

## پیامد بخش‌های فیزیکی ماده آلی بر پایداری خاکدانه‌ها در سه زمین جنگلی، چراگاهی و کشاورزی

سعیده بردسیری زاده<sup>۱</sup>، عیسی اسفندیارپور بروجنی<sup>۲</sup>، \*پیمان عباس‌زاده دهجی<sup>۳</sup>  
و علی‌اصغر بسالت‌پور<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان،  
<sup>۲</sup> استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان  
تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۴

### چکیده

**سابقه و هدف:** پایداری ساختمان خاک به توانایی یک خاک در نگهداری آرایش دانه‌های جامد و فضای میان آن‌ها در هنگام روبرو شدن با تنش‌های گوناگون برمی‌گردد. با آگاهی از کارکرد بسیار مهم مواد آلی در پیدایش و پایداری خاکدانه‌ها، بخش‌های گوناگون آن‌ها بر پایداری خاکدانه‌ها پیامدهای گوناگونی می‌تواند داشته باشند. همچنین، جداکردن بخش‌های گوناگون ماده آلی، به شناسایی بخش‌های پاسخ‌دهنده و پایدار ماده آلی و جایگاه قرارگیری آن‌ها در ساختار خاکدانه کمک می‌کند. هدف از این پژوهش، بررسی پیامد بخش‌های گوناگون ماده آلی بر پایداری خاکدانه‌های درشت ( $>0/25$  میلی‌متر) و ریز ( $\leq 0/25$  میلی‌متر) با بهره‌گیری از مدل شبکه عصبی مصنوعی و رابطه رگرسیون خطی می‌باشد. همچنین، در این پژوهش به بررسی ارتباط میان بخش‌های گوناگون ماده آلی خاک در اجزای گوناگون خاکدانه‌ها، تأثیر نوع کاربری اراضی بر آن‌ها و بررسی مؤثرترین بخش مواد آلی بر پایداری خاکدانه‌ها در کاربری‌های گوناگون پرداخته شد. بنابراین، بخش‌بندی مزبور در اجزای گوناگون خاکدانه‌ها در سه کاربری جنگل، چراگاه و کشاورزی در شهرستان رابر استان کرمان مورد مطالعه قرار گرفت.

**مواد و روش‌ها:** به‌شمار ۱۵ نمونه خاک رویین (صفر تا ۱۰ سانتی‌متر) به روش تصادفی با بیلچه از سه زمین با کاربری جنگل، چراگاه و کشاورزی (سرهم، ۴۵ نقطه بررسی) از منطقه را بر واقع در استان کرمان برداشت شد. پس از هواخشک کردن نمونه‌های برداشت‌شده و گذراندن آن‌ها از الک چهارمیلی‌متری، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) برای خاکدانه‌های درشت و ریز اندازه‌گیری شد. سپس، بخش‌بندی مواد آلی هر گروه از خاکدانه‌ها برای هر کدام از زمین‌های یادشده انجام شد. در پایان، اندازه کربن آلی در بخش‌های گوناگون ماده آلی و نیز اندازه کل کربن آلی خاک تعیین شد و با توجه به وزن و درصد ماده آلی هر بخش، درصدی از کل ماده آلی که در هر بخش بود، برآورد گردید. سپس داده‌های اندازه‌گیری ماده آلی، همانند داده‌های ورودی به مدل شبکه عصبی مصنوعی معرفی شدند. همچنین، رابطه رگرسیونی میان این متغیرها و پایداری خاکدانه‌ها (به‌عنوان متغیر هدف) بررسی شد.

**یافته‌ها:** این پژوهش نشان داد که مواد آلی دانه‌ای سست پوشیده ماده آلی ( $F_1$ ) در خاکدانه‌های درشت، بیش‌تر از خاکدانه‌های ریز بود. همچنین، این بخش از ماده آلی در کاربری جنگل، به‌دلیل بالاتر بودن درصد ماده آلی آن در برابر

\* مسئول مکاتبه: [p.abbaszadeh@vru.ac.ir](mailto:p.abbaszadeh@vru.ac.ir)

دو کاربری دیگر، بیش تر بود. بخش پوشیده ماده آلی دانه‌ای ( $F_2$ ) در کاربری کشاورزی بسته به کارهای خاک‌ورزی، خرد شدن خاکدانه‌ها و آزاد شدن ماده آلی پوشیده‌شده درون آن‌ها، کم تر بود. بخش سنگین ماده آلی که همراه با مواد کانی بود ( $F_3$ )، در برابر دو بخش دیگر، بیش ترین درصد از کل ماده آلی خاک را داشت. این بخش در خاکدانه‌های ریز در برابر خاکدانه‌های درشت در هر سه کاربری، بیش تر بود. این بررسی همچنین نشان داد که رابطه رگرسیون خطی توان خوبی در نشان دادن رابطه میان متغیرهای بررسی‌شده و شناسه پایداری خاکدانه‌ها ندارد. در برابر آن، نمودارهای مدل شبکه عصبی مصنوعی، نشان دادند که همه متغیرهای ورودی به این مدل، بر MWD پیام‌دار بوده‌اند؛ اگرچه ضریب نشان متغیرهای گوناگون، ناهمانند بود.

**نتیجه‌گیری:** بخش‌های گوناگون ماده آلی خاک، در برابر کل ماده آلی، پاسخ‌دهی بیش تری به شیوه کاربری زمین‌ها داشتند. درصد خاکدانه‌های درشت و ریز بسته به شیوه کاربری، ناهمانند بود و خاکدانه‌های ریز با داشتن بیش ترین اندازه ماده آلی، نسبت به خاکدانه‌های درشت، در برابر تنش‌ها پایداتر بودند. مدل شبکه عصبی مصنوعی در برآورد پایداری خاکدانه‌ها در برابر رابطه رگرسیون خطی از کارایی بالاتری برخوردار بود و نشان داد که میان بخش‌های گوناگون ماده آلی و MWD، روابط غیرخطی است. داشتن دقت و کارایی بهتر مدل شبکه عصبی مصنوعی، نشان می‌دهد که از این روش می‌توان برای تعیین ارتباط خطی و یا غیرخطی میان ویژگی‌های گوناگون خاک، با بیش ترین دقت و صرف کم ترین هزینه و زمان بهره‌گیری نمود. بنابراین بهره‌گیری از این روش در برآورد ویژگی‌های گوناگون خاک، برای پژوهش‌های آینده نیز پیشنهاد می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** بخش‌بندی فیزیکی ماده آلی خاک، پایداری خاکدانه، همبستگی خطی، مدل شبکه عصبی مصنوعی

#### مقدمه

(۲۰۱۶) هر دو گروه ویژگی‌های درون‌زاد و برون‌زاد خاک را بر پایداری خاکدانه‌ها مهم دانسته‌اند. ایشان گزارش کرده‌اند که در گروه نخست، نوع کانی‌های رسی، اندازه کربنات کلسیم و ماده آلی خاک، کارایی ویژه‌ای دارند. به هر گونه، مدیریت کشاورزی، کارهای خاک‌ورزی و اقلیم از ویژگی‌های بیرونی هستند که می‌توانند بر پایداری خاکدانه‌ها پیامد داشته باشند (۴۱). یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های درونی که بر پیدایش و پایداری خاکدانه‌ها پیامددار است، ماده آلی می‌باشد (۱۶). چنگ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهش خود دریافتند که مواد آلی خاک هم در پیدایش و هم در پایداری خاکدانه‌ها نشان مثبت دارند، به‌گونه‌ای که ماده آلی با ایجاد پوشش آب‌گریز در پیرامون خاکدانه‌ها مایه کاهش تندی فرورفتن آب به درون خاکدانه‌ها و افزایش پایداری آن‌ها در برابر

خاکدانه آمیزه‌ای از دانه‌های نخستین شن، سیلت و رس است که پیوستگی‌شان به یکدیگر بیش از پیوستگی آن‌ها به دانه‌های خاک پیرامون این مجموعه می‌باشد. به دیگر سخن، پیدایش خاکدانه‌ها پیامدی از هم‌آوری، هم‌آرایی و سیمانی شدن دانه‌های نخستین است (۴). توانایی خاکدانه به پایداری در برابر فروپاشی، زمانی که در برابر تنش نیروهای ویرانگر باشد را پایداری خاکدانه<sup>۱</sup> می‌گویند. به سخن دیگر، پایداری ساختمان خاک به توانایی یک خاک در نگهداری آرایش دانه‌های جامد و فضای میان آن‌ها در هنگام روبرو شدن با تنش‌های گوناگون وابسته است (۱۵). ساختمان خوب برای یک خاک، به پیدایش خاکدانه‌های پایدار بستگی دارد. وانگ و همکاران

یاد شده می‌توانند بخش‌های پایدار و ناپایدار ماده آلی خاک را نیز نشان دهند.

بیش‌تر پژوهشگران به بررسی رابطه خطی میان ماده آلی و پایداری خاکدانه پرداخته‌اند. روابط رگرسیون خطی، یکی از روش‌های آماری پرکاربرد هستند که در بسیاری از پژوهش‌ها برای بررسی چگونگی وابستگی ویژگی‌ها به کار رفته‌اند (۳۷). از آنجا که خاک آمیزه‌ای پیچیده و ناهمگن می‌باشد و روابط رگرسیون خطی در بیش‌تر بررسی‌ها، توانایی پیش‌بینی ویژگی‌های آن را ندارند، شاید افزودن بر بررسی روابط خطی، بررسی روابط غیرخطی میان ویژگی‌های گوناگون خاک سودمند باشد. در برابر کاربرد گسترده روابط رگرسیون خطی، سامانه‌های هوش مصنوعی، کم‌تر به کار رفته‌اند؛ با این‌که این سامانه‌ها پتانسیل بالایی برای پیش‌بینی ویژگی‌های خاک نشان داده‌اند (۷). در این راستا، شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی سامانه‌های پیچیده، که مدل‌سازی آن‌ها شدنی نیست و یا به‌سختی انجام می‌پذیرد، بسیار کارآمد می‌باشند (۵). محمدی (۲۰۰۲) در بررسی ۲۳ نمونه خاک با بافت‌های گوناگون، نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد ساختمان خاک و پایداری خاکدانه‌ها در برابر روابط رگرسیونی، دقت بیش‌تری دارند (۲۸). همچنین، علی‌جان‌پور شلمانی و همکاران (۲۰۱۰) برای برآورد پایداری خاکدانه‌ها، از شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چندمتغیره خطی بهره‌گیری کردند و نشان دادند که شبکه عصبی مصنوعی، بهترین مدل برای برآورد میانگین هندسی قطر<sup>۳</sup> خاکدانه‌ها می‌باشد (۱). مقیمی و همکاران (۲۰۱۴) در ارزیابی اثر ویژگی‌های خاک بر اندازه کربن آلی در چراگاه‌های نیمه‌خشک، به این نتیجه رسیدند که روش رگرسیون خطی چندمتغیره در پیش‌بینی کربن آلی خاک، بسیار ضعیف عمل کرده و

تنش وابسته به خیس‌شدن سریع می‌شود (۹). حاج‌عباسی و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که مواد آلی به‌دست آمده از گیاهان و ریزجانداران، با زدن پل در میان دانه‌های خاک، کارایی ویژه‌ای در پایداری خاکدانه‌ها دارند (۱۲).

همبستگی مثبت ماده آلی با ساختمان خاک، یک رابطه دو سویه است. از یک‌سو با پیدایش ساختمان خاک، کربن آلی درون خاکدانه‌ها به دام می‌افتد و به گونه فیزیکی از دسترس ریزجانداران و اکسیژن هوا دور می‌گردد؛ در پی آن، تجزیه زیستی و اکسیداسیون کربن آلی کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، با پیوستگی میان کربن آلی و دانه‌های خاک، پایداری خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد (۳۹). رابطه میان پایداری خاکدانه‌ها با ماده آلی نه‌تنها به اندازه و ترکیب شیمیایی ماده آلی بستگی دارد، بلکه به آرایش و چگونگی پیوند آن با بخش‌های کانی خاک نیز وابسته می‌باشد و از آنجا که در بسیاری موارد، کل ماده آلی خاک، شناسه شایسته‌ای برای بررسی پیامد کاربری و مدیریت نیست، بخش‌های گوناگون ماده آلی می‌توانند این پیامدها را بهتر نشان دهند. بنابراین، اندازه‌گیری و بررسی دگرگونی‌های بخش‌های گوناگون ماده آلی در کاربری‌های گوناگون، شاید بهتر از بررسی همه مواد آلی آن‌ها پاسخ‌دهنده باشد (۳۵). در میان بخش‌های گوناگون مواد آلی، بخش‌های دانه‌ای (آزاد و پوشیده‌شده با رس)، بخش سبک و همچنین بخش زنده مواد آلی، پاسخ‌دهنده‌تر از بخش‌های سنگین و پیوسته به رس‌ها هستند (۳۵) و بررسی دگرگونی آن‌ها پیامد تیمارها بر ویژگی‌های خاک را بهتر نشان می‌دهند. بخش‌بندی ماده آلی خاک می‌تواند به روش‌های گوناگون از جمله بخش‌بندی فیزیکی (چگالی بخش‌بندی)<sup>۱</sup> و بخش‌بندی اندازه دانه‌ای<sup>۲</sup> انجام شود (۲۴). روش‌های

1- Physical fractionation (density fractionation)

2- Particle size fractionation

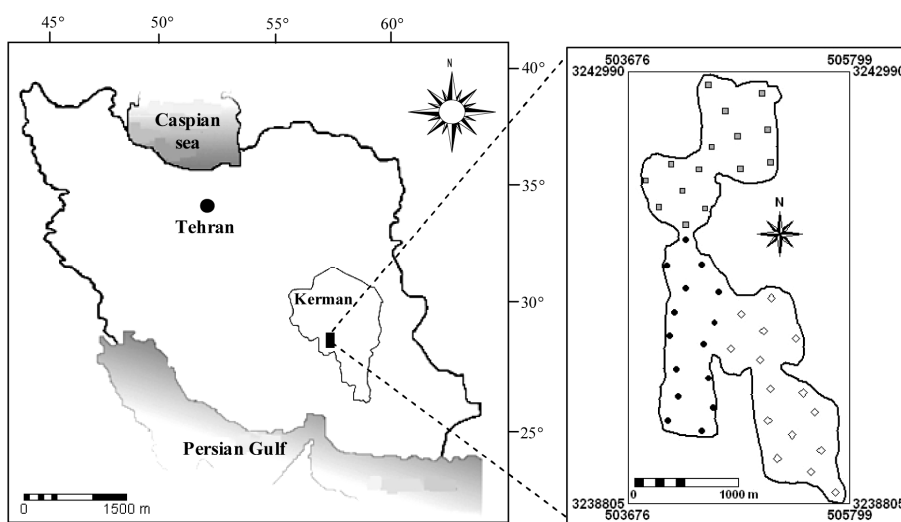
3- Geometric mean diameter

خاکدانه‌های با اندازه گوناگون، بررسی پیامد شیوه کاربری زمین‌ها بر آن‌ها و شناسایی کاراترین بخش مواد آلی بر پایداری خاکدانه‌ها در کاربری‌های یادشده، می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

**جایگاه پژوهش:** منطقه رابر در جنوب استان کرمان که در بازه طول‌های جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱ دقیقه و ۴۶ ثانیه تا ۵۷ درجه و ۲ دقیقه و ۲۰ ثانیه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۱۶ دقیقه و ۲۱ ثانیه تا ۲۹ درجه و ۱۶ دقیقه و ۵۶ ثانیه شمالی است، برای این پژوهش برگزیده شد (شکل ۱). این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک با میانگین بارندگی سالانه ۲۵۰ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۱۵ درجه سلسیوس و میانگین ارتفاع ۲۴۰۰ متر می‌باشد. مواد مادری خاک‌های این جایگاه بیش‌تر سنگ آهک و دولومیت است. این جایگاه دارای سه کاربری کشاورزی (گندم و جو)، جنگل (بادام) و چراگاه (گون) می‌باشد (شکل ۱).

در مقابل، دقت مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی کربن آلی خاک بسیار بالا بوده است (۲۷). همچنین، بسالت‌پور و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی قابلیت روش‌های رگرسیون خطی چندمتغیره و مدل‌های خطی عمومی<sup>۱</sup>، شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی، در برآورد پایداری خاکدانه‌ها پرداختند و بیان داشتند که تکنیک‌های گوناگون محاسباتی نرم<sup>۲</sup> به‌ویژه شبکه عصبی مصنوعی در برابر مدل‌های رگرسیون خطی در پیش‌بینی میانگین وزنی قطر خاکدانه، دارای پتانسیل بیش‌تری می‌باشند (۷). از آن‌جایی‌که بخش‌بندی فیزیکی ماده آلی خاک، یک ابزار توانا در بررسی پیامد کاربری زمین‌ها بر ماده آلی خاک به‌شمار می‌آید (۴۴) و این‌که ماده آلی خاک و بخش‌های گوناگون آن، ویژگی‌هایی از خاک هستند که بسیار وابسته به شیوه‌های مدیریتی می‌باشند (۱۳)؛ بنابراین هدف از این پژوهش، بخش‌بندی مواد آلی در خاکدانه‌های خاک در سه کاربری جنگل، چراگاه و کشاورزی در شهرستان رابر استان کرمان و بررسی ارتباط میان بخش‌های گوناگون ماده آلی خاک در



شکل ۱- موقعیت جایگاه انجام پژوهش به همراه نقاط مشاهداتی در هر کاربری (■: جنگل، ●: چراگاه، ◇: کشاورزی).

Figure 1. Location of the study area along with observation points in each land use (■: forest, ●: range, ◇: agriculture).

- 1- Generalized linear models
- 2- Soft computing

$$MWD = \frac{\sum_{i=1}^n X_i W_i}{W_i} \quad (1)$$

که در آن،  $X_i$  قطر خاکدانه‌های باقی‌مانده روی هر الک بر حسب میلی‌متر،  $W_i$  وزن خشک خاکدانه‌های روی هر الک بر حسب گرم و  $W_i$  وزن کل نمونه خاک بر حسب گرم می‌باشد. در این پژوهش، خاکدانه‌های جداشده به دو گروه خاکدانه‌های درشت ( $>0/25$  میلی‌متر) و ریز ( $\leq 0/25$  میلی‌متر) تقسیم‌بندی شدند.

**بخش‌بندی فیزیکی ماده آلی خاک:** بخش‌بندی مواد آلی خاک‌های نمونه‌برداری‌شده با بهره‌گیری از روش چگالی بخش‌بندی (۲۹) برای هر کدام از بخش‌های خاکدانه (درشت و ریز) جداگانه انجام شد. بر این پایه، ماده آلی خاک به سه بخش دانه‌ای سست پوشیده آزاد<sup>۲</sup> ( $F_1$ )، دانه‌ای سفت پوشیده<sup>۳</sup> ( $F_2$ ) و بخش سنگین پیوسته به کانی<sup>۴</sup> ( $F_3$ ) تقسیم شد. برای این کار، ۸ گرم از نمونه خاک را در یک لوله سانتریفیوژ با ۴۰ میلی‌لیتر از محلول پلی‌تنگستات سدیم ( $3Na_2WO_4 \cdot 9H_2O$ ) با چگالی ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب، مخلوط کرده و ۱۰ بار آن را با دست تکان داده تا از فروپاشی ابتدایی خاکدانه‌ها مطمئن شده و به مدت یک ساعت اجازه داده شد تا نمونه خاک کاملاً مرطوب گردد تا از خروج کامل ماده آلی از نمونه خاک اطمینان حاصل شود. در گام بعد، نمونه‌ها برای ۲۵ دقیقه با ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. آب‌گونه روئین با بهره‌گیری از یک قیف بوختر و کاغذ صافی واتمن ۰/۴۵ میکرون، پالایش شد. پس از شست‌وشوی کامل پلی‌تنگستات سدیم‌مانده، موادمانده بر روی کاغذ صافی با بهره‌گیری از آب‌فشان به درون یک ظرف شیشه‌ای ریخته شدند و در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در آون

بررسی‌های میدانی و آزمایشگاهی: پس از بررسی‌های میدانی انجام‌شده، ابتدا بر اساس ویژگی‌های پستی و بلندی، زمین‌شناسی و خاک، هر کاربری به واحدهای کاری همسان تقسیم شد و سپس شمار ۱۵ نمونه خاک روئین (صفر تا ۱۰ سانتی‌متر) به روش تصادفی داوری شده از هر کاربری (سرهم، ۴۵ نقطه بررسی) با بیلچه برداشت شد (شکل ۱). سپس نمونه‌ها بدون به‌هم‌ریختگی به آزمایشگاه رسانده شدند. برای جداسازی خاکدانه‌ها، نمونه‌های خاک پس از هواخشک‌شدن از الک چهار میلی‌متری گذرانده شدند و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها<sup>۱</sup> (MWD) با بهره‌گیری از روش الک تر (۱۸) اندازه‌گیری شد. به این گونه که در آغاز ۵۰ گرم از خاک الک‌شده را بر روی سری الک با اندازه‌های ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱ میلی‌متر ریخته و به مدت ۳ دقیقه با سرعت ۳۰ دور در دقیقه و دامنه نوسان ۱/۳ سانتی‌متر، در آب تکان داده شد. در پایان، الک‌ها به آرامی از آب بیرون آورده و خاکدانه‌های مانده روی هر الک به درون ظروف چینی ریخته شدند و در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در دستگاه آون، خشک گردیدند. سپس، خاکدانه‌های درون هر بوته چینی با دقت توزین شدند. از آنجا که امکان وجود دانه‌های درشت (سنگریزه و شن) در اندازه خاکدانه‌ها وجود دارد، جدا کردن شن از آنها باید انجام شود. از این رو پس از توزین آنچه روی الک مانده بود، خاکدانه‌های درون هر بوته چینی بر روی همان الک ریخته شد و به آرامی با دست تا زمانی الک شد که تنها دانه‌های خردشدنی درشت بر روی الک نماند. دانه‌های شن درشت‌مانده بر روی هر الک دوباره توزین شدند و از وزن نخستین خاکدانه‌ها کم گردیدند. در پایان، برای برآورد میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) از رابطه زیر بهره‌گیری شد:

2- Free particulate? light fraction; fLF

3- Occluded light fraction; oLF

4- Mineral associated heavy fraction; MaHF

1- Mean weight diameter

بزرگی به رس‌های خاک پیوسته است. پیوند این هم‌تافته‌ها به‌گونه‌ای است که با کاربرد فراآوا هم جدا نمی‌شود. در ضمن، این بخش نسبت  $C/N$  پایینی دارد. برای اندازه‌گیری کربن آلی بخش سنگین و به‌منظور شستن پلی‌تنگستات سدیم از خاک مانده در ته لوله، تا زمانی که قابلیت هدایت الکتریکی محلول به‌دست آمده، کم‌تر از ۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر شود، شست‌وشو داده شد. در پایان، اندازه کربن آلی در سه بخش  $F_1$ ،  $F_2$ ،  $F_3$  و نیز اندازه کل کربن آلی خاک با بهره‌گیری از روش والکی-بلاک (۳۰) تعیین شد. با توجه به وزن و درصد ماده آلی هر بخش، درصدی از کل ماده آلی که در هر بخش وجود داشت، محاسبه گردید.

**توصیف آماری داده‌ها:** پس از اندازه‌گیری متغیرهای مطالعاتی، خلاصه آماری داده‌ها با برآورد میانگین، میانه، کمینه، بیشینه، واریانس، چولگی و ضریب تغییرات آن‌ها بررسی شد. همچنین برای ایجاد روابط رگرسیونی میان میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و بخش‌های گوناگون ماده آلی، با بهره‌گیری از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف<sup>۳</sup> در محیط نرم‌افزاری SPSS v.19 به بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها پرداخته شد. در صورت عدم تبعیت توزیع یک متغیر از حالت نرمال، توزیع آن متغیر با بهره‌گیری از تبدیل گر لگاریتمی، نرمال گردید.

**مدل‌سازی داده‌ها:** رگرسیون، روشی است که به کمک آن، دگرگونی متغیر وابسته با تغییرات متغیر مستقل یا از راه ترکیب خطی دو یا چند متغیر مستقل، تبیین و پیش‌بینی می‌شود. در این پژوهش، روابط رگرسیون خطی میان MWD با بخش‌های ماده آلی در کاربری‌های گوناگون، در محیط نرم‌افزار Excel ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

خشک گردیدند. این بخش همانند بخش دانه‌ای سست پوشیده ( $F_1$ ) یا حساس (ناپایدار) ماده آلی شناخته می‌شود. مواد آلی دانه‌ای سست پوشیده، شامل مانده‌های گیاهی و جانوری معمولاً تجزیه نشده است که با نسبت  $C/N$  بالا، بدون کاربرد فراآوا<sup>۱</sup> جدا و در مایعات سنگین شناور می‌شود.

به بخش ته‌نشین شده و مانده از نمونه خاک، ۴۰ میلی‌لیتر از محلول پلی‌تنگستات سدیم با همان چگالی افزوده شد. از آن‌جا که تکان دادن دستی، دارای انرژی بسنده برای پراکندگی خاکدانه‌های پایدار نمی‌باشد؛ از روش فراآوادی برای پراکنده کردن بخش پوشیده ماده آلی دانه‌ای ( $F_2$ ) برای ۵ دقیقه با فرکانس ۸۵ هرتز از دستگاه فراآوا<sup>۲</sup> بهره‌گیری شد. سوسپانسیون به‌دست آمده برای ۳۰ دقیقه ساکن نگه داشته شد و سپس برای ۲۵ دقیقه در ۴۰۰۰ دور سانتریفیوژ گردید و با بهره‌گیری از یک قیف بوختر و کاغذ صافی واتمن ۰/۴۵ میکرون صاف شد. پس از شست‌وشوی کامل پلی‌تنگستات سدیم مانده بر مواد روی کاغذ صافی با بهره‌گیری از آب‌فشان به درون یک ظرف شیشه‌ای ریخته شدند و در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در آن خشک گردیدند. این بخش به‌عنوان بخش دانه‌ای سفت پوشیده ( $F_2$ ) شناخته می‌شود. بر خلاف بخش سبک سفت پوشیده که معمولاً فروزینه نشده و یا در گام‌های نخست فروزینگی است (۳۵) این بخش در مراحل نهایی تجزیه قرار دارد و پس از کاربرد فراآوا و در نتیجه تخریب خاکدانه‌ها آزاد می‌شود.

بخش ته‌نشین شده و مانده پایانی، همان بخش سنگین ماده آلی ( $F_3$ ) است. این بخش، آن بخشی از ماده آلی است که دانه‌ای نیست و بزرگ مولکول‌های تازه یا هوموسی شده ماده آلی است که با نیروی

1- Ultra sound  
2- Ultrasonic

3- Kolmogrov-Smirnov test

آندوسدان و همکاران (۲۰۰۵) و بسالت پور و همکاران (۲۰۱۴) نیز بیان کردند که کمبود و کاهش ماده آلی، سبب کاهش اندازه خاکدانه‌ها، تخریب آن‌ها و در نتیجه، حساسیت خاک به فرسایش می‌شود (۳، ۶ و ۳۸).

تغییرپذیری متغیرها را با مطالعه ضریب تغییرپذیری می‌توان بررسی کرد. تغییرات کم‌تر از ۱۰ درصد، دلالت بر تغییرپذیری پایین ویژگی موردنظر و تغییرات بیش‌تر از ۹۰ درصد نیز بیانگر تغییرپذیری بالای آن ویژگی است (۴۲). با توجه به جدول ۱ ضریب تغییرپذیری  $F3\_micro$  کم‌ترین میزان تغییرپذیری را داشته است، حال آن‌که  $F1\_macro$ ،  $F2\_macro$ ،  $F1\_micro$  و  $F2\_micro$  از تغییرپذیری زیاد برخوردار بوده‌اند. همچنین، ضریب تغییرپذیری مربوط به خاکدانه‌های درشت و ریز به ترتیب ۳۱/۹۹ و ۲۵/۶۵ می‌باشد که بیان‌کننده تغییرپذیری متوسط این خاکدانه‌ها می‌باشد.

مطالعه چولگی، متداول‌ترین شیوه بررسی انحراف از توزیع نرمال یک متغیر می‌باشد. چنانچه یک متغیر دارای چولگی خارج از محدوده ۱ تا -۱ باشد، واریانس آن از اعتبار کمی برخوردار است (۳۳). با توجه به جدول ۱ چولگی برخی متغیرها خارج از محدوده ذکر شده است که بیان‌کننده غیرنرمال بودن توزیع آن‌ها می‌باشد. همچنین، اگر سطح معنی‌داری (P-value) در آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، کم‌تر از ۰/۰۵ باشد، فرض نرمال بودن داده‌ها رد می‌شود. با توجه به مطالب یادشده، مطالعه چولگی متغیرهای  $OM\% macro$ ،  $F1\_macro$ ،  $F3\_macro$ ،  $F1\_micro$  و  $F3\_micro$  غیرنرمال بودن توزیع آن‌ها را نشان می‌دهد؛ در صورتی‌که با انجام آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، نرمال بودن توزیع آن‌ها به اثبات رسید.

شکل ۲ نمودار میانگین کل ماده آلی خاک و بخش‌های گوناگون ماده آلی را در سه کاربری یادشده و دو قسمت خاکدانه‌های درشت و ریز نشان می‌دهد.

همچنین برای بررسی روابط غیرخطی میان ویژگی‌های بررسی‌شده و پایداری خاکدانه‌ها در کاربری‌های گوناگون، مدل شبکه عصبی مصنوعی (۲۶) با همه متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در هر کاربری، جداگانه اجرا گردید. برای این کار، از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (پیش‌خور)<sup>۱</sup> با یک لایه پنهان، الگوریتم آموزشی LM<sup>۲</sup> و تانژانت سیگموئید به‌عنوان تابع فعالیت در لایه پنهان و تابع خطی در لایه خروجی، بهره‌گیری شد و پس از آزمون‌های پرشمار و برآورد خطا، بهترین ساختار از نظر تعداد نوروں و تعداد دور آموزشی برای مدل شبکه عصبی مصنوعی در هر کاربری، تعیین گردید. لازم به یادآوری است که همه تجزیه و تحلیل‌های مربوط به تعیین ارتباط میان ویژگی‌ها با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی مصنوعی، در محیط نرم‌افزار Clementine انجام شد.

### نتایج و بحث

جدول ۱ فشرده‌ای از آماره متغیرهای بررسی‌شده در کل جایگاه بررسی‌شده را نشان می‌دهد. در این جدول، اندازه کل ماده آلی خاک در دامنه ۰/۳۴ تا ۲/۳۰ درصد تغییر می‌کند. میزان تغییرات ماده آلی در خاکدانه‌های درشت و ریز به ترتیب ۰/۰۳ تا ۲/۳۲ و ۰/۲۸ تا ۲/۹۹ می‌باشد. همچنین، دامنه تغییرات MWD میان ۰/۳۳ تا ۳/۲۳ می‌باشد. در کل، دامنه تغییرات MWD با دامنه تغییرات ماده آلی کل در جایگاه پژوهش مورد مطالعه هم‌خوانی داشت به‌گونه‌ای که در نقاطی که مقادیر پایین MWD ثبت گردید، میزان ماده آلی کل در آن نقاط نیز کم بود. در واقع، ماده آلی از طریق اثر بر ویژگی‌های آب‌گریزی و چسبندگی بین ذرات خاک می‌تواند بر مقاومت خاکدانه‌ها در برابر خیس‌شدن و بنابراین مقدار MWD تأثیرگذار باشد. سیکس و همکاران (۲۰۰۱)،

1- Feed forward  
2- Levenberg Marq

جدول ۱ - خلاصه آماری مربوط به متغیرهای بررسی شده در کل منطقه.

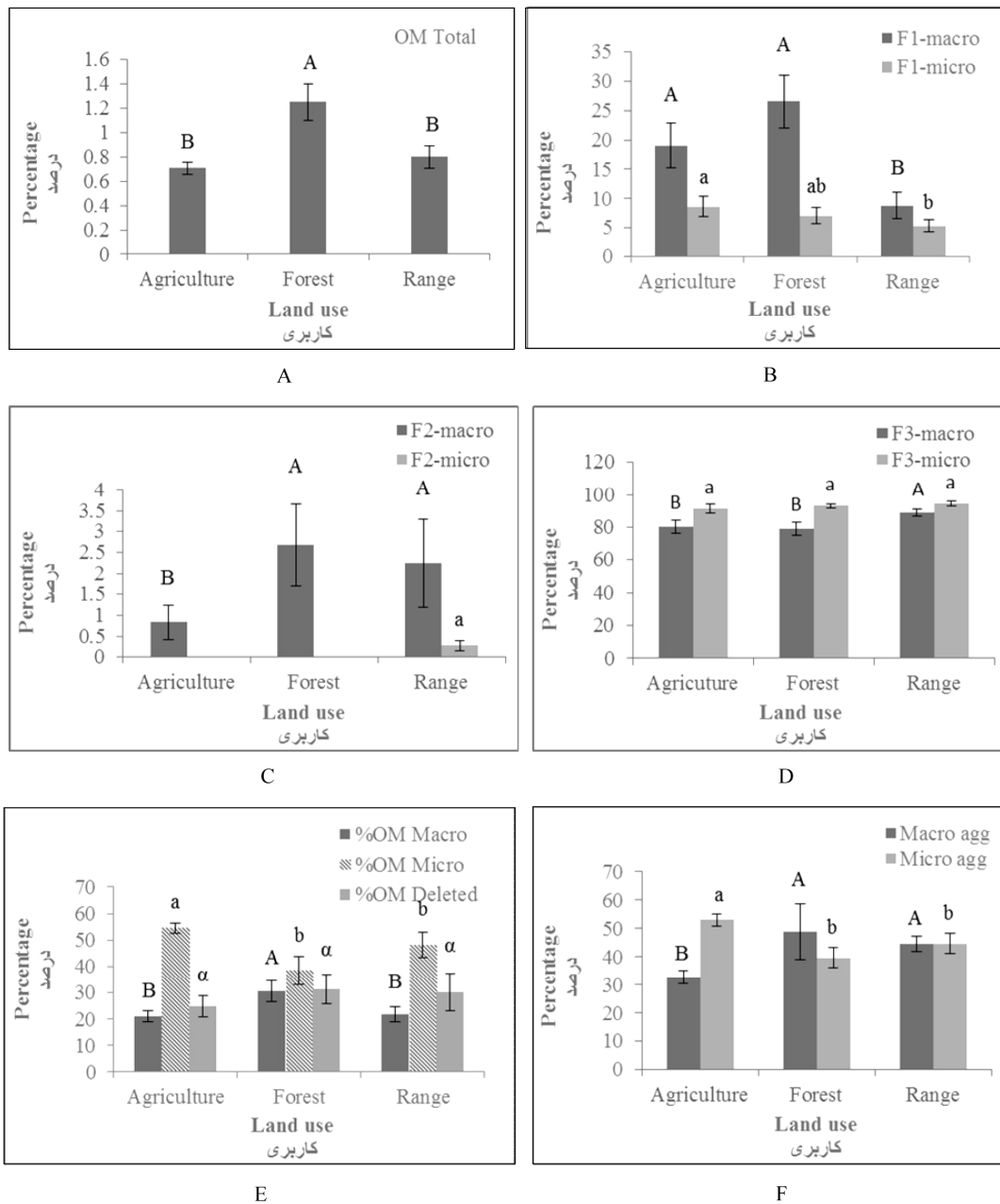
Table 1. Summary statistics of studied variables in the region.

P-value <sup>۱</sup>	ضریب تغییرات CV <sup>۲</sup> (%)	بیشینه Max	کمینه Min	چولگی Skewness	واریانس Variance	میانه Median	میانگین Mean	متغیر Variable
0.04*	58.15	3.23	0.33	2.90	0.28	0.77	0.91	میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD)
0.90	31.99	69.21	16.55	0.16	180.48	42.33	42.00	درصد خاکدانه‌های درشت (Macro agg)
0.73	25.65	80.35	26.01	0.62	138.30	43.31	45.84	درصد خاکدانه‌های ریز (Micro agg)
0.04*	52.13	2.30	0.34	1.19	0.23	0.77	0.92	درصد ماده آلی کل (OM_total)
0.03*	85.95	2.32	0.03	1.87	0.24	0.41	0.57	ماده آلی در خاکدانه‌های درشت (OM_macro)
0.04*	56.82	2.99	0.28	2.31	0.25	0.77	0.88	ماده آلی در خاکدانه‌های ریز (OM_micro)
0.54	62.59	74.06	2.97	1.23	231.68	22.12	24.32	درصدی از ماده آلی کل که در خاکدانه‌های درشت وجود دارد (OM% macro)
0.99	37.67	92.70	9.43	0.12	313.89	46.94	47.03	درصدی از ماده آلی کل که در خاکدانه‌های ریز وجود دارد (OM% micro)
0.57	80.52	80.21	0.13	0.52	531.83	26.44	28.64	درصدی از ماده آلی کل که شسته و از خاکدانه‌ها خارج شده است (OM deleted)
0.33	92.13	57.50	0.00	1.19	196.38	11.61	15.21	بخش سبک آزاد ماده آلی در خاکدانه‌های درشت (F <sub>1</sub> _macro)
0.00*	225.29	21.09	0.00	2.86	18.71	0.00	1.92	بخش مسدود ماده آلی در خاکدانه‌های درشت (F <sub>2</sub> _macro)
0.44	18.17	100.00	39.92	-1.12	226.60	85.62	82.86	بخش ماده آلی همراه با مواد معدنی در خاکدانه‌های درشت (F <sub>3</sub> _macro)
0.10	108.01	41.83	0.00	2.46	56.19	5.23	6.94	بخش سبک آزاد ماده آلی در خاکدانه‌های ریز (F <sub>1</sub> _micro)
0.10	8.17	100.00	58.16	-2.37	57.61	94.76	92.95	بخش ماده آلی همراه با مواد معدنی در خاکدانه‌های ریز (F <sub>3</sub> _micro)

اعداد مربوطه، بیانگر نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف می‌باشند و علامت \* نشانگر معنی‌دار بودن نتایج در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

<sup>۱</sup> The numbers show the results of Kolmogorov-Smirnov test and \* indicates the significance of the results in 95 percent confidence interval.





شکل ۲- میانگین کل ماده آلی خاک و بخش‌های گوناگون ماده آلی در سه کاربری یادشده و دو قسمت خاکدانه‌های درشت و ریز.  
**Figure 2.** Total mean of soil organic matter and its different fractions in three land uses and macro and micro aggregates.

اسیدی به‌عنوان مهارکننده فعالیت‌های میکروبی عمل می‌کند و از تجزیه ماده آلی جلوگیری می‌شود (۲۳). آن و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین اندازه کربن آلی در کاربری جنگل دیده شده و با افزایش عمق، اندازه آن کاهش

قسمت A شکل ۲، ماده آلی کل خاک را نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود درصد ماده آلی در کاربری جنگل، بیش‌تر از دو کاربری دیگر است. اندازه کم pH خاک‌های جنگلی، مایه انباشتگی اندازه بلایی از ماده آلی در آن‌ها می‌شود چرا که ترکیبات

را نشان می‌دهد. این بخش از ماده آلی، در مراحل نهایی تجزیه و درون خاکدانه‌ها محبوس می‌باشد (۳۴). علت کم‌تر بودن این بخش در کاربری کشاورزی، انجام کارهای خاک‌ورزی، خرد شدن خاکدانه‌ها و آزاد شدن ماده آلی حبس‌شده درون آن‌ها می‌تواند باشد. شکسته شدن خاکدانه‌ها، مایه در معرض تجزیه سریع قرار گرفتن ماده آلی محصور میان آن‌ها می‌شود (۸). وجود این بخش در خاکدانه‌های ریز فقط در کاربری چراگاه دیده شد.

قسمت D شکل ۲، درصدی از ماده آلی خاک در بخش سنگین ( $F_3$ ) را نشان می‌دهد. این بخش در برابر دو بخش نخست، بیش‌ترین درصد از کل ماده آلی خاک را می‌سازد. نزدیک ۵۰ درصد مواد آلی خاک‌ها را مواد هیومیکی می‌سازد که خود را در بخش سنگین ماده آلی نشان می‌دهد (۳۵). مک‌فارلین و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی بخش‌های گوناگون ماده آلی خاک در کاربری‌های گوناگون پرداخته و به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین اندازه ماده آلی خاک (۶۰ درصد) در بخش  $F_3$  می‌باشد (۲۵). لویز-سانجیل و همکاران (۲۰۱۳) نیز بیان کردند که ۶۷ تا ۷۲ درصد اندازه ماده آلی خاک در بخش  $F_3$  جای می‌گیرد (۲۲). همچنین، پینیرو و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین اندازه ماده آلی در بخش  $F_3$  دیده شده است (۳۱). این بخش از ماده آلی، درون و یا روی سطوح دانه‌های معدنی خاک قرار گرفته است و دارای سرعت تجزیه بسیار کم و پایداری بسیار بالایی در خاک می‌باشد. در واقع این بخش از ماده آلی، تقریباً بخش تجزیه‌ناپذیر اما پیام‌دار بر ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌باشد. بخش مزبور، در خاکدانه‌های ریز در برابر خاکدانه‌های

می‌یابد (۲). هر چند که بین اندازه ماده آلی در دو کاربری چراگاه و کشاورزی، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ولی در کاربری کشاورزی با وجود این‌که ماده آلی به‌صورت مصنوعی (با دادن کودهای آلی) به زمین افزوده می‌شود، اندازه آن در برابر کاربری چراگاه کم‌تر است. شاید بتوان دلیل این موضوع را این‌گونه بیان کرد که در زمین‌های کشاورزی، بخش عمده گیاه برداشت می‌شود و تنها بخش اندکی از قسمت‌های هوایی و ریشه‌ها در خاک باقی می‌مانند و با هر بار کشت‌وکار در این زمین‌ها، اندازه چشم‌گیری از ماده آلی در خاک تجزیه می‌شود (۳۶).

قسمت B شکل ۲، درصدی از ماده آلی خاک که به‌عنوان مواد آلی دانه‌ای سست پوشیده ( $F_1$ ) تعیین شده است را نشان می‌دهد. این بخش در خاکدانه‌های درشت، بیش‌تر از خاکدانه‌های ریز است؛ زیرا این بخش شامل مواد آلی تجزیه‌نشده و درشت می‌باشد و تمایل دارد که در خاکدانه‌های درشت متمرکز شود. همچنین، این بخش از ماده آلی در کاربری جنگل، بیش‌تر بوده است چرا که ماده آلی ورودی در خاک جنگل، بسیار بیش‌تر از دو کاربری دیگر است (۱۰). با توجه به این‌که در کاربری مرتع، بخش اعظم اندام هوایی گیاهان مرتعی توسط دام مورد چرا قرار می‌گیرد، عمده ماده آلی به‌دلیل ریزوسفر قوی گیاهان مرتعی (۱۴)، از طریق ترشحات و پوسیدگی ریشه به خاک افزوده می‌شود و همین موضوع موجب شده است تا مواد آلی دانه‌ای سست پوشیده و ناپایدار ماده آلی در این کاربری، کم‌تر از دو کاربری دیگر باشد.

قسمت C شکل ۲، درصدی از ماده آلی خاک که به‌عنوان بخش پوشیده ماده آلی ( $F_2$ ) تعیین شده است

بزرگ و اندازه کربن آلی، با افزایش مدت زمان کشت، کاهش می‌یابند (۲۱). در مقایسه با دو کاربری دیگر، بیش‌تر بودن درصد ماده آلی در خاکدانه‌های درشت کاربری جنگل را می‌توان به بیش‌تر بودن خاکدانه‌های درشت (قسمت F شکل ۲)، بیش‌تر بودن اندازه کل ماده آلی و همچنین عدم وجود کارهای خاک‌ورزی و شخم در این کاربری نسبت داد.

قسمت F شکل ۲، درصد خاکدانه‌های درشت و ریز را در سه کاربری نشان می‌دهد. کارهای خاک‌ورزی در زمین‌های تحت کاربری کشاورزی، مایه شده است که بیش‌ترین درصد خاکدانه‌های ریز و کم‌ترین درصد خاکدانه‌های درشت در این کاربری نمود کنند. لوب و همکاران (۲۰۱۱) بیان نمودند که کارهای خاک‌ورزی، مایه کاهش درصد خاکدانه‌های درشت و افزایش درصد خاکدانه‌های ریز می‌شود (۲۱). اسپاسینی و پیکولو (۲۰۱۳) بیان نمودند که خاکدانه‌های درشت به‌ویژه در زمین‌هایی که اندازه ماده آلی در آن‌ها کم است به‌شدت تحت نشان کاربری زمین‌ها و اختلاط خاک می‌باشند (۴۰).

شکل ۳ رابطه رگرسیونی میان MWD و متغیرهای مطالعاتی را نشان می‌دهد. نگاه اجمالی به مقادیر ضریب همبستگی محاسبه‌شده برای نمودارهای گوناگون این شکل، نشانگر وجود روابط خطی ضعیف میان میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با بخش‌های گوناگون ماده آلی در خاکدانه‌های درشت و ریز می‌باشد. هر چند بهره‌گیری از رگرسیون خطی برای بررسی روابط میان ویژگی‌های گوناگون خاک، به‌دلیل سادگی در محاسبات و تفسیر نتایج، متعارف‌تر می‌باشند (به‌گونه‌ای که بیش از ۴۰ درصد مطالعات انجام‌شده در رابطه با ویژگی‌های خاک، از این روش

درشت در هر سه کاربری، بیش‌تر بوده است. علت این موضوع، سطح ویژه بالای دانه‌های ریز خاک و فعال بودن آن‌ها در پیوند با مواد آلی خاک می‌تواند باشد (۷، ۱۷ و ۴۳).

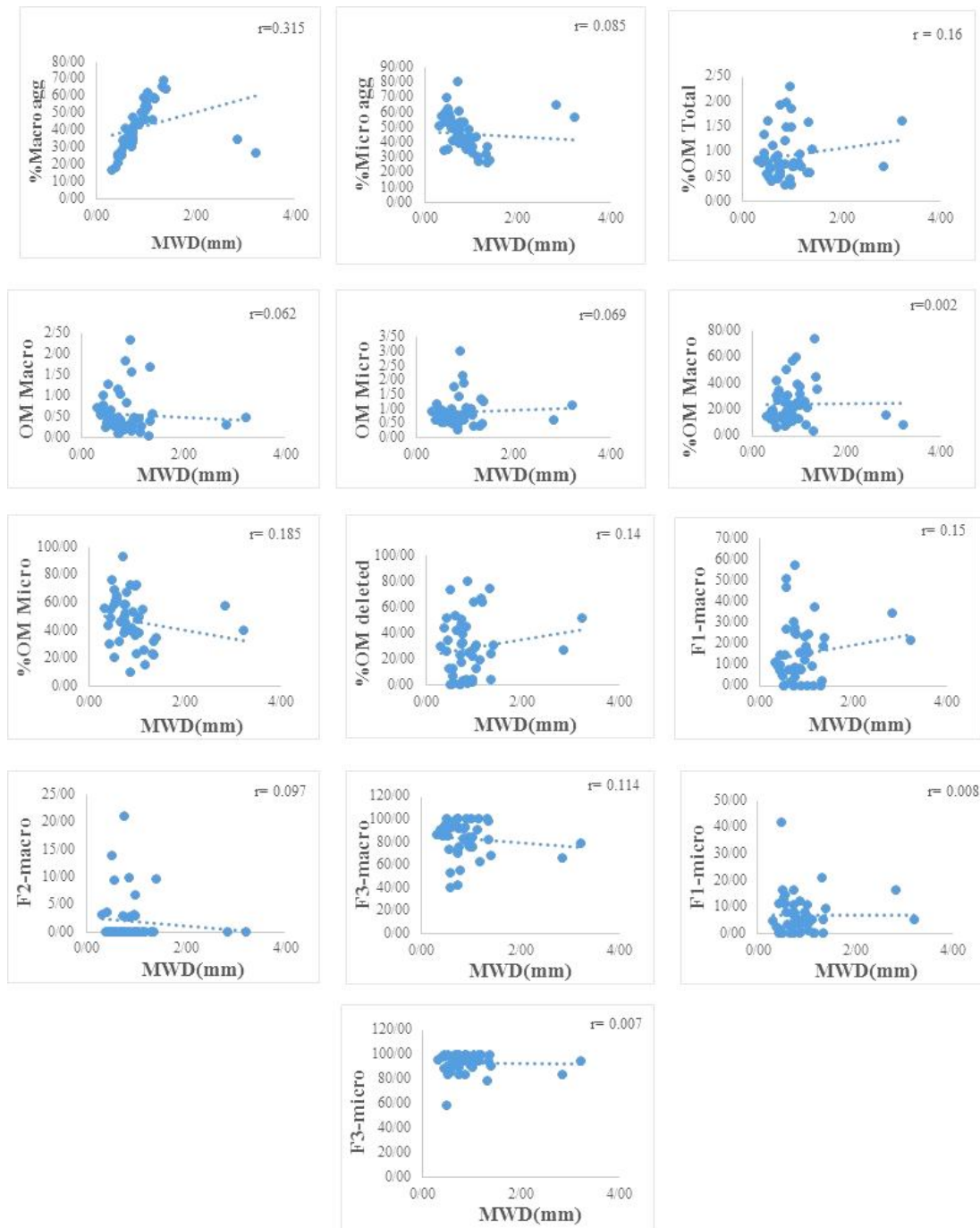
قسمت E شکل ۲، درصدی از ماده آلی که در خاکدانه‌های درشت، خاکدانه‌های ریز و ماده آلی به‌صورت محلول از خاک خارج شده است را نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که خاکدانه‌های ریز، بیش‌ترین درصد ماده آلی را در خود جای داده‌اند. کربن آلی در خاکدانه‌های کوچک، بیش‌تر حفاظت می‌شود در حالی که خاکدانه‌های بزرگ شامل مواد آلی تازه و پاسخ‌دهنده می‌باشند (۱۱ و ۲۱). کوچک بودن خاکدانه‌های ریز و بالا بودن سطح ویژه آن‌ها دلیلی بر زیاد بودن انباشتگی ماده آلی در این خاکدانه‌ها می‌باشد. پلازا و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که از اندازه ماده آلی کل خاک، ۶۵ درصد مربوط به بخش  $F_3$ ، ۱۸ درصد آن در درون خاکدانه‌های ریز و ۱۴ درصد در درون خاکدانه‌های درشت قرار دارند (۳۲). در کاربری کشاورزی، بیش‌ترین درصد ماده آلی در خاکدانه‌های ریز و کم‌ترین آن در خاکدانه‌های درشت دیده می‌شود. انجام کارهای خاک‌ورزی در زمین‌های کشاورزی، مایه خرد شدن خاکدانه‌های درشت و تبدیل آن‌ها به خاکدانه‌های ریز می‌شود. لیو و همکاران (۲۰۱۴) بیان داشتند که کربن آلی در کاربری کشاورزی تمایل به انباشتگی در خاکدانه‌های ریز دارد در حالی که در کاربری‌های دیگر، کربن آلی در خاکدانه‌های درشت ذخیره می‌شود (۲۰). لوب و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی رابطه میان خاکدانه‌ها و اندازه ماده آلی خاک در زمین‌های زیر کشت بلند مدت پرداختند و بیان نمودند که درصد خاکدانه‌های

که روش رگرسیون خطی قادر به تشخیص رابطه میان متغیرهای مطالعاتی و شناسه پایداری خاکدانه‌ها نبوده است. در مقابل، همه متغیرهای ورودی مدل شبکه عصبی مصنوعی بر شناسه پایداری خاکدانه‌ها پیامدار بوده‌اند، اگرچه ضریب نشان پارامترهای گوناگون، ناهمبند می‌باشد. به نظر می‌رسد که دلیل اصلی عملکرد ضعیف مدل رگرسیون خطی در برآورد ویژگی مورد مطالعه در این پژوهش، روابط غیرخطی میان MWD و ورودی‌های مورد استفاده در مدل‌سازی باشد. در واقع مدل‌های رگرسیون خطی، تنها قادر به تشخیص روابط خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته هستند و چنانچه روابط غیرخطی بین این متغیرها وجود داشته باشد، کارایی این مدل‌ها به حد قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (۶). این در حالی است که روش‌های مبتنی بر آموزش (مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی) در مقایسه با مدل‌های رگرسیون خطی، علاوه بر در نظر گرفتن روابط خطی بین متغیرها، از توانایی بالایی در تشخیص روابط پیچیده‌ی میان داده‌های ورودی و خروجی با تعداد نمونه کم برخوردار هستند (۳۷ و ۷). بنابراین به نظر می‌رسد که در مناطقی که پیچیدگی‌های محیطی زیاد و میان داده‌های ورودی و خروجی، روابط غیرخطی پیچیده وجود داشته و در عین حال، تعداد داده‌های قابل دسترس کم می‌باشد، روش‌های مبتنی بر پایه هوش مصنوعی (مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی)، نسبت به روش‌های مرسوم مدل‌سازی (مانند رگرسیون‌های خطی)، برتری داشته باشند.

بهره‌گیری نموده‌اند؛ ولی رابطه میان ویژگی‌های خاک و متغیرهای محیطی، به‌ندرت به‌صورت خطی است (۱۹). بر همین اساس، در این پژوهش، علاوه بر بررسی روابط خطی اثر ماده آلی و بخش‌های گوناگون آن بر پایداری خاکدانه‌ها، روابط غیرخطی آن‌ها نیز با بهره‌گیری از مدل شبکه عصبی مصنوعی مطالعه شد و نتایج حاصل نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با روش رگرسیون خطی، دارای دقت بسیار بالایی در پیش‌بینی پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد.

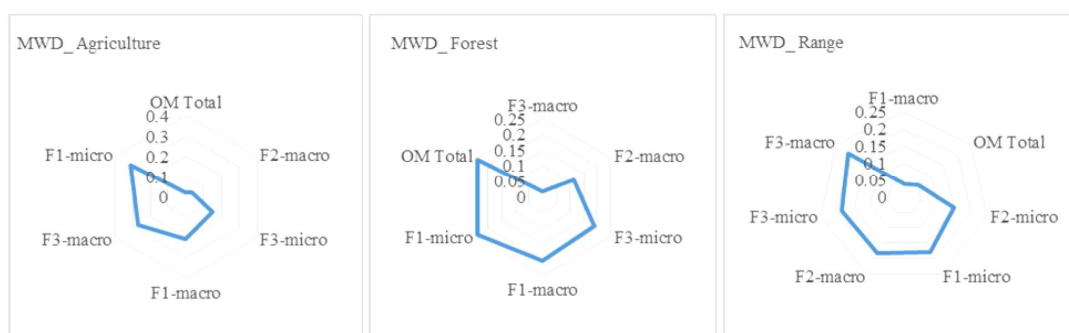
در بسیاری از موارد، ممکن است نیاز شود که درصد اهمیت هر متغیر مطالعاتی بر روی متغیر هدف مشخص شود. نمودارهای راداری ارائه‌شده در شکل ۴، مهم‌ترین متغیر مؤثر بر پایداری خاکدانه‌ها در هر کاربری را نشان می‌دهند. در کاربری کشاورزی، ماده آلی در مواد آلی دانه‌ای سست پوشیده در خاکدانه‌های ریز، بیش‌ترین نشان و ماده آلی کل، کم‌ترین اثر را بر MWD داشته است. در کاربری جنگل، ماده آلی کل، مؤثرترین ویژگی و ماده آلی بخش سنگین همراه با مواد معدنی در خاکدانه‌های درشت، نشان کم‌تری بر MWD داشته است. در کاربری چراگاه، ماده آلی بخش سنگین همراه با مواد معدنی در خاکدانه‌های درشت، مؤثرترین ویژگی و ماده آلی در مواد آلی دانه‌ای سست پوشیده در خاکدانه‌های درشت، کم‌ترین اثر را بر MWD داشته است.

مقایسه نمودارهای رگرسیونی شکل ۳ با نمودارهای راداری ارائه‌شده در شکل ۴ گویای این مطلب است



شکل ۳- روابط رگرسیون خطی میان مقادیر MWD و ویژگی‌های مطالعاتی در کاربری‌های گوناگون.

Figure 3. Linear regression relationships between MWD and studied variables in different land uses.



شکل ۴- ضریب اهمیت ویژگی‌های مطالعاتی پیام‌دار بر پایداری خاکدانه‌ها در کاربری‌های گوناگون به‌دست آمده از مدل شبکه عصبی مصنوعی.

Figure 4. Importance coefficients for the studied properties affecting soil aggregate stability in different land uses obtained by the artificial neural network model.

تنش‌های وارد شده دستگاه، پایدارتر بودند. به‌علاوه، مدل شبکه عصبی مصنوعی در برابر رابطه رگرسیون خطی، توانایی بالایی در برآورد MWD در منطقه بررسی شده نشان داد و اثبات نمود که میان بخش‌های گوناگون ماده آلی (دانه‌ای سست پوشیده آزاد (F<sub>1</sub>)، دانه‌ای سفت پوشیده (F<sub>2</sub>) و بخش سنگین پیوسته به کانی (F<sub>3</sub>)) و MWD، روابط غیرخطی برقرار است. با توجه به دقت و کارایی مناسب مدل شبکه عصبی، به‌نظر می‌رسد که بتوان از این روش برای تعیین ارتباط خطی و یا غیرخطی میان ویژگی‌های گوناگون خاک، با بیش‌ترین دقت و صرف کم‌ترین هزینه و زمان بهره‌گیری نمود. با این وجود، بهره‌گیری از این روش در برآورد ویژگی‌های گوناگون خاک، در پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌گردد.

### نتیجه‌گیری

مطالعه پویایی ماده آلی خاک با بهره‌گیری از روش بخش‌بندی فیزیکی در اجزای گوناگون خاکدانه در این پژوهش نشان داد که بخش‌های گوناگون ماده آلی خاک در برابر کل ماده آلی، حساسیت بیشتری به شیوه کاربری زمین‌ها دارند. همچنین، اندازه ماده آلی در دو بخش دانه‌ای سست پوشیده آزاد و دانه‌ای سفت پوشیده، بیش‌تر در خاکدانه‌های درشت انباشتگی یافته بود؛ در حالی که اندازه ماده آلی در بخش سنگین پیوسته به کانی، عمدتاً در خاکدانه‌های ریز دیده شد. با توجه به این‌که بیش‌ترین کربن آلی خاک در بخش F<sub>3</sub> وجود دارد، تغییرات کربن آلی در خاک‌های بررسی شده به رفتار این بخش مرتبط است. درصد خاکدانه‌های درشت و ریز بسته به شیوه کاربری، ناهم‌اند بود و خاکدانه‌های ریز با داشتن بیش‌ترین اندازه ماده آلی، نسبت به خاکدانه‌های درشت در برابر

### منابع

1. Alijanpour Shalmani, A., Shabanpour Shahrestani, M., Asadi, H., and Bagheri, F. 2010. Comparison of regression pedotransfer functions and artificial neural networks for soil aggregate stability simulation. *World Appl. Sci. J.* 8: 9. 1065-1072.
2. An, S., Mentler, A., Mayer, H., and Blum, W.E.H. 2010. Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China. *Catena.* 81: 226-233.
3. Andesodun, J.K., Mbagwu, J.S.C., and Oti, N. 2005. Distribution of carbon, nitrogen and phosphorus in water-stable aggregates of an organic waste amended Ultisol in southern Nigeria. *Bio-Resources Technology.* 96: 509-516.

4. Bast, A., Wilcke, W., Graf, F., Luscher, P., and Gartner, H. 2015. A simplified and rapid technique to determine an aggregate stability coefficient in coarse grained soils. *Catena*. 127: 170-176.
5. Bayati, H., Najafi, A., and Abdolmaleki, P. 2013. Comparison between artificial neural network (ANN) and regression analysis in tree felling time estimation. *Iran. J. For. Pop. Res.* 20: 4. 595-607. (In Persian)
6. Besalatpour, A.A., Shirani, H., and Esfandiarpour, I. 2014. Modeling of soil aggregate stability using support vector machines and multiple linear regression. *Soil Water Sci. J.* 29: 2. 416-427. (In Persian)
7. 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.
8. Chaplot, V., and Cooper, M. 2015. Soil aggregate stability to predict organic carbon outputs from soils. *Geoderma*. 243-244: 205-213.
9. Cheng, M., Xiang, Y., Xue, Zh., An, Sh., and Darboux, F. 2015. Soil aggregation and intra-aggregate carbon fractions in relation to vegetation succession on the Loess Plateau, China. *Catena*. 124: 77-84.
10. Emadodin, I., Reiss, S., and Rudolf Bork, H. 2009. A study of the relationship between land management and soil aggregate stability (Case study near Albersdorf, northern-Germany). *ARPN J. Agric. Biol. Sci.* 4: 48-53.
11. Grandy, A.S., and Robertson, G.P. 2006. Aggregation and organic matter protection following tillage of a previously uncultivated soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 70: 1398-1406.
12. Hajabbasi, M.A., Basalatpour, A.A., and Maleki, A.R. 2007. Effect of shifting rangeland to farmland on some physical and chemical properties of south and southwest soils of Isfahan. *Iran. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour.* 11: 42. 525-534. (In Persian)
13. Haynes, R.J. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Advances in Agronomy*. 85: 221-268.
14. Hinsinger, P., Bengough, A.G., Vetterlein, D., and Young, I.M. 2009. Rhizosphere: biophysics, biogeochemistry and ecological relevance. *Plant and Soil*. 321: 117-152.
15. Hosseini, F., Mosaddeghi, M.R., Hajabbasi, M.A., and Sabzalian, M.R. 2015. Influence of tall fescue endophyte infection on structural stability as quantified by high energy moisture characteristic in a range of soils. *Geoderma*. 249-250: 87-99.
16. Huang, L., Wang, C.Y., Tan, W.F., Hu, H.Q., Cai, C.F., and Wang, M.K. 2010. Distribution of organic matter in aggregates of eroded Ultisols, Central China. *Soil and Tillage Research*. 108: 59-67.
17. Jaksik, O., Kodesova, R., Kubis, A., Stehlikova, I., Drabek, O., and Kapicka, A. 2015. Soil aggregate stability within morphologically diverse areas. *Catena*. 127: 287-299.
18. Kemper, W.D., and Rosenau, K. 1986. Size distribution of aggregates. P 425-442, In: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, American Society of Agronomy, Madison, WI.
19. Li, Q.Q., Yue, T.X., Wang, C.Q., Zhang, W.J., Yu, Y., Li, B., Yang, J., and Bai, G.C. 2013. Spatially distributed modeling of soil organic matter across China: An application of artificial neural network approach. *Catena*. 104: 210-218.
20. Liu, M.Y., Chang, Q.R., Qi, Y.B., Liu, J., and Chen, T. 2014. Aggregation and soil organic carbon fractions under different land uses on the tableland of the Loess Plateau of China. *Catena*. 115: 19-28.
21. Lobe, I., Hofmann, A.S., Brodowski, S., du Preez, C.C., and Amelung, W. 2011. Aggregate dynamics and associated soil organic matter contents as influenced by prolonged arable cropping in the South African Highveld. *Geoderma*. 162: 251-259.
22. Lopez-Sangil, L., and Rovira, P. 2013. Sequential chemical extractions of the mineral-associated soil organic matter: An integrated approach for the fractionation of organo-mineral complexes. *Soil Biology and Biochemistry*. 62: 57-67.

23. Maly, S., Fiala, P., Reininger, D., and Obdrzalkova, E. 2014. The relationships among microbial parameters and the rate of organic matter mineralization in forest soils, as influenced by forest type. *Pedobiologia*. 57: 235-244.
24. Marzaioli, F., Lubritto, C., Galdo, I.D., Onofrio, A., Cotrufo, M.F., and Terrasi, F. 2010. Comparison of different soil organic matter fractionation methodologies: Evidences from ultrasensitive <sup>14</sup>C measurements. *Beam Interactions with Materials and Atoms*. 268: 1062-1066.
25. McFarlane, K.J., Torn, M.S., Hanson, P.J., Porras, R.C., Swanston, C.W., Callaham Jr, M.A., and Guilderson, T.P. 2012. Comparison of soil organic matter dynamics at five temperate deciduous forests with physical fractionation and radiocarbon measurements. *Biogeochem. Inter. J.* 12: 1. 457-476.
26. Menhaj, M. 2001. Acquaintanceship with artificial neural networks. Sharif Univ. Press, Tehran, Iran, 137p. (In Persian)
27. Moghimi, S., Mahdian, M.H., Parvizi, Y., and Masihabadi, M.H. 2014. Estimating effects of terrain attributes on local soil organic carbon content in a semi-arid pastureland. *J. Biodiv. Environ. Sci.* 5: 2. 97-106.
28. Mohammadi, J. 2002. Testing an artificial neural network for predicting soil water retention characteristics from soil physical and chemical properties. 17<sup>th</sup> WCSS, Thailand, Pp: 378-943.
29. Mujuru, L., Mureva, A., Velthorst, E.J., and Hoosbeek, M.R. 2013. Land use and management effects on soil organic matter fractions in Rhodic Ferralsols and Haplic Arenosols in Bindura and Shamva districts of Zimbabwe. *Geoderma*. 209-210: 262-272.
30. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter: laboratory methods. P 961-1010, In: D.L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 3. Soil Sci. Soc. Amer. J. Madison, Wisconsin.
31. Pinheiro, E.F.M., de Campos, D.V.B., Balieiro, F.C., dos Anjos, L.H.C., and Pereira, M.G. 2015. Tillage systems effects on soil carbon stock and physical fractions of soil organic matter. *Agricultural Systems*. 132: 35-39.
32. Plaza, C., Courtier-Murias, D., Fernandez, J.M., Polo, A., and Simpson, A.J. 2013. Physical, chemical and biochemical mechanisms of soil organic matter stabilization under conservation tillage systems: A central role for microbes and microbial by-products in C sequestration. *Soil Biology and Biochemistry*. 57: 124-134.
33. Robinson, T.P., and Metternicht, G. 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computer and Electronics in Agriculture*. 50: 2. 97-108.
34. Roscoe, R., Buurman, P., Van Iagen, B., and Velthorst, E. 2004. Transformations in occluded light fraction organic matter in a clayey Oxisol; evidence from <sup>13</sup>C-cpmas-nmr and <sup>13</sup>C signature. *Ociidade Brasileira de Ciencia do Solo*. 28: 811-818.
35. Safari Sinangani, A.A. 2015. Soil organic matter. Bu-Ali Sina University Press, 364p.
36. Sedae-azar, Z., Raufee, M., and Asghari, Sh. 2013. The effect of organic matter on soil infiltration of different land uses. National Congress of Organic Agriculture, Pp: 1-6. (In Persian)
37. Shirani, H., Habibi, M., Besalatpour, A.A., and Esfandiarpour, I. 2015. Determining the features influencing physical quality of calcareous soils in a semiarid region of Iran using a hybrid PSO-DT algorithm. *Geoderma*. 259-260: 1-11.
38. Six, J., Paputian, K., Elliot, E.T., and Combrink, C. 2001. Soil structure and organic matter. I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 64: 681-689.
39. Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., and Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*. 79: 1. 7-31.
40. Spaccini, R., and Piccolo, A. 2013. Effects of field managements for soil organic matter stabilization on water-stable aggregate distribution and aggregate stability in three agricultural soils. *J. Geochem. Exp.* 129: 45-51.



41. Wang, J.G., Yang, W., Yu, B., Li, Z.X., Cai, C.F., and Ma, R.M. 2016. Estimating the influence of related soil properties on macro- and micro-aggregate stability in ultisols of south-central China. *Catena*. 137: 545-553.
42. Wei, J.B., Xiao, D.N., Zeng, H., and Fu, Y.K. 2008. Spatial variability of soil properties in relation to land use and topography in a typical small watershed of to black soil region, northeastern China. *Environmental Geology*. 53: 1663-1672.
43. Yague, M.R., Bosch-Serra, A.D., Antunez, M., and Boixadera, J. 2012. Pig slurry and mineral fertilization strategies' effects on soil quality: Macroaggregate stability and organic matter fractions. *Science of the Total Environment*. 438: 218-224.
44. Zhang, J., Song, C., and Wenyan, Y. 2007. Tillage effects on soil carbon fractions in the Sanjiang Plain, Northeast China. *Soil and Tillage Research*. 93: 1. 102-108.



---

## Effect of the physical fractions of organic matter on soil aggregate stabilities in three various land uses of forest, range and agricultural lands

S. Bardsirizadeh<sup>1</sup>, I. Esfandiarpour Borujeni<sup>2</sup>, \*P. Abbaszadeh Dahaji<sup>3</sup>  
and A.A. Besalatpour<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan

Received: 01/15/2016; Accepted: 12/24/2016

---

### Abstract

**Background and Objectives:** Soil structure stability refers to the ability of a soil to hold up the solid particle arrangement and the spaces among them when face to different stresses. According to the important role of organic matters in formation and stability of soil aggregates; it appears that the different fractions of them may also have significant effects on soil aggregate stability. Furthermore, separating the different fractions of organic matter helps the identification of the sensitive and sustainable parts and their locations in aggregate structure. The purpose of this study is to evaluate the effect of different fractions of organic matters on the soil macro (>0.25 mm) and micro (<0.25 mm) aggregate stabilities using artificial neural network and linear regression models. Also, the relationships between different parts of soil organic matters in the various components of aggregates and the impact of land use type on them as well as the most effective organic matter fraction on the aggregate stability were investigated in various land uses in this study.

**Materials and Methods:** Fifteen soil samples were taken from the surface (0-10 cm) using a supervised random method in three different land uses including forest, range and agricultural lands (totally, 45 points) in Rabor region, Kerman province. After air-drying the samples and passing them through a 4 mm sieve, mean weight diameter (MWD) of soil aggregates was measured using the wet sieve method for the macro and micro aggregates. Then, different fractionations of organic matters in the macro and micro aggregates were determined using the density method. Finally, the amount of organic carbon in different fractions of organic materials and also the total amount of soil organic carbon were identified using the Walkley-Black method and then the percentage of total organic matter existed in each fraction was calculated by considering the weight and percentage of organic matter in each fraction. Afterward, the organic matter data were used as input to the artificial neural network model. Besides, the regression relationships among the variables and soil aggregate stability were investigated.

**Results:** The results showed that the free light fraction of organic matter ( $F_1$ ) in the macro-aggregates was greater than in the micro-aggregates. Also, the  $F_1$ -amount in the forest was greater than the other two investigated land uses due to the higher organic matter content. The amounts of occluded light fraction of organic matter ( $F_2$ ) in the agricultural lands were lower than other land uses which might be due to tillage operation, soil aggregate destruction and release of the trapped organic matter inside of them. The parts of organic matter which were associated with mineral fractions ( $F_3$ ) were allocated with the largest percentage of the total soil organic matter as compared to the other two fractions. The amount of last mentioned fraction was higher in the micro-aggregates than the macro-aggregates in all three investigated land uses. Results also revealed that the linear regression was not able to identify the interrelationship

---

\* Corresponding Author; Email: [p.abbaszadeh@vru.ac.ir](mailto:p.abbaszadeh@vru.ac.ir)

between the studied variables and aggregates stability index. In contrast, the diagrams related to artificial neural network model showed that all input variables to the model have influenced the MWD, although the important coefficients of the input variables were different.

**Conclusion:** Different fractions of soil organic matter were more sensitive to the land use type than the total organic matter. The macro and micro aggregate percentages were different depending to the land use type; however, the micro aggregates with greater organic matter contents were more stable against entered stresses than the macro aggregates. Artificial neural network model had more efficiency in estimating the soil aggregate stability than the linear regression method indicating that there is a non-linear relationship between different fractions of organic matter and MWD. By considering the accuracy and efficiency of artificial neural network model, it appears that this method can be used to determine the linear and non-linear relationship among different soil properties, with higher precision and lower cost and time. Nevertheless, utilization of this method for estimating the different soil properties is proposed for the future researches.

**Keywords:** Physical fractionation of soil organic matter, Aggregate stability, Linear correlation, Artificial neural network model

