

تعیین مؤثرترین جزء خاکدانه در برآورد پایداری ساختمان خاک با بهره‌گیری از روش زمین‌آمار

سعیده بردسیری زاده¹ - عیسی اسفندیارپور بروجنی^{2*} - علی اصغر بسالت‌پور³ - پیمان عباس‌زاده دهجی⁴

تاریخ دریافت: 1395/02/14

تاریخ پذیرش: 1395/05/11

چکیده

خاکدانه به‌عنوان واحد ساختمانی خاک، بیانگر مجموعه‌ای از ذرات اولیه است که پیوستگی‌شان به یکدیگر بیش از پیوستگی آن‌ها به ذرات خاک اطراف این مجموعه می‌باشد. هدف از پژوهش حاضر، تعیین مهم‌ترین جزء اندازه‌ای خاکدانه (درشت و یا ریز) در برآورد میزان پایداری ساختمان خاک در منطقه‌ی رابر کرمان با بهره‌گیری از زمین‌آمار می‌باشد. تعداد 90 نمونه‌ی خاک سطحی (0-10 سانتی‌متر) به روش شبکه‌ای منظم و با فواصل تقریبی 200 متر، از منطقه برداشت و هواخشک شد. پس از عبور نمونه‌ها از الک چهار میلی‌متری، درصد پایداری خاکدانه‌ها در سه بخش خاکدانه‌های کل، درشت و ریز در دو حالت خشک و مرطوب محاسبه شد. سپس، مطالعات زمین‌آماري شاخص‌های پایداری محاسبه‌شده، در قالب دو مرحله‌ی واریوگرافی و تخمین انجام گرفت و نقشه‌های کریجینگ پایداری خاکدانه‌ها ترسیم شد. به‌منظور تعیین میزان همخوانی نقشه‌های کریجینگ شاخص پایداری محاسبه‌شده برای خاکدانه‌های درشت و ریز با شاخص محاسبه‌شده برای کل خاکدانه‌ها، پس از تشکیل ماتریس خطا، صحت عمومی آن‌ها محاسبه شد. براساس نتایج حاصل، بیش‌ترین درصد پایداری کل خاکدانه‌ها (89/9 درصد) در موقعیت‌های شمال و جنوب‌شرقی منطقه که بیش‌ترین مقدار ماده‌ی آلی (3/2 درصد) را به خود اختصاص داده بودند، در حالت خشک دیده شد. درصد صحت عمومی حاصل از تقاطع نقشه‌های کریجینگ کل خاکدانه‌ها و خاکدانه‌های درشت در حالت خشک (51/75 درصد)، بیش از حالت مرطوب (32/17 درصد) بود. در مقابل، درصد صحت عمومی محاسبه‌شده برای تقاطع نقشه‌های کریجینگ کل خاکدانه‌ها و خاکدانه‌های ریز در حالت مرطوب (17/31 درصد)، بیش از حالت خشک (10/93 درصد) بود. به‌طور کلی، مطالعه‌ی تغییرات مکانی پایداری خاکدانه‌های درشت و ریز می‌تواند در راستای مدیریت بهینه‌ی اراضی برای مطالعات آبی مفید واقع شود.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاکدانه، کاربری اراضی، کریجینگ، ماتریس خطا

مقدمه

(11). توانایی خاکدانه به مقاومت در برابر فروپاشی، زمانی که تحت تنش نیروهای مخرب قرار می‌گیرد را پایداری خاکدانه⁶ می‌گویند. به عبارت دیگر، پایداری ساختمان خاک به توانایی یک خاک در نگه‌داری آرایش ذرات جامد و فضای بین آن‌ها در هنگام مواجه شدن با تنش‌های مختلف مربوط می‌شود (2، 18 و 42). به‌طور معمول، ارزیابی ساختمان خاک بر اساس شکل و میزان پایداری خاکدانه‌ها انجام می‌گیرد (7، 8 و 27).

توزیع اندازه‌ی ذرات و پایداری خاکدانه‌ها از جمله ویژگی‌های مهم و مرتبط با ساختمان خاک محسوب می‌شوند که به‌دلیل داشتن ماهیت پویا، دارای تغییرات مکانی و زمانی هستند (8 و 27). اندازه‌ی خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری، تهویه، مقاومت خاک و انتقال مایعات، املاح و گازها اثر قابل توجهی دارد (9، 17، 27 و 39) و شاخص مهمی برای ارزیابی این ویژگی‌ها محسوب می‌شود (3 و 14).

تاکنون روش‌ها و شاخص‌های زیادی از جمله، میانگین وزنی قطر

ساختمان خاک⁵ یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی و فعال خاک می‌باشد که از طریق اثر بر چرخه‌ی کربن و دیگر عناصر غذایی، جذب، ذخیره و حرکت آب، تهویه، مقاومت مکانیکی و پایداری در برابر فرسایش، بر رشد گیاه و تولید محصول تأثیر بسزایی دارد (9 و 10). خاکدانه یک واحد اساسی برای ساختمان خاک محسوب می‌شود (27) به‌طوری که از به‌هم پیوستن مجموعه‌ای از خاکدانه‌ها، ساختمان خاک شکل می‌گیرد. در واقع، خاکدانه مجموعه‌ای از ذرات اولیه است که پیوستگی‌شان به یکدیگر بیش از پیوستگی آن‌ها به ذرات خاک اطراف این مجموعه می‌باشد. به دیگر سخن، تشکیل خاکدانه‌ها نتیجه‌ی هم‌آوری، هم‌آرایی و سیمانی شدن ذرات اولیه است (5 و

1، 2، 3 و 4- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان

(* - نویسنده مسئول: Email: esfandiarpoor@vru.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.v31i2.54438

کمینه کردن فرسایش و تخریب خاک و آلودگی محیط زیست، لازمه‌ی کشاورزی پایدار است؛ هدف از انجام این پژوهش، تهیه‌ی نقشه‌های موضوعی⁷ شاخص پایداری خاکدانه‌ها (AS) در دو حالت خشک و مرطوب، و تعیین مهمترین جزء خاکدانه‌ها (درشت یا ریز) در برآورد میزان پایداری ساختمان خاک در منطقه‌ی رابر استان کرمان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مطالعاتی

منطقه‌ی مورد مطالعه شامل بخشی از اراضی شهرستان رابر، واقع در جنوب غربی استان کرمان می‌باشد که در حد فاصل طول‌های جغرافیایی "57° 1' 46" تا "57° 2' 20" شرقی و عرض‌های جغرافیایی "29° 16' 56" تا "29° 16' 21" شمالی واقع شده است (شکل 1). این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک با میانگین بارندگی سالانه‌ی 250 میلی‌متر، میانگین دمای سالانه‌ی 15 درجه‌ی سلسیوس و میانگین ارتفاع 2400 متر می‌باشد. عمده‌ی مواد مادری این منطقه شامل سنگ آهک و دولومیت است. منطقه دارای سه کاربری زراعی (گندم و جو)، جنگل (بادام‌کوهی) و مرتع (گون) می‌باشد (شکل 1).

مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

تعداد 90 نمونه‌ی خاک سطحی (صفر تا 10 سانتی‌متر) به روش شبکه‌ای منظم و با فواصل تقریبی 200 متر از منطقه‌ی مورد مطالعه با بیلچه برداشت شد (شکل 1). هر نمونه خاک داخل یک قوطی پلاستیکی قرار داده شد و با پنبه تثبیت شد تا از هرگونه جابه‌جایی و بهم ریختگی نمونه‌ها جلوگیری گردد.

پس از هواخشک کردن نمونه‌های برداشت شده و عبور آن‌ها از الک 4 میلی‌متری، به‌منظور اندازه‌گیری شاخص پایداری خاکدانه‌ها از دو روش الک تر و خشک (23) به‌طور جداگانه استفاده شد. برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه در حالت تر، 50 گرم از خاک الک‌شده، بر روی سری الک با اندازه‌های 2، 1، 0/5، 0/25 و 0/1 میلی‌متر ریخته شد و به مدت 3 دقیقه با سرعت 30 دور در دقیقه و دامنه‌ی نوسان 1/3 سانتی‌متر در آب تکان داده شد. در پایان، الک‌ها به آرامی از آب خارج شده و خاکدانه‌های باقی‌مانده روی هر الک به درون ظروف چینی ریخته شد و در دمای 65 درجه‌ی سلسیوس در دستگاه آون، خشک گردید. سپس، خاکدانه‌های موجود در داخل هر بوتله‌ی چینی با دقت توزین شد. از آنجا که امکان وجود ذرات درشت (سنگریزه و شن) در اندازه‌ی خاکدانه‌ها وجود دارد تصحیح شن ضروری خواهد بود. از این رو، پس از توزین خاکدانه‌های موجود در داخل هر بوتله‌ی

خاکدانه‌ها¹ (MWD)، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها² (GMD)، رس قابل پراکنش³ (WDC)، نسبت خاکدانه‌سازی⁴ (AR) و پایداری خاکدانه‌ها⁵ (AS) برای اندازه‌گیری پایداری ساختمان خاک ابداع شده‌اند (6 و 18). به‌طور کلی، پایداری خاکدانه‌ها را می‌توان به دو روش الک خشک و الک تر (23) اندازه‌گیری کرد. به‌طور معمول، روش الک خشک برای بررسی تأثیر تنش‌های اعمال‌شده از عملیات خاک‌ورزی بر خرد شدن خاک و ارزیابی فرسایش‌پذیری بادی خاک به‌کار می‌رود؛ و روش الک تر معمولاً برای تعیین پایداری خاکدانه‌های درشت (بزرگتر از 0/25 میلی‌متر) در برابر تنش‌های آبی استفاده می‌شود (23 و 38).

وانگ و همکاران (39) ویژگی‌های ذاتی خاک " و " عوامل خارجی " را دو گروه مهم از عوامل مؤثر بر پایداری خاکدانه‌ها بر شمرده‌اند. ایشان اظهار می‌دارند که در گروه اول، نوع کانی‌های رسی، میزان کربنات کلسیم و میزان ماده‌ی آلی نقش بسزایی دارند؛ حال آن‌که از گروه عوامل خارجی می‌توان به مدیریت زراعی، عملیات خاک‌ورزی و اقلیم اشاره نمود. شرایط رطوبتی خاک نیز بر میزان پایداری خاکدانه‌ها اثرگذار است. هوانگ و همکاران (19) ضمن تأکید بر وجود همبستگی مثبت بین مقدار ماده‌ی آلی خاک و خاکدانه‌های درشت پایدار در آب⁶، بیان کردند که در روش الک خشک، خاکدانه‌های درشت و در روش الک تر، خاکدانه‌های ریز بیش‌ترین درصد را به خود اختصاص داده‌اند. اسپاسینی و پیکولو (38) اظهار داشتند که درصد پایداری خاکدانه‌های درشت در خاک‌هایی با بافت سنگین که مقدار بالایی رس در آن‌ها وجود دارد، بیشتر می‌باشد. لوب و همکاران (25) به بررسی تنش‌های وارد شده از عملیات خاک‌ورزی بر روی خاکدانه‌ها پرداختند و بیان کردند که با افزایش عملیات خاک‌ورزی، درصد خاکدانه‌های درشت، کاهش و درصد خاکدانه‌های ریز، افزایش می‌یابد. جون و همکاران (21) نیز اظهار داشتند که خاکدانه‌های درشت نسبت به خاکدانه‌های ریز به تنش‌های اعمال‌شده بسیار حساس‌تر می‌باشند، به‌طوری‌که درصد خاکدانه‌های درشت در کاربری جنگل بیشتر و درصد خاکدانه‌های ریز در زمین‌های زراعی بیشتر است. هم‌چنین، لودویگ و همکاران (26) نشان دادند که خاکدانه‌های ریز نسبت به خاکدانه‌های درشت، در مقابل تنش‌های اعمال‌شده از عملیات خاک‌ورزی، ثبات بالاتری دارند و خاکدانه‌های درشت، راحت‌تر از هم می‌پاشند.

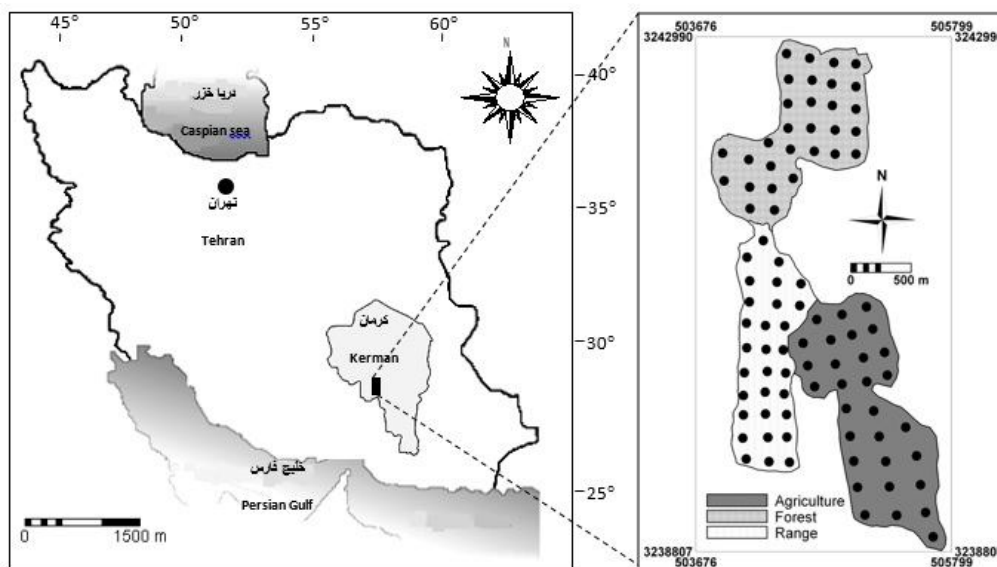
با توجه به این‌که حفظ پایداری ساختمان خاک و حاصلخیزی آن،

- 1- Mean weight diameter
- 2- Geometric mean diameter
- 3- Water dispersible clay
- 4- Aggregate ratio
- 5- Aggregate stability
- 6- Water-stable aggregates

7- Thematic maps

خشک نیز 50 گرم از خاک الک‌شده را بر روی سری الک با اندازه‌های 2، 1، 0/5، 0/25 و 0/1 میلی‌متر ریخته و در دستگاه شیکرالک به مدت 2 دقیقه با سرعت 440 دور در دقیقه، تکان داده شد.

چینی، محتویات هر ظرف مجدداً بر روی همان الک ریخته شد و به آرامی با دست در آب، تا زمانی الک شد که تنها ذرات درشت (شن) بر روی الک مزبور باقی بمانند. بدین ترتیب، وزن خشک ذرات درشت باقی‌مانده بر روی هر الک به دست آمد و از وزن اولیه‌ی خاکدانه‌ها کسر گردید. همچنین، برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه در حالت



شکل 1- موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی به همراه 90 نقطه‌ی مشاهداتی در کاربری‌های کشاورزی، جنگل و مرتع
Figure 1- Location of study area along with 90 observation points on agriculture, forest and range lands

مورد مطالعه، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف⁴ استفاده شد و همچنین آماره‌های توصیفی از جمله میانگین، میانه، کمینه، بیشینه، واریانس، چولگی و ضریب تغییرات برای ویژگی‌های مورد مطالعه در محیط نرم‌افزاری SPSS (نسخه‌ی 19) بررسی شدند.

مطالعات زمین‌آماري انجام‌گرفته شامل دو مرحله‌ی واریوگرافی و تخمین بود. در مرحله‌ی واریوگرافی، ابتدا وضعیت همسان‌گردی شاخص‌های پایداری محاسبه‌شده، از طریق ترسیم واریوگرام‌های پیرویه‌ای⁵ در محیط نرم‌افزاری وریوین⁶ (32) بررسی شد و سپس با استفاده از تابع واریوگرام (16)، ساختار مکانی آن‌ها بررسی شد. پس از محاسبه‌ی واریوگرام‌های تجربی برای تمامی متغیرهای مورد نظر (پایداری کل خاکدانه‌ها، خاکدانه‌های درشت و ریز در دو حالت خشک و مرطوب)، مدل‌های نظری مناسب بر آن‌ها برازش داده شد. در مرحله‌ی بعد، با استفاده از تخمین‌گر کریجینگ معمولی⁷ برای میان‌یابی پایداری خاکدانه‌ها در مکان‌های نمونه‌برداری نشده، نقشه‌ی موضوعی هر یک از شاخص‌های پایداری

سیس خاکدانه‌های خشک توزین و تصحیح‌شن نیز انجام شد. در پژوهش حاضر، خاکدانه‌های جداشده به دو بخش خاکدانه‌های درشت ($0/25 >$ میلی‌متر) و ریز ($0/25 \leq$ میلی‌متر) تقسیم‌بندی شدند و در نهایت درصد پایداری خاکدانه‌ها (AS) در سه بخش کل ($ASTOT^1$)، درشت ($ASMAC^2$) و ریز ($ASMIC^3$) برای دو حالت خشک و مرطوب از رابطه‌ی زیر به دست آمد (29):

$$AS = \left[\frac{Wp - Wp25 - S}{M - S} \right] * 100 \quad (1)$$

که در این رابطه، Wp وزن کل خاکدانه‌ها، $Wp25$ وزن خاکدانه‌های کوچکتر یا مساوی 0/25 میلی‌متر، M وزن خاک اولیه و S وزن مجموع شن روی سری الک‌ها می‌باشد.

مطالعات آماری و زمین‌آماري

هر چند تبعیت از توزیع نرمال داده‌ها شرط لازم برای یک مطالعه‌ی زمین‌آماري نیست، اما در صورتی که توزیع داده‌ها نرمال باشد، فرآیند تخمین از دقت بالاتری برخوردار خواهد بود (40). بنابراین برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌های مربوط به متغیرهای

4- Kolmogrov-Smirnov test
5- Variogram surface
6- Variowin
7- Ordinary kriging

1- Total aggregate stability
2- Macro aggregate stability
3- Micro aggregate stability

مشاهدات یا طبقات جدا شده، صحیح می‌باشند. به عبارت دیگر، چه اندازه از نمونه‌ها به درستی در طبقات مربوط جای گرفته‌اند. صالحی و همکاران (36) اظهار داشتند به دلیل مقایسه‌ی پیکسل به پیکسل، این روش نسبت به محاسبه‌ی ضریب همبستگی، واقعیت خاک را بهتر بیان می‌کند. لازم به ذکر است که محاسبه‌ی ماتریس خطا و صحت عمومی نقشه برای شاخص‌های AS محاسبه شده در دو حالت خشک و تر انجام گرفت.

نتایج و بحث

جدول 1 خلاصه‌ی آماری شاخص‌های پایداری محاسبه شده برای خاکدانه‌های با اندازه‌ی مختلف را در دو حالت خشک و مرطوب نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که میانگین مربوط به پایداری کل خاکدانه‌ها و خاکدانه‌های درشت در حالت خشک بیشتر از حالت مرطوب است؛ در حالی که اعداد مربوط به این آماره برای پایداری خاکدانه‌های ریز در حالت مرطوب، بیشتر از حالت خشک می‌باشد. دلیل احتمالی این موضوع، خرد شدن خاکدانه‌های درشت در روش الک مرطوب و تبدیل آن‌ها به خاکدانه‌های ریز می‌تواند باشد. اختصاصی و همکاران (13) به بررسی شاخص‌های دانه‌بندی خاک با استفاده از دو روش الک تر و خشک پرداختند و بیان داشتند که متوسط قطر میانگین حاصل از دانه‌بندی نمونه‌های خاک به روش الک خشک، تقریباً 2/5 برابر متوسط میانگین همان خاک در روش الک تر می‌باشد.

مطالعه‌ی چولگی، متداول‌ترین شیوه‌ی بررسی انحراف از توزیع نرمال یک متغیر می‌باشد. چنانچه متغیر مزبور، دارای چولگی خارج از محدوده‌ی 1- تا 1 باشد، واریانس‌های آن دارای اعتبار کمتری خواهند بود (34). اگر این قاعده‌ی سرانگشتی به عنوان ملاکی در بررسی توزیع نرمال داده‌ها لحاظ شود؛ آنگاه تنها شاخص پایداری اندازه‌گیری شده برای خاکدانه‌های درشت در حالت مرطوب، از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند. با توجه به این که چولگی، آماره‌ای توصیفی است (33)؛ بنابراین، همواره نمی‌تواند قابل اعتماد باشد. در نتیجه، یکی از معتبرترین راه‌کارها برای بررسی نرمال بودن یا نبودن توزیع داده‌ها، استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف می‌باشد؛ چرا که این آزمون بر مبنای نظریه‌ی خاص استوار است و نسبت به تغییر کرانه‌های توزیع در شرایط فراوانی‌های اندک، بسیار حساس می‌باشد (33). در این آزمون، زمانی که سطح معنی‌دار¹¹ کمتر از 0/05 باشد، فرض نرمال بودن داده‌ها رد می‌شود. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف متغیرهای مطالعاتی نشان می‌دهند که تمامی متغیرها از توزیع نرمال برخوردار می‌باشند (جدول 1).

مورد مطالعه در محیط نرم‌افزاری سورفر¹ (نسخه‌ی 9) ترسیم شد. به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی تخمین‌ها و اطمینان از صحت آن‌ها، از روش جک‌نایف² (12) استفاده گردید. هم‌چنین از شاخص جذر میانگین مربع خطای استاندارد شده³ (RMSSE) به عنوان معیار تعیین‌کننده‌ی کیفیت تخمین استفاده شد که معادله‌ی آن به صورت زیر می‌باشد:

$$RMSSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{si} - O_{si})^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

که n تعداد نمونه‌ی مشاهداتی، O_{si} مقدار استاندارد شده‌ی مشاهداتی برای نمونه‌ی i و P_{si} مقادیر استاندارد شده‌ی تخمینی برای نمونه‌ی i می‌باشد.

ماتریس خطا⁴ و محاسبه‌ی صحت عمومی⁵

به منظور تعیین میزان همخوانی نقشه‌های کریجینگ شاخص AS محاسبه شده برای خاکدانه‌های درشت و ریز با شاخص AS محاسبه شده برای کل خاکدانه‌ها از ماتریس خطا (24) استفاده شد. برای این منظور، ابتدا با ساخت یک دامنه⁶ از نوع کلاسی - گروهی در نرم‌افزار ایلویس⁷، مقادیر شاخص AS بر مبنای طبقه‌بندی ارایه - شده توسط آفندی و همکاران (1)، به شش کلاس شدیداً پایدار (≤ 200 درصد)، بسیار پایدار (200-80 درصد)، پایدار (80-60 درصد)، نسبتاً پایدار (60-50 درصد)، پایداری کم (50-40 درصد) و بدون پایداری (<40 درصد) طبقه‌بندی شدند. سپس با استفاده از عملیات برش⁸، نقشه‌های کریجینگ مربوط به خاکدانه‌های ریز، درشت و کل که به گروه‌های شش‌گانه‌ی مزبور تفکیک شدند. در ادامه، با استفاده از عملیات تقاطع⁹، یک‌بار نقشه‌ی طبقه‌بندی شده مربوط به خاکدانه‌های درشت با نقشه‌ی مربوط به کل خاکدانه‌ها روی هماندازی شد و بار دیگر این کار بین نقشه‌ی طبقه‌بندی شده مربوط به خاکدانه‌های ریز با نقشه‌ی مربوط به کل خاکدانه‌ها انجام گرفت. در نهایت با تشکیل ماتریس خطای مربوط به هر مرحله، صحت عمومی نقشه‌ها (OA) از رابطه‌ی زیر محاسبه شد (35):

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ii}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}} \quad (3)$$

که در آن، i و j، به ترتیب، بیان‌گر سطر i^{ام} و ستون j^{ام} برای مشاهده‌ی X موجود در ماتریس خطا می‌باشند.

صحت عمومی نقشه، نشان‌دهنده‌ی آن است که چه تعداد از

- 1- Surfer
- 2- Jack-knifing method
- 3- Root mean square standardized error
- 4- Error matrix
- 5- Overall accuracy
- 6- Domain
- 7- ILWIS
- 8- Slicing
- 9- Cross

جدول 1- خلاصه‌ی آماری مربوط به محاسبه‌ی شاخص AS در دو روش خشک و مرطوب

Table 1- Summary statistics related to calculation of AS index in both dry and wet methods

روش Method	پایداری خاکدانه Aggregate stability	میانگین Mean	میان Median	واریانس Variance	چولگی Skewness	بیشینه (%) Max	کمینه (%) Min	ضریب تغییرپذیری (%) CV	P- value ¹
خشک Dry	کل Total	61.9	64.3	227.2	-0.543	89.9	20.9	24.3	0.28
	درشت Macro	41.7	42.4	301.8	0.014	82.9	7.7	41.7	0.78
	ریز Micro	22.4	21.9	66.4	0.780	52.3	7.5	36.4	0.78
مرطوب Moist	کل Total	34.7	34.0	161.3	0.117	62.8	10.8	36.6	0.96
	درشت Macro	15.9	13.9	94.4	1.500	49.6	3.4	61.1	0.06
	ریز Micro	29.0	28.4	104.2	0.250	57.5	8.8	35.2	0.50

¹: اعداد مربوطه، بیانگر نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف می‌باشند. ¹: The numbers show the results of Kolmogrov-Smirnov test.

آن‌ها از طریق ترسیم واریوگرام‌های همه‌جهته¹ بررسی شد (شکل 2) و پس از برازش مدل مناسب بر آن‌ها، اجزای واریوگرام‌ها مطابق با جدول 2 به دست آمد. همان‌گونه که در جدول 2 مشاهده می‌شود، مدل برازش‌یافته بر تمامی واریوگرام‌ها، نمایی² می‌باشد. محمدی (30) بیان می‌دارد که مدل‌های نمایی و کروی³، معمول‌ترین مدل‌های مورد استفاده در مطالعه‌ی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها می‌باشند.

به‌طور کلی، فاصله‌ی تقریبی 420 متر را (که بیانگر میانگین دامنه‌ی متغیرهای مطالعه‌شده است) می‌توان به‌عنوان فاصله‌ی بهینه‌ی نمونه‌برداری در منطقه‌ی مطالعاتی، برای مطالعات آتی مد نظر قرار داد. این در حالی است که فاصله‌ی نمونه‌برداری برای پژوهش حاضر، 200 متر در نظر گرفته شده بود. از سوی دیگر، شلوئدر و همکاران (37) و هاسنجاک و هنگل (20) اظهار داشتند که مقادیر RMSSE تا حدود 40 درصد، بیانگر همبستگی بالای بین مقادیر واقعی و تخمینی متغیر مورد مطالعه می‌باشند. نگاه اجمالی به داده‌های مربوط به جذر میانگین مربع خطای استاندارد شده (RMSSE) حاکی از وجود همبستگی بالا بین مقادیر واقعی و تخمینی تمامی متغیرهای مورد مطالعه (به‌جز پایداری خاکدانه‌های درشت در حالت مرطوب) می‌باشد. هم‌چنین، با توجه به این که تمامی متغیرها دارای کلاس همبستگی قوی می‌باشند، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از تابع واریوگرام برای توصیف الگوی تغییرپذیری متغیرهای مورد مطالعه، مناسب بوده است.

یکی از راه‌های بررسی تغییرپذیری متغیرها، استفاده از ضریب تغییرپذیری (CV) است. وای و همکاران (41) اظهار داشتند که تغییرات کمتر از 10 درصد، دلالت بر تغییرپذیری پایین خصوصیت مورد نظر و تغییرات بیشتر از 90 درصد نیز حاکی از تغییرپذیری بالای آن خصوصیت است. بر این اساس، تمامی متغیرهای مطالعاتی از تغییرپذیری متوسط در منطقه برخوردار می‌باشند (جدول 1). با این وجود، پایداری کل خاکدانه‌ها در حالت خشک، دارای کم‌ترین ضریب تغییرپذیری (% CV=24/3) می‌باشد. شاید بتوان دلیل این موضوع را، یکسان بودن شرایط آزمایش برای تمامی نمونه‌ها و این که در حالت خشک، خاکدانه‌ها فقط تحت تنش مکانیکی حاصل از حرکت الک‌ها می‌باشند، عنوان کرد. بیش‌ترین ضریب تغییرپذیری (% CV=61/1) مربوط به پایداری خاکدانه‌های درشت در حالت مرطوب است که علاوه بر تنش مکانیکی حاصل از حرکت الک‌ها، تحت تنش‌های ناشی از انرژی آب نیز می‌باشند.

با وجودی که استفاده از ضریب تغییرپذیری تا حدودی می‌تواند بازگوکننده‌ی پراکنش نسبی متغیرها باشد؛ لیکن این عامل، جزئی از آمار کلاسیک محسوب می‌شود که در آن به‌دلیل داشتن فرض‌هایی نظیر استقلال نمونه‌ها از یکدیگر، قادر به ارزیابی ساختار مکانی ویژگی‌های خاک نمی‌باشد. بنابراین، نیاز به روش‌هایی که تغییرات مقادیر عددی ویژگی‌های خاک را به‌عنوان تابعی از موقعیت جغرافیایی آن‌ها در نظر بگیرند، احساس می‌گردد (30). در این راستا، استفاده از علم زمین‌آمار می‌تواند کارگشا باشد چرا که درک بهتری از الگوی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک را فراهم می‌آورد (40). بر این اساس، ترسیم واریوگرام‌های روبه‌ای متغیرهای مورد مطالعه (که به دلیل افزایش حجم مقاله، ارائه نشده‌اند)، نشان داد که این متغیرها وابسته به جهت جغرافیایی خاصی نبودند و بنابراین ساختار مکانی

1- Omni-directional
2- Exponential
3- Spherical

جدول 2- مدل‌های واریوگرامی، ویژگی‌های میان‌یابی و آماره‌ی اعتبارسنجی شاخص AS در دو روش خشک و مرطوب
 Table 2- Variogram models, interpolation characteristics and validation statistics of AS index for dry and wet methods

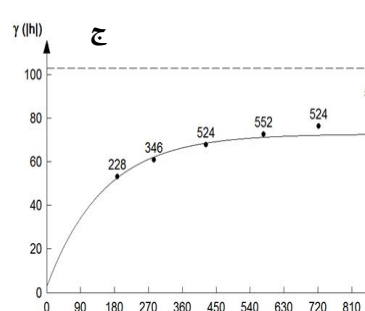
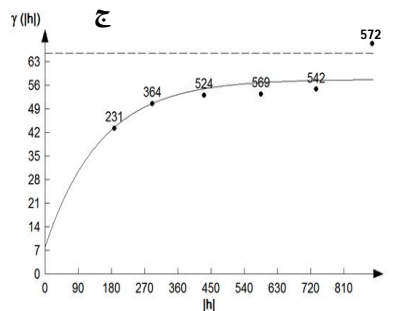
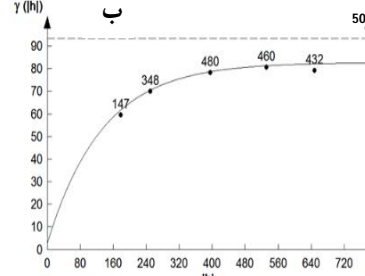
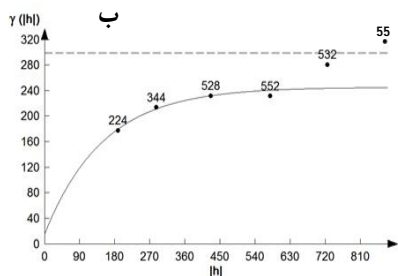
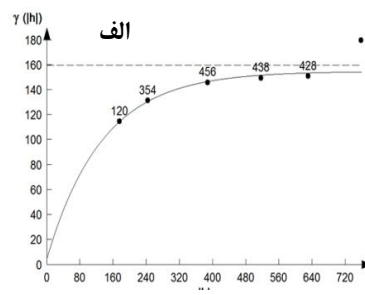
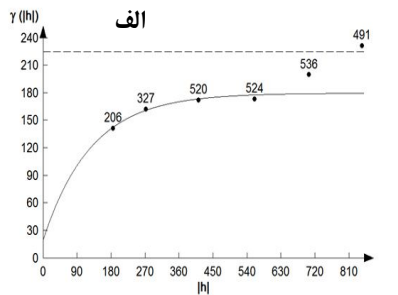
روش Method	پایداری خاکدانه Aggregate stability	مدل Model	حد آستانه Sill	اثر قطعه‌ای Nugget	دامنه (متر) Range (m)	کلاس همبستگی Correlation class	RMSSE ¹
خشک Dry	کل Total	نمایی Exponential	160	20	380	قوی Strong	23.93
	درشت Macro	نمایی Exponential	230	16	450	قوی Strong	39.99
	ریز Micro	نمایی Exponential	50	8	450	قوی Strong	39.31
مرطوب Moist	کل Total	نمایی Exponential	150	5	400	قوی Strong	38.30
	درشت Macro	نمایی Exponential	80	3	400	قوی Strong	62.56
	ریز Micro	نمایی Exponential	70	3	450	قوی Strong	35.04

¹: Root mean square standardized error

¹: جذر میانگین مربع خطای استاندارد شده

پایداری خشک

پایداری مرطوب



شکل 2- واریوگرام‌های مربوط به شاخص AS در دو روش خشک و مرطوب

(الف: کل خاکدانه‌ها، ب: خاکدانه‌های درشت، ج: خاکدانه‌های ریز، h- فاصله بر حسب متر، $\gamma(h)$ -سمی واریانس)

Figure 2- Variograms related to AS index in both dry and wet methods

(A: Total aggregates, B: Macro-aggregates, C: Micro-aggregates, h=Distance (m), $\gamma(h)$ = Semivariance)

تر و تبدیل آن‌ها به خاکدانه‌های ریز، باعث شده است که صحت عمومی مربوط به روی هم‌اندازی دو نقشه‌ی پایداری خاکدانه‌های ریز و کل خاکدانه‌ها در حالت مرطوب ($OA=17/31\%$)، بیشتر از حالت خشک ($OA=10/93\%$) باشد. باج¹ و همکاران (4) ضمن جداسازی اندازه‌های مختلف خاکدانه به دو روش الک خشک و تر، بیش‌ترین درصد خاکدانه‌های درشت ($>0/25$ میلی‌متر) را در روش الک خشک و بیش‌ترین درصد خاکدانه‌های ریز ($<0/25$ میلی‌متر) را در روش الک تر گزارش کردند. محمودآبادی (28) اظهار داشت که درصد خاکدانه‌های درشت در روش الک خشک، 36 درصد و در روش الک تر، 6/3 درصد می‌باشد و نتیجه گرفت که علاوه بر نیروی مکانیکی الک‌ها، ورود آب به داخل خاکدانه‌ها باعث خرد و ریزتر شدن آن‌ها، کاهش درصد خاکدانه‌های درشت و افزایش خاکدانه‌های ریز شده است. هم‌چنین، یزدان‌پناه و همایون‌فر (43) به بررسی پایداری خاکدانه در دو حالت خشک و تر پرداختند و بیان نمودند که بزرگ‌ترین کلاس اندازه‌ی ذرات در حالت خشک، 2 تا 4/75 میلی‌متر بوده؛ در حالی که این کلاس در حالت تر، 2 میلی‌متر و بیش‌ترین ذرات در کلاس صفر تا 0/1 میلی‌متر گزارش شد. آن‌ها اظهار داشتند از آن‌جا که در تعیین توزیع اندازه‌ی خاکدانه‌ها به روش الک تر، علاوه بر نیروی مکانیکی الک‌ها، نیروی حاصل از ورود آب به داخل خاکدانه نیز دخیل است، بنابراین نسبت به توزیع اندازه‌ی ذرات در حالت خشک، طبیعی است که فراوانی ذرات در کلاس‌های درشت کاهش یافته باشد.

نتیجه‌گیری کلی

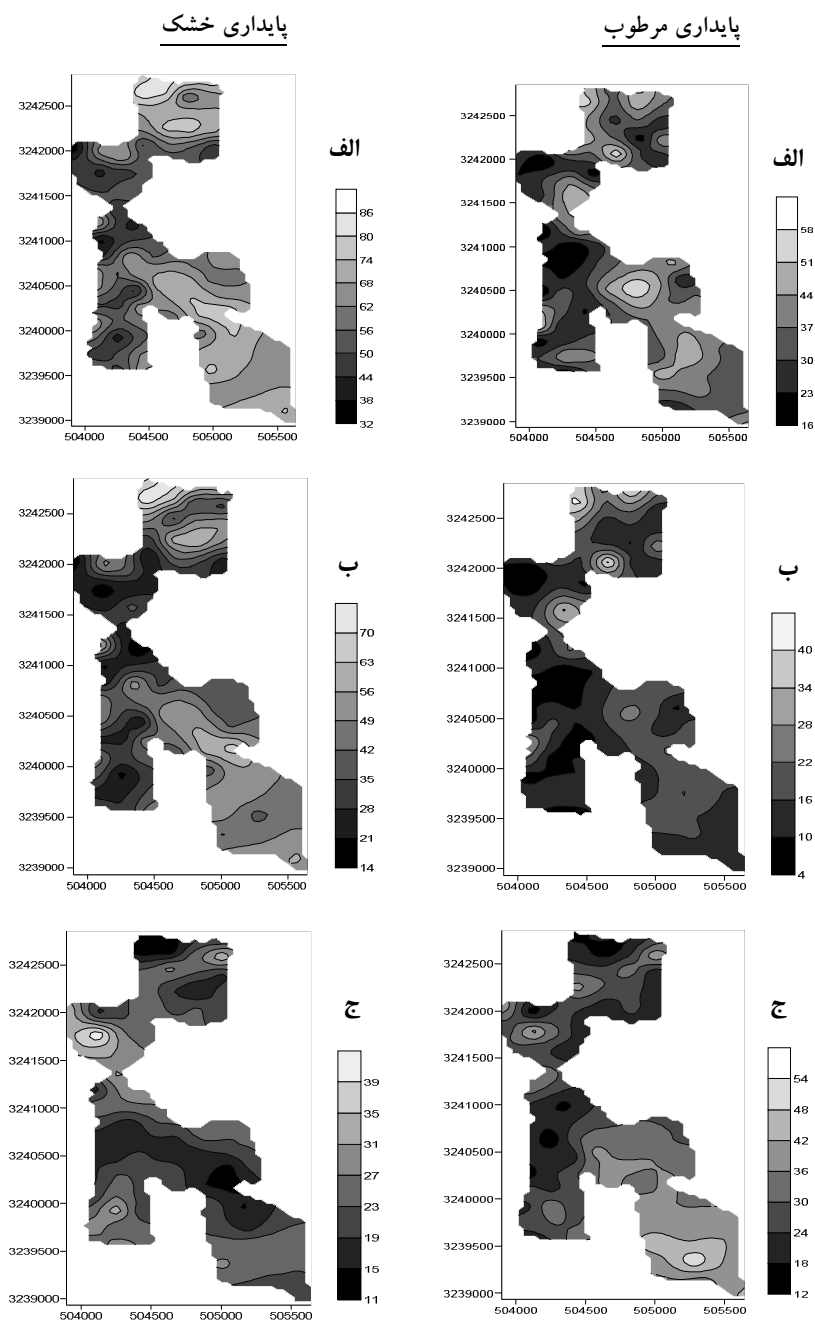
بررسی پایداری خاکدانه‌های منطقه‌ی مطالعاتی نشان داد که پایداری کل خاکدانه‌ها در حالت خشک و پایداری خاکدانه‌های درشت در حالت مرطوب، به ترتیب دارای کم‌ترین و بیش‌ترین ضریب تغییرپذیری بودند. بین مقدار ماده‌ی آلی موجود در کاربری‌های مختلف منطقه با میزان پایداری خاکدانه‌ها ارتباط وجود داشته، به طوری که بیش‌ترین درصد پایداری خاکدانه‌ها در موقعیت‌های شمال و جنوب‌شرقی منطقه‌ی مطالعاتی که بیش‌ترین مقدار ماده‌ی آلی را به خود اختصاص داده بودند، دیده شد. هم‌چنین، ترسیم نقشه‌های کریجینگ متغیرهای مطالعاتی و محاسبه‌ی صحت عمومی حاصل از تقاطع آن‌ها نشان داد که در هر دو روش خشک و مرطوب، میزان همخوانی نقشه‌ی کریجینگ پایداری خاکدانه‌های درشت با نقشه‌ی کریجینگ پایداری کل خاکدانه‌ها بیشتر بوده است؛ لیکن شکسته شدن خاکدانه‌های درشت در روش الک تر و تبدیل آن‌ها به خاکدانه‌های ریز، موجب افزایش درصد صحت عمومی محاسبه‌شده

شکل 3 نقشه‌های کریجینگ ترسیم‌شده برای شاخص پایداری خاکدانه‌ها را در دو روش الک خشک و تر نشان می‌دهد. نگاه کلی به این نقشه‌ها بیانگر آن است که اگرچه مقدار و الگوی تغییرات مکانی شاخص AS در دو روش الک خشک و تر با هم متفاوت است؛ لیکن بیش‌ترین درصد پایداری خاکدانه‌ها در جنوب‌شرقی منطقه‌با کاربری زراعی و شمال منطقه با کاربری جنگل (شکل 1) دیده می‌شود. دلیل احتمالی این موضوع در زمین‌های زراعی می‌تواند وجود ماده‌ی آلی زیاد به واسطه‌ی فرایند کوددهی و در نتیجه تأثیر آن بر میزان خاکدانه‌سازی باشد. علاوه بر آن، ریزتر بودن بافت خاک در این کاربری (کلاس بافتی لوم‌رسی) نسبت به دو کاربری دیگر (کلاس بافتی لوم شنی) تا حدودی می‌تواند از تجزیه‌ی سریع ماده‌ی آلی موجود در خاک جلوگیری کند. از سوی دیگر، در کاربری جنگل به دلیل این که ورودی ماده‌ی آلی به‌طور طبیعی زیاد است (14)، فرایند خاکدانه‌سازی و به تبع آن، میزان پایداری خاکدانه‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. ملائی و همکاران (31) به ارزیابی پایداری ساختمان خاک به روش الک تر در اراضی مرتعی اصفهان پرداختند و بیان کردند که از بین ویژگی‌های ذاتی خاک، مقدار ماده‌ی آلی بیش‌ترین نقش را در پایداری خاکدانه‌ها داشته است. کریمی و همکاران (22) بیان کردند که شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در کاربری باغ، بیشتر از دیگر کاربری‌های موجود در منطقه‌ی مطالعاتی آن‌ها بود. ایشان دلیل این موضوع را زیاد بودن مقدار ماده‌ی آلی در خاک باغ دانستند که باعث خاکدانه‌سازی شده است. آن و همکاران (3) نیز اظهار داشتند که شاخص AS در خاک‌های تحت کاربری جنگل، بالاتر از کاربری‌های کشاورزی و زمین‌های آیش است. هم‌چنین، فوکوم و همکاران (15) با ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها در دو کاربری جنگل و زراعی بیان داشتند که پایداری خاکدانه‌ها در کاربری جنگل، بسیار قوی‌تر از کاربری زراعی می‌باشد.

به‌منظور فهم میزان مشابهت الگوی تغییرپذیری پایداری خاکدانه‌های درشت و ریز با ساختار مکانی ترسیم‌شده برای پایداری کل خاکدانه‌ها در دو روش الک خشک و تر، پس از روی هم‌اندازی این نقشه‌ها و تدوین ماتریس‌های خطای مربوط به هر حالت، صحت عمومی (OA) آن‌ها محاسبه شد (جدول 3). نتایج جدول 3 نشانگر آن است که درصد صحت عمومی حاصل از تقاطع دو نقشه‌ی پایداری خاکدانه‌های درشت با کل خاکدانه‌ها در حالت خشک ($OA=51/75\%$)، بیشتر از حالت مرطوب ($OA=32/17\%$) بود. به نظر می‌رسد که حساس بودن خاکدانه‌های درشت به تنش‌های اعمال‌شده و این که خاکدانه‌ها در روش الک تر علاوه بر تنش‌های مربوط به حرکت مکانیکی الک‌ها، تحت تأثیر تنش‌های ناشی از انرژی آب نیز می‌باشند؛ باعث شده که هم‌خوانی دو نقشه‌ی مذکور در حالت مرطوب کمتر شود. هم‌چنین، شکسته شدن خاکدانه‌های درشت در روش الک

خاکدانه از سوی دیگر، می‌توان نتیجه گرفت که تمامی فعالیت‌های بشری که در کاهش و یا حذف مواد آلی از خاک نقش دارند (مانند چرا، جنگل‌تراشی و کشت‌های متراکم) می‌توانند باعث کاهش پایداری خاک و خاکدانه و در نهایت به‌خطر انداختن زندگی بشر در آینده‌ی نزدیک شوند.

برای تقاطع نقشه‌های کریجینگ کل خاکدانه‌ها و خاکدانه‌های ریزشده است. در هر حال، نتایج این پژوهش نشان داد که پایداری خاکدانه‌ها (اعم از خاکدانه‌های درشت و ریز) به تنش‌های اعمال‌شده بر آن‌ها بستگی زیادی دارد. با توجه به اثر تشکیل خاکدانه بر چرخه‌ی عناصر غذایی، جذب، ذخیره و حرکت آب و سایر خصوصیات خاکی مؤثر بر رشد گیاه و کشاورزی پایدار از یک‌سو و اثر مواد آلی بر تشکیل



شکل 3- نقشه‌های کریجینگ مربوط به شاخص AS در دو روش خشک و مرطوب (الف: کل خاکدانه‌ها، ب: خاکدانه‌های درشت، ج: خاکدانه‌های ریز)

Figure 3-Kriging maps related to AS index in both dry and wet methods (A: Total aggregates, B: Macro-aggregates, C: Micro-aggregates)

- 1- Afandi T., Manik K., Rosadi B., Utomo M., Senge M., Adachi T., and Oki Y. 2003. Soil physical properties under coffee trees with different weed managements in a hilly humid tropical area of Lampung, south Sumatra, Indonesia. *Journal of Japanese Society of Soil Physics*, 92: 3-16.
- 2- Amezketta E. 1999. Soil aggregate stability: a review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14: 83-151.
- 3- 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.
- 4- Bach E.M., and Hofmockel K.S. 2014. Soil aggregate isolation method affects measures of intra-aggregate extracellular enzyme activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 69: 54-62.
- 5- 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.
- 6- 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.
- 7- Bronick C.J., and Lal R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124: 3-22.
- 8- Carter M. R., Angers D. A., and Kunelius H. T. 1994. Soil structural form and stability and organic matter under cool-season perennial grasses. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 1194-1199.
- 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- Diaz-Zorita M., Perfect E., and Grove J.H. 2002. Disruptive methods for assessing soil structure. *Soil and Tillage Research*, 64: 3-22.
- 11- Duiker S.W., Rhoton F.E., Torrent J., Smeck N.E., and Lal R., 2003. Iron (hydr) oxide crystallinity effects on soil aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 606- 611.
- 12- Efron B., and Stein C. 1981. The jackknife estimate of variance. *The Annals of Statistics*, 9 (3): 586-596.
- 13- Ekhtesasi M. R., and Azimzadeh H. R. 2012. Investigation on the dry and wet sieving soil granulometry indices and its application in water and wind erosion studies (Case study: Yazd plain). *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 2(2): 1-9.
- 14- Emadodin I., Reiss S., and Bork, R.H. 2009. A study of the relationship between land management and soil aggregate stability (case study near Albersdorf, northern-Germany). *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 4: 48-53.
- 15- Fokom R., Adamou S., Teugwa M.C., Begoude Boyogueno A.D., Nana W.L., Ngonkeu M.E.L., Tchameni N.S., Nwaga D., Tsala Ndzomo G., and Amvam Zollo P.H. 2012. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. *Soil and Tillage Research*, 120: 69-75.
- 16- Goovaerts P. 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, 228: 113-129.
- 17- Herrick J.E., Whitford W.G., De Soyza A.G., Van Zee J.W., Havstad K.M., Seybold C.A., Walton M. 2001. Field soil aggregate stability kit for soil quality and rangeland health evaluations. *Catena*, 44 (1): 27-35.
- 18- 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.
- 19- 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.
- 20- Husnjak S., and Hengle T. 2006. Evaluation adequacy and usability of soil maps in Croatia. *Soil Science Society of America Journal*, 70: 920- 929.
- 21- John B., Yamashita T., Ludwig B., and Flessa H. 2005. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma*, 128: 63-79.
- 22- Karimi R., Salehi M.H., and Mosleh Z. 2015. Effect of land use change on some carbon components in bulk soil and aggregates in Safashahr area, Fars province. *Journal of Soil Management and Sustainable*, 5(1): 1- 14.
- 23- Kemper W.D., and Rosenau K. 1986. Size distribution of aggregates. P. 425-442. In: Klute, A. (ed), *Methods of Soil Analysis: Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- 24- Legros J.P. 1996. *Mapping of the Soil* (In English. 2006. Translated by Sarma). V.A.K. Science Publishers, Enfield.
- 25- 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(3-4): 251- 259.

- 26- Ludwig B., Andruschkewitsch R., Geisseler D., Koch H.J. 2013. Effects of tillage on contents of organic carbon, nitrogen, water-stable aggregates and light fraction for four different long-term trials. *Geoderma*, 192: 368–377.
- 27- Ma R., Cai Ch., Li Zh., Wang J., Xiao T., Peng G., and Yang W. 2015. Evaluation of soil aggregate microstructure and stability under wetting and drying cycles in two Ultisols using synchrotron-based X-ray micro-computed tomography. *Soil and Tillage Research*, 149: 1–11.
- 28- Mahmoodabadi M. 2011. Effect of different organic matter on aggregate stability when changes in different size classes. *Watershed Research*, 93: 1-9. (in Persian).
- 29- Mahmoodzadeh H., Sheklabadi M., and Mahboubi A.A. 2012. Aggregate distribution and stability in different Land Uses of Zrebar Lake Margin. *Journal of Water and Soil Conservation*, 19(2): 1-8. (in Persian).
- 30- Mohammadi J. 2006. *Pedometrics*, Volume II (Spatial statistics) .Pelk Publishers, Tehran.
- 31- Mollae M., Boshra H., Basiri M., and Mosaddeghi M.R. 2014. Assessment of structural stability wet sieving pasture in some places Esfahan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, 70: 1-12.
- 32- Pannatier Y. 1996. *VARIOWIN: Software for Spatial Data Analysis in 2D*. Springer Verlag, New York.
- 33- Park H.M. 2008. *Univariate analysis and normality test using SAS, Stata, and SPSS*. A Working Paper of University Information Technology Services (UITS) Center for Statistical and Mathematical Computing, Indiana University, 41 p.
- 34- Robinson T.P., and Metternicht G. 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computer and Electronics in Agriculture*, 50: 97-108.
- 35- Rossiter D.G. 2000. *Methodology for Soil Resource Inventories*, 2nd Revised Version, Soil Science Division, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC), P.132.
- 36- Salehi M.H., Hashemi Beni O., Beigi Harchegani H., Esfandiarpour Borujeni I. and Motaghian H.R. 2011. Refining soil organic matter determination by loss-on-ignition. *Pedosphere*, 21(4): 473-482.
- 37- Schloeder C.A., Zimmerman N.E., and Jacobs M.J. 2001. Comparison of methods for interpolating soil properties using limited data. *Soil Science Society of America Journal*, 65: 470- 479.
- 38- 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. *Journal of Geochemical Exploration*, 129: 45-51.
- 39- Wang J.G., Yang W., Yu B., Li Zh.X., Cai Ch.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.
- 40- Webster R., and Oliver M.A. 2001. *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley and Sons Ltd., Chichester, UK.
- 41- 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.
- 42- 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 Journal*, 438: 218-224.
- 43- Yazdanpanah N., and Homaunfar F. 2010. Estimation of aggregate stability in both dry and wet methods by the use of different plant residues. The Second General Conference on Integrated Water Resource Management. 9-10 Feb. Shahid Bahonar University of Kerman, P. 1-7 (in Persian).

Use of Geostatistical Method to Determine the Most Effective Aggregate Component for Estimating Soil Structural Stability

S. Bardsirizadeh¹ - I. Esfandiarpour Borujeni^{2*} - A.A. Besalatpour³ - P. Abbaszadeh Dehaji⁴

Received: 03-05-2016

Accepted: 01-08-2016

Introduction: Aggregate, as the basic unit of soil structure, represents a collection of primary particles which their adherence to each other is more than their connection to environ soil particles. Aggregate stability is a highly complex parameter influencing a wide range of soil properties, including carbon stabilization, soil porosity, water infiltration, aeration, compatibility, water retention, hydraulic conductivity and resistance to erosion by water and overland flows. Maintaining high stability of soil aggregate is essential for preserving soil productivity, minimizing soil erosion and degradation and thus minimizing environmental pollution as well. Nevertheless, aggregate stability is described as one of the soil properties that can serve as an indicator of soil quality. The main purpose of this study is to determine the most important component of soil aggregate (macro and/or micro) in estimating the soil structural stability in the Rabor region, Kerman province, using geostatistical method.

Materials and Methods: Ninety surface soil samples (0 to 10 cm) were taken on a 200 m square sampling grid in the study area for the geostatistical studies. After air drying the soil samples and passing them through a 4 mm sieve, the percentage of aggregates belong to three parts of total, macro, and micro classes and aggregate stability were calculated in both dry and wet conditions. Some stability indices were calculated and their spatial variabilities were investigated using two variography and estimation stages methods. Finally, the kriged map of each aggregate stability indicator was produced. To determine the compatibility of kriged maps of the soil aggregates stability indices calculated for the macro and micro aggregates with aggregates stability index (i.e., AS index) calculated for the total aggregates, the overall accuracy related to each aggregate component (i.e., macro and micro) was calculated after creating an error matrix.

Results and Discussion: The results showed that total aggregate stability in the dry condition and macro aggregate stability in the wet condition had the lowest and highest coefficients of variability, respectively. The highest percentage of total aggregate stability (i.e., 89.90 %) was observed in the north and southeast positions of the study area in the dry condition which had the highest amount of organic matter (i.e., 2.30 %). Also, the variograms of all investigated variables were exponentially and their ranges were varied between 380 to 450 m. Although the obtained ranges were different, a sampling distance more or less equal to 420 m is reasonable to study the most of the variables in the area. This can be a good indicator to decrease the sampling tasks for monitoring of these parameters in future. An overall look at the obtained root mean square standardized error (RMSSE) values indicated a high correlation between the measured and estimated values of all investigated variables (except for macro aggregate stability in the wet condition). However, all variables had a strong spatial correlation class. The percentage of overall accuracy obtained from crossing the total and macro aggregate kriged maps in the dry condition (i.e., 51.75 %), was more than its percentage for similar maps in the wet condition (i.e., 32.17 %). In return, the percentage of overall accuracy obtained from crossing the total and micro aggregate kriged maps in the wet condition (i.e., 17.31 %) was greater than its percentage for the mentioned maps in the dry condition (i.e., 10.93 %). Because of macro aggregate sensitivities to the amount of pressure imposed on them (as in the wet sieving method, the aggregates are under pressure caused by water energy in addition to tensions related to mechanical motion of sieving), the conformities of above two mentioned maps were less than those in the dry sieving method.

Conclusions: In general, the soil aggregates stability depends strongly on the amount of pressure imposed on them. Besides, the study of spatial variability of macro and micro aggregate stabilities and relative effects of each on the soil structure stability can be useful for choosing proper land management activities in future studies. According to the effect of aggregation on nutrient cycling, capture, storage and water movement, and also other soil characteristics affecting plant growth and sustainable agriculture on one hand, and the effect of organic matter on aggregation on the other hand, it can be concluded that all human activities that have a role in reducing

1, 2, 3 and 4- M.Sc Student, Associate Professor and Assistant Professors of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan

(* - Corresponding Author Email: esfandiarpour@vru.ac.ir)

or removing organic matter from the soil (e.g., grazing, deforestation, and intensive cultivation etc.) may reduce soil aggregate stability and finally can jeopardize human life in a near future.

Keywords: Aggregate stability, Error matrix, Land use, Kriging