

و فرسایش سطحی شدید (۳) به علت ارتباط این دو گروه در متغیرهای  $HCO_3$ ,  $TNV$ ,  $OC$  می باشد از طرفی بالا بودن سطح فرسایش در فرسایش آبراهه‌ای (۲) به علت عدم ارتباط با متغیرهای ۱ و ۳ و بالا بودن متغیر انحصاری  $CaSO_4$  و  $SO_4$  می باشد. همچنین حدود آتربرگ با متغیرهای کنترل کننده فرسایش دارای همبستگی مثبت می باشد. پس با استفاده از این روش، با دقت و صرف زمان کمتری می توان تاثیرگذارترین متغیرها در ایجاد اشکال فرسایشی مختلف تعیین کرد.

واژه‌های کلیدی: فرسایش، مارن، متغیرهای شیمیایی، آنالیز تفکیکی، SPSS

#### مقدمه:

فرسایش خاک به علت اثرات شدید و معکوس اقتصادی و زیست محیطی، یک معضل جهانی بوده است لال [۱۳] و تهدید جدی برای پایداری استفاده از اراضی و توسعه منابع آب محسوب می شود پی متال [۲۳]؛ کولینز و والینگ [۳]. مسئله فرسایش خاک در کشورهای درحال توسعه به علت نرخ بالای رشد جمعیت، فشار به اراضی حساس به فرسایش و محدود بودن منابع آب موجود حادث تر است کولینز و والینگ [۳]. میزان فرسایش در مناطق نیمه خشک، مدیترانه‌ای و گرمسیری بیشتر از مناطق دیگر است مورگان [۱۶]. با توجه به اینکه ایران در منطقه خشک قرار دارد، نهمین کشور در جنوب آسیا است که زمین‌های طبیعی و کشاورزی آن تحت تاثیر فرسایش زیاد قرار می گیرد وهابی و نیکامی [۲۴]. در این میان مارن‌ها به عنوان واحدهای زمین شناسی حساس به فرسایش نقش زیادی در تولید رسوبات بر عهده دارند. رسوبدهی این واحدهای سنگی اثرات نامطلوبی بر روی زمین‌های کشاورزی ایجاد می کند، بدین صورت که در محل باعث شسته شدن رسوبات، کاهش مواد غذایی و آلی و در خارج محل، باعث رسوبدهی در مناطق پایین دست آبراهه‌ها و انتقال رسوب از یک بخش به بخش دیگر می شوند اکوو [۸].

فرسایش پذیری خاک تابعی از توانایی خاک دانه‌ای شدن<sup>۱</sup> خاک می باشد. که نتیجه‌ی تاثیر ویژگی ها مختلف خاک می باشد دوکر و همکاران [۶]؛ دسکرویکس و همکاران [۵]؛ ادوو [۱۱].

قدیمی عروس محله و همکاران [۹]، با بررسی ویژگی های

شناسایی عوامل شیمیایی تاثیرگذار بر مقاومت خاک با استفاده از آنالیز تفکیکی به روش قدم به قدم (مطالعه موردی مارن‌های حوزه آبخیز سرخه)

مجید پورکرمان<sup>۱</sup>، امیرحسین چرخابی<sup>۲</sup>، حسین مصدق<sup>۳</sup>، حمیدرضا پیروان<sup>۴</sup>،

آیدا طالبی<sup>۵</sup>

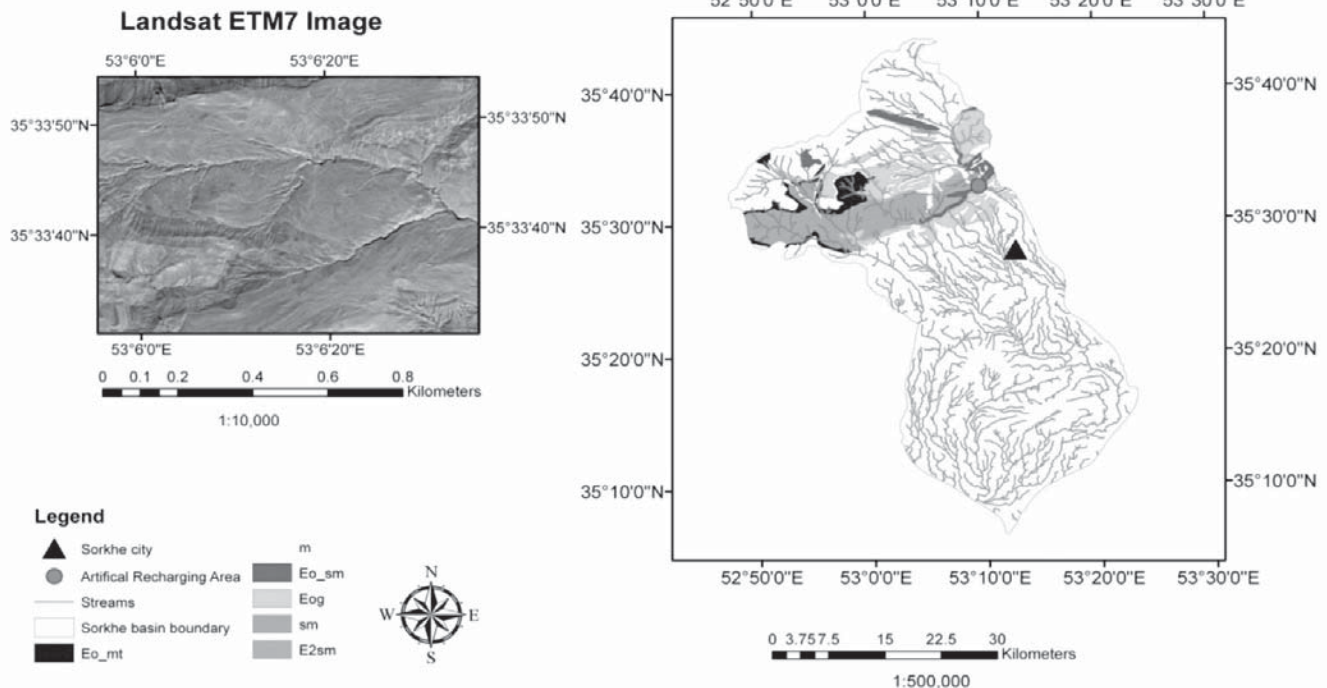
تاریخ دریافت: ۹۰/۰۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۰/۰۹/۱۳

#### چکیده:

مارن‌ها بدلیل داشتن املاح بالا، حساسیت بالایی را نسبت به فرسایش از خود نشان می دهند. این واحدها همه ساله رسوب زیادی از طریق شبکه‌ی آب شناختی وارد پروژه تغذیه مصنوعی سرخه می نمایند. پس، شناسایی متغیرهای شیمیایی در کاهش و یا افزایش حساسیت مارن‌ها به منظور کاهش خسارات، امری ضروری بنظر می آید. روش‌های آماری مورد استفاده برای شناسایی متغیرهای تاثیرگذار شیمیایی بر روی فرسایش، بر پایه مقایسه میانگین و یا استفاده از ماتریس همبستگی صورت می پذیرد. بدلیل زیاد بودن متغیرها، جداول ایجاد شده بسیار بزرگ و پیچیده می باشد، بنابراین امکان تعیین متغیرهای اصلی، شدت عملکرد آنها و همچنین شناسایی ارتباط بین گروه‌های فرسایشی با دقت بالا، امکان ندارد. هدف از این مطالعه، شناسایی متغیرهای اصلی شیمیایی روی کنترل فرسایش با استفاده از روش تحلیل تفکیکی (Stepwise SW) همچنین بررسی ارتباط بین گروه‌های مختلف فرسایش به منظور شناسایی متغیرهای مشترک و مستقل هر گروه و تعیین متغیرهای کنترل کننده و افزاینده فرسایش در محیط SPSS می باشد نتایج نشان داد که پایین بودن سطح فرسایش در گروه‌های فرسایش سطحی کم تا متوسط (۱)

- ۱- نویسنده مسئول- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی- رسوب‌شناسی دانشگاه تربیت معلم تهران Pourkerman@hotmail.com
- ۲- دانشیار و عضو هیئت علمی و رئیس بخش تحقیقات حفاظت خاک- مسئول گروه زیست محیطی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
- ۳- دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه دامغان
- ۴- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، معاون بخش تحقیقات حفاظت خاک، عضو کمیته علمی- فنی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
- ۵- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی- رسوب‌شناسی دانشگاه تربیت معلم تهران

## Sorkhe Basin



شکل شماره ۱) تصویر چپ شمایی کلی از حوزه مورد مطالعه با موقعیت مارن‌ها و در سمت راست تصویر بروز رسانی شده ماهواره لندست در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰

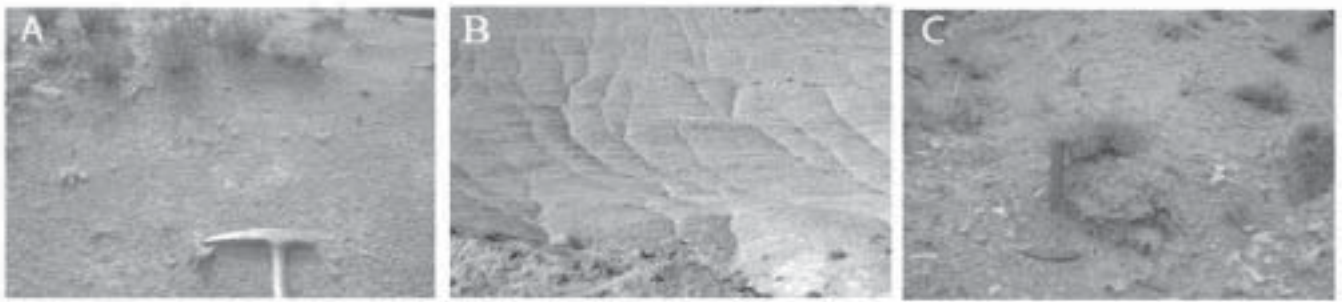
خالص و بالا رفتن pH تا ۱۰/۵ کانی ایترنجیت<sup>۱</sup> تولید می‌شود که بشدت از مقاومت خاک کم می‌کند.

خامه‌چیان [۱۲] با انجام آزمایشاتی چون تعیین حدود آتربرگ، درصد رطوبت، چگالی خشک، مقاومت تک‌محوری، درصد رطوبت، چسبندگی و... روی نمونه‌هایی از مارن‌ها، نتیجه‌گیری نمود که با افزایش کربنات کلسیم میزان حساسیت مارن‌ها در برابر آب کاهش می‌یابد و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن از نظر مهندسی بهبود می‌یابد. مواد آراگانیکی باعث کم شدن بار منفی سطحی کانی‌های رسی می‌شود و تمایل کانی‌های رسی را برای جذب کاتیون جهت خشتی کردن بار سطحی کم می‌کند و باعث افزایش تراکم خاک می‌شود در نتیجه مقاومت خاک بالا می‌رود (زانگ و همکاران [۲۵]). این پدیده باعث کاهش رواناب و افزایش نفوذپذیری می‌شود (اکوو و همکاران [۷]).

از این رو شناسایی و بررسی سطح تاثیر متغیرهای شیمیایی بر روی افزایش و یا کاهش مقاومت خاک امری ضروری می‌باشد. لذا، هدف استفاده از تحلیل تفکیکی به روش قدم‌به‌قدم به منظور پیشگویی متغیرهای شیمیایی تاثیرگذار در بوجود آمدن اشکال مختلف فرسایشی (سطحی کم تا متوسط، گروه ۱ و آبراه‌ای، گروه ۲ و سطحی شدید، گروه ۳) مارن‌های حوزه سرخه، و ایجاد رابطه بین گروه‌های مختلف فرسایشی برای شناسایی متغیرهای شیمیایی تشدیدکننده و کاهنده فرسایش می‌باشد.

فیزیکوشیمیایی مارن‌ها در اشکال فرسایشی ایجاد شده دریافتند که فرسایش ورقه‌ای در مارن‌های غیر پخش شونده و فرسایش شیاری و خندقی در مارن‌های پخش شونده شایع است. از جمله عوامل موثر در این پدیده کاتیون‌های یک ظرفیتی به ویژه سدیم می‌باشد که تاثیر بیشتری در آماس خاک‌های رسی و پخش شوندگی این خاک‌ها دارد و با افزایش پخش شوندگی حساسیت مارن‌ها به فرسایش بیشتر می‌شود (بنیتو و همکاران [۱]؛ بوما و همکاران [۲]) زیرا سدیم دارای انرژی آنتالپی هیدراته بالا (۴۰۵- کیلوژول بر مول) و شعاع هیدراته یونی بزرگ (۱/۰۲ انگستروم) می‌باشد می‌تواند به طور مستقیم وارد شکاف هگزاگونال کانی‌های رسی شود و همراه خود دو یا سه لایه آب وارد می‌کند (میونر [۱۴]). از آنجایی که سدیم با SAR رابطه مستقیم دارد، بنابراین با افزایش SAR این پدیده افزایش می‌یابد. بالا بودن نرخ Na و Cl می‌تواند تولید سدیم کلرید نماید که یک نمک با قابلیت انحلالی بالا می‌باشد. رشد این بلورها باعث تخریب ساختار خاک می‌شود و در اثر انحلال آن مقاومت خاک بشدت کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش‌ها موهامد [۱۵] و اوحدی و یانگ [۱۹] نشان داد که در مارن‌هایی که دارای کانی رسی پالی‌گورسیت می‌باشند در اثر خارج شدن آلومینیوم در شرایط pH بالا و واکنش آن با سولفات و کربنات کسیم در آب

1- Ettringite



شکل شماره ۲) تصویر (A) فرسایش سطحی کم تا متوسط، (B) فرسایش آبراهه‌ای (C) فرسایش سطحی شدید

## مواد روش‌ها:

### ۱- منطقه مورد مطالعه:

حوزه‌ی آبریز سرخه، در شمال غرب شهرستان سمنان در طول جغرافیای  $۴۸^{\circ} ۵۲'$  تا  $۲۴^{\circ} ۵۳'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $۴۰^{\circ} ۳۵'$  و  $۴۶^{\circ} ۳۵'$  شمالی واقع شده است (شکل ۱).

مساحت آن  $۲۵۰۲۲۸$  هکتار می‌باشد. متوسط بارندگی  $۱۸۰$  میلی‌متر در سال است. شارژ آب‌های سطحی در این حوضه از مناطق مرتفع که دارای واحدهای سنگ‌شناسی مارنی است صورت می‌گیرد. و میزان زیادی رسوب به پروژۀ تغذیه مصنوعی سرخه وارد می‌کنند. منطقه دارای آب و هوای سرد و خشک است و بارندگی، بصورت ناگهانی و با شدت بالا در مدت زمان کم صورت می‌گیرد. مارن‌های این منطقه به طور عمده از مارن با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ ( $E_{2sm}$ )، مارن با لزهایی از گچ ( $E_{og}$ )، مارن‌های گچی ( $m$ )، مارن بالای‌های نازکی از ماسه‌سنگ‌های درشت دانه ( $EO_{ms}$ )، مارن‌های ماسه‌ای ( $Sm$ ) تشکیل شده‌اند. طبقه‌بندی فوق بر اساس نقشه زمین‌شناسی  $۱:۲۵۰۰۰۰$  استان سمنان صورت گرفته است.

برای انتخاب واحدهای مارنی جهت نمونه برداری از تصاویر ماهواره‌ای Landsat ETM<sup>+</sup>۷ بروز رسانی شده با قدرت تفکیک تقویت شده استفاده شد. با استفاده از این تصاویر، مقاومت واحدهای مارنی بر اساس اشکال فرسایشی تعیین شد؛ همچنین ارتباط آبنودی این واحدها با پروژۀ تغذیه مصنوعی سرخه با استفاده از نرم‌افزار ArcHydro مشخص شد. بنابراین واحدهای  $E_{2ms}$ ،  $M$  و  $E_{og}$  که بیشترین حساسیت را در برابر فرسایش نشان داده‌اند و نزدیک‌ترین ارتباط را با سازه موردنظر دارند، برای این مطالعه انتخاب شده‌اند.

### ۲- روش تحلیل شیمیایی و نمونه‌برداری:

برای بدست آوردن درصد کربن آلی (OC) از روش والکلی- بلاک<sup>۱</sup> استفاده شده است (نلسون و سامر [۱۷]). کربنات و بی‌کربنات با استفاده از روش برنارد کلسیمیتری<sup>۲</sup>؛ pH در محلول آبی  $۱M$  KCl (پیچ [۲۱]). ظرفیت تبدیلی کاتیون با استفاده از روش باور

و ویلکوکس<sup>۳</sup> محاسبه شده است. همچنین، کاتیون‌های قابل حل و تبدیلی ( $Ca^{2+}$ ،  $K^{+}$ ،  $Na^{+}$ ،  $Mg^{2+}$ )، گچ، نسبت جذب سدیم (SAR) با روش استاندارد محاسبه شده‌اند (پیچ [۲۰]). TNV<sup>۴</sup> با استفاده از روش تیتراسیون محاسبه گردید.

تعداد ۲۳ نمونه از سه واحد ساختار سنگی مارنی ( $E_{2ms}$ ،  $E_{og}$ )،  $M$ ) و سه شکل فرسایشی (سطحی کم تا متوسط - شیاری - سطحی شدید) غالب در این واحدها برداشت گردید (شکل ۲). ۱۳ نمونه برای اشکال سطحی (S) از عمق  $۰ - ۱۵$  سانتی‌متری، ۸ نمونه شیاری (R)  $۰ - ۳۰$  سانتی‌متری و در نهایت ۲ نمونه برای فرسایش سطحی شدید (H-S) از عمق  $۰ - ۱۵$  سانتی‌متر برداشت شد.

## نتایج:

### ۱- تجزیه و تحلیل آماری

#### ۱-۱- تحلیل خوشه‌ای:

برای طبقه‌بندی نمونه‌های خاک با توجه به ویژگی‌های شیمیایی از آنالیز خوشه‌ای استفاده گردید (دویس جان [۴]). طبقه‌بندی با استفاده از آنالیز خوشه‌ای بر اساس محاسبه اندازه تشابه بین مشاهدات تحت بررسی می‌باشد. در این پژوهش اندازه‌گیری فاصله، مبنای طبقه‌بندی قرار گرفته است. از عمومی‌ترین معیار به کار رفته که همان فاصله اقلیدسی است استفاده شده است (پیروان و همکاران [۲۲]). بر این اساس میزان تشابه آنیون- کاتیون، بعضی از داده‌ها به هم پیوند می‌خورند و در کنار یکدیگر جای می‌گیرند.

با توجه به اینکه آیا روش نمونه‌برداری صحیح است یا خیر، و یا به عبارت دیگر آیا اساس (اشکال فرسایش) نمونه‌برداری با توجه به آنیون- کاتیون‌ها درست است یا خیر؟ از تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی استفاده شده است. برای انباشتگی (نسبت دادن) مشاهدات در خوشه‌های مختلف از روش وارد<sup>۵</sup> استفاده گردید. نتایج خوشه‌بندی را در شکل ۳ مشاهده می‌نمایید.

همانطوری که مشاهده می‌شود نمونه‌ها در سه گروه و مشابه با گروه‌بندی صحرایی در هنگام نمونه‌برداری می‌باشد. بعد از اطمینان

3- Bower & Wilcox

4- Total Neutralizing Value

5- Ward

1- Walkley- Black

2- Bernard's calcimetric

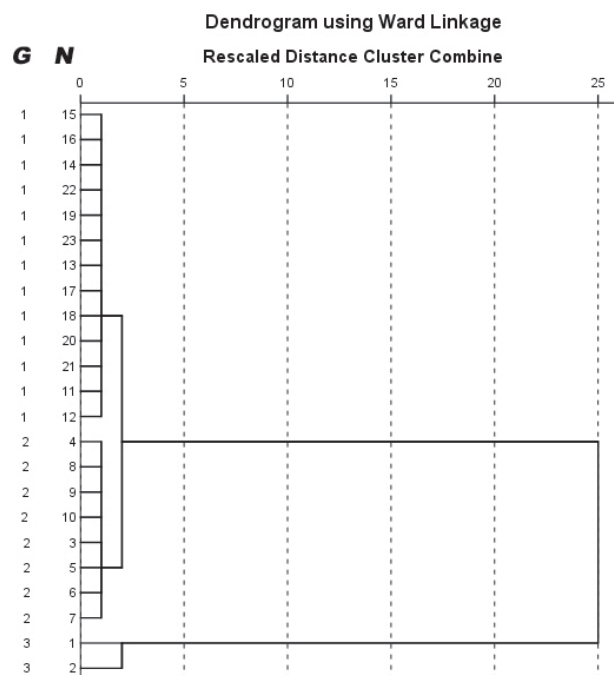
جدول ۱) جدول زیر نشان‌دهنده متغیرهایی است که در آزمون مورد استفاده قرار نگرفته است

مرحله	تحمل پذیری	حداقل تحمل پذیری	متغیرهای ورودی	ویلکس لامدا
۳	EC	۱/۰۰۰	۲۸۰/۶۳۲	۰/۰۳۴
	pH	۱/۰۰۰	۶/۲۳۶	۰/۶۱۶
	HCO <sub>۳</sub>	۱/۰۰۰	۰/۵۴۲	۰/۹۴۹
	Cl	۱/۰۰۰	۳۷۳/۶۵۱	۰/۰۲۶
	SO <sub>۴</sub>	۱/۰۰۰	۸/۵۹۰	۰/۵۳۸
	Ca	۱/۰۰۰	۲/۱۸۱	۰/۸۲۱
	Mg	۱/۰۰۰	۰/۰۱۵	۰/۹۹۸
	Na	۱/۰۰۰	۷۵/۲۰۵	۰/۱۱۷
	K	۱/۰۰۰	۷/۲۶۶	۰/۵۷۹
	TNV	۱/۰۰۰	۱۵/۸۸۹	۰/۳۸۶
	OC	۱/۰۰۰	۱/۷۳۰	۰/۸۵۲
	CaSO <sub>۴</sub>	۱/۰۰۰	۷/۴۸۴	۰/۵۷۲
	SAR	۱/۰۰۰	۴۱/۰۱۵	۰/۱۹۶
۴	EC	۰/۶۶۳	۲/۰۳۴	۰/۰۰۲
	pH	۰/۸۲۱	۰/۱۲۸	۰/۰۰۲
	HCO <sub>۳</sub>	۰/۸۱۵	۰/۶۶۲	۰/۰۰۲
	SO <sub>۴</sub>	۰/۳۸۸	۰/۸۶۶	۰/۰۰۲
	Ca	۰/۲۰۴	۰/۴۰۷	۰/۰۰۲
	Mg	۰/۶۸۵	۳/۱۲۲	۰/۰۰۱
	K	۰/۶۲۸	۱/۲۹۵	۰/۰۰۲
	OC	۰/۸۴۵	۰/۰۹۲	۰/۰۰۲
CaSO <sub>۴</sub>	۰/۸۲۶	۲/۰۵۵	۰/۰۰۲	

پیشگویی در ستون متغیرهای ورودی<sup>۴</sup> اعدادی که از ۳/۸۴ (به صورت قراردادی) بیشتر شود وارد مدل می‌شود و اعدادی که از این ارزش پایین‌تر باشد از مدل حذف می‌شود و دیگر در مدل مورد استفاده قرار نمی‌گیرند (جدول ۱)، و هنگامی که فاصله عددی در این ستون به کمترین حد رسید نشان‌دهنده آن است متغیرها توان تفکیک واحدهای مورد مطالعه را نداشته و انتخاب متغیرها متوقف می‌شود. بنابراین متغیرها انتخاب شده در این مرحله باید بیشترین توان تفکیکی اشکال واحدهای مطالعاتی را داشته باشند.

در این مدل در هر مرحله بزرگترین عدد در بین متغیرها انتخاب شده و از دیگر متغیرها جدا می‌شود. در مرحله اول Cl<sup>-</sup> با بیشترین فراوانی انتخاب شده و در مرحله چهارم Na<sup>+</sup> انتخاب شده است (جدول ۲). این عمل تا زمانی که فاصله بین متغیرها نزدیک شود ادامه می‌یابد. تحمل‌پذیری<sup>۵</sup> تناسب واریانس یک متغیر است

4- F to Enter  
5- Tolerance



شکل شماره ۳) دسته‌بندی متغیرهای شیمیایی در گروه‌های مختلف فرسایشی بر اساس تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی به روش وارد (G گروه‌های فرسایشی و N شماره نمونه‌ها)

از دسته‌بندی داده‌ها در مرحله بعد برای پیشگویی متغیرهای تاثیرگذار و ایجاد رابطه بین گروه‌ها از تحلیل تفکیکی استفاده می‌شود.

#### ۱-۲- تحلیل تفکیکی:

تحلیل تفکیکی یک مدل پیشگوکننده برای اعضای یک گروه ایجاد می‌کند. مدل شامل یک عملکرد توصیفی بر پایه ترکیبات متغیرهای پیشگو کننده می‌باشد، که یک توصیف قابل قبولی بین گروه‌ها ایجاد می‌کند. این تابع برای اندازه‌گیری موردهایی که قابل اندازه‌گیری هستند و قابلیت پیشگویی را دارند، اما رابطه بین گروه‌ها ناشناخته است، کاربرد دارد (هوبرتی [۱۰]).

در این روش، بصورت خودکار دو تابع انتخاب می‌شود. در تابع اول مدل، متغیرهای هر گروه که دارای تاثیر زیادی بر روی گروه‌های مطالعاتی دارند جدا می‌کند. در تابع دوم متغیرهای انتخابی توسط مدل دارای هردو خاصیت عدم تشابه با متغیرهای تابع اول و در صورت امکان متغیرهای انتخابی باید تاثیر زیادی بر روی گروه‌های مطالعاتی داشته باشد.

#### ۱-۲-۱- روش قدم به قدم:

هنگامی که تعداد داده‌های پیشگو کننده زیاد باشد روش قدم به قدم می‌تواند بهترین متغیرها را برای استفاده از این روش بصورت خودکار انتخاب نماید (نوروسیس [۱۸]). این روش بر پایه متد ویلکس لامدا<sup>۳</sup> می‌باشد. در هر مرحله از

1- Discriminant Analysis  
2- Stepwise method  
3- Wilks' Lambda

جدول ۲) متغیرهای شیمیایی استفاده شده در مدل

مرحله	تحميل پذیری	متغیرهای ورودی	ویلکس لامدا
۱	۱/۰۰۰	۳۷۳/۶۵۱	
	۰/۹۲۷	۳۷۶/۱۱۱	۰/۳۸۶
۲	۰/۹۲۷	۱۶/۵۲۱	۰/۰۲۶
	۰/۹۱۴	۶۶/۲۸۹	۰/۰۳۴
۳	۰/۳۶۷	۳۷/۹۷۷	۰/۰۲۱
	۰/۳۸۹	۱۱/۹۳۵	۰/۰۱۰
۴	۰/۱۶۶	۴۶/۴۸۷	۰/۰۱۳
	۰/۳۶۴	۳۲/۲۹۹	۰/۰۱۰
	۰/۰۱۰	۸/۴۱۲	۰/۰۰۴
	۰/۰۱۰	۸/۲۶۲	۰/۰۰۴

جدول ۳) ریشه‌های پنهان گروه‌های انتخابی توسط مدل

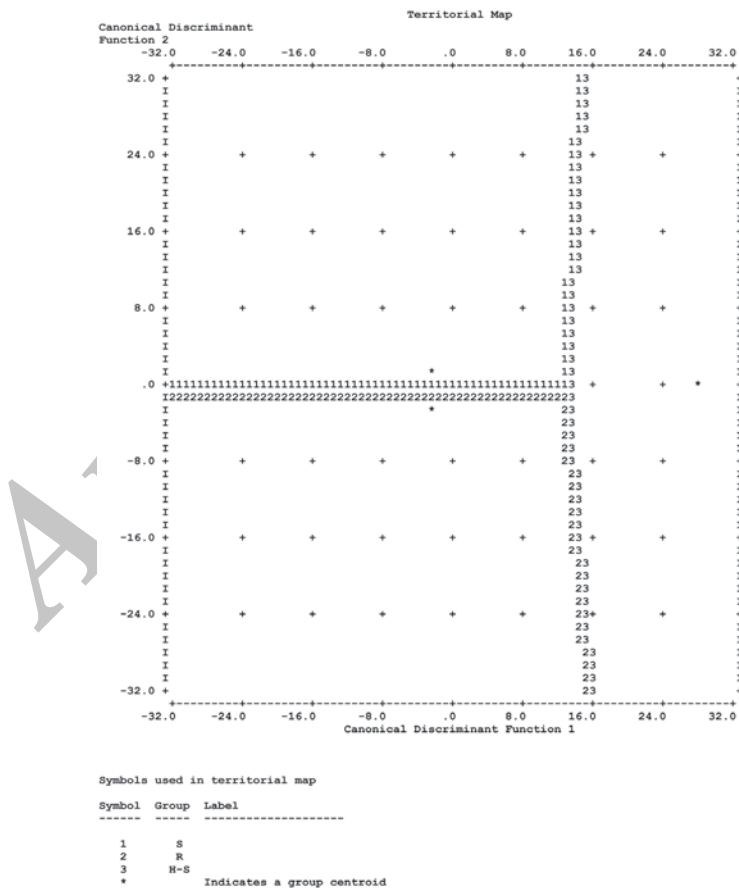
توابع	ریشه‌های پنهان همبستگی	درصد واریانس	درصد تجمعی	همبستگی مراکز
۱	۸۴/۶۵۳	۹۴/۸	۹۴/۸	۰/۹۹۴
۲	۴/۶۲۸	۵/۲	۱۰۰/۰	۰/۹۰۷

جدول ۴) آزمون ویلکس لامدا برای سطح معنادار بودن گروه‌های انتخابی

آزمون توابع	ویلکس لامدا	مربع کای	درجه آزادی	سطح معناداری
۱ تا ۲	۰/۰۰۲	۱۱۴/۲۹۴	۸	۰/۰۰۰
۲	۰/۱۷۸	۳۱/۹۶۳	۳	۰/۰۰۰

جدول ۵) ضرایب تابع تفکیکی کانونی استاندارد شده هر یک از متغیرهای پیشگویی شده

توابع	CI	Na	TNV	SAR
۱	۲/۲۰۱	-۶/۷۸۳	۰/۰۵۷	۷/۰۶۹
۲	۰/۵۹۹	-۲/۱۹۱	۱/۶۲۶	۰/۸۹۲



شکل ۴) نمودار نقشه قلمرو؛ نشان‌دهنده ارتباط بین گروه‌های مختلف فرسایشی با استفاده از جدول ماتریس ساختاری



جدول ۶) ضرایب متغیرهای استفاده شده در ماتریس ساختاری

Ca <sup>a</sup>	K <sup>a</sup>	OC <sup>a</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>a</sup>	TNV	CaSO <sub>4</sub> <sup>a</sup>	pH <sup>a</sup>	SAR	SO <sub>4</sub> <sup>a</sup>	Na	EC <sup>a</sup>	Mg <sup>a</sup>	Cl	توابع
۰/۰۰۴	-۰/۰۱۱	-۰/۰۸۴	-۰/۲۲۷	۰/۰۳۶	-۰/۱۷۷*	۰/۱۹۶*	۰/۲۲۰*	-۰/۲۹۴*	۰/۲۹۷*	۰/۳۴۵*	۰/۵۱۴*	۰/۶۶۴*	۱
-۰/۰۶۷*	-۰/۰۷۷*	۰/۱۳۱*	۰/۲۵۶*	۰/۵۶۶*	۰/۰۶۹	۰/۱۳۴	-۰/۰۵۴	-۰/۰۸۴	-۰/۰۹۶	۰/۰۵۳	-۰/۰۶۷	-۰/۱۳۸	۲

جدول ۷) میانگین حدود مهندسی در سه شکل فرسایشی مورد مطالعه

فرسایش										
آبراه‌های			سطحی شدید			سطحی				
حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل		
۰/۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰	۲۸/۸۰	۱۴/۴۰	۰/۰۰	۳۰/۴۶	۲۱/۲۰	۰/۰۰		LL
۰/۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰	۲۰/۰۶	۱۰/۰۳	۰/۰۰	۲۱/۲۲	۱۳/۱۱	۰/۰۰		PL

جدول ۸) رابطه همبستگی بین متغیرهای انتخابی مدل و متغیرهای اصلی کنترل کننده فرسایش استخراج شده

SO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>	Na	SAR	TNV	Cl		
-۰/۳۵۵	**۰/۷۹۱	۰/۰۷۶	۰/۱۳۱	۰**/۶۶۰	-۰/۰۲۷	Pearson Correlation	LL
۰/۰۹۶	۰/۰۰۰	۰/۷۳۰	۰/۵۵۱	۰/۰۰۱	۰/۹۰۱	سطح معناداری (2-tailed)	
۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	N	
*-۰/۴۱۶	**۰/۸۲۱	۰/۰۶۹	۰/۱۲۶	۰**/۴۷۰	-۰/۰۰۸	Pearson Correlation	PL
۰/۰۴۹	۰/۰۰۰	۰/۷۵۴	۰/۵۶۷	۰/۰۲۴	۰/۹۷۲	سطح معناداری (2-tailed)	
۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	N	

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

در جدول ۵ ضرایب تابع تفکیکی کانونی استاندارد شده هریک از متغیرهای پیشگویی شده در تابع معین شده است.

جدول ۶ نشان‌دهنده رابطه درون گروهی متغیرها، با تابع متمایز کننده کانونی می‌باشد، متغیرها بر اساس میزان رابطه‌ی قطعی مرتب شده‌اند (هرچه این اعداد بزرگتر باشد ارتباط قوی‌تری با توابع تفکیک شده دارند). مارک کردن بر اساس ایجاد رابطه قطعی هر متغیر با هر تابع تفکیک می‌باشد. در تابع اول Cl, Mg, EC, Na, SAR, pH, CaSO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub> فاکتور همسو با تابع می‌باشند، فاکتورهای SO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub> ناهمسو می‌باشند. در تابع دوم TNV, HCO<sub>3</sub>, OC, K, Ca عامل‌های همسو با تابع Ca عامل‌های ناهمسو هستند، همچنین این دو عامل ناهمسو با تابع ۲ دارای همبستگی بسیار ضعیفی هستند، زیرا نسبت به متغیرهای دیگر دارای ارزش پایین‌تری می‌باشد.

در نمودار نقشه قلمرو<sup>۳</sup> به بررسی ارتباط بین گروه‌ها و توابع تفکیکی پرداخته می‌شود. که در واقع این جدول با نتایج ماتریس ساختاری ترکیب می‌شود و یک تفسیر گرافیکی بوجود می‌آورد که

که در معادله، با دیگر متغیرهای وابسته وارد محاسبه نشده است. هرچه میزان تحمل‌پذیری کم باشد دارای تاثیر کمتری در مدل می‌باشد. متغیرهای خروجی برای درک تاثیر حذف یک متغیر در مدل جاری بسیار مفید می‌باشد، و تاثیر حذف متغیرهایی که در هر مرحله از متغیر ورودی انتخاب شده را مورد بررسی قرار می‌دهد. بر این اساس مدل دو تابع تفکیک را با توجه به فاکتورهای فوق بصورت خودکار انتخاب می‌کند. صحت طبقه بندی با استفاده از ریشه‌های پنهان همبستگی<sup>۲</sup> مورد آزمایش قرار می‌گیرد. جدول شماره ۳ نشان می‌دهد، از نظر واریانس تمامی پراکنش متغیرها در دو تابع تفکیکی انتخاب شده توسط مدل، قرار دارد.

جدول ۴ نشان‌دهنده سطح معنادار بودن توابع تفکیک انتخاب شده در مدل با استفاده از آزمون والک لاندای می‌باشد. معنادار بودن در این جدول نشان‌دهنده آن است که توابع تفکیکی انتخاب شده بطور کامل در مدل شرکت داده شده‌اند.

3- Territorial map

1- F to Remove

2- Eigenvalue

جدول ۹) آزمون واریانس ANOVA برای بررسی سطح معنادار بودن متغیرهای ورودی در مدل

سطح معناداری	F	مربع میانگین	درجه آزادی	مجموع مربعات		
۰/۰۰۰	۳۷۳/۶۵۱	۶۴۱۱/۴۲۷	۲	۱۲۶۲۲/۸۵۵	بین گروه	Cl
		۱۶/۸۹۱	۲۰	۳۳۷/۸۲۵	داخل گروه	
			۲۲	۱۲۹۶۰/۶۷۹	مجموع	
۰/۰۰۰	۷۵/۲۰۵	۱۳۵۵/۸۷۶	۲	۲۷۱۱/۷۵۲	بین گروه	Na
		۱۸/۰۲۹	۲۰	۳۶۰/۵۸۰	داخل گروه	
			۲۲	۳۰۷۲/۳۳۲	مجموع	
۰/۰۰۰	۱۵/۸۸۹	۵۱۵/۳۵۸	۲	۱۰۳۰/۷۱۷	بین گروه	TNV
		۳۲/۴۳۵	۲۰	۶۴۸/۷۰۱	داخل گروه	
			۲۲	۱۶۷۹/۴۱۸	مجموع	
۰/۰۰۰	۴۱/۰۱۵	۱۱۳/۴۵۰	۲	۲۲۶/۹۰۱	بین گروه	SAR
		۲/۷۶۶	۲۰	۵۵/۳۲۱	داخل گروه	
			۲۲	۲۸۲/۲۲۱	مجموع	

جدول ۱۰) میانگین متغیرهای شیمیایی در گروه‌های فرسایشی مختلف

SAR	CaSO <sub>۴</sub>	OC	TNV	K	Na	Mg	Ca	SO <sub>۴</sub>	Cl	HCO <sub>۳</sub>	pH	EC		
۰/۴۹	۱/۹۱۳	۰/۲۹۸۵	۲۲/۸۲	۰/۷۵۸	۱/۹۵۶	۲/۳۶۹	۲۹/۳۸	۲۸/۵۴	۳/۰۳۸	۲/۸۸۴	۸/۰	۲/۳۵۳	میانگین	۱
۰/۸۷	۵/۲۵۷	۰/۲۱۷۴	۸/۸۹	۰/۴۱۵	۳/۷۰۱	۲/۴۵۰	۳۲/۳۵	۳۰/۸۲	۵/۴۳۷	۲/۶۸۷	۷/۹	۲/۵۲۴	میانگین	۲
۱۱/۷۶	۲/۹۹۵	۰/۲۶۰۰	۲۳/۷۰	۱/۲۶۰	۴۱/۰۵۰	۲/۲۰۰	۲۶/۸۰	۱۸/۸۶	۸۷/۰۰	۲/۷۵۰	۸/۲	۶/۶۳۰	میانگین	۳

مشاهده می‌شود مراکز به طور کامل جدا از هم قرار گرفته‌اند.

#### ۲- ویژگی‌های فیزیکی:

در خاک‌های ریزدانه و چسبیده در حالت کلی دو حالت، حد روانی<sup>۱</sup> و حد پلاستیک<sup>۲</sup> وجود دارد که با بالا رفتن این حدود مقاومت خاک در برابر پراکندگی بیشتر می‌شود. این نمایه میزان نیاز به آب را برای رسیدن رسوبات به حد روانی اندازه‌گیری می‌نماید همچنین این نمایه برای کانی‌های رسی قابل انبساط بسیار حائز اهمیت می‌باشند. بدلیل آنکه در اثر جذب آب و تورم از نرخ نفوذپذیری کاسته و باعث افزایش رواناب و رسوبدهی بیشتر می‌شود.

#### ۱-۲- حد روانی:

بیشترین متوسط حد روانی مربوط به فرسایش سطحی با ۲۱/۲۰ درصد رطوبت وزنی سپس H-S با ۱۴/۴ درصد رطوبت وزنی و

ارتباط بین پیشگویی‌ها و گروه‌ها را نمایش می‌دهد.

تابع اول نمودار، روی محور عمودی نمایش داده می‌شود، که گروه ۳ (فرسایش سطحی شدید) را از سایر گروه‌ها جدا کرده است. در تابع دوم گروه ۱ (سطحی کم تا متوسط) دارای ارتباط مستقیم و قوی با گروه ۳ می‌باشد. بیشترین ارتباط با OC, TNV و HCO<sub>۳</sub> پس می‌توان نتیجه گرفت این سه فاکتور در این دو گروه ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند همچنین گروه ۲ (آبراهه‌ای) دارای ارتباط با گروه ۳ است. این ارتباط در فاکتورهای Cl, Mg, Na, SAR می‌باشد که نسبت به گروه ۱ در این دو گروه افزایش از خود نشان می‌دهند (جدول ۷).

تابع دوم جدول بر روی محور افقی قرار دارد که گروه ۱ و ۲ را به طور کامل از هم جدا کرده و هیچگونه ارتباطی بین این دو گروه وجود ندارد.

نقاط ستاره‌دار در واقع مرکز ثقل هر گروه می‌باشد. همانطوری که

1- LL  
2- PL

در نهایت کمترین حد روانی مربوط به R با ۰ می‌باشد.

## ۲-۲- حد پلاستیکی:

متوسط حد پلاستیکی برای اشکال فرسایش S, R H-S, برترتیب برابر با ۱۳/۱۱، ۰، ۱۰/۰۳ می‌باشد. همانطوری که مشاهده می‌شود در فرسایش آبراهه‌ای این میزان به کمترین حد خود یعنی صفر رسیده است.

با استفاده از حدود مهندسی ارتباط این متغیرها و متغیرهای تفکیک کننده گروه‌های فرسایشی با مقاومت مکانیکی خاک بررسی می‌شود.

## بحث:

اساس انتخاب متغیرهای اصلی در روش قدم‌بقدم بر پایه حذف تاثیرگذارترین متغیر در مراحل مختلف می‌باشد (جدول ۱). در نتیجه این عمل تاثیر این متغیرها بر روی محاسبات مراحل بعد نادیده گرفته می‌شود، این عمل در شناسایی متغیرهای بعدی بسیار مفید می‌باشد. متغیرهای ورودی در مدل باید دارای بیشترین قدرت تفکیک را در اشکال مختلف فرسایش داشته باشند متغیرهای پایه مورد استفاده در مدل را با استفاده از آزمون واریانس One-way ANOVA (جدول ۹) و جدول میانگین (جدول ۱۰) مورد بررسی قرار دادیم. نتایج بدست آمده نشان داد که متغیرهای استفاده شده در مدل دارای توان تفکیکی بالایی برای اشکال مختلف فرسایش می‌باشند. ویژگی دیگر طبقه بندی قدم‌بقدم شناسایی و اولویت بندی متغیرها، در ایجاد گروه‌های مختلف فرسایشی می‌باشد. برترتیب اولویت، Cl, TNV, SAR, Na بیشترین تاثیر را در این گروه‌ها دارند. از بررسی جدول ۶، این نتیجه حاصل می‌شود که در تابع اول عامل‌های همسو بیشترین فراوانی را در گروه ۳ و عامل‌های ناهمسو بیشترین فراوانی را در گروه ۲ دارند. با وجود بالا بودن TNV در گروه ۳ این متغیر عنوان عامل موثر در تابع ۱ معرفی نشده است؟ علت آن Cl است که به عنوان عامل اول توسط مدل انتخاب شده است که دارای ارزش عددی بالاتر می‌باشد (جدول ۱۰). در تابع دوم باید تاثیرگذارترین عامل که فاقد همبستگی با تابع اول باشد (TNV) انتخاب شود. که این عمل در بهترین نحو باعث مقایسه دو عامل با نقطه اثر عکس (متغیر افزاینده حساسیت در مقابل متغیر کاهشنده) در مدل شده است، که بهترین حالت مقایسه را ایجاد می‌کند. در تابع ۲ عامل‌های همسو بیشترین فراوانی را در گروه ۱ و ناهمسوها مربوط به گروه ۲ و ۳ می‌شوند (دارای ارتباط ضعیفی با تابع می‌باشد). بنابراین مدل بهترین تفکیک ممکنه را برای گروه‌های مختلف انجام داده و عامل‌های موثر را بدرستی پیشگویی کرده است.

## نتیجه گیری:

۱- در هر مرحله مدل SW با حذف متغیرهایی که بیشترین سطح تاثیر را دارند، این امکان را بوجود می‌آورد که تاثیر این متغیرها بر روی آزمون‌های آماری در مراحل بعدی محاسبه حذف شود و

متغیرهای بعدی تاثیرگذار با دقت بالا انتخاب شود.

۲- در مدل SW ملاک انتخاب داده‌ها بر اساس آزمون توانمندی ویلکس لامدا و Tolerance بصورت همزمان می‌باشد و در اثر حذف تاثیر متغیرهای انتخاب شده در هر مرحله، متغیرهای بعدی با دقت بیشتری انتخاب می‌شود. در نهایت متغیرهای ورودی برای تحلیل دارای بیشترین توان تفکیکی گروه‌های مطالعاتی می‌باشد.

۳- در مدل SW ترتیب و نحوه انتخاب متغیرها صرف نظر از فراوانی در یک گروه خاص صورت می‌پذیرد، انتخاب داده‌ها بر اساس سطح اثر بالا در هر سه گروه انتخاب می‌شود. این امر باعث می‌شود که متغیرهای انتخابی از نظر آماری دارای ارزش باشد و در پی آن مدل به راحتی و با دقت بالایی می‌تواند متغیرهای اصلی تاثیرگذار در هر گروه فرسایشی را بدون خطا در توابع تفکیک پیشگویی نماید. با بررسی نمودار Territorial Map و گروه بندی‌های صحرائی مشاهده می‌شود که این مدل ارتباط بسیار دقیق و کاملی بین گروه‌های مختلف فرسایشی ایجاد نموده است. در تفسیرهایی که بر اساس آزمون‌های واریانس صورت می‌گیرد به طور صرف توان تفکیکی متغیرها در اشکال مختلف به عنوان عامل موثر در فرسایش بررسی می‌گردد که این روش نتایج دقیق در اختیار پژوهشگر قرار نمی‌دهد. زیرا ممکن است علیرغم معنی دار بودن متغیر در آزمون‌های واریانس تاثیر بر روی مقاومت مارن‌ها در برابر پراکنش نداشته باشند. از طرفی با توجه به آنکه ماتریس‌های همبستگی، متغیرها را بصورت ۱ به ۱ مقایسه می‌نمایند نمی‌تواند تفسیر دقیقی از تطابق و تقابل متغیرهای در اختیار قرار دهد.

۴- با توجه به دسته‌بندی‌های صورت گرفته، گروه ۲ دارای بیشترین سطح حساسیت در بین گروه‌های فرسایشی می‌باشد. علت آن متغیرهای SO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub> می‌باشد که توسط مدل SW به عنوان عامل ناهمسو با همبستگی تا حدودی بالا در تابع ۱ ماتریس ساختاری مشخص شده است. بیشترین تاثیر این دو متغیر مربوط به گروه ۲ بوده و هیچگونه ارتباطی با گروه‌های دیگر از خود نشان نمی‌دهد، بعلاوه این گروه هیچگونه ارتباطی با متغیرهای کاهشنده فرسایش از خود نشان نمی‌دهد. از جمله اصلی‌ترین متغیرهای کنترل کننده در گروه‌های فرسایش مورد مطالعه می‌توان به TNV اشاره کرد، این متغیر به عنوان عاملی اصلی ارتباط گروه ۳ و ۱ توسط مدل تعیین شده است که حتی با بالا بودن سطح، Na, Cl, SAR, ... در گروه ۳ بازم در سطح پایین تری از فرسایش در گروه ۲ قرار می‌گیرد. نتایج بدست آمده از ماتریس همبستگی در بالاترین سطح ممکنه نتایج بدست آمده از مدل قدم‌بقدم را تأیید می‌کند.

همانطور که مشاهده می‌شود با استفاده از روش قدم‌بقدم (SW)، با پیشگویی متغیرهای تاثیرگذار و شناسایی روابط بین گروه‌ها، امکان شناسایی عملکرد هر یک از متغیرها در گروه‌های مطالعاتی (اشکال فرسایشی) فراهم می‌آید. بنابراین می‌توان یک تفسیر خوب و دقیق بر اساس مشاهدات فوق بدست آورد. پس



1998. Sedimentary yielding zones and Geological times study of salt lake watershed. Frist conference on geology and environment. Tarbiat Moalem University of Tehran. P. 945-957.

10. Huberty, C. J. 1994. Applied Discriminant Analysis. New York: Jon Wiley and Sons.

11. Idowu, O.J., 2003. Relationships between aggregate stability and selected soil properties in humid tropical environment. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 34, 695-708.

12. Khamechian, M, 1990. Study of physical and mechanical property of Marl- Clay rocks, engineering geology Mc.S thesis of Tabrbiat Modares university.

13. Lal, R., 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. Critical Reviews in Plant Sciences 17: 319-464.

14. Meunier, A., 2005. Clays. Springer. P. 194.

15. Mohamed, A.M.O., 2000. The role of clay mineral in marly soil on its stability. Engineering Geology, Vol, 57, p. 93 – 203.

16. Morgan, R. P. C., 2005. Soil and water conservation. Blackwell, 3rd eddition.

17. Nelson, D. W., Sommers, L. E., 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part II, 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, pp. 539-580.

18. Norusis, M. 2004. SPSS 13.0 Statistical Procedures Companion.

19. Ouhadi, V. R., Yang, R. N., 2003. The role of clay fractions of marly soils on their post stabilization failure. Engineering Geology, Vol, 70, p. 365 – 375.

20. Page AL (1986). Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, Wisconsin, USA.

21. Peech, M., 1965. Methods of Soil analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, pp. 914-916.

22. Peyrowan, H. R., Ghaumian, J., Shoaie, Z, 2006. Underground waters quality analysis in Zanjan- Tarom alteration hydrothermal zone with

پیشنهاد می‌شود برای مطالعات واحدهای مارنی بمنظور شناسایی عوامل تاثیرگذار بر روی مقاومت و پخش‌شوندگی مارنها و ایجاد رابطه بین سطح تاثیر هریک از این متغیرها در ایجاد اشکال مختلف فرسایشی از تحلیل تفکیکی به روش قدم‌به‌قدم استفاده شود.

#### منابع:

1. Benito, S., Gutierrez, M., Zaragonza, Cs., 1993. The influence of physic chemical properties on erosion process in badland areas, Ebor basin, NE Spain. Z. Geomorph. N. F. 37, 2, p.199- 214.

2. Bouma, N.A., Imeson, A.C, 1999. Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surfaces at petrer, Spain. Catena, Vol, 40, p. 147-171.

3. Collins, A. L., Walling, D. E., Sichingabula, H. M., and Leeks, G. J. L., 2001. Suspended sediment source fingerprinting in a small tropical catchment and some management implications. Applied Geography 21: 387-412.

4. Davis john, C., 1986. Statistics and data analysis in geology, Second edition, John Wily & Sons, pp. 646.

5. Descroix, L., Viramontes, D., Vauclin, M., Gonzalez Barrios, J.L., Esteves, M., 2001. Influence of soil surface features and vegetation on runoff and erosion in the Western Sierra Madre (Durango, Northwest Mexico). Catena 43, 115-135.

6. Duiker, S.W., Flanagan, D.C., Lal, R., 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. Catena 45, 103-121.

7. Ekwue E I; Bharat C; Samaroo K; (2009). Effect of soil type, peat and Farmyard manure addition, Slope and their interaction on wash erosion by overland flow of some Trinidadian Solis. Biosystems Engineering, 102, 236-243.

8. Ekwue, E.I., Harrilal, A., (2010) Effect of soil type, peat, slope, compaction effort and their interactions on infiltration, runoff and raindrop erosion of some Trinidadian soils, Biosystems Engineering 105, 112-118.

9. Ghadimi Arosmahle, F., Aminsobhani, A.

portable rainfall simulator. International Journal of Sediment Research 23, 376-386.

25. Zhang, B., Horn, R., Hallett, P. D., 2005. Mechanical resilience of degraded soli amended with organic matter. Soli Science Society of America Journal, 69, P. 864-871.

multivariable analysis. Journal of natural resources. Vol, 56. No, 2. P.271-299.

23. Pimental, D. (ed.), 1993. World soil erosion and conservation. Cambridge University Press, Cambridge.

24. Vahabi, J., Nikkami, D., (2008) Assessing dominant factors affecting soil erosion using a

Archive of SID