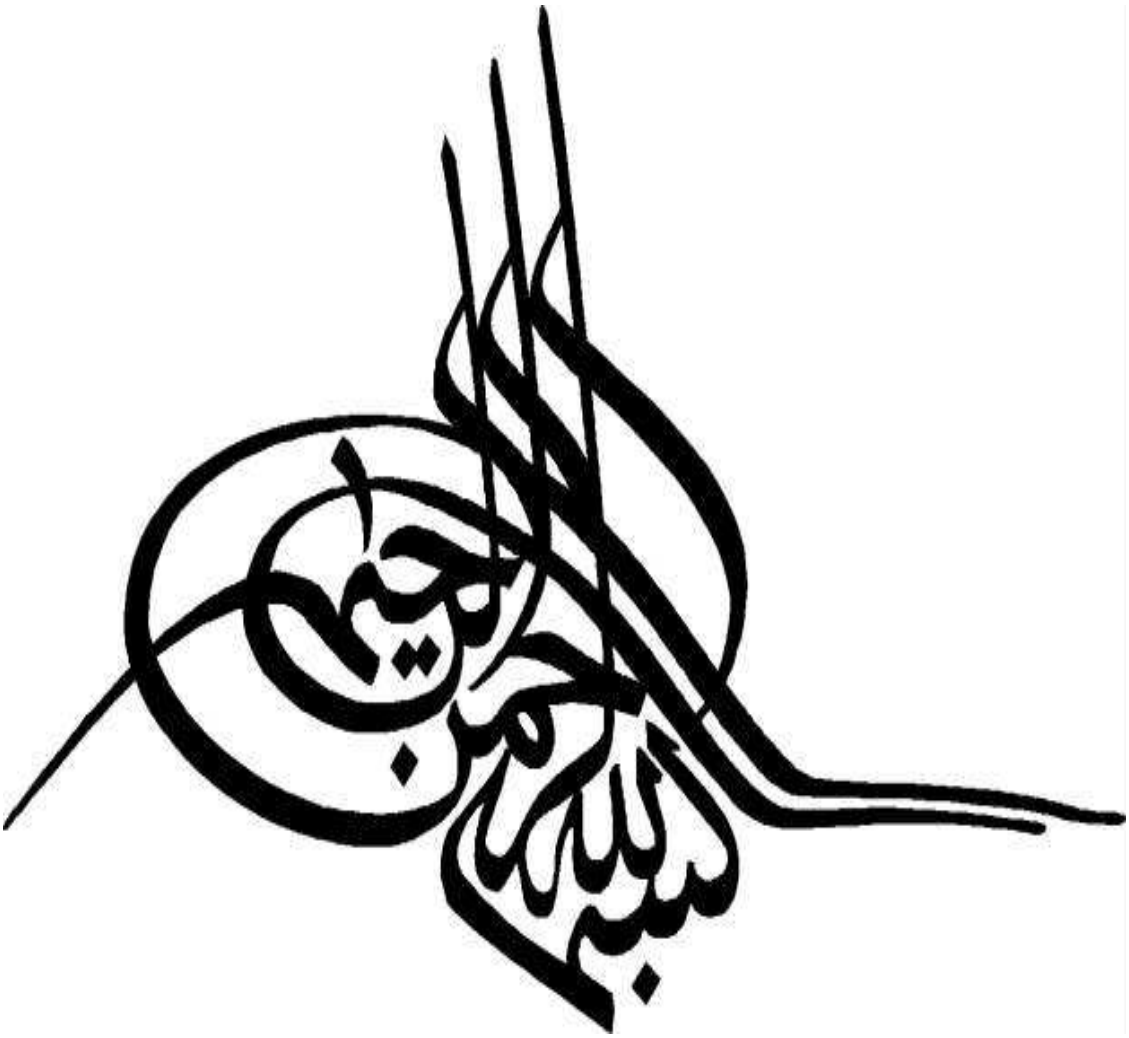
بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم ، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی مدل های رفتاری خاک برای پیش بینی نشست پی با استفاده از نرم افزار المان محدود

استاد راهنما:

آقای دکتر ناصر عرفاتی

دانشجو:

اکبر سعادتی

۱۳۹۰

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

این دو اسوه محبت ، ایثار و از خودگذشتگی

با تشکر فراوان از زحمات و راهنمائیهای ارزشمند استاد گرانقدر

جناب آقای دکتر ناصر عرفاتی

و دیگر عزیزانی که در این راه کمک حالم بودند.

چکیده

مطالعات ژئوتکنیکی مربوط به پی سازی و طراحی پی بر مبنای دو بخش اصلی است یکی تعیین مشخصات خاک و شناسایی آن در صحرا وآزمایشگاه و دیگری انتخاب مدل مناسب پی و شالوده بر مبنای داده های به دست آمده می باشد. تعیین نشست پی از موضوعاتی است که از گذشته در کتاب ها و مقالات متعددی به آن اشاره شده است. در این تحقیق مسئله تعیین نشست پی های گسترده تحت بارگذاری استاتیکی می باشد که از مدل های رفتاری خاک از جمله موهر کولمب و مدل خاک سخت شونده استفاده شده است.که این کار با استفاده از یکی از نرم افزارهای المان محدود انجام می شود. همچنین سعی خواهد شدکه رفتار خاک را در محدوده توزیع تنش که بصورت تجربی بدست می آید مورد بررسی قرار دهیم و اندرکنش توده خاک و فونداسیون در نظر گرفته نمی شود. در این تحقیق فرض می شود که پی موجود بر روی خاک فقط در راستای محور عمودی زمین نشست می کند و یا همان حالت کرنش مسطحه وجود دارد و تغییر شکل های جانبی صفر می باشد.

هدف از اجرای این طرح پیش بینی نشست پی خاک با استفاده از نرم افزار و مقایسه آن با داده های آزمایشگاهی موجود و همچنین کنترل آن با ضوابط آیین نامه می باشد. در نهایت هدف از این پایان نامه معرفی کاربرد روش المان محدود در مهندسی پی و ژئوتکنیک می باشد.

نشستهای پی را باید با دقت زیادی برای ساختمانها، پلها، برجها، نیروگاهها و سازه های پرهزینه مشابه محاسبه و برای کاهش آن باید تمهیداتی صورت بگیرد. ولی در سازه هایی از قبیل خاکریزها، سدهای خاکی، سپرکوبی های مهاربندی شده و دیوارهای حائل معمولا از لحاظ نشست حاشیه امن زیادی وجود دارد و نشست کنترل کننده نیست.

با تغییر متغیرهای مختلف از جمله تغییر در پارامترهای مقاومتی خاک و پارامترهای هندسی پی نسبت به بررسی تاثیر این عوامل در مقادیر نشست و ضریب عکس العمل پرداخته و عدد خاصی را برای طراحی فونداسیون در برابر نشست که در نرم افزارهای طراحی لازم می باشد پیشنهاد می کنیم.این پارامترها از قبیل زاویه اصطکاک داخلی خاک، چسبندگی خاک، مدول الاستیسیته خاک، عوامل هندسی از قبیل عرض پی، عمق تاثیر پی، ضخامت پی و همچنین نوع بارگذاری می باشد.

برای بررسی این پارامترها از نرم افزارهای المان محدود که در حالت کلی روش عددی محسوب می شود استفاده می کنیم و با بررسی و اثبات صحت این نرم افزارها تحلیل های پارامتریک را انجام می دهیم که در این تحقیق از نرم افزار ژئوتکنیک Plaxis استفاده شده است که یک نرم افزار کاملا ژئوتکنیکی بوده و توانایی مدل کردن انواع مدل های رفتاری خاک از جمله مدل الاستیک، مدل موهر- کولمب، مدل خاک سخت شونده، مدل خاک نرم شونده، مدل خزشی خاک نرم و همچنین توانایی معرفی مدل جدید از طرف کاربر را دارد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول – مقدمه	۱
۱-۱:مقدمه	۱
۱-۲:شیوه تحقیق و پژوهش	۲
۱-۳:تاریخچه مطالعات نشست	۲
فصل دوم – نشست خاک	۵
۲-۱: رفتار شالوده ها	۵
۲-۲: مشکل نشست	٦
۲-۳: معیارهای نشست سازه	۷
۲-۳-۱: مقدمه	۷
۲-۳-۲: مقادیر مجاز نشست در انواع زمین ها	۷
۲-٤: عوامل مهم در تحلیل های نشست	۹
۲-٤-۱: پروفیل تنش های اعمالی	۱۰
۲-٤-۱-۱: تنش های درجا و ضریب k_0	۱۰
۲-٤-۱-۱: نحوه ایجاد تنش های اولیه در نرم افزار	۱۲
۲-٤-۲: توزیع تنش در زیر پی های سطحی	۱۳
۲-٤-۲-۱: توزیع تنش ناشی از بار نواری در زیر پی های سطحی	۱٤
۲-٤-۲-۱-۱: توزیع تنش در زیر پی های سطحی به علت بار خطی	۱٤
۲-٤-۲-۱-۲: توزیع تنش در زیر پی های سطحی به علت بار نواری	۱٦
۲-٤-۳: ضریب عکس العمل بستر پی	۱۹
۲-٤-۳-۱: مدل های واکنش بستر	۱۹
۲-٤-۳-۱-۱: مدل وینکلر	۱۹
۲-٤-۳-۱-۲: مدل بستر ارتجاعی	۲۲

۲-٤-۳-۲: روش های تعیین ضریب عکس العمل بستر ۲۲
۲-٤-۳-۲-۱: روش تجربی تعیین ضریب عکس العمل بستر ۲٤
۲-٤-۳-۳: تعیین مقدار عددی ضریب الاستیسیته ۲۸
۲-٤-٤: مدل های خاک ۳۰

فصل سوم- مدل های رفتاری خاک و پارامترهای مربوطه ۳۳
۳-۱: مقدمه ۳۳
۳-۲: تاریخچه نظریه خمیری ۳٤
۳-۳: انواع مصالح ۳٤
۳-۳-۱: مصالح کشسان الاستیک ۳۵
۳-۳-۱-۱: الاستیک خطی ۳٦
۳-۳-۲: مصالح کشسان - خمیری ۳۸
۳-٤: نظریه خمیری ۳۹
۳-٤-۱: شرایط تسلیم ماده ۳۹
۳-٤-۲: قانون جریان خمیری ٤۱
۳-٤-۲-۱: نظریه اول: قانون جریان همراه ٤۱
۳-٤-۲-۲: نظریه دوم: قانون جریان ناهمراه ٤۱
۳-٤-۲-۳: شرط سازگاری ٤۲
۳-۵: معادلات عمومی کشسان- خمیری ٤۲
۳-۵-۱: معادلات عمومی کشسان – خمیری در حالت کنترل تنش ٤۳
۳-۵-۲: معادلات عمومی کشسان – خمیری در حالت کنترل کرنش ٤٤
۳-٦: معیارهای گسیختگی(تسلیم) مصالح ٤۵
۳-٦-۱: معیار تسلیم موهر- کولمب ٤۵
۳-٦-۲: معیار تسلیم دراگر- پراگر ٤۷
۳-۷: مدل های رفتاری خاک ٤۸
۳-۷-۱: مدل رفتاری موهر- کولمب ٤۸
۳-۷-۱-۱: فرمول بندی مدل موهر- کولمب ٤۸

۳-۷-۱-۲: پارامترهای اصلی مدل موهر- کولمب ٤٩
۳-۷-۲: مدل خاک سخت شونده ٥٠
۳-۷-۲-۱: رابطه هذلولی برای آزمایش سه محوری زهکشی شده ٥٢
۳-۷-۲-۲: کرنش حجمی پلاستیک در مدل خاک سخت شونده ٥٣
۳-۷-۲-۳: پارامترهای اصلی مدل خاک سخت شونده ٥٥
۳-۷-۲-٤: کلاهک سطح تسلیم مدل خاک سخت شونده ٥٦

فصل چهارم- روش اجزای محدود و معرفی نرم افزار Plaxis ٥٩
٤-۱: مقدمه ٥٩
٤-۲: تاریخچه روش اجزای محدود ٦٠
٤-۳: مفاهیم روش اجزای محدود ٦٠
٤-٤: فرمول بندی اجزاء محدود ٦١
٤-٤-۱: توابع درونیابی ٦١
٤-٤-۲: انتگرالگیری عددی اجزاء خطی و مثلثی ٦٣
٤-٤-۳: مشتقات توابع شکل ٦٥
٤-٤-٤: محاسبات ماتریس سختی المان ٦٦
٤-٥: برنامه اجزای محدود Plaxis ٦٦
٤-٥-۱: برنامه ورودی ٦٦
٤-٥-۱-۱: تحلیل کرنش مسطح و تقارن محوری ٦٧
٤-٥-۱-۲: المان ها ٦٨
٤-٥-۱-۳: مؤلفه های هندسی ٦٨
٤-٥-۱-٤: شرایط مرزی و بارها ٧١
٤-٥-۱-٥: تعیین مشخصات مصالح ٧٢
٤-٥-۱-٦: ایجاد مش بندی ٧٥
٤-٥-۱-۷: شرایط اولیه ٧٥
٤-٥-۲: برنامه محاسبات ٧٧
٤-٥-۲-۱: انواع محاسبات ٧٧

٤-٥-٢-٢: ساخت مرحله ای ۷۸
٤-٥-٢-٣: تغییر توزیع فشار آب ۷۸
٤-٥-٢-٤: فعال کردن یا تغییر بارها ۷۸
٤-٥-٢-٥: کاربرد کرنش حجمی در توده های حجمی ۷۸
٤-٥-٢-٦: اطلاعات خروجی ارائه شده در حین محاسبات ۷۹
٤-٥-٣: زیر برنامه خروجی ۷۹
٤-٥-٣-١: تغییر شکل ها ۸۰
٤-٥-٣-٢: تنش ها ۸۰
٤-٥-٣-٣: مشاهده جدول خروجی ۸۰
٤-٥-٤: زیر برنامه منحنی ها ۸۰

فصل پنجم- تحلیل نتایج نشست پی با استفاده از نرم افزار با توجه به مدل های رفتاری خاک ۸۱
۵-۱: مقدمه ۸۱
۵-۲:انتخاب مدل سیستم و مدلسازی در نرم افزار ۸۲
۵-۲-۱: معتبرسازی نرم افزار المان محدود ۸۳
۵-۳: تاثیر پارامترهای مقاومتی خاک در نشست ۸۵
۵-۳-۱: تاثیر زاویه اصطکاک داخلی خاک ۸۵
۵-۳-۲: تاثیر ضریب پواسون خاک ۸۷
۵-۳-۳: تاثیر ضریب الاستیسیته خاک ۸۸
۵-٤:تاثیر پارامترهای هندسی و نوع بارگذاری با در نظر گرفتن مدل های رفتاری در تعیین نشست ۸۸
۵-٤-۱: تاثیر عرض پی به ازای بارگذاری مختلف ۸۹
۵-٤-۲: تاثیر نوع مدل رفتاری خاک به ازای عرض های مختلف پی ۹۰
۵-٤-۳: تاثیر مدول الاستیسیته با توجه به مدل رفتاری خاک و به ازای عرض های مختلف ۹۱
۵-۵: تعیین ضریب عکس العمل پی با در نظر گرفتن مدل رفتاری خاک ۹۲

۵-۵-۱: تاثیر عرض پی به ازای بارگذاریهای مختلف ۹۲
۵-۵-۲: تاثیر نوع مدل رفتاری در تعیین ضریب عکس العمل بستر به ازای عرض های مختلف پی ۹٤
۵-۵-۳: تاثیر مدول الاستیسیته با توجه به مدل رفتاری خاک و به ازای عرض های مختلف ۹۵
۵-۵-٤:مقایسه مدل الاستیک خطی و غیرخطی ۹٦
۵-۵-۵: بررسی رابطه بارکان با استفاده از نمودارهای ضریب عکس العمل بستر ۹۷
۵-۵-٦: مطالعه پارامتریک اثر عرض پی در تخمین نشست ۹۹
۵-۵-۷: مقایسه روابط کلاسیک با روش های عددی در تخمین ضریب عکس العمل بستر ۱۰۰
۵-٦: بررسی اختلاف مقادیر نشست بین مدل رفتاری خاک سخت شونده و دیگر مدل ها ۱۰۲
۵-۷: بررسی نقاط پلاستیک با توجه به مدل های رفتاری خاک ۱۰٤

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۶
۶-۱:نتیجه گیری ۱۰۶
۶-۲: پیشنهادات ۱۰۸
فهرست منابع و مآخذ ۱۰۹

فهرست شکل ها

شکل	عنوان	صفحه
۲-۱	نحوه محاسبه اعوجاج و خیز نسبی برای استفاده در جدول ۲-۱ و ۲-۲	۹
۲-۲	نمونه هایی از صفحات غیر افقی	۱۲
۲-۳	روش تقریبی توزیع تنش ۲:۱	۱۴
۲-۴	بار خطی مؤثر بر سطح یک محیط نیمه بینهایت در مختصات قطبی	۱۵
۲-۵	تنش های ناشی ازبار خطی مؤثر بر سطح یک محیط نیمه بینهایت	۱۶
۲-۶	تنش قائم به علت بار نواری انعطاف پذیر	۱۷
۲-۷	منحنی های معروف به پیاز تنش	۱۸
۲-۸	**مدل وینکلر**	۲۱
۲-۹	توزیع تنش در زیر پی صلب و انعطاف پذیر	۲۵
۲-۱۰	آزمایش بارگذاری صفحه و منحنی تغییرات فشار بر حسب نشست و محدوده	۲۵
۳-۱	**مدل های آرمانی مستقل از زمان**	۳۵
۳-۲	**نمودار تنش – کرنش ماده در حالت یک بعدی و منطبق بر رفتار کشسان – خمیری**	۳۸
۳-۳	**نمایش ترسیمی سطح تنش در فضای تنش های اصلی**	۴۰
۳-۴	**نمایش ترسیمی قانون جریان همراه**	۴۱
۳-۵	**نمایش ترسیمی قانون جریان ناهمراه**	۴۲
۳-۶	**دایره تنش گسیختگی موهر**	۴۶
۳-۷	**سطح تسلیم معیارهای موهر کولمب و دراگر پراگر در فضای تنش های اصلی و در صفحه هشت وجهی**	۴۷
۳-۸	**ایده اصلی یک مدل الاستیک کاملا پلاستیک**	۴۸
۳-۹	**سطح تسلیم مدل موهر- کولمب در فضای تنش های اصلی**	۴۹
۳-۱۰	**تعریف E_0 و E_{50} از نتایج آزمایش سه محوری استاندارد زهکشی شده**	۵۰
۳-۱۱	**رابطه هذلولی تنش – کرنش در بارگذاری اولیه برای یک آزمایش سه محوری زهکشی شده استاندارد**	۵۳
۳-۱۲	منحنی کرنش محوری در مقابل کرنش حجمی با درنظر گرفتن قطع اتساع پذیری	۵۵

۳-۱۳	پوش های تسلیم متوالی برای مقادیر ثابت گوناگون پارامتر سخت شدگی γ^p	۵۷
۳-۱۴	سطوح تسلیم مدل خاک سخت شده در صفحه $p-\tilde{q}$	۵۸
۳-۱۵	نمایش کانتور تسلیم کلی مدل خاک سخت شده در فضای تنش های اصلی فاقد چسبندگی	۵۸
۴-۱	ایجاد شبکه المان محدود	۵۹
۴-۲	توابع شکل برای المان خط ۳ گرهی	۶۱
۴-۳	شماره دهی محلی و توابع شکل المان ۱۵ گرهی	۶۳
۴-۴	دستگاه مختصات و جهت مثبت مؤلفه های تنش	۶۷
۴-۵	مثال هایی از مسائل کرنش صفحه ای و تقارن محوری	۶۷
۴-۶	مکان گره ها و نقاط تنش در المان های خاکی	۶۸
۴-۷	کاربردهای صفحات، مهارها و سطوح مشترک	۶۹
۴-۸	موقعیت گره ها و نقاط تنش در یک جزء۵ گره ای و ۳ گره ای	۶۹
۴-۹	**کاربردهایی از ژئوگریدها**	۶۹
۴-۱۰	موقعیت گره ها و نقاط تنش در یک جزء ژئوگرید ۵ گره ای و ۳ گره ای	۷۰
۴-۱۱	نتایج آزمایش های سه محوری زهکشی نشده (a) و مدل الاستوپلاستیک (b)	۷۳
۴-۱۲	مش بندی با استفاده از المان مثلثی	۷۵
۴-۱۳	پنجره تنش های عمومی	۷۶
۴-۱۴	تنش مؤثر اولیه در توده خاک	۷۶
۴-۱۵	پنجره ورودی برای بار گسترده	۷۸
۴-۱۶	پنجره کرنش حجمی	۷۹
۴-۱۷	پنجره محاسبات	۷۹
۵-۱	**شبکه المان محدود با تقارن محوری**	۸۳
۵-۲	**نمودارنشست گوشه پی بر اساس مدل الاستیک با مدول الاستیسیته** $50000\ kN/m^2$	۸۴
۵-۳	**نمودار نشست وسط پی بر اساس مدل الاستیک با مدول الاستیسیته** $50000\ kN/m^2$	۸۴
۵-۴	**نمودار نشست ماکزیمم پی بر اساس مدل رفتاری موهر- کولمب**	۸۵
۵-۵	**نمودار نشست ماکزیمم پی بر اساس مدل رفتاری موهر- کولمب**	۸۶

۶-۵ نمودار نشست ماکزیمم پی بر اساس مدل رفتاری موهر- کولمب ۸۶

۷-۵ نمودار نشست ماکزیمم پی با زاویه اصطکاک مختلف ۸۷

۸-۵ نمودار نشست ماکزیمم پی با ضرایب پواسون و زاویه اصطکاک مختلف ۸۷

۹-۵ نمودار نشست ماکزیمم پی با ضرایب پواسون و مدول الاستیسیته مختلف ۸۸

۱۰-۵ نشست گوشه پی با مدول الاستیسیته $20000\ kN/m^2$ با مدل رفتاری موهر-کولمب ۸۹

۱۱-۵ نشست گوشه پی با مدول الاستیسیته $20000\ kN/m^2$ با مدل رفتاری الاستیک خطی ۸۹

۱۲-۵ نشست گوشه پی با مدول الاستیسیته $20000\ kN/m^2$ با مدل رفتاری خاک سخت شونده ۹۰

۱۳-۵ نمودار مقایسه نشست گوشه پی با مدول الاستیسیته $20000\ kN/m^2$ و به ازای بار $100\ kN/m^2$ ۹۰

۱۴-۵ نمودار مقایسه نشست گوشه پی با مدول الاستیسیته $65000 kN/m^2$و به ازای بار $100\ kN/m^2$ ۹۱

۱۵-۵ نمودار مقایسه نشست گوشه پی به ازای بار $100\ kN/m^2$ بر اساس مدل رفتاری موهر کولمب ۹۱

۱۶-۵ نمودار مقایسه نشست گوشه پی به ازای بار $100\ kN/m^2$ بر اساس مدل رفتاری الاستیک خطی ۹۲

۱۷-۵ نمودار مقایسه نشست گوشه پی به ازای بار $100\ kN/m^2$ بر اساس مدل رفتاری خاک سخت شونده ۹۲

۱۸-۵ ضریب عکس العمل بستر پی با مدول الاستیسیته $20000\ kN/m^2$ با مدل رفتاری موهر-کولمب ۹۳

۱۹-۵ ضریب عکس العمل بستر پی با مدول الاستیسیته $20000\ kN/m^2$ با مدل رفتاری الاستیک خطی ۹۳

۲۰-۵ ضریب عکس العمل بستر پی با مدول الاستیسیته $20000\ kN/m^2$ با مدل رفتاری خاک سخت شونده ۹۴

۲۱-۵ مقایسه ضریب عکس العمل بستر پی با مدول الاستیسیته $20000\ kN/m^2$ با مدل های رفتاری مختلف ۹۴

۲۲-۵ مقایسه ضریب عکس العمل بستر پی با مدول الاستیسیته $65000\ kN/m^2$ با مدل های رفتاری مختلف ۹۴

۲۳-۵ **نمودار مقایسه ضریب عکس العمل بستر پی بر اساس مدل رفتاری موهر کولمب** ۹۵

۲۴-۵ **نمودار مقایسه ضریب عکس العمل بستر پی بر اساس مدل رفتاری الاستیک خطی** ۹۵

۲۵-۵ **نمودار مقایسه ضریب عکس العمل پی بر اساس مدل رفتاری خاک سخت شونده** ۹۵

۲۶-۵ نمودار نشست گوشه پی با در نظرگرفتن حالت الاستیک غیرخطی با مدول الاستیسیته $20000\ kN/m^2$ ۹۶

۲۷-۵ :مقایسه نشست گوشه در دو حالت الاستیک خطی و غیرخطی با مدول الاستیسیته $20000\ kN/m^2$ ۹۶

۲۸-۵ نمودار ضریب عکس العمل بستر به ازای عرض های مختلف پی ۹۸

۲۹-۵ نمودار مقادیر ضریب عکس العمل بستر به ازای عرض های مختلف پی ۹۹

۳۰-۵ نمودار نشست – تنش پی های مدل سازی شده به ازا عرض های مختلف ۱۰۰

۳۱-۵ نمودار $B-k_s$ در حالت های مختلف ۱۰۱

۳۲-۵ نمودار مقایسه نشست گوشه پی با توجه به مدل خاک در تراز تنش $50\ kN/m^2$ ۱۰۲

۳۳-۵ نمودار مقایسه نشست گوشه پی با توجه به مدل خاک در تراز تنش $25\ kN/m^2$ ۱۰۳

۳۴-۵ نمودار مقایسه نشست گوشه پی در تراز تنش مختلف با $E = 20000\ kN/m^2$ ۱۰۳

۳۵-۵ نمودار مقایسه نشست گوشه پی در تراز تنش مختلف با $E = 65000\ kN/m^2$ ۱۰۴

۳۶-۵ نقاط پلاستیک در مدل موهر کولمب در پی به عرض ۲ متر ۱۰۵

۳۷-۵ نقاط پلاستیک در مدل موهر کولمب در پی به عرض ۱۲ متر ۱۰۵

فهرست جداول

جدول	عنوان	صفحه
۲-۱	مقادیر پیشنهاد شده برای اعوجاج ساختمانهای اداری و مسکونی	۸
۲-۲	مقادیر پیشنهاد شده برای خیز نسبی ساختمانهای اداری و مسکونی	۸
۲-۳	مقادیر حدی اعوجاج ناشی از نشست ناهمسان پی برای سازه های مختلف	۹
۲-۴	تغییرات $\Delta p/q$ در مقابل $2z/B$ و $2x/B$	۱۸
۲-۵	روابط تئوریک و تجربی متداول تعیین ضریب عکس‌العمل	۲۳
۲-۶	مقادیر ضریب شکل	۲۶
۲-۷	مقادیر k_0 برای خاک های دانه ای	۲۶
۲-۸	مقادیر k_0 برای خاک های ریزدانه	۲۷
۲-۹	معادلات مدول تنش – کرنش بر اساس چند روش آزمایش	۲۹
۴-۱	انتگرالگیری سه نقطه ای برای المانهای شش گره ای	۶۴
۴-۲	انتگرالگیری سه نقطه ای برای المانهای شش گره ای	۶۴
۵-۱	مشخصات خاک مدلسازی شده	۸۲
۵-۲	مشخصات فونداسیون مدلسازی شده	۸۲
۵-۳	مقادیر k_0 برای خاک های دانه ای	۹۷
۵-۴	مقادیر k به ازای عرض های مختلف پی	۹۸
۵-۵	مقادیر k به ازای عرض های مختلف پی	۹۸
۵-۶	مشخصات پی های مدل شده در نرم افزار	۹۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱: مقدمه

پی ها قسمتی از ساختمان هستند که برای انتقال بارهای وارده به خاک زیرین خود از طرف سازه هایی که بر روی آنها قرار گرفته اند، ساخته می شوند. این بارها باعث ایجاد تنش های فشاری در لایه های زیرین پی در خاک شده و باعث فشرده شدن آن می شود که این مسئله از نقطه نظر مهندسی پدیده نشست را ایجاد می کند. انتخاب سیستم پی برای کاهش پدیده نشست به نوع و مقدار بارهای وارده و شرایط بارگذاری زمین اعم از بارگذاری های جانبی ، قائم، پی تحت اثر لنگر پیچشی و دورانی و به نوع بارگذاری استاتیکی و دینامیکی بستگی دارد. نشست ساز ه ها بر اثر تغییر شکل و جابجایی زمین و خود پی اگر انعطاف پذیر باشد تحت تنش های حاصل از بارگذاری سازه ها به وقوع می پیوندد. عمدتاً در طراحی پی های سطحی، نشست عامل کنترل کننده در تعیین میزان باربری مجاز است. مضافاً به این که در تعیین توان باربری مجاز عوامل هندسه پی، مقاومت و سختی خاک زیر پی و ملاحظات سرویس پذیری روسازه به دلیل تحمل تغییر شکل ها مطرح بوده و با توجه به این موارد، توان باربری و نشست زیر پی با یکدیگر در اندرکنش بوده و نمی توان به صورت مجزا به بررسی آنها پرداخت. بررسی نشست خاک در برابر احداث سازه ها یکی از مباحث مورد مطالعه در حوزه ژئوتکنیک است که در سال های اخیر کارهای زیادی به آن اختصاص داده شده است.

عمده مطالعات در زمینه نشست تعیین نشست آنی (مستقل از زمان) و تحکیمی (وابسته به زمان) بوده است، نشست های آنی نشست هایی هستند که در زمان بارگذاری و یا در زمانی حدود هفت روز پس از اعمال بار رخ می دهد و نشست های زمانی خاک در اثر عواملی از قبیل تحکیم در محیط اشباع، زهکشی آب و خزش در اسکلت خود خاک صورت می گیرد. ارتباط نشست پی و خاک زیر آن، حداکثر مقدار و چگونگی توزیع آن، با هندسه پی و مشخصات خاک و نحوه مدل رفتاری خاک یعنی ارتباط تنش کرنش موجود از مواردی می باشد که مورد توجه مباحث تحلیلی، عددی و مشاهدات تجربی قرار گرفته است.

بررسی ها و مطالعات انجام شده در زمینه نشست خاک در اثر احداث سازه ها و یا خاکریزها را می توان به دسته های زیر تقسیم بندی کرد که در هر دسته مطالعات زیادی صورت گرفته است.

۱- مطالعات موردی نشست خاک

۲- تحقیق به صورت تئوری و کلاسیک

۳- تحقیق با استفاده از روش های عددی در مدلسازی

۴- تحقیق بر روی مدل های آزمایشگاهی

البته هر کدام از روش های فوق دارای مزایا و معایبی می باشند. به عنوان مثال در مطالعات موردی در موارد نشست خاک زیر پی ها با ابعاد واقعی نتایج قابل اطمینان می باشد. اما امکان بررسی تاثیر خواص مختلف خاک در مقدار نشست محیط اطراف پی وجود ندارد. در روش های تئوری و کلاسیک شرایط ساده کننده ای از قبیل همگن بودن و یا الاستیک بودن خاک و یا فرض های دیگر در نظر گرفته می شود که در محیط واقعی خاک این شرایط و مفروضات برقرار نمی باشد. مزیت روش های مدلسازی بر روش های دیگر این است که در روش مدلسازی خواص خاک در هر نقطه را با دقت بیشتری می توان تعیین نمود و نیز امکان بررسی تاثیر پارامترهای مختلف خاک بر تغییرشکلها و تغییر تنش های ایجاد شده وجود دارد. همچنین جابجایی ها و تنش ها را می توان در هر مرحله از ساخت و یا بارگذاری اندازه گیری کرد.

۱-۲: شیوه تحقیق و پژوهش

روش پژوهش در این پایان نامه به این صورت است که ابتدا مطالب تئوریک و محاسباتی نشست پی ها و تعیین عوامل مؤثر در تعیین ضریب عکس العمل بستر و همچنین انواع مدل های رفتاری خاک از جمله مدل خاک الاستوپلاستیک موهر –کولمب و مدل خاک سخت شونده که توسط محققین پیشنهاد شده است را جمع آوری کرده و به مطالعه آنها پرداخته می شود، سپس با استفاده از یکی از نرم افزار های المان محدود که بیشترین کاربرد را در مهندسی ژئوتکنیک دارند اقدام به مدلسازی خاک های مورد نظر می کنیم که در این تحقیق از نرم افزار المان محدود Plaxis که مختص مدل کردن شرایط خاک های مختلف می باشد استفاده می شود.

شیوه اجرای این طرح صرفا به صورت تحلیل عددی و پردازش کامپیوتری داده ها و همچنین مقایسه نتایج مدل های رفتاری مختلف خاک با همدیگر و با روابط کلاسیک موجود تعیین نشست پی ها و ضریب عکس العمل بستر می باشد.

۱-۳: تاریخچه مطالعات نشست

شناخت و بررسی رفتار مکانیکی خاک از مهمترین موضوعات علم مکانیک خاک می باشد که اولین قدم های آن در سال ۱۷۷۳ توسط کولمب با ارائه تحقیقات مربوط به رانش خاک ها برداشته شد. در طی قرن نوزدهم میلادی بررسی ها و مطالعات نظری متعددی از جمله کارهای رانکین و بوسینسک علم مکانیک خاک را وارد مرحله ای جدید کرد. اما بیشترین گام در این علم را کارل ترزاقی در سال ۱۹۲۵ برداشت طوری که ترزاقی را پدر علم مکانیک خاک نام نهادند. همین خود ترزاقی بود که اولین گزارشات خود را در بیان تاثیر نوع خاک در انتقال نشست به سطح زمین ارائه کرد پس ترزاقی را می توان از اولین محققین در زمینه نشست خاک معرفی کرد. همچنین ترزاقی با مطرح کردن قوانین تحکیم به بررسی نشست تحکیمی نیز پرداخته است.

با توجه به متعدد بودن نوع مطالعات در زمینه نشست خاک تاریخچه مطالعات نشست را می تـوان در دو حالـت زیـر تقـسیم بندی کرد.

۱- مطالعات کلاسیک و آزمایشگاهی

۲- مطالعات عددی

در زمینه مطالعات کلاسیک و آزمایشگاهی همانطور که بیان شد ترزاقی از اولین افرادی بود که در زمینه نشست مطالعـاتی را انجام داده بود. بعدها دانشمندانی از قبیل جانبو، بیروم و ژرنسلی در سال ۱۹۵۶ رابطـه محاسـبه نشـست متوسـط شـالوده هـای انعطاف پذیر روی خاک های رس اشباع را پیشنهاد کردند، پک و همکاران در سال ۱۹۶۹ بررسی هایی در زمینه نشست خاک بر اثر حفر تونل انجام دادند، اشمرتمن و هارتمن در سال ۱۹۷۸ نشست آنی خاک های دانه ای را با استفاده از ضـرایب تـاثیر نیمـه تجربی کرنش پیشنهاد کردند. همچنین روابط نشست توسط دانـشمندان دیگـری از قبیـل جرجیـادیس(۱۹۸۸)، باترفیلـد(۱۹۸۸)، لی(۱۹۶۳)، ویتمن و ریچارت (۱۹۷۶)و ... ارائه گردید.[14] در سال های اخیر هم دانـشمندانی از قبیـل وسـیک، ولازف، بیـوت، باولز و .... مطالعاتی در این زمینه انجام داده اند.

در حوزه مطالعات کلاسیک در زمینه مدل های رفتاری هم پژوهشهای زیادی انجـام گرفتـه اسـت کـه اینگونـه مـسائل بـا تاریخچه نظریه خمیری که برای اولین بار در سال ۱۸۶۴ توسط ترسکا ارائه شد همزمان می باشد. با وجود اینکه ترسکا به عنوان اولین محقق در زمینه پلاستیسیته شناخته می شود قبل از او در سال ۱۷۷۳ کولمب رفتار خمیری خاک را مورد بررسی قـرار داد و معیار مشهور خود را ارائه کرد. یکی دیگر از متقدمین نظریه خمیری، سن ونان می باشد که در سال ۱۸۷۰ معیار تسلیم ترسـکا را برای تعیین توزیع تنش در یک استوانه تحت تاثیر لنگر پیچشی و خمشی استفاده کرد که بعدها او لوله هایی را تحت فشار داخلی تحلیل کرد و معادلات حالت کرنش مسطح را تعیین کرد.[13]

در سال ۱۸۷۱ لوی، ایده های سن و نان را پیگیری کرد و روابطی بین تنش و آهنگ کرنش پلاستیکی را برای حالـت تـنش سه بعدی بدست آورد. در سال ۱۹۰۹ هار و ون کارمن معادلات پلاستیسیته را از اصل تغییـرات بدسـت آورد. یکـی از مهمتـرین پیشرفت ها در نظریه پلاستیسیته به وسیله ون میسز در سال ۱۹۱۳ اتفاق افتاد، یعنی زمانی که او معیار تـسلیم خـود را براسـاس روابط ریاضی بیان کرد. در میان معیارهای تسلیم مختلف پیشنهاد شده معیار ون میسز به عنوان مناسب ترین معیار بـرای فلـزات قبول شده است. در سال ۱۹۲۰ پرانتل حل ویژه ای برای مسائل کرنش مسطح پلاستیکی پیشنهاد کرد که نظریه عمـومی آن در سال ۱۹۲۳ توسط هنکی ارائه شد. اولین کاربرد عملی نظریه پلاستیسیته در سال ۱۹۲۵ توسـط ون کـارمن بـرای تحلیـل تـنش تسمه های فلزی در حین نورد بود.[13] در طی بیست سال بعد مفاهیم اساسی نظریه خمیری به صورت روابـط ریاضـی تثبیـت شد ولی شیوه های تحلیلی مسائل عملی با استفاده از نظریه ریاضی پلاستیسیته در دهـه شـصت مـیلادی همـرا ه بـا توسـعه و پیشرفت کامپیوترها ممکن شد. اولین کتاب پلاستیسیته هم توسط نادای در سال ۱۹۳۱ انتشار یافت. کتـاب هـای دیگـر در ایـن زمینه توسط سکولوسکی در سال ۱۹۴۶ و هیل در سال ۱۹۵۰ و پراگر و هاج در سال ۱۹۵۱ منتشر شد.[12] همچنین تحقیقـات زیادی توسط دانشمندانی از قبیل پاسترناک، هتنیانی، فیلوننکو–برودیچ، ولازف..... درباره انواع مدل های الاسـتیک، پلاسـتیک و الاستوپلاستیک انجام شده است.

شروع مطالعات عددی را می توان از اوایل دهه ۶۰ میلادی با معرفی روش اجزای محدود توسط کلاف برای حل مسایل تنش-کرنش در مصالح مختلف، در نظر گرفت. استفاده از روش های اجزای محدود در بررسی و مدل کردن خاک در گذشته توسط پژوهشگرانی از قبیل زینکوویچ، گریفیث، پاتس و افراد متعدد دیگری انجام گرفته است. ایده اولیه این روش در طراحی هواپیما پایه ریزی شد. برای اولین بار در سال ۱۹۴۱ میلادی هرنیکوف روشی برای حل مسائل تئوری الاستیسیته بر پایه روش المان بندی ارائه کرد. همچنین در سال ۱۹۴۳ میلادی کورنت مقاله ای انتشار داد که در آن از انترپوله چند جمله ای بر روی اجزای مثلثی برای حل مسئله پیچش استفاده کرده بود. ترنر و همکاران، ماتریس سختی را برای خرپا، تیر و سایر اجزاء تعیین کردند و نتایج کار خود را در سال ۱۹۵۶ میلادی انتشار دادند.

فصل دوم

نشست خاک

۲-۱: رفتار شالوده ها و سازه ها

نشست سازه ها بر اثر تغییر شکل و جابجایی زمین تحت تنش های حاصل از بارگذاری سازه ها به وقوع مـی پیونـدد. عمـدتا در طراحی پی های سطحی، نشست عامل کنترل کننده در تعیین میزان باربری مجاز می باشد. در تعیین توان باربری مجـاز عوامـل هندسه پی، مقاومت و سختی خاک زیر پی و ملاحظات سرویس پذیری روسازه به دلیل تحمل تغییر شکل ها مطـرح بـوده و بـا توجه به این موارد، توان باربری و نشست زیر پی با یکدیگر در اندرکنش بوده و نمی توان به صورت مجزا به آنها پرداخت.

برای ساختمانهایی که بر روی زمین ساخته می شوند یکی از هدف های طراحی این است که در زمان احداث یا بهره برداری، زمین زیر ساختمان حرکتی نداشته باشد. این موضوع از دید فنی اصلا قابل قبول نمی باشد. علت آن این است که هر تنشی کـه بر خاک و یا حتی سنگ وارد گردد، ایجاد تغییر شکل و کرنش می نماید، بنابراین مقداری تغییر شکل و نشست خواهیم داشـت و چنانچه این نشست در حد میلیمتر باشد قابل قبول خواهد بود. در حقیقت موضوعی که اهمیـت دارد تعیـین حاشـیه ایمنـی قابـل قبول برای مقاومت و تغییر شکل می باشد، که این موضوع در کلیه کارهای طراحی می بایست رعایت گـردد. بـرای طـرح یـک فونداسیون می بایست حداکثر مقاومت مجاز خاک و حداکثر نشست آن با توجه به سطح تماس پی و چگونگی ارتباط آن با خاک مشخص گردد.

در حال حاضر روش های مختلفی برای تحلیل سازه های ژئوتکنیکی وجود دارد که مـی توانـد باعـث سـردرگمی مهندسـین ژئوتکنیک باشد. برای تحلیل سازه ها و برای در نظر گرفتن اندرکنش آنها با خاک زیرین باید ابتدا نیازهـای طراحـی، ملاحظـات اساسی تئوریکی مورد بحث قرار گیرد تا با تجزیه و تحلیل آنها به حل مساله پرداخته شود.

زمانی که یک سازه ژئوتکنیکی طراحی می شود باید مهندس از پایداری آن مطمئن شود. پایداری می تواند به چنـدین روش در نظر گرفته شود. اول اینکه سازه و سیستم تکیه گاهی باید کاملا پایدار باشد، در این حالت باید هیچ گونه خطر شکست دورانی، عمودی و یا انتقالی وجود نداشته باشد، دوم اینکه سازه باید به طور کلی پایدار باشد، برای مثال اگر یک سازه دیوار در شیب قـرار گرفته باشد ممکن است با پیشرفت ساخت سازه کل شیب گسیخته شود.