

ارزیابی فرسایش پذیری خاک در حوضه سد طرق مشهد

محمدباقر صوفی: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی، مشهد

حجت امامی*: دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی، مشهد

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۹

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۲۷)

چکیده

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مشکلات خاک در مناطق خشک و نیمه خشک ایران است و آگاهی از میزان آن، نقش مهمی در مدیریت حفاظت خاک دارد. توپوگرافی به عنوان یکی از عوامل خاک‌سازی، در قالب جهت و موقعیت شیب بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مؤثر است. جهت شیب از طریق تأثیر بر رطوبت، دما و فعالیت ریزجاندانان خاک، به تغییر ماده آلی خاک در جهت‌های مختلف شیب و ایجاد تفاوت در کیفیت خاک منجر می‌شود. هدف از این ارزیابی، پژوهش میزان فرسایش پذیری و کیفیت خاک در درجات مختلف دو جهت شمالی و جنوبی در بخشی از حوضه سد طرق در جنوب غرب مشهد بود. برای ارزیابی میزان فرسایش پذیری و کیفیت خاک، تعداد ۴۰ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری دو جهت شمالی و جنوبی، در شیب‌های کمتر از ۱۰٪، ۱۰ تا ۲۰٪، ۲۰ تا ۳۰٪ و بیش از ۳۰٪ از حوضه سد طرق واقع در جنوب غرب مشهد برداشته شد. شاخص فرسایش پذیری خاک بر اساس پنج ویژگی شامل درصد شن، مجموع درصد سیلت و شن خیلی ریز، درصد ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری نیم‌رخ خاک تعیین شد. نتایج نشان داد شاخص فرسایش پذیری در جهت شمالی شیب بیش از جهت جنوبی است؛ این امر از بیشتر بودن مقدار رس و سیلت قابل پراکنش در آب سرچشمه می‌گیرد که در جهت شمالی نسبت به جهت جنوبی بیشتر است. در جهت شمالی، کمترین میزان فرسایش پذیری در شیب کمتر از ۱۰ درصد مشاهده شد که با سایر درجات شیب، تفاوت معنی‌داری داشت. در جهت جنوبی بین درجات مختلف، از نظر مقدار شاخص فرسایش پذیری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

واژگان کلیدی: جهت شیب، رس قابل پراکنش در آب، شاخص فرسایش پذیری، کیفیت خاک.

۱- مقدمه

خاک مهم‌ترین منبع تولید مواد غذایی در جهان است. فرسایش خاک یکی از مشکلات مهم قرن بیست و یکم به-ویژه در مناطق خشک به شمار می‌رود که نتیجه‌ی آن فقدان امنیت غذایی و پیامدهای متفاوت زیست‌محیطی است (Fild et al, 2009). توپوگرافی به عنوان یکی از عوامل خاک‌سازی، در قالب جهت و موقعیت شیب بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مؤثر است. تفاوت در فاکتورهای مؤثر بر تشکیل و تکامل خاک در طول یک شیب، رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Wang et al, 2001). جهت شیب از طریق تأثیر بر رطوبت و دما و فعالیت

ریزجاندانان خاک، به افزایش یا کاهش ماده آلی خاک در جهت های مختلف شیب و ایجاد تفاوت در کیفیت خاک منجر می شود. درجات مختلف شیب نیز از طریق انتقال رس ها و ماده آلی به قسمت های پایین شیب و تغییر در جرم مخصوص ظاهری، کیفیت خاک را تحت تأثیر قرار می دهند (Yuan and Mingan, 2008). بسیاری از خصوصیات خاک مانند درصد سنگریزه، ضخامت مؤثر خاکرخ و ظرفیت نگهداری آب به طور معنی داری وابسته به شیب هستند (Rengasamy et al, 1984).

فرسایش پذیری خاک بیانگر حساسیت ذاتی خاک به فرسایش است و سهولت جدا شدن ذرات خاک بر اثر انرژی جنبشی باران و انتقال آنها به وسیله نیروی رواناب را نشان می دهد (Veihe, 2002). Bodoque and Díez-Herrero و همکاران (2005) با بررسی عوامل مختلف محیطی، شیب، جهت و بافت خاک را به عنوان مهم ترین عوامل مؤثر در فرسایش معرفی کرده اند. Fox و همکاران (2008) عنوان کردند که توپوگرافی (شیب و جهت)، خصوصیات خاک و پوشش گیاهی، از عوامل مهم در میزان فرسایش پذیری خاک ها به شمار می رود و باید در برآورد فرسایش خاک، مدنظر قرار گیرد.

حساسیت خاک به فرسایش به ویژگی های متعدد آن از جمله ویژگی های فیزیکی و شیمیایی همراه با ویژگی های نیمرخ خاک مثل عمق آن بستگی دارد (Yuong et al, 1990). پژوهشگران، فقدان پایداری خاکدانه ها را عامل افزایش حساسیت خاک ها به فرسایش آبی معرفی کرده اند. پراکنندگی خاکدانه ها به ایجاد سله در سطح خاک منجر می شود و این امر، کاهش نفوذپذیری و افزایش رواناب را به همراه دارد (Six et al, 2000). پراکنش رس در خاک می تواند به مشکلات بسیار زیاد کشاورزی و محیطی منجر شود. سله بستن خاک و کاهش چشمگیر تولید محصول، متلاشی شدن ساختمان خاک و مشکلات فرسایشی ناشی از آن، کاهش نفوذ آب در خاک و افزایش خطر رواناب و در نتیجه، سیل و فرسایش خاک، مشکلات ناشی از پراکنش رس ها می باشند (Bodoque and Díez-Herrero, 2005).

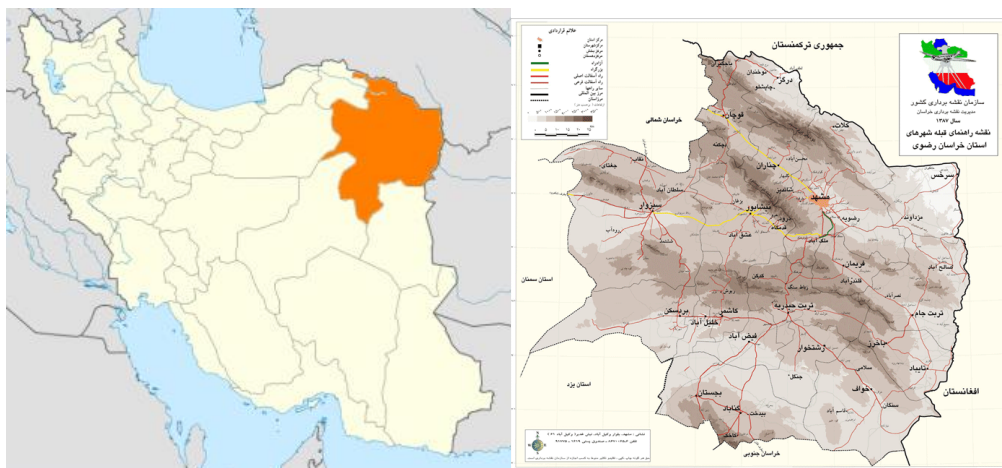
مطالعه ای تأثیر کاربری اراضی بر شاخص های کیفیت خاک، امکان شناسایی مدیریت های پایدار و در پی آن، پیشگیری از تخریب فزاینده ی خاک را فراهم می کند. از آنجایی که کیفیت خاک بیانگر وضعیت آن در شرایط مشخص بوده و بسته به هدف و نیاز متفاوت است؛ بنابراین، باید شاخص هایی را مورد بررسی قرار داد که بتواند وضعیت عملکرد گیاه و نوع مدیریت را در آن شرایط به خوبی بیان سازد و گویای وضعیت کلی سیستم خاک باشد. با این وجود کیفیت خاک به طور مستقیم قابل اندازه گیری نیست و باید از شاخص های کیفیت خاک استنتاج شود. یکی از جنبه های اساسی در کیفیت خاک، مطالعه ی شاخص های فیزیکی آن است که به پایداری ساختمان خاک و برقراری نسبت مناسب از آب و هوا در ناحیه ی رشد ریشه مربوط می شود. شهاب و همکاران (2011) در پژوهش های خود برای تعیین مهم ترین ویژگی های مؤثر بر کیفیت خاک در اراضی مرتعی و کشاورزی جنوب مشهد، ویژگی هایی مانند مقدار آهک، فاکتور فرسایش پذیری، درصد کربن آلی خاک، MWD و شاخص پایداری ساختمانی (SI) را به عنوان مهم ترین پارامترهای مؤثر بر کیفیت خاک منطقه معرفی کردند. فرایند فرسایش به طور انتخابی، اجزای خاک سطحی را که دارای بالاترین مقدار ماده آلی هستند، جدا و حمل می کند و به هدر رفتن ماده آلی خاک و کاهش کیفیت آن منجر می شود. رس و سیلت قابل پراکنش در آب با تأثیر بر فرسایش پذیری خاک، کیفیت آن را تحت تأثیر قرار می دهد. Igwe (2005) اظهار داشتند که نسبت سیلت و رس قابل پراکنش و سرعت پراکنش آن، شاخص های خوبی برای

پیش‌بینی فرسایش‌پذیری در برخی خاک‌های جنوب نیجریه هستند. پراکنش رس در خاک می‌تواند به مشکلات بسیار زیاد کشاورزی و محیطی منجر شود.

با توجه به تأثیرپذیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و در نتیجه کیفیت خاک از شیب، این پژوهش با هدف بررسی اثر جهت و درجه‌ی شیب بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، فرسایش خاک و کیفیت آن اجرا شد. این پژوهش در بخش‌های مختلف ردیف پستی و بلندی واقع در بالادست سد طرق مشهد، در دو جهت شمالی و جنوبی صورت گرفت.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه دارای اقلیم خشک تا نیمه‌خشک با میانگین دمای سالیانه‌ی ۱۴ درجه‌ی سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه‌ی ۲۵۰ میلی‌متر است. جنس سازنده‌های زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه، بیشتر از جنس سنگ‌های دگرگونی مانند شیست و فیلیت است. با توجه به هواپدیدی کم، رسوبات اتمسفری را می‌توان منشأ کربنات‌ها در این مناطق دانست. بررسی‌های انجام شده، نشان داده‌است که فعالیت‌های بادرفتی در منطقه‌ی مورد مطالعه زیاد بوده و در نزدیکی این منطقه رسوبات لسی وجود دارد که مقدار کربنات زیاد در این منطقه را می‌توان به اضافه شدن توسط رسوبات بادرفتی نسبت داد (Karimi et al, 2009). نوع کاربری منطقه‌ی مورد مطالعه، مرتع بوده و عملیات حفاظتی در این منطقه اجرا نشده‌است. در این مناطق، چرای دام‌ها در هر دو جهت شیب صورت می‌گیرد. فرم شیب در هر دو جهت، تقریباً یکسان است. شیب کمتر از ۱۰ درصد، در هر دو جهت شیب در قسمت پای شیب قرار دارد و بقیه‌ی درجات شیب در هر دو جهت تقریباً بر روی پشته‌ی شیب قرار دارد.



شکل ۱: نقشه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه

۲-۱- مواد و روش

برای تعیین ویژگی‌های خاک، تعداد ۴۰ نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از دو جهت شمالی و جنوبی در شیب‌های کمتر از ۱۰٪، ۱۰ تا ۲۰٪، ۲۰ تا ۳۰٪ و بیش از ۳۰٪ و از هر درجه شیب پنج تکرار، از منطقه‌ی مربوط به حوضه‌ی سد طرق واقع در جنوب شرق مشهد برداشته شد. پارامترهای فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در این پژوهش شامل

درصد کربن آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها^۱ (MWD)، سیلت و رس قابل پراکنش در آب، درصد شن، سیلت و رس، نسبت جذب سدیم (SAR) و مقدار آهک بودند. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه هوا، خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و تجزیه‌های شیمیایی بر روی آنها اجرا شد. MWD به روش الک تر و با استفاده از سری الک‌های ۴، ۲، ۱، ۰/۶ و ۰/۲ میلی‌متر (Kemper and Rosenau, 1986)، کربن آلی به روش اکسایش تر (Walkley and Black, 1934) و اسیدیته نمونه پس از اشباع خاک به مدت ۲۴ ساعت، از عصاره‌ی گل اشباع با استفاده از pH متر تعیین شدند (Page et al, 1982). نسبت جذب سدیم یا SAR با اندازه‌گیری غلظت سدیم توسط دستگاه فلیم فتومتر و اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون با EDTA در عصاره‌ی اشباع خاک، با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه شد (Page et al, 1982) که در این رابطه Na، Ca و Mg برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر است:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}}} \quad (۱)$$

شاخص پایداری ساختمان^۲ براساس درصد رس، سیلت و ماده آلی و براساس رابطه‌ی زیر محاسبه شد (Pieri, 1992):

$$SI = \frac{1.724OC}{(Silt + Clay)} \times 100; 0 \leq SI \leq \infty \quad (۲)$$

توزیع اندازه ذرات کمتر از ۲ میلی‌متر و رس و سیلت قابل پراکنش در آب، به روش هیدرومتر با چهار قرائت در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ ثانیه و ۱/۵ و ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد (Gee and Bauder, 1986). برای اندازه‌گیری رس و سیلت قابل پراکنش در آب، از آب مقطر برای پراکنش ذرات خاک استفاده (Rengasamy et al, 1984) و رس و سیلت قابل پراکنش نیز توسط هیدرومتر قرائت شد و نسبت به رس و سیلت به پراکنش یافته با هگزا متافسفات سدیم به دست آمدند. همچنین برای توزیع اندازه ذرات شن از سری الک استفاده شد؛ علاوه بر این، فاکتور فرسایش‌پذیری خاک براساس رابطه‌ی ویشمایر و اسمیت (Wischmeier and Smith, 1978)، به صورت زیر تعیین شد:

$$K = 8.2 \times 10^{-7} \times M^{14.1} \times (12 - a) + 4.3 \times 10^{-3} (b - 2) + 3.3 \times 10^{-3} (c - 3) \quad (۳)$$

در رابطه‌ی فوق: K عامل فرسایش‌پذیری خاک بر حسب (مگاگرم هکتار بر مگاژول میلی‌متر)، M حاصل‌ضرب مجموع درصد سیلت و شن خیلی ریز در درصد شن، a درصد ماده آلی، b طبقه ساختمان خاک و c درجه‌ی نفوذپذیری نیم‌رخ خاک است.

شاخص کیفیت خاک IQI، براساس ۱۲ ویژگی محاسبه شد که شامل موارد زیر بود: درصد شن، رس، سیلت، سیلت و رس قابل پراکنش در آب، ماده آلی، میانگین قطر وزنی خاکدانه‌ها، جرم مخصوص ظاهری، شاخص پایداری ساختمان خاک، pH، آهک و SAR. کیفیت خاک توسط شاخص IQI^۳ براساس مجموع حاصل‌ضرب نمره، ویژگی‌های انتخاب شده در وزن ویژگی‌ها به صورت زیر تعیین شد (Qi et al, 2009):

^۱ Mean weight diameter of aggregates

^۲ Structural stability index

^۳ Integrated Quality Index

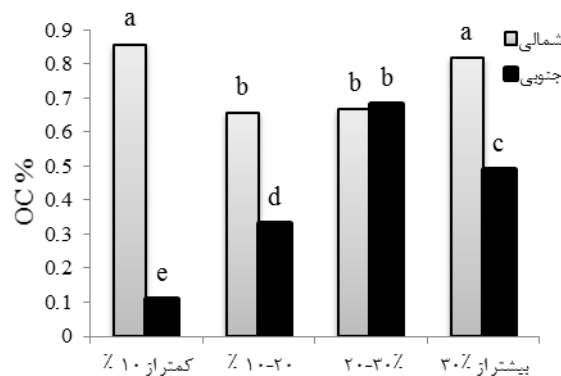
$$IQI = \sum W_i \times N_i$$

(۴)

Ni: نمره‌ی مربوط به هر ویژگی و W_i : وزن مربوط به هر ویژگی است. وزن مربوط به هر ویژگی، با نرم‌افزار JMP4 و از تقسیم سهم هر ویژگی^۱ به مجموع سهم همه‌ی ویژگی‌ها محاسبه شد (Qi et al, 2009). شاخص کیفیت خاک (IQI) نیز براساس مجموعه کل داده‌ها (TDS^۲) محاسبه شد. در پایان، مقایسه‌ی میانگین داده‌ها در هر یک از شیب‌های مورد بررسی با آزمون توکی در سطح پنج درصد در قالب طرح آشیانه‌ای (Nested) - که جهت شیب تیمار و درجات مختلف شیب تکرار را تشکیل می‌دادند - مقایسه شد.

۳- یافته‌ها (نتایج)

براساس نتایج به دست آمده (شکل ۲)، مقدار کربن آلی در شیب شمالی بیش از شیب جنوبی و تفاوت آنها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. در شیب شمالی بیشترین مقدار کربن آلی در شیب‌های کمتر از ۱۰ درصد مشاهده شد و بین درجات مختلف شیب شمالی تفاوت معنی‌داری از نظر کربن آلی مشاهده شد ($P < 0.05$)؛ به طوری که تفاوت بین شیب کمتر از ۱۰ و بیش از ۳۰ درصد معنی‌دار نبود، ولی تفاوت آنها با شیب‌های ۱۰-۲۰ و ۲۰-۳۰ درصد شمالی، در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. در شیب جنوبی، تمامی درجات شیب با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند ($P < 0.05$).



شکل ۲- اثر درجه و جهت شیب بر میزان کربن آلی خاک
Fig 2. Effect of degree and aspect of slope on organic carbon content

مقدار رس و سیلت قابل پراکنش در آب در جهت شمالی شیب، بیش از جهت جنوبی و تفاوت آنها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. رس قابل پراکنش در آب در جهت شمالی شیب، از ۸۱/۳۷ درصد در شیب ۲۰-۳۰ درصد تا ۲۵/۶۴ درصد در شیب کمتر از ۱۰ درصد و در جهت جنوبی، از ۱۶/۲۴ درصد در شیب بیش از ۳۰ درصد تا ۴۹/۲۸ درصد در شیب کمتر از ۱۰ درصد، متغیر بود (شکل ۳). بین درجات شیب شمالی، از نظر مقدار رس قابل پراکنش در آب بین شیب ۲۰-۳۰ درصد و شیب کمتر از ۱۰ درصد با سایر درجات شیب تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، ولی درجات شیب جنوبی از نظر مقدار رس قابل پراکنش در آب تفاوت معنی‌داری نداشتند. در تمامی درجات شیب، مقدار رس قابل

¹ Communality

² Total data set

پراکنش در آب در جهت شمالی به طور معنی داری بیش از جهت جنوبی بود. سیلت قابل پراکنش در آب در شیب شمالی، از ۷۷/۸۴ (کمترین مقدار) در شیب بیش از ۳۰ شمالی تا ۳۶/۸۸ (بیشترین مقدار) در شیب کمتر از ۱۰ درصد متغیر بود (شکل ۴). بین درجات شیب شمالی، در مقدار سیلت قابل پراکنش در آب در سطح پنج درصد تفاوت معنی داری وجود نداشت (شکل ۴). در جهت جنوبی نیز سیلت قابل پراکنش در آب از ۸۲/۷۱ درصد (کمترین مقدار) در شیب بیش از ۳۰ درصد تا ۲۹/۸۴ درصد (بیشترین مقدار) در شیب ۱۰-۲۰ درصد متغیر بود. بین درجات شیب جنوبی نیز در مقدار سیلت قابل پراکنش در آب تفاوت معنی داری مشاهده نشد. بین درجات یکسان شیب در سطح پنج درصد و در دو جهت شمالی و جنوبی تفاوت معنی داری مشاهده نشد.

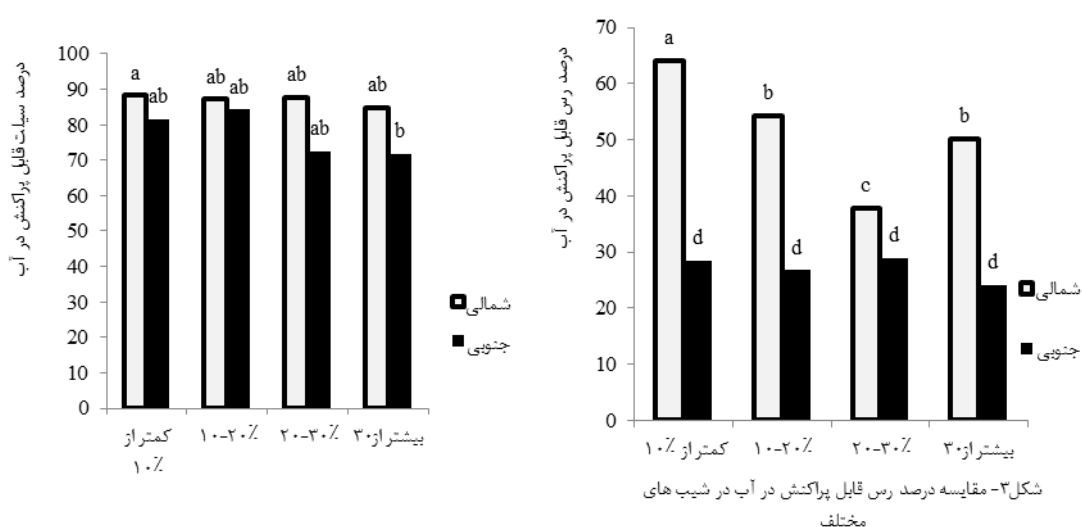
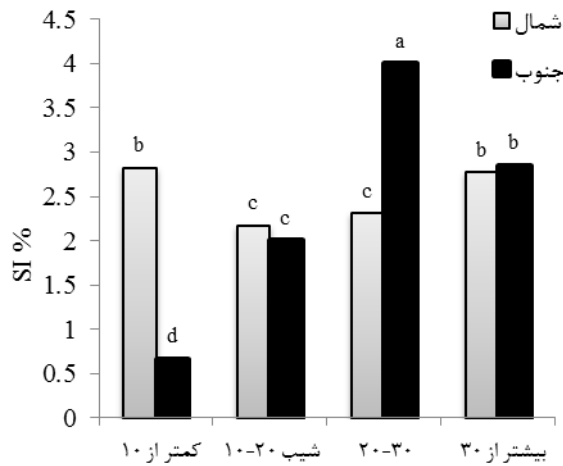


Fig 3. Comparison of water dispersible clay in different slopes

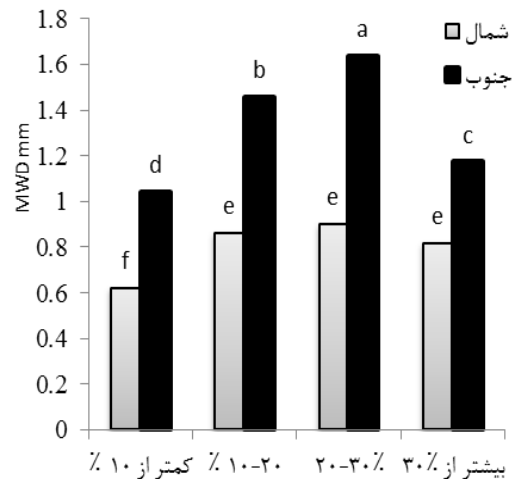
شکل ۴- مقایسه درصد سیلت قابل پراکنش در آب در شیب های مختلف شیب
Fig 4. Comparison of water dispersible silt in different slopes

میانگین وزنی قطر خاکدانه های پایدار در آب (MWD)، در شیب شمالی به طور معنی داری کمتر از شیب جنوبی بود. همچنین بین درجات مختلف شیب جنوبی در مقدار MWD، تفاوت معنی داری در سطح پنج درصد مشاهده شد. در تمامی درجات شیب، مقدار MWD در جهت جنوبی به طور معنی داری بیش از جهت شمالی بود (شکل ۵). شاخص پایداری ساختمان خاک (SI)، در جهت شیب شمالی بیش از شیب جنوبی و تفاوت آنها در سطح پنج درصد معنی دار بود. در شیب شمالی، بیشترین مقدار SI در شیب کمتر از ۱۰ درصد مشاهده شد و تفاوت آن فقط با شیب ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ درصد معنی دار بود و با شیب بیش از ۳۰ درصد تفاوت معنی داری نداشت. در شیب جنوبی نیز کمترین مقدار SI در شیب کمتر از ۱۰ درصد به دست آمد که با تمامی درجات شیب جنوبی در سطح پنج درصد، تفاوت معنی داری داشت (شکل ۶).



شکل ۶- اثر درجه و جهت شیب بر شاخص پایداری ساختمان خاک

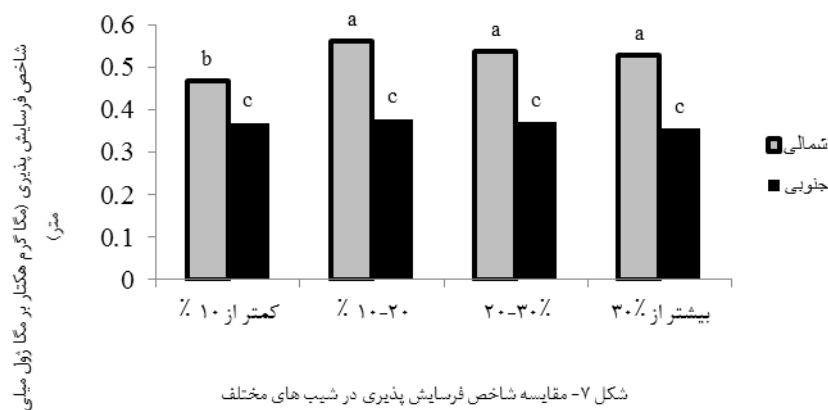
Fig 6. Effect of degree and aspect of slope on structural stability index



شکل ۵- اثر درجه و جهت شیب بر میانگین قطر وزنی خاکدانه‌ها

Fig 5. Effect of degree and aspect of slope on MWD

بر خلاف انتظار، شاخص فرسایش‌پذیری در جهت شمالی شیب بیش از جهت جنوبی بود. بین درجات مختلف جهت شمالی، بین شیب کمتر از ۱۰ درصد با سایر درجات شیب، تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد مشاهده شد. کمترین مقدار فرسایش‌پذیری نیز در شیب کمتر از ۱۰ مشاهده شد. در جهت جنوبی بین درجات شیب، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۷). در تمامی درجات شیب، شاخص فرسایش خاک در جهت شمالی به طور معنی‌داری بیش از جهت جنوبی بود.



شکل ۷- مقایسه شاخص فرسایش‌پذیری در شیب‌های مختلف

Fig 7. Comparison of soil erodibility index in different slopes

بین دو جهت شیب شمالی و جنوبی در مقدار شاخص کیفیت خاک (IQI)، تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد مشاهده شد و مقدار این شاخص در جهت شمالی شیب بیش از جهت جنوبی بود. همچنین در شیب شمالی، بین شیب بیش از ۳۰ با شیب ۲۰-۳۰ درصد تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد وجود داشت و مقادیر IQI در شیب ۲۰ تا ۳۰ درصد شمالی کمتر از سایر شیب‌های شمالی بود. درجات مختلف شیب جنوبی نیز در سطح پنج درصد از نظر مقدار IQI، با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند.

۴- بحث و نتیجه گیری

در منطقه‌ی مورد مطالعه - که خشک و نیمه خشک است - به علت کمبود بارندگی در هر دو جهت شمالی و جنوبی، شیب دارای پوشش گیاهی ضعیف و مقدار ماده آلی اندک است. به علت کم بودن ماده آلی خاک، نقش آن در کنترل فرسایش کم و ناچیز است؛ بنابراین سایر عوامل مثل مقدار سیلت، شن و رس و سیلت قابل پراکنش در آب، در فرسایش پذیری خاک‌های منطقه نقش بیشتری دارند. همان طور که در شکل ۲ نشان داده شد، مقدار کربن آلی در شیب شمالی بیش از شیب جنوبی است که علت آن را می‌توان سبک بودن بافت خاک در جهت جنوبی و ضعیف‌تر بودن پوشش گیاهی در آن جهت دانست. به طور کلی، جهت شیب از طریق تأثیر بر روی رطوبت، دما و فعالیت ریزجانداران خاک، به افزایش یا کاهش ماده آلی خاک در جهت‌های مختلف شیب و ایجاد تفاوت در کیفیت خاک منجر می‌شود (Halim and Normaniza, 2015). با مشاهده‌ی روند کربن آلی در شیب جنوبی، به نظر می‌رسد بخشی از کربن آلی احتمالاً در اثر رواناب از شیب‌های بیش از ۳۰ درصد به قسمت‌های پایین‌تر شیب حرکت کرده و به تدریج به افزایش کربن آلی در شیب‌های ۲۰-۳۰، سپس ۱۰-۲۰ و کمتر از ۱۰ درصد منجر شده است. مقدار بیشینه‌ی ماده آلی در شیب کمتر از ۱۰ درصد شمالی، می‌تواند به دلیل دریافت مواد سطحی فرسایش یافته به ویژه مواد آلی - که در لایه‌ی سطحی تجمع می‌یابند - از شیب‌های بالاتر و موقعیت پایدار این درجه‌ی شیب باشد. مقدار کربن آلی در دو جهت شیب، کمتر از یک درصد است. علت کمتر بودن کربن آلی، خشک بودن اقلیم منطقه و کمبود بارندگی است.

مقدار رس و سیلت قابل پراکنش در آب، در جهت شمالی شیب بیش از جهت جنوبی است که علت آن را می‌توان آب‌شویی بیشتر رس و سیلت در جهت جنوبی نسبت به جهت شمالی دانست. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب (MWD)، در شیب شمالی به طور معنی‌داری کمتر از شیب جنوبی بود. علت کمتر بودن MWD در جهت شمالی شیب، به دلیل بیشتر بودن مقادیر سیلت و شن خیلی ریز، همچنین رس و سیلت قابل پراکنش در آب و در نتیجه ناپایداری ساختمان خاک در جهت شمالی نسبت به جهت جنوبی است. همچنین مقدار ماده آلی کم در دو جهت شیب، به کاهش پایداری خاکدانه‌ها منجر شده است که این عوامل به توزیع خاکدانه‌های با قطر کوچک‌تر در جهت شمالی می‌انجامد. Angers and Carter (1996) مشاهده کردند که میزان خاکدانه‌های پایدار در آب، اغلب با میزان کربن آلی خاک مرتبط است و با افزایش کربن آلی افزایش می‌یابد، اما به علت کم بودن مقدار ماده آلی، نقش آن در تشکیل خاکدانه‌های پایدار در آب ناچیز است. مقدار SAR در دو جهت شیب، کمتر از یک بود و بین درجات مختلف شیب در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

شاخص پایداری ساختمان خاک (SI) در جهت شیب شمالی بیش از شیب جنوبی است که علت افزایش معنی‌دار این شاخص در شیب شمالی، وجود کربن آلی بیشتر در این شیب است. با توجه به اینکه کربن آلی با شاخص SI رابطه مستقیم دارد و در محاسبه‌ی آن استفاده می‌شود (رابطه ۲)؛ بنابراین دلیل بیشتر بودن مقدار این شاخص در شیب کمتر از ۱۰ و بیش از ۳۰ درصد در جهت شمال، بیشتر بودن کربن آلی خاک (شکل ۲) است. اگر مقدار شاخص پایداری ساختمان (SI) کمتر از ۹٪ باشد، بیانگر ناپایداری ساختمان خاک است (Pieri, 1992). در هر دو جهت شیب شمالی و جنوبی، شاخص پایداری ساختمان خاک SI کمتر از ۹٪ است و هر دو جهت شیب ساختمان ناپایداری دارند که علت آن کم بودن ماده آلی در دو جهت شیب است. بیشترین مقدار شاخص پایداری ساختمانی در شیب ۲۰-۳۰ جنوبی

مشاهده شد که علت آن نسبت به درجات شیب شمالی، کمتر بودن مجموع سیلت و رس در این درجه شیب از یک سو و بیشتر بودن مقدار کربن آلی خاک نسبت به سایر درجات شیب جنوبی است.

در این منطقه، شیب‌های شمالی در تمامی درجات شیب، از شاخص فرسایش‌پذیری بیشتری نسبت به دامنه‌های جنوبی برخوردار بودند و جهت شیب در مقایسه با درجات مختلف شیب، تأثیر بیشتری بر فرسایش خاک منطقه داشت. علت بیشتر بودن شاخص فرسایش‌پذیری در جهت شمالی نسبت به جهت جنوبی، بیشتر بودن مقدار سیلت، رس و سیلت قابل پراکنش در آب، همچنین نفوذپذیری کمتر آب در جهت شمالی نسبت به جهت جنوبی است. افزایش نفوذپذیری به کاهش رواناب می‌انجامد و فرسایش‌پذیری را کاهش می‌دهد. با افزایش میزان رس و سیلت قابل پراکنش در آب، پایداری ساختمان خاک کاهش و در نتیجه حساسیت خاک به فرسایش افزایش می‌یابد. فرسایش خاک به صورت مستقیم با مقدار رس قابل پراکنش در آب موجود در خاک ارتباط دارد (Amezket et al, 1996).

Igwe (2005) اظهار داشت که نسبت رس و سیلت قابل پراکنش در آب و سرعت پراکنش آن، شاخص‌های خوبی برای پیش‌بینی فرسایش‌پذیری در برخی خاک‌های جنوب نیجریه هستند. آنها دریافتند که سرعت پراکنش و مقدار رس قابل پراکنش در آب، با پارامتر فرسایش‌پذیری خاک معادله جهانی فرسایش، همبستگی معنی‌داری دارند. پراکنش رس در خاک می‌تواند باعث مشکلات بسیار زیاد کشاورزی و محیطی شود. سله بستن خاک، متلاشی شدن ساختمان خاک و مشکلات فرسایشی ناشی از آن، کاهش نفوذ آب در خاک و افزایش خطر رواناب و در نتیجه، سیل و فرسایش خاک، مشکلات ناشی از پراکنش رس‌ها هستند (Bongiovanni and Lobartini, 2006). همچنین مقدار شن در جهت جنوبی بیش از جهت شمالی بود. زیاد بودن شن در خاک به افزایش میزان نفوذ آب در خاک و در نتیجه، کاهش رواناب و فرسایش‌پذیری در جهت جنوبی نسبت به جهت شمالی انجامیده‌است. آزمایش‌های انجام شده توسط Santos و همکاران (2003) نشان داده، خاک‌هایی که درصد بیشتری از ذرات شن دارند، اثر ضربات قطره‌ای باران را بیشتر کاهش می‌دهند و به دلیل داشتن سرعت نفوذ آب بیشتر، رواناب کمتری تولید می‌کنند. همچنین کمتر بودن مقدار MWD در جهت شمالی نیز به افزایش شاخص فرسایش‌پذیری در این جهت شیب منجر شده‌است. Six و همکاران (2000)، فقدان پایداری خاکدانه‌ها را عامل افزایش حساسیت خاک‌ها به فرسایش آبی معرفی کرده‌اند. پراکندگی خاکدانه‌ها به ایجاد سله در سطح خاک منجر می‌شود و این امر کاهش نفوذپذیری و افزایش رواناب را به همراه دارد. بررسی‌های اجرا شده در آمریکا نشان می‌دهد که وجود خاکدانه‌های سطحی بزرگ و نفوذپذیری زیاد آب در خاک، فرسایش خاک را کاهش می‌دهد (Miller and Gardiner, 1998). علاوه بر این، کمتر بودن مقدار ماده آلی در هر دو جهت شیب، باعث شده‌است نقش ماده آلی در کنترل فرسایش منطقه ناچیز باشد. کربن آلی کمتر از یک درصد در دو جهت شیب، نشان می‌دهد در نواحی خشک که مقدار ماده آلی کم است، نقش آن در کاهش فرسایش‌پذیری ناچیز است. Greenland و همکاران (1975) مقدار ماده آلی، برای جلوگیری از فرسایش خاک را ۲٪ گزارش کرده‌اند و ماده آلی کمتر از ۲٪، تأثیری کمی بر کاهش فرسایش خاک دارد. ویژگی‌های مشترک خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک که آنها را مستعد فرسایش آبی می‌کند، ماده آلی کم، ساختمان ضعیف و پایداری کم خاکدانه‌ها است. بنابراین چون این مناطق از نظر ماده آلی ضعیف هستند، عملیات مدیریتی باید در راستای افزایش ماده آلی خاک به منظور بهبود کیفیت و کاهش فرسایش آن صورت گیرد.

شاخص IQI در جهت شمالی شیب بیش از جهت جنوبی بود. علت بیشتر بودن این شاخص در جهت شمالی شیب، در محدوده‌ی بهینه قرار داشتن اکثر ویژگی‌ها نسبت به جهت جنوبی شیب است. درجات مختلف شیب جنوبی در سطح پنج درصد، از نظر مقدار IQI با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند. مقادیر IQI در شیب ۳۰ تا ۲۰ درصد شمالی، کمتر از سایر شیب‌های شمالی بود که علت آن مقادیر نامناسب (در محدوده‌ی بهینه قرار نگرفتن برخی از پارامترهاست) برخی از ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک مثل ماده آلی، رس و سیلت و بیشتر بودن مقدار شن است. Qi و همکاران (2009)، چهار کلاس برای کیفیت خاک تعیین کرده‌اند که درجه‌ی I مناسب برای رشد گیاهان، درجه II مناسب برای رشد گیاهان با اندکی محدودیت، درجه III دارای محدودیت متوسط و درجه‌ی VI دارای محدودیت زیادی برای رشد گیاهان است (جدول ۱). براساس این طبقه‌بندی، مقدار IQI جهت شمالی شیب و تمامی درجات شیب آن به جز شیب ۳۰-۲۰ درصد، در کلاس درجه III قرار می‌گیرند و شیب ۳۰-۲۰ درصد، دارای درجه‌ی VI (محدودیت شدید برای رشد گیاهان) است. بر این اساس مقدار IQI تمامی درجات شیب جنوبی، دارای درجه‌ی VI و محدودیت شدید برای رشد گیاهان است (جدول ۱).

جدول ۱: داده‌های مربوط به شاخص کیفیت خاک و کلاس محدودیت آن

جهت	شیب	IQI	کلاس محدودیت	شیب	IQI	کلاس محدودیت
شمالی	کمتر از ۱۰ درصد	۰/۵۷	III	کمتر از ۱۰ درصد	۰/۲۸	VI
	۱۰-۲۰ درصد	۰/۵۹	III	۱۰-۲۰ درصد	۰/۳۲	VI
	۲۰-۳۰ درصد	۰/۵۳	VI	۲۰-۳۰ درصد	۰/۲۸	VI
	بیش از ۳۰ درصد	۰/۶۰	III	بیش از ۳۰ درصد	۰/۲۸	VI

منابع

1. Amezket, E.; Singer, M. J., & Y. Le Bissonnais, 1996. Testing a new procedure for measuring water-stable aggregation, *Soil Science Society of America Journal*, 60, 888-894.
2. Angers, D. A., & M. R. Carter., (1996). Aggregation and organic matter storage in cool, humid agricultural soils. In: Carter MR. and Stewart BA (eds.). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. pp 193-211. (CRC Press: Boca Raton).
3. Bodoque, J. M., & A. Díez-Herrero., (2005). Sheet erosion rates determined by using dendrogeomorphological analysis of exposed tree roots: Two examples from Central Spain. *Catena*, 64, 81-102.
4. Bongiovanni, M. D., & J. C. Lobartini., (2006). Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro-and microaggregates as affected by cultivation. *Geoderma*, 136, 660-665.
5. Field, J. P.; Breshears, D. D.; & J. J. Whicker, 2009. Toward a more holistic perspective of soil erosion: why aeolian research needs to explicitly consider fluvial processes and interactions, *Aeolian Research*, 1 (1-2), 9-17.
6. Fox, D. M.; Maselli, F.; & P. Carrega, 2008. Using SPOT images and field sampling to map burn severity and vegetation factors affecting post forest fire erosion risk, *Catena*, 75, 326-335.

7. Gee, G. W., & J. W. Bauder., (1986). Particle-size analysis. In: Klute A (ed.). *Methods of Soil Analysis*. ASA Press, *Madison, WI, USA*. pp 383-411.
8. Greenland, D. J.; Rimmer, D.; & D. Payne, 1975. Determination of the structural stability class of English & Welsh soils, using a water coherence test, *Journal of Soil Science*, 26, 294-303.
9. Halim, A., & O. Normaniza., (2015). The effects of plant density of *Melastoma malabathricum* on the erosion rate of slope soil at different slope orientations. *International Journal of Sediment Research*. 30(2), 131-141.
10. Igwe, C. A., 2005. Erodibility in relation to water-dispersible clay for some soils of eastern Nigeria, *Land Degradation and Development*, 16, 87-96.
11. Karimi, A.; Khademi, H.; Kehl, M.; & A. Jalalian, 2009. Distribution, Lithology and provenance of peridesert loess deposits in northeastern Iran.
12. Kemper, W. D., & R. C. Rosenau., (1986). Aggregate stability and size distribution. In: Klute A. (ed.). *Methods of soil analysis*. Part1. Agronomy monographs, 9. America Society of Agronomy, Madison, WI.
13. Miller, R. W., & D. T. Gardiner., (1998). Soils in our environment. Eighth edition, Prentice Hall Inc., *United State of America*, pp 75-81.
14. Page, A. L.; Miller, R. H.; & D. R. Keeney, 1982. *Methods of Soil Analysis*, part2, chemical and microbiological properties, American Society of Agronomy, Inc, *Soil Science Society of Aamerica*, Madison, WI.
15. Pieri, C. J. M. G., 1992. *Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah*, Springer-Verlag, Berlin, Germany.
16. Qi, Y.; Jeremy, L. D.; Biao, H.; Yongcun, Z .; Weixia, S.; & G. Zhiquan, 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China, *Geoderma*, 149, 325-334.
17. Rengasamy, P.; Greene, R. S. B.; Ford, G. W.; & AH. Mehanni, 1984. Identification of dispersive behavior and the management of red-brown earths, *Australian Journal of Soil Research*, 22, 413-431.
18. Santos, F. L.; Reis, J. L.; Martins, O. C.; Castanheria, N. L.; & R. P. Serralherio, 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigation soils, *Biosystems Engineering*, 86(3), 355-364.
19. Shahab, H.; Emami, H.; Haghnia, G. H.; & A. Karimi, 2011. Determining most Important Properties for Soil Quality Indices of Agriculture and Range Lands in some Parts of Southern Mashhad, *Journal of woter and soil*, 25(5), 1197-1205.
20. Six, J.; Elliott, E. T.; & K. Paustian, 2000. Soil structure and soil organic matter: II. A Normalized stability index and the effect of mineralogy, *Soil Science Society of America Journal*, 64, 1042-1049.
21. Veihe, A., 2002. The spatial variability of erodibility and its relation to soil types: a study from northern Ghana, *Geoderma*, 106, 101-120.
22. Walkley, A., & I. A. Black., 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method, *Soil Science*, 37, 29-37.

23. Wang, J.; Qiu, B. Fu, Y.; & L. Chen, 2001. Soil nutrients in relation to land use and landscape position in the semi-arid small catchment on the loess Plateau in china, *Journal of Arid Environments*, 48, 537-550.
24. Wischmeier, W. H., & D. D. Smith., (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. US Department of Agriculture, Washington DC.
25. Yuan, J. Z., & S. Mingan., (2008). Spatial distribution of surface rock fragment on hill slopes in a small catchment in wind-water erosion crisscross region of the loess Plateau. *Science in China Series D: Earth Sciences*. 51, 862-870.
26. Yuong, R. A.; Romkens, M. J. M.; & D. K. McCool, 1990. Temporal variations in soil erodibility. In: Bryan RB (ed.), Soil Erosion- Experiments and Models, *Catena*, supplement 17, Verlag, Cremlingen –Destedt, Pp 101-111.

An Evaluation of Soil Erodibility in the Catchment of Torogh Dam in Mashhad

Mohammad Bagher Soofi: MSc. of Soil Science, Ferdowsi university of Mashhad.

Hojat Emami¹: Associate Professor of Soil Science, Ferdowsi university of Mashhad.

Article History (Received: 17/5/2017 Accepted: 9/1/2018)

Extended abstract

1- Introduction

Soil erosion is one of the most important problems in the arid and semi-arid areas in Iran and the knowledge about its content has an important role on the management practices of soil conservation. Topography as one of the soil-making factors affects the physical properties of the soil through the aspect and the degree of the slope. The aspect of the slope changes the soil moisture, temperature, and the activity of the soil micro-organisms, causing changes in the soil organic matter at different slope degrees, and as a result, creating different soil qualities. Different slope degrees through transportation, the clay particles, and even the organic matter down to the low lands as well as the change in the soil bulk density may change the quality of the soil. In order to maximize the utilization of agricultural lands, to minimize the environmental degradation, and to prevent soil erosion, investigating the soil quality is essential. The aim of this study was to evaluate the amount of soil erosion and quality in different degrees of the southern and northern slopes in the catchment of Torogh dam located in the southwestern Mashhad.

2- Methodology

To evaluate the soil erodibility index and quality, 40 soil samples were collected from 0-30 cm depth at the southern and northern slopes including less than 10%, 10-20%, 20-30% and more than 30% slope degrees in the catchment of Torogh dam located in the southwestern Mashhad. 5 samples were taken from each position and some soil properties, including the particle size distribution, the percentage of the soil organic matter, the mean weight diameter of aggregates, the water dispersible clay and silt contents, and the soil structural stability index (SI), were measured. The soil erodibility index was calculated based on five characteristics including sand, silt with fine sand, organic matter, soil structure class, and the infiltration rate class of the soil profile. In addition, the soil quality index, i.e. Integral Quality Index (IQI), was calculated according to the data set. To calculate the soil quality, the score of each property were determined based on the scoring functions and their weights calculated by dividing the communality value of each property to the total communality of all the properties in the JMP4 software. Then, the soil quality index (i.e. IQI) was calculated through multiplying the score and weight of the studied properties and their sum.

3- Results

The results showed that the mean of the organic matter in the North aspect was significantly more than the South slope due to the coarse soil texture and the scarce cover crop in the South aspect. The weight diameter of the aggregates (MWD) in the northern aspect was significantly lower than the southern one because of the higher contents of the silt, fine sand, and the water dispersible clay and silt. Therefore, the low instability of the soil structure in the northern aspect was compared to the southern slope. Also, the MWD had a significant difference between the diverse degrees of the southern slope. In addition, the soil erodibility index in the northern aspect of the slope was significantly greater than that of the southern aspect due to more contents of the water dispersible clay and silt in the northern aspect compared to the southern one. The lowest value of the soil erodibility index was obtained at less than 10% of the North aspect that had a significant difference in relation to the other slope degrees. The difference of the soil erodibility index was not significant in different slope degrees of the South aspect.

¹ Corresponding Author: henani@um.ac.ir

In addition, the quantitative value of the soil quality index in the northern slope was significantly more than that of the southern slope. Because of the optimal values of most soil properties in the North aspect, therefore, the soil quality in this aspect was higher than that of the South. There was no significant difference between the slope degrees in the South slope, but in the North aspect, the difference between various slope degrees of 20-30% was significant ($P < 0.05$) and the soil quality value was the least compared to the others.

4- Discussion & Conclusions

In the studied area, the annual precipitation is low, so that the plant residue and the organic matter are low, and as a result of this, the impact of the organic matter on soil erodibility was low. Therefore, other soil properties, i.e. the contents of silt, sand, clay, water dispersible clay and silt have important roles in controlling the soil erosion. In this research, the effect of the slope aspect on the soil quality was more than the respective degree, so that the soil erosion value in the North aspect was greater than that of the South one, and diverse slope degrees had no significant effects on the soil quality. With regard to the low content of the organic matter in this area, it is suggested that the soil management practices be performed to increase the soil organic matter, to decrease the soil erodibility, and to improve the soil quality.

Key words: Erodibility index, Slope aspect, water dispersible clay, Soil quality.