

## مقاوم سازی پی، فونداسیون و دیوار به روش میکرو شمع های در جا

رحمت اله نگهدار مغانلو<sup>۱</sup>، هوشیار ایمانی<sup>۲</sup>، حسن نگهدار<sup>۳</sup>

۱- دکتری ژئوتکنیک دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دکتری سازه دانشگاه محقق اردبیلی

۳- کارشناس ارشد ژئوتکنیک دانشگاه علم و صنعت ایران

### خلاصه

در این مقاله ابتدا به تشریح روش مقاوم سازی پی و دیوار با استفاده از میکرو شمع های در جا پرداخته شده سپس به نحوه اجرای آن در کشور روسیه اشاره می شود و در ادامه شیوه مقاوم سازی فونداسیون ها بر حسب نوع پی و دیوار های ساختمان ها پرداخته شده است. از نتایج این روش می توان به میزان بهبود پارامترهای خاک در روش میکرو شمع اشاره کرد

**کلمات کلیدی:** میکرو شمع ها، مقاوم سازی، نشست

### ۱. مقدمه

عمر مفید ساختمان ها در کشورهای پیشرفته، به بالای ۴۰ سال می رسد. این امر نه تنها به خاطر ساخت و ساز بهتر و استفاده از مصالح باکیفیت بالا در ساختمانها، بلکه به دلیل مقاوم سازی با ابعاد وسیع و گسترده می باشد. گستردگی و کاربرد این روش در این کشور ها همراه با تحقیقات عملی و علمی است. همچنان که از روش های قدیمی استفاده می شود روش های نوین نیز در عرصه ساخت و ساز وارد شده است. یکی از این روش ها مقاوم سازی پی و دیوار با استفاده از میکرو شمع های در جا است

متخصصین ، در زمینه تقویت و مقاوم سازی خاک زیر پی فونداسیون های ساختمانی مسکونی و صنعتی (بهسازی خاک زیر پی و تصحیح تمایل ساختمان)، اجرای فونداسیون جدید در زیرساختهای صنعتی و ماشین آلات در شرایط حساس یا اجرای فونداسیون های جدید در کنار فونداسیون های قبلی، زمانی که احتمالاً منجر به نشست بیشتر ساختمانها می شود و ترمیم و مقاوم سازی دیوارهای ترک خورده اصولاً روش تکنیکی زیر بصورت کلی ارائه می دهند.

۱. اجرای میکرو شمع ها
۲. شمع های بتنی در لوله های فلزی پر شده بوسیله پنوماپرونیك
۳. روش اجرای شمع استاتیکی
۴. تقویت و بهینه سازی شرایط تکیه گاهی فونداسیون
۵. ساخت پلت های فونداسیونی زیر ساختمان
۶. تقویت خاک زیر پی

انتخاب یک یا چند مورد از روشهای فوق به پارامترهای مختلف بستگی دارد، از آن جمله می توان به نوع فونداسیون موجود، شرایط ژئوتکنیکی زمین، سازه ساختمان موجود و پارامتری بر فونداسیون اشاره کرد.

### ۲. روش مقاوم سازی فونداسیون به کمک میکرو شمع ها

<sup>۱</sup> عضو هیئت علمی دانشگاه محقق اردبیل

<sup>۲</sup> عضو هیئت علمی دانشگاه محقق اردبیل

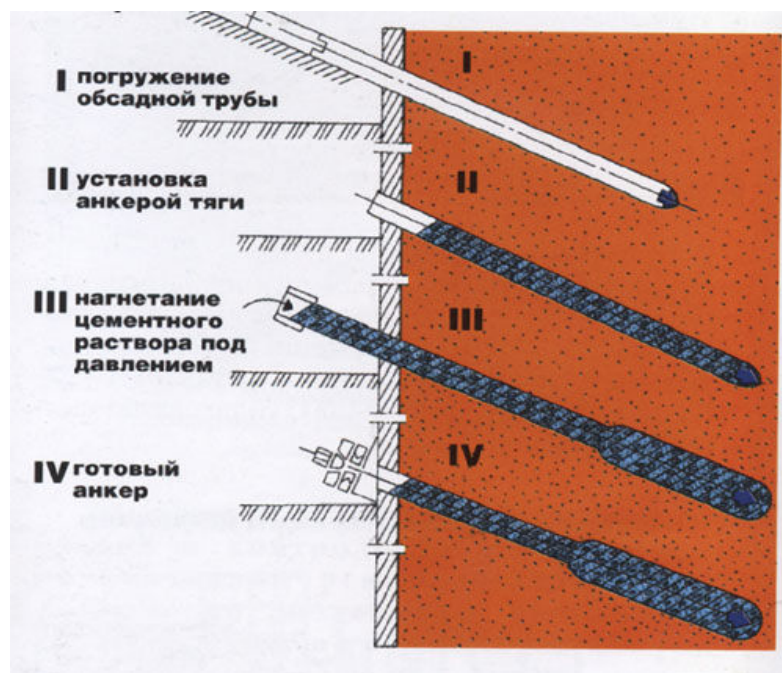
<sup>۳</sup> کارشناس ارشد ژئوتکنیک دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران

این روش بصورت اساسی در کلیه ساختمان ها در تمامی فصول و انواع شرایط آب و هوایی قابل اجراست. در این روش احتیاج به عمل آوری چاهک نیست و خواص خاک اطرف را بهم نمی زند و خاک دست نخورده باقی می ماند. ساخت میکرو شمع ها با دستگاه حفاری با ابعاد کم صورت می گیرد و این شرایط بسیار عالی را در انتخاب محل تقویت و آزادی عمل در حین کار را فراهم می کند به طوری که هم در داخل فضای خانه های مسکونی و هم ساختمانهای صنعتی می توان اجرا کرد و همچنین در قسمت زیر زمین ساختمان احتیاجی به تخریب دیوارهای داخل نیست و به راحتی قابل اجراست. و از دیگر مزیت این روش هزینه نه چندان بالا و پیوستگی کار در مقایسه با روشهای دیگری باشد.

و در حالت کلی این روش پارامترهای مکانیکی خاک را بهبود می بخشد.

حتی در زمانی که خاک زیر فونداسیون از ظرفیت باربری پایینی برخوردار است مقاوم سازی با این روش نتیجه خوبی ارائه می دهد. در این حالت با این روش قسمتی یا کل بار وارده از طرف سازه بر فونداسیون به تراز پایین سطح فونداسیون تاجایی که خاک یا بستر قویتر داریم، انتقال داده می شود. این روش علاوه بر کاربرد در احداث سازه های جدید، برای مقام سازی سازه های قدیمی که در حالت تخریب قرار دارند نیز استفاده می شود. علاوه بر این در موارد زیر نیز می توان از میکرو شمعها نیز استفاده کرد.

- شرایط پیچیده و سخت شده در ساخت و ساز
- تقویت بستری ماشین آلات
- نگهداری سازه های موجود از امکان حرکت زیر پایی فونداسیون
- در زمان حفاری حجیم که احتمال ریزش وجود دارد. (شکل ۱)
- در تونل ها



شکل ۱. اجرای میکرو شمعها در حفاری حجیم

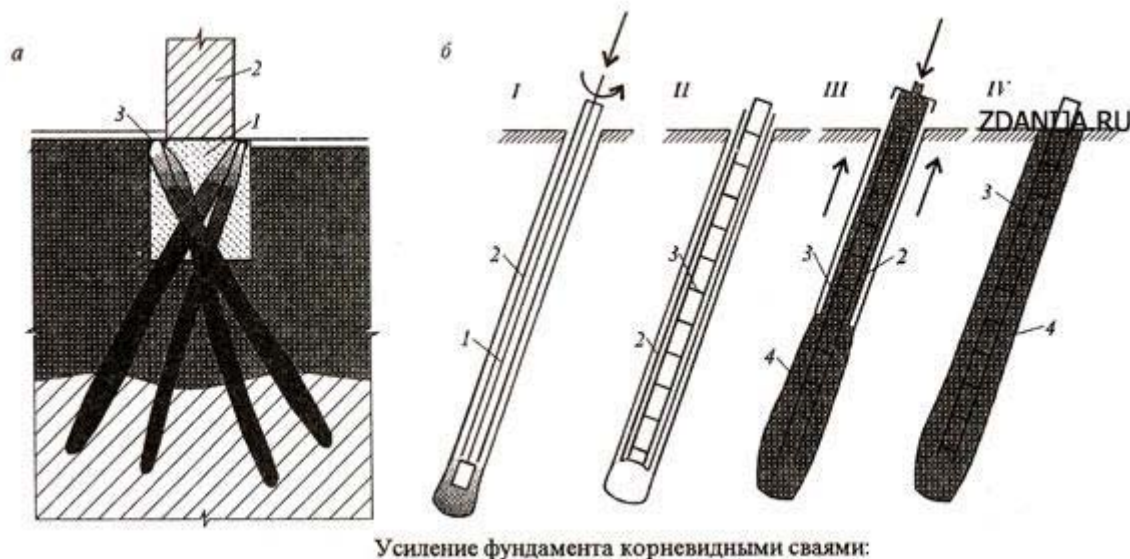
اسکلت میکرو شمع ها بر اساس آئین نامه روسیه و به روش CBO و CKB بصورت قائم، مورب یا افقی که از داخل دیوار یا فونداسیون عبور می کند، اجرا میشود.

بسته به خواص شرایط خاک زیر و اطراف فونداسیون، نوع ترک دیوارها و محل تقویت بصورت چاهک مسلح وبدون تسلیح اجرا می شود. قطر چاهک از ۱۰۰ میلی متر تا ۲۵۰ میلی متر مفید است.

### ۳. تکنولوژی اجرا

بعد از حفر چاهک با ابعاد کم مصالح اضافی با دو روش، فشار هوا یا برعکس کار کردن حفار از داخل چاهک خارج می شود سپس مخلوط بتنی بوسیله لوله پمپاژ به داخل چاهک پمپ می شود. (شکل ۳)

داخل چاهک تا عمق مشخصی بوسیله مخلوط رسی پر شده و داخل آن شبکه آرماتور کار می شود. طول شبکه های آرماتور از ۳ متر تجاوز نمی کند .



Усиление фундамента корневидными сваями:

شکل ۲. نحوه و مراحل اجرای میکرو شمع ها در فونداسیون ها

شبکه های آرماتور در صورت طولی بودن بوسیله جوش به همدیگر وصل می شود. بعد از جا گذاری شبکه آرماتور یا همزمان با جا گذاری آن در داخل چاهک لوله تزریق به قطر ۲۵ تا ۵۰ میلی متر قرار داده می شود و بوسیله آن چاهک، با ملات سیمان ماسه پر می شود. اغلب بسته به شرایط ابتدا چاه از مخلوط پر شده و بعدا داخل شبکه آرماتور با فشار رانده می شود. پر کردن چاه با مخلوط ماسه - سیمان بوسیله پمپ های CO-۴۹ یا CO-۴S تحت فشار ۳MPa انجام می شود.

پس از پرسینگ چاه، بعد از رسیدن شمع بتنی به ظرفیت باربری نهایی خود با استفاده از آزمایش استاتیکی میزان افزایش ظرفیت باربری توسط میکرو شمع، اندازه گیری می شود.

با این روش متخصصین دانشگاه دولتی عمران مسکو - روسیه ساختمانهای مسکونی و صنعتی زیادی را مقاوم سازی نموده اند از جمله :

- مدارس قدیمی در خیابانهای ماسکونیا و گونیا و غیره (اشاره به شکلها)
- ساختمانهای در ادارات دولتی در خیابانهای ورخنایای میخایلو سکایای و ...
- سازه های دیگر در شهر مسکو

از ایرادات این روش می توان به پایین بودن تعیین پروسه کیفیت مخلوط بتنی و اتصال نه چندان مناسب سر شمع با فونداسیون قدیم در حالت مقاوم سازی پی اشاره کرد.

از مزایای این روش می توان به تقویت فونداسیون و خاک زیر پی و اتصال خوب دو طرف ترک های عریض در دیوار ها به خاطر اجرای شمع بتنی با لوله های فلزی به قطر های ۱۳۰ تا ۲۲۰ میلی متر مدفون در خاک به کمک پنوماتیک ۴۶۰۲ - CO۱۳۴-AIP - اشاره کرد.

در این روش نوع خاک هیچ گونه محدودیت اجرایی ایجاد نمی کند و در بازه دمایی بالایی قابل اجراست. بر پایه آزمایشات و تجربیات محلی، سرعت اجرا به نوع خاک، سرعت حفاری، نوع اسکلت شمع، قطر دیواره لوله و نوع پنوماتیک مورد استفاده، بستگی دارد.

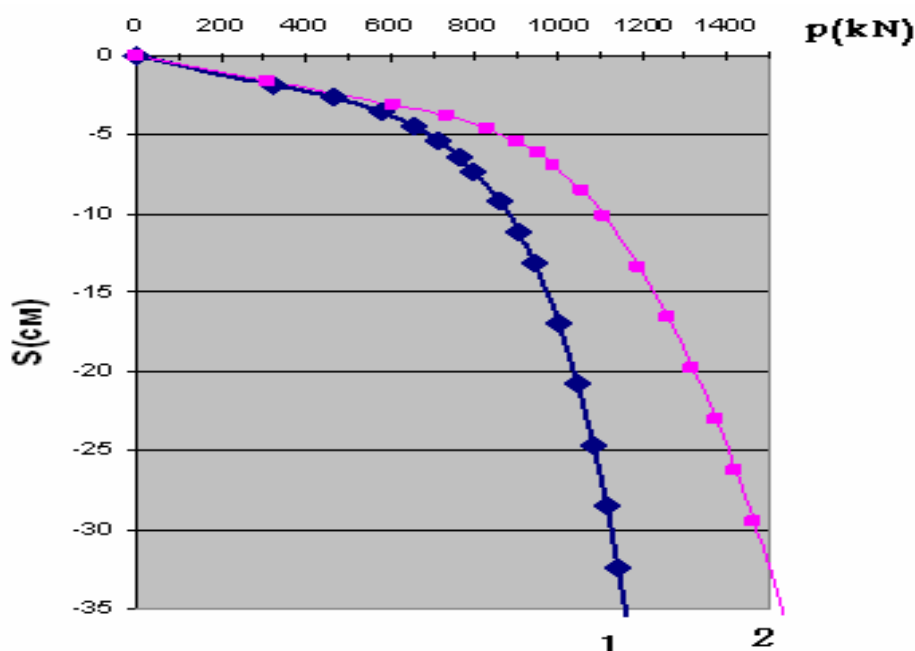
جهت اجرای سریع میکرو شمع ها در روش پنوماتیک ، ضخامت بهینه لوله فلزی در اجرای شمع ۴ الی ۴/۵ میلی متر می باشد و در حالت عمومی توصیه می شود از پنوماتیک با مارک IP-۶۴۰۲ استفاده شود. اما پنوماتیک با مارک تجارتي CO۱۳۴-A در شرایط استفاده از شمع بلند تر توصیه می شود. به کمک این روش ترک ها و نشست های غیر همگن کنترل و احتمال تخریب به حداقل مقدار خود می رسد. همچنین علاوه بر مزیت های فوق اثرات سازه های جدید در سازه های قدیمی و فرسوده را به کمترین مقدار خود می رساند.

در اجرای میکرو شمع ها، ماشین آلات مورد استفاده به دلیل داشتن ابعاد کم و قطر کوچک چاهک ها می توان شمع بتنی مسلح را با انتخاب قطر ۱۶۰ تا ۱۸۰ میلی متر با ظرفیت باربری ۳۰۰NK تا ۵۰۰NK اجرا نمود و حتی در مواردی عمق نفوذ شمع را می توان تا عمق ۱۰-۱۵ متری در داخل خاک هم اجرا نمود.

#### ۴. مونیورینگ و کنترل

بعد از اجرای شمعها، نشست فونداسیون بوسیله دوربین های نقشه برداری کنترل و ثبت می شود. این کار تا متوقف شدن نشست در یک مقدار معین ادامه می یابد معمولا بعد از گذشت یک ماه از اجرای شمعها نشست جدیدی رخ نمی دهد یا میزان نشست ها کم می شود. در کارهای عملی واجرا شده نمودار بازشت قبل از مقاوم سازی و بعد از آن انجام شده است نتایج در نمودار رسم شده است.

همچنان که از شکل ۳ مشاهده می شود نمودار بار-نشست بعد از اجرای مقاوم سازی در اثر اعمال بارهای زیادتر نشست به مراتب کمتر شده و فونداسیون مقاومت بهتری از خود نشان می دهد



شکل ۳. نمودار بار-نشست ۱- قبل از اجرای مقاوم سازی ۲- بعد از اجرای مقاوم سازی

همچنین بعد از اجرا مشاهده شده است که از ساختمان از متمایل شدن به یک جناح متوقف شده و در حالت بدون تغییر مانده است. با توجه به این که عمر ساختمان به خاطر عدم اجرای مقاوم سازی در کشور عدد پایینی است توصیه می شود از تجربیات کشورهای دیگر در این زمینه استفاده شود این روش که توسط متخصصین روسیه اجرا می شود مراحل اجرایی و عملی خود را گذارنده و متخصصین برای مقاوم سازی ساختمانهای در مقابل زلزله، نشست و تقویت فونداسیون در برابر افزایش بازسازیه این روش را توصیه می کنند.

بهینه سازی خواص مکانیکی فیزیکی خاک با استفاده از این روش مونیتورینگ ساختمانها مشکل دار نشان دهنده این است که در حالت تخریبی یا تعمیرات اساسی اجرای میکرو شمع های و علاوه بر متوقف نشست های غیرهمگن و بهینه سازی خواص مکانیکی خاک، ترکهای موجود در دیوارها را که بعضی مواقع عرض آنها تا ۸ سانتی هم می رسید، متوقف نموده است.

## ۵. مقاوم سازی دیوارهای ترک دار

روش اجرا به این صورت است که در قسمتهای مرکزی ترک و یا ۲/۳ ابتدای شروع ترک با کمک دستگاه حفاری، سوراخی ایجاد شده، شبکه آرماتور کار گذاشته میشود و توسط دستگاه بتن ماسه سیمانی پمپاژ می شود. (شکل ۴)

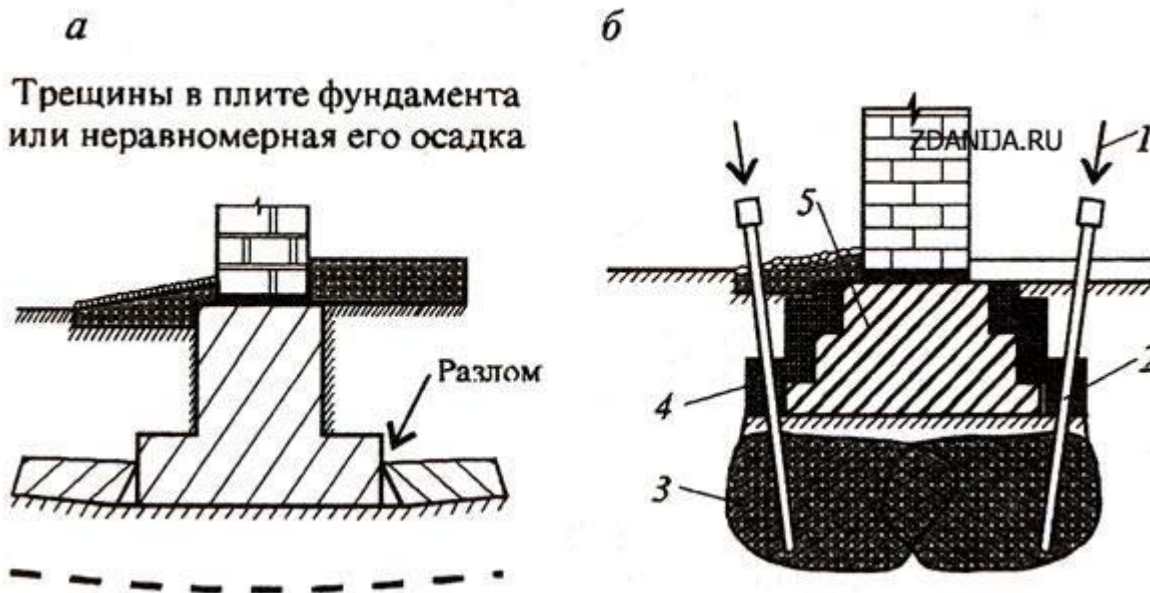


شکل ۴- مقاوم سازی دیوارهای ترک دار

این حالت اخیر بسته به ضخامت دیوار می تواند به صورت یکطرفه یا دوطرفه اجرا شود. توصیه می شود در صورت نبود مشکل عدم فضا، از تسلیح دوطرفه در دیوار و به صورت همزمان اجرا کرد. در حالت تخریبی در ساختمانها بهتر است تقویت دیوار و ستون دیوار برابر بهم دیگر وصل می شود تا با ایجاد شبکه ای کارآیی این روش را چندین برابر بالا برد.

## ۶. روش اجرا میکرو شمع در فونداسیون

همچنان که در شکل شماره ۵ بصورت شماتیک نشان داده است در پی های تکی بهتر است حفاری به صورت ضربیدری مایل اجرا شود این حالت کار آیی روش را بالا برده و همچنان به راحتی قابل اجرا است در پی های نواری توصیه می شود بسته به ضرورت فاصله تقویت فونداسیون از الی ۳ متر تغییر کند.



شکل ۵- اجرای میکرو شمع به صورت مایل در مقاوم سازی پی.

## ۷. نتیجه گیری

در سالهای اخیر دانشگاه دولتی عمران مسکو، در کنار کارهای آزمایشگاهی، نظارت عالی بر ساختمانها تحقیقات علمی و... در دانشکده ICA- MGSU انجام می شود. در سالهای کاری مولفین در دانشگاه دولتی عمران مسکو- روسیه MGSU تجربیات زیادی در زمینه طراحی، اجرا و مقاوم سازی فونداسیون ها کسب کرده اند. که نتایج این تجربیات را می توان به صورت زیر دسته بندی کرد:

۱. مقاوم سازی پی و دیوار به روش میکرو شمع بسیار جامع بوده و قابلیت اجرا در ایران را داراست
۲. آسانی کار و امکان اجرا در هر مکانی و در هر ساختمانی
۳. مستقل بودن از نوع خاک و عدم وابستگی به اشباع بودن یا اشباع نبودن خاکها
۴. هزینه اجرای کمتر نسبت به روشهای دیگر مقاوم سازی
۵. عدم نیاز به تخریب کل یا قسمتی از ساختمان
۶. سهولت آموزش نیروی کار ماهر
۷. دستیابی به ظرفیت باربری بالا در فونداسیون



۸. جلوگیری از انتشار و ازدیاد ترکها
۹. جلوگیری از نشست‌های بی‌رویه و غیرهمگن
۱۰. بالا بردن مقاومت و کارایی در برابر بارهای زلزله
۱۱. دست‌نخوردگی فضای داخلی و نمای ساختمان

## ۱۲. مراجع

- ۱- رحمت‌اله‌نگهدار مغانلو، ا.ل. کریژانوفسکی،. روتسوف ای.و (۲۰۰۷). "روش پمپاز ماسه". مجله PGS. روسیه. شماره ۱۲
- ۲- کناوش و.م.، کارلیف م.و. (۱۹۹۹) "تکنولوژی اجرای مقاوم‌سازی فونداسیون‌ها با استفاده از شمع‌های استاتیکی". مجله مصلح جدید، تکنولوژی و ماشین‌الات قرن ۲۱. شماره ۱. روسیه.
- ۳- کارلیف م.و.، ساژین د.و. (۱۹۹۹) "روش‌های موثر مقاوم‌سازی فونداسیون‌ها در دوباره‌سازی ساختمان‌ها". کنفرانس بین‌المللی تقویت سازه‌ها. پنزا-روسیه.