

## ویژگی‌های تغییر حجمی و رفتار برشی خاک‌های رسی مخلوط

حسین سلطانی جیقه\*<sup>۱</sup>، کاوه جعفری<sup>۲</sup> و ساناز جاجانی<sup>۲</sup><sup>۱</sup> استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

## چکیده

مهندسی ژئوتکنیک همواره در مسائل مهندسی ژئوتکنیک با خاک‌های مخلوط به طور طبیعی و یا مصنوعی رو به رو هستند و رفتار آن‌ها برای مهندسی همانند خاک‌های خالص چسبیده یا دانه‌ای شناخته شده نیست. برای ارزیابی ویژگی‌های تغییر حجمی و رفتار برشی خاک‌های رسی مخلوط، آزمایش‌های تراکم، برش مستقیم و انقباض بر روی نمونه‌های دو نوع رس خالص و مخلوط آن‌ها با سه نوع مصالح دانه‌ای انجام شده و نتایج حاصل ارزیابی می‌شود. نتایج به دست آمده از این آزمایش‌ها نشانگر آن است که میزان تورم و انقباض نمونه‌های مخلوط رس - مصالح دانه‌ای با افزایش درصد شن و ماسه کاهش می‌یابد. علاوه بر این، نتایج آزمایش‌های برش نشان می‌دهند که مقاومت برشی مصالح مخلوط به مقدار مصالح دانه‌ای و اندازه دانه‌ها بستگی دارد. به طور کلی می‌توان گفت اگر درصد مصالح دانه‌ای بیشتر از یک مقدار حدی باشد، مقاومت برشی مصالح مخلوط نسبت به رس خالص افزایش چشم‌گیری خواهد داشت و این مقدار حدی خود تابعی از اندازه دانه‌ها و نوع رس می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** خاک‌های رسی مخلوط، انقباض، مقاومت برشی، آزمایش‌های آزمایشگاهی.

## ۱- مقدمه

انقباض خاک اثر دارد. Indrawan و همکاران [۱۰] اثر افزودن ماسه بر نفوذپذیری و خواص انقباضی خاک باقی‌مانده را بررسی نمودند. Krisdani و همکاران [۱۱] با انجام آزمایش‌های انقباض بر روی خاک باقی‌مانده و مخلوط آن با ماسه نتیجه گرفتند که نرخ خشک شدن، روی نرخ تغییرات نسبت تخلخل و درجه اشباع اثر دارد.

Zafar و Trollope [۱۲] برای اولین بار رفتار مکانیکی رس‌های مخلوط اشباع را بررسی کردند. Willard و Holtz [۱۳] با انجام آزمایش‌های سه محوری بر روی مخلوط‌های رس - شن دریافتند که با افزایش درصد شن، زاویه اصطکاک داخلی افزایش و چسبندگی کاهش می‌یابد. Ola [۱۴] نیز اثر افزودن ماسه را بر روی مقاومت تک محوری نوعی رس در نیجریه بررسی نمود. Nakase و همکاران [۱۵] نیز با انجام آزمایش‌های سه محوری زهکشی نشده بر روی مخلوط‌های رس و ماسه دریافتند که در نسبت‌های تنش برشی نسبتاً بالا، با افزایش درصد ماسه، فشار آب حفره‌ای تدریجاً بیشتر می‌شود. نتایج مشابهی هم توسط Nakase و Kamei [۱۶] به دست آمد.

Vallejo و Mawby [۱۷] با انجام آزمایش‌های برش دریافتند وقتی که درصد ماسه ( $w_s$ ) در مخلوط از ۷۵٪ بیشتر باشد، مقاومت برشی مخلوط برابر با مقاومت برشی ماسه است و هنگامی که  $w_s < ۴۰٪$ ، مقاومت برشی مخلوط برابر با مقاومت

خاک‌های رسی در هسته سدهای خاکی، پوشش مدفن‌های بهداشتی و ... به عنوان موانع نفوذناپذیر استفاده می‌شوند. این مصالح علاوه بر داشتن نفوذپذیری پایین، باید تورم و انقباض کمتری داشته و مقاومت کافی در برابر برش داشته باشند. پوشش مدفن‌های بهداشتی تقریباً محافظت نشده بوده و ممکن است نفوذپذیری آن‌ها به علت ترک‌خوردگی ناشی از خشک و تر شدگی مکرر بیشتر شود [۱-۵]. در هسته سدها نیز اختلاف بیشتر سختی مصالح هسته و پوسته به پدیده قوس‌زدگی منجر می‌شود. بنابراین، برخی مواقع استفاده از رس خالص به عنوان مصالح ساخت امکان‌پذیر نمی‌باشد. روش‌های متعددی برای بهبود خواص رس‌ها وجود دارد که تثبیت با شن و ماسه یکی از آن‌ها است. در این روش خاک رس با شن و ماسه مخلوط می‌شود. این نوع خاک‌ها، خاک‌های رسی مخلوط نامیده می‌شوند [۶ و ۷].

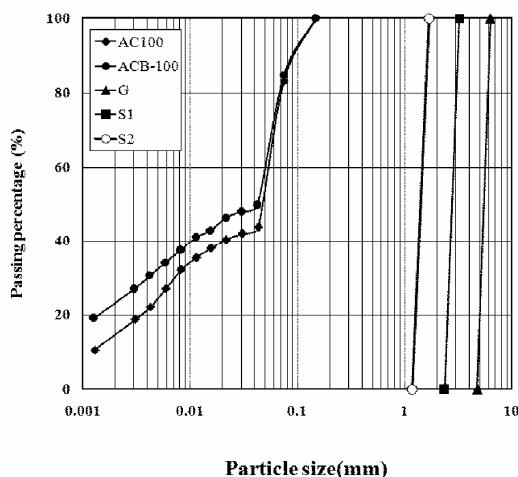
Kleppe و Olson [۸] نتیجه گرفتند کرنش انقباضی رس خالص و مخلوط‌های رس - ماسه تابعی از رطوبت تراکم بوده و به دانسیته خشک نمونه‌ها وابسته نمی‌باشد. همچنین وقتی کرنش انقباضی کمتر از ۵٪ می‌باشد ترک‌خوردگی حداقل و اگر کرنش از ۱۰٪ بیشتر باشد ترک‌خوردگی بیشتر است. Boivin و همکاران [۹] نشان دادند که نوع رس و مقدار آن بر خواص

با حد روانی و شاخص خمیری ۲۳٪ و ۱۲٪، و توده ویژه ۲/۶۹۸ می‌باشد و در این تحقیق با علامت AC معرفی می‌شود. برای بررسی اثر نوع رس بر رفتار نمونه‌ها، یک نوع رس مصنوعی (با نام ACB) با حد روانی ۴۸٪، شاخص خمیری ۲۲٪، و توده ویژه ۲/۶۴ تهیه شد. خاک‌های رس AC و ACB طبق سیستم طبقه‌بندی USCS در گروه CL قرار گرفتند [۲۰]. توزیع اندازه ذرات مصالح مورد استفاده در شکل (۱) ارائه شده است. همچنین ترکیب کانی‌های رس‌های استفاده شده در جدول (۲) آمده است.

نمونه‌های مخلوط، با مخلوط کردن نسبت‌های وزنی مختلف رس و ماسه (یا شن) آماده شدند که فهرست آن‌ها به همراه برخی مشخصات در جدول (۳) آمده است. در نام‌گذاری نمونه‌ها علائم G، S1 و S2 به نوع مصالح دانه‌ای موجود در مخلوط اشاره دارد و علائم AC و ACB نشانگر نوع رس و عدد نوشته شده در کنار نام نمونه‌ها، درصد وزنی رس در نمونه را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نام و مشخصات مصالح دانه‌ای

نام مصالح	بین الک‌های نمره	$G_s$	اندازه متوسط دانه‌ها (mm)
G	4-1/4"	2.61	5.540
S1	6-8	2.63	2.805
S2	12-16	2.66	1.440



شکل ۱- توزیع اندازه ذرات مصالح رسی و دانه‌ای

رس خالص است. برای مقدار متوسط ماسه، مقاومت برشی تدریجاً از مقاومت برشی ماسه خالص به مقدار متناظر رس خالص افزایش می‌یابد. این محققین با ارزیابی نتایج آزمایش‌های دیگر محققان دریافته‌اند که در مخلوط‌های با  $w_s$  بین ۵۶٪ تا ۷۶٪، مقاومت برشی مخلوط برابر با مقاومت اصطکاکی مصالح دانه‌ای به اضافه مقاومت برشی رس خالص است. برای مصالح دانه‌ای با مقدار  $w_s < ۵۶٪$  و  $w_s > ۷۶٪$ ، مقاومت برشی مخلوط به ترتیب برابر با مقاومت برشی رس و مقاومت اصطکاکی دانه‌ها است. این نتایج با یافته‌های Zhou و Vallejo [۱۸] سازگاری دارد. Shafiee و Jafari [۱۹] با انجام آزمایش‌های سه‌محوری زهکشی نشده بر روی مخلوط‌های رس کائولن با شن و ماسه مشاهده کردند که زاویه اصطکاک در حالت بحرانی با افزایش مقدار شن/ماسه بیشتر می‌شود.

سروش و سلطانی [۶ و ۷] با انجام آزمایش‌های سه‌محوری زهکشی نشده رفتار مخلوط‌های رس-ماسه و رس-شن متراکم را مطالعه نمودند. آنان یک مقدار بحرانی برای مصالح دانه‌ای پیشنهاد کردند که زیر این مقدار، مقاومت برشی و مدول تغییر شکل نمونه‌ها بدون تغییر مانده و بالای این مقدار هر دو پارامتر افزایش می‌یابند. علاوه بر این، مشاهده شد که مقاومت نمونه‌های رس-شن اندکی بیشتر از مقاومت نمونه‌های رس-ماسه است و در این نمونه‌ها اضافه فشار آب حفره‌ای کمتری نسبت به مخلوط‌های رس-ماسه ایجاد می‌شود.

این مطالعات نشان می‌دهد که اغلب آن‌ها بر روی یک نوع رس و یک نوع مصالح دانه‌ای بوده و اثر اندازه دانه‌ها و نوع رس بر خواص خاک مخلوط معلوم نمی‌باشد. بدین منظور، آزمایش‌های تراکم، برش مستقیم و انقباض روی نمونه‌های رس و مخلوط رس-مصالح دانه‌ای انجام می‌شود. در نهایت، ویژگی‌های تغییر حجمی و تراکمی و رفتار برشی آن‌ها ارزیابی می‌شود.

## ۲- مصالح و برنامه آزمایش‌ها

### ۲-۱- مصالح

نمونه‌های متعدد شامل ۶ مخلوط رس-شن، ۱۱ مخلوط رس-ماسه و ۲ نوع رس تهیه شده و آزمایش‌های مختلف بر روی آن‌ها انجام شد. شن و ماسه مورد استفاده از منبع قرضه‌ای در اطراف شهر تبریز تهیه شده و پس از شستن مصالح باقی‌مانده بین الک‌های انتخابی مطابق جدول (۱) با علائم G، S1، و S3 نام‌گذاری و استفاده شدند. رس اصلی مورد استفاده در نمونه‌ها از رس آذرشهر در محوطه دانشگاه شهید مدنی آذربایجان به ترتیب

شده و وزن مخصوص خشک حداکثر ( $\gamma_{dmax}$ ) و درصد رطوبت بهینه ( $w_{opt}$ ) آن‌ها مشخص شد. وزن مخصوص خشک حداکثر و درصد رطوبت بهینه نمونه‌ها در جدول (۳) آمده است.

### ۲-۲-۲- آزمایش‌های انقباض

برای بررسی ویژگی‌های انقباضی و تومی نمونه‌ها، آزمایش‌های انقباض مشابه روش Briaud و همکاران [۲۲] بر روی اغلب نمونه‌ها انجام شد. نمونه‌های آزمایش با رطوبت ۱٪ بیشتر از رطوبت بهینه و با دانسیته معادل  $\gamma_{dmax} 95\%$  درون محفظه پلاکسی گلس استوانه‌ای به قطر ۹۰ mm و ارتفاع ۱۰۰ mm متراکم شدند. برای اشباع کردن نمونه و متعاقباً زهکشی از پایین در حین خشک شدن، سوراخ‌هایی در صفحه زیرین محفظه تعبیه شد (شکل (۲)). برای اشباع کردن نمونه درون ظرف پر از آب گذاشته شده و برای جلوگیری از دست‌خوردگی نمونه به علت فشار آب، سطح آب در ظرف تا رسیدن به سطح خاک، به تدریج زیاد شده و سربار ۵ kPa بر روی سطح بالایی نمونه گذاشته شد. برای اطمینان از اشباع شدن، نمونه وزن شده و با استفاده از روابط وزنی-حجمی، درجه اشباع آن اندازه گرفته می‌شد. در انتهای مرحله اشباع، میزان تورم نمونه‌ها توسط کولیس ورنیه اندازه‌گیری گردید. پس از اشباع، نمونه از ظرف آب خارج شده و به منظور زهکشی و خشک شدن در هوای آزاد قرار داده شد.

حین خشک شدن، وزن و میانگین تغییر ابعاد نمونه در پنج نقطه، حداقل ۱۰ بار در طول آزمایش، با کولیس ورنیه اندازه‌گیری شده و برای محاسبه میزان انقباض نمونه‌ها و تغییرات رطوبت به کار گرفته شد. در نهایت، برای به دست آوردن رطوبت نهایی، وزن خشک نمونه تعیین شد. با استفاده از تغییر حجم‌های اندازه‌گیری شده نسبت تخلخل‌های متناظر محاسبه شده و از روی درصد رطوبت نهایی و تغییرات قبلی در وزن نمونه، مقدار رطوبت متناظر با نسبت تخلخل‌ها محاسبه شد.

### ۲-۲-۳- آزمایش‌های برش مستقیم

رفتار مکانیکی خاک‌های رسی مخلوط با انجام آزمایش‌های برش مستقیم بر روی اکثر نمونه‌ها انجام شد. نمونه‌ها با ۹۵٪ وزن مخصوص خشک حداکثر با رطوبت ۱٪ بیشتر از درصد رطوبت بهینه در ابعاد  $60\text{mm} \times 60\text{mm}$  تهیه شدند. سپس تحت تنش‌های قائم ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ کیلو پاسکال با سرعت ۱/۰ میلی‌متر در دقیقه برش داده شدند.

### جدول ۲- ترکیب کانی‌های رس‌ها و خواص فیزیکی آن‌ها

نوع رس		کانی‌ها
ACB	AC	
۲۶	۵۹	کلسیت (%)
۲۱	۱۷	کوارتز (%)
۱۴	۱۲	فلدسپار (%)
۳۷**	۱۱*	کانی‌های رسی (%)
۲	۱	دیگر کانی‌ها (%)
		خواص فیزیکی
۶۱	۳۳	حد روانی
۲۸	۲۱	حد خمیری
۳	۱۲	نشانه خمیری
۲/۶۴	۲/۶۹۸	$G_s$
CH	CL	طبقه‌بندی USCS

\* به ترتیب اولویت وزنی شامل کانی‌های کائولینیت، ایلیت، کلریت و مونتموریلونیت می‌باشند.

\*\* به ترتیب اولویت وزنی شامل کانی‌های مونتموریلونیت، کائولینیت و ایلیت می‌باشند.

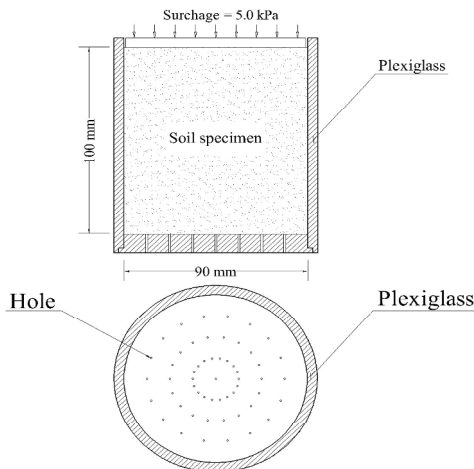
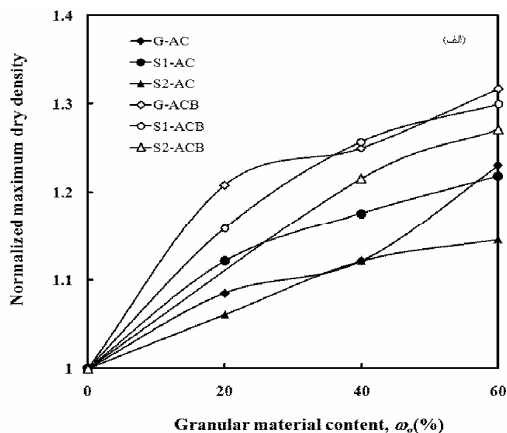
### جدول ۳- نام و مشخصات نمونه‌های آزمایش شده

ردیف	نام نمونه‌ها	ماسه/شن (%)	$w_{opt}$ (%)	$\gamma_{dmax}$ (kN/m <sup>3</sup> )
۱	AC100	۰	۱۹/۵	۱۶/۵
۲	G-AC80	۲۰	۱۸/۰	۱۷/۹
۳	G-AC60	۴۰	۱۳/۶	۱۸/۵
۴	G-AC40	۶۰	۱۲/۵	۲۰/۳
۵	S1-AC80	۲۰	۱۵/۸	۱۷/۹
۶	S1-AC60	۴۰	۱۲/۷۵	۱۹/۴
۷	S1-AC40	۶۰	۱۲/۵	۲۰/۱
۸	S2-AC80	۲۰	۱۶/۵	۱۷/۵
۹	S2-AC60	۴۰	۱۵/۱	۱۸/۵
۱۰	S2-AC40	۶۰	۱۴/۹	۱۸/۹
۱۱	ACB100	۰	۲۳/۵	۱۴/۲۴
۱۲	G-ACB80	۲۰	۲۰/۰	۱۷/۲
۱۳	G-ACB60	۴۰	۱۶/۵	۱۷/۸
۱۴	G-ACB40	۶۰	۱۳/۷	۱۸/۷۵
۱۵	S1-ACB80	۲۰	۱۸/۷۵	۱۶/۵
۱۶	S1-ACB60	۴۰	۱۳/۵	۱۷/۹
۱۷	S1-ACB40	۶۰	۱۱/۵	۱۸/۵
۱۸	S2-ACB60	۴۰	۱۶/۵	۱۷/۳
۱۹	S2-ACB40	۶۰	۱۳/۵	۱۸/۱

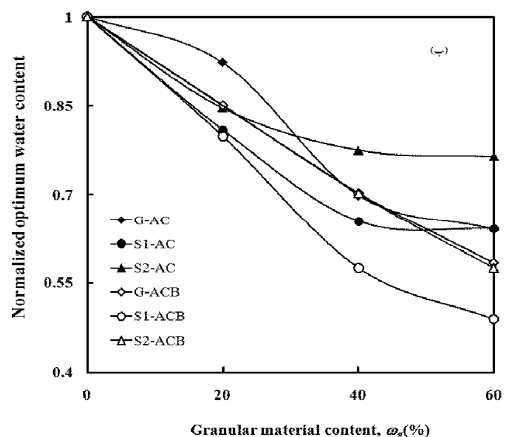
### ۲-۲- آزمایش‌های انجام شده

#### ۲-۲-۱- آزمایش‌های تراکم

برای تهیه نمونه‌های مشابه با شرایط محلی، آزمایش‌های تراکم به روش پروکتور استاندارد [۲۱] بر روی نمونه‌ها انجام



شکل ۲- محفظه پلکسی گلس حاوی نمونه خاک



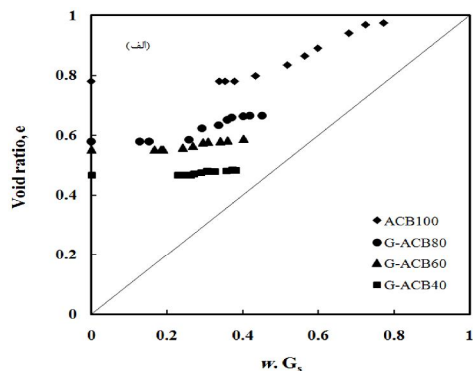
### ۳- نتایج آزمایش‌ها و ارزیابی آن‌ها

در این بخش نتایج آزمایش‌ها ارائه شده و برحسب پارامترهای متعدد از قبیل درصد مصالح دانه‌ای، اندازه دانه‌ها و نوع رس ارزیابی می‌گردند. لازم به ذکر است در بخش‌های بعد منحنی‌های با نقاط توپر و تو خالی به ترتیب مربوط به نمونه‌های مخلوط تهیه شده با رس‌های AC و ACB می‌باشند.

شکل ۳- اثر درصد مصالح دانه‌ای بر الف) وزن مخصوص خشک حداکثر، ب) رطوبت بهینه، ترازشده

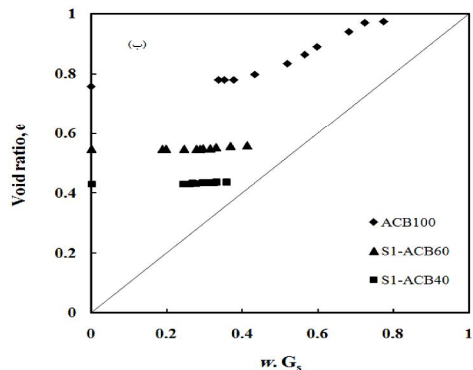
### ۳-۱- ویژگی‌های تراکم

در شکل (۳) تغییرات وزن مخصوص خشک حداکثر و رطوبت بهینه ترازشده نمونه‌ها به مقدار متناظر رس با درصد شن و ماسه ( $w_g$ ) رسم شده است. دیده می‌شود با افزایش  $w_g$  وزن مخصوص زیاد و  $w_{opt}$  کاهش می‌یابد. نرخ افزایش  $\gamma_{dmax}$  و کاهش  $w_{opt}$  با افزایش  $w_g$  از ۴۰٪ به ۶۰٪ کاهش می‌یابد. همچنین می‌توان گفت که در نمونه‌های مخلوط ACB، به ترتیب اثر افزایش یافته و کاهنده مصالح دانه‌ای بر روی  $w_{opt}$  و  $\gamma_{dmax}$  بیشتر است؛ یعنی با افزایش نشانه خمیری رس، نرخ افزایش در  $\gamma_{dmax}$  و نرخ کاهش در  $w_{opt}$  با زیاد شدن درصد مصالح دانه‌ای بیشتر می‌شود.

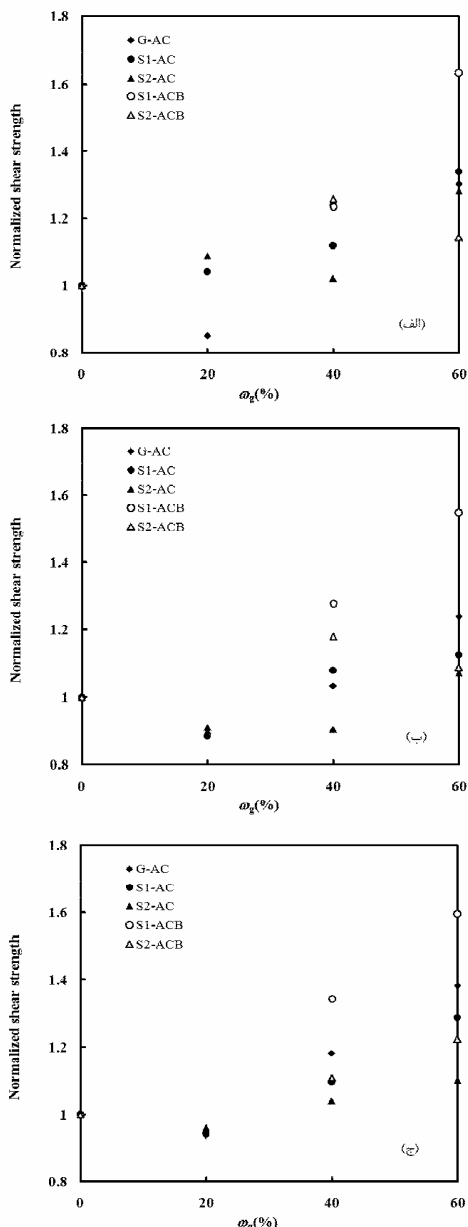


### ۳-۲- ویژگی‌های انقباض و تورم

در شکل (۴) تغییرات نسبت تخلخل ( $e$ ) با  $w.G_s$  برای نمونه‌های مخلوط ACB به همراه خط حالت اشباع رسم شده است. مشاهده می‌شود که با کاهش رطوبت نمونه‌ها  $e$  کم شده و پس از رسیدن آن به مقداری معین ثابت می‌ماند. همچنین نرخ کاهش در  $e$  با افزایش  $w_g$  کمتر می‌شود؛ به طوری که برای نمونه‌های با  $w_g = ۶۰٪$  تقریباً نسبت تخلخل از ابتدای آزمایش تا انتها ثابت است.



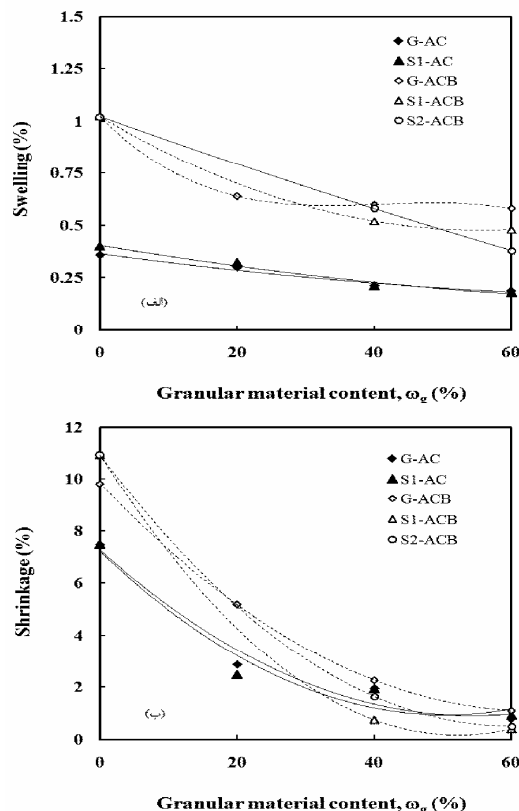
شکل ۴- تغییرات نسبت تخلخل برحسب  $w.G_s$  برای نمونه‌های مخلوط رس ACB



شکل ۶- اثر درصد مصالح دانه‌ای بر مقاومت برشی در تنش‌های نرمال الف) ۱۲۰ kPa، ب) ۱۸۰ kPa، و ج) ۲۴۰ kPa

از شکل (۹) نیز می‌توان مشاهده نمود که در مخلوط‌های با  $w_g = 20\%$ ، اندازه دانه‌ها اثری بر مقاومت برشی ندارد. در  $w_g = 40\%$ ، مخلوط‌های رس ACB با ماسه S1 بیشترین مقاومت را دارند و در مخلوط‌های رس AC با کاهش اندازه دانه‌ها مقاومت برشی کمتر می‌شود. در نمونه‌های با  $w_g = 60\%$ ، با کاهش اندازه دانه‌ها روند مقاومت برشی نزولی است.

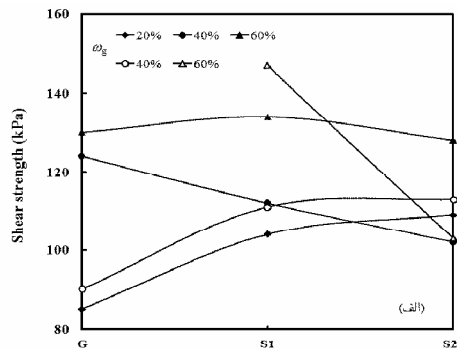
در شکل (۵) تغییرات کرنش انقباضی و تورمی با درصد مصالح دانه‌ای رسم شده است. دیده می‌شود که با افزایش  $w_g$  مقدار تورم و انقباض نمونه‌ها کاهش می‌یابد. به طوری که برای نمونه‌های با مقدار مصالح ۶۰٪ تقریباً انقباضی مشاهده نشد. نتایج مشابهی برای نمونه‌های مخلوط AC دیده شد.



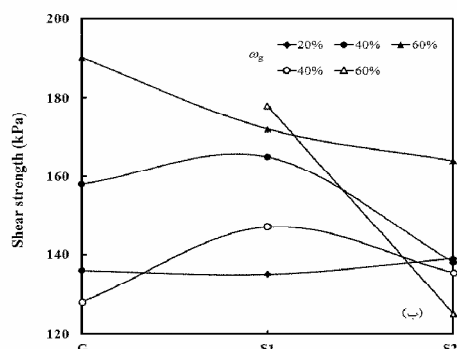
شکل ۵- تغییرات کرنش حجمی ناشی از الف) تورم، ب) انقباض، بر حسب درصد مصالح دانه‌ای

### ۳-۳- رفتار برشی

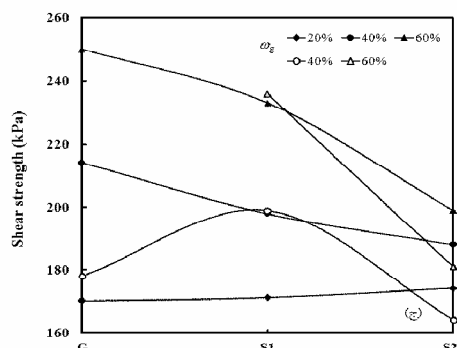
تغییرات مقاومت برشی تراز شده با  $w_g$  (شکل (۶)) نشان می‌دهد که با افزودن دانه‌ها به رس تا ۴۰٪ افزایش چندان در مقاومت وجود ندارد و با افزایش  $w_g$  به ۶۰٪، مقاومت زیاد شده و نرخ افزایش به اندازه دانه‌ها بستگی دارد. از شکل (۶) می‌توان دریافت که بهبود مقاومت برشی در رس ACB با افزودن دانه‌ها نسبت به رس AC بیشتر می‌باشد. با بررسی تغییرات زاویه اصطکاک ( $\phi$ ) تراز شده با درصد مصالح دانه‌ای (شکل (۷)) مشاهده می‌شود که صرف‌نظر از استثناها، با افزایش  $w_g$  تا ۴۰٪، افزایش چندان در زاویه اصطکاک مشاهده نمی‌شود، حتی در مخلوط‌های با  $w_g = 20\%$ ، کاهش پیدا کرده و با افزایش  $w_g$  از ۴۰٪ به ۶۰٪، مقدار  $\phi$  بیشتر می‌شود. شکل (۸) نشان می‌دهد که مقدار زاویه اصطکاک داخلی با کاهش اندازه دانه‌ها کم می‌شود.



Granular material type



Granular material type



Granular material type

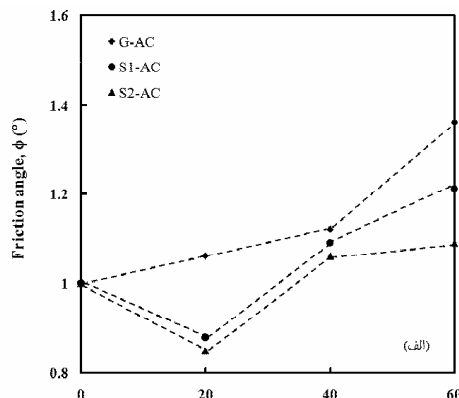
شکل ۹- تغییرات مقاومت برشی با اندازه دانه الف) ۱۲۰ kPa،  
ب) ۱۸۰ kPa، ج) ۲۴۰ kPa

#### ۴- نتیجه‌گیری

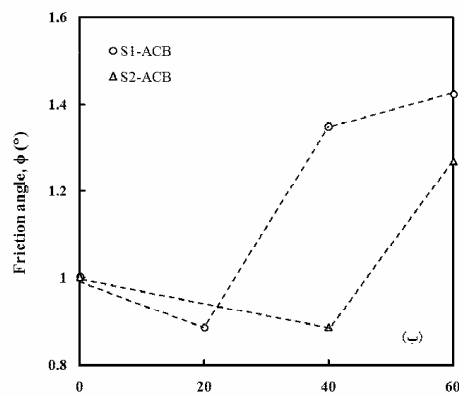
رفتار نمونه‌های رس مخلوط و رس خالص با انجام آزمایش‌های تراکم، انقباض و برش مستقیم بر روی آن‌ها بررسی شد. مشاهده شد که:

- با افزایش درصد مصالح دانه‌ای، وزن مخصوص خشک حداکثر بیشتر و رطوبت بهینه کمتر شده و نرخ افزایش و کاهش آن‌ها با افزایش نشانه خمیری رس بیشتر می‌شود.

- با افزودن شن و ماسه به رس، انقباض و تورم نمونه‌ها کم شده و مقدار آن در نمونه‌های با ۶۰٪ مصالح دانه‌ای به صفر می‌رسد.

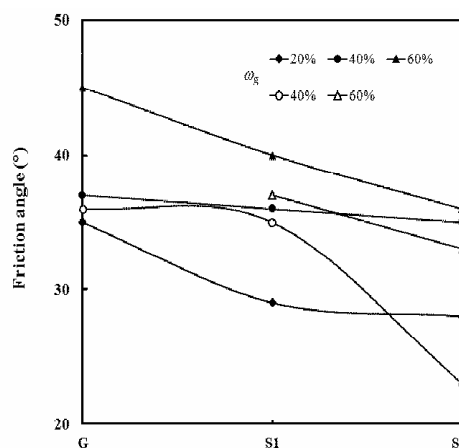


Granular material content,  $\omega_g$  (%)



Granular material content,  $\omega_g$  (%)

شکل ۷- تغییرات زاویه اصطکاک با درصد مصالح دانه‌ای



Granular material type

شکل ۸- تغییرات زاویه اصطکاک داخلی با اندازه دانه‌ها

- Type and Shrinkage Properties of Soil Samples", Soil Science Society of America Journal, 2004, 68, 1145-153.
- [10] Indrawan, I. G. B., Rahardjo, H., Leong, E. C., "Effects of Coarse-Grained Materials on Properties of Residual Soil", Engineering Geology, 2006, 82, 154-164.
- [11] Krisdani, H., Rahardjo, H., Leong, E. C., "Effects of Different Drying Rates on Shrinkage Characteristics of a Residual Soil and Soil Mixtures", Engineering Geology, 2008, 102, 31-37.
- [12] Trollope, D. H., Zafar, S. M., "A Study of the Shear Strength of Saturated Sand, and Sand-Clay Mixtures, in Triaxial Compression", The 2<sup>nd</sup> Australia-New Zealand Conference, S.M.F.E, 1953.
- [13] Holtz, W. G., Willard, M., "Triaxial Shear Characteristics of Clayey Gravel Soils", Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE, 1956, 82, 143-149.
- [14] Ola, S. A., "Stabilization of Maiduguri Black Cotton Soils of Nigeria with Sand", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 1981, 24 (1), 145-150
- [15] Nakase, A., Nakanodo, H. Kusakabe, O., "Influence of Soil Type on Pore Pressure Response to Cyclic Loading", The 5<sup>th</sup> Japan Earthquake Engineering Symposium, 1956, pp 593-600.
- [16] Nakase, A. Kamei, T. "Undrained Shear Strength Anisotropy of Normally Consolidated Cohesive Soils", Soils and foundations, 1983, 23, 91-101.
- [17] Vallejo, L. E., Mawby, R., "Void Ratio Influence on the Shear Strength of Granular Material Clay Mixtures", Engineering Geology, 2000, 58, 125-136.
- [18] Vallejo, L. E., Zhou, Y., "The Mechanical Properties of Simulated Soil-Rock Mixtures", The 13<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanic and Foundation Engineering, New Dehli, India, A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 1994, Vol. I, pp 365-368.
- [19] Jafari, M. K. Shafiee, A., "Mechanical Behavior of Compacted Composite Clays", Canadian Geotechnical Journal, 2004, 41, 1152-1167.
- [20] ASTM Standard D 2487, "Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)", American Society of Testing and Materials, West Conshohocken, Pa., 2004.
- [21] ASTM Standard D 698, "Standard Test Method for Laboratory Compaction
- افزودن مصالح دانه‌ای تا ۴۰٪ به رس تأثیری در مقاومت برشی ندارد و افزودن ۶۰٪ دانه، مقاومت برشی را به مقدار قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌بخشد. اثر دانه‌ها در بهبود مقاومت برشی در رس‌های با نشانه خمیری زیاد بالا می‌باشد. اندازه دانه‌های اضافه شده به رس نباید خیلی کوچک باشد.
- دانه‌های با اندازه ماسه درشت و شن نتایج بهتری در بهبود خواص تغییر حجمی و مقاومتی نسبت به ماسه ریز دارند.
- ۵- تشکر و قدردانی**
- این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان تحت قرارداد پژوهشی به شماره ۴۰۱/۵۰۸ انجام شده است. بدین‌وسیله از کلیه مسئولین آن معاونت محترم تشکر و قدردانی می‌شود.
- ۶- مراجع**
- [1] Brandl, H., "Mineral Liners for Hazardous Waste Containment", Geotechnique, 1992, 42, 57-65.
- [2] Kayabali, K., "Engineering Aspects of a Novel Landfill Liner Material: Bentonite-Amended Natural Zeolite", Engineering Geology, 1997, 46, 105-114.
- [3] Cazaux, D., Didier, G., "Field Evaluation of Hydraulic Performances of Geosynthetic Clay Liners by Small and Large-Scale Tests", Geotextile and Geomembrane, 2000, 18, 163-78.
- [4] Daniel D. E., Wu, Y. K., "Compacted Clay Liners and Covers for Arid Sites". Journal of Geotechnical Engineering, 1993, 119 (2), 223-237.
- [5] Albrecht, B. A., Benson, C. H "Effect of Desiccation on Compacted Natural Clays", ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2001, 127 (1), 67-75.
- [۶] سلطانی جیقه، ح.، سروش، ع.، "رفتار خاک‌های رسی مخلوط تحت بارگذاری یکنواخت"، نشریه علمی-پژوهشی امیرکبیر، ۱۳۸۶، ج-۶۷، ۲۱-۲۹.
- [7] Soroush, A., Soltani Jigheh, H. "Pre- and Post-cyclic Behavior of Mixed Clayey Soils", Canadian Geotechnical Journal, 2009, 46, 115-1128.
- [8] Kleppe, J. H., Olson, R. E., "Desiccation Cracking of Soil Barriers", Hydraulic Barriers in Soil and Rock, 1985, 874, 263-75.
- [9] Boivin, P., Garnier, P., Tessier, D., "Relationship Between Clay Content, Clay

Swell Predictions", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2003, 129 (7), 590-600.

Characteristics of Soil using Standard Effort", American Society of Testing and Materials, West Conshohocken, Pa, 2004.

[22] Briaud, J. L., Zhange, X., Moon, S., "Shrink Test-Water Content Method for Shrink and