

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اصول طراحی پی

تألیف: دکتر سید ناصر مقدس تفرشی

استاد دانشکده مهندسی عمران

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی



شماره ۳۵۴

سرشناسه: مقدّس تفرشی، سیدناصر، ۱۳۴۶ -
عنوان و نام پدیدآور: اصول طراحی پی / تألیف سیدناصر مقدّس تفرشی.
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری: ل، ۵۳۶ ص. : مصوّر (بخشی رنگی)، جدول، نمودار.
شابک: 978-600-6383-68-2
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
یادداشت: واژه‌نامه.
یادداشت: کتابنامه: ص. ۴۷۳ - ۴۷۴.
موضوع: پی‌سازی -- طرح و ساختمان
موضوع: خاک -- مکانیک
رده بندی کنگره: ۱۳۹۳ ۶الف۶م/۶۷۵/۷۵TAY
رده بندی دیویی: ۶۲۴/۱۵
شماره کتابشناسی ملی: ۳۴۹۲۷۱۸

<http://press.kntu.ac.ir>



ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

عنوان: اصول طراحی پی
تألیف: دکتر سیدناصر مقدّس تفرشی
نوبت چاپ: دوّم
تاریخ انتشار: شهریور ۱۳۹۶، تهران
شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
چاپ: شریف
صحافی: گرنامی
قیمت: ۲۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰

(تمام حقوق برای ناشر محفوظ است)

خیابان میرداماد غربی - پلاک ۴۷۰ - انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲
میدان ونک - خیابان ولی عصر (عج) - بالاتر از چهارراه میرداماد - پلاک ۲۶۲۶ - مرکز پخش و فروش انتشارات
تلفن: ۸۸۷۷۲۲۷۷ رایانامه: press@kntu.ac.ir - تارنما (فروش برخط): www.press.kntu.ac.ir

پیشگفتار مولف

اجزاء یک سازه شبیه حلقه‌های یک زنجیر هستند که ضعف در هر یک از حلقه‌ها موجب عدم کارایی و عملکرد مورد نیاز آن می‌گردد. در این میان تحلیل و طراحی پی یک سازه، جهت انتقال بارهای آن به زمین، نیازمند شناخت دقیق رفتار و عملکرد آن است. اگرچه وجود کتب مختلف در زمینه مهندسی خاک و پی، تا حدود زیادی راهگشای مهندسين طراح و دانشجویان در تحلیل و طراحی پی‌ها هستند، اما به دلیل اهمیت موضوع و نیاز به وجود یک کتاب با متن ساده و روان، همراه با حل مثال‌های مختلف جهت درک بهتر مفاهیم طراحی، اینجانب را پس از سال‌ها تدریس دروس مهندسی پی و مهندسی پی پیشرفته، جهت تهیه کتاب حاضر و به منظور رفع کاستی‌های احتمالی در این زمینه ترغیب نمود.

فصل اول این کتاب به اختصار روش‌های شناسایی رفتار خاک و تعیین پارامترهای آن و همچنین آزمایش‌های مورد نیاز در این خصوص (اعم از مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی) را بیان می‌نماید. فصل دوم انواع مختلف پی‌ها را جهت شناخت و انتخاب سیستم پی مناسب طبقه‌بندی می‌نماید. فصول سوم، چهارم و پنجم به ترتیب ظرفیت باربری پی‌های سطحی، نشست و طراحی سازه‌های آن‌ها را مورد بررسی جامع و دقیق قرار می‌دهد. در فصل ششم ضمن ارائه مبانی محاسبه فشارهای جانبی خاک در دو حالت استاتیکی و دینامیکی، روش طراحی دیوارهای حائل تشریح می‌گردد. در فصل هفتم اصول طراحی پی‌های عمیق (شمع‌ها) از نقطه نظر باربری، نشست و عملکرد آن‌ها در گروه شمع ارائه می‌گردد. همچنین این کتاب حاوی چهار پیوست جهت ارائه بعضی ملزومات به خصوص نقشه‌های اجرایی انواع پی‌ها در پیوست الف است. از خصوصیات بارز کتاب حاضر می‌توان به طرح و حل کامل مثال‌های متنوع، با ذکر جزئیات، جهت درک بهتر مبانی طراحی و طرح مسائل در انتهای هر فصل اشاره نمود.

در خاتمه، برخود لازم می‌دانم از زحمات بی‌شائبه و ارزشمند خانم مهندس ندا افشارکاوه، کارشناس ارشد ژئوتکنیک که در تهیه و اصلاح متن اولیه و ترسیم شکل‌ها که کیفیت بالای آن‌ها مبین اهمیت تلاش چشمگیر ایشان است و همچنین از آقای مهندس رضا ذاکری برای طرح جلد کتاب، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. اگرچه سعی شده است تا این کتاب دارای حداقل ایراد و اشکال از نظر فنی و ویرایش باشد، اما مسلماً دارای ایرادات و نقائصی است که جهت ارتقاء در چاپ‌های آتی نیازمند نظرات دانشجویان و مهندسين طراح محترم و همچنین همکاران و اساتید گرامی است. لذا از کلیه عزیزان برای ارسال نظرات خود به آدرس الکترونیکی nas_moghaddas@kntu.ac.ir یا ثبت در وب سایت اینجانب به آدرس http://sahand.kntu.ac.ir/~nas_moghaddas پیشاپیش قدردانی می‌گردد.

سید ناصر مقدس تفرشی

اردیبهشت ۱۳۹۳

فهرست

فصل اول: مطالعات ژئوتکنیکی	۱
۱-۱- مقدمه	۱
۲-۱- مطالعات آزمایشگاهی	۲
۳-۱- مطالعات صحرایی	۲
۱-۳-۱- آزمایش نفوذ استاندارد	۳
۱-۱-۳-۱- عوامل خطا در آزمایش نفوذ استاندارد	۵
۲-۱-۳-۱- مزایای استفاده از آزمایش نفوذ استاندارد	۵
۳-۱-۳-۱- اصلاح نتایج آزمایش نفوذ استاندارد	۶
۱-۳-۱-۳-۱- اصلاح نتایج برای سربار و سطح آب زیرزمینی	۶
۲-۳-۱-۳-۱- اصلاح نتایج برای انرژی کوبش، طول و قطر میله و روش نمونه‌گیری	۹
۴-۱-۳-۱- شناخت خصوصیات خاک از روی نتایج آزمایش نفوذ استاندارد	۱۲
۲-۳-۱- آزمایش بارگذاری صفحه‌ای	۱۳
۱-۲-۳-۱- تجهیزات آزمایش	۱۴
۲-۲-۳-۱- نحوه انجام آزمایش و نتایج آن	۱۴
۳-۲-۳-۱- نتایج آزمایش	۱۶
۴-۳-۱- آزمایش نفوذ مخروط استاتیکی	۱۷
فصل دوم: طبقه‌بندی پی‌ها	۲۱
۱-۲- مقدمه	۲۱

- ۲-۲-۲- انواع پی‌ها ۲۱
- ۲-۲-۱- انواع پی‌ها از نظر عمق استقرار ۲۱
- ۲-۲-۲- انواع پی‌ها از نظر مصالح تشکیل دهنده ۲۳
- ۲-۲-۳- انواع پی‌های سطحی ۲۴
- ۲-۳-۱- پی منفرد یا مجزا ۲۴
- ۲-۳-۲- پی کلاف‌دار یا باسکولی ۲۵
- ۲-۳-۳- پی نواری یک طرفه ۲۷
- ۲-۳-۴- پی نواری دو طرفه ۲۹
- ۲-۳-۵- پی گسترده ۳۰
- فصل سوم: ظرفیت باربری پی‌های سطحی ۳۳**
- ۳-۱- مقدمه ۳۳
- ۳-۲- مفهوم ظرفیت باربری نهایی ۳۳
- ۳-۳- مفهوم ضریب اطمینان و ظرفیت باربری مجاز ۳۴
- ۳-۴- مفهوم نشست در ارتباط با باربری پی ۳۵
- ۳-۵- مفهوم گسیختگی و شبکه گسیختگی خاک زیر پی ۳۷
- ۳-۶- انواع گسیختگی خاک در بار نهایی ۳۸
- ۳-۶-۱- گسیختگی در اثر برش کلی ۳۹
- ۳-۶-۲- گسیختگی در اثر برش موضعی ۴۰
- ۳-۶-۳- گسیختگی در اثر برش پانچ ۴۱
- ۳-۷- تشخیص نوع گسیختگی خاک زیر پی ۴۳

- ۳-۸- روش کلی محاسبه ظرفیت باربری نهایی ۴۴
- ۳-۹- روابط ظرفیت باربری ۴۷
- ۳-۹-۱- رابطه ظرفیت باربری ترزاقی (سال ۱۹۴۳) ۴۸
- ۳-۹-۲- رابطه ظرفیت باربری میرهوف (۱۹۵۱ و ۱۹۶۳) ۵۱
- ۳-۹-۳- رابطه ظرفیت باربری هنسن (۱۹۷۰) ۵۷
- ۳-۹-۳-۱- رابطه ظرفیت باربری هنسن برای خاک رس اشباع در شرایط زهکشی نشده ۶۱
- ۳-۹-۳-۴- رابطه ظرفیت باربری وسیک (۱۹۷۳ و ۱۹۷۵) ۶۳
- ۳-۹-۳-۱-۴- رابطه ظرفیت باربری وسیک برای خاک رس اشباع در شرایط زهکشی نشده ۶۶
- ۳-۱۰- ظرفیت باربری تحت اثر بار خارج از مرکز (وجود لنگر) ۶۷
- ۳-۱۰-۱- روش طول و عرض موثر ۶۸
- ۳-۱۰-۲- روش ضرایب کاهش R_e ۶۸
- ۳-۱۰-۳- کنترل گسیختگی خاک زیر پی در حالت وجود لنگر ۷۰
- ۳-۱۱- ظرفیت باربری تحت اثر بار مایل (اثر توأم بار افقی و قائم) ۷۵
- ۳-۱۱-۱- رابطه میرهوف ۷۵
- ۳-۱۱-۲- رابطه هنسن ۷۵
- ۳-۱۱-۳- رابطه وسیک ۷۷
- ۳-۱۲- کنترل لغزش پی در مقابل بارهای افقی ۷۸
- ۳-۱۳- ظرفیت باربری درازمدت و کوتاه مدت ۹۱
- ۳-۱۴- ظرفیت باربری در اثر وجود سطح آب ۹۲
- ۳-۱۵- ظرفیت باربری پی‌ها روی خاک چند لایه ۹۵
- ۳-۱۵-۱- ظرفیت باربری پی واقع بر روی دو لایه خاک رس اشباع در شرایط زهکشی نشده ۹۵

- ۳-۱۵-۲- ظرفیت باربری پی واقع بر دو لایه خاک (لایه اول خاک دانه‌ای و لایه دوم خاک رس اشباع) در شرایط زهکشی نشده ۹۸
- ۳-۱۵-۳- ظرفیت باربری پی واقع بر لایه‌های نازک خاک با c و ϕ متفاوت ۱۰۲
- ۳-۱۵-۴- ظرفیت باربری پی روی یک لایه خاک با ضخامت محدود واقع بر بستر سنگی یا لایه خاک تراکم ناپذیر ۱۰۳
- ۳-۱۵-۵- روش پی فرضی برای پی واقع بر خاک چند لایه ۱۱۰
- ۳-۱۶- ظرفیت باربری نهایی در حالت گسیختگی به علت برش موضعی ۱۱۰
- ۳-۱۷- تاثیر تداخل پی‌های سطحی واقع بر خاک دانه‌ای ۱۱۳
- ۳-۱۸- ظرفیت باربری پی‌های سطحی با استفاده از نتایج آزمایش‌های صحرایی ۱۱۶
- ۳-۱۸-۱- تعیین ظرفیت باربری با استفاده از نتایج آزمایش نفوذ استاندارد (*SPT*) ۱۱۶
- ۳-۱۸-۲- تعیین ظرفیت باربری با استفاده از نتایج آزمایش نفوذ مخروط (*CPT*) ۱۱۸
- ۳-۱۸-۳- تعیین ظرفیت باربری با استفاده از نتایج آزمایش بارگذاری صفحه ۱۱۹
- ۳-۱۸-۳-۱- استفاده از نمودار تنش- نشست یک آزمایش بارگذاری صفحه ۱۱۹
- ۳-۱۸-۳-۲- استفاده از نتایج دو آزمایش بارگذاری صفحه ۱۲۱
- ۳-۱۸-۳-۳- استفاده از ضریب عکس العمل خاک بستر (K_0) ۱۲۳
- ۳-۱۹- ظرفیت باربری کششی پی‌های سطحی ۱۲۵
- ۳-۱۹-۱- باربری کششی پی سطحی مدفون در خاک دانه‌ای ۱۲۵
- ۳-۱۹-۱-۱- پی نواری ۱۲۶
- ۳-۱۹-۱-۲- پی دایره‌ای ۱۲۸
- ۳-۱۹-۱-۳- پی مستطیلی ۱۲۹
- ۳-۱۹-۱-۴- بحث در خصوص ضریب شکست ۱۳۰

۱۳۳	۳-۱۹-۲- باربری کششی پی سطحی مدفون در خاک رس اشباع در شرایط زهکشی نشده
۱۳۷	مسائل
۱۴۳	فصل چهارم: نشست پی‌های سطحی
۱۴۳	۴-۱- مقدمه
۱۴۳	۴-۲- مفهوم نشست و باربری پی
۱۴۵	۴-۳- نشست یکنواخت و غیر یکنواخت
۱۴۶	۴-۴- نشست مجاز پی‌ها
۱۴۷	۴-۵- انواع نشست پی
۱۴۸	۴-۶- نشست الاستیک پی‌ها
۱۵۰	۴-۷- نشست الاستیک پی دایره‌ای واقع بر لایه خاک با ضخامت نامحدود
۱۵۰	۴-۷-۱- پی دایره‌ای انعطاف‌پذیر
۱۵۲	۴-۷-۲- پی دایره‌ای صلب
۱۵۴	۴-۸- نشست الاستیک پی مستطیلی واقع بر لایه خاک با ضخامت نامحدود
۱۵۴	۴-۸-۱- پی مستطیلی انعطاف‌پذیر
۱۵۶	۴-۸-۲- پی مستطیلی صلب
۱۵۸	۴-۹- نشست الاستیک پی واقع بر یک لایه با ضخامت محدود
۱۵۹	۴-۹-۱- پی دایره‌ای واقع بر یک لایه با ضخامت محدود
۱۵۹	۴-۹-۲- پی مستطیلی واقع بر لایه با ضخامت محدود
۱۶۰	۴-۱۰- اثر عمق مدفون پی بر نشست الاستیک
۱۶۲	۴-۱۱- نشست آنی پی روی لایه رس اشباع

۱۶۴.....	۱۲-۴- چرخش پی‌ها
۱۸۰.....	مسائل
۱۸۵.....	فصل پنجم: طراحی پی‌های سطحی صلب
۱۸۵.....	۱-۵- مقدمه
۱۸۵.....	۲-۵- توزیع تنش زیر پی
۱۸۶.....	۳-۵- معیار تعیین ضخامت پی
۱۸۶.....	۳-۵-۱- کنترل برش دو طرفه (برش پانچ یا قیچی)
۱۸۷.....	۳-۵-۲- کنترل برش یک طرفه (برش معمولی)
۱۸۸.....	۴-۵- تعیین آرماتور لازم در پی و مقطع بحرانی خمش
۱۹۰.....	۵-۵- طراحی پی بتن مسلح
۱۹۰.....	۵-۵-۱- طراحی بر اساس روش تنش مجاز
۱۹۲.....	۵-۵-۲- طراحی بر اساس روش مقاومت نهایی
۱۹۶.....	۵-۶- طراحی پی منفرد
۱۹۶.....	۵-۶-۱- طراحی پی منفرد تحت بار قائم واقع در مرکز آن‌ها
۲۰۵.....	۵-۶-۲- طراحی پی منفرد تحت بار قائم خارج از مرکز
۲۰۶.....	۵-۶-۲-۱- طراحی پی منفرد تحت بار قائم و لنگر یک محوره
۲۱۶.....	۵-۶-۲-۲- طراحی پی منفرد تحت بار قائم و لنگر دو محوره
۲۱۷.....	۵-۷- طراحی پی کلاف‌دار
۲۱۹.....	۵-۷-۱- ظرفیت باربری و نشست پی کلاف‌دار
۲۲۰.....	۵-۷-۲- مراحل طراحی پی کلاف‌دار

۲۲۰	..... ۵-۷-۲-۱- طراحی پی کلاف‌دار به روش تنش مجاز
۲۲۲	..... ۵-۷-۲-۲- طراحی پی کلاف‌دار به روش مقاومت نهایی
۲۵۰	..... ۵-۸- طراحی پی‌های نواری
۲۵۰	..... ۵-۸-۱- کنترل صلبیت پی
۲۵۱	..... ۵-۸-۲- طراحی پی نواری با عرض ثابت
۲۵۴	..... ۵-۸-۲-۱- ظرفیت باربری پی‌های نواری
۲۵۵	..... ۵-۸-۲-۲- مراحل طراحی پی‌های نواری
۲۷۲	..... ۵-۸-۳- طراحی پی نواری با عرض متغیر (پی دوزنقه‌ای)
۲۷۶	..... ۵-۹- طراحی پی گسترده
۲۹۴	..... ۵-۱۰- پی واقع بر بستر الاستیک
۲۹۵	..... ۵-۱۰-۱- روش وینکلر
۲۹۸	..... ۵-۱۰-۲- روش‌های عددی (اجزاء محدود و تفاضل محدود)
۳۰۱	..... مسائل
۳۰۵	..... فصل ششم: طراحی دیوارهای حائل
۳۰۵	..... ۶-۱- مقدمه
۳۰۶	..... ۶-۲- انواع دیوارهای حائل از نقطه نظر صلبیت یا انعطاف‌پذیری
۳۰۶	..... ۶-۲-۱- حائل‌های صلب
۳۰۷	..... ۶-۲-۲- حائل‌های انعطاف‌پذیر
۳۰۷	..... ۶-۲-۲-۱- سپرها
۳۰۸	..... ۶-۲-۲-۲- دیوار جداکننده

- ۳۰۹..... دیوار خاک مسلح ۳-۲-۲-۶
- ۳۱۰..... انواع دیوارهای حائل از نظر عملکرد و مصالح ۳-۶
- ۳۱۰..... دیوارهای حائل وزنی ۱-۳-۶
- ۳۱۲..... دیوارهای حائل طره‌ای ۲-۳-۶
- ۳۱۳..... دیوارهای حائل تقویتی یا پشت‌بنددار ۳-۳-۶
- ۳۱۴..... دیوارهای حائل قفسه‌ای ۴-۳-۶
- ۳۱۵..... دیوارهای حائل نیمه وزنی ۵-۳-۶
- ۳۱۵..... فشار جانبی خاک ۴-۶
- ۳۱۸..... روش کولمب در تعیین فشار جانبی محرک و مقاوم خاک ۱-۴-۶
- ۳۱۹..... روش رانکین در تعیین فشار جانبی محرک و مقاوم خاک ۲-۴-۶
- ۳۲۰..... توسعه روش رانکین در حالت وجود چسبندگی خاک و سربار بر خاکریز ۳-۴-۶
- ۳۲۲..... عمق ترک کششی در حالت خاکریز محرک ۴-۴-۶
- ۳۲۳..... فشار حالت سکون خاک ۵-۴-۶
- ۳۲۷..... طراحی دیوار حائل ۵-۶
- ۳۲۷..... کنترل پایداری خارجی دیوار حائل ۱-۵-۶
- ۳۲۸..... کنترل لغزش دیوار ۱-۱-۵-۶
- ۳۲۹..... کنترل دوران یا واژگونی دیوار ۲-۱-۵-۶
- ۳۲۹..... کنترل ظرفیت باربری و نشست پی دیوار ۳-۱-۵-۶
- ۳۳۱..... کنترل پایداری داخلی دیوار حائل ۲-۵-۶
- ۳۵۲..... فشار جانبی خاک در حالت زلزله ۶-۶
- ۳۵۳..... روش مونونوبه اوکابه برای خاک‌های دانه‌ای ($c = 0$) ۱-۶-۶

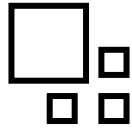
- ۳۵۵..... ۶-۶-۲- رانش محرک دینامیکی برای خاک‌های c و ϕ دار
- ۳۶۲..... ۶-۷-۷- درزها و اتصالات.....
- ۳۶۲..... ۶-۷-۱- درزهای اجرایی.....
- ۳۶۲..... ۶-۷-۲- درزهای حرارتی.....
- ۳۶۳..... ۶-۸- زهکشی آب پشت دیوار حائل.....
- ۳۶۵..... ۶-۹- نشست‌ها.....
- ۳۶۶..... ۶-۱۰- واژگونی.....
- ۳۶۸..... مسائل.....
- ۳۷۱..... فصل هفتم: پی‌های عمیق.....
- ۳۷۱..... ۷-۱- مقدمه.....
- ۳۷۱..... ۷-۲- نحوه انتقال بار شمع‌ها به خاک.....
- ۳۷۲..... ۷-۳- موارد کاربرد شمع‌ها.....
- ۳۷۵..... ۷-۴- طبقه‌بندی شمع‌ها.....
- ۳۷۵..... ۷-۴-۱- طبقه‌بندی شمع‌ها از نظر روش اجرا.....
- ۳۷۸..... ۷-۴-۲- طبقه‌بندی شمع‌ها از نظر جنس مصالح.....
- ۳۸۰..... ۷-۴-۳- طبقه‌بندی شمع‌ها از نظر قطر آن‌ها.....
- ۳۸۰..... ۷-۵- انواع شمع کوب‌ها.....
- ۳۸۱..... ۷-۶- کنترل ابعاد شمع تحت بارهای وارده.....
- ۳۸۳..... ۷-۷- ظرفیت باربری شمع‌ها.....
- ۳۸۳..... ۷-۷-۱- شمع تحت فشار.....

- ۳۸۶..... ۷-۷-۱-۱- طبقه‌بندی شمع‌های تحت فشار
- ۳۸۸..... ۷-۷-۲- شمع تحت کشش
- ۳۸۸..... ۷-۸- منحنی گسیختگی پی‌های عمیق
- ۳۹۱..... ۷-۹- ظرفیت باربری شمع
- ۳۹۱..... ۷-۹-۱- آزمایش بارگذاری روی شمع در محل
- ۳۹۱..... ۷-۹-۲- استفاده از روابط دینامیکی کوبش شمع‌ها
- ۳۹۲..... ۷-۹-۳- استفاده از نتایج آزمایش‌های صحرایی
- ۳۹۲..... ۷-۹-۳-۱- استفاده از نتایج آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)
- ۳۹۴..... ۷-۹-۳-۲- استفاده از نتایج آزمایش نفوذ مخروط (CPT)
- ۳۹۴..... ۷-۹-۴- روابط تئوری محاسبه ظرفیت باربری
- ۳۹۴..... ۷-۹-۴-۱- ظرفیت باربری انتهایی شمع
- ۳۹۷..... ۷-۹-۴-۲- ظرفیت باربری جداره شمع
- ۴۰۴..... ۷-۱۰- عملکرد گروه شمع
- ۴۰۶..... ۷-۱۰-۱- راندمان گروه شمع (ضریب کارایی C_e)
- ۴۰۷..... ۷-۱۰-۱-۱- گروه شمع در خاک رس اشباع (شرایط زهکشی نشده $\phi_u = 0$)
- ۴۱۴..... ۷-۱۰-۱-۲- گروه شمع در خاک دانه‌ای
- ۴۱۸..... ۷-۱۰-۲- گروه شمع تحت کشش
- ۴۱۸..... ۷-۱۰-۲-۱- گروه شمع تحت کشش در خاک دانه‌ای
- ۴۱۹..... ۷-۱۰-۲-۲- گروه شمع تحت کشش در خاک رس اشباع (شرایط زهکشی نشده)
- ۴۲۳..... ۷-۱۱- توزیع نیرو بین شمع‌های واقع در یک گروه شمع
- ۴۲۳..... ۷-۱۱-۱- انواع اتصال شمع و کلاهک

- ۴۲۳.....۱-۱-۱۱-۷ اتصال مفصلی.....
- ۴۲۵.....۲-۱-۱۱-۷ اتصال گیردار.....
- ۴۲۶.....۲-۱۱-۷ توزیع بار در گروه شمع قائم با اتصال مفصلی به کلاهک صلب.....
- ۴۳۴.....۳-۱۱-۷ توزیع بار در گروه شمع مایل با اتصال مفصلی به کلاهک.....
- ۴۳۹.....۴-۱۱-۷ توزیع بار بین شمع‌های واقع در یک گروه با کلاهک انعطاف‌پذیر.....
- ۴۴۰.....۱۲-۷ طراحی سازه‌ای کلاهک بتنی و شمع‌ها.....
- ۴۴۷.....۱۳-۷ توزیع تنش در بستر حاوی گروه شمع.....
- ۴۴۸.....۱-۱۳-۷ توزیع تنش در گروه شمع متکی بر باربری جداره.....
- ۴۴۹.....۲-۱۳-۷ توزیع تنش در گروه شمع با انتهای واقع در لایه ماسه متراکم.....
- ۴۵۰.....۳-۱۳-۷ توزیع تنش در گروه شمع متکی بر یک لایه متراکم غیر قابل نشست.....
- ۴۵۱.....۱۴-۷ نشست الاستیک شمع‌ها.....
- ۴۵۱.....۱-۱۴-۷ تعیین نشست الاستیک شمع تک.....
- ۴۵۱.....۱-۱-۱۴-۷ نشست حاصل از تغییر شکل الاستیک جسم شمع (δ_1).....
- ۴۵۱.....۲-۱-۱۴-۷ نشست الاستیک خاک در انتهای شمع (δ_2).....
- ۴۵۲.....۳-۱-۱۴-۷ نشست الاستیک خاک اطراف جداره شمع (δ_3).....
- ۴۵۴.....۲-۱۴-۷ تعیین نشست الاستیک گروه شمع.....
- ۴۵۵.....۳-۱۴-۷ نشست تحکیمی گروه شمع.....
- ۴۵۸.....۱۵-۷ اصطکاک منفی در شمع‌ها.....
- ۴۵۹.....۱۶-۷ شمع‌های زنگی شکل.....
- ۴۶۰.....۱-۱۶-۷ نحوه اجراء.....
- ۴۶۲.....۲-۱۶-۷ ظرفیت باربری فشاری و کششی شمع‌های زنگی شکل.....

۴۶۲.....	۱-۲-۱۶-۷-ظرفیت باربری فشاری
۴۶۲.....	۲-۲-۱۶-۷-ظرفیت باربری کششی
۴۶۲.....	۱-۲-۲-۱۶-۷-شمع زنگی شکل در خاک دانه‌ای
۴۶۵.....	۲-۲-۲-۱۶-۷-شمع زنگی شکل در خاک رس اشباع در شرایط زهکشی نشده
۴۶۷.....	مسائل.....
۴۷۳.....	مراجع
۴۷۵.....	پیوست الف
۴۸۹.....	پیوست ب
۴۹۹.....	پیوست ج
۵۰۳.....	پیوست د
۵۱۳.....	واژه نامه

فصل اول



مطالعات ژئوتکنیکی

۱-۱- مقدمه

بارهای وارد بر یک سازه از قبیل یک ساختمان معمولی، سازه صنعتی، سازه یک اسکله، سازه مدفون در خاک، دیوار حائل و هر نوع سازه دیگر، در نهایت باید توسط یک المان واسطه به نام پی بر خاک انتقال یابند. تعیین نوع پی، ابعاد آن و طراحی سازه‌ای آن بستگی مستقیم به سطح آب، بافت و پروفیل لایه‌های خاک در محل مورد احداث سازه یا به عبارت دیگر مقاومت خاک دارد. بنابراین به منظور شناخت خصوصیات لایه‌های خاک، انجام مطالعات ژئوتکنیکی مناسب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این شناخت با انجام آزمایش‌های لازم در آزمایشگاه (مطالعات آزمایشگاهی) بر روی نمونه‌های خاک اخذ شده در محل (دست خورده و یا دست نخورده) و یا انجام آزمایش‌های صحرایی توسط دستگاه‌های استاندارد همزمان با عملیات حفاری (مطالعات صحرایی) حاصل می‌گردد.

اگرچه مطالعات آزمایشگاهی می‌توانند اطلاعات مناسبی از خصوصیات فیزیکی (نظیر وزن مخصوص، رطوبت و توزیع اندازه ذرات خاک) و خصوصیات مکانیکی خاک‌ها (نظیر پارامترهای مقاومت برشی، پارامترهای نشست الاستیک و تحکیم) ارائه دهند، اما در بسیاری از پروژه‌ها جهت دستیابی به خصوصیات رفتاری خاک‌ها در محل، انجام مطالعات صحرایی مناسب ضروری است. از آن جا که مبحث مربوط به مطالعات آزمایشگاهی در دروس مکانیک خاک و آزمایشگاه مکانیک خاک به‌طور مفصل ارائه شده است، لذا در این فصل به جهت اختصار در مطالب، با ارائه تنها فهرست آزمایش‌ها، نحوه تحلیل و استخراج نتایج به خواننده واگذار می‌شود. همچنین در خصوص مطالعات صحرایی تنها آزمایش‌های مورد نیاز درس مهندسی پی ارائه می‌گردند.

۱-۲- مطالعات آزمایشگاهی

این مطالعات به منظور شناخت خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک‌ها بر روی نمونه‌های اخذ شده از محل، در آزمایشگاه انجام می‌گردد. آزمایش‌های متداول در این خصوص عبارتند از:

- درصد رطوبت
- وزن مخصوص
- توده ویژه
- دانه بندی با الک (دانه بندی مکانیکی)
- دانه بندی با هیدرومتر (دانه بندی هیدرومتری)
- حدود اتربرگ
- تراکم
- ضریب باربری کالیفرنیا
- تک محوری
- برش مستقیم
- سه محوری
- تحکیم

با انجام آزمایش‌های مذکور ضمن شناخت نوع خاک از نظر توزیع اندازه ذرات و خصوصیات خمیری، خصوصیات تراکم‌پذیری و پارامترهایی نظیر وزن مخصوص، درصد رطوبت، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک و همچنین پارامترهای نشست تعیین می‌گردند.

۱-۳- مطالعات صحرایی

مطالعات آزمایشگاهی علیرغم ارائه اطلاعات مناسب و قابل قبول در مورد خصوصیات رفتاری انواع خاک‌ها دارای محدودیت‌های خاص خود هستند. در این میان عدم امکان اخذ نمونه‌های بکر و دست نخورده از خاک‌های دانه‌ای در حین گمانه‌زنی و همچنین عدم امکان بازسازی نمونه‌های خاک با ماهیت چسبنده، در صورت دست خورده شدن آن‌ها، به‌گونه‌ای که همان خصوصیات موجود در محل و پیوندهای اولیه بین دانه‌ای ایجاد گردد، سبب رونق و استفاده روزافزون از آزمایش‌های صحرایی شده است. از این رو، انجام این آزمایش‌ها در محل و حین گمانه‌زنی به‌طور وسیعی توسعه یافته‌اند و هر روزه محدوده استفاده از نتایج این آزمایش‌ها در طراحی انواع سازه‌های ژئوتکنیکی و همچنین ارزیابی و پهنه بندی خاک از نقطه نظر مقاومت در مقابل پدیده‌های مختلف در حال گسترش است. آزمایش‌های صحرایی متداول عبارتند از:

- آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)
- آزمایش بارگذاری صفحه (PLT)
- آزمایش برش پره (Vane)
- آزمایش نفوذ مخروط (CPT)
- آزمایش نفوذ دینامیکی (پنترومتر دینامیک)
- آزمایش فشارسنجی (پرسیومتر)
- آزمایش لرزه‌ای
- آزمایش الکتریکی
- آزمایش ژئوفیزیکی

در این میان انجام آزمایش‌های نفوذ استاندارد، نفوذ مخروط و بارگذاری صفحه به دلیل سادگی وسایل و تجهیزات آزمایش، سرعت عمل، هزینه نسبتاً مناسب، نحوه کاربرد و تجزیه تحلیل نتایج بسیار متداول‌تر از سایر آزمایش‌ها هستند. در ادامه به نحوه انجام آزمایش‌های مذکور، نحوه استخراج نتایج و کاربرد آن‌ها در طراحی سازه‌های خاکی پرداخته می‌شود.

۱-۳-۱- آزمایش نفوذ استاندارد (SPT: Standard Penetration Test)

این آزمایش به دلیل کاربرد مستقیم یا غیرمستقیم نتایج آن، در ارزیابی رفتار خاک‌ها در مقابل پدیده‌های مختلف ژئوتکنیکی، تعیین پارامترهای خاک و استفاده در تعیین ظرفیت باربری پی‌ها با در نظر گرفتن ملاحظات نشست، یکی از متداول‌ترین آزمایش‌های صحرایی است. اساس این آزمایش بر سقوط یک وزنه از ارتفاع مشخص بر یک میله استوانه‌ای شکل نمونه‌گیر استوار است. از این رو به علت وارد شدن ضربه بر میله استوانه‌ای، این آزمایش دارای ماهیت دینامیکی است. شکل (۱-۱) جزئیات میله استوانه‌ای شکل نمونه‌گیر و شکل (۲-۱) نحوه انجام این آزمایش را در یک گمانه نشان می‌دهد. در این آزمایش قطر میله استوانه‌ای شکل نمونه‌گیر ۳۷ میلی‌متر، وزن چکش سقوط کننده بر میله ۶۳/۵ کیلوگرم و ارتفاع سقوط آن ۷۶۰ میلی‌متر هستند. تنظیم ارتفاع سقوط در دستگاه‌های قدیمی با مترکشی و در دستگاه‌های جدید به صورت اتوماتیک انجام می‌گردد.

مراحل انجام این آزمایش به شرح زیر است:

- الف - قرار دادن میله استوانه‌ای شکل نمونه‌گیر، به طور قائم در کف گمانه
- ب - با اعمال ضربه بر میله مذکور از طریق سقوط یک وزنه (چکش) از ارتفاع مشخص، تعداد ضربات مورد نیاز، متناظر با نفوذ میله برای پانزده سانتی‌متر اول، دوم و سوم (در مجموع ۴۵ سانتی‌متر نفوذ) شمارش و ثبت می‌شود. بدین منظور باید از نوک تراز میله، پانزده سانتی‌متر اول، دوم و سوم با سه علامت مشخص گردند.

از آنجا که ممکن است در پانزده سانتی‌متر نفوذ اول نمونه دست خورده گردد، لذا مجموع تعداد ضربات لازم برای نفوذ میله در دو پانزده سانتی‌متر دوم و سوم (سی سانتی‌متر آخر)، به عنوان عدد نفوذ استاندارد (N) مطابق رابطه (۱-۱) گزارش می‌گردد:

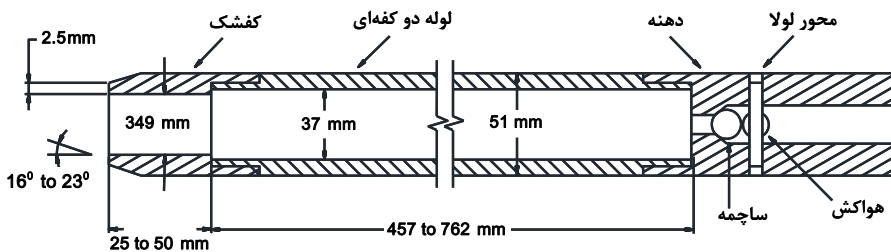
$$N = N_2 - N_1 \quad (1-1)$$

در این رابطه پارامترها معانی زیر را دارند:

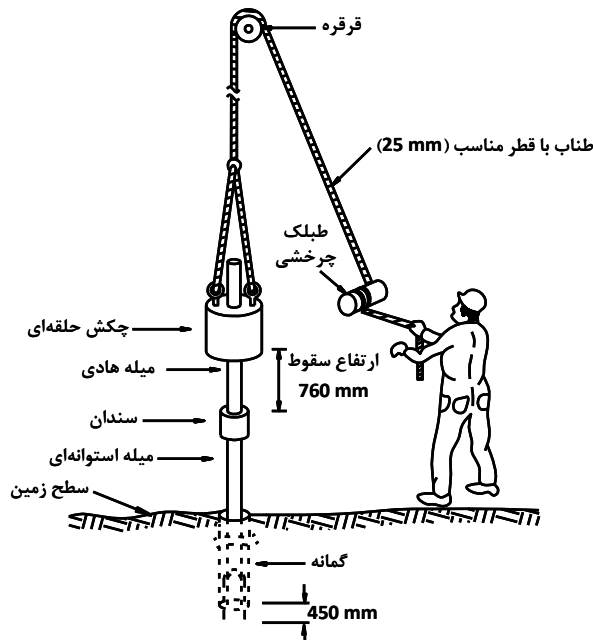
N_1 = تعداد ضربات لازم برای نفوذ میله مربوط به ۱۵ سانتی‌متر اول

N_2 = تعداد ضربات لازم مربوط به ۴۵ سانتی‌متر نفوذ میله

N = عدد نفوذ استاندارد



شکل (۱-۱): جزئیات میله استوانه‌ای نمونه‌گیر



شکل (۱-۲): طرح کلی نحوه انجام آزمایش نفوذ استاندارد

در خصوص ثبت نتایج آزمایش نفوذ استاندارد، توجه به نکات ذیل ضروری است:

- معمولاً عدد نفوذ استاندارد بیشتر از ۱۰۰ گزارش نمی‌گردد.
- همانطور که بیان شد، تعداد ضربات برای نفوذ میله نمونه‌گیر به میزان ۳۰ سانتی‌متر آخر به عنوان نتیجه عدد نفوذ استاندارد ثبت و گزارش می‌گردد. اگر به دلیل برخورد به یک لایه سنگی یا یک لایه خاک متراکم غیر قابل نفوذ، دستیابی به این مقدار نفوذ مقدور نگردد و یا تعداد ضربات از ۱۰۰ تجاوز کند، تعداد ضربات برای آخرین ۳۰ سانتی‌متر نفوذ محاسبه و به عنوان نتیجه آزمایش اعلام می‌گردد.

۱-۳-۱- عوامل خطا در نتایج آزمایش نفوذ استاندارد

در عمل عوامل مختلفی ممکن است موجب بروز خطا در نتایج آزمایش گردند. عدم شناخت این عوامل و عدم توجه به آنها می‌تواند نتایج جبران ناپذیری را در طراحی سازه‌های خاکی سبب گردد. بعضی از این عوامل عبارتند از:

- استفاده از دستگاه‌های قدیمی غیر حساس
- تغییر در ارتفاع سقوط آزاد وزنه از میزان ۷۶۰ میلی‌متر
- تغییر در وزن چکش سقوط کننده
- عدم دقت آزمایش کننده
- وجود یک تکه سنگ کوچک در مسیر میله استوانه‌ای نمونه‌گیر و ارائه عدد نفوذ استاندارد بیش از مقدار واقعی
- خارج شدن ته استوانه نمونه‌گیر از حالت استاندارد
- وجود مصالح ریز و سنگ‌ریزه‌ها در کف گمانه

۱-۳-۲- مزایای استفاده از آزمایش نفوذ استاندارد

- علیرغم امکان بروز خطاهای مذکور در نتایج آزمایش، در صورتی که عوامل خطا تا حد امکان کم و یا حذف گردند، این آزمایش به دلایل زیر بسیار مورد توجه مهندسين ژئوتکنیک است:
- طول عمر وسایل دستگاه آزمایش بسیار زیاد است.
- انجام این آزمایش بسیار سریع و ارزان است. در ضمن این آزمایش اطلاعات مناسبی را در مورد لایه‌های خاک ارائه می‌دهد.
- به دلیل سرعت مناسب و کمی هزینه، می‌توان این آزمایش را در فواصل یک متری در عمق گمانه انجام داد. در هر بار آزمایش ضمن تهیه و اخذ یک نمونه به طول ۴۵ سانتی‌متر، می‌توان پروفیل خاک را در فواصل ۱ متری مورد مشاهده مستقیم قرار داد.