بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی

گروه مهندسی معدن

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته استخراج معدن

موضوع:

بررسی تأثیر شرایط‌مرزی در تنش افقی و قائم ایجاد شده در پایه‌های معدنی

تنظیم و نگارش:

آزاد دهقانی

استاد راهنما :

دکتر حسن مومیوند

استاد مشاور:

مهندس شاهو رحیمی

شهریور ۱۳۹۱

حق هر گونه چاپ و نشر این پایان نامه در انحصار دانشگاه ارومیه می باشد

تقدیم به:

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می نمایم به:

- محضر ارزشمند پدر و مادر عزیزم به خاطر همه تلاش های محبت آمیزی که در دوران مختلف زندگی ام انجام داده اند و با مهربانی چگونه زیستن را به من آموخته اند.

- به همسر مهربانم که در تمام طول تحصیل همراه و همگام من بوده است.

- به استادان فرزانه و فرهیخته ای که در راه کسب علم و معرفت مرا یاری نمودند.

- به آنان که در راه کسب دانش راهنمایم بودند.

- به آنان که نفس خیرشان و دعای روح پرورشان بدرقه راهم بود.

- الها به من کمک کن تا بتوانم ادای دین کنم و به خواسته آنان جامه عمل بپوشانم.

- پروردگارا حسن عاقبت، سلامت و سعادت را برای آنان مقدر نما.

- خدایا توفیق خدمتی سرشار از شور و نشاط و همراه و همسو با علم و دانش و پژوهش جهت رشد و شکوفایی ایران کهنسال عنایت بفرما.

تقدیر و تشکر

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایاننامه را به اتمام برسانم. به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» و نیز به استناد آیه شریفه‌ی ۱۰ از سوره مبارکه فاطر که خداوند می‌فرماید:" الیه یصعد الکلم الطیب و العمل الصالح یرفعه" ، سخنان و کلام ارزشمند به سوی خدا صعود می‌کند و با ابدیت سنخیت پیدا کرده و همواره آثار خود را ظاهر می‌سازند. بسی شایسته است، از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر حسن مومیوند که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند، و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی‌های کارساز و سازنده بارور ساختند; صمیمانه سپاسگذاری نمایم و از تلاش‌های مداوم وکوشش‌های مستمر ایشان در اشاعه‌ی تعلیم و تربیت و بسط و توسعه علم و دانش و نیز از روشن‌رأی و کارگشایی ثمربخششان به عنوان استادراهنما درکمال امتنان و افتخار تقدیر و تشکر نمایم (و یزکیهم و یعلمهم الکتاب و الحکمه).

معلما مقامت ز عرش برتر باد همیشه توسن اندیشه‌ات مظفر باد

به نکته‌های دلاویز و گفته‌های بلند صحیفه‌های سخن از تو علم پرور باد

همچنین لازم می‌دانم که از راهنمایی‌های آقای مهندس شاهو رحیمی به عنوان استاد مشاور و سایر اساتید بزرگوار گروه مهندسی معدن صمیمانه سپاسگذاری نمایم.

از راهنمایی‌های آقای ایوب الیاسی دانشجوی دکترای مکانیک‌سنگ تربیت‌مدرس در زمینه استفاده از نرم‌افزار تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در پایان از تمامی دوستان گرامی به خاطر راهنمایی‌ها و دلگرمی‌هایشان در طول تحصیل تشکر می‌کنم.

چکیده

به علت وجود شرایط‌مرزی تماس در رابطه با اختلاف ویژگی‌های مکانیکی سقف یا کف با لایه زغالسنگ، تنش‌های اصطکاکی در محل تماس بوجود می‌آید که به صورت تنش‌افقی در داخل پایه توسعه می‌یابند. برای بررسی تأثیر شرایط‌مرزی در تنش‌های ایجاد شده در پایه‌های معدنی، به شیوه‌ای نو پایه‌هایی دارای نسبت‌های مختلف عرض به ارتفاع با زاویه‌اصطکاک سطح‌تماس سقف و کف (ϕ_b) به ترتیب ۰، ۱۰°، ۲۰° و ۳۰°، مقاومت‌چسبندگی (C_e) ۰/۰، ۰/۵ و ۱/۰ مگاپاسکال، سختی‌نرمال (k_n) و سختی‌برشی (k_s) به صورت مساوی در دو حالت برابر ۰/۱ و ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و حالت‌های مختلف با تغییر در نسبت ضریب‌ارتجاعی به ضریب‌پواسون ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۲۵ گیگاپاسکال لایه‌های سقف و کف به روش عددی با به‌کارگیری نرم‌افزار سه‌بعدی $FLAC^{3D}$ ضمن استفاده از داده‌های مربوط به معدن زغالسنگ طبس مدل‌سازی شدند. مقدار تنش‌افقی، قائم، مقاومت‌محوری در معیار شکست تحت تنش‌های سه‌محوری و ضریب‌اطمینان در جهت عرض‌پایه و در وسط ارتفاع و انتهای پایه به عنوان تابعی از شرایط‌مرزی تماس و نسبت عرض به ارتفاع پایه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. توزیع پیچیده‌ای از تنش به عنوان تابعی از تغییر در شرایط‌مرزی و نسبت عرض به ارتفاع حاصل شد. تنش‌افقی و قائم، مقاومت‌محوری و ضریب‌اطمینان در مرکز و لبه واقع در وسط ارتفاع‌پایه و تنش‌افقی در مرکز و لبه واقع صفحه انتهای‌پایه با افزایش نسبت عرض به ارتفاع و زاویه‌اصطکاک و نسبت ضریب‌ارتجاعی به ضریب‌پواسون سقف و کف افزایش می‌یابد. مقدار تنش‌افقی از لبه‌های پایه به سمت مرکز افزایش می‌یابد. همچنن مقدار آن در دو انتهای‌پایه بیشتر از وسط‌ارتفاع است. نتایج بدست‌آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که نه تنها نسبت عرض به ارتفاع بلکه شرایط‌مرزی همچون زاویه‌اصطکاک بین سقف و کف و سطح‌پایه و همچنین نسبت ضریب‌ارتجاعی به ضریب‌پواسون ($\frac{E}{\nu}$) سقف و کف تأثیر قابل‌توجهی در تنش‌های ایجاد شده در پایه‌های معدنی و در نتیجه معیارشکست و ضریب‌اطمینان دارند.

کلمات کلیدی: پایه‌های معدنی، شرایط‌مرزی، زاویه‌اصطکاک، چسبندگی، ضریب‌ارتجاعی، ضریب‌پواسون، نسبت عرض به ارتفاع، تنش‌افقی، تنش قائم، مقاومت‌محوری، ضریب‌اطمینان

فهرست مطالب

عنوان..... صفحه

فصل اول: کلیات.....۱

۱-۱ مقدمه.....۲

فصل دوم : مروری بر ادبیات پیشینه موضوع.....۴

۲-۱ مقدمه.....۵

۲-۲ تأثیر شرایط‌مرزی و شکل در تنش‌های ایجاد شده در نمونه‌های سنگ و پایه‌های معدنی.....۶

۲-۲-۱ شرایط‌مرزی و تأثیر آن روی مقاومت پایه‌های معدنی ۶

۲-۲-۲ توزیع تنش در نمونه‌سنگ تحت بار یک‌محوری ۶

۲-۲-۳ تأثیر بستن حلقه(رینگ) در دو سر نمونه در مقاومت‌محوری.....۹

۲-۲-۴ تأثیر اختلاف خواص مکانیکی سطوح انتهایی در ایجاد تنش‌های شعاعی و برشی ۱۱

۲-۲-۵ تأثیر شکل و جنس صفحات‌بارگذاری و جنس نمونه‌های دیسکی شکل در رابطه بین تنش و کرنش محیطی.....۱۳

۲-۲-۶ تأثیر نسبت قطر به ارتفاع و حذف اصطکاک در مقاومت نمونه‌های سنگ تحت تنش‌های فشاری یک‌محوره و سه‌محوره.....۱۹

۲-۲-۷ تأثیر شرایط‌مرزی و شکل در نوع شکست نمونه‌های سنگ.....۲۸

۲-۳ برآورد بار وارد بر پایه‌های معدنی ۳۲

۲-۳-۱ برآورد بار وارد بر پایه‌های معدنی به روش ناحیه تأثیر ۳۲

۲-۳-۲ تئوری جابجایی الاستیک ۳۵

۲-۴ تأثیر شکل(نسبت عرض به ارتفاع) بر مقاومت پایه‌ها.....۳۵

۲-۵ مقدمه‌ای بر روش‌های عددی..... ۴۰
۲-۵-۱ محیط‌های مورد بحث در تحلیل عددی..... ۴۱
۲-۵-۱-۱ محیط پیوسته..... ۴۱
۲-۵-۱-۲ محیط پیوسته همراه با درزه..... ۴۱
۲-۵-۱-۳ محیط ناپیوسته..... ۴۱
۲-۵-۱-۴ محیط شبه‌پیوسته..... ۴۲
۲-۵-۲ انواع روش‌های عددی..... ۴۲
۲-۵-۲-۱ روش المان‌محدود (*FEM*)..... ۴۲
۲-۵-۲-۲ روش المان‌مجزا (*DEM*)..... ۴۳
۲-۵-۲-۳ روش تفاضل‌محدود (*FDM*)..... ۴۴
۲-۵-۲-۴ روش المان‌مرزی (*BEM*)..... ۴۴
۲-۵-۲-۵ روش‌های ترکیبی..... ۴۵
۲-۶ معرفی نرم‌افزار $FLAC^{3D}$..... ۴۵
۲-۶-۱ مقایسه اجمالی $FLAC^{3D}$ با سایر روش‌ها..... ۴۶
۲-۶-۲ حوزه کاربرد برنامه..... ۴۷
۲-۶-۳ اجرای برنامه $FLAC^{۳}$..... ۴۸
۲-۶-۴ مکانیزم استفاده از $FLAC^{۳D}$ در ایجاد سازه زیرزمینی..... ۴۸
۲-۷ بررسی پایداری پایه‌های معدنی به روش‌های عددی..... ۵۰
۲-۸ بحث و نتیجه‌گیری..... ۵۱

فصل سوم: بررسی تأثیر شرایط‌مرزی در تنش‌افقی و قائم ایجادشده در پایه‌های معدنی..... ۵۳
۳-۱ مقدمه..... ۵۳

۳-۲ معدن زغالسنگ طبس.....۵۳
۳-۲-۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه.....۵۳
۳-۲-۲ تاریخچه مطالعات.....۵۴
۳-۲-۳ تکتونیک و ساختمان زمین‌شناسی حوضه طبس.....۵۵
۳-۲-۴ نواحی زغالسنگ حوضه‌طبس.....۵۵
۳-۲-۴-۱ ناحیه زغالسنگ مزینو.....۵۵
۳-۲-۴-۲ ناحیه زغالسنگ نایبند.....۵۶
۳-۲-۴-۳ ناحیه زغالسنگ پروده.....۵۶
۳-۲-۴-۳-۱ عملیات اکتشافی منطقه پروده.....۵۷
الف- نقشه‌برداری.....۵۷
ب- عملیات حفاری.....۵۸
۳-۲-۴-۳-۲ مشخصات لایه‌های زغالسنگ منطقه پروده.....۵۹
الف- لایه C_1 .....۵۹
ب- لایه B_2 .....۶۰
ج- لایه B_1.....۶۱
د- لایه D.....۶۱
ه- لایهC_2 .....۶۲
۳-۲-۴-۳-۳ مقاومت سنگ‌های کمر بالا و کمر پایین لایه‌های زغالسنگ.....۶۲
۳-۲-۵ پارامترهای ورودی در مدل‌سازی عددی.....۶۳
۳-۳ مدل‌سازی پایه‌های معدنی به روش عددی با استفاده از
نرم‌افزار سه‌بعدی$FLAC^{3D}$ ۶۴
۳-۳-۱ فرآیند مدل‌سازی و نحوه تغییر پارامترهای شرایط‌مرزی بین لایه های دربرگیرنده و پایه ۶۴

۳-۳-۲ تأثیر ویژگی‌های سطوح‌تماس بین پایه زغالسنگ و سقف و کف بر تنش‌های ایجادشده برای نسبت‌های مختلف عرض به ارتفاع ۶۶

۳-۳-۲-۱ تأثیر زاویه‌اصطکاک بر تنش‌های ایجاد شده در پایه با مقاومت‌چسبندگی ۰/۰، ۰/۵ و ۱/۰ مگاپاسکال و سختی‌نرمال و برشی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر با نسبت عرض به ارتفاع ۱.....۶۶

۳-۳-۲-۲ تأثیر زاویه‌اصطکاک بر تنش‌های ایجاد شده در پایه با مقاومت‌چسبندگی ۰/۰، ۰/۵ و ۱/۰ مگاپاسکال و سختی‌نرمال و برشی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر با نسبت عرض به ارتفاع ۱ .....۷۴

۳-۳-۲-۳ تأثیر زاویه‌اصطکاک بر تنش‌های ایجاد شده در پایه با مقاومت‌چسبندگی ۰/۰، ۰/۵ و ۱/۰ مگاپاسکال و سختی‌نرمال و برشی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر با نسبت عرض به ارتفاع ۲.....۸۱

۳-۳-۲-۴ تأثیر زاویه‌اصطکاک بر تنش‌های ایجادشده در پایه با مقاومت‌چسبندگی ۰/۰، ۰/۵ و ۱/۰ مگاپاسکال و سختی‌نرمال و برشی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر با نسبت عرض به ارتفاع ۲.....۸۸

۳-۳-۲-۵ تأثیر زاویه‌اصطکاک بر تنش‌های ایجادشده در پایه با مقاومت‌چسبندگی ۰/۰، ۰/۵ و ۱ مگاپاسکال و سختی نرمال و برشی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر با نسبت عرض به ارتفاع ۳.....۹۵

۳-۳-۲-۶ تأثیر زاویه‌اصطکاک بر تنش‌های ایجادشده در پایه با مقاومت‌چسبندگی ۰/۰، ۰/۵ و ۱ مگاپاسکال و سختی‌نرمال و برشی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر با نسبت عرض به ارتفاع ۳.....۱۰۲

۳-۳-۲-۷ تأثیر زاویه‌اصطکاک بر تنش‌های ایجادشده در پایه با مقاومت‌چسبندگی ۰/۰، ۰/۵ و ۱ مگاپاسکال و سختی‌نرمال و برشی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر با نسبت عرض به ارتفاع.....۱۰۹

۳-۳-۲-۸ تأثیر زاویه‌اصطکاک بر تنش‌های ایجادشده در پایه با مقاومت‌چسبندگی ۰/۰، ۰/۵ و ۱ مگاپاسکال و سختی‌نرمال و برشی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر با نسبت عرض به ارتفاع ۴.....۱۱۶

۳-۳-۲-۹ تحلیل نتایج زاویه‌اصطکاک بر تنش‌های ایجاد شده در پایه با مقاومت‌چسبندگی ۰/۰ ، ۰/۵ و ۱/۰ مگاپاسکال و سختی‌نرمال و برشی ۰/۰۱ و ۰/۱ گیگانیوتن بر متر برای نسبت‌های عرض به ارتفاع ۱، ۲، ۳ و ۴ .....۱۲۳

۳-۳-۳ تأثیر نسبت ضریب‌ارتجاعی به ضریب‌پواسون $(\frac{E}{\theta})$ سقف و کف بر تنش‌های ایجادشده در پایه....۱۴۳

۳-۳-۳-۱ تأثیر نسبت ضریب‌ارتجاعی به ضریب‌پواسون سقف و کف بر تنش‌های ایجادشده در پایه برای نسبت عرض به ارتفاع ۱ .....۱۴۳

۳-۳-۳-۲ تأثیر نسبت ضریب‌ارتجاعی به ضریب‌پواسون سقف و کف بر تنش‌های ایجادشده در پایه برای نسبت عرض به ارتفاع ۲ ..... ۱۴۷

۳-۳-۳-۳ تأثیر نسبت ضریب‌ارتجاعی به ضریب‌پواسون سقف و کف بر تنش‌های ایجادشده در پایه برای نسبت عرض به ارتفاع ۳ ..... ۱۵۰

۳-۳-۳-۴ تأثیر نسبت ضریب‌ارتجاعی به ضریب‌پواسون سقف و کف بر تنش‌های ایجاد شده در پایه برای نسبت عرض به ارتفاع ۴ ..... ۱۵۳

۳-۳-۳-۵ تأثیر نسبت ضریب‌ارتجاعی به ضریب‌پواسون سقف و کف برتنش‌های ایجاد شده در پایه برای نسبت عرض به ارتفاع ۱، ۲، ۳ و ۴ ..... ۱۵۶

فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۱۶۱

۴-۱ نتیجه‌گیری ۱۶۲

۴-۲ پیشنهادات ۱۶۳

منابع ۱۶۴

پیوست ۱۷۰

فهرست اشکال

عنوان ..... صفحه

شکل (۲-۱): نمونه‌سنگ استوانه‌ای تحت بار محوری (σ_o)، صفحات بارگذاری فولادی، لایه‌های بین سطوح انتهایی نمونه و صفحات بارگذاری همراه با دستگاه محورهای مختصات تنش‌های قائم (σ_z)، شعاعی (σ_{rr}) و مماسی (σ_θ).....۷

شکل (۲-۲): تغییرات نسبت تنش‌شعاعی به تنش‌محوری ($\frac{\sigma_r}{\sigma_o}$)، با تغییرات نسبت فاصله از مرکز به شعاع نمونه ($\frac{r}{a}$)، در انتهای نمونه استوانه‌ای با نسبت طول به قطر ۲ .....۸

شکل (۲-۳): گروه نمونه‌های آزمایشی استوانه ای شکل استوانه‌ای بدون حلقه (*A*)، نمونه‌های I شکل (قطر در انتها بیشتر از میانه) با ۳۰۰۰ پوند بر اینچ مربع تحکیم شعاعی در سطوح انتهایی (*B*) و نمونه‌های I شکل با ۵۰۰۰ پوند براینچ مربع تحکیم‌شعاعی در سطوح انتهایی (*C*).....۱۰

شکل (۲-۴): ایجاد ۵ شرایط مختلف سطوح‌انتهایی برای دیسکی که بین صفحات بارگذاری قرار دارد همراه با جهت تنش‌های‌برشی (τ) ایجاد شده در صفحات دیسک و صفحات بارگذاری و تنش‌های‌شعاعی (σ_r) ایجادشده در دیسک ۱۲

شکل (۲-۵): چهار نوع ترکیب سیستم بارگذاری مختلف (*I*، *II*، *III* و *IV*).....۱۳

شکل(۲-۶): رابطه بین کرنش محیطی و بار فشاری برای نمونه دیسکی شکل از جنس فولاد، آلومنیوم، منیزیم و پلاستیک در چهار نوع ترکیب صفحات بارگذاری (*I*، *II*، *III* و *IV*).....۱۵

شکل(۲-۷): رابطه بین کرنش محیطی و بار فشاری نمونه‌های دیسکی شکل سنگ‌آهک، مرمر، گرانیت و ماسه‌سنگ در چهار حالت مختلف سیستم صفحات بارگذاری (*I*، *II*،*III*،*IV*) ۱۶

شکل (۲-۸): رابطه بین کرنش محیطی و بار فشاری برای چهار نوع سنگ ماسه، آهک، گرانیت و مرمر با استفاده از لایه‌نرم پلاستیک (پلی تترافلوئوراتیلن، *PTFE*) دارای چهار نوع ضخامت۰، ۰/۰۰۵، ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۴اینچ بین دو انتهای نمونه‌سنگ و صفحات بارگذاری در سه شرایط سیستم‌های بارگذاری *II*، *III* و *IV* و مقایسه آنها با کرنش‌محیطی آزمایش یک‌محوری نمونه‌استاندارد..... ۱۷.

شکل (۲-۹): مقایسه کرنش‌های محیطی درانتهاهای نمونه دارای نسبت قطربه ارتفاع ($\frac{D}{L}$) برابر با ۰/۳۸۵ باکرنش‌های دروسط ارتفاع ناشی از ضریب‌پواسون.....۱۸

شکل (۲-۱۰): کاهش اختلاف در کرنش‌های وسطارتفاع و انتهای نمونه برای سنگ‌های آهک، مرمر و ماسه‌سنگ با استفاده از لایه‌نرم پلاستیک (پلی تترافلوئوراتیلن، *PTFE*) ما بین صفحات‌بارگذاری و نمونه ۱۹

شکل (۲-۱۱): گروه نمونه‌آزمایشی تحت فشار یک‌محوری شامل سنگ‌آهک، مرمر، ماسه‌سنگ و زغال سنگ ۲۰

شکل(۲-۱۲): شکل نمونه‌های دارای نسبت قطر به ارتفاع مختلف.....۲۱

شکل(۲-۱۳): رابطه بین مقاومت‌فشاری متوسط و نسبت قطر به ارتفاع ($\frac{D}{L}$) بدون استفاده از لایه‌های نرم پلاستیک (پلی تترا فلوئور اتیلن، *PTFE*) برای نمونه‌های ماسه‌سنگ (*A*)، مرمر (*B*) سنگ‌آهک (*C*) و زغال سنگ (*D*) و حذف اصطکاک با استفاده از لایه‌های نرم پلاستیک (پلی تترا فلوئور اتیلن، *PTFE*) برای نمونه‌های ماسه‌سنگ (*A'*)، مرمر (*B'*)، سنگ‌آهک (*C'*) و زغال سنگ (*D'*).....۲۴

شکل(۲-۱۴): رابطه ما بین مقاومت‌های فشاری نمونه‌های سنگ با وجود صفحات فولادی و لایه‌های *PTFE* ۲۴

شکل (۲-۱۵): رابطه بین مقاومت‌محوری (σ_1) و فشارجانبی (σ_3) برای نمونه استاندارد دارای نسبت قطر به ارتفاع ۰/۳۸۴ در دو حالت استفاده از لایه *PTFE* و بدون *PTFE* ۲۶

شکل (۲-۱۶): رابطه بین مقاومت محوری (σ_1) و فشارجانبی (σ_3) برای نمونه استاندارد دارای نسبت قطر به ارتفاع ۱ در دو حالت استفاده از لایه *PTFE* و بدون *PTFE* ۲۶

شکل (۲-۱۷): رابطه بین مقاومت‌محوری (σ_1) و فشارجانبی (σ_3) برای نمونه استاندارد دارای نسبت قطر به ارتفاع ۲ در دو حالت استفاده از لایه *PTFE* و بدون *PTFE* ۲۷

شکل (۲-۱۸): رابطه بین مقاومت‌محوری (σ_1) و فشارجانبی (σ_3) برای نمونه استاندارد دارای نسبت قطر به ارتفاع ۳ در دو حالت استفاده از لایه *PTFE* و بدون *PTFE* ۲۷

شکل(۲-۱۹): رابطه بین مقاومت‌محوری متوسط (σ_1) ونسبت های قطر به ارتفاع برای ۴ گروه از نمونه‌های تحت فشارجانبی (*CP*) مختلف پس از حذف اصطکاک در انتهاها با استفاده از لایه‌های *PTFE*.....۲۸

شکل(۲-۲۰): ایجاد شکستگی‌های مخروطی نمونه تحت بارگذاری ما بین دو صفحات فولادی سخت ۲۸

شکل (۲-۲۱): ترک‌های قائم ایجاد شده در نمونه دارای نسبت قطربه ارتفاع ۰/۳۸۵توسط استفاده از لایه‌های خاک‌رس نرم روی هر انتها.....۲۹

شکل(۲-۲۲): ایجاد شکستگی‌های مخروطی نمونه ما بین صفحات سخت در پایین و ترک ستونی قائم با استفاده از لایه رس نرم در بالا ۳۰

شکل (۲-۲۳): نمونه دارای نسبت قطر به ارتفاع ۸/۵ ما بین صفحات سخت در انتها ولایه خاک رس نرم در بالا، بدون ایجاد شکست در اثر اعمال بار ۲۱۴۰۰ (پوند بر اینچ مربع) ۳۰

شکل(۲-۲۴): قراردادن دولایه نازک گردزغال در دو سر نمونه و شکسته شدن نمونه در اثر اعمال بار در لبه‌ها ۳۱

شکل (۲-۲۵): قراردادن دو لایه نازک *PTFE* در دو سر نمونه دارای نسبت قطر به ارتفاع ۸/۵ و پودرشدن نمونه در اثر اعمال بار ۳۱

شکل (۲-۲۶): شکست به صورت انفجاری و پخش ذرات نمونه اشباع شده از آب بین دو صفحه فولادی در اثر اعمال بار.....۳۲

شکل (۲-۲۷): برآورد بار وارد بر پایه‌های معدنی به روش ناحیه تأثیر.....۳۳

شکل(۲-۲۸): مقایسه تأثیر نسبت عرض به ارتفاع بر مقاومت‌پایه (σ_c) با تأثیر فشارجانبی (σ_3) بر مقاومت‌محوری (σ_1) ۳۹

شکل (۲-۲۹): فرایندکلی حل مسائل در $FLAC^{3D}$.....۴۹

شکل (۳-۱): موقعیت‌جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه پروده.....۵۴

شکل (۳-۲): نقشه محدوده معادن و جانمایی نقاط گمانه‌های اکتشافی در منطقه پروده طبس.....۵۶

شکل (۳-۳): نمونه‌ای از پایه مدل‌سازی شده با نسبت عرض به ارتفاع ۲

بوسیله نرم‌افزار سه‌بعدی $FLAC^{3D}$.....۶۵

شکل (۳-۴): نمونه‌ای از تنش‌افقی ایجادشده در یک جهت روی صفحه گذرنده از وسط ارتفاع پایه دارای نسبت عرض به ارتفاع برابر ۳ و زاویه‌اصطکاک $^{\circ}$ ۱۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال ۶۵

شکل (۳-۵): تنش‌افقی (σ_h) و قائم (σ_v) ایجاد شده در وسط ارتفاع در امتداد عرض و خط گذرنده از مرکز پایه دارای نسبت عرض به ارتفاع ۱ برای ۴ حالت زوایای‌اصطکاک برابر $^{\circ}$ ۰، $^{\circ}$ ۱۰، $^{\circ}$ ۲۰ و $^{\circ}$ ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی‌عمودی و برشی ۰/۰۱گیگانیوتن بر متر ۶۹

شکل (۳-۶): تنش‌افقی (σ_h) و قائم (σ_v) ایجاد شده در وسط ارتفاع در امتداد عرض و خط گذرنده از مرکز پایه دارای نسبت عرض به ارتفاع ۱ برای ۴ حالت زوایای‌اصطکاک برابر ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰ و ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی‌عمودی و برشی ۰/۰۱گیگانیوتن بر متر ۶۹

شکل (۳-۷): تنش افقی (σ_h) و قائم (σ_v) ایجاد شده در وسط ارتفاع در امتداد عرض و خط گذرنده از مرکز پایه دارای نسبت عرض به ارتفاع ۱ برای ۴ حالت زوایای‌اصطکاک برابر ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰ و ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱/۰ مگاپاسکال و سختی‌عمودی و برشی ۰/۰۱گیگانیوتن بر متر.....۷۰

شکل (۳-۸): تنش‌افقی (σ_h) در انتها و وسط ارتفاع پایه در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز و انتهای آن برای زوایای اصطکاکی ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر.و.نسبت.عرض به ارتفاع ۱ .....۷۰

شکل (۳-۹): تنش‌افقی (σ_h) در انتها و وسط ارتفاع پایه در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز و انتهای آن برای زوایای اصطکاکی ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگا نیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع۱ .....۷۱

شکل (۳-۱۰): تنش‌افقی (σ_h) در انتها و وسط ارتفاع پایه در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز و انتهای آن برای زوایای اصطکاکی ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱ مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع۱.....۷۱

شکل (۳-۱۱): مقاومت‌محوری حاصل از معیار شکست موهر – کولمب به عنوان تابعی از تنش‌افقی (تنش‌جانبی) در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض پایه و خط‌گذرنده از مرکز آن برای زوایای اصطکاکی ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و چسبندگی صفر و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۱ .....۷۲

شکل (۳-۱۲): مقاومت‌محوری حاصل از معیارشکست موهر – کولمب به عنوان تابعی از تنش‌افقی (تنش جانبی) در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض‌پایه و خط‌گذرنده از مرکز آن برای زوایای‌اصطکاکی ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۱ .....۷۲

شکل (۳-۱۳): مقاومت‌محوری حاصل از معیارشکست موهر – کولمب به عنوان تابعی از تنش‌افقی (تنش‌جانبی) در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض‌پایه و خط‌گذرنده از مرکز آن برای زوایای اصطکاکی ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱ مگا پاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۱ .....۷۳

شکل (۳-۱۴): ضریب‌اطمینان در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زاویه اصطکاکی ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۱ .....۷۳

شکل (۳-۱۵): ضریب‌اطمینان در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زاویه اصطکاکی° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۱ .....۷۴

شکل (۳-۱۶): ضریب‌اطمینان در وسط ارتفاع‌پایه، در امتداد عرض‌پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زاویه‌اصطکاکی° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱ مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۱ .....۷۴

شکل (۳-۱۷): تنش‌افقی (σ_h) و قائم (σ_v) ایجادشده در وسط ارتفاع در امتداد عرض و خط گذرنده از مرکز پایه دارای نسبت عرض به ارتفاع ۱ برای ۴ حالت زوایای‌اصطکاک برابر ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰ و° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی‌عمودی و برشی ۰/۱گیگانیوتن بر متر.....۷۶

شکل (۳-۱۸): تنش‌افقی (σ_h) و قائم (σ_v) ایجادشده در وسط ارتفاع در امتداد عرض و خط گذرنده از مرکز پایه دارای نسبت عرض به ارتفاع ۱ برای ۴ حالت زوایای‌اصطکاک برابر ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰ و° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی‌عمودی و برشی ۰/۱گیگانیوتن بر متر.....۷۶

شکل (۳-۱۹): تنش‌افقی (σ_h) و قائم (σ_v) ایجادشده در وسط ارتفاع در امتداد عرض و خط گذرنده از مرکز پایه دارای نسبت عرض به ارتفاع ۱ برای ۴ حالت زوایای‌اصطکاک برابر ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰ و° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱/۰ مگاپاسکال و سختی‌عمودی و برشی ۰/۱گیگانیوتن بر متر ۷۷

شکل (۳-۲۰): تنش افقی (σ_h) در انتها و وسط ارتفاع‌پایه در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز و انتهای آن برای زوایای اصطکاکی° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی عمودی و برشی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۱.....۷۷

شکل (۳-۲۱): تنش‌افقی (σ_h) در انتها و وسط ارتفاع پایه در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز و انتهای آن برای زوایای اصطکاکی° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۱ .....۷۸

شکل (۳-۲۲): تنش‌افقی (σ_h) در انتها و وسط ارتفاع پایه در امتداد عرض‌پایه و خط‌گذرنده از مرکز و انتهای آن برای زوایای اصطکاکی° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱ مگاپاسکال و سختی۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۱ .....۷۸

شکل (۳-۲۳): مقاومت‌محوری حاصل از معیار شکست موهر – کولمب به عنوان تابعی از تنش‌افقی (σ_h) (تنش جانبی) در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض پایه و خط‌گذرنده از مرکز آن برای زوایای‌اصطکاکی° ۰، ° ۱۰،

° ۲۰ ، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۱ ..... ۷۹

شکل (۳-۲۴): مقاومت‌محوری حاصل از معیار شکست موهر – کولمب به عنوان تابعی از تنش‌افقی (σ_h) (تنش‌جانبی) در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض پایه و خط‌گذرنده از مرکز آن برای زوایای‌اصطکاکی° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵مگاپاسکال و سختی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۱ ..... ۷۹

شکل (۳-۲۵): مقاومت‌محوری حاصل از معیارشکست موهر – کولمب به عنوان تابعی از تنش‌افقی (σ_h) (تنش‌جانبی) در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض‌پایه و خط‌گذرنده از مرکز آن برای زوایای‌اصطکاکی° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱ مگاپاسکال و سختی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۱ ..... ۸۰

شکل (۳-۲۶): ضریب‌اطمینان در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زاویه‌اصطکاکی° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۱ ..... ۸۰

شکل (۳-۲۷): ضریب‌اطمینان در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض پایه و خط‌گذرنده از مرکز آن برای زاویه‌اصطکاکی° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۱ ..... ۸۱

شکل (۳-۲۸): ضریب‌اطمینان در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض پایه و خط‌گذرنده از مرکز آن برای زاویه‌اصطکاکی° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱ مگاپاسکال و سختی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۱ ..... ۸۱

شکل (۳-۲۹): تنش افقی (σ_h) و قائم (σ_v) ایجاد شده در وسط ارتفاع در امتداد عرض و خط گذرنده از مرکز پایه دارای نسبت عرض به ارتفاع ۲ برای ۴ حالت زوایای اصطکاک برابر ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰ و° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی عمودی و برشی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر..... ۸۳

شکل (۳-۳۰): تنش افقی (σ_h) و قائم (σ_v) ایجاد شده در وسط ارتفاع در امتداد عرض و خط گذرنده از مرکز پایه دارای نسبت عرض به ارتفاع ۲ برای ۴ حالت زوایای اصطکاک برابر ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰ و° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی عمودی و برشی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر..... ۸۳

شکل (۳-۳۱): تنش افقی (σ_h) و قائم (σ_v) ایجاد شده در وسط ارتفاع در امتداد عرض و خط گذرنده از مرکز پایه دارای نسبت عرض به ارتفاع ۲ برای ۴ حالت زوایای اصطکاک برابر °۰، °۱۰، °۲۰ و °۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱/۰ مگاپاسکال و سختی عمودی و برشی ۰۱/ ۰گیگانیوتن بر متر.....۸۴

شکل (۳-۳۲): تنش‌افقی (σ_h) در انتها و وسط ارتفاع پایه در امتداد عرض‌پایه و خط‌گذرنده از مرکز و انتهای آن برای زوایای اصطکاکی °۰، °۱۰، °۲۰، °۳۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۲ .....۸۴

شکل (۳-۳۳): تنش‌افقی (σ_h) در انتها و وسط ارتفاع پایه در امتداد عرض‌پایه و خط‌گذرنده ازمرکز و انتهای آن برای زوایای اصطکاکی °۰، °۱۰، °۲۰، °۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۲ .....۸۵

شکل (۳-۳۴): تنش‌افقی (σ_h) در انتها و وسط ارتفاع پایه در امتداد عرض‌پایه و خط‌گذرنده ازمرکز و انتهای آن برای زوایای اصطکاکی °۰، °۱۰، °۲۰، °۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱/۰ مگاپاسکال و سختی۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع۲ .....۸۵

شکل (۳-۳۵): مقاومت‌محوری حاصل از معیار شکست موهر – کولمب به عنوان تابعی از تنش‌افقی (σ_h) (تنش‌جانبی) در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض‌پایه و خط‌گذرنده از مرکز آن برای زوایای‌اصطکاکی °۰، °۱۰، °۲۰، °۳۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۲ .....۸۶

شکل (۳-۳۶): مقاومت‌محوری حاصل از معیار شکست موهر – کولمب به عنوان تابعی از تنش‌افقی (σ_h) (تنش‌جانبی) در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض‌پایه و خط‌گذرنده از مرکز آن برای زوایای‌اصطکاکی °۰، °۱۰، °۲۰، °۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۲ .....۸۶

شکل (۳-۳۷): مقاومت‌محوری حاصل از معیار شکست موهر – کولمب به عنوان تابعی از تنش‌افقی (σ_h) (تنش‌جانبی) در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض‌پایه و خط‌گذرنده از مرکز آن برای زوایای‌اصطکاکی °۰، °۱۰، °۲۰، °۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱ مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۲ .....۸۷

شکل (۳-۳۸): ضریب‌اطمینان در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زاویه‌اصطکاکی °۰، °۱۰، °۲۰، °۳۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال وسختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۲ .....۸۷

شکل (۳-۳۹): ضریب‌اطمینان در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زاویه‌اصطکاکی° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال وسختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۲ .....۸۸

شکل (۳-۴۰): ضریب‌اطمینان در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زاویه‌اصطکاکی° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱ مگاپاسکال وسختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۲ .....۸۸

شکل (۳-۴۱): تنش افقی (σ_h) و قائم (σ_v) ایجاد شده در وسط ارتفاع در امتداد عرض و خط گذرنده از مرکز پایه دارای نسبت عرض به ارتفاع ۲ برای ۴ حالت زوایای اصطکاک برابر °۰، °۱۰، °۲۰ و °۳۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی عمودی و برشی ۱/ ۰گیگانیوتن بر متر.....۹۰

شکل (۳-۴۲): تنش افقی (σ_h) و قائم (σ_v) ایجاد شده در وسط ارتفاع در امتداد عرض و خط گذرنده از مرکز پایه دارای نسبت عرض به ارتفاع ۲ برای ۴ حالت زوایای اصطکاک برابر °۰، °۱۰، °۲۰ و °۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی عمودی و برشی ۱/ ۰گیگانیوتن بر متر ۹۰

شکل (۳-۴۳): تنش افقی (σ_h) و قائم (σ_v) ایجاد شده در وسط ارتفاع در امتداد عرض و خط گذرنده از مرکز پایه دارای نسبت عرض به ارتفاع ۲ برای ۴ حالت زوایای اصطکاک برابر °۰، °۱۰، °۲۰ و °۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱/۰ مگاپاسکال و سختی عمودی و برشی ۱/ ۰گیگانیوتن بر متر.....۹۱

شکل (۳-۴۴): تنش‌افقی (σ_h) در انتها و وسط ارتفاع پایه در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز و انتهای آن برای زوایای‌اصطکاکی° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۲ .....۹۱

شکل (۳-۴۵): تنش‌افقی (σ_h) در انتها و وسط ارتفاع پایه در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز و انتهای آن برای زوایای‌اصطکاکی° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۲ .....۹۲

شکل (۳-۴۶): تنش‌افقی (σ_h) در انتها و وسط ارتفاع پایه در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز و انتهای آن برای زوایای‌اصطکاکی° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱ مگاپاسکال و سختی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع۲ .....۹۲

شکل (۳-۴۷): مقاومت‌محوری (σ_1) حاصل از معیار شکست موهر – کولمب به عنوان تابعی از تنش‌افقی (σ_h) (تنش‌جانبی) در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض‌پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زوایای‌اصطکاکی ° ۰،

° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۲ .....۹۳

شکل (۳-۴۸): مقاومت‌محوری (σ_1) حاصل از معیار شکست موهر – کولمب به عنوان تابعی از تنش‌افقی (σ_h) (تنش‌جانبی) در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض‌پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زوایای‌اصطکاکی ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۲ .....۹۳

شکل (۳-۴۹): مقاومت‌محوری (σ_1) حاصل از معیار شکست موهر – کولمب به عنوان تابعی از تنش‌افقی (σ_h) (تنش‌جانبی) در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض‌پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زوایای‌اصطکاکی ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱ مگاپاسکال و سختی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۲ .....۹۴

شکل (۳-۵۰): ضریب‌اطمینان در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض‌پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زاویه‌اصطکاکی ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۲ .....۹۴

شکل (۳-۵۱): ضریب‌اطمینان در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض‌پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زاویه‌اصطکاکی ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع۲ .....۹۵

شکل(۳-۵۲): ضریب‌اطمینان در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض‌پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زاویه‌اصطکاکی ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰، ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱ مگاپاسکال و سختی ۰/۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۲ .....۹۵

شکل (۳-۵۳): تنش‌افقی (σ_h) و قائم (σ_v) ایجاد شده در وسط ارتفاع در امتداد عرض و خط گذرنده از مرکز پایه دارای نسبت عرض به ارتفاع ۳ برای ۴ حالت زوایای‌اصطکاک برابر ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰ و ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی عمودی و برشی ۰/۰۱گیگانیوتن بر متر.....۹۷

شکل (۳-۵۴): تنش‌افقی (σ_h) و قائم (σ_v) ایجاد شده در وسط ارتفاع در امتداد عرض و خط گذرنده از مرکز پایه دارای نسبت عرض به ارتفاع ۳ برای ۴ حالت زوایای‌اصطکاک برابر ° ۰، ° ۱۰، ° ۲۰ و ° ۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی عمودی و برشی ۰/۰۱گیگانیوتن بر متر.....۹۷

شکل (۳-۵۵): تنش‌افقی (σ_h) و قائم (σ_v) ایجاد شده در وسط ارتفاع در امتداد عرض و خط گذرنده از مرکز پایه دارای نسبت عرض به ارتفاع ۳ برای ۴ حالت زوایای‌اصطکاک برابر °۰، °۱۰، °۲۰ و °۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱/۰ مگاپاسکال و سختی عمودی و برشی ۰/۰۱گیگانیوتن بر متر ۹۸

شکل (۳-۵۶): تنش‌افقی (σ_h) در انتها و وسط ارتفاع پایه در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز و انتهای آن برای زوایای اصطکاکی °۰، °۱۰، °۲۰، °۳۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۳ .....۹۸

شکل (۳-۵۷): تنش‌افقی (σ_h) در انتها و وسط ارتفاع پایه در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز و انتهای آن برای زوایای اصطکاکی °۰، °۱۰، °۲۰، °۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۳ .....۹۹

شکل (۳-۵۸): تنش‌افقی (σ_h) در انتها و وسط ارتفاع پایه در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز و انتهای آن برای زوایای اصطکاکی °۰، °۱۰، °۲۰، °۳۰ و مقاومت‌چسبندگی ۱ مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۳ .....۹۹

شکل (۳-۵۹): مقاومت‌محوری (σ_1) حاصل از معیار شکست موهر – کولمب به عنوان تابعی از تنش‌افقی (σ_h) (تنش‌جانبی) در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زوایای‌اصطکاکی °۰، °۱۰، °۲۰، °۳۰ ومقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۳ .....۱۰۰

شکل (۳-۶۰): مقاومت‌محوری (σ_1) حاصل از معیار شکست موهر – کولمب به عنوان تابعی از تنش‌افقی (σ_h) (تنش‌جانبی) در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زوایای‌اصطکاکی °۰، °۱۰، °۲۰، °۳۰ ومقاومت‌چسبندگی ۰/۵ مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۳ .....۱۰۰

شکل (۳-۶۱): مقاومت‌محوری (σ_1) حاصل از معیار شکست موهر – کولمب به عنوان تابعی از تنش‌افقی (σ_h) (تنش‌جانبی) در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زوایای‌اصطکاکی °۰، °۱۰، °۲۰، °۳۰ ومقاومت‌چسبندگی ۱ مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۳ .....۱۰۱

شکل (۳-۶۲): ضریب‌اطمینان در وسط ارتفاع پایه، در امتداد عرض پایه و خط گذرنده از مرکز آن برای زاویه‌اصطکاکی °۰، °۱۰، °۲۰، °۳۰ و مقاومت‌چسبندگی صفر مگاپاسکال و سختی ۰/۰۱ گیگانیوتن بر متر و نسبت عرض به ارتفاع ۳ .....۱۰۱