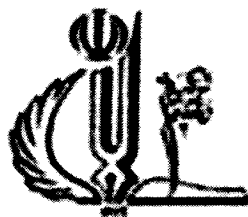


نام خدا

۱۴۷۹۷۸ - ۲۴۹۷۵۱



دانشگاه تبریز

دانشکده فنی - مهندسی عمران

گروه خاک و پی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران - مکانیک خاک و پی

عنوان

**مطالعه پارامتریک رفتار ریزش مع مایل تحت اثر بار استاتیکی قائم**

استاد راهنما

دکتر توحید اخلاقی

استاد مشاور

دکتر محمد حسین امین فر

۱۳۸۹/۹/۲۸

پژوهشگر

آیدین رسائی

شهریور ۱۳۸۹

۱۴۷۶۷۸

دبدم زنده از آنیم که دم زنده از اوست    دم زن از عشق و جودی که عدم زنده از اوست  
آفرینش قلم اندازش و عشقش رقم است    آفرینش به قلم کن که رقم زنده از اوست

(استادشیراز)

تقدیم ہے:

پیشگاہ مادر عزیز و پدر نزر کو ارم

## تقدیر و شکر

بنام ایزد یکتا

بدین وسیله از کلیه معلمین و مدرّسین که در امر آموزش در حق اینجانب متحمل زحمت گردیده اند کمال تشکر و

قدر دانی را دارم.

ضمناً از اساتید عزیز و کرامی که در دانشگاه به من علم آموخته و با کمال محبت باعث گردیده اند که این پایان نامه به اتمام

برسد قدر دانی کرده و دست بوس، بستم امیدوارم دعا های خیرشان را احشای زندگیم باشد.

در خاتمه از جناب آقای دکتر توحید اخلاقی استاد معظم و استاد راهنمای مغز که در گردآوری این مجموعه چراغ راه بنامیم

بودند نهایت سپاسگذارم.

نام خانوادگی: رسائی نام: آیدین
عنوان پایان‌نامه: مطالعه پارامتریک رفتار ریزشمع مایل تحت اثر بار استاتیکی قائم
استاد راهنما: دکتر توحید اخلاقی استاد مشاور: دکتر محمد حسین امین‌فر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی عمران گرایش: خاک و پی دانشگاه: تبریز دانشکده: فنی مهندسی عمران تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۸۹/۰۶/۳۰ تعداد صفحه: ۱۶۷
کلمات کلیدی: ریزشمع مایل، نشست قائم، تحلیل غیر خطی، موهر- کولمب، بار قائم
<p><b>چکیده:</b></p> <p>ریزشمع‌ها، شمع‌های لوله‌ای کوچک با قطر کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر هستند که با حفر گمانه، تسلیح فولادی سبک و تزریق دوغاب اجرا می‌شوند. اساساً ریزشمع‌ها بعنوان المان‌هایی بمنظور تقویت پی سازه‌های جدید و مقاوم‌سازی پی سازه‌های موجود، مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به تازگی و در عین حال مزایای بسیار این سیستم، لزوم مطالعات بیشتر در زمینه ارزیابی رفتار سیستم ریزشمع- خاک و اندرکنش آن آشکار می‌گردد. در این پایان‌نامه به بررسی اثر پارامترهای زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک و زاویه میل، طول و قطر ریزشمع بر پاسخ سیستم ریزشمع- خاک پرداخته شده است. رفتار ریزشمع مایل تحت اثر بار استاتیکی قائم، با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود Abaqus، تحت تحلیل غیرخطی، مورد بررسی قرار گرفته است. مدل رفتاری برای محیط خاک و خاک تثبیت شده، مدل موهر- کولمب و برای غلاف فولادی، بتن و آرماتور، بصورت الاستیک در نظر گرفته شده است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که افزایش زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک و قطر و طول ریزشمع سبب کاهش نشست قائم شده و در مقایسه پارامترهای طول و قطر بمنظور تأثیر بیشینه، افزایش قطر نسبت به طول ارجح است. مطالعه تأثیر تغییرات زاویه میل بر ریزشمع مبنا و تأثیر تغییرات دو پارامتر طول و زاویه میل بر ریزشمع به قطر ۷۸ میلی‌متر با لحاظ معیار حداقل نشست، نشان می‌دهد که در حالت اول زاویه میل <math>15^\circ</math> و در حالت دوم زاویه میل <math>20^\circ</math>، در خاک ماسه سیلتی از شرایط بهتری برخوردار است. توصیه می‌گردد حداقل امکان ریزشمع‌های مایل در خاک مذکور در محدوده <math>15^\circ</math> الی <math>30^\circ</math> اجرا شوند.</p> <p>در بررسی اندرکنش سیستم، با افزایش قطر و زاویه میل ریزشمع، لنگر خمشی سیر صعودی داشته و طول گیرداری پای ریزشمع کاهش می‌یابد و با افزایش پارامتر طول، لنگر خمشی افزایش، ولی تأثیری در میزان طول گیرداری ندارد. با افزایش زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک حداکثر لنگر خمشی بوجود آمده نیز افزایش می‌یابد. در ادامه مجموعه نتایج حاصل منحنی‌های طراحی ریزشمع‌های مایل ارائه گردیده است.</p>

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

چکیده

فهرست جداول

فهرست اشکال

### فصل اول - کلیات

۱	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- بیان مساله
۳	۳-۱- اهداف پژوهش
۴	۴-۱- روش و محدوده پژوهش
۴	۵-۱- فصول پایان نامه

### فصل دوم - مروری بر ادبیات فنی و پیشینه پژوهش

۶	۱-۲- مقدمه
۶	۲-۲- ریزشمع ها
۸	۱-۲-۲- تاریخچه
۱۱	۲-۲-۲- سیستم طبقه بندی ریزشمع ها
۱۱	۱-۲-۲-۲- انواع ریزشمع
۱۲	۱-۱-۲-۲-۲- طبقه بندی براساس کاربری طراحی
۱۴	۲-۱-۲-۲-۲- طبقه بندی براساس نحوه اجرا
۱۷	۳-۲-۲- دامنه کاربرد ریزشمع ها
۱۹	۱-۳-۲-۲- تکیه گاه سازه ای
۲۳	۲-۳-۲-۲- مقاوم سازی درجا (پایداری شیروانی ها و محافظت خاک)
۲۶	۳-۳-۲-۲- معیارهای مؤثر در انتخاب ریزشمع ها
۲۷	۱-۳-۳-۲-۲- ملاحظات فیزیکی
۲۸	۲-۳-۳-۲-۲- شرایط زیر سطحی





## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۷۱	۱-۲-۲-۳- تعریف مشخصات مصالح
۷۶	۲-۲-۲-۳- اختصاص مشخصات مصالح
۷۷	۳-۲-۳- مدول Assembly
۷۸	۴-۲-۳- مدول Step
۷۹	۱-۴-۲-۳- آنالیزهای پرکاربرد
۸۲	۵-۲-۳- مدول Interaction
۸۴	۶-۲-۳- مدول Load
۸۴	۱-۶-۲-۳- بارگذاری
۸۶	۲-۶-۲-۳- شرایط مرزی
۸۷	۷-۲-۳- مدول Mesh
۸۷	۱-۷-۲-۳- تعیین شکل المان و تکنیک مش بندی
۸۹	۲-۷-۲-۳- اختصاص ابعاد و تعداد المان های مش
۹۱	۸-۲-۳- مدول Job
۹۱	۹-۲-۳- مدول Visualization
۹۳	۳-۳- معرفی مصالح مورد استفاده
۹۳	۱-۳-۳- خاک
۹۴	۲-۳-۳- ریزشمع
۹۵	۴-۳- مدل سازی مصالح
۹۵	۱-۴-۳- تعریف عمومی تنش
۹۸	۲-۴-۳- تعریف کلی کرنش
۱۰۰	۳-۴-۳- کرنش های کشسان
۱۰۱	۴-۴-۳- مدل موهر- کولمب
۱۰۲	۱-۴-۴-۳- رفتار کشسان- خمیری کامل
۱۰۴	۲-۴-۴-۳- فرمول سازی مدل موهر- کولمب
۱۰۶	۳-۴-۴-۳- پارامترهای اصلی مدل موهر- کولمب
۱۱۰	۵-۳- مدل سازی مسئله
۱۱۰	۱-۵-۳- هندسه مدل
۱۱۲	۲-۵-۳- اختصاص خواص مواد

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۱۲	۳-۵-۳- مونتاژ قطعات
۱۱۳	۳-۵-۴- تعریف مراحل حل
۱۱۴	۳-۵-۵- سطح تماس
۱۱۴	۳-۵-۶- اعمال شرایط مرزی و بارگذاری
۱۱۵	۳-۵-۷- مش بندی
۱۱۷	۳-۵-۸- حل مسئله
۱۱۷	۳-۵-۹- مشاهده نتایج خروجی
۱۱۹	۳-۶- صحت سنجی مدل سازی عددی
۱۲۴	۳-۷-۷- آنالیز حساسیت
۱۲۴	۳-۷-۱- شعاع خاک
۱۲۵	۳-۷-۲- عمق خاک
۱۲۵	۳-۷-۳- مش بندی مدل
۱۲۷	۳-۸- محاسبات بار مجاز ریزشمع

### فصل چهارم - بحث و نتایج

۱۲۹	۴-۱- مقدمه
۱۳۱	۴-۲- قطر ریزشمع
۱۳۱	۴-۲-۱- تاثیر قطر ریزشمع بر پاسخ سیستم ریزشمع - خاک
۱۳۵	۴-۳- طول ریزشمع
۱۳۶	۴-۳-۱- تاثیر طول ریزشمع بر پاسخ سیستم ریزشمع - خاک
۱۴۰	۴-۴- زاویه میل ریزشمع
۱۴۱	۴-۴-۱- تاثیر زاویه میل ریزشمع بر پاسخ سیستم ریزشمع - خاک
۱۴۵	۴-۴-۲- بررسی اثر تغییرات پارامترهای طول و زاویه میل بر ریزشمع با قطر ۷۸ میلی متر
۱۵۳	۴-۵- زاویه اصطکاک داخلی
۱۵۳	۴-۵-۱- تاثیر زاویه اصطکاک داخلی خاک بر پاسخ سیستم ریزشمع - خاک
۱۵۶	۴-۶- چسبندگی
۱۵۷	۴-۶-۱- تاثیر چسبندگی خاک بر پاسخ سیستم ریزشمع - خاک

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	<b>فصل پنجم - نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات</b>
۱۶۱	۵-۱- نتیجه گیری
۱۶۳	۵-۲- پیشنهادات
۱۶۴	<b>منابع</b>

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۶	جدول (۱-۲): جزئیات طبقه‌بندی ریزشمع بر اساس روش تزریق
۱۸	جدول (۲-۲): ارتباط بین کاربرد، رفتار مبنای طراحی و نوع اجرای ریزشمع‌ها
۳۷	جدول (۳-۲): ضریب کارایی گروه ریزشمع در ماسه فونتیوبیلو در پروژه فورور
۶۰	جدول (۴-۲): مقاومت اسمی اتصال دوغاب- زمین
۹۳	جدول (۱-۳): مشخصات خاک مینا
۹۴	جدول (۲-۳): مشخصات خاک تثبیت شده
۹۴	جدول (۳-۳): مشخصات ریزشمع مینا
۱۱۹	جدول (۴-۳): مشخصات شمع و خاک مدل‌سازی شده توسط امید علی و همکاران
۱۲۱	جدول (۵-۳): مشخصات خاک آزمایش Russo
۱۲۱	جدول (۶-۳): مشخصات ریزشمع آزمایش Russo
۱۲۳	جدول (۷-۳): مشخصات ریزشمع مدل شده توسط سهیل نیازمند
۱۲۷	جدول (۸-۳): پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبات ظرفیت باربری
۱۲۹	جدول (۱-۴): محدوده تغییرات پارامترهای مورد مطالعه

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۷	شکل (۱-۲): مراحل اجرای ریزشمع
۹	شکل (۲-۲): سازه تقویت شده با شمع ریشه‌ای
۱۰	شکل (۳-۲): نمونه شمع ریشه‌ای مجتمع
۱۲	شکل (۴-۲): ریزشمع‌های نوع یک
۱۳	شکل (۵-۲): ریزشمع‌های نوع دو
۱۴	شکل (۶-۲): طبقه بندی ریزشمع بر اساس روش‌های مختلف تزریق
۱۷	شکل (۷-۲): طبقه‌بندی بر اساس کاربرد ریزشمع‌ها
۲۲	شکل (۸-۲): نحوه تقویت پل پوکوموک ریور در مریلند
۲۴	شکل (۹-۲): شکل متداول دیواره شمع‌های مایل
	شکل (۱۰-۲): پایداری شیروانی بخشی از مسیر استیت رود ۴۰۲۳، منطقه ارمسترانگ کانتی، پنسیلوانیا
۲۶	
۲۸	شکل (۱۱-۲): اجرای ریزشمع‌ها در شرایطی با ارتفاع بالاسری کم
	شکل (۱۲-۲): محافظت از یک دیوار دیافراگمی به کمک شبکه متقاطع ریزشمع‌ها با استفاده از دوغاب ضد اسید
۳۱	
۳۵	شکل (۱۳-۲): شکل شماتیک آزمایش سانتریفیوژ جران و همکاران
۳۶	شکل (۱۴-۲): شکل شماتیک آزمایش سانتریفیوژ ماساشی و همکاران
۳۸	شکل (۱۵-۲): شبکه اجزای محدود برای شمع منفرد، اوستا و همکاران
۴۰	شکل (۱۶-۲): مدل مش بندی بکار رفته در تحلیل اندرکنش سیستم خاک-ریزشمع-سازه
۴۱	شکل (۱۷-۲): شبکه اجزای محدود پی ریزشمعی مسلح
۴۸	شکل (۱۸-۲): رفتار شمع تحت بار محوری در شش حالت مختلف بارگذاری
۵۱	شکل (۱۹-۲): توابع انتقال برای حالت‌های مختلف توزیع مقاومت اصطکاکی
۵۳	شکل (۲۰-۲): توزیع نیروی محوری در شمع
۵۵	شکل (۲۱-۲): روش تعیین محل صفحه خشی
	شکل (۲۲-۲): نمودارهای بار-تغییر مکان برای نشان دادن وابستگی محل تشکیل صفحه خشی به نشست
۵۶	
۶۱	شکل (۲۳-۲): جزئیات ریزشمع برای طراحی
۶۷	شکل (۱-۳): مراحل مدل سازی
۶۸	شکل (۲-۳): انتخاب مشخصات Part
۶۹	شکل (۳-۳): انواع روش Extrude
۶۹	شکل (۴-۳): انواع روش Revolution
۷۰	شکل (۵-۳): انواع روش Sweep
۷۰	شکل (۶-۳): قابلیت‌های رسم و اصلاح هندسه مدل

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۷۱	شکل (۷-۳): کاربردهای دستور Cut
۷۲	شکل (۸-۳): پنجره Edit material
۷۲	شکل (۹-۳): تنظیمات مدل رفتاری Elastic
۷۲	شکل (۱۰-۳): مدل‌های رفتاری Plastic
۷۴	شکل (۱۱-۳): تنظیمات مربوط به مدل رفتاری Mohr Coulomb Plasticity
۷۵	شکل (۱۲-۳): تعریف سایر مشخصات مواد
۷۶	شکل (۱۳-۳): ایجاد Section
۷۶	شکل (۱۴-۳): ایجاد پروفیل
۷۷	شکل (۱۵-۳): مونتاژ قطعات
۷۹	شکل (۱۶-۳): تعیین نوع مراحل حل
۸۰	شکل (۱۷-۳): آنالیز Soils
۸۱	شکل (۱۸-۳): ناپایداری قابل حل توسط آنالیز Static,Riks
۸۱	شکل (۱۹-۳): آنالیز Static,Riks
۸۲	شکل (۲۰-۳): تعیین نتایج خروجی
۸۲	شکل (۲۱-۳): تعیین نوع تماس
۸۳	شکل (۲۲-۳): تعریف ویژگی‌های اندرکنش اصطکاکی
۸۴	شکل (۲۳-۳): تعیین نوع تماس و رفتار تماسی
۸۵	شکل (۲۴-۳): بارگذاری‌های گروه Mechanical
۸۶	شکل (۲۵-۳): بارگذاری‌های ممکن در آنالیزهای Soils و Geostatic
۸۶	شکل (۲۶-۳): تعیین نوع شرایط مرزی
۸۷	شکل (۲۷-۳): تعیین نوع مونتاژ و انتخاب قطعه
۸۷	شکل (۲۸-۳): انتخاب شکل المان و روش مش‌بندی برای المان‌های دو و سه‌بعدی
۸۸	شکل (۲۹-۳): انواع Element Shape برای المان دو بعدی
۸۸	شکل (۳۰-۳): انواع Element Shape برای المان سه بعدی
۸۹	شکل (۳۱-۳): دانه‌بندی المان
۹۰	شکل (۳۲-۳): انواع تکنیک‌های دانه‌بندی
۹۱	شکل (۳۳-۳): تعیین نوع المان مش و ویژگی‌های آن
۹۰	شکل (۳۴-۳): Element Shapes Linear or Quadratic
۹۲	شکل (۳۵-۳): خروجی نتایج به شکل کتور
۹۲	شکل (۳۶-۳): خروجی نتایج به شکل نمودار
۹۳	شکل (۳۷-۳): خروجی نتایج به شکل جدول
۹۳	شکل (۳۸-۳): خروجی نتایج به شکل برداری

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۹۶	شکل (۳-۳۹): مختصات سه بعدی و جهت علامت تنش
۹۷	شکل (۳-۴۰): فضای تنش اصلی
۱۰۳	شکل (۳-۴۱): ایده پایه مدل کشسان - خمیری کامل
۱۰۵	شکل (۳-۴۲): سطح تسلیم موهر- کولمب در فضای تنش اصلی ( $C=0$ )
۱۰۷	شکل (۳-۴۳): تعریف $E_0$ و $E_{50}$ برای نتایج آزمایش سه محوری استاندارد
۱۰۹	شکل (۳-۴۴): دایره تنش در حالت تسلیم و پوش کولمب
۱۱۰	شکل (۳-۴۵): ایجاد مدل خاک
۱۱۱	شکل (۳-۴۶): محیط خاک اطراف
۱۱۱	شکل (۳-۴۷): ریزشمع و زون تثبیت شده اطراف آن
۱۱۲	شکل (۳-۴۸): مدل خاک و ریزشمع پس از اختصاص مصالح
۱۱۳	شکل (۳-۴۹): دستورات لازم جهت مونتاژ قطعات
۱۱۳	شکل (۳-۵۰): چگونگی مونتاژ قطعات
۱۱۴	شکل (۳-۵۱): بارگذاری سر ریزشمع
۱۱۴	شکل (۳-۵۲): شرایط مرزی محیط خاک
۱۱۵	شکل (۳-۵۳): مش بندی ریزشمع و زون تثبیت شده
۱۱۶	شکل (۳-۵۴): تنظیمات نوع المان مش ریزشمع و زون تثبیت شده
۱۱۵	شکل (۳-۵۵): مش بندی محیط خاک
۱۱۶	شکل (۳-۵۶): تنظیمات نوع المان مش خاک
۱۱۷	شکل (۳-۵۷): تغییر شکل سیستم ریزشمع - خاک تحت اثر بار قائم
۱۱۸	شکل (۳-۵۸): تغییر شکل خاک تحت اثر بار قائم
۱۱۸	شکل (۳-۵۹): تغییر شکل ریزشمع تحت اثر بار قائم
۱۲۰	شکل (۳-۶۰): منحنی های بار- جابه جایی شمع قائم
۱۲۰	شکل (۳-۶۱): منحنی های بار- جابه جایی شمع مایل
۱۲۲	شکل (۳-۶۲): منحنی های بار- جابه جایی حاصل از آزمایش و تحلیل عددی
۱۲۲	شکل (۳-۶۳): مقایسه منحنی های بار- جابه جایی نتایج تحلیل عددی
۱۲۴	شکل (۳-۶۴): منحنی های بار- جابه جایی آنالیز حساسیت شعاع
۱۲۵	شکل (۳-۶۵): منحنی های بار- جابه جایی آنالیز حساسیت عمق خاک
۱۲۶	شکل (۳-۶۶): منحنی های بار- جابه جایی آنالیز حساسیت مش
۱۳۰	شکل (۴-۱): شبکه اجزای محدود مدل سیستم ریزشمع - خاک
۱۳۰	شکل (۴-۲): منحنی بار- جابجایی قائم ریزشمع مینا
۱۳۱	شکل (۴-۳): تاثیر تغییرات قطر بر منحنی های بار- جابجایی قائم
۱۳۲	شکل (۴-۴): نمودار تاثیر تغییرات قطر بر نشست قائم ریزشمع

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۱۳۲	شکل (۵-۴): نمودار تاثیر تغییرات قطر بر بار قائم مجاز ریزشمع
۱۳۳	شکل (۶-۴): منحنی‌های تغییرات لنگر خمشی در طول ریزشمع
۱۳۴	شکل (۷-۴): نمودار تاثیر تغییرات قطر بر لنگر خمشی ماکزیمم تحت بار مجاز
۱۳۵	شکل (۸-۴): منحنی‌های تغییرات نشست قائم در طول ریزشمع
۱۳۶	شکل (۹-۴): تاثیر تغییرات طول ریزشمع بر منحنی‌های بار-جابجایی قائم
۱۳۷	شکل (۱۰-۴): نمودار تاثیر تغییرات طول بر نشست قائم ریزشمع
۱۳۷	شکل (۱۱-۴): نمودار تاثیر تغییرات طول بر بار مجاز ریزشمع
۱۳۸	شکل (۱۲-۴): منحنی‌های تغییرات لنگر خمشی در طول ریزشمع
۱۳۹	شکل (۱۳-۴): نمودار تاثیر تغییرات طول بر لنگر خمشی ماکزیمم
۱۳۹	شکل (۱۴-۴): منحنی‌های تغییرات نشست قائم در طول ریزشمع
۱۴۱	شکل (۱۵-۴): تاثیر تغییرات زاویه میل بر منحنی‌های بار-جابجایی قائم
۱۴۲	شکل (۱۶-۴): نمودار تاثیر تغییرات زاویه میل بر نشست قائم برای بار ثابت ۵۰ تن
۱۴۲	شکل (۱۷-۴): نمودار تاثیر تغییرات زاویه میل بر نشست قائم تحت بار مجاز
۱۴۳	شکل (۱۸-۴): نمودار تاثیر تغییرات زاویه میل بر بار مجاز
۱۴۴	شکل (۱۹-۴): منحنی‌های تغییرات لنگر خمشی در طول ریزشمع
۱۴۴	شکل (۲۰-۴): نمودار تغییرات زاویه میل بر لنگر خمشی ماکزیمم تحت بار مجاز
۱۴۵	شکل (۲۱-۴): منحنی‌های تغییرات نشست قائم در طول ریزشمع
۱۴۶	شکل (۲۲-۴): تاثیر تغییرات طول ریزشمع بر منحنی‌های بار-جابجایی قائم برای $\alpha = 10^\circ$
۱۴۷	شکل (۲۳-۴): تاثیر تغییرات طول ریزشمع بر منحنی‌های بار-جابجایی قائم برای $\alpha = 15^\circ$
۱۴۷	شکل (۲۴-۴): تاثیر تغییرات طول ریزشمع بر منحنی‌های بار-جابجایی قائم برای $\alpha = 20^\circ$
۱۴۸	شکل (۲۵-۴): تاثیر تغییرات طول ریزشمع بر منحنی‌های بار-جابجایی قائم برای $\alpha = 30^\circ$
۱۴۸	شکل (۲۶-۴): تاثیر تغییرات طول ریزشمع بر منحنی‌های بار-جابجایی قائم برای $\alpha = 35^\circ$
۱۵۰	شکل (۲۷-۴): تاثیر تغییرات طول و زاویه میل ریزشمع بر منحنی‌های بار-جابجایی قائم
۱۵۰	شکل (۲۸-۴): منحنی‌های نشست قائم در برابر زاویه میل ریزشمع
۱۵۱	شکل (۲۹-۴): منحنی‌های تغییرات نشست در برابر طول ریزشمع
۱۵۲	شکل (۳۰-۴): منحنی‌های طراحی بر اساس حداکثر لنگر خمشی در مقابل طول ریزشمع
۱۵۲	شکل (۳۱-۴): منحنی‌های طراحی بر اساس حداکثر لنگر خمشی در مقابل محور بی بعد $L/D$
۱۵۳	شکل (۳۲-۴): تاثیر تغییرات زاویه اصطکاک داخلی بر منحنی‌های بار-جابجایی قائم
۱۵۴	شکل (۳۳-۴): نمودار تاثیر تغییرات زاویه اصطکاک داخلی بر نشست قائم ریزشمع
۱۵۵	شکل (۳۴-۴): منحنی‌های تغییرات لنگر خمشی در طول ریزشمع
۱۵۵	شکل (۳۵-۴): نمودار تاثیر تغییرات زاویه اصطکاک داخلی بر لنگر خمشی ماکزیمم
۱۵۶	شکل (۳۶-۴): منحنی‌های تغییرات نشست قائم در طول ریزشمع



## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۱۵۷	شکل (۳۷-۴): تاثیر تغییرات چسبندگی خاک بر منحنی های بار-جابجایی قائم
۱۵۸	شکل (۳۸-۴): نمودار تاثیر تغییرات چسبندگی بر نشست قائم ریزشمع
۱۵۸	شکل (۳۹-۴): منحنی های تغییرات لنگر خمشی حداکثر در طول ریزشمع
۱۵۹	شکل (۴۰-۴): نمودار تاثیر تغییرات چسبندگی بر لنگر خمشی حداکثر
۱۵۹	شکل (۴۱-۴): منحنی های تغییرات نشست قائم در طول ریزشمع

فصل اول:

# کلمات

## فصل اول

### کلیات

#### ۱-۱- مقدمه

استفاده از ریزشمع‌ها<sup>۱</sup> از دهه ۵۰ میلادی و به خصوص از اواسط دهه ۸۰ میلادی به صورت قابل توجهی رشد یافته است. اساساً ریزشمع‌ها به عنوان المان‌هایی برای تقویت پی<sup>۲</sup> در راستای مقاومت، در مقابل بارگذاری‌های استاتیکی و لرزه‌ای، تسلیح شیب‌ها و پایدارسازی دیواره‌ گودها و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند. بطور کلی در مواجهه با خاک‌های مسئله‌دار نظیر خاک‌های سست با قابلیت باربری کم، نشست‌پذیری زیاد، روانگرا، خاکهای دستی و ... دو راه پیش روی مهندسين ژئوتکنیک قرار دارد:

(۱) استفاده از المان‌های باربر در خاک

(۲) بهسازی و اصلاح خواص فیزیکی- مکانیکی توده خاک

هر یک از راه حل‌های فوق دارای روش‌ها و مشخصات مربوط به خود می‌باشند که طی سالیان متمادی توسعه فراوانی یافته‌اند. برخی از تکنیک‌های ابداعی نیز ماهیتی ترکیبی از دو دسته فوق داشته و مزایای هر دو دسته را به‌همراه دارند. یکی از جدیدترین، سریعترین و با صرفه‌ترین روش‌ها برای تحکیم و افزایش مقاومت زمین‌هایی که قابلیت باربری لازم جهت احداث سازه‌های مورد نظر بر روی آنها را ندارند، استفاده از ریزشمع و تزریق دوغاب سیمان می‌باشد که به وسیله این تکنیک علاوه بر تغییر مشخصات مکانیکی و ژئوتکنیکی خاک و افزایش مقاومت آن می‌توان از توان باربری خود ریزشمع نیز به عنوان المان باربر استفاده نمود.

---

<sup>۱</sup> -Micropiles

<sup>۲</sup> -Underpinning

ریزشمع‌ها به شمع‌های لوله‌ای با قطر کوچک (کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر) اطلاق می‌گردد که غالباً با حفر گمانه، تسلیح فولادی سبک و تزریق دوغاب سیمان همراه می‌باشند. متناسب با خواص اولیه خاک و مشخصات دوغاب، انجام عملیات تزریق سبب بهبود خواص اولیه خاک می‌گردد. بدین صورت که در خاک‌های دانه‌ای، دوغاب سیمان در حفرات و فضای خالی توده خاک نفوذ کرده و با ایجاد یک ناحیه سخت اطراف گمانه تزریق، تا شعاع مفروضی خواص خاک را بهبود می‌بخشد و در خاک‌های ریزدانه و چسبنده تزریق تحت فشار دوغاب سیمان، سبب ایجاد ترک در توده خاک شده که با نفوذ دوغاب اسکلتی بهم پیوسته و سخت از خاک و دوغاب شکل می‌گیرد. با توجه به ویژگی‌های خاص آنها، دارای قابلیت و مزایای خوبی می‌باشند که باعث استفاده روز افزون این تکنولوژی در مقاوم‌سازی پی‌ها گردیده است. از جمله این مزایا می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

(۱) اجرای ریزشمع‌ها کمترین درجه دست خوردگی را در محیط خاک ایجاد می‌کند و نیز حجم خاکبرداری در اجرای آن کم است.

(۲) می‌توان آنها را به راحتی تحت هر زاویه نسبت به قائم اجرا نمود.

(۳) با توجه به سبکی و کوچک بودن تجهیزات نصب ریزشمع‌ها و از آنجایی که فرآیند اجرای آنها ارتعاش و صدای کمی تولید می‌کند، جهت مقاوم‌سازی پی سازه‌های موجود و در مکان‌هایی با دسترسی دشوار و مسقف با ارتفاع بالاسری کم هم قابل استفاده هستند.

(۴) ریزشمع‌های مایل قابلیت تحمل بارهای جانبی و قائم را دارند.

(۵) در انواع شرایط بارگذاری از انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار هستند.

با توجه به مطالعات اخیر، عملکرد مناسبی از ریزشمع‌ها دیده شده است با این حال هنوز مطالعات کافی در این خصوص انجام نشده و لزوم تحقیق بیشتر در زمینه درک دقیق از رفتار ریزشمع‌ها بسیار ضروری و مشهود می‌باشد. این موضوع باعث استفاده از تحلیل‌های عددی مانند اجزای محدود در بررسی و تحقیق عمیق‌تر رفتار ریزشمع‌ها شده است.