

# مطالعه موردی تأثیر محلولهای کلرید سدیم بر مقاومت برشی خاکهای رسی متراکم

مهنوش بیگری<sup>۱</sup>، سید شهاب‌الدین یثربی<sup>۲\*</sup>

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس  
۲- دانشیار مکانیک خاک و پی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

\*تهران، صندوق پستی ۱۵۹-۱۴۱۱۵

yasrobis@modares.ac.ir

(دریافت مقاله: مهر ۱۳۸۳، پذیرش مقاله: اردیبهشت ۱۳۸۴)

**چکیده**- مقاومت برشی خاکها یکی از مهمترین مباحث در بسیاری از مسائل ژئوتکنیکی است؛ مسائلی از قبیل: ظرفیت باربری پی‌های سطحی و شمعها، پایداری شیب خاکریزها و فشار همه‌جانبه زمین در دیوارهای حائل. علاوه بر این با توجه به گستردگی آبهای شور در سطح زمین، همواره این احتمال وجود دارد که خاکها تحت تأثیر آبهای شور قرار گیرند. بنابراین شناخت رفتار و عکس‌العمل خاکها تحت تأثیر محلولهای کلرید سدیم می‌تواند ما را در تصمیم‌گیری صحیح یاری کند. در این مقاله تلاش شده است تا رفتار مقاومتی خاکهای رسی متراکم در برابر آب شور در کوتاه‌مدت و پس از نفوذ به مدت ۴۰ روز با توجه به تأثیر تنش همه‌جانبه تشریح و مشخص شود که نفوذ محلولهای کلرید سدیم تا چه حد می‌تواند بر مقاومت برشی این خاکها اثرگذار باشد.

**کلید واژگان:** مقاومت برشی، خاکهای رسی متراکم، محلولهای کلرید سدیم، آزمایش برش سه‌محوری، نفوذپذیری.

## ۱- مقدمه

تبیین رفتار مقاومت برشی خاکها بسیار پیچیده است. مقاومت برشی خاکهای رسی به‌طور ویژه تابع تعداد زیادی از عوامل مختلف است که عبارتند از: نوع کانی رسی، درصد رطوبت، طبیعت سیال حفره‌ای، تاریخچه تنش، زهکشی در حین برش، مسیر تنش، نرخ بارگذاری، دما و بافت خاک [۱]. بنابراین بررسی اثر مستقیم غلظت نمک بر مقاومت برشی خاک رسی به‌طور مجزا و بدون تأثیر عوامل دیگر کار ساده‌ای نیست. لمب [۲] بیان کرده است که: در یک نسبت تخلخل

معین، هر تغییری در سیستم آب - خاک که لایه دوگانه را متورم کند، متمایل است که مقاومت خاک را کاهش دهد. وقوع چنین پدیده‌ای به‌علت افزایش دافعه بین‌ذره‌ای است. این مفهوم ما را به سوی این پیش‌بینی هدایت می‌کند که هر یک از تغییرات زیر عموماً مقاومت برشی را کاهش می‌دهند:

- ۱- کاهش غلظت الکترولیت؛
- ۲- تعویض کاتیونی از ظرفیت زیاد به کم (به‌عنوان مثال:  $Ca^{++}$  به  $Na^{+}$ )؛
- ۳- تعویض کاتیونی از کاتیون با شعاع کوچک به کاتیون با شعاع بزرگ (به‌عنوان مثال:  $Na^{+}$  به  $Li^{+}$ )؛

می‌یابد. در حالی که وقتی در نسبت تخلخل ثابتی مقایسه انجام شود، مقاومت برشی کائولینیت با افزایش غلظت افزایش می‌یابد در حالی که مقاومت برشی مونت موریلونیت با افزایش غلظت کم می‌شود. محققان پیشنهاد کرده‌اند که در مورد مونت موریلونیت افزایش در بار مورد نیاز برای ایجاد همان نسبت تخلخل برای سیال حفره‌ای با غلظت کمتر، بیشتر است زیرا دافعه بیشتری رخ می‌دهد. متعاقباً تنش مؤثر واقعی بیشتری در این نمونه‌ها ایجاد می‌شود و آنها مقاومت برشی بیشتری را به‌نمایش می‌گذارند.

کنی [۸] نتایجی از مقاومت برشی پسماند تعدادی مواد رسی با سیالات حفره‌ای مختلف را ارائه داد. کارهای او روشن کرد که مقاومت برشی رس، به‌ویژه برای رس‌های مونت موریلونیت تابع شیمی سیال حفره‌ای است. متأسفانه نتایج آزمایش‌های او برای رس‌ها در سیالات حفره‌ای با غلظت‌های متفاوت، بر نمونه‌های ساخته شده با درصد رطوبتهای مختلف بود.

چاتوپادهای [۹] نمونه‌هایی از رس‌های مونت موریلونیت طبیعی را که سیال حفره‌ای نمکی اولیه آنها در شرایط حجم ثابت نفوذ داده شده بود آزمایش کرد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که مقاومت برشی پسماند با افزایش در غلظت سیال حفره‌ای، افزایش می‌یابد.

هو [۱۰] نمونه‌های بازسازی شده‌ای از رس یخچالی را با آب مقطر متراکم کرد و سپس تحت نفوذ آب شور با غلظت ۴ مولار قرار داد. آزمایش‌های تحکیم سه محوری زهکشی نشده، با اندازه‌گیری فشار حفره‌ای بر روی نمونه‌های با آب شیرین و آلوده به آب شور انجام شد. نتایج آزمایش افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقاومت برشی (تقریباً ۴ درجه افزایش در  $\phi'$ ) برای هر دو نوع خاک رس را نشان دادند.

باربور [۱۱] نیز بیان کرد که افزایش در مقاومت برشی می‌تواند به‌وسیله توجه به افزایش در میزان محصورشدگی

۴- جذب آنیونها (به‌عنوان مثال: فسفات)؛

۵- افزایش در ثابت دی‌الکتریک سیال حفره‌ای؛

۶- افزایش pH سیال حفره‌ای؛

۷- کاهش دما؛

۸- افزایش درصد رطوبت.

لمب [۲] این مطالب عمومی را با تکیه بر دستاوردهای رسنکوئیست [۳]، بجرام و رسنکوئیست [۴] بیان کرد. رسنکوئیست [۳] اثر غلظت بر سوسپانسیون آب-رس، در رس کویک<sup>۱</sup> و دریایی نوژ را بررسی کرد. او دریافت که با افزایش غلظت الکتروولیت از غلظتهای محلول تقریباً ۰/۱ نرمال، مقاومت برشی افزایش می‌یابد. بجرام و رسنکوئیست [۴] نیز گزارش کردند که مقاومت برشی در حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد پس از خروج نمک از آب حفره‌ای کم می‌شود.

تحقیقات مصری و السون [۵] روی نمونه‌های سدیم مونت موریلونیت نشان داد که مقاومت برشی با افزایش غلظت نمک افزایش می‌یابد. در حالی که وقتی نمونه‌ها در نسبت تخلخل یکسانی مقایسه می‌شوند، تغییر کمی در مقاومت برشی رخ می‌دهد.

مصری و السون [۵] با آزمایش‌هایی روی کلسیم مونت موریلونیت و السون و میترواس [۶] روی ایلیت کلسیم و منیزیم نیز نشان دادند که در حالی که صفحات رس موازی یکدیگر نباشند و بر یکدیگر عمود باشند، نیروهای جاذبه و دافعه با بُرد بلند داخلی نقش حداقلی در کنترل تنش مؤثر دارند و تغییر کمی در مقاومت برشی با تغییر در شیمی سیال حفره‌ای رخ می‌دهد.

نتایج تحقیقات وارکتین و یونگ [۷] برای نمونه‌های کائولینیت و مونت موریلونیت آماده شده با محلولهای الکتروولیت نیز نشان می‌دهند که مقاومت برشی با کاهش نسبت تخلخل و افزایش غلظت برای هر دو ماده، افزایش

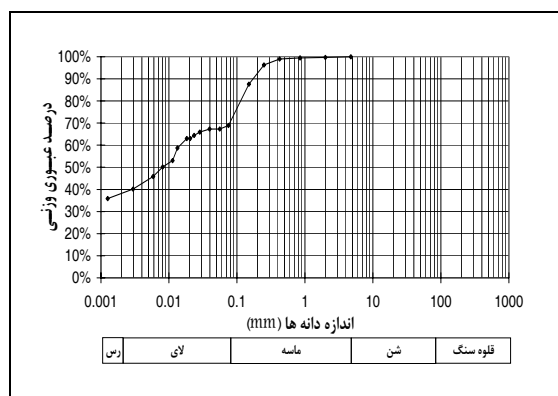
1. Quick

با آب مقطر انجام می‌شود که این نمونه‌ها به مدت دو ماه تحت نفوذ با محلول کلرید سدیم با غلظت ۲/۸ مولار قرار داشته‌اند. این سری از آزمایشها به منظور بررسی اثر نفوذ بلندمدت آب شور بر مقاومت برشی طراحی شده‌اند. در ادامه جزئیات تحقیق به تفصیل ارائه شده است.

## ۲- مواد

### ۲-۱- خاک

به منظور بررسی اثر آب شور بر مقاومت برشی خاکهای رسی، نوعی خاک رس که پلاستیسیته زیادی دارد، به کار رفته است. در انتخاب این خاک تلاش شده تا خاکی انتخاب شود که کانیهای فعال، مشخص، واحد و عاری از مواد شیمیایی و آلی و دارای منشأ یکسانی داشته باشند تا با حذف سایر عوامل، تحلیل رفتار آنها راحت‌تر و دقیق‌تر انجام شود. ویژگیهای این خاکها در جدول ۱ خلاصه شده است. منحنی دانه‌بندی در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱ منحنی دانه‌بندی نمونه خاک مورد آزمایش

بر اساس نتایج حاصل از طیف انکسار اشعه ایکس (XRD) و جذب اتمی، خاک مورد آزمایش، سدیم - پتاسیم مونت‌موریلونیت شناسایی می‌شود. طیف انکسار در شکل ۲ نشان داده شده است.

نمونه‌ها که در نتیجه کاهش در تفاضل نیروهای داخلی با برد بلند، (R-A)، است، پیش‌بینی شود. او مقدار (R-A) را از تغییر حجم اتفاق افتاده در طی تحکیم اسمزی تخمین زد. سپس افزایش در مقاومت برشی را از  $(R-A) \cdot \tan \phi$  پیش‌بینی کرد.

علاوه بر اطلاعات محدودی که از روابط حساسیت و شوری برای رسهای حساس در دسترس است، اطلاعات کمی هم در باره تغییرات مقاومت در محل در طی نفوذ آب شور جمع‌آوری شده است. کنت و همکاران [۱۲] تغییرات را در ویژگیهای دو خاکریز رسی در معدن پتاس آی‌ام‌سی<sup>۱</sup> در ساسکچوان<sup>۲</sup> بررسی کردند. خاکریز اول اشباع شده با آب شور بود و به مدت ۱۵ سال استفاده می‌شد و دیگری به تازگی ساخته شده بود. نتایج تحقیقات بر روی این دو خاکریز تفاوت قابل ملاحظه‌ای را در مقاومت برشی مورد بررسی نشان نداده است.

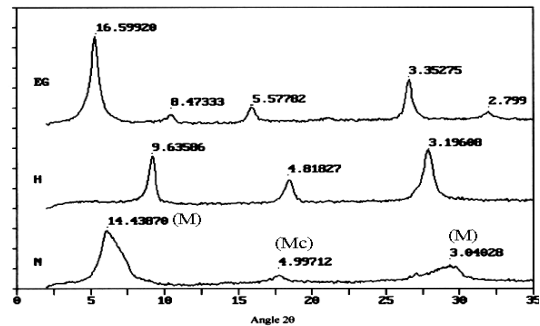
در این تحقیق به منظور بررسی اثر محلولهای کلرید سدیم بر مقاومت برشی رسها و تأثیر نفوذ نمک بر مقاومت برشی نمونه‌ها، سه گروه آزمایش برش سه‌محوری تحکیم‌یافته زهکشی شده (CD)، در دو شرایط معمولی و پس از نفوذپذیری انجام شده است.

در گروه اول آزمایشها، سه نمونه ساخته شده از خاک مورد مطالعه پس از آماده‌سازی و اشباع با آب مقطر در تنشهای محصورکننده ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلو پاسکال تحت برش قرار گرفتند. در گروه دوم، نمونه‌ها پس از آماده‌سازی با آب مقطر تحت شرایط تنش یکسان با گروه اول پس از اشباع با محلولهای کلرید سدیم با غلظت ۲/۸ مولار تحت آزمایش برش سه‌محوری CD قرار گرفتند. گروه سوم آزمایشها بر روی نمونه‌های آماده و اشباع شده

1. IMC  
2. Saskatchewan

## ۲-۲- سیال حفره‌ای

آزمایشها به وسیله آب مقطر- که در آماده‌سازی نمونه‌ها و برخی آزمایشهای تعیین مقاومت برشی استفاده شده - و محلول کلرید سدیم (NaCl) با غلظت ۲/۸ مولار (۱۶۰ گرم در لیتر محلول) که برای نمونه‌های تحت نفوذ و دسته دیگری از آزمایشهای تعیین مقاومت به کار رفته، انجام شده است. نمک کلرید سدیم خالص مرک<sup>۱</sup> با شماره استاندارد ۱۰۶۴۰۰ برای آماده‌سازی محلولهای NaCl به کار رفته است. چگالی ویژه و حجمی این نمک به ترتیب ۲/۱۷ گرم بر سانتیمتر مکعب و ۱/۱۴ گرم بر سانتیمتر مکعب است.



M: مونت موریلونیت Mc: میکا F: فلدسپار

شکل ۲ طیف انکسار اشعه ایکس برای خاک مورد آزمایش

جدول ۱ ویژگیهای مصالح به کار رفته

توصیف	خاک مورد آزمایش
طبقه‌بندی (USCS)	CH
وزن مخصوص (G <sub>s</sub> )	۲/۶۵
رنگ <sup>۱</sup>	سبز روشن
حدود اتربرگ (%)	
حد روانی	۷۶
حد خمیری	۲۶
دامنه خمیری	۵۰
فعالیت (A) <sup>۲</sup>	۱/۳
بیشینه چگالی از تراکم اصلاح شده (kN/m <sup>3</sup> )	۱۶/۹
درصد رطوبت بهینه از تراکم اصلاح شده	٪۱۶
غلظت کاتیونها (ppm) <sup>۴</sup>	
Na <sup>+</sup>	۲۱۰
K <sup>+</sup>	۲۲۰
Mg <sup>2+</sup>	۲۰
Ca <sup>2+</sup>	۰/۵
هدایت الکتریکی (ms/cm) <sup>۵</sup>	۲/۱۷
pH <sup>۶</sup>	۸/۷
نسبت جذب سدیم (SAR)، (meq/lit) <sup>۱/۲</sup>	۲۰/۷۶
<sup>۱</sup> - بر اساس مصالح کوچکتر از ۲ میکرون <sup>۲</sup> - به دست آمده از روش جذب اتمی <sup>۳</sup> - به دست آمده از گِل اشباع <sup>۴</sup> - A=PI/C	

## ۳- روش آزمایش

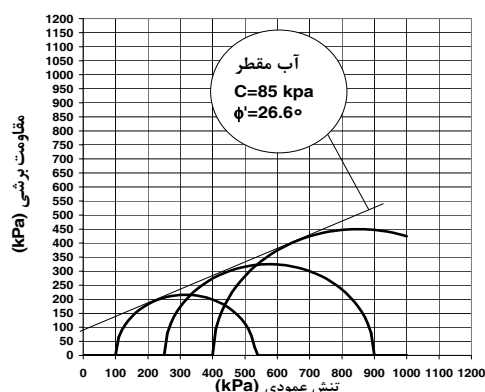
نمونه‌های تهیه شده، استوانه‌ای شکل به قطر ۵۰ و ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متر بودند. نحوه ساخت نمونه‌ها مشابه بوده و همه آنها در شرایط درصد رطوبت و چگالی خشک بهینه ساخته شده است. در این قسمت چگونگی ساخت و آماده‌سازی آنها شرح داده می‌شود.

برای ساخت نمونه‌ها از قالب سه تکه دستگاه سه محوری استفاده شده است. از خاک مورد نظر که درصد رطوبت آن قبلاً تعیین شده، به مقدار مورد نیاز انتخاب شده و سپس درصد رطوبت آن به دقت به درصد رطوبت بهینه رسانده می‌شود و نمونه پس از اینکه کاملاً مخلوط شد، به منظور یکنواخت شدن رطوبت، به مدت یک ساعت در ظرفی در بسته نگهداری می‌شود. آنگاه خاک را به دقت در چندین لایه به داخل قالب ریخته و هر لایه کوبیده می‌شود. آخرین لایه برای رسیدن به تراکم مورد نظر، به وسیله جک هیدرولیکی به صورت استاتیکی متراکم می‌شود.

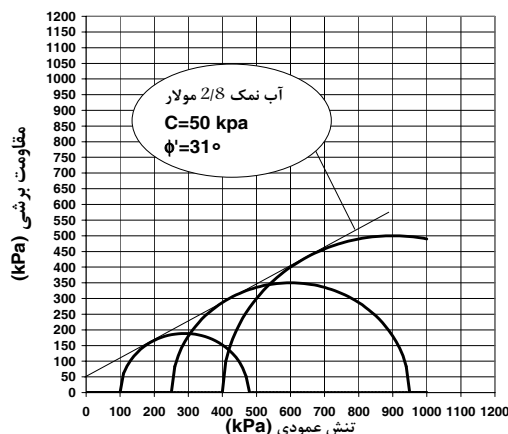
پس از فشردن هر لایه و قبل از ریختن لایه بعدی، سطح لایه خاک خراش داده می‌شود تا با لایه بالایی خود پیوستگی کافی پیدا کند. در نهایت پس از تسطیح سطح

#### ۴- نتایج آزمایشها

شکلهای ۳ و ۴ نمودار تنش نرمال در مقابل تنش برشی را به ترتیب برای نمونه‌های اشباع شده به وسیله آب مقطر و نمونه‌های اشباع شده به وسیله محلول کلرید سدیم با غلظت ۲/۸ مولار نشان می‌دهند. در شکل ۵ نمودار تنش نرمال در مقابل تنش برشی، برای نمونه‌های اشباع شده با آب مقطر و تحت نفوذ قرار گرفته به مدت دو ماه با آب شور با غلظت ۲/۸ مولار، ارائه شده است.



شکل ۳ نمودار تنش نرمال در مقابل تنش برشی برای خاک مورد آزمایش تحت تأثیر آب مقطر



شکل ۴ نمودار تنش نرمال در مقابل تنش برشی برای خاک مورد آزمایش تحت تأثیر محلول NaCl ۲/۸ مولار

انتهایی نمونه، قالب سه تکه را باز کرده و نمونه با احتیاط به کمک جک هیدرولیکی خارج می‌شود.

پس از جاگذاری نمونه در سلول سه‌محوری، نمونه به وسیله آب مقطر هواگیری شده<sup>۱</sup> از بالا و پایین تحت نفوذ قرار می‌گیرد تا کاملاً اشباع شود. میزان جذب آب نمونه به وسیله حجم سنج<sup>۲</sup> اندازه‌گیری و کنترل می‌شود. پس از اینکه روند جذب آب بسیار کند شد (تقریباً پس از گذشت پنج روز) با تغییر فشار آب فوقانی و تحتانی نمونه، به نمونه اجازه نفوذ داده می‌شود. این کار، به خارج شدن هوای داخل نمونه و اشباع بهتر آن کمک می‌کند. سپس دوباره نمونه به مدت دو روز دیگر تحت شرایط اشباع قرار می‌گیرد تا از اشباع کامل نمونه اطمینان حاصل شود. معمولاً برای اشباع هر نمونه، با توجه به ریزدانه بودن نمونه‌ها و پلاستیسیته بالای آنها، حدود هفت روز وقت لازم است.

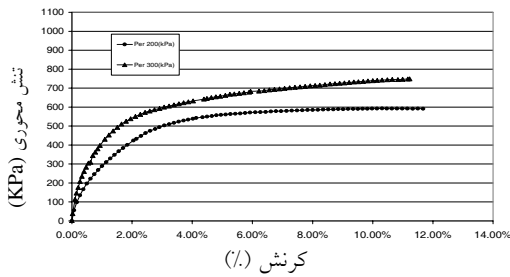
آزمایش به صورت کنترل کرنش با سرعت بارگذاری ۰/۰۱ میلی‌متر بر دقیقه مطابق استاندارد ASTM D-4767 انجام شده است.

جدول ۲ شرایط این آزمایشها را نشان می‌دهد.

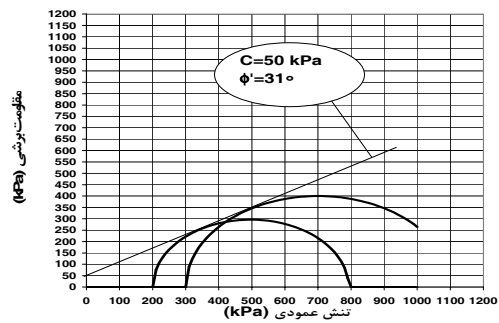
جدول ۲ شرایط انتخاب شده برای آزمایشها برش سه‌محوری

سیال اشباع‌کننده	تنش محصورکننده (kPa)	مراحل آزمایش
آب مقطر	۱۰۰	۱. اشباع
	۲۵۰	۲. برش سه‌محوری
	۴۰۰	
محلول کلرید سدیم ۲/۸ مولار	۱۰۰	۱. اشباع
	۲۵۰	۲. برش سه‌محوری
	۴۰۰	
آب مقطر	۱۵۰	۱. اشباع با آب مقطر
	۲۰۰	۲. نفوذ با آب مقطر
	۳۰۰	۳. نفوذ با NaCl ۲/۸ مولار
		۴. برش سه‌محوری

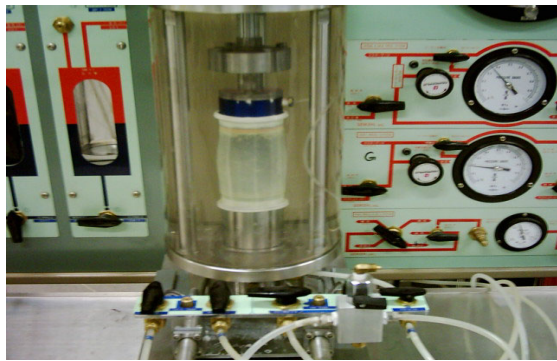
1. Deaired
2. Volume Meter



شکل ۸ نمودار تنش - کرنش برای خاک مورد آزمایش پس از آزمایش نفوذپذیری

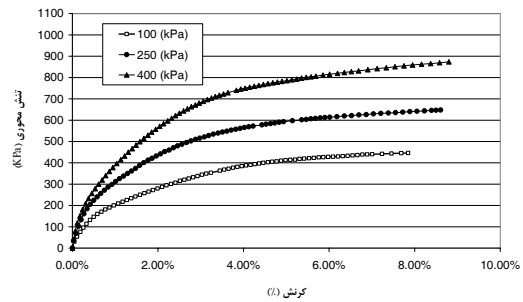


شکل ۵ نمودار تنش نرمال در مقابل تنش برشی برای خاک مورد آزمایش پس از آزمایش نفوذپذیری



شکل ۹ گسیختگی خمره‌ای نمونه پس از برش

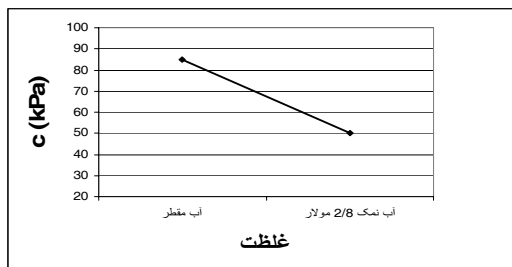
در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ نیز نمودارهای تنش - کرنش نظیر شکل‌های ۳، ۴ و ۵ به ترتیب آورده شده است. نوع گسیختگی نمونه‌ها به علت چسبندگی خاک آنها به صورت خمره‌ای بوده است (شکل ۹).



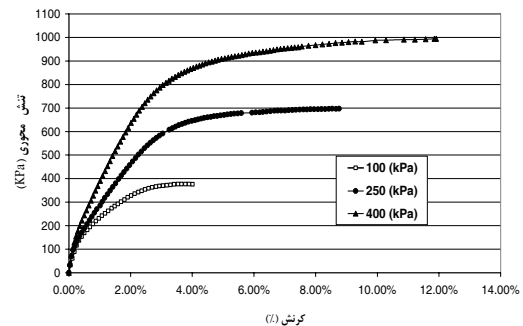
شکل ۶ نمودار تنش - کرنش برای خاک مورد آزمایش تحت تأثیر آب مقطر

### ۵- بحث

با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ می‌توان دید که محلول کلرید سدیم با غلظت ۲/۸ مولار سبب شده تا ضریب چسبندگی نمونه از مقدار ۸۵ کیلوپاسکال به ۵۰ کیلوپاسکال کاهش و زاویه اصطکاک داخلی ذرات آن از ۲۶/۶ درجه به ۳۱ درجه افزایش یابد (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).



شکل ۱۰ نمودار تغییرات چسبندگی در مقابل تغییرات غلظت سیال حفره‌ای



شکل ۷ نمودار تنش - کرنش برای خاک مورد آزمایش تحت تأثیر محلول NaCl ۲/۸ مولار

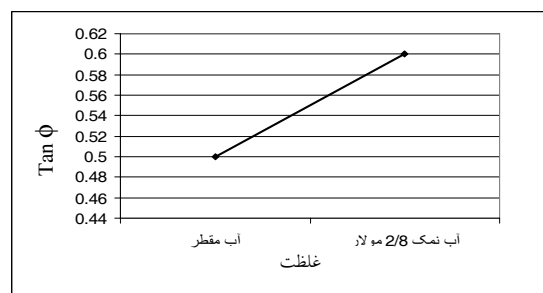
در توجیه این رفتار می‌توان چنین فرض کرد که از آنجا که خاک مورد آزمایش، خاک رسی با فعالیت بالا و دارای سطح ویژه بزرگ و ذرات باردار خشی نشده فراوانی است، تنشهایی که به نمونه اعمال می‌شود، ابتدا با مقاومت نیروهای با برد بلند (R-A) روبه‌رو می‌شوند و باعث افزایش این نیروها شده و در نتیجه مقاومت برشی نمونه، کاهش می‌یابد اما پس از افزایش بار، بر این نیروها غلبه می‌شود و این تنش مؤثر واقعی ( $\sigma^*$ ) است که افزایش می‌یابد و باعث اضافه شدن مقاومت برشی می‌شود.

نتایج ارائه شده در شکل‌های ۴ و ۵ به‌عنوان داده‌های آزمایشگاهی به‌وضوح تأییدکننده شواهد صحرایی است که به‌وسیله کنت و همکاران (۱۹۸۳) درباره تغییر نکردن مقاومت برشی نمونه‌های رسی تحت تأثیر آب شور بر اثر نفوذ است و با تکیه بر این داده‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که آزمایش برش سه‌محوری روی نمونه‌های بازسازی شده‌ای که تحت نفوذ آب شور قرار نگرفته‌اند، به‌منظور تعیین پارامترهای برشی خاکی که تحت نفوذ آب شور است، می‌تواند تا حد قابل‌قبولی به‌کار رود؛ بدون اینکه به تحت نفوذ قرار دادن نمونه به‌وسیله آب شور در شرایط سه‌محوری و پس از انجام آزمایش برش نیاز باشد، که آزمایشی بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است.

مقایسه شکل‌های ۶ و ۷ نیز نشان می‌دهند که مدول تانژانتی یا اولیه ( $E_i$ ) برای خاک آلوده به کلرید سدیم بیشتر از نمونه اشباع شده با آب مقطر است. این مشخص می‌کند که نمونه‌های آلوده به کلرید سدیم سخت‌تر از نمونه‌های تمیز هستند.

## ۶- نتیجه‌گیری

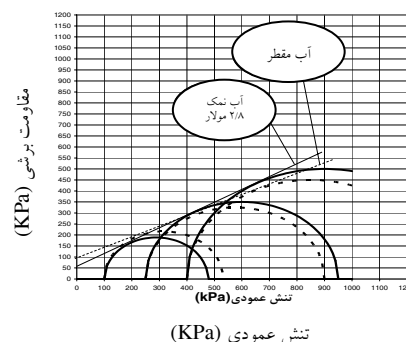
۱- آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه مورد آزمایش، افزایشی در حدود ۴ درجه در زاویه اصطکاک داخلی



شکل ۱۱ نمودار تغییرات تانژانت زاویه اصطکاک داخلی در مقابل تغییرات غلظت سیال حفره‌ای

علت این مسأله را می‌توان تمایل نمونه به کاهش تفاضل تنشهای دافعه (R) و جاذبه (A) با بُرد بلند (R-A) و کلوخه شدن ذرات آن - که بارزترین رخداد پس از برخورد ذرات رس با سیالی با غلظت بالا است - دانست. هو (۱۹۸۵) نیز همین افزایش در زاویه اصطکاک در حدود ۴ درجه را گزارش کرده است اما از آنجا که آزمایش‌های انجام شده به‌وسیله وی از نوع تحکیم‌یافته زهکشی نشده (CU) بوده، کاهش در چسبندگی خاک را گزارش نکرده است.

شکل ۱۲ مقایسه بهتری را از رفتار این دو نمونه ارائه می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، مقاومت برشی نمونه رسی که تحت تأثیر آب شور قرار دارد، تا حدود تنش ۳۰۰ کیلوپاسکال از مقاومت برشی نمونه تحت تأثیر آب مقطر کمتر است و پس از این تنش، تغییراتی که سیال حفره‌ای آب شور در نمونه ایجاد می‌کند، باعث افزایش در مقاومت برشی آن می‌شود.



شکل ۱۲ مقایسه همزمان رفتار مقاومت برشی خاک مورد آزمایش تحت تأثیر آب مقطر و آب شور

- Norwegian Geotechnical Institute Publication; 1955; 9.
- [4] Bjerrum, L.; Roseqvist, I. Th.; "Some experiments with artificially sedimented clays"; Norwegian Geotechnical Institute; 1957; 25.
- [5] Mesri, G.; Olson, R. E.; "Shear strength of montmorillonite"; *Geotechnique*; 1970; 20(3); pp. 261-270.
- [6] Olson, R. E.; Mitronovas, F.; "Shear strength and consolidation characteristics of calcium and magnesium illite"; *Clays and Clay Minerals*; 1962; 9; pp. 185-209.
- [7] Warkentin, B. P.; Yong, R. N.; "Shear strength of montmorillonite and Kaolinite related to interparticle forces"; *Clays and Clay Minerals*; 1962; 9; pp. 210-218.
- [8] Kenny, T. C.; "The influence of mineral composition on the residual strength of natural soils"; *Proceedings of Oslo Geotechnical Conference*; reprinted in NGI Publication; 1967b; 1; 76; pp. 37-43.
- [9] Chattopadhyay, P. K.; "Residual shear strength of some pure clay minerals"; Ph. D. Dissertation, Department of Civil Engineering; University of Alberta; Edmonton; 1972; pp. 340.
- [10] Ho, Y. A. "The effects of brine خاک را نشان می‌دهد. این افزایش در نتیجه کاهش در تنشهای دافعه با برد خالص (R-A) در طی نفوذ آب شور آشکار می‌شود.
- ۲- مدول تانژانتی یا اولیه در نمونه‌های آلوده به نمک بیشتر است.
- ۳- نتایج آزمایشهای مقاومت برشی بر روی نمونه‌ها پس از حدوداً ۱۰ روز نفوذ به وسیله آب مقطر و ۴۰ روز به وسیله آب شور، تا حد بسیار زیادی به نتایج حاصل از آزمایشهای برش سه‌محوری در شرایط بدون نفوذ شبیه است و این نیاز به تحت نفوذ قرار دادن نمونه‌ها برای مشابه‌سازی شرایط محلی را تا حد قابل‌قبولی کاهش می‌دهد و روشن می‌سازد که انجام آزمایش برش سه‌محوری، بدون مدلسازی شرایط نفوذ بلندمدت می‌تواند وضعیت مقاومت برشی خاک را روشن سازد.
- ### ۷- منابع
- [1] Sridharan, A.; Venkatappa Rao, G.; "Shear strength behavior of saturated clays and the role of the effective stress concept"; *Geotechnique*; 1979; 29 (2); pp. 177-193.
- [2] Lambe, T. W.; "The engineering behavior of compacted clay"; *ASCE Journal of Soil Mechanics and Foundation Division*; 1958; 84; SM2; paper No. 1655; pp. 35.
- [3] Rosenqvist, I. Th.; "Investigations in the clay electrolyte-water system";



- Canadian Geotechnical Society; 1987b; pp. 323-342.
- [12] Kent, D. D.; Ellinger, E.; Clifton, A. W.; “brine pond system: a review after seventeen years”; IMC K2's. Potash 83; Potash Technology, edited by R. M. McKercher; Pergamon Press; Toronto; 1983; pp. 775-780.
- contamination on the properties of soils”; M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering; University of Saskatchewan; Saskatoon; 1985; 215.
- [11] Barbour, S. L.; “The role of physico-chemical effects on the behavior of clay soils”; Proceedings of the 40<sup>th</sup> Canadian Geotechnical Conference; Regina;

