



International Conference on Civil Engineering
Architecture and urban infrastructure
۲۹-۳۰ July ۲۰۱۵, Tabriz, Iran

دومین فراخوان مقاله کنفرانس بین المللی عمران ، معماری و زیر ساخت های شهری
دبیرخانه دائمی کنفرانس تبریز ، مرداد ۹۴

ارزیابی فنی و اقتصادی ساخت دکل برق فشار قوی به وسیله میکروپایل و روش های معمول

مهدی مهدوی عادل ، سعید قدیم نژاد*

استادیار ، گروه عمران ، دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد شوشتر ، شوشتر ، ایران
mehmahad@yahoo.com

چکیده

خطوط انتقال نیرو و یا دکل های برق از ارکان مهم در صنعت برق می باشند. با توجه به بررسی های به عمل آمده در طراحی و ساخت برج های انتقال نیرو، بیشترین هزینه مربوط به ساخت فونداسیون می باشد. طراحی یک فونداسیون با عملکرد مطلوب برای دکل ها به میزان زیادی تحت تاثیر خاک موجود در مسیر انتقال و وضعیت منطقه موجود می باشد. برای برج های انتقال نیرو از فونداسیون های گوناگونی می توان استفاده کرد، اما امروزه با پیشرفت صنعت برق، استفاده از فونداسیون های معمولی ممکن نخواهد بود. یکی از گزینه هایی که همواره به لحاظ ویژگی های برتر خود مورد توجه مهندسين بوده است، استفاده از فونداسیون شمعی می باشد. شمع ها معمولاً به صورت اتکائی، اصطکاکي و یا تراکمی مورد استفاده قرار می گیرند. اخیراً استفاده از فونداسیون های جدیدی نظیر شمع های مارپیچ و میکروپایل ها مورد توجه قرار گرفته است. در شرایطی که خاک منطقه مورد نظر سست باشد، می توان از میکروپایل ها و یا ریزشمع ها به عنوان فونداسیون خطوط انتقال نیرو استفاده کرد. استفاده از میکروپایل ها علاوه بر ایجاد نقش باربری موجب تسلیح خاک منطقه مورد نظر نیز می گردد. از طرفی استفاده از این نوع شمع ها می تواند هزینه های ساخت فونداسیون برج های انتقال نیرو را تا حدود ۳۰ درصد کاهش دهد. در این مقاله، در ابتدا انواع فونداسیون هایی که می توان برای خطوط انتقال نیرو از آن ها استفاده کرد، معرفی شده اند. در ادامه مزیت های استفاده از میکروپایل ها در اجرای فونداسیون خطوط انتقال نیرو و تاثیر آن بر هزینه های احداث در مقایسه با سایر فونداسیون ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: میکروپایل، خطوط انتقال نیرو، فونداسیون، دکل های برق.



International Conference on Civil Engineering Architecture and urban infrastructure

۲۹-۳۰ July ۲۰۱۵, Tabriz, Iran

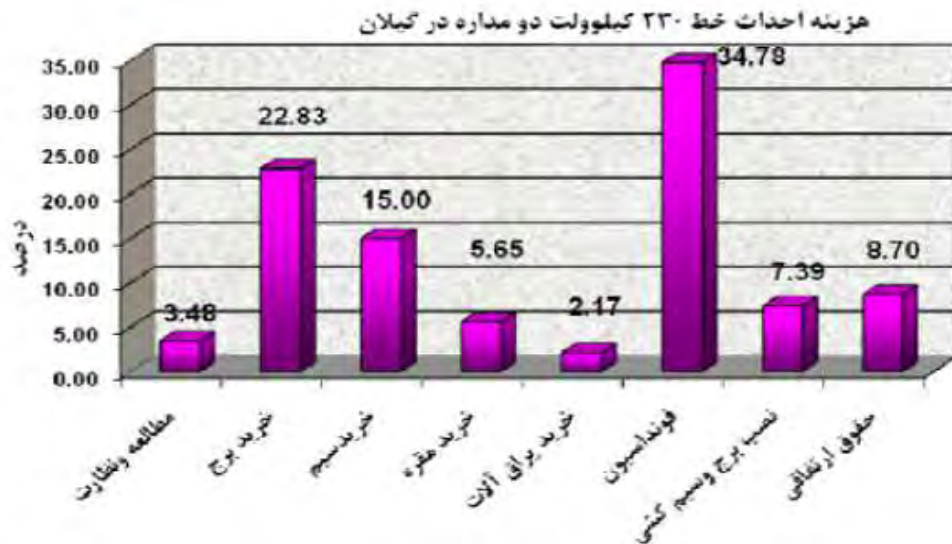
۱. مقدمه

یکی از مباحث اصلی و مهم در سیستم های انتقال نیرو و انرژی در صنعت برق، طراحی فونداسیون پایه ها می باشد. با توجه به بررسی های بعمل آمده، هزینه های اجرای فونداسیون بخش قابل توجهی از هزینه های اتمام شده خطوط انتقال نیرو را به خود اختصاص داده است [۱]. همانطور که در نمودار شکل (۱)، مشاهده می گردد، در حدود ۳۵ درصد از هزینه های اتمام شده خطوط انتقال نیرو به بخش فونداسیون اختصاص دارد. وظیفه این فونداسیون ها، نگه داری برج ها و تحمل نیروهای وارده از سمت پایه ها می باشد. یک فونداسیون با عملکرد مطلوب باید قادر به انتقال نیروهای وارده به خاک زیرین باشد. از طرفی زمین زیر پایه برج نیز باید مقاومت کافی در برابر کلیه فشارهای وارده را داشته باشد. همچنین وزن فونداسیون و خاک باید قادر باشد تا نیروی کششی که تمایل به بیرون کشیدن فونداسیون از زمین را دارد، تحمل نماید. منظور از نیروهای کششی، برآیند ممان نیروهای افقی است، که لازم است نیروهای قائم و وزن برج در مقابل این نیروی کششی مقاومت کنند و به همراه نیروی وزن فونداسیون و خاک زیرین آن، آن ها را خنثی کنند. نیروهای فشاری که به فونداسیون برج های انتقال نیرو و یا دکل های برق وارد می شود، شامل نیروی قائم وارد بر بازوهای برج، وزن برج و نیروهای حاصل از ممان ایجاد شده توسط نیروهای افقی می باشد.

فونداسیون های برج های انتقال نیرو و دکل ها، به علت نقش مهمی که در نگه داری و امنیت سیستم انتقال دارند، حائز اهمیت فراوانی می باشند و لازم است تا طراحی و نظارت بر اجرای آن ها به خوبی انجام گردد. به علت طیف وسیع خاک هایی که در مسیر انتقال نیرو وجود دارند، لازم است در هر بخش فونداسیون متناسب با خاک آن منطقه طراحی و اجرا گردد. ایجاد یک طرح مناسب برای فونداسیون می تواند علاوه بر تامین پایداری و استحکام برج های انتقال نیرو، از هزینه های احداث فونداسیون ها نیز به میزان قابل توجهی بکاهد.

در گذشته و در طراحی های اولیه، فونداسیون های برج های انتقال نیرو به همراه پایه ها و در امتداد آن در خاک فرو می رفتند، و توجهی به شرایط خاک موجود نمی شد [۲]. افزایش وزن و ابعاد دکل ها سبب گردید تا نوع فونداسیون ها نیز دستخوش تغییر گردد، و از گریلاژهای فولادی که در زیر پایه ها نصب می شدند، استفاده گردد. خوردگی گریلاژهای فولادی موجب گردید تا از فونداسیون های دیگری همچون بالشتک های بتنی استفاده گردد. برای انتقال بار در بالشتک های بتنی از یک نبشی که قسمتی از آن در داخل ستون بتنی فرو می رفت، استفاده می شد. اما با گذشت زمان و رویداد مشکلاتی نظیر سستی خاک، تداخل مسیر انتقال با رودخانه و ... استفاده از فونداسیون های معمول، عملاً غیرممکن به نظر می رسید و پس از آن توجه مهندسی به سمت فونداسیون های عمیق مانند شمع ها جلب گردید. بر اساس خاک منطقه مورد نظر، فونداسیون های برج های انتقال نیرو به روش های مختلفی اجرا می گردند، که عبارت اند از :

۱. بالشتک بتنی همراه با ستون
۲. گریلاژ فولادی
۳. فونداسیون سطحی منفرد
۴. فونداسیون استوانه ای
۵. فونداسیون به صورت تزریق ملات در سنگ
۶. فونداسیون پیش ساخته
۷. فونداسیون شمعی شامل: شمع های اتکائی، اصطکاک و تراکمی، شمع های ماریچ و ریزشمع ها (میکروپایل ها)



شکل ۱: درصد هریک از هزینه های مربوط به احداث خطوط انتقال نیرو [۱]

ساده ترین نوع فونداسیون، استفاده از بالشتک بتنی ساده به همراه ستون روی آن می باشد. فونداسیون های گریلاژ فولادی در جایی کاربرد دارند که خاک آن ناحیه باعث ایجاد خوردگی نگردد، بنابراین قبل از استفاده از این فونداسیون ها بایستی خاک مورد آزمایش قرار گرفته و میزان خوردگی آن مشخص گردد. فونداسیون های استوانه ای به دلیل صرفه جویی در زمان و نیروی انسانی از پرکاربردترین فونداسیون ها در صنعت برق می باشند. فونداسیون های تزریق ملات در سنگ، برای زمین هایی که از لایه های سنگی تشکیل شده اند بسیار مناسب می باشند.

در مواردی که سازه بر روی خاک با لایه های ضعیف بنا می شود، استفاده از فونداسیون شمعی بسیار کاربرد دارد. هزینه های احداث فونداسیون شمعی بسیار بیشتر از فونداسیون های سطحی می باشد. اما علی رغم هزینه های بالای آن، به دلیل ایمنی سازه در مقابل نشست و عوامل دیگر از فونداسیون شمعی استفاده می گردد. شمع ها معمولا به صورت شمع های اتکائی، اصطکاکی و یا تراکمی ایجاد می گردند. اما امروزه با توسعه صنعت برق به ویژه در بخش انتقال لازم است تا از تکنولوژی های پیشرفته و جدید برای اجرای فونداسیون برج های انتقال نیرو استفاده شود. از طرفی در برخی موارد به خصوص در شرایطی که وضعیت منطقه از لحاظ مقاومت خاک و سفره های آب زیر زمینی مناسب نمی باشد، لازم است تا رویکردی برای بهسازی خاک مورد نظر و کاهش هزینه های تمام شده احداث پی در نظر گرفته شود. یکی از بهترین روش های بهسازی خاک های ضعیف و کاهش هزینه ها استفاده از میکروپایل است. میکروپایل یا ریز شمع به شمع هایی با قطر کم گفته می شود که معمولا در اجرا با تسلیح فولادی و تزریق دوغاب سیمان همراه است. این المان ها علاوه بر نقش باربری به دلیل تزریق دوغاب همراه با آن سبب بهبود مشخصات خاک اطراف می گردد. با توجه به بررسی های به عمل آمده هزینه اجرای فونداسیون با استفاده از میکروپایل در حدود ۲۰ الی ۲۵ درصد کمتر از روش های معمول است [۱]. از طرفی در صورت استفاده از این نوع فونداسیون مشکلات اجرایی خاکبرداری با حجم زیاد و انجام عملیات در زیر سطح آب زیرزمینی برطرف می گردد.

در مقاله حاضر، در ابتدا به بیان انواع فونداسیون های معمول در برج های انتقال نیرو و دکل ها پرداخته خواهد شد. سپس مزیت های استفاده از میکروپایل ها در اجرای فونداسیون پایه برج ها و تاثیر آن بر هزینه های احداث پی، در مقایسه با سایر روش های معمول مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.



۲. فونداسیون برج های انتقال نیرو

فونداسیون های برج های انتقال نیرو، باید بر اساس قواعد و اصول حاکم طراحی گردند. برای مثال طراحی یک فونداسیون ضعیف برای برج ها بی فایده بوده و از طرفی نیز طراحی یک فونداسیون قوی برای یک برج ضعیف، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشد [۲]. فونداسیون باید مقاوم و پایدار بوده و بارهای مرده وزنده که باعث رانش عمودی می شوند و نیز نیروهای بالابرنده و عکس العمل های افقی را تحمل نماید. همچنین فونداسیون باید قادر به انتقال نیروها به خاک باشد به طوری که حاشیه ای مناسب بین ظرفیت نهایی خاک و فشار وارده وجود داشته باشد. نشست و چرخش فونداسیون بایستی کمتر از حد مجاز گردد. حدود نشست و تغییر مکان مجاز، بستگی به شکل و طبیعت برج دارد. نشست زیاد باعث تنشهای ثانویه قابل توجه در اعضا و خرابی برج میشود. به طور خلاصه در یک طرح مناسب باید به نکات زیر توجه نمود:

- شکل و محل فونداسیون به نحوی انتخاب شود که ایمنی اطراف آن در مقابل تحولات قابل پیش بینی برقرار باشد.
- تنشهایی که فونداسیون بر زمین زیرین خود اعمال می کند در محدوده ای باشد که گسیختگی در آن پدید نیاید.
- فونداسیون از لحاظ اقتصادی دارای بهترین ابعاد باشد، به طوری که کمترین مقدار بتن و فولاد در آن بکار رود.

۱.۲. بالشتک بتنی

فونداسیون های بالشتک بتنی، ساده ترین نوع فونداسیون های مورد استفاده برای برج های انتقال نیرو می باشد. این فونداسیون ها متشکل از یک بالشتک بتنی ساده و ستونی که بر روی آن قرار می گیرد، می باشند. این بالشتک ها به صورت پلکانی و یا هرمی اجرا می شوند. هزینه های قالب بندی در نوع هرمی بیشتر از پلکانی می باشد [۲]. در اجرای نوع پلکانی باید دقت شود تا پیوستگی پله ها حفظ گردد. به دلیل لاغر بودن ستون در این نوع فونداسیون احتمال ایجاد لنگر خمشی در آن وجود دارد، بنابراین بایستی در طراحی ترکیبی از نیروهای کششی، برشی و خمشی در نظر گرفته شود.

۲.۲. فونداسیون فلزی (گریلاژ فولادی)

بیش از ۹۰ درصد فونداسیون ها در کشور کانادا به صورت گریلاژ فولادی اجرا می گردد [۳]. تجربه استفاده از این نوع فونداسیون ها به ۵۰ سال قبل برمی گردد. در این نوع فونداسیون دو ردیف از تیرهای فلزی در محل پایه برج که قبلا حفاری گردیده، قرار داده می شود، سپس با استفاده از پیچ و مهره استاب برج متصل می گردد. باید دقت کرد که خاکریزی به اندازه کافی متراکم گردد، تا قسمت های پایینی از تخریب محافظت گردند. مشکل اساسی در این گونه از فونداسیون ها مسئله خوردگی تیرها می باشد، بنابراین قبل از اجرای این نوع فونداسیون خاک منطقه بایستی از نظر میزان خوردگی مورد آزمایش قرار گیرد. برای کاهش اثرات خوردگی می توان از یک لایه پوشش بیتوماستیک و یا از فولاد گالوانیزه استفاده نمود. از مزایای این نوع فونداسیون می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. سرعت خوب اجرا
۲. سادگی در حمل و نصب
۳. هزینه پایین نسبت به فونداسیون بتنی
۴. بهره برداری بلافاصله بعد از اتمام عملیات خاکریزی



International Conference on Civil Engineering Architecture and urban infrastructure

۲۹-۳۰ July ۲۰۱۵, Tabriz, Iran

۳.۲. فونداسیون سطحی منفرد

این نوع فونداسیون برای انواع مختلف خاک قابل اجرا می باشد. هزینه این نوع فونداسیون نسبت به سایر فونداسیون ها بالا می باشد، ولی از نظر سازه ای بهترین نوع فونداسیون می باشند. این نوع فونداسیون ها معمولا به صورت ساده و یا شیبدار اجرا می گردند. در نوع شیبدار برای حذف برش، محور پداستال در امتداد محور پایه برج قرار می گیرد، در این صورت لنگر واژگونی به لنگر واژگونی حاصل از نیروی افقی در عضو قطری بالای پداستال محدود می گردد، و این نیروی افقی به خاک مجاور منتقل می گردد.

۴.۲. فونداسیون استوانه ای

کاربرد این نوع فونداسیون ها که به صورت درجا در محل ریخته می شوند، در خطوط نیرو بسیار زیاد می باشد. استفاده از این نوع فونداسیونها نیاز به زمان و نیروی انسانی کمی دارد. نکته اساسی در استفاده از این نوع فونداسیون ها این است، که نمی توان برای هر نوع خاکی از آن استفاده کرد، زیرا پس از حفاری جداره های حفره نباید ریزش کنند. معمولا این نوع فونداسیون ها در خاک هایی همچون رس محکم یا شن متراکم اجرا می گردند. یکی از مشکلات این نوع فونداسیون ها مقاومت محدود آنها در برابر نیروهای بالابرنده می باشد، برای رفع این مشکل، می توان انتهای آن ها را به صورت برجسته (زنگوله ای) ساخت.

۵.۲. فونداسیون مهار در سنگ

در صورتی که در رقومی بالاتر از عمق کامل پی، به سنگ برخوردیم به جای ادامه گودبرداری می توان از روش سوراخ کردن سنگ، آرماتورگذاری و ملات ریزی در آن، استفاده کرد. این نوع فونداسیون ها برای زمین هایی که از لایه های سنگی تشکیل شده اند، بسیار مناسب می باشد. هزینه اجرای این نوع فونداسیون معمولا نسبت به فونداسیون هایی که در خاک معمولی ساخته می شوند پایین تر است. یکی از مشکلات این نوع فونداسیون ها این است که تا قبل از انجام آزمایشات مکانیک خاک و تعیین نوع سنگ موجود، نمی توان از مصالح مناسب استفاده کرد. همچنین استفاده از این نوع فونداسیونها در برج های سنگین می تواند منجر به افزایش حجم بتن ریزی گردد، زیرا در این حالت معمولا ابعاد مهارها زیاد بوده و نیاز به حفره هایی با قطر بالا می باشد.

۶.۲. فونداسیون های پیش ساخته

این نوع فونداسیون ها معمولا به صورت مسلح یا تنیده در کارخانه ساخته می شوند و به محل ساخت منتقل می گردند. مشکل اصلی این نوع فونداسیون ها حمل آن و مشکلات نصب می باشد. برای حل این مشکل می توان قطعات فونداسیون را به صورت جدا در کارخانه ساخته و در محل ساخت برج مونتاژ گردند. از مزایای این نوع فونداسیون ها می توان به مواردی همچون نیاز به نیروی انسانی کم و کنترل بهتر کیفیت ساخت اشاره کرد. این نوع فونداسیون ها اگر در حجم زیاد ساخته شوند و امکانات کافی برای حمل را داشته باشند، از نظر اقتصادی بسیار مقرون به صرفه خواهند بود.

۳. استفاده از فونداسیون های شمعی

در زمین های که خاک ضعیف و سست دارند درصد بالایی از هزینه احداث خط صرف احداث فونداسیون میشود، بنابراین استفاده از فونداسیون هایی که با سرعت بیشتری احداث شوند و همچنین برای استفاده در خاک های ضعیف نیز مناسب باشند



International Conference on Civil Engineering Architecture and urban infrastructure

۲۹-۳۰ July ۲۰۱۵, Tabriz, Iran

اهمیت ویژه ای دارد. در مواردی که به دلیل پایین بودن ظرفیت باربری زمین، نتوان از فونداسیون های سطحی منفرد استفاده کرد، استفاده از فونداسیون های عمیق (شمع) پیشنهاد می گردد. اگرچه هزینه های استفاده از شمع ها نسبت به سایر انواع فونداسیون ها زیاد می باشد، اما به دلیل عملکرد مطلوب و ایمنی که دارند به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرند. از شمع ها می توان در مواردی که لایه های فوقانی خاک دارای تراکم پایین باشند، در برخورد با خاک های مسئله دار و یا در مواردی که سطح آب زیرزمینی بالاست، استفاده کرد. این شمع ها معمولاً به صورت اتکایی، اصطکاکی و تراکمی اجرا می گردند، اما در سال های اخیر استفاده از شمع های مارپیچی و میکروپایل هادر خطوط انتقال نیرو بسیار مورد توجه قرار گرفته است، که در ادامه به توضیح آن پرداخته می شود.

۱.۳. شمع های اتکایی

در حالتی که عمق قرارگیری سنگ در لایه خاک زیاد نباشد، می توان شمع را تا آن عمق ادامه داد. در این حالت طول شمع از قبل مشخص می شود. ظرفیت باربری شمع کاملاً بستگی به سنگی خواهد داشت که شمع بر روی آن متکی شده است.

۲.۳. شمع های اصطکاکی

در مواردی که عمق قرارگیری سنگ بسیار زیاد است، استفاده از شمع های اتکایی مقرون به صرفه نخواهد بود. در این حالت می توان از شمع های اصطکاکی استفاده کرد. در این حالت به دلیل پایین بودن مقاومت اتکایی، ظرفیت شمع به ظرفیت باربری اصطکاکی بستگی خواهد داشت.

۳.۳. شمع های تراکمی

در حالتی که تراکم لایه خاکی که برج بر روی آن قرار می گیرد مناسب نباشد، می توان از شمع های تراکمی برای ایجاد تراکم مناسب در خاک استفاده کرد. این نوع شمع ها معمولاً در خاک های دانه ای کوبیده می شوند. معمولاً طول این شمع ها کوتاه می باشد و برای تعیین طول مناسب آن ها نیاز به آزمایشات صحرائی می باشد.

۴.۳. شمع های مارپیچ

اولین کاربرد این نوع شمع ها در صنعت برق، به سال ۱۹۲۰ باز می گردد [۴]. این نوع شمع ها از چند صغه مارپیچ تشکیل شده بودند که به محور مرکزی شمع متصل می شدند، که علاوه بر تحمل نیروی کششی، امکان نصب آن ها را توسط اعمال نیروی پیچشی ممکن می ساختند. در صنعت برق از این نوع شمع ها برای فونداسیون توربین های بادی استفاده زیادی می شود. در کشورهای پیشرفته استفاده از شمع های مارپیچ در فونداسیون خطوط انتقال نیرو و دکل های مخابراتی استفاده فراوان دارد. در شمع های مارپیچ، نیرو از طریق صفحاتی به شمع منتقل می گردد و این نیرو از طریق محور مرکزی به صفحات باربر انتقال مییابد.

شمع مارپیچ متشکل از دو میله (به نام های پیشرو و افزایشی) و صفحات باربر مارپیچ می باشد. اولین قسمتی که وارد زمین می شود میله پیشرو می باشد که به آن یک تا چهار صفحه باربر جوش خورده است. از میله افزایشی برای افزایش طول و زیاد کردن عمق نفوذ شمع استفاده می شود. از مزایای این نوع شمع ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- نیاز به هزینه نصب و نیروی انسانی کمتر نسبت به سایر شمع ها
- در هر شرایط آب و هوایی قابل نصب می باشد.



International Conference on Civil Engineering Architecture and urban infrastructure

۲۹-۳۰ July ۲۰۱۵, Tabriz, Iran

- سرعت نصب بالا به دلیل عدم نیاز به بتن ریزی
- امکان بهره برداری بلافاصله بعد از نصب شمع
- برای نصب شمع نیاز به عملیات ویبره نمی باشد.
- عدم نیاز به حفاری
- کاهش دست خوردگی خاک در هنگام نصب شمع
- مناسب برای دامنه وسیعی از خاک ها (برای مثال برای مناطقی مانند کوهستان ها که به راحتی در دسترس نیستند، استفاده از این شمع ها توصیه می گردد).

از معایب این شمع ها این است که به کاربردن این نوع شمع در خاکهای بسیار سفت و سخت دشوار است. از مزایای استفاده از این نوع شمع ها در صنعت برق این است که برای برج های انتقال نیرو در نیروی انسانی، مواد، تجهیزات و زمان صرفه جویی می شود. از طرفی با توجه به ضرورت سرعت بخشیدن به برپایی برج های آسیب دیده و ساخت سریع خط های جدید انتقال نیرو، استفاده از این نوع شمع با توجه به سرعت بالای نصب و امکان بارگذاری و بهره وری بلافاصله بعد از نصب مورد توجه قرار گرفته است. در نتیجه در صورت استفاده از این نوع شمع ها سرعت نصب برج های انتقال نیرو افزایش مییابد، به طوری که نرخ نصب شمع ماریچ ۲۵ تا ۳۰ عدد و برپایی برج یک عدد به ازای هر نفر- روز می باشد [۵].

در توجیه اقتصادی استفاده از این نوع شمع ها می توان گفت که، به دلیل حجم کم مصالح مصرفی در این نوع شمع ها، هزینه حمل و تجهیزات کاهش مییابد. از طرفی سرعت بالای نصب و امکان بارگذاری بلافاصله بعد از نصب زمان اجرای پروژه را کاهش می دهد، و بنابراین می تواند در کاهش هزینه های اقتصادی انجام پروژه بسیار موثر باشد.

۴. مزیت های فنی و اقتصادی میکروپایل ها

در شرایطی که وضعیت منطقه ای که قرار است برج انتقال نیرو بر روی آن نصب گردد از لحاظ مقاومت خاک مناسب نباشد، اجرای فونداسیون با روش های معمول می تواند هزینه های بسیاری در بر داشته باشد. بنابراین انتخاب یک روش درست به منظور کاهش هزینه بالای اجرای فونداسیون بسیار مهم می باشد. به دلیل سست بودن خاک بعضی از مناطق، در صورت استفاده از فونداسیون های بتنی، میزان خاکبرداری و بتن ریزی بسیار بالا خواهد بود و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. در چنین شرایطی یکی از بهترین گزینه ها برای اجرای فونداسیون و بهسازی خاک، استفاده از میکروپایل یا ریزشمع ها می باشد. منظور از میکروپایل ها، شمع هایی با قطر معمولاً کوچکتر از ۳۰۰ میلی متر می باشد (شکل ۲). میکروپایل علاوه بر خاصیت باربری به دلیل تزریق دوغاب همراه با آن می تواند سبب بهبود مشخصات خاک گردد. اولین استفاده از میکروپایل ها به سال ۱۹۵۰ در ایتالیا برمی گردد، زمانی که اروپا با خیل عظیمی از ساختمانهای در معرض خرابی ناشی از صدمات وارده در جنگ جهانی دوم روبرو بوده است [۶]. در این دوره ابداع یک روش بهسازی بستر که علاوه بر کارایی و قابلیت اجرا در بین ساختمانهای تخریب شده، سریع و اقتصادی نیز باشد بسیار ضروری بود، که در چنین شرایطی ابداع میکروپایل توسط Fondedile پیمانکار مشهور ایتالیایی صورت پذیرفت و به دلیل ویژگیهای منحصر به فرد، این روش گسترش فراوانی یافت. در آغاز استفاده از میکروپایلها تنها در بهسازی بستر ضعیف ساختمانها مورد توجه قرار داشت، لیکن رفته رفته و با توسعه و اجرای این روش در کشورهای مختلف، دامنه کاربرد آنها به دیگر عرصه های مهندسی ژئوتکنیک نظیر پایدارسازی شیبها، مقابله با روانگرایی و ... نیز کشیده شد. در حال حاضر، دستورالعمل ارائه شده توسط U.S.FHWA بعنوان مرجع قابل قبول و مورد استفاده طراحان و پیمانکاران اجرای میکروپایل می باشد. با توجه به بررسی های به عمل آمده، هزینه اجرای فونداسیون با میکروپایل در حدود ۲۰ الی ۲۵ درصد کمتر از روش های معمول می باشد [۱].



شکل ۲: غلاف های فلزی میکروپایل [۱]

از مزایای فنی استفاده از این نوع از فونداسیون ها می تواند به: بهبود مشخصات و ظرفیت باربری خاک، جلوگیری از نشست های غیر متقارن، ایجاد دست خوردگی کمتر در محیط خاک و قابلیت تحمل بارهای افقی و قائم اشاره کرد. میکروپایل از یک سو با دارا بودن عناصر تسلیح مشتمل بر جدار ضخیم فولادی و آرماتور تسلیح، قابلیت انتقال و پخش بار به لایه های مقاوم زیرین و نیز کنترل نشست به دلیل سختی بالای فولاد و تسلیح عمقی خاک را دارد و از سوی دیگر بدلیل تزریق دوغاب سیمان، مشخصات مکانیکی خاک نظیر سختی، تراکم پذیری، ظرفیت باربری، ضریب اصطکاک و چسبندگی و غیره را بهبود می بخشد. لذا میکروپایل در مقایسه با سایر روشهای اجرای فونداسیون که صرفا نقش باربری را ایفا می کنند، دارای برتری هایی می باشد. لازم به ذکر است، بعلاوه تزریق دوغاب سیمان و افزایش چشمگیر چسبندگی جدار میکروپایل به توده خاک و بهبود مشخصات رفتاری خاک، استفاده از میکروپایل با قطر کم و با عمق نفوذ کمتر نسبت به شمع های بتنی یا فولادی قطور و عمیق، قابلیت تامین باربری لازم و کنترل نشست پی را خواهد داشت. همچنین بایستی توجه نمود که عملیات کوبش میکروپایلها باعث انتقال انرژی جنبشی و ارتعاشی به توده خاک گردیده و منجر به تحکیم و تراکم توده خاکی اطراف میکروپایل خواهد شد. این امر به خصوص در خاکهای دانه ای مشهودتر می باشد. همچنین در شرایطی که به علت وجود لایه های متراکم زیرسطحی کوبش شمعهای قطور مشکل یا غیر ممکن می باشد، کوبش میکروپایل با قطر کوچک می تواند بهترین راه حل باشد. ظرفیت باربری سازه ای ریزشمع متکی بر ظرفیت باربری المان های فلزی است که اکثر بارهای اعمالی را تحمل می کند. با توجه به قطر کوچک ریزشمع از باربری نوک آن در برابر ظرفیت باربری اصطکاک و جداری آن صرف نظر می شود. مشابه میل مهارها، دوغاب بار را از طریق اصطکاک در سطح جانبی ناحیه باند ریزشمع از بتن به خاک اطراف منتقل می کند. در حالت کلی میکروپایل در سه بعد فنی تامین باربری برج های روی پی و انتقال بار به لایه های عمیق تر، جلوگیری از وقوع روانگرایی در زمین های مستعد روانگرایی و جلوگیری از نشست های نامتقارن سودمند واقع می شود. در صورتیکه قرار باشد اجرای

میکروپایل به همراه تزریق دوغاب سیمان علاوه بر بهبود مشخصات مقاومتی خاک، نقش تأمین باربری ستونهای روی پی و انتقال بار به لایه‌های عمیق‌تر 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 ریزشمع‌ها در پلان و محاسبه عمق بهینه آنها، به عنوان مهمترین عناصر طرح بهسازی مطرح می‌باشند.

علاوه بر موارد ذکر شده، از مزیت‌هایی که استفاده از میکروپایل‌ها را در فونداسیون خطوط انتقال نیرو روز به روز افزون کرده است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- توانایی نگه‌داری استاب‌های زاویه‌دار (به دلیل اینکه می‌توان میکروپایل‌ها را به صورت زاویه‌دار در خاک اجرا کرد).

- تغییر شکل فونداسیون را در حد مجاز نگه می‌دارد.

- جلوگیری از خوردگی اعضای بالاتر از زمین

- از هرگونه جابجایی بعد از نصب برج‌ها جلوگیری می‌کند.

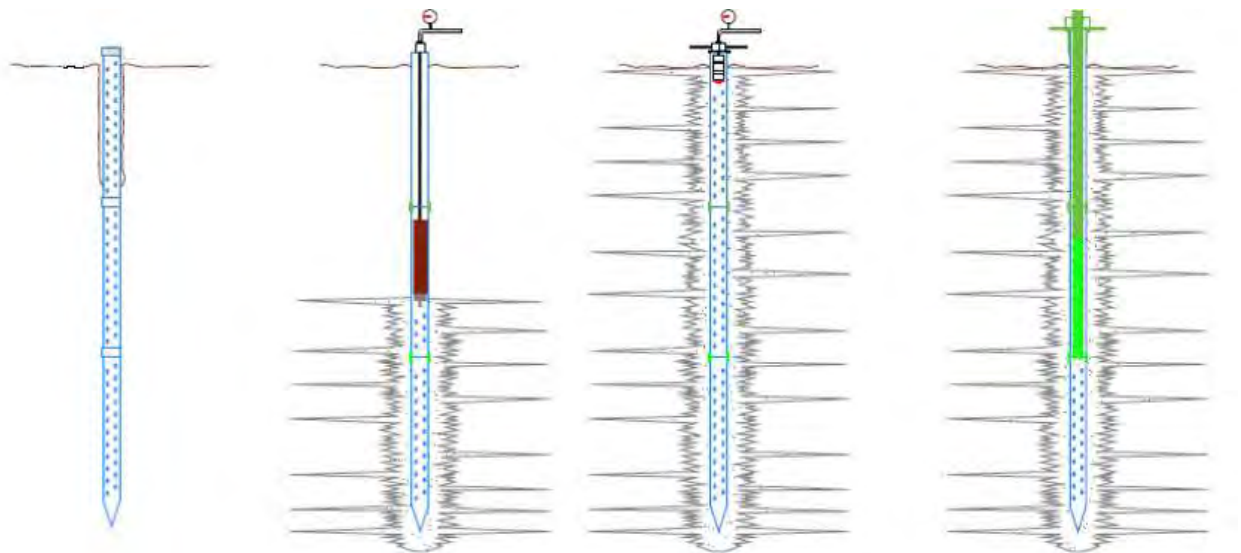
استفاده از میکروپایل در هر نوع شرایط آب و هوایی امکان‌پذیر می‌باشد. یکی از بهترین موارد کاربرد میکروپایل‌ها در برج‌های انتقال نیرو، در مواردی است که سطح آب زیرزمینی در آنجا بالا می‌باشد. زیرا در این شرایط می‌توان با استفاده از میکروپایل و تزریق دوغاب نسبت به تخلیه سریع آب از گودال‌ها اقدام کرد و دیگر نیازی به عمل آوری چاهک که در اجرای شمع‌های بتنی انجام می‌شود، نمی‌باشد.

مراحل اجرای میکروپایل‌ها به ترتیب زیر می‌باشد (شکل ۳):

۱. کوبیدن غلاف‌های میکروپایل

۲. تزریق دوغاب سیمان در چندین مرحله

۳. مسلح کردن میکروپایل و اتصال آن به فونداسیون



۱) کوبیدن غلاف‌های میکروپایل

۲) تزریق دوغاب سیمان در چندین مرحله

۳) مسلح کردن میکروپایل و

اتصال آن به فونداسیون

شکل ۳: مراحل اجرای میکروپایل



International Conference on Civil Engineering Architecture and urban infrastructure

۲۹-۳۰ July ۲۰۱۵, Tabriz, Iran

روش تزریق معمولاً حساس ترین مرحله ساخت، در کنترل ظرفیت ناحیه تزریق شده می باشد. ظرفیت ناحیه تزریق شده مستقیماً با روش تزریق متناسب است. در واقع روش تزریق چسبندگی بین خاک و دوغاب را مشخص می کند. از طرفی استفاده از میکروپایل ها به طور چشمگیری باعث کاهش هزینه های ساخت خواهد شد. در ارزیابی اقتصادی استفاده از میکروپایل ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- در اجرای میکروپایل ها نیاز به خاکبرداری های حجیم نمی باشد، بنابراین هزینه های خاکبرداری کاهش پیدا کرده و بالتبع آن میزان استفاده از بتن و فولاد نیز کاهش پیدا می کند و بنابراین هزینه های ناشی از مصرف مصالح نسبت به سایر روش ها کاهش پیدا خواهد کرد.
 - به دلیل پایین بودن حجم کار در اجرای این نوع از فونداسیون ها، نیاز به تعداد کمی نیروی انسانی بوده، بنابراین هزینه مربوط به نیروی انسانی و همچنین تجهیز کارگاه نیز کاهش پیدا می کند.
 - در این نوع از فونداسیون ها نیاز به تجهیزات و ماشین آلات سنگین و گرانیقیمت نمی باشد و در این صورت هزینه مربوط به تجهیزات کاهش پیدا خواهد کرد.
 - ماشین آلات مربوط به اجرای میکروپایل ها دارای ابعاد کمتری نسبت به سایر روش ها هستند، در نتیجه به دلیل عدم تداخل ماشین آلات با یکدیگر می توان در یک زمان به انجام کار در واحد های مختلف اقدام کرد، که این امر خود موجب صرفه جویی در زمان و هزینه های مربوطه خواهد شد.
- بنابراین استفاده از میکروپایل برای فونداسیون برج های انتقال نیرو، به دلیل سهولت اجرایی، اجرای پی در پی و همزمان مراحل ساخت، استفاده از ماشین آلات و تجهیزات سبک و حجم پایین مصالح مصرفی موجب صرفه جویی در هزینه ها و زمان ساخت خواهد شد.

۵. نتیجه گیری

هزینه احداث فونداسیون های خطوط انتقال نیرو، بخش قابل توجهی از هزینه های تمام شده را به خود اختصاص داده است. یک فونداسیون خوب باید قادر باشد تا نیروهای وارده را به نحو مطلوبی به خاک زیرین انتقال دهد. به دلیل اینکه خطوط انتقال نیرو در مسیر خود با انواع مختلفی از خاک ها مواجه می شوند، کاربرد یک نوع فونداسیون برای تمامی برج ها منطقی به نظر نمی رسد. بنابراین بایستی بر اساس شرایط و وضعیت منطقه موجود نسبت به انتخاب یک روش مناسب برای اجرای فونداسیون اقدام کرد. در شرایطی که خاک منطقه احداث فونداسیون سست باشد و یا تراز آب زیرزمینی بالا باشد، بهترین گزینه استفاده از میکروپایل ها می باشد. در چنین شرایطی استفاده از فونداسیون های معمول مانند فونداسیون بتنی و فولادی به دلیل حجم بالای مصالح مصرفی غیر اقتصادی خواهد بود. از مزایای فنی و اقتصادی استفاده از میکروپایل ها در فونداسیون خطوط انتقال نیرو می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بهبود ظرفیت باربری خاک
- بهبود مشخصات مکانیکی خاک نظیر سختی، تراکم پذیری، چسبندگی و ...
- جلوگیری از نشست نامتقارن
- قابلیت تحمل بارهای قائم و افقی
- امکان اجرای آن به صورت مایل برای نگه داری استاب های زاویه دار
- کنترل تغییر شکل فونداسیون



International Conference on Civil Engineering
Architecture and urban infrastructure
۲۹-۳۰ July ۲۰۱۵, Tabriz, Iran

- جلوگیری از خوردگی اعضای بالاتر
- جلوگیری از هرگونه جابجایی بعد از نصب برج ها
- قابلیت استفاده در هر نوع شرایط آب و هوایی
- کاربرد ویژه در مناطقی با سطح آب زیرزمینی بالا
- کاهش هزینه های خاکبرداری
- کاهش مصالح مصرفی نظیر بتن و فولاد و کاهش هزینه های مربوطه
- کاهش هزینه های مربوط به نیروی انسانی، ماشین آلات و تجهیز کارگاه
- امکان اجرای همزمان کار در واحد های مختلف و اجرای پی در پی مراحل ساخت
- کاهش زمان ساخت

مراجع

- [۱] ذکاوتی، ع. ا. رضازاده، س. دربان، ع. امکان سنجی استفاده از میکروپایل در فونداسیون های برج های انتقال نیرو، بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ۱۳۹۰.
- [۲] فونداسیون های برج های انتقال نیرو، نشریه شماره ۴۰۱، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، وزارت نیرو، ۱۳۸۶.
- [۳] عاشوری، ک. دوستی، م. رویکردی نوین در اجرای خطوط انتقال و فوق توزیع نیرو با محوریت کاهش هزینه های تمام شده، بیست و دومین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ۱۳۸۶.
- [۴] گودرزی، آ. رهنورد، ع. امکان سنجی استفاده از شمع های مارپیچ در فونداسیون های برج های خطوط انتقال نیرو، بیست و نهمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ۱۳۹۳.
- [۵] CHANCE, Transmission foundation helical piles and guy anchors for transmission structures, Bulletin ۰۲-۱۱۰۳, Hubbell Inc, USA, ۲۰۱۱.
- [۶] Abraham, E. Chen, Ch. H. Micropile transmission foundation in environmentally sensitive, challenging terrain, Technical paper, Deep foundation institute, ۲۰۱۰.