



مدلسازی مکانی پایداری خاکدانه‌ها در مناطق تحت عملیات کنترل فرسایش خاک

منیژه رضوی حسین آباد^۱، علیرضا امیریان چکان^{۲*}، محمد فرجی^۳، جمال موسوی^۴^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان^۲ استادیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان^۳ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان^۴ کارشناس اداره کل منابع طبیعی خوزستان

چکیده

برای بررسی اثرات اقدامات کنترل فرسایش خاک، میانگین وزنی خاکدانه‌ها (MWD) در دو سایت مجاور هم در استان خوزستان مدلسازی و پهنه‌بندی گردید. در یک سایت عملیات درختکاری انجام شده بود و سایت دیگر بدون هیچ اقدام حفاظتی به عنوان شاهد انتخاب گردید. تعداد ۱۵۰ نمونه از لایه سطحی (۵-۰ سانتی‌متری) برداشته شد و MWD به دو روش الک خشک و تر (MWD_w و MWD_h) اندازه‌گیری شد. متغیرهای محیطی به دست آمده از مدل رقومی ارتفاع و تصویر لندست ۸ به عنوان ورودی دو مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) و درخت تصمیم (DT) برای مدلسازی MWD مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج بیانگر اختلاف معنی‌دار بین MWD_h در دو سایت و عدم اختلاف بین مقادیر MWD_w بود. آنالیز همبستگی بیانگر وجود همبستگی بین MWD_w و برخی داده‌های سنجش از دور ولی عدم وجود همبستگی آن با عوارض سرزمین بود. هر دو مدل کارآیی خوبی در مدلسازی MWD_w داشتند ولی در تخمین MWD_h مدل ANN ($RMSE=0.7$) بهتر از مدل RT ($RMSE=0.79$) بود. به طور کلی نتایج نشان داد عملیات کنترل فرسایش تاثیر معنی‌داری در خاکدانه‌های پایدار در آب نداشت. همچنین یافته‌ها بیانگر کارآیی خوب روشهای نقشه-برداری رقومی خاک در مدلسازی MWD بودند.

کلمات کلیدی: فرسایش خاک، مدلسازی مکانی، نقشه‌برداری رقومی خاک، یادگیری ماشین

مقدمه

یکی از مسائل و مشکلات جدی حوزه‌های آبخیز ایران فرسایش خاک است (Schwab et al., 1993). از جمله اثرات منفی فرسایش خاک می‌توان از بین رفتن زمین‌های کشاورزی، کاهش حاصلخیزی خاک، پیشروی بیابان و تغییر کاربری اراضی را نام برد (Denis et al., 2014). اقدامات مختلفی برای کنترل فرسایش خاک انجام می‌شود که اطلاع از نتیجه و کارآیی این اقدامات اهمیت زیادی در کنترل بهتر فرسایش دارد. یکی از معیارهای مهم برای نشان دادن حساسیت خاکها به فرسایش و مشخص نمودن میزان تاثیر اقدامات حفاظت خاک، پایداری خاکدانه‌ها است. پایداری خاکدانه‌ها به توانایی خاکدانه‌ها در حفظ ساختار و اندازه خود در مواجهه با تنش‌های مکانیکی گفته می‌شود (Bronick and Lal, 2005). با توجه به اهمیت پایداری خاکدانه‌ها، این عامل بطور فزاینده‌ای در بررسی‌ها و مطالعات فرسایش خاک استفاده می‌گردد که نیازمند داده‌های مکانی و پیوسته از نمونه خاک‌های مختلف می‌باشد. روش‌های سنتی برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها بسیار وقت گیر و هزینه بر می‌باشد و اغلب با خطا همراه است (اصغری، ۱۳۹۳) و نیاز به بررسی‌های مستمر صحرایی و آنالیزهای آزمایشگاهی دارند (Vermeulen and Van Niekerk., 2017). نقشه‌برداری رقومی خاک رویکرد مناسبی برای برطرف کردن این مشکلات در نقشه‌های سنتی خاک می‌باشد که براساس معادله اسکورپن ابداع شده است (Mcbratney et al., 2003). در این رویکرد ویژگی‌های خاک براساس همبستگی آنها با داده‌های کمکی به دست آمده از منابعی مانند تصاویر ماهواره-ای و مدل رقومی ارتفاع با استفاده از مدل‌های تجربی به صورت کمی تخمین زده می‌شوند (Jenny, 1941). با توجه به اینکه بررسی تأثیر عملیات کنترل فرسایش خاک، تغییرات مکانی روی پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از نقشه‌برداری رقومی در ایران و خوزستان کمتر مورد بررسی قرار گرفته است و با توجه به حساسیت خاک‌های خوزستان به دلیل شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی آن در این تحقیق از روش‌های نقشه‌برداری رقومی خاک بهره گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه به نام چاه ماری در فاصله ۱۵ کیلومتری غرب بهبهان در استان خوزستان قرار گرفته است. در منطقه مورد نظر عملیات کنترل فرسایش خاک شامل درختکاری و کنتور فارو توسط اداره منابع طبیعی شهر بهبهان انجام گرفته است. در کنار این منطقه منطقه ای به مشخصات مشابه ولی بدون عملیات کنترل فرسایش به عنوان شاهد انتخاب گردید. از هر دو محدوده تعداد ۱۵۰ نمونه خاک دست نخورده از لایه سطحی (صفر تا پنج سانتی متری) برداشته شد. پایداری خاکدانه‌ها به دو روش الک خشک و الک تر تعیین گردید. برای تعیین پایداری خاکدانه‌ها به روش الک تر از روش پیشنهاد شده توسط Chaplot and Cooper (۲۰۱۵) استفاده شد. برای این کار کل نمونه خاک از الک ۵ میلی متر رد گردید. از خاک‌های باقیمانده روی الک ۲ میلی متری مقدار ۱۰ گرم خاک برداشته شد و روی سری الک‌ها با قطرهای ۰/۴۲، ۰/۸۴، ۲، ۴/۷۵ ریخته شد. نمونه خاکدانه‌ها به مدت ده دقیقه از زیر با آب اشباع شد و پس از آن الک‌ها به مدت ۵ دقیقه با شیکر به صورت عمودی درون ظرف آب حرکت داده شدند. بعد از این مرحله خاکدانه‌های روی هر الک جمع آوری و پس از خشک شدن در آون وزن خشک خاکدانه‌های روی هر الک تعیین شد. برای تعیین پایداری خاکدانه‌ها در حالت خشک هر نمونه خاک روی سری الک‌هایی با قطرهای ۴/۷۵، ۲، ۰/۸۴ و ۰/۴۲ میلی متر ریخته شد و نمونه‌ها توسط دستگاه شیکر به مدت ۵ دقیقه الک گردید. سپس وزن خاکدانه‌های روی هر الک تعیین گردید. در نهایت با استفاده از رابطه ۱ میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها برای هر دو روش الک‌تر و خشک (به ترتیب MWD_w و MWD_d) به دست آمد.

$$MWD = \sum(X_i \times W_i) / 100 \quad (1)$$

در این رابطه X میانگین قطر خاکدانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک، W_i نسبت وزن خاکدانه‌های روی هر الک به وزن کل خاک، و n تعداد الک‌ها است. بر اساس مدل *scorpan* ارائه شده توسط McBratney و همکاران (۲۰۰۳)، از متغیرهای محیطی که با MWD ارتباط داشتند و از آن مدل رقمی ارتفاع و تصویر لندست ۸ استخراج شده بودند برای مدلسازی MWD استفاده شد. دو مدل درخت تصمیم (DT) و شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) برای تخمین MWD بر اساس متغیرهای محیطی استفاده گردید.

نتایج و بحث

جدول (۱) پارامترهای آماری مربوط به شاخص پایداری خاکدانه‌ها را نشان می‌دهد. میانگین MWD_w ، ۱/۰۰۹ میلی متر، دامنه تغییرات آن ۰/۴۰ - ۱/۶۷ میلی متر، چولگی آن ۰/۵۳۴، انحراف معیار آن ۰/۲۴ و ضریب تغییرات آن ۰/۲۳۷ میلی متر می‌باشد. میانگین MWD_d ، ۵/۴۶ میلی متر، دامنه تغییرات آن ۱/۲۲ - ۸/۵۵، ضریب چولگی آن -۳/۵۴، انحراف معیار آن ۱/۴۱ و ضریب تغییرات آن ۰/۲۵۸ میلی متر می‌باشد.

جدول ۱- پارامترهای آماری مربوط به شاخص پایداری خاکدانه‌ها

ویژگی	ضریب تغییرات	انحراف معیار	چولگی	میانگین	حداقل	حداکثر
MWD_w	۰/۲۳	۰/۲۴	-۵/۳۴	۱/۰۰۹	۰/۴۰	۱/۶۷
MWD_d	۰/۲۵	۱/۴۱	-۳/۵۴	۵/۴۶	۱/۲۲	۸/۵۵

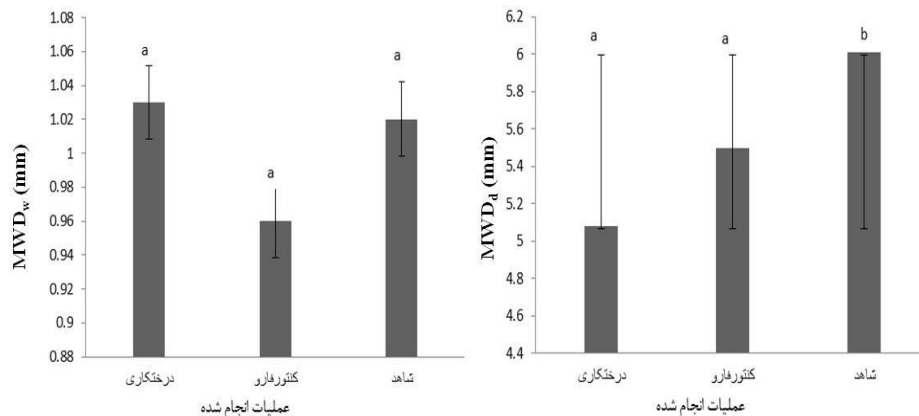
ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص پایداری خاکدانه‌ها با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۲) نشان داده شده است. MWD_w دارای همبستگی منفی با شن‌ریز، رس، آهک، pH و EC و با ماده آلی، سیلت، سیلت+شن‌ریز و نفوذپذیری همبستگی مثبت و معنی‌داری است. MWD_d در حالت خشک، دارای همبستگی مثبت با شن‌ریز، رس، شن، سیلت، ماده آلی، نفوذپذیری، سیلت+شن‌ریز و EC و همبستگی منفی با pH و آهک است. نتایج بیانگر آن است که نسبت به ویژگی‌های فیزیکی، خواص شیمیایی تأثیر کمتری بر پایداری خاکدانه‌ها داشته‌اند. محمودآبادی و احمدبیگی (۱۳۹۰) در بررسی خود نشان دادند که نسبت به خصوصیات فیزیکی، ویژگی شیمیایی تأثیر کمتری بر درصد خاکدانه‌های پایدار در دو حالت MWD_d و MWD_w داشته است. در این بین ماده آلی به عنوان مهم‌ترین و تنها ویژگی از خواص شیمیایی است که بر پایداری خاکدانه‌ها موثر بود. حاج‌عباسی و همکاران، (۱۳۸۶) همبستگی معنی‌داری بین ماده آلی و پایداری خاکدانه‌ها به دست آوردند. Quirk and Murray (1991) دریافتند که ماده آلی با ایجاد پوششی آب‌گریز در پیرامون خاکدانه‌ها باعث افزایش مقاومت آن‌ها در برابر تنش ناشی از خیس شدن می‌شود.

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص پایداری خاکدانه‌ها و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

	EC	pH	سیلت+شن‌ریز	نفوذپذیری	سیلت	ماده آلی	آهک	رس	شن
MWD _w	-۰.۴۶	۰.۱۸	۰.۱۹۴*	۰.۲۸۰**	۰.۲۶۹**	۰.۲۷۴**	۰.۱۴۱	-۰.۲۸۷	۰.۱۷۹*
MWD _d	-۰.۲۶۱**	-۰.۰۲۷	۰.۲۲۷**	۰.۲۲۹**	-۰.۲۹۴**	۰.۲۳۳**	۰.۰۸۱	-۰.۳۶۲**	۰.۴۱۹**

* و ** معنی داری به ترتیب در سطح ۵ درصد و ۱ درصد

مقایسه میانگین‌های به دست آمده از آزمون دانکن نشان داد بین مقادیر MWD_w اختلاف معنی‌داری در منطقه شاهد، درختکاری و کنترفارو وجود ندارد ولی بین مقادیر MWD_d در منطقه شاهد، درختکاری و کنترفارو اختلاف معنی‌داری وجود دارد (شکل ۱). عدم اختلاف در MWD_w می‌تواند ناشی از پایداری کم خاکدانه‌ها در آب باشد که این می‌تواند ناشی از پایین بودن ماده آلی در هر دو منطقه و تاثیر کم عملیات اصلاحی روی پایداری خاکدانه‌ها باشد. ولی بالا بودن MWD_d در منطقه شاهد و اختلاف معنی‌دار آن با دو منطقه دیگر می‌تواند ناشی از خشک و توده ای بودن خاک در منطقه شاهد و تخریب کمتر خاک در اثر تردد دامها و انسان در منطقه شاهد باشد. یوسفی‌فر و همکاران (۱۳۸۵) نشان دادند که مقدار MWD_w در چهار کاربری شامل مرتع با پوشش گیاهی ضعیف، دیم‌زار، خوب، دیم‌زار رها شده تفاوت معنی‌داری داشت. در بررسی انجام شده توسط مقیمی نژاد و همکاران (۱۳۹۳) نشان داده شد که عملیات اصلاحی اثرات مثبتی بر خصوصیات خاک داشته است.



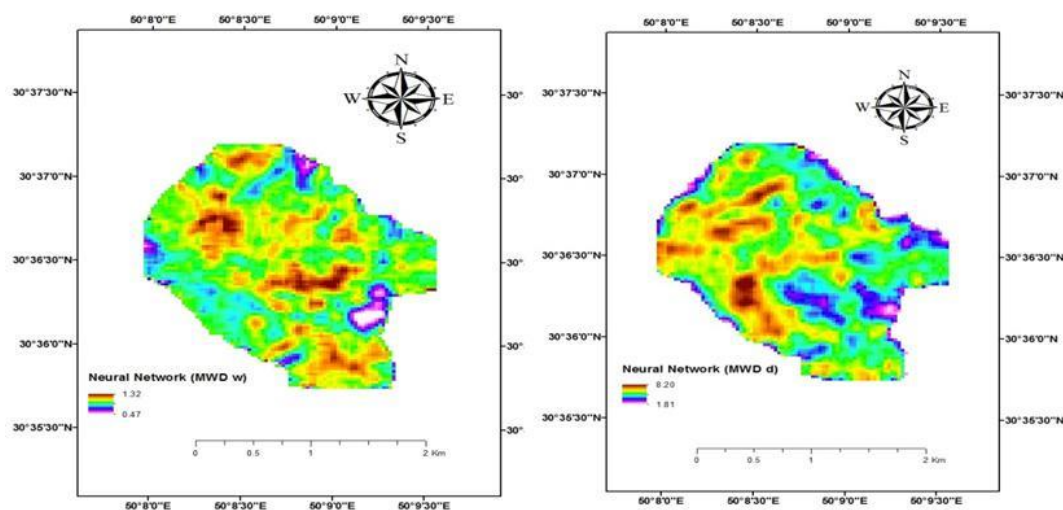
شکل ۱- مقایسه میانگین MWD_w و MWD_d در سه منطقه شاهد، درختکاری و کنترفارو با استفاده از آزمون دانکن

به منظور اعتبارسنجی مدل‌ها اقدام به مقایسه مدل‌های مورد استفاده (شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم) براساس ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب تبیین و میانگین خطا گردید. نتایج مقایسه مدل‌ها برای پیش‌بینی پایداری خاکدانه‌ها در جدول (۳) آمده است. هر چه آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا کمتر و ضریب تبیین بیشتر باشد کارایی مدل بیشتر است. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد مدل درخت تصمیم و مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی پایداری خاکدانه‌ها (MWD_w) دارای عملکرد و دقت نزدیک به هم هستند. و شبکه عصبی (MWD_d) دارای ضریب تبیین بیشتری نسبت به مدل درخت می‌باشد. میزان (ME) منفی بود که نشان می‌دهد مدل‌ها پایداری خاکدانه‌ها را کمتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد. مقایسه شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیونی در برآورد MWD_d نشان داد که همه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی دارای R² بالاتری و RMSE پایین‌تری نسبت به مدل‌های رگرسیونی هستند. در نتیجه شبکه‌های عصبی مصنوعی درصد بیشتری از تغییرات موجود در داده‌ها را پیش‌بینی می‌کند.

جدول ۳- کارایی مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و درخت تصمیم در تخمین پایداری خاکدانه‌ها

مدل	پارامتر	R^2	RMSE	ME
شبکه عصبی مصنوعی	MWD _w	۰/۵۹	۰/۱۲	-۰/۰۰۰۹
درخت تصمیم		۰/۵۸	۰/۱۵	-۰/۰۰۰۰۱
شبکه عصبی مصنوعی	MWD _d	۰/۷۹	۰/۷۰	۰/۰۰۸
درخت تصمیم		۰/۶۸	۰/۷۹	-۱/۲۴

با توجه به کارایی بیشتر مدل ANN در تخمین MWD، نقشه توزیع مکانی MWD به دست آمده از مدل ANN و متغیرهای محیطی بر اساس رویکرد نقشه برداری رقومی خاک در شکل (۲) نشان داده شده است. بر اساس این نقشه‌ها و بر خلاف تصور پایداری در حالت خشک شاهد بیشتر از منطقه تحت عملیات حفاظتی می‌باشد که در بخش بررسی اثر عملیات اصلاحی روی پایداری خاکدانه‌ها (شکل ۱) به دلایل آن اشاره شد. پایداری در حالت خیس در قسمت‌های مرکزی منطقه و بخش شاهد تقریباً مشابه هم است که این می‌تواند بیانگر پایداری کم خاکدانه‌ها و تاثیر کم عملیات اصلاحی روی بهبود ساختمان خاک باشد. به دلیل خشک بودن منطقه و ماده آلی کم خاکها، ماده آلی به عنوان یک عامل پیوندی در بخش تحت عملیات حفاظتی تاثیر زیادی نداشته است. با توجه به خشک بودن منطقه، برخی درختان کاشته شده یا اصلا رشد نکرده‌اند و یا به مقدار کمی رشد کرده‌اند. به همین دلیل در برخی قسمت‌های منطقه فضاهای زیادی فاقد درخت یا با پوشش کم وجود دارد که خاک دارای ماده آلی کم است.



شکل ۲- نقشه توزیع مکانی پایداری خاکدانه‌ها در حالت خشک (MWD_d) و مرطوب (MWD_w) به دست آمده با استفاده از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان داد که اقدامات کنترلی تاثیر معنی‌داری روی پایداری خاکدانه‌ها در حالت تر نداشت. این نتیجه نشان می‌دهد عملیات کنترل فرسایش در صورتی که به خوبی انجام نشود و مراقبت کافی از گیاهان و پوشش گیاهی انجام نگیرد ممکن است باعث افزایش پایداری



خاکدانه ها نشود. بر خلاف انتظار، پایداری خاکدانه‌ها در حالت خشک در منطقه شاهد به طور معنی‌داری بیشتر از منطقه تحت عملیات کنترلی بود. با وجود اینکه در منطقه شاهد در حالت خشک خاکدانه‌ها درشت‌تر هستند، ولی به دلیل پایداری خیلی که آنها در آب، مقاومت کمی به فرسایش آبی دارند. می‌توان گفت بالاتر بودن پایداری خاکدانه‌ها در حالت خشک الزاما دلیلی بر بالاتر بودن مقاومت خاک به فرسایش آبی نمی‌شود. در این بررسی برای ارتباط دادن داده‌های کمکی با پایداری خاکدانه‌ها روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون درختی کارآیی نسبتا خوبی از خود نشان دادند. بنابراین، از این مدل‌ها و بر اساس تکنیک نقشه برداری رقومی خاک، می‌توان نقشه توزیع مکانی پایداری خاکدانه‌ها را با دقت قابل قبولی رسم نمود.

منابع

- حاج عباسی، م.، ع.، بسالت‌پور، ا.، و مللی، ا. ر. ۱۳۸۶. اثر تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های جنوب و جنوب‌غربی اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۱(۴۲)، ۵۲۵-۵۳۴.
- محمودآبادی، م.، و احمدبیگی، ب. ۱۳۹۰. تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر پایداری خاکدانه در چند نوع سیستم کشت. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد ۱، ش ۲، ص ۶۲-۷۹.
- مقیمي نژاد، ف.، جعفری، م.، زارع چاهوکی، م.ع.، قاسمی، آ.، و اصغر، ک. ۱۳۹۳. مقایسه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بین دو منطقه قرق و چرا شده (مطالعه موردی: نظرآباد کرج). فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۱، ۶۴۳-۶۵۰.
- یوسفی فرد، م.، ح. خادمی و، ا. جلالیان. ۱۳۸۵. تنزل کیفیت خاک طی تغییر کاربری اراضی مرتعی منطقه چشمه علی استان چهارمحال و بختیاری. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۱).
- Bronick, C. J. and Lal, R. 2005. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio, USA. *Soil and Tillage Research*, 81, 239-252.
- Chaplot, V. and Cooper, M. 2015. Soil aggregate stability to predict organic carbon outputs from soils. *Geoderma*, 243-244, 205-213.
- Jenny, H. 1941. *Factors of soil formation: A system of quantitative pedology*. McGraw-Hill, New York.
- McBratney, A.B., Santos, M.M. and Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117, 3-52.
- Quirk, J.P. and Murray, R.S. 1991. Towards a model for soil structural behavior. *Soil Research*, 29, 829-867.
- Schwab, G.O., Fangmeier, D.D., Elliot, W.J., Frevert, R.K. and Leonard, R.A. 1994. Soil and water conservation engineering. *Journal of Environmental Quality*, 23(2), 390.
- Vermeulen, D. and Van Niekerk, A. 2017. Machine learning performance for predicting soil salinity using different combination of geomorphometric covariates. *Geoderma*, 299, 1-12.



16th Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019



Topic for submission: Pedometry and Soil Evaluation

Spatial modelling of soil aggregate stability in areas under erosion controlling measures

Razavi Hossein Abad¹, M., Amirian-Chakan^{*2,3}, A., Faraji³, M., Musavioun⁴, J.

¹ M. Sc. Student, Faculty of Natural Resources Iran, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Iran

² Assistant Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran

³ Assistant Prof., Faculty of Natural Resources Iran, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Iran

⁴ Senior Expert, Natural Resources Headquarter, Khuzestan, Iran

Abstract

To assess the effects of controlling measures on soil erosion, mean weight diameter of aggregates (MWD) was modeled and mapped in two adjacent sites in Kuzestan province. At one site afforestation were conducted to control soil erosion, whereas the other site with no controlling measures was considered as control. In total, 150 soil samples were collected from the surface layer (0-5 cm) and MWD were measured using dry and wet sieving (MWD_d and MWD_w, respectively). Environmental covariates derived from a Landsat 8 image and a digital elevation model (DEM) were used as inputs of two models including artificial neural networks (ANN) and regression trees (RT) to model and map MWD. Results indicated a significant difference between MWD_d in two sites, but no significant difference was found between MWD_w. Correlation analysis revealed no correlation between MWD_w and all terrain attributes, whereas a significant correlation was found for some remotely sensed covariates. ANN and TR had good accuracy in predicting MWD_w, but in predicting MWD_d, ANN (RMSE=0.7) was superior to RT (RMSE=0.79). In general, the finding indicated controlling measures had no significant effect on water stable aggregates. Also results showed good performance of DSM techniques in predicting and spatial mapping of MWD.

Keywords: Digital soil mapping, machine learning, soil erosion, spatial modeling.

* Corresponding author, Email: amirian.ar@lu.ac.ir