



دانشگاه آزاد اسلامی  
واحد تهران مرکزی  
دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)  
گرایش: مهندسی عمران - مکانیک خاک و پی

**عنوان:**

بررسی آزمایشگاهی رفتار اتساعی مصالح سنگریزه با استفاده از دستگاه برش  
مستقیم بزرگ مقیاس

**استاد راهنما:**

دکتر فرزین کلانتری

**استاد مشاور:**

دکتر سعید هاشمی طباطبایی

**پژوهشگر:**

علی مسعودیان

دی ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه آزاد اسلامی  
واحد تهران مرکزی  
دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)  
گرایش: مهندسی عمران - مکانیک خاک و پی

**عنوان:**

بررسی آزمایشگاهی رفتار اتساعی مصالح سنگریزه با استفاده از دستگاه برش  
مستقیم بزرگ مقیاس

**استاد راهنما:**

دکتر فرزین کلانتری

**استاد مشاور:**

دکتر سعید هاشمی طباطبایی

**پژوهشگر:**

علی مسعودیان

تقدیم به:

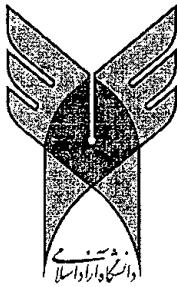
مرحوم پدر عزیزم،

مادر مهربانم،

و همسر فداکارم.

## سپاسگزاری

در اینجا بر خود لازم می‌دانم از حمایت‌های همسر عزیزم که با صبر و حوصله فراوان من را در انجام این تحقیق یاری رساند، همچنین از مادر، خواهران و برادر عزیزم که همواره دلگرم به حمایت‌های ایشان بوده‌ام تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از راهنمایان استاد گرانقدر آقای دکتر کلانتری و کلیه دوستان و همکاران در شرکت مهندسین مشاور آبان پژوه کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.



سازمان پژوهش‌های فقهی

به نام خدا

## نشر اخلاق پژوهش

بیاری از خداوند بجان و اعتماد به این که عالم محضر خداست و همواره ناظر بر اعمال انسان و به منظور پاس داشتن مقام بلند دانش و پژوهش و نظر به اهمیت جایگاه دانشگاه در اعلائی فرهنگ و تمدن بشری، مادانشجویان و اعضاء هیات علمی واحد های دانشگاه آزاد اسلامی متعهد می گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت های پژوهشی مد نظر قرار داده و از آن تخطی نکنیم:

- ۱- اصل برائت: التزام به برائت جویی از هرگونه رفتار غیر حرفه ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به شبه های غیر علمی آلوده کند.
- ۲- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از هرگونه جانب داری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجسیرات و منابع در اختیار.
- ۳- اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و اشتهار نتایج تحقیقات و انتقال آن به همکاران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد.
- ۴- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم ها و حرمت ها در انجام تحقیقات و رعایت جانب تقد و خودداری از هرگونه حرمت شکنی.
- ۵- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهشگران (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق.
- ۶- اصل رازداری: تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان ها و کشور و کلیه افراد و نهادهای مرتبط با تحقیق.
- ۷- اصل حقیقت جویی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از هرگونه پنهان سازی حقیقت.
- ۸- اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت کامل حقوق مادی و معنوی دانشگاه و کلیه همکاران پژوهش.
- ۹- اصل منافع ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش.

## تعهد نامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

اینجانب علی مسعودیان دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته به شماره دانشجویی ۸۸۰۸۳۸۵۳۶۰۰ در رشته مهندسی عمران - مکانیک خاک و پی که در تاریخ ۱۳۹۱/۱۰/۶ از پایان نامه خود تحت عنوان: بررسی آزمایشگاهی رفتار اتساعی مصالح سنگریزه با استفاده از دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس

با کسب نمره .....۱۷..... و درجه ..... دفاع نموده ام بدینوسیله متعهد می شوم:

۱- این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران ( اعم از پایان نامه ، کتاب ، مقاله و...) استفاده نموده ام، مطابق ضوابط و رویه های موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست ذکر و درج کرده ام.

۲- این پایان نامه قبلا برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی ( هم سطح ، پایین تر یا بالاتر ) در سایر دانشگاهها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

۳- چنانچه بعد از فراغت از تحصیل ، قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب ، ثبت اختراع و ... از این پایان نامه داشته باشم ، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.

۴- چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود ، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت .

نام و نام خانوادگی:

علی مسعودیان

۹۱، ۱۰، ۶

باسمه تعالی

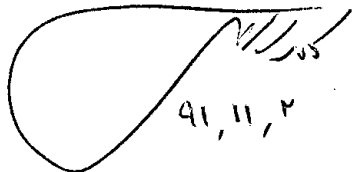
در تاریخ: ۱۳۹۱/۱۰/۰۶

دانشجوی کارشناسی ارشد آقای علی مسعودیان از پایان نامه خود دفاع

نموده و با نمره ۱۷ بحروف هفده با درجه مورد تصویب قرار گرفت.

امضاء استاد راهنما

دکتر فرزین کلانتری



۴۱، ۱۱، ۲



## فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه
1	1- مقدمه .....
1	1-1- چکیده .....
1	2-1- اهداف تحقیق .....
2	1-2-1- جنبه جدید بودن و نوآوری طرح .....
2	3-1- مشخصات پایه مصالح سنگریزه .....
2	1-3-1- مشخصات فیزیکی مصالح .....
3	2-3-1- مقاومت برشی و مسیر تنش .....
3	3-3-1- رفتار اتساعی .....
4	4-1- تحقیقات انجام شده .....
8	5-1- روش تحقیق .....
	فصل دوم: زمین شناسی
9	2- زمین شناسی .....
9	1-2- مقدمه .....
9	2-2- زمین شناسی عمومی محل‌های نمونه برداری .....
9	1-2-2-1- زون سنندج - سیرجان .....
9	1-1-2-2- مقدمه .....
10	2-1-2-2- ژئومورفولوژی زون سنندج - سیرجان .....
10	3-1-2-2- تاریخچه چینه‌نگاری سنندج - سیرجان .....
11	4-1-2-2- مجموعه دگرگونی پرکامبرین پسین - تریاس میانی .....
12	2-2-2-2- زون البرز .....
12	1-2-2-2- مقدمه .....
13	1-2-2-2-1- ژئومورفولوژی البرز .....
13	2-2-2-2-2- تاریخچه چینه‌ای البرز .....
15	3-2- طبقه بندی توده سنگ از نظر نوع سنگ .....
16	1-3-2- سنگهای آذرین .....
17	2-2-2-2- سنگهای رسوبی .....
17	1-2-2-2-1- سنگهای رسوبی آواری .....
18	2-2-2-2-2- سنگهای رسوبی غیر آواری .....
18	3-2- طبقه بندی ژئومکانیکی سنگها .....

## فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
19	1-3-2- انواع طبقه‌بندی سنگ .....
19	2-3-2- سختی سنگ .....
20	3-3-2- مقاومت سنگ بکر .....
21	4-2- آزمون فشار تک محوری .....
25	5-2- آزمایش بار نقطه‌ای .....
25	1-5-2- مقدمه و اهداف .....
25	2-5-2- اصطلاحات فنی آزمایش .....
25	3-5-2- خلاصه آزمایش .....
25	4-5-2- اهمیت و مورد استفاده .....
26	5-5-2- دستگاه انجام آزمایش .....
27	6-5-2- سیستم بارگذاری .....
28	7-5-2- سیستم قرائت بار .....
28	8-5-2- سیستم اندازه گیری فاصله .....
29	9-5-2- نمونه مورد آزمایش .....
30	10-5-2- روش آزمایش .....
30	1-10-5-2- نمونه‌های بلوکی و کلوخه‌های نامنظم .....
30	2-10-5-2- نمونه قطری (مغزه‌های حفاری حاصل از حفاری گمانه‌های اکتشافی) .....
32	3-10-5-2- نمونه محوری (Axial) .....
33	4-10-5-2- نمونه سنگهای ناهمسانگرد .....
33	11-5-2- محاسبات .....
33	1-11-5-2- شاخص بار نقطه‌ای اصلاح نشده .....
33	2-11-5-2- ضریب اصلاح اندازه .....
35	3-11-5-2- محاسب مقادیر میانگین .....
35	4-11-5-2- برآورد مقاومت فشاری محصور نشده .....
36	12-5-2- گزارش دهی .....
36	13-5-2- نتایج آزمایشات انجام شده .....
	<b>فصل سوم: رفتار مصالح سنگریزه</b> .....
46	3- رفتار مصالح سنگریزه .....
46	1-3- اهمیت بررسی رفتار مصالح .....

## فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
47	2-3- مدل رفتاری GUDEHUS-BAUER برای مصالح سنگریزه .....
47	1-2-3- مقدمه .....
48	2-2-3- نتایج آزمایشگاهی .....
51	3-2-3- قالب هیپوپلاستیک .....
52	4-2-3- مدل هیپوپلاستیک Gudehus – Bauer .....
53	5-2-3- مسیر تنش در مدل هیپوپلاستیک مصالح سنگریزه .....
56	6-2-3- بازبینی مدل .....
59	7-2-3- نتایج .....
60	3-3- مدل رفتاری بر پایه ایده وضعیت دستخورده (Disturbed State Concept) .....
60	1-3-3- مقدمه .....
60	2-3-3- تستهای آزمایشگاهی .....
62	3-3-3- خصوصیات مصالح سنگریزه .....
63	4-3-3- آزمایشهای سه محوری .....
64	5-3-3- مدل رفتاری DSC .....
68	6-3-3- پارامترهای مصالح .....
68	1-6-3-3- پارامترهای بر هم خوردگی (Disturbance Parameters) .....
69	2-6-3-3- پارامترهای نهایی .....
69	3-6-3-3- پارامترهای تغییر فاز .....
70	4-6-3-3- پارامترهای سخت شدگی .....
70	5-6-3-3- پارامترهای غیر وابسته .....
70	6-6-3-3- پارامترهای الاستیک .....
72	7-3-3- پیش بینی ها .....
73	8-3-3- تعیین ثابتهای مصالح برای نمونه اصلی مصالح .....
78	9-3-3- نتایج .....
81	4-3- مدل رفتاری Duncan-Chang .....
81	1-4-3- مقدمه .....
81	2-4-3- مبانی مدل رفتاری هذلولی .....
	فصل چهارم: خصوصیات مصالح سنگریزه .....
89	4- خصوصیات مصالح سنگریزه .....

## فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
89	1-4- مقدمه .....
89	2-4- خصوصیات پایه مصالح سنگریزه .....
90	3-4- مقاومت برشی .....
93	4-4- فشردگی .....
96	5-4- حالت‌های وابسته به فشار .....
98	6-4- خصوصیات تغییر شکل تحت برش .....
101	7-4- نتیجه‌گیری بحث .....
	<b>فصل پنجم: رفتار اتساعی مصالح سنگریزه</b>
102	5- اثرات رفتار اتساعی بر روی خاک‌ها .....
102	5-1- مقدمه .....
102	2-5- اصطکاک، اتساع، دانسیته و فشار .....
117	3-5- اهمیت اتساع در کارهای عملی .....
130	4-5- روابط کلی اتساع .....
131	5-5- مقاومت پیک و حالت بحرانی .....
132	6-5- نتیجه‌گیری بحث .....
	<b>فصل ششم: دانه‌بندی مصالح</b>
133	6- دانه بندی مصالح .....
133	1-6- مقدمه .....
134	2-6- دانه‌بندی مصالح سنگریزه .....
136	3-6- محدوده دانه‌بندی سنگریزه جهت انجام آزمایشات بزرگ مقیاس .....
137	4-6- تعیین منحنی دانه‌بندی نمونه‌های آزمایشگاهی .....
138	1-4-6- تکنیک دانه‌بندی موازی .....
138	2-4-6- روش غربال کردن .....
140	5-6- منحنی دانه‌بندی مدل نمونه‌های سنگریزه .....
143	6-6- بازسازی نمونه‌های آزمایشگاهی جهت انجام آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس .....
	<b>فصل هفتم: آزمایش برش مستقیم</b>
148	7- آزمایش برش مستقیم .....
148	1-7- هدف و ارتباط با موضوع تحقیق .....
148	2-7- تعاریف .....

## فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
149	3-7- خلاصه آزمایش .....
149	4-7- اهمیت و مورد استفاده .....
149	5-7- دستگاه برش مستقیم .....
150	1-5-7- خصوصیات فیزیکی دستگاه .....
153	2-5-7- جعبه برش .....
153	3-5-7- پوشش متخلخل .....
154	4-5-7- سیستم اعمال نیروی عمودی .....
155	5-5-7- سیستم اعمال نیروی برشی .....
157	6-5-7- اندازه گیری جابجایی های افقی و عمودی .....
158	6-7- نمونه آزمایش .....
160	7-7- کالیبراسیون .....
160	8-7- روش انجام آزمایش .....
162	9-7- نتایج آزمایش .....
162	10-7- نتیجه گیری بحث .....
<b>فصل هشتم: تحلیل نتایج</b>	
169	8- تحلیل نتایج و نتیجه گیری .....
169	1-8- مقاومت برشی پیک .....
172	2-8- پوش گسیختگی موهر – کولمب .....
172	3-8- پوش گسیختگی واقعی .....
175	4-8- زاویه اصطکاک داخلی پیک .....
178	5-8- زاویه اتساع .....
189	6-8- رابطه بین زاویه اتساع و زاویه اصطکاک داخلی .....
193	7-8- رفتار مقاومتی مصالح سنگریزه در حالت اتساع بیشینه .....
195	8-8- تعیین زاویه اتساع در حالت گسیختگی نمونه .....
201	9-8- مقایسه مقادیر جابجائیهای عمودی و کرنش های حجمی .....
201	10-8- مقایسه رفتار مقاومتی مصالح سنگریزه در آزمایش برش مستقیم و آزمایش سه محوری .....
212	11-8- مقایسه مقادیر زاویه اصطکاک داخلی پیک در تحقیقات مختلف .....
212	12-8- مقایسه رفتار اتساعی مصالح سنگریزه در آزمایش برش مستقیم در تحقیقات مختلف .....
216	13-8- بررسی اثر زاویه اتساع بر پایداری شیروانی های سنگریزه ای .....
216	1-13-8- مقدمه .....

## فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
216	..... 2-13-8- روش تحلیل
217	..... 3-13-8- مقطع مورد تحلیل و پارامترهای مصالح
218	..... 4-13-8- حالت اول تحلیل
225	..... 5-13-8- حالت دوم تحلیل
228	..... 14-8- مقایسه نتایج آزمایش با مدل رفتاری Duncan-Chang
234	..... 15-8- نتیجه گیری کلی
237	..... فهرست منابع فارسی
238	..... فهرست منابع لاتین
240	..... Abstract

## فهرست جداول

شماره صفحه	عنوان
	<b>فصل دوم: زمین شناسی</b>
20	جدول 1-2- طبقه بندی سنگ یکپارچه بر مبنای میزان سختی و درجه هوازدگی
21	جدول 2-2- آزمونهای مرسوم جهت برآورد مقاومت سنگ
35	جدول 3-2- مقادیر C بر حسب اندازه مغزه‌های حفاری
37	جدول 4-2- نتایج آزمایش بار نقطه‌ای بر روی نمونه‌های سنگ آهک خاکستری
38	جدول 5-2- نتایج آزمایش بار نقطه‌ای بر روی نمونه‌های سنگ آهک روشن
39	جدول 6-2- نتایج آزمایش بار نقطه‌ای بر روی نمونه‌های شیست آهکی
40	جدول 7-2- نتایج آزمایش بار نقطه‌ای بر روی نمونه‌های سنگ مارن آهکی
41	جدول 8-2- نتایج آزمایش بار نقطه‌ای بر روی نمونه‌های سنگ بازالت
44	جدول 9-2- محدوده تغییرات شاخص بار نقطه‌ای برای نمونه‌های مختلف
44	جدول 10-2- محدوده تغییرات مقاومت فشاری محصور نشده برای نمونه‌های مختلف
	<b>فصل سوم: رفتار مصالح سنگریزه</b>
48	جدول 1-3- مشخصات مصالح آزمایش
48	جدول 2-3- نسبت‌های تنش تحت مسیرهای مختلف تنش
50	جدول 3-3- مقادیر نسبت نموهای تنش تحت مسیر های تنش متفاوت
56	جدول 4-3- پارامترهای مدل اصلاح شده Gudehus – Bauer
60	جدول 5-3- مشخصات مصالح سنگریزه رودخانه‌ای
60	جدول 6-3- مشخصات مصالح سنگریزه حاصل از بازگشایی معدن سنگ
63	جدول 7-3- مقادیر UVC برای مصالح سنگریزه
63	جدول 8-3- مقادیر UCS برای مصالح سنگریزه
64	جدول 9-3- زاویه اصطکاک داخلی مصالح سنگریزه
65	جدول 10-3- فاکتور شکست برای مصالح سنگریزه
71	جدول 11-3- پارامترهای مصالح برای مصالح سنگریزه رودخانه‌ای
71	جدول 12-3- پارامترهای مصالح برای مصالح سنگریزه حاصل از معدن سنگ
77	جدول 13-3- پارامترهای پیش بینی شده برای نمونه اصلی مصالح سنگریز رودخانه‌ای
77	جدول 14-3- پارامترهای پیش بینی شده برای نمونه اصلی مصالح سنگریز معدن
85	جدول 15-3- خلاصه پارامترهای مدول یانگ هذلولی
86	جدول 16-3- خلاصه پارامترهای ضریب پواسون هذلولی
	<b>فصل پنجم: رفتار اتساعی مصالح سنگریزه</b>
128	جدول 1-5- مشخصات بکار رفته در تحلیل ظرفیت اصطکاکی شمع

## فهرست جداول

شماره صفحه

عنوان

### فصل ششم: دانه‌بندی مصالح

- 133 جدول 6-1- مقایسه سیستم‌های طبقه‌بندی Unified و MIT
- 140 جدول 6-2- مقادیر درصد عبوری از الکهای مختلف برای نمونه اصلی
- 143 جدول 6-3- مقادیر درصد عبوری از الکهای مختلف برای نمونه مدل
- 143 جدول 6-4- مقادیر دانسیته خشک حداکثر مصالح سنگریزه
- 145 جدول 6-5- مقادیر دانسیته خشک مصالح سنگریزه
- 145 جدول 6-6- مقادیر وزنی اندازه دانه های نمونه های بازالیت براساس نمودار دانه بندی مدل
- 145 جدول 6-7- مقادیر وزنی اندازه دانه های نمونه های سنگ آهک براساس نمودار دانه بندی مدل
- 146 جدول 6-8- مقادیر وزنی اندازه دانه های نمونه های سنگ مارن آهکی براساس دانه‌بندی مدل

### فصل هفتم: آزمایش برش مستقیم

- 152 جدول 7-1- خصوصیات فیزیکی دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس
- 155 جدول 7-2- تعداد وزنه‌های مورد نیاز جهت اعمال تنش نرمال بر روی نمونه
- 167 جدول 7-3- خلاصه نتایج آزمایش برش مستقیم برای نمونه‌های بازالیتی
- 167 جدول 7-4- خلاصه نتایج آزمایش برش مستقیم برای نمونه‌های سنگ آهک با تراکم بالا
- 168 جدول 7-5- خلاصه نتایج آزمایش برش مستقیم برای نمونه‌های سنگ آهک با تراکم متوسط
- 168 جدول 7-6- خلاصه نتایج آزمایش برش مستقیم برای نمونه‌های سنگ مارن آهکی

### فصل هشتم: تحلیل نتایج

- 169 جدول 8-1- مقادیر تنش برشی پیک در آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه های مختلف
- 172 جدول 8-2- پارامترهای مقاومت برشی مصالح سنگریز در آزمایش برش مستقیم
- 175 جدول 8-3- معادلات پوش گسیختگی واقعی مصالح سنگریز
- 175 جدول 8-4- مقادیر زاویه اصطکاک داخلی پیک مصالح سنگریز
- 178 جدول 8-5- روابط منحنی‌های حاصل از برازش زاویه اصطکاک داخلی پیک بر حسب تنش نرمال
- 188 جدول 8-6- رابطه بین زاویه اتساع و کرنش محوری در آزمایش برش مستقیم
- 189 جدول 8-7- مقادیر زاویه اتساع بیشینه برای نمونه‌های سنگریز تحت تنشهای نرمال متفاوت
- 189 جدول 8-8- رابطه بین زاویه اتساع بیشینه با تنش نرمال
- 193 جدول 8-9- رابطه بین زاویه اتساع بیشینه و زاویه اصطکاک داخلی پیک
- 193 جدول 8-10- مقادیر تنش‌های برشی در زاویه اتساع بیشینه
- 195 جدول 8-11- رابطه بین تنش برشی و تنش نرمال در بیشینه زاویه اتساع مصالح سنگریز
- 200 جدول 8-12- مقادیر زاویه اتساع در حالت گسیختگی برای نمونه‌های مختلف آزمایش
- 200 جدول 8-13- رابطه بین زاویه اتساع در حالت گسیختگی با تنش نرمال



## فهرست جداول

شماره صفحه	عنوان
201	جدول 8-14- مشخصات تحقیقات انجام شده بر روی مصالح سنگریز
209	جدول 8-15- معادلات پوش گسیختگی واقعی براساس تحقیقات مختلف
209	جدول 8-16- معادلات پوش گسیختگی برای مصالح سنگریز (مطابق با طبقه‌بندی Leps)
212	جدول 8-17- مشخصات نمونه‌های سنگریز مورد آزمایش توسط (Assadzadeh (2009)
217	جدول 8-18- مشخصات مصالح در تحلیل پایداری
219	جدول 8-19- نتایج تحلیل پایداری در حالت اول
225	جدول 8-20- مقادیر ضریب اطمینان در حالت Associated Flow Rule (حالت اول)
226	جدول 8-21- نتایج تحلیل پایداری در حالت دوم (زاویه اصطکاک پیک)
229	جدول 8-22- مقادیر تنش‌های اصلی و انحرافی بر اساس پوش موهر کولمب برای مصالح بازالتی
229	جدول 8-23- مقادیر تنش‌های اصلی و انحرافی بر اساس پوش موهر کولمب برای مصالح مارنی
229	جدول 8-24- مقادیر تنش‌های اصلی و انحرافی بر اساس پوش موهر کولمب برای مصالح آهکی
230	جدول 8-25- پارامترهای مصالح براساس مدل Duncan - Chang

## فهرست اشکال

شماره صفحه

عنوان

### فصل دوم: زمین شناسی

- 11 1-2- تقسیم بندی واحدهای ساختمانی - رسوبی ایران
- 12 2-2- نقشه زمین شناسی محدوده نمونه برداری سنگ آهک
- 14 3-2- نقشه زمین شناسی محدوده نمونه برداری سنگ بازالت
- 15 4-2- نقشه زمین شناسی محدوده نمونه برداری نمونه های مارن آهکی
- 26 5-2- دستگاه آزمایش بار نقطه‌ای به همراه قسمتهای مختلف دستگاه
- 27 6-2- قاب دستگاه بارگذاری دستگاه بار نقطه ای
- 28 7-2- مشخصات فک مخروطی اعمال بار نقطه‌ای
- 28 8-2- سیستم قرائت بار گسیختگی به همراه نشانگر بار پیک
- 29 9-2- موقعیت اعمال بار و شکل قابل قبول نمونه‌های استاندارد در آزمایش بار نقطه‌ای
- 30 10-2- نمونه سنگ مارن آهکی
- 30 11-2- نمونه سنگ آهک شیری رنگ
- 31 12-2- نحوه قرار گیری نمونه بین فکهای اعمال بار
- 31 13-2- نحوه اعمال بار بوسیله جک هیدرولیکی بر نمونه
- 32 14-2- گسیختگی قابل قبول در نمونه بلوکی و کلوخه نامنظم
- 32 15-2- گسیختگی قابل قبول در نمونه‌های قطری
- 32 16-2- گسیختگی‌های غیر قابل قبول در نمونه های قطری و محوری
- 32 17-2- گسیختگی قابل قبول در نمونه محوری
- 34 18-2- نمودار بار گسیختگی بر حسب قطر معادل
- 34 19-2- نمودار ضریب اصلاح اندازه
- 35 20-2- رابطه بین شاخص بار نقطه‌ای و مقاومت فشاری محصور نشده
- 42 21-2- شاخص بار نقطه‌ای بر حسب مقاومت فشاری تک محوره برای نمونه‌های آهکی
- 43 22-2- شاخص بار نقطه‌ای بر حسب مقاومت فشاری تک محوره برای نمونه‌های مارن آهکی و بازالتی
- 45 23-2- محدوده تغییرات شاخص بار نقطه‌ای برای نمونه‌های مختلف سنگی
- 45 27-2- محدوده تغییرات مقاومت فشاری تک محوره برای نمونه‌های مختلف سنگی

### فصل سوم: مدل‌های رفتاری مصالح سنگریز

- 49 1-3- نمودار دانه‌بندی مصالح اصلی و نمودار دانه‌بندی مدل
- 49 2-3- مسیرهای تنش تحت نسبت تنشهای مختلف
- 50 3-3- مسیرهای تنش انتقالی
- 51 4-3- خط گسیختگی تحت مسیرهای تنش ترکیبی متفاوت
- 55 5-3- رابطه بین  $\alpha$  و  $\cos\theta$

## فهرست اشکال

شماره صفحه

عنوان

57	6-3- نمودارهای تنش - کرنش تحت مسیرهای تنش با نسبت تنش ثابت
57	7-3- نمودارهای تنش - کرنش تحت مسیر تنش ترکیبی 1
58	8-3- نمودارهای تنش - کرنش تحت مسیر تنش ترکیبی شماره 2
58	9-3- نمودارهای تنش - کرنش تحت مسیر تنش ترکیبی شماره 3
58	10-3- مسیرهای تنش ترکیبی تحت $\sigma_{3t}=0.8\text{Mpa}$
59	11-3- نمودارهای تنش - کرنش تحت مسیر تنش ترکیبی با $\sigma_{3t}=0.8\text{Mpa}$
61	12-3- مصالح سنگریز رودخانه‌ای از محل سایت Western Yamuna Canal
61	13-3- مصالح سنگریز معدن سنگ از محل سایت Kol Dam
62	14-3- نمودار دانه بندی نمونه های اولیه و نمونه های مدل
66	15-3- نمودار رابطه بین $D$ و $D_{50}$
73	16-3- منحنی پیش‌بینی تغییرات تنش-کرنش - حجم برای مصالح سنگریز رودخانه‌ای
73	17-3- منحنی پیش‌بینی تغییرات تنش-کرنش - حجم برای مصالح سنگریز معدن
75	18-3- مقایسه بین نتایج مشاهده شده و پیش‌بینی شده برای هر 2 گونه مصالح سنگریز
76	19-3- پیش‌بینی مقدار $\eta_1$ برای مصالح سنگریز رودخانه‌ای در مدل اصلی
76	20-3- پیش‌بینی مقدار $\eta_1$ برای مصالح سنگریز معدن در مدل اصلی
78	21-3- نتایج پیش‌بینی شده پاسخ‌های تنش-کرنش نمونه اصلی با مصالح سنگریز رودخانه‌ای مدل
79	1-21-3- نتایج پیش‌بینی شده پاسخ‌های تغییر حجم نمونه اصلی با مصالح سنگریز رودخانه‌ای مدل
79	22-3- نتایج پیش‌بینی شده پاسخ‌های تنش-کرنش نمونه اصلی با مصالح سنگریز معدن مدل
80	1-22-3- نتایج پیش‌بینی شده پاسخ‌های تغییر حجم نمونه اصلی با مصالح سنگریز معدن مدل
82	23-3- مدل هذلولی برای رفتار تنش - کرنش
85	24-3- نتایج تیپیک آزمایشهای سه محوری با اندازه‌گیری تغییر حجم
<b>فصل چهارم: خصوصیات مصالح سنگریز</b>	
92	1-4- مقاومت برشی مصالح سنگریز (داده‌های آزمایشگاهی و منحنی برآزش شده بر روی داده‌ها)
92	2-4- مقاومت برشی بدست آمده از آزمایشات سه محوری بر روی ماسه Toyoura
94	3-4- فشردگی یک بعدی مصالح سنگریز با اندازه دانه های مختلف
95	4-4- نتایج آزمایشهای فشردگی بر روی ماسه کالسروهه و منحنیهای برآزش شده بر داده‌ها
97	5-4- نسبت منافذ بحرانی برای ماسه Toyoura
97	6-4- نسبتهای منافذ وابسته به فشار برای حالت‌های شل‌ترین، متراکم‌ترین و حالت بحرانی
99	7-4- نتایج آزمایشهای فشردگی سه محوری زهکشی شده بر روی ماسه Toyoura
99	8-4- رابطه خطی بین تنش انحرافی بحرانی و تنش میانگین
100	9-4- نتایج آزمایشات بر روی ماسه Cambra

## فهرست اشکال

شماره صفحه

عنوان

### فصل پنجم: رفتار اتساعی مصالح سنگریز

- 102 1-5- معیار گسیختگی موهر کولمب
- 103 2-5- منحنی تیپ تنش برشی بر حسب کرنش برشی در آزمایش برش ساده
- 103 3-5- اتساع ماسه متراکم در آزمایش برش ساده
- 104 4- منحنی مقاومت پیک در مختصات موهر
- 104 5-5- مقادیر زاویه اصطکاک و زاویه اتساع در دایره موهر
- 105 6-5- مدل ساده دندانان اره برای بیان اتساع
- 107 7-5- تئوری اصلاح انرژی Taylor
- 108 8-5- تنشهای اصلی در مدل CAM-CLAY
- 108 9-5- مکانیسم لغزش فرضی برای قانون جریان ROW
- 109 10-5- مقایسه قانون جریانهای مختلف
- 111 11-5- مقادیر مختلف زاویه اصطکاک داخلی در حجم ثابت در حالت‌های مختلف برش
- 111 12-5- دستگاه آزمایش برش مستقیم ساده
- 112 13-5- منحنی‌های تنش برشی-کرنش برشی و کرنش حجمی-کرنش برشی در آزمایش برش ساده
- 113 14-5- مقادیر نسبت تخلخل در برابر جابجایی برشی بر روی گلوله‌های فلزی در آزمایش برش
- 113 15-5- خط حالت بحرانی در آزمایشهای برش ساده بر روی ماسه (after Stroud, 1971)
- 114 16-5- مقاومت پیک در برابر سطوح تنش در آزمایشهای برش ساده در نسبت تراکم‌های مختلف
- 115 17-5- معرفی پارامترهای حالت بحرانی
- 115 18-5- نمودار مقادیر مقاومت پیک بر حسب  $V_{\lambda}$
- 116 19-5- تفسیر داده‌های آزمایشهای برش مستقیم بر روی مصالح ماسه (Stroud) توسط Wroth
- 117 20-5- مثالهایی از اهمیت پدیده اتساع در مهندسی ژئوتکنیک
- 118 21-5- الگوی تغییر شیروانی خاکی با تغییر زاویه اتساع
- 119 22-5- منحنی‌های بار - تغییر برای پی دایره‌ای با زوایای اتساع مختلف
- 119 23-5- الگوی تغییر در زیر یک پی سطحی دایره‌ای در زوایای اتساع مختلف
- 120 24-5- تغییر شکل‌های لاینینگ اطراف یک تونل با در نظر گرفتن زوایای اتساع مختلف
- 121 25-5- ایده‌آل سازی ظرفیت باربری نوک شمع با استفاده از تئوری گسترش حفره کروی
- 122 26-5- نمودار فشار محدود کروی با زاویه اصطکاک برای زاویه اتساعهای مختلف
- 122 27-5- الگوی برش ساده با فرض جابجایی صفحات بر روی یکدیگر
- 123 28-5- دایره موهر برای نرخ تنش و کرنش در آزمایش برش مستقیم
- 124 29-5- دایره موهر برای آزمایش برش مستقیم ساده با تنشهای افقی اولیه متفاوت
- 125 30-5- منحنی‌های تنش برشی - کرنش برشی برای تنش‌های افقی اولیه متفاوت