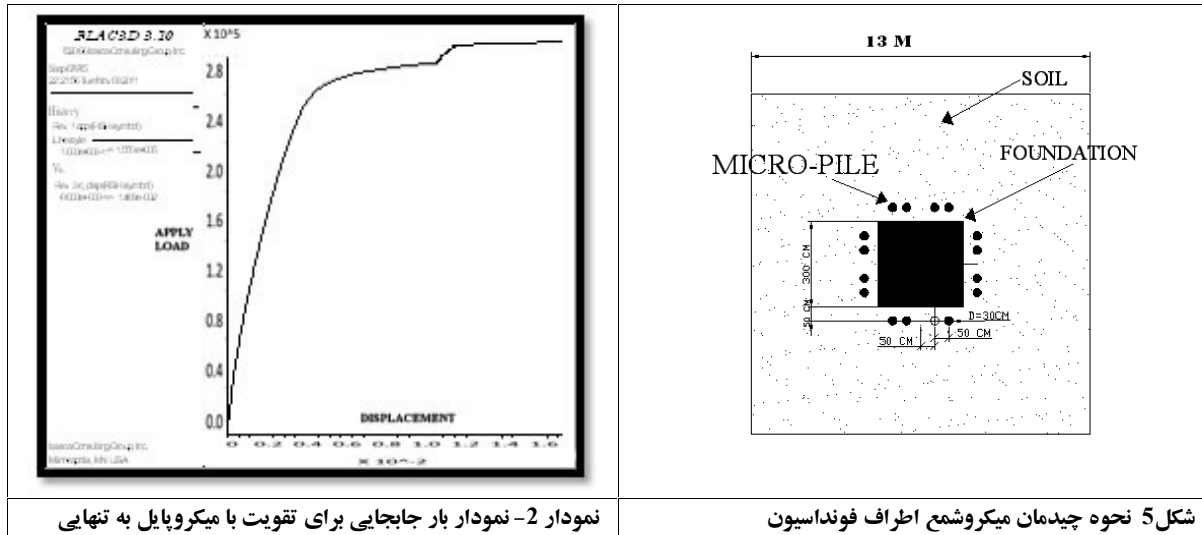
نمودار 1- نمودار بار- جابجایی

5. روشهای تقویت

1-5. عملکرد میکروپایل بدون دال بتنی

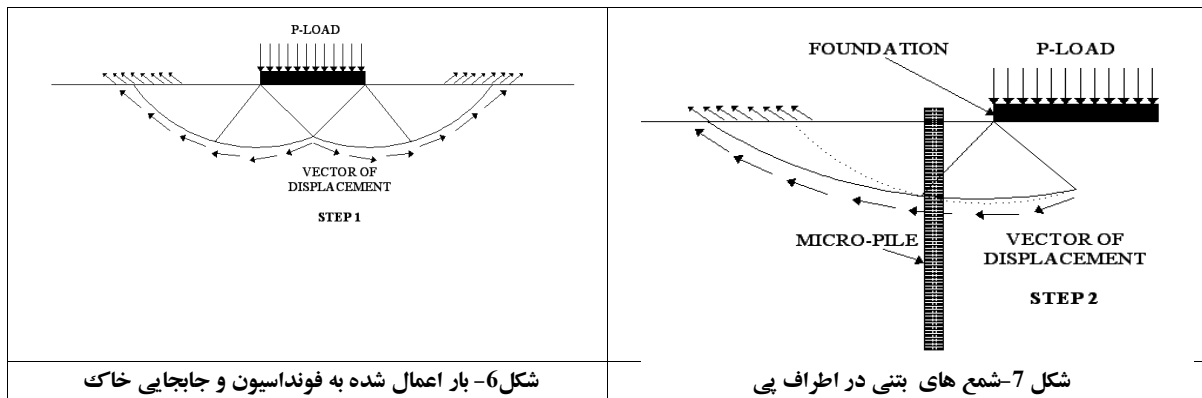
بارگذاری بر روی این پی صورت می گیرد تا اینکه شکست اتفاق افتد (نمودار 1)، سپس در فاصله 50 سانتی متری در هر طرف این پی (آکس شمع از بر پی)، حفاری های استوانه ای شکل به قطر 0.1 متر و ارتفاع 5 متر انجام می شود و از بتن پر می شود و سپس ظرفیت باربری پی مجدداً محاسبه می شود. این کار برای حفاری های استوانه ای با قطر 0.2 و 0.3 متر تکرار می شود. در حقیقت نمودار ظرفیت باربری اعمال شده نسبت به جابجایی شامل دو مرحله است، مرحله اول مربوط به حالت خاک تنها و مرحله دوم مربوط به حالتی که شمع های بتنی در اطراف پی قرار گرفته است و ظرفیت باربری را محاسبه می شود (نمودار 2). نتایج در جدول 3 نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد با این روش تقویت نهایتاً 7 درصد باعث افزایش ظرفیت

باربری می شود. شکل 5 چیدمان میکروپایلها را در اطراف فونداسیون نشان می دهد. شکل 6 جابجایی خاک در حالت ساده و در شکل 7 نشانگر شمعیهای بتنی در اطراف پی و توسعه گویه گسیختگی را نشان می دهد.



شکل 5 نحوه چیدمان میکروشمع اطراف فونداسیون

نمودار 2- نمودار بار جابجایی برای تقویت با میکروپایل به تنهایی



شکل 6- بار اعمال شده به فونداسیون و جابجایی خاک

شکل 7- شمعی های بتنی در اطراف پی

جدول شماره 2 ظرفیت باربری را برای خاک در حالت ساده و جدول شماره 3 ظرفیت باربری خاک را برای حالتی که 4 شمعی در اطراف پی قرار گرفته شده است را نشان می دهد. همچنین در جدول شماره 3 میزان کارایی این روش تقویت خاک بر حسب درصد نشان داده شده است.

جدول شماره 2 ظرفیت باربری را برای خاک در حالت ساده

$\phi=35$	$\phi=30$	$\phi=25$	$\phi=20$	زاویه اصطکاک خاک
1493	786	456	280	ظرفیت باربری محاسبه شده توسط نرم افزار (kpa)

جدول 3 ظرفیت باربری خاک به همراه 4 شمعی در اطراف آن و درصد کارایی

$\phi=30$		$\phi=25$		$\phi=20$		زاویه اصطکاک
ظرفیت باربری	ظرفیت باربری	ظرفیت باربری	ظرفیت باربری	ظرفیت باربری	ظرفیت باربری	ظرفیت باربری
درصد کارایی	ظرفیت باربری	درصد کارایی	ظرفیت باربری	درصد کارایی	ظرفیت باربری	ظرفیت باربری
	,kpa		,kpa		,kpa	ظرفیت باربری
1.01	792	1.01	460	1.01	281	10
1.02	801	1.03	470	1.03	288	20
1.05	830	1.07	486	1.06	297	30

2-5. بررسی ظرفیت باربری خاک با دال بتنی

در روش جدید برای مقاوم سازی پی های سطحی بوسیله میکروشمع ها بصورت غیر مستقیم یک سری دال بتنی در اطراف پی مورد نظر احداث شده و این دالهای بتنی بوسیله میکروشمع ها خاک اطراف پی را تحت فشار می گذارد. (شکل 5) بر طبق روشهای کلاسیک محاسبه ظرفیت باربری خاک با افزایش سربار روی خاک اطراف پی باعث افزایش ظرفیت باربری خاک می شود که این سربار اضافه تولید شده بر روی خاک توسط دال بتنی اطراف پی اعمال می شود. وجود دال بتنی به تنهایی خود نمی تواند سربار کافی را تامین کند. و این سربار با ایجاد پیش کشیدگی بوسیله کابلهای میکروپایل تامین می شود. (شکل 8)

استفاده از میکروپایلها خود باعث اولاً دوخته شدن لایه های زیرین خاک می شود و ثانیاً با تامین گیرداری کافی در انتهای میکروشمع و همچنین پیش تنیده کردن آرماتورهای میکروشمع یک نیروی زیادی جهت کشیدن دال بتنی به سمت خاک و به تبع آن افزایش سربار وارده می شود. که اجرای این تمهیدات می تواند ظرفیت باربری پی ها را بهبود بخشد. همچنین در این شبیه سازی عملکرد میکروشمع ها با دال بتنی بررسی گردیده است. همانند حالت قبل ظرفیت باربری خاک را یک بار در حالت ساده محاسبه شده و در مرحله دوم خاک تقویت می شود. این بار اطراف پی با یک دال بتنی به عرضهای مختلف در اطراف آن اجرا می شود. (شکل 3)

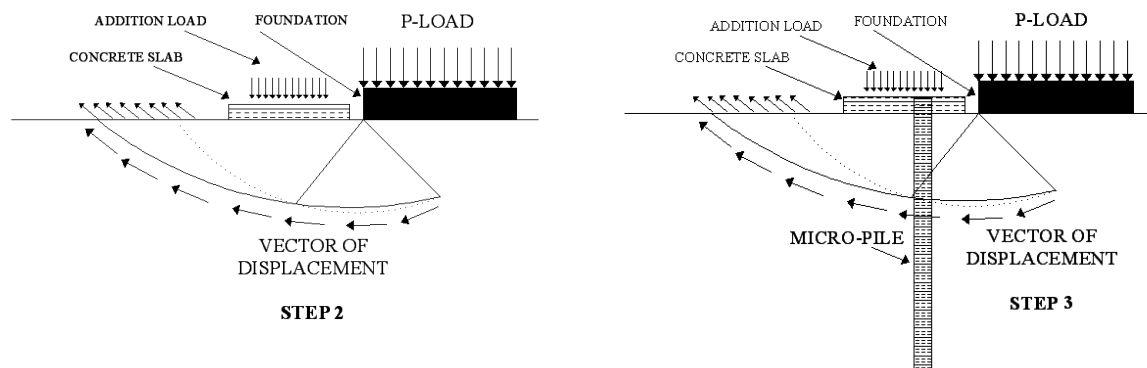
3-5. بررسی ظرفیت باربری خاک با میکروپایل توام با دال بتنی

همانند حالت های قبلی پس از رسیدن به حالت شکست خاک، مقاوم سازی خاک شروع شده در حالت اول فقط از میکروپایل استفاده شد به دلیل کم بودن درصد کارایی این روش از دال بتنی استفاده شد در حالت سوم هم میکروشمع و هم دال بتنی تواماً وارد عمل شده و باعث بهبود ظرفیت باربری می شود. (شکل 9) حالت دوم و سوم در نمودار 3 با یکدیگر مقایسه شده است.

اعداد روی محور قائم درصد کارایی و عدد روی محور افقی بیانگر نوع تسلیح می باشد. اولین عدد نمایانگر بعد دال و عدد دوم آن بیانگر میزان نیروی وارده بر روی واحد سطح می باشد (برحسب کیلوگرم بر متر مربع). برای مثال عدد 1.5-0.2 به این معناست که دالی به عرض 1.5 متر و نیروی وارد بر روی آن به اندازه (0.2 kg/m^2) می باشد.

طبیعتاً مشاهده می شود که درصد کارایی دال به همراه میکروپایل حدود 5 الی 10 درصد بیشتر از حالتی است که فقط از دال بتنی استفاده شده است می باشد. (شکل 9) نمودار بار و جابجایی برای سه حالت در نمودار 4 ترسیم شده است. در شکل 10 بردارهای جابجایی خاک نشان داده شده است و نشان می دهد که گوه گسیختگی تا حد زیادی توسعه یافته و بردارهای جابجایی بسیار کوچک می شوند.

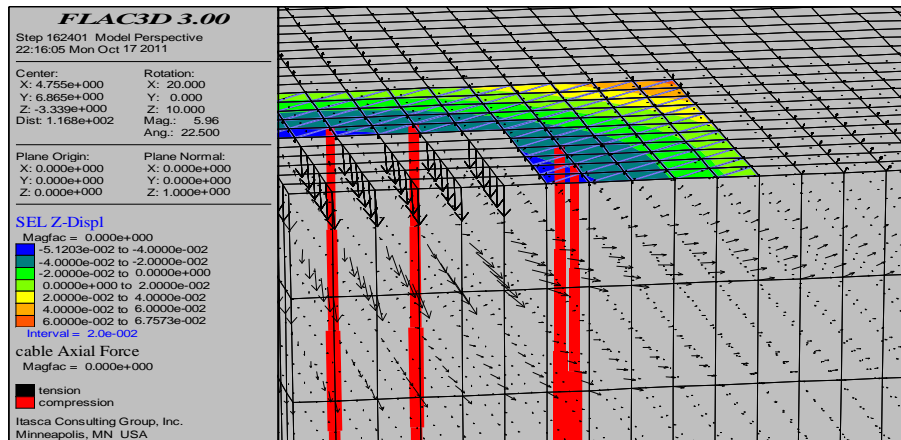
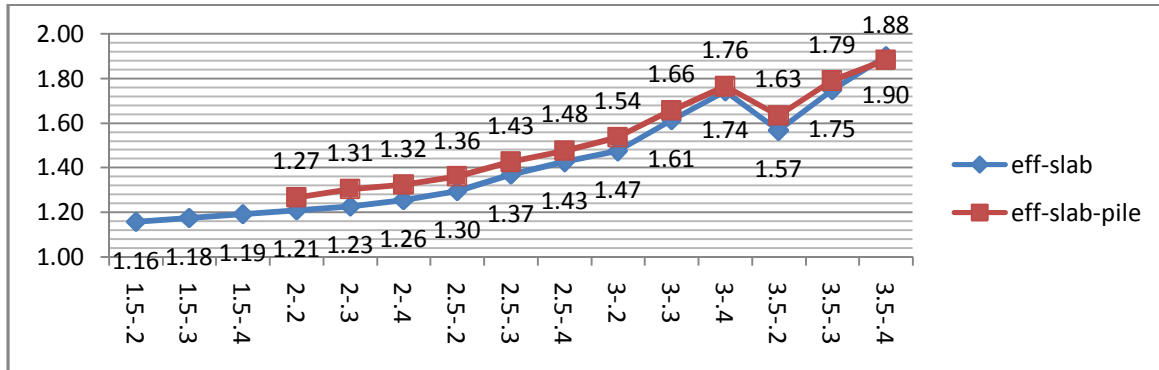
در روش جدید با توجه به اینکه میکروپایلها تحت کشش هستند هیچگونه نگرانی در مورد کماتش آنها نیست. تحت کشش بودن آنها و همچنین وجود سربار از طرف دال بتنی اجازه می دهد تا مقادیر زیادی بار را بتوان بر روی خاک وارد نمود.



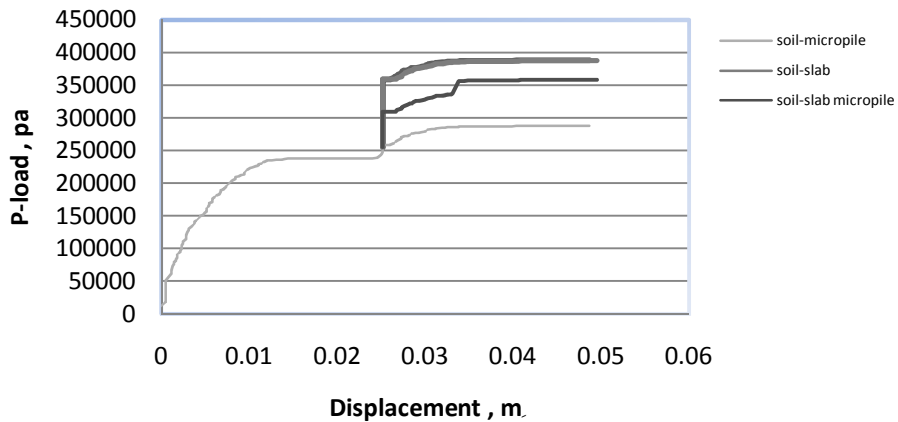
شکل 8. خاک با دال بتنی

شکل 9. خاک با میکروپایل توام با دال بتنی

نمودار 3- بررسی ظرفیت باربری خاک با میکروپایل توام با دال بتنی



شکل 10 - جابجایی خاک در اطراف شمع و دال



نمودار ۴- نمودار بار - جابجایی

6. دامنه کاربرد

میکروپایل علاوه بر آنکه قابلیت تحمل بارهای قائم و افقی را بصورت یک شالوده شمعی دارا است، باعث بهسازی زمین بدلیل تزریق خاک اطراف می شود. لذا میکروپایل در مقایسه با سایر روشهای بهسازی که فقط خصوصیات مکانیکی خاک را بهبود می دهند و نیز در مقایسه با شمع که فقط بعنوان عنصر باربر عمل می کند، بدلیل عملکرد مرکب (المان باربر و اصلاح خاک) دارای برتری می باشد. [3]

در صورتیکه قرار باشد اجرای میکروپایل به همراه تزریق دوغاب سیمان علاوه بر بهبود مشخصات مقاومتی خاک، می تواند نقش تأمین باربری ستونهای روی پی و انتقال بار به لایه های عمیق تر را نیز ایفا نماید.

طول میکروپایل متناسب با ظرفیت باربری لازم محاسبه خواهد گردید. در این میان با انتخاب روش اجرای میکروپایل به همراه تزریق دوغاب سیمان برای پروژه مورد نظر، بررسی چیدمان ریزشمع ها در پلان و محاسبه عمق بهینه آنها، به عنوان مهمترین عناصر طرح بهسازی مطرح می باشند. بدین ترتیب نظم در چیدمان ریزشمعها باعث توزیع یکنواخت عکس العمل تکیه گاهی در زیر پی ساختمان گردیده و پیکره سازه ای پی فوقانی نیز بر این اساس بصورت همگن و بهینه طرح خواهد گردید.

با توجه به جمیع ملاحظات فوق، میکروپایل در مقایسه با سایر روشهای بهسازی خاک دارای ویژگیهای بارزی می باشد. همانگونه که قبلاً ذکر گردید، اجرای میکروپایل بدلیل سهولت فراوان اجرایی، امکان اجرا در چند جبهه مختلف کاری و اجرای پی در پی و همزمان کلیه مراحل ساخت، در مقایسه با روشهای دیگر از سرعت بسیار بالایی برخوردار خواهد بود. همچنین عدم نیاز به امکانات خاص برای تجهیز و در نتیجه عدم اتلاف وقت جهت آغاز عملیات اجرایی در مقایسه با سایر روشها، از مزایای این روش به حساب می آید. [4]

تقویت بناها و همچنین کنترل نشست چالشی بسیار مهم که مهندسین ساختمان با آن درگیرند. بخصوص در مورد بناهای تاریخی این مساله بیشتر حائز اهمیت می باشد. به طور معمول در مورد بناهای تاریخی هر گونه دستکاری در سازه و فونداسیون آنها به لحاظ اهمیت بنا یا غیر ممکن بوده و یا با وسواس های بسیار همراه می باشد. از این رو تقویت فونداسیون و خاک آن از اطراف فونداسیون، به نحوی که هیچ تغییری در دستکاری در اصل فونداسیون انجام نگیرد خود مساله حائز اهمیت است. از طرفی میکروشمع ها به طور وسیعی در تقویت پی ها و بازسازی آنها مورد استفاده قرار گرفته شده است.

7. نتیجه گیری

چنانچه از نتایج اولیه بدست می آید روش پیشنهادی (اضافه کردن سربار بوسیله میکروپایلها) می تواند بدون آسیب رسانی به پی، آن را تقویت کرده و ظرفیت آن را تا چند برابر افزایش می دهد. همچنین نشان داده شده که این افزایش عمدتاً به خاطر فشار سربار می باشد و میکروپایلها به تنهایی نمی توانند زیاد موثر باشند. و این افزایش ظرفیت از طریق کشش اعمالی توسط میکروپایلها به دال بتنی اعمال می گردد نه فقط به خاطر وجود میکروپایلها. ابعاد دال سطحی با ابعاد فونداسیون تقویت شده رابطه مستقیم دارد بطوریکه هرگاه ابعاد دال سطحی را افزایش دهیم گوه گسیختگی ایجاد شده بزرگتر شده و به تبع آن وزن گوه افزایش یافته و احتمال گسیختگی کمتر می شود. همچنین جابجایی ها بصورت چشمگیری کاهش می یابند.

8. مراجع

- [1]. Bruce, D.A., Ingle, J.L. and Jones, M.R. (1985). "Recent Examples of Underpinning using minipiles". Reprinted from The Second International Conference of Structural Faults and Repairs. 30 th April-2nd May
- [2]. FHWA (2000). "Micropile design and construction guidelines". US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Priority Technologies Program, Implementational, manual, Publication No. FHWA -SA-97-070, June 2000.
- [3]. "structure interaction- effects of nonlinearity of soil and micropile-soil interface". 4th International Flac Symposium on Numerical in Geomechanics-2006.
- [4] Thomson, P., Leew, B., Zakeri, A., Becker, D.E., and Bunce, C. 2007. Axial Compression, Axial Tension and Lateral Load Response of Preproduction Micropiles for the CPR Mile 62.4 Nipigon Subdivision Bridge. Proceedings of International Society for Micropiles - ISM 2007