بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران گرایش خاک و پی

بررسی عددی و آزمایشگاهی مقاومت بیرون کشیدگی تسمه قلاب‌ها (S-A) در مسلح سازی خاک‌های دانه‌ای

استاد راهنما:

دکتر محمد حسین بازیار

استاد مشاور:

دکتر منصور مصلی‌نژاد

پژوهشگر:

محمد هادی صبور

مهر ماه ۱۳۹۰

University of Yasouj

Faculty of Engineering

Department of Civil Engineering

M.Sc. Thesis

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF STRIP-ANCHOR PULLOUT RESISTANCE IN GRANULAR SOILS REINFORCEMENT

Supervisor:
Dr. Mohammad Hossein Bazyar

Advisor:
Dr. Mansour Mosallanezhad

By:
Mohammad Hadi Saboor

OCTOBER 2011

بررسی عددی و آزمایشگاهی مقاومت بیرون کشیدگی تسمه قلاب‌ها (S-A) در مسلح سازی خاک‌های دانه‌ای

به وسیله‌ی:

محمد هادی صبور

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی عمران – خاک و پی

در تاریخ ۱۳۹۰/۰۷/۲۰ توسط هیات داوران زیر بررسی و با درجه ..... به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما: دکتر محمد حسین بازیار	با مرتبه ی علمی استادیار	امضا
۲- استاد مشاور: دکتر منصور مصلی نژاد	با مرتبه ی علمی استادیار	امضا
۳- استاد داور داخل گروه: دکتر مهدی زمانی لنجانی	با مرتبه ی علمی استادیار	امضا
۴- استاد داور خارج از گروه: دکتر عبدالرضا فاضلی	با مرتبه ی علمی استادیار	امضا
۵- مدیر گروه: دکتر حسین منتصری	با مرتبه ی علمی استادیار	امضا

مهر ماه ۱۳۹۰

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

سپاسگزاری

اکنون که این رساله به پایان رسیده است خداوند خود را شاکر هستم که توانستم این مرحله از زندگیم را با موفقیت به اتمام برسانم و لازم می‌دانم که از زحمات کسانی که من را در انجام این مهم یاری نمودند قدردانی و تشکر نمایم.

نخست از پدر و مادر عزیزم که در طول دوران تحصیل و زندگی من را یاری نمودنده و تمام امکانات مادی و معنوی را برایم فرآهم آورده‌اند از صمیم قلب تشکر می‌نمایم. سپس از استاد ارجمند جناب آقای دکتر بازیار به خاطر راهنمایی‌ها و کمک‌های ارزنده‌شان قدردانی کرده و امیدوارم در تمام طول زندگیشان موفق و پیروز باشند. همچنین از استاد راهنمای سابق‌و مشاور فعلیم، جناب آقای دکتر منصور مصلی‌نژاد، به خاطر راهنمایی‌ها و کمک‌های ارزنده‌شان و امکانات سخت افزاری و نرم افزاریشان کمال سپاسگزاری و قدردانی خود را ابراز می نمایم. از تمامی دوستانی که در این مدت بنده را یاری نمودند متشکر و سپاسگزارم. در پایان امیدوارم که رساله حاضر، پاسخگوی قسمت ناچیزی از زحمات همه‌ی این عزیزان باشد.

رساله‌ی حاضر، حاصل پژوهش‌های نگارنده در دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران است که در مهر ماه سال ۱۳۹۰ در دانشکده‌ی فنی و مهندسی دانشگاه یاسوج به راهنمایی جناب آقای دکتر محمد حسین بازیار و مشاوره‌ی جناب آقای دکتر منصور مصلی‌نژاد از آن دفاع شده است و کلیه‌ی حقوق مادی و معنوی آن متعلق به دانشگاه یاسوج می‌باشد.

نام: محمد هادی نام خانوادگی: صبور
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته و گرایش: مهندسی عمران- خاک و پی
استاد راهنما: دکتر محمد حسین بازیار تاریخ دفاع: ۱۳۹۰/۷/۲۰

بررسی عددی و آزمایشگاهی مقاومت بیرون کشیدگی تسمه قلاب‌ها (S-A) در مسلح‌سازی خاک‌های دانه‌ای

بررسی خواص مکانیکی خاک به عنوان تکیه‌گاه اصلی سازه های مهندسی از دیر باز مورد توجه محققین بوده است. ضعف مقاومت برشی و در نتیجه ظرفیت باربری کم خاک های ضعیف، عاملی جهت پیدایش روشهای گوناگون اصلاح خواص مکانیکی خاک از قبیل تراکم خاک، تثبیت خاک، تزریق، مسلح سازی خاک و ... گردیده است. یکی از پر کاربردترین روشهای بهسازی خاک استفاده از خاک مسلح، به ویژه در دیوارهای مسلح شده توسط تسمه‌های فلزی می‌باشد. در این سیستم مقداری از نیروی منتقل شده به خاک به واسطه‌ی اصطکاک بین ذرات خاک و سطح تسمه به صورت نیروی کششی درون تسمه‌ها مستهلک گردیده و باعث کاهش تنش برشی به وجود آمده در توده‌ی خاک می‌گردد. طبق این مکانیسم تسمه‌ها تحت نیروی بیرون کشیدگی قرار گرفته که سطح صاف آنها باعث اندرکنش ضعیف تسمه‌ها با خاک گردیده و این یکی از نقاط ضعف این سیستم محسوب می‌گردد.

در این تحقیق نوعی مسلح کننده‌ی جدید، که از افزودن قلاب به تسمه سنتی ساخته شده جهت افزایش مقاومت بیرون کشیدگی و کاهش طول مهاری مسلح کننده معرفی می‌گردد که تسمه قلاب نامگذاری می شود. ۵۲ آزمایش بیرون کشیدگی بزرگ مقیاس برای بررسی هندسه بهینه و مقاومت بیرون کشیدگی این سیستم انجام گردید. تاثیر زاویه قلاب، طول قلاب، فاصله قلاب‌ها از یکدیگر و اندازه المان مکعبی قلاب بر نسبت ضریب اندرکنش بیرون کشیدگی و تاثیر افزودن قلاب‌ها در طول مهاری مورد مطالعه قرار گرفت. علاوه بر مطالعات آزمایشگاهی شبیه سازی عددی مسئله نیز با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود PLAXIS انجام گرفت. نتایج بدست آمده از آزمایشات و مطالعه عددی برای دو سیستم سنتی و تسمه قلاب نشان می‌دهد که مقاومت بیرون کشیدگی سامانه تسمه قلاب در سربارهای ۵۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلو نیوتن بر متر مربع به ترتیب ۷/۷، ۵، ۴/۳ و ۴/۵ برابر تسمه سنتی می‌باشد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- ضرورت تحقیق ۴
۱-۳- اهداف تحقیق ۴
۱-۴- روش تحقیق ۵

فصل دوم: کلیات و مروری بر تحقیقات گذشته

۲-۱- مقدمه ۷
۲-۲- خاک مسلح ۷
۲-۳- خاک‌های مسلح شده توسط تسمه‌های فولادی ۹
۲-۳-۱- محاسبه فشار افقی محرک و فشار قائم ۱۰
۲-۳-۲- نیروی تسمه‌ها ۱۲
۲-۳-۳- ضریب اطمینان در مقابل گسیختگی تسمه‌ها ۱۲
۲-۳-۴- طول کل تسمه ۱۳
۲-۳-۵- تحقیقات گذشته در زمینه تسمه‌های فولادی ۱۶
۲-۴- خاک مسلح شده توسط ژئوسنتتیک‌ها ۲۰
۲-۴-۱- ژئوتکستایل‌ها ۲۰
۲-۴-۱-۱- کاربرد ژئوتکستایل در پروژه‌های عمرانی ۲۲
۲-۴-۱-۲- تحقیقات گذشته در زمینه ژئوتکستایل ۲۳
۲-۴-۲- ژئوگریدها ۲۴
۲-۴-۲-۱- کاربرد ژئوگرید در جلوگیری از فرسایش شیب‌ها ۲۵
۲-۴-۲-۲- کاربرد ژئوگریدها در راهسازی ۲۵
۲-۴-۲-۳- کاربرد ژئوگریدها در مسلح کردن خاک ۲۶
۲-۴-۲-۴- ژئوگرید از جنس فایبرگلاس ۲۷
۲-۴-۲-۵- تحقیقات گذشته در زمینه ژئوگرید ۲۸
۲-۴-۳- میکروگریدهای لایه لایه ۳۰
۲-۴-۴- مهار- شبکه ۳۰
۲-۴-۴-۱- تحقیقات گذشته در زمینه مهار- شبکه ۳۱
۲-۴-۵- کاربرد ژئوسنتتیک‌ها بعنوان مسلح‌کننده ۳۳
۲-۵- آزمایش بیرون کشیدگی ۳۴
۲-۶- اهداف تحقیق ۳۷

ادامه فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۲-۶-۱- تأثیر افزودن مهارها بر ضریب اندرکنش بیرون کشیدگی ۳۸

فصل سوم: مطالعات آزمایشگاهی

۳-۱- مقدمه ۴۱
۳-۲- مشخصات مصالح ۴۱
۳-۲-۱- خاک ۴۱
۳-۲-۲- تسمه وتسمه قلاب ۴۳
۳-۳- ساخت دستگاه ۴۴
۳-۳-۱- گیره ۴۴
۳-۳-۲- دستگاه آزمایش ۴۵
۳-۳-۳- ساخت سیستم نگهدارنده جک ۴۷
۳-۳-۴- سیستم اعمال نیروی بیرون کشیدگی ۴۸
۳-۳-۵- ساخت در جعبه ۴۹
۳-۳-۶- سیستم اعمال سربار ۵۰
۳-۴- روند انجام آزمایشات ۵۱

فصل چهارم: نتایج مطالعات آزمایشگاهی

۴-۱- مقدمه ۵۷
۴-۲- تسمه سنتی ۵۸
۴-۳- تسمه قلاب (S-A) ۶۰
۴-۳-۱- تاثیر زاویه قرار گیری قلاب‌ها (α) ۶۰
۴-۳-۲- تاثیر طول قلاب (l) ۶۱
۴-۳-۳- تاثیر فاصله قلاب (d) ۶۳
۴-۳-۴- تاثیر المان‌های مکعبی قلاب (a) ۶۴
۴-۳-۵- مقایسه دو سامانه تسلیح ۶۶
۴-۴- تأثیر افزودن مهارها بر ضریب اندرکنش بیرون کشیدگی ۶۹
۴-۵- تأثیر افزودن مهارها بر طول مهاری لازم در برابر بیرون کشیدگی ۷۱

ادامه فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل پنجم: مطالعات و نتایج عددی

۵-۱- مقدمه ۷۲
۵-۲- نرم افزار اجزای محدود PLAXIS 3D TUNNEL ۷۲
۵-۲-۱- معیار گسیختگی مور- کولمب ۷۴
۵-۳- نحوه مدلسازی در نرم افزار PLAXIS ۷۵
۵-۳-۱- امکان سنجی مدل سازی ۷۵
۵-۳-۲- مدل سازی ۷۶
۵-۴- نتایج مطالعات عددی ۸۲
۵-۴-۱- تسمه سنتی ۸۲
۵-۴-۲- تسمه قلاب (S-A) ۸۴
۵-۴-۲-۱- تاثیر زاویه قرار گیری قلاب‌ها (α) ۸۴
۵-۴-۲-۲- تاثیر طول قلاب (l) ۸۵
۵-۴-۲-۳- تاثیر فاصله قلاب (d) ۸۶
۵-۴-۲-۴- تاثیر المان‌های مکعبی قلاب (a) ۸۷

فصل ششم: مقایسه نتایج مطالعات عددی و آزمایشگاهی

۶-۱- مقدمه ۹۰
۶-۲- مقایسه نتایج ۹۰

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۷-۱- نتیجه گیری و بحث ۱۰۱
۷-۲- پیشنهادات ۱۰۳

فهرست منابع ۱۰۴

فهرست جدول‌ها

عنوان و شماره **صفحه**

جدول شماره ۲-۱- مشخصات آزمایش ۱۸

جدول شماره ۳-۱- مشخصات ماسه..... ۴۳

جدول شماره ۳-۲- برنامه آزمایشات انجام شده ۵۴

جدول شماره ۴-۱- مقایسه ضرایب اندرکنش دو سامانه تسلیح ۷۰

جدول شماره ۵-۱- پارامترهای استفاده شده در آنالیز عددی برای خاک ۷۶

جدول شماره ۵-۲- پارامترهای استفاده شده در آنالیز عددی برای تسمه و تسمه‌قلاب ۷۷

جدول شماره ۶-۱- مقایسه نتایج تحلیل عددی با نتایج آزمایشگاهی ۹۵

جدول شماره ۶-۲- مقایسه نتایج تحلیل عددی با نتایج آزمایشگاهی ۱۰۰

فهرست شکل‌ها

عنوان و شماره **صفحه**

شکل شماره ۱-۱- شمای کلی دیوار خاک مسلح..... ۳

شکل شماره ۱-۲- تصویر شماتیک از تسمه قلاب ابداعی ۵

شکل شماره ۲-۱- تاثیر مسلح‌کننده در افزایش پایداری شیب‌های خاکی جوئل..... ۸

شکل شماره ۲-۲- شمای کلی دیوار خاک مسلح ۹

شکل شماره ۲-۳- تحلیل دیوار خاک مسلح ۱۱

شکل شماره ۲-۴- تنش در دیوار خاک مسلح..... ۱۲

شکل شماره ۲-۵- نحوه‌ی اتصال تسمه‌ها به قطعات نما و به یکدیگر ۱۴

شکل شماره ۲-۶-قطعات نما مورد استفاده در دیوار خاک مسلح..... ۱۵

شکل شماره ۲-۷- مراحل اجرای دیوار خاک مسلح (الف) جای گذاری قطعات نما (ب) ریختن یک لایه خاک (ج) نصب تسمه‌ها ۱۵

شکل شماره ۲-۸- دستگاه بیرون کشیدگی استفاده شده در تحقیق توآهمیا ۱۷

شکل شماره ۲-۹- مقایسه نتایج مقاومت بیرون کشیدگی الف) تسمه‌های زائده‌دار ب) تسمه‌های صاف ۱۷

شکل شماره ۲-۱۰- تصویر آزمایش خاکریز با پوسته‌ی چوبی ۱۸

شکل شماره ۲-۱۱- نمودار فشار –جابجایی..... ۱۸

شکل شماره ۲-۱۲- مدلسازی آزمایش بیرون کشش..... ۱۹

شکل شماره ۲-۱۳- نمودار نیروی بیرون کشیدگی در مقابل تنش قائم..... ۱۹

شکل شماره ۲-۱۴- انواع ژئوتکستایل..... ۲۱

شکل شماره ۲-۱۵- کاربرد ژئوتکستایل در شیب‌ها..... ۲۲

شکل شماره ۲-۱۶- ژئوتکستایل استفاده شده در تحقیقات..... ۲۳

ادامه فهرست شکل‌ها

عنوان و شماره **صفحه**

شکل شماره ۲-۱۷- تاثیر اندازه ذرات در مقاومت بیرون کشیدگی در سربار kPa ۱۰ ..... ۲۴

شکل شماره ۲-۱۸- ژئوگرید دو طرفه ۲۴

شکل شماره ۲-۱۹- ژئوگرید یک طرفه ۲۴

شکل شماره ۲-۲۰- کارگذاری ژئوگرید بر روی شیب های ناپایدار ۲۵

شکل شماره ۲-۲۱- خاکریزی بر روی ژئوگریدهای پهن شده در پروژه راهسازی ۲۷

شکل شماره ۲-۲۲- ژئوگرید نواری ۲۸

شکل شماره ۲-۲۳- تنش اتساعی ۲۹

شکل شماره ۲-۲۴- نمونه مهار- شبکه ۳۰

شکل شماره ۲-۲۵- تصویردستگاه آزمایش بیرون کشیدگی استفاده شده توسط مصلی‌نژاد ۳۱

شکل شماره ۲-۲۶- نتایج آزمایش بیرون کشیدگی بر روی ژئوگرید و مهار- شبکه ۳۱

شکل شماره ۲-۲۷- مدل استفاده شده در تحقیقات علمشاهی ۳۲

شکل شماره ۲-۲۸- دستگاه آزمایش بیرون کشیدگی در تحقیقات سهرابی ۳۳

شکل شماره ۲- ۲۹- نمودار نیرو - ضخامت درشت دانه بالای ژئوگرید و مهار- شبکه ۳۳

شکل شماره ۲- ۳۰- مشاهده تاثیر مسلح‌کننده در آزمایش برش مستقیم جوئل ۳۴

شکل شماره ۲- ۳۱- اندرکنش بین خاک و مسلح‌کننده (a) دیوار حائل مسلح (b) آزمایش بیرون کشیدگی(c) آزمایش برش مستقیم برای ژتکستایل (d) آزمایش برش مستقیم برای ژئوگرید ۳۵

شکل شماره ۲-۳۲- دستگاه آزمایش بیرون کشیدگی طبق استاندارد ASTM ۳۶

شکل شماره ۲-۳۳- a) روند بارگذاری b) نمای کلی دو تعریف از بیرون کشیدگی نهایی ۳۷

شکل شماره ۲-۳۴- مکانیزم ایجاد فشار مقاوم (Passive) پشت قلاب‌ها هنگام بیرون کشیدگی ۳۸

ادامه فهرست شکل‌ها

عنوان و شماره **صفحه**

شکل شماره ۲-۳۵- a) مکانیزم قبل از بیرون کشیدگی کامل و b)مکانیزم بیرون کشیدگی کامل ۳۹

شکل شماره ۳-۱- نمودار دانه‌بندی ماسه استفاده شده در مطالعات آزمایشگاهی..... ۴۲

شکل شماره ۳-۲- قلاب‌های متصل شده به تسمه سنتی ۴۳

شکل شماره ۳-۳- تصویر تسمه سنتی و تسمه‌قلاب با زوایای مختلف قلاب..... ۴۴

شکل شماره ۳-۴- نقشه جزئیات گیره ۴۵

شکل شماره ۳-۵- تصویر گیره ۴۵

شکل شماره ۳-۶- نمای شماتیک دستگاه بیرون کشیدگی ۴۶

شکل شماره ۳-۷- جک و سیستم نگهدارنده جک ۴۷

شکل شماره ۳-۸- نقشه جزئیات قطعات ۴۷

شکل شماره ۳-۹- آماده سازی سیستم نگهدارنده جک ۴۸

شکل شماره ۳-۱۰- جزئیات سیستم اعمال نیروی بیرون کشیدگی ۴۹

شکل شماره ۳-۱۱- مراحل آماده سازی در جعبه ۵۰

شکل شماره ۳-۱۲- انتقال دهنده نیرو از در جعبه به سازه خرپایی ۵۰

شکل شماره ۳-۱۳- آماده سازی واشر و کیسه هوا ۵۱

شکل شماره ۳-۱۴- نمونه تسمه قلاب قابل تغییر ۵۲

شکل شماره ۳-۱۵- آماده سازی و تراکم لایه‌های خاک..... ۵۲

شکل شماره ۳-۱۶- قراردادن نمونه در خاک و تراز نمودن نمونه..... ۵۲

شکل شماره ۳-۱۷- قرار دادن در دستگاه ۵۳

ادامه فهرست شکل‌ها

عنوان و شماره **صفحه**

شکل شماره ۳-۱۸- بارگذاری توسط نیروی هوا ۵۳

شکل شماره ۳-۱۹- پارامترهای تاثیر گذر در سیستم تسمه قلاب ۵۴

شکل شماره ۴-۱- سامانه تسمه قلاب..... ۵۷

شکل شماره ۴-۲- منحنی نیرو- جابجایی تسمه سنتی تحت سربار ۵۰ kPa ۵۸

شکل شماره ۴-۳- منحنی نیرو- جابجایی تسمه سنتی تحت سربار ۱۰۰ kPa ۵۸

شکل شماره ۴-۴- منحنی نیرو- جابجایی تسمه سنتی تحت سربار ۱۲۰ kPa ۵۹

شکل شماره ۴-۵- منحنی نیرو- جابجایی تسمه سنتی تحت سربار ۱۵۰ kPa ۵۹

شکل شماره ۴-۶- تأثیر زاویه قلاب ۶۰

شکل شماره ۴-۷- تغییرات PRR با زاویه قرار گیری قلاب در تسمه قلاب تحت سربار ۱۰۰ kPa ۶۰

شکل شماره ۴-۸- تغییرات PRR با زاویه قرارگیری قلاب در تسمه قلاب تحت سربار ۱۵۰ kPa ۶۱

شکل شماره ۴-۹- خم شدن اعضای میله‌ای پس از انجام آزمایش بیرون کشیدگی..... ۶۱

شکل شماره ۴-۱۰- تأثیر طول قلاب ۶۱

شکل شماره ۴-۱۱- تغییرات PRR با نسبت $\frac{l}{w}$ در تسمه قلاب تحت سربار ۱۰۰ kPa $\alpha=45$..... ۶۲

شکل شماره ۴-۱۲- تغییرات PRR با نسبت $\frac{l}{w}$ در تسمه قلاب تحت سربار ۱۵۰ kPa $\alpha=45$..... ۶۲

شکل شماره ۴-۱۳- تأثیر فاصله قلاب ۶۳

شکل شماره ۴-۱۴- تغییرات PRR با نسبت $\frac{d}{w}$ در تسمه قلاب تحت سربار ۱۰۰ kPa، $\frac{l}{w}=1$ ،$\alpha=45°$..... ۶۳

شکل شماره ۴-۱۵- تغییرات PRR با نسبت $\frac{d}{w}$ در تسمه قلاب تحت سربار ۱۵۰ kPa، $\frac{l}{w}=1$ ،$\alpha=45°$ ۶۴

شکل شماره ۴-۱۶- تأثیر اندازه المان مکعبی قلاب در ایجاد فشار مقاوم (Passive) ۶۴

ادامه فهرست شکل‌ها

عنوان و شماره **صفحه**

شکل شماره ۴-۱۷- تغییرات PRR با نسبت $\frac{a}{w}$ در تسمه قلاب تحت سربار ۱۰۰ kPa, α=45◦, $\frac{l}{w}=1$, $\frac{d}{w}=1.43$, ۶۵

شکل شماره ۴-۱۸- تغییرات PRR با نسبت $\frac{a}{w}$ در تسمه قلاب تحت سربار kPa, α=45◦, $\frac{l}{w}=1$, $\frac{d}{w}=$ ۱۵۰1.43, ۶۵

شکل شماره ۴-۱۹- PRR در سامانه‌های مختلف تحت سربار ۵۰ kPa, α=45◦, $\frac{l}{w}=1$, $\frac{d}{w}=1.43$, $\frac{a}{w}=0.43$ ۶۶

شکل شماره ۴-۲۰- PRR در سامانه‌های مختلف تحت سربار ۱۰۰ kPa, α=45◦, $\frac{l}{w}=1$, $\frac{d}{w}=1.43$, $\frac{a}{w}=0.43$ ۶۶

شکل شماره ۴-۲۱- PRR در سامانه‌های مختلف تحت سربار ۱۲۰ kPa, α=45◦, $\frac{l}{w}=1$, $\frac{d}{w}=1.43$, $\frac{a}{w}=0.43$ ۶۷

شکل شماره ۴-۲۲- PRR در سامانه‌های مختلف تحت سربار ۱۵۰ kPa, α=45◦, $\frac{l}{w}=1$, $\frac{d}{w}=1.43$, $\frac{a}{w}=0.43$ ۶۷

شکل شماره ۴-۲۳- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه سنتی ۶۸

شکل شماره ۴-۲۴- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه قلاب بهینه, α=45◦, $\frac{l}{w}=1$, $\frac{d}{w}=1.43$, $\frac{a}{w}=0.43$ ۶۸

شکل شماره ۴-۲۵- مقاومت بیرون کشیدگی نهایی در سربارهای مختلف برای سامانه تسمه و تسمه قلاب بهینه ۶۹

شکل شماره ۴-۲۶- نمودار تنش برشی در برابر تنش عمودی برای دو سامانه تسلیح ۷۰

شکل شماره ۴-۲۷- تأثیر افزودن مهارها در طول لازم جهت استهلاک نیروی بیرون کشیدگی ۷۱

شکل شماره ۵-۱- المان سه بعدی ۷۳

ادامه فهرست شکل‌ها

عنوان و شماره **صفحه**

شکل شماره ۵-۲- نحوه مش‌بندی سه بعدی ۷۳

شکل شماره ۵-۳-معیار گسیختگی مور- کولمب ۷۵

شکل شماره ۵-۴- مقایسه مدلسازی ابداعی و مدلسازی معمول ۷۶

شکل شماره ۵-۵- نمای مدلسازی جعبه ۷۷

شکل شماره ۵-۶- مش‌بندی نمونه تسمه ۷۸

شکل شماره ۵-۷- مش‌بندی نمونه تسمه‌قلاب ۷۸

شکل شماره ۵-۸- جابجایی نمونه تسمه ۷۹

شکل شماره ۵-۹- جابجایی نمونه تسمه‌قلاب ۷۹

شکل شماره ۵-۱۰- تنش موثر نمونه تسمه ۸۰

شکل شماره ۵-۱۱- تنش موثر نمونه تسمه‌قلاب ۸۰

شکل شماره ۵-۱۲- صلیب تنش موثر نمونه تسمه ۸۱

شکل شماره ۵-۱۳- صلیب تنش موثر نمونه تسمه‌قلاب ۸۱

شکل شماره ۵-۱۴- منحنی نیرو- جابجایی تسمه سنتی تحت سربار ۵۰ kPa ۸۲

شکل شماره ۵-۱۵- منحنی نیرو- جابجایی تسمه سنتی تحت سربار ۱۰۰ kPa ۸۲

شکل شماره ۵-۱۶- منحنی نیرو- جابجایی تسمه سنتی تحت سربار ۱۲۰ kPa ۸۳

شکل شماره ۵-۱۷- منحنی نیرو- جابجایی تسمه سنتی تحت سربار ۱۵۰ kPa ۸۳

شکل شماره ۵-۱۸- تغییرات PRR با زاویه قرار گیری قلاب در تسمه قلاب تحت سربار ۱۰۰ kPa ۸۴

ادامه فهرست شکل‌ها

عنوان و شماره **صفحه**

شکل شماره ۵-۱۹- تغییرات PRR با زاویه قرارگیری قلاب در تسمه قلاب تحت سربار ۱۵۰ kPa ۸۴

شکل شماره ۵-۲۰- تغییرات PRR با نسبت $\frac{l}{w}$ در تسمه قلاب تحت سربار ۱۰۰ kPa α=45..... ۸۵

شکل شماره ۵-۲۱- تغییرات PRR با نسبت $\frac{l}{w}$ در تسمه قلاب تحت سربار ۱۵۰ kPa α=45..... ۸۵

شکل شماره ۵-۲۲- تغییرات PRR با نسبت $\frac{d}{w}$ در تسمه قلاب تحت سربار ۱۰۰ kPa، $\frac{l}{w}=1$,α=45°..... ۸۶

شکل شماره ۵-۲۳- تغییرات PRR با نسبت $\frac{d}{w}$ در تسمه قلاب تحت سربار ۱۵۰ kPa، $\frac{l}{w}=1$,α=45°
..... ۸۶

شکل شماره ۵-۲۴- تغییرات PRR با نسبت $\frac{a}{w}$ در تسمه قلاب تحت سربار ۱۰۰ kPa, $\frac{l}{w}=1, \frac{d}{w}=1.43$,α=45°
..... ۸۷

شکل شماره ۵-۲۵- تغییرات PRR با نسبت $\frac{a}{w}$ در تسمه قلاب تحت سربار ۱۵۰ kPa, $\frac{l}{w}=1, \frac{d}{w}=1.43$,α=45°
..... ۸۷

شکل شماره ۵-۲۶- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه سنتی ۸۸

شکل شماره ۵-۲۷- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه قلاب بهینه $\alpha=45^{\circ}, \frac{l}{w}=1, \frac{d}{w}=1.43, \frac{a}{w}=0.43$ ۸۸

شکل شماره ۵-۲۸- مقاومت بیرون کشیدگی نهایی در سربارهای مختلف برای سامانه تسمه و تسمه قلاب بهینه..... ۸۹

شکل شماره ۶-۱- سامانه تسمه قلاب..... ۹۰

شکل شماره ۶-۲- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه سنتی تحت سربار ۵۰ kPa ۹۱

شکل شماره ۶-۳- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه سنتی تحت سربار ۱۰۰ kPa..... ۹۱

شکل شماره ۶-۴- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه سنتی تحت سربار ۱۲۰ kPa ۹۲

ادامه فهرست شکل‌ها

عنوان و شماره **صفحه**

شکل شماره ۶-۵- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه سنتی تحت سربار ۱۵۰ kPa ۹۲

شکل شماره ۶-۶- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه قلاب بهینه تحت سربار ۵۰ kPa $\alpha=45^{\circ}, \frac{l}{w}=1, \frac{d}{w}=1.43, \frac{a}{w}=0.43$ ۹۳

شکل شماره ۶-۷- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه قلاب بهینه تحت سربار ۱۰۰ kPa $\alpha=45^{\circ}, \frac{l}{w}=1, \frac{d}{w}=1.43, \frac{a}{w}=0.43$ ۹۳

شکل شماره ۶-۸- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه قلاب بهینه تحت سربار ۱۲۰ kPa $\alpha=45^{\circ}, \frac{l}{w}=1, \frac{d}{w}=1.43, \frac{a}{w}=0.43$ ۹۴

شکل شماره ۶-۹- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه قلاب بهینه تحت سربار ۱۵۰ kPa $\alpha=45^{\circ}, \frac{l}{w}=1, \frac{d}{w}=1.43, \frac{a}{w}=0.43$ ۹۴

شکل شماره ۶-۱۰- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه سنتی تحت سربار ۵۰ kPa ۹۶

شکل شماره ۶-۱۱- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه سنتی تحت سربار ۱۰۰ kPa ۹۶

شکل شماره ۶-۱۲- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه سنتی تحت سربار ۱۲۰ kPa ۹۷

شکل شماره ۶-۱۳- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه سنتی تحت سربار ۱۵۰ kPa ۹۷

شکل شماره ۶-۱۴- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه قلاب بهینه تحت سربار ۵۰ kPa $\alpha=45^{\circ}, \frac{l}{w}=1, \frac{d}{w}=1.43, \frac{a}{w}=0.43$ ۹۸

شکل شماره ۶-۱۵- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه قلاب بهینه تحت سربار ۱۰۰ kPa $\alpha=45^{\circ}, \frac{l}{w}=1, \frac{d}{w}=1.43, \frac{a}{w}=0.43$ ۹۸

شکل ۶-۱۶- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه قلاب بهینه تحت سربار ۱۲۰ kPa ,$\alpha=45^{\circ}$ $\frac{l}{w}=1, \frac{d}{w}=1.43, \frac{a}{w}=0.43$ ۹۹

شکل شماره ۶-۱۷- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی در مقابل جابجایی در تسمه قلاب بهینه تحت سربار ۱۵۰ kPa $\alpha=45^{\circ}, \frac{l}{w}=1, \frac{d}{w}=1.43, \frac{a}{w}=0.43$ ۹۹