

## ارزیابی روش‌های تشخیص واگرایی مارن قرمز بالایی (واحد M<sub>3</sub>) و مارن پلیوسن جنوب حسن آباد تهران و ورامین در اشکال مختلف فرسایش

حمیدرضا پیروان<sup>۱\*</sup>، محمد کریمی خالدی<sup>۲</sup>، ضیاءالدین شعاعی<sup>۳</sup> و ورامین ساریخانی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجویار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، <sup>۲</sup> کارشناس ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات کرج و <sup>۴</sup> استادیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۷

### چکیده

در این تحقیق، واگرایی مارن‌های جنوب استان تهران در ناحیه حسن‌آباد و جنوب ورامین شامل مارن‌های محیط خشکی سازند قرمز بالایی واحد M<sub>3</sub> و آبرفت مارنی پلیوسن واحد Plm در شیب‌های پنج، ۲۰ و ۴۰ درصد و در سه شکل فرسایش سطحی، شیاری و خندقی بررسی شدند. بر این اساس، از سازندهای مارنی یاد شده، بر اساس شکل فرسایش غالب، تعداد ۲۰ نمونه تهیه شد. برای دستیابی به هدف‌های از پیش تعیین شده، آزمایش‌هایی نظیر دانه‌بندی، حدود آتربرگ، تحلیل‌های شیمیایی نظیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها، EC، TDS، SAR و هیدرومتری دوگانه و پین‌هول انجام شد. نتایج حاصل از آزمون‌های هیدرومتری دوگانه بر روی ۱۸ نمونه، فقط سه مورد واگرایی کم را نشان می‌دهد که شامل مارن‌های واحد M<sub>3</sub> در نمونه دست‌نخورده برداشت شده از ایستگاه ۱ با شکل فرسایش خندقی، نمونه ایستگاه ۲ با دامنه با شیب ۴۰ درصد و فرسایش سطحی و ایستگاه ۵ با شیب پنج درصد با شکل فرسایش آبراه‌ای است. طبق آزمایش پین‌هول انجام شده، از ۱۷ نمونه تحت بررسی، ۱۲ نمونه غیر واگرا و پنج نمونه با واگرایی کم تا متوسط به‌دست آمد. در آزمایش پین‌هول، عمده مارن‌های با اشکال فرسایش آبراه‌ای و برخی از نمونه‌های با فرسایش خندقی، واگرایی کم تا متوسط نشان دادند. سایر اشکال فرسایش سطحی و شیاری رفتار غیر واگرا نشان دادند. بر اساس خصوصیات شیمیایی کل املاح موجود (TDS) در نمونه و نسبت درصد سدیم (PS)، بیشتر نمونه‌ها در نمودار شیمیایی کاساگراندر در محدوده خاک‌های واگرا، یک نمونه در مرز واگرایی با شکل فرسایش سطحی و یک نمونه در محدوده خاک‌های با احتمال ۵۰ درصد واگرایی با شکل فرسایش شیاری قرار می‌گیرد. در آزمایش شرارد اصلاح شده، به‌عکس، تمامی نمونه‌ها غیر واگرا هستند که نتایج آن با هیچ یک از روش‌های به‌کار رفته انطباق ندارد و لذا، این طبقه‌بندی مورد قبول نیست. روش آفریقایی نتیجه بهتری نسبت به سایر روش‌های شیمیایی نشان داد. در این روش، نیمی از نمونه‌ها واگرا و نیمی دیگر غیر واگرا طبقه‌بندی شدند. بر اساس معیار شیمیایی و فیزیکی، پدیده واگرایی در تمامی اشکال فرسایش سطحی، شیاری، خندقی و آبراه‌ای دیده شده است. از این روش، چنین نتیجه می‌شود که خاک‌های مارنی تحت تأثیر عوامل فیزیکی و شیمیایی استعداد واگرایی را دارند، حتی اگر در زمان نمونه‌برداری اشکال فرسایش سطحی و یا شیاری را نشان دهند. به بیان دیگر، در این خاک‌ها به شرط فراهم شدن سایر شرایط لازم از جمله درجه شیب و میزان تمرکز رواناب، امکان توسعه فرسایش سطحی و شیاری به خندقی و تونلی و یا آبراه‌ای فراهم است.

**واژه‌های کلیدی:** پین‌هول، هیدرومتری دوگانه، روش شرارد، روش آفریقایی، روش شرارد اصلاح شده

## مقدمه

واگرایی پدیده‌ای است که باعث می‌شود، خاک در برخورد با آب چسبندگی خود را از دست داده، ذرات حتی با نیروی کم ناشی از حرکت آب از یکدیگر دور شوند و خاک سریع دچار فرسایش شود (Umesh و همکاران، ۲۰۱۱). دلیل اصلی فرسایش رس‌ها بر اثر پدیده واگرایی، فزونی نیروی دافعه بین ذرات بر نیروی جاذبه آن‌ها می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده، مهمترین عامل موثر بر پدیده واگرایی، غلظت یون سدیم در آب منفذی خاک و تک‌ظرفیتی بودن کاتیون مذکور است. خاک‌های حاوی کلسیم، منیزیم و آلومینیوم به دلیل بیشتر بودن ظرفیت کاتیون‌ها و کاهش نیروی دافعه واگرا نیستند. این پدیده در خاک‌های غیرچسبنده ریز نیز به وجود می‌آید، ولی در ماسه و سیلت در اثر پدیده‌های مکانیکی می‌باشد. اما، در خاک‌های رسی در اثر تغییرات فیزیکی-شیمیایی خاک می‌باشد (Rahimi, ۲۰۰۰).

یکی از مسائل ژئوتکنیکی خاک‌های مسئله‌دار، پدیده رمبندگی است. خاک‌های رمبند، خاک‌های طبیعی نهشته‌شده به وسیله باد و یا آب است که در برابر افزایش رطوبت و فشار حساس می‌باشند. دانسیته پایین و حجم فضای خالی بالا از مشخصات این خاک-ها است (Bolzon, ۲۰۱۰). به عقیده Rahimi (۲۰۰۰)، بیشترین پتانسیل رمبندگی را لس‌ها دارند. لس‌ها از نظر اندازه دانه‌ها در حد سیلت و دارای دانه‌بندی نسبتاً یکنواختی هستند. دانسیته به طور کلی، در این خاک‌ها کم است و در محدوده ۱/۲ تا ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب قرار می‌گیرد (Rezaee و همکاران، ۲۰۱۳).

در تحقیق Majidi و همکاران (۲۰۱۶)، کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در برآورد پتانسیل تورمی خاک‌های ماری، با تأکید بر نقش پارامتر هدایت الکتریکی اشباع خاک<sup>۱</sup> (EC) به عنوان یک پارامتر شیمیایی سهل‌الوصول بر دقت و کارایی مدل، مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق، از پارامتر EC در کنار دیگر پارامترهای متداول و شاخص خاک برای برآورد پارامتر پتانسیل تورم‌پذیری خاک‌های ماری استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که

مناسب‌ترین پارامترها برای پیش‌بینی پارامتر پتانسیل تورمی خاک ماری، پارامترهای، حدود آتربگ (حد روانی و شاخص خمیری)، دانه‌بندی (درصد رس و سیلت خاک)، دانسیته خشک اولیه و هدایت الکتریکی اشباع خاک EC می‌باشند.

Peyrowan و همکاران (۲۰۱۲)، با تحقیق خود بر روی اراضی ماری استان تهران، مشخص کرده‌اند که با افزایش میزان املاح نمکی واحدهای ماری، میزان حساسیت به فرسایش و تولید رسوب اراضی ماری افزایش می‌یابد و مارن‌های آهکی نوع دریایی نسبت به نوع قاره‌ای مقاومت بالاتری دارا هستند.

طی سال‌های گذشته، محققان روش‌های مستقیم و غیر مستقیم مختلفی را برای ارزیابی پتانسیل واگرایی خاک‌های رسی پیشنهاد کرده‌اند. این روش‌ها را می‌توان به دو دسته فیزیکی و شیمیایی تقسیم کرد. در بخش روش‌های فیزیکی، می‌توان آزمایش‌های کرامب، هیدرومتری دوگانه و پین‌هول را نام برد. روش‌های شیمیایی که اساساً وجود مقدار نسبی و غلظت کاتیون‌ها را در خاک مورد ارزیابی قرار می‌دهند، نیز خود در شکل‌های مختلفی توصیه شده است. در روش کرامب، قطعه کوچکی از خاک با رطوبت حدود ۶۰ درصد رطوبت حد خمیری به بعد تقریبی ۱۵ میلی‌متر تهیه و به آرامی درون یک بشر حاوی ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار می‌گیرد و پس از گذشت زمان ۱۵ دقیقه شدت واکنش آن نسبت به آب، مورد ارزیابی قرار گرفته، واگرایی آن بسته به میزان کدورت آب سنجیده می‌شود (ASTM شماره D 6572-00, ۲۰۰۰). در این تحقیق، برای تعیین واگرایی نمونه‌های ماری از دو روش فیزیکی شامل هیدرومتری مضاعف و پین‌هول بهره گرفته شد که در روش تحقیق به آن اشاره شده است (Bazargan و Esmaeeli, ۲۰۱۱).

خاک‌های واگرا، خاک‌های ریزدانه‌ای هستند که به محض تماس با آب به سهولت شسته می‌شوند و فرسایش می‌یابند. نتایج به دست آمده از هر کدام از آزمایش‌های پین‌هول، شیمیایی، کرامب و هیدرومتری دوگانه دلیل قطعی بر شناسایی نوع خاک از نظر واگرایی نیستند و نتیجه‌گیری کلی در مورد واگرا یا واگرا نبودن خاک وابسته به قضاوت مهندسی و دیدگاه

<sup>۱</sup>Electrical conductivity

طراح دارد.

فرض بر این است که مارن‌های با فرسایش خندقی، نسبت به انواع دارای فرسایش سطحی و شیاری، واگرایی بالاتری از خود نشان دهند. هدف از این مطالعه، ارزیابی روش‌های مختلف تشخیص واگرا بودن این نوع خاک‌ها است.

### مواد و روش‌ها

**موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش:** منطقه مورد پژوهش، در جنوب و جنوب شرق استان تهران واقع است که در آن سازند قرمز بالای با وسعت زیاد و در سه بخش تفکیک شده، به همراه رخنمون اندکی از سنگ‌های ولکانیک ائوسن و سازند قم دیده می‌شود. راه‌های ارتباطی منطقه اول مورد مطالعه، آزاد راه تهران-قم-جنوب حسن آباد و منطقه دوم، جاده تهران-مشهد (امام رضا)، ده کیلومتری ایوانکی خروجی ده چشمه ناد علی به سمت روستای شور قاضی و کوه سرخ است (شکل ۱).

**روش انجام پژوهش:** آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق، شامل دو بخش آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی است که روش انجام آن به شرح زیر است.

**معیار شیمیایی واگرایی:** یکی از معیارهای تشخیص خاک‌های واگرا، خصوصیات شیمیایی آن‌ها مبتنی بر درصد سدیم در عصاره اشباع (Percent Sodium) و میزان کل نمک محلول در عصاره اشباع (Total Dissolved Salts) است که به روش‌های زیر انجام شده است.

**طبقه‌بندی شرارد:** متغیرهای مورد استفاده در این طبقه‌بندی، درصد سدیم در عصاره اشباع و میزان کل نمک محلول در عصاره اشباع است (Sherard و همکاران، ۱۹۷۶).

درصد سدیم در عصاره اشباع طبق رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$PS(\text{Percent Sodium}) = \frac{Na^+ (100)}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + k^+)} \quad \text{M.eq/Lit} \quad (1)$$

TDS از حاصل جمع کاتیون‌های قلیایی و قلیایی

خاکی در عصاره اشباع حاصل می‌شود (رابطه ۲).

$$TDS(\text{Total Dissolved Salts}) = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+ \quad \text{M.eq/Lit} \quad (2)$$

با این که روش‌های شیمیایی متعددی برای ارزیابی واگرایی خاک‌ها ارائه شده، ولی اغلب ناکارآمد هستند (Aitchison و Ingles، ۱۹۶۹؛ Abbasi، ۲۰۱۱). بر اساس تحقیقات Craft و Acciardi (۱۹۸۴)، روش شیمیایی املاح محلول در آب، منفذی برای تشخیص رس‌های واگرا نامناسب معرفی شده است. Bell و Jermy (۱۹۹۱)، نشان دادند که روش شیمیایی شرارد قادر به تشخیص رس‌های واگرا در خاک‌هاب آفریقای جنوبی نیست و برای تشخیص این پدیده روش شیمیایی جدیدی را بر اساس مشخصه‌های اسیدیته (pH) عصاره اشباع خاک، درصد سدیم قابل تبادل (ESP)، درصد منیزیم قابل تبادل (EMgP)، هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR) ارائه کردند که به روش شیمیایی آفریقای موسوم شده است. آزمایش کرامب (امرسون)، هیدرومتری مضاعف و روش شیمیایی از جمله روش‌های تعیین پتانسیل واگرایی خاک‌هاست که هر یک مزایا و معایب خاص خود را دارا هستند (Kondel، ۱۹۹۱).

با توجه به این که آبیون‌ها از جمله کلر، نقش بسیار مهمی در ارزیابی پتانسیل واگرایی خاک دارند و این موضوع در روش شرارد به طور کلی مغفول باقی مانده است، لذا، Abbasi (۲۰۱۱) با در نظر گرفتن نقش آبیونی کلر، روش اصلاحی برای آزمایش شرارد پیشنهاد کرده است. ایشان شاخص جدیدی به نام درصد سدیم مازاد بر کلر (P.S.C) مطابق رابطه (۳) ارائه کرده است.

Ghanbari (۲۰۰۸)، ضمن ارائه روش‌های شناسایی منابع قرضه مناسب از نظر واگرایی (هم از دیدگاه صحرایی و هم آزمایشگاهی) و مقایسه این نتایج با یکدیگر، سعی کرده است که مناسب‌ترین روش شناسایی خاک‌های واگرا را معرفی کند. در اغلب بررسی‌های انجام شده، آزمون پین‌هول به طور نسبی نتایج واقع بینانه‌تری به دست داده است، با این حال، در تفسیر نتایج لازم است میزان املاح گچ و نمک موجود در خاک، ساختار کانی‌های تشکیل‌دهنده خاک و سایر خصوصیات نمونه نیز مورد توجه باشد. مسئله اصلی این تحقیق، بررسی تنوع خصوصیات مهندسی مارن‌های نفوژن و میزان درجه واگرایی آن می‌باشد.

خاک‌های حد واسط (محدوده بین ۴۰ تا ۶۰ در محور قائم، Transition) و منطقه سوم مربوط به خاک‌های پخش‌شونده (محدوده بالای ۶۰ از محور قائم، Dispersive) می‌باشد.

در نمودار شرارد (شکل ۲)، سه منطقه از پایین به بالا قابل تشخیص است. منطقه اول مربوط به خاک‌های غیر پخش‌شونده، (زیر خط ۴۰ در محور قائم، None dispersive)، منطقه دوم مربوط به



شکل ۱- منطقه مورد پژوهش محدوده جنوب شرق ورامین (کوه سرخ) و محدوده جنوب حسن‌آباد (کوه مره) در تصویر گوگل ارث (موقعیت نمونه‌برداری‌ها (S<sub>6</sub> تا S<sub>1</sub>) در تصویر نشان داده شده است)

**معیار فیزیکی واگرایی:** آزمایش‌های فیزیکی شامل سه روش کرامب، هیدرومتری مضاعف و آزمایش پین-هول است که در زیر توضیح داده می‌شود. **آزمایش هیدرومتری دوگانه:** در این آزمایش، دانه‌بندی ذرات خاک با روش هیدرومتری استاندارد، در دو حالت تعیین و نتایج حاصله با یکدیگر مقایسه و پتانسیل واگرایی ارزیابی شد. در یک مرحله، آزمایش هیدرومتری طبق روش استاندارد و با کمک ماده شیمیایی پراکنده‌ساز و با استفاده از به‌هم‌زن مکانیکی صورت گرفت. در مرحله بعدی، همین آزمایش بدون استفاده از محلول شیمیایی پراکنده‌ساز و به‌هم‌زن مکانیکی انجام شد و منحنی‌های دانه‌بندی در دو مرحله ترسیم و مقدار درصد ذرات ریزتر از ۰/۰۰۵ میلی‌متر در هر دو روش تعیین شد. در این صورت، پارامتری به‌نام نسبت پراکندگی یا نسبت واگرایی به‌شرح رابطه (۴) تعیین شد.

(۴)  $100 \times$  درصد ذرات کوچک‌تر از پنج میکرون در آزمایش دوم / درصد ذرات کوچک‌تر از پنج میکرون در آزمایش اول = نسبت واگرایی  
چنانچه نسبت واگرایی، بیشتر از ۵۰ درصد باشد، خاک به شدت واگراست و چنانچه این رقم بیشتر از

**طبقه‌بندی شرارد اصلاح شده:** با توجه به بررسی‌های Abbasi (۲۰۱۱)، مشخص شد که واگرایی خاک، تنها به نوع و میزان کاتیون‌ها و درصد سدیم بستگی ندارد و آنیون‌های موجود در خاک نیز در شرایط واگرایی موثر هستند و لذا، پیشنهاد اصلاح روش شرارد را ارائه کرده است و شاخص جدیدی به نام درصد سدیم مازاد بر کلر مطابق رابطه (۳) به جای درصد سدیم برای محور قائم منحنی شرارد را معرفی کرده است.

$$P.S.C = \frac{(Na - Cl)}{(Na + Ca + Mg + K)} \times 100 \quad (3)$$

در این پژوهش، اشاره به این موضوع شده است که کلر برخلاف سدیم، نقش تثبیت‌کنندگی خاک را ایفاء می‌کند.

**طبقه‌بندی روش آفریقایی:** محققان آفریقایی روش دیگری برای برآورد تأثیر نمک‌های محلول در آب حفره‌ای بر واگرایی خاک ارائه نموده‌اند. در این روش، بر اساس خصوصیات شیمیایی خاک شامل pH، EC و ESP مسیری در نمودار دنبال می‌شود تا میزان واگرایی خاک به‌دست آید (Bazargan و Esmaeeli، ۲۰۱۱).

۳۵ درصد باشد، خاک احتمالاً واگراست. ارقام بین ۱۵-۳۵ درصد نشان‌دهنده احتمال واگرایی متوسط و ارقام کمتر از ۱۵ درصد احتمال واگرا نبودن خاک را نشان می‌دهند (جدول ۱). از آنجا که نتایج این آزمایش تابع عوامل متعددی از جمله رطوبت خاک و خمیریابی آن می‌باشد، لذا، نتایج حاصل باید با احتیاط و در مقایسه با نتایج سایر روش‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱- رتبه‌بندی درجات واگرایی خاک به روش هیدرومتری (ASTM, D 4221)

| نسبت واگرایی | < ۵۰٪        | ۳۵-۵۰٪        | ۱۵-۳۵٪     | > ۱۵٪     |
|--------------|--------------|---------------|------------|-----------|
| درجه واگرایی | واگرایی زیاد | واگرایی متوسط | واگرایی کم | غیر واگرا |

**آزمایش پین‌هول:** نمونه خاک به صورت استوانه‌ای به قطر ۳۳ و طول ۳۸ میلی‌متر بوده، جریان آب مقطر از داخل سوراخی به قطر یک میلی‌متر و تحت بار (هد) ۵۰، ۱۸۰ و ۳۸۰ میلی‌متر عبور داده می‌شود و سپس میزان شفافیت آب خروجی و قطر سوراخ ارزیابی می‌شود. شیب هیدرولیکی اعمال شده در این آزمایش،

از دو تا ۱۵ درصد و سرعت جریان از ۳۰ تا ۱۶۰ سانتی‌متر در ثانیه تغییر می‌کند. آزمایش پین‌هول طبق سه روش A، B و یا C است که برای تشخیص واگرایی نمونه‌های موجود در این پژوهش، از روش A (جداول ۲ و ۳) استفاده شده است.

جدول ۲- روش A برای تشخیص پتانسیل واگرایی (ASTM, D 4647-87)

| رده‌بندی واگرایی | هد (میلی‌متر) | مدت آزمایش به ازای هد مشخص (دقیقه) | نرخ نهایی جریان (میلی‌متر بر ثانیه) | تیرگی آب در انتهای آزمایش |             |
|------------------|---------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------|
|                  |               |                                    |                                     | از کنار                   | از بالا     |
| D1               | ۵۰            | ۵                                  | ۱/۴ - ۱/۰                           | تیره                      | بسیار تیره  |
| D2               | ۵۰            | ۱۰                                 | ۱/۴ - ۱/۰                           | نسبتاً تیره               | تیره        |
| ND4              | ۵۰            | ۱۰                                 | ۰/۸ - ۱/۰                           | کمی تیره                  | نسبتاً تیره |
| ND3              | ۱۸۰           | ۵                                  | ۱/۴ - ۲/۷                           | نسبتاً شفاف               | اندکی تیره  |
| ND3              | ۳۸۰           | ۵                                  | ۱/۸ - ۳/۲                           | شفاف                      | نسبتاً شفاف |
| ND2              | ۱۰۲۰          | ۵                                  | < ۳/۰                               | شفاف                      | نسبتاً شفاف |
| ND1              | ۱۰۲۰          | ۵                                  | ≤ ۳/۰                               | کاملاً شفاف               | کاملاً شفاف |

جدول ۳- طبقه‌بندی خاک‌ها بر اساس آزمایش پین‌هول (ASTM, D 4647-87)

| گروه خاک    | شناسه    | توصیف   | شناسه در جدول |
|-------------|----------|---|---------------|
| غیر واگرا   | ND1, ND2 | رس‌های غیر واگرا با فرسایش کلونیدی بسیار جزیی تحت هد 380mm (15in) یا 1020mm (40in)  | ND            |
| متوسط واگرا | ND3, ND4 | رس‌هایی با واگرایی کم تا متوسط که تحت هد 50mm (2in) یا 180mm (15in) به آرامی فرسایش می‌یابند.   | ID            |
| واگرا       | D1, D2   | D1: رس‌های واگرا که با سرعت تحت هد 50mm (2in) فرسایش می‌یابند. همچنین، قطر نهایی سوراخ به شدت تغییر کرده است.<br>D2: رس‌های واگرا که با سرعت تحت هد 50mm (2in) فرسایش می‌یابند. | D             |

**نحوه نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌ها:** از پهنه مارنی واحد M<sub>3</sub> از سازند قرمز بالایی و نهشته‌های ریزدانه پلیوسن PL<sub>M</sub> در سه شیب پنج، ۲۰ و ۴۰ درصد در اشکال مختلف فرسایش سطحی، شیاری،

که در آن، صورت کسر، میزان سدیم محلول در عصاره اشباع خاک و مخرج کسر، ظرفیت تبادل کاتیونی می‌باشد. تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نمودار واگرایی شرارد، نمودار شرارد اصلاح شده (Abbasi، ۲۰۱۱)، روش آفریقای و نمودار کاساگراند انجام شد.

#### چینه‌شناسی واحدهای مارنی مورد مطالعه

- سازند قرمز بالایی: این سازند در منطقه شامل تناوبی از لایه‌های ماسه‌ای و سیلت‌سنگ‌های قرمز تا کرم رنگ بوده و دارای میان لایه‌های کنگلومرایی و تبخیری است. سازند قرمز بالایی در منطقه به‌طور وسیعی رخنمون دارد که در اطراف کوه مره و در سرتاسر زیر حوضه‌های رودخانه‌شور دیده می‌شود. سازند قرمز بالایی به‌صورت هم‌شیب، بر روی سازند قم قرار دارد که خود به‌وسیله رسوبات کواترنری پوشیده می‌شود. در این تحقیق، علاوه بر مارن پلیوسن، از سازند قرمز بالایی فقط از واحد M3 به‌دلیل بیشترین گسترش فرسایش خندقی و تونلی در بین سایر واحدهای قرمز بالایی، نمونه‌برداری انجام شده است. این واحد، اشکال فرسایشی متنوعی در سطح دامنه‌های خود دارد (شکل ۲) و به همین خاطر، به‌عنوان فرسایش‌پذیرترین واحد سازند قرمز بالایی انتخاب و در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت.

خندقی و تونلی در دو محدوده حسن‌آباد قم و جنوب شرق ورامین نمونه‌برداری انجام شد. خصوصیات مهندسی از جمله دانه‌بندی و حدود آتربرگ اندازه‌گیری و آزمایش‌های مخصوص به واگرایی نظیر پین-هول (استاندارد ASTM D 4646) و هیدرومتری مضاعف (استاندارد D4647) و خصوصیات شیمیایی (درصد سدیم و درصد کل املاح محلول) نمونه‌ها انجام شد.

در هر نمونه دست‌خورده، به میزان ۱۵ کیلوگرم خاک در هر سه رده شیب تهیه شد. به کمک نمونه‌گیر کرکاتر (Core cutter) نیز شش نمونه دست‌نخورده برای اندازه‌گیری دانسیته و رطوبت نیز برداشت شد. عمق نمونه‌برداری در فرسایش‌های مختلف، صفر تا ۳۰ سانتی‌متر و در فرسایش خندقی، از محل ابتدای خندق و از دیواره آن نمونه گرفته شده است. با توجه به این‌که فرسایش خندقی بر خلاف فرسایش آبراه‌های به سمت بالادست رشد می‌کنند، لذا، از سرخندقی نمونه‌برداری شده است. کاتیون‌ها و آنیون‌های نمونه‌های مارنی به روش معمول خاک‌شناسی اندازه‌گیری شدند. درصد سدیم تبدلی خاک، به‌صورت رابطه (۵)، بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی خاک محاسبه شد.

$$ESP = \frac{Na^+ \left( \frac{meq}{100gr(soil)} \right)}{CEC \left( \frac{meq}{100gr(soil)} \right)} \times 100 \quad (5)$$



شکل ۲- واحد M3 با فرسایش تونلی شدید در جنوب شرق ورامین، کوه سرخ



شدن افق A خاک، عروسک‌های آهکی زیادی بر سطح خاک نمایان شده است که مربوط به افق B خاک است. بر سطح این اراضی، آثار فرسایش تونلی و خندقی شدیدی ملاحظه می‌شود. در این تحقیق، ۱۵ نمونه از واحد M<sub>3</sub> از سازند قرمز بالایی و سه نمونه از مارن پلیوسن برداشت شد.

**آبرفت‌های مارنی پلیوسن-کواترنری:** این نهشته-ها، شامل مارن و سیلت است که به صورت تپه‌های کاملاً فرسایش‌یافته و کم ارتفاع در حاشیه روستای شورقاضی واقع در جنوب شرق ورامین برون‌زد دارند (شکل ۳). در سطح این اراضی، آثار فرسایش بادی به صورت تجمع خاک در پای بوته‌ها دیده می‌شود. در اثر شدت فرسایش آبی بر سطح این اراضی و شسته



شکل ۳- رخنمون نهشته‌های آبرفت‌های مارنی پلیوسن-کواترنری (Plm) با فرسایش شایع خندقی و تونلی در روستای شورقاضی، جنوب شرق ورامین

ابهام خواهد داشت. لازم به ذکر است که چهار نمونه، دارای TDS بالاتر از محدوده نمودار هستند و لذا، در نمودار نمایش داده نشده است.

**نتایج طبقه‌بندی شرارد اصلاح شده:** با محاسبه درصد سدیم مازاد نمونه‌ها، مشخص شد که در بیشتر نمونه‌ها سدیم مازاد بر کلر وجود ندارد. به بیان دیگر، میزان کلر بیش از سدیم است و لذا، تمامی این نمونه‌ها در زمره خاک‌های غیر واگرا قرار می‌گیرند که با شواهد واگرایی این نوع خاک‌ها در صحرا و وقوع فرسایش‌های خندقی و تونلی مطابقت نشان نمی‌دهد. بالا بودن میزان کلر نسبت به میزان سدیم، در نمونه‌های مارنی، دلالت بر این موضوع دارد که املاح کلروره غیر سدیمی مانند کلرور منیزیم و کلرور پتاسیم در این نوع خاک‌ها حضور دارند.

**نتایج طبقه‌بندی روش آفریقایی:** محققان آفریقایی روش دیگری برای برآورد تأثیر نمک‌های محلول در آب حفره‌ای بر واگرایی خاک ارائه نموده‌اند. در این

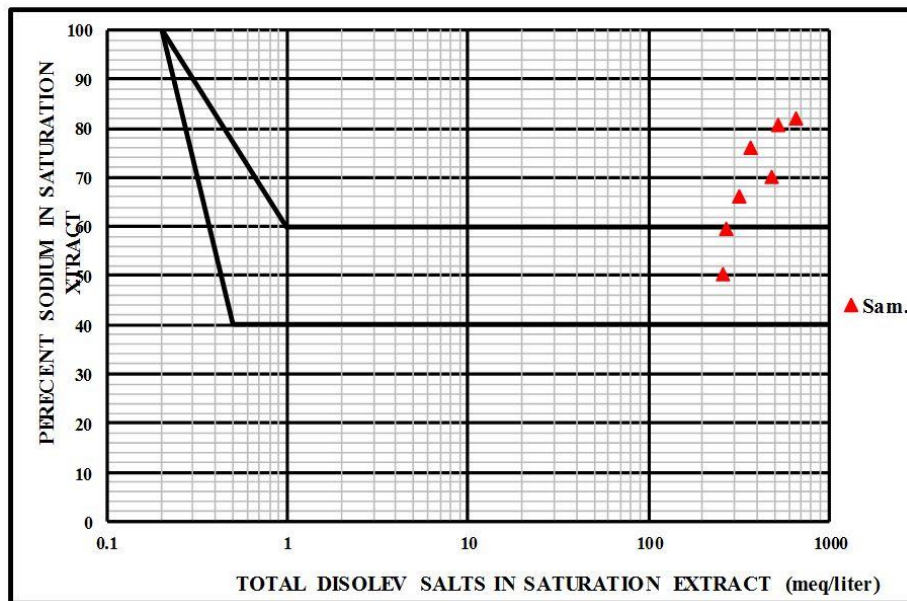
## نتایج و بحث

نتایج هر یک از معیارهای سنجش واگرایی در زیر اشاره می‌شود.

**نتایج طبقه‌بندی شرارد:** با استفاده از نتایج آزمون-های شیمیایی و نمودار شرارد، نمونه خاک‌های اخذ شده جزء خاک‌های واگرا طبقه‌بندی شدند و تنها دو نمونه در محدوده بینابین قرار دارند (شکل ۴). Rahimi و Dalfi (۱۹۹۳)، در تحقیق خود که بر روی خاک‌های ایران انجام دادند، مشخص نمودند که برای خاک‌هایی که TDS آن‌ها بیشتر از ۱۰۰ میلی‌اکی‌والان در لیتر باشد، تعیین پخش‌شوندگی (واگرایی) خاک‌ها بر اساس نمودار شرارد دقت کافی را ندارد و باید اصلاح شود یا روش‌های معمولی در عصاره‌گیری رایج تغییر یابد. در نمونه‌های برداشت شده از منطقه، میزان TDS، بین ۲۶۱/۶ تا ۲۲۳۴/۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر در تغییر است. بنابراین، تعیین میزان پخش‌شوندگی به‌وسیله این نمودار به تنهایی برای همه نمونه‌ها جای

روش، بر اساس خصوصیات شیمیایی خاک شامل pH، EC و مسیری در نمودار دنبال می‌شود تا میزان واگرایی خاک به دست آید. در جدول ۴، نتایج آن

نشان داده شده است. با توجه به شواهد صحرایی، نتیجه این روش در بین سه روش شیمیایی یادشده مطلوب‌تر به نظر می‌رسد.



شکل ۴- محدوده خاک‌های غیر پخش‌شونده (منطقه B)، حد واسط (منطقه C) و پخش‌شونده (منطقه A) در نمودار شرارد (۱۹۷۶)

جدول ۴- نتیجه معیار شیمیایی آفریقای جنوبی در مورد مارن‌های منطقه مورد مطالعه

| نمونه | شکل فرسایش | شیب (درصد) | pH   | EC (ms) | ESP     | Mg <sup>++</sup> (Meq/100g) | واگرایی   |
|-------|------------|------------|------|---------|---------|-----------------------------|-----------|
| S1-1  |            | ۵          | ۷/۷۴ | ۹۱/۹    | ۴۹۶۱/۶۵ | ۷۵                          | غیر واگرا |
| S1-2  | خندقی      | ۲۰         | ۷/۷۴ | ۹۸/۲    | ۷۲۰۵/۸۸ | ۱۴۷                         | غیر واگرا |
| S1-3  |            | ۴۰         | ۸/۵  | ۳۷/۴    | ۲۵۹۷/۵۶ | ۲۹/۶                        | واگرا     |
| S2-1  |            | ۵          | ۸/۰۸ | ۳۰      | ۱۳۹۶/۰۴ | ۱۱                          | واگرا     |
| S2-2  | سطحی       | ۲۰         | ۸/۱۴ | ۱۷/۸۵   | ۵۷۳/۹۱  | ۱۵/۶                        | واگرا     |
| S2-3  |            | ۴۰         | ۸/۰۴ | ۲۴/۳    | ۱۰۰۰    | ۱۳/۶                        | واگرا     |
| S4-1  |            | ۵          | ۷/۸  | ۳۷/۷    | ۲۷۷۸/۶۹ | ۲۷/۲                        | واگرا     |
| S4-2  | شیاری      | ۲۰         | ۷/۵۲ | ۲۱/۳    | ۱۴۲۸/۵۷ | ۸/۴                         | غیر واگرا |
| S4-3  |            | ۴۰         | ۸/۰۵ | ۵۱/۶    | ۲۸۰۷/۲۹ | ۱۶/۴                        | واگرا     |
| S5-1  |            | ۵          | ۷/۵۹ | ۱۰۱/۲   | ۳۲۸۹/۶۶ | ۳۲                          | غیر واگرا |
| S5-2  | شیاری      | ۲۰         | ۷/۳۹ | ۱۶۷/۵   | ۶۰۵۳/۰۳ | ۷۴                          | غیر واگرا |
| S6-1  |            | ۱۰-۲۰      | ۸/۲  | ۲۸      | ۵/۱۰    | N.D.                        | واگرا     |
| S6-2  | تونلی      | ۱۰-۲۰      | ۸/۶  | ۳۶      | ۴/۹۴    | N.D.                        | غیر واگرا |
| S6-3  |            | ۱۰-۲۰      | ۸    | ۴۹      | ۵/۲۹    | N.D.                        | واگرا     |
| S7-1  | خندقی      | ۱۰-۲۰      | ۸    | ۴۶      | ۴/۷۳    | N.D.                        | غیر واگرا |

توآمان بر این پدیده اثرگذار هستند و لذا، در تشخیص خاک‌های واگرا نیاز است که آزمایش‌های فیزیکی خاک نیز انجام شود که شامل سه روش کرامب، هیدرومتری مضاعف و آزمایش پین‌هول است. نتیجه

نتایج معیار فیزیکی واگرایی: واگرایی خاک علاوه بر این که تحت تأثیر پارامترهای تعیین‌کننده شیمیایی خاک است، به رفتار فیزیکی خاک نیز وابسته است. به عبارت دیگر، مجموعه عوامل فیزیکی و شیمیایی



از خود نشان دادند و نمونه‌های آبرفت مارنی پلیوسن در جنوب ورامین (PI<sup>m</sup>) علی‌رغم دارا بودن شکل فرسایشی خندقی و تونلی جزء خاک‌های غیر واگرا دسته‌بندی شدند.

#### نتیجه‌گیری

همان‌طور که گفته شد، نتایج واگرایی نمونه‌ها در روش‌های مختلف، با هم و با شواهد صحرایی، در پاره‌ای از موارد منطبق است و در بسیاری از موارد انطباق نشان نمی‌دهد و لذا، تکیه بر نتیجه یک آزمایش نمی‌تواند قطعیت لازم را برای واگرا بودن یا نبودن خاک‌های مارنی تحت بررسی را نشان دهد و نتایج تلفیقی به همراه قضاوت کارشناسی اهمیت دو چندان دارد. در زیر، مقایسه بین نتایج روش‌های شیمیایی و فیزیکی واگرایی ارائه شده است.

آزمون دو روش اخیر، در نمونه‌های تحت بررسی در زیر توضیح داده می‌شود.

**آزمایش هیدرومتری دوگانه:** نتایج حاصل از آزمون‌های هیدرومتری دوگانه (مضاعف) بر روی ۱۸ نمونه نشان می‌دهد که در اکثر موارد واگرا نیستند. نمونه دست‌نخورده برداشت شده از ایستگاه ۱، با شکل فرسایش خندقی و ایستگاه ۵ با شیب پنج درصد با شکل فرسایش آبراهه‌ای تا حدودی واگرا هستند (جدول ۵).

**آزمایش پین‌هول:** طبق آزمایش پین‌هول انجام شده (جدول ۶) در ایستگاه‌های مختلف، ایستگاه ۵ با شکل فرسایش آبراهه‌ای واحد M<sub>3</sub> و ایستگاه ۷ با شکل فرسایش خندقی واحد M<sub>3</sub> واگرایی ضعیف تا متوسط

جدول ۵- نتایج آزمایش هیدرومتری مضاعف

| ایستگاه | منطقه         | شیب (درصد)       | واحد زمین‌شناسی | نسبت واگرایی | نتیجه آزمایش واگرایی |
|---------|---------------|------------------|-----------------|--------------|----------------------|
|         |               | ۵                |                 | ۰            | غیر واگرا            |
| S1      | جنوب حسن‌آباد | ۲۰               | M3              | ۵/۳          | غیر واگرا            |
|         |               | ۴۰               |                 | ۵            | غیر واگرا            |
|         |               | نمونه دست‌نخورده |                 | ۲۴           | تا حدودی واگرا       |
|         |               | ۵                |                 | ۱۰/۳         | غیر واگرا            |
| S2      | جنوب حسن‌آباد | ۲۰               | M3              | ۰            | غیر واگرا            |
|         |               | ۴۰               |                 | ۲۳/۹         | تا حدودی واگرا       |
| S3      | جنوب حسن‌آباد | ۲۰               | M3              | ۰            | غیر واگرا            |
|         |               | ۵                |                 | ۰/۴۴         | غیر واگرا            |
| S4      | جنوب حسن‌آباد | ۲۰               | M3              | ۰            | غیر واگرا            |
|         |               | ۴۰               |                 | ۵/۷          | غیر واگرا            |
|         |               | ۵                |                 | ۲۵/۴         | تا حدودی واگرا       |
| S5      | جنوب حسن‌آباد | ۲۰               | M3              | ۰/۰۵         | غیر واگرا            |
|         |               | ۴۰               |                 | ۰            | غیر واگرا            |
|         |               | ۵                |                 | ۰            | غیر واگرا            |
| S6      | ورامین        | ۲۰               | PI <sup>m</sup> | ۰            | غیر واگرا            |
|         |               | ۴۰               |                 | ۰            | غیر واگرا            |
| S7      | ورامین        | ۲۰               | M3              | ۲۳           | تا حدودی واگرا       |

جدول ۶- نتیجه آزمایش پین هول

| شماره ایستگاه | شیب (درصد) | واحد زمین‌شناسی | شکل فرسایش | درصد رطوبت | دانسیته خشک $g\ cm^{-3}$ | آزمایش پین هول | رده بندی واگرایی خاک |
|---------------|------------|-----------------|------------|------------|--------------------------|----------------|----------------------|
| ۱             | ۲۰         | M <sub>3</sub>  | خندقی      | ۱۴/۵       | ۱/۶۶                     | ND1            | غیر واگرا            |
| ۲             | ۲۰         | M <sub>3</sub>  | سطحی       | ۱۴/۹۱      | ۱/۶۵                     | ND2            | غیر واگرا            |
| ۳             | ۲۰         | M <sub>3</sub>  | شیاری      | ۱۴/۹۵      | ۱/۶۵                     | ND2            | غیر واگرا            |
| ۴             | ۲۰         | M <sub>3</sub>  | آبراهه‌ای  | ۱۵/۸۸      | ۱/۶۳                     | ND3            | واگرایی متوسط        |
| ۵             | ۲۰         | pl <sub>m</sub> | تونلی      | ۱۴/۵       | ۱/۶۶                     | ND2            | غیر واگرا            |
| ۶             | ۲۰         | M <sub>3</sub>  | خندقی      | ۱۴/۴       | ۱/۶۵                     | ND3            | واگرایی متوسط        |

## مقایسه بین نتایج روش‌های مختلف تعیین

واگرایی: جدول ۷، نتایج حاصل از ارزیابی پتانسیل واگرایی نمونه‌های خاک را به روش‌های مختلف، نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول پیداست، در مواردی نتایج به‌دست آمده با یکدیگر مطابقت ندارند. تمامی نمونه‌های مارن که دارای درصد سدیم بالایی هستند، از نظر معیار شیمیایی شرارد عموماً واگرا تشخیص داده شده‌اند. این نمونه‌ها با وجود میزان زیاد سدیم، در آزمایش فیزیکی پین‌هول ناواگرا تشخیص داده شدند.

در روش معیار شیمیایی شرارد اصلاح‌شده به‌وسیله Abbasi (۲۰۱۱)، با محاسبه درصد سدیم مازاد نمونه‌ها مشخص شد که در بیشتر نمونه‌ها سدیم مازاد بر کلر وجود ندارد. به‌بیان دیگر، میزان کلر بیش از سدیم است و لذا، تمامی این نمونه‌ها در زمره خاک-های غیر واگرا قرار می‌گیرند که نتیجه این روش با واقعیت‌های میدانی و توسعه فرسایش خندقی و تونلی برخی از نمونه‌های مارنی انطباق نشان نمی‌دهد و فقط در ایستگاه اول، در نمونه‌های با شیب ۲۰ و ۴۰ درصد با شکل فرسایش خندقی، به‌ترتیب سدیم مازاد آن‌ها ۴/۵ و ۲۷/۸ میلی‌اکی‌والان گرم در لیتر است که باز در

نمودار شرارد در محدوده خاک غیر واگرا قرار می‌گیرد. با توجه به تناقض‌های موجود بین روش‌های شیمیایی و فیزیکی مرسوم، نمونه‌ها نیز با توجه به معیار شیمیایی آفریقای جنوبی نیز بررسی شدند. در این روش، بیش از نیمی از نمونه‌ها، واگرا و بقیه نمونه‌ها، غیر واگرا تشخیص داده شدند. نتایج این روش نشان داد که واگرایی مارن در تمامی اشکال فرسایش سطحی، شیاری و خندقی امکان‌پذیر است. لذا، می‌توان چنین نتیجه گرفت که شکل و شدت فرسایش در اراضی مارنی از یک‌سو، به خصوصیات ذاتی مارن و از سوی دیگر، به عواملی مانند شیب و شدت بارش نیز بستگی دارد. به‌بیان دیگر، در صورت فراهم شدن شرایط محیطی، این اراضی استعداد توسعه همه نوع شکل فرسایش را دارا هستند. به‌همین خاطر، بر روی یک دامنه مارنی در صحرا با توجه به تغییر شرایط محیطی، مانند شیب و تمرکز رواناب، می‌توان هر سه شکل فرسایش سطحی، شیاری و خندقی و تونلی را مشاهده نمود. در ضمن، یادآور می‌شود که روش آفریقای نسبت به دو روش شیمیایی شرارد و اصلاح‌شده شرارد، نتایج قابل قبول‌تری را ارائه می‌کند.

جدول ۷- نتایج آزمایشات و محاسبات پارامترهای واگرایی نمونه‌های مارنی حسن‌آباد و ورامین



معناداری بین درجه واگرایی و شکل فرسایش ملاحظه نمی‌شود. به بیان دیگر، کلیه اشکال فرسایشی رفتارهای متفاوت واگرایی و ناواگرایی نشان می‌دهند. این موضوع تأکیدی بر نقش توأمان عوامل فیزیکی و شیمیایی و مکانیکی بر واگرا بودن یا نبودن واگرایی دارد. آنچه که اشکال فرسایش را در این اراضی به وجود می‌آورد، میزان واکنش آب و خاک در محیط است. به بیان دیگر، حضور آب در محل و نحوه واکنش آن با خاک مارنی می‌تواند شکل فرسایش را تحت تأثیر خود قرار دهد.

جدول ۸- حدود پلاستیسیته

| حدود اندیس پلاستیسیته | خاصیت خمیری      |
|-----------------------|------------------|
| ۰-۳                   | غیر پلاستیک      |
| ۳-۱۵                  | کمی پلاستیک      |
| ۱۵-۳۰                 | پلاستیسیته متوسط |
| >۳۰                   | پلاستیسیته زیاد  |

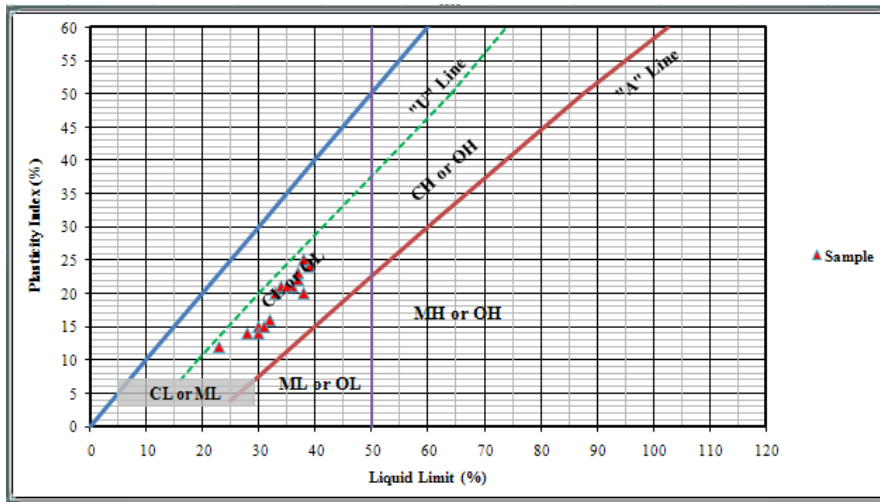
اختلاف در نتایج به دست آمده از روش‌های مختلف، نشان‌دهنده آن است که هیچگاه یک روش خاص به تنهایی قادر به ارزیابی کامل و دقیق پتانسیل واگرایی خاک نبوده و لازم است تا این پتانسیل با انجام چند روش آزمایش مورد ارزیابی قرار گیرد. مع‌هذا، در میان روش‌های مختلف آزمایشگاهی، روش پین‌هول که پتانسیل فرسایش‌پذیری را به‌طور مستقیم مورد ارزیابی قرار می‌دهد، دارای قابلیت اعتماد بیشتری بوده و پس از آن، سایر روش‌ها از جمله هیدرومتری دوگانه و روش‌های شیمیایی قرار دارند.

بین آزمایش‌های شیمیایی، به نظر آزمایش آفریقای نسبت به آزمایش شرارد ارجحیت دارد. به نتایج آزمون شرارد به تنهایی نمی‌توان تکیه کرد، چون در بیشتر قریب به اتفاق همه نمونه‌ها دارای پتانسیل واگرایی هستند. در ضمن، آزمایش شرارد اصلاح شده هم به عکس نتیجه آزمون شرارد، همه نمونه‌ها را غیر واگرا معرفی کرده است که باز هم قابل استناد نمی‌تواند باشد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بین نتایج شیمیایی و فیزیکی واگرایی نمونه‌ها تناقضاتی وجود دارد. Mozaffari و همکاران (۲۰۱۲)، در تحقیق خود با مقایسه نتایج آزمایشات پین‌هول و هیدرومتری دوگانه، روش جدیدی بر مبنای حدود آتبرگ برای شناسایی خاک‌های واگرا معرفی کرده‌اند. به نظر ایشان، شیب خط پردازش داده‌های خاک‌های واگرا با شیب خط A در نمودار خمیری کاساگراند به دست آمده، تقریباً یکسان است. همچنین، نتایج آن‌ها نشان داده که نمونه‌ها در نمودار کاساگراند به خط A نزدیک‌تر بوده، نمونه‌های غیر واگرا به خط نهایی یا خط U نمودار خمیری کاساگراند نزدیک‌ترند. در شکل ۵، نتیجه حدود آتبرگ نمونه‌های تحقیق حاضر نشان داده شده است. محاسبه اندیس پلاستیسیته ( $PI = LL - PL$ ) نشان داد که نمونه‌ها بر اساس رده‌های مندرج در جدول ۸، دارای اندیس پلاستیسیته کم تا متوسط هستند. اندیس پلاستیسیته زیاد به معنای رسی بودن نمونه‌ها، میزان پایین این اندیس نشانه سیلتی بودن و مقادیر نزدیک به صفر بیانگر این است که در نمونه یا ذرات رس و یا سیلت به میزان خیلی کم حضور دارد و یا فاقد این دو است.

بر اساس موضوع مطرح شده، ملاحظه می‌شود که برخی نمونه‌ها به خط U و برخی به خط A نزدیک‌ترند و لذا، درجه و رتبه واگرایی متفاوت نمونه‌ها بر اساس حدود آتبرگ نیز تایید می‌شود. با توجه به نتایج و تناقضات موجود می‌توان در مجموع بیان کرد که رفتار واگرایی خاک‌های مارنی متأثر از اثر توأمان ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی است. از نظر فیزیکی، مارن‌های مورد مطالعه دارای بافت سیلتی و سیلتی-لوم هستند که حدود اندیس پلاستیسیته آن‌ها نیز موید این موضوع است که این نوع خاک‌ها عمدتاً متمایل به سیلتی بودن تا کمی رسی بودن دارند و لذا، رفتار واگرایی این نوع خاک‌ها با عنایت به نظر Rahimi (۲۰۰۰)، می‌تواند بیشتر در اثر پدیده‌های مکانیکی باشد. اما در خاک‌های رسی، این پدیده در اثر تغییرات فیزیکی-شیمیایی خاک اتفاق می‌افتد.

بر اساس نتایج، در چهار روش ذکر شده، تفاوت



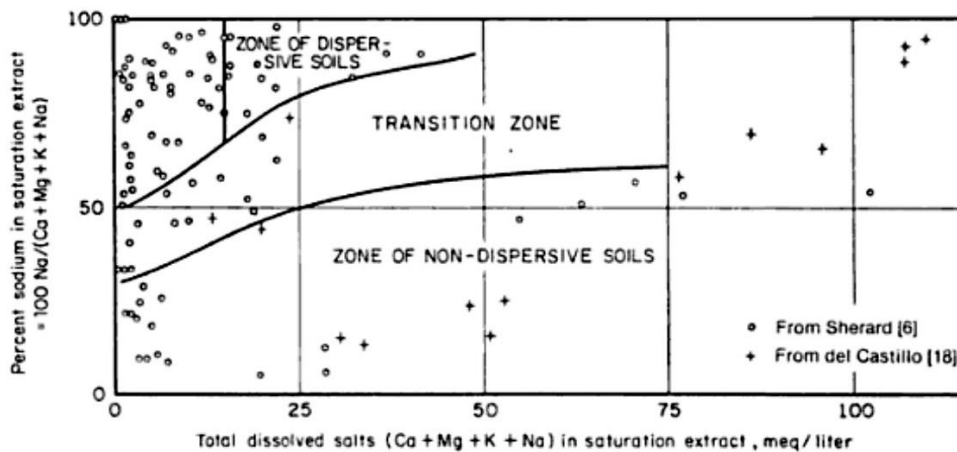
شکل ۵- نمودار کاساگراند بر اساس دو معیار حد روانی و حد خمیری

**مقایسه واگرایی بین اشکال مختلف فرسایش:**

تجربیات مختلف جهانی نشان داده که بین نتایج آزمون‌های شناسایی واگرایی خاک و واقعیت‌های به‌وقوع پیوسته هم‌خوانی دقیق و مشخصی وجود ندارد که دلیل آن اندرکنش عوامل متعدد شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی خاک‌ها و تأثیر جمعی عوامل بر روی خصوصیت واگرایی خاک و پدیده‌های پایپینگ اتفاق افتاده در مصالح عمرانی است. در شکل ۶، محدوده شیمیایی برای تعیین خاک‌های مستعد پایپینگ نشان داده شده است که مبتنی بر خاک‌های غیر واگرا (فاقد خطر پایپینگ)، واگرا (با خطر بالای پایپینگ) و حد واسط (با خطر متوسط پایپینگ) نشان داده شده است. در این نمودار، داده‌های ترکیب یونی سدهای خاکی که دچار پدیده پایپینگ شده‌اند نیز ارائه شده

است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تعداد زیادی از خسارات پایپینگ سدهای خاکی در محدوده خاک-های مصون از واگرایی قرار گرفته‌اند. همین مورد هم در مورد مارن‌های منطقه مورد مطالعه در این تحقیق دیده شده است. مثال بارز آن آبرفت‌های مارنی پلیوسن جنوب ورامین است که در صحرا به شدت خندقی و تونلی هستند، ولی در آزمایشات واگرایی جزء خاک‌های غیر واگرا ارزیابی شده‌اند. پس، می‌توان چنین نتیجه گرفت که پراکنش خاک یک خصوصیت درونی و ذاتی صرف نیست، بلکه ترجیحاً شرایطی است که به‌وسیله محتوای آب و نوع واکنش الکترولیت‌ها در آب بین روزنه‌ای کنترل می‌شود. نوع رس و درجه فعالیت آن نیز بر این پدیده موثر است.



شکل ۶- ترکیب یونی خاک سدهای خاکی با مشکل پایپینگ در مقایسه با محدوده‌های نمودار شرارد (Decker و Sherard, ۱۹۷۷)

خندقی و تونلی در این اراضی می‌شود. در ضمن، نتایج این تحقیق با نتایج Faulkner (۲۰۱۲)، انطباق خوبی نشان می‌دهد.

با توجه به بررسی انجام شده در این تحقیق، مشخص شد که تشخیص واگرایی خاک مارنی به کمک آزمایش‌های انجام شده، شرط لازم و کافی برای ظهور شکل فرسایش خندقی و تونلی نیست و به عکس، نیز صادق است. بر اساس نتایج آزمایشگاهی، نمونه‌های فاقد واگرایی، در شرایط بررسی صحرائی دارای فرسایش خندقی و تونلی بوده‌اند. با توجه به جمع‌بندی‌ها و نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، می‌توان چنین اظهار کرد که ماهیت واگرایی خاک به نتیجه تلفیقی چند روش مختلف معیار شیمیایی و فیزیکی با هم و با قضاوت مهندسی و بررسی شواهد میدانی این نوع خاک‌ها بستگی دارد.

با تکیه بر داده‌های فیزیکی نمونه‌ها (آزمایش هیدرومتری مضاعف و پین‌هول) دامنه‌های مارنی با فرسایش خندقی و آبراهه‌ای و حتی سطحی، استعداد واگرایی را نشان می‌دهند و در حضور آب، این خاک‌ها انسجام خود را از دست داده و به شدت فرسایش می‌یابند. بین اشکال مختلف فرسایش، شکل آبراهه‌ای مستعدترین شکل فرسایش در ارتباط با واگرایی خاک تشخیص داده شد. در خاتمه، می‌توان چنین نتیجه گرفت که خاک‌های مارنی تحت تأثیر عوامل فیزیکی و شیمیایی استعداد واگرایی را دارند، حتی اگر در زمان نمونه‌برداری اشکال فرسایش سطحی و یا شیاری را نشان دهند. به بیان دیگر، در این خاک‌ها به شرط فراهم شدن سایر شرایط لازم، امکان توسعه فرسایش سطحی و شیاری به خندقی و تونلی و یا آبراهه‌ای را دارند و واگرا بودن خاک سبب توسعه شکل فرسایش

#### منابع مورد استفاده

1. Abbasi, N. 2011. The Role of anions in the dispersion potential of clayey. Journal of Agricultural Engineering research, 12(3/2011): 15-30 (in Persian).
2. ASTM, D 6572-00. 2000. Standard test method for determining dispersive characteristics of clayey soils by the crumb test. ASTM International, Pennsylvaniae 2, 15-20.
3. ASTM, D 4647-87. 1987. Standard test method for identification and classification of dispersive clay soils by the Pinhole Test. ASTM Designation: D 464-87.
4. ASTM, D 4221. 1999. Standard test method for dispersive characteristics of clay soil by double hydrometer. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08.
5. Bazargan, J. and D. Esmaeeli. 2010. Evaluation and improve of chemical criteria for identification dispersion potential of clayey soils. Engineering Geology Journal, 4: 12-27 (in Persian).
6. Bell, F.G., C.A. Jermy and B. Mortimer. 1991. Dispersive soils: a brief review and some South African experiences. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, December 9-13, Thailand.
7. Bolzon, G. 2010. Collapse mechanisms at the foundation interface of geometrically similar concrete gravity dams. Engineering Structures, 32: 1304 – 1311.
8. Craft, D. and R.G. Acciardi. 1984. Failure of pore water pressure analyses for dispersion. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 110(4): 459-472.
9. Faulkner, H. 2012. Badlands in marl lithologies: a field guide to soil dispersion, subsurface erosion and piping-origin gullies. Catena, 01787, 12 Pages.
10. Ingles, O.G. and G.D. Aitchison. 1969. Soil-water disequilibrium as a cause of subsidence in natural soils and earth embankments. International Symposium on Land Subsidence, 89(2): 342-353.
11. Khamechian, M. and H.R., Soluki. 1999. Recognition methods of dispersion soils, 3rd Geological Association of Iran, Shiraz, (In Persian)
12. Knodel, P.C. 1991. Characteristic and problems of dispersive clay soils. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver Office, R-91-09.
13. Majidi, A., Gh. Lashgaripour and Z. Shoaee. 2016. Prediction of swelling potential of marl soils of Salt Lake Watershed. Journal of Watershed Engineering and Management, 9(3): 292-307 (in Persian).
14. Mozaffari, A., A. Ghanbari and E. Asghari Koljahi. 2012. Plastic characteristics for identification of dispersion potential of soils. 2nd Geotechnic Conference of Iran, Kermanshah (in Persian).
15. Peyrowan, H.R., and T. Asadi. 2005. Overview of physical and chemical characteristics effects on various erosion shapes in marls. 9th Soil Sciences Congress of Iran, Karaj, pp: 560-562 (in Persian).
16. Peyrowan, H.R., J. Ghayoumian, A. Ardekani and R. Kazemi. 2012. Classification and identification erosion indices of marls in Tehran Province. Research Report of Soil Conservation and Watershed



- Management Research Institute, 143 pages (in Persian).
17. Rezaee, M., M. Ghafori, R. Ajalloueyan and M. Safavian. 2013. Geotechnical problems of problematic soils for irrigation canals constructions. *Irrigation and Water Engineering Journal*, 3(12): 22-36 (in Persian).
  18. Rahimi, H. and M. Delfi. 1993. New chemical method for evaluation of soil dispersivity. 2nd International Seminar on Soil Mechanics and Foundation Engineering of Iran, 199-218 (in Persian).
  19. Rahimi, H. 2000. Limitation of irrigation canal construction on problematic soils. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, Workshop on Limitation and Approaches of Irrigation Canals Construction, Report No. 39, Tehran, Iran (in Persian).
  20. Sherard, J.L., L.P. Dunnigan and R.S. Decker. 1976. Identification and natures of dispersive soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 102(4): 287-301.
  21. Sherard, J.L. and R.S. Decker. 1977. Dispersive clays, related piping and erosion in geotechnical projects. American Society for Testing and Material (ASTM).
  22. Umesh, T.S., S.V. Dinesh and P.V. Sivapullaiah. 2011. Characterization of dispersive soils. *Material Science and Applications*, 2: 629-633.

## Study of various methods performance for dispersivity rate detection of Miocene and Pliocene marl sediments in various erosion types of south of Hasanabad and Varamin areas

Hamidreza Peyrowan<sup>\*1</sup>, Mohammad Karimi Khaledi<sup>2</sup>, Ziaeddin Shoae<sup>3</sup> and Ramin Sarikhani<sup>4</sup>  
<sup>1 and 3</sup> Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, <sup>2</sup> MSc, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran and <sup>4</sup> Assistan Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Lorestan University, Lorestan, Iran

Received: 07 August 2016

Accepted: 04 February 2017

### Abstract

In this study, marls of south of Hassan Abad and Varamin in Tehran Province, including the marls of Upper Red Formation unit M<sub>3</sub> and Pliocene marls of unit Plm in slopes of five, 20 and 40 percent were evaluated in terms of shape and intensity of erosion, physical, chemical, engineering and dispersion features. Accordingly, 20 samples were taken from mentioned marl formations. To achieve predetermined goals, granulometry, Atterberg limits, chemical analysis such as cations and anions, SAR, TDS, EC and double hydrometry and pinhole were tested. Results of double hydrometry tests on 18 samples indicated that only three have low dispersion degree which are related to marls of unit M<sub>3</sub> in undisturbed samples of station 1 with the form of gully erosion, station 2 with 40% slope and surface erosion and station 5 with 5% slope and channel erosion. According to the pinhole test, from 17 samples, 12 samples were classified as non-dispersive and five samples as low to moderate dispersive classes. In this test, the majority of the samples with channel erosion and some samples with gully erosion showed low to moderate dispersion rate. Other erosion forms such as surface and rill erosion showed non-dispersive behavior. Based on chemical properties of the Total Dissolved Solids (TDS) and Sodium Percentage (PS), in Casagrande chemical graph, the majority of samples are classified as dispersive soil, one sample with surface erosion in the boundary of dispersion and one sample with rill erosion as dispersive with the probability of 50%. In modified Sherard chemical method, all samples are classified as non-dispersive soils. These results have no conformity with other physical and chemical methods so this classification is not acceptable. African chemical method showed better results compared to other chemical methods. In this method, half of the samples were classified as dispersive and the other half as non-dispersive. According to chemical and physical standards, dispersion phenomenon has been seen in all forms of surface, rill, gully and channel erosion. It has been concluded that marl soils are potentially dispersive under the influence of chemical and physical factors, even if they show surface and rill erosion forms, at the time of sampling. In other words, if the necessary conditions such as slope steepness and runoff concentration occur in these soils, surface and rill erosion forms can be developed to dispersive forms such as channel and gully erosion types.

**Keywords:** African chemical method, Double hydrometer, Modified Sherard chemical method, Pinhole, Sherard chemical method

\* Corresponding author: hrpeyrowan@yahoo.com