دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران گرایش مکانیک خاک و مهندسی پی

بررسی عددی نشست متقارن در کوله پل ها و آنالیز انواع روش های کاهش این نشست

نگارنده :

سعید ظفری

استاد راهنما :

دکتر حسن طاهرخانی

استاد مشاور :

دکتر رضا مهین روستا

سال تحصیلی ۹۰- ۱۳۸۹

بسمِ اللّهِ الرّحمنِ الرّحيم

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران گرایش مکانیک خاک و مهندسی پی

بررسی عددی نشست متقارن در کوله پل ها و آنالیز انواع روش های کاهش این نشست

نگارنده :

سعید ظفری

استاد راهنما :

دکتر حسن طاهرخانی

استاد مشاور :

دکتررضا مهین روستا

سال تحصیلی ۹۰- ۱۳۸۹

تقدیم به پدر و مادر عزیزم که،

لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست.

تقدیر و تشکر

اکنون که به لطف خداوند متعال این پایان نامه به سرانجام رسیده است، شایسته است از اساتید محترم و گرانقدر، جناب آقای دکتر طاهر خانی و جناب آقای دکتر مهین روستا که اینجانب را در مراحل مختلف انجام این پایان نامه یاری بخشیدند، کمال سپاس و قدردانی را داشته باشم.

چکیده

یکی از مشکلات اساسی مربوط به پل ها، نشست کولهٔ پل در خاک های سست مـی باشـد. در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی بر روی نحوهٔ کاهش این نشست ارائه شده اسـت کـه از جملـهٔ آنها استفاده از ژئوگرید و شمع می باشد. آنالیز هر کدام از این روش ها به طـور مجـزا توسـط محققین مختلف انجام گرفته است، اما تا کنون مقایسهٔ دقیقی بین دو روش مذکور انجام نشده است. از آنجایی که امروزه یکی از دغدغه های جامعهٔ مهندسین اجرای روش بهینـه در پـروژه های عمرانی می باشد، در این پایان نامه سعی بر آن بوده است تا مقایسهٔ دقیقی بین عملکـرد این دو نوع کوله از نظر تغییر مکان قائم و افقی انجام شود. بدین منظور، با استفاده از نرم افزار المان محدود PLAXIS 2D v8.5 و بکارگیری داده‌های واقعی یک کوله پل ساخته شـده بـر روی خاک سست، ابتدا مدل عددی این کوله پل با اسـتفاده از شـمع و سـپس بـا اسـتفاده از ژئوگرید توسعه می یابد. سپس چگونگی توسعه این مدل، اعم از نحوه مدل‌سازی کوله، خاکریز پشت کوله، زهکش‌های ماسه‌ای، شمع‌ها، ژئوگرید، مدل‌های رفتاری و بارگذاری استفاده شـده تشریح می‌گردند. در ادامه با انجام تحلیل تحکیم تاثیر فاکتورهای مختلف در تغییر مکان کولهٔ مسلح شده با ژئوگرید و کاهش این تغییر مکان مورد بررسی قرار می گیرد.

نتایج بدست آمده نشان می دهد که با افزایش عمق خاک مسلح شـده بـا ژئوکریـد در زیـر کوله می توان نشست قائم کوله را به مقدار زیـادی کـاهش داد امـا همچنـان ایـن نشسـت از نشست قائم در زیر کولهٔ بنا شده بر روی شمع بیشتر است. همچنین نتایج حاصله حاکی از آن است که با افزایش سختی نرمال ژئوگرید می توان تغییر مکان جانبی را در کولهٔ مسلح شده با ژئوگرید طوری کاهش داد که از کولهٔ بنا شده بر روی شمع کمتر باشد. نهایتاً می‌توان اینگونـه بیان کرد که مقایسه های انجام شده می‌تواند کمـک شـایانی در اتخـاذ روش برتـر در شـرایط مشابه باشد.

کلمات کلیدی: *کولهٔ پل، شمع، ژئوگرید*

فهرست مطالب :

مقدمه ۱

فصل اول – کولۀ پل بنا شده بر روی شمع ۳

۱-۱ کوله پل ۴

۱-۲ شمع ها ۴

۱-۲-۱ شمع اتکایی ۴

۱-۲-۲ شمع اصطکاکی ۴

۱-۲-۳ شمع تراکمی ۵

۱-۳ کوله پل بنا شده بر روی شمع – مرور ادبیات فنی ۵

۱-۴ آزمایش های درجای مقیاس واقعی ۷

۱-۴-۱ کارگاه A ۷

۱-۴-۱-۱ آزمایشهای فیزیکی و مکانیکی جهت بدست آوردن خصوصیات خاک ۸

۱-۴-۲ کارگاه B ۹

۱-۴-۲-۱ آزمایشهای فیزیکی و مکانیکی جهت بدست آوردن خصوصیات خاک ۱۰

۱-۴-۲-۲ اندازه گیری ۱۱

۱-۵ آنالیز المان محدود ۱۱

۱-۵-۱ مدلسازی المان محدود کرنش مسطحه کوله پل بنا شده بر روی شمع ۱۱

۱-۵-۲ سپری معادل ردیف شمع ها در مدلسازی المان محدود ۱۱

۱-۶ مدل های رفتاری ۱۲

۱-۶-۱ مدل های رفتاری استفاده شده در کوله مدل شده توسط الیس ۱۲

۱-۶-۱-۱ بارگذاری و جابجایی شمع ها در مدل الیس ۱۳

۱-۶-۲ مدل های رفتار ی استفاده شده در کوله های آزمایش شده هارا ۱۵

۱-۶-۲-۱ مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و آنالیز های انجام شده توسط هارا ۱۵

۱-۷ نتیجه گیری ۱۶

فصل دوم- کوله پل مسلح شده با ژئوسینتتیک ۱۸

۲-۱ ژئوسینتتیک ۱۸

۲-۱-۱ ژئوتکستایل ها ۱۹

۲-۱-۲ ژئوگریدها ۲۰

۲-۲ خاک مسلح ۲۱

۲-۳ کوله مسلح شده با ژئوسینتتیک ۲۲

۲-۴ تاریخچه کوله مسلح شده با ژئوسینتتیک ۲۳

۲-۵ آزمایش های مقیاس واقعی انجام گرفته ۲۴

۲-۵-۱ آزمایش در مقیاس واقعی که توسط دترت انجام گرفت ۲۴

۲-۵-۱-۱ نتایج آزمایش های دترت ۲۵

۲-۵-۱-۲ کوله پل GRS مورد آزمایش توسط سازمان ملی بزرگراه های امریکا ۲۶

۲-۶ آنالیزهای عددی و تحلیلی انجام شده بر روی نتایج آزمایش ها ۳۰

۲-۶-۱ آنالیز تحلیلی و عددی نتایج آزمایش دترت ۳۰

۲-۶-۲ آنالیز المان محدود آزمایش انجام شده توسط سازمان ملی بزرگراه های امریکا ۳۵

۲-۶-۲-۱ آنالیز بخش A ۳۶

۲-۶-۲-۲ آنالیز بخش B ۳۸

۲-۷ آنالیز پارامتریک ۴۰

۲-۷-۱ تأثیر فواصل ژئوسینتتیک ها ۴۰
۲-۷-۲ تأثیرات سختی ژئوسینتتیک ۴۰
۲-۸ نتیجه گیری ۴۲
فصل سوم- نرم افزار Plaxis 2D ۴۳
۳-۱ مقدمه ۴۳
۳-۲ اطلاعات کلی ۴۴
۳-۲-۱ نسخهٔ ۲ بعدی حرفه ای ۴۴
۳-۲-۲ قرارداد علامت ها ۴۴
۳-۲-۳ واحد ها ۴۵
۳-۳ هندسه ۴۵
۳-۳-۱ کرنش مسطحه ۴۵
۳-۳-۲ المان ها ۴۶
۳-۳-۲-۱ المان ۱۵ گرهی ۴۷
۳-۳-۲-۲ المان ۶ گرهی ۴۷
۳-۳-۳ صفحه ۴۸
۳-۳-۳-۱ المان صفحه ۴۸
۳-۳-۴ ژئوگرید ۴۹
۳-۳-۴-۱ المان ژئوگرید ۴۹
۳-۴ شرایط مرزی ۵۰
۳-۴-۱ شرایط مرزی استاندارد ۵۰

۳-۴-۲ ساخت شبکه المان ها ۵۰
۳-۵ خصوصیات مصالح ۵۱
۳-۵-۱ مدل های رفتاری مصالح ۵۱
۳-۵-۲ تعاریف کلی تنش ۵۲
۳-۵-۳ تعاریف کلی کرنش ۵۳
۳-۵-۴ کرنش های الاستیک ۵۴
۳-۵-۵ مدل مور-کولمب ۵۵
۳-۵-۵-۱ رفتار الاستیک-کاملاً پلاستیک ۵۵
۳-۵-۵-۲ فرمول مدل مور-کولمب ۵۶
۳-۵-۵-۳ پارامترهای اولیهٔ مدل مور-کولمب ۵۷
۳-۵-۶ مدل کم-کلی اصلاح شده ۵۸
۳-۵-۶-۱ ضریب پواسون ۶۰
۳-۵-۶-۱ اندیس تراکم وتورم ۶۱
۳-۵-۶-۲ تانژانت خط حالت بحرانی ۶۱
۳-۵-۷ نوع زهکشی ۶۱
۳-۵-۷-۱ رفتار زهکشی شده ۶۲
۳-۵-۷-۲ رفتار زهکشی نشده ۶۲
۳-۵-۷-۳ رفتار غیر متخلخل ۶۲
۳-۵-۸ وزن مخصوص اشباع و غیر اشباع ۶۲
۳-۵-۹ شرایط مرزی برای محاسبات جریان آب زیرزمینی ۶۳

۳-۵-۹-۱ مرز بسته جریان ۶۳
۳-۵-۹-۲ مرز بسته تحکیم ۶۳
۳-۵-۱۰ ایجاد تنش های اولیه ۶۴
۳-۶ محاسبات ۶۴
۳-۶-۱ نوع محاسبه ۶۴
۳-۶-۲ محاسبه پلاستیک ۶۴
۳-۶-۳ تحلیل تحکیم ۶۴
۳-۶-۴ ساخت مرحله ای ۶۵
۳-۶-۵ خطای مجاز ۶۵
۳-۶-۶ اولین بازهٔ زمانی ۶۶
۳-۷ خروجی نرم افزار ۶۶
۳-۷-۱ تغییر مکان های کل ، افقی و قائم ۶۶
۳-۷-۲ صفحات ۶۷
۳-۷-۳ ژئوگرید ۶۷
فصل چهارم- مدل‌سازی کوله بنا شده بر روی شمع و کوله مسلح شده با ژئوگرید ۶۸
۴-۱ مقدمه ۶۸
۴-۲ کوله بنا شده بر روی شمع ۶۹
۴-۲-۱ مشخصات مدل واقعی ۶۹
۴-۲-۱-۱ آزمایشهای فیزیکی و مکانیکی خصوصیات خاک ۷۱
۴-۲-۱-۲ اندازه گیری ۷۲

۴-۲-۲ مدل سازی رفتار کوله ۷۲
۴-۲-۲-۱ خاکریز ۷۲
۴-۲-۲-۲ بدنۀ کوله ۷۶
۴-۲-۲-۳ شمع ها ۷۶
۴-۲-۲-۴ لایه رسی ۷۸
۴-۲-۲-۵ زهکش های ماسه ای ۷۸
۴-۲-۳ بارگذاری کوله ۸۱
۴-۲-۳-۱ بارهای زنده (بارهای بهره برداری) ۸۱
۴-۲-۳-۲ بار عرشه ۸۳
۴-۲-۴ مدل سازی توسط نرم افزار ۸۸
۴-۲-۴-۱ شرایط اولیه ۸۹
۴-۲-۴-۲ محاسبات ۹۱
۴-۲-۴-۳ خروجی های نرم افزار ۹۲
۴-۲-۴-۴ مقایسه نتایج بدست آمده توسط نرم افزار Plaxis 2D ۹۵
۴-۲-۵ نتیجه گیری ۹۷
۴-۳ کوله پل مسلح شده با ژئوگرید ۹۷
۴-۳-۱ هندسه مدل مد نظر ۹۷
۴-۳-۲ مدل های رفتاری ۱۰۱
۴-۳-۳ مدل سازی توسط نرم افزار ۱۰۱
۴-۳-۳-۱ شرایط اولیه ۱۰۲

۴-۳-۴ نتایج ۱۰۳

۴-۴ مقایسه نتایج دو نوع کوله مدل سازی شده ۱۰۹

فصل پنجم - نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۱۱۱

۵-۱ نتیجه گیری ۱۱۱

۵-۲ پیشنهادات ۱۱۲

منابع و مراجع ۱۱۴

فهرست جدول ها

جدول ۱-۱ – خصوصیات خاک زمین کارگاه B ۱۰

جدول ۱-۲ - خصوصیات خاکریز کارگاه B ۱۰

جدول ۲-۱ - خصوصیات کلیدی بخش A و B ۲۸

جدول ۲-۲ - پارامترهای خاک استفاده شده در آنالیز عددی ۳۱

جدول ۴-۱ - خصوصیات خاک زمین ۷۱

جدول ۴-۲ - خصوصیات خاکریز ۷۲

جدول ۴-۳ - پارامترهای اولیه و تغییر یافته ۷۵

جدول ۴-۴ - وزن مخصوص خاکریز با در نظر گرفتن نشست سطح در حین ساخت ۷۴

جدول ۴-۵ - وزن مخصوص خاکریز با در نظر گرفتن اثر ۳ بعدی ۷۵

جدول۴-۶ - مدل کرنش مسطحه برای آنالیز ۲ بعدی ۷۷

جدول ۴-۷ . وزن مخصوص مصالح ۸۴

فهرست تصاویر

شکل ۱-۱ . مقطع شماتیک کوله پل بنا شده بر روی شمع در زمین رسی سست که نشان دهندهٔ بارگذاری عرضی می باشد ۷

شکل ۱-۲ . مقطع (کارگاه A) .(الف) مقطع طولی،(ب) مقطع عرضی ۸

شکل ۱-۳ . کوله و خاکریز (کارگاه B) . (الف) مقطع طولی ، (ب)مقطع عرضی ۹

شکل ۱-۴ دیوار معادل : (الف) نمای پلان ردیف شمع و دیوار معادل ، (ب) دیوار در مش بندی خاک ۱۲

شکل ۱-۵ . بار و تغییر مکان ردیف شمع های جلو در حالت نهایی (۶ متر لایه رسی) ۱۴

شکل ۱-۶ . بار و تغییر مکان ردیف شمع های عقب در حالت نهایی (۶ متر لایه رسی) ۱۴

شکل ۱-۷ . مقایسه نتایج آنالیز و مقادیر اندازه گیری شدهٔ نشست زمین و رفتار شمع ها (کارگاه B).(الف) ساخت خاکریز ، (ب) نشست سطح اولیه زمین، (ج) جابجایی جانبی سر شمع ها ۱۶

شکل ۲-۱ . چند نمونه از ژئوتکستایل ها ۲۰

شکل ۲-۲ . دو نمونه از ژئوگرید ها ۲۱

شکل ۲-۳ . تصویری از یک دیوار خاک مسلح ۲۲

شکل ۲-۴ . تنظیمات و چیدمان آزمایش بارگذاری یک کوله مسلح شده با ژئوگرید،

الف) نمای پلان ، ب) نمای روبرو ، ج) مقطع طولی (Alexiew 2007) ۲۵

شکل ۲-۵ . نشست بلوک بتنی در حین آزمایش بارگذاری ۲۶

شکل ۲-۶ . تصویر مقیاس واقعی کوله پل مورد آزمایش توسط سازمان ملی بزرگراه‌های امریکا ۲۷

شکل ۲-۷ . نتایج آزمایش ۳ محوری برای خاکریز ۲۹

شکل ۲-۸ . نتایج آزمایش کششی تک محوری : AMOCO و MIRAFI ۳۰

شکل ۲-۹ . نشست حاصل از آزمایش بارگذاری بلوک بتنی و آنالیز عددی ۳۱

شکل ۲-۱۰ . مقایسه منحنی های بار – نشست مدل های مختلف ۳۲

شکل ۲-۱۱ . مقایسه منحنی های بار_نشست مدل سخت شوندگی با استفاده از
ژئوگرید هایی با سختی های مختلف ۳۳
شکل ۲-۱۲ . مقایسه تغییر شکل افقی نما با استفاده از مدل سخت شوندگی و
ژئوگرید هایی با سختی های مختلف (الف)تحت بار KN/m^2 ۲۰۰ ..... ۳۳
شکل ۲-۱۳ . نیرو های فعال شده در ژئوگرید تحت بار $350\ KN/m^2$ ۳۵
شکل ۲-۱۴ . تصویر کوله پل GRS ۳۶
شکل ۲-۱۵ . تغییر مکان جانبی محاسبه شده و اندازه گیری شدهٔ نما ۳۷
شکل ۲-۱۶ . تغییر مکان قائم محاسبه شده و اندازه گیری شدهٔ آستانه ۳۸
شکل ۲-۱۷ . تغییر مکان قائم محاسبه شده و اندازه گیری شدهٔ آستانه ۳۹
شکل ۲-۱۸ . تغییر مکان جانبی محاسبه شده و اندازه گیری شدهٔ نما ۳۹
شکل ۲-۱۹ . تأثیر فواصل ژئوسینتتیک ۴۱
شکل ۲-۲۰ . تأثیر سختی ژئوسینتتیک ($s = 20$) ۴۱
شکل ۳-۱. سیستم مختصات و نمایش جهت های مؤلفه های مثبت تنش ها ۴۵
شکل ۳-۲. نمونه ای از یک مسأله کرنش مسطحه ۴۶
شکل۳-۳. محل گره ها ونقاط تنش درالمان های خاک ۴۶
شکل ۳-۴. کاربرد صفحات ۴۸
شکل ۳-۵. محل گره ها و نقاط تنش در المان صفحه ۴۹
شکل ۳-۶. کاربرد ژئوگرید ۴۹
شکل ۳-۷. محل گره ها و نقاط تنش در المان ژئوگرید ۵۰
شکل ۳-۸ . جهات اصلی و علامت تنش ها ۵۳
شکل ۳-۹ . ایدهٔ اصلی مدل الاستیک کاملاً پلاستیک ۵۵
شکل ۳-۱۰ . سطح تسلیم مور-کولمب در فضای تنش اصلی ($c = ۰$) ۵۷

شکل ۳-۱۱ سطح تسلیم مدل کم کلی اصلاح شده در صفحه p-q' ۵۹

شکل ۳-۱۲ . حل عددی در مقابل حل دقیق ۶۵

شکل ۴-۱ . مقطع کوله. (الف) مقطع طولی، (ب) مقطع عرضی، (ج) پروسهٔ ساخت

خاکریز ۷۰

شکل ۴-۲ . مدل آنالیز المان محدود ۳ بعدی برای وزن خاک در آنالیز ۲ بعدی ۷۶

شکل ۴-۳ . محل شمع ها در زیر کوله پل ۷۸

شکل ۴-۴ .(الف) پلان الگوی زهکش های ماسه ای ، (ب) جایگزین کردن مقطع

دایره ای زهکش های ماسه ای با مستطیل معادل ۷۹

شکل۴-۵ . مقطع واقعی زهکش ماسه ای (I) و مقطع مدل سازی شده زهکش

ماسه ای (II) ۷۹

شکل ۴-۶ . زهکش ماسه ای ،(الف) نمای مقاطع کرنش مسطحه استفاده شده برای

مدل سازی زهکش های ماسه ای ، (ب) نمای پلان مقطع جایگزین مقطع دایره ای،

(ج) مقطع واقعی زهکش های ماسه ای ۸۱

شکل ۴-۷ . بار بهره برداری عادی (کامیون ۴۰ تن) ۸۲

شکل ۴-۸ . نحوه استقرار بار عادی در عرض سواره رو ۸۳

شکل ۴-۹ . هندسهٔ مقطع عرضی عرشه ۸۴

شکل ۴-۱۰ . نمای جانبی کوله و دهانهٔ عرشه ۸۶

شکل ۴-۱۱ . بار زندهٔ وارد بر یک دهانهٔ عرشه ۸۷

شکل ۴-۱۲ . بار های اعمال شده بر کوله ۸۷

شکل ۴-۱۳ . هندسهٔ کوله پل در نرم افزار Plaxis 2D ۸۸

شکل ۴-۱۴ . مش بندی مدل ۸۹

شکل ۴-۱۵ . شرایط مرزهای بسته جریان و تحکیم ، و سطح سفره آب زیرزمینی ۸۹

شکل ۴-۱۶ . فشار آب منفذی اولیه ۹۰

شکل ۴-۱۷ .تنش مؤثر اولیه ۹۰

شکل ۴-۱۸ .مقایسه نتایج آنالیز و مقادیر اندازه گیری شده ، (الف)ساخت خاکریز،
(ب) ماکزیمم نشست سطح اولیه زمین ،(ج) حداکثر تغییر مکان سر شمع ها ۹۳

شکل ۴-۱۹ . نقاط مختلفی که نشست در آنها مورد بررسی قرار گرفته است ۹۵

شکل ۴-۲۰ . نشست قائم در نقاط مختلف زیر کوله ۹۵

شکل ۴-۲۱ .مقایسه نشست قائم محاسبه شده با Plaxis 2D و محاسبات انجام شده
توسط هارا و همکاران ۹۶

شکل۴-۲۲. مقایسه تغییر مکان جانبی محاسبه شده با Plaxis 2D و محاسبات انجام
شده توسط هارا و همکاران ۹۶

شکل ۴-۲۳ . هندسهٔ کوله پل مسلح شده بوسیلهٔ ژئوگرید ، (الف) هندسهٔ کل مدل،
(ب) هندسهٔ کوله و ژئوگرید ها از نمای نزدیک تر ۹۸

شکل ۴-۲۴ . پروسهٔ ساخت کوله مسلح شده با ژئوگرید ۱۰۰

شکل ۴-۲۵ . هندسهٔ مدل سازی شده در نرم افزار Plaxis 2D ۱۰۱

شکل ۴-۲۶ . فشار آب منفذی اولیه ۱۰۲

شکل ۴-۲۷ . تنش های مؤثر اولیه ۱۰۲

شکل ۴-۲۸ . نشست قائم نهایی کوله مسلح شده به ژئوگرید با سختی نرمال پایهٔ
EA= 500 KN/m ۱۰۳

شکل ۴-۲۹ . حداکثر نشست قائم در زیر کوله پل مسلح شده با ژئوگرید،

B = طول ژئوگریدهای زیر کوله ۱۰۴

شکل ۴-۳۰ . تغییر مکان جانبی زیرکوله پل مسلح شده با ژئوگرید،

B = طول ژئوگریدهای زیر کوله ۱۰۴

شکل ۴-۳۱ . ماکزیمم نشست قائم در زیر کوله پل مسلح شده با ژئوگرید،

H = عمق خاک مسلح شده با ژئوگرید در زیر کوله ۱۰۵

شکل ۴-۳۲ . تغییر مکان جانبی زیرکوله پل مسلح شده با ژئوگرید،

H = عمق خاک مسلح شده با ژئوگرید در زیر کوله ۱۰۶

شکل۴-۳۳ . نقاط مختلف سطح زمین که تغییر مکان در مورد آنها

مورد بررسی قرار گرفته است ۱۰۶

شکل ۴-۳۴ . ماکزیمم نشست قائم در زیر کوله پل مسلح شده با

ژئوگرید با ۳ سختی متفاوت ۱۰۷

شکل ۴-۳۵ .حداکثر تغییر مکان جانبی زیرکوله پل مسلح شده با

ژئوگرید با ۳ سختی متفاوت ۱۰۷

شکل ۴-۳۶. حداکثر نیروهای ایجاد شده در ژئوگرید زیر کوله پل ۱۰۸

شکل ۴-۳۷ . مقایسهٔ حداکثر نشست در زیر کوله پل مسلح شده

با ژئوگرید (EA=500 KN/m) و کوله بنا شده بر روی شمع ۱۰۹

شکل ۴-۳۸. مقایسهٔ حداکثر تغییر مکان جانبی در زیر کوله پل مسلح شده ۱۱۰

مقدمه

در این پایان نامه سعی بر این بوده است تا نشست قائم و تغییرمکان افقی در کوله پل های بنا شده بر روی شمع و کوله های مسلح شده با ژئوگرید در زمین های سست تحت شرایط یکسان مورد بررسی قرار گیرند. منظور از شرایط یکسان ثابت ماندن همهٔ شرایط در دو مدل‌سازی مدنظر می‌باشد و تنها به جای استفاده از شمع‌ها در زیر کوله از ژئوگرید در زیر کوله و خاکریز پشت کوله به عنوان مسلح کننده استفاده شده است. دو روش مذکور از لحاظ اجرایی و اقتصادی تفاوت‌های زیادی با یکدیگر دارند، مقایسهٔ این دو روش به لحاظ اقتصادی و زمان اجرا حائز اهمیت است. در حالت کلی اجرای ژئوگرید نسبت به شمع سریع تر و کم هزینه‌تر می‌باشد، لذا اگر در شرایط یکسان با تغییر در پارامترهای ژئوگرید زیر کولهٔ پل نظیر عمق خاک مسلح شده با ژئوگرید، طول و سختی نرمال ژئوگرید بتوان نشست و تغییرمکان جانبی کمتری نسبت به کولهٔ بنا شده بر روی شمع بدست آورد می‌توان استفاده از حالت بهینهٔ ژئوگرید در زیر کوله پل را به عنوان روشی اقتصادی‌تر با عملکرد بهتر