

## تخمین پایداری خاکدانه با استفاده از خصوصیات خاک در کاربری‌های مختلف اراضی

اسماء شعبانی<sup>۱\*</sup>، احمد غلامعلی زاده آهنگر<sup>۲</sup> و صبیره گلشاهی<sup>۳</sup>

۱- هیئت علمی، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه زابل، ایران

۲- هیئت علمی، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه زابل، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه زابل، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۰۱ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۰۹/۲۷	یک مطالعه مقایسه‌ای با هدف بررسی کارایی شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و رگرسیون خطی چندمتغیره (MLR) برای پیش‌بینی پایداری خاکدانه‌های بزرگتر از ۰/۲۵ میلی‌متر در روش الک تر (SAW > ۲۵۰) در کاربری‌های مختلف منطقه میانکنگی سیستان انجام شد. بدین منظور تعداد ۱۴۰ نمونه خاک از اراضی کشاورزی، مرتعی و بایر منطقه تهیه و برخی ویژگی‌های خاک از جمله بافت، ماده آلی، کربنات کلسیم، سدیم تبادلی، کلسیم و منیزیم محلول، اسیدیتته، هدایت الکتریکی و شاخص پایداری خاکدانه در آن‌ها اندازه‌گیری شد. در مناطق بایر و مرتعی میزان کلسیم و منیزیم محلول و در زمین‌های زیر کشت مقدار سدیم تبادلی بیشترین همبستگی خطی را با پایداری خاکدانه نشان دادند و مدل‌های رگرسیونی توسعه‌یافته توانستند ۵۶-۴۹ درصد از تغییرات SAW را در کاربری‌های مختلف منطقه توجیه نمایند. در شبکه عصبی پرسپترون به کار گرفته شده متغیر اسمی نوع کاربری همزمان با سایر ورودی‌ها وارد مدل گردید که این مدل توانست نزدیک به ۹۰ درصد تغییرات شاخص پایداری را در مجموعه آزمون پیش‌بینی کند. نتایج کمی کردن اهمیت متغیرها به روش ارتباط وزنی در روش شبکه عصبی نشان داد که عامل نوع کاربری و نوع و مقدار کاتیون‌های فاز تبادلی و محلول خاک بیشترین سهم را در تغییرپذیری شاخص پایداری خاکدانه در منطقه مورد مطالعه دارند.
کلمات کلیدی: مدل شبکه عصبی، رگرسیون خطی، شاخص پایداری خاکدانه، روش ارتباط وزنی	
* عهده دار مکاتبات Email: shabani_362@yahoo.com	

### مقدمه

خاکدانه به عنوان واحد ساختمان خاک، یکی از اجزای اساسی خاک است و پایداری آن معیار مهمی در ارزیابی وضعیت فیزیکی و فرسایش‌پذیری خاک محسوب می‌شود. تعیین میزان پایداری خاکدانه‌ها

شاخص دقیقی برای ارزیابی کیفیت خاک در برنامه-ریزی استفاده بهینه از خاک می‌باشد (۴۰). به عقیده نلسون و همکاران<sup>۱</sup> (۲۷) نوع کاتیون‌های تبادلی، غلظت الکترولیت تولید شده و pH خاک از عوامل مؤثر بر

دو ظرفیتی، کلسیم می‌تواند از پراکنش رس و گسیختگی خاکدانه‌ها به وسیله جانشینی یون سدیم در رس و خاکدانه‌ها جلوگیری نماید. علاوه بر ویژگی های خاک، عوامل محیطی از جمله نوع کاربری و مدیریت اراضی نیز بر پایداری ساختمان خاک تاثیرگذار است (۴۱). بارتر و همکاران (۱) اظهار داشتند در مقیاس محلی، به علت خصوصیات مینرالوژیکی یکسان و یکنواخت، کاربری اراضی، عامل مهم تعیین کننده‌ای در مقدار ماده آلی خاک و خاکدانه‌سازی است. شریستا و همکاران<sup>۸</sup> (۳۸) نیز نشان دادند که کاربری اراضی و عملیات مدیریتی اثر شدیدی بر خصوصیات خاک به خصوص خاکدانه‌سازی دارد.

روش‌های متعددی برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک وجود دارد؛ این روش‌ها براساس شرایط مختلف خاک‌ها و برحسب اهداف متفاوت ارائه شده اند. یکی از این روش‌ها استفاده از سری الک با اندازه‌های مختلف است که در سال ۱۹۳۶ توسط یودر مورد استفاده قرار گرفت (۴۸). چندین شاخص نیز برای کمی کردن پایداری خاکدانه به روش الک پیشنهاد شده است، از جمله درصد خاکدانه‌های پایدار در آب (WSA<sup>۹</sup>)، میانگین وزن-قطر (MWD<sup>۱۰</sup>)، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD<sup>۱۱</sup>) و مقدار رس متفرق شده در آب (WDC<sup>۱۲</sup>) (۸، ۲۳). کمپر و روزنا<sup>۱۳</sup> (۱۹) به جای استفاده از سری الک از یک الک با اندازه مشخص (۰/۲۵ میلی‌متر) استفاده کردند که درصد خاکدانه‌های پایدار در آب در این روش با استفاده از معادله ۱ محاسبه می‌شود:

$$\%WSA = \frac{m_K - m_A}{EW - m_A} \cdot 100 \quad (1)$$

که در آن  $m_K$ ، وزن خاکدانه‌های پایدار بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر بعد از فرو بردن الک در آب است،  $EW$ ، وزن کل خاک و  $m_A$ ، وزن شن می‌باشد.

پایداری خاکدانه‌ها به شمار می‌روند. کاناسوراس و همکاران<sup>۱</sup> (۹) بیان کردند که ویژگی‌های عمومی خاک که بیشترین همبستگی را با پایداری خاکدانه دارند عبارتند از ماده آلی، مقدار رس و کربنات کلسیم. ماده آلی علاوه بر هم‌آوری ذرات خاک، با کاهش pH و افزایش حلالیت کربنات کلسیم از طریق افزایش دی-اکسید کربن، غلظت کاتیون‌های محلولی چون کلسیم را افزایش و در نتیجه سبب هم‌آوری و پایداری بیشتر خاکدانه‌ها می‌شود (۲). ذرات رس نیز به دلیل سطح ویژه بالا و در نتیجه فعالیت فیزیکی و شیمیایی زیاد، به عنوان عامل سیمانی شدن برای خاکدانه‌سازی در نظر گرفته می‌شوند (۹). اپارا<sup>۲</sup> (۳۱) ابراز داشت که مقادیر قابل ملاحظه رس، اثر مطلوبی روی خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه دارد. در مقابل، برخی دیگر از محققان به نتایج متناقضی در این زمینه رسیده‌اند، به طوری که بارتر و همکاران<sup>۳</sup> (۱) عنوان کرده‌اند اندازه خاکدانه‌ها و پایداری آنها، متاثر از بافت خاک نیست. کربنات کلسیم دیگر ویژگی مرتبط با پایداری خاکدانه‌هاست که بسیاری از دانشمندان تاثیر مثبت آن را بر پایداری خاکدانه‌ها گزارش نموده‌اند (۲۱، ۳۶، ۴۴). بوجیلا و گالای<sup>۴</sup> (۶) اظهار داشتند افزایش میزان کربنات کلسیم در خاک‌ها، بر نقش ماده آلی در پایداری خاکدانه‌ها اثر گذاشته و آن را کم‌رنگ می‌کند و در این شرایط اثر متقابل ماده آلی، رس و کربنات کلسیم در پایداری خاکدانه‌ها ایفای نقش می‌کند. اوسوجی و اون‌ورمادو<sup>۵</sup> (۳۲) و تدسچی و دل-آکویلا<sup>۶</sup> (۴۵) به بررسی نقش کاتیون‌های تبادلی در پایداری خاکدانه‌ها پرداختند. آن‌ها نشان دادند که با افزایش سدیم تبادلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD<sup>۷</sup>) کاهش می‌یابد و از میان کاتیون‌های

1- Canasveras *et al.*

2- Opara

3- Barthes *et al.*

4- Boujila and Gallai

5- Osuji and Onweremadu

6- Tedeschi and Dell'Aquila

7- Mean weight diameter

8- Shrestha *et al.*

9- Water-Stable Aggregates

10- Mean Weight Diameter

11- Geometric Mean Diameter

12- Water-Dispersible Clay

13- Kemper and Rosenau

رگرسیون خطی عملکرد خوبی نداشتند. هدف از این مطالعه نیز پیشنهاد روابط و مدل‌هایی است که به کمک آن‌ها بتوان پایداری خاکدانه را به عنوان یک شاخص کیفیت خاک در منطقه میانگنگی سیستان از روی ویژگی‌های زود یافت خاک و همچنین با توجه به نوع کاربری‌های مختلف منطقه تخمین زد. در این راستا علاوه بر روش‌های آماری رگرسیونی که در مطالعات گذشته استفاده شده‌اند سعی بر آن شد که کارایی روش‌های مبتنی بر هوش محاسباتی نیز بررسی گردیده و از روی مدلی دقیق مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار بر پایداری ساختمان خاک در منطقه شناسایی شود.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه (منطقه میانگنگی) در ۳۰ کیلومتری شرق شهرستان زابل، هم مرز با کشور افغانستان و مابین عرض‌های جغرافیایی  $31^{\circ} 04' 51''$  تا  $31^{\circ} 08' 17''$  شمالی و طول جغرافیایی  $61^{\circ} 44' 49''$  تا  $61^{\circ} 49' 56''$  شرقی واقع شده است. مساحت منطقه ۴۵۰۰ هکتار، متوسط ارتفاع از سطح دریا ۴۸۹/۲ متر و کاربری منطقه کشاورزی، مرتع و همچنین زمین‌های غیرقابل استفاده است. شکل‌های اراضی موجود در منطقه دشت آبرفتی رودخانه‌ای و اراضی پست می‌باشد. همچنین مقدار ماده آلی در سطح منطقه تحت تاثیر اقلیم خشک و پوشش گیاهی فقیر به علت تبخیر بسیار شدید (بیشتر از ۴۵۰۰ میلی‌متر در سال) ناچیز می‌باشد.

### نمونه‌برداری و آنالیزهای آزمایشگاهی

شبکه‌بندی منظم منطقه با ابعاد  $500 \times 500$  متر با استفاده از نرم افزار Arc GIS 10.1 انجام شد. موقعیت نمونه‌های خاک در محل هر گره از شبکه نمونه‌برداری با دستگاه GPS<sup>۸</sup> تعیین و در مجموع ۱۴۰ نمونه از خاک سطحی (۳۰-۰ سانتیمتری) برداشت و به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌ها ابتدا هواخشک و سپس از الک ۲ میلیمتری عبور داده شدند. بافت خاک به روش

برزگر و همکاران<sup>۱</sup> (۲) نیز از الک ۰/۲۵ میلیمتری برای به دست آوردن پایداری ساختمان خاک استفاده نموده و نشان دادند که نتایج به دست آمده از این روش به مراتب بهتر از روش یودر (۴۸) می‌تواند اثر شور و سدیمی بودن خاک را در پایداری ساختمان خاک نشان دهد.

متاسفانه، روش‌های تجربی موجود برای تعیین شاخص‌های پایداری پرزحمت و زمان‌بر هستند و به سختی استاندارد می‌شوند (۹)؛ بنابراین، پیش‌بینی غیرمستقیم پایداری خاکدانه از داده‌های زود یافت، مفید خواهد بود. توابعی که بتوانند پایداری خاکدانه را با استفاده از داده‌های زود یافت پیش‌بینی کنند به روش‌های مختلفی استخراج می‌شوند. از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان به مدل‌های رگرسیونی معمول و روش‌های محاسباتی نرم<sup>۲</sup> یا هوش مصنوعی<sup>۳</sup> اشاره کرد. در مقایسه با کاربردهای گسترده مدل‌های رگرسیونی معمول در پیش‌بینی غیرمستقیم پایداری خاکدانه از دیگر داده‌ها (۱۲، ۱۷، ۲۱، ۲۸)، سیستم‌های هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs<sup>۴</sup>)، برای این منظور کم‌تر به کار گرفته شده‌اند؛ هرچند پتانسیل زیادی در زمینه‌های مشابه (۴، ۱۴، ۲۰) نشان داده‌اند. بصالت پور و همکاران<sup>۵</sup> (۳) مطالعه‌ای با هدف مقایسه کارایی سیستم نروفازی (ANFIS<sup>۶</sup>)، شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندمتغیره (MLR<sup>۷</sup>) برای پیش‌بینی پایداری خاکدانه مرطوب خاک (کمی شده به وسیله MWD) در یک حوضه آبریز کوهستانی و مرتفع انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل‌های مبتنی بر هوش محاسباتی پتانسیل زیادی در پیش‌بینی پایداری خاکدانه از ویژگی‌های خاک و محیط دارند، در حالی که روش‌های

- 1- Barzegar *et al.*
- 2- Soft Computing
- 3- Artificial Intelligence
- 4- Artificial Neural Networks
- 5- Besalatpour *et al.*
- 6- Adaptive Network-based Fuzzy Inference System
- 7- Multivariate Linear Regression

8- Global Positioning System

تیسین ( $R^2$ ) ریشه میانگین مربعات خطا ( $RMSE^2$ ) و میانگین هندسی نسبت خطا ( $GMER^2$ ) استفاده گردید (معادلات ۲ تا ۴).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (z^* - z)^2}{\sum_{i=1}^n (z - z_m)^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z - z^*)^2} \quad (3)$$

$$GMER = \exp \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \left( \frac{z^*}{z} \right) \right] \quad (4)$$

در این معادلات:

$z(x_i)$ : مقدار خروجی مدل در نقطه  $i$ ،  $z^*(x_i)$

مقدار مشاهده‌ای در نقطه  $i$ ،  $z_m$ : میانگین مقادیر مشاهده‌ای و  $n$  تعداد کل مشاهدات است. هر چه مقدار  $RMSE$  کوچکتر و مقدار  $R^2$  به ۱ نزدیکتر باشد نمایانگر دقت بالاتر تخمین خواهند بود.  $GMER$  نیز بیان‌کننده وجود هماهنگی و تطابق بین مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده می‌باشد. چنانچه مقدار ضریب  $GMER$  برابر با ۱ باشد، بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده مطابقت کامل وجود دارد؛ بنابراین هر چه مقدار این آماره به یک نزدیکتر باشد، مدل از دقت بالاتری برخوردار است. از سوی دیگر بیشتر و کمتر بودن این پارامتر نسبت به یک، به ترتیب نشان دهنده بیش-برآوردی یا کم‌برآوردی مدل می‌باشد (۴۶).

#### مدل‌سازی با شبکه پرسپترون چند لایه $(MLP)^4$

شبکه  $MLP$  پرکاربردترین شبکه  $ANN$  در پیش‌بینی و حل مسایل غیر خطی است. این شبکه از تعدادی عنصر پردازشی بسیار پیوسته و ساده، که نرون نامیده می‌شوند، ساخته شده است. یک شبکه  $MLP$  از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی از نرون‌ها ترکیب یافته است. نرون‌های لایه ورودی، داده‌های ورودی را از محیط بیرون دریافت می‌کنند و به لایه پنهان انتقال می‌دهند. هر نرون در لایه پنهان ابتدا یک

هیدرومتری (۷)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع به روش هدایت سنجی (۳۷)،  $pH$  در گل اشباع (۳۴)، درصد آهک (کربنات کلسیم معادل) به روش خنثی-سازی با اسید کلریدریک و تیتراسیون با سود (۲۶)، درصد کربن آلی به روش والکی و بلک (۴۷) و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استخراج با محلول استات سدیم یک مولار در  $pH = 8/2$  (۱۰) اندازه‌گیری شدند. مقدار سدیم محلول و تبدالی به روش عصاره‌گیری با استات آمونیم و سدیم محلول به روش عصاره‌گیری با آب مقطر و قرائت با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتری و مقدار کلسیم و منیزیم محلول به روش کمپلکسومتری برآورد شدند (۳۳). درصد سدیم تبدالی نیز با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده محاسبه گردید.

#### روش آماری تجزیه و تحلیل داده‌ها

بعد از اندازه‌گیری ویژگی‌های عمومی خاک (بافت، ماده آلی، کربنات کلسیم، سدیم تبدالی، کلسیم و منیزیم محلول، اسیدیته و هدایت الکتریکی) و درصد خاکدانه-های پایدار بزرگتر از  $0/25$  میلیمتر در نقاط مورد مطالعه، ابتدا وجود یا عدم وجود اختلاف آماری بین ویژگی‌های خاک در سه نوع کاربری (کشاورزی، مرتع و بایر) با استفاده از آزمون  $LSD^1$  در سطح معنی‌داری ۵ درصد بررسی گردید. همچنین بین ویژگی‌های خاک و شاخص پایداری خاکدانه در سه نوع کاربری ماتریس همبستگی پیرسون برقرار شد؛ سپس به منظور تعیین ارتباط خطی بین پارامترهای مورد مطالعه با درصد پایداری خاکدانه، آنالیز رگرسیون خطی چند متغیره به روش گام به گام در نرم افزار  $SPSS$  انجام گردید که در آن، ویژگی‌های عمومی خاک به عنوان متغیرهای مستقل و  $WSA$  در هر نوع کاربری به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. قبل از انجام مدل‌سازی، ۸۵ درصد داده‌ها به منظور مدل‌سازی و ۱۵ درصد برای آزمون مدل گزینش شدند. در انجام فرآیند اعتبارسنجی مدل‌ها، از معیارهای ضریب

2- Root Mean Square Error  
3- Geometric Mean Error Ratio  
4- Multilayer Perceptron

1- Least Significant Difference

کردن جلوگیری شود (۱۴، ۴۳). در مدل ANN حاضر، برای این که بتوانیم نوع کاربری را که یک متغیر اسمی است همراه با سایر متغیرها وارد مدل شبکه عصبی کنیم و تاثیر آن را به طور همزمان با سایر متغیرها بررسی کنیم، از کدهای ۱ تا ۳ برای نشان دادن کاربری کشاورزی، مرتعی و بایر استفاده شد.

### آنالیز حساسیت در روش شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان یک تکنیک مدل‌سازی آماری قدرتمند، توجه زیادی را در علوم مختلف به خود جلب کرده‌اند؛ با این حال، چون اعتقاد بر آن است که این مدل‌ها توضیحات کمی درباره مشارکت متغیرهای ورودی در فرآیند پیش‌بینی ارائه می‌دهند، به عنوان یک جعبه سیاه<sup>۲</sup> شناخته می‌شوند (۲۹). توسعه روشی برای ایجاد ارتباط بین عوامل ورودی و خروجی معنی‌دار در مدل‌های ANN اهمیت زیادی دارد (۱۸). روش ارتباط وزنی<sup>۳</sup> که از وزن‌های ارتباطی خام ورودی-پنهان و پنهان-خروجی در شبکه عصبی استفاده می‌کند، بهترین روش برای کمی کردن صحیح اهمیت متغیرهای ورودی نسبت به دیگر روش‌های معمول می‌باشد (۳۰). ارتباط وزنی بین نرون‌ها در واقع اتصالاتی بین ورودی‌ها و خروجی هستند و بنابراین اتصالاتی بین مساله و راه حل قلمداد می‌شوند. روش ارتباط وزنی براساس جمع حاصل ضرب‌های ارتباط وزنی‌های ورودی-پنهان و پنهان-خروجی بین هر نرون ورودی و خروجی برای همه متغیرهای ورودی است (۳۰). هرچه مقدار جمع ارتباط وزنی‌ها بزرگتر باشد، بیانگر اهمیت بیشتر متغیر است. در این مطالعه نیز از روش ارتباط وزنی برای ارزیابی اهمیت ورودی‌ها نسبت به خروجی (شاخص پایداری خاکدانه) استفاده شد. اهمیت نسبی متغیر  $i$  در این روش از طریق فرمول ۶ تعیین می‌گردد (۱۱):

$$RI_i = \frac{\sum_{j=1}^m w_{ij} w_{jk}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij} w_{jk}} \times 100\% \quad (6)$$

ترکیب خطی از خروجی‌های همه نرون‌های لایه قبل محاسبه می‌کند و سپس یک مقدار اریبی<sup>۱</sup> به آن می‌افزاید. سپس برای این ترکیب خطی به همراه اریبی، یک تابع غیرخطی مشخص استفاده می‌کند که تابع فعالیت نامیده می‌شود. ضرایب ترکیب‌های خطی و اریبی‌ها، نیز وزن نامیده می‌شوند (۱۵). شبکه MLP جهت طراحی نیازمند سه دسته داده آموزشی، اعتبارسنجی و آزمون می‌باشد. در پژوهش حاضر، ۷۰ درصد داده‌ها جهت آموزش مدل، ۱۵ درصد برای انجام فرآیند اعتبارسنجی و ۱۵ درصد به عنوان داده‌های آزمون مدل انتخاب گردیدند. برای جلوگیری از اشباع زود هنگام نرون‌ها و یکسان‌سازی ارزش داده‌ها برای شبکه، بایستی داده‌ها در محدوده تابع فعالیت لایه پنهان قرار گیرد (۱۴). به این منظور، متغیرهای ورودی و خروجی با استفاده از فرمول ۵ بین صفر و یک نرمال شدند:

$$x_i^{norm} = \frac{x_i - x_i^{min}}{x_i^{max} - x_i^{min}} \quad (5)$$

که  $x_i$ ،  $x_i^{min}$ ،  $x_i^{max}$  و  $x_i^{norm}$  به ترتیب مقادیر متغیرهای ورودی (خروجی)  $i$ ، مقدار حداقل متغیر ورودی (خروجی) و مقدار نرمال شده  $i$  هستند. آموزش شبکه، با استفاده از نرم‌افزار MATLAB 7.6 انجام شد.

### کد کردن متغیر نوع کاربری

اگر در بین ورودی‌های ANN متغیر غیر عددی و به عبارتی متغیر اسمی وجود داشته باشد، می‌توان آن را با استفاده از کدهای ترتیبی (عدد صحیح) به صورت شاخص‌های عددی نشان داد. این شکل کدگذاری برای داده‌های غیر عددی، در مدل‌های ANN مرسوم است. نکته قابل توجه آن است که این کدهای ترتیبی، مقادیر یا کمیت‌های مرتبط با متغیر یا هر نوع کلاس‌بندی از آن نیستند (۱۵). در طی فاز آموزش، کدهای اختصاص داده شده به متغیر اسمی نیز با استفاده از معادله ۵ به محدوده استاندارد شده تبدیل می‌گردند تا از اثرات مصنوعی کد

2- Black box

3- Connection Weight Method

1- Bias

میزان این شاخص در کاربری مرتعی به طور معنی-داری کمتر از دو کاربری دیگر است و بیشترین میانگین ESP<sup>f</sup> مربوط به اراضی بایر است که تفاوت معنی داری با کاربری کشاورزی ندارد. همچنین میانگین هدایت الکتریکی در کاربری بایر (۶/۸۳) به طور معنی داری بیش از کاربری مرتع (۴/۴۴) و کشاورزی (۴/۶۹) بود. وجود شوره زار نیز در سطح زمین های بایر به خوبی نشان از شوری زیاد این مناطق داشت که یک دلیل بیشتر بودن پایداری خاکدانه در کاربری بایر با وجود درصد سدیم تبدلی بالا احتمالاً کاهش اثرات سوء سدیم به واسطه شوری بیشتر می باشد.

ضرایب همبستگی بین شاخص پایداری خاکدانه و ویژگی های خاک در کاربری های مختلف در جدول (۳) ارائه شده است. در مناطق بایر و مرتعی میزان کلسیم و منیزیم محلول و در زمین های زیر کشت مقدار سدیم تبدلی بیشترین همبستگی را با پایداری خاکدانه نشان دادند.

در هر سه نوع کاربری همبستگی مثبت و معنی داری بین درصد کربنات کلسیم و پایداری خاکدانه نیز مشاهده شد که البته ضرایب این همبستگی ها کوچکتر از مقادیر همبستگی کلسیم و منیزیم محلول بود که نشان دهنده اهمیت و نقش بیشتر کلسیم فاز محلول در شکل گیری خاکدانه های پایدار است. درصد ماده آلی نیز در کاربری های مختلف منطقه با پایداری خاکدانه همبستگی مثبت و معنی دار اما کوچکتر از همبستگی کلسیم و منیزیم محلول داشت. بویکس-فایوس و همکاران<sup>۵</sup> (۵) نشان دادند که وقتی مقدار ماده آلی کمتر از ۳ درصد باشد، پایداری خاکدانه ها به میزان بیشتری تحت تاثیر یون کلسیم است.

$$i=1,2,3,\dots,n \quad j=1,2,3,\dots,m$$

که RI<sub>i</sub> اهمیت نسبی (برحسب درصد) متغیر i در لایه ورودی نسبت به متغیر خروجی، j شماره اندیس گره پنهان، W<sub>ij</sub> وزن ارتباطی بین متغیر ورودی i و گره پنهان j، و W<sub>jk</sub> وزن ارتباطی بین گره پنهان j و گره خروجی k است.

## نتایج و بحث

آماره های توصیفی شامل حداکثر و حداقل داده ها، میانگین، ضریب تغییرات و چولگی برای هر کدام از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک در هر یک از کاربری ها به طور جداگانه محاسبه شد که در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۲) مقایسه میانگین های خصوصیات مورد بررسی در سه کاربری را که از نظر آماری اختلاف معنی داری داشتند، نشان می دهد. میانگین شاخص پایداری خاکدانه در کاربری کشاورزی با میانگین این خصوصیت در دو کاربری دیگر تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد دارد. بیشترین درصد خاکدانه های پایدار مربوط به کاربری بایر با میانگین ۴۹/۹، و کمترین آن مربوط به اراضی کشاورزی با میانگین ۳۲/۸۷ بود و کاربری مرتع از لحاظ این خصوصیت در بین دو کاربری دیگر قرار می گیرد که البته تفاوت معنی داری با کاربری بایر ندارد. زارعی و شکل آبادی<sup>۱</sup> (۴۹) نشان دادند که شاخص پایداری خاکدانه حساس ترین متغیر خاک به تغییر کاربری زمین می باشد که این اثر در بخش خاکدانه های درشت (۲-۲۵ میلی متر و بزرگتر از ۲ میلی متر) بارزتر است. هولند<sup>۲</sup> (۱۶) و لال و همکاران<sup>۳</sup> (۲۲) بیان داشتند که به دنبال عملیات کشت و کار، پایداری خاکدانه های بزرگتر از ۰/۲۵ میلی متر کاهش می یابد. مقایسه میانگین درصد سدیم تبدلی در کاربری های مختلف منطقه نشان داد.

4- Exchangeable Sodium Percentage  
5- Boix-Fayos *et al.*

1- Zareai and Sheklabadi  
2- Holland  
3- Lal *et al.*

جدول (۱) آمار توصیفی ویژگی‌های خاک در هر سه نوع کاربری  
 Table (1) Descriptive statistics of soil characteristics for three types of land use

کاربری بایر (Arid land use) (n = 27)						خصوصیات خاک (Soil Properties)
چولگی (Skewness)	ضریب تغییرات (CV) (%)	میانگین (Mean)	حداکثر (Max)	حداقل (Min)	واحد (Unit)	
0.24	26.76	39.83	64.40	20.6	%	شن (Sand)
-0.12	30.82	38.9	58	14.60	%	سیلت (Silt)
0.043	29.37	21.38	33.40	11.40	%	رس (Clay)
0.89	53.28	0.46	0.92	0.07	%	ماده آلی (OM)
-0.88	91.4	18.09	20.5	14	%	CCE
0.80	39.33	4.89	8.48	2.05	C mol kg <sup>-1</sup>	Na <sub>exc</sub>
0.3	56.56	4.88	14.63	1.72	meq L <sup>-1</sup>	(Ca+Mg) <sub>aq</sub>
0.64	61.96	6.68	14.80	1.22	dS m <sup>-1</sup>	EC
-0.41	4.18	8.37	9.10	7.4	-	pH
-0.15	26.36	16.32	21.6	8.8	C mol kg <sup>-1</sup>	CEC
1.42	48.94	25.45	68.87	11.52	%	ESP
0.75	15.53	49.90	67.55	38.47	%	WSA
کاربری مرتع (Rangeland land use) (n = 36)						
0.13	26.12	39.43	61.60	20.4	%	شن (Sand)
0.74	29.28	37.4	60	12	%	سیلت (Silt)
-0.29	25	21.08	31	10	%	رس (Clay)
0.19	45.13	0.59	1.14	0.17	%	ماده آلی (OM)
-0.08	12.87	18.42	21.5	13	%	CCE
0.44	40.29	4.19	7.77	1.25	C mol kg <sup>-1</sup>	Na <sub>exc</sub>
0.79	43.75	4.83	9.56	1.24	meq L <sup>-1</sup>	(Ca+Mg) <sub>aq</sub>
1.09	61.59	4.44	14	0.33	dS m <sup>-1</sup>	EC
0.51	4.15	8.32	9.2	7.4	-	pH
-0.35	19.71	18.98	26.40	11.2	C mol kg <sup>-1</sup>	CEC
0.85	42.93	19.24	43.4	8.1	%	ESP
-0.64	18.04	46.39	56.46	20.98	%	WSA
کاربری کشاورزی (Agricultural land use) (n = 77)						
0.22	28.51	40.37	76.60	18.20	%	شن (Sand)
0.02	19.54	39.06	62	20	%	سیلت (Silt)
0.65	34.4	19.28	46.40	7.40	%	رس (Clay)
0.24	60	0.41	0.88	0.07	%	ماده آلی (OM)
-1.26	10.96	18.50	23	11	%	CCE
0.25	35.49	4.48	7.97	2.11	C mol kg <sup>-1</sup>	Na <sub>exc</sub>
0.82	52.28	4.47	10	1.03	meq L <sup>-1</sup>	(Ca+Mg) <sub>aq</sub>
1.15	81.1	4.69	19.10	1.04	dS m <sup>-1</sup>	EC
-0.56	4.53	8.42	9.40	7.8	-	pH
-0.35	19.71	16.68	24.40	11.2	C mol kg <sup>-1</sup>	CEC
0.8	38.35	24.96	53.17	11.3	%	ESP
-0.93	23.12	32.87	49.40	15.32	%	WSA

CCE کربنات کلسیم معادل، Na<sub>exc</sub> سدیم تبادلی، (Ca+Mg)<sub>aq</sub> کلسیم و منیزیم محلول، EC هدایت الکتریکی، CEC ظرفیت تبادل کاتیونی،

ESP درصد سدیم تبادلی، WSA خاکدانه‌های پایدار در آب

جدول (۲) مقایسه میانگین برخی ویژگی های خاک مورد بررسی در سه نوع کاربری  
Table (2) Comparing the mean values of some soil properties for three types of land use

کشاورزی (Agriculture)	مرعی (Rangeland)	بایر (Arid)	ویژگی (Attribute) / نوع کاربری اراضی (Land use type)
0.41b	0.59a	0.46b	OM
4.69b	4.44b	6.68a	EC
16.68b	18.98a	16.32b	CEC
24.94a	19.24b	25.45a	ESP
23.87b	46.39a	49.9a	WSA

OM ماده آلی، EC هدایت الکتریکی، CEC ظرفیت تبادل کاتیونی، ESP درصد سدیم قابل تبادل، WSA خاکدانه‌های پایدار در آب میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ردیف تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد ندارند.

خاکدانه مشاهده گردید. محمودآبادی و احمدبیدی<sup>۴</sup> (۲۴) در بررسی تاثیر توزیع اندازه ذرات بر پایداری خاکدانه در منطقه‌ای در شمال غربی کرمان بین درصد شن با درصد خاکدانه‌های پایدار در آب بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر همبستگی منفی و معنی داری گزارش کردند. رابطه بین پایداری خاکدانه و درصد سیلت و رس در خاک‌های منطقه مورد مطالعه معنی دار نشد. قربانی و همکاران (۱۳) و سیکس و همکاران<sup>۵</sup> (۳۹) نیز همبستگی معنی داری بین درصد رس با شاخص MWD در خاک نیافتند. مطالعات کریمی و همکاران (۱۷) و نیمن و سینگر<sup>۶</sup> (۲۵) نشان داد که رس زمانی پایداری خاکدانه را افزایش می‌دهد که میزان سدیم در خاک کم باشد، در حضور سدیم زیاد، رس می‌تواند تاثیر منفی بر پایداری خاکدانه‌ها داشته باشد. همبستگی منفی درصد رس با شاخص پایداری خاکدانه در این منطقه را نیز هر چند معنی دار نشد، می‌توان به مقادیر زیاد سدیم در خاک نسبت داد.

#### نتایج مدل‌سازی رگرسیونی

معادله آنالیز رگرسیون و نتایج اعتبارسنجی مدل‌های بدست آمده برای پیش‌بینی پایداری خاکدانه در هر سه نوع کاربری در جدول ۴ ارائه شده است.

حضور زیادی یون‌های سدیم تبدلی در خاک‌های منطقه باعث ناپایداری خاکدانه‌ها شده است. این نتایج با یافته‌های قربانی و همکاران<sup>۱</sup> (۱۳)، اوسوجی و اون‌ورمادو (۳۲) و تدسچی و دل‌آکویلا (۴۵) مطابقت دارد. در هر سه کاربری منطقه مورد مطالعه بین هدایت الکتریکی محلول خاک و پایداری خاکدانه همبستگی مثبت معنی‌داری مشاهده شد. تاجیک و همکاران<sup>۲</sup> (۴۲) مطالعه‌ای به منظور بررسی تاثیر هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم بر پایداری خاکدانه در خاک‌های منطقه دشت ناز ساری انجام دادند. نتایج آن‌ها بیانگر اثر اصلاحی EC بر پایداری خاکدانه در شرایط سدیمی خاک بود. همبستگی منفی اسیدیته خاک با پایداری خاکدانه نیز در مناطق بایر و کشاورزی معنی دار شد. قربانی و همکاران (۱۳) و کریمی و همکاران (۱۷) نیز در این رابطه به نتایج مشابهی دست یافتند. روستا و همکاران<sup>۳</sup> (۳۵) دلیل همبستگی منفی pH با پایداری خاکدانه را این‌گونه بیان کردند که کاهش pH خاک سبب انحلال کربنات کلسیم موجود در خاک گردیده و با تامین کلسیم محلول باعث جایگزینی کلسیم به جای سدیم تبدلی و نهایتاً انعقاد ذرات رس می‌شود. در هر سه نوع کاربری همبستگی منفی معنی داری بین درصد شن و پایداری

4- Mahmoodabadi and Ahmadbeygi  
5- Six et al.  
6- Neaman and Singer

1- Ghorbani et al.  
2- Tajik et al.  
3- Rousta et al.



### نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی

ویژگی‌های بهترین ساختار شبکه MLP که برای پیش‌بینی شاخص پایداری خاکدانه در منطقه مورد مطالعه می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد در جدول ۵ آمده است. مدل آموزش داده شده دارای ۱۰ گره در لایه ورودی (درصد شن، سیلت، رس، ماده آلی، کربنات کلسیم، سدیم تبادلی، کلسیم و منیزیم محلول، اسیدیته، هدایت الکتریکی و نوع کاربری) و یک گره در لایه خروجی (درصد خاکدانه های پایدار) است. تعداد بهینه گره لایه پنهان ۱۴ و کاراترین تابع فعالیت در لایه پنهان و خروجی به ترتیب سیگموئید و خطی به دست آمد. این مدل توانست حدود ۹۰ درصد از تغییرپذیری شاخص پایداری خاکدانه در منطقه را برای مجموعه آزمون توجیه کند (جدول ۵). مقادیر GMER در جدول

معادلات رگرسیونی به دست آمده در این مطالعه تنها توانست ۴۹-۵۶ درصد تغییرات پایداری خاکدانه در منطقه را توجیه کند. رگرسیون آماری با فرض دقیق بودن مشاهدات و متغیرها انجام می‌شود؛ درحالی که در سیستم‌های طبیعی مانند خاک، مشاهدات نادقیق و روابط مبهم و اغلب غیر خطی می‌باشد. همین موضوع تأکیدی است بر استفاده از روش‌های برازش توابع، که قادر به تبیین ساختار مبهم سیستم و در اختیار نهادن الگوهای منطبق با واقعیت باشند. همچنین مقادیر GMER در هر سه مدل رگرسیونی نشان دهنده کم برآوردی مدل‌ها نسبت به داده‌های واقعی می‌باشد ( $GMER < 1$ ).

### جدول (۳) ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های خاک و شاخص پایداری خاکدانه در سه نوع کاربری

Table (3) Correlation coefficients between soil properties and soil aggregate stability for three types of land use

pH	EC	(Ca+Mg)	Na <sub>exc</sub>	CCE	OM	رس (Clay)	سیلت (Silt)	شن (Sand)	نوع کاربری اراضی (Land use type)
-0.42**	0.32*	0.7**	-0.54**	0.34*	0.58**	-0.18	0.09	-0.28*	بایر (Arid)
-0.12	0.41**	0.56**	-0.5**	0.29*	0.44**	-0.12	0.08	-0.29*	مرعی (Rangeland)
-0.26*	0.27*	0.5**	-0.59**	0.32*	0.46**	-0.14	-0.18	-0.26*	کشاورزی (Agriculture)

\*\*، \* به ترتیب همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵.

OM ماده آلی، CCE کربنات کلسیم معادل، Na<sub>exc</sub> سدیم تبادلی، (Ca+Mg)<sub>aq</sub> کلسیم و منیزیم محلول، EC هدایت الکتریکی، pH اسیدیته، WSA خاکدانه‌های پایدار در آب

### جدول (۴) مدل‌های رگرسیونی توسعه داده شده و نتایج اعتبارسنجی آنها

Table(4) Developed regression models and their validation results

GMER	RMSE	R <sup>2</sup>	مدل (Model)	نوع کاربری اراضی (Land use type)
0.94	5.77	0.56	WSA=37.47+1.18(Ca+Mg) <sub>aq</sub> +6.96OM	بایر (Arid)
0.96	5.66	0.52	WSA=38.5+1.28(Ca+Mg) <sub>aq</sub> +0.55EC-1.56 Na <sub>exc</sub>	مرعی (Rangeland)
0.93	7.62	0.49	WSA=40.74-2.67 Na <sub>exc</sub> +8.91OM+0.71(Ca+Mg) <sub>aq</sub>	کشاورزی (Agriculture)

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین هندسی نسبت خطا (GMER)، OM: ماده آلی، Na<sub>exc</sub> سدیم تبادلی، (Ca+Mg)<sub>aq</sub> کلسیم و منیزیم محلول، EC هدایت الکتریکی، WSA خاکدانه‌های پایدار در آب

الکتریکی و نوع کاربری) وزن‌های به کار رفته در شبکه که نوعی پل ارتباطی بین ورودی‌های مسأله و خروجی هستند، از نرم افزار MATLAB استخراج گردیدند و با استفاده از معادله ۶ حساسیت تمامی متغیرهای ورودی شبکه MLP محاسبه گردید که نتایج آن در شکل ۱ آورده شده است.

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، نوع کاربری بیشترین اهمیت را در توجیه تغییرپذیری شاخص پایداری خاکدانه در منطقه داشته است. نوع کاتیون‌های تبدلی و محلول و اسیدیته متاثر از آن در درجه بعدی اهمیت قرار دارد. هدایت الکتریکی محلول خاک نیز اثر اصلاحی خود را بر افزایش پایداری خاکدانه به ویژه در شرایط سدیمی بودن خاک‌های منطقه بیش از تاثیر ماده آلی آشکار کرده است. نتایج شکل ۱ همچنین نشان دهنده اهمیت کمتر کربنات کلسیم در مقایسه با کلسیم و منیزیم محلول است که بیانگر حلالیت اندک ترکیبات کربنات کلسیم در منطقه به علت pH بالای خاک‌ها می‌باشد.

بسیار نزدیک به ۱ است که مطابقت بالا بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در روش شبکه عصبی را نشان می‌دهد.

مقایسه عملکرد شبکه MLP و رگرسیون چند متغیره در جداول ۴ و ۵ نشان‌دهنده دقت مناسب شبکه MLP نسبت به روش رگرسیونی برای پیش‌بینی پایداری خاکدانه در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در مطالعه‌ای که بصالت‌پور و همکاران (۳) با هدف مقایسه کارایی ANFIS، ANN و MLR در پیش‌بینی MWD انجام دادند مقادیر به دست آمده  $R^2$  بین MWD اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مدل‌های توسعه‌داده شده MLR، ANN و ANFIS با استفاده از ویژگی‌های خاک، شیب و جهت شیب به ترتیب ۰/۲۴، ۰/۸۴ و ۰/۷۳ بود. در نتیجه، مدل‌های ANN و ANFIS پتانسیل بیشتری در پیش‌بینی پایداری خاکدانه از ویژگی‌های خاک و توپوگرافی نشان دادند.

### نتایج آنالیز حساسیت به روش ارتباط وزنی در شبکه MLP

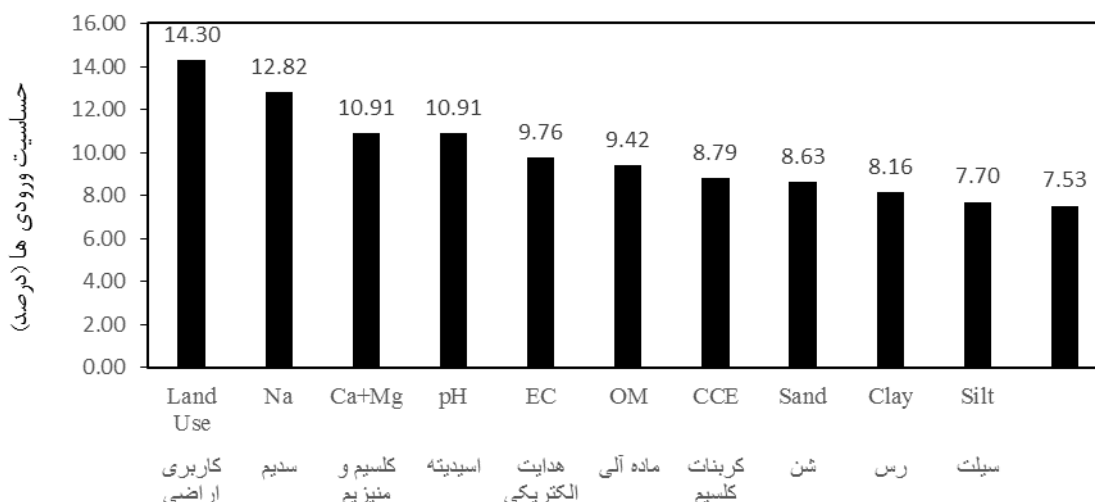
به منظور ارزیابی اهمیت ورودی‌های مورد استفاده (درصد شن، سیلت، رس، ماده آلی، کربنات کلسیم، سدیم تبدلی، کلسیم و منیزیم محلول، اسیدیته، هدایت

جدول (۵) نتایج مراحل مختلف توسعه شبکه MLP در برآورد شاخص پایداری خاکدانه

Table (5) The results of different stages in developing MLP network to estimate soil aggregate stability

مرحله (Stage)	$R^2$	RMSE	GMER
آموزش (Training)	0.93	2.4	1.003
اعتبارسنجی (Validation)	0.86	3.47	1.012
تست (Testing)	0.89	2.52	1.001

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین هندسی نسبت خطا (GMER)



شکل (۱) نتایج کمی کردن اهمیت متغیرهای ورودی در مدل MLP به روش ارتباط وزنی

Figure (1) Results of quantifying the importance of input variables using connection weights method in MLP model

اراضی به خوبی می‌تواند اثر اصلاحی افزایش الکترولیت در شرایط سدیمی بودن خاک را بر پایداری خاکدانه نشان دهد. نتایج کمی کردن اهمیت متغیرها به روش ارتباط وزنی در مدل شبکه عصبی نشان داد که عامل نوع کاربری بیشترین مشارکت را در تغییرپذیری پایداری خاکدانه در منطقه مورد مطالعه داراست و نوع کاتیون‌های تبدالی و محلول نیز در مرحله دوم اهمیت قرار دارد. نتایج همچنین بیانگر افزایش خطر سدیمی شدن و تخریب ساختمان خاک در مناطق تحت کشت می‌باشد که احتمالاً به دلیل شوری اندک آب آبیاری و کاهش ماده آلی خاک به دنبال عملیات خاک-ورزی است. بنابراین به نظر می‌رسد اولین قدم در بهبود کیفیت خاک‌های منطقه اصلاح شیمیایی و جایگزینی کاتیون‌های سدیم تبدالی با کاتیون‌های دو ظرفیتی نظیر کلسیم باشد و به دلیل سدیم زیاد، با افزایش ماده آلی به تنهایی امکان اصلاح خاک در این منطقه وجود ندارد و لازم است ابتدا اصلاح شیمیایی صورت گیرد و سپس به افزایش ماده آلی روی آورد؛ از این رو کاربرد گچ و اسید سولفوریک همراه با آب آبیاری به عنوان یک راهکار مدیریتی در اصلاح مناطق کشت شده پیشنهاد می‌گردد.

### نتیجه‌گیری

تعداد ۱۴۰ نمونه خاک جهت بررسی و تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های خاک موثر بر شاخص پایداری خاکدانه (کمی) شده با درصد خاکدانه‌های پایدار بزرگتر از ۰/۲۵ میلی‌متر در الک (تر) با استفاده از روش‌های رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی در کاربری‌های مختلف منطقه میانکنگی سیستان جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل گردید. نتایج بیانگر آن است که روش شبکه عصبی می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های مرسوم رگرسیونی در مدل‌سازی شاخص پایداری خاکدانه در منطقه باشد؛ به گونه‌ای که شبکه عصبی MLP با آرایش ۱-۱۴-۱۰ نزدیک به ۹۰ درصد از تغییرات پایداری خاکدانه را با استفاده از ویژگی‌های خاک و نوع کاربری پیش‌بینی نمود؛ ولی معادلات رگرسیون تنها توانستند ۵۶، ۵۲ و ۴۹ درصد از تغییرات شاخص پایداری را به ترتیب در کاربری بایر، مرتعی و کشاورزی توجیه کنند. مزیت دیگر استفاده از مدل شبکه عصبی در مقایسه با مدل رگرسیونی استفاده همزمان از متغیر اسمی نوع کاربری در کنار متغیرهای کمی خاک در مدل‌سازی است. بیشترین درصد خاکدانه‌های پایدار، ESP و هدایت الکتریکی در منطقه مربوط به کاربری بایر است که افزایش پایداری خاکدانه در این

## منابع

1. Barthes, B.G., Kouoa Kouoa, E., Larre-Larrouy, M.C., Razafimbelo, T.M., de Luca, E.F., Azontonde, A., Neves, C.S., de Freitas, P.L., and Feller, C.L. 2008. Texture and sesquioxide effects on water stable aggregates and organic matter in some tropical soils. *Geoderma*, 143: 14-25.
2. Barzegar, A.R., Nelson, P.N., Oades, J.M., and Rengasamy, P. 1997. Organic matter, sodicity, and clay type influence on soil aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, 61: 1131-1137.
3. Besalatpour, A.A., Ayoubi, S., Hajabbasi, M.A., Mosaddeghi, M.R., and Schulin, R. 2013. Estimating wet soil aggregate stability from easily available properties in a highly mountainous watershed. *Catena*, 111: 72-79.
4. Bocco, M., Willington, E., and Arias, M. 2010. Comparison of regression and neural networks models to estimate solar radiation. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70: 428-435.
5. Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., and Imeson, A.C. 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena*, 44: 47-67.
6. Boujila, A., and Gallai, T. 2008. Soil organic carbon fraction and aggregate stability in carbonated and no carbonated soils in Tunisia. *Agronomy Journal*, 7: 127-137.
7. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 56: 464-466.
8. Calero, N., Barron, V., and Torrent, J. 2008. Water dispersible clay in calcareous soils of southwestern Spain. *Catena*, 74: 22-30.
9. Canasveras, J.C., Barron, V., Del Campillo, M.C., Torrent, J., and Gomez, J.A. 2010. Estimation of aggregate stability indices in Mediterranean soils by diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 158: 78-84.
10. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. In Black, C.A (ed.), *Methods of soil analysis. Part 2*. ASA, Monograph, No. 9. Madison (WI): ASA.
11. Dia, X., Huo, Z., and Wang, H. 2011. Simulation for response of crop yield to soil moisture and salinity with artificial neural network. *Field Crops Research*, 121:441-449.
12. Etminan, S., Kiani, F., Khormali, F., and Habashi, H. 2011. Effect of soil properties with different parent materials on aggregate stability: in Shastkola watershed, Golestan province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 1(2): 39-60 (In Persian).

13. Ghorbani, Z., Jafari, S., and Khalil Moghaddam, B. 2013. The effect of soil physicochemical properties under different land use on aggregate stability in some part of Khuzestan province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 3(2): 29-51 (In Persian).
14. Hattab, N., Hambli, R., Motelica-Heino, M., Bourrat, X., and Mench, M. 2013. Application of neural network model for the prediction of chromium concentration in phytoremediated contaminated soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 128: 25-34.
15. Haykin, S. 1994. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Macmillan, New York, 850 p.
16. Holland, J.M. 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 103:1-25.
17. Karimi, H., Soufi, M., Haghnia, G., and Khorasani, R. 2008. Investigation of aggregate stability and soil erosion potential in some loamy and sandy clay loam soils: case study in Lamerd watershed (south of Fars province). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(6): 348-356 (In Persian).
18. Kemp, S.J., Zaradic, P., and Hansen, F. 2007. An approach for determining relative input parameter importance and significance in artificial neural networks. *Ecological Modelling*, 204: 326-334.
19. Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. 1986. *Aggregate Stability and Size Distribution*. In Klute, A. (ed.), *Methods of soil analysis*. Part1. 2nd ed. ASA, Monograph, No. 9. Madison (WI): ASA.
20. Keshavarzi, A., Sarmadian, F., Sadeghnejad, M., and Pezeshki, P. 2010. Developing pedotransfer functions for estimating some soil properties using artificial neural network and multivariate regression approaches. *The ProEnvironment Journal*, 3: 322-330.
21. Khazaei, A., Mosaddeghi, M.R., and Mahboubi, A.A. 2008. Test conditions, and soil organic matter, clay and calcium carbonate contents' impacts on mean weight diameter and tensile strength of aggregates from some Hamadan soils. *Journal of Agricultural and Natural Resource Sciences and Technology*, 44: 123-135 (In Persian).
22. Lal, R., Reicosky, D.C., and Hanson, J.D. 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research*, 93:1-12.
23. Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and measurement of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47: 425-435.
24. Mahmoodabadi, M., and Ahmadbeygi, B. 2013. Effect of primary particle size distribution on aggregate stability at different size classes. *Journal of Water and Soil Science*, 23(3): 207-219 (In Persian).

25. Neaman, A., and Singer, A. 2011. The effects of palygorskite on chemical and physico-chemical properties of soils: a review. *Geoderma*, 123(3), 297-303.
26. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In Page, A.L. (ed.), *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. ASA, Monograph, No. 9. Madison (WI): ASA.
27. Nelson, P.N., Baldock, J.A., Clarke, P., Oades, J.M., and Charchman, G.J. 1999. Dispered clay and organic matter in soil: their nature and association. *Australian Journal of Soil Research*, 37: 289-315.
28. Nikpur, M., Mahboubi, A.A., Mosaddeghi, M.R., and Safadoust, A. 2012. Assessment of soil intrinsic properties effects on soil structural stability of some soils in Hamadan province. *Journal of Agricultural and Natural Resource Sciences and Technology*, 15(58): 85-96 (In Persian).
29. Olden, J.D., and Jackson, D.A. 2002. Illuminating the black box approach for understanding variable contributions in artificial neural networks randomization. *Ecological Modelling*, 154: 135-150.
30. Olden, J.D., Joy, M.K., and Death, R.G. 2004. An accurate comparison of methods for quantifying variable importance in artificial neural networks using simulated data. *Ecological Modelling*, 178: 389-397.
31. Opara, C.C. 2009. Soil micro aggregates stability under different land use types in southeastern Nigeria. *Catena*, 79: 103-112.
32. Osuji, G.E., and Onweremadu, E.U. 2007. Structural stability of Dystric Nitisol in relation to some edaphic properties under selected land uses. *Natural Science*, 5: 11-17.
33. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. ASA, Monograph, No. 9. Madison (WI): ASA.
34. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In Page, A.L. (ed.), *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. ASA, Monograph, No. 9. Madison (WI): ASA.
35. Rousta, M.J., Golchin, A., and Siadat, H. 2001. Study the effect of organic matter and calcium compounds on aggregate size distribution and water dispersible clay content in a sodic soil. *Journal of Water and Soil*, 15(2): 242-260 (In Persian).
36. Rousta, M.J., Golchin, A., Siadat, H., and Saleh Rastin, N. 2002. Effect of organic matter and mineral compounds on some chemical properties and biological activity of a sodic soil. *Iranian Journal of Soil and Waters Sciences*, 16(1): 33-46.
37. Rowell, D.I. 1994. *Soil Science: Methods and Application*. Longman Group, Harlow, England, 345p.
38. Shrestha, B.M., Singh, B.R., Sitaula, B.K., Lal, R., and Bajracharya, R.M. 2007. Soil aggregate- and particle-associated organic carbon under different land uses in Nepal. *Soil Science Society of America Journal*, 71: 1194-1203.

39. Six, J., Conant, R., Paul, E., and Paustian, K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, 241: 155-176.
40. Six, J., Elliotte, E., and Paustian, K. 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.
41. Su, Y., Zhao, H., Zhang, T., and Zhao, X. 2004. Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi arid sandy grassland in northern China. *Soil and Tillage Research*, 75: 27-36.
42. Tajik, F., Rahimi, H., and Pazira, E. 2003. Effects of electrical conductivity and sodium adsorption ration of water on aggregate stability in soils with different organic matter content. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 5: 67-75.
43. Tang, L., Zeng, G.M., Nourbakhsh, F., and Shen, G.L. 2009. Artificial neural network approach for predicting cation exchange capacity in soil based on physico-chemical properties. *Environmental Engineering Science*, 26(2): 1-10.
44. Tayel, M.Y., Abdel-Hady, M., and Eldardiry, E.I. 2010. Soil structure affected by some soil characteristics. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 7(6): 705-712.
45. Tedeschi, A., and Dell'Aquila, R. 2005. Effects of irrigation with saline waters, at different concentrations, on soil physical and chemical characteristics. *Agricultural Water Management*, 77: 308-322.
46. Wagner, B., Tarnawski, V.R., Hennings, V., Muller, U., Wessolek, G., and Plagge, R. 2001. Evaluation of pedotransfer function for unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set. *Geoderma*, 102:275-297.
47. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
48. Yoder, R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Agronomy Journal*, 28: 337-351.
49. Zaraei, W., and Sheklabadi, M. 2015. Soil quality assessment in different land uses using multivariate statistical analysis. *Journal of Agricultural and Natural Resource Sciences and Technology*, 18(70): 101-111 (In Persian).