

امکان سنجی استفاده از میکرو پایل در فونداسیون های برج های انتقال نیرو

علی دربان
پژوهشگاه نیرو
تهران - ایران

سلیمان رضازاده
پژوهشگاه نیرو
تهران - ایران

علی اصغر ذکاوتی
پژوهشگاه نیرو
تهران - ایران

واژه های کلیدی: میکروپایل، فونداسیون، بهسازی خاک، شمع، خطوط انتقال نیرو

چکیده

هزینه اجرا و مصالح فونداسیون یکی از بخش های پر هزینه خطوط انتقال نیرو است. خصوصاً اگر وضعیت منطقه از لحاظ مقاومت خاک و سفره های آب زیرزمینی نامناسب باشد. رویکرد اصلی این مقاله بر روی ارائه راهکاری مناسب و اقتصادی جهت بهسازی خاک این مناطق و کاهش هزینه بالای اجرای فونداسیون های معمول است. یکی از بهترین روش های بهسازی خاک های ضعیف و کاهش هزینه های فونداسیون، استفاده از میکروپایل است. میکروپایل به شمع-هایی با قطر کوچک اطلاق می گردد که غالباً با تسلیح فولادی سبک و تزریق دوغاب سیمان همراه است. میکروپایل علاوه بر آنکه به عنوان یک المان باربر و مقاوم در برابر نشست عمل می کند، بدلیل تزریق دوغاب سیمان، سبب بهبود مشخصات مکانیکی خاک اطراف نیز می گردد. اجرای میکروپایل بدلیل سهولت فراوان و امکان اجرا در چند جبهه مختلف کاری در مقایسه با روش های دیگر از سرعت بالایی برخوردار است. با توجه به بررسی های بعمل آمده هزینه اجرای فونداسیون با استفاده از میکروپایل در حدود ۲۰ الی ۲۵ درصد کمتر از روش های معمول است. همچنین مشکلات اجرایی خاکبرداری با حجم زیاد و انجام عملیات در زیر سطح آب زیرزمینی برطرف می گردد.

مقدمه

با توجه به افزایش کارخانجات صنعتی، رشد سریع مصرف برق در کشور و به دنبال آن لزوم گسترش شبکه های انتقال و فوق توزیع، بخش قابل توجهی از بودجه صنعت برق کشور به احداث خطوط انتقال و فوق توزیع نیرو اختصاص می یابد. از طرفی با توجه به بررسی های به عمل آمده هزینه های فونداسیون بخش قابل توجهی از هزینه تمام شده اجرای خطوط انتقال نیرو را به خود اختصاص می دهند. در مناطقی همچون گیلان که دارای خاک ضعیف هستند هزینه فونداسیون بیشترین بخش از هزینه اجرای خطوط انتقال را به خود اختصاص می دهد. در مقاله ای که توسط عاشوری و دوستی تحت عنوان «رویکردی نوین در اجرای خطوط انتقال و فوق توزیع نیرو با محوریت کاهش هزینه های تمام شده [۱]» منتشر شد، هزینه هر یک از بخشهای خطوط انتقال نیرو در استان گیلان در قالب شکل شماره ۱ ارائه گردیده است. همانطور که در نمودار مذکور نشان داده شده است، در استان گیلان بخش فونداسیون با حدود ۳۴/۷۸٪ و بخش خرید برج با حدود ۲۲/۸۳٪ و در مجموع با ۵۷/۶۱٪ بیشترین نقش را در هزینه های تمام شده خطوط انتقال نیرو دارا می باشند [۱].

بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق

- روش های تراکمی (تراکم دینامیکی و ...)
- روش های مسلح سازی (شمع زهکش کم ارتعاش و ...)
- روش های ایجاد چسبندگی (تزریق شیمیایی و ...)
- روش های حفاری و جایگزینی (دیوار دوغابی و ...)
- روش های تغییر فیزیکی و شیمیایی (اختلاط خاک و ...)
- روش های تبدیل بیولوژیکی (تقویت ریشه ای و ...)

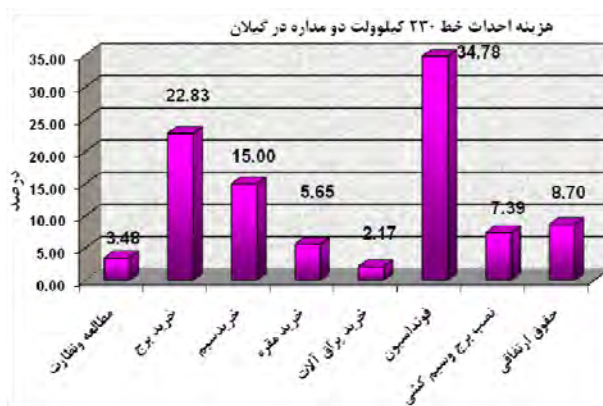
در خصوص فونداسیون های خطوط انتقال نیرو برخی از روش های فوق مانند روش های مسلح سازی، علاوه بر اصلاح شرایط خاک با استفاده از المانهای باربر نظیر شمعهای زهکش کم ارتعاش (Low Vibration Drain Piles) میکرو پایله (ریز شمع ها) و ... باعث افزایش عملکرد فونداسیون میشوند.

اما روش هایی همچون اجرای شمعهای زهکش کم ارتعاش که برای جلوگیری از مکانیسم روانگرایی و حفظ مقاومت خاک در خاکهای غیرچسبنده اشباع استفاده می شود و یا بکارگیری روش ابرتراکم (Dynamic Consolidation) که در خاکهای چسبنده استفاده می شود بدلیل شرایط اقلیمی مناطق جلگه ای، بارهای موجود بر روی فونداسیون و هزینه بالای تجهیزات مورد نیاز، از لحاظ اقتصادی به صرفه نیست. با توجه به بررسی های به عمل آمده که به آن اشاره خواهد شد اجرای میکروپایل در فونداسیون های خطوط انتقال نیرو به دلیل شرایط خاص اجرایی و تثبیت همزمان خاک اطراف فونداسیون گزینه مناسبی برای کاهش هزینه های ناشی از خاک برداری و حجم بالای بتن ریزی می باشد.

ویژگی های میکرو پایل

میکروپایل به شمع های با قطر کوچک (کوچکتر از ۳۰۰ میلیمتر) اطلاق می گردد که غالباً با تسلیح فولادی سبک (شکل ۲) و تزریق دوغاب سیمان همراه می باشند. میکروپایل علاوه بر آنکه به عنوان یک المان باربر و مقاوم در برابر نشست عمل میکنند، بدلیل تزریق دوغاب سیمان، سبب بهبود مشخصات مکانیکی (مقاومتی و رفتاری) خاک اطراف نیز میگردد. (شکل ۳)

بدلیل سست بودن خاک چنین مناطقی و سطح بالای سفره آب زیرزمینی، جهت رسیدن به بستر مناسب و اجرای فونداسیون بتنی میزان خاکبرداری و بتن ریزی بسیار بالا و پرهزینه است.



شکل ۱) درصد هریک از اجزای خطوط انتقال نیرو (استان گیلان) [۱]

بدلیل آشنایی کم دست اندرکاران پروژه ها در خصوص روش های بهسازی عملاً منجر به استفاده محدود در کشور ما شده است. در حالیکه امروزه بطور گسترده ای از این روشها در جهان استفاده میشود. رویکرد اصلی این مقاله بر روی ارائه راهکاری مناسب و اقتصادی جهت بهسازی انواع خاک اشباع چسبنده و غیر چسبنده و کاهش هزینه های بالای ناشی از اجرای فونداسیون های معمول است.

روشهای بهسازی جهت افزایش باربری و بهسازی خاک

بطور کلی در مواجهه با خاکهای مسئله دار نظیر خاکهای سست با قابلیت باربری کم، نشست پذیری زیاد، روانگرا، خاکهای دستی و ... دو راه پیش روی مهندسین ژئوتکنیک قرار دارد:

الف) استفاده از المانهای باربر در خاک

ب) بهسازی و اصلاح خواص فیزیکی-مکانیکی توده خاک روشهای بهسازی و اصلاح خاک متعدد بوده و بالغ بر دهها روش است. این روشها با توجه به نوع عملیات اجرایی، مکانیسم های تغییر ژئوتکنیکی خاک، نوع دانه بندی و ... در شش گروه اصلی به شرح زیر تقسیم نمود:

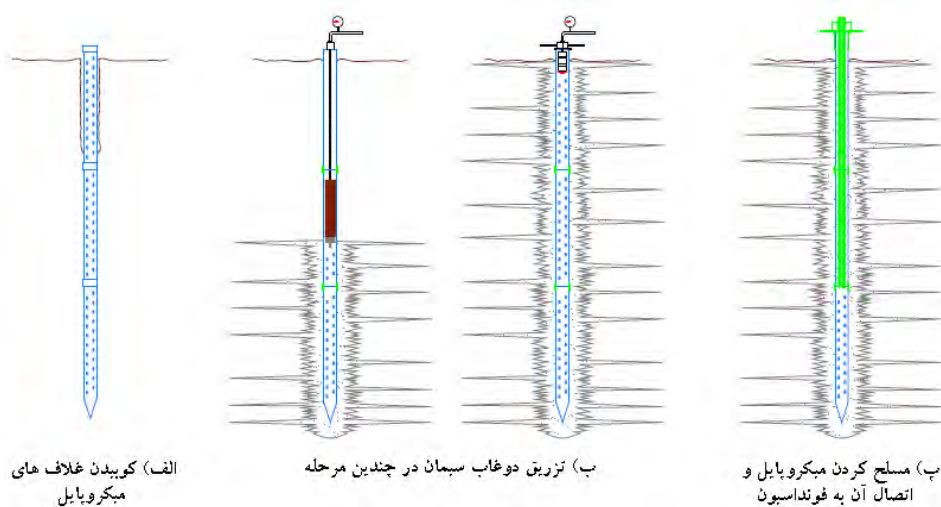
بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق

ماشین آلات اجرای میکروپایل در مقایسه با ماشین آلات اجرایی سایر روشها دارای ابعاد و حجم کمتری میباشد، لذا علاوه بر آنکه دارای قابلیت حمل و جابجایی آسان در کارگاه میباشد، امکان اجرای عملیات در چند جبهه کاری مختلف بدون تداخل کاری را فراهم مینماید. یکی از برترین ویژگیهای میکروپایل قابلیت اجرای بسیار ساده در شرایط وجود آب زیرزمینی است. در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالا بوده و حفاری های قطر بزرگ جهت اجرای شمعهای بتنی نیازمند پایدارسازی دیواره چاهکها و تخلیه آب زیرزمینی و ... میباشد، اجرای میکروپایل از سطح زمین و تزریق دوغاب سیمان از داخل آن، با سرعت فراوان انجام پذیرفته و بعلت چگالی و ویسکوزیته بیشتر دوغاب سیمان، آب حفره ای در اثر فشار دوغاب سیمان تخلیه و با دوغاب سیمان جایگزین می گردد. 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 مزیت های این روش به حساب می آید.

باتوجه به این امر که اجرای میکروپایل مبتنی بر استفاده از حجم کم مصالح مشتمل بر فولاد و سیمان، هزینه های پائین تجهیز کارگاه و نیز حجم بالای کار نیروی انسانی در زمان کوتاه می باشد، روش میکروپایل در مقایسه با سایر روشهای بهسازی نظیر اجرای شمع بتنی و فولادی، تثبیت با سیمان، اجرای ستونهای شنی، تراکم دینامیکی و غیره که مبتنی بر استفاده از حجم زیاد مصالح و یا بکارگیری ماشین آلات سنگین و گرانبه می باشند، اقتصادی تر است.



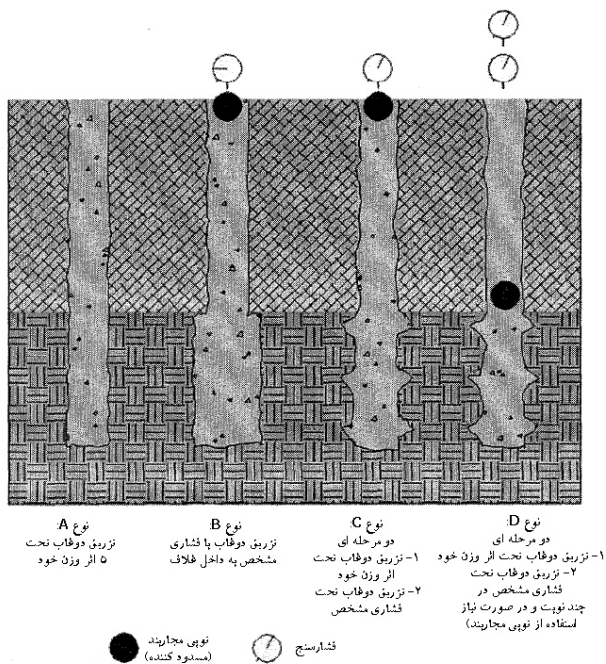
شکل ۲) غلاف های فلزی میکروپایل



شکل ۳) مراحل اجرای ریز شمع در ایران

بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق

ضوابط و مفاهیم طراحی



ریز شمع ها نیز همانند سایر المان های ژئوتکنیکی دارای دو ظرفیت باربری سازه ای و ژئو تکنیکی می باشند. ظرفیت باربری ژئوتکنیکی ریز شمع ها عمدتاً از طریق اصطکاک جداری و پیوند سیمانی ناشی از تزریق دوغاب سیمان در اطراف ریزشمع تامین میگردد. ظرفیت باربری ریزشمع بر اساس روابطی که در مراجع توصیه شده دارای بازه گسترده ای می باشد که این روابط با توجه به روش اجرا و نوع خاک نتایج متفاوتی از باربری را بدست می دهند. یکی از مراجع معتبر جهت طراحی ریز شمع دستورالعمل ارائه شده توسط اداره بزرگراه های ایالات متحده آمریکا [۲] میباشد.

سیستم طبقه بندی ریزشمع ها بر اساس دو معیار است:

۱) چگونگی رفتار (طراحی)

۲) روش تزریق (ساخت)

شکل ۴) طبقه بندی ریزشمع ها بر اساس نحوه تزریق [۲] مقایسه

اقتصادی فونداسیون اجرا شده خطوط انتقال نیرو با میکرو پایل و

بدون میکرو پایل

یک نمونه فونداسیون دکل ۲۳۰ کیلو ولت اجرا شده به عنوان فونداسیون شاهد جهت مقایسه اقتصادی استفاده از میکروپایل در نظر گرفته شده است.

شرایط منطقه ای در نظر گرفته شده شامل موارد زیر است:

- خاک منطقه فوق از نوع Poor Soil Submerge 0.5 kg/cm² در نظر گرفته شده است.

- سفره آب زیر زمینی در عمق ۰/۵ متری سطح زمین موجود است.

- دکل فوق دکل زاویه است و به دلیل صرفه جویی در هزینه های ساخت از دو نوع فونداسیون کششی و فشاری استفاده شده است.

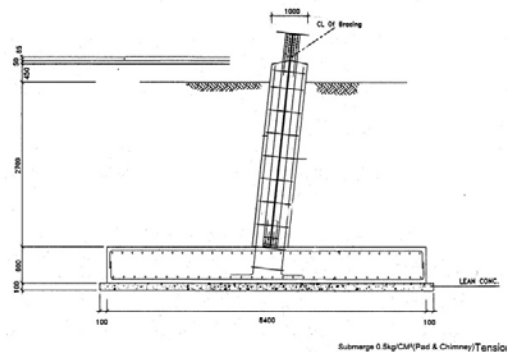
شکل ۵ و ۶ فونداسیون های کششی و فشاری موجود را نشان میدهد. نیروهای موجود در پای دکل مطابق جدول زیر میباشد:

چگونگی رفتار، روش منتخب در طراحی را مشخص می کند. روش تزریق، ظرفیت چسبندگی بین خاک و دوغاب را مشخص می کند، که عمده کنترل ظرفیت شمع مربوط به همین قسمت می شود. بر اساس رفتار، ریزشمع ها را می توان به دو نوع یک و دو تقسیم کرد. طراحی یک ریزشمع منفرد یا گروهی متفاوت از شبکه ریزشمع های سه بعدی است. این تعریف به نوع ۱ از ریزشمع اشاره دارد که مستقیماً تحت بارگذاری قرار گرفته و آرماتور شمع قسمت عمده بار وارده را تحمل میکنند. نوع ۲ از ریزشمع که باعث تسلیح خاک شده و سیستم خاک مسلح بارهای وارده را تحمل میکند. این سیستم تحت عنوان شبکه ریزشمع ها شناخته شده است. روش تزریق معمولاً حساسترین مرحله ساخت در کنترل ظرفیت ناحیه تزریق شده میباشد. ظرفیت ناحیه تزریق شده مستقیماً با روش تزریق متفاوت است. دومین مشخصه طبقه بندی ریزشمع شامل حرف (A تا D) بر اساس روش جاگذاری و فشار تزریق در هنگام ساخت میباشد. طبقه بندی بصورت شماتیک در شکل ۴ نشان داده شده است. [۲، ۳ و ۴]

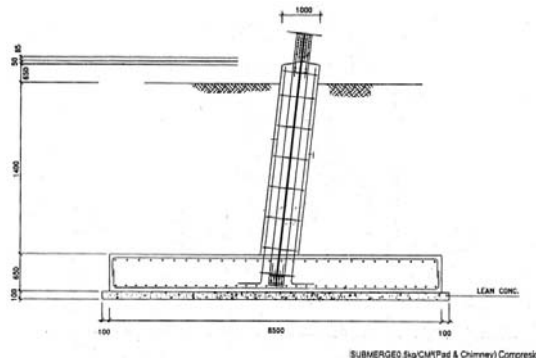
بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق

جدول (۱) نیروهای موجود در پای دکل ۲۳۰kV ر.دیف

مقارن بر حسب	نوع فونداسیون	ماکزیمم فشار	ماکزیمم کشش	برش در ماکزیمم فشار	برش در ماکزیمم کشش	فشار در حالت بحرانی ثانویه	
						برش در حالت بحرانی ثانویه	فشار در حالت بحرانی ثانویه
۱	فشاری	۲۳۰	۱۲۴	۵	۴/۵	۹	۱۸۹
	کششی	۱۵۰	۲۰۶	۴/۸	۴/۵	۹	۱۵۰



شکل (۶) ابعاد موجود فونداسیون کششی



شکل (۵) ابعاد موجود فونداسیون فشاری

این زمینه جدول ۲، ۳ و ۴ جهت برآورد میزان هزینه عملیاتیهای اجرایی ارائه می شود.

بر اساس بررسی های اولیه به عمل آمده در خصوص قیمت و هزینه های اجرایی میکروپایل مطابق با شرایط و امکانات موجود در کشور و استعلام از شرکت های فعال در

جدول (۲) برآورد هزینه اجرای فونداسیون دکل در روش معمول (فاقد میکروپایل)

ردیف	شرح آیتم	واحد	حجم	هزینه واحد (ریال)	قیمت (ریال)
۱	خاکبرداری و حمل مصالح	مترمکعب	۲۰۲۰	۳۵,۰۰۰	۷۰,۷۰۰,۰۰۰
۲	خاکریزی و تراکم	مترمکعب	۱۷۹۰	۵۰,۰۰۰	۸۹,۵۰۰,۰۰۰
۳	تهیه بتن و بتن ریزی فونداسیون	مترمکعب	۲۲۰	۱,۳۵۰,۰۰۰	۲۹۷,۰۰۰,۰۰۰
۴	میلگرد جهت استفاده در بتن فونداسیون	کیلوگرم	۱۰۵۲۰	۱۳,۰۰۰	۱۳۶,۷۶۰,۰۰۰
۵	پمپاژ آب و عملیات اجرایی در زیر سطح آب زیرزمینی	مقطوع	۱	۱۵,۰۰۰,۰۰۰	۱۵,۰۰۰,۰۰۰
	مجموع				۶۰۸,۹۶۰,۰۰۰

جدول (۳) برآورد هزینه اجرای فونداسیون دکل در روش استفاده از میکروپایل

ردیف	شرح آیتم	واحد	حجم	هزینه واحد (ریال)	قیمت (ریال)
۱	خاکبرداری و حمل مصالح	مترمکعب	۲۰۲	۳۵,۰۰۰	۷,۰۷۰,۰۰۰
۲	خاکریزی و تراکم	مترمکعب	۲۶۹	۵۰,۰۰۰	۱۳,۴۲۵,۰۰۰
۳	تهیه بتن و بتن ریزی فونداسیون	مترمکعب	۴۴	۱,۳۵۰,۰۰۰	۵۹,۴۰۰,۰۰۰
۴	میلگرد جهت استفاده در بتن فونداسیون	کیلوگرم	۲۶۳۰	۱۳,۰۰۰	۳۴,۱۹۰,۰۰۰
۵	پمپاژ آب و عملیات اجرایی در زیر سطح آب زیرزمینی	مقطوع	۰.۱	۱۵,۰۰۰,۰۰۰	۱,۵۰۰,۰۰۰
۶	تهیه مصالح و اجرای میکروپایل	متر	۴۲۰	۱۵۰,۰۰۰	۳۵۷,۰۰۰,۰۰۰
	مجموع				۴۷۲,۵۸۵,۰۰۰

بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق

جدول ۴) کاهش هزینه های اجرا فونداسیون در صورت استفاده از میکرو پایل

ردیف	شرح آیت	میزان کاهش در صورت استفاده از میکرو پایل
۱	خاکبرداری و حمل مصالح	٪۹۰
۲	خاکریزی و تراکم	٪۸۵
۳	بتن و بتن ریزی فونداسیون	٪۸۰
۴	میلگرد جهت استفاده در بتن فونداسیون	٪۷۵
۵	پمپاژ آب و عملیات اجرایی در زیر سطح آب زیرزمینی	٪۹۰

مراجع

۱) کیومرث عاشوری، مهدی دوستی "رویکردی نوین در اجرای خطوط انتقال و فوق توزیع نیرو با محوریت کاهش هزینه های تمام شده " بیست و دومین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۸۶

2) FHWA (Federal Highway Administration, US Department of Transportation), (1997), "Drilled and Grouted Micropiles" , State-of -Practice Review, Volume I, II, III and IV, Publication No. FHWA-RD 96-018.

3) Liew, S.S. and Fong, C.C., (2003), " Design and construction of micropile", Geotechnical course for pile foundation design & construction.

4) Wong, J. C. (2004), "Seismic behavior of micropiles", M.S. Thesis. Washington State University,

حجم فونداسیون (با فرض میانگین $۸/۵ \times ۸/۵ \times ۰/۶۵$ ابعاد اولیه) در صورت استفاده از میکروپایل ٪۷۵ کاهش پیدار می کند و در مجموع در صورت استفاده از این روش با در نظر گرفتن هزینه مصالح و اجرای میکروپایل ۲۰ تا ۲۵ درصد کاهش هزینه نسبت به اجرای روش معمول (بدون میکروپایل) خواهیم داشت. البته همانطور که در مطالب قبلی اشاره شد، مشکلاتی از قبیل جابجایی دستگاه های پر هزینه خاکبرداری، عملیات در زیر سطح آب زیر زمینی و ... برطرف خواهد شد و به همین دلیل زمان مورد نیاز جهت اجرای فونداسیون بسیار کاهش خواهد یافت.

نتیجه گیری

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. ماشین آلات اجرای میکروپایل در مقایسه با ماشین آلات اجرایی سایر روشها دارای ابعاد و حجم کمتری میباشد، لذا دارای قابلیت حمل و جابجایی آسان در کارگاه میباشد بخصوص در خطوط انتقال نیرو که فواصل بین برج ها زیاد است. همچنین میکرو پایل بدلیل تزریق دوغاب سیمان، سبب بهبود مشخصات مکانیکی (مقاومتی و رفتاری) خاک اطراف میگردد.

با توجه به بررسی های بعمل آمده هزینه اجرای فونداسیون با استفاده از میکروپایل در حدود ۲۰ الی ۲۵ درصد کمتر از روش های معمول است. همچنین مشکلات اجرایی خاکبرداری با حجم زیاد و انجام عملیات در زیر سطح آب زیرزمینی برطرف می گردد.