دانشکده عمران

عنوان:

بررسی اثر متغیر اختیار شدن ضریب عکس العمل زمین بر روی پاسخ پی و سازه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران- سازه

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر جواد جلالی

نگارش:

عادله نوروزی کبریا

تابستان ۹۲

چکیده

روشن است که مدل فنرهای مجزا (مدل وینکلر) نمی تواند رفتار واقعی خاک، برای تعیین اندرکنش میان خاک و پی را بدرستی نشان دهد. در واقع خاک پیرامونی پی در معرض نشست هایی قرار می گیرد که مدل وینکلر نمی تواند این پدیده را در نظر بگیرد. در حالی که خاک در معرض تغییرمکان هایی بسمت پایین قرار می گیرد، خاک پیرامونی در مقابل آن مخالفت می کند. بنابراین اندرکنش میان خاک پیرامونی، پی و خاک زیر پی منجر به تغییرشکل های کاسه ای پی می گردد. بمنظور اینکه مدل وینکلر بتواند چنین رفتاری را نشان دهد، در این پژوهش فنرهایی در لبه پیرامونی پی گسترده و فنرهای نقطه ای متمرکز در دو انتهای پی نواری بکار برده شده است. سختی فنرهای گوشه درصدی از سختی فنرهای وینکلر بوده بگونه ای که مجموع سختی فنرهای گوشه و میانی برابر مجموع سختی فنرهای وینکلر می باشد. از آنجا که تحلیل های انجام شده برای یافتن لنگرهای بدست آمده از بارگذاری برای محاسبه میزان میلگرد طراحی پی می باشد، بنابراین هدف ما یافتن ضریبی است تا لنگرهای بدست آمده از این مدل بتواند با لنگرها مدل مرجع مطابقت داشته باشد. برای بررسی اثر خاک زیر پی نیز فنرها با سختی متغیر بکار برده شده و سپس به بررسی مدل پسترنک که از جمله مدل های پرکاربرد در تحلیل پی های الاستیک می باشد، پرداخته شده است.

این پژوهش هر دو نوع پی گسترده و نواری را مورد بررسی قرار می دهد. برای پی نواری، نوارهایی به طول ۳، ۶ و ۱۲ متر به عرض ۱ متر در نظر گرفته می شود. برای پی به طول ۳ متر با سختی بستر ۳۴۵ تن بر متر مربع، ضخامت های ۰/۲ ، ۰/۳ ، ۰/۴۵ ، ۰/۵ ، ۰/۶ و ۰/۹ متری و برای ضخامت ۰/۶ متر k_s های ۳۴۵، ۶۸۴، ۸۵۳، ۱۰۲۲، ۱۵۲۸و ۲۰۳۳ تن بر متر مربع بکار برده شد. برای پی گسترده ابعاد ۱۲×۱۲، ۱۲×۱۸ و ۱۲×۲۴ متر با ضخامت های ۰/۶ ، ۱ و ۲ متر مورد بررسی قرار گرفته اند.

در نهایت می توان نتیجه گرفت که اصلاح روش وینکلر با بکار بردن فنرهای کناری موجب بهبود نتایج تحلیل می شود. بکار بردن روش پسترنک نیز لنگرها را به لنگر مدل مرجع نزدیک تر می نماید. همانگونه که از نتایج آشکار می شود بکار بردن روش فنرهای متغیر به شیوه ای که بیان شد اثر چشمگیری در بهبود لنگرهای بدست آمده ندارد.

کلمات کلیدی:

پی ارتجاعی، بستر الاستیک، مدل وینکلر، تغییرشکل کاسه ای، ضریب عکس العمل بستر، مدل پسترنک

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست مطالب i

فهرست اشکال vi

فهرست جداول xii

لیست علائم و اختصارات xv

بخش اول – کلیات

۱-۱- پیشگفتار ۱

۱-۲- تعریف مسئله ۲

۱-۳- هدف ۳

۱-۴- ساختار پایان نامه ۳

بخش دوم – مدل های گوناگون اندرکنش خاک و شالوده و مروری بر کارهای انجام شده

۲-۱- پیشگفتار ۵

۲-۲- تاریخچه ۷

۲-۳- مدل سازی خاک ۹

۲-۳-۱- مدل فشار خطی و یا روش صلب ۱۱

۲-۳-۲- روش غیرصلب ۱۲

۲-۳-۲-۱- مدل وینکلر ۱۳

۲-۳-۲-۲- مدل الاستیک دو پارامتری- مدل های پی اصلاح شده ۲۰

۲-۳-۲-۲-۱- مدل فیلوننکو- برودیچ ۲۱

۲-۳-۲-۲-۲- مدل هیتنی ۲۲

۲-۳-۲-۲-۳- مدل پسترنک ۲۳

۲-۳-۲-۲-۴- پی تعمیم یافته ۲۴
۲-۳-۲-۲-۵- مدل کر ۲۵
۲-۴- کاربرد مدل ها ۲۵
۲-۴-۱- تیرها بر بستر الاستیک ۲۶
۲-۴-۱-۱- تیر بر روی مدل وینکلر ۲۷
۲-۴-۱-۲- تیرها بر پی دو پارامتری ۲۹
۲-۴-۱-۲-۱- مطالعات انجام شده بر روی تیرها بر بستر الاستیک ۳۰
۲-۴-۲- صفحات بر بستر الاستیک ۳۲
۲-۴-۲-۱- تئوری صفحه بر بستر الاستیک ۳۳
۲ -۴-۳- پی ۳۳
۲-۴-۳-۱- ارزیابی صلبیت و انعطاف پذیری پی ها ۳۴
۲-۴-۳-۲- تحلیل و طراحی پی ها ۳۵
۲-۴-۳-۲-۱- تحلیل و طراحی دستی پی ها در حالت صلب ۳۵
۲-۴-۳-۲-۲- تحلیل و طراحی دستی پی ها در حالت انعطاف پذیر ۳۵
۲-۴-۳-۳- انواع پی ۳۶
۲-۴-۳-۳-۱- پی منفرد ۳۶
۲-۴-۳-۳-۲- پی نواری ۳۷
۲-۴-۳-۳-۳- پی گسترده ۳۷
۲-۴-۳-۳-۳-۱- تحلیل صلب و غیر صلب پی های گسترده ۳۹
۲-۴-۳-۳-۳-۱-۱- معرفی روش وینکلر در آنالیز غیر صلب پی های گسترده ۴۰
۲-۴-۳-۳-۳-۱-۲- روش های رفع نقص وینکلر ۴۱
۲-۴-۳-۴- مطالعات انجام شده برای پی بر بستر الاستیک ۴۴

۲-۵- پدیده گودافتادگی ۴۶

بخش سوم – مدل سازی و تحلیل

۳-۱- کلیات ۴۸

۳-۲- نرم افزارهای تحلیل پی ها ۵۰

۳-۲-۱- معرفی ویژگی ها و توانایی های نرم افزار *SAP* ۵۱

۳-۲-۲ -دلایل انتخاب نرم افزار *SAP* ۵۳

۳-۲-۳- معرفی المان های متناسب با فیزیک مساله ۵۳

۳-۲-۳-۱- المان *Frame* ۵۴

۳-۲-۳-۲- المان *Shell* ۵۴

۳-۲-۳-۳- المان *Solid* ۵۵

۳-۲-۳-۴- المان *Link* ۵۵

۳-۲-۴- روش های مورد استفاده برای مدلسازی ۵۵

۳-۳- فرضیات ۵۶

۳-۴- مشخصات مصالح ۵۶

۳-۵- انواع مدل های بکار رفته در این پژوهش ۵۷

۳-۵-۱- مدل وینکلر ۵۷

۳-۵-۲- مدل ضریب عکس العمل متغیر ۵۷

۳-۵-۳- مدل فنرهای گوشه برای پی نواری ۵۸

۳-۵-۴- مدل فنرهای لبه برای پی گسترده ۵۹

۳-۵-۵- مدل پسترنک ۶۰

۳-۶- مدلسازی در نرم افزار *SAP* ۶۱

۳-۶-۱- پی نواری ۶۱

۳-۶-۱-۱- مدل مرجع برای پی نواری ۶۲
۳-۶-۱-۲- مدل پسترنک برای پی نواری ۶۳
۳-۶-۱-۳- بارگذاری پی نواری ۶۴
۳-۶-۱-۴- محاسبه k_s برای پی نواری ۶۵
۳-۶-۲- پی گسترده ۶۶
۳-۶-۲-۱- مدل مرجع برای پی گسترده ۶۷
۳-۶-۲-۲- مدل پسترنک برای گسترده ۶۸
۳-۶-۲-۳- بارگذاری پی گسترده ۶۹
۳-۶-۲-۴- محاسبه k_s برای پی گسترده ۷۱
۳-۷- نرم افزار $Excel$ ۷۱

بخش چهارم – ارائه نتایج

۴-۱- پیشگفتار ۷۲
۴-۲- مقایسه نتایج حاصل از مدل های مورد بررسی با مدل مرجع ۷۳
۴-۲-۱- پی نواری ۷۴
۴-۲-۱-۱- روش فنرهای گوشه برای پی نواری ۷۴
۴-۲-۱-۱-۱- اثر تغییرات ممان اینرسی در روش فنرهای گوشه برای پی نواری ۷۵
۴-۲-۱-۱-۲- اثر تغییرات مدول بستر در روش فنرهای گوشه برای پی نواری ۷۶
۴-۲-۱-۱-۳- اثر تغییرات طول پی در روش فنرهای گوشه برای پی نواری ۷۷
۴-۲-۱-۱-۴- اثر بار نامتقارن ۷۸
۴-۲-۱-۲- روش پسترنک برای پی نواری ۷۹
۴-۲-۲- پی گسترده ۸۵
۴-۲-۲-۱- پی مربعی به ابعاد ۱۲×۱۲ متر ۸۶

۴-۲-۲-۲- پی مستطیلی به ابعاد ۱۸×۱۲ متر ۹۲

۴-۲-۲-۳- پی مستطیلی به ابعاد ۲۴×۱۲ متر ۹۸

بخش پنجم – نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری ۱۰۴

۵-۲- ارائه پیشنهادات ۱۰۶

مراجع ۱۰۷

پیوست ۱۱۰

پیوست ۱- نرم افزار استخراج نتایج برای رسم منحنی لنگر ۱۱۰

پیوست ۲- نتایج حاصل از تحلیل برای پی نواری (تیرها)..... ۱۱۷

پیوست ۳- نتایج حاصل از تحلیل برای پی های گسترده ۱۴۳

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل(۲-۱)- مدل وینکلر ۱۴

شکل (۲-۲)- مدل فیلوننکو- برودیچ ۲۱

شکل(۲-۳)- مدل هیتنی ۲۲

شکل (۲-۴)- مدل پسترنک ۲۴

شکل (۲-۵)- مدل کر ۲۵

شکل(۲-۶)- خیز پی الاستیک تحت فشار یکنواخت ۲۷

شکل(۲-۷)- تیر واقع بر پی الاستیک دو پارامتری ۲۹

شکل(۲-۸) - بستر الاستیک پسترنک ۳۱

شکل(۲-۹)- تیر تغییر شکل یافته واقع بر پی الاستیک پسترنک ۳۲

شکل (۲-۱۰)- کاربرد فنرهای وینکلر در پی منفرد ۳۷

شکل (۲-۱۱)- ایده ال سازی ضریب بستر ۳۷

شکل(۲-۱۲)- پی گسترده بر فنرهای وینکلر ۴۱

شکل(۲-۱۳)- روش های فنرهای مزدوج ۴۲

شکل(۲-۱۴)- روش فنرهای مزدوج مجازی ۴۲

شکل(۲-۱۵)- مدل نمودن سختی قائم برای شالوده های کم عمق آیین نامه فما ۴۳

شکل (۲-۱۶)- پدیده گودافتادگی در پی های گسترده واقع بر محیط الاستیک تحت بار یکنواخت ۴۷

شکل (۲-۱۷)- تغییر مکان صفحه بر روی فنر های وینکلر در اثر بار گسترده یکنواخت ۴۷

شکل (۳-۱)- المان *Frame* ۵۴

شکل (۳-۲)- المان *Shell* مربعی چهار نقطه ای ۵۴

شکل (۳-۳)- علائم مربوط به ضریب عکس العمل متغیر ۵۸

شکل (۳-۴)- استفاده از المان تیر برای پی نواری ۶۱

شکل (۳-۵)- مدل مرجع برای پی نواری ۶۳

شکل (۳-۶)- مدل پسترنک برای پی نواری ۶۳

شکل (۳-۷)- تغییر مقادیر مربوط به سختی برشی و ممان اینرسی پی نواری در نرم افزار *SAP* ۶۴

شکل (۳-۸)- بارگذاری پی نواری، بار در وسط دهانه تیر ۶۴

شکل (۳-۹)- بارگذاری پی نواری، بار در فواصل یک چهارم طول ۶۴

شکل (۳-۱۰)- بارگذاری پی نواری، دو بار در دو انتها ۶۵

شکل (۳-۱۱)- بارگذاری پی نواری، سه بار نقطه ای ۶۵

شکل (۳-۱۲)- بارگذاری پی نواری، بار در یک چهارم طول از ابتدا ۶۵

شکل (۳-۱۳)- استفاده از المان صفحه برای پی گسترده ۶۶

شکل (۳-۱۴)- پلان مدل مرجع برای پی گسترده مربعی ۶۷

شکل (۳-۱۵)- مدل سه بعدی مرجع برای پی گسترده مربعی ۶۸

شکل (۳-۱۶)- تغییر مقادیر مربوط به سختی برشی و ممان اینرسی پی گسترده در نرم افزار *SAP* ...

..... ۶۹

شکل (۳-۱۷)- مدل پسترنک برای پی گسترده ۶۹

شکل (۳-۱۸)- جانمایی ۴ بار نقطه ای برای پی مربعی ۶۹

شکل (۳-۱۹)- جانمایی ۹ بار نقطه ای برای پی مربعی ۷۰

شکل (۳-۲۰)- جانمایی ۹ بار نقطه ای برای پی مستطیلی ۷۰

شکل (۳-۲۱)- جانمایی ۱۵ بار نقطه ای برای پی مستطیلی ۷۰

شکل(۴-۱)- منحنی لنگر برای پی نواری با بارگذاری نامتقارن ۷۹

شکل(۴-۲)- منحنی لنگر برای پی نواری با $k_s = 345\ ton/m^2,\ h=20\ cm$ ۸۱

شکل(۴-۳)- منحنی لنگر برای پی نواری با $k_s = 345\ ton/m^2,\ h=45\ cm$ ۸۱

شکل(۴-۴)- منحنی لنگر برای پی نواری با $k_s = 345\ ton/m^2, h=60\ cm$ ۸۲

شکل(۴-۵)- منحنی لنگر برای پی نواری با $k_s = 345\ ton/m^2, h=90\ cm$ ۸۲

شکل(۴-۶)- منحنی لنگر برای پی نواری با $k_s = 853\ ton/m^2, h=60\ cm$ ۸۲

شکل(۴-۷)- منحنی لنگر برای پی نواری با $k_s = 2033\ ton/m^2, h=60\ cm$ ۸۳

شکل(۴-۸)- نمودار مقایسه ای نسبت اختلاف های بدست آمده از روش فنرهای لبه و روش پسترنک با مدل مرجع به مدل وینکلر با مدل مرجع برای بارگذاری در یک چهارم دهانه ۸۳

شکل(۴-۹)- نمودار مقایسه ای نسبت اختلاف های بدست آمده از روش فنرهای لبه و روش پسترنک با مدل مرجع به مدل وینکلر با مدل مرجع برای بارگذاری در وسط پی ۸۴

شکل(۴-۱۰)- نمودار مقایسه ای نسبت اختلاف های بدست آمده از روش فنرهای لبه و روش پسترنک با مدل مرجع به مدل وینکلر با مدل مرجع برای بارگذاری در در دو انتهای پی ۸۴

شکل(۴-۱۱)- نمودار مقایسه ای نسبت اختلاف های بدست آمده از روش فنرهای لبه و روش پسترنک با مدل مرجع به مدل وینکلر با مدل مرجع برای بارگذاری در در دو انتها و وسط پی ۸۴

شکل(۴-۱۲)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی مربعی به ضخامت ۶۰ سانتی متر و با چهار بار نقطه ای ۸۷

شکل(۴-۱۳)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی مربعی به ضخامت ۱۰۰ سانتی متر و با چهار بار نقطه ای ۸۷

شکل(۴-۱۴)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی مربعی به ضخامت ۲۰۰ سانتی متر و با چهار بار نقطه ای ۸۷

شکل(۴-۱۵)- نمودار مقایسه ای نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی مربعی به ضخامت ۶۰ سانتی متر و با چهار بار نقطه ای ۸۸

شکل(۴-۱۶)- نمودار مقایسه نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی مربعی به ضخامت ۱۰۰ سانتی متر و با چهار بار نقطه ای ۸۸

شکل(۴-۱۷)- نمودار مقایسه ای نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی مربعی به ضخامت ۲۰۰ سانتی متر و با چهار بار نقطه ای ۸۸

شکل(۴-۱۸)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی مربعی به ضخامت ۶۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۹۰

شکل(۴-۱۹)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی مربعی به ضخامت ۱۰۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۹۰

شکل(۴-۲۰)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی مربعی به ضخامت ۲۰۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۹۰

شکل(۴-۲۱)- نمودار مقایسه نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی مربعی به ضخامت ۶۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۹۱

شکل(۴-۲۲)- نمودار مقایسه ای نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی مربعی به ضخامت ۱۰۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۹۱

شکل(۴-۲۳)- نمودار مقایسه ای نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی مربعی به ضخامت ۲۰۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۹۱

شکل(۴-۲۴)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر به ضخامت ۶۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۹۳

شکل(۴-۲۵)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر به ضخامت ۱۰۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۹۳

شکل(۴-۲۶)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر به ضخامت ۲۰۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۹۳

شکل(۴-۲۷)- نمودار مقایسه نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر به ضخامت ۶۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۹۴

شکل(۴-۲۸)- نمودار مقایسه ای نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر به ضخامت ۱۰۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۹۴

شکل(۴-۲۹)- نمودار مقایسه ای نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر به ضخامت ۲۰۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۹۴

شکل(۴-۳۰)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر به ضخامت ۶۰ سانتی متر و با پانزده بار نقطه ای ۹۶

شکل(۴-۳۱)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر به ضخامت ۱۰۰ سانتی متر و با پانزده بار نقطه ای ۹۶

شکل(۴-۳۲)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر به ضخامت ۲۰۰ سانتی متر و با پانزده بار نقطه ای ۹۶

شکل(۴-۳۳)- نمودار مقایسه نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر به ضخامت ۶۰ سانتی متر و با پانزده بار نقطه ای ۹۷

شکل(۴-۳۴)- نمودار مقایسه ای نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر به ضخامت ۱۰۰ سانتی متر و با پانزده بار نقطه ای ۹۷

شکل(۴-۳۵)- نمودار مقایسه ای نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر به ضخامت ۲۰۰ سانتی متر و با پانزده بار نقطه ای ۹۷

شکل(۴-۳۶)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر به ضخامت ۶۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۹۹

شکل(۴-۳۷)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر به ضخامت ۱۰۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۹۹

شکل(۴-۳۸)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر به ضخامت ۲۰۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۹۹

شکل(۴-۳۹)- نمودار مقایسه نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر به ضخامت ۶۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۱۰۰

شکل(۴-۴۰)- نمودار مقایسه ای نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر به ضخامت ۱۰۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۱۰۰

شکل(۴-۴۱)- نمودار مقایسه ای نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر به ضخامت ۲۰۰ سانتی متر و با نه بار نقطه ای ۱۰۰

شکل(۴-۴۲)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر به ضخامت ۶۰ سانتی متر و با پانزده بار نقطه ای ۱۰۲

شکل(۴-۴۳)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر به ضخامت ۱۰۰ سانتی متر و با پانزده بار نقطه ای ۱۰۲

شکل(۴-۴۴)- منحنی لنگر خمشی M_{11} در لبه پی در راستای عرض برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر به ضخامت ۲۰۰ سانتی متر و با پانزده بار نقطه ای ۱۰۲

شکل(۴-۴۵)- نمودار مقایسه نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر به ضخامت ۶۰ سانتی متر و با پانزده بار نقطه ای ۱۰۳

شکل(۴-۴۶)- نمودار مقایسه ای نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر به ضخامت ۱۰۰ سانتی متر و با پانزده بار نقطه ای ۱۰۳

شکل(۴-۴۷)- نمودار مقایسه ای نسبت اختلاف های بدست آمده از مدل های مختلف با مدل مرجع به نسبت اختلاف مدل وینکلر با مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر به ضخامت ۲۰۰ سانتی متر و با پانزده بار نقطه ای ۱۰۳

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول (۲-۱)- روابط تئوریک و تجربی متداول تعیین ضریب عکس‌العمل ۱۷

جدول(۴-۱) - میانگین درصداختلاف های بدست آمده نسبت به مدل مرجع با در نظر گرفتن اثر تغییرات ممان اینرسی برای بارگذاری در یک چهارم دهانه ۷۵

جدول(۴-۲) - میانگین درصداختلاف های بدست آمده نسبت به مدل مرجع با در نظر گرفتن اثر تغییرات ممان اینرسی برای بارگذاری در وسط دهانه ۷۵

جدول(۴-۳) - میانگین درصداختلاف های بدست آمده نسبت به مدل مرجع با در نظر گرفتن اثر تغییرات ممان اینرسی برای بارگذاری در دو انتها ۷۶

جدول(۴-۴) - میانگین درصداختلاف های بدست آمده نسبت به مدل مرجع با در نظر گرفتن اثر تغییرات ممان اینرسی برای بارگذاری در دو انتها و وسط دهانه ۷۶

جدول(۴-۵) - میانگین درصداختلاف های بدست آمده نسبت به مدل مرجع با در نظر گرفتن اثر تغییرات مدول بستر برای بارگذاری در یک چهارم دهانه ۷۶

جدول (۴-۶) - میانگین درصداختلاف های بدست آمده نسبت به مدل مرجع با در نظر گرفتن اثر تغییرات مدول بستر برای بارگذاری در وسط دهانه ۷۷

جدول(۴-۷) - میانگین درصداختلاف های بدست آمده نسبت به مدل مرجع با در نظر گرفتن اثر تغییرات مدول بستر برای بارگذاری در دو انتها ۷۷

جدول(۴-۸) - میانگین درصداختلاف های بدست آمده نسبت به مدل مرجع با در نظر گرفتن اثر تغییرات مدول بستر برای بارگذاری در دو انتها و وسط دهانه ۷۷

جدول(۴-۹) - میانگین درصداختلاف های بدست آمده نسبت به مدل مرجع با در نظر گرفتن اثر تغییرات طول برای بارگذاری در یک چهارم دهانه ۷۷

جدول (۴-۱۰) - میانگین درصداختلاف های بدست آمده نسبت به مدل مرجع با در نظر گرفتن اثر تغییرات طول برای بارگذاری در وسط دهانه ۷۸

جدول(۴-۱۱)- میانگین درصداختلاف های بدست آمده نسبت به مدل مرجع با در نظر گرفتن اثر تغییرات طول برای بارگذاری در دو انتها ۷۸

جدول(۴-۱۲) – میانگین درصداختلاف های بدست آمده نسبت به مدل مرجع با در نظر گرفتن اثر تغییرات طول برای بارگذاری در دو انتها و وسط دهانه ۷۸

جدول(۴-۱۳) - درصداختلاف های بدست آمده نسبت به مدل مرجع برای بارگذاری نامتقارن ۷۹

جدول(۴-۱۴) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای بارگذاری در یک چهارم دهانه ۸۰

جدول (۴-۱۵) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای بارگذاری در وسط دهانه ۸۰

جدول (۴-۱۶) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای بارگذاری در دو انتها ۸۰

جدول(۴-۱۷) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی مربعی به ضخامت ۶۰ cm و با چهار بار نقطه ای ۸۶

جدول(۴-۱۸) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی مربعی به ضخامت ۱۰۰ cm و با چهار بار نقطه ای ۸۶

جدول(۴-۱۹) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی مربعی به ضخامت ۲۰۰ cm و با چهار بار نقطه ای ۸۶

جدول(۴-۲۰) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی مربعی به ضخامت ۶۰ cm و با نه بار نقطه ای ۸۹

جدول(۴-۲۱) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی مربعی به ضخامت ۱۰۰ cm و با نه بار نقطه ای ۸۹

جدول(۴-۲۲) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی مربعی به ضخامت ۲۰۰ cm و با نه بار نقطه ای ۸۹

جدول(۴-۲۳) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر، به ضخامت cm ۶۰ و با نه بار نقطه ای ۹۲

جدول(۴-۲۴) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر، به ضخامت cm ۱۰۰ و با نه بار نقطه ای ۹۲

جدول(۴-۲۵) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر، به ضخامت cm ۲۰۰ و با نه بار نقطه ای ۹۲

جدول(۴-۲۶) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر، به ضخامت cm ۶۰ و با پانزده بار نقطه ای ۹۵

جدول(۴-۲۷) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر، به ضخامت cm ۱۰۰ و با پانزده بار نقطه ای ۹۵

جدول(۴-۲۸) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۱۸×۱۲ متر، به ضخامت cm ۲۰۰ و با پانزده بار نقطه ای ۹۵

جدول(۴-۲۹) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر، به ضخامت cm ۶۰ و با نه بار نقطه ای ۹۸

جدول(۴-۳۰) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر، به ضخامت cm ۱۰۰ و با نه بار نقطه ای ۹۸

جدول(۴-۳۱) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر، به ضخامت cm ۲۰۰ و با نه بار نقطه ای ۹۸

جدول(۴-۳۲) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر، به ضخامت cm ۶۰ و با پانزده بار نقطه ای ۱۰۱

جدول(۴-۳۳) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر، به ضخامت cm ۱۰۰ و با پانزده بار نقطه ای ۱۰۱

جدول(۴-۳۴) - میانگین درصداختلاف نسبت به مدل مرجع برای پی گسترده به ابعاد ۲۴×۱۲ متر، به ضخامت cm ۲۰۰ و با پانزده بار نقطه ای ۱۰۱

لیست علائم و اختصارات

A ..... سطح مقطع

B ..... عرض پی

B' ..... کمترین بعد جانبی شالوده

C ..... نشانه تراکم

D ..... صلبیت خمشی

δ_c ..... میانگین درصد اختلاف لنگرهای بدست آمده از مدل وینکلر با مدل مرجع

δ_m ..... میانگین درصد اختلاف لنگرهای بدست آمده از مدل های بیان شده با مدل مرجع

δ ..... نسبت میانگین اختلاف

مدل ها با مدل مرجع به میانگین درصد اختلاف لنگر بدست آمده از مدل وینکلر با مدل مرجع

e ..... نشانه خلاء خاک رس(قبل از ساختمان پی)

EI ..... صلبیت خمشی شالوده

E_p ..... مدول یانگ صفحه

E_s ..... ضریب الاستیسیته خاک

E_{se} ..... ضریب الاستیسیته معادل

E_{si} ..... الاستیسیته در وسط هر لایه

G ..... مدول برشی

H_i ..... ضخامت هر لایه

h_p ..... ضخامت صفحه

I_{Di} ..... فاکتور عمق

I_F , I_S ..... ضرائب تأثیر

k , ks ..... ضریب عکس العمل بستر

k_s' .....ضریب عکس‌العمل بستر در زیر صفحه‌ای مربعی به عرض $1ft$

m_n ..... لنگر در جهتn

M_c ..... لنگرهای بدست آمده از مدل فنرهای ثابت

M_m ..... لنگرهای بدست آمده از مدل های مورد بررسی

M_R ..... لنگرهای بدست آمده از مدل مرجع

μ ..... ضریب بدون بعدی است که برابر است با نسبت حجم توده خاک بر طول

μ_p ..... نسبت پواسون ماده ی صفحه

P .....فشار وارده بر سطح

ΔP ..... اضافه فشار ناشی از بار قائم پی

$q(x,y)$ ..... فشار تماسی

S ..... نشست تحکیم

T ..... نیروی کششی

ν_b ..... نسبت پواسون صفحه

ν_s ..... نسبت پواسون خاک

$w(x,y)$ ..... خیز

بخش اول-کلیات

۱-۱- پیشگفتار

اندرکنش میان شالوده و خاک پیرامونی تکیه گاهش اهمیت اساسی در طراحی پی دارد و همواره توجه پژوهشگران و مهندسان را بخود جلب کرده است، زیرا رفتار واقعی شالوده را بگونه ای چشم گیر با آنچه که با در نظر گرفتن شالوده به تنهایی به دست می آید، تغییر می دهد. بنابراین تعیین مدلی با دقت مناسب برای اندرکنش سیستم خاک و پی برای بهبود طراحی سازه ها مورد نیاز می باشد.

ازجمله پرسش های بنیادینی که در اینجا مطرح می شود، این است که تغییرات عکس العمل بستر برای یک پی که بر روی خاک یکنواخت قرار دارد چگونه می باشد و در تحلیل پی های گسترده میزان اهمیت این تغییرات برای مدل های گوناگون چگونه می باشد؟ آگاهی از اهمیت این تغییرات بر روی نتایج تحلیل ها مهم می باشد.

یکی دیگر از پرسش های اساسی در طرح و محاسبه پی ها، بویژه پی های نواری، گسترده و شمع های تحت بار جانبی، مسئله عملکرد متقابل (یا اندرکنش) خاک و شالوده است. برای بررسی این مسئله، بررسی رفتار خاک در برابر بارهای خارجی دارای اهمیت زیادی است.

رفتار خاک تابع عوامل بسیار زیادی مانند درصد رطوبت، چگالی، نوع کانی های تشکیل دهنده ذرات، اندازه دانه ها، شکل دانه ها، منحنی دانه بندی، وضعیت کنونی تنش، تاریخچه تنش (وضعیت تنش در گذشته)، فشار منفذی، درجه اشباع، میزان نفوذ پذیری، زمان و دما می باشد.

به هر روی برای بررسی اندرکنش خاک و پی، پژوهشگران درصدد بر آمده اند تا با کاوش در مورد نحوه رفتار خاک در برابر بارهای وارد شده، مدلی برای آن بیابند. همانگونه که گفته شد رفتار خاک تابع عوامل بسیاری است و به همین دلیل نشان دادن مدلی که در برگیرنده اثر تمام عوامل باشد، بسیار پیچیده و دشوار است. بنابراین در حل مسائل وابسته به اندرکنش خاک و پی، از اثر پاره ای از ویژگی های خاک که دارای ارزش کمتری هستند چشم پوشی می شود و بدین سان مدل ساده شده ای بدست می آید که دارای پارامترهای کمتری می باشد. در چنین شرایطی پارامترهای موجود باید بگونه ای انتخاب شوند که کمبود پارامترهای حذف شده را جبران نمایند[۱].

۱-۲- تعریف مسئله

طراحی پی ساختمان ها به طور معمول با فرض وجود یک بستر الاستیک در زیر پی انجام می شود. در این روش سختی بستر زیر پی به صورت یکنواخت فرض می گردد. این در حالی است که پژوهش های انجام شده نشان می دهد که سختی بستر زیر پی نیز یکنواخت نمی باشد. برای بررسی اثر خاک زیر پی فنرها با سختی متغیر بکار برده شده است. از سوی دیگر خاک پیرامون پی نیز اثر چشمگیری بر عکس العمل داشته و حال آنکه در روش های ساده شده از جمله وینکلر این نکته در نظر گرفته نمی شود. در این پژوهش سعی شده تا با بکارگیری روشی درست اثر خاک پیرامونی بر روی شالوده ها مورد بررسی قرار گیرد بنابراین با مدل کردن فنرهایی بصورت متمرکز در گوشه پی نواری و در لبه های پی گسترده، اثر خاک پیرامونی پی