



دانشگاه صنعت آب و برق

دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

دانشکده مهندسی آب و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد (مهندسی عمران - مکانیک خاک و پی)

تحلیل استاتیکی و دینامیکی خاکریزهای متکی بر شمع

تحقیق و تدوین:

علی شمس

استاد راهنما:

دکتر احمد رضا محبوبی

بهمن ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فهرست مطالب

۲	۱- فصل اول: کلیات
۲	۱-۱ مقدمه
۴	۲-۱ هدف از انجام پایان نامه
۵	۳-۱ روش تحقیق (متدلوژی)
۶	۴-۱ فصل بندی و موارد مورد بررسی در هر فصل
۸	۲- فصل دوم: مروری بر ادبیات فنی، تحلیل و طراحی خاکریزهای مسلح متکی بر شمع
۸	۱-۲-۱ مقدمه
۹	۲-۲-۱ تئوری شکل گیری طاق در خاک
۱۱	۱-۲-۲-۱ بررسی مکانیزم انتقال بار
۱۱	۲-۲-۲-۲ نسبت تمرکز تنش (n)
۱۲	۳-۲ طراحی ژئوسنتتیک
۱۳	۱-۳-۲-۱ فاکتور کاهش تنش
۱۳	۱-۳-۲-۲ استاندارد انگلیسی BS8006, (cited in British Standard 8006, 1995)
۱۵	۲-۱-۳-۲-۲ روش ترزاقی (Terzaghi's (1943) (cited in Li et al., 2002)
۱۵	۳-۱-۳-۲-۲ تئوری Hewlett and Randolph (1988) (cited in Li et al., 2002)
۱۵	۴-۱-۳-۲-۲ تئوری Guido et al.(1987) (cited in Li et al., 2002)
۱۶	۲-۳-۲-۲ نیروی کششی در ژئوسنتتیک
۱۶	۳-۳-۲-۲ مقاومت خاک
۱۷	۴-۳-۲-۲ تنش در ژئوسنتتیک به علت لغزش جانبی خاکریز
۱۸	۵-۳-۲-۲ کرنش ژئوسنتتیک
۱۸	۴-۲ طراحی شمع
۱۹	۱-۴-۲-۱ تعیین فواصل قرارگیری شمع ها
۱۹	۲-۴-۲-۱ تعیین میزان بار وارد بر شمع ها از طرف خاکریز
۲۰	۳-۴-۲-۱ گستردگی گروه شمع در عرض خاکریز
۲۱	۴-۴-۲-۱ حرکت جانبی و ممان خمشی در شمع ها
۲۳	۵-۴-۲-۱ قابلیت پانچ سر شمع ها
۲۳	۶-۴-۲-۱ بازدهی شمع ها

- ۲-۵-۵- حرکت جانبی خاکریز ----- ۲۳
- ۲-۵-۱- روش های تجربی تعیین حداکثر انحراف جانبی خاکریز ----- ۲۴
- ۲-۵-۲- روش های تئوری تعیین حداکثر انحراف جانبی خاکریز ----- ۲۷
- ۲-۶-۶- پایداری شیب خاکریز ----- ۲۷
- ۲-۶-۱- روش استاندارد BS8006 ----- ۲۷
- ۲-۶-۲- روش المان مرزی اصلاح شده ----- ۲۸
- ۲-۶-۱-۲- شیب های هموژن ----- ۲۹
- ۲-۶-۲-۲- شیب خاکی دو لایه ----- ۳۰
- ۲-۶-۳- روش اصطکاکی دایره ای (Friction Circle Method) ----- ۳۲
- ۲-۷-۷- نشست و اختلاف نشست سطحی خاکریز ----- ۳۴
- ۲-۷-۱- تعیین نشست سطحی خاکریز با استفاده از روش (PWRC (cited in Han, 2003) ----- ۳۵
- ۲-۷-۲- روش Ogisako(2000) ----- ۳۷
- ۲-۸-۸- بررسی آیین نامه های طراحی خاکریزهای مسلح متکی بر شمع ----- ۳۸
- ۲-۸-۱- استاندارد انگلیسی (BS8006 (1995) ----- ۳۹
- ۲-۸-۱-۱- تعیین میزان بار انتقال یافته مستقیم به شمع ها (pc') ----- ۴۰
- ۲-۸-۱-۲- بررسی تعادل قائم در شرایط طاق کامل ($(1.4(s-a) < H$) ----- ۴۲
- ۲-۸-۱-۳- نتیجه گیری ----- ۴۳
- ۲-۸-۲- روش آلمانی (EBGEO (2004) ----- ۴۳
- ۲-۸-۱-۲- تعیین فواصل شمع ها و لایه های ژئوسنتتیک ----- ۴۳
- ۲-۸-۲-۲- تحلیل و طراحی ژئوسنتتیک ----- ۴۴
- ۲-۸-۳- روش هلندی (CUR 226) ----- ۴۵
- ۲-۸-۱-۳- توصیه های طراحی ----- ۴۵
- ۲-۸-۳-۲- تحلیل و طراحی ژئوسنتتیک ----- ۴۶
- ۲-۸-۴- مقایسه و اعتبار سنجی استانداردهای هلندی و آلمانی ----- ۴۸
- ۲-۸-۴-۱- بررسی و مقایسه توزیع بار حاصل از آیین نامه ها با مانیتورینگ ----- ۴۸
- ۲-۸-۴-۲- بررسی تاثیر باردینامیکی بر شکل گیری طاق در خاکریز ----- ۵۱
- ۲-۹-۹- چارت های طراحی خاکریزهای متکی بر شمع در بستر رسی ----- ۵۳
- ۲-۹-۱- مدل ژئوتکنیکی خاک محل ----- ۵۳
- ۲-۹-۲- ایجاد چارت های طراحی ----- ۵۴
- ۲-۹-۳- محدوده بررسی پارامترها ----- ۵۴
- ۲-۹-۴- نمودارهای طراحی ----- ۵۶
- ۲-۹-۴-۱- ظرفیت باربری محوری نهایی ----- ۵۶
- ۲-۹-۴-۲- سختی محوری شمع های منفرد ----- ۵۷
- ۲-۹-۴-۳- نسبت نشست گروه شمع ----- ۵۸
- ۲-۹-۴-۴- تاثیر موقعیت شمع بر نسبت نشست گروهی ----- ۶۰

- ۶۰ ----- نمودارهای نشست ۵-۴-۹-۲
- ۶۲ ----- نشست سر شمع به علت نشست زمین ۶-۴-۹-۲
- ۶۴ ----- تاثیر حرکات جانبی خاک ۸-۴-۹-۲
- ۶۶ ----- خلاصه روش طراحی ۹-۴-۹-۲
- ۲-۱۰- بررسی مدل‌سازی‌های عددی انجام شده خاکریزهای مسلح متکی بر شمع**
- ۶۷ ----- ۱-۱۰-۲- آشنایی با روش اجزاء محدود
- ۶۹ ----- ۲-۱۰-۲- نتایج مدل سازی با نرم افزار PLAXIS
- ۷۰ ----- ۱-۲-۱۰-۲- بررسی میزان حداکثر نشست سطحی خاکریز
- ۷۱ ----- ۲-۲-۱۰-۲- نشست های ناهمسان
- ۷۳ ----- ۳-۲-۱۰-۲- مقاومت کششی ژئوگرید
- ۷۴ ----- ۴-۲-۱۰-۲- نسبت تمرکز تنش
- ۷۶ ----- ۵-۲-۱۰-۲- موقعیت ژئوتکستایل
- ۷۷ ----- ۳-۱۰-۲- بررسی پروژه‌های اجرا شده با استفاده از Plaxis 2D
- ۷۷ ----- ۱-۳-۱۰-۲- کاربرد شمع چوبی و خاک مسلح (Ostensen and Bennett, 2002 and Kuo et al., 1998)
- ۷۸ ----- ۲-۳-۱۰-۲- راه 403 – Niitsu Bypass Japan (Ohtani and Miki, 2002)
- ۷۹ ----- ۳-۳-۱۰-۲- خاکریز مسلح با ارتفاع کوتاه روی ستون های اختلاط عمیق در Yono City, Japan
- ۸۰ ----- ۴-۳-۱۰-۲- خاکریز متکی بر شمع در Stansted Airport (Jones et al., 1990)
- ۸۱ ----- ۵-۳-۱۰-۲- خاکریز متکی بر شمع AuGeo برای خط آهن دو بانده Rawang – Bidor
- ۸۲ ----- ۶-۳-۱۰-۲- بررسی حرکات جانبی خاکریز
- ۸۲ ----- ۷-۳-۱۰-۲- بررسی مقاومت ژئوگرید
- ۸۴ ----- ۸-۳-۱۰-۲- بررسی ممان خمشی در شمع ها
- ۸۵ ----- ۹-۳-۱۰-۲- بررسی بازدهی شمع ها
- ۸۵ ----- ۱۰-۳-۱۰-۲- بررسی پایداری شیب خاکریز
- ۸۵ ----- ۱۱-۳-۱۰-۲- بررسی حداکثر و اختلاف نشست
- ۳- فصل سوم: تحلیل استاتیکی خاکریز مسلح متکی بر شمع**
- ۸۸ ----- ۱-۳- معرفی نرم افزار ABAQUS
- ۸۸ ----- ۱-۱-۳- ABAQUS/CAE
- ۸۹ ----- ۲-۱-۳- ABAQUS/CAE در المان ها
- ۸۹ ----- ۱-۲-۱-۳- خانواده
- ۸۹ ----- ۲-۲-۱-۳- درجات آزادی
- ۹۰ ----- ۳-۲-۱-۳- تعداد گره ها - مرتبه میان یابی
- ۹۰ ----- ۳-۱-۳- اصول ABAQUS
- ۳-۲- تحلیل استاتیکی خاکریز مسلح متکی بر شمع GRPS در بستر ماسه ای**
- ۹۲ ----- ۱-۲-۳- مشخصات هندسی مدل
- ۹۲ ----- ۲-۲-۳- بررسی تاثیر المان های سازنده خاکریز GRPS بر حداکثر نشست سطحی خاکریز

- ۹۳ ----- ۳-۲-۱- مراحل و نحوه مدل‌سازی خاکریز مسلح متکی بر شمع GRPS
- ۹۳ ----- ۳-۲-۲- مشخصات مصالح بکار رفته در ساخت خاکریز GRPS
- ۹۴ ----- ۳-۲-۳- بررسی تاثیر میزان مقاومت کششی ژئوسنتتیک بر نشست سطحی خاکریز
- ۹۵ ----- ۳-۲-۴- بررسی تاثیر ارتفاع خاکریز بر حداکثر نشست سطحی خاکریز
- ۹۶ ----- ۳-۲-۵- بررسی تاثیر سختی خاک پی بر حداکثر نشست سطحی خاکریز
- ۹۷ ----- ۳-۲-۳- نحوه شکل‌گیری طاق در خاکریز
- ۹۸ ----- ۳-۲-۴- بررسی میزان تنش، کرنش و تغییر شکل ژئوسنتتیک
- ۱۰۱ ----- ۳-۳- تحلیل استاتیکی خاکریز مسلح متکی بر شمع در بستر رسی
- ۱۰۳ ----- ۳-۱- بررسی مکانیزم انتقال بار و میزان تنش‌های وارده بر اجزای خاکریز
- ۱۰۵ ----- ۳-۲- تعیین کارکرد گروه شمع
- ۱۰۵ ----- ۳-۳- بررسی تغییر شکل‌های خاکریز
- ۱۰۷ ----- ۳-۴- بررسی کرنش‌های بوجود آمده در مصالح خاکریز
- ۱۰۷ ----- ۳-۵- نتیجه‌گیری
- ۱۱۰ ----- ۴- فصل چهارم: مدل‌سازی دینامیکی خاکریزهای مسلح متکی بر شمع
- ۱۱۰ ----- ۴-۱- مقدمه
- ۱۱۰ ----- ۴-۲- تحلیل دینامیکی خاکریز مسلح متکی بر شمع GRPS در بستر رسی
- ۱۱۲ ----- ۴-۱-۲- نتایج حاصل از مدل‌سازی
- ۱۱۲ ----- ۴-۱-۱- تغییر شکل حداکثر خاکریز
- ۱۱۳ ----- ۴-۱-۲- بررسی حداکثر کرنش خاکریز
- ۱۱۴ ----- ۴-۱-۳- بررسی مکانیزم انتقال بار، تعیین میزان تنش وارد بر اجزای سیستم
- ۱۱۵ ----- ۴-۱-۴- بررسی عملکرد ژئوگرید
- ۱۱۵ ----- الف- بررسی تنش‌های وارده بر ژئوگرید در پنجه خاکریز
- ۱۱۶ ----- ب- کرنش ژئوگرید
- ۱۱۷ ----- ۴-۳- تحلیل دینامیکی خاکریز GRPS با لایه خاک شنی در بالای ژئوگرید
- ۱۱۸ ----- ۴-۱-۳- نتایج خروجی حاصل از مدل‌سازی
- ۱۱۸ ----- ۴-۱-۱- تغییر شکل حداکثر شمع
- ۱۱۹ ----- ۴-۱-۲- کرنش‌های خاکریز
- ۱۱۹ ----- ۴-۱-۳- بررسی مکانیزم انتقال بار، تعیین میزان تنش وارد بر اجزای سیستم
- ۱۲۱ ----- ۴-۲- نتیجه‌گیری
- ۱۲۳ ----- ۵- فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات
- ۱۲۳ ----- ۵-۱- نتیجه‌گیری
- ۱۲۵ ----- ۵-۲- پیشنهادات

مراجع: ----- ۱۲۲

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱: روش سنتی خاکریز متکی بر شمع (CPS) ۲
- شکل ۲-۱: خاکریز متکی بر شمع با دال بتنی ۳
- شکل ۳-۱: خاکریز متکی بر شمع مسلح شده با ژئوسنتتیک ۳
- شکل ۴-۱: Goesynthetic-reinforced Pile-supported embankment ۴
- شکل ۱-۲: توده خاک در بالای لایه‌های با پتانسیل ایجاد حفره ۹
- شکل ۲-۲: شکلگیری طاق (حفره زیر توده خاک) ۱۰
- شکل ۳-۲: فروریزش خاک در اثر بوجود آمدن طاق در خاک ۱۰
- شکل ۴-۲: مکانیزم انتقال بار ۱۱
- شکل ۵-۲: مساحت مورد بررسی خاکریز ۱۲
- شکل ۶-۲: فاصله Z ژئوسنتتیک با یک یا چند لایه (EMPFEHLUNG 6.9,2003) ۱۳
- شکل ۷-۲: مدل گنبدی شکل (Hewlett , Randolph, 1988) ۱۵
- شکل ۸-۲: نیروی کششی در ژئوسنتتیک زیر خاکریز، در خاک با سختی متوسط ((Jones et al. (1990) ۱۷
- شکل ۹-۲: ثبات لغزش جانبی در خاک و آرماتور (BS8006) ۱۸
- شکل ۱۰-۲: تعیین میزان بار وارد بر هر شمع ۲۰
- شکل ۱۱-۲: تعیین موقعیت قرارگیری آخرین شمع در عرض خاکریز ۲۰
- شکل ۱۲-۲: مقدار $m * q/cu$ در برابر q/cu (Goh et al., 1997) ۲۲
- شکل ۱۳-۲: مقادیر β , λ حاصل از آنالیز رگرسیون (Goh et al., 1997) ۲۲
- شکل ۱۴-۲: رابطه بین پایداری حداکثر و حرکت جانبی حداکثر ۲۵
- شکل ۱۵-۲: رابطه بین پایداری حداکثر و حرکت جانبی حداکثر ۲۵
- شکل ۱۶-۲: تاثیر سختی خاک و هندسه خاکریز روی حرکات جانبی ۲۶
- شکل ۱۷-۲: رابطه بین عمق حد اکثر حرکت جانبی با حداقل مقاومت برشی ۲۶
- شکل ۱۸-۲: رابطه بین عمق حد اکثر حرکت جانبی و عرض خاکریز ۲۷
- شکل ۱۹-۲: متغیرهای مورد نیاز برای آنالیز پایداری خاکریز GRPS (BS 8006, 1995) ۲۸
- شکل ۲۰-۲: تاثیر موقعیت شمع بر شیب هموزن (Lee et al., 1995) ۲۹
- شکل ۲۱-۲: تاثیر قطر شمع بر شیب هموزن (Lee et al., 1995) ۲۹
- شکل ۲۲-۲: تاثیر فاصله شمع ها بر شیب هموزن (Lee et al., 1995) ۳۰
- شکل ۲۳-۲: تاثیر فشار محدود کننده خاک-شمع بر شیب هموزن (Lee et al., 1995) ۳۰
- شکل ۲۴-۲: تاثیر محل شمع در شیب دو لایه (Lee et al., 1995) ۳۱
- شکل ۲۵-۲: تاثیر قطر شمع بر شیب با دو لایه (Lee et al., 1995) ۳۱
- شکل ۲۶-۲: تاثیر فاصله شمع بر شیب دو لایه (Lee et al., 1995) ۳۲
- شکل ۲۷-۲: تاثیر فشار محدود کننده خاک-شمع بر شیب دو لایه ۳۲
- شکل ۲۸-۲: نیروهای موجود در شیب های بدون شمع (Taylor,1937) ۳۳
- شکل ۲۹-۲: نیروهای وارد بر یک شیب مسلح شده با شمعها (Taylor,1937) ۳۴
- شکل ۳۰-۲: نشست و نشست ناهمسان خاک خاکریز بر ستون های اختلاط عمیق ۳۵

- شکل ۲-۳۱: تعیین فاکتور تاثیر ژئوسنتتیک ۳۶
- شکل ۲-۳۲: ضریب C1 در برابر نسبت بهبود as ۳۸
- شکل ۲-۳۳: ضریب C2 در برابر نسبت بهبود as ۳۸
- شکل ۲-۳۴: تمامی مدل های طراحی برای خاکریز متکی بر شمع، تقسیم بار به اجزاء مختلف ۴۰
- شکل ۲-۳۵: شکل سمت چپ، (Jones et al (1990) WT بر نوار بین دو سر شمع مجاور وارد می شود. ۴۰
- شکل ۲-۳۶: چپ: مقادیر واقعی برای a/H مقادیر خیلی مشابهی برای $PC'/\sigma V'$ میدهد. راست: برای مقادیر بزرگ و بیش از اندازه a/H (خاکریز کوتاه)، نسبت $PC'/\sigma V'$ به میزان مورد انتظار ۱ نزدیک نشده است. ۴۲
- شکل ۲-۳۷: شرایط تکیه گاهها و تعیین فاصله S ۴۴
- شکل ۲-۳۸: توزیع بار (چپ) و بارگذاری شماتیک (راست) روی ژئوسنتتیک ۴۴
- شکل ۲-۳۹: طرح معادله کابل ۴۴
- شکل ۲-۴۰: فاصله Z ژئوسنتتیک با یک یا چند لایه (EMPFEHLUNG 6.9,2003) ۴۵
- شکل ۲-۴۱: حداکثر کرنش در ژئوسنتتیک (CUR 226,2010) ۴۷
- شکل ۲-۴۲: بار قائم وارد بر GR بین شمع ها (CUR 226, 2010) ۴۸
- شکل ۲-۴۳: توزیع بار در خاکریز مسلح متکی بر شمع ۴۹
- شکل ۲-۴۴: تاثیر اختلاف ایمنی رویکرد های آلمانی و هلندی برای خاکریز راه آهن ۴۹
- شکل ۲-۴۵: توزیع بار زیر ریل راه آهن در Houten و اندازه گیریها (Van Duijnen et al, 2010) ۵۰
- شکل ۲-۴۶: توزیع بار در راه N210، پیش بینیها و اندازه گیریها (Haring et al, 2008) ۵۰
- شکل ۲-۴۷: توزیع بار در راه Kyoto، پیش بینیها و اندازه گیریها (Van Eekelen et al, 2010) ۵۱
- شکل ۲-۴۸: سیکل طاق (Arching cycle) در راه Kyoto؛ اندازه گیریها (Eekelen et al, 2010) ۵۲
- شکل ۲-۴۹: ضریب کاهش طاق k، (Heitz(2006) ۵۲
- شکل ۲-۵۰: مشخصات ژئوتکنیکی مفروض ۵۴
- شکل ۲-۵۱: پارامترهای چارتهای طراحی ۵۵
- شکل ۲-۵۲: سختی محوری (k40) شمعهای منفرد پیش ساخته ۳۰۰ میلی متری ۵۶
- شکل ۲-۵۳: ظرفیت نهایی محوری در برابر طول شمع ۵۷
- شکل ۲-۵۴: ضریب تصحیح (Fkh) با توجه به تاثیر ضخامت لایه رسی بر سختی شمع منفرد ۵۸
- شکل ۲-۵۵: نسبت نشست گروه شمع (R40) برای شمعهای پیش ساخته ۳۰۰ میلی متری ۵۹
- شکل ۲-۵۶: فاکتور تصحیح (Fkh) برای تاثیر عمق لایه بر نسبت نشست گروهی ۵۹
- شکل ۲-۵۷: نمودارهای نشست برای شمعهای داخلی پیش ساخته ۳۰۰ میلی متری ۶۱
- شکل ۲-۵۸: فاکتور λ ، رابطه نشست سر شمع با نشست سطح خاک ۶۲
- شکل ۲-۵۹: حداکثر نیروی به سمت پایین ایجاد شده در شمع توسط حرکت خاک ۶۳
- شکل ۲-۶۰: پاسخ جانبی ایجاد شده در شمع به وسیله سکوی ۱ متری خاک، شمع ۳۰۰ میلی متری ۶۵
- شکل ۲-۶۱: تاثیر مدول شمع بر حداکثر نشست در سر شمع ۷۰
- شکل ۲-۶۲: تاثیر ارتفاع خاکریز بر حداکثر نشست در سر شمع ۷۱
- شکل ۳-۱: خانواده المان ها ۸۹
- شکل ۳-۲: المان های خطی و سهموی ۹۰

- شکل ۳-۳: فرایند تحلیل مدل در نرم افزار ABAQUS..... ۹۱
- شکل ۴-۳: پلان هندسه مدل سازی ۹۲
- شکل ۳-۵: تغییر مکان افقی در طول خاکریز ۱۰۶
- شکل ۴-۱: منحنی زلزله طبس، ثبت شده توسط شتابنگاشت ۱۱۲
- شکل ۴-۲: تغییر مکان شیب خاکریز ۱۱۳
- شکل ۴-۳: مقایسه تنشهای ژئوگرید و خاک زیر بستر ۱۱۴
- شکل ۴-۴: توزیع تنش در خاکریز در حالت بارگذاری دینامیکی ۱۱۵
- شکل ۴-۵: تنش ژئوسنتتیک در حالت دینامیکی در پنجه خاکریز ۱۱۶
- شکل ۴-۶: کرنش پلاستیک ژئوگرید ۱۱۶
- شکل ۴-۷: مقایسه تغییر شکل شمع در راستای افقی (U3) و قائم (U2) ۱۱۸
- شکل ۴-۸: تغییر شکل شمع در راستای افقی (U3) ۱۱۸
- شکل ۴-۹: کرنش های پلاستیک خاکریز ۱۱۹
- شکل ۴-۱۰: مقایسه بین کرنشهای بوجود آمده در مصالح خاکریز GRPS ۱۱۹
- شکل ۴-۱۱: مقایسه تنشهای وارد بر شمع، ژئوسنتتیک و خاک زیر بستر ۱۲۰
- شکل ۴-۱۲: توزیع تنش در خاکریز متکی بر شمع ۱۲۰
- شکل ۴-۱۳: مقایسه تنش های ژئوسنتتیک در دو مدل ۱ و ۲ ۱۲۱

فهرست جداول

- جدول ۱-۲: خلاصه ضریبهای استفاده شده در طراحی خاکریز متکی بر شمع (BS,1995)..... ۱۴
- جدول ۲-۲: راهکار طراحی خاکریز متکی بر شمع..... ۴۶
- جدول ۳-۲: ضریب موقعیت شمع (fp)..... ۶۰
- جدول ۱-۳: مشخصات مصالح بکار رفته در ساخت مدل..... ۹۴
- جدول ۲-۳: تاثیر میزان سختی ژئوسنتتیک بر حداکثر نشست سطح خاکریز..... ۹۴
- جدول ۳-۳: تاثیر ارتفاع خاکریز بر میزان نشست حداکثر سطح خاکریز..... ۹۶
- جدول ۴-۳: تاثیر سختی خاک نرم زیر بستر ژئوسنتتیک بر میزان نشست سطحی خاکریز..... ۹۶
- جدول ۵-۳: مشخصات مصالح خاکریز (Hossain, 1997)..... ۱۰۲
- جدول ۶-۳: مشخصات مصالح پی خاکریز (Hossain, 1997)..... ۱۰۲
- جدول ۷-۳: مصالح خاک پی خاکریز (Hossain,1997)..... ۱۰۲
- جدول ۸-۳: ماکزیمم تنشها در اجزای مختلف مدلسازی..... ۱۰۳

چکیده

در این پایان نامه پس از معرفی کلی خاکریزهای متکی بر شمع و روش اجرا، به صورت اجمالی به ارائه روش‌های تحلیل و طراحی خاکریز-های مسلح متکی بر شمع GRPS با توجه به روش‌های موجود و بررسی و مقایسه آیین‌نامه‌های انگلیسی (BS8006(1995)، آلمانی (EBGEO(2004) و هلندی پرداخته شده است. در ادامه به ارائه چند مورد مدلسازی استاتیکی با استفاده از نرم افزار PLAXIS پرداخته شده و نتایج آنها با روش‌های مرسوم تحلیل و طراحی مقایسه شده است. در فصول ۳ و ۴ با استفاده از نرم افزار ABAQUS 6.11، خاکریز-های متکی بر شمع در شرایط بارگذاری استاتیکی و دینامیکی به صورت ۳ بعدی مدل سازی شده است. نتایج تحلیل در شرایط بارگذاری استاتیکی نشان می‌دهد که سطح خاکریز هم در شمع‌های انتها باربر و هم در شمع‌های اصطکاکی، تغییر شکل‌هایی در حد مجاز را نشان می‌دهند. حال آنکه بارگذاری دینامیکی باعث تغییر شکل‌های بزرگی در سطح خاکریز می‌شود. ژئوسنتتیک در سیستم خاکریزهای متکی بر شمع در مکانیزم انتقال بار و کاهش حرکت جانبی خاکریز و افزایش ظرفیت باربری نقش مهمی را ایفا می‌کند. چنانچه روی شمع‌ها ژئوسنتتیک و سپس مواد دانه ای قرار گیرد در ارتفاع خاکریز طاق (Arching) تشکیل می‌شود و شکل‌گیری طاق باعث انتقال بار بین سرشمع‌ها به سر شمع‌ها شده و از نشست خاکریز در این ناحیه جلوگیری می‌کند. افزایش سختی ژئوسنتتیک در حد متعارف سبب کاهش میزان نشست خاکریز می‌شود. فاصله سر شمع‌ها در شکل‌گیری طاق در خاک و میزان نشست خاکریز نقش مهمی دارد. خاک زیر بستر ژئوسنتتیک در سیستم باربری و کاهش نشست خاکریز در شرایط بارگذاری استاتیکی نقش مهمی را بازی نمی‌کند و افزایش سختی آن در کاهش نشست خاکریز تاثیر مهمی ندارد. حال آنکه مصالح خاکریز در مکانیزم انتقال بار نقش مهمی را اجرا می‌کنند. لذا معمولاً برای خاکریزها مصالح دانه-ای با زاویه اصطکاک داخلی بالا پیشنهاد شده است. افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک خاکریز سبب شکل‌گیری طاق خاکریز در ارتفاع کمتری می‌شود و همین موضوع امکان ساخت خاکریزهایی با ارتفاع کم را ممکن می‌سازد.

در مدلسازی دینامیکی که تحت بار زلزله انجام گرفته، میزان تغییر شکل‌های خاکریز به شدت افزایش پیدا می‌کند. این نشان می‌دهد که شکل‌گیری طاق و مکانیزم انتقال بار تحت این شرایط تحت تاثیر قرار گرفته است. نقش ژئوسنتتیک در مکانیزم انتقال بار در شرایط بارگذاری دینامیکی کاملاً مشخص نیست. در بارگذاری دینامیکی، خاک زیر بستر ژئوسنتتیک در کاهش میزان نشست سطحی خاکریز نقش بیشتری را نسبت به حالت بارگذاری استاتیکی ایفا می‌کند. تحت شرایط بارگذاری دینامیکی ژئوسنتتیک‌ها در برابر حرکت جانبی خاکریز مقاومت می‌کنند و چنانچه لایه روی آن با اصطکاک بالا باشد، نقش آن به شکل پر رنگ تری مشاهده می‌شود. نوع لایه‌ای که روی ژئوسنتتیک قرار می‌گیرد بر روی مکانیزم انتقال بار و تغییر شکل جانبی خاکریز در هر دو حالت استاتیکی و دینامیکی تاثیر گذار است. قرار گیری لایه خاک دانه‌ای در بالای ژئوسنتتیک سبب شکل‌گیری طاق در خاکریز شده و مقاومت خوبی در برابر حرکات جانبی از خود نشان می‌دهد.

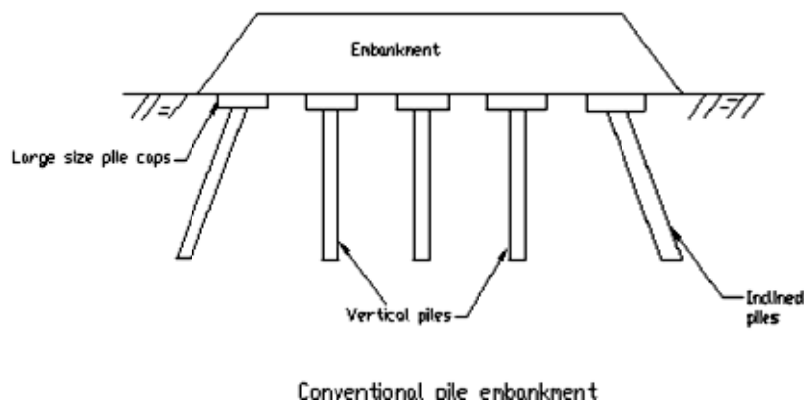
فصل اول: کلیات

۱- فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه

خاک ضعیف پی همیشه یک چالش برای مهندسان بوده است. طراحی خاکریز روی پی ضعیف، ظرفیت باربری، پایداری شیب، فشارهای جانبی، حرکت و اختلاف نشست سطحی چند مورد از نگرانی های اساسی هستند که همواره ذهن مهندسان را در طراحی و ساخت سازه های حساس در برابر نشست در خاک های مساله دار به خود معطوف کرده است. روش های متنوعی جهت رفع این مسایل قابل استفاده است که شامل پیش بارگذاری، استفاده از خاکریز با وزن کم، جایگزینی خاک و... می باشد. خاکریزهای متکی بر شمع^۱ GRPS نسبت به سایر روش های بهبود خاک دارای این مزیت هستند که نسبتاً سریع ساخته می شوند و نیازمند گسترش طول مدت زمان ساخت که بسیاری از روش های بهبود خاک بدان نیاز دارند نمی باشند. در این روش برای خاکریز تغییر شکل و نشست به وجود نمی آید یا بسیار کم (در محدوده مجاز آیین نامه ای) ایجاد می شود. این در حالی است که در سایر روش های بهبود، تغییر شکل های نامتعارف بر عملکرد خاکریز در طی زمان بهره برداری تاثیر می گذارد.

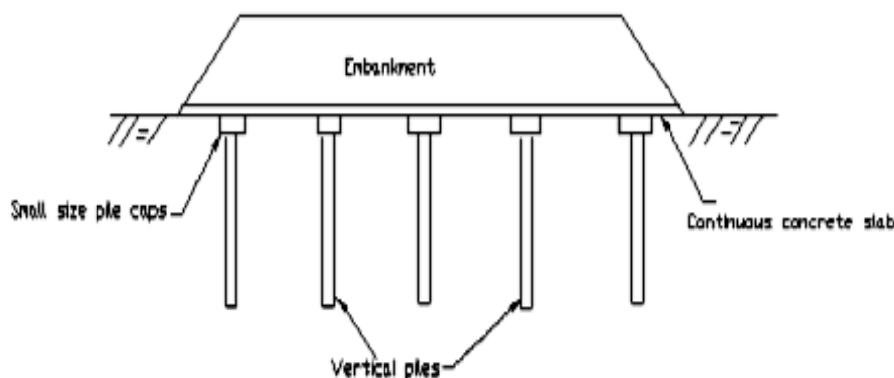
خاکریزهای متکی بر شمع به شکل های مختلفی اجرا می شود که در شکل ۱-۱ تا شکل ۳-۱ به آنها اشاره شده است. سیستم سنتی خاکریز متکی بر شمع^۲ CPS نیازمند سرشمع های بزرگ و فاصله خیلی نزدیک به هم شمع ها می باشد (شکل ۱-۱). روش CPS به شمع های مایل در لبه های خاکریز جهت مقاومت در برابر نیروهای جانبی بزرگ نیاز دارد. خاکریز متکی بر شمع با دال بتنی کل بار خاکریز را مستقیماً به شمع ها منتقل می کند ولی با توجه به اینکه به مقدار زیادی آرماتور فولادی یا پلیت بتنی ضخیم نیاز دارد، برای مواردی مانند زیر سازی راه آهن که طول خاکریز قابل توجه است ساخت خاکریز را غیر اقتصادی می کند (شکل ۲-۱). کلیه مواردی که برشمرده شد استفاده از روش CPS و خاکریز با دال بتنی را غیر اقتصادی می کند. لذا در مقایسه با سایر روش ها، به ندرت از این روش استفاده می شود.



شکل ۱-۱: روش سنتی خاکریز متکی بر شمع (CPS)

^۱ Geosynthetic-reinforced pile-supported embankment

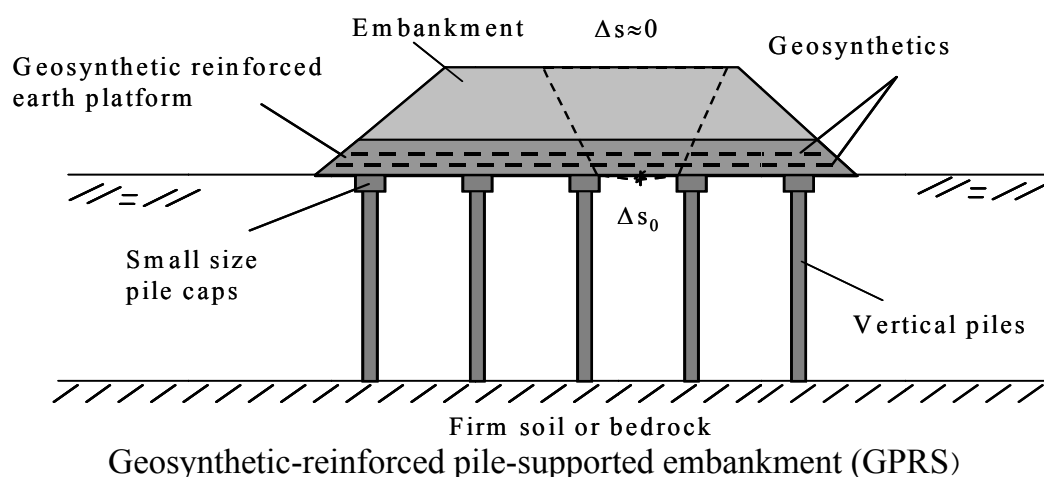
^۲ Conventional pile-supported embankment



Piled embankment with a continuous concrete slab

شکل ۱-۲: خاکریز متکی بر شمع با دال بتنی

در سیستم جدید خاکریز متکی بر شمع (GRPS) به علت فقدان مقاومت کششی خاک، از ژئوسنتتیک که مقاومت کششی بالایی دارد، بجای دال بتنی و شمع‌های مایل استفاده می‌شود. ژئوسنتتیک‌ها جهت کاهش نشست خاکریز، افزایش ظرفیت باربری، پایداری شیب‌های جانبی خاکریز در برابر فشارهای وارده و جلوگیری از انحراف در سر شمع‌ها، استفاده می‌شوند. در سیستم GRPS شکل ۱-۳ بستری از ژئوسنتتیک را نشان می‌دهد که انتقال بار به شمع را بدون ایجاد انحراف در شمع‌ها را ممکن می‌سازد. لایه‌های ژئوسنتتیک در برابر فشار جانبی لبه‌های خاکریز مقاومت می‌کنند و از تغییر شکل‌های جانبی خاکریز جلوگیری می‌کنند. یکی دیگر از محاسن استفاده از خاکریز به روش GRPS این است که این روش می‌تواند خیلی سریع‌تر از خاکریز به روش CPS ساخته شود.

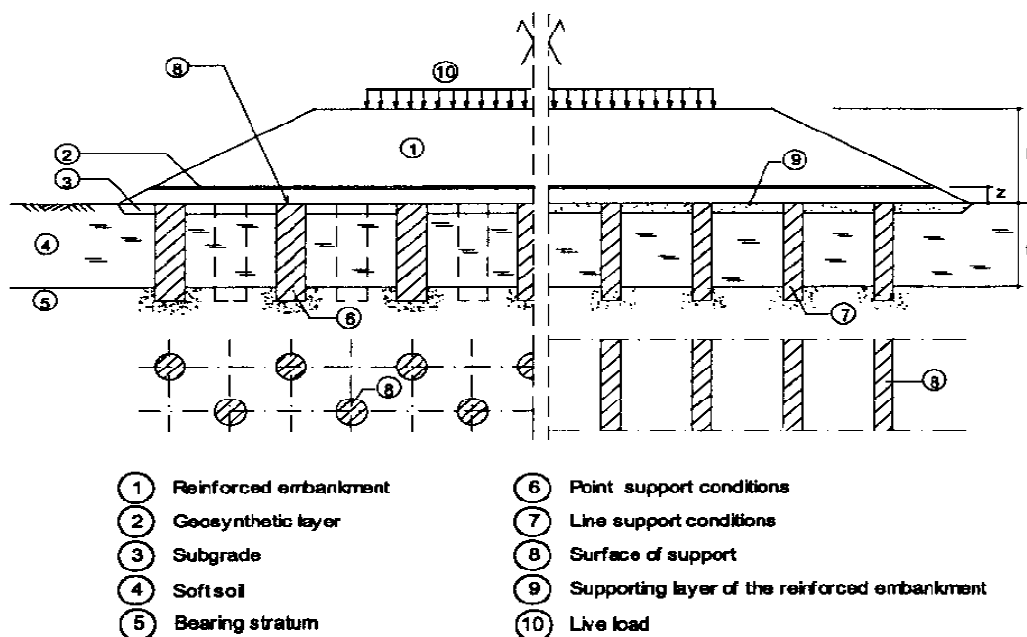


Geosynthetic-reinforced pile-supported embankment (GPRS)

شکل ۱-۳: خاکریز متکی بر شمع مسلح شده با ژئوسنتتیک

Han (1999) از بررسی پروژه‌های مختلف متوجه شد که درصد پوشش سرشمع‌ها در برابر کل مساحت پی در سیستم سستی خاکریز متکی بر شمع ۶۰ تا ۷۰٪ بوده است که در سیستم GRPS این مقدار به ۱۰ تا ۲۰٪ کاهش پیدا کرده است. استفاده از سیستم GRPS نشست سطحی خاکریز (Δs) و نشست خاک بین سرشمع‌ها (Δs_0) را به حداقل می‌رساند (شکل ۱-۳). در سیستم جدید ابعاد شمع‌ها کاهش پیدا کرده و سرشمع‌های بزرگ‌تری استفاده شده است. این نشان می‌دهد که این روش اقتصادی‌تر و به لحاظ تکنولوژی در مقابل سایر روش‌ها دارای مزیت است.

ستون‌های بتنی ویبره (Vibro-concrete columns)، ستون‌های اختلاط عمیق (Deep mixed columns)، ستون‌های سنگی (Stone columns) یا هر سیستم ستونی در جهت بهبود خواص زمین، برای پی خاکریز می‌تواند استفاده شود. چنین ستون‌هایی معمولاً قطر بیشتری از شمع‌های بتنی دارند بنابراین سرستون‌ها می‌توانند به عنوان سر شمع در انتقال بار کمک کنند. سیستم‌های ستونی یاد شده سختی کمتری از شمع‌های بتنی دارند. شمع‌ها می‌توانند در الگوهای مختلف شبکه، بلوک و دیوار برای رفع هرگونه نیاز اساسی نصب شوند. شمع‌ها می‌توانند با باربری نوک یا یک سیستم شناور (شمع اصطکاکی) عمل کنند که هر یک از این روش‌ها میزان نشست و رفتار متفاوتی را در خاکریز ایجاد خواهد کرد. مشخصات عمومی خاکریزهای متکی بر شمع GRPS در شکل ۴-۱ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱: Geosynthetic-reinforced Pile-supported embankment

۲-۱ هدف از انجام پایان نامه

در جهان امروز توجه به ملاحظات اقتصادی و زمانی یکی از واجبات در مباحث طراحی و انجام امور مهندسی است. در بسیاری از سازه‌ها و راه‌ها با توجه به حساسیت سازه، ضروری به نظر می‌رسد که نشست‌ها و اختلاف نشست‌های پی به حداقل کاهش پیدا کند. با توجه به اینکه امکان ساخت بسیاری از سازه‌ها در زمین‌هایی با خاک مناسب وجود ندارد لذا پایدارسازی خاک‌های مساله دار و نرم با تکنیک‌های مختلف ضروری به نظر می‌رسد. برای تثبیت و پایدارسازی خاک‌های نرم روش‌های متعددی وجود دارد که هر کدام در خاک‌های بخصوص و شرایط جداگانه عملکرد مناسبی از خود نشان می‌دهند که از آنجمله می‌توان به پیش بارگذاری، تعویض خاک و... اشاره کرد. یکی از روش‌هایی که در سنوات اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته و در بسیاری از نقاط جهان مورد استفاده قرار گرفته، خاکریزهای متکی بر شمع است. اینگونه خاکریزها با پیشرفت تکنولوژی در ساخت مواد مصنوعی به لحاظ ساختاری دچار تحولات شده است. در خاکریزهای متکی بر شمع جدید به جای استفاده از دال بتنی که هزینه بالایی در بر داشته

است و طراح را معمولاً مجبور به استفاده از شمع‌های مایل می‌کرده است، ژئوسنتتیک جایگزین شده است که نقش هردو این‌ها (دال و شمع مایل) را بازی می‌کند با این تفاوت که ژئوسنتتیک‌ها هزینه پایین‌تر و روش اجرای به مراتب راحت‌تری نسبت به اجرای دال و شمع‌های مایل دارند. یکی دیگر از مزایای این روش این است که بسته به شرایط خاک محل و حساسیت سازه در برابر نشست و مصالح موجود در منطقه می‌توان سیستم‌های ستونی متعددی برای ساخت سازه خاکریز متکی بر شمع بکار برد. به عنوان مثال در برخی از کشورها از شمع‌های چوبی بجای ستون استفاده می‌شود و در جایی دیگر ستون‌های سنگی (Stone Column) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع قابلیت تغییر مصالح ستون‌ها نسبت به مکان مورد احداث خاکریزهای متکی بر شمع یکی از نقاط قوت اینگونه سازه‌ها می‌باشد. با توجه به این که خاکریز متکی بر شمع نسبت به سایر روش‌های بهبود خاک سریع‌تر اجرا می‌شود، در پروژه‌هایی که با محدودیت زمانی در آن مواجه هستند، می‌تواند بسیار کاربردی و مفید واقع شود. البته صرفه جویی در زمان ساخت اینگونه خاکریزها سبب صرفه جویی اقتصادی قابل توجهی نیز می‌شود. با توجه به موارد ذکر شده و با توجه به اینکه در داخل کشور در محافل دانشگاهی به این موضوع کمتر پرداخته شده است و در بسیاری از پروژه‌های در دست ساخت داخل و خارج از کشور این روش می‌تواند به عنوان یک گزینه مهم برای متخصصین در نظر گرفته شود، لذا بررسی و تحلیل چگونگی مکانیزم این روش ضروری به نظر می‌رسد. بنابر این در این رساله تلاش شده است تا در حد امکان به نحوه عملکرد این روش بهبود خاک پرداخته شود تا در مواقع ضروری بتواند مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۳ روش تحقیق (متدلوژی)

با توجه به اینکه تاکنون محققان بسیاری در زمینه تحلیل و طراحی خاکریزهای متکی بر شمع روش‌های متعددی را ارائه کرده‌اند، لذا در ابتدا با استفاده از منابع در دسترس به ارائه این روش‌ها پرداخته شده است که از جمله این منابع می‌توان به مجموعه مقالات، کتب و پان نامه‌های ارشد و دکتری مربوط به این حوزه اشاره کرد. متخصصان مختلف با استفاده از نرم افزارهای عددی مانند ABAQUS و PLAXIS به تحلیل پارامترهای موثر در رفتار اینگونه سازه‌ها پرداخته اند که در این رساله به نتایج تعدادی از آن‌ها اشاره شده است. با توجه به نیازی که در تحلیل برخی از زمینه‌های خاکریزهای متکی بر شمع احساس می‌شود، پس از بررسی مدل‌سازی‌های انجام شده، میزان انطباق نتایج مدل‌سازی‌ها با نتایج آزمایشگاهی و مانیتورینگ نمونه‌ها، بررسی اجمالی روش‌های عددی و نرم افزارهای موجود، این نتیجه حاصل شد که با استفاده از نرم افزار اجزا محدود ABAQUS که بر اساس روش المان محدود ساخته شده و نسبت به سایر نرم افزارها دقت مناسبی از خود نشان می‌دهد یک تحلیل کلی نسبت به عملکرد اجزای مختلف خاکریزهای متکی بر شمع GRPS انجام شود.

۱-۴ فصل بندی و موارد مورد بررسی در هر فصل

این پایان نامه در ۵ فصل مجزا تهیه و تدوین شده است و تلاش شده است که نحوه چینش اطلاعات در فصول به گونه‌ای باشد که پس از تحلیل و بررسی کارهای صورت گرفته در این زمینه و انجام مدل‌سازی عددی، در نهایت بتوان با دستیابی به نتیجه گیری کلی، با استفاده از مندرج موجود در پایان نامه بتوان در نمونه‌های عملی به بیان نظرات کارشناسی پرداخت و بطور واضح و مطمئن بتوان از این روش در بهبود خاک‌های مسئله دار با رعایت جوانب احتیاط استفاده نمود. فصول مندرج در این رساله به قرار زیر است:

فصل اول:

در این فصل، مقدمه، هدف از تدوین پایان نامه، متدولوژی تحقیق و فصل بندی و موارد مندرج در هر فصل لحاظ شده است.

فصل دوم:

در این فصل موارد زیر مورد بررسی قرار گرفته اند:

- معرفی اجمالی خاکریزهای متکی بر شمع، نحوه اجرا به اختصار و سابقه اجرایی این روش در نقاط مختلف جهان.
- معرفی و بررسی روش‌های تحلیل و طراحی و بررسی و مقایسه استاندارد انگلیسی (BS8006)، استاندارد آلمانی (EBGEO) و استاندارد هلندی (CUR 226).
- معرفی اجمالی روش‌های عددی و ارائه تحلیل‌های عددی انجام شده با استفاده از نرم افزار PLAXIS، بررسی تحلیل‌ها و مقایسه نتایج با روش‌های موجود تحلیل و طراحی.

فصل سوم:

موارد مورد بررسی در این فصل عبارتند از:

در این فصل پس از معرفی کلی نرم افزار ABAQUS، مدل‌سازی ۳ بعدی خاکریز مسلح متکی بر شمع تحت شرایط استاتیکی تحت شرایط مختلف انجام شده و رفتار کلی سیستم مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. و برخی از نتایج حاصل از دو مدل سازی با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته است.

فصل چهارم:

در این فصل به مدل سازی خاکریز مسلح متکی بر شمع GRPS با استفاده از نرم افزار ABAQUS پرداخته شده و نتایج خروجی حاصل از برنامه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. در این فصل دو مدل ساخته شده و در واقع مدل دوم اصلاح شده مدل اول است و در نهایت جهت تعیین تاثیر تغییرات در مدل اصلی، برخی نتایج خروجی نرم افزار با یکدیگر و نتایج مدل‌سازی استاتیکی مقایسه شده است.

فصل پنجم:

در این فصل به جمع بندی و نتیجه گیری از مباحث مورد بحث در فصول قبل و ارائه پیشنهادت در این زمینه پرداخته شده است و جهت انجام ادامه کار برای تحقیقات بعدی مواردی ذکر شده است.

فصل دوم: مروری بر ادبیات فنی، تحلیل و طراحی خاکریزهای مسلح متکی بر شمع

۲- فصل دوم: مروری بر ادبیات فنی، تحلیل و طراحی خاکریزهای مسلح متکی بر شمع

۲-۱- مقدمه

همانگونه که در مقدمه فصل اول تشریح شد، خاکریزهای متکی بر شمع تاکنون به اشکال مختلفی ساخته و مورد بهره برداری قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به خاکریزهایی با سیستم سنتی CPS و سیستم جدید GRPS اشاره کرد که بین این روش‌ها در المان‌های باربر و مکانیزم انتقال بار تفاوت قابل ملاحظه‌ای ملاحظه می‌شود. همانطور که اشاره شد این خاکریزها با مصالح گوناگون در نقاط مختلف جهان مورد استفاده قرار گرفته است که از بین موارد متعدد می‌توان به نمونه‌های زیر اشاره کرد:

- اجرای دیوار خاک مسلح SRW روی سیستم GRPS در جنوب سائو پائولو (برزیل).
- استفاده از سیستم GRPS در عریض سازی آزاد راه در جنوب کارولینا (امریکا).
- استفاده از سیستم GRPS در ساخت ساختمان روی خاک قابل تراکم در اوهایو (امریکا).
- پایدار سازی و کاهش میزان نشست خاک اتوبان (بزرگراه Polk) دانشکده حمل و نقل فلوریدا (امریکا).
- راه Niitsu Bypass در ۱۵ کیلومتری شهر نیگاتا (ژاپن).
- ساخت خاکریز مسلح با ارتفاع کوتاه روی ستون‌های اختلاط عمیق در Yono City (ژاپن).
- ساخت خاکریز مسلح متکی بر شمع در فرودگاه Stand (انگلستان).
- ساخت خاکریز متکی بر شمع برای خط آهن دو بانده Rawang-Bidor
- استفاده از سیستم GRPS برای زیرسازی ریل قطار سریع السیر با سرعت ۳۵۰ کیلومتر بین Beijing و Tianjin در چین (در این سیستم توسط متخصصان آلمانی دال بتنی ۰/۵ متری با ۳ لایه ژئوسنتتیک جایگزین شده است). جالب توجه است که این سیستم به این علت استفاده شده است که احداث و راه اندازی قطار سریع السیر برای بازی های المپیک ۲۰۰۸ ضروری بوده و طراحان باید طرحی را ارائه می‌کردند که بسیار سریع ساخته شود (مشکل زمانی وجود داشته است) و مطمئن باشد. لذا پس از اصلاح سیستم خاکریز متکی بر شمع با دال بتنی با نظر متخصصان آلمانی به این نتیجه رسیده‌اند که استفاده از سیستم GRPS همان قابلیت را داشته و به لحاظ اقتصادی بسیار با صرفه تر است.
- موارد متعدد ساخت راه روی خاکریزهای GRPS با ارتفاع کوتاه خاکریز که منجر به ایجاد آیین نامه طراحی در این زمینه شده است (هلند).

خاکریزهای متکی بر شمع GRPS عموماً به شکل زیر اجرا می‌شوند:

خاکریزهای مسلح متکی بر شمع (GRPS) بصورت‌های مختلفی ساخته می‌شوند و این تنوع در روش‌های اجرا به علت کاربرد شمع‌هایی با مصالح مختلف و بکار بردن یک یا چند لایه از ژئوتکتایل در خاکریز است. بطور کلی برای اجرای همه خاکریزهای GRPS در مرحله اول بستری که قرار است روی آن مراحل اجرای خاکریز اجرا شود باید آماده سازی شود. بدین منظور زمین از هرگونه خاک و خاشاک سست و ناپایدار پاک شده و روی آن بار غلطک عبور می‌کند تا سطح کاملاً مسطح شود و خاک زیر آن متراکم گردد و سپس شمع‌ها اجرا می‌شوند. برخی از شمع‌ها درجاریز می‌باشند که برای اجرای آنها باید ابتدا زمین را حفر کرد سپس قفس آرماتور را درون حفره جایگزین کرد و در نهایت به آن بتن اضافه کرد. در شمع‌های پیش ساخته با استفاده از انواع شمع کوب‌های موجود،