میکرو شمع (Micro pile)

محمد امجدزاده دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی دانشگاه شهید چمران اهواز
علی سلیقه‌زاده دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی دانشگاه شهید چمران اهواز
Amjadzadeh_kankash@yahoo.com

چکیده :
یکی از روش های بهسازی و تقویت زمین استفاده از میکرو شمع ها است . در این روش میکرو شمع ها مانند ریشه های درخت باعث تثبیت و تسلیح خاک می شوند . میکرو شمع ها دارای کاربرد های کششی ، فشاری و کششی – فشاری می باشند که متناسب با شرایط موجود از آنها استفاده می شود . طول و قطر کم ، راحتی حفاری ، آسانی نصب ، در دسترس بودن ، قابلیت اجرا در زمین های محدود ، پایین بودن درصد خسارت ناشی از نصب و همچنین ظرفیت باربری بالای این سیستم بهسازی ، آن را به یکی از موثرترین روش های تثبیت و تقویت زمین تبدیل کرده است . در این مقاله سعی شده به منظور معرفی هرچه بهتر و بیشتر این سیستم ، خصوصیات ، نحوه و شرایط اجرا ، نحوه طراحی وظرفیت باربری میکرو شمع ها شرح داده شود .

کلید واژه ها : *میکرو شمع ، گروت ، تایتان ، کیسینگ ، حفاری ، گمانه .*

۱- مقدمه

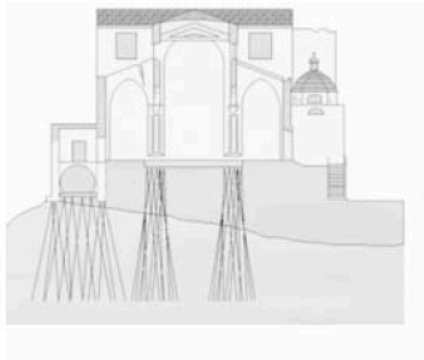
افزایش روزافزون جمعیت و به دنبال آن افزایش نیاز به ساخت و ساز و اجرای پروژه های عمرانی مختلف از یک سو و محدودیت زمین های مناسب جهت احداث سازه های مورد نیاز از سوی دیگر باعث پیدایش روش های فراوانی به منظور مقاوم سازی و بهبود شرایط طبیعی زمین شده است . آنچه که باعث می شود یک روش بر روش دیگر برتری یابد پارامترهای اقتصادی ، شرایط و مشکلات اجرایی، امکانات موجود و محدودیت های مکانی و زمانی و... می باشد . این مقاله به بررسی ویژگی های روش بهسازی زمین با استفاده از میکرو شمع ها می پردازد .

۲- میکرو شمع چیست ؟

به طور کلی شمع حفاری و گروت ریزی شده با قطر بین ۵ تا ۱۲ اینچ و با عضو تقویت کنندهٔ فولادی که در مرکز گمانهٔ استوانه ای شکل حفاری شده قرار می گیرد و می تواند شامل میلگردهای منفرد یا مضاعف باشد را میکرو شمع می گویند .

۳- سیر تکاملی میکرو شمع ها

اصل ماجرا در سال ۱۹۵۰ به وسیله دکتر فرناندو لیزی با ایجاد نوعی از سیستم میکرو شمع که ترکیبی از نوعی گروت با میله های فولادی و با یا بدون غلاف شمع (لوله گذاری شمع) بود شروع شد .
وی معتقد بود که یک سیستم فونداسیون شامل گروهی از شمع های کوچک درست مثل ریشه های یک درخت تشکیل یک تودهٔ خاک مسلح می دهد . او این سیستم را Pali Radice یا Root Piles نامید . (شکل ۱)
با گذر زمان و پیشرفت های حاصله ، روش های نصب مختلفی در پیش گرفته شد و سیستم های تقویت کننده ای ساخته شد که همهٔ آنها تحت یک عنوان عمومی ثبت شدند که این عنوان ابتدا عبارت بود از Mini-Piles که بعدها به میکرو شمع ها (Micro piles) تغییر کرد .



شکل ۱ : *نمونه ای از فونداسیون مجهز به Root Piles*

با پیدایش کارگاه های بین المللی برای میکرو شمع ها (IWM) ابتدا در آمریکای شمالی و بعد در سایر کشورها " میکرو شمع ها" به یک نام آشنا در صنعت پی سازی و ژئوتکنیک تبدیل شدند .
میکرو شمع ها در واقع همچون شمع های اصطکاکی هم برای تحمل بارهای کششی و هم برای تحمل بارهای فشاری به کار گرفته می شوند . [۱]

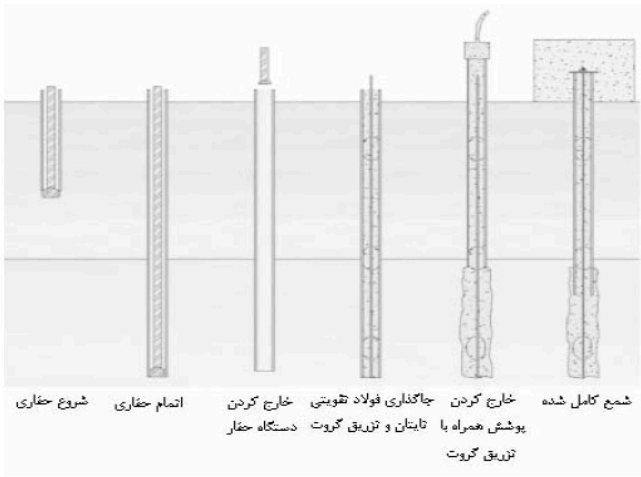
۴- انواع شمع ها و سیستم های تقویت کننده

در جریان سیر تکاملی میکرو شمع ها از ۴۰ سال پیش در کنار تجهیزات حفاری متفاوت ، میله های تقویت کنندهٔ رزوه دار (پیچی) و سیستم های تزریق گوناگونی مانند : سیستم Gewi Pile ، سیستم شمع های سوزنی(Pin Pile) و سیستم میکرو شمع های در جا ریز با تقویتی فولادی از جنس تایتان (Titan) و... معرفی شده اند . [۱]

۵- سیستم میکرو شمع های در جا ریز با تقویتی از جنس تایتان

مراحل اصلی اجرای میکرو شمع ها به شرح زیر می باشد :

۱- حفاری
۲- جاگذاری فولاد تقویتی
۳- تزریق گروت
۴- خارج کردن پوشش محافظ (Casing) همزمان با تزریق گروت (شکل ۲)

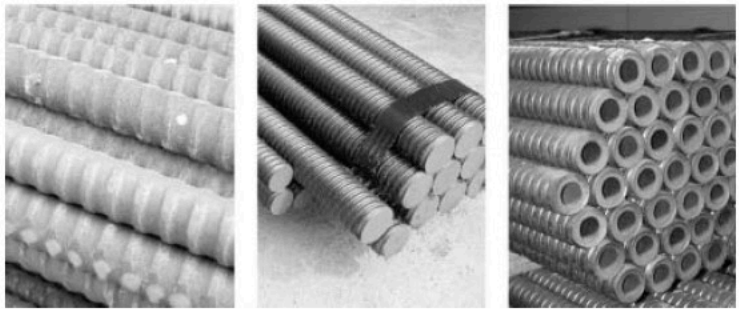


شکل ۲ : *مراحل اجرای میکرو پایل* [۱]

یکی از جدیدترین پیشرفت ها ، سیستم و روشی است که تمامی روش ها را در یک طریق نصب مجزا ترکیب می کند . در این روش از میلگردهای میان تهی به تنهایی وگاهی اوقات در ترکیب با میلگردهای تو پر یا مارپیچ استفاده می شود که می تواند به صورت پس تنیده هم باشد . این نوع شمع به دلیل تزریق تحت فشار گروت با خاک یکپارچه می گردد و یک سیستم فونداسیون متشکل از توده ای خاک مسلح را تشکیل می دهد . مخصوصاً اگر به صورت گروهی به کار گرفته شود .

۶- چرا میکرو شمع ها سیستم فونداسیون منحصر به فردی هستند ؟

میکرو شمع ها می توانند با دستگاه های حفاری نسبتاً کوچکی به صورت منفرد یا گروهی و تحت شرایط دسترسی محدود و ارتفاع سازه ای کم نصب و جاگذاری شوند . همچنین آنها می توانند برای مثال همچون Titan IBO تنها با استفاده از حفاری دورانی نصب شوند . این سیستم به دلیل روش نصب خاصی که دارد ، خطر خرابی سازه ناشی از لرزش حاصل از نصب شمع های کوبشی با ضربات سنگین مخصوصاً در محل یا در همسایگی نزدیک آن را کم می کند یا به کلی از بین می برد . مصالح تقویت کننده از نوع میله های محکم توپر یا لوله های توخالی منحصر به فرد با برجستگی های خارجی پیوسته می باشند که می توانند به آسانی به هم متصل و پیچ شوند تا به طول مورد نیاز برسند . (شکل ۳)[۱]



شکل ۳ : *نمونه هایی از میله های تقویت*

۷- دلایل ظرفیت بالای میکرو شمع ها

میکرو شمع ها گاهی برای ظرفیت باربری بالاتر از ۴۰۰ تن نیز طراحی می شوند . راز این ظرفیت باربری بالا ، استحکام و قدرت بالای فولاد است . درصد فولاد در کل مساحت این المان ها می تواند در حدود ٪۵۰ و از فولادی با مقاومت جاری شدن ۸۰ ksi تا ۱۵۰ ksi باشد .

۸- مزایای استفاده از میکرو شمع ها

- میزان کارایی زیاد
- قابلیت نفوذ در موانع
- قطر کم بین ۵ تا ۱۲ اینچ
- مناسب برای طراحی در شرایط محدود
- کوتاه بودن یا دارای ارتفاع سازه ای کم
- ظرفیت باربری بالا بین ۳ton تا ۵۰۰ ton
- قابل طراحی برای بارهای کششی و uplift
- قابل اجرا در خاک های تثبیت شدهٔ نفوذپذیر
- قابل نصب در نواحی دشوار و دارای شرایط سخت
- کاهش میزان صدا و لرزه و ارتعاش ناشی از نصب شمع

- مناسب برای یک دامنهٔ تغییرات گسترده از شرایط خاک

ازجمله مزایای استفاده از میکرو شمع ها می باشند .

۹- مشکلات استفاده از میکرو شمع ها

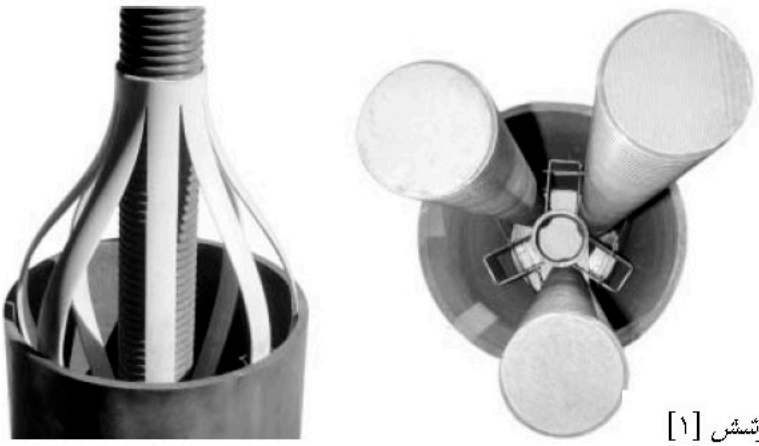
زمانی که از میکرو شمع های کم ضخامت با ظرفیت باربری خیلی بالا استفاده می شود ، مشکل کمانش شمع باعث نگرانی مهندسان طراح و سازندهٔ میکرو شمع ها می شود . این نگرانی به خصوص در میکرو شمع های با طول بیش از ۵۰ft در میان مواد رسی بسیار سفت با طاقت در حد سنگ سختی همچون سنگ آهک بیشتر می شود . زیرا ظرفیت باربری میکرو شمع های نصب شده در سنگ سخت بیشتر به وسیلهٔ مقاومت ساختمان المان (در واقع ظرفیت باربری نوک) دیکته می شود تا نیروهای مهاری بین دوغاب میکرو شمع ها و خاک احاطه کنندهٔ آن . از این رو ممکن است در چنین شرایطی کمانش ، ظرفیت باربری میکرو شمع ها را کنترل کند . ولی در حالتی که میکرو شمع ها در خاک های نرم نصب شده و خصوصاً وقتی فولاد تقویت فقط در مرکز باشد یا در محیط هایی که در مصالح اطراف شمع خلل و فرج وجود داشته باشد ظرفیت باربری میکرو شمع ها به وسیلهٔ مصالح و ساختمان شمع و شرایط خاک هر دو با هم کنترل می شود . در بیشتر اوقات ظرفیت باربری ساختار میکرو شمع ها طراحی آن را کنترل می کند . [۲]

۱۰- روش نصب میکرو شمع ها

میکرو شمع های حفاری شده با تکنولوژی حفاری چرخشی نصب می شوند . در این روش به منظور حفاری از جریان شدید آب در داخل لوله به همراه چرخش متهٔ حفار استفاده می شود . در حین حفاری در صورت لزوم غلاف پوشش نیز به داخل زمین رانده می شود . شمع های حفاری شده تا عمق طراحی شده به اضافهٔ یک ناحیهٔ مهاری در خاک های باربر حفاری می شوند . به محض کامل شدن عملیات حفاری تا عمق طراحی شده و جا گذاری تقویت های فولادی و تثبیت آنها در جای خود به وسیلهٔ یک سری نگهدارنده ها (شکل ۴) ، فرایند تزریق گروت شروع می شود . گروت را از طریق لوله ای تحت فشار به انتهای چاه حفاری شده هدایت می کنند به طوری که فضای بین تقویت کننده های فولادی و زمین اطراف را پر کند و از بالای چاه خارج شود . نتیجهٔ به دست آمده یک میکرو شمع در جا ریخته شده با تقویت می باشد که قادر به تحمل باری معادل ۱۰ تا ۲۰۰ تن و با نصب تأسیسات خاص تا ۵۰۰ تن می باشد . (شکل ۲) [۳]

موفقیت سیستم میکرو شمع های حفاری شده وابسته به چهار فاکتور کلیدی است :

- قابلیت و توانایی تجهیزات
- با تجربه بودن پیمانکار مربوطه
- ارائهٔ گزارش دقیق و صحیح از رفتار خاک طبیعی اطراف گمانه
- تست بار مناسب و ارزیابی ظرفیت اصطکاکی خاک در محل با آزمایش



شکل۴ : *طریقهٔ تثبیت فولاد تقویتی در داخل پوشش* [۱]

۱۰-۱- روش تست بار (آزمایش بار)

آزمایش بارگذاری باید بر روی شمع های با ظرفیت باربری بالاتر از ۵۰ تن انجام شود و برای شمع های با ظرفیت باربری کمتر از ۵۰ تن می توان از آزمایش بارگذاری با صلاح دید مهندس چشم پوشی کرد .

میکرو شمع های حفاری شدهٔ نمونه را با باری معادل دو برابر ظرفیت باربری طراحی اش تست می کنند و نشست را در بالای شمع اندازه گیری می کنند . به طور کلی روش های پذیرفته شدهٔ مهندسی اظهار می دارد که ماکزیمم نشست شمع نباید از میزان تراکم و فشردگی الاستیک شمع به اضافهٔ ″۰/۱۵ به اضافهٔ ٪۱ از قطر شمع یا نشست خالص کمتر از ″۰/۵ تجاوز کند .

۱۱- روش های انتقال نیرو توسط میکرو شمع ها

انتقال نیروی واردهٔ به میکرو شمع ها به زمین به دو طریق زیر صورت می گیرد :

۱- ازطریق فشار وارد از انتهای شمع به زمین

۲- از طریق اصطکاک و چسبندگی بین سطح بدنهٔ شمع و زمین مجاور

۱۲- طبقه بندی شرایط نصب میکرو شمع ها

۱- شرایط نصب آسان : در این حالت شرایط خاک آسان است . به عنوان مثال وجود خاک نرم روی طبقهٔ خاک تحمل کنندهٔ بار یا به عنوان مثال طراحی ساختمان چراغ ها یا خانه های روستایی و کلبه های تابستانی و علائم ترافیکی .

۲- شرایط نصب طاقت فرسا و سخت : شرایط نسبتاً آسان خاک و یا برای ساختمان های متداول مانند خانه های مسکونی .

۳- شرایط نصب خیلی سخت و طاقت فرسا : شرایط سخت خاک و یا برای ساختمان های متداول و یا برای ساختمان های مهندسی مهم و سخت همچون پل ها . [۴]

۱۳- شیوه طراحی

میکرو شمع های حفاری شده باید برای تحمل فشار ، کشش و بارهای جانبی طراحی شوند . این عمل به وسیلهٔ تجزیه و تحلیل ساختمان شمع و ظرفیت باربری خاک انجام می شود .

ظرفیت باربری ساختمان شمع تابع مقاومت فولاد تقویتی و گروت می باشد . عموماً مقاومت فشاری گروت ، ۴۰۰۰ psi و مقاومت فولاد ۸۰۰۰۰ psi است که در یک ضریب تقلیل ضرب می شود تا به تنش مجاز برسد .

ظرفیت باربری شمع ناشی که از ظرفیت باربری خاک ناشی می شود به وسیلهٔ اصطکاک بین دانه های خاک و گروت به وجود می آید . مقدار ارائه شده در طراحی طول شمع مورد استفاده قرار می گیرد .

۱۳-۱- روش محاسبه ظرفیت باربری میکرو شمع های مجهز به تایتان

طول قسمت باربر از یک شمع (L) به وسیلهٔ قطر بدنهٔ گروت و اصطکاک نهایی خاک و ضریب Tult (اصطکاک جداره) و مساحت جانبی بدنهٔ گروت و ضریب اطمینان تعیین می شود . مقدار ضریب اصطکاک جداره باید از آزمایش ها و بررسی های انجام شده در محل گرفته شود .

۱۳-۱-۱- طول مهاری برای شمع های کششی یا کششی- فشاری :

$$L = \frac{T_w \times Fs}{\pi \times D \times Tult}$$

T_w = بار اعمالی

Fs = ضریب اطمینان

$\pi = 3.14$

$D =$ قطر سر مته × ضریب افزایش

$Tult =$ ضریب اصطکاک جداره

مثال

تعیین طول شمع برای بار کششی معادل ۱۰۰ KN در خاک ماسه ای با سر مته ای به قطر ۱۱۰ mm:

طول قسمت مهاری $\frac{(100 \times 3)}{(\pi \times (0.11 \times 1.5) \times 150 KN/m^{2})} = (\frac{300}{77.76}) = 3.86m$

۱۳-۱-۲- طول مهاری برای شمع های فقط فشاری:

شمع های فشاری این قابلیت را دارند که بار وارده را مانند شمع های مرکب بین مقطع فولادی و بدنهٔ گروت توزیع کنند .

بار حمل شده توسط گروت :

مساحت مقطع گروت $\times \frac{Fc}{4}$

$Fc =$ مقاومت گروت

مقاومت گروت بعد از ۲۸ روز برابراست با $40\ KN/mm^2$.

(مساحت مقطع فولادی -گروت مساحت) $\times \frac{40\ KN/mm^2}{4}$

مثال

برای سر متهٔ ۲۰۰ mm (نیاز به ضریب افزایش نباشد) :

بار حمل شده توسط گروت :

$$(200^2 - 52^2) \times \frac{\pi}{4} \times \frac{40}{4} = (40000 - 2704) \times \frac{\pi}{4} \times 10 = 293\ KN$$

بار حمل شده توسط فولاد :

بار حمل شده توسط فولاد $= \frac{F_s}{2}$

$F_s =$ مقاومت جاری شدن فولاد

مقاومت جاری شدن برای Micro pile52/26 برابر است با ۷۳۰ KN .

$$\frac{730}{2} = 365KN$$

بار نهایی قابل تحمل در شمع های فشاری :

بار وارده بر گروت + بار وارده بر فولاد $= 293 + 365 = 685\ KN$

۱۴- نتیجه گیری

استفاده از میکرو شمع ها در همه جا به خصوص در مناطق مسکونی که در اطراف محل مورد نظر ساخت و سازهایی وجود دارد و یا در مجاورت سازه های حساس که نمی توان از شمع های کوبشی یا حفاری های عمیق به منظور بهسازی زمین استفاده کرد بسیار مفید و مؤثر می باشد . در ضمن از آنها می توان علاوه بر مقاوم سازی پی ، به عنوان پی و یا برای پایداری شیب ها و یا دوختن دیوار های ریزشی مخصوصاً در تونل ها استفاده کرد .

۱۵- مراجع

[۱] Horst Aschenbroich, Dipl. Ing
MICRO PILE REINFORCEMENT SYSTEMS
and CORROSION PROTECTION.
President and CEO
CON-TECH SYSTEMS LTD, Delta BC, Canada

[۲] Dipl.-Wirt.Ing. Oliver Freudenreich
ANTI HEAVING OF A FOUNDATION PLATE WITH TITAN 103/51 MICROPILES AT THE DUTCH RAILWAY LINE "BETUWELINE"

[۳] by S.S. Liew & C.C. Fong
Design & Construction of Micropiles
Geotechnical Course for Pile Foundation Design & Construction, Ipoh (29 – 30 September 2003)

[۴] KOIZUMI Mikio, FUKASAWA Noboru, NAGAYAMA Hideaki
Quick Closing Integral Bridge Method "QCIB"
JFE TECHNICAL REPORT No. 3 (July 2004)

[۵] http://www.ischebeck-titan.co.uk/pages_02/downloads/Mpiles.pdf