

## بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک بر میزان فرسایش در سطح زیررده خاک با استفاده از PCA (مطالعه موردی: دشت اردبیل)

شهلا احمدی قلی‌درق<sup>۱</sup>، آیدا عباسی کلو<sup>۱\*</sup> و اباذر اسمعیلی عوری<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱)

### چکیده

خاک، یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی کشورهاست که فرسایش موجب اتلاف آن می‌شود. در این پژوهش تأثیر ویژگی‌های خاک بر میزان فرسایش در سطح زیررده بررسی می‌شود. بدین منظور ۷۷ نمونه خاک (۰-۳۰ سانتی‌متر) تهیه و پارامترها در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. نیم‌تغییرنمای پارامترها با GS+ و نقشه توزیع مکانی آنها یا سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شد. منطقه با تلفیق نقشه‌های تیپ اراضی و زمین‌شناسی به اجزای واحد اراضی تفکیک و فرسایش آبی در هر واحد اراضی به روش EPM برآورد شد. با حفر پروفیل در نقاط مختلف منطقه، زیررده‌های خاک به روش جامع آمریکایی تعیین و مقدار متوسط پارامترها در هر زیررده برآورد شد. برای تحلیل داده‌ها از آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. نتایج نشان داد از میان پارامترها، سه ویژگی سیلت، کربن آلی و هدایت الکتریکی به‌عنوان مؤلفه اصلی اول ۳۰/۳۸۴ درصد؛ رس، شن و پوشش گیاهی به‌عنوان مؤلفه اصلی دوم ۱۸/۰۹۱ درصد و شیب و ارتفاع به‌عنوان مؤلفه اصلی سوم ۱۵/۳۳۰ درصد و در مجموع ۶۳/۸۰۵ درصد از میزان تغییرات فرسایش را توجیه می‌کند. کمترین و بیشترین میزان فرسایش (به ترتیب ۶۹/۱۲ و ۳۴۳/۵۷ مترمکعب در کیلومتر مربع در سال) در زیررده‌های Xerals و Fluvents برآورد شد. کلاس شدت فرسایش زیررده‌های منطقه مطالعاتی، کم و متوسط تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز مؤلفه‌های اصلی، روش پتانسیل فرسایش، سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش جامع آمریکایی

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۲. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Abbasiayda2014@gmail.com

## مقدمه

خاک یکی از اصلی‌ترین منابع طبیعی است که رشد گیاهان را تأمین و بیش از ۹۷ درصد نیازهای غذایی جهان را برآورد می‌کند. در چند دهه اخیر این منبع طبیعی با ارزش در اثر عوامل انسانی مانند جنگل‌زدایی، چرای بیش از حد و سوء‌مدیریت اراضی و عوامل طبیعی (فرسایش آبی و بادی) تخریب شده و ارزش آن کاسته شده است به طوری که فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن، امروزه یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی به‌شمار می‌رود (۱۸).

شناخت عوامل مؤثر در افزایش تخریب خاک به‌منظور درک صحیح‌تر از فرایند فرسایش خاک و به‌منظور جلوگیری و یا کاهش روند تخریب امری ضروری است (۱۷) و (۲۱). محققان مختلف تحقیقات متفاوتی در زمینه شناسایی عوامل مؤثر بر فرسایش انجام دادند. دفیگودیو و پوسن (۶) درصد سنگریزه سطحی را عامل تأثیرگذار روی فرسایش می‌داند به طوری که با افزایش آن، میزان فرسایش کاهش می‌یابد. ویریلینگ و همکاران (۲۶) ویژگی‌های خاک، پوشش گیاهی و فعالیت انسانی را از عوامل بسیار مؤثر در میزان فرسایش می‌دانند. نتایج مطالعات باتنی و گریسمر (۳)؛ کنگ و همکاران (۱۲) و ویسر و همکاران (۲۵) نشان داد که درصد شیب زمین اصلی‌ترین فاکتور تأثیرگذار روی فرسایش خاک است. اکیو و هاری لال (۷) نوع خاک، مواد آلی، شیب و سایر پارامترها را روی میزان فرسایش بررسی کردند و نشان دادند افزایش مواد آلی خاک موجب افزایش نفوذپذیری خاک شده است و رواناب و رسوب را در شیب‌های مختلف کاهش می‌دهد. میزان فرسایش در خاک شنی لومی نسبت به رسی لومی و رسی بیشتر بوده است.

یثربی و همکاران (۲۹) طی پژوهشی با عنوان بررسی تأثیر ویژگی‌های توپوگرافی و خاک بر گسترش آبکندهای جبهه‌ای دریافتند که میزان شیب بالادست به‌عنوان عامل توپوگرافی و مقدار ماده آلی، بافت سبک و شوری خاک به‌عنوان عوامل حاکی بیشترین تأثیر را بر میزان فرسایش و تولید رسوب دارند. عوامل فرسایش‌پذیری خاک، شیب زمین و وضعیت پوشش

گیاهی در رخداد فرسایش خاک مؤثر هستند، اما زمان رخداد و مقدار فرسایش خاک و عوامل مؤثر بر آنها، دارای دامنه وسیعی بوده و از مکانی به مکان دیگر متفاوت است. با وجود مطالعات زیادی که در ارتباط بین ویژگی‌های خاک و فرسایش صورت گرفته، تاکنون مطالعه مشخصی مبنی بر ارتباط فرسایش و زیررده‌های خاک صورت نگرفته است، بنابراین هدف اصلی از انجام این پژوهش شناسایی مؤثرترین ویژگی‌های خاک در فرسایش و برآورد مقدار فرسایش با استفاده از مدل EPM است. در این پژوهش سعی بر این است که تأثیر ویژگی‌های خاک بر میزان فرسایش در سطح زیررده برآورد شود تا در مطالعات آتی بتوان از طریق زیررده‌های مختلف خاک‌ها، مقدار کلی فرسایش خاک را پیش‌بینی کرد.

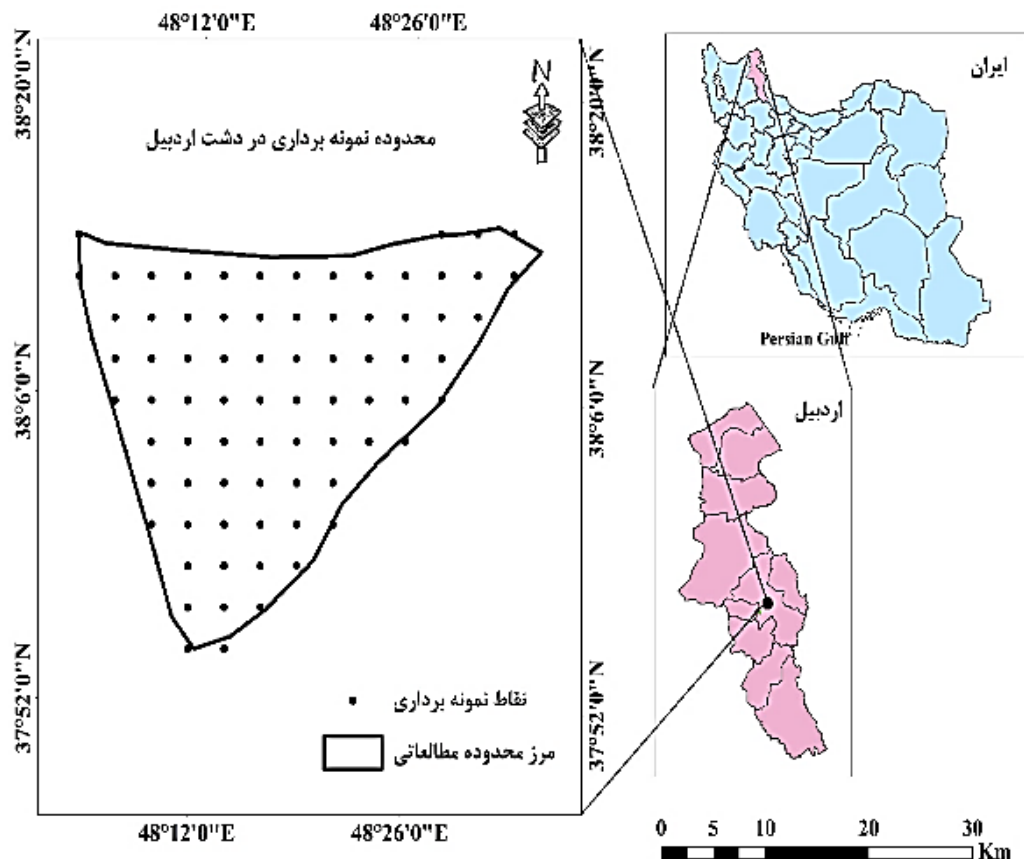
## مواد و روش‌ها

### مشخصات منطقه

منطقه مطالعاتی در محدوده دشت اردبیل در موقعیت جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵۴/۱۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۳/۸۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۵/۹۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۲/۷۶ دقیقه طول شرقی واقع شده است. (شکل ۱). وسعت منطقه مورد مطالعه ۸۷۰ کیلومتر مربع و متوسط بارندگی و حرارت سالانه به‌ترتیب ۳۴۲/۴۱ میلی‌متر و ۹/۲۲ درجه سانتی‌گراد است (۴).

### نمونه‌برداری

نقشه‌های توپوگرافی به‌عنوان نقشه پایه برای مطالعات انتخاب و تفکیک و مرزبندی محدوده مورد مطالعه روی آن صورت گرفت، منطقه نمونه‌برداری در شیب صفر تا ۱۲ درصد قرار داشت. نمونه‌برداری به دو صورت سطحی و پروفیل انجام شد. نمونه‌برداری سطحی به‌روش شبکه‌بندی منظم به ابعاد ۳۵۰۰×۳۵۰۰ مترمربع و به‌تعداد ۷۷ نقطه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تهیه و برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه بافت خاک به‌روش هیدرومتری (۹)، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی و نقاط نمونه برداری

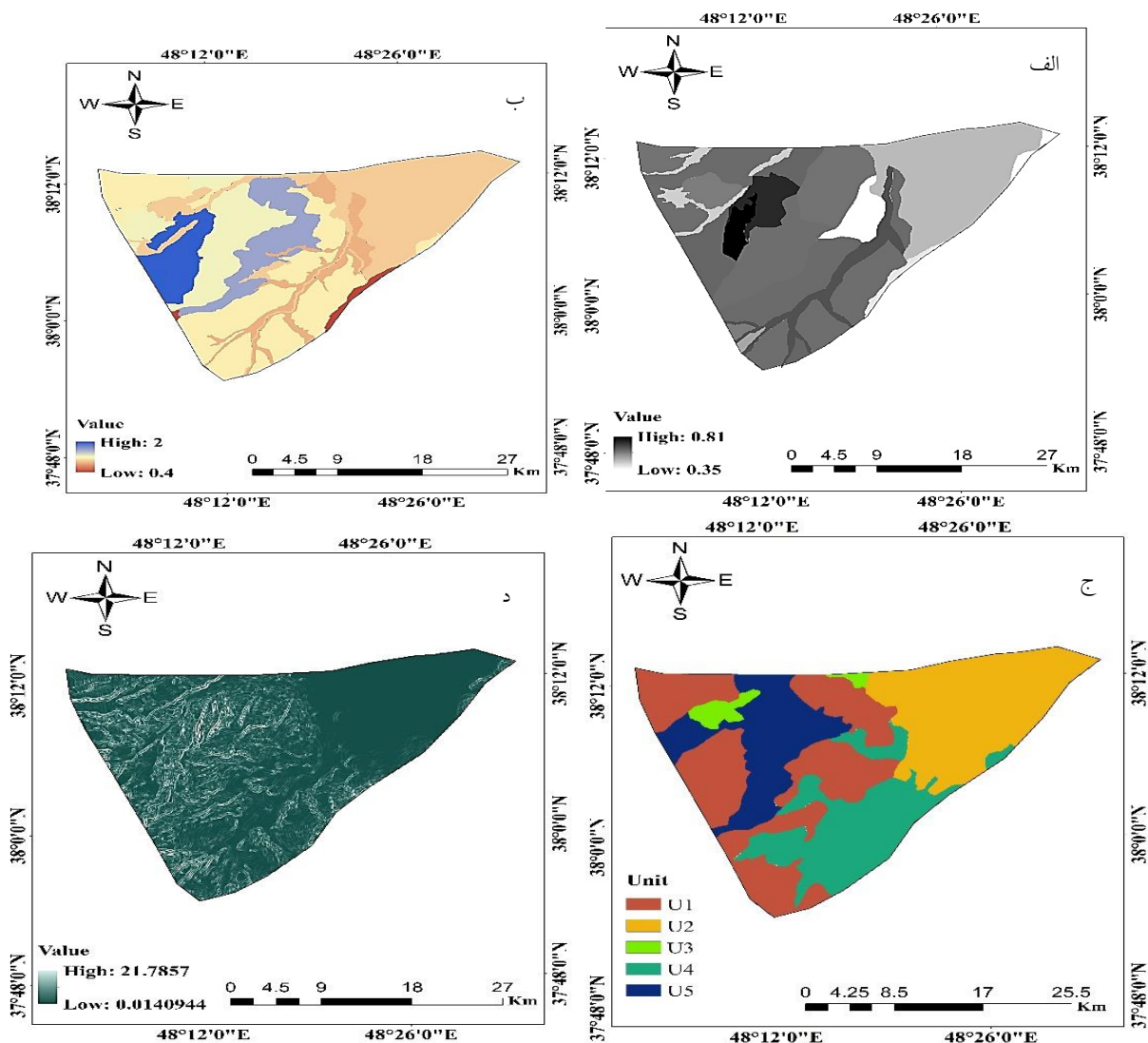
#### برآورد فرسایش

میزان فرسایش در هریک از اجزای واحد اراضی با استفاده از روش E.P.M (Erosion Potential Method) برآورد شد. روش E.P.M یک روش کمی است که در آن شدت فرسایش توسط چهار عامل ضریب استفاده از زمین، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، وضعیت فعلی فرسایش و شیب عرصه برآورد می‌شود (۵).

#### تجزیه آماری و زمین‌آماري

برای بررسی‌های آماری از نرم‌افزار SPSS و برای ترسیم نیم‌تغییرنما، برازش مدل مناسب و ترسیم نقشه پراکنش هرکدام از پارامترهای مورد بررسی از نرم‌افزار GS+ و ArcMap استفاده شد. به منظور بررسی رابطه موجود بین میزان فرسایش و عوامل تعیین شده و نیز تعیین مهم‌ترین عامل یا عوامل مؤثر در

به‌وسیله هدایت‌سنج الکتریکی (۱۰)، اسیدیته خاک در گل اشباع با استفاده از pH متر (۱)، کربن آلی به‌روش والکلی‌بلک (۱۶)، پتاسیم قابل جذب خاک با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال (۱۳) و نیتروژن کل خاک به‌روش کجلدال (۱۱) تعیین شدند. به‌منظور بررسی درصد پوشش گیاهی در صحرا از پلات‌های ۱×۱ مترمربعی استفاده شد. به‌منظور حفر پروفیل برای رده‌بندی خاک، نقشه‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی و شیب در محیط ArcMap با هم تلفیق و نقشه واحد کاری تهیه شد (شکل ۲). سپس در هر کدام از واحدهای کاری تعداد پنج پروفیل در کل منطقه تشریح شد. ویژگی‌های لازم برای هر پروفیل ثبت و نمونه‌های افقی‌های مشخصه برای انجام آنالیزهای لازم به آزمایشگاه منتقل شد. درنهایت، رده‌بندی خاک‌ها تا سطح زیررده با استفاده از سیستم رده‌بندی جامع آمریکایی صورت گرفت.



شکل ۲. الف) نقشه کاربری اراضی، ب) نقشه زمین‌شناسی، ج) نقشه واحد کاری و د) نقشه شیب

تغییرات فرسایش از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد.

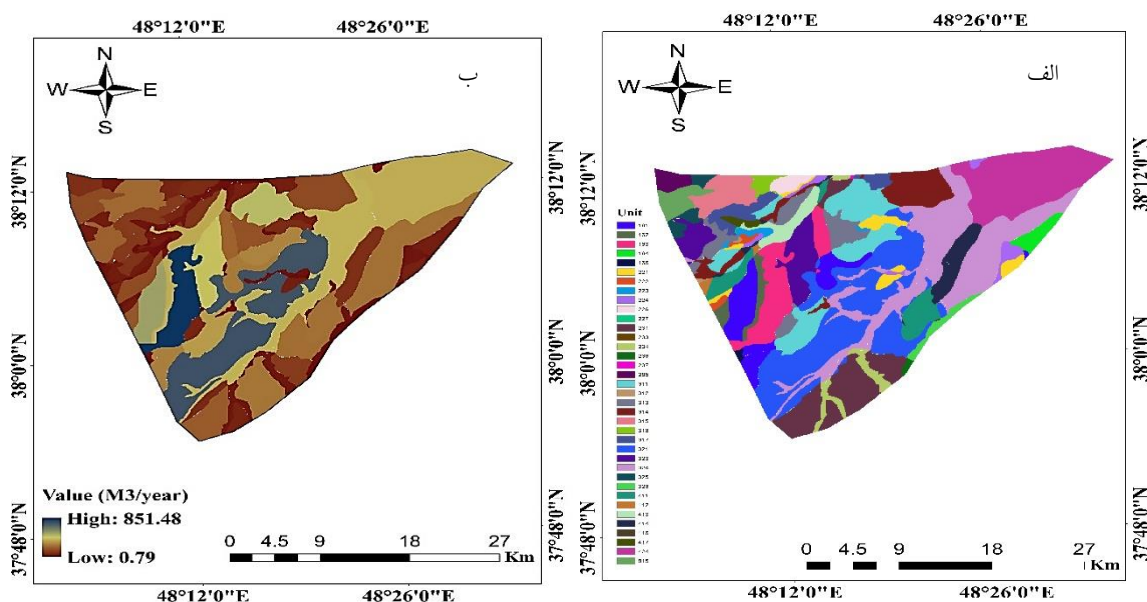
## نتایج و بحث

جدول (۱) توصیف آماری پارامترهای مورد بررسی را نشان می‌دهد. براساس داده‌های با چولگی بین ۱- تا ۱ به‌عنوان داده‌های دارای توزیع نرمال، پارامترهای نیتروژن کل و هدایت الکتریکی نرمال نبوده و بایستی نرمال می‌گردید. درنهایت از جذر نیتروژن کل و از لگاریتم هدایت الکتریکی برای تبدیل داده استفاده شد. کمترین مقدار حداقل مربوط به نیتروژن و

بیشترین مقدار حداکثر مربوط به پارامتر پتاسیم است. برای رده‌بندی خاک منطقه، ابتدا نقشه‌های زمین‌شناسی، شیب و کاربری اراضی تلفیق شدند و نقشه واحد کاری (شکل ۲) برای حفر پروفیل تهیه شد. با توجه به شکل (۳) بیشترین میزان فرسایش مربوط به واحد اراضی با کد ۱۶۳ است، که از نظر زمین‌شناسی دارای سازندهای حساس به فرسایش است. براساس رده‌بندی جامع آمریکایی، خاک‌های مورد مطالعه در دشت اردبیل در چهار رده و پنج زیر رده شکل (۴) قرار گرفتند. نتایج اجرای PCA روی ۱۱ فاکتور و در ۳۷ واحد اراضی

جدول ۱. آمار توصیفی ویژگی‌های نمونه‌های سطحی

متغیرهای خاک	چولگی	کشیدگی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
کربن آلی (%)	۰/۷۹۲	۱/۶۴۷	۰/۰۹۷	۳/۴۱۲	۱/۱۵۸	۰/۵۹۹
رس (%)	۰/۶۰۵	-۰/۴۸۱	۶/۷۱۱	۴۵/۱۴۲	۲۳/۸۶۸	۹/۵۶۳
شن (%)	۰/۲۹۰	۰/۱۲۷	۱۶/۵۲۱	۷۳/۰۵۱	۴۲/۱۴۱	۱۱/۹۰۱
سیلت (%)	-۰/۳۷	-۰/۵۹۷	۱۷/۶۹۲	۴۸/۶۶۳	۳۳/۹۸۹	۶/۸۶۹
هدایت الکتریکی (dS/m)	۳/۱۰۴	۱۱/۹۲۸	۰/۲۵۵	۵/۷۲۰	۰/۹۵۲	۰/۸۸۸
نیترژن کل (%)	۱/۸۷۳	۵/۴۰۳	۰/۰۳۵	۰/۳۵۰	۰/۱۱۸	۰/۰۵۵
پتاسیم (ppm)	۰/۹۶۱	۰/۶۷۳	۲۴/۰۶۷	۹۳/۴۸۱	۴/۵۹۱	۱۴/۹۹۵
اسیدیته	-۰/۹۴۱	۱/۴۶۳	۷/۱۵۱	۷/۹۴۴	۷/۶۲۴	۰/۱۵۵
رطوبت اشباع وزنی (%)	۰/۷۲۷	۰/۴۷۴	۱۲/۵۲۱	۴۳/۹۴۲	۲۳/۹۱۹	۶/۶۳۴



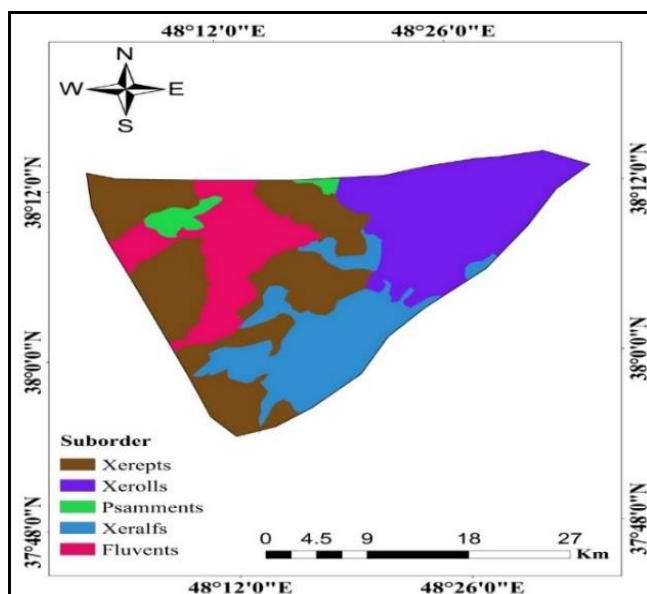
شکل ۳. الف) نقشه اجزای واحد اراضی و ب) نقشه فرسایش سالانه

جدول (۳).

نمودار مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در شکل ۵ نشان داده شده است. ویژگی‌های درصد سیلت، کربن آلی و هدایت الکتریکی روی محور اول و ویژگی‌های درصد رس، شن و پوشش گیاهی روی محور دوم قرار می‌گیرند.

با توجه به شکل (۵)، میزان فرسایش در واحدهای اراضی U1، U2، U3، U5، U12، U14، U18، U32 و U36 رابطه نسبتاً قوی با ویژگی‌های محور اول (مستقیم با سیلت و هدایت

نشان داد به طور کلی ۳۰/۳۸۴ درصد از تغییرات فرسایش توسط مؤلفه اول، ۱۸/۰۹۱ درصد توسط مؤلفه دوم و ۱۵/۳۳۰ درصد توسط مؤلفه سوم و در مجموع ۶۳/۸۰۵ درصد تغییرات فرسایش توسط سه مؤلفه اول قابل توجیه هستند جدول (۲). براساس همبستگی متغیرها با مؤلفه‌ها، مؤلفه اصلی اول با متغیرهای سیلت، کربن آلی، هدایت الکتریکی، مؤلفه اصلی دوم با متغیرهای رس، شن و پوشش گیاهی و همچنین مؤلفه اصلی سوم با متغیرهای شیب و ارتفاع بیشترین همبستگی را دارند



شکل ۴. نقشه زیررده‌های خاک منطقه مطالعاتی

جدول ۲. نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی عوامل مؤثر در میزان فرسایش خاک در واحدهای اراضی

مؤلفه	مقادیر ویژه	واریانس توجیه شده (%)	واریانس تجمعی توجیه شده (%)
۱	۳/۹۵۰	۳۰/۳۸۴	۳۰/۳۸۴
۲	۲/۳۵۲	۱۸/۰۹۱	۴۸/۴۷۶
۳	۱/۹۹۳	۱۵/۳۳۰	۶۳/۸۰۵

ارتباط ضعیفی با ویژگی‌های محور دوم (مستقیم با رس و پوشش گیاهی و معکوس با شن) دارد.

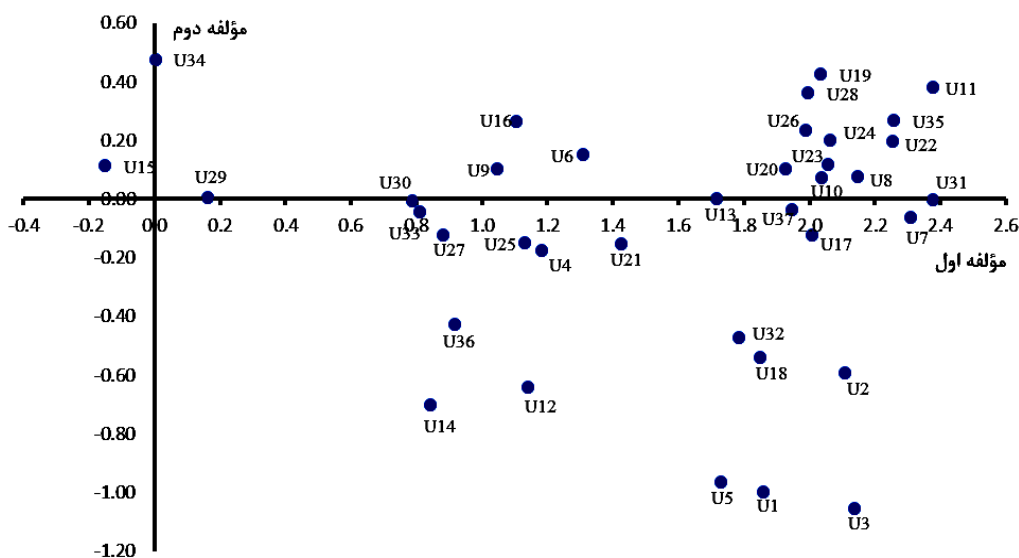
نمودار مؤلفه‌های اصلی اول و سوم در شکل (۶) نشان داده شده است. ویژگی‌های درصد سیلت، کربن آلی و هدایت الکتریکی روی محور اول و خصوصیات درصد شیب و ارتفاع روی محور دوم قرار می‌گیرند. طبق شکل (۶) در بیشتر واحدهای اراضی میزان فرسایش با ویژگی‌های محور اول ارتباط قوی (مستقیم با سیلت و هدایت الکتریکی و معکوس با کربن آلی) و رابطه ضعیفی با ویژگی‌های محور دوم (مستقیم با ارتفاع و شیب) دارد.

نتایج PCA نشان داد که از ۱۱ ویژگی بررسی شده، هشت ویژگی به‌عنوان ویژگی‌هایی که میزان تغییرات فرسایش را به‌خوبی توجیه می‌کنند، انتخاب شدند. از بین ویژگی‌ها، خصوصیات مؤلفه اول (سیلت، کربن آلی و هدایت الکتریکی)

الکتریکی و معکوس با کربن آلی) و رابطه ضعیفی با ویژگی‌های محور دوم (معکوس با رس، شن و پوشش گیاهی) دارند. در واحد اراضی U15 میزان فرسایش دارای ارتباط تقریباً برابری از نظر ویژگی‌های محور اول و دوم (مستقیم با شن، رس، کربن آلی و پوشش گیاهی و معکوس با سیلت و هدایت الکتریکی) است. میزان فرسایش در واحدهای اراضی U7، U4، U13، U17، U21، U25، U27، U29، U30، U31، U33 و U37 رابطه بسیار قوی با ویژگی‌های محور اول (مستقیم با سیلت و هدایت الکتریکی و معکوس با کربن آلی) و ارتباط ضعیف با ویژگی‌های محور دوم (معکوس با رس، شن و پوشش گیاهی) دارد. در واحدهای اراضی U6، U8، U9، U10، U11، U16، U19، U20، U22، U23، U24، U26، U28، U34 و U35 میزان فرسایش با ویژگی‌های محور اول ارتباط قوی (مستقیم با سیلت و هدایت الکتریکی و معکوس با کربن آلی) و

جدول ۳. عوامل اصلی مؤلفه‌های مؤثر در میزان فرسایش خاک در واحدهای اراضی

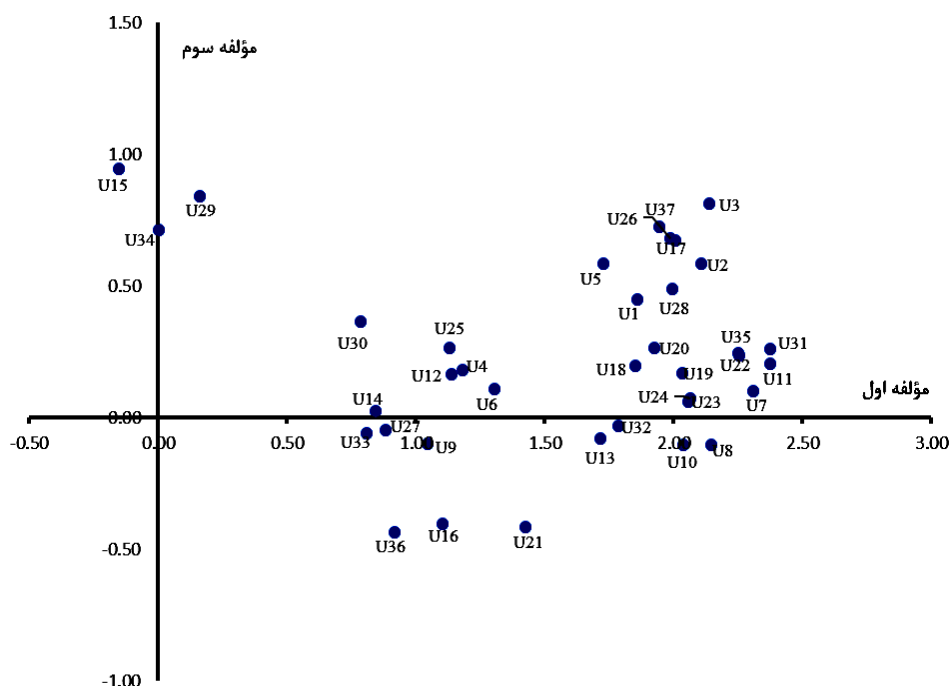
عامل	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم
رس	۰/۲۸۸	۰/۸۶۱	-۰/۰۵۲
شن	-۰/۵۹۶	-۰/۷۵۳	۰/۰۵۴
سیلت	۰/۶۲۸	-۰/۴۷۸	۰/۰۲۰
پتاسیم	۰/۸۰۶	۰/۴۶۸	۰/۰۳۸
کربن آلی	-۰/۶۶۷	۰/۲۶۸	-۰/۱۲۲
اسیدیته	-۰/۴۶۰	۰/۱۹۸	-۰/۲۵۰
شیب	۰/۳۳۷	۰/۱۶۸	۰/۶۵۳
ارتفاع	۰/۳۰۷	-۰/۲۵۳	۰/۷۴۳
پوشش گیاهی	-۰/۵۴۱	۰/۵۴۷	-۰/۲۷۱
نیترژن کل	۰/۸۹۶	۰/۲۹۶	-۰/۱۳۹
هدایت الکتریکی	۰/۵۷۲	۰/۰۰۲	۰/۵۱۱



شکل ۵. نمودار پراکنش واحدهای اراضی در ارتباط با عوامل مؤثر در منطقه مورد مطالعه با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی

عقلانی از خاک‌ها و به‌کارگیری روش‌های کارآمد حفاظت خاک ضروری می‌داند، همچنین توپوگرافی را به‌دلیل تأثیر شیب در مقابل فرسایش از عامل مؤثر در فرسایش خاک به‌شمار می‌آورد. در مطالعه حاضر شیب از عوامل مؤثر بر فرسایش شناخته شد. وان و همکاران (۲۴) و کردان (۵) عوامل مختلفی از جمله ویژگی‌های خاک، پوشش سطح

ارتباط قوی با میزان فرسایش داشتند. مؤلفه اول ۳۰/۳۸۴ درصد از تغییرات فرسایش را توجیه می‌کند که بیشترین درصد را در مقایسه با دو مؤلفه دیگر به‌خود اختصاص داده است. در مجموع ۶۳/۸۰۵ درصد تغییرات میزان فرسایش توسط سه مؤلفه اول، دوم و سوم قابل توجیه هستند. سادیکی (۱۹) بررسی فاکتورهای مؤثر در فرسایش را برای استفاده



شکل ۶. نمودار پراکنش واحدهای اراضی در ارتباط با عوامل مؤثر در منطقه مورد مطالعه با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی

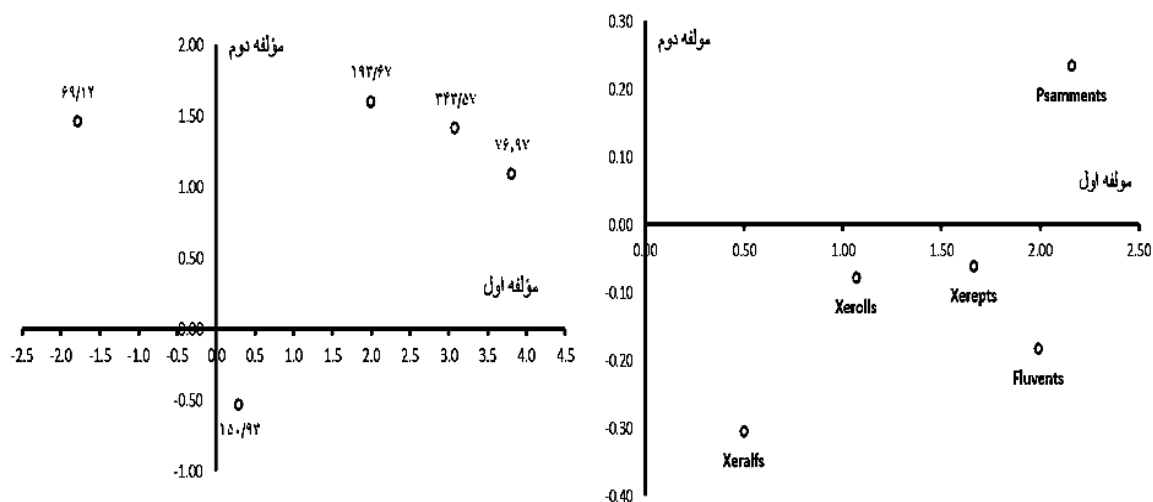
نیک‌کامی (۲۳)، سنتوس (۲۰) و آزموده و همکاران (۱) مطابقت دارد.

با توجه به شکل (۷)، میزان فرسایش خاک در زیررده Xerepts با ویژگی‌های محور اول ارتباط قوی (مستقیم با سیلت، و هدایت الکتریکی و معکوس با کربن آلی) و با ویژگی‌های محور دوم (معکوس با رس، شن و پوشش گیاهی) ارتباط ضعیفی دارد. میزان فرسایش در این زیررده ۱۹۳/۶۷ مترمکعب بر کیلومتر مربع در سال است. شدت فرسایش در این زیررده متوسط است. خاک‌هایی نارس با ویژگی‌های قابل شناسایی اندک که نسبت به خاک‌های تکامل یافته ویژگی‌های پروفیلی ضعیف‌تری را از خود نشان می‌دهند.

در زیررده Xeralfs میزان فرسایش با ویژگی‌های محور دوم ارتباط قوی (معکوس با پوشش گیاهی و رس و شن) و ارتباط ضعیفی با ویژگی‌های محور اول (مستقیم با سیلت و هدایت الکتریکی و معکوس با کربن آلی) داراست. با توجه به جدول (۴) میزان فرسایش در این زیررده ۶۹/۱۲ مترمکعب بر کیلومتر مربع در سال است. کمترین میزان فرسایش در بین

خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی را از عوامل مؤثر در فرسایش خاک‌ها می‌دانند. یکی از عوامل مؤثر در فرسایش بافت خاک است. ذرات رس در ایجاد حالت چسبندگی خاک و تشکیل خاکدانه و پایداری آن نقش مهمی دارد، در نتیجه موجب کاهش فرسایش می‌شوند (۲۷). بنابه نتایج این پژوهش میزان رس از عوامل مهم در فرسایش است که با نتایج مطالعات ژانگ و همکاران (۳۰) مطابقت دارد. به دلیل ارتباط نزدیک مقدار سیلت با فرسایش پذیری، میزان فرسایش خاک افزایش می‌یابد، زیرا سیلت، چسبندگی ندارد. نتایج نشان داد که درصد سیلت از عوامل تأثیرگذار در میزان فرسایش در منطقه مورد مطالعه است که با نتایج یافته‌های ژانگ و همکاران (۳۰) و کاسرمیرو و همکاران (۴) دیده شده است. با افزایش مقدار شن، فرسایش پذیری خاک کاهش می‌یابد (۲۸). زیرا نفوذپذیری خاک را افزایش می‌دهد و بنابراین از ایجاد رواناب سطحی جلوگیری می‌کند و باعث کاهش فرسایش خاک می‌شود (۱۴). در مطالعه حاضر درصد شن از عوامل مؤثر در میزان فرسایش بود، این نتیجه با یافته‌های وانگ و همکاران (۲۸) وهابی و





شکل ۷. نمودار پراکنش زیررده‌ها در ارتباط با عوامل مؤثر در منطقه مورد مطالعه با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی (راست) و نمودار مؤلفه‌های اول و دوم و پراکنش میزان فرسایش در سطح زیررده (چپ)

جدول ۴. نتایج PCA عوامل مؤثر در میزان فرسایش خاک در سطح زیررده

زیررده	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	میزان فرسایش ( $m^3/km^2/year$ )	شدت فرسایش
Xerepts	۱/۹۹	۱/۶۰	۱۹۳/۶۷	متوسط
Xerolls	۰/۲۹	-۰/۵۳	۱۵۰/۹۳	متوسط
Xeralfs	-۱/۷۹	۱/۴۶	۶۹/۱۲	کم
Fluvents	۳/۰۸	۱/۴۲	۳۴۳/۵۷	متوسط
Psamments	۳/۸۰	۱/۰۹	۷۶/۹۷	کم

خاکدانه‌سازی، پایداری خاکدانه‌ها و افزایش نفوذپذیری شده، در نتیجه باعث کاهش هدررفت خاک می‌شوند که با نتایج مطالعات ژانگ و همکاران (۳۱) مطابقت دارد.

میزان فرسایش در زیررده Fluvents ارتباط قوی با ویژگی‌های محور اول (مستقیم با سیلت، هدایت الکتریکی و معکوس با کربن آلی) و رابطه ضعیفی با ویژگی‌های محور دوم (معکوس با رس، شن و پوشش گیاهی) دارد. میزان فرسایش در این زیررده از خاک‌ها ۳۴۳/۵۷ مترمکعب بر کیلومتر مربع در سال است. شدت فرسایش در این زیررده متوسط است. بیشترین میزان فرسایش در این زیررده از خاک روی داده است. درصد سیلت در این زیررده نسبت به سایر زیررده‌ها بیشتر

تمامی زیررده‌ها به این زیررده تعلق دارد. این زیررده از نظر شدت فرسایش در کلاس کم قرار دارد. در این زیررده خاک دارای پوشش گیاهی (۲۳/۲۰ درصد) بیشتر از پوشش سایر زیررده‌هاست که این پوشش گیاهی از طریق حفاظت سطح خاک از برخورد مستقیم قطرات باران با ذرات خاک و جدا شدن آنها، سبب کاهش تخریب فیزیکی، کاهش سرعت جریان سطحی، کاهش تشکیل سله و افزایش نفوذ آب به خاک می‌شود در نتیجه میزان فرسایش خاک کاهش می‌یابد. همچنین در این زیررده مقدار رس ۳۵/۱۸ درصد و مقدار کربن آلی ۲/۷ درصد است، این دو ویژگی از خاک سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن را تحت شعاع قرار داده باعث بهبود شرایط

کم، به دلیل افزایش نفوذپذیری خاک کاهش می‌یابد.

### نتیجه‌گیری

عوامل مختلفی در پدیده فرسایش در طبیعت دخیل هستند که شناخت این عوامل و تعیین مهم‌ترین آنها را در شناخت مکانیسم و کنترل فرسایش کمک می‌کند و باعث حفظ منابع آب و خاک شد که این خود باعث حفظ منابع مالی و منابع طبیعی شده و حرکت در جهت توسعه پایدار را میسر می‌کند. در این پژوهش میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل EPM ابتدا برای واحدهای اراضی و سپس زیررده‌ها برآورد شد، با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی مؤثرترین ویژگی‌هایی که بیشترین ارتباط را با میزان فرسایش در واحدهای اراضی و سطح زیررده داشتند شامل پارامترهای سیلت، کربن آلی و هدایت الکتریکی بودند. بیشترین میزان فرسایش مربوط به زیررده Fluvents بود که دلیل آن بالا بودن میزان سیلت در این زیررده است و کمترین میزان فرسایش مربوط به زیررده Xeralfs است که به دلیل رس بالا و کربن آلی بالا در این گروه از خاک‌ها است. زیررده‌های منطقه از نظر شدت فرسایش در کلاس متوسط و کم قرار دارند.

است که می‌تواند دلیل بالا بودن فرسایش در این زیررده نسبت به سایر زیررده‌ها باشد که با نتایج کاسرمیرو و همکاران (۴) مطابقت دارد. Fluvent زیررده خاک‌های انتی‌سول است. انتی‌سول‌ها خاک‌هایی با تکامل ضعیف بوده و بنابراین میزان فرسایش در این زیررده به دلیل تکامل ضعیف خاک، مقاومت آن در برابر فرسایش کم بوده و هدررفت خاک بیشتر است.

در زیررده Xerolls میزان فرسایش رابطه بسیار قوی با ویژگی‌های محور اول (مستقیم با سیلت و هدایت الکتریکی و معکوس با کربن آلی) ارتباط ضعیفی با ویژگی‌های محور دوم (معکوس با رس، شن و پوشش گیاهی) دارد. Xerolls زیررده مالی‌سول‌ها است. مالی‌سول‌ها خاک‌هایی با ماده آلی زیاد و تکامل خوب هستند. خاک‌های این زیررده دارای کلاس بافت لومی با کربن آلی ۳/۰۲ درصد باعث بهبود شرایط ساختمان خاک و نفوذپذیری بهتر و باعث مقاومت خاک در برابر فرسایش می‌شود که با نتایج واعظی و همکاران (۲۲) مطابقت دارد.

در زیررده Psammments میزان فرسایش رابطه بسیار قوی با ویژگی‌های محور اول (مستقیم با سیلت و هدایت الکتریکی و معکوس با کربن آلی) رابطه ضعیفی با ویژگی‌های محور دوم (مستقیم با شن، رس و پوشش گیاهی). این زیررده از خاک در رده آنتی‌سول‌ها قرار دارد. میزان فرسایش در این زیررده نسبت به Fluvents به دلیل بافت درشت، شن ۴۵ درصدی و سیلت

### منابع مورد استفاده

1. Azmoodeh, A., A. Kavian, K. Soleimani, G. H. Vahabzadeh. 2010. Comparing runoff and soil erosion in forest, dry farming and garden land uses soils using rainfall simulator. *Journal of Water and Soil* 24(3): 490-500. (In Farsi).
2. Banaei, H. M. 1998. Soil Moisture and Temperature Regimes Map of Iran (1:2500000). Soil and Water Research Institute, Iran. (In Farsi).
3. Battany M. C. and M. E. Grismer, 2000. Rainfall Runoff and Erosion in Napa Valley vineyards: effects of slope, cover and surface roughness. *Hydrological Processes* 14: 1289-1304.
4. Casermeiro, M. A., J. A. Molina, M. T. Dela Cruz Caravaca, J. Hernando Costa, M. I. Hernando Massanet and P. S. Moreno. 2004. Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate. *Catena* 59: 91-107.
5. Cerdan, O. 2003. Long-term Soil Erosion Plot Data to evaluate the PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment) Approach. *European Geophysical Society, Geophysical Research Abstracts* 1: 439.
6. De Figueiredo, T. and J. Poesen. 1998. Effects of surface rock fragment characteristics on interrill runoff and erosion of a silty loam soil. *Soil & Tillage Research* 46: 81-95.
7. Ekwue, E. I. and A. Harrilal. 2010. Effect of soil type, peat and farmyard manure addition, slope and their interactions on wash erosion by overland flow of some Trinidadian soils. *Biosystems Engineering* 102: 236-243.
8. Ekwue, E. I. and A. Harrilal. 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. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1980. Particle-size analysis. In: Klutem, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*, Second edition, Agronomy, Soil Science of America, Madison, Wisconsin, USA.
  10. Gupta, P. L. 2004. *Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis*. Agrobios Publications, India.
  11. Jones, J. B. 2001. *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. CRC Press LLC, USA.
  12. Kang, S., L. Zhang, X. Song, S. Zhang, X. Liu, Y. Liang and S. Zheng. 2001. Runoff and Sediment Loss responses to rainfall and land use in two agricultural catchments on the Loess Plateau of China. *Hydrological Processes* 15: 977-988.
  13. Knudsen, D., G. A. Peterson and P. F. Pratt. 1982. Lithium, sodium, potassium. *Methods of Soil Analysis, Part 2*, Madison, Wisc: ASA-SSSA.
  14. Li, X. Y. 2003. Gravel-sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China. *Catena* 52: 105-127.
  15. Maquaire, O., J. P. Malet, A. Remaitre, J. Locat, S. Klotz and J. Guillon. 2003. Instability condition of Marly hillslopes: towards landsliding or gullying? The case of the Barcelonnette Basin, South East France. *Engineering Geology* 70: 109-130.
  16. Nelson, D. G. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp: 961-1010. In: D. L. Sparks (Ed.) In *Methods of soil analysis; Part 3, Chemical Methods*.
  17. Okin, G. S., A. J. Parsons, J. Wainwright, J. E. Herrick, B. T. Bestelmeyer, D. C. Peters and E. L. Fredrickson. 2009. Do changes in connectivity explain desertification? *Bioscience* 59: 237-244.
  18. Qiang Deng, Z., L. M. P. De Lima Joao and H. Shin Jung. 2008. Sediment transport rate-based model for rainfall-induced soil erosion. *Catena* 76: 54-62.
  19. Sadiki, A. H. and A. Faleh. 2007. Assessing soil erosion and control factors by the radiometric technique in the Boussouad catchment, Eastern Rif, Morocco. *Catena* 71: 13-20.
  20. Santos, F. L., J. L. Reis, O. C. Martins, N. L. Castanheria and R. P. Serralherio. 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigation soils. *Biosystems Engineering* 86: 355-364.
  21. Turnbull, L., J. Wainwright and R. E. Brazier. 2008. A conceptual framework for understanding semi-arid land degradation: ecohydrological interactions across multiple-space and time scales. *Ecohydrology* 1: 23-34.
  22. Vaezi, A. R., H. Bahrami, S. H. Sadeghi and M. H. Mahdian. 2008. The effect of physical and chemical properties on erodibility in calcareous soils. *Journal of Soil and Water Sciences* 22(1): 59-68. (In Farsi).
  23. Vahabi J. and D. Nikkami 2008. Assessing dominant factors affecting soil erosion using a portable rainfall simulator. *International Journal of Sediment Research* 23: 375-385.
  24. Van Rompaey, A. J. J., V. Vieillefont, R. J. A. Jones, L. Montanarella, G. Verstraeten and P. Bazzoffi. 2003. Validation of soil erosion estimates at European scale. EUR 20827 EN, 26pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
  25. Visser, S. M., G. Sterk and O. Ribolzi. 2004. Techniques for simultaneous quantification of wind and water erosion in semi-arid regions. *Journal of Arid Environments* 59: 699-717.
  26. Vrieling, A., M. Steven de Jong, G. Sterk and S. C. Rodrigues. 2008. Timing of erosion and satellite data: A multi-resolution approach to soil erosion risk mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 10: 267-281.
  27. Wakindiki, I. I. C. and M. Ben-hur. 2002. Soil Mineralogy and texture effects on crust micromorphology, infiltration and erosion. *Soil Science Society of America* 66: 597-605.
  28. Wang, Y. Q., X. C. Zhang, J. L. Zhang and J. Shun. 2012. Spatial variability of soil organic carbon in watershed on the loess plateau. *Pedosphere* 19: 486-495.
  29. Yasrebi, B., M. Soufi, S. Mirnia and J. Mohamadi. 2013. Assessment the impact of topographic and soil characteristics on bank gullies advancement in croplands, case study: Ilam province. *Journal of Watershed Engineering and Management* 5(1): 31-40. (In Farsi).
  30. Zhang, K., S. Li, W. Peng and B. Yu. 2004. Erodibility of agricultural soils and loess plateau of China. *Soil and Tillage Research* 76: 157-165.

## Investigating the Effect of Soil Properties on Soil Erosion at Suborder Level Using PCA (A Case Study: Ardabil Plain)

SH. Ahmadi-Qolidaraq<sup>1</sup>, A. Abbasi-Kalo<sup>1\*</sup> and A. Esmali-Ouri<sup>2</sup>

(Received: June 20-2018; Accepted: September 23-2018)

### Abstract

Soil is one of the most important natural resources of countries in which erosion occurs. In this research, the effect of soil characteristics on the amount of erosion at the suborder level was studied. For this purpose, 77 soil samples (0-30 cm) were prepared and the parameters were determined in the laboratory. The semi-variograms of soil parameters and their spatial distribution maps were prepared with GS<sup>+</sup> and GIS, respectively. The study area was divided into work units by combining land use and geology maps and water erosion was estimated at each unit by the EPM method. By drilling profiles in different parts of study area, soil suborders were determined by Soil Taxonomy and the average values of parameters in each suborder was estimated. The principle components analysis (PCA) was then used for data analysis. The results showed that three parameters of silt, organic carbon and electrical conductivity could account for 30.384% as the first main component; clay, sand and vegetation could explain 11.189% as the second main component; and slope and height covered 15.330% as the third main component; in total, 63.805% percent of erosion variation could be justified by three main components. The lowest and highest amounts of erosion (69.12 and 343.57 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, respectively) were estimated in Xeralfs and Fluvents suborders. The erosion class of suborders at the study area was determined to be “few” and “medium”.

**Keywords:** Principal Components Analysis, Erosion Potential Method, Geographic Information system, Soil Taxonomy

- 
1. Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
  2. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: Abbasiyda2014@gmail.com