

## مناسب‌ترین روش میان‌یابی برای پهنه‌بندی فرسایش خاک تخمین شده به‌وسیله مدل WEPP

سیده الهام موسوی<sup>۱</sup>، شجاع قربانی دشتکی<sup>۲</sup>، سلمان میرزایی<sup>۳</sup>

به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

### چکیده

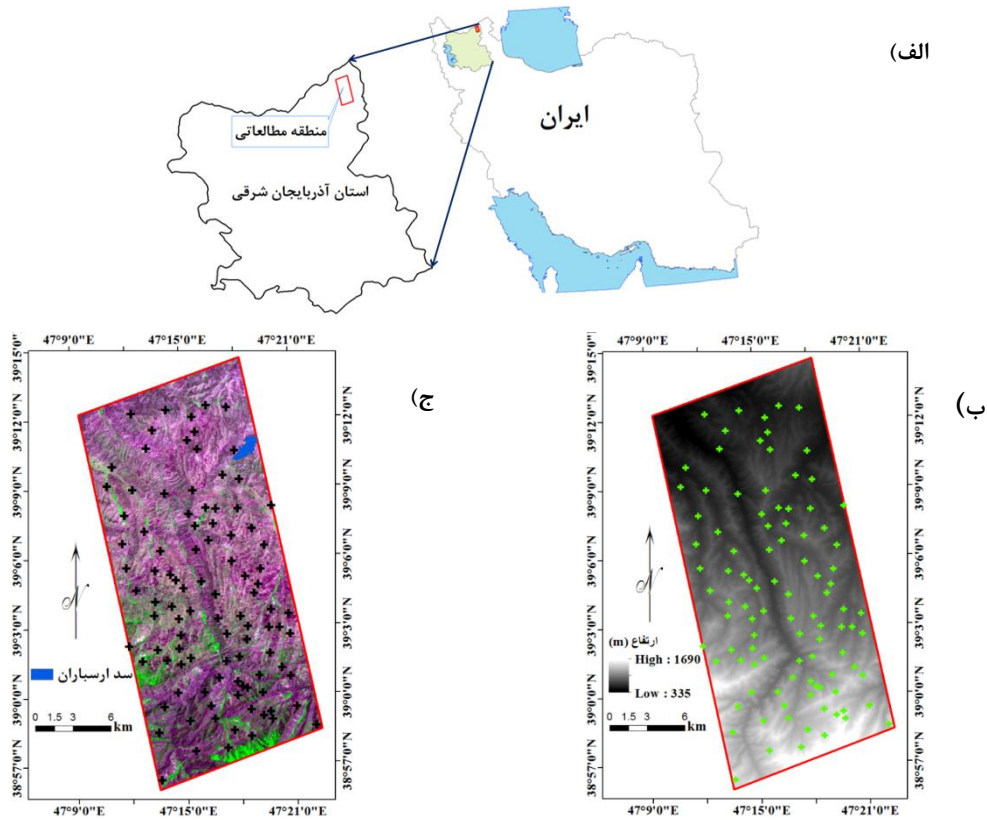
آگاهی از توزیع و تغییرات مکانی فرسایش خاک اهمیت زیادی در طراحی و اجرای راه‌کارهای حفاظت آب، مهار سیل و رواناب و مدیریت فرسایش خاک یا به طور کلی مدیریت حوزه‌های آبخیز دارد. هدف از این پژوهش، پهنه‌بندی فرسایش خاک تخمین شده توسط مدل WEPP با استفاده از توابع انتقالی و توابع پیش‌بینی مکانی خاک، فرسایش‌پذیری خاک پی‌ریزی شده توسط میرزایی (۱۳۹۴) بود. به این منظور، میرزایی و همکاران طی پژوهش‌های انجام شده، فرسایش خاک را در نقاط انتخاب شده با سه تکرار در ۱۰۰ نقطه شبیه‌سازی نمودند. در مطالعه حاضر پهنه‌بندی مکانی فرسایش خاک با استفاده از مدل‌های برآوردکننده عوامل فرسایش‌پذیری مدل WEPP بررسی شد، نتایج تخمین‌گرهای مکانی متفاوت نشان داد که تخمین‌گر هیبریدی (شبکه عصبی-کریجینگ) در مقایسه با کریجینگ معمولی از کارایی بیشتری در برآورد فرسایش خاک برخوردار بود. **واژه‌های کلیدی:** پهنه‌بندی، فرسایش خاک، WEPP

### مقدمه

در دهه‌های اخیر، در پژوهش‌های زیادی دقت روش‌های زمین‌آماری مانند کریجینگ معمولی و کوکریجینگ مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفتند (وو و همکاران ۲۰۰۳؛ وو و همکاران ۲۰۰۹؛ لیائو و همکاران ۲۰۱۳). رگرسیون-کریجینگ و شبکه عصبی-کریجینگ به عنوان یک روش هیبرید شناخته می‌شود به طوری که از یک مدل رگرسیون یا شبکه عصبی و کریجینگ تشکیل شده است (اده و همکاران، ۱۹۹۸). در این روش مدل رگرسیونی و شبکه عصبی بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی برقرار می‌گردد. سپس با استفاده از یک تخمین‌گر کریجینگ، باقی‌مانده‌های مدل رگرسیونی یا شبکه عصبی پهنه‌بندی شده و در نهایت با ترکیب مقدار برآوردی این دو روش، ویژگی مورد نظر در نقاط مختلف برآورد می‌شود. نوترز و همکاران (۱۹۹۵) برای برآورد شوری خاک با استفاده از تخمین‌گرهای کریجینگ نشان داد که روش رگرسیون-کریجینگ نتایج بهتری در مقایسه با روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ داشت. بیشاپ و مک‌برتنی (۲۰۰۱) دریافتند که روش رگرسیون-کریجینگ از کارایی بالاتری در تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی در شمال ولز جنوبی جدید استرالیا برخوردار است. تریناتافیلیس و همکاران (۲۰۰۱) نیز طی پژوهشی در همان منطقه برای تخمین هدایت الکتریکی روش‌های زمین‌آماری متفاوتی را مقایسه کردند. یافته‌ها نشان داد که رگرسیون-کریجینگ دقیق‌ترین روش است. دای و همکاران (۲۰۱۴) امکان پهنه‌بندی ماده آلی را در دشت دیبتان چین مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد که شبکه عصبی-کریجینگ دقت بیشتری در تخمین مکانی ماده آلی در مقایسه با سایر تخمین‌گرها دارد. میرزایی و همکاران (۲۰۱۶) در منطقه کلیبر استان آذربایجان شرقی نشان دادند که عملکرد شبکه عصبی-کریجینگ در پهنه‌بندی ماده آلی خاک در مقایسه با سایر تخمین‌گرهای مکانی بهتر بود. به هر حال، هدف از این پژوهش پهنه‌بندی مکانی فرسایش خاک با استفاده از مدل‌های برآوردکننده عوامل فرسایش‌پذیری مدل WEPP بود.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب ایران، استان آذربایجان شرقی واقع و وسعتی برابر با ۴۱۳۵۳ هکتار از زمین‌های زراعی دشت سئین شهرستان کلیبر را شامل می‌شود. این منطقه بین طول‌های جغرافیایی ۴۷° ۸' تا ۴۷° ۲۲' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۸°۵۶' تا ۳۹°۱۵' شمالی قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت منطقه (الف) و توزیع نقاط نمونه برداری بر روی DEMs (ب) و تصویر ماهواره‌ای (ج)

در پژوهش حاضر از اطلاعات داده‌های پژوهش‌های انجام شده دکتر میرزائی (۱۳۹۴) استفاده شده است. در تحقیق فوق، ۱۰۰ نمونه خاک به صورت تصادفی برداشت شد.

فرسایش بین‌شیاری و شیاری نیز در نقاط انتخاب شده با سه تکرار شبیه‌سازی شد. به منظور شبیه‌سازی باران از یک سامانه شبیه‌ساز باران صحرایی استفاده شد. در این پژوهش، شدت بارندگی شامل ۲/۳ میلی‌متر در دقیقه روی خاک‌ها با سه تکرار تا شرایط ماندگار ایجاد گردید. علاوه بر آن، برای شبیه‌سازی فرسایش شیاری اقدام به ایجاد شیاری در شرایط صحرایی بر روی زمین‌های تازه شخم خورده شد. برای شبیه‌سازی فرسایش شیاری تیمارها شامل چهار دبی جریان سطحی (۴، ۱۲، ۲۰ و ۳۰ لیتر در دقیقه) در خاک‌های متفاوت منطقه مطالعاتی بوده که با سه تکرار مورد آزمون قرار گرفتند. به منظور تعیین غلظت رسوب، در طول هر آزمایش پنج نمونه در زمان‌های مختلف از انتهای شیاری برداشت شد.

به منظور تخمین فرسایش‌پذیری بین‌شیاری، شیاری و تنش برشی بحرانی خاک در پژوهش انجام شده توسط میرزایی (۱۳۹۴) از داده متغیر مستقل شامل ویژگی‌های زود یافت خاک اندازه‌گیری شده به همراه متغیرهای محیطی شامل اطلاعات توپوگرافی شامل مدل رقومی ارتفاع مشتقات آن و از اطلاعات سنجش از دور از قبیل باندهای تصویر ETM+ ماهواره لندست ۷ و شاخص‌های ماهواره‌ای استفاده گردید.

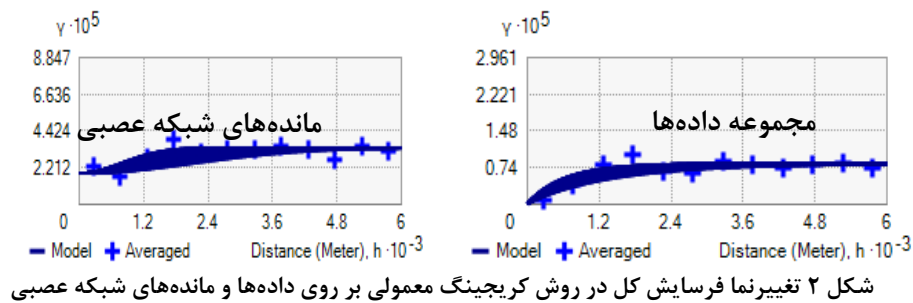
## نتایج و بحث

نتایج آمار توصیفی مقادیر اندازه‌گیری شده فرسایش خاک در نقاط مختلف، شامل میانگین، حداکثر، حداقل و ضریب تغییرات داده‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱ توصیف آماری فرسایش خاک

ویژگی های خاک	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	انحراف معیار	CV
فرسایش کل ( $\text{kg.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ )	۰/۰۰۳۲	۰/۰۱۶۲	۰/۰۰۷۰	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۲۷	۳۸/۶

بررسی پیوستگی مکانی فرسایش خاک در جهات مختلف نشان داد که ساختار مکانی داده‌ها دارای پیوستگی مکانی یکسان اما دامنه‌های متفاوت می‌باشند (شکل ۲). نسبت محور بزرگ به محور کوچک ( $k$ ) برای فرسایش خاک به روش کریجینگ معمولی و مانده‌های فرسایش خاک حاصل از برآورد مدل شبکه عصبی  $۲/۳۲$  و  $۲/۷۲$  است (جدول ۲) که محور بزرگ آن به ترتیب در امتداد زاویه  $۱۱۰/۴$  و  $۱۷۱/۸$  درجه است. بنابراین، فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه، ناهمسان گرد است. علت ناهمسان گردی فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه مربوط به توزیع ارتفاعی و مدیریت زمین‌ها می‌باشد که در راستای ناهمسان گردی، خاک‌ها تقریباً در یک کلاس ارتفاعی قرار گرفته و از مدیریت یکسان برخوردار می‌باشد.



شکل ۲ تغییرنا فرسایش کل در روش کریجینگ معمولی بر روی داده‌ها و مانده‌های شبکه عصبی

جدول ۲ پارامترهای تغییرنا فرسایش کل خاک

روش‌های میانبایی	مدل	دامنه (km)	$K^*$ امتداد (درجه)	اثر قطعه‌ای حد آستانه	همبستگی مکانی (%)
کریجینگ معمولی	کروی	۱/۹۱	۴/۳۲	$۱۰ \times ۱/۲$	۹۸/۵
شبکه عصبی کریجینگ	گوسی	۱/۹۱	۲/۷۲	$۱۰ \times ۳/۴$	۴۴/۱

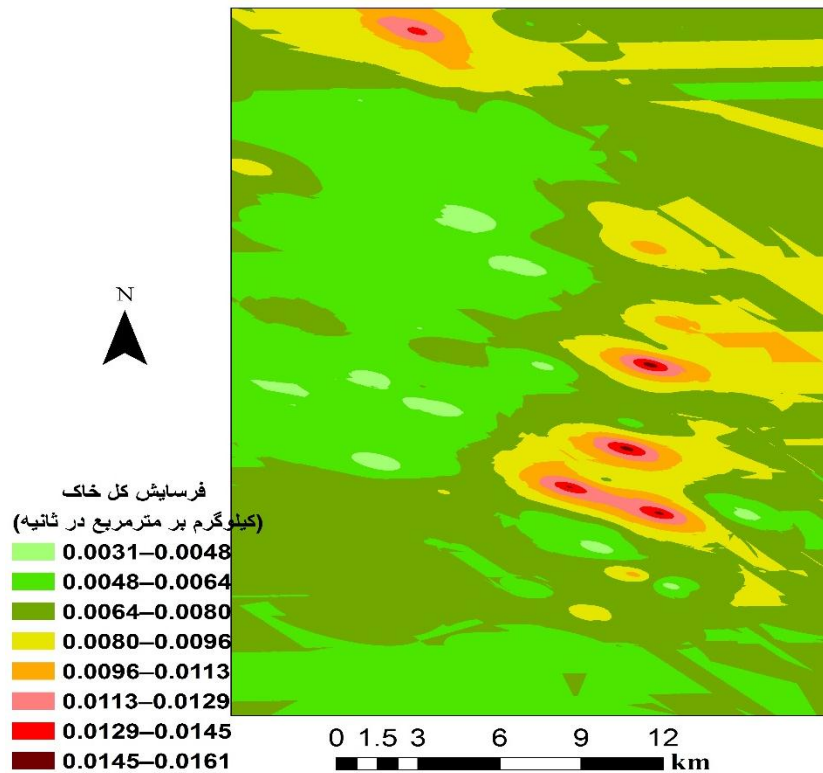
\*  $k$  نسبت حداکثر به حداقل دامنه

نتایج شاخص‌های ارزیابی  $ME$ ،  $RMSE$  و  $R^2$  برای شبکه عصبی-کریجینگ در جدول (۳) ارائه شده است. براساس آماره  $ME$  مدل هیبریدی شبکه عصبی-کریجینگ در هر دو فاز آزمون و آموزش کم‌برآوردی داشتند که این یافته از جدول (۳) نیز قابل مشاهده است. به طور کلی براساس آماره‌های  $RMSE$  و  $R^2$  در فاز آزمون مدل شبکه عصبی-کریجینگ کمترین خطا (به ترتیب با شاخص  $RMSE$  و  $R^2$   $۰/۰۰۳۵$  و  $۰/۲۲۱$ ) را در برآورد فرسایش خاک در مقایسه با تخمین‌گر کریجینگ داشت (جدول ۳).

جدول ۳ ارزیابی روش‌های مکانی برای پیش‌بینی فرسایش خاک

روشن‌های میانبایی			آموزش			آزمون		
$R^2$	RMSE	ME	$R^2$	RMSE	ME	$R^2$	RMSE	ME
کریجینگ معمولی	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۹۵	۰/۰۸۱	۰/۰۰۰۹۸	-۰/۰۰۰۹۸	۰/۰۹۹	۰/۰۰۳۶	-۰/۰۰۰۹۸
شبکه عصبی کریجینگ	-۰/۰۰۳۵۹	۰/۰۰۲۲	-۰/۰۰۳۵۱	۰/۰۰۳۵	۰/۰۲۲۱	۰/۰۲۲۱	۰/۰۰۳۵	-۰/۰۰۳۵۱

شکل (۳) نقشه فرسایش خاک را در منطقه مورد مطالعه براساس روش شبکه عصبی-کریجینگ نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل (۳) نشان می‌دهد بیش‌ترین مقدار فرسایش خاک در بخش‌های شمالی و شرقی منطقه مورد مطالعه و شرقی واقع شده است. در مقابل، بخش‌های غربی و جنوبی منطقه مورد مطالعه فرسایش خاک کمتری دارد.



شکل ۳ نقشه فرسایش کل در منطقه مورد مطالعه

نتایج حاصل از ارزیابی تخمین‌گرهای مکانی براساس آماره‌ها شامل میانگین خطا (ME)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) در فاز آزمون نشان داد که تخمین‌گر هیبریدی (شبکه عصبی-کریجینگ) در مقایسه با کریجینگ معمولی از کارایی بیشتری در برآورد فرسایش خاک برخوردار بود. به نظر می‌رسد برخی از متغیرهای مورد مطالعه دارای رفتار غیرخطی بوده که موجب برتری شبکه عصبی بر مدل‌های رگرسیون چند متغیره خطی شده است.

## منابع

میرزائی، س. ۱۳۹۴. برآورد فرسایش‌پذیری بین‌شیاری، شیاری و تنش برشی بحرانی مدل WEPP با استفاده از توابع انتقالی و توابع پیش‌بینی مکانی خاک. پایان‌نامه دکتری، دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه شهرکرد.

Bishop T.F.A. and McBratney A.B. 2001. A comparison of prediction methods for the creation of field-extent soil property maps. *Geoderma*, 103: 149-160.

Dai F., Zhou Q., Lv Z., Wang X. and Liu G. 2014. Spatial prediction of soil organic matter content integrating artificial neural network and ordinary kriging in Tibetan Plateau. *Ecological Indicators*, 45: 184-194.



- Knotters M., Brus D. and Voshaar J. 1995. A comparison of kriging, co-kriging and kriging combined with regression for spatial interpolation of horizon depth with censored observations. *Geoderma*, 67 (3-4):227-246.
- Liao k., Shaohui X.U., Jichun W.U. and Qing Z.H.U. 2013. Spatial estimation of surface soil texture using remote sensing data. *Soil Science and Plant Nutrition*, 59:488-500.
- Mirzaee S., Ghorbani-Dashtaki S., Mohammadi J., Asadi H. and Asadzadeh F. 2016. Spatial variability of soil organic matter using remote sensing data. *Catena*, 145: 118-127.
- Odeh I.O.A., McBratney A.B. and Chittleborough D.J. 1995. Further results on prediction of soil properties from terrain attributes: heterotopic cokriging and regression-kriging. *Geoderma*, 67: 215-225.
- Triantafilis J., Ward W. and McBratney A. 2001. Land suitability assessment in the Namoi valley of Australia, using a continuous model. *Australian Journal of Soil Research*, 39:273-290.
- Wu J., Norvell W.A., Hopkins D.G., Smith D.B., Ulmer M.G. and Welch R.M. 2003. Improved prediction and mapping of soil copper by kriging with auxiliary data for cation-exchange capacity. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 919-927.
- Wu C., Wu J., Luo Y., Zhang L. and DeGloria S.D. 2009. Spatial prediction of soil organic matter content using cokriging with remotely sensed data. *Soil Science Society of America Journal*, 73:1202-1208.

### The most appropriate Interpolation method for estimating soil erosion by WEPP model

E. musavi<sup>1</sup>, Sh. ghorbany dashtaki<sup>2</sup>, S. mirzaei<sup>3</sup>

M.Sc. Student, Professor and Ph.D. Graduate respectively, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University

#### Abstract:

Knowledge of the spatial variability of soil erosion is more important in the planning and design of strategies for water conservation, flood control and runoff and soil erosion management. The aim of this study was to estimate soil erosion by WEPP model using the location of soil transfer functions (PTFs) and soil spatial prediction functions (SSPFs) for predicting soil erodibility parameters developed by Mirzaee (1394). For this purpose, Mirzaee and colleagues simulated soil erosion with three replications at 100 points, Selin plain, Azerbaijan province. The results of this study showed that the hybrid geostatistic (i.e. neural network-kriging) method performed better than the ordinary kriging method

**Keywords:** Zoning, soil erosion, WEPP