

روش‌های تسلیح خاک

"راهنمای جامع طراحی و اجرای ریزشمع‌ها"

غلامرضا نیازی

مجید محقق

بهنام محمودخانی

ترجمه کتاب

MICROPILE DESIGN AND CONSTRUCTION GUIDELINES - FHWA

اداره راه و ترابری آمریکا

اداره بزرگراه‌های ایالات متحده

سازمان برنامه‌ریزی تکنولوژی‌های برتر

PUBLICATION NO. FHWA-SA-۹۷-۰۷۰

June ۲۰۰۰



عنوان و نام پدیدآور	: راهنمای جامع طراحی و اجرای ریزشمع‌ها/[مترجمین] غلامرضا نیازی، مجید محقق، بهنام محمودخانی.
مشخصات نشر	: زنجان: غلامرضا نیازی، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ع، ۲۷۶ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۱۰۰۰۰۰ ریال: ۱-۸۶۷۷-۰۴-۹۶۴-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Micropile design and construction guidelines.
یادداشت	: بالای عنوان: روش‌های تسلیح خاک.
عنوان دیگر	: روش‌های تسلیح خاک.
موضوع	: شمع‌زنی (راه و ساختمان)--دستنامه‌ها
شناسه افزوده	: نیازی، غلامرضا، ۱۳۶۲ - مترجم
شناسه افزوده	: محقق، مجید، ۱۳۶۲ - مترجم
شناسه افزوده	: محمودخانی، بهنام، ۱۳۶۱ - مترجم
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۱ ر ۷۸۰/۲ TAY
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۴/۱۵۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۸۷۰۱۴۴

سید المرسلین علیہ السلام

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	پیشگفتار مولفین
۳	فصل اول - مقدمه
۳	۱-۱. اهداف و ظرفیت‌های کتاب
۴	۱-۲. تعریف ریزشمع
۵	۱-۳. تاریخچه
۹	فصل دوم- سیستم طبقه بندی ریزشمع‌ها
۹	۲-۱. انواع ریزشمع‌ها
۹	۲-۱-۱. طبقه بندی طراحی
۱۲	۲-۱-۲. طبقه بندی به لحاظ اجرا
۱۷	فصل سوم- کاربرد ریزشمع‌ها در پروژه‌های ترابری
۱۷	۳-۱. مقدمه
۱۹	۳-۲. تقویت سازه‌ای
۲۰	۳-۲-۱. فونداسیون سازه‌های در دست اجرا
۲۲	۳-۲-۲. تقویت فونداسیون سازه‌های موجود
۲۴	۳-۲-۳. مقاوم سازی لرزه‌ای
۲۵	۳-۳. مقاوم سازی‌های درجا (پایدارسازی شیروانی و حفاظت زمین)
۳۰	۳-۴. عوامل موثر در انتخاب ریزشمع
۳۱	۳-۴-۱. ملاحظات فیزیکی
۳۲	۳-۴-۲. شرایط زیرسطحی
۳۲	۳-۴-۳. شرایط محیطی
۳۳	۳-۴-۴. تطبیق سازه‌های موجود
۳۴	۳-۴-۵. محدودیت‌های اجرای ریزشمع
۳۴	۳-۴-۶. مسایل اقتصادی ریزشمع‌ها
۳۷	فصل چهارم - مصالح و تکنیک‌های ساخت و اجرا
۳۷	۴-۱: مقدمه
۳۸	۴-۲: حفاری
۳۹	۴-۲-۱: مته (drill rigs)
۴۲	۴-۲-۲: تکنیک‌های حفاری
۴۳	۴-۲-۳. تکنیک‌های حفاری لایه‌های سربار فوقانی
۴۷	۴-۲-۴: تکنیک‌های حفاری گمانه باز (open-hole)
۴۸	۴-۳: تزریق

۵۰	۱-۳-۴: تجهیزات تزریق
۵۲	۲-۳-۴: اختلاط دوغاب
۵۲	۳-۳-۴: تکنیک‌های تزریق دوغاب
۵۲	۱-۳-۳-۴: روش تزریق ثقلی (ریزشمع نوع A)
۵۳	۲-۳-۳-۴: تزریق فشاری از میان غلاف (ریزشمع نوع B)
۵۵	۳-۳-۳-۴: پیش تزریق (ریزشمع‌های نوع C و نوع D)
۵۷	۴-۳-۴: تزریق تکمیلی (ثانویه)
۵۸	۴-۴: آرماتورگذاری
۵۸	۱-۴-۴: جاگذاری آرماتورها
۵۸	۲-۴-۴: انواع آرماتورها
۶۵	۳-۴-۴: محافظت آرماتورها از خوردگی
۷۱	فصل پنجم- طراحی ریزشمع برای فونداسیون سازه‌ها (مورد ۱)
۷۱	۱-۵. مقدمه
۷۳	۲-۵. استفاده از این کتاب جهت طراحی
۷۴	۳-۵. توضیح و تفسیر روش‌های طراحی "SLD" و "LFD"
۸۰	۴-۵. طراحی ژئوتکنیکی
۸۰	۱-۴-۵. مقتضیات بررسی‌های ژئوتکنیکی
۸۱	۲-۴-۵. ظرفیت ژئوتکنیکی
۸۲	۳-۴-۵. مقادیر " α bond nominal strength" برای مجموعه خاک - دوغاب
۸۴	۱-۳-۴-۵. بارهای محوری کششی و فشاری مجاز برای طول پیوند ژئوتکنیکی- SLD
۸۴	۲-۳-۴-۵. مقاومت محوری طرح کششی و فشاری برای طول پیوند ژئوتکنیکی- SLD
۸۴	۴-۴-۵. ظرفیت باربری ژئوتکنیکی نوک ریزشمع
۸۴	۵-۴-۵. تاثیر گروه بر ریزشمع‌های با بارگذاری محوری
۸۶	۵-۵. طرح سازه‌ای ریزشمع‌ها
۸۷	۱-۵-۵. نمادها
۸۸	۲-۵-۵. ظرفیت باربری سازه‌ای طول غلاف شده شمع
۸۸	۱-۲-۵-۵. طول غلاف شده شمع (طراحی بر اساس بار سرویس)
۸۹	۲-۲-۵-۵. طول غلاف شده شمع (طراحی بر اساس بار ضریب‌دار)
۸۹	۳-۵-۵. طول غلاف نشده شمع
۹۰	۱-۳-۵-۵. طول غلاف نشده شمع (طراحی بر اساس بار سرویس)
۹۰	۲-۳-۵-۵. طول غلاف نشده شمع (طراحی بر اساس بار ضریب‌دار)
۹۱	۴-۵-۵. ضرایب ایمنی و بارهای آزمایش توصیه شده برای آزمایش‌های محلی "ارزیابی" و "شاهد"

۹۴	۵-۴-۱. طول غلاف شده شمع
۹۴	۵-۴-۲: طول غلاف نشده شمع
۹۶	۵-۵-۵. ظرفیت باربری مجموعه دوغاب- فولاد
۹۶	۵-۵-۶. طرح طول غوطه‌وری
۹۸	۵-۵-۷. سازگاری کرنش بین اجزاء سازه‌ای
۹۹	۵-۵-۸. اتصالات غلاف و میلگرد تقویتی
۱۰۰	۵-۵-۹. اتصال شمع به پی
۱۰۵	۵-۶. ملاحظات ژئوتکنیکی و سازه‌ای مضاعف
۱۰۵	۵-۶-۱. پیش‌بینی جابجایی‌های محوری سازه‌ای مورد انتظار
۱۰۸	۵-۶-۲. جابجایی خزش بلند مدت زمین
۱۰۸	۵-۶-۳. نشست گروه شمع‌ها
۱۰۹	۵-۶-۴. ظرفیت باربری جانبی
۱۱۲	۵-۶-۵. پایداری جانبی (کمانش)
۱۱۵	۵-۶-۶. تاثیر بالا آمدگی (uplift) و رانش بسمت پائین (downdrag)
۱۱۶	۵-۷. نمونه مسئله شماره ۱. تقویت فونداسیون پایه پل
۱۱۶	۵-۷-۱. مشخصات مسئله
۱۲۰	۵-۷-۲. گام ۱ - بارهای طرح تکیه‌گاه
۱۲۱	۵-۷-۲-۱. فشار محرک خاک - P_E
۱۲۲	۵-۷-۲-۲. فشار زمین(خاک) ناشی از بار زنده سربار - H_L
۱۲۲	۵-۷-۲-۳. فشار لرزه‌ای خاک - P_{EQ}
۱۲۳	۵-۷-۲-۴. نیروهای اینرسی لرزه‌ای
۱۲۳	۵-۷-۳: روش طراحی بر اساس بار سرویس (SLD Method)
۱۲۳	۵-۷-۳-۱. گام ۲ (SLD) - تعیین بارهای طرح شمع برای هر متر طول
۱۲۵	۵-۷-۳-۲. گام ۳ (SLD) - تعیین بارهای سازه‌ای و ژئوتکنیکی مجاز شمع
۱۲۵	۵-۷-۳-۱. گام ۳ (SLD) - بار مجاز طول غلاف شده شمع
۱۲۷	۵-۷-۳-۲. گام ۳ (SLD) - بار مجاز طول غلاف نشده شمع
۱۲۷	۵-۷-۳-۳. گام ۳ (SLD) - بار مجاز طول پیوند ژئوتکنیکی
۱۲۸	۵-۷-۳-۴. گام ۳ (SLD) - بررسی بارهای مجاز محوری
۱۲۹	۵-۷-۳-۵. گام ۳ (SLD) - بررسی بارهای جانبی مجاز
۱۲۹	۵-۷-۳-۶. گام ۳ (SLD) - محاسبه بارهای آزمایش در محل
۱۲۹	۵-۷-۳-۷. گام ۳ (SLD) - طرح سازه‌ای شمع برای آزمایش‌های بارگذاری در محل
۱۳۲	۵-۷-۳-۳. گام ۴ (SLD) - جابجایی محوری مورد انتظار

۱۳۴	۴-۳-۷-۵. گام ۵ (SLD) - طراحی اتصال شمع
۱۳۸	۴-۷-۵. روش طراحی بر اساس بار ضریب‌دار (LFD)
۱۳۸	۴-۷-۵. گام ۲ (LFD) - تعیین مقاومت مورد نیاز شمع برای هر متر طول
۱۴۱	۴-۷-۵. گام ۳ (LFD) - تعیین مقاومت طرح سازه ای و ژئوتکنیکی شمع
۱۴۱	۴-۷-۵. گام ۳ (LFD) - مقاومت طرح طول غلاف شده شمع
۱۴۳	۴-۷-۵. گام ۳ (LFD) - مقاومت طرح طول غلاف نشده شمع
۱۴۳	۴-۷-۵. گام ۳ (LFD) - مقاومت طرح برای طول پیوند ژئوتکنیکی
۱۴۵	۴-۷-۵. گام ۳ (LFD) - بررسی مقاومت محوری طرح
۱۴۶	۴-۷-۵. گام ۳ (LFD) - بررسی مقاومت جانبی طرح
۱۴۷	۴-۷-۵. گام ۳ (LFD) - محاسبه بار آزمایش در محل
۱۴۸	۴-۷-۵. گام ۳ (LFD) - طرح سازه‌ای شمع برای بارهای آزمایش
	در محل
۱۴۸	۴-۷-۵. گام ۴ (LFD) - جابجایی محوری مورد انتظار
۱۴۸	۴-۷-۵. گام ۵ (LFD) - طرح اتصال شمع
۱۵۲	۵-۷-۵. گام ۶ (SLD & LFD) - نقشه‌های جزئیات را کامل کنید
۱۵۵	فصل ششم- آزمایش بارگذاری شمع
۱۵۵	۱-۶. مقدمه
۱۵۶	۲-۶. انواع و اهداف آزمایش بارگذاری
۱۵۷	۱-۲-۶. آزمایش نهایی
۱۵۸	۲-۲-۶. آزمایش ارزیابی
۱۵۸	۳-۲-۶. آزمایش شاهد
۱۵۸	۴-۲-۶. آزمایش خزش
۱۵۹	۳-۶. تهیه اسناد آزمایش بارگذاری پروژه
۱۵۹	۱-۳-۶. تعداد آزمایش‌های بارگذاری
۱۶۱	۲-۳-۶. رهنمودهای آزمایش بارگذاری ریزشمع
۱۶۱	۱-۲-۳-۶. رهنمودهای آزمایش بارگذاری ریزشمع‌ها برای کارفرمایان و پیمانکاران کم تجربه
۱۶۲	۲-۲-۳-۶. رهنمودهای آزمایش بارگذاری ریزشمع برای کارفرمایان یا پیمانکار با تجربه
۱۶۳	۳-۳-۶. نمونه مسئله شماره ۱ (فصل ۵)- الزامات آزمایش بارگذاری شمع
۱۶۴	۴-۳-۶. بزرگی آزمایش بارگذاری
۱۶۵	۴-۶. روش‌های آزمایش بارگذاری ریزشمع‌ها
۱۶۵	۱-۴-۶. روش استعمال بار

۱۶۵	۲-۴-۶. مدت زمان نگهداشت بار
۱۶۵	۳-۴-۶. معیار پذیرش آزمایش بارگذاری
۱۶۶	۵-۶. آرایش آزمایش بارگذاری و ابزارسنجی
۱۷۴	۶-۶. ثبت و ارائه داده‌ها
۱۸۱	۷-۶. گزارش آزمایش بارگذاری شمع
۱۸۲	۸-۶. شکست در آزمایش شمع
۱۸۳	فصل هفتم - کنترل کیفیت و بررسی ساخت
۱۸۳	۱-۷. مقدمه
۱۸۴	۲-۷. بازرسی کنترل کیفیت
۱۸۴	۱-۲-۷. جابجایی مصالح و ذخیره سازی آنها
۱۸۷	۲-۲-۷. نظارت بر ساخت و اجرا
۱۹۳	۳-۷. مستندات کنترل کیفیت
۱۹۳	۱-۳-۷. آزمایش بارگذاری شمع
۱۹۳	۲-۳-۷. شمع‌های بهره برداری
۱۹۹	فصل هشتم - روش‌های عقد قرارداد
۱۹۹	۱-۸. مقدمه
۲۰۰	۲-۸. دفترچه‌های مشخصات
۲۰۲	۱-۲-۸. روش‌های کنترل طرح توسط کارفرما
۲۰۵	۲-۲-۸. روش‌های طراحی و ساخت توسط پیمانکار
۲۰۸	۳-۲-۸. سایر روش‌ها
۲۰۸	۳-۸. طرح‌های قرارداد
۲۰۹	فصل نهم - هزینه و امکان پذیری
۲۰۹	۱-۹. امکان پذیری
۲۰۹	۲-۹. هزینه‌های ریزشمع
۲۱۲	۳-۹. نمونه مسائل - تخمین هزینه
۲۱۲	۱-۳-۹. نمونه مسئله شماره ۱ (فصل ۵ - تقویت تکیه‌گاه پل)
۲۱۳	۲-۳-۹. نمونه مسئله شماره ۲ (مقاوم سازی لرزه‌ای)
۲۱۵	ضمیمه الف آئین‌نامه رهنمودهای ساخت ریزشمع‌ها و طراحی آنها
	ضمیمه ب رهنمود Washington state DOT (WSDOT) برای تهیه "گزارش خلاصه شرایط ژئوتکنیکی"
۲۵۱	

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۵	شکل ۱-۱. مراحل اجرای ریزشمع با استفاده از غلاف گذاری
۶	شکل ۲-۱. آرایش کلاسیک "روت پایل" ها جهت پی بندی کردن
۸	شکل ۳-۱. گونه‌ای از نحوه آرایش ریزشمع‌های شبکه بندی شده
۹	شکل ۱-۲. ریزشمع‌های "مورد ۱" (بطور مستقیم بارگذاری شده)
۱۰	شکل ۲-۲. ریزشمع‌های "مورد ۲" - شمع‌های شبکه بندی شده همراه با توده خاک تقویت شده با هم عمل کرده و بار را تحمل می‌کنند
۱۱	شکل ۳-۲. آرایش ریزشمع‌های "مورد ۱"
۱۱	شکل ۴-۲. آرایش ریزشمع‌های "مورد ۲"
۱۳	شکل ۵-۲. طبقه‌بندی ریزشمع‌ها بر اساس نوع تزریق (به جدول ۱-۲ رجوع کنید)
۱۷	شکل ۱-۳. تقسیم‌بندی کاربرد ریزشمع‌ها
۱۹	شکل ۲-۳. طرح ترمیم برای کج شدگی مناره "Al Hadba"
۲۱	شکل ۳-۳. ریزشمع‌ها برای تقویت فونداسیون در پروژه‌های ترابری
۲۳	شکل ۴-۳. آرایش پی‌بندی برای پل رودخانه "پوکوموک" در ماری‌لند (Bruce et al, ۱۹۹۰)
۲۶	شکل ۵-۳. گونه‌ای از آرایش دیوارهای ریزشمع اریب
۲۷	شکل ۶-۳. پایدارسازی شیروانی جاده ایالتی شماره ۴۰۲۳ بوسیله ریزشمع، شهر آرمسترانگ پنسیلوانیا
۲۸	شکل ۷-۳. حفاظت دائم زمین دیوار ۶۰۰، پورتلند، اورگون
۲۹	شکل ۸-۳. پایدارسازی شیروانی با استفاده از "مورد ۲"، پروژه FH-۷، Mendonico National Forest, California
۳۳	شکل ۹-۳. محافظت از یک دیوار دیافراگمی موجود با یک غربال ریزشمعی متقاطع با استفاده از ملات ضد اسید (Bachy, ۱۹۹۲)
۳۹	شکل ۱-۴. مراحل متوالی اجرای ریزشمع با استفاده از غلاف گذاری
۴۴	شکل ۲-۴. روش‌های حفاری لایه‌های بالاسری (Bruce, ۱۹۸۸)
۴۹	شکل ۳-۴. تاثیر میزان آب بر مقاومت فشاری دوغاب و خاصیت سیالیت آن (Barley and Woodward, ۱۹۹۲)
۵۱	شکل ۴-۴. انواع میکسرهای کلوئیدی
۵۱	شکل ۵-۴. انواع میکسرهای پدالی
۵۶	شکل ۶-۴. اصول روش tube á manchette در پیش تزریق

- شکل ۴-۷. استفاده از لوله آرماتور به عنوان سیستم پیش تزریق tube á manchette ۵۷
- شکل ۴-۸. تقویت با چند میلگرد با همراه جداکننده مرکزی ۵۹
- شکل ۴-۹. جزئیات میلگرد آجدار Dywidag (DSI, ۱۹۹۳) ۶۰
- شکل ۴-۱۰. جزئیات ریزشمع مرکب ظرفیت بالای نوع B۱، پایگاه نیروی هوایی Vanderberg، کالیفرنیا ۶۵
- شکل ۴-۱۱. الف- شمع‌های GEWI با محافظت دوغابی صرف، و ب- محافظت خوردگی دابل (Courtesy DSI) ۶۷
- شکل ۵-۱. شرح SLD و LFD و ارتباط بین آنها ۷۴
- شکل ۵-۲. جزئیات یک ریزشمع با سیستم تقویتی مرکب ۸۶
- شکل ۵-۳. مقایسه حداکثر بارهای آزمایش برای ریزشمع‌ها، سیستم میخکوبی خاک و سیستم مهارکوبی زمین ۹۵
- شکل ۵-۴. جزئیات انتقال بار از طریق طول غوطه‌ور غلاف ۹۷
- شکل ۵-۵. تغییر در بار انتقالی از طریق طول غوطه‌ور غلاف در حین افزایش بار (bruce and Gemme, ۱۹۹۲) ۹۸
- شکل ۵-۶. جزئیات اتصال شمع به پی (کلاهدک) ۱۰۱
- شکل ۵-۷. جزئیات اتصال شمع به پی (کلاهدک) ۱۰۲
- شکل ۵-۸. جزئیات اتصال شمع به پی (کلاهدک) ۱۰۲
- شکل ۵-۹. جزئیات اتصال شمع به پی (کلاهدک) ۱۰۳
- شکل ۵-۱۰. جزئیات اتصال شمع به پی جدید- فشار بسیط، بارگذاری معتدل ۱۰۴
- شکل ۵-۱۱. جزئیات اتصال شمع به پی جدید- فشار بسیط، بارگذاری سنگین ۱۰۴
- شکل ۵-۱۲. جزئیات اتصال شمع به پی موجود- فقط فشاری ۱۰۵
- شکل ۵-۱۳. نمونه مسئله شماره ۱. جزئیات مقطع تکیه‌گاه ۱۱۷
- شکل ۵-۱۴. جزئیات شمع- نمونه مسئله شماره ۱ ۱۱۸
- شکل ۵-۱۵. بارهای تکیه‌گاه- نمونه مسئله شماره ۱ ۱۱۸
- شکل ۵-۱۶. لوگ حفاری خاک- نمونه مسئله شماره ۱ ۱۱۹
- شکل ۵-۱۷. اتصال بالای شمع به پی تکیه‌گاه ۱۳۴
- شکل ۵-۱۸. مقایسه روش‌های SLD و LFD برای طراحی طول پیوند ژئوتکنیکی ۱۴۶
- شکل ۵-۱۹. جزئیات اتصال بالای شمع به پی تکیه‌گاه ۱۴۹
- شکل ۵-۲۰. صفحه ۱ نمونه مسئله شماره ۱- نقشه‌های اجرایی الصاقی (SLD & LFD designs) ۱۵۲
- شکل ۵-۲۰. صفحه ۲ نمونه مسئله شماره ۱ - نقشه‌های اجرایی الصاقی (SLD & LFD designs) ۱۵۳
- شکل ۶-۱. آزمایش بارگذاری فشاری ۱۶۷
- شکل ۶-۲. آزمایش بارگذاری کششی ۱۶۷

۱۶۸	شکل ۳-۶. آزمایش بارگذاری جانبی
۱۷۰	شکل ۴-۶. نمونه‌ای از منحنی کالیبراسیون جک
۱۷۹	شکل ۵-۶. منحنی بار-جابجایی راس شمع
۱۷۹	شکل ۶-۶. منحنی بار-جابجایی دائمی / الاستیک راس شمع
۱۸۰	شکل ۷-۶. منحنی زمان در مقابل جابجایی خزش
۱۸۱	شکل ۸-۶. منحنی زمان در طول الاستیک

فهرست عکس‌ها

عنوان	صفحه
عکس ۱-۳. ریزشمع‌های ۱۷۵ م.م استفاده شده زیر تکیه‌گاه‌های پل نهر "ماهونینگ" در استان آرمنسترانگ	۲۱
عکس ۲-۳. پی بندی پل بتنی خیابان امرسون غربی در سیاتل، واشینگتن	۲۲
عکس ۳-۳. مقاوم سازی لرزه‌ای "I-۱۱۰"، پل ارتباطی شمال، لوس آنجلس، کالیفرنیا	۲۵
عکس ۴-۳. پروژه FH-۷، جنگل بین المللی مندونیکو واقع در کالیفرنیا (پایدارسازی شیروانی)	۳۰
عکس ۵-۳. نصب و اجرای ریزشمع‌ها در ارتفاع سقف کم	۳۱
عکس ۱-۴. یک مته دورانی هیدرولیکی بزرگ نصب شده بر روی ارابه	۴۰
عکس ۲-۴. مته دورانی هیدرولیکی کوچک نصب شده بر روی ارابه	۴۱
عکس ۳-۴. مته دورانی هیدرولیکی کوچک نصب شده بر روی قاب	۴۱
عکس ۱-۶. آزمایش بارگذاری فشاری	۱۶۸
عکس ۲-۶. آزمایش بارگذاری کششی	۱۶۹
عکس ۳-۶. نمونه ای از جک آزمایش بارگذاری	۱۷۰
عکس ۴-۶. ابزار سنجی آزمایش بارگذاری ریزشمع	۱۷۱
عکس ۵-۶. ابزار سنجی آزمایش بارگذاری ریزشمع	۱۷۳
عکس ۶-۶. ابزار سنجی آزمایش بارگذاری ریزشمع	۱۷۳
عکس ۱-۷. انبار سیمان	۱۸۵
عکس ۲-۷. ذخیره سازی فولادهای تقویتی	۱۸۵
عکس ۳-۷. محافظت از خوردگی مضاعف (کپسوله شده)- فولادهای تقویتی	۱۸۶
عکس ۴-۷. گیج فشار drill rig	۱۹۱
عکس ۵-۷. متمرکز کننده‌های آرمانتور	۱۹۲
عکس ۶-۷. مکعب‌های دوغاب برای آزمایش مقاومت فشاری	۱۹۷
عکس ۷-۷. آزمایش Bariod Mud Balance	۱۹۸

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲. جزئیات طبقه‌بندی ریزشمع‌ها بر اساس نوع تزریق	۱۴
جدول ۱-۳. رابطه بین کاربرد ریزشمع‌ها، رفتار طراحی و نوع ساخت و اجرا	۱۸
جدول ۱-۴. روش‌های حفاری لایه‌های بالاسری	۴۴
جدول ۲-۴. ابعاد، و مقاومت‌های نهایی و گسیختگی برای میلگردهای تقویتی استاندارد	۵۹
جدول ۳-۴. میلگردهای آجدار دیوداج- اطلاعات تکنیکی (Courtesy of DSI)	۶۲
جدول ۴-۴. میلگردهای تزریق از سوراخ مغزه	۶۳
جدول ۵-۴. مقاومت گسیختگی و ابعاد لوله‌های مرسوم ریزشمع	۶۴
جدول ۶-۴. مقادیر بحرانی خوردگی	۶۶
جدول ۷-۴. ابعاد حداقل (م.م) ضخامت پوسته بعنوان محافظت خوردگی	۶۸
جدول ۱-۵. ضرایب ϕ_G کالیبره شده LFD برای نسبت‌های متفاوت از Q_E و Q_D , Q_L	۷۸
جدول ۲-۵. مقادیر " α " (مقاومت اسمی مجموعه خاک- دوغاب) برای طرح اولیه ریزشمع که در عمل استفاده شده‌اند	۸۳
جدول ۳-۵. بار جانبی لازم، P کیلونیوتن، برای جابجایی ۶/۳۵ م.م. در خاک دانه‌ای درشت و تیز گوشه (pinned pile hea condition)	۱۱۱
جدول ۴-۵. نمونه مسئله شماره ۱- خلاصه‌ای از بارهای تکیه‌گاهی بر هر متر طول	۱۲۱
جدول ۱-۶. رهنمودهای پیشنهادی برای آزمایش بارگذاری ریزشمع	۱۶۱
جدول ۲-۶. ضرایب بزرگنمایی برای آزمایشات بارگذاری بررسی	۱۶۲
جدول ۳-۶. نمونه مسئله شماره ۱- الزامات آزمایش شمع	۱۶۴
جدول ۴-۶. نمونه‌ای از جدول زمانبندی آزمایش بارگذاری چرخه‌ای کششی (آزمایش ارزیابی) برای یک بار سرویس طرح لرزه‌ای برابر با ۳۲۲ کیلونیوتن	۱۷۴
جدول ۵-۶. نمونه‌ای از جدول زمانبندی آزمایش بارگذاری چرخه‌ای فشاری (آزمایش ارزیابی) برای بار طرح سرویس غیر لرزه‌ای برابر با ۷۲۱ کیلونیوتن	۱۷۶
جدول ۶-۶. نمونه‌ای از جدول زمانبندی آزمایش بارگذاری فشاری نهایی (آزمایش ارزیابی) برای بار طرح سرویس غیر لرزه‌ای برابر با ۷۲۱ کیلونیوتن	۱۷۸
جدول ۱-۷. لوگ اجرای ریزشمع	۱۹۵
جدول ۲-۷. لوگ کامل شده اجرای ریزشمع	۱۹۶
جدول ۱-۸. گزینه طرح و ساخت با پیمانکار	۲۰۱
جدول ۱-۹. آنالیز تاثیرپذیری قیمت ریزشمع	۲۱۰
جدول ۲-۹. نمونه مسئله شماره ۱- آنالیز قیمت (فصل ۵- تقویت تکیه‌گاه پل)	۲۱۲
جدول ۳-۹. نمونه مسئله شماره ۲- (مقاوم سازی لرزه‌ای)	۲۱۳
جدول ۴-۹. واحدهای سنجش و پرداخت در ریزشمع‌ها	۲۱۴

پیشگفتار مترجمین

با توجه به ساخت و سازهای نوین شهری و اهمیت اجرای ساختمان‌های بلند مرتبه و سنگین و نیز استفاده هر چه بیشتر از زمین‌های مستعد سرمایه‌گذاری و جذب گردشگر که در پاره‌ای اوقات منجر به اجرای سازه در زمین‌های سست و خاک‌های نامناسب می‌گردد، لزوم بکارگیری روش‌های نوین ژئوتکنیکی جهت تقویت مکانیکی خاک‌های موجود که ضرورت‌هایی چون سرعت بالای اجرا، هزینه‌های معقول، عدم ایجاد مزاحمت به املاک مجاور، عدم توقف در ترافیک جاده‌ای و ... را نیز مد نظر قرار داده باشد، نمود بارزی پیدا می‌کند. سیستم ریزشمع و فونداسیون‌های ریزشمعی از روش‌های روز ژئوتکنیکی است که گستره کاربرد آن در تمامی دنیا بالاخص کشورهای پیشرفته غیر قابل انکار می‌باشد.

از سوی دیگر بدلیل جوان بودن علم ژئوتکنیک و روش‌های ژئوتکنیکی در ایران و نبود آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های اجرایی و روش‌های عقد قرارداد مدون، گاه‌ها شاهد برخی بدعت‌ها و نوآوری‌های نابجا در عرصه روش‌های اجرایی می‌باشیم، که خود منجر به مشکلات متعاقب بین کارفرما و پیمانکار می‌گردد. بروز این مشکلات باعث طولانی شدن پروژه و طرح دعوی از سوی طرفین قرارداد می‌گردد و نهایتاً کارفرما نسبت به روش‌های نوین ژئوتکنیکی مایوس شده و این صلب اعتماد منجر به تمایل و سوق کارفرما به سمت روش‌های سنتی می‌گردد.

با توجه به نبود منابع فارسی در داخل کشور، مترجمین تصمیم به ترجمه کتاب حاضر نموده‌اند، که بتوانند گامی مثبت در عرصه شناخت هر چه بیشتر تکنیک‌های روز دنیا و بومی سازی این روش‌ها برداشته باشند. مسلماً بومی سازی چنین سیستم‌هایی مستلزم پژوهش‌ها و مطالعات دانشگاهی و آزمایشگاهی فراوان و راهنمایی اساتید صاحب نظر در این زمینه می‌باشد، که خوشبختانه در سال‌های اخیر اقدامات مثبتی در این راستا در میهن عزیزمان، ایران اسلامی صورت گرفته است.

این کتاب حاصل تلاش فارغ التحصیلان کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران، گرایش مکانیک خاک و پی می‌باشد و از تمامی عزیزانی که این کتاب را مطالعه می‌نمایند خواهشمند است نظرات، انتقادات و پیشنهادات خویش را با آدرس الکترونیکی Majid.mohagheghy@gmail.com در میان بگذارند.

فصل اول

مقدمه

۱-۱. اهداف و ظرفیت‌های کتاب

مباحث تنوریک در خصوص ریزشمع از دهه ۱۹۵۰ و کاربرد عملی آن از اواسط دهه ۱۹۸۰ آغاز شد. ریزشمع‌ها عمدتاً بعنوان اعضای تقویت کننده فونداسیون‌ها در برابر بارهای استاتیکی و لرزه‌ای و همچنین جهت بهبود زمین و پایداری شیروانی‌ها و ترائشه‌ها و گودبرداری‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

در سال ۱۹۹۳، اداره بزرگراه‌های ایالات متحده (FHWA) حمایت مالی از یک تحقیق علمی در خصوص ریزشمع‌ها را بعهده گرفت. گروه تحقیقاتی شامل پیمانکاران، مشاورین، اعضای دانشگاهی و کارفرمایان بود. مدارک و اسناد بدست آمده از این مطالعه، تحت عنوان "نگاهی بر شرایط اجرایی و عملی ریزشمع‌های حفاری-تزریق شده" منتشر گردید که به بررسی دقیق مطالعات موجود و نتایج جدید و اطلاعات حاصل از آزمایش‌های آزمایشگاهی و محلی، روش‌های طرح و اجرا، مشاهدات و مطالعات موردی و محلی ثبت شده پرداخته بود.

در بخشی از این مطالعه، محدودیت‌ها و عدم قطعیت‌های موجود و نیاز به مطالعات بیشتر، مورد ارزیابی قرار گرفت. یکی از شاخص‌ترین نیازها، که از سوی نماینده اداره حمل و نقل ایالتی عمدتاً مطرح می‌شد، تدوین یک راهنمای طراحی و اجرا بود که مهندسین سازه‌ای و ژئوتکنیکی بتوانند از آن استفاده کنند. در پاسخ به این نیاز، اداره بزرگراه‌های آمریکا مراحل تکمیل و توسعه این راهنمای عملی جهت طرح و ساخت ریزشمع‌ها را پشتیبانی نمود. نگارش و توسعه این کتاب حاصل تلاش و کوشش مشترک اداره بزرگراه‌های آمریکا، چندین پیمانکار تخصصی ریزشمع آمریکایی و چندین شرکت آمریکایی دیگر می‌باشد.

فصل ۱، تعریف کلی و تاریخچه‌ای از ریزشمع‌ها را ارائه می‌کند. فصل ۲، طبقه بندی جدید ریزشمع‌ها و کاربردهایشان را توصیف می‌کند. فصل ۳، نحوه استفاده از ریزشمع‌ها در پروژه‌های ترابری را نشان می‌دهد. فصل ۴، در مورد تکنیک‌های ساخت و اجرا و مصالح آن بحث می‌کند. فصل ۵، به جزئیات روش تقویت فونداسیون سازه‌ها می‌پردازد که شامل مثال‌های طراحی عملی نیز می‌باشد. فصل ۶، آزمایش بارگذاری روی

شمع را شرح می‌دهد. فصل ۷، روند کنترل کیفیت و نظارت اجرا را مورد بررسی قرار می‌دهد. فصل ۸، روش‌های عقد قرارداد در پروژه‌های ریزشمعی را شرح می‌دهد. فصل ۹، در بر دارنده استفاده، اجرا و هزینه‌های متعاقب آن می‌باشد. ضمیمه الف، طرح‌ها و دفترچه‌های مشخصات ساده کنترل طراحی ریزشمع‌های طراحی و ساخته شده توسط پیمانکار را ارائه می‌کند.

۱-۲. تعریف ریزشمع

شمع‌ها به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند: "شمع‌های پیش‌ساخته" و "شمع‌های درجا" (Fleming, ۱۹۸۵). شمع‌های پیش‌ساخته المان‌هایی می‌باشند که در اثر کوبش یا ارتعاش به داخل زمین رانده می‌شوند، بنابراین در طی نصب، خاک‌های اطراف را جابجا کرده و به جلو می‌رانند. شمع‌های درجا در گمانه‌ها و چاه‌هایی از پیش حفر شده، قرار داده می‌شوند و یا اینکه در محل ساخته و اجرا می‌گردند. بنابراین در زمین حفر شده قرار داده می‌شوند.

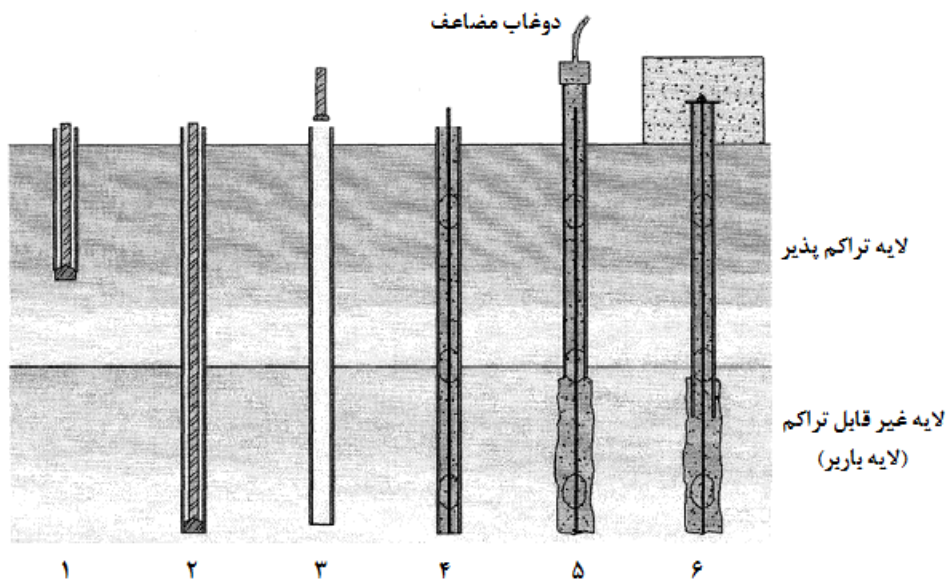
ریزشمع، غالباً جزء شمع‌های حفاری و درجا، البته با قطر کوچک (عمدتاً کمتر از ۳۰۰ میلیمتر) می‌باشد که اغلب با آرماتور تقویت می‌گردد. همانطور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، ریزشمع از طریق حفر یک گمانه یا چاه، سپس استقرار آرماتورها در گمانه و در نهایت تزریق گمانه اجرا می‌گردد. ریزشمع قادر به تحمل بارهای محوری و جانبی بوده و می‌تواند جایگزین شمع‌های مرسوم گردد و یا اینکه در کنار سیستم شمع به کار گرفته شود که این موضوع بستگی به روش طراحی دارد. ریزشمع‌ها به روش‌هایی اجرا می‌گردند که کمترین آسیب را به خاک و سازه و محیط اطراف خود وارد آورند. آنها را می‌توان در محیط‌های با دسترسی مشکل و در همه نوع خاک و شرایط زمینی اجرا نمود. ریزشمع‌ها را می‌توان تحت هر زاویه‌ای نسبت به افق (مایل) با استفاده از همان تجهیزات مورد استفاده در پروژه‌های تزریق و مهار، اجرا نمود.

از آنجا که مراحل اجرا، ارتعاش و سر و صدای کمی را ایجاد نموده و می‌توان آنها را در فضاهای مسقف کم ارتفاع اجرا نمود، اغلب برای تقویت پی‌های سازه‌های موجود مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مواردی که فضای زیرزمینی محدود باشد، تجهیزات حفاری ویژه‌ای لازم می‌باشد.

بخش عمده نیروهای اعمالی به شمع‌های درجا، اساساً توسط بتن مسلح تحمل می‌شود؛ و بدین لحاظ برای افزایش ظرفیت باربری سازه‌ای آنها می‌توان سطح مقطع و سطح تماس شمع را افزایش داد. در مقابل، ظرفیت باربری سازه‌ای ریزشمع متکی بر ظرفیت المان‌های فولادی مقاوم موجود در آن می‌باشد. این المان-

های فولادی تقریباً نصف حجم گمانه را اشغال می‌کنند. بکارگیری روش‌های حفاری و تزریق ویژه در اجرای ریزشمع‌ها امکان پیدایش مقادیر ظرفیت باربری بالایی را در مجموعه خاک-دوغاب مهیا می‌سازد.

دوغاب، نیروهای موجود در ناحیه پیوند (مجموعه خاک-دوغاب) را به روشی شبیه به مهاربندی زمین، از طریق اصطکاک و به کمک آرماتورها به زمین منتقل می‌کند. بخاطر قطر کوچک ریزشمع، عموماً از ظرفیت باربری نوک آن صرف‌نظر می‌شود. مقاومت ناحیه پیوند دوغاب-خاک به نوع زمین و روش تزریق (مثلاً تزریق فشاری یا ثقلی) بستگی دارد. روش حفاری نیز اگرچه بسیار کم، ولی تاثیر گذار می‌باشد.



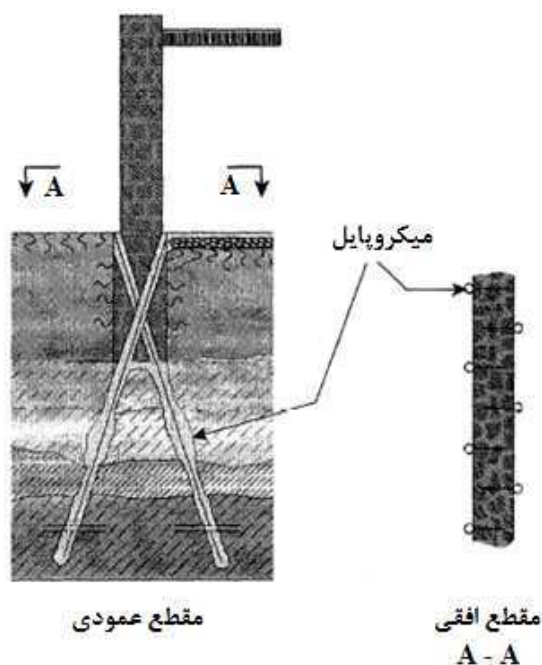
شکل ۱-۱. مراحل اجرای ریزشمع با استفاده از غلاف گذاری

(۱) شروع حفاری و یا نصب غلاف موقت (۲) ادامه حفاری تا عمق نهایی (۳) بیرون کشیدن سرمتنه و راد (۴) استقرار آرماتور یا سایر سیستم‌های تسلیح و تزریق دوغاب با ترمی (۵) بیرون کشیدن غلاف موقت و تزریق دوغاب ثانویه تحت فشار ممکن (۶) تکمیل شمع (ممکن است غلاف در لایه تراکم پذیر باقی بماند)

۱-۳. تاریخچه

ریزشمع‌ها در اوایل دهه ۱۹۵۰ در ایتالیا، برای تقویت پی بناهای تاریخی و یادبودهایی که با گذشت زمان و بویژه در طی جنگ جهانی دوم در معرض آسیب و تخریب قرار گرفته بودند، ظهور کردند. در آن

زمان به یک سیستم مطمئن برای نگهداری بارها و وزن سازه‌ها با کمترین جابجایی، قابل اجرا در فضاهای با دسترسی محدود با کمترین آسیب و خسارت وارده بر سازه‌های موجود، نیاز بود. یک پیمانکار ایتالیایی بنام Fondedile، روش "palo radice" یا "روت پایل"ها را برای تقویت پی سازه‌ها پیشنهاد داد. palo radice یک شمع با قطر کوچک می‌باشد که در محل، حفاری و اجرا شده و پس از قرار دادن آرماتور سبک، تزریق می‌شد. شکل ۱-۲، آرایش کلاسیک palo radiceها را در پی نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲. آرایش کلاسیک "روت پایل"ها در پی

اگرچه فولاد بعد از جنگ در اروپا کم تولید می‌شد، اما نیروی کاری، ارزان قیمت و فراوان بود و اغلب آنها نیز قابلیت‌های فنی بالایی داشتند. چنین شرایطی بستر توسعه روت پایل‌های کم آرماتور را مهیا نمود که عمدتاً توسط پیمانکاران طراحی و اجرا می‌شد. آزمایش‌های بارگذاری بر روی این روت پایل‌ها، ظرفیت‌های باربری فراتر از ۴۰۰ کیلو نیوتن را ثبت کرد، اگر چه برای ظرفیت باربری اسمی طراحی بر پایه روش‌های طراحی شمع‌های مرسوم با روش‌های حفاری همان زمان، چیزی کمتر از ۱۰۰ کیلونیوتن در نظر گرفته شده بود. آزمایش‌های تمام مقیاس، تقریباً با هزینه‌های نسبتاً پایین اجرا می‌شدند. در طی این آزمایش‌ها، هیچ گونه گسیختگی در ناحیه پیوند خاک-دوغاب ثبت نشد.

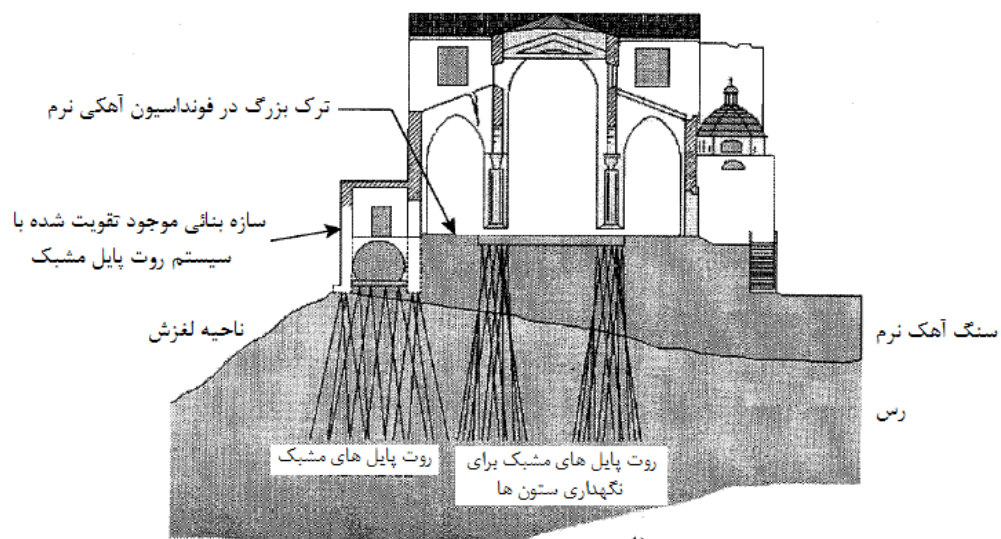
استفاده از روت پایل‌ها در طی دهه ۱۹۵۰ در ایتالیا توسعه یافت. آقای fondedile این تکنیک را برای تقویت پی چندین سازه تاریخی به سال ۱۹۶۲ در انگلستان پیشنهاد داد و به سال ۱۹۶۵ این روش در فونداسیون پروژه‌های راه و ترابری آلمان مورد استفاده قرار گرفت. در همان زمان، بنا به دلایل خاص مالکیت زبانی، واژه "ریزشمع" جایگزین "روت پایل" شد.

در ابتدا کاربرد اصلی ریزشمع برای تقویت پی سازه‌ها در محیط‌های شهری بود. با شروع سال ۱۹۵۷، تقاضاهای مضاعف مهندسی منجر به پیدایش سیستم "reticoli di pali radice" (ریزشمع‌های مشبک) گردید. این سیستم شامل چندین ریزشمع عمودی و مایل که در یک شبکه سه بعدی در هم قفل شده باشند، می‌گردید.

این سیستم منجر به ایجاد یک سازه محصور شده، مرکب از خاک-شمع می‌شد (شکل ۱-۳).

ریزشمع مشبک، برای پایدارسازی شیروانی‌ها، تقویت دیوارهای ساحلی و بندری، حفاظت از سازه‌های مدفون و سایر موارد نگهداری و تقویت خاک‌ها و سازه‌ها و مقاوم سازی زمین به کار گرفته شد.

سیستم ریزشمع در سوئیس و آلمان توسعه یافت و خیلی زود خاور دور تبدیل به بازار اصلی این فن-آوری شد. وفور کارگران نسبتاً ارزان، کمبود فولاد و نیاز مبرم به ترمیم و بازسازی محیط‌های شهری، همگی موجب افزایش استفاده از ریزشمع‌ها در اروپا گردید. بالعکس، رشد تاخیری و آرام استفاده از ریزشمع‌ها در شمال آمریکا، بازتابی از فراوانی فولاد ارزان قیمت، هزینه‌های نسبتاً بالای کارگر، و اجرای پروژه‌های بزرگ در مناطق برون شهری بود. چنین شرایطی موجب توسعه تکنیک شمع‌های جابجایی گردید که با استفاده از دفترچه مشخصات تجویزی اجرا می‌شدند و از تکنولوژی پایین‌تری نسبت به ریزشمع‌ها برخوردار بودند. امروزه، هزینه‌های اجرا در سراسر جهان تقریباً مشابه هم هستند و رشد تقاضا برای ریزشمع ادامه دارد، بویژه در بین پیمانکاران ژئوتکنیکی که توانایی ساخت و طراحی را دارا می‌باشند.



شکل ۱-۳. نمونه‌ای از نحوه آرایش ریزشمع‌های مشبک