

کارایی سیستم‌های RS و GIS در برآورد فرسایش بادی خاک ساحل شرقی دریاچه ارومیه

ساغر چاخارلو^{۱*}، علی اصغر جعفرزاده^۲، عباس احمدی^۳، بختیار فیضی زاده^۴، فرزین شهبازی^۵

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۴)

(تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۵)

چکیده

فرسایش بادی یکی از جنبه‌های مهم تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده و چالشی جدی در برابر تولید پایدار و مدیریت اراضی محسوب می‌شود. در این تحقیق، برای برآورد فرسایش بادی خاک در ساحل شرقی دریاچه ارومیه، از مدل ارزیابی جامع استفاده شد که با دقت کلی ۶۶/۱۲٪، موثر بوده و در آن از شش عامل مهم فرسایش پذیری بادی خاک، شاخص‌های خشکی و پوسته خاک، پوشش گیاهی، شدت باد و تعداد روزهای برفی استفاده می‌شود. برای بدست آوردن فرسایش بادی خاک، نمونه‌ها بصورت تصادفی از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر در ۱۵۳ نقطه از سه لایه ارتفاعی (۱۲۷۱-۱۲۷۳ و ۱۲۷۳-۱۲۷۵ و ۱۲۷۵-۱۲۷۸ متر ارتفاع از سطح دریا) در سایت‌های انتخابی تهیه و جهت بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، به آزمایشگاه منتقل گردید. از روش AHP نیز برای تعیین وزن هر عامل در یک سیستم چند معیاری طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۰۵ استفاده و پوشش گیاهی بسیار ضعیف منطقه با تغییرات سالیانه ناچیز، به عنوان مهمترین عامل موثر در مدل فرسایش بادی شناخته شد. نتایج نشان داد فرسایش زیاد بهترین دقت (۰/۷۶)، فرسایش کم (۰/۶۴) و فرسایش متوسط (۰/۵۷) را نشان می‌دهند و پایین بودن دقت فرسایش کم و متوسط، به علت وجود نقاط مشاهده میدانی بیشتر در مناطق فرسایشی شدید است که بر صحت نتایج ارزیابی تأثیر می‌گذارد. صحت مدل ارائه شده در تبیین کلاس فرسایش بادی شدید بیشتر از سایر کلاس‌ها بوده و بیانگر قرار گرفتن ۴۵/۵۶٪ از منطقه مورد مطالعه در کلاس فرسایش بادی شدید (۰/۵۳ > WEI) است. در صورتیکه، ۲۳/۹۷٪ دارای فرسایش متوسط (۰/۵۳ < WEI < ۰/۴۸) و ۳۰/۴۷ درصد دارای فرسایش کم (۰/۴۸ < WEI) می‌باشد. در نتیجه، صحت ارزیابی کلی مدل فرسایش بادی خاک ایجاد شده در این تحقیق می‌تواند کاربرد خوبی در منطقه شرق دریاچه ارومیه داشته باشد. کل نتایج بیانگر روند کاهش شدت فرسایش از مناطق میانی به شمالی و جنوبی است.

واژه‌های کلیدی: دقت فرسایش، مدل ارزیابی جامع، AHP

چاخارلو س.، جعفرزاده ع.ا.، احمدی ع.، فیضی زاده ب.، شهبازی ف. ۱۳۹۹. کارایی سیستم‌های RS و GIS در برآورد فرسایش بادی خاک ساحل شرقی دریاچه ارومیه. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۸، شماره ۴. صفحه ۱۶۹-۱۸۰.

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز (مکاتبه کننده)

۲- استادگروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۴- دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز، دانشگاه تبریز

۵- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

* پست الکترونیک: saghar.chakherloo@yahoo.com

مقدمه

کاهش بی سابقه آب دریاچه ارومیه در چند سال اخیر، ناشی از عوامل مختلفی است که در این بین عامل خشکسالی بی سابقه سدسازی، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب حوضه دریاچه و کاهش مقدار ورودی به دریاچه (یعنی جریان‌ات سطحی ورودی بعلاوه بارندگی بر سطح دریاچه) نسبت به جریان‌ات خروجی از دریاچه (که تنها تبخیر از سطح می باشد)، از مهمترین آنها می‌باشند. در حال حاضر، بیش از ۳ هزار کیلومترمربع از بستر دریاچه به شورزار تبدیل شده است (Khaki & Pourahmadi, 2019). فرسایش بادی یکی از مشکلات جدی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه است که از پیامدهای مهم آن می‌توان به افت کیفیت هوا اشاره نمود (Vermier et al., 2005). همچنین، تشکیل طوفان‌های گرد و غبار و ریزگردها (Diyaz et al., 2010) باعث کاهش میدان دید و استهلاک ماشین آلات صنعتی (Hagen et al., 2010)، تخریب ساختمان خاک (Zhao et al., 2006)، تخلیه ذرات حاصلخیز خاک (Gomez et al., 2003)، بیابان‌زایی و تخریب محصولات کشاورزی (Zamani & Mahmoodabadi, 2013) می‌گردد. فرسایش بادی فرآیندی است که در اراضی شور تشدید شده و عامل مهم تخریب خاک در اواخر زمستان و اوایل بهار است که به طور گسترده در مناطق خشک و نیمه‌خشک رخ می‌دهد و تأثیرات عمده‌ای بر بیابان‌زایی و کشاورزی منطقه‌ای دارد (Tegen et al., 2004). املاح برحسب نوع ویژگی‌های خاص خود، تأثیرات گوناگونی در توده خاک داشته و ممکن است سبب استحکام یا حساسیت خاک در مقابل بادبردگی شود. برونزدهای حاصل از پسروری دریاچه ارومیه و افزایش خشکی و از بین رفتن پوشش گیاهی، می‌تواند منجر به افزایش فعالیت طوفان گرد و غبار شود (Munson et al., 2011). این قسمت‌ها (برونزدهای حاصل از پسروری دریاچه ارومیه) از جمله مناطق تحت تأثیر فرسایش بادی بوده و احتمال می‌رود با خشک شدن دریاچه ارومیه و افزایش رسوبات فرسایش‌پذیر، شدت آن در منطقه افزایش یابد. باد به عنوان یکی از محرک‌های اصلی فرسایش خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ذرات خاک را حمل کرده و منجر به فرسایش باد در اراضی فرسایش‌پذیر می‌شود. فرسایش بادی تحت تأثیر شرایط طبیعی همانند وزش باد شدید، بارندگی ناچیز، وضعیت خاک، پوشش گیاهی و

فعالیت‌های انسانی (مدیریت کاربری اراضی)، اتفاق می‌افتد و بهره‌وری خاک و توسعه پایدار مناطق روستایی را به مخاطره می‌اندازد (Seeger & Ries, 2008). فرسایش بادی قابل توجه خاک نه تنها باعث از بین رفتن مواد ریز، مواد آلی و مواد مغذی می‌شود، بلکه ممکن است طوفان ماسه‌ای نیز ایجاد کرده و محیط زیست را آلوده کند (Yan et al., 2011; 2013; Dabojani et al., 2014). بنابراین، افزایش خشکی و از بین رفتن پوشش گیاهی می‌تواند منجر به افزایش فعالیت طوفان گرد و غبار شود (Munson et al., 2011). در دهه‌های اخیر، تأثیر تغییرات آب و هوایی به ویژه در اکوسیستم مناطق خشک و نیمه-خشک مشهود بوده (Solomon et al., Tegen et al., 2004). و تحقیقات سیستماتیک مربوط به فرسایش بادی خاک در حال حاضر با مشاهدات میدانی انجام می‌شود (Dong et al., 2004). توده فرسایش بادی از یک منحنی سیگموئید به جای یک کارکرد نمایی پیروی می‌کند که نه تنها می‌تواند روابط بین شدت تغییر فرسایش بادی و عوامل محرک آن را نشان دهد، بلکه چگونگی تأثیر شرایط هواشناسی، خاک و پوشش گیاهی با فرسایش بادی بر حساسیت زمین را مشخص می‌سازد (Li et al., 2007). علاوه بر این، تمرکز فرسایش بادی خاک به تدریج از مطالعات کیفی به مطالعات تونل باد نیمه کمی و کمی منتقل شده است (Steffens et al., 2009). اگرچه برخی از دستاوردهای تحقیقاتی مربوط به بیابان‌زایی، طوفان ماسه-سنگی، پویایی فرسایش باد و عوامل محرک فرسایش باد بدست آمده، اما هنوز هم بر اساس سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS)، تحقیق در مورد الگوهای مکانی و زمانی فرسایش بادی خاک در مقیاس وسیع وجود ندارد (Buschiazzo & Zobeck, 2008). با این حال، اندازه‌گیری‌های کمی بر اساس GIS و RS گزارش شده است که امکان بررسی فرسایش بادی خاک در یک مدل تخمین را در مقیاس بزرگ فراهم می‌کند. هدف از این تحقیق، برآورد فرسایش بادی در ساحل شرقی دریاچه ارومیه با توجه به اطلاعات بدست آمده از GIS و RS است (با در نظر گرفتن این مسئله که تاکنون فرسایش بادی برای این منطقه برآورد نشده بود) که در مدل ارائه شده، از شش عامل مهم فرسایش‌پذیری

۱۲۷۳ و ۱۲۷۳-۱۲۷۵ و ۱۲۷۵-۱۲۷۸ متر ارتفاع از سطح دریا) تقسیم‌بندی شده است. نمونه‌برداری‌ها از ۱۵۳ نقطه سه لایه موجود در سایت‌ها در اوایل تیرماه (۱۳۹۶) انجام و مختصات نقاط نمونه‌برداری به سیستم تعیین موقعیت جهانی^۱ (GPS) انتقال و نمونه‌برداری خاک‌ها از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری انجام گردید. سپس ۲۶ نمونه تصادفی از این سایت‌ها انتخاب و از هر یک حدود ۱۰ کیلوگرم برای مطالعه فرسایش پذیری خاک به تونل باد دانشگاه تبریز منتقل و مورد مطالعه قرار گرفت. در شکل ۱ فلوجارت مراحل انجام پژوهش نشان داده شده است.

بادی خاک، شاخص‌های خشکی و پوسته خاک، پوشش گیاهی، شدت باد و تعداد روزهای برفی استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه به عنوان بزرگترین سطح آبی ایران است که در مختصات جغرافیایی بین $37^{\circ} 9'$ تا $38^{\circ} 12'$ عرض شمالی و $45^{\circ} 6'$ تا $45^{\circ} 54'$ طول شرقی بوده که منطقه مورد مطالعه ما در ساحل شرقی دریاچه واقع شده است (شکل ۱). در مرحله مقدماتی، منطقه مورد مطالعه به سه سایت تقسیم‌بندی شد که هرکدام از این سایت‌ها براساس ارتفاع از سطح آب‌های آزاد به سه لایه ارتفاعی (۱۲۷۱-)



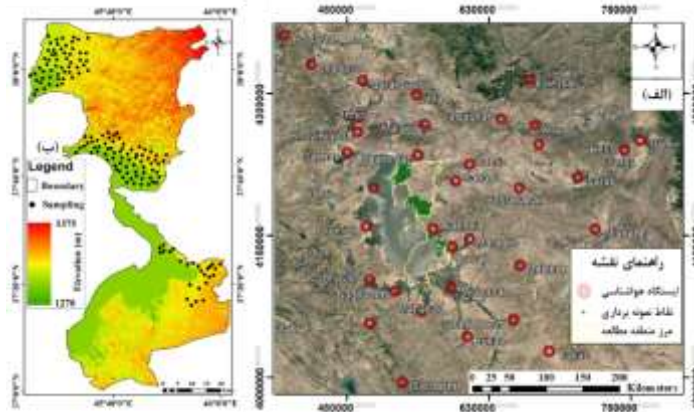
شکل ۱- فلوجارت مراحل تحقیق

Figure 1. The flowchart Research Stages

(C°)، پوشش برف ماهانه (روز) و سرعت باد (متر بر ثانیه) در طی سال ۲۰۰۵-۲۰۱۷ از ۳۵ ایستگاه هواشناسی در منطقه مورد مطالعه و اطراف آن جمع‌آوری شد (شکل ۲).

داده‌های هواشناسی

مجموعه داده‌های هواشناسی از سایت سازمان هواشناسی کشور تهیه و بارش روزانه (میلی متر)، درجه حرارت روزانه



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و توزیع ایستگاه‌های هواشناسی

Figure 2. Geographic location of study area and distribution of meteorological stations

بلاک (Page & Keeney, 1992)، قابلیت هدایت الکتریکی (دستگاه EC سنج)، pH خاک (Sparks & Bartels, 1996) بر اساس روش‌های استاندارد ذکر شده اندازه گیری شدند.

اصل ارزیابی و عوامل

روند فرسایش بادی خاک به طور کلی تحت تأثیر عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی قرار دارد. بنابراین، انتخاب شاخص‌های مناسب برای منعکس کردن عوامل محرک درگیر در وزش باد خاک ضروری است. پس از انجام مشاهدات میدانی، شش پارامتر مهم همانند فرسایش پذیری خاک (Zamani & Mahmoodabadi, 2013)،^۴ شاخص خشکی خاک (Fisher *et al.*, 2005)، پوشش گیاهی (Haffmann *et al.*, 2008)، شلختگی خاک (Steffens *et al.*, 2007)، شدت باد (Bulygina *et al.*, 2007)، تعداد روزهای برفی (Ferrick & Gatto 2005)،^۵ برای نشان دادن بهتر فرسایش باد انتخاب شد.

استانداردسازی فاکتور

از آنجا که عوامل در واحدهای مختلف اندازه‌گیری شدند، برای حذف تفاوت واحد بین متغیرها در خصوصیات اندازه گیری شده (Var)، استانداردسازی لازم بوده و متغیرها را می‌توان با استفاده از معادلات (۱) و (۲) به متغیرهای با واحد کمتر (۰-۱) مورد پردازش قرار داد.

$$I_i = \frac{Var - Var_{min}}{Var_{max} - Var_{min}} \quad (\text{مثبت}) \quad (1)$$

$$I_i = \frac{Var_{max} - Var}{Var_{max} - Var_{min}} \quad (\text{منفی}) \quad (2)$$

شاخص نرمال سازی پوشش گیاهی (NDVI)

پوشش گیاهی می‌تواند ثبات خاک را افزایش داده و اثرات مخرب را در سطح خاک کاهش دهد. شاخص نرمال سازی پوشش گیاهی^۱ (NDVI)، یک نشانگر بهتر از فعالیت پوشش گیاهی نسبت به شاخص سطح برگ، اغلب برای محاسبه پوشش گیاهی استفاده می‌شود (Miao *et al.*, 2004). داده‌های NDVI از تصاویر سنجنده‌های TM، ETM⁺ و OLI ماهواره لندست سری ۷ و ۸ در طی سالهای ۲۰۰۵-۲۰۱۷ با قدرت تفکیک ۳۰ متری محاسبه شد. سپس NDVI ماهانه به روش ارزش‌های حداکثری^۲ (MVC) به دست آمد. MVC به طور گسترده برای از بین بردن تأثیراتی مانند آلودگی ابر، اثرات جوی، اثرات زاویه خورشیدی زونیت و فوران آتشفشانی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Li *et al.*, 2006).

اطلاعات خاک (Soil database)

پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و در مجاورت هوا خشک گردیدند. بعد از عبور دادن از الک‌های ۲ میلی‌متری و ۸ میلی‌متری و آماده کردن نمونه‌ها، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و فرسایش‌پذیری خاک و توزیع اندازه خاکدانه‌ها تعیین شدند. این ویژگی‌ها از قبیل بافت خاک (Gee & Or, 2002)، تعیین پایداری خاکدانه‌ها به روش الک خشک (Kemper & Rosenau, 1986)، جزء فرسایش‌پذیر خاک (Lopez *et al.*, 2007)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک (Nimmo & Perkins, 2002)، میزان کربن آلی خاک با استفاده از روش والکی-

5. Fraction coverage
6. Soil Crust Index
7. Wind field intensity
8. Number of snow cover days

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Maximum Value Composition
3. Soil Erodibility
4. Aridity Index

کرده‌اند. عواملی مانند روش آنتروپی (Guo *et al.*, 2015)، شبکه عصبی مصنوعی (Basso *et al.*, 2000)، روش وزن شاخص (Zhou *et al.*, 2015). در این مقاله از روش AHP برای تعیین وزن هر عامل در یک سیستم چند معیاری استفاده شده که روند بدست آوردن وزن هر عامل در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

که I_i فاکتور استاندارد شده از Var است. Var_{min} کمترین ارزش فاکتور Var و Var_{max} بیشترین ارزش فاکتور Var است.

روش وزن دهی

تعیین وزن برای هر عامل با توجه به اهمیت نسبی آن در سیستم ارزیابی موضوع مهمی است. محققان زیادی از روش‌های مختلفی برای تعیین وزن برای ارزیابی استفاده

جدول ۱- مقیاس مقایسه دودویی

Table 1. Scale of binary comparison

Degree of importance	Definition
1	Equal importance of two elements
3	Weak importance of an element in comparison to the other one
5	Strong importance of an element in comparison to the other one
7	Certified importance of an element in comparison to the other one
9	Absolute importance of an element in comparison to the other one
2,4,6,8	Intermediate values between two appreciations
1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9	Reciprocal values of the previous appreciation

جدول ۲- وزن نسبی معیارها برای ارزیابی فرسایش بادی خاک

Table 2. Relative weights of factors for evaluation of soil wind erosion

Factors	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	Weights
(1) Aridity index	1	1/2	1/2	2	1/2	1/3	0.124
(2) Soil erodibility		1	2	3	1	1/3	0.176
(3) Soil crust index			1	2	1/3	1/3	0.116
(4) Number of snow cover days				1	1/4	1/3	0.071
(5) Wind field intensity					1	1/2	0.185
(6) Vegetation fraction						1	0.328

مدل ارزیابی جامع - لخت و وسیع است (Mendakh *et al.*, 2016). فرسایش-پذیری خاک با یک مقدار ثابت توسط خصوصیات ذاتی خاک‌ها کنترل می‌شود و می‌توان از روابط تجربی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند محتوای ماده آلی و ترکیب شیمیایی آن، تخمین زد (Zhang *et al.*, 2004). در این تحقیق، مطالعه فرسایش‌پذیری بادی در ۲۶ نمونه خاک انتخابی توسط تونل باد گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز انجام و به منظور تعیین فرسایش‌پذیری خاک، سرعت آستانه حرکت و فرسایش‌پذیری نمونه‌های خاک در جهت برآورد فرسایش‌پذیری بادی، در آن مشخص شد. نمونه‌های خاک پس از خشک شدن و عبور از الک ۸ میلی‌متری، در یک سینی تونل آزمایشی با ابعاد ۳۰ × ۴۰ × ۳ سانتی‌متر قرار داده شده و پس از تراز شدن، در معرض سرعت باد در ارتفاع ۲۰ سانتی متری تونل باد قرار گرفتند

چندین فاکتور برای به دست آوردن یک فهرست جامع با استفاده از یک تابع تجزیه و تحلیل فضای GIS یکپارچه شدند و روش محاسبات خطی وزنی برای محاسبه شاخص فرسایش بادی خاک^۱ (WEI) اتخاذ شد (Basso *et al.*, 2000) که معادله به صورت زیر است:

$$WEI = \frac{\sum_{i=1}^n w_i I_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3)$$

که WEI شاخص فرسایش خاک، w_i وزن فاکتور i و I_i ارزش تغییرات فاکتور i است.

فرسایش‌پذیری خاک

فرسایش‌پذیری خاک در واقع یک اندازه‌گیری از پتانسیل هدررفت خاک از یک سطح بدون سله، بدون پناه، صاف،

$$AI = 0.16 \sum T_{\geq 10C} / P \quad (5)$$

AI شاخص خشکی، $\sum T_{\geq 10C}$ دمای بیشتر از ۱۰ درجه سلسیوس در طول یک سال، P مقدار باران در مدتی که دما بالاتر از ۱۰ درجه سلسیوس است.

پوشش گیاهی

پوشش گیاهی نقش مهمی در برابر قطرات باران یا تأثیر باد دارد (Hoffman et al., 2008; Li et al., 2002). قسمت‌های زیرین گیاهان می‌توانند نیروهای فرسایش باد را کاهش دهند، در حالی که قسمت‌های زیرزمین، ثبات خاک را افزایش داده، اثرات مخرب بر روی خاک را کاهش می‌دهند. تقریباً در تمام مطالعات قبلی، رابطه منفی بین پوشش گیاهی و فرسایش بادی خاک مشاهده شده است (Zhong et al., 2009; Khanjani Safdar et al., 2015). پوشش گیاهی به عنوان یکی از مهمترین شاخص‌ها در نظر گرفته شده و شاخص NDVI (Huete & Tucker, 1991) برای محاسبه میزان پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفت.

$$VFC = FC \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (6)$$

FC پوشش گیاهی، NDVI ارزش هر پیکسل، $NDVI_{soil}$ حداقل ارزش تمامی پیکسل‌ها در سطح اطمینان ۰/۰۵ و $NDVI_{veg}$ حداکثر ارزش تمامی پیکسل‌ها در سطح اطمینان ۰/۹۹۵ می‌باشد.

شاخص پوسته خاک

پوسته خاک یکی از مهمترین ویژگی‌های ساختاری خاک در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است (Hevia et al., 2007). فرآیند پوسته پوسته شدن با تجزیه خاکدانه‌ها و پراکندگی رس خاک هنگام خیس شدن آن یا در معرض بارندگی آغاز می‌شود و با خشک شدن خاک پس از پراکندگی رس آن، یک پوسته نازک شکل می‌گیرد (Duiker et al., 2001; Heiva et al., 2007). وجود پوسته خاک از لحاظ فیزیکی بسیاری از خصوصیات سطح خاک را تغییر می‌دهد و این پوسته در بسیاری از کارکردهای اکوسیستم نقش مهمی دارد (Feng et al., 2013). در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک، که فرسایش بادی غالب است، پوسته خاک نقش مهمی در حفظ منابع خاک ایفا می‌کند (Zhang et al., 2004). تأثیر پوسته بر فرسایش مدت زیادی است که در بسیاری از مناطق خشک وجود

که این سرعت آستانه فرسایش با استفاده از سرعت سنج HOT-WIRE 1941 در ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر مشخص شده بود. توضیح اینکه پس از مشخص شدن سرعت آستانه حرکت، باد ذرات سینی را خارج نموده و این عمل پس از تسطیح دوباره سطح نمونه خاک و اندازه‌گیری وزن سینی و نمونه خاک داخل آن با ترازو، دوباره در تونل باد قرار داده شدند. برای اندازه‌گیری فرسایش‌پذیری بادی خاک، سرعت باد در تونل بادی را به آرامی زیاد نموده تا به سرعتی بالاتر از سرعت آستانه نمونه خاک برسد و میزان خاک از دست رفته از سینی خاک در مدت زمان ۵ دقیقه از آزمایش را اندازه‌گیری و شدت فرسایش ($kgm^{-2}s^{-1}$) برای سرعت مورد نظر محاسبه شد. شدت فرسایش هر نمونه را در ۵ سرعت مختلف (سرعت‌های بیشتر از سرعت آستانه هر نمونه خاک) محاسبه نموده و رابطه خطی بین سرعت باد و شدت فرسایش بادی تعیین گردید و شیب خط این رابطه به عنوان فرسایش‌پذیری بادی نمونه در نظر گرفته شد (Zamani & Mahmoodabadi, 2013). همچنین، فرسایش‌پذیری بادی خاک بقیه نمونه‌ها (۱۲۷ نمونه)، با استفاده از رابطه رگرسیونی ایجاد شده فرسایش‌پذیری بادی خاک نمونه-های تونل باد با جزء فرسایش‌پذیر خاک که یک ویژگی فیزیکی است، محاسبه گردید (Raei et al., 2020).

$$EF = \sum P < 0.85mm \quad (4)$$

که EF جزء فرسایش‌پذیر خاک و P ذرات خاکدانه (٪) می‌باشد.

شاخص خشکی خاک

از شاخص خشکی که نسبت تبخیر را توصیف می‌کند، می‌توان برای تخمین میزان خشکی در منطقه خشک یا فصلی با بارش و تبخیر و تعرق استفاده کرد (Huo et al., 2013). نشان دادن جزء قابل توجه از آب سطحی خاک یک مزیت علمی و عملی است (Liyo et al., 2010). این شاخص می‌تواند به عنوان اندازه‌گیری میزان آب موجود در یک اکوسیستم در منطقه استفاده شود. محتوای آب می‌تواند بر خصوصیات خاک تأثیر بگذارد که در نهایت، باعث تغییر فرسایش خاک می‌شود (Zhou et al., 2015). شاخص بر اساس بارش روزانه و سرعت باد حاصل از داده‌های هواشناسی مشاهده شده در طی سالهای ۲۰۱۷-۲۰۰۵، محاسبه و سپس توزیع مکانی آن با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ با وضوح مکانی ۳۰ متر، بدست آمد (Zhou et al., 2015).

یک سال اشاره دارد (Tejada & Gonzalez, 2006). روزهای پوششی این شاخص بر اساس داده‌های برف به دست آمده از ۳۵ ایستگاه هواشناسی مشاهده شده در طی سالهای ۲۰۰۵-۲۰۱۷ در اطراف دریاچه محاسبه شد. سپس، توزیع مکانی تعداد سالانه روزهای پوشاندن برف با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ با رزولوشن ۳۰ متر بدست آمد.

طبقه‌بندی فرسایش بادی و ارزیابی دقت

در این مطالعه، شاخص شدت فرسایش بادی خاک ساحل شرقی دریاچه ارومیه در طی سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۷ در محیط ArcMap 10.7.1 توسط مدل ارزیابی جامع محاسبه شد. به منظور تسهیل در تجزیه و تحلیل الگوهای مکانی فرسایش بادی خاک، شدت فرسایش بادی پس از آن، با استفاده از نمودار طبیعی شدت فرسایش بادی با داده‌های مشاهده میدانی به سه گروه تقسیم می‌شود (Xu, 2006): فرسایش کم ($WEI < 0.48$)، فرسایش متوسط ($0.48 < WEI < 0.53$) و فرسایش خیلی شدید ($WEI > 0.53$). در این مقاله، از شاخص صحت و ماتریس خطای پایه (معادلات (۸) و (۹)؛ Guo et al., 2015) برای آزمایش صحت نتایج برآورد شده استفاده گردید:

$$P_{i+} = \sum_{j=1}^n P_{ij} \quad (8)$$

$$P_{+j} = \sum_{i=1}^n P_{ij} \quad (9)$$

n تعداد کلاس‌ها، P_{ij} کلاس‌های تغییر یافته i و j ، P_{i+} مجموع کلاس‌های ارزیابی شده i ، P_{+j} مجموع دسته بندی j می‌باشد.

نتایج و بحث

تغییرات پوشش گیاهی

توزیع NDVI ماهانه و سالانه به عنوان شاخصی از حضور پوشش گیاهی برای منطقه مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، میانگین سالیانه و ماهیانه NDVI به ترتیب ۰/۹۸ و ۱۱/۶۵ است که نشان دهنده فقر پوشش گیاهی است. همچنین، تغییرات سالانه زیادی در میزان پوشش گیاهی مشاهده نمی‌شود. بیشترین مقدار NDVI ماهیانه در اردیبهشت ماه و خرداد ماه رخ می‌دهد. سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸ کمترین و سال ۲۰۱۷ بیشترین میزان پوشش گیاهی را دارند. نقشه پراکندگی فرسایش بادی در طول سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۰ در شکل ۴ نشان داده شده است.

دارد (Veihe, 2002). در این مطالعه، SCI با استفاده از داده‌های توزیع ماده آلی و اندازه ذرات خاک محاسبه شد که معادله به شرح زیر است (Du et al., 2015).

$$SCI = \frac{1}{1+0.0066+C_l^2+0.021*Om^2} \quad (7)$$

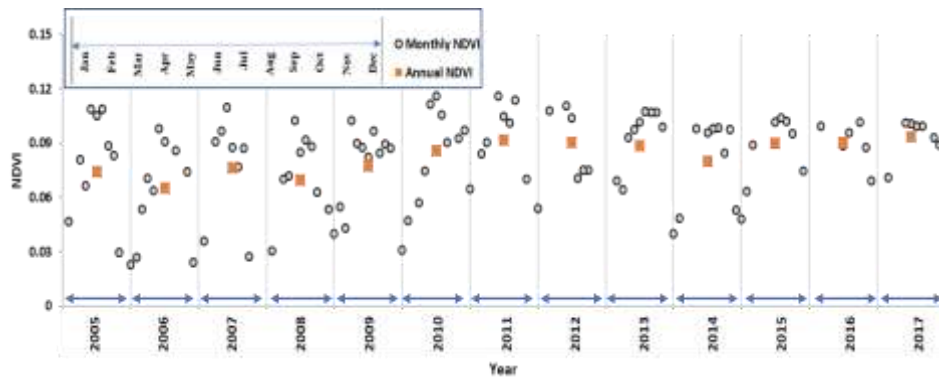
SCI شاخص پوسته خاک، C_l (> 0.002 میلی متر) جزء رس (Om ، ماده آلی خاک) (/).

شدت باد

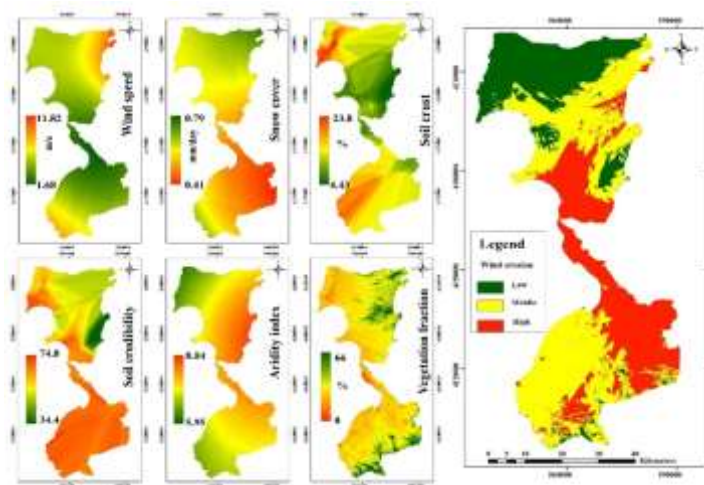
فرسایش بادی خاک بیشتر در بهار و زمستان رخ می‌دهد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، خاک‌هایی که اغلب تخلیه و تخریب می‌گردند، به ویژه در اثر حوادث طوفان و باران شدید، از لحاظ فرسایش تهدید می‌شوند (Cornelis & Gabriels, 2003). سرعت باد می‌تواند سرعت هوازدهی سنگ یا خاک را تسریع کرده و بر روند حمل و نقل مواد فرسایش‌پذیر تأثیر بگذارد (Zhou et al., 2015). بنابراین، شدت باد یکی از مهمترین عوامل محرک مؤثر بر شدت فرسایش بادی خاک است. سرعت اصطکاک بحرانی، که عمدتاً تحت تأثیر ساختارهای بدنی خاک و پوشش گیاهی قرار دارد، نشان دهنده ظرفیت باد برای محدود کردن انتشار گرد و غبار از سطح زمین است (Webb et al., 2013). فرسایش خاک در اثر باد می‌تواند هنگامی اتفاق بیفتد که سرعت باد به ۶ متر بر ثانیه برسد. این شاخص با سرعت باد روزانه بدست آمده از داده‌های هواشناسی طی سالهای ۲۰۰۵-۲۰۱۷ محاسبه و سپس توزیع مکانی شدت میدان باد با استفاده از روش درونیابی کریجینگ با وضوح مکانی ۳۰ متر بدست آمد.

تعداد روزهای برفی

پوشش برفی فصلی نقش مهمی در فرآیندهای هیدرولوژیکی و جلوگیری از فرسایش خاک دارد. برف جمع شده می‌تواند سطح خاک سطحی در معرض باد را کاهش داده و از خاک سطحی در برابر وزش باد شدید محافظت کند. بنابراین، هرچه پوشش برف بزرگتر باشد، احتمال وقوع فرسایش بادی خاک کمتر است (Wang et al., 2006). علاوه بر این، در دوره ذوب، ساختارهای فیزیکی و شیمیایی ذرات خاک تحت تأثیر آب ذوب برف در سطح کم عمق قرار می‌گیرند، که می‌تواند باعث افزایش پایداری خاک سطحی شود (Zhong et al., 2004). هنگامی که عمق برف به ۰/۵ سانتی‌متر می‌رسد، پوشش برف به عنوان روز تعریف می‌شود. تعداد روزهای برفی به تعداد روزهای پوشاندن برف در



شکل ۳- توزیع شاخص NDVI ماهانه و سالانه در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۷ در منطقه مورد مطالعه
Figure 3. Distribution of the average NDVI during 2005–2017 in the study region



شکل ۴- نقشه فرسایش بادی ساحل شرقی دریاچه ارومیه

Figure 4 - Wind erosion map of east coast of Lake Urmia

فرسایش یا فرسایش کم، عمدتاً در قسمت شمالی شرق دریاچه متمرکز شده بودند.

جدول ۳ توزیع مساحتی کلاس‌های فرسایش پذیری را نشان می‌دهد که ۳۰/۴۸ و ۲۳/۹۷ درصد منطقه به ترتیب در کلاس‌های فرسایش بادی کم و متوسط قرار گرفته و کلاس غالب در منطقه، فرسایش بادی زیاد است که ۴۵/۵۶ درصد منطقه را پوشش می‌دهد. اغلب مناطق با فرسایش بادی بالا، در قسمت میانی ساحل شرقی دریاچه قرار دارد.

تمایز مکانی فرسایش باد خاک در طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۰۵

همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، فرسایش بادی شدید خاک به طور گسترده در منطقه شرق دریاچه (مساحتی بیش از ۱۴۱۲ کیلومتر مربع) وجود دارد. فرسایش بادی شدید خاک به طور مداوم در قسمت‌های میانی شرق دریاچه توزیع می‌شد. علاوه بر این، مناطق بدون

جدول ۳- توزیع مساحتی کلاس‌های فرسایش بادی

Table 3. Area distribution of wind erosion classes

Erosion categories	Area (km ²)	Area (%)
Low	944	30.47
Moderate	743	23.97
Much	1412	45.56

قرار داشت، نقشه نهایی فرسایش‌پذیری نیز در سه طبقه کلاس‌بندی شده است. سپس، ماتریس خطا از بررسی میدانی و دسته فرسایش ارزیابی شد که در جدول ۴ آورده شده است.

برای ارزیابی صحت نتایج بدست آمده، داده‌های مربوط به شدت فرسایش از طرح شناسایی و اولویت‌بندی کانون‌های ایجاد گرد و غبار در بستر و حریم دریاچه ارومیه مشخص گردید. با توجه به این که داده‌های این طرح در سه کلاس

جدول ۴- ماتریس خطای انواع فرسایش بادی

Table 4. Error matrix of wind erosion categories

Levels of sampling points in 2012	Evaluated wind erosion results (%)			
	Slight	Moderate	Severe	sum
Slight	47	17	9	73
Moderate	28	69	24	121
Severe	9	18	89	116
sum	84	104	122	310

نشان می‌دهند و پایین بودن دقت فرسایش کم و متوسط، به علت وجود نقاط مشاهده میدانی بیشتر در مناطق فرسایشی شدید است که بر صحت نتایج ارزیابی تأثیر می‌گذارد. در نتیجه، صحت ارزیابی کلی مدل فرسایش بادی خاک ایجاد شده در این تحقیق می‌تواند کاربرد خوبی در منطقه شرق دریاچه ارومیه داشته باشد.

جدول ۵ نشان می‌دهد که دقت در مورد کاربر و دقت نقشه برداری در کلیه دسته‌ها به ترتیب از ۰/۵۶ تا ۰/۷۳ و ۰/۵۷ تا ۰/۷۶ متغیر است. بنابراین، مشاهده میدانی نتایج به طور کلی مطابق با سطح فرسایش ارزیابی شده بوده و این با دقت کلی ۶۶/۱۲ درصد برای دقت نقشه برداری نشان داده شده است. بر اساس جدول ۵، فرسایش زیاد بهترین دقت است. (۰/۷۶)، فرسایش کم (۰/۶۴) و فرسایش متوسط (۰/۵۷) را

جدول ۵- شاخص دقیق درجات فرسایش بادی

Table 5. Precision index of grades of wind erosion

Precision test	User accuracy	Commission	Cartographic accuracy	Omission
Slight	0.56	0.34	0.64	0.36
Moderate	0.66	0.34	0.57	0.43
Severe	0.73	0.27	0.76	0.24

تحقیق نشان می‌دهد که تخمین مدل جدید فرسایش بادی قابلیت عملیاتی دارد.

نتیجه‌گیری کلی

مدل ارائه شده برای تعیین کلاس فرسایش بادی با صحت کلی ۶۶ درصد، نشان دهنده مناسب بودن این روش برای بررسی فرسایش بادی خاک در ساحل شرقی دریاچه ارومیه است. روند شدت فرسایش از مناطق میانی به شمالی و جنوبی کاهش یافته و صحت مدل ارائه شده در کلاس فرسایش بادی شدید با گستره ۴۵/۵۶ درصدی در منطقه، بیشتر از سایر کلاس‌های فرسایش می‌باشد. در این مناطق، پوشش گیاهی ضعیف‌تر، شاخص خشکی شدیدتر و فرسایش پذیری خاک نیز بیشتر از مناطق دیگر بوده و پوشش برفی بسیار کم و پوسته خاک ضعیف‌تری تشکیل شده است. لذا، پوشش گیاهی بسیار ضعیف و با تغییرات ناچیز سالیانه به عنوان مهمترین عامل موثر در مدل فرسایش بادی منطقه شناخته شده و شاخص پوسته خاک با داشتن ویژگی‌های منطقه‌ای و عوامل محرک فرسایش بادی، برای ایجاد تخمین یک مدل بهبود یافته فرسایش بادی در ساحل شرقی دریاچه ارومیه قابل معرفی است.

مدل فرسایش بادی بهبود یافته برای منطقه

فرسایش بادی معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک با پوشش رویشی خیلی کم و عدم محافظت از خاک رخ می‌دهد. در ساحل شرقی دریاچه ارومیه با آب و هوای استپی نیمه‌خشک، جهت برآورد فرسایش بادی خاک در مقیاس با مطالعات فرسایش آبی، کمتر از سیستم‌های GIS و RS استفاده شده است. در این مقاله، یک مدل ارزیابی بهبود یافته از فرسایش بادی خاک با شش عامل مهم فرسایش-پذیری خاک، شاخص‌های خشکی و پوسته خاک، پوشش گیاهی، شدت باد و روزهای برفی، ارائه شده است که کاملاً بر اساس ویژگی‌های منحصر به فرد آب و هوا و محیط جغرافیایی است. برای به دست آوردن اطلاعات پویا از فرسایش بادی خاک در یک منطقه، وجود مقیاس بزرگ از منطقه برای بدست آوردن نتایج دقیق و درست مناسب است. براساس داده‌های به دست آمده از سیستم‌های GIS و RS در این مقاله، شاخص پوسته خاک برای ایجاد تخمین یک مدل بهبود یافته فرسایش بادی خاک در ساحل شرقی دریاچه ارومیه قابل معرفی بود که ویژگی‌های منطقه‌ای و عوامل محرک فرسایش بادی را کاملاً در نظر می‌گیرد. همچنین، استفاده از داده‌های نمونه برداری میدانی در این

References

- Basso F., Bove E., Dumontet S., and Taberner M. 2000. Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: an example covering the Agri basin (Southern Italy). *Catena*, 40:19–35.
- Bulygina N.S., Nearing, M.A., Stone, J.J., and Nichols, N.H. 2007. DWEPP: a dynamic soil erosion model based on WEPP source terms. *Earth Surf Proc Land*, 32: 998–1012.
- Buschiazzo D.E., and Zobeck T.M. 2008. Validation of WEQ, RWEQ and WEPS wind erosion for different arable land management systems in the Argentinean Pampas. *Earth Surf Proc Land*. 33:1839–1850.
- Cornelis WM, Gabriels D. 2003. A simple low-cost sand catcher for wind-tunnel simulations. *Earth Surf Proc Land*, 28: 1033–1041.
- Dabojani D., Mithun D., and Kanti K.K. 2014. River change detection and bankline erosion recognition using remote sensing and GIS. *Forum Geografic*, XIII (1): 12–17.
- Diaz-Nigenda E., Tatarko J., Jazcilevich A.D., Garcia A.R., Caetano E., and Ruiz-Suarez L.G. 2010. A modelling study of Aeolian erosion enhanced by surface wind confluences over Mexico City. *Aeolian Research*, 2: 143–157.
- Dong ZB, Wang HT, Liu XP, and Wang XM. 2004. The blown sand flux over a sandy surface: a wind tunnel investigation on the fetch effect. *Geomorphology*, 57: 117–127.
- Du HQ, Xue X., Wang T., and Deng XH. 2015. Assessment of wind-erosion risk in the watershed of the Ningxia-Inner Mongolia Reach of the Yellow River, northern China. *Aeolian Research*, 17: 193–204.
- Duiker S., Flanagan D., and Lal R. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*, 45: 103–121.
- Feng G.L., Sharratt B., and Vaddella V. 2013. Wind-blown soil crust formation under light rainfall in a semiarid region. *Soil Tillage Research*, 128: 91–96.
- Ferrick M.G., and Gatto L.W. 2005. Quantifying the effect of a freeze–thaw cycle on soil erosion: laboratory experiments. *Earth Surf Proc Land*, 30: 1305–1326.
- Fisher J.B., Debiase T.A., Qi Y., Xu M., and Goldstein A.H. 2005. Evapotranspiration models compared on a Sierra Nevada forest ecosystem. *Environmental Modelling and Software*, 20: 783–796.
- Gee G.W, and Or D. 2002. Particle size analysis. In: Dane J.H., G.C. Topp, (Editors). *Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods*. Soil Science Society of America. Madison (WI), p. 255–293.
- Gomez L., Arrue J.L., Lopez M.V., Sterk G., Richard D., Gracia R., Sabre M., Gaudichet A., and Frangi J.P. 2003. Wind erosion in a semiarid agricultural area of Spain the WELSONS project. *Catena*, 52: 235–256.
- Guo B., Zhou Y., Zhu J.F., Liu W.L., Wang F.T., Wang L.T., and Jiang L. 2015. An estimation method of soil freeze–thaw erosion in the Qinghai–Tibet Plateau. *Natural Hazards*, 78: 1843–1857.
- Hagen L.J., VanPelt S., and Sharratt B. 2010. Estimating the saltation and suspension components from field wind erosion. *Aeolian Research*, 1: 147–153.
- Hevia G.G., Mende, M., and Buschiazzo D.E. 2007. Tillage affects soil aggregation parameters linked with wind erosion. *Geoderma*, 140: 90–96.
- Huete A.R., and Tucker C.J. 1991. Investigation of soil influences in AVHRR red and near infrared vegetation index imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 12: 1223–1242.
- Huo Z.L., Dai X.Q., Feng S.Y., Kang S.Z., and Huang G.H. 2013. Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in arid region of China. *Journal of Hydrology*, 492: 24–34.
- Kemper W.D and Rosenau R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute (Ed). *Method os soil analysis. Part 1*. 2nd ed. ASA and SSSA, Modison, WI. 425–442.
- Khanjani Safdar A., Ahmadi A and Sadeghzadehreihan M.E. 2015. Determiration of Crop Management Factor at Different Growth Stages of Rainfed Chickpea in Semiarid Region for Using in USLE Model: A Case Study in Tikmeh Dash of East Azerbaijan. *Applied Soil Research*, 3(1): 78–88. (In Persian)
- Li A.N., Wang A.S., Liang S.L., and Zhou W.C. 2006. Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS: a case study in the upper reaches of Minjiang River, China. *Ecological Modelling*, 192:175–187.
- Li FR., GAO CY, Zhao HL, and Li XY. 2002. Soil conservation effectiveness and energy efficiency of alternative rotations and continuous wheat cropping in the Loess Plateau of northwest China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 91: 101–111.
- Li J.R., Okin G.S., Alvarez L., and Epstein H. 2007. Quantitative effects of vegetation cover on wind erosion and soil nutrient loss in a desert grassland of southern New Mexico, USA. *Biogeochemistry*, 85: 317–332.

- Liu Q., Yang Z.F., Cui B.S., and Sun T. 2010. The temporal trends of reference evapotranspiration and its sensitivity to key meteorological variables in the Yellow River Basin, China. *Hydrological Processes*, 24: 2171–2181.
- Lopez M.V., Dios Herrero J.M., Hevia G.G., Gracia, R., and Buschiazzo D.E. 2007. Determination of the wind-erodible fraction of soils using different methodologies. *Geoderma*, 139: 407–411.
- Miao C.Y., He B.H., and Chen X.Y. 2004. Analysis on correlativity of soil erodibility factors of USLE and WEPP models. *Soil Water Conser China*, 6: 23–26.
- Munson S.M., Belnap J., and Okin G. 2011. Responses of wind erosion to climate induced vegetation changes on the Colorado Plateau. *P Natl Acad Sci U S A*. 108: 3854–3859.
- Nimmo J.R., and Perkins K.S. 2002. Aggregate Stability and size distribution. *Methods of soil analysis*, part4: 317-328.
- Page A.L.V., and Keeney M.R.H. 1992. *Method of Soil Analysis*. American Society of Agronomy. Madison WI. USA.
- Raei., Ahmadi A., Neyshaburi M.A., Ghorbani A and Asadzadeh F. 2020. Determination of soil wind erodibility in eastern urmia lake and its relationship with soil physicochemical properties. *Applied Soil Research*, 8(2): 82-98. (In Persian)
- Seeger M., and Ries J.B. 2008. Soil degradation and soil surface process intensities on abandoned fields in Mediterranean mountain environments. *Land Degradation and Development*, 19: 488–501.
- Solomon S., Qin, D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., and Miller H.L. 2007. *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Groups I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge (UK): Cambridge University Press; p. 104–108.
- Sparks D. and Bartels J. 1996. *Methods of soil analysis: Part3. Chemical methods*. Soil Science Society of America Book Series. Madison, Wisconsin. USA. Pp 1390.
- Steffens M., Koebl A., Giese M., and Kcogel-Knabner I. 2009. Spatial variability of top soils and vegetation in a grazed steppe ecosystem in Inner Mongolia (PR China). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172: 78–90.
- Tegen I., Werner M., Harrison S.P., and Kohfeld K.E. 2004. Relative importance of climate and land use in determining present and future global soil dust emission. *Geophysical Research Letters*, 31: 1-4.
- Tejada M., and Gonzalez J.L. 2006. The relationships between erodibility and erosion in a soil treated with two organic amendments. *Soil and Tillage Research*, 91: 186–198.
- Veihe A. 2002. The spatial variability of erodibility and its relation to soil types: a study from northern Ghana. *Geoderma*, 106: 101–120.
- Wang H., Mason J.A., and Balsam W.L. 2006. The importance of both geological and pedological processes in control of grain size and sedimentation rates in Peoria Loess. *Geoderma*, 136: 388–400.
- Webb N.P., Strong C.L., Chappell A., Marx S.K., and McTainsh G.H. 2013. Soil organic carbon enrichment of dust emissions: magnitude, mechanisms and its implications for the carbon cycle. *Earth Surf Process Land*, 38: 1662–1671.
- Xu J.X. 2006. Sand-dust storms in and around the Ordos Plateau of China as influenced by land use change and desertification. *Catena*, 65: 279–284.
- Yan Y.C., Xin X.L., Xu X.P., Wang X., Yang G.X., Yan R.R., and Chen B.R. 2013. Quantitative effects of wind erosion on the soil texture and soil nutrients under different vegetation coverage in a semiarid steppe of northern China. *Plant and Soil*, 369: 585–598.
- Yan Y.C., Xu X.L., Xin X.P., Yang G.Y., Wang X., Yan R.R., and Chen B.R. 2011. Effect of vegetation coverage on aeolian dust accumulation in a semiarid steppe of Northern China. *Catena*, 87: 351–356.
- Zamani S., and Mahmoodabadi M. 2013. Effect of particle –size distribution on wind erosion rate and soil erodibility. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(12): 1743-1753.
- Zhang K.L., Li S., Peng W., and Yu B. 2004. Erodibility of agricultural soils on the loess plateau of china. *Soil and Tillage Research*, 76: 157–165.
- Zhou Y., Guo B., Wang S.X., and Tao H.P. 2015. An estimation method of soil wind erosion in Inner Mongolia of China based on geographic information system and remote sensing. *Journal of Arid Land*, 7: 304–317.

Performance of RS and GIS Systems in Estimating Wind Erosion in East Coast of Urmia Lake

Saghar Chakherlou^{1*}, Ali asghar Jafarzadeh², Abbas Ahmadi³, Bakhtiar Feizizadeh⁴, Farzin Shahbazi⁵

(Received: January 2020 Accepted: March 2020)

Abstract

Wind erosion is one of the important aspects of land degradation in arid and semi-arid regions and is a serious challenge to sustainable production and land management. In this study, a comprehensive evaluation model is developed which proves to be effective with an overall precision of 66.12% to estimate soil erosion on the eastern shore of Urmia Lake. Six critical factors including soil erodibility, aridity index, soil crustal indices, vegetation fraction, wind field intensity and snow cover days are employed to model the wind erosion. 153 soil samples randomly were collected from 0-10 cm depth points from three elevation layers (1271-1273, 1273-1275 and 1275-1278 meter above sea level) and transfer to laboratory for physical and chemical analyzing. The AHP method is applied to determine the weight of each factor in a multi-criteria system, during the years 2005–2017 and poor vegetation cover with low annual variations was identified as the most important factor affecting the wind erosion model. Results show that high, low and moderate erosion classes have 0.76, 0.64 and 0.57 overall accuracy, respectively. The reason of low accuracy of low and medium erosion classes was the lower number of field observation points of these classes. The results show that 45.56% of the study area classified as severe wind erosion class ($WEI < 0.53$), while 23.97% has erosion Moderate ($0.48 < WEI < 0.53$) and 30.47% have been labeled as low erosion ($WEI > 0.48$). Consequently, the accuracy of the overall assessment of soil erosion model developed in this study is acceptable and could be applied in the eastern part of Lake Urmia. Results shows the descending trend in erosion intensity from the middle parts to the north and south parts of the study area.

Keywords: AHP, Comprehensive evaluation model, Erosion accuracy

Chakherlou S., Jafarzadeh A.A., Ahmadi A., Feizizadeh B. and Shahbazi F. 2021. Performance of RS and GIS systems in estimating wind erosion in east coast of Urmia Lake. *Applied Soil Research*, 8(4): 169-180.

1. PhD student Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

2. Professor Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

3. Assistant Professor Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

4. Associate Professor Department of Remote Sensing and GIS, University of Tabriz

5. Associate Professor Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

*Corresponding Author E-mail: saghar.chakherloo@yahoo.com