

تعریف و توصیف میکروپایل

1- تعریف و توصیف میکروپایل

1-1- مقدمه

شمع‌ها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

شمع‌های جابجا شونده (Displacement Piles)

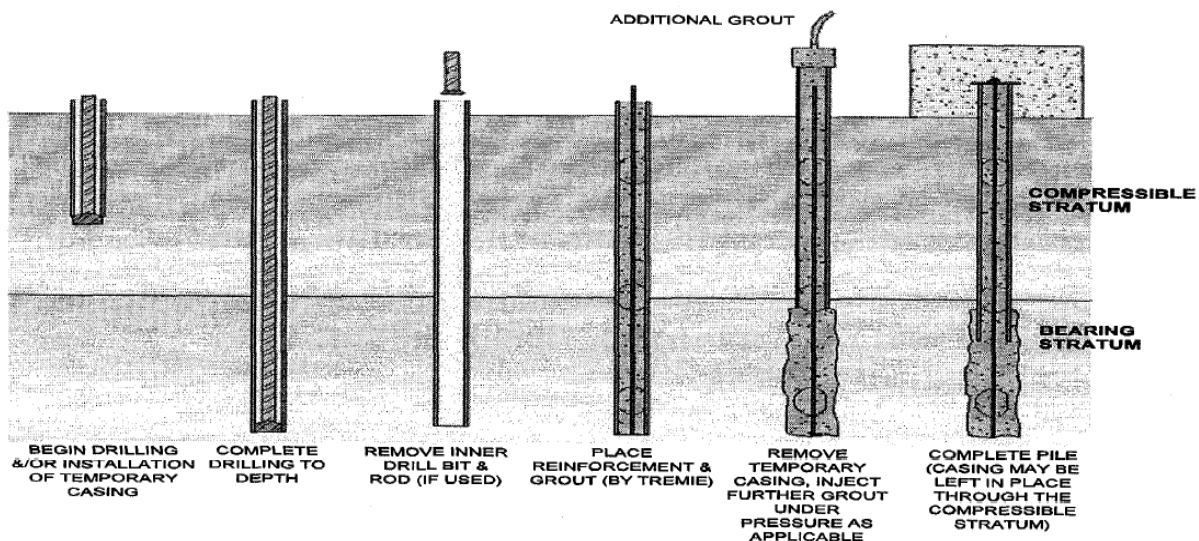
شمع‌های جایگزین شونده (Replacement Piles).

شمع‌های جابجا شونده (Displacement Piles)، شمع‌هایی هستند که بوسیله کوبش یا ارتعاش در زمین اجرا می‌شوند، بطوریکه در حین عملیات نصب خاک‌های جانبی اطراف جابجا می‌شوند.

شمع‌های جایگزین شونده (Replacement Piles) در چاه‌های قبلاً حفاری شده بصورت پیش‌ساخته یا درجا قرار می‌گیرند، بطوریکه در محل حفاری جایگزین خاک می‌شوند.

یک میکروپایل یک شمع جایگزین‌شونده با حفاری و تزریق دوغاب می‌باشد که معمولاً مسلح بوده و دارای قطر کوچک (معمولاً کمتر از 300^{mm}) است.

همانطور که در شکل 1-1 نشان داده شده است، میکروپایل با حفاری یک گمانه، قرار گذاشتن مسلح‌کننده‌ها (آرماتور) و تزریق ملات ساخته می‌شود. میکروپایل‌ها می‌توانند بارهای محوری و یا جانبی را تحمل کنند و می‌توانند جایگزین شمع‌های متداول شده و یا به عنوان جزئی از یک توده مرکب شمع- خاک، بسته به زمینه طراحی بکار رفته، در نظر گرفته شوند. [1,2,3]



شکل 1-1: مراحل اجرای میکروپایل با استفاده از غلاف

نصب میکروپایل‌ها به گونه‌ای است که کمترین تغییرات را در سازه‌ها، خاک و محیط اطراف خود بوجود می‌آورد. همچنین در محیط‌های با دسترسی محدود و همه نوع خاک و شرایط زمین قابل اجرا است. میکروپایل‌ها می‌توانند با تجهیزات مشابه آنچه در پروژه‌های تزریق و مهار کوبی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در سطح زمین، تحت هر زاویه‌ای نسبت به افق نصب شوند.

بعلت حداقل سر و صدا و ارتعاش ایجاد شده در حین نصب و عدم نیاز به فضای زیاد برای نصب، میکروپایل‌ها اغلب برای بهسازی پی سازه‌های موجود مورد استفاده قرار می‌گیرند.

برای اجرای میکروپایل‌ها در شالوده‌های موجود و مورد بهره برداری، اغلب تجهیزات حفاری ویژه‌ای مورد نیاز است.

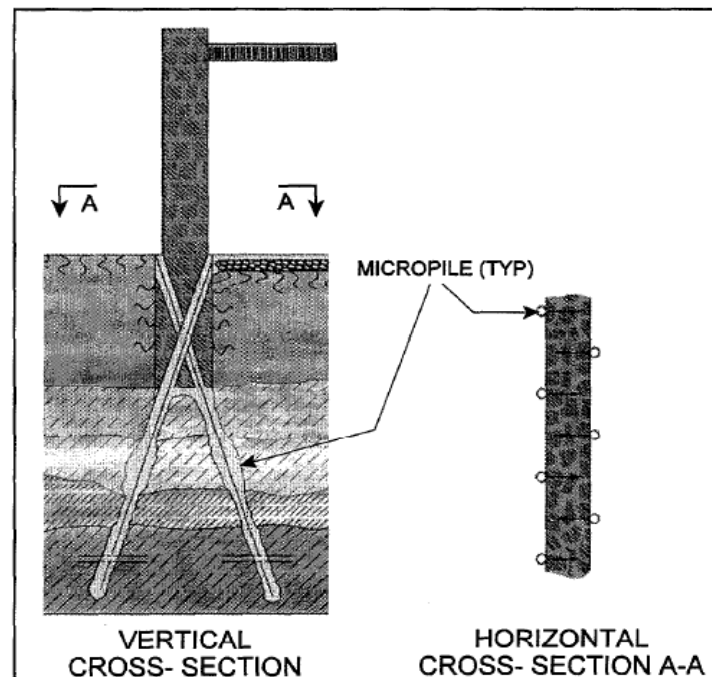
بیشتر بارهای اعمال شده بر شمع‌های درجای متداول، توسط بتن مسلح تحمل می‌شوند، بطوریکه افزایش ظرفیت سازه‌ای نیاز به افزایش سطح مقطع و سطح جانبی آن دارد. در مقایسه، ظرفیت سازه‌ای میکروپایل وابسته به ظرفیت بالای المان‌های فولادی است که اکثر بارهای اعمالی را تحمل می‌کنند. این المان‌های فولادی حدوداً نصف حجم گمانه را اشغال می‌کنند. روش‌های ویژه حفاری و تزریق بکاررفته در نصب میکروپایل‌ها، اجازه پیدایش مقادیر ظرفیت باربری بالایی را در مجموعه خاک-دوغاب، در سطح مشترک آن می‌دهد.

مشابه میل مهارها، دوغاب بار را از طریق اصطکاک در ناحیه پیوستگی میکروپایل از آرماتورها به خاک اطراف منتقل می‌کند. با توجه به قطر کوچک میکروپایل از باربری نوک میکروپایل در برابر ظرفیت باربری جانبی آن، صرف‌نظر می‌شود. مقاومت بدست آمده مخلوط خاک-دوغاب اصولاً متأثر از نوع خاک و روش تزریق مثلاً فشار تزریق و دبی تزریق است، همچنین چنانچه گمانه حفاری کوچک باشد، نوع روش حفاری، نیز موثر است.

1-2- پیشینه تاریخی:

میکروپایل‌ها در اوائل دهه 1950 در ایتالیا بعنوان پاسخی به نیاز فنی جهت بهسازی و بازسازی ساختمانهای تاریخی و بناهای یادبود آسیب دیده در طول زمان و بخصوص در طی جنگ جهانی دوم، ابداع شدند. یک سیستم بهسازی پی-ها، مطمئن برای تحمل بارهای سازه‌ای، با کمترین جابجایی و قابل اجرا در فضاهای با دسترسی محدود و با کمترین اختلال در سازه‌های موجود، مورد نیاز بود. یک پیمانکار متخصص ایتالیایی بنام Fon dedile که دکتر Fernanelo Lizzi را بعنوان مسئول فنی در خدمت داشت، روش Palo radice یا همان ریشه‌شمع (root pile) را برای عملیات بهسازی خاک زیر پی توسعه داد.

Palo radice یک شمع تزریقی با قطر کوچک و حفاری شده و اجرا شده بصورت درجا با آرماتورگذاری سبک است. آرایش کلاسیک Palo radice برای بهسازی پی در شکل 2-1 نشان داده شده است.

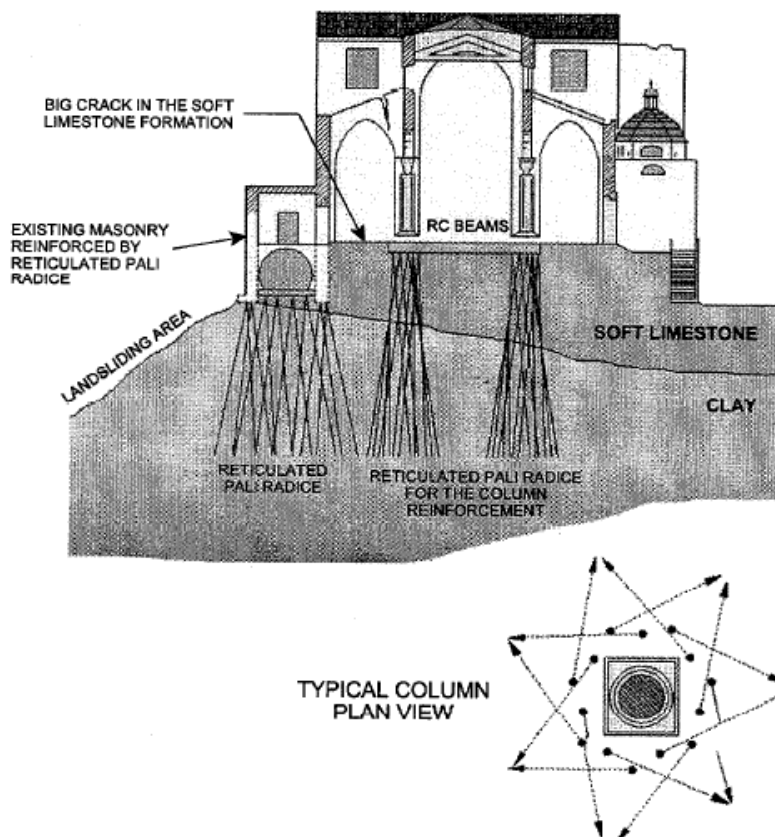


شکل 2-1: آرایش کلاسیک ریشه شمع‌ها "root pile" برای بهسازی خاک زیر پی

استفاده از شمع‌های ریشه‌ای در طی دهه 1950 میلادی در ایتالیا گسترش یافت. Findedile این تکنولوژی را در سال 1962 در انگلستان برای بهسازی پی چندین بنای تاریخی معرفی نمود. همچنین در سال 1965 برای طرح‌های حمل و نقل شهری آلمان بکار برده شد. بنا به دلایل حق مالکیت در آن زمان «ریشه شمع» به «ریزشمع» تغییر نام داد.

در ابتدا اکثر کاربرد میکروپایل در بهسازی سازه‌ای نواحی شهری بود. با شروع سال 1957، تقاضاهای مهندسی منجر به معرفی سیستم‌های ریشه شمع‌های مشبک (reticoli di pail radiee) شد.

این سیستم‌ها که شامل چندین میکروپایل عمودی و مایل در هم فرو رفته در یک شبکه سه بعدی می‌باشند، محصورشدگی جانبی سازه‌ی مرکب خاک-شمع را ایجاد می‌کنند. (شکل 3-1).



شکل 1-3 : شبکه میکروپایل‌های مشبك متداول

شبکه‌های میکروپایل مشبك برای پایدارسازی شیروانی‌ها، تسلیح دیوارهای ساحلی، حفاظت از سازه‌های مدفون و کاربردهای دیگر مسلح کردن خاک، سازه و زمین استفاده می‌شود.

در سال 1973 Fondedile کاربرد میکروپایل‌ها را در قالب تعدادی عملیات‌های اجرایی مقاوم‌سازی پی‌ها، در امریکای شمالی در نواحی نیویورک و بوستون رواج داد. تا اواسط دهه 1980، تکنولوژی میکروپایل توسعه چندانی نیافته بود. بعد از انجام موفقیت‌آمیز تعداد زیادی پروژه بهسازی بناهای تاریخی بوسیله پیمانکاران متخصص و افزایش تقاضا برای ارائه خدمات توسط مشاوران و کارفرمایان در نواحی فرسوده شهر، تردیدهای رونق بازار میکروپایل خاتمه یافت. افزایش کارگران با دستمزد نسبتاً پایین، کمبود فولاد و نیاز به بازسازی مناطق شهری همگی بر توسعه استفاده از میکروپایل‌ها در اروپا تاثیر گذاشت. برعکس، وفور فولاد ارزان‌قیمت، هزینه نسبتاً بالای کارگر و نوعاً انجام پروژه‌های اصلی بزرگ در خارج از مناطق شهری باعث توسعه دیرتر و آهسته‌تر کاربرد میکروپایل در امریکای شمالی شد. این تحولات باعث رشد آهسته میکروپایل با تکنولوژی نسبتاً پایین شد. امروزه،

تقاضای فنی و اقتصادی برای ساخت در سرتاسر جهان مشابه هم بوده و این تقاضا با پرورش گسترده پیمانکاران ژئوتکنیکی با توانایی‌های طراحی و ساخت، بشدت در حال رشد می‌باشد. [1,2]

1-3- انواع میکروپایل:

میکروپایل‌ها را بر اساس دو معیار طبقه‌بندی می‌کنند:

1- فلسفه رفتار (طراحی)

2- روش تزریق (اجراء)

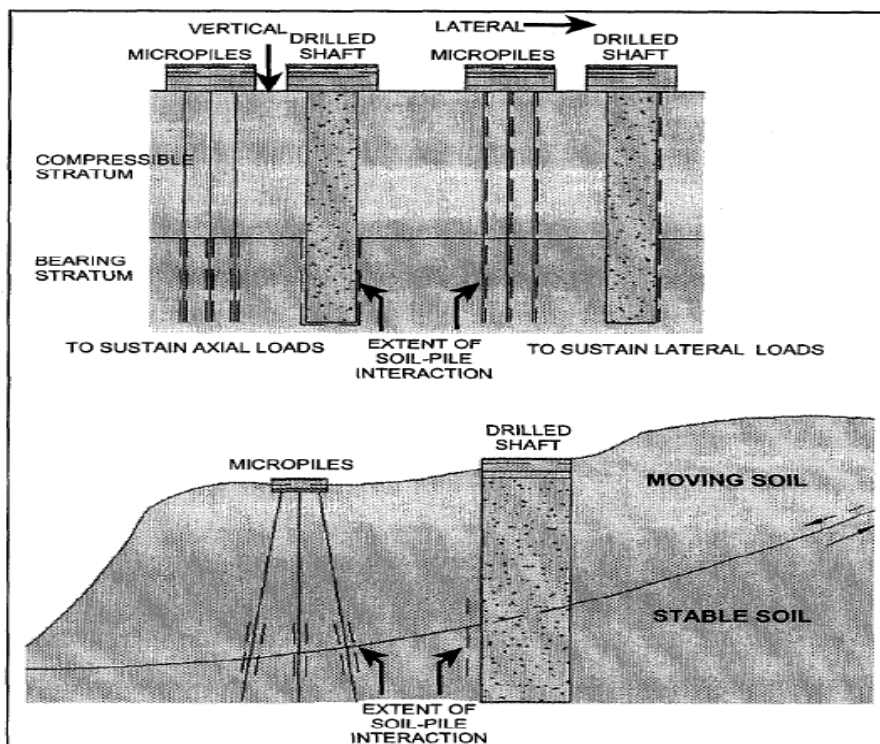
فلسفه رفتار، روش بکار رفته در طراحی میکروپایل را نشان می‌دهد. روش تزریق دوغاب، ظرفیت به هم پیوستگی خاک-دوغاب را که عموماً اصلی‌ترین کنترل سازه‌ای روی ظرفیت میکروپایل است، تعریف می‌کند.

میکروپایل توسط يك عبارت دو قسمتی معرفی می‌شود، قسمت اول يك عدد است که رفتار میکروپایل را نشان می‌دهد (طراحی) و قسمت دوم، يك حرف بوده و روش تزریق دوغاب را معین می‌کند (اجراء).

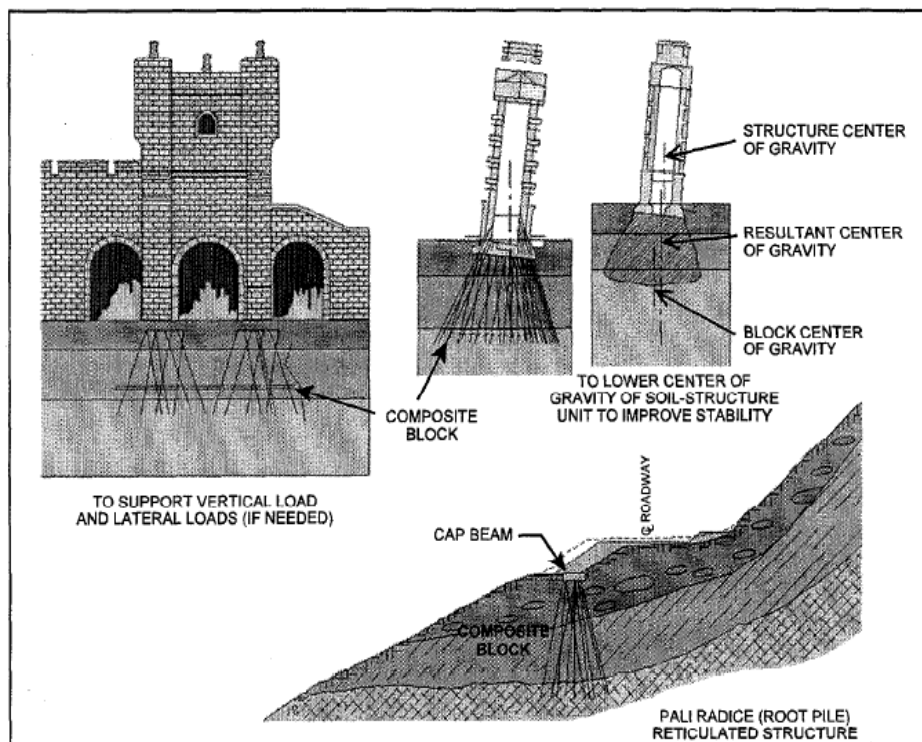
1-3-1- طبقه‌بندی بر اساس فلسفه رفتار (طراحی):

طراحی يك میکروپایل منفرد و یا گروه میکروپایل کاملاً با يك شبکه میکروپایل مشبك با فواصل کم، تفاوت دارد. این موضوع منجر به تعریف المان‌های میکروپایل نوع 1 می‌شود که بطور مستقیم بارگذاری شده و مسلح کننده شمع قسمت عمده‌ای از بار را تحمل می‌کند (شکل 1-4).

میکروپایل نوع دوم خاک را محدود کرده و بصورت داخلی خاک را مسلح می‌کند و يك ترکیب خاک مسلح شده بار اعمالی را تحمل می‌کند. به این نوع میکروپایل‌ها، شبکه میکروپایل مشبك گفته می‌شود. (شکل 1-5).

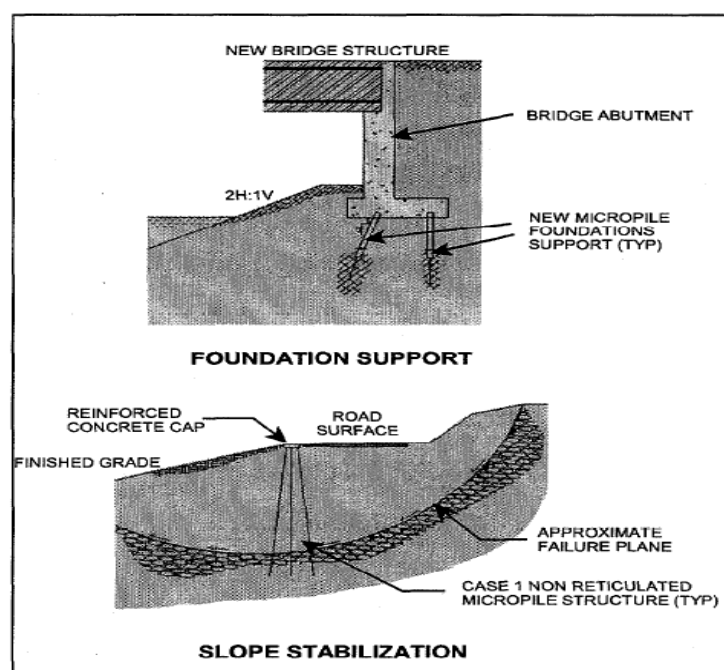


شکل 4-1 : میکروپایل‌های نوع 1 (به طور مستقیم بارگذاری شده)



شکل 5-1 : میکروپایل‌های نوع 2 - شبکه میکروپایل‌های مشبک و توده خاک مسلح شده

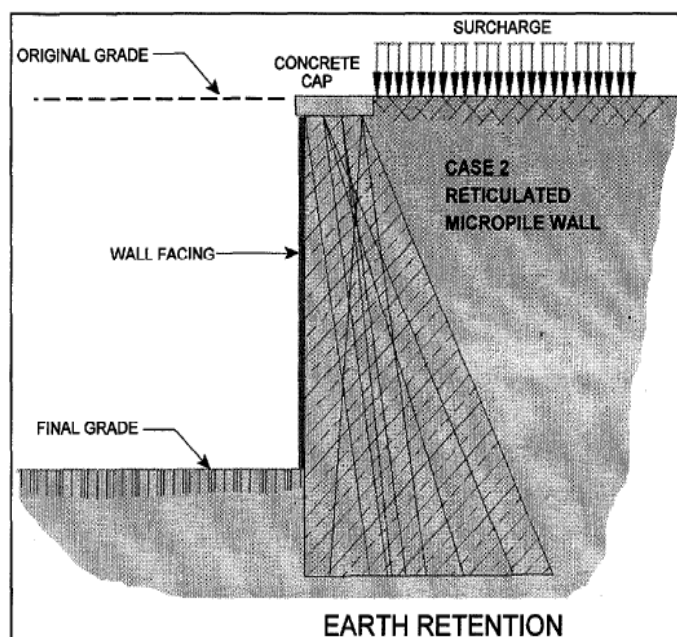
میکروپایل‌های نوع 1 می‌توانند به عنوان جایگزین شمع‌های متداول برای انتقال بارهای سازه‌ای به لایه‌های عمیق تر و مقاومتر خاک استفاده شوند. این شمع‌ها که مستقیماً بارگذاری می‌شوند (چه بارگذاری جانبی و چه بارگذاری عمودی)، بعنوان المان‌های نوع 1 شناخته می‌شوند. بار اولاً بصورت سازه‌ای توسط مسلح-کننده‌های فولادی و ثانیاً بصورت ژئوتکنیکی توسط چسبندگی ناحیه بین دوغاب و خاک، تحمل می‌شود. حد اقل در 90% پروژه‌های میکروپایل اجراشده در سراسر دنیا و تمام پروژه‌های اجرا شده در امریکای شمالی، از میکروپایل نوع 1 استفاده شده است. با وجودی که این میکروپایل‌ها برای کاربری بصورت انفرادی طراحی می‌شوند، ممکن است به صورت گروهی نیز اجراء شوند. آرایش متداول میکروپایل-های نوع 1، در شکل 1-6 نشان داده شده است.



شکل 1-6 : آرایش میکروپایل‌های نوع 1

کاربردهای دیگر شامل استفاده به صورت شبکه‌ای از میکروپایل‌های مشبک به عنوان اجزاء تشکیل دهنده یک توده خاک مسلح شده می‌باشد که برای پایدارسازی و تقویت خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. این میکروپایل‌ها با عنوان نوع 2 شناخته می‌شوند. بارهای سازه‌ای بر خلاف نوع 1، به کل توده خاک مسلح وارد می‌شود. این میکروپایل‌ها به مقدار کمی مسلح می‌شوند چون مانند میکروپایل‌های نوع 1 بصورت منفرد بارگذاری نمی‌شوند. این میکروپایل‌ها به عنوان

محدود کننده و تقویت کننده داخلی خاک مسلح شده، استفاده می‌شوند. یک شبکه میکروپایل‌های مشبک در شکل 7-1 نشان داده شده است.



شکل 7-1: آرایش میکروپایل‌های نوع 2

فلسفه طراحی به صورت ترکیبی بین دو نوع 1 و 2 نیز وجود دارد. برای مثال یک ردیف میکروپایل که برای پایداری شیب استفاده شده است. مطالعات اخیر نشان می‌دهد برهم‌کنش خاک و شمع تنها در مجاورت صفحه لغزش صورت می‌گیرد. در این شرایط شمع بصورت المان نوع 1 در نظر گرفته می‌شود چون بصورت مستقیم بار را تحمل می‌کند. بالای صفحه گسیختگی، گروه شمع درجه پیوستگی خاک مسلح شده را افزایش می‌دهد. این رفتار از نوع 2 است. بنابراین این مثال ترکیبی از نوع 1 و 2 می‌باشد. فلسفه رفتار (طراحی) یک میکروپایل نوع 1 منفرد مشابه گروه شمع نوع 1 است. یک گروه میکروپایل نوع 1 بصورت چیدمان نزدیک به هم میکروپایل-هاست که هرکدام مستقیماً بارگذاری می‌شوند. رفتار و طراحی یک گروه میکروپایل نوع 1، هرگز نباید با رفتار شبکه میکروپایل‌های مشبک، حتی اگر از نظر هندسه مشابه باشند، اشتباه گرفته شود. [1,2,3]

1-3-2 طبقه‌بندی بر اساس طریقه اجرا (روش تزریق):

روش تزریق ، حساسترین پارامتر کنترل در تعیین ظرفیت چسبندگی خاک-دوغاب است و این ظرفیت به طور مستقیم با تغییر در روش تزریق تغییر می‌کند. قسمت دوم طبقه بندی میکروپایل شامل یک حرف (از A تا D) است که بر اساس روش

قرارگیری و فشار تزریق بکار رفته، می باشد. استفاده از غلاف حفاری و مسلح کننده، زیر شاخه‌های دسته بندی را مشخص می‌کنند.

نوع A: در این نوع، دوغاب تنها تحت اثر نیروی ثقل در گمانه پایین می‌رود. ملات ماسه سیمان و ملات سیمان تمیز می‌توانند استفاده شوند چون ستون دوغاب تحت فشار قرار نمی‌گیرد. به منظور افزایش ظرفیت کششی، گمانه شمع ممکن است قطورتر شود. اگرچه این روش رایج نبوده و در سایر انواع شمع استفاده نمی‌شود.

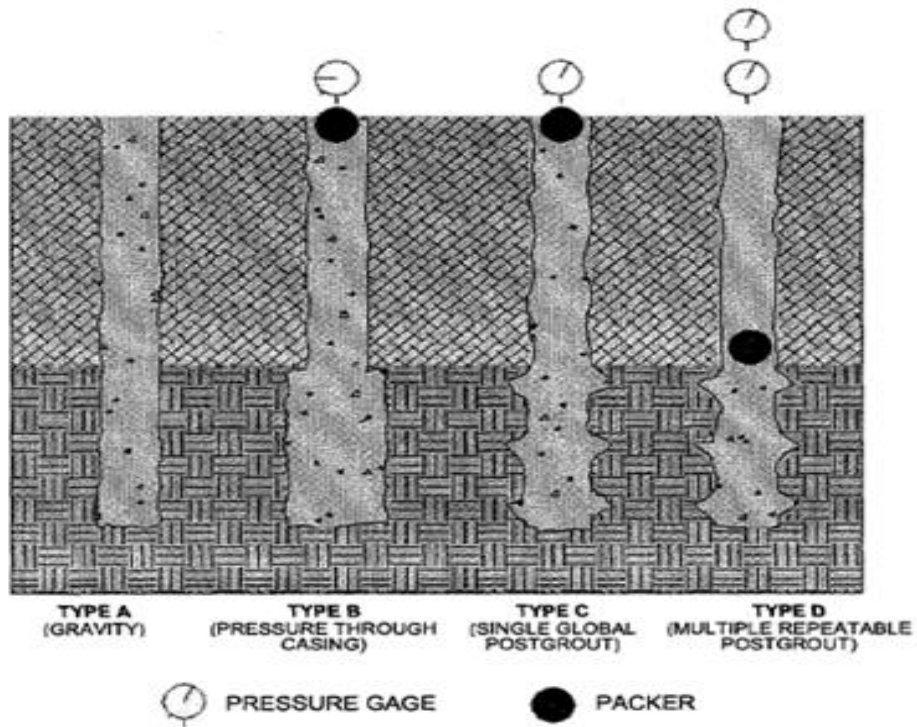
نوع B: در این نوع، هنگامی که غلاف حفاری فولادی موقت از داخل گمانه بیرون کشیده می‌شود، ملات سیمان تمیز توسط فشار داخل گمانه تزریق می‌شود. فشار تزریق معمولاً از 0.5 تا 1 Mpa تغییر می‌کند. فشار تزریق باید به این مقدار محدود شود تا از ترك خوردن خاك اطراف (hydro fracturing) و تزریق بیش از اندازه جلوگیری شده و فضایی در اطراف غلاف برای سهولت بازیابی آن باقی بماند.

نوع C: در این نوع، دوغاب ریزی دو مرحله دارد: ابتدا ملات سیمان تمیز توسط نیروی ثقل، مشابه نوع A به پایین گمانه فرستاده می‌شود و سپس قبل از آنکه ملات سفت شود (حدود 15 تا 20 دقیقه)، ملات مشابه آن بدون استفاده از پکر توسط لوله تزریق، تحت فشار حد اقل 1 MPa داخل گمانه تزریق می‌شود. این نوع شمع تنها در فرانسه استفاده شده است و به آن IGU (Injection Globale et Unitaire) گفته می‌شود.

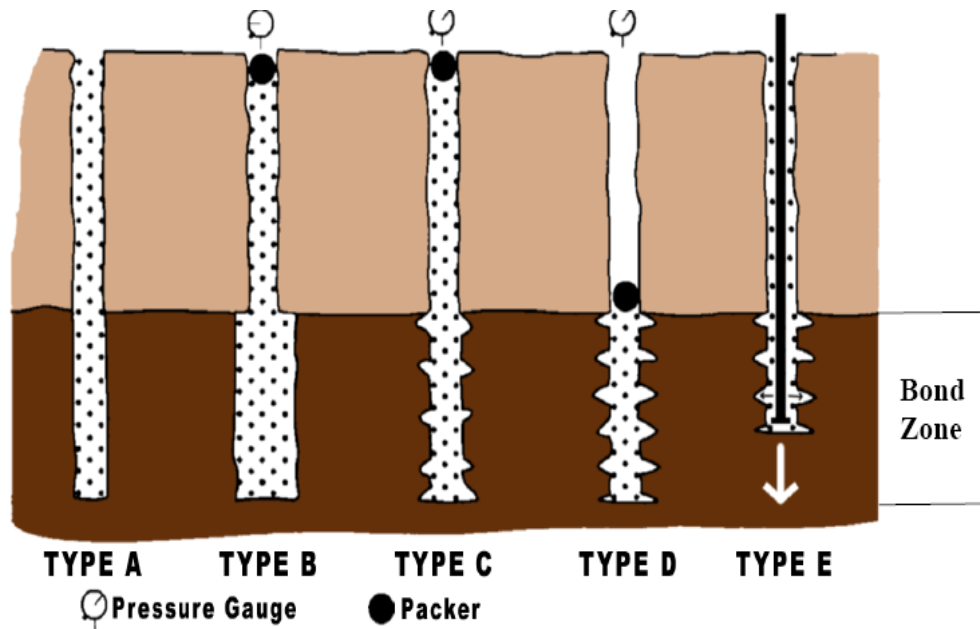
نوع D: این نوع میکروپایل مشابه نوع C است فقط در مرحله دوم اصلاحاتی صورت می‌گیرد. ابتدا ملات سیمان تمیز تحت نیروی ثقل (مانند نوع C و A) و یا تحت فشار (مانند نوع B) وارد می‌شود. پس از سخت شدن ملات مرحله اول، ملات مرحله دوم توسط لوله با فشار 2 تا 8 Mpa تزریق می‌شود. در این نوع از پکر نیز می‌توان استفاده کرد تا در ترازهای مشخصی در صورت نیاز بیشتر تزریق انجام داد. استفاده از این نوع میکروپایل در سراسر جهان رایج است.

نوع E: تزریق در حفره میلگرد. در این نوع، نزدیک به زمان تکمیل حفاری، دوغاب اولیه که نسبت آب به سیمان بالایی دارد با دوغاب سفت تری با نسبت آب به سیمان کمتر، جایگزین می‌شود.

این طبقه بندی در شکل 1-8 به طور شماتیک نشان داده شده است. [1,2,3]



(a) FHWA, Micropile Design and Construction(2000)



(b) AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 4th Edition, 2007, Interim 2008, Section 10.9;

شکل 1-8 : طبقه بندی میکروپایل بر اساس روش تزریق

جدول 1-1 ، جزئیات بیشتری از طبقه بندی میکروپایل بر اساس روش تزریق را توضیح می دهد. در هر روش تزریق، زیرشاخه های طبقه بندی (شماره های 1، 2 و 3) با توجه به استفاده از غلاف حفاری و آرماتورها، در جدول 1-1، ذکر شده اند. همچنین این زیر شاخه ها بیانگر نوع مسلح کننده مورد نیاز بر اساس طراحی می باشند. [1]

نوع میکروپایل و روش تزریق	زیرشاخه	غلاف حفاری	آرماتورگذاری	تزریق
نوع A تزریق فقط تحت اثر ثقل	A1	موقت یا بدون لوله گذاری (open hole or auger)	بدون آرماتور ، میلگرد، قفسه، لوله یا مقطع سازه ای	ملات ماسه- سیمان یا دوغاب سیمان تمیز، بدون اعمال هیچ فشار اضافی به ته گمانه (یا غلاف) می رود.
	A2	دائمی ، تمام طول	خود غلاف حفاری	
	A3	دائمی، فقط بالای میل چاه	غلاف حفاری در مقطع بالایی میل چاه، میلگرد (ها) یا لوله در مقطع پایینی میل چاه (ممکن است در تمام طول هم ادامه داده شود)	
نوع B تزریق تحت فشار در حین بیرون کشیدن مته یا غلاف حفاری	B1	موقت یا بدون لوله گذاری (open hole or auger)	میلگردها یا لوله (قفسه کمتر استفاده می شود به خاطر ظرفیت باربری پایین)	دوغاب سیمان تمیز ابتدا بداخل غلاف حفاری یا مته ترمیمی می شود. فشار اضافی
	B2	دائمی، بخشی از طول چاه	خود غلاف حفاری	(معمولاً بیشتر از 1 مگاپاسکال) به دوغاب ثانویه
	B3	دائمی، فقط بالای میل چاه	غلاف حفاری در مقطع بالایی میل چاه، میلگرد (ها) یا لوله در مقطع پایینی	تزریقی در حین بیرون کشیدن غلاف یا مته اعمال

می شود.	میل چاه (ممکن است در تمام طول هم ادامه داده شود)			
دوغاب سیمان تمیز بداخل گمانه و یا غلاف حفاری فرستاده می شود. بعد از 15 تا 25 دقیقه ، دوغاب مشابهی از میان لوله (یا لوله تقویتی) با فشار بیشتر از 1 مگاپاسکال از بالا تزریق میشود.	میلگردها یا لوله (قفسه کمتر استفاده می شود به خاطر ظرفیت باربری پایین)	موقت یا بدون لوله گذاری (open hole or auger)	C1	نوع C تزریق اولیه تحت اثر ثقل، سپس تزریق ثانویه تک مرحله ای تحت فشار
	--	مشخص نشده است	C2	
	--	مشخص نشده است	C3	
ابتدا دوغاب سیمان تمیز تحت اثر ثقل (نوع A) و یا تحت فشار (نوع B) بداخل گمانه یا غلاف یا مته تزریق می شود. چند ساعت بعد، دوغاب مشابهی از میان لوله یا آرماتورهای جاگذاری شده از طریق پکر تزریق می شود تا پیوستگی لازم بدست آید.	میلگردها یا لوله (قفسه کمتر استفاده می شود به خاطر ظرفیت باربری پایین)	موقت یا بدون لوله گذاری (open hole or auger)	D1	نوع D تزریق اولیه تحت اثر ثقل (نوع A) یا تحت فشار (نوع B) و سپس تزریق ثانویه یک یا دو مرحله ای تحت فشار
	خود غلاف حفاری	تنها زمانی کاربرد دارد که لوله تزریق مجدد به طور تمام طول بیرون غلاف، قرار داده شود	D2	
	غلاف حفاری در مقطع بالایی میل چاه، میلگرد (ها) یا لوله در مقطع پایینی میل چاه (ممکن است در تمام طول هم ادامه داده شود)	موقت یا بدون لوله گذاری (open hole or auger)	D3	

جدول 1-1: جزئیات طبقه بندی میکروپایل ها بر اساس روش تزریق

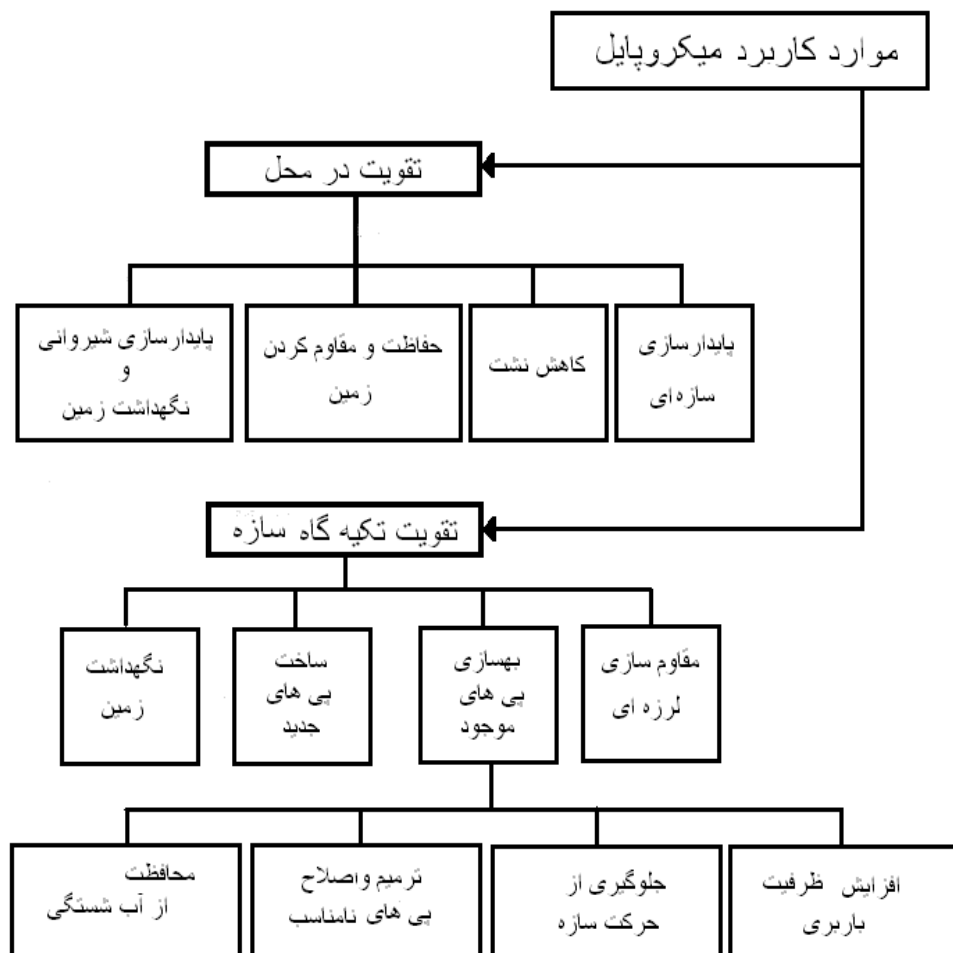
4-1- موارد کاربرد میکروپایل:

در حال حاضر میکروپایل ها دارای دو کاربرد عمده هستند: (شکل 9-1)

تقویت سازه‌ای (structural support)

تقویت در محل (in-situ reinforcement)

جدول 2-1 ، خلاصه ای از رفتار طراحی و انواع روش ساخت ریزشمع ها را برای هر کاربرد ارائه می کند.



شکل 9-1: طبقه بندی کاربرد میکروپایل ها

برای تقویت سازه ای، می توان به جای سیستم شمع های متعارف از میکروپایل- های با قطر کم استفاده نمود. این میکروپایل ها، معمولاً به طور مستقیم بارگذاری می شوند، بنابراین فلسفه طراحی نوع 1 به کار گرفته می شود. معمولاً شمع های مورد استفاده برای این کاربردها شامل، نوع A (تزریق تحت اثر ثقل در خاک و سنگ)، نوع B (تزریق تحت فشار) و نوع D (پیش تزریق) می باشد. این شمع ها در تقویت سازه ای پروژه های حمل و نقل ، ظرفیت باربری انفرادی بالایی را تامین می کنند.

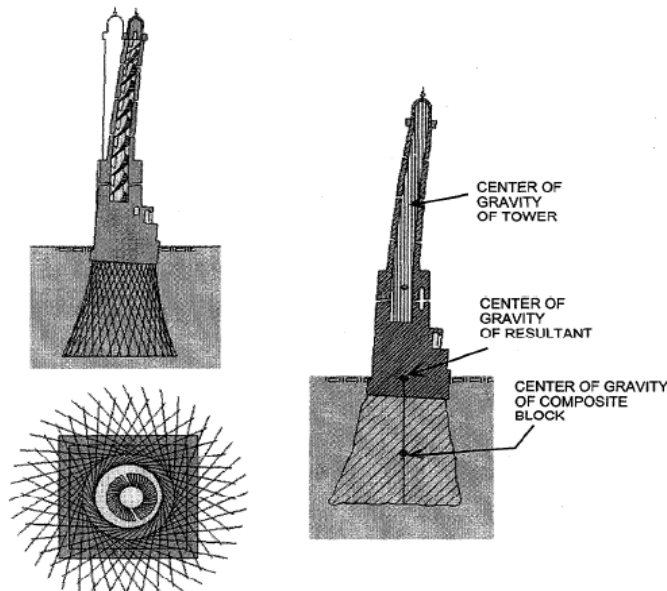
استفاده از تقویت در محل، در پایدارسازی شیروانی ها و حفاظت زمین، می تواند هم با فلسفه طراحی نوع 1 و هم نوع 2 در نظر گرفته شود. میکروپایل های مورد استفاده برای این کاربردها عمدتاً از شمع های نوع A (تزریق تحت اثر ثقل و پیوستگی کامل در خاک یا سنگ) می باشند، زیرا به خاطر مصالح مسلح ترکیبی، در میکروپایل نوع 2 ، ظرفیت باربری انفرادی بالا در شمع لازم نمی باشد [1,2,3]

تقویت در محل				تقویت سازه ای	
پایدار سازی سازه ای	کاهش نشست	مقاوم سازی زمین	پایدارسازی شیروانی ها و حفاظت زمین	بهسازی پی های موجود ساخت پی های جدید مقاوم سازی لرزه ای	کاربرد
نوع 2	نوع 2	نوع 2 و بطور فرعی نوع 1	نوع 1 و نوع 2 و تغییر از یکی به دیگری	"نوع 1"	رفتار طراحی
نوع A در خاک	نوع A در خاک	نوع A و B در خاک	نوع A و B در خاک	نوع A (در سنگ و رس سخت) نوع B ، C و D (در خاک)	نوع اجرا
0 تا 5 درصد				تقریباً 95% کل کاربرد جهانی	تخمین کاربرد نسبی

جدول 2-1: رابطه بین کاربرد میکروپایل ها ، رفتار طراحی و نوع اجرا

1-4-1- تقویت سازه ای:

کاربرد میکروپایل ها برای تقویت سازه ای شامل پی سازه های جدید و بهسازی پی سازه های موجود و مقاوم سازی لرزه ای سازه های موجود می باشد. (شکل 10-1)

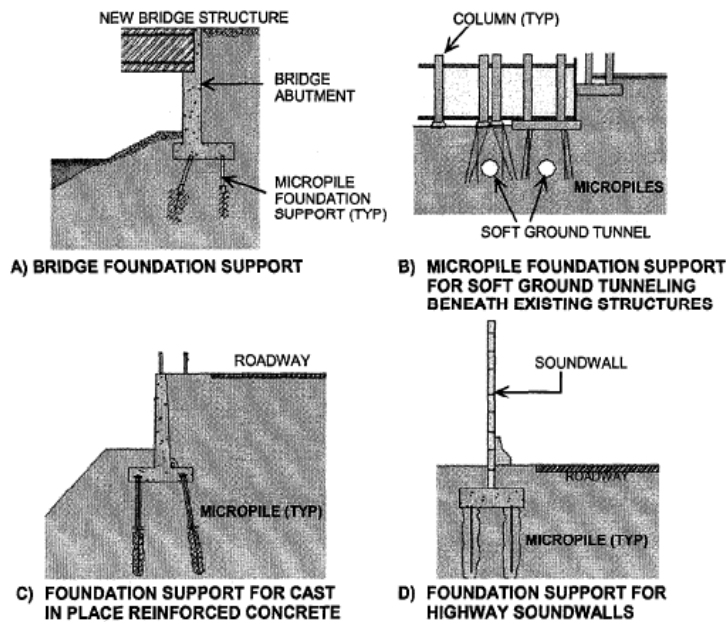


شکل 10-1 : ترمیم و پدیدار سازه برن بند و بریت در شهر بوسن عراق در سال 1982.

1-1-4-1- پی های جدید:

میکروپایل ها در احداث پلهای جدید، در مناطقی که نیاز به اجرای پی های عمیق دارند، و یا در زمین های سخت، جایی که اجرای شمع های متعارف یا حفاری میل چاهها، بسیار مشکل و پر هزینه می باشد، قابل استفاده می باشند.

ممکن است پلهای جدید در مناطقی با محدودیت ارتفاع و با جریان ترافیکی، ساخته شود. عامل اصلی در انتخاب میکروپایل ها، عدم وجود ارتعاش در حین نصب، در مقایسه با روش شمع های جایگزین شونده بود، که این خود می توانست بر روی سازه های قدیمی و حساس مجاور، نهشته های یخچالی متغیر، ورودی های محدود شده، و نیاز به حفظ جریان ترافیک در منطقه تاثیر گذار باشد. سایر کاربری های میکروپایل در تقویت سازه ای شامل، ساختمانها، سازه های دیوار حائل می باشد. شکل 11-1 نوعی از آرایش میکروپایل ها جهت حفاظت پی در پروژه های حمل و نقل را نشان می دهد.

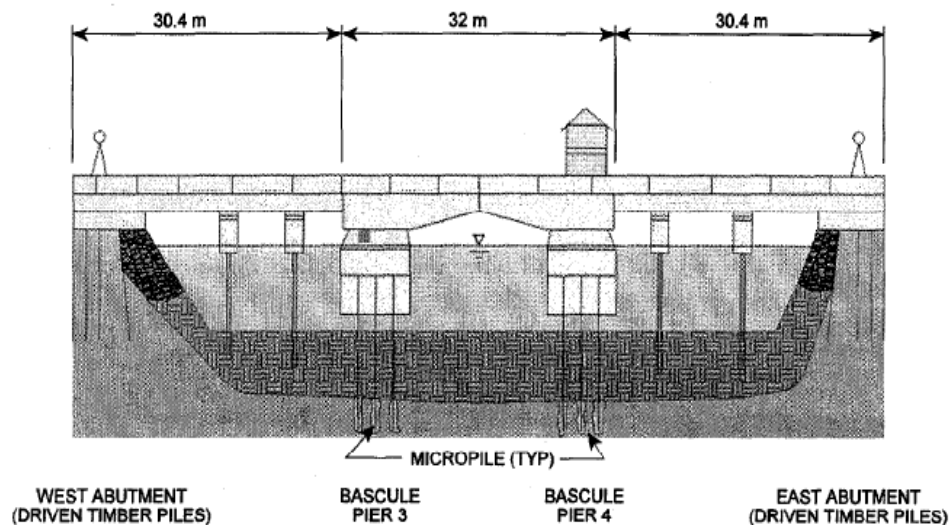


شکل 11-1 : میکروپایل ها جهت حفاظت پی در پروژه های حمل و نقل

1-4-1-2- بهسازی پی های موجود

میکروپایل ها در ابتدا، به منظور بهسازی پی های موجود توسعه یافتند. بهسازی پی های موجود ممکن است برای اهداف بسیاری اجرا گردد : (شکل 12-1)

- جلوگیری از حرکت سازه
- افزایش ظرفیت باربری سازه های موجود
- ترمیم و اصلاح پی های نامناسب
- محافظت در برابر آب شستگی در پی های حساس و فرسایش پذیر
- بالا بردن سطح پی های نشست یافته به محل اولیه
- انتقال بار به لایه های عمیق تر



شکل 12-1 : بهسازی پل رودخانه pocomoke در Maryland (سال 1990)

1-4-3- مقوام سازی لرزه ای:

میکروپایل ها از نظر اقتصادی برای مقوام سازی پی پل هایی که دارای یک یا چند محدودیت زیر هستند، مقرون به صرفه می باشند:

- محدودیت بزرگی ابعاد پی
- محدودیت لرزش و سرو صدا
- کمبود فضا و ارتفاع کافی برای اجرای کار
- دسترسی های سخت
- نیاز به بار محوری زیاد به صورت کششی و فشاری
- شرایط سخت حفاری و شمع کوبی
- خاک های خطرناک

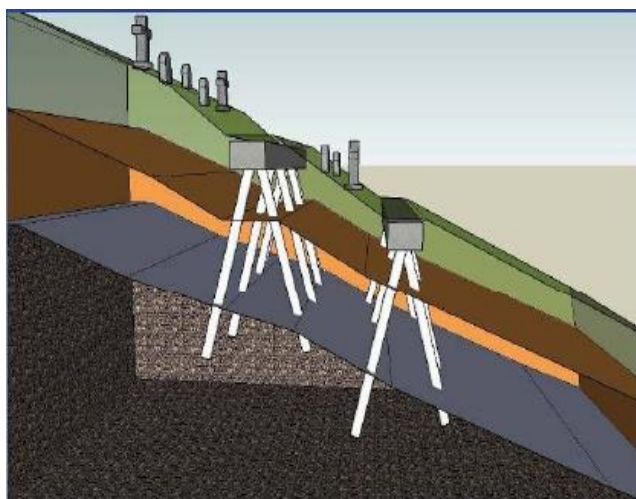
میکروپایل ها ظرفیت های کششی و فشاری تقریباً برابری از خود نشان می دهند، بنابراین المانهای لازم اضافی تقویت پی، به حد بهینه خود می رسد.

1-4-2- تقویت در محل (پایدارسازی شیروانی و حفاظت زمین):

مفهوم شبکه میکروپایل مشبک (نوع 2) شامل استفاده از یک آرایش سه بعدی مناسب از میکروپایل های عمودی و مورب است که خاک را دربرگرفته و مسلح می

کنند و در عین حال توسط زمین محافظت می شوند. برای پایدارسازی شیروانی ها، Lizzi (1982) پیشنهاد کرد که شبکه میکروپایل مشبک، یک دیوار حائل وزنی، خاک مسلح، ایجاد می کند، به نحوی که جرم وزنی خاک تقویت شده، نیروهای مقاومتی لازم و ضروری را تامین می کند و شمعهای احاطه شده توسط خاک، مقاومت اضافی در برابر نیروهای کششی و برشی را که بر روی دیوار عمل می کنند، تامین می کنند.

برای چنین کاربردی، شمع های انفرادی به عنوان شمع های اصطکاکی در توده خاک فوقانی عمل کرده، که از مجموعه توده خاک تقویت شده محافظت می کنند. عملکرد این سازه تامین یک بلوک پایدار و مستحکم از خاک تقویت شده، در غالب یک سازه حائل منسجم، پایدارسازی قسمتهای فوقانی توده خاک و تامین مقاومت لازم برای مقطع برش در سطح گسیختگی می باشد. بنابراین چنین کاربردی، بین میکروپایل های نوع 1 و نوع 2 قابل انتقال می باشد. تحقیقات صورت گرفته توسط Pearlman et al (1992) و Pearlman (1984) بیان می کند که گروه میکروپایل های مورب بکار رفته، بین ناحیه متحرک (بالای سطح گسیختگی) و ناحیه پایدار (پایین سطح گسیختگی) ارتباط و اتصال ایجاد می کند. این شمعها مقاومت لازم برای تحمل نیروهای برشی را که در امتداد سطح گسیختگی توسعه می یابند، تامین می کنند و به طور کامل عملکرد مورد 1 را نمایش می دهند. گونه ای از آرایش میکروپایل مورب در پایدارسازی شیروانی در شکل 1-13 نشان داده شده است. [1,2,3]



شکل 1-13 : آرایش میکروپایل مورب در پایدارسازی شیروانی

5-1- عوامل موثر در انتخاب میکروپایل:

چندین عامل در انتخاب میکروپایل ها برای پی سازه ها و پایدارسازی شیروانی ها
تاثیر می گذارند: [1,2,3]

- شرایط فیزیکی:

دسترسی محدود، مناطق دوردست ، مجاورت و نزدیکی شمع ها به هم در
سازه های موجود

- شرایط بستر:

شرایط زمین شناسی سخت، قابلیت روانگرایی خاک در طول شمع کوبی

- شرایط محیطی:

مناطق حساس به لرزش و سروصدا ، خاک های آلوده و خطرناک

- سازگاری با سازه های موجود

- محدودیت های اجرایی

- شرایط اقتصادی

1-5-1- شرایط فیزیکی :

از آنجایی که تجهیزات حفاری و تزریق مورد استفاده برای نصب میکروپایل ها کوچک
هستند می توان از آنها در نواحی محصور و محدود که تجهیزات نصب شمع عبور
نمی کنند، استفاده نمود و در مقایسه با شمع های معمولی، عملیات حفاری
و تزریق مرتبط با نصب میکروپایل باعث آسیب به ساختمان های مجاور نمی شود.

تصویر 1-1 ، اجرا و نصب میکروپایل ها را در شرایط ارتفاع کم نشان می دهد که
قابلیت مانور تجهیزات میکروپایل را نشان می دهد.



(a)



(b)

تصویر 1-1 : نصب و اجرای میکروپایل ها در ارتفاع کم

میکروپایل ها را می توان در فاصله چند میلیمتری از دیوارها (تصویر 1-2) یا پی های موجود اجرا نمود، که این خود تامین کننده فضای باز برای سر مته و ناحیه کار ایمن می باشد. در حالی که شمع ها قادر به تامین این فضای خالی و باز نیستند. تجهیزات لازم را می توان به بالای شیروانی ها و فضاهای دورافتاده حمل نمود. همچنین، با استفاده از روشهای حفر و تزریق مناسب، فرآیند حفاری و تزریق در

نصب و اجرای ریزشمع ها، هیچ آسیبی به سازه های مجاور موجود وارد نمی آورد و یا تاثیری بر شرایط زمین مجاور نمی گذارد.



تصویر 1-2 : اجرای میکروپایل ها در کنار دیوار خانه و در زیر سقف

1-5-2- شرایط بستر

از میکروپایل ها می توان در شرایط متغیر و غیرقابل پیش بینی بستر مانند زمین های قلوه سنگی ،تخته سنگی، واریزه های گوناگون، لنزهای زیرزمینی و در صورت وجود تاسیسات زیرزمینی استفاده کرد. رس های نرم، ماسه های روان و سطح بالای آب زیرزمینی (تصویر 1-3) اثر ناچیزی بر نصب میکروپایل می گذارند.



تصویر 1-3 : اجرای میکروپایل ها با سطح آب بالا

1-5-3- شرایط محیطی

میکروپایل ها را می توان در خاکهای آلوده و خطرناک اجرا نمود. قطر کوچک آنها منجر به ایجاد ضایعات و اتلاف کمتری نسبت به شمعهای کوبشی متعارف می گردد و تلفات شستگی در سطح زمین را می توان برآحتی از طریق متمرکز سازی یا استفاده از گودالهای سطحی خطی کنترل نمود. این عوامل به طور چشمگیری، پتانسیل آلودگی سطحی و هزینه های جابجایی را کاهش می دهند. مخلوط دوغاب سیمان را می توان جهت مقاومت در برابر حمله های شیمیایی آب های زمینی و خاک طراحی کرد. یک ترکیب ویژه در طرح مخلوط دوغاب سیمان را می توان جهت جلوگیری و یا کاهش خرابی ناشی از محیط های اسیدی و خورنده در نظر گرفت.

میکروپایل ها قابلیت استفاده در نواحی حساس مانند نواحی با طبیعت شکننده را دارند. تجهیزات نصب آنها به بزرگی و سنگینی تجهیزات حفاری و نصب شمع های معمولی نیست و می تواند در نواحی باتلاقی (لجن زار) یا نواحی دیگر با خاک سطحی نرم و مرطوب استفاده شود.

نصب میکروپایل ها آلودگی صوتی و لرزش کمتری نسبت به شمع های معمولی ایجاد می کند. به همین دلیل استفاده از آنها در بافت های شهری قدیمی و نواحی صنعتی می تواند مانع از آسیب دیدن سازه ها و سایر تجهیزات حساس گردد.

1-5-4- سازگاری با سازه های موجود:

میکروپایل ها می توانند در داخل یک کلاهک شمع (دال بتنی) موجود در شمع های از پیش اجرا شده، اضافه شوند، بنابراین نیاز به افزایش ابعاد پی ندارند. این موضوع بسته به افزایش بارهای سازه ای، موجب ایجاد مقاومت فشاری، کششی و خمشی اضافی می گردد. اغلب به دلیل تاسیسات مجاور سازه ها، امکان افزایش اندازه کلاهک شمع وجود ندارد و در نتیجه اجرای سیستم شمع سنتی ممکن نمی باشد. (تصویر 4-1)



تصویر 4-1 : اجرای میکروپایل ها در کنار پایه پل

1-6- محدودیت های اجرایی میکروپایل:

تحت شرایط معمولی میکروپایل های عمودی از ظرفیت باربری جانبی و محوری محدودی برخوردارند (به دلیل قطر کوچک) اما در مقابل هزینه نصب آنها بالاست.

در آزمایش ها، میکروپایل ها نیروی محوری حدود 4500 کیلونیوتن را در ماسه متراکم تحمل کرده اند، بنابراین می توان انتظار داشت با تحقیق و آزمایش های بیشتر بتوان ظرفیت باربری جانبی آنها را افزایش داد.

میکروپایل هایی که به صورت مورب نصب شده اند، یک انتخاب جهت بدست آوردن ظرفیت باربری جانبی مورد نیاز برای طراحان می باشند.

به علت نسبت زیاد طول به قطر (نسبت لاغری) میکروپایل، کاربرد آن در مناطق لرزه خیز با احتمال روانگرایی زیاد توصیه نمی شود. گرچه ممکن است نتیجه نهایی بهسازی ایجاد شده در زمین، ناشی از اثر میکروپایل ها، یک سیستم پی بهبود یافته باشد که اثر زلزله را کاهش می دهد.

هزینه میکروپایل ها معمولاً از سیستم های نصب شمع معمولی و به خصوص شمع های رانده شده بیشتر است. به هر حال تحت شرایط معین و ثابت، گاهی علی رغم هزینه زیاد، میکروپایل ها تنها راه حل امکان پذیر برای ساخت و اجرای پروژه می باشد. [1]