

## تأثیر میزان رطوبت عصاره‌گیری در شناسایی خاکهای واگرا بر اساس معیار شیمیایی شرارد

اورنگ فرزانه

استادیار گروه مهندسی عمران - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

آرش رضوانی حبیب‌آبادی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

رضا بیچرانلو

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۷۷/۱۲/۱، تاریخ تصویب ۸۰/۷/۷)

### چکیده

خاکهای رسی واگرا، خاکهایی هستند که در صورت قرار گرفتن در معرض جریانهای سطحی متمرکز، بصورت کلونیدی در آب حل می‌شوند. مشخصه بارز این خاکها وجود مقادیر نسبتاً زیاد کاتیون سدیم در آب منفذی آنها است. از آنجائیکه شناسایی این خاکها با آزمایشهای معمول مکانیک خاک امکان پذیر نیست، انجام همزمان چهار آزمایش کرامب، هیدرومتری دوگانه، پین هول و آزمایشهای شیمیایی توسط بیشتر محققین و استانداردها پیشنهاد شده است.

با وجود آنکه یکی از معتبرترین معیارهای شیمیایی شناسایی خاکهای واگرا، معیار پروفوسور شرارد می‌باشد، در تعدادی از بررسیهای ژئوتکنیکی انجام شده در کشور ما، نتایج حاصل از این معیار با نتایج آزمایش پین هول تناقض داشته است. در جریان تحقیقات قبلی انجام شده در دانشکده فنی دانشگاه تهران ملاحظه گردید که در آزمایشگاه‌های شیمی خاک، عصاره‌گیری از نمونه‌های خاک به منظور اندازه‌گیری میزان کاتیونهای محلول در آب منفذی، بدون کنترل دقیق رطوبت و عمدتاً در رطوبتهای بسیار بیشتر از حد روانی انجام می‌شود؛ این در حالیست که شرارد برای استفاده از معیار خود رطوبتهای نزدیک به حد روانی را پیشنهاد کرده است. همچنین معلوم گردید که در مورد برخی از خاکها، عصاره‌گیری در رطوبت نزدیک به حد روانی، با استفاده از ابزار معمولی موجود در آزمایشگاه‌ها اصولاً غیر ممکن می‌باشد. در گام نخست این تحقیق، دستگاه عصاره‌گیر ویژه‌ای برای عصاره‌گیری از خاکهای با رطوبت کم طراحی و ساخته شد و در ادامه، بمنظور بررسی تأثیر رطوبت عصاره‌گیری بر روی ارزیابی میزان واگرایی بر اساس معیار شیمیایی شرارد، آزمایشهای لازم بر روی هشت نمونه خاک از پنج منطقه مختلف ایران انجام گردید. نتایج این آزمایشها نشان می‌دهد که با تغییر رطوبت خاک، میزان کاتیونهای سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم موجود در آب منفذی و نیز نسبت سدیم به مجموع این چهار کاتیون، که تعیین کننده میزان واگرایی خاک در معیار شیمیایی شرارد هستند، تغییر می‌کنند. عبارت دیگر، این فرض رایج که نتیجه حاصل از معیار شیمیایی شرارد مستقل از رطوبت عصاره‌گیری است لاقلاً در مورد بعضی از انواع خاکها با واقعیت مطابقت ندارد و استفاده از معیار شرارد بدون رعایت توصیه وی در مورد رطوبت عصاره‌گیری می‌تواند به نتایج متفاوت و بعضاً گمراه کننده‌ای منجر شود.

**واژه‌های کلیدی:** خاکهای واگرا، آزمایشهای شناسایی، معیار شیمیایی شرارد، رطوبت عصاره‌گیری، غلظت کاتیونها

### مقدمه

آن حل شده و به سرعت شسته می‌شوند. پدیده واگرایی ناشی از تأثیر توام خواص فیزیکی و شیمیایی کانیهای رسی خاک است. مشخصه بارز خاکهای رسی واگرا وجود مقادیر نسبتاً زیاد کاتیون سدیم در آب

رسهای واگرا خاکهای مسئله سازی هستند که استفاده از آنها تاکنون باعث ایجاد خرابیهای زیادی در سازه‌های خاکی شده است. هنگامیکه این رسها در معرض جریانهای سطحی یا متمرکز آب قرار می‌گیرند، بصورت کلونیدی در

پروفسور شرارد برای استفاده از نمودار خود توصیه نموده است که عصاره‌گیری در رطوبتهای نزدیک به حد روانی انجام شود. علاوه بر این، بررسیهای ابوالفضل علی‌عسگری نشان داد که عصاره‌گیری از خاکهای با حد روانی نسبتاً پایین به کمک ابزار معمولی موجود در آزمایشگاه‌های مکانیک خاک از قبیل پمپ خلاء اصولاً غیر ممکن می‌باشد.

برای پاسخگویی به این سؤال که آیا میزان رطوبت عصاره‌گیری تأثیری بر روی نتایج آزمایشهای شیمیایی و تفسیر این نتایج بر مبنای معیار شرارد دارد یا خیر، و در صورت مثبت بودن پاسخ حدود این تأثیر چیست، در تحقیق حاضر، ابتدا دستگاه عصاره‌گیر ویژه‌ای که قابلیت استخراج عصاره از خاکهای با رطوبت کم و با اعمال فشارهای بسیار زیاد (تا حدود ۱۲۰۰ اتمسفر) را دارد، طراحی و ساخته شد و در ادامه، تعداد هشت نمونه خاک از پنج منشأ مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

#### ۱- معیار شیمیایی شرارد

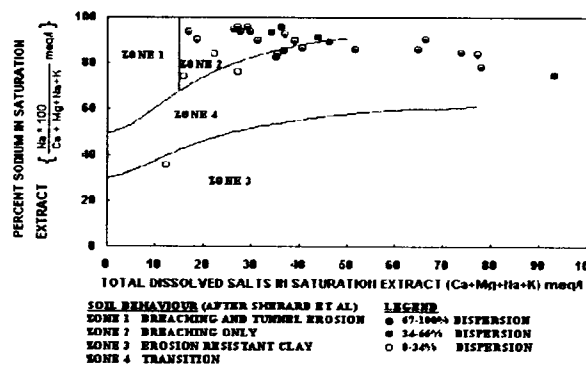
شرارد با توجه به علت پدیده واگرایی، اعلام کرد که خصوصیات واگرایی خاکها را می‌توان به TDS (مجموع غلظت چهار کاتیون سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) و درصد سدیم (Na/TDS) آب منفذی ارتباط داد. پیش از آنکه آزمایش پین‌هول ابداع گردد، آزمایش شیمیایی و معیار اولیه شرارد قابل اعتمادترین روش برای شناسایی خاکهای واگرا بود (شکل ۱). گفتمنی است که مرزهای نواحی پیشنهادی در نمودار شکل (۱) تنها برای خاکهایی اعتبار دارد که حاوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای کانی مونوریونیت باشند. [۶].

منفذی آنها می‌باشد. شناسایی این خاکها با آزمایشهای معمول مکانیک خاک، نظیر دانه‌بندی، هیدرومتری و حدود اتربرگ امکان پذیر نیست و معمولاً از آزمایشهای چهارگانه کرامب، هیدرومتری دوگانه، پین‌هول و آزمایش شیمیایی برای تشخیص میزان واگرایی استفاده می‌شود.

ارزیابی میزان واگرایی خاک بر اساس نتایج آزمایش شیمیایی در اکثر کشورهای جهان با استفاده از نمودار ارائه شده توسط پروفسور شرارد انجام می‌گیرد. این نمودار بر مبنای همبستگی بین نتایج اندازه‌گیری غلظت چهار کاتیون اصلی محلول در آب منفذی، یعنی کاتیونهای سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم، ۱۹۵ نمونه خاک بدست آمده از نقاط مختلف جهان و نتایج آزمایش پین‌هول انجام شده بر روی همین نمونه‌ها تنظیم شده‌است.

در سالهای اخیر، مطالعات انجام شده بر روی برخی از خاکهای مشکوک به واگرایی در ایران و بویژه خاکهای منطقه خوزستان حاکی از عدم هماهنگی و بعضاً تناقض نتایج نمودار شرارد با نتایج سه گروه دیگر آزمایشهای تعیین واگرایی (آزمایشهای کرامب، هیدرومتری و پین‌هول) بوده است [۲]. بهمین دلیل دکتر حسن رحیمی نموداری مشابه نمودار محققان آفریقای جنوبی را برای خاکهای ایران پیشنهاد کرده‌است که در آن، واگرایی خاک بر اساس پارامترهای هدایت الکتریکی (ECe)، نسبت جذب سدیم (SAR) و PH عصاره اشباع خاک تعیین می‌شود [۵].

در جریان مطالعات مهدی اثنی‌عشری (۱۳۷۳) و ابوالفضل علی‌عسگری (۱۳۷۴) در دانشکده فنی دانشگاه تهران، ملاحظه گردید که در آزمایشگاه‌های شیمی ایران، عصاره‌گیری از نمونه‌های خاک معمولاً در رطوبتهای بسیار بیشتر از حد روانی انجام می‌گیرد؛ در صورتیکه



شکل ۱: نمودار اولیه شرارد [۶].

بیشتر خاکهای با TDS کمتر از یک میلی‌اکی‌والان گرم در لیتر، حتی در درصد سدیم بالاتر از ۶۰ درصد، غیرواگرا بودند که این موضوع نیز مغایر با نتیجه معیار اولیه می‌باشد.

بر پایه این نتایج، منحنی شکل (۲) به عنوان معیار شیمیایی برای شناسایی واگرایی رسها پیشنهاد شد و در اکثر کشورها مورد استفاده قرار گرفت. در این منحنی خاکها بر اساس TDS و Na/TDS آب منفذی‌شان در سه ناحیه قرار می‌گیرند:

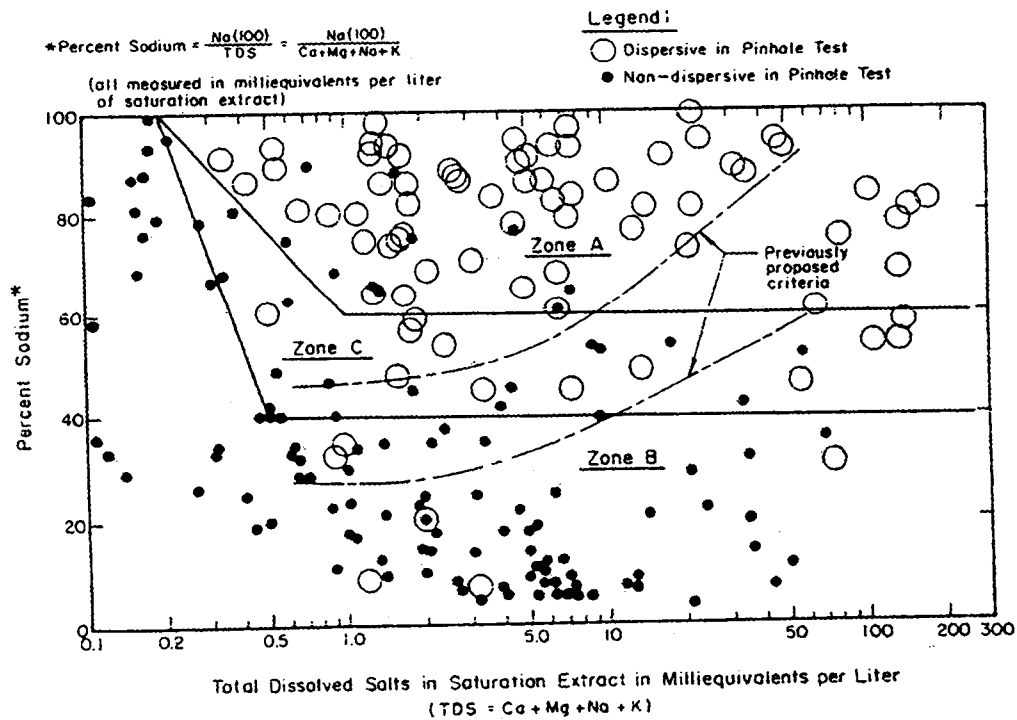
ناحیه A: تقریباً تمامی خاکهای قرار گرفته در این ناحیه در آزمایش پین‌هول واگرا بودند.

ناحیه B: بیشتر خاکهای این ناحیه غیرواگرا هستند و تنها درصد کمی از خاکهایی که در آزمایش پین‌هول دچار فرسایش شده بودند در این ناحیه قرار گرفتند.

ناحیه C: این منطقه شامل تعدادی خاک واگرا و نیز تعدادی خاک غیرواگرا می‌باشد و بدین لحاظ به عنوان ناحیه نامعین نامگذاری می‌شود.

پس از ابداع آزمایش پین‌هول، شرارد و همکارانش در صدد اصلاح نمودار اولیه برآمدند. به این منظور تعداد ۱۹۵ نمونه از خاکهای ریزدانه را که دارای خواص بسیار متفاوتی بودند، مورد آزمایش قرار دادند. تعداد ۸۰ نمونه از این خاکها، خاکهای واگرایی بودند که از سدهای تخریب شده در ایالات متحده آمریکا و خارج از آن تهیه شده بودند. آزمایش پین‌هول، کرامب، هیدرومتری دوگانه و شیمیایی بر روی تمامی این نمونه‌ها انجام داده شد و خاکهای با واگرایی متوسط (بر اساس آزمایش پین‌هول) از نمونه‌ها حذف گردید [۷].

بررسی توزیع نتایج آزمایشهای شیمیایی، یعنی مقادیر TDS و "درصد سدیم" آب منفذی در دستگاه مختصات نیمه‌لگاریتمی نشان داد که همبستگی خوبی بین نتایج آزمایش شیمیایی و آزمایش پین‌هول وجود دارد (شکل ۲). این مطالعه نشان داد که خاکهای با TDS بالا و درصد سدیم بیشتر از ۶۰ اغلب واگرا بودند؛ در صورتیکه بر اساس معیار اولیه، این خاکها جزو خاکهای غیرواگرا یا متوسط واگرا طبقه‌بندی می‌شدند (شکل ۱). از سوی دیگر



شکل ۲: نتایج آزمایشهای شرارد و نمودار پیشنهادی وی [۷].

### طراحی و ساخت دستگاه عصاره‌گیر خاک

عصاره‌های تهیه شده از خاکها غالباً از مخلوطهای آب و خاک با نسبتهای مختلف استخراج می‌شوند. بسته به میزان رطوبت خاک، می‌توان از روشهای مختلف جهت تهیه عصاره استفاده کرد. از جمله این روشها، استفاده از دستگاه سانتریفوژ، پمپ خلاء و در رطوبتهای بالاتر، استفاده از کاغذصافی را می‌توان نام برد.

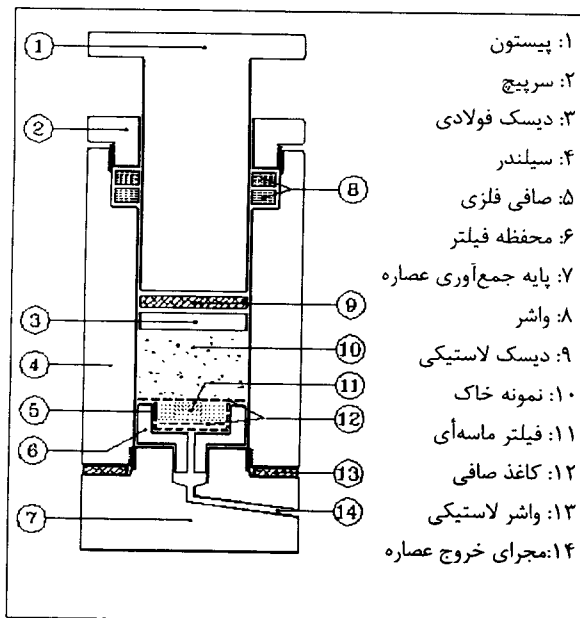
مطابق معیار شیمیایی شرارد، عصاره‌گیری باید در رطوبتهای نزدیک به حد روانی خاک انجام شود [۷]. لیکن چنانکه پیشتر گفته شد، در برخی موارد، حدروانی خاک مورد آزمایش آنقدر پایین است که استخراج عصاره از خاک با روشهای متداول میسر نمی‌باشد.

یکی از روشهای موثر در تهیه عصاره از خاکهای ریز دانه رسی با رطوبت پایین (تا ۱۴ درصد)، استفاده از عصاره‌گیر تحت فشار می‌باشد. با توجه به این که چنین دستگاهی در داخل کشور در دسترس نبود، در این تحقیق با اقتباس از شمای کلی ارائه شده در استاندارد ASTM، دستگاهی جهت عصاره‌گیری از خاکهای با رطوبت کم طراحی و ساخته شد (شکل ۳). با این دستگاه می‌توان نمونه خاک را تا حدود

۱۲۰ مگاپاسکال (۱۲۰۰ اتمسفر) تحت فشار قرار داد. نیروی این فشار توسط پرس هیدرولیکی تأمین می‌شود. تصویر این دستگاه در شکل (۳-الف) و شمای قطعات تشکیل دهنده آن در شکل (۳-ب) نشان داده شده است [۸].

با توجه به اینکه فشار داخلی دستگاه به حدود ۱۲۰۰ اتمسفر بالغ می‌شود، طراحی دستگاه طوری صورت گرفته است که اولاً، اجزای اصلی آن در اثر نیروی وارده تاب برندارند، ثانیاً، فضای داخل آن آب‌بند باشد (آب یا خاک از حد فاصل سیلندر و پیستون خارج نشود) و ثالثاً، فیلترهای تصفیه عصاره تحت فشارهای وارده دچار گسیختگی نشوند.

شایان ذکر است که با این دستگاه هر بار می‌توان عصاره نمونه‌ای بوزن ۵۰ تا ۷۰ گرم را استخراج کرد. عصاره خارج شده از دستگاه را می‌توان به کمک سرنگ تزریق جمع‌آوری نمود. عصاره‌گیری از هر نمونه خاک، بسته به ریزی یا درشتی دانه‌بندی آن، رطوبت اولیه و میزان عصاره‌ای که استخراج می‌شود در حدود یک تا سه ساعت بطول می‌انجامد.



شمای مقطعی دستگاه عصاره‌گیر. (ب)



شکل ۳: (الف) تصویر دستگاه عصاره‌گیر خاک،

هستند. درصد ذرات ریزتر از ۵ میکرون در تمامی نمونه‌های مورد آزمایش بیشتر از ۱۲ درصد و دامنه خمیری آنها بیشتر از ۴ می‌باشد.

#### ب- آزمایشهای شناسایی میزان واگرایی

جهت بررسی میزان واگرایی نمونه‌های خاک مورد مطالعه، آزمایشهای کرامب، هیدرومتری دوگانه، پین‌هول و آزمایشهای شیمیایی بر روی عصاره خاک (اندازه‌گیری کاتیونهای سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) انجام گردید. آزمایشهای کرامب و هیدرومتری دوگانه با استفاده از آب مقطر بر روی نمونه‌های با رطوبت طبیعی صورت گرفت [۹].

در آزمایش پین‌هول، نمونه‌های خاک با رطوبت نزدیک به حد خمیری در داخل استوانه پین‌هول متراکم شده و حداقل به مدت ۴۸ ساعت در یخچال نگهداری شدند. در آزمایش پین‌هول نیز از آب مقطر استفاده شد و نتایج بدست آمده با سه روش A، B و C مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۰].

بمنظور انجام آزمایشهای شیمیایی بر روی عصاره های خاک، با اضافه کردن آب مقطر به نمونه های خاک، رطوبت آنها تا میزان حد روانی آنها افزایش داده شد و این نمونه ها قبل از عصاره گیری، حداقل بمدت ۴۸ ساعت در یک کیسه لاستیکی سر بسته نگهداری گردید.

#### تهیه نمونه‌های آزمایشی

در این تحقیق، طی دو مرحله تعداد هشت نمونه خاک از پنج منشأ مختلف تهیه و به آزمایشگاه مکانیک خاک انتقال داده شد. از این تعداد، دو نمونه از محل استادיום ورزشی در دست احداث اهواز (S1 و S2)، دو نمونه از اراضی "میان‌آب" خوزستان (S3 و S4)، یک نمونه از اطراف سد ملکیان تبریز (S6)، یک نمونه از اراضی روستای گوار در نزدیکی این سد (S7) و یک نمونه از اراضی روستای برزل‌آباد شیروان (S8) اخذ شد. همچنین یک نمونه خاک واگرا با منشأ نامعلوم از سوی شرکت خاک‌آزما در اختیار این تحقیق قرار داده شد (S5).

#### نتایج آزمایشهای انجام شده

##### الف- آزمایشهای طبقه‌بندی خاکها

به منظور طبقه‌بندی نمونه‌های خاک تهیه‌شده، آزمایشهای دانه‌بندی، هیدرومتری و حدود اتربرگ بر روی آنها انجام شد که نتایج حاصله در جدول (۱) ارائه شده است. شایان ذکر است که در مورد نمونه S5، بعلت در دسترس نبودن خاک کافی، انجام آزمایشهای دانه‌بندی و هیدرومتری مقدور نشد.

همانطوری که در جدول (۱) ملاحظه می‌شود، بغیر از نمونه S1 که از حد روانی و دامنه خمیری نسبتاً زیادی برخوردار است، سایر نمونه‌ها دارای خاصیت خمیری کمی

جدول ۱: نتایج آزمایشهای طبقه‌بندی نمونه‌های خاک [۱].

شماره خاک	نام و محل نمونه برداری	رطوبت طبیعی	حد روانی	دامنه خمیری	درصد ذرات کوچکتر از ... میکرون		
					۷۴	۵	۲
S <sub>1</sub>	خاک ۱، محل استادיום ورزشی اهواز	۱۵	۳۰	۹	۸۴	۲۴	۱۶
S <sub>2</sub>	خاک ۳، محل استادיום ورزشی اهواز	۲۲	۵۵	۳۱	۹۴	۵۷	۴۰
S <sub>3</sub>	خاک شماره ۱ میان آب	۱۸	۴۱	۱۸	۹۰	۵۳	۳۰
S <sub>4</sub>	خاک شماره ۲ میان آب	۱۷	۴۵	۲۳	۷۲	۳۵	۲۵
S <sub>5</sub>	خاک ارسالی شرکت خاک آزما	-	۳۱	۸	-	-	-
S <sub>6</sub>	اراضی اطراف سد ملکیان - تبریز	۱۲	۳۸	۱۶	۹۴	۵۲	۲۴
S <sub>7</sub>	روستای گوار در اطراف تبریز	۱۷	۵۰	۲۴	۹۹	۷۲	۵۳
S <sub>8</sub>	قرضه خاک برزل آباد - شیروان	۹	۳۷	۱۸	۱۸	۸۲	۲۹

بترتیب متوسط واگرا و غیرواگرا می‌باشند. این خاکها در نمودار شیمیایی شرارد در ناحیه C (نامعین) قرار می‌گیرند. نمونه‌های S6 و S7 که بر اساس سه گروه آزمایشهای فیزیکی، واگرا و متوسط واگرا شناسایی شده‌اند، در نمودار شرارد در ناحیه A قرار گرفته‌اند.

خلاصه نتایج مربوط به آزمایشهای چهارگانه تعیین واگرایی در جدول (۲) ارائه شده است. همانطوری که ملاحظه می‌شود نمونه‌های S1 تا S4 در تمامی آزمایشها غیرواگرا می‌باشند. نمونه S5 و S8 در آزمایش کرامب و هیدرومتری دوگانه، غیرواگرا و در آزمایش پین‌هول

جدول ۲: ارزیابی میزان واگرایی نمونه‌های خاک بر اساس آزمایشهای مختلف [۱].

شماره خاک	آزمایش کرامب	آزمایش هیدرومتری دوگانه	آزمایش پین هول	آزمایش شیمیایی
S <sub>1</sub>	بدون واکنش	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا
S <sub>2</sub>	بدون واکنش	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا
S <sub>3</sub>	بدون واکنش	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا
S <sub>4</sub>	بدون واکنش	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا
S <sub>5</sub>	واکنش خفیف	غیر واگرا	متوسط واگرا	نامعین
S <sub>6</sub>	واکنش شدید	واگرا	واگرا	واگرا
S <sub>7</sub>	واکنش متوسط	واگرا	متوسط واگرا	واگرا
S <sub>8</sub>	بدون واکنش	غیر واگرا	غیر واگرا	نامعین

### ج- آزمایشهای شیمیایی جهت بررسی تأثیر رطوبت عصاره‌گیری

جهت انجام آزمایشهای شیمیایی، رطوبت نمونه‌های خاک با اضافه کردن آب مقطر تا میزان مورد نظر افزایش داده شد. این نمونه‌ها حداقل بمدت ۴۸ ساعت در کیسه‌های سربسته نگهداری گردید و سپس عصاره آنها با استفاده از دستگاه عصاره‌گیر استخراج شد. لازم است یادآوری شود که جهت تهیه این عصاره‌ها، در مورد خاکهای S1 تا S5، حداکثر حجم عصاره قابل اخذ (در حد توان دستگاه پرس) و در مورد خاکهای S6 تا S8 تنها سی درصد رطوبت اولیه هر نمونه، استخراج شده است. عصاره‌های اخذ شده، بلافاصله در ظروف در بسته ریخته شد و تا زمان تحویل به آزمایشگاه شیمی، در یخچال نگهداری گردیدند. آزمایشهای شیمیایی مربوط به نمونه‌های S1 تا S5 در آزمایشگاه شیمی تجزیه دانشکده فنی دانشگاه تهران و بقیه آزمایشها در آزمایشگاه شیمی خاک موسسه تحقیقات آب و خاک انجام داده شدند. عصاره هر کدام از خاکهای S1 تا S8، در سه رطوبت مختلف (نزدیک به حد روانی و بیشتر از آن) اخذ و غلظت

کاتیونهای سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در این عصاره‌ها مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج این آزمایشها در جدول ۳ ارائه شده است. تغییرات غلظت Na، Ca، Mg و TDS بر حسب میزان رطوبت عصاره‌گیری خاکها نیز در شکل (۴) نمایش داده شده است. یادآوری می‌شود که بعلت ناچیز بودن میزان پتاسیم محلول در عصاره‌ها، از ارائه نمودار تغییرات این کاتیون صرف نظر گردیده است. همانگونه که در نمودارهای فوق‌الذکر مشاهده می‌شود، بجز در چند مورد، در بقیه موارد غلظت کاتیونهای محلول در آب منفذی با افزایش میزان رطوبت خاک کاهش می‌یابد. موارد استثنایی عبارتند از: الف) افزایش میزان منیزیم با افزایش رطوبت در خاکهای S1، S2 و S4. ب) افزایش کاتیون کلسیم با افزایش رطوبت در خاک S5. نتایج اخیر با توجه به قوانین حاکم بر تعادل شیمیایی در آب‌منفذی خاکهای رسی، غیرعادی به نظر می‌رسند و در صورتیکه ناشی از خطاهای آزمایش نباشند، در چهارچوب مطالعه حاضر قابل تفسیر نیستند. به هر حال قابل توجه

است که میزان TDS کلیه عصاره‌ها با افزایش رطوبت، کاهش می‌یابد.

جدول ۳: نتایج آزمایشهای شیمیایی بر روی نمونه‌های آب منفذی.

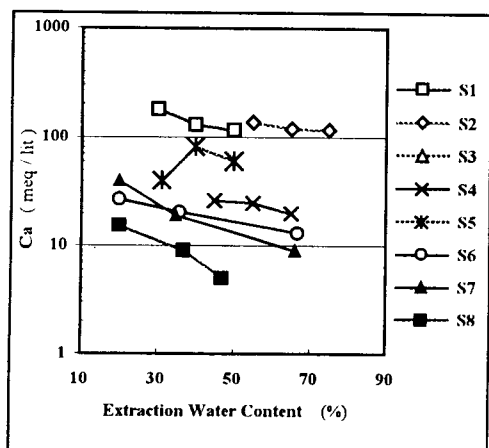
نسبت سدیم Na / TDS (%)	مقدار TDS (meq/lit)	غلظت Mg <sup>+</sup> (meq/lit)	غلظت Ca <sup>+</sup> (meq/lit)	غلظت K <sup>+</sup> (meq/lit)	غلظت Na <sup>+</sup> (meq/lit)	رطوبت عصاره‌گیری (%)	شماره نمونه عصاره‌گیری	شماره خاک
۴/۶	۲۲۰/۶۴	۳۰/۴	۱۸۰	۰/۰۳	۱۰/۲۱	۳۰	S <sub>1.1</sub>	S <sub>1</sub>
۴/۹	۱۷۹/۴۰	۴۰/۵	۱۳۰	۰/۰۳	۸/۸۷	۴۰	S <sub>1.2</sub>	
۴/۵	۱۷۸/۷۷	۵۵/۷	۱۱۵	۰/۰۳	۸/۰۴	۵۰	S <sub>1.3</sub>	
۴/۵	۱۵۸/۹۷	۱۵/۲	۱۳۵	۰/۰۳	۸/۷۴	۵۵	S <sub>2.1</sub>	S <sub>2</sub>
۴/۷	۱۵۲/۴۹	۲۵/۳	۱۲۰	۰/۰۲	۷/۱۷	۶۵	S <sub>2.2</sub>	
۴/۴	۱۵۲/۱۶	۳۰/۴	۱۱۵	۰/۰۲	۶/۷۴	۷۵	S <sub>2.3</sub>	
۸/۷	۵۵/۱۱	۵۰		۰/۲۳	۴/۷۸	۴۱	S <sub>3.1</sub>	S <sub>3</sub>
۱۰/۶	۴۵/۰۶	۴۰		۰/۲۸	۴/۷۸	۵۵	S <sub>3.2</sub>	
۸/۳	۳۹/۵۱	۳۶		۰/۲۵	۳/۲۶	۶۵	S <sub>3.3</sub>	
۱۱/۳	۳۳/۷۴	۳/۵	۲۶	۰/۴۴	۳/۸	۴۵	S <sub>4.1</sub>	S <sub>4</sub>
۱۲/۱	۲۹/۳۹	۰/۷	۲۴/۷	۰/۱۹	۳/۸	۵۵	S <sub>4.2</sub>	
۱۴/۷	۲۵/۷۹	۲/۱	۱۹/۷	۰/۱۹	۳/۸	۶۵	S <sub>4.3</sub>	
۵۴/۱	۲۶۵/۱۱	۸۱/۶	۴۰	۰/۰۱	۱۴۳/۵	۳۱	S <sub>5.1</sub>	S <sub>5</sub>
۵۷/۳	۲۳۵/۱۱	۲۰/۳	۸۰	۰/۰۱	۱۳۴/۸	۴۰	S <sub>5.2</sub>	
۶۰/۹	۲۰۵/۳۱	۲۰/۳	۶۰	۰/۰۱	۱۲۵/۰	۵۰	S <sub>5.3</sub>	
۶۴/۸	۲۳۷/۱۴	۵۴/۵	۲۷	۲/۰۴	۱۵۳/۶	۲۰	S <sub>6.1</sub>	S <sub>6</sub>
۶۶/۲	۱۴۸/۶۴	۲۸/۵	۲۰/۵	۱/۱۴	۹۸/۵	۳۶	S <sub>6.2</sub>	
۶۷/۱	۹۷/۳۹	۱۸/۰	۱۳	۰/۹۹	۶۵/۴	۶۷	S <sub>6.3</sub>	
۸۰/۶	۴۵۷/۶۳	۴۴/۰	۴۰	۴/۹۳	۳۶۸/۷	۲۰	S <sub>7.1</sub>	S <sub>7</sub>
۸۴/۲	۲۵۳/۵۷	۱۹/۰	۱۹	۱/۹۷	۲۱۳/۶	۳۵	S <sub>7.2</sub>	
۸۵/۴	۱۴۳/۶۷	۱۰/۰	۹	۱/۹۷	۱۲۲/۷	۶۶	S <sub>7.3</sub>	
۴۳/۲	۶۶/۶۰	۲۲/۰	۱۵	۰/۸۰	۲۸/۸	۲۰	S <sub>8.1</sub>	S <sub>8</sub>
۴۵/۰	۳۸/۹۱	۱۲/۰	۹	۰/۴۱	۱۷/۵	۳۷	S <sub>8.2</sub>	
۵۲/۷	۳۰/۷۰	۹/۰	۵	۰/۵۰	۱۶/۲	۴۷	S <sub>8.3</sub>	

ناحیه نامعین (ناحیه C) و نقاط مربوط به خاک S5 در نواحی C و A قرار می‌گیرند. در مورد کلیه این خاکها، بجز خاکهای S1 و S2 که درصد کاتیون سدیم آب منفذی آنها ناچیز است، با تغییر رطوبت خاک موقعیت نقاط بر روی نمودار شرارد تغییر می‌کند. این تغییر بویژه

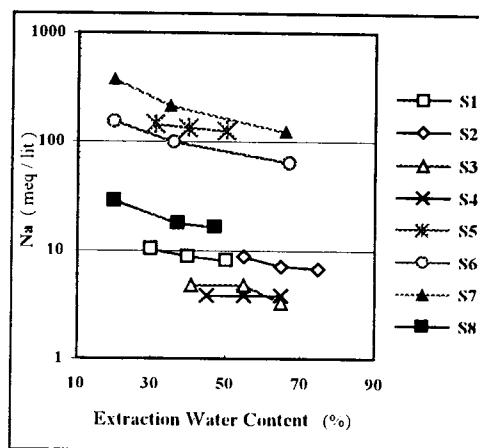
در شکل (۵)، نتایج آزمایشهای انجام شده بر روی نمودار شرارد نمایش داده شده است. چنانکه ملاحظه می‌شود، نقاط مربوط به خاکهای S6 و S7 در ناحیه واگرا (ناحیه A)، نقاط مربوط به خاکهای S1، S2، S3 و S4 در ناحیه غیرواگرا (ناحیه B)، نقاط مربوط به خاک S8 در

خاک، نسبت Na/TDS آب منفذی بیشتر می‌شود. اما در مورد خاک S3 این نسبت پس از مقداری افزایش، مجدداً کاهش می‌یابد.

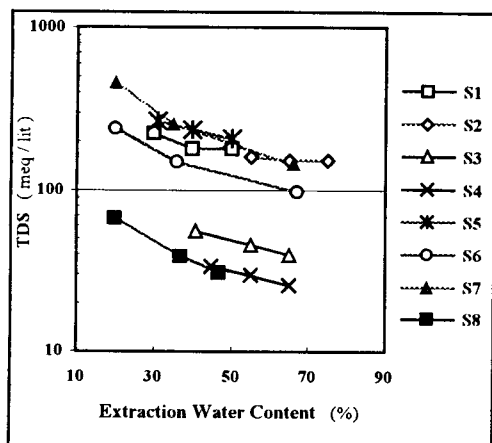
در مورد خاک‌های S5، S6 و S8 با شیب تندتری صورت می‌گیرد. جهت این تغییرات بدین صورت است که در خاک‌های S4، S5، S6، S7 و S8 با افزایش رطوبت



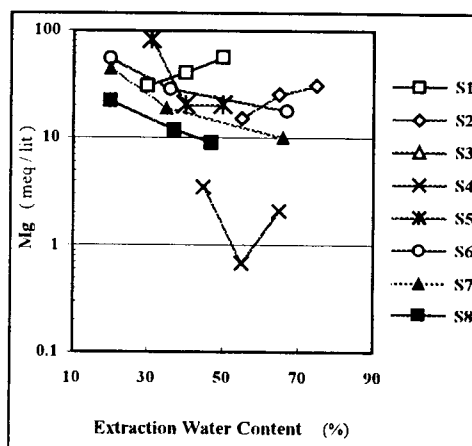
(ب)



(الف)



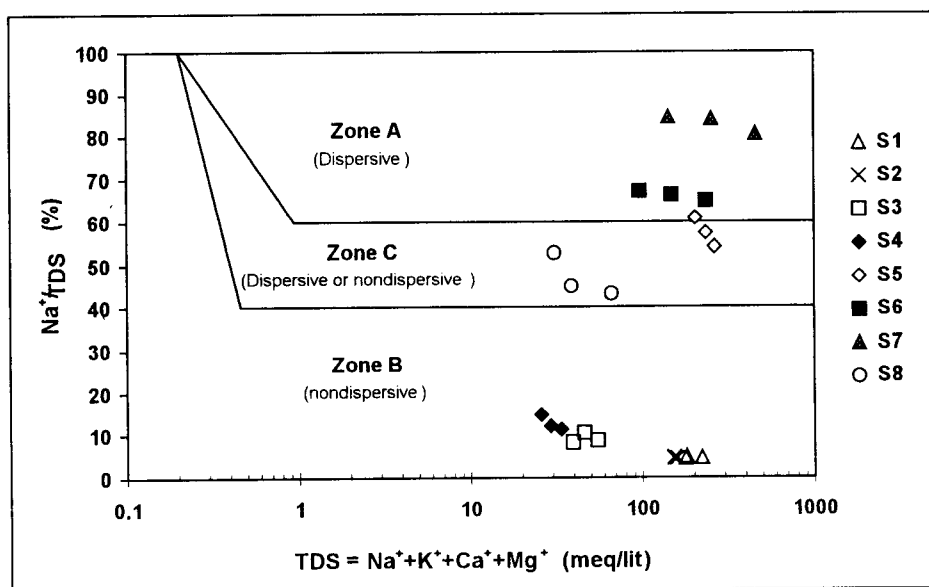
(د)



(ج)

شکل ۴: تغییرات غلظت Na، Ca، Mg و TDS بر حسب تغییرات میزان رطوبت عصاره‌گیری، (الف) تغییرات Na، (ب) تغییرات Ca، (ج) تغییرات Mg، (د) تغییرات TDS.





شکل ۵: موقعیت نقاط مربوط به نتایج آزمایشهای شیمیایی بر روی نمودار شیمیایی شرارد.

خلاصه کرد:

۱- با توجه به مشکلاتی که محققان قبلی در امر عصاره‌گیری و استخراج آب منفذی در رطوبتهای پایین با آنها مواجه بودند، طراحی و ساخت دستگاه عصاره‌گیر بعنوان هدف مرحله اول این تحقیق در نظر گرفته شد. در جریان طراحی و ساخت این دستگاه مسائل پیچیده مربوط به حفاظت فیلترها و آب‌بندی دستگاه در فشارهای تا حد ۱۲۰۰ اتمسفر مرتفع گردید. دستگاه ساخته شده بازدهی مناسب و رضایت بخشی دارد [۱].

۲- تعداد هشت نمونه خاک با واگرایی‌های مختلف تهیه و آزمایشهای طبقه‌بندی و آزمایشهای فیزیکی شناسایی خاکهای واگرا بر روی کلیه این نمونه‌ها انجام داده شد. علاوه بر این، آب منفذی هر کدام از این خاکها در سه رطوبت مختلف با دستگاه عصاره‌گیر، استخراج و میزان کاتیونهای سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم عصاره‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایشهای شیمیایی حاکی از این است که در مجموع، تأثیر میزان رطوبت خاک بر روی تغییرات نسبت Na/TDS در عصاره اخذ شده و به تبع آن بر روی نتایج حاصل از نمودار شیمیایی شرارد قابل ملاحظه می‌باشد. در اکثر موارد با افزایش میزان رطوبت، نسبت Na/TDS افزایش و در یک مورد، ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است.

نتایج فوق بیانگر این واقعیت است که در کاربرد معیار شیمیایی شرارد برای رده‌بندی میزان واگرایی خاکها، میزان رطوبتی که در آن از نمونه خاک عصاره‌گیری می‌شود، بی‌تأثیر نبوده و می‌تواند حتی در بعضی از خاکها رده‌بندی حاصل را تغییر دهد. در مورد خاکهای آزمایش شده، این تغییر در حد جابجایی موقعیت نقطه از یک ناحیه به ناحیه مجاور می‌باشد. همچنین این نتایج نشان می‌دهد که عصاره‌گیری در رطوبتهای بسیار بیشتر از حد روانی (روشی که بر خلاف توصیه شرارد در آزمایشگاه‌های شیمی کشور رواج دارد) می‌تواند به ارزیابی دست بالای میزان واگرایی خاکها منجر شود.

در پایان، با توجه به محدودیت تعداد نمونه‌های خاک مورد آزمایش در این تحقیق، لازم است که آزمایشها بر روی تعداد بیشتر نمونه‌های خاک، بویژه خاکهای واگرا، انجام گیرد تا چگونگی تأثیر میزان رطوبت بر روی میزان نسبت Na/TDS آب منفذی و نیز محدوده تغییر نتایج حاصل از معیار شیمیایی شرارد بر اثر تغییر رطوبت خاک با دقت بیشتری تعیین گردد.

## نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحقیق حاضر را می‌توان به شرح زیر

چهارچوب دو پروژه کارشناسی ارشد در گروه مهندسی عمران دانشکده فنی دانشگاه تهران را ارائه می‌کند. بدین وسیله از همکاری مسئولین و کارشناسان محترم آزمایشگاه مکانیک خاک دانشکده فنی-که بخش اصلی کار در آن صورت گرفته است-، آزمایشگاه شیمی تجزیه دانشکده فنی، آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری، آزمایشگاه شیمی مصالح مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، آزمایشگاه شیمی خاک موسسه تحقیقات آب و خاک، وابسته به وزارت جهاد کشاورزی، و شرکت خاک‌آزما، وابسته به وزارت نیرو، صمیمانه سپاسگزاری می‌کنیم.

۳- نتایج فوق نشان می‌دهد که استفاده از معیار شرارد بدون رعایت توصیه وی در مورد رطوبت عصاره‌گیری و یا به عبارت دیگر انجام عصاره‌گیری در رطوبتهای نامعین می‌تواند به نتایج متفاوت و بعضاً گمراه کننده‌ای منجر شود. لذا باید در انجام آزمایشهای شیمیایی، ملاحظات مربوط به شرایط نگهداری خاک، رطوبت عصاره‌گیری، نحوه عصاره‌گیری و نیز شرایط نگهداری عصاره استخراج شده بصورت کاملاً یکنواخت و مطابق با استانداردهای توصیه شده رعایت شود.

### سپاسگزاری

مقاله حاضر بخشی از نتایج تحقیقات انجام شده در

### مراجع

- ۱- رضوانی حبیب‌آبادی، ا. "بررسی تجربی تأثیر رطوبت بر نتایج آزمایشهای شیمیایی تعیین واگرایی." رساله کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، (۱۳۷۶).
- ۲- فرزانه، ا. و عسگری مجدآباد کهنه، ف. "بررسی پتانسیل واگرایی خاک هسته ناتراوای یک سد خاکی." مجموعه مقالات دومین سمینار بین‌المللی خاک و مهندسی پی ایران، (۱۳۷۲).
- ۳- اثنی‌عشری، م. "بررسی تجربی برخی پارامترهای فیزیکی بر میزان واگرایی رسها." رساله کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران، (۱۳۷۳).
- ۴- علی‌عسگری، ا. "مقایسه معیارهای مختلف شیمیایی شناسایی خاکهای واگرا." رساله کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران، (۱۳۷۴).
- 5 - Rahimi, H. and Delfi, M. (1993). "New chemical method for evaluation of dispersivity." *Proc. of the Second International Seminar of Soil Mechanics and Foundation Eng. Of Iran*, PP. 199-218.
- 6 - Cole, B. A., Ratansen, C., Maiklad, P., Liggins, T. B. and Chirapuntu, S. (1977). "Dispersive clay in irrigation dams in thailand." *ASTM, STP.623*, PP. 25-41.
- 7 - Sherard, J. K., Dunnigan, L. P. and Deker, R. S. (1976). "Identification and nature of dispersive soils." *J. of Geotech. Eng. Div., ASCE*, Vol. 102, No. GT1, PP. 287-301.
- 8 - ASTM, "Standard test method for pore water extraction and determination of soluble salt content of soil by refractometer." *ASTM, Designation, D4542-85*.
- 9 - ASTM, "Standard test method for dispersive characteristics of clay soil by double hydrometer." *ASTM, Designation, D4221-90*.
- 10 - ASTM, "Standard test method for dispersive characteristics of clay soil by pinhole test." *ASTM, Designation, D4647-87*.