به نام خداوند جان آفرین
حکیم سخن در زبان آفرین

دانشکده مهندسی - گروه مهندسی عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - گرایش مکانیک خاک و مهندسی پی

محاسبه نشست پی‌های حلقوی بر روی خاک دانه‌ای

استاد راهنما
دکتر سید احسان سیدی حسینی نیا

استاد مشاور
دکتر عباس کرم الدین

ارائه دهنده
مجتبی ناصری

بهمن ۱۳۹۱

بسمه تعالی

دانشگاه فردوسی مشهد

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان نامه آقای **مجتبی ناصری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش **مکانیک خاک و مهندسی پی** در ساعت ۱۰ روز ۱۳۹۱/۱۱/۱۶ در محل کلاس ۲۳۶ دانشکده مهندسی با حضور امضا کنندگان ذیل تشکیل گردید. پس از بررسی های لازم، هیأت داوران پایان نامه نامبرده را با نمره به عدد **۱۹**، به حروف **نوزده** و با درجه **عالی** مورد تأیید قرار دادند.

عنوان رساله

بررسی روش محاسبه نشست پی‌های حلقوی بر روی خاک دانه‌ای

هیئت داوران امضا

- **داور و نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر جعفر بلوری بزاز**

  دانشیار گروه عمران دانشگاه فردوسی مشهد

- **استاد راهنما: دکتر سید احسان سیدی حسینی‌نیا**

  استادیار گروه عمران دانشگاه فردوسی مشهد

- **استاد مشاور: دکتر عباس کرم الدین**

  استادیار گروه عمران دانشگاه فردوسی مشهد

- **مدیر گروه: دکتر منصور قلعه نوی**

  استادیار گروه عمران دانشگاه فردوسی مشهد

اظهارنامه

اینجانب **مجتبی ناصری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران- گرایش مکانیک خاک و مهندسی پی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده پایان نامه **بررسی روش محاسبه نشست نشست پی‌های حلقوی بر روی خاک دانه‌ای** تحت راهنمایی **دکتر سید احسان سیدی حسینی‌نیا** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه فردوسی مشهد » و یا « Ferdowsi University of Mashhad » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در رساله/پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تقدیم به:

مادر مهربان و عزیزتر از جانم

چکیده

امروزه با پیشرفت علم و تکنولوژی از جمله مهندسی عمران و ساخت سازه‌های مختلف در تمام نقاط زمین، نیاز بیشتری به شناخت رفتار زمین در اثر احداث سازه‌ها احساس می‌شود. از این رو شاخه‌ای از مهندسی عمران که به بررسی رفتار زمین تحت بارگذاری و شرایط مختلف می‌پردازد، با نام مهندسی ژئوتکنیک به وجود آمده است. سازه‌ای که مستقیماً بر روی خاک (زمین) قرار گرفته و بار سازه اصلی را به زمین منتقل می‌کند پی نامیده می‌شود. پی‌ها انواع مختلفی از نظر شکل، نوع مصالح و کاربرد دارند. در طراحی پی‌ها دو فاکتور نشست و ظرفیت باربری نقش مهمی ایفا می‌کنند. نشست نیز به دو نوع کلی نشست تحکیمی و نشست آنی تقسیم بندی می‌شود. یکی از انواع پی‌هایی که برای ساخت سازه‌های استوانه‌ای شکل مانند سیلوها، مخازن نفت و آب استفاده می‌شود، پی حلقوی بوده که در صورت امکان به دلیل ملاحظات اقتصادی، جایگزین پی دایره‌ای می‌شود. این‌گونه سازه‌ها معمولاً از اهمیت بالایی برخوردار بوده و نشست خاک زیر آن‌ها می‌تواند اثرات مخربی بر جای بگذارد. در این پژوهش نشست پی‌های حلقوی بر روی خاک‌های دانه‌ای بررسی شده است. نشست پی بر روی این خاک‌ها از نوع نشست کشسان یا آنی می‌باشد. برای به دست آوردن رابطه‌ی نشست کشسان پی حلقوی از مدل سازی در نرم افزار Flac 2D که بر مبنای روش تفاضل محدود کار می‌کند، استفاده شده و برای کنترل این نتایج از نظریه کشسانی و روش‌های معتبر موجود در ادبیات مهندسی شامل روابط بوسینسک و جداول Ahlvin و Ulery کمک گرفته می‌شود. برای در نظر گرفتن حالت‌های کلی‌تری از نشست، سه ضریب تأثیر شامل ضریب تأثیر عمق مدفون، صلبیت پی و اثر خاک مدل گیبسون (خاکی که مدول کشسانی آن با افزایش عمق به طور خطی تغییر می‌کند) در نظر گرفته شده و روابطی مناسب برای محاسبه آن‌ها ارائه می‌شود. از آنجا که نزدیک‌ترین شکل به حلقه، دایره است، از روش و روابط ارائه شده توسط Mayne و Poulos در سال ۱۹۹۹ استفاده شده است. در نهایت رابطه‌ای برای نشست کشسان پی‌های حلقوی بر روی خاک دانه‌ای به همراه ضرایب تأثیر مناسب آن ارائه شده است.

کلمات کلیدی: نظریه کشسانی، خاک دانه‌ای، نشست کشسان، پی حلقوی، نرم افزار Flac 2D

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ زمینه تحقیق ۱

۱-۳ ضرورت و هدف انجام پژوهش ۲

۱-۴ فرضیات و شیوه تحقیق ۳

۱-۵ محدودیت‌ها ۴

۱-۶ ساختار پایان نامه ۴

۱-۷- خلاصه و جمع بندی ۵

فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته

۲-۱ مقدمه ۷

۲-۲- انواع پی ۷

۲-۳ اهمیت بررسی نشست ۱۰

۲-۴ نشست پی و روش‌های محاسبه آن ۱۵

۲-۴-۱ حالات مختلف نشست پی ۱۵

۲-۴-۲ نشست آنی ۱۶

۲-۴-۳ استفاده از نظریه کشسانی ۲۰

۲-۴-۴ روش‌های تجربی ۳۴

۲-۴-۵ مقایسه روش‌ها ۴۲

۲-۵- خلاصه و جمع بندی ۴۶

فصل سوم: روش انجام پژوهش

۳-۱ مقدمه ۴۷

۳-۲ روش انجام کار ۴۸

۳-۳ روش استفاده شده در محاسبه‌ی نشست ۵۱

۳-۳-۱ نشست کشسان پی دایره‌ای ۵۱

۳-۳-۱-۱ توزیع تنش در خاک زیر پی دایره‌ای ۵۲

۳-۳-۱-۲ تغییرشکل خاک زیر پی دایره‌ای ۵۷

۳-۳-۲ نشست کشسان پی حلقوی ۵۸

۳-۳-۲-۱ توزیع تنش و تغییر مکان قائم در خاک زیر پی حلقوی ۵۹

۳-۴ روش انجام محاسبات در نرم افزار Microsoft Excel ۵۹

۳-۴-۱ محاسبات نشست کشسان پی دایره‌ای ۶۰

۳-۴-۲ محاسبات نشست کشسان پی حلقوی ۶۲

۳-۵ اصول روش تفاضل محدود (FDM) ۶۴

۳-۵-۱ روابط روش تفاضل محدود ۶۵

۳-۵-۱-۱ روش تفاضل پیش رو ۶۵

۳-۵-۱-۲ روش تفاضل پس رو ۶۶

۳-۵-۱-۳ روش تفاضل مرکزی ۶۷

۳-۶ محاسبات عددی در نرم افزار Flac 2D ۶۹
۳-۶-۱ مدل سازی پی سطحی انعطاف‌پذیر بر روی خاک همگن ۷۰
۳-۶-۲ مدل سازی پی سطحی صلب و نیمه صلب بر روی خاک همگن ۷۷
۳-۶-۳ مدل‌سازی پی انعطاف پذیر قرار گرفته در عمق خاک ۸۱
۳-۶-۴ مدل سازی پی سطحی انعطاف پذیر بر روی خاک مدل گیبسون ۸۳
۳-۷ کنترل نتایج مدل‌سازی نرم افزار Flac 2D ۸۶
۳-۷-۱ کنترل نتایج توزیع تنش و نشست کشسان پی دایره‌ای در نرم افزار Flac 2D ۸۷
۳-۷-۲ کنترل تحلیل کد نوشته شده برای پی حلقوی در نرم افزار Flac 2D ۹۱
۳-۸ خلاصه و جمع بندی ۹۲

فصل چهارم: ارائه و بررسی نتایج

۴-۱ مقدمه ۹۴
۴-۲ نتایج تغییرات نشست کشسان پی حلقوی ۹۴
۴-۳ تعیین رابطه‌ی نشست کشسان پی حلقوی و ضرایب تأثیر مورد نیاز ۹۶
۴-۳-۱ ضریب تبدیل نشست کشسان پی دایره‌ای به نشست کشسان پی حلقوی ۹۶
۴-۵-۲ ضریب تأثیر صلبیت پی حلقوی ۱۰۰
۴-۵-۳ ضریب تأثیر عمق مدفون پی ۱۰۴
۴-۵-۴ ضریب تأثیر مدل گیبسون ۱۰۸
۴-۶ خطاسنجی روابط با استفاده از مثال‌های عددی ۱۱۱
۴-۷ خلاصه و جمع‌بندی ۱۱۳

فصل پنجم: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادها

۵-۱ مقدمه ۱۱۵

۵-۲ نتیجه گیری ۱۱۵

۵-۳ ارائه پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی ۱۱۷

۵-۴ خلاصه و جمع بندی ۱۱۸

مـنـــابـع ۱۱۹

فهرست اشکال

شکل ۲-۱ نمایی از یک پی سطحی..... ۸

شکل ۲-۲ انواع پی‌های سطحی..... ۹

شکل ۲-۳ پی حلقوی در حال ساخت..... ۹

شکل ۲-۴ زمان‌بندی ساخت برج پیزا [۳]..... ۱۱

شکل ۲-۵ وضعیت لایه‌های خاک زیر برج پیزا [۳]..... ۱۲

شکل ۲-۶ تغییرشکل پوسته مخزن استوانه‌ای فلزی تحت اثر نشست غیر یکنواخت قائم پی [۴]..... ۱۳

شکل ۲-۷ اثر کج شدگی بر روی یک مخزن فولادی نفت..... ۱۴

شکل ۲-۸ توزیع فشار زیر پی تحت اثر بار قائم..... ۱۶

شکل ۲-۹ رفتار نشست پی روی دو نوع ماسه شل و متراکم [۵]..... ۱۷

شکل ۲-۱۰ نشست در برابر فشار اعمالی برای پی‌های مربعی [۶]..... ۱۸

شکل ۲-۱۱ ابعاد نمونه‌ی پی‌های دایره‌ای و حلقوی..... ۱۹

شکل ۲-۱۲ نمودار بارگذاری قائم در برابر نشست قائم: الف- پی حلقوی؛ ب- پی کامل..... ۱۹

شکل ۲-۱۳- تنش‌ها و نشست‌ها تحت اثر یک بار نقطه‌ای [۵]..... ۲۱

شکل ۲-۱۴ فاکتورهای تأثیر برای تنش و نشست زیر مرکز یک پی دایره‌ای [۵]..... ۲۲

شکل ۲-۱۵ فاکتور تأثیر برای تنش و نشست زیر مرکز یک پی مستطیل [۵]..... ۲۳

شکل ۲-۱۶ تعریف مسئله جهت تخمین نشست پی با هندسه دلخواه..... ۲۴

شکل ۲-۱۷ نمای شماتیک تأثیر عمق مدفون در نشست پی..... ۲۶

شکل ۲-۱۸پی نمونه یک سازه [۹]..... ۲۸

شکل ۲-۱۹ نمای یک پی روی خاک قابل تراکم به همراه نمودار افزایش مدول کشسانی به ازای افزایش عمق..... ۲۹

شکل ۲-۲۰ نمودار فاکتور تأثیر صلبیت پی به ازای ضریب سختی نسبی خاک و پی [۱۰]..... ۳۱

شکل ۲-۲۱ نمودار ضریب تأثیر عمق مدفون پی به ازای افزایش عمق مدفون نرمال شده [۱۰]..... ۳۲

شکل ۲-۲۲ نمودار ضریب تأثیر عمق مدفون پی به ازای افزایش عمق مدفون نرمال شده [۱۰]..... ۳۳
شکل ۲-۲۳ نمودار ضریب تاثیرکرنش در مقابل نسبت عمق به عرض پی..... ۳۷
شکل ۲-۲۴ پی مربعی روی خاک ماسه‌ای [۱۸]..... ۳۸
شکل ۲-۲۵ نمودارهای بدست آوردن K_E..... ۴۲
شکل ۲-۲۶ تغییرات نشست به ازای افزایش عمق مدفون برای سه روش ذکر شده..... ۴۳
شکل ۲-۲۷ تغییرات نشست به ازای افزایش قطر پی برای سه روش ذکر شده..... ۴۴
شکل ۲-۲۸ تغییرات نشست به ازای افزایش تنش وارد بر پی برای سه روش ذکر شده..... ۴۵
شکل ۳-۱ ویژگی‌های هندسی پی حلقوی..... ۴۸
شکل ۳-۲ توزیع تنش بار نقطه‌ای قائم [۱۹]..... ۵۳
شکل ۳-۳ توزیع تنش در مرکز بار یکنواخت دایره‌ای [۱۹]..... ۵۴
شکل ۳-۴ توزیع تنش قائم در خاک همگن زیر یک پی دایره‌ای [۱۹]..... ۵۷
شکل ۳-۵ مشخصات خاک و پی مورد بررسی در محاسبات..... ۶۰
شکل ۳-۶ روش تفاضل پیش رو [۲۴]..... ۶۶
شکل ۳-۷ روش تفاضل پس رو [۲۴]..... ۶۷
شکل ۳-۸ روش تفاضل مرکزی [۲۴]..... ۶۸
شکل ۳-۹ روش تفاضل مرکزی با دقت بیشتر [۲۴]..... ۶۸
شکل ۳-۱۰ کد مربوط به پی دایره‌ای سطحی انعطاف پذیر روی خاک با v=0.2..... ۷۱
شکل ۳-۱۱ نمایی از مدل پی دایره‌ای سطحی انعطاف پذیر بر روی خاک همگن در نرم افزار Flac 2D..... ۷۳
شکل ۳-۱۲ توزیع تنش قائم در خاک همگن زیر یک پی دایره‌ای در مختصات استوانه‌ای..... ۷۴
شکل ۳-۱۳ کد مربوط به پی حلقوی (n=0.6) سطحی انعطاف پذیر روی خاک با v=0.2..... ۷۵
شکل ۳-۱۴ نمایی از مدل پی حلقوی سطحی انعطاف پذیر با فاکتور n=0.6 بر روی خاک همگن در Flac 2D..... ۷۶
شکل ۳-۱۵ توزیع تنش قائم در خاک همگن زیر یک پی حلقوی با فاکتور n=0.6 در مختصات استوانه‌ای..... ۷۷

شکل ۳-۱۶ کد مربوط به پی حلقوی (n=0.6) سطحی نیمه صلب با K_F=1 روی خاک با ν=0.2 ..... ۷۹
شکل ۳-۱۷ نمایی از مدل پی حلقوی سطحی نیمه صلب با فاکتور حلقه n=0.6 و فاکتور صلبیت K_F=1 بر روی خاک همگن در نرم افزار Flac 2D ۸۰
شکل ۳-۱۸ کد مربوط به پی حلقوی (n=0.6) انعطاف پذیر در عمق z=2 m خاک با ν=0.2 ..... ۸۲
شکل ۳-۱۹ نمایی از مدل پی حلقوی انعطاف پذیر با فاکتور n=0.6 در عمق D_F=2 m خاک همگن با ν=0.2 ..... ۸۳
شکل ۳-۲۰ کد مربوط اختصاص مدل گیبسون به خاک ۸۴
شکل ۳-۲۱ کد پی حلقوی سطحی انعطاف پذیر با فاکتور n=0.6 بر روی خاک مدل گیبسون با K_E=500 Pa ۸۵
شکل ۳-۲۲ نمایی کلی از مدل پی حلقوی سطحی انعطاف پذیر با فاکتور n=0.6 بر روی خاک با مدل گیبسون با K_E=500 Pa ۸۶
شکل ۳-۲۳ مقایسه توزیع تنش قائم و جانبی در مرکز دایره با استفاده از نتایج نرم افزار Flac 2D و Excel ۸۸
شکل ۳-۲۴ مقایسه تغییرات کرنش قائم در مرکز دایره به ازای افزایش عمق با استفاده از نتایج نرم افزار Flac 2D و Excel ۸۹
شکل ۳-۲۵مقایسه تغییرات توزیع تنش و کرنش قائم در فواصل مختلف از مرکز دایره به ازای افزایش عمق با نتایج نرم افزار Flac 2D و محاسبات نرم افزار Excel ۹۱
شکل ۴-۱ مقایسه تغییرات نشست کشسان در فواصل مختلف از محور مرکزی حلقه برای دایره و حلقه با فاکتورهای مختلف ۹۵
شکل ۴-۲ تغییرات نسبت نشست حداکثر حلقه به نشست حداکثر دایره با افزایش فاکتور n حلقه در نسبت پواسون‌های مختلف ۹۸
شکل ۴-۳ تغییرات ضرایب a_1 و b_1 به ازای نسبت‌های پواسون مختلف خاک ۹۹
شکل ۴-۴ تغییرات فاکتور تأثیر صلبیت I_F به ازای تغییرات K_F برای فاکتورهای مختلف حلقه ۱۰۲
شکل ۴-۵ تغییرات ضرایب a_2، b_2 و c_2 به ازای فاکتور حلقه n برای نسبت‌های پواسون مختلف ۱۰۳

شکل ۴-۶ تغییرات ضریب تأثیر عمق مدفون I_E با افزایش نسبت عمق مدفون به شعاع خارجی پی حلقوی برای n های مختلف ۱۰۵
شکل ۴-۷ تغییرات ضریب تأثیر عمق مدفون با افزایش نسبت عمق مدفون به شعاع خارجی پی حلقوی برای مقادیر مختلف فاکتور حلقه برای نسبت پواسون $\nu=0.2$ ۱۰۶
شکل ۴-۸ تغییرات ضرایب a_3، b_3، c_3 و d_3 به ازای فاکتور حلقه n برای نسبت‌های پواسون مختلف ۱۰۷
شکل ۴-۹ تغییرات ضریب تأثیر مدل گیبسون با افزایش ضریب گیبسون β پی حلقوی برای n های مختلف ۱۰۹
شکل ۴-۱۰ تغییرات ضریب تأثیر مدل گیبسون با افزایش ضریب گیبسون β حلقه با فاکتور $n=0.5$ برای دو نسبت پواسون مختلف ۱۱۰
شکل ۴-۱۱ تغییرات ضرایب a_4 و b_4 به ازای فاکتور حلقه n ۱۱۱

فهرست جداول

جدول ۲-۱ تغییرات فاکتور تأثیر I_s برای $\nu=0.15$ ۴۱

جدول ۳-۱ قسمتی از جدول مورد نیاز برای به دست آوردن ضریب A ۵۵

جدول ۳-۲ قسمتی از صفحه‌ی گسترده نوشته شده در نرم افزار Ms Excel ۶۱

جدول ۳-۳ مقادیر تنش پی‌های استفاده شده برای فاکتورهای مختلف حلقه n ۶۳

جدول ۳-۴ صفحه گسترده‌ی محاسبات پی حلقوی با استفاده از جداول Ahlvin و Ulery ۶۴

جدول ۳-۵ مقادیر K_F برای E_F های مختلف ۸۱

جدول ۳-۶ مقایسه مقادیر نشست کشسان مرکز دایره در Flac 2D و Excel ۸۸

جدول ۳-۷ مقایسه مقادیر نشست پی حلقوی با $n=0.6$ در Flac 2D و Excel ۹۲

جدول ۴-۱ نسبت نشست حداکثر حلقه به دایره برای $\nu=0.2$ ۹۷

جدول ۴-۲ نسبت نشست حداکثر حلقه به دایره برای $\nu=0.4$ ۹۷

جدول ۴-۳ ضرایب رابطه نسبت نشست حداکثر حلقه به نشست حداکثر دایره ۹۸

جدول ۴-۴ ضرایب رابطه‌ی (۴-۲۴) برای فاکتورهای مختلف n ۱۰۱

جدول ۴-۵ ضرایب رابطه‌ی (۴-۱۶) برای فاکتورهای مختلف n ۱۰۶

جدول ۴-۶ ضرایب رابطه‌ی (۴-۲۱) برای فاکتورهای مختلف n ۱۱۰

۱

فصل اول
کلیات

۱-۱ مقدمه

انسان از گذشته‌های دور تاکنون به فکر تغییر در محیط اطراف خود برای بهبود زندگی و دوری از خطرات طبیعی بوده و برای رسیدن به این هدف قوانین طبیعت را به خدمت گرفته است. مهیا کردن سرپناه برای زندگی، سهولت در رفت و آمد و تأمین آب سالم مورد نیاز از جمله چالش‌های مهم بشر بوده و خواهد بود. بدین منظور بشر به فکر ساختن سازه‌هایی برای حل این مشکلات افتاد و با گذشت زمان روش‌های مختلفی برای این مهم ابداع نموده و علم مهندسی را به وجود آورد.

یکی از فنون به وجود آمده برای بهبود زندگی بشر، به شکل مهندسی عمران در علم نوین ظهور نموده است. این علم شاخه‌های زیادی از جمله ساختمان، پل، راه، سد و کانال‌ها را پوشش می‌دهد. وجه مشترک شاخه‌های گوناگون این علم، بنا شدن تمامی سازه‌ها بر روی زمین می‌باشد. برای انتقال باز سازه‌ی اصلی به زمین از سازه‌ای به نام پی یا شالوده استفاده می‌شود. اگر پی سازه دچار مشکل شده و کارایی خود را از دست بدهد، عملکرد کل سازه تحت تأثیر قرار گرفته و حتی ممکن است سازه از بین برود. از این رو بررسی رفتار خاک و سنگ و همچنین اثر متقابل زمین و سازه از مسائل مهم مهندسی به شمار می‌رود.

شاخه‌ای از مهندسی عمران که مباحث مربوط به شناخت خاک و زمین و علم استفاده از زمین به عنوان بستر سازه‌های مورد نیاز را بررسی می‌کند، مهندسی ژئوتکنیک نامیده می‌شود. مهندسی ژئوتکنیک به بررسی ویژگی‌های خاک پرداخته و رفتار آن را برای ساخت سازه‌های مختلف پیش‌بینی می‌کند و در صورت لزوم راهکارهایی برای بهبود شرایط و به وجود آوردن امکان ساخت سازه‌ی مورد نظر ارائه می‌دهد.

۱-۲ زمینه تحقیق

سازه‌ای رابط که بار سازه‌ی اصلی را به زمین انتقال می‌دهد پی یا شالوده نام دارد. از آنجایی که بیشتر سطح قابل سکونت

زمین با خاک پوشیده شده است، پی‌ها در بیشتر موارد مستقیماً بر روی زمین خاکی ساخته می‌شوند که به آن پی سطحی می‌گویند. از جمله مسائل مهمی که در سازه‌های گوناگون مدنظر است تغییر مکان قائم سازه روی خاک یا نشست می‌باشد. عامل مهم دیگر، ظرفیت باربری خاک زیر پی سازه است که مقدار بار مجاز وارد شده بر خاک را تعیین می‌کند.

پی‌ها از نظر شکل، مصالح و کاربرد با هم متفاوت بوده و روابط محاسبه‌ی نشست و ظرفیت باربری، برای اشکال مختلف پی متفاوت می‌باشند. همچنین با توجه به نوع خاک، نشست انواع مختلفی دارد. معمولاً شکل پی را سازه‌ای که باید بر روی آن ساخته شود تعیین می‌کند. برای مثال سازه‌های مستطیلی مانند ساختمان‌ها پی‌های مستطیلی و سازه‌هایی با مقطع دایره مانند مخازن نگهداری مایعات، پی با شکل دایره خواهند داشت. با توجه به اهمیت و گسترده بودن موضوعات مهندسی، تمامی علوم به زیرشاخه‌هایی تقسیم می‌شوند تا بتوان در آن زمینه‌ی به خصوص به نتایج مطلوب دست یافت.

یکی از شکل‌های معمول پی که برای سازه‌های استوانه‌ای شکل از جمله مخازن آب یا نفت و سیلوهای انبار مواد غذایی استفاده می‌شود پی دایره‌ای می‌باشد. دانشمندان بسیاری بر روی ویژگی‌های پی دایره‌ای و خاک تحت بارگذاری آن تحقیق کرده‌اند و روابط نشست و ظرفیت باربری آن را بر روی خاک‌های مختلف بررسی نموده‌اند. شکل دیگری از پی که امروزه برای سازه‌هایی با مقطع استوانه مانند مخازن آب، نفت و سیلوها استفاده می‌شود، پی‌های حلقوی می‌باشند. با توجه به تعداد زیاد این سازه‌ها در مناطق مورد استفاده و همچنین زیاد بودن قطر آن‌ها، استفاده از پی‌های حلقوی به جای پی دایره‌ای باعث صرفه جویی در بتن و میل‌گرد مورد استفاده در ساخت پی شده و از نظر اقتصادی مناسب‌تر است. در این پژوهش مبحث نشست پی‌های حلقوی و روش به دست آوردن آن بر روی خاک ماسه‌ای بررسی می‌شود.

۱-۳ ضرورت و هدف انجام پژوهش

همان‌طور که گفته شد برای سازه‌های استوانه‌ای می‌توان از پی‌هایی با شکل حلقه استفاده کرد. امروزه استفاده از این نوع پی رواج بیشتری پیدا کرده است. سازه‌های استوانه‌ای شامل مخازن آب، نفت و سیلوهای ذخیره‌ی مواد پودری مانند سیمان و مواد غذایی مانند گندم، معمولاً سازه‌هایی مهم به شمار می‌روند. از این رو حفظ پایداری سازه در بهره برداری آن تأثیر خواهد داشت. استفاده از پی حلقوی به دلیل استفاده از بتن و فولاد کمتر نسبت به پی دایره‌ای بیشتر از جنبه‌ی اقتصادی مورد توجه است. از این رو لازم است مقدار نشست این نوع پی تعیین شده و برای طراحی در نظر گرفته شود.

یکی از مواردی که می‌تواند پایداری سازه را از بین برده و بهره برداری را مختل کند نشست سازه می‌باشد. معمولاً برای

سازه‌های استوانه‌ای شکل، آیین‌نامه‌های موجود حدودی را برای نشست مجاز سازه پیشنهاد نموده‌اند و طراحی پی این سازه‌ها باید طوری انجام شود که نشست به وجود آمده در هنگام بهره برداری از این حدود تجاوز نکند. در میان سازه‌های استوانه‌ای شکل، مخازن نفت از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشند. همچنین پی‌های حلقوی بیشتر برای این نوع مخازن ساخته می‌شوند. از آنجا که مخازن نفت اکثراً فولادی بوده و دارای تأسیسات جانبی زیادی می‌باشند، دانستن مقدار و نوع نشست خاک زیر پی آن‌ها برای حفظ شرایط بهره برداری، کاملاً ضروری به نظر می‌رسد.

در ایران مخازن نفت بیشتر در مناطق استخراج نفت ساخته می‌شوند و این مناطق عموماً در نزدیک سواحل دریا قرار دارند. خاک‌های ساحلی بیشتر از جنس ماسه بوده و محاسبه‌ی نشست پی این مخازن نیازمند مطالعه‌ی رفتار خاک ماسه‌ای تحت بارگذاری می‌باشد. از آنجا که در ادبیات مهندسی روشی ساده و کاربردی برای شرایط مختلف پی‌های حلقوی وجود ندارد، در این پژوهش سعی شده است که رابطه‌ای برای محاسبه‌ی نشست پی‌های حلقوی بر روی خاک ماسه‌ای استخراج و ارائه شود.

۱-۴ فرضیات و شیوه تحقیق

خاک مورد بررسی در این پژوهش از نوع دانه‌ای و غیر چسبنده (مانند شن و ماسه) می‌باشد و برای بررسی این خاک تحت بارگذاری حلقوی شکل از روش‌های عددی استفاده می‌شود. برای امکان بررسی نشست خاک با روش‌های عددی، فرض می‌شود که خاک کاملاً همگن بوده و از یک نوع ماسه تشکیل شده باشد. همچنین فرض می‌شود که بارگذاری کاملاً قائم و استاتیک بوده و در تمام مساحت پی پخش شود. بنابراین پی تغییر مکان جانبی نداشته و فقط نشست آنی قائم آن بررسی می‌شود.

خاک‌های درشت دانه غیر چسبنده (دانه‌ای) همانند سایر خاک‌ها دارای دو نوع نشست شامل نشست تحکیمی و نشست آنی می‌باشند. نشست آنی بلافاصله پس از بارگذاری و نشست تحکیمی در طول زمان و با خروج آب از حفرات خاک رخ می‌دهد. از آنجا که مقدار نشست آنی برای خاک‌های درشت‌دانه بسیار قابل توجه‌تر از نشست تحکیمی است، در این پژوهش تنها نشست آنی خاک ماسه‌ای در نظر گرفته شده است. همچنین فرض می‌شود که خاک ماسه‌ای رفتاری کاملاً کشسان داشته باشد. بنابراین بررسی رفتار خاک تا محدوده‌ی کشسان محیط انجام می‌شود و از رفتار خاک در محدوده‌ی خمیری صرف نظر شده است.

به منظور بررسی نشست آنی پی‌های حلقوی بر روی خاک ماسه‌ای از نظریه‌ی کشسانی موجود در ادبیات مهندسی استفاده شده است. برای انجام محاسبات تکراری و طولانی از صفحه گسترده در نرم افزار Excel استفاده می‌شود. روش عددی انتخاب شده در این پژوهش روش تفاضل محدود می‌باشد و برای استفاده از این روش عددی، نرم افزار Flac 2D انتخاب شده است. این نرم افزار قابلیت مدل کردن حالت‌های مختلف خاک و پی را دارا بوده و نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد.

۱-۵ محدودیت‌ها

در قسمت گذشته فرضیات استفاده شده در بررسی نشست آنی پی حلقوی بر روی خاک ماسه‌ای به اختصار بیان شد. با توجه به این فرضیات و مواردی که در فصل‌های آینده بررسی و ارائه می‌شود، از نظر ویژگی‌های مصالح و ابعاد پی می‌توان نشست آنی یک پی حلقوی را در حالت انعطاف پذیر کامل، صلب کامل و نیمه صلب محاسبه کرد. محدودیت‌های این روش مانند اکثر روش‌های معمول محاسبه‌ی نشست آنی می‌باشد.

در این پژوهش تأثیر عمق مدفون پی، یعنی عمقی از زمین که پی در آنجا ساخته می‌شود و صلبیت نسبی پی و خاک در نظر گرفته شده است. در مورد شرایط بارگذاری، تنها حالت بارگذاری کاملاً قائم و استاتیک در نظر گرفته شده است و استفاده از این روش برای بارگذاری‌های دینامیکی یا جانبی امکان پذیر نمی‌باشد.

بیشتر محدودیت‌های موجود در استفاده از روابط ارائه شده در این پژوهش مربوط به شرایط خاک می‌باشد. به طور کلی این روابط برای خاکی قابل استفاده است که بتوان پارامترهای نظریه‌ی کشسانی را برای آن بدست آورد. همچنین خاک‌های غیر همگن با لایه‌بندی از محدودیت‌های این روش محسوب می‌شوند، مگر اینکه پارامترهای کشسانی به صورت معادل برای این محیط‌ها بدست آورده شود. البته در پژوهش حاضر، حالتی نیز در نظر گرفته شده است که در آن سختی محیط خاک همگن با افزایش عمق، افزایش می‌یابد.

۱-۶ ساختار پایان نامه

این پایان نامه دارای پنج فصل می‌باشد که در ادامه خلاصه‌ای از آن‌ها آورده شده است.

عنوان فصل دوم این پایان نامه، مروری بر تحقیقات گذشته می‌باشد. در این فصل ابتدا انواع پی‌ها از نظر شکل، جنس مصالح و کاربرد آن‌ها بررسی می‌شوند. سپس نشست خاک تعریف شده و اهمیت بررسی نشست و خطراتی که انواع نشست

برای سازه‌ها می‌تواند ایجاد کند با دو مثال نمونه بیان می‌شود. در ادامه‌ی این فصل، تعدادی از روش‌های محاسبه‌ی نشست آنی در دو دسته‌ی روش‌های نظری و روش‌های نیمه تجربی بررسی و ارائه می‌شود.

فصل سوم این پایان نامه به بیان روش انجام پژوهش اختصاص یافته است. در این فصل ابتدا نظریه‌ی کشسانی که مبنای محاسبه‌ی نشست آنی می‌باشد همراه با روابط آن برای پی دایره‌ای ارائه شده و سپس برای پی حلقوی تعمیم می‌یابد. در ادامه روند انجام محاسبات در نرم‌افزار Excel تشریح خواهد شد. سپس اصول روش تفاضل محدود همراه با روابط آن آورده می‌شود. در انتها نرم افزار Flac 2D مختصراً معرفی شده و روش مدل‌سازی و فرضیات و ورودی‌های در نظر گرفته شده به طور کامل معرفی می‌شود. در انتها نتایج تحلیل مدل‌سازی‌های انجام شده در نرم افزار Flac 2D با استفاده از محاسبات در نرم افزار Excel کنترل و خطا سنجی می‌شود.

فصل چهارم این پایان نامه در مورد ارائه و بررسی نتایج می‌باشد. در این فصل برای درک بهتر رفتار حلقه از نظر توزیع تنش و نشست، نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های انجام شده در نرم افزار Flac 2D و برخی از محاسبات انجام شده در نرم افزار Excel، ارائه می‌شود. در ادامه با استفاده از خروجی‌های نرم افزار Flac 2D، رابطه‌ی برای نشست کشسان پی حلقوی به همراه ضرایب تأثیر آن معرفی می‌شود. روند به دست آوردن این روابط همراه با نمودارهای استفاده شده به طور کامل در این فصل ارائه شده است. در انتها مقدار خطای روابط ارائه شده در قالب مثال‌هایی که با نرم افزار Flac 2D حل شده‌اند، محاسبه خواهد شد.

فصل پنجم این پایان نامه به نتیجه گیری و ارائه پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی اختصاص یافته است. در این فصل کلیه روابط به دست آورده شده به صورت یکجا ارائه شده و روش استفاده از آن‌ها توضیح داده می‌شود. سپس به منظور ادامه این پژوهش در زمینه حاضر در آینده، پیشنهادهایی ارائه شده است.

۱-۷- خلاصه و جمع بندی

پی از سازه‌های مهم در مهندسی ژئوتکنیک به شمار رفته و بار سازه اصلی را به زمین (خاک یا سنگ) انتقال می‌دهد. نشست یکی از پارامترهای مهم در طراحی پی‌ها و حفظ کارایی سازه‌ها بوده و برای خاک‌های دانه‌ای از نوع آنی یا کشسان می‌باشد. در این پژوهش نشست کشسان پی‌های حلقوی شکل بر روی خاک دانه‌ای بررسی شده و رابطه‌ای برای آن ارائه شده است. برای این منظور از مدل سازی در نرم افزار Flac 2D که بر پایه روش عددی تفاضل محدود عمل می‌کند،