

مروری بر ریزشمع ها و کاربرد آنها

زهرا مردانی^۱، علی نیساری تبریزی^۲

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی زنجان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، استادیار گروه ژئوتکنیک

^۲ دانشگاه آزاد اسلامی زنجان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشجوی کارشناسی

ارشد ژئوتکنیک

نام نویسنده مسئول:

علی نیساری تبریزی

چکیده

ریزشمع ها دارای قطر کوچکی هستند که با لحاظ تقویت کننده در محل و ایجاد یک محیط پیوندی بین مصالح فولادی و خاک از طریق تزریق دوغاب می توانند در موارد خیلی زیادی از جمله بهسازی خاک، افزایش ظرفیت باری و کنترل نشست پذیری خاک جهت تقویت پی های موجود موثر واقع شوند. ریزشمع ها موجب پایداری نهایی خاک درمقابل بارهای فشاری، کششی، بالادگی و بارهای جانبی می شوند. نی خیزران با طول بلند و باریک و پوشش گیاهی انبوه در اکثر مناطق جهان یافت می شود قطر متوسط آن بین ۲۵ تا ۵۰ میلیمتر می باشد. بدلیل کثرت استفاده از خیزران در کشورهایی مانند هند این گیاه در زبان محلی به طلای سبز مشهور است. این گیاه در طبیعت بدلیل قابلیت تجزیه و بازیافت بودن موجب جذب مواد شیمیایی موجود در آب و خاک و همچنین کاهش گرمایش زمین می گرد. در این مقاله ابتدا مروری بر ریزشمع ها و کاربرد آنها صورت پذیرفته و در ادامه پتانسیل استفاده از نی خیزران بعنوان ریز شمع مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

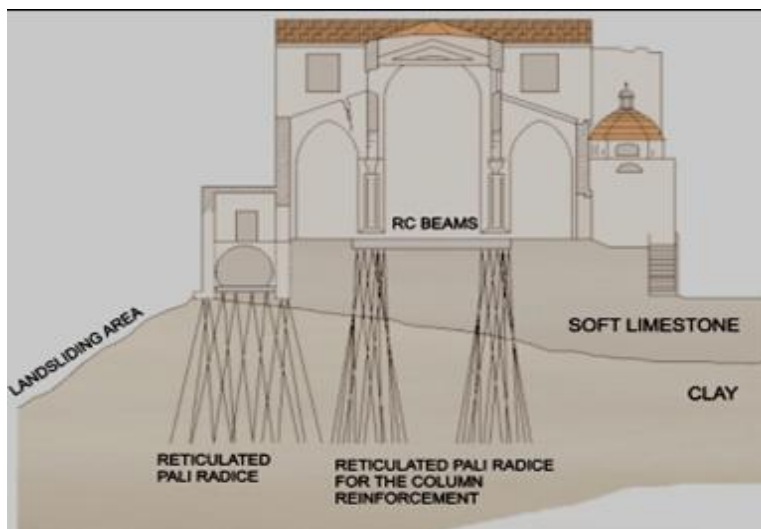
واژگان کلیدی: ریزشمع، نی خیزران، خاک، تقویت.

مقدمه

بنا به تعریف اداره کل بزرگراههای آمریکا (FHWA 2005) ریز شمع ها به شمع هایی با قطر کوچک (کمتر از ۳۰۰ میلیمتر) اطلاق می گردد. آنها ماهیتاً باریک بوده بطوریکه قطرشان نسبت به طولشان بسیار کوچک است در نتیجه اکثر مواقع به عنوان یک المان بابر در برابر نشست خاک به کار می روند. ریز شمع ها بعنوان یک ابزار مناسب در برابر بارهای فشار و کششی مورد استفاده قرار می گیرند. پس از حفر گمانه و کوبش غلاف ارماتور فولادی داخل گمانه جایگذاری شده و تزریق دوغاب بصورت درجا صورت می گیرد. کاربرد ریز شمع به دلایلی نظیر صرفه جویی در زمان، هزینه های اجرایی، مصالح کمتر و امکان کنترل نشست ها در حال افزایش می باشد. ریز شمع ها بصورت گروهی یا انفرادی طراحی می شوند. [۱] ریز شمع های گروهی از طریق یک کلاهک (Cap Pile) بصورت شبکه به هم متصل می شوند که این موضوع باعث افزایش ظرفیت باربری کلی آنها می شود. ریز شمع ها به دلیل داشتن قدرت تزریق دوغاب سیمن سبب بهبود مشخصات مکانیکی (مقاومتی و رفتاری) خاک اطراف می شوند لذا از ریز شمع ها می توان در زمین های فرسوده و متروکه استفاده نمود همچنین بنا به مشاهدات بعمل آمده ریز شمع در شرایط حفاری بسیار دشوار بسیار موثر واقع شده است. بطور رایج ریز شمع ها با نام های شمع های سوزنی، شمع های ریشه ای و شمع های اصطکاکی نیز نامیده می شوند.

تاریخچه ریز شمع ها

منشاء اصلی استفاده از ریز شمع ها به اروپا و اوایل دهه پنجاه میلادی زمانی که اروپا با خیل عظیمی از ساختمان های در معرض خرابی ناشی از صدمات جنگ جهانی دوم روبرو بوده برمی گردد. در آن دوره ابداع یک روش به سازی مستمر که علاوه بر کارایی و قابلیت اجرا در بین ساختمان های تخریب شده سریع و اقتصادی نیز باشد بسیار ضروری بود که در این شرایط ابداع تکنولوژی ریز شمع به یک پیمانکار مشهور ایتالیایی بنام Fernando Lizzi در سال ۱۹۵۰ نسبت داده می شود. استفاده از ریز شمع تا سال ۱۹۸۰ در آمریکا مورد توجه نبود تا اینکه مطابق مطالعات و تحقیقات زیادی طراحی ریز شمع از سال ۱۹۸۰ در ایالات متحده آمریکا آغاز گردید [۱]. امروزه ریز شمع ها بطور عمده در پی ساختمان ها، بهبود شرایط خاک، تثبیت ترانشه ها و تثبیت شیروانی ها به کار می روند. همچنین با پیشرفت در زمینه مکانیک خاک و اثرات لرزه ای حاصل از زلزله ها روی فونداسیون های ساختارها موجب رشد فزاینده استفاده از ریز شمع ها گردیده است (شکل ۱).



شکل ۱: بهسازی پی ساختمانهای قدیمی

ساختمانهای قدیمی و فرسوده که نیازمند بازسازی پی و مقاوم سازی سازه های آنها در برابر بارهای وارده از محیط اطراف بودند منجر به تنوع در ساخت ریز شمع ها به عنوان یک مصالح تسلیح موثر جهت ترمیم و مقاوم سازی این گونه بناها گردید. بنابراین ریز شمع ها به یکی از بخشهای جدایی ناپذیر ترمیم پی ساختارهای قدیمی در اروپا بشمار می رود. از طرفی علاقمندی به حفظ آثار و ابنیه های تاریخی در مقابل حوادثی مانند زمین لرزه باعث رشد روز افزون استفاده از ریز شمع شده است. امروزه ابتکار و خلاقیت در ایجاد تکنولوژی تجهیزات حفاری موجب افزایش قابلیت کاربری ریز شمع در انواع شرایط زمین و خاک گردیده است بطوریکه این ابتکار عمل تاثیر فراوانی در ایجاد ظرفیت ببری بالا تا ۵۰۰ کیلونیوتن شده است [۲].

طبقه بندی ریزشمع ها

امروزه بطور گسترده از ریزشمعها استفاده می شود و با توجه به کاربردهای متنوع آنها، انواع جدیدی از ریزشمعها آزمایش شده و برای اجرا معرفی می شوند [۳].

طبقه بندی ریزشمع ها بر اساس نحوه اجرا

ریزشمع کوبشی

این نوع از ریزشمعها با کوبش مقاطع فولادی در خاک اجرا می شوند و نیروی لازم برای کوبش ریزشمع می تواند با استفاده از تجهیزات مختلفی تامین شود. ظرفیت باربری این نوع ریزشمع برابر است با حداکثر نیروی کوبش ریزشمع به داخل خاک. این نوع از ریزشمعها با در نظر گرفتن نوع مقطع و نحوه کوبش، تقسیم بندی می شوند.

تقسیم بندی ریزشمعهای کوبشی بر اساس نوع مقطع آنها عبارت است از:

۱- ریزشمع با مقطع لوله

۲- ریزشمع با مقطع میله

تقسیم بندی ریزشمعهای کوبشی بر اساس نحوه کوبش:

۱- کوبش با وزنه و ارتعاش

۲- کوبش با جک هیدرولیکی

ریزشمع پیچشی یا حلزونی

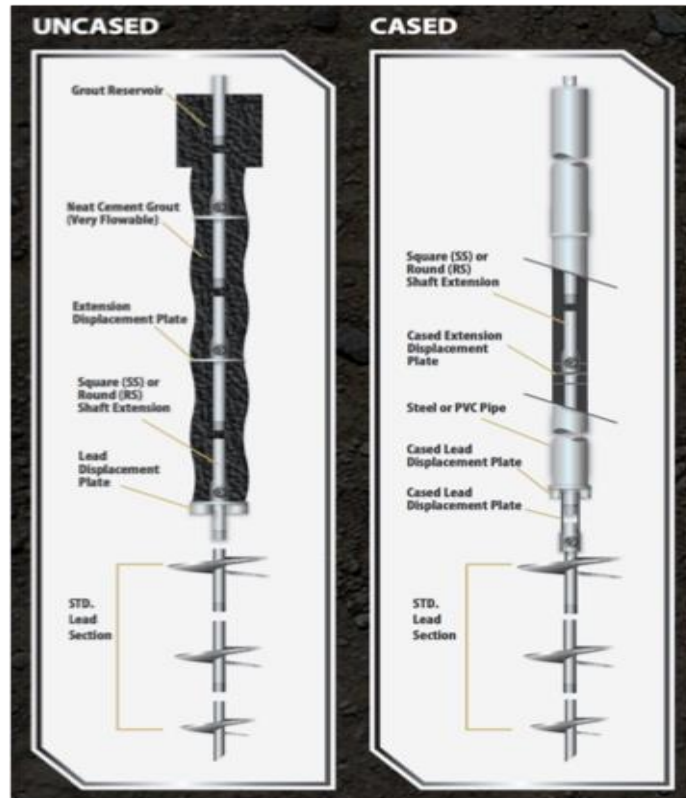
این نوع از ریزشمعها موارد کاربرد متعددی دارند. اجزاء تشکیل دهنده این نوع ریزشمع عبارتند از:

۱- یک میله که از قطعات متصل به هم تشکیل یافته و دارای مقطع دایره ای یا مربعی است. قطر این میله می تواند بین ۳۸ تا

۹۰ میلی متر باشد.

۲- سرپیچ شمع که دارای یک یا چند صفحه فلزی جدا یا حلزونی مارپیچی است. سرپیچ باید در لایه سخت زیرین نفوذ کند و

همچنین بتواند بوسیله صفحات فلزی، بار را به این لایه منتقل کند (شکل ۲).



شکل ۲: ریزشمع پیچشی

ریزشمع های درجا

این روش اجرا از مدت ها پیش به ریزشمع معروف بوده است. این نوع از ریزشمع ها نیز به روش های مختلفی اجرا می شوند. این نوع از ریزشمع ها دارای یک شبکه آرماتوربندی سبک و یک توده تزریق شده هستند. از آن جایی که بین رفتار ریزشمع هایی که در ظاهر مشابه یکدیگر بوده و مانند هم اجرا می شوند ولی به روش های مختلفی طراحی می شوند، تفاوت وجود دارد، ریزشمع ها را براساس دو معیار زیر دسته بندی می کنند:

۱- فلسفه رفتار (طراحی)

فلسفه رفتار در واقع روشی است که در طراحی از آن استفاده شده است.

۲- روش تزریق (اجرا)

روش تزریق دوغاب، بر روی پیوند بین ذرات خاک تاثیر بسزایی دارد و عامل کنترل کننده ظرفیت باربری ریز شمع است.

طبقه بندی ریزشمع ها براساس روش طراحی

طبقه بندی ریزشمع ها بر اساس روش طراحی به عبارت زیر است:

الف. طراحی یک ریزشمع منفرد یا گروه ریزشمع

این نوع ریز شمع بطور مستقیم بارگذاری شده و مسلح کننده ها قسمت عمده ای از بار را تحمل می نمایند و می توانند به عنوان جایگزینی برای شمع های متداول جهت انتقال بار روسازه به لایه های تحتانی خاک مورد استفاده قرار گیرند. ابتدا بار توسط مسلح کننده های فولادی و در ادامه به واسطه چسبندگی و اصطکاک ناحیه بین دوغاب و خاک، تحمل می شود. علیرغم اینکه این ریزشمع ها به صورت منفرد طراحی می شوند، به صورت گروهی نیز ممکن است اجرا شوند.

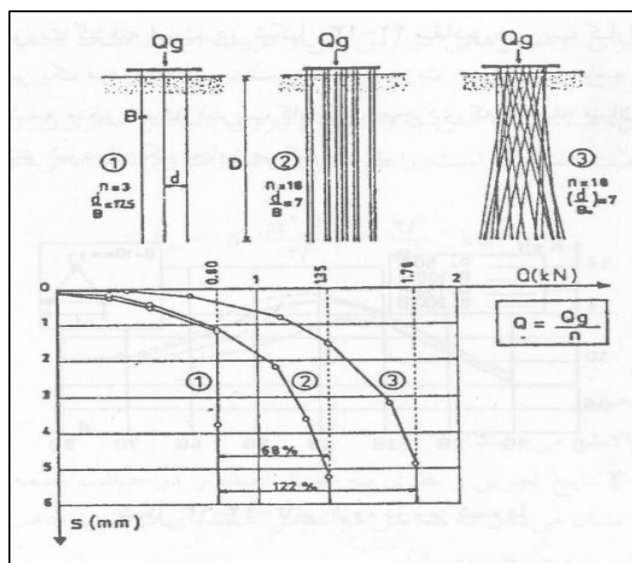
ب. شبکه ریزشمع مشبک با فواصل کم

این نوع ریزشمع خاک را محدود کرده و بصورت داخلی و بین ذره ای آن را مسلح می کند و در نهایت یک ترکیب خاک مسلح شده، بار را تحمل خواهد کرد. شبکه ریزشمع ها برای تقویت و تثبیت خاک مورد استفاده قرار می گیرد و در نهایت توده ای از خاک مسلح ایجاد

می نماید. بارهای سازه‌ای بر خلاف ریزشمع‌های منفرد، به کل توده خاک مسلح شده وارد می‌شود. از آن جایی که شبکه ریزشمع‌ها همانند ریزشمع‌های منفرد بارگذاری نمی‌شوند، اجزای مسلح کننده آن‌ها نیز کمتر است (شکل ۳).

روش‌های طراحی به صورت ترکیبی از ریزشمع‌های نوع انفرادی و گروهی نیز وجود دارد. برای مثال می‌توان به یک ردیف ریزشمع که برای پایدارسازی شیروانی استفاده شده است، اشاره نمود. مطالعات اخیر نشان می‌دهد برهم‌کنش خاک و شمع تنها در مجاورت صفحه لغزش صورت می‌گیرد. در این شرایط شمع از نوع منفرد در نظر گرفته می‌شود که بصورت مستقیم بار را تحمل می‌کند. گروه شمع نیز میزان پیوستگی خاک مسلح شده را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد [۴].

فلسفه رفتار (طراحی) یک گروه ریزشمع مشابه ریزشمع منفرد است. گروه ریزشمع در واقع چیدمان نزدیک به هم ریزشمع‌هاست که هر کدام مستقیماً بارگذاری می‌شوند. رفتار و طراحی یک گروه ریزشمع، هرگز نباید با رفتار شبکه ریزشمع‌ها اشتباه گرفته شود.



شکل ۳: تاثیر شبکه در ریزشمع‌ها

طبقه‌بندی ریزشمع‌ها براساس روش اجرا

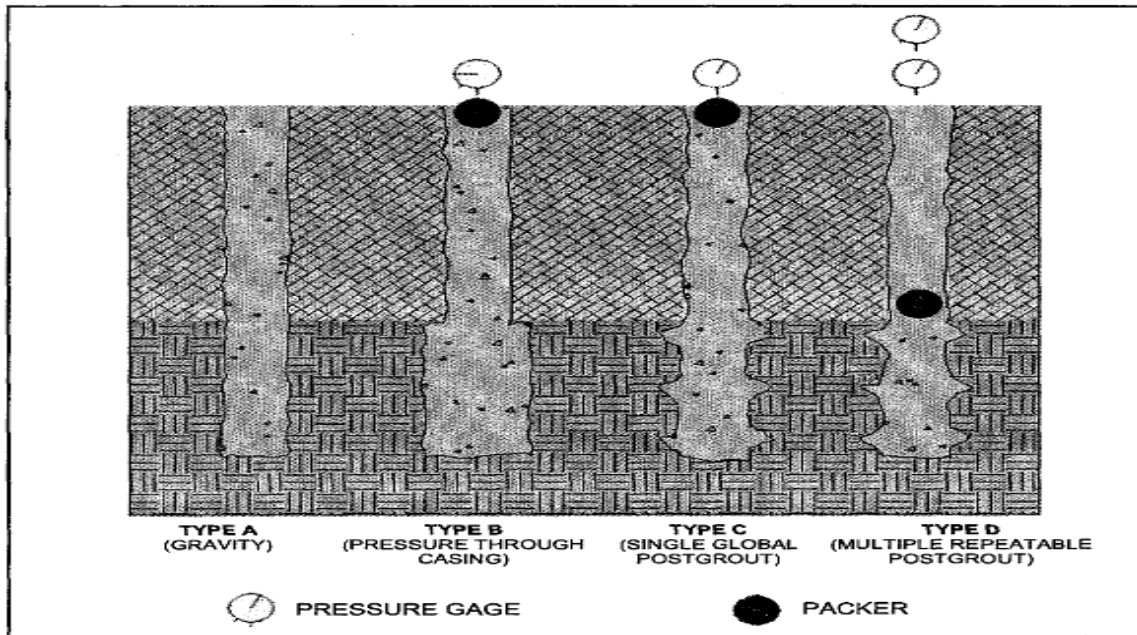
روش تزریق مهم‌ترین عامل در تعیین کیفیت و میزان ظرفیت پیوند بین خاک و دوغاب است. نوع دیگر طبقه‌بندی ریزشمع‌ها بر پایه روش تزریق و فشاری است که شمع با استفاده از آن اجرا می‌شود. استفاده از غلاف حفاری و مسلح‌کننده، زیرشاخه‌های دسته‌بندی را مشخص می‌کنند [۵].

روش A: در این نوع ریزشمع، دوغاب تحت اثر نیروی ثقل وارد گمانه می‌شود. در این روش می‌توان از ملات ماسه سیمان و یا سیمان به عنوان دوغاب استفاده نمود. به طور معمول برای این ریزشمع‌ها مقاومت کششی در نظر گرفته نمی‌شود.

روش B: در این نوع ریزشمع، هم‌زمان با بیرون آوردن غلاف فلزی از داخل گمانه، ملات سیمان با فشار، در گمانه قرار می‌گیرد. فشار تزریق معمولاً بین ۰.۵ تا ۱ مگاپاسکال تغییر می‌کند. برای جلوگیری از ترک خوردن خاک اطراف و تزریق بیش از اندازه دوغاب، لازم است فشار تزریق در این محدوده قرار گرفته و فضایی در جداره غلاف در نظر گرفته شود تا بیرون کشیدن آن میسر باشد.

روش C: در این نوع ریزشمع، تزریق دوغاب طی دو مرحله انجام می‌گیرد. ابتدا ملات سیمان به واسطه نیروی ثقل (مشابه آنچه در روش A توضیح داده شد) به عمق گمانه حفاری شده منتقل و سپس قبل از آنکه ملات سفت شود (حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه)، دوغاب با مشخصات مشابه ملات اولیه، بدون استفاده از فاصله‌نگهدار (Paker) با لوله تزریق و با فشار حداقل ۱ مگاپاسکال، بداخل گمانه تزریق می‌شود.

روش D: روش اجرا در این نوع ریزشمع مشابه روش C است ولی تزریق در مرحله دوم به گونه‌ای دیگر انجام می‌شود. ابتدا ملات سیمان تحت نیروی ثقل و یا تحت فشار وارد حفره می‌شود. پس از سخت شدن ملات در مرحله اول، ملات دوم توسط لوله با فشار ۲ تا ۸ مگاپاسکال تزریق می‌شود. در این نوع ریزشمع از فاصله‌نگهدار نیز می‌توان استفاده کرد تا در صورت نیاز بتوان در ترازهای مشخصی تزریق بیشتری انجام داد. استفاده از این نوع ریزشمع در سراسر دنیا رایج است (شکل ۴).

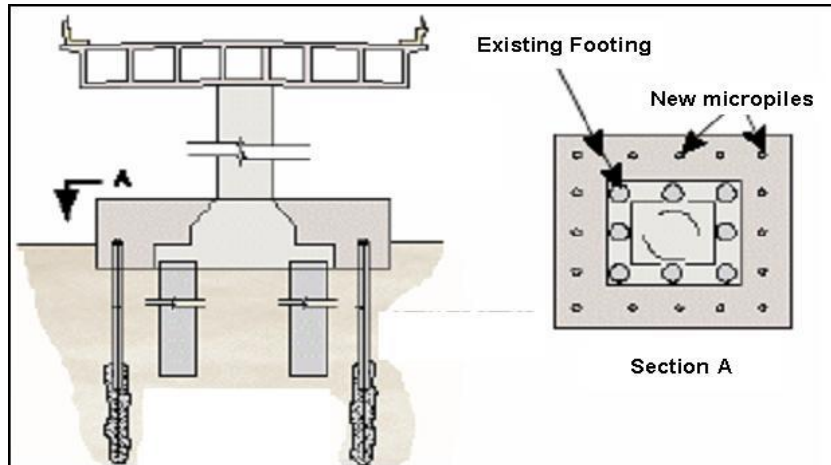


شکل ۴: طبقه بندی ریزشمع ها بر اساس نوع تزریق

کاربرد ریزشمع ها

استفاده از ریز شمع ها دارای تنوع گسترده ای می باشد بطوریکه در شرایط حفاری دشوار از قبیل فضاهای بسته (تنگ)، وجود سقف پیش ساخته کوتاه و یا زمانی که اجرای شمع مقرون به صرفه نباشد کاربرد این نوع تسلیح بسیار موثر خواهد بود. ریز شمع ها امروزه در پروژه های ساختمانی جدید همانند پل ها، ساختمان های مسکونی و تجاری، فونداسیون توربین های بادی و برج های مخابراتی و پی های ساختگاه های صنعتی و غیر صنعتی به کار می رود. یکی از کاربردهای بالقوه ریزشمع ها استفاده در بستر های سنگی و صخره ای که قابلیت حفاری و اجرای شمع در آن وجود ندارد می باشد [۳].

ریزشمع ها اولین بار برای بازسازی بناهای تاریخی مورد استفاده قرار گرفت بطوریکه با اجرای آن و تزریق دوغاب سیمان و ایجاد محیط پیوندی بین ریزشمع و خاک پیرامون آن ظرفیت باربری چشم گیری در فونداسیون ساختمان و کاهش نشست را در پی داشت. با پیشرفت برنامه های کامپیوتری و شبکه های اینترنتی پیشرفت شگرفی در زمینه طراحی و ساخت ریز شمع ها صورت پذیرفته است. بطوریکه امروزه از این سازه تسلیح جهت کنترل نشست های تحکیمی که تشخیص آنها بسیار مشکل است استفاده می شود. کاربرد دیگر ریزشمع ها در پی های سطحی موجب کنترل نشست و جلوگیری از پدیده سوراخ شدگی (Punch) و واژگونی پی در زمان وارد شدن بارهای لرزه ای می باشد. در ساختمانهای فرسوده و قدیمی که دارای پی های سست و شکننده می باشند استفاده از ریزشمع علاوه بر جلوگیری از هرگونه آسیب به پی ساختمان در مواجهه با نیروهای لرزه ای موجب بهبود شرایط خاک و بالابردن ظرفیت باری خاک می شود (شکل ۵).



شکل ۵: مقاوم سازی لرزه ای پی سازه های موجود

ماهیت اجرایی موثر و سریع ریزشمع ها به مهندسیین و پیمانکاران این اجازه را داد که از ریز شمع بعنوان یک راه حل مناسب در شرایط سخت استفاده نمایند.

مزایای ریزشمع ها

استفاده از ریزشمع ها نسبت به سایر روش های بهسازی دارای مزیت هایی است. در این بخش به برخی از آن ها اشاره می شود:

- ۱- اجرای ریزشمع ها به گونه ای است که کمترین مزاحمت را برای سازه های مجاور، خاک اطراف و محیط ایجاد می کند.
- ۲- ریزشمع ها قابلیت اجرا در هر نوع خاک، خاکریز، سنگ، شرایط زمین و محیط هایی با دسترسی محدود را دارند (شکل ۶).
- ۳- ریزشمع ها می توانند با هر زاویه ای در خاک اجرا شوند.
- ۴- تجهیزات لازم برای اجرای ریزشمع ها مشابه اجرای میل مهارها، میخ کوبی و پروژة های تزریق است.
- ۵- به دلیل ایجاد کمترین سر و صدا و ارتعاش و عدم نیاز به فضای زیاد برای اجرا، ریزشمع ها اغلب برای بهسازی پی سازه های موجود مورد استفاده قرار می گیرند.



شکل ۶: تجهیز مناسب کوبش ریزشمع در فضاهای محدود

ایده های جدید

به منظور صرفه جویی در انرژی و مواد و نهایتاً کاهش هزینه تمام شده ساخت و اجرای ریزشمع تحقیقی در خصوص استفاده از مصالح جایگزین جدید بجای ریزشمع ها مطرح گردید. در خصوص استفاده از مصالح جایگزین با توجه به در دسترس بودن آن می توان به مواد بیولوژیک قابل بازیافت همانند خیزران و نی خیزران اشاره نمود. خیزران از تیره گندمیان بوده و بطور وفور در مناطق ساحلی و حاره ای مانند جنوب و شمال ایران یافت می شود [۶]. با توجه به ویژگیهای نی خیزران مانند مقاومت، استقامت، صافی و سبک بودن آن و همچنین سختی بالای آن جایگزین مناسبی برای ریزشمع بنظر می آید (شکل ۷).

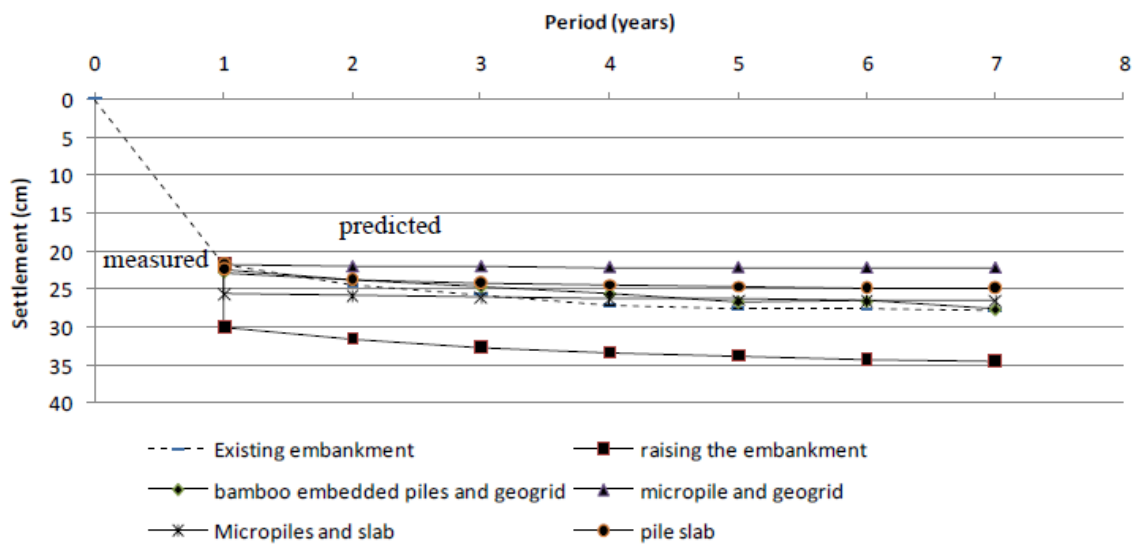


شکل ۷: نی خیزران

نی خیزران جزء منابع طبیعی تجدید پذیر و قابل تجزیه بوده و یک گیاه موثر جهت جذب مواد زاید شیمیایی و کاهش گرمایش زمین بشمار می رود. از لحاظ پارامترهای هندسی دارای قامتی بلند و باریک بوده و بصورت پوشیده از برگ های انبوه در مناطق مستعد رشد می نماید. براساس نتایج یک تحقیق در خصوص بررسی میزان نشست پذیری دیوار خاکریز جاده ای با بستر خاک رس نرم در غرب اندونزی بطول ۳ کیلومتر با وجود قوس زدگی و ترک های فراوان در سطح آسفالت جاده پس از بررسی و مدلسازی به روش المان محدود مشاهده شد استفاده از نی خیزران به همراه ژئوگرید موجب کاهش ۱۸ درصدی نشست خاک بستر گردیده است [۶]؛ که البته در مقایسه با اجرای شمع (۶۷ درصد) و ریزشمع (۹۲ درصد) از میزان کمتری برخوردار بود (شکل ۸ و ۹).



شکل ۸: ترک های ناشی از فرونشست آسفالت جاده



شکل ۹: مقایسه میزان نشست دیوار خاکی با استفاده از خیزران و سایر مصالح تسلیح

مشکل اساسی استفاده از نی خیزران تجزیه پذیر بودن آن در مناطق خشک بوده لذا استفاده از این مصالح طبیعی در مناطق استحصالی نزدیک سواحل و بسترهای رسی با سطح ایستابی بالا توصیه می گردد. همچنین طول بلند و قطر نازک نی خیزران موجب نفوذ در خاک های ریز دانه اشباع با عمق های نامحدود و متفاوت شده و این موضوع منجر به تثبیت خاک ناحیه مورد استفاده می شود.

نتیجه گیری

با توجه به این که تکنولوژی استفاده از ریز شمع بطور فزاینده ای در حال گسترش است لذا محققین بطور پیوسته در حال نوآوری در خصوص استفاده از ریز شمع در ساختارها می باشند . با توجه به روند رو به رشد ساخت و ساز و تراکم شهرها استفاده از ریز شمع گزینه مناسب و مفیدی در شرایط دشوار اجرایی به شمار می رود [۲]؛ در کنار استفاده از این تکنولوژی می توان به کاربرد مصالح طبیعی مانند نی خیزران نیز اشاره نمود که با توجه به ساختار هندسی آن میتواند جایگزین مناسبی برای ریز شمع در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالا بوده و شرایط روانگرایی حاکم می باشد به شمار رود.

از این رو بجا است که فرآیند طراحی ریز شمع ها بطور دقیق پیگیری شده و ضمن برطرف کردن نگرانی های ناشی از مسایل ایمنی و اقتصادی آن تقایص موجود در کاربرد اینگونه مصالح در شرایط خاص مرتفع گردد.

منابع و مراجع

- [1] Abd Elaziz, A. Y. and El Nagggar, M. H. (2015). "Performance of hollow bar micropiles under monotonic and cyclic lateral loads," Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 141, no. 5, p. 04015010.
- [2] Vani, B. and Arumairaj, P. (2016) "Evaluation of Settlement and Load Carrying Capacity of Footing with Micropiles on Sand," International Journal of Scientific Research, vol. 4, no. 6.
- [3] Zolfegharifar, S. Y., DARAM, H., and RAHIMI, M. (2015). "Static Analysis, Using Finite-Element Method (FEM) for Micropiles Application Evaluation: Empirical and Numerical Perspective," Cumhuriyet Science Journal, vol. 36, no. 4, pp. 2069-2078.
- [4] Aswathy, P., and Manuel, M. (2016). "A Model Study on Effect of Pattern on Group Efficiency of Micropile." International Journal of Science and Research, vol.5, no 8, pp. 1857-1859.
- [5] Elarabi, H., and Abbas, A. (2014). "Capacities of Micropiles Cast in with pressure,". Electronic Journal of Geotechnical Engineering, vol.19, pp.22-29.
- [6] Arsyad, A., Hamid, W., and Yusmin, A. (2014). "Case Study of Reinforced Road Embankment Over a Deep Soft Soil," Southeast Asia Conference on Softsoil Engineering and Ground Improvement: Advancement of Research and Practice for Geotechnical Solutions.