

الزامات طراحی و اجرای یک مسابقه میکروپایل

بهمن پنجم زاده مرسه

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودسر و املش، گروه عمران، رودسر، ایران

Email: b.panjalizadeh@gmail.com

چکیده

امروزه استفاده از میکروپایل در مهندسی ژئوتکنیک رواج قابل توجهی پیدا کرده است. از آنجاییکه در طراحی میکروپایل موارد عدم اطمینانی شامل ضریب اتصال خاک و شمع و ... وجود دارد. معولا جهت ارزیابی طراحی از آزمایش بارگذاری استاتیکی استفاده می کنند. این آزمایش می تواند صحت طراحی و کیفیت اجرا و ... را ارزیابی نموده و در صورت امکان می توان با توجه به هماهنگی و سازگاری بین نتایج آزمایش بارگذاری و طراحی، ضریب اطمینان در طراحی را کاهش داد. این مقاله در نظر دارد الزامات یک مسابقه میکروپایل را بمنظور رسیدن به نتایج قابل توجه ارائه دهد.

کلمات کلیدی: شمع، میکروپایل، مسابقه میکروپایل، طراحی شمع، آزمایش بارگذاری

۱. مقدمه

بار تمامی سازه های مهندسی متکی به زمین باید توسط عنصر واسطه ای به نام پی تحمل و منتقل شود. مهندسی ژئوتکنیک ترجیح می دهند تا جایی که ممکن است از پی های سطحی استفاده کنند زیرا اجرای آنها آسانتر و ارزاتر است ولی در مواردی که لایه های فوقانی خاک مسئله دار و یا بار سازه بسیار سنگین باشد یا لایه های فوقانی خاک در معرض آب شستگی باشند و ... بناچار باید از پی های عمیق استفاده نمود.

بطور کلی در مواجهه با خاکهای مسئله دار نظیر خاکهای سست با قابلیت باربری کم، نشست پذیری زیاد، روانگرا، خاکهای دستی و ... دو راه پیش روی مهندسی ژئوتکنیک قرار دارد:

استفاده از الما نهایی باربر در خاک

بهسازی و اصلاح خواص فیزیکی - مکانیکی توده خاک

هریک از راه حل های فوق دارای روشها و مشخصات مربوط به خود می باشند که طی سالیان متمادی توسعه فراوانی یافته اند. برخی از تکنیکهای ابداعی نیز ماهیتی ترکیبی از دو دسته فوق داشته و مزایای هر دو دسته را تا حدودی به همراه دارند. از آن دسته می توان به استفاده از میکروپایلها به همراه تزریق دوغاب سیمان اشاره نمود.

۲. توسعه میکروپایل

میکروپایل به شمع های با قطر کوچک (کمتر از 300 mm) اطلاق می گردد که غالباً با تسلیح فولادی سبک و تزریق دوغاب سیمان همراه می باشند. میکروپایل علاوه بر آنکه به عنوان یک المان باربر و مقاوم در برابر نشست عمل می کند، بدلیل تزریق دوغاب سیمان، سبب بهبود مشخصات مکانیکی (مقاومتی و رفتاری) خاک اطراف نیز می گردد.



تاریخچه ابداع میکروپایل به اوایل دهه پنجاه میلادی برمی گردد، زمانی که اروپا با خیل عظیمی از ساختمانهای در معرض خرابی ناشی از صدمات وارده در جنگ جهانی دوم روبرو بوده است. 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 بنظر می رسید. در چنین شرایطی میکروپایل توسط Fondedile پیمانکار مشهور ایتالیایی ابداع گردید که بدلیل برخورداری از ویژگیهای منحصر به فرد، گسترش فراوانی یافت.

در آغاز استفاده از میکروپایلها تنها در بهسازی بستر ضعیف ساختمانها مورد توجه قرار گرفت. اما بتدریج 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 : Federal Highway Administration) بعنوان مرجع قابل قبول مورد استفاده طراحان و پیمانکاران اجرای میکروپایل قرار می گیرد.

۳. ظرفیت باربری ریز شمع ها

در ریز شمع ها نیز مانند شمع ها تحت بار قائم، بخشی از بار توسط اصطکاک جداری بدنه شمع و قسمتی دیگر توسط نوک شمع منتقل می شود که این نسبت انتقال به عواملی نظیر: نحوه اجرای شمع، نوع خاک اطراف شمع، وضعیت مقاومتی لایه های اطراف و نوک شمع وابسته است.

معمولاً نمودار بار- نشست یک شمع تابعی از نحوه پخش مقاومت شمع بین نوک و جداره، شرایط و نوع خاک و نحوه اجرای شمع می باشد. برای تعیین میزان نشست در شمع ها روشهای تجربی و تئوریک متعددی ارائه شده است که هیچ کدام توانایی لحاظ کردن تمامی عوامل موثر بر نشست شمع ها را دارا نمی باشد.

بنابراین روش های تعیین ظرفیت باربری شمع نیز شامل برخی فرضیات ساده کننده یا راهکارهای تجربی با توجه به لایه بندی خاکها، اندرکنش موجود در سیستم خاک - شمع و نحوه پخش بار در طول شمع است.

به منظور بررسی عملکرد ریز شمع ها بوسیله نمودار های بار- تغییر مکان، ابتدا باید از نحوه انجام آزمایش بار گذاری بر روی ریز شمع ها اطلاعات کافی در اختیار داشته باشیم بدین منظور بخش های از قوانین مهم بارگذاری بر روی ریز شمع را بر اساس روشهای مرسوم و آئین نامه ای که در پژوهش های مختلف بکار گرفته شده مرور نموده و سپس به منظور تفسیر آن، روشهای مطرح در بررسی نمودار های بارگذاری شمع و ریز شمع را جز به جز تحلیل و روش نهایی و مرسوم در بررسی و تفسیر نمودار های بار - تغییر مکان ریز شمع تعیین میگردند.

ریز شمع ها به جهت ارزیابی اینکه آیا قابلیت انتقال بارهای طراحی را بدون ایجاد جابجایی های بیش از حد و با یک ضریب اطمینان کافی و قابل قبول در سراسر عمر بهره برداری سازه را دارند یا خیر، مورد آزمایش بارگذاری قرار می گیرند. به علاوه، آزمایش ها به جهت ارزیابی کفایت روشهای حفاری و عملیات نصب و تزریق دوغاب که از سوی مجری قبل و در خلال ساخت شمع ها بکار گرفته می شوند، صورت می گیرند. این آزمایش حداقل در یک ریز شمع تا رسیدن به بار طراحی نهایی و به جهت ارزیابی فرضیات طراحی و کفایت روشهای اجرای پیمانکاران، صورت می گیرد. آزمایش بارگذاری می تواند شامل نصب و اجرا ی آزمایش بارگذاری بر روی ریز شمعها به صورت فردی باشد. در این آزمایشها بارگذاری معمولاً به صورت افزایشی صورت می گیرد تا جایی که ریز شمع هم، به ماکزیمم بار از پیش تعیین شده خود و هم به حد جابجایی محوری از قبل تعیین شده و یا آستانه خزش خاک برسد.

آزمایش بارگذاری در حالت کلی به سه صورت انجام می شود :

الف - آزمایش بارگذاری فشاری

ب - آزمایش بارگذاری کششی

ج - آزمایش بارگذاری جانبی

برای یک پروژه کوچک، حداقل یک آزمایش بارگذاری بر روی یک ریز شمع از پیش ساخته شده جهت ارزیابی نیاز می باشد. این ریز شمع ممکن است یک ریز شمع تخریبی و یا غیر تخریبی باشد. بارگذاری باید فراتر از حداقل ظرفیت مورد نیاز باشد و باید تا رسیدن به ظرفیت نهایی ریز شمع ادامه یابد. در پروژه های بزرگتر، آزمایش های اضافی تر نیز بر روی شمع های از پیش ایجاد شده و نیز آزمایشهای شاهد بر روی ریز شمع های مصرفی، از نیازهای پروژه محسوب می شوند. به عنوان یک راهنمای کلی می توان از جدول (۱) برای تعیین تعداد میکروپایلهای لازم جهت آزمایش در یک پروژه استفاده نمود.

جدول (۱): راهنمای کلی تعداد میکروپایلهای مورد آزمایش در یک پروژه

Number of Piles Proposed for Project	Number of Tests	
	Pre-Production Pile Verification Testing	Production Pile Proof Testing
Up to 250	1	5 %
250 to 500	2	5 %
More than 500	3	5 %

۴. الزامات اجرای مسابقه

نویسندگان این مقاله در نظر دارند یک مسابقه طراحی و اجرای میکروپایل به همراه کیسینگ و آرماتور تسلیح برگزار نمایند. موارد زیر بعنوان الزامات اجرای این مسابقه مورد توجه قرار می گیرد :

1.4. جانمایی زمین مناسب

با توجه به عملکرد میکروپایل ، زمین مورد نظر باید بنحوی باشد که امکان کوبش لوله جدار (کیسینگ) میکروپایل مهیا بوده و تزریق دوغاب سیمان در خاک امکان پذیر باشد. بعنوان یک نمونه زمین های نزدیک ساحل می تواند گزینه مناسبی برای این مسابقه باشد. در این راستا مکاتبات لازم با دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودسر و املش انجام شده است که منجر به کسب مجوز مربوطه گردیده است.

2.4. تیم طراحی ، اجرا و کنترل (داوری) مسابقه

تیم طراحی مسابقه لازم است موارد، مدارک و اسناد زیر را مورد بررسی قرار دهد و سپس اجازه شرکت در مسابقه را صادر کند.

۴-۲-۱- مدارک و اسناد کنترلی توسط تیم طراحی

۴-۲-۱-۱- مدارک دفتری شامل

(۱) روش نصب و راه اندازی میکروپایل

(۲) مشخصات فنی مصالح و تست های مورد نیاز برای دوغاب، آرماتور، مواد افزودنی و ...

(۳) نقشه های مربوطه

۴-۲-۱-۲- بررسی و اظهار نظر در خصوص موارد زیر :

(۱) مشخصات حفاری یا لوگ حفاری (برای هر متر حفاری)

(۲) مشخصات تزریق (شامل نسبت اختلاط دوغاب، مقاومت ، میزان مصرف دوغاب)

۴-۲-۲- مدارک و اسناد کنترلی توسط تیم اجرا و کنترل مسابقه

تیم اجرا و کنترل مسابقه موارد، مدارک و اسناد زیر را مورد بررسی قرار می دهد:

۴-۲-۲-۱- اطلاعات و رکوردهای حفاری :

(۱) تغییرات در نیمرخ خاک و سطح آب زیرزمینی در صورت وجود

(۲) نرخ حفاری یا کوبش در خاک

(۳) کد ارتفاعی تمام سطوح مربوطه (سطح کار اصلی، سطح بالای کیسینگ، سطح آب، سطح سنگ بستر، سطوح اتصال و غیره).

(۴) شماره مرجع ریزشمع

(۵) تاریخ شروع و تکمیل

(۶) قطر حفاری، ابعاد میکروپایل و ظرفیت آن

(۷) حجم محاسباتی و واقعی دوغاب مصرفی

۴-۲-۲-۲- مشخصات دوغاب شامل

(۱) نسبت اختلاط دوغاب

(۲) مقاومت

(۳) افزودنیها

(۴) فشار تزریق (در صورت وجود)

(۵) زمان شروع و اتمام

(۶) نرخ مصرف دوغاب با زمان

(۷) میزان دوغاب از دست رفته

۴-۲-۲-۳- مشخصات میکروپایل

الف - شرایط آرماتور تسلیح و اتصالات و لوله

(۱) ایرادات بصری (زنگ زدگی، انحراف و غیره).

(۲) روش اتصال.

(۳) روش حفاظت از لوله (داخل / خارج لوله).



۴) مشخصات آرماتور تسلیح (قطر، ضخامت).

۵) جداکننده ها

ب - دوغاب سیمان و مواد افزودنی

۱) تاریخ تولید و انقضاء سیمان

۲) تاریخ تولید و انقضاء افزودنی ها

ج - شرایط کیسینگ (دائم / موقت)

۱) ایرادات بصری (زنگ زدگی، انحراف و غیره).

۲) مشخصات پوسته. (OD و ID)

۳) نحوه اتصال (جوشکاری / کوپلینگ)

د- کیفیت آب برای دوغاب

۱) شرایط منبع تامین آب (آب قابل حمل)

۴-۲-۲-۴ - آیتم های مورد توجه در نظارت بر فرآیند نصب و اجرای میکروپایل :

۱) میزان انحراف میکروپایل نصب شده براساس مشخصات طراحی کنترل شود

۲) اطمینان حاصل شود که اتصالات به درستی و با کیفیت مناسب انجام شده است

۳) اختلاط و تراکم مایع تثبیت کننده (گل حفاری) قبل از تزریق کنترل گردد

۴) اطمینان حاصل کنید که هیچ ماده ای (مثلا روغن) باعث جدایی آرماتور از دوغاب نگردد

۵) فاصله بین centralizers در امتداد لوله مورد بررسی قرار گیرد.

۶) مطمئن شوید مسیر تزریق در گمانه (مخصوصا در انتهای گمانه) تمیز باشد.

۷) آزمایش های مورد نیاز بر روی نمونه لوله و نمونه دوغاب قبل از نصب و اجرا انجام گردد.

۸) فرآیند نحوه و ترتیب نصب ریزشمع را بررسی کنید.

۹) شیلنگ تزریق را مدرج نمایید

۱۰) کنترل شود که دوغاب سرریز همان تراکم در مخلوط کن را داشته باشد.

۱۱) نمونه های خاک یا سنگ جمع آوری گردد.

۴-۲-۲-۵ - گزارش موارد غیرمتعارف :

۱) آب از سوراخ حفاری با فشار خارج شود.

۲) آب در جریان حفاری محو شود.

۳) از دست دادن ناگهانی گروت رخ دهد.

۴) سوراخ حفاری ریزش کند

۴-۲-۲-۶ - آزمایش های مربوط به مصالح :

الف - لوله :

حداقل ۳ نمونه برای هر ۴۰ شمع و یا با نظر مهندس ناظر

ب - دوغاب :

حداقل ۹ نمونه مکعبی برای هر مخلوط دوغاب برای آزمایش مقاومت ۷ روزه، ۱۴ روزه و ۲۸ روزه اخذ شود. برای شمع آزمون، ۲ نمونه مکعبی اضافی گرفته شده و برای آزمایش مقاومت یک روزه و ۳ روزه برای کسب مقاومت اولیه جهت تست بارگذاری استفاده شود.

با توجه به اینکه بسیاری از شرکت های مجری میکروپایل بصورت فرا منطقه ای و در سطح کشور فعالیت اجرایی انجام می دهند بهتر است مسابقه را در سطح ملی برگزار نمود. از بین تیم های شرکت کننده ۱۵ تیم توسط تیم طراحی و کنترل (داوری) مسابقه و براساس امتیازات کسب شده در فرآیند طراحی و سابقه فعالیت شرکت انتخاب می شوند.

۳,۴. تجهیزات و مصالح مورد نیاز

تجهیزات مورد نیاز برای اجرای مسابقه شامل وسایل و مصالح لازم جهت حفاری (در صورت نیاز) ، لوله کوبی ، تزریق ، تسلیح و اجرای آزمایش بارگذاری می باشد.

۱-۳-۴ - دستگاه حفار

عملیات حفاری به روش های مختلف نظیر حفاری دورانی (Rotary) و یا دورانی- ضربه ای (D.T.H) صورت می پذیرد. حفاری طبق نقشه های اجرایی می تواند بصورت قائم یا مایل صورت پذیرد که در این مسابقه حفاری قائم (در صورت نیاز) مورد نظر می باشد. نمونه ای از دستگاه حفار در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) : نمونه ای از دستگاه حفار

۲-۳-۴ - دستگاه پانچ لوله

لوله های میکروپایل قبل از آنکه در مکانهای مشخص شده در سایت کوبیده و جایگذاری شوند ، توسط دستگاه پانچ لوله و در فواصل مناسب سوراخکاری می شوند



شکل (۲): نمونه ای از دستگاه پانچ لوله

دستگاه لوله کوب ۳-۳-۴

پس از حفاری، لوله های میکروپایل در محل های مشخص شده و توسط دستگاههای لوله کوب کوبیده می شود. لوله قطعه اول به صورت سرنیزه بوده و قطعات بعدی به ترتیب توسط بوشن و جوش کاملا بهم متصل می شوند. در شکل (۳) نمونه ای از دستگاه لوله کوب ارائه شده است.



شکل (۳): نمونه ای از دستگاه لوله کوب

دستگاه تزریق ۴-۳-۴

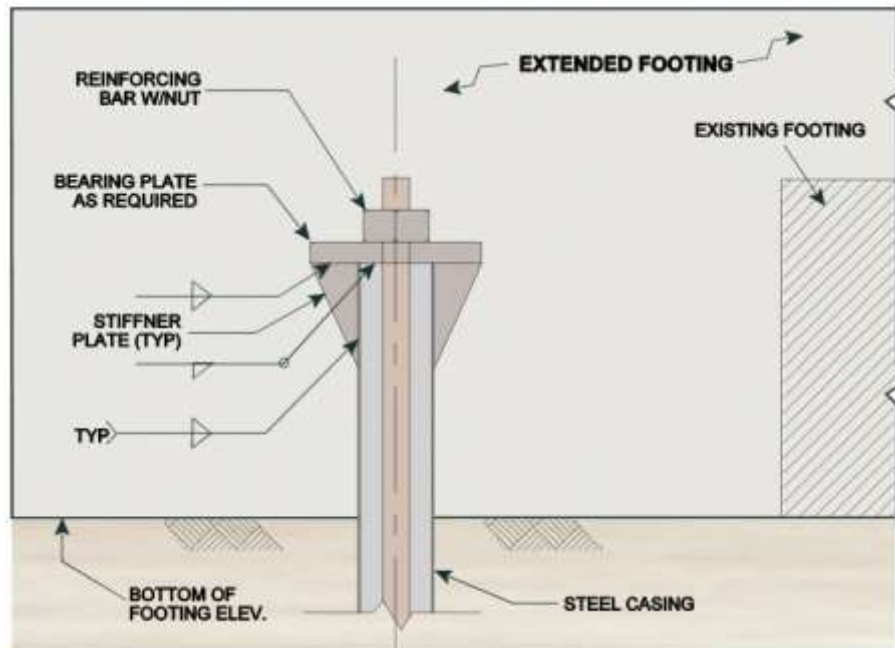
دستگاههای تزریق از سه بخش میکسر اولیه، میکسر ثانویه و پمپ تزریق تشکیل می‌گردد. اختلاط در میکسر اولیه از نوع سیستم چرخش سریع آب (circulation) می‌باشد و میکسر ثانویه از نوع پره ای می‌باشد. ساخت دوغاب تزریق در میکسر اولیه صورت می‌گیرد، پس از آماده شدن دوغاب، جهت نگهداری، دوغاب در داخل میکسر ثانویه ریخته شده و سپس بوسیله پمپ های تزریق مخصوص تزریق می‌گردد. دستگاههای ذکر شده در شکل (۴) نشان داده شده است.

۴-۳-۵- میلگرد تسلیح و فلنج انتهایی

جایگذاری آرماتور تسلیح در داخل لوله میکروپایل در حالت اجرای میکروپایل باربر و نصب فلنج انتهایی به منظور درگیری میکروپایل با سیستم فونداسیون ضروری می‌باشد. نمونه ای از نحوه اتصال میلگرد تسلیح به فلنج انتهایی در شکل (۵) ارائه شده است.



شکل (۴): میکسر اولیه، میکسر ثانویه و پمپ تزریق



شکل (۵): نحوه اتصال میلگرد تسلیح میکروپایل و فلنج انتهایی

۴-۳-۶- تجهیزات آزمایش بارگذاری

به طور کلی با توجه به کارکرد در نظر گرفته شده برای میکروپایل و برای اطمینان از فرض های طراحی صورت گرفته و تدقیق آنها، آزمایشهای مختلفی می توان انجام داد. برای این مسابقه آزمایشهای زیر مورد توجه می باشند:

آزمایش بارگذاری فشاری ریزشمع

ریزشمعهایی که حداقل ۲۸ روز از زمان تزریق آنها گذشته باشد، به صورت فشاری با استفاده از جک بارگذاری، بارگذاری می گردند. این آزمایش با استفاده از تیر بارگذاری و تا رسیدن به بار طراحی و در یک مورد تا رسیدن به بار نهایی صورت می گیرد. در حین انجام آزمایش نیز ریزشمع تا رسیدن به بار آزمایشی باید بطور کامل قابلیت تحمل بارهای اعمال شده را داشته باشد و نشانی از گسیختگی یا تغییر مکان بیشتر از حد استاندارد از خود نشان ندهد.

آزمایش بارگذاری کششی ریزشمع

این آزمایش یا به صورت مستقل و یا بوسیله ریزشمع های بکار رفته به عنوان عکس العمل تیر تکیه گاهی در آزمایش فشاری انجام می شود. نتیجه ی این آزمایش بررسی رفتار مقاومتی و تغییرشکل پذیری کششی ریزشمع می باشد.

۴,۴ منابع مالی جهت اجرای مسابقه

منابع مالی جهت سازماندهی و اجرای مسابقه را می توان با همکاری سازمانها و نهادهای زیر تامین نمود.

۱۰ درصد

❖ دانشگاه آزاد اسلامی

۱۰ درصد

❖ وزارت راه و شهرسازی



❖ سازمان نظام مهندسی و ساختمان	۱۰ درصد
❖ شهرداری ها و شوراهای شهر	۲۰ درصد
❖ شرکت های ساختمانی بعنوان اسپانسر	۲۰ درصد
❖ هزینه شرکت در مسابقه	۵ درصد
❖ منابع حاصل از فروش مجلد چاپ شده مسابقه	۵ درصد
❖ جذب منابع حاصل از تبلیغ شرکت ها در مجلد چاپ شده مسابقه	۵ درصد
❖ سایر منابع مالی	۱۵ درصد

۵.۴. روند اجرای مسابقه

برای انجام مسابقه میکروپایل، هماهنگی و پیگیری های لازم با ارگانها، نهادها و سازمانهای مختلف انجام گردیده است. در این راستا مجوز لازم جهت دسترسی به سایت مسابقه اخذ گردید. این سایت یک قطعه زمین ماسه ای و رسی با سطح آب زیرزمینی بالا می باشد که امکان نصب یکصد میکروپایل و انجام آزمایشات مربوطه در آن امکانپذیر می باشد.

با شرکت های بسیاری در خصوص شرکت در مسابقه تماس برقرار شده است و بیش از بیست شرکت علاقمند به حضور در مسابقه خواهند بود.

در خصوص تیم طراحی و کنترل (داوری) مسابقه ، هماهنگی لازم با اساتید دانشگاههای امیرکبیر، علم و صنعت و گیلان انجام گردید و مقرر شد از تجربه علمی و عملی آنها نهایت استفاده و بهره برداری بعمل آید. هر چند حضور این اساتید گرانقدر باعث غنای کارهای علمی خواهد بود.

بنابراین با توجه به مطالب ارائه شده در این فصل و توافقات بعمل آمده ، امکان اجرای مسابقه میکروپایل وجود دارد که روند اجرایی مسابقه بشرح زیر خواهد بود.

- (a) تشکیل بانک اطلاعاتی سازمانهای علاقمند به شرکت در مسابقه
- (b) انجام آزمایش های مورد نیاز از خاک محل مسابقه شامل آزمایشهای برجا و آزمونهای آزمایشگاهی
- (c) انتخاب شرکت های واجد شرایط بر اساس نظر هیات داوران و ارسال اطلاعات ژئوتکنیکی سایت مسابقه
- (d) دریافت اسناد طراحی میکروپایل به همراه نحوه چیدمان میکروپایلها از شرکت های منتخب بطوریکه با کمترین هزینه میکروپایلی را طراحی و اجرا کرد که الزامات مسابقه را مرتفع نماید (بعنوان مثال بار فشاری ۵ تن را حمل نماید).
- (e) نصب میکروپایلها با حضور نماینده رسمی شرکت کنندگان در مسابقه و هیات داوران و تهیه اسناد و مدارک مربوط به آنها (هر شرکت مجاز به اجرای سه میکروپایل خواهد بود).
- (f) انجام آزمایش های بارگذاری بر روی میکروپایلهای منتخب و ثبت نتایج حاصل
- (g) بررسی اسناد و مدارک بدست آمده، داوری نتایج و اعلام شرکت های برتر

۵. نتیجه گیری

با توجه به بررسی های انجام شده ، علاقمندی لازم جهت برگزاری این مسابقه وجود دارد. بنابراین در گام بعدی نسبت به برگزاری این مسابقه اقدام خواهد شد و نتایج زیر از اجرای آن مدنظر خواهد بود :

- بررسی نحوه استفاده از نتایج آزمایش ها در طراحی میکروپایل
- مدلسازی میکروپایل ها در نرم افزارهای مرتبط (مانند Phaxis) براساس طراحی انجام شده
- بررسی میزان سازگاری بین نتایج آزمایشات و طراحی انجام شده
- انتخاب ضریب اطمینان کوچکتر در طراحی ها با توجه به نتایج
- انتخاب طرح برتر و شرکت برتر
- انتشار نتایج بدست آمده در قالب یک مستند به جامعه علمی کشور

۶. قدردانی

این مقاله حاصل نتایج یک طرح پژوهشی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودسر و املش می باشد که نویسنده تشکر و قدردانی خود را از بابت در اختیار گذاشتن منابع مالی جهت اجرای طرح اعلام می دارد.

۱۲. مراجع

1. Armour, T., Groneck, P., Keeley, J., and Sharma, S., "Micropile Design and Construction Guidelines Implementation Manual", US Department of Transportation, Federal Highway Administration, FHWA – SA – 97 – 070, June, 2000.
2. Gómez, J.E., Cadden, A., Webster, O.C., "Micropile Foundation in Karst: Static and Dynamic Testing Variability," Proceedings: Fifth Annual Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, New York, New York, April 2004.
3. D.A. Bruce, D.A., Cadden, A.W., and Sabatini, P.J., "Practical Advice for Foundation Design – Micropiles for Structural Support", GSP Journal, 2004.
4. GEOTECHNICAL ENGINEERING MANUAL: MICROPILE INSPECTOR GUIDELINES ,GEM-25 ,STATE OF NEW YORK DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, AUGUST 2010
5. Geotechnical Control Procedure GCP-18, Static Pile Load Test Manual.
6. Cadden, A., Gómez, J., Bruce, D., Eng, C., and Armour, T., "MICROPILES: RECENT ADVANCES AND FUTURE TRENDS", 2003
7. Ichimura, Y., Sagara, M., Ochita, T., "Statnamic load test of micropiles reinforced with steel pipes," Proceedings of the Second International Statnamic Seminar, Tokyo, Japan, October 1998.
8. Fellenius, B.H., "Static or Dynamic Test – Which is trust? , Geotechnical News Magazine, Vol. 8, No. 4, pp. 28 – 32, 1990.
9. Aschenbroich, H., President D.I., "MICRO PILE REINFORCEMENT SYSTEMS and CORROSION PROTECTION", ADSC Micro-Pile Seminar, Charlotte NC, November, 2001.
10. Liew, S.S., Fong, C.C., "Design & Construction of micropiles", Geotechnical course for pile foundation design & construction, Ipoh, September, 2003.
11. Amir, J.M., Fellenius, B.H., "Pile testing competitions – A critical review", Application of Stress-Wave Theory to Piles seminar, Rotterdam, 2000