

ارزیابی زمین‌آماری پایداری خاکدانه‌ها و نسبت جذبی سدیم در خاک‌های متأثر از نمک اطراف دریاچه ارومیه

شکراله اصغری^{۱*} - محمود شهبابی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۲۵

چکیده

این پژوهش به منظور برآورد تغییرات توزیع مکانی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و نسبت جذبی سدیم (SAR) در خاک‌های متأثر از نمک اطراف دریاچه ارومیه اجرا گردید. نمونه‌های خاک از دو کاربری کشاورزی (۴۹ نمونه) و بایر (۵۱ نمونه) به هم چسبیده (۸۰ ha) برای اندازه‌گیری شن، سیلت، رس، کربن آلی، اسیدیته، آهک، هدایت الکتریکی (EC)، SAR و MWD به صورت شبکه‌های منظم ۱۰۰×۱۰۰ m در بخش شندآباد منطقه شبستر برداشته شد. از روش‌های درون‌یابی کریجینگ معمولی (OK) و وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) برای تحلیل تغییرات مکانی متغیرهای خاک استفاده گردید. متغیرهای کربن آلی و EC به ترتیب از کمترین (۶۶۰ m) و بیشترین (۱۹۸۷ m) دامنه تأثیر برخوردار بودند. وابستگی‌های مکانی قوی و متوسط به ترتیب برای SAR با دامنه تأثیر ۱۹۰۳ m و MWD با دامنه تأثیر ۱۶۱۴ m به دست آمد. مدل نیم‌تغییرنمای گوسی برای SAR و MWD برازش گردید. بهترین تخمین براساس ضریب تطابق (CCC) با روش OK برای SAR (۰/۳۸۲) و با روش IDW توان ۲ برای MWD (۰/۳۲۵) انجام گرفت. نقشه‌های توزیع مکانی نشان داد که از کاربری کشاورزی به سمت کاربری بایر به دلیل نزدیک شدن به رسوبات دریاچه، مقادیر SAR، EC، اسیدیته، آهک و رس افزایش ولی شن، کربن آلی و MWD کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: اراضی کشاورزی، تغییرات مکانی، خاک‌های شور و سدیمی، شبستر، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

مقدمه

کشاورزی و بیابانی شدن متعاقب آن‌ها، جان شش میلیون نفر از ساکنان منطقه را به طور مستقیم و غیر مستقیم تهدید می‌کند (۱۲). وبستر (۲۵) نشان داد که خصوصیات خاک معمولاً دارای وابستگی مکانی هستند. نمونه‌های خاک نزدیک به هم در مقایسه با نمونه‌های دور از هم، دارای خصوصیات مشابهی هستند. اطلاعات مربوط به تغییرات مکانی خصوصیات خاک از نظر به‌کارگیری روش‌های مدیریتی خاک در محل، اهمیت فراوان دارد. اردهان‌اوغلو و همکاران (۳) الگوی توزیع مکانی درصد سدیم تبادل (ESP)، هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته (pH) عصاره ۱ به ۲/۵ را در خاک‌های متأثر از نمک دشت ایگدیر ترکیه مطالعه نمودند. در پژوهش آن‌ها مدل کروی برای نیم‌تغییرنمای ESP، مدل نمایی برای نیم‌تغییرنمای EC و مدل خطی برای نیم‌تغییرنمای pH برازش داده شد. همچنین الگوی توزیع مکانی ESP و EC در منطقه مورد مطالعه مشابه هم بود. شنگ و همکاران (۲۳) به منظور تهیه نقشه رقومی خاک‌های متأثر از نمک واقع در مناطق بیابانی چین با وسعت ۵۲۵ کیلومتر مربع، از سه شاخص بافت خاک، طبقه‌بندی بافتی و مقدار کل شوری خاک در ۲۰۵ پروفیل‌خاک استفاده نمودند. آن‌ها بیان داشتند این

خاک‌هایی که نمک‌های محلول در آن‌ها رشد گیاهان را به مخاطره می‌اندازد خاک‌های متأثر از نمک نامیده می‌شوند. این گروه از خاک‌ها شامل خاک‌های شور، خاک‌های سدیمی و خاک‌های شور-سدیمی بوده و در مناطق آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک جهان بسیار شایع هستند (۲۲). دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب کشور ایران، دومین دریاچه شور جهان با مساحت ۵۸۲۲ کیلومتر مربع است. بحران خشکسالی پیش آمده در طی سال‌های اخیر باعث کم شدن حجم آب این دریاچه گردیده است. طوفان‌های نمکی برخاسته از املاح بستر دریاچه خشک شده موجب گسترش خاک‌های شور در اراضی کشاورزی حاشیه دریاچه گردیده است. شور شدن اراضی

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

*- نویسنده مسئول: (Email: shokrollah.asghari@gmail.com)

۲- دانش‌آموخته دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

DOI: 10.22067/jsw.v32i4.72257

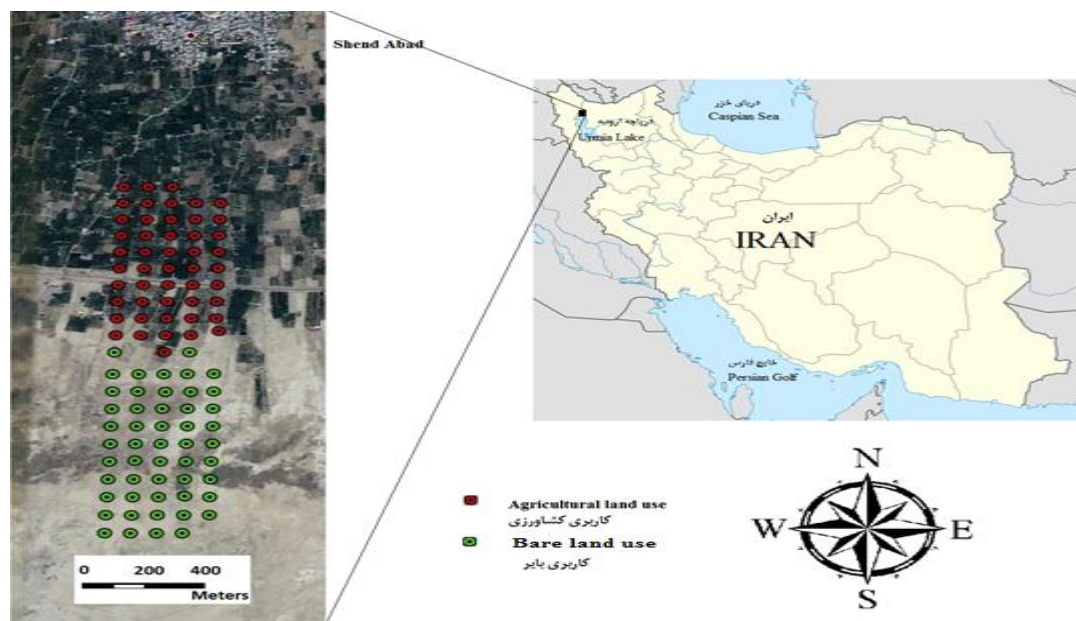
سدیم با سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه مورد مطالعه. (۳) تعیین پارامترهای نیم‌تغییرنا مثل مدل نیم‌تغییرنا، کلاس همبستگی مکانی و دامنه تأثیر متغیرهای خاک. (۴) مقایسه دقت روش‌های کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله در درون‌یابی متغیرهای خاک.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شمال غرب دریاچه ارومیه واقع در محدوده اراضی کشاورزی شهر شندآباد با فاصله حدود ۱۵ کیلومتر از شهرستان شبستر و چسپیده به اراضی بایر حاشیه خشکیده بستر دریاچه ارومیه (مختصات جغرافیایی ۴۵ درجه و ۳۶ دقیقه و ۳۴ ثانیه تا ۴۵ درجه و ۳۶ دقیقه و ۳۸ ثانیه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۷ دقیقه و ۴۲ ثانیه عرض شمالی) اجرا گردید (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای سرد و نیمه‌خشک است. بیشینه، کمینه و میانگین دمای سالانه در این منطقه به ترتیب ۳۳، ۵- و ۱۲ درجه سلسیوس، میانگین بارندگی سالانه ۲۸۵ میلی‌متر و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۰۰ متر است. اراضی واقع در این منطقه به دلیل نزدیکی به دریاچه ارومیه، در معرض تهدید طوفان‌های نمکی ناشی از خشک شدن آب دریاچه قرار دارند. برای این منظور، دو کاربری چسپیده به هم به مساحت ۸۰ هکتار (۲۰۰۰×۴۰۰ m) شامل اراضی بایر و اراضی کشاورزی (غالباً زیر کشت صیفی‌جات و درختان هلو) انتخاب گردید سپس ۵۱ نمونه از کاربری بایر و ۴۹ نمونه از کاربری کشاورزی از عمق ۰ تا ۱۰ cm خاک در قالب شبکه منظم ۱۰۰×۱۰۰ (شکل ۱) با ثبت مختصات جغرافیایی هر نقطه در فروردین (کاربری بایر) و آذر (کاربری کشاورزی) سال ۱۳۹۶ برداشته شد. نمونه‌های خاک دست‌خورده (با حداقل دست‌خوردگی) پس از انتقال به آزمایشگاه هوا خشک گردیده و بخشی از آنها برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها جدا گردید و بخش باقی‌مانده پس از خرد شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (۱۸)، آهک به روش تیتراسیون با اسیدکلریدریک و سود (۲۰)، اسیدیته (pH) در گل اشباع، هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذبی سدیم (SAR) در عصاره ۱ به ۲/۵ (۷ و ۱۲)، توزیع اندازه ذرات شن، سیلت و رس به روش هیدرومتری ۴ قرائته (۱۱)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در خاکدانه‌های کوچکتر از ۴/۷۵ mm به روش الک تر با الک‌های به قطر سوراخ ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۰۶ mm (۲۸) اندازه‌گیری شد.

نوع نقشه‌ها در مقایسه با روش‌های سنتی دارای مزیت‌هایی از قبیل سریع، هدفمند، کمی و آسان بودن و دارای قابلیت بروزرسانی هستند. نتایج پژوهش فروغی‌فر و همکاران (۸) در دشت تبریز نشان داد آهک فاقد وابستگی مکانی، کربن آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD)، جرم مخصوص ظاهری، سیلت و شن دارای وابستگی مکانی متوسط و pH، EC، نسبت جذبی سدیم (SAR) و رس دارای وابستگی مکانی قوی هستند. اوجی و کمالی (۱۹) نتایج نقشه‌های درون‌یابی به روش کریجینگ معمولی را در اراضی پسته‌کاری منطقه هرمزآباد رفسنجان بررسی کرده و گزارش نمودند که با ریزتر شدن بافت خاک و نیز افزایش دور آبیاری از متوسط ۲۸ به ۵۲ روز، شوری خاک از سمت جنوب به طرف شمال منطقه مطالعاتی افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش دلبری و جهانی (۶) در منطقه چات استان گلستان نشان داد ESP، EC و pH از همبستگی مکانی متوسط در سطح منطقه برخوردار بوده و کمترین دامنه تأثیر برای EC (حدود ۳۰۰۰ متر) و بیشترین دامنه تأثیر برای ESP و pH (حدود ۶۰۰۰ متر) به دست آمد. رنجبر و جلالی (۲۱) بیان کردند همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ESP با رس، pH، EC، ظرفیت تبادل کاتیونی و SAR و همبستگی منفی و معنی‌دار بین ESP و سیلت در منطقه تبرک همدان یافت شد. همچنین درصد سدیم تبادلی، pH، EC، ظرفیت تبادل کاتیونی و SAR دارای همبستگی مکانی قوی ولی مقادیر رس و سیلت دارای همبستگی مکانی متوسط بودند. عنابی و همکاران (۱) تغییرات مکانی پایداری خاکدانه‌ها (MWD تر) را در ۱۱۳ نمونه خاک سطحی (۱۰-۰ cm) برداشته‌شده از یک منطقه کشاورزی (km²) در کشور تونس بررسی کردند. نتایج نشان داد مقدار متوسط MWD تر از ۰/۳۸ تا ۲/۸۰ mm در منطقه مورد مطالعه تغییر نمود همچنین پایداری خاکدانه‌ها دارای ساختار مکانی بوده و نیم‌تغییرناها در فاصله ۵ کیلومتری به سقف رسیدند.

با عنایت به اثرات منفی پراکنش نمک ناشی از خشک شدن آب دریاچه ارومیه بر کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه، لزوم مطالعه اثرات شوری و سدیمی شدن بر تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت خاک و بررسی همبستگی بین این ویژگی‌ها به طور جد احساس می‌گردد که با برنامه‌های دولت محترم در ستاد احیای دریاچه ارومیه نیز مطابقت دارد. فرض بر آن است که روند تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک، در اراضی با کاربری بایر و کشاورزی و نیز با فاصله گرفتن از بستر خشک شده دریاچه به دلیل تفاوت در غلظت املاح یکسان نخواهد بود. بنابراین اهداف این پژوهش عبارتند از: (۱) تهیه نقشه توزیع مکانی پایداری خاکدانه‌ها و نسبت جذبی سدیم در کاربری‌های بایر و کشاورزی اراضی متأثر از نمک اطراف دریاچه ارومیه. (۲) بررسی همبستگی بین پایداری خاکدانه‌ها و نسبت جذبی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی نقشه‌ی توزیع نقاط نمونه‌برداری در تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه
Figure 1- Geographic position and distribution map of sampled points in satellite image of the studied area

انتخاب گردید. روش‌های مختلفی در برآورد متغیرهای مکانی وجود دارد که تفاوت عمده آن‌ها در محاسبه اوزان است که به نقاط اندازه‌گیری شده واقع در همسایگی نقطه مورد تخمین می‌دهند. در این پژوهش از روش‌های درون‌یابی OK و IDW (توان ۱ و ۲) جهت بررسی تغییرات مکانی متغیرها استفاده شد. نقشه تغییرات مکانی متغیرهای خاک با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 9.3 رسم گردید.

به منظور ارزیابی و انتخاب بهترین روش درون‌یابی از معیارهای ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطا (ME) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) استفاده گردید (۱۴). همچنین ضریب تطابق^۱ (CCC) به منظور ارزیابی میزان مطابقت مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده MWD و SAR از رابطه زیر محاسبه گردید (۱۵):

$$\rho_c = \frac{2\rho\sigma_x\sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + (\mu_x - \mu_y)^2} \quad (2)$$

که در آن ρ_c ضریب تطابق (CCC) برآورد شده، ρ ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده متغیر، σ_x و σ_y به ترتیب واریانس مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده متغیر، μ_x و μ_y به ترتیب میانگین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده متغیر می‌باشد. آماره CCC میزاند رجه‌ای را نشان می‌دهد که جفت مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده متغیر در اطراف خط ۴۵ درجه از مبدأ قرار می‌گیرند. در حقیقت، ضریب تبیین (R^2) میزان دقت و RMSE

پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگوروف - اسمیرنوف، پارامترهای آمار کلاسیک و ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 16 محاسبه گردید. تجزیه‌های نیم تغییرنا و درون‌یابی به روش‌های کریجینگ معمولی (OK) و وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) برای ارزیابی توزیع تغییرات مکانی خصوصیات فیزیکوشیمیایی مورد مطالعه، MWD و SAR با استفاده از نرم افزار GS^+ (۱۰) انجام گرفت. نیم‌تغییرنا می‌تواند تجربی تابعی است که به صورت زیر محاسبه می‌شود (۹):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

که در آن $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته در محاسبه که در فاصله h از یکدیگر قرار دارند، $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر و $Z(x_i + h)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر که به فاصله h از $Z(x_i)$ قرار دارد می‌باشد.

هر نیم تغییرنا از سه پارامتر اثر قطعه‌ای، دامنه تأثیر و حد آستانه یا سقف تشکیل شده است. مقدار نیم‌تغییرنا به ازای $h=0$ را اثر قطعه‌ای می‌گویند که معمولاً ناشی از وجود مؤلفه‌های تصادفی در توزیع متغیر، خطاهای نمونه‌برداری، آماده‌سازی، آزمایشگاهی و آنالیز است. با افزایش h مقدار نیم تغییرنا تا فاصله معینی اضافه شده سپس به حد ثابتی می‌رسد که این فاصله را دامنه تأثیر و مقدار نیم تغییرنا که ثابت شده را حد آستانه گویند (۱۴). بهترین مدل برازش یافته (گوسی، کروی، نمایی و خطی) با در نظر گرفتن کمترین مجموع مربعات باقی‌مانده (RSS) و بیشترین ضریب تبیین (R^2)

1- Concordance correlation coefficient

بایر، کربن آلی، EC و SAR در هر دو کاربری منطقه مورد مطالعه بالا بود. تغییرات بالای این متغیرها را می‌توان به روش‌های مدیریتی اعمال شده از قبیل استفاده از مالچ شن و سنگریزه، افزودن کود دامی و نیز نوع گیاه کشت شده در کاربری کشاورزی در مقایسه با کاربری بایر نسبت داد. مقادیر بالای CV برای کربن آلی (۹۹ درصد) و رس (۴۳ درصد) در دشت تبریز (۸) و نیز برای کربن آلی (۷۱ درصد) و MWD (۷۴ درصد) در اراضی آبرفتی اطراف شهر کرد (۱۶) گزارش شده است. براساس مثلث بافت امریکایی، خاک‌های مورد مطالعه دارای کلاس بافت لوم سیلتی (n=۲۲)، لوم (n=۱۳)، لوم رسی سیلتی (n=۷)، رسی سیلتی (n=۷) و رسی (n=۲) در کاربری بایر و نیز لوم شنی (n=۳۹)، لوم (n=۷) و شن لومی (n=۳) در کاربری کشاورزی بودند. بنابراین خاک‌های واقع در کاربری کشاورزی به علت قرارگیری در دشت دامنه‌ای مشرف به کوه میشو داغ و نیز کاربرد مالچ شن و سنگریزه توسط کشاورزان محلی، عمدتاً درشت‌بافت بوده در حالی که خاک‌های کاربری بایر به دلیل متأثر شدن از رسوبات دریاچه ارومیه، عمدتاً ریزبافت هستند.

میزان صحت روش درون‌یابی را نشان می‌دهد در حالی که CCC ترکیبی از صحت و دقت پیش‌بینی یک متغیر را از طریق ارزیابی میزان مطابقت با خط ۴۵ درجه در نظر می‌گیرد. هرچه میزان CCC به یک نزدیک‌تر باشد صحت و دقت درون‌یابی متغیر بالاتر است (۵).

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی متغیرهای اندازه‌گیری شده در خاک

توصیف آماری متغیرهای اندازه‌گیری شده در خاک منطقه مورد مطالعه به تفکیک کاربری بایر و کشاورزی در جدول ۱ آورده شده است.

طبقه‌بندی ویلینگ و درس (۲۶) برای ارزیابی تغییرات ویژگی‌های خاک براساس ضریب تغییرات (CV) آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت: (۱) اگر CV کوچکتر از ۱۵ درصد باشد متغیر تغییرپذیری کمی دارد، (۲) اگر CV بین ۱۵ و ۳۵ درصد باشد متغیر تغییرپذیری متوسط دارد، (۳) اگر CV بالای ۳۵ درصد باشد متغیر تغییرپذیری بالایی دارد. بنابراین مطابق جدول ۱، تغییرپذیری MWD، شن و رس در کاربری

جدول ۱- آماره‌های توصیفی متغیرهای خاک اندازه‌گیری شده در کاربری‌های بایر و کشاورزی

Table 1- Descriptive statistics of the measured soil variables in the bare (B) and agricultural (A) land uses

متغیر Variable	واحد Unit	کاربری Land use	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean	ضریب تغییرات (CV, %)
شن Sand	%	B بایر	2.62	50.12	23.71	51.68
		A کشاورزی	44.45	80.04	61.09	13.02
سیلت Silt	%	B بایر	36.24	65.91	50.91	15.47
		A کشاورزی	16.48	45.67	30.34	19.40
رس Clay	%	B بایر	7.38	51.47	25.34	50.75
		A کشاورزی	3.31	16.00	8.57	34.71
کربن آلی OC	%	B بایر	0.19	3.60	1.50	60.56
		A کشاورزی	0.09	5.07	2.08	52.69
آهک CaCO ₃	%	B بایر	20.49	35.27	29.41	12.84
		A کشاورزی	16.69	23.68	20.11	8.32
اسیدیته pH _e	-	B بایر	7.48	9.37	8.25	4.50
		A کشاورزی	6.81	8.14	7.68	3.52
هدایت الکتریکی EC _{1:2.5}	dS m ⁻¹	B بایر	0.26	9.67	2.23	104.77
		A کشاورزی	0.32	4.16	0.93	85.76
نسبت جذبی سدیم SAR _{1:2.5}	(meq l ⁻¹) ^{0.5}	B بایر	0.63	63.99	14.78	113.05
		A کشاورزی	0.53	7.83	1.15	89.71
میانگین وزنی قطر خاکدانه MWD	mm	B بایر	0.03	1.41	0.51	74.82
		A کشاورزی	0.41	1.75	0.90	33.48

OC: Organic carbon; SAR: Sodium adsorption ratio; EC: Electrical conductivity; MWD: Mean weigh diameter of aggregates. CV: Coefficient of variation. B: Bare; A: Agriculture

حالی که همبستگی مثبت ($P < 0.01$) بین MWD با شن و کربن آلی به دست آمد. همچنین همبستگی منفی ($P < 0.01$) بین SAR با شن و کربن آلی و همبستگی مثبت ($P < 0.01$) بین SAR با رس، سیلت، آهک، اسیدیته و EC یافت شد (جدول ۲). رس و آهک از عوامل سیمانی کننده ذرات خاک و خاکدانه سازی بوده در حالی که شن و سدیم از عوامل تخریب خاکدانه‌ها محسوب می‌شوند (۱۳). این نتایج با یافته‌های نبی‌الهی و همکاران (۱۷) مطابقت دارد که گزارش کردند در ۱۵۰ نمونه خاک برداشته شده از اراضی متأثر از نمک استان کردستان، بین MWD با اسیدیته، EC و SAR همبستگی منفی ($P < 0.01$) و MWD با کربن آلی همبستگی مثبت ($P < 0.01$) وجود دارد. این در حالی است که عنابی و همکاران (۱) در ۱۱۳ نمونه خاک برداشته شده از اراضی کشاورزی تونس، بین MWD با شن همبستگی منفی ($P < 0.01$) و MWD با رس همبستگی مثبت ($P < 0.01$) به دست آوردند. همبستگی مثبت MWD با شن و نیز همبستگی منفی MWD با رس در پژوهش حاضر را می‌توان به همبستگی مثبت شن با کربن آلی و همبستگی مثبت رس با SAR نسبت داد (جدول ۲). دلایل احتمالی همبستگی‌های به دست آمده بین متغیرهای ذکر شده در بالا را می‌توان به این صورت توجیه نمود که در منطقه مورد مطالعه از کاربری بایر به سمت کاربری کشاورزی به علت کاربرد مالچ سنگریزه و شن و نیز کود دامی توسط کشاورزان در اراضی زیر کشت صیفی‌جات مثل خیار، بادمجان و کدو، مقادیر شن و MWD به‌طور همزمان افزایش یافته است در حالی که از کاربری کشاورزی به سمت کاربری بایر به دلیل نزدیکی به دریاچه با افزایش رس و SAR، پایداری خاکدانه‌ها (MWD) کاهش یافته است (اشکال ۴ و ۵).

میانگین کربن آلی در کاربری کشاورزی (۲/۰۸ درصد) بیشتر از کاربری بایر (۱/۵ درصد) می‌باشد (جدول ۱) که دلیل آن را می‌توان به استفاده کشاورزان از کودهای دامی و نیز کشت گیاهان مختلف زراعی و باغی در کاربری کشاورزی نسبت داد؛ این موضوع موجب گردیده است میانگین آهک (۲۰/۱۱ درصد) و اسیدیته (۷/۶۸) در کاربری کشاورزی کوچکتر از مقادیر متوسط این متغیرها (به ترتیب ۲۹/۴۱ و ۸/۲۵ درصد) در کاربری بایر و نیز متوسط MWD در کاربری کشاورزی (۰/۹۰ mm) بزرگتر از کاربری بایر (۰/۵۱ mm) باشد (جدول ۱). بنابراین خاک منطقه مورد مطالعه همانند سایر خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران (۲ و ۸) دارای ماده آلی کم، pH قلیایی و آهکی است.

مقادیر متوسط EC و SAR (عصاره ۱ به ۲/۵) به ترتیب از 0.5 meq l^{-1} و 93 m^{-1} و $1/15$ در کاربری کشاورزی به 0.5 meq l^{-1} و $2/23$ در کاربری بایر افزایش یافت (جدول ۱) لذا براساس تقسیم‌بندی ریچارد (۲۲) خاک‌های منطقه مورد مطالعه (کاربری بایر) در گروه خاک‌های شور و سدیمی قرار می‌گیرند. البته اظهار نظر کشاورزان محلی و مشاهدات میدانی از منطقه حاکی از آن است که اراضی کاربری کشاورزی نیز به علت طوفان‌های نمکی ناشی از بستر خشک شده دریاچه ارومیه و شور شدن آب چاه‌های عمیق مورد استفاده برای آبیاری محصولات کشت شده، تدریجاً در حال شور و سدیمی شدن هستند.

ضرایب همبستگی پیرسون (r) بین متغیرهای خاک در جدول ۲ آورده شده است. به طور کلی همبستگی منفی ($P < 0.01$) بین MWD با سیلت، رس، آهک، اسیدیته، EC و SAR یافت شد در

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون (r) بین متغیرهای خاک در منطقه مورد مطالعه (n=100)
Table 2- Pearson correlation (r) between soil variables in the studied area (n=100)

متغیر Variable	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	کربن آلی OC	آهک CaCO ₃	اسیدیته pH _e	هدایت الکتریکی EC	نسبت جذبی سدیم SAR	میانگین وزنی قطر خاکدانه MWD
شن	1	0.86**	0.84**	0.43**	-0.78**	-0.66**	-0.40**	-0.60**	0.60**
سیلت		1	0.46**	-0.40**	0.80**	0.57**	0.29**	0.41**	-0.54**
رس			1	-0.33**	0.54**	0.56**	0.40**	0.62**	-0.48**
کربن آلی				1	-0.13 ^{ns}	-0.23**	-0.41**	-0.38**	0.58**
آهک					1	0.68**	0.17 ^{ns}	0.40**	-0.38**
اسیدیته						1	0.15 ^{ns}	0.56**	-0.31**
هدایت الکتریکی							1	0.61**	-0.56**
نسبت جذبی سدیم								1	-0.57**
SAR _{1:2.5}									

** و ***: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد. توصیف علائم متغیرها در زیر جدول ۱ آورده شده است

Variable symbols description is available under Table 1. *, ***: Significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک

بررسی و ندر داده‌ها از طریق ابزار تحلیل روند در تحلیل گزمین آمار Arc GIS انجام شد سپس روند موجود در جهت شمالی-جنوبی پس از برازش یک رویه درجه دوم حذف و نیم‌تغییرنمای تجربی برای همه متغیرهای مورد آزمایش در خاک منطقه مورد مطالعه تعیین گردید. بهترین مدل‌های برازش یافته نیم‌تغییرنماها براساس کمترین مجموع مربعات باقی‌مانده (RSS) و بالاترین ضریب تبیین (R²)، پارامترهای هر مدل شامل اثر قطعه‌ای، نسبت اثر قطعه‌ای به سقف، دامنه تأثیر و کلاس وابستگی مکانی برای متغیرهای خاک در جدول ۳ آورده شده است. در این مطالعه، کلاس وابستگی مکانی متغیرهای خاک براساس نسبت اثر قطعه‌ای به سقف تعیین گردید (۴): اگر این نسبت

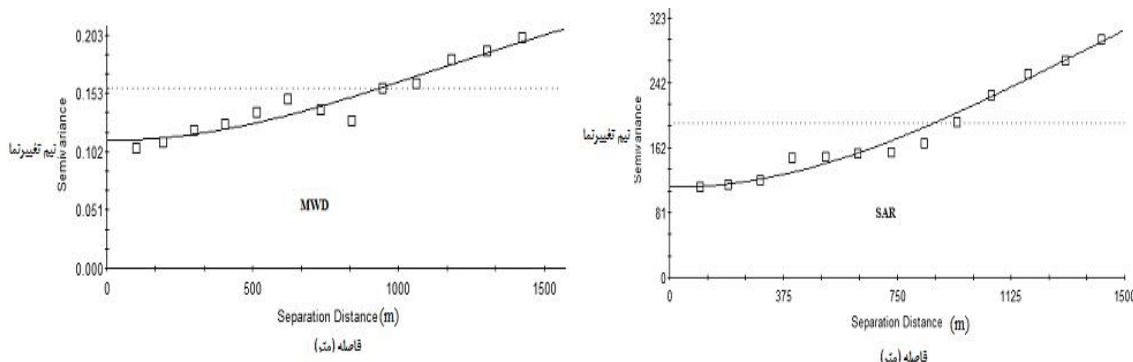
بین ۰/۲۵ و ۰/۷۵ باشد متغیر دارای وابستگی مکانی متوسط است؛ اگر این نسبت بزرگتر از ۰/۷۵ باشد متغیر دارای وابستگی مکانی ضعیف و اگر کوچکتر از ۰/۲۵ باشد متغیر دارای وابستگی مکانی قوی است. نیم‌تغییرنماهای حاصل بیانگر وجود وابستگی مکانی متوسط تا قوی برای همه متغیرهای مورد مطالعه می‌باشد (جدول ۳). مدل گوسی برای شن، رس، MWD، EC و SAR و مدل کروی برای سیلت، آهک و اسیدیته و مدل نمایی برای کربن آلی در منطقه مورد مطالعه برازش داده شد (جدول ۳). در شکل ۲، نیم‌تغییرنماهای برازش‌یافته برای MWD و SAR به عنوان نمونه نشان داده شده است.

جدول ۳- پارامترهای مدل‌های برازش شده به نیم‌تغییرنمای متغیرهای خاک

Table 3- Parameters of the models fitted to the semivariograms for soil variables

متغیر Variable	وابستگی مکانی، مدل Spatial dependence, model	دامنه تأثیر (متر) Range (m)	اثر قطعه‌ای Nugget	سقف Sill	سقف/اثر قطعه‌ای Nugget/sill	مجموع مربعات باقی‌مانده RSS	ضریب تبیین R ²
شن Sand	S، قوی G گوسی	1063	98	1048	0.09	5222	0.99
سیلت Silt	S، قوی Sph کروی	1154	1.3	225.3	0.006	1799	0.99
رس Clay	S، قوی G گوسی	1465	64	438.9	0.15	1906	0.98
کربن آلی OC	S، قوی E نمایی	660	0.1	1.05	0.1	0.34	0.23
آهک CaCO ₃	S، قوی Sph کروی	1210	0.1	46.83	0.002	236	0.94
اسیدیته pH _e	S، قوی Sph کروی	1018	0.047	0.247	0.19	0.009	0.83
هدایت الکتریکی EC _{1:2.5}	M، متوسط G گوسی	1987	2.14	9.29	0.26	2.45	0.87
نسبت جذبی سدیم SAR _{1:2.5}	S، قوی G گوسی	1903	112	534.9	0.21	1255	0.98
میانگین وزنی قطر خاکدانه MWD	M، متوسط G گوسی	1614	0.111	0.27	0.41	0.0009	0.92

Variable symbols description is available under Table 1. S: strong; M: moderate; W: weak. Sph: Spherical; G: Gaussian; E: Exponential.



شکل ۲- نیم‌تغییرنماها (نقاط) و مدل‌های برازش شده (خطوط) میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و نسبت جذبی سدیم (SAR)
Figure 2. Semivariograms (points) and fitted models (lines) of mean weight diameter of aggregates (MWD) and sodium adsorption ratio (SAR)

منطقه مورد مطالعه بودند. نقاط واقع در فواصل ماورای دامنه تأثیر، فاقد وابستگی مکانی تعریف شده هستند، دارای توزیع تصادفی بوده و مستقل رفتار می‌کنند (۹).

ارزیابی صحت روش‌های درون‌یابی

در جدول ۴ معیارهای ارزیابی صحت برآورد روش‌های درون‌یابی OK و IDW (توان وزنی ۱ و ۲) برای MWD و SAR آورده شده است. معیار میانگین خطا (ME) بیانگر متوسط خطای پیش‌بینی بوده و بیش‌برآوردی را برای MWD (هر دو روش درون‌یابی) و SAR (OK) و کم‌برآوردی را برای SAR (IDW) نشان می‌دهد. براساس آماره میانگین مطلق خطا (MAE)، در تخمین MWD بین سه روش درون‌یابی تفاوت چندانی مشهودی وجود ندارد همچنین روش IDW (توان وزنی ۱) به علت داشتن MAE کوچکتر در مقایسه با سایر روش‌های درون‌یابی از صحت نسبتاً بالایی در برآورد SAR برخوردار بوده است. معیار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) نیز گویای آن است که در برآورد MWD، روش IDW توان ۲ و در برآورد SAR روش OK به علت داشتن RMSE کوچکتر دارای صحت تخمین نسبتاً بالایی است (جدول ۴). مقادیر مثبت ME، بیش‌برآوردی و مقادیر منفی آن، کم‌برآوردی متغیر را نشان می‌دهد؛ هرچه MAE و RMSE نزدیک‌تر صفر باشند بیانگر آن است که تخمین متغیر با صحت بالاتری صورت گرفته است (۵). برای تحلیل بیشتر صحت و دقت درون‌یابی، مقادیر برآورد شده MWD و SAR در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده آن‌ها برای همه نقاط نمونه‌برداری (n=100) ترسیم گردید (شکل ۳).

در این پژوهش، شن، سیلت، رس، کربن آلی، آهک، اسیدیته و SAR به علت داشتن نسبت اثر قطعه‌ای به سقف کوچکتر از ۰/۲۵ (جدول ۳)، براساس تقسیم‌بندی کمباردلا و همکاران (۴) دارای قوی‌ترین وابستگی مکانی بودند. همبستگی مکانی متوسط برای MWD توسط محمدی و متقیان (۱۶) و همبستگی مکانی قوی برای SAR توسط رنجبر و جلالی (۲۱) نیز گزارش گردیده است. کمباردلا و همکاران (۴) بیان کردند که متغیرهای با وابستگی مکانی قوی‌تر توسط تغییرپذیری ذاتی خاک کنترل می‌شوند در حالی که متغیرهای با وابستگی مکانی ضعیف‌تر توسط عوامل بیرونی مثل روش‌های مدیریتی و خاک‌ورزی کنترل می‌شوند.

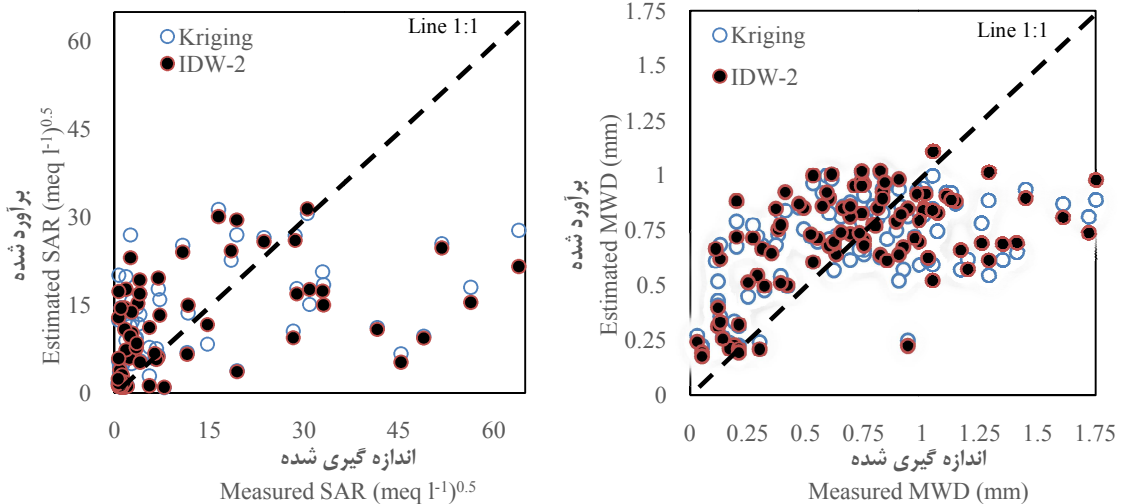
دامنه تأثیر فاصله مکانی بین نمونه‌ها است که در ماوراء آن، متغیر ناحیه‌ای در نقاط مجاور هم، تأثیر چندانی بر یکدیگر ندارند. بدیهی است که هرچه دامنه تأثیر بزرگتر باشد، ساختار مکانی گسترده‌تر است و محدوده‌ای که می‌توان از داده‌های آن برای تخمین مقادیر مجهول استفاده کرد، افزایش می‌یابد. دامنه تأثیر در تحلیل ناهمسانگردی‌های ساختاری و طراحی فاصله بهینه شبکه نمونه‌برداری کاربرد زیادی دارد (۹ و ۱۴). مقادیر دامنه تأثیر از ۶۶۰ m برای کربن آلی تا ۱۹۸۷ m برای EC در منطقه مورد مطالعه (۲۰۰×۴۰۰ m) متغیر بود (جدول ۳). کمترین دامنه تأثیر برای کربن آلی به دست آمد؛ این یافته را می‌توان به ماهیت متفاوت دو کاربری مورد مطالعه از نظر محصولات زیرکشت نسبت داد. فروغی فر و همکاران (۸) نیز برای کربن آلی، کوچکترین دامنه تأثیر (۲۲۷۰ m) را در مقایسه با سایر متغیرهای مورد مطالعه در دشت تبریز (۱۴×۷ km) گزارش کردند. دامنه تأثیر MWD کوچکتر از دامنه تأثیر (۱۹۸۷ m) EC و (۱۶۱۴ m) SAR بود (جدول ۳) بنابراین می‌توان استنباط نمود EC و SAR دارای ساختار مکانی گسترده‌تری در مقایسه با MWD در

جدول ۴- آماره‌های ارزیابی صحت برآورد متغیرهای خاک با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی

Table 4. Accuracy assessment indices for estimating soil variables using different interpolation methods

متغیر Variable	روش Method	میانگین خطا ME	میانگین مطلق خطا MAE	مجذور میانگین مربعات خطا RMSE	ضریب تطابق CCC
MWD (mm)	OK	0.005	0.269	0.339	0.279
میانگین وزنی قطر خاکدانه	IDW-1	0.010	0.263	0.335	0.299
	IDW-2	0.008	0.262	0.078	0.325
SAR (meq l ⁻¹) ^{0.5}	OK	0.067	6.51	11.19	0.382
نسبت جذبی سدیم	IDW-1	-0.495	6.33	11.32	0.332
	IDW-2	-0.347	6.46	11.48	0.351

ME: mean error; MAE: mean absolute error; RMSE: root mean square error; CCC: Concordance correlation coefficient; OK: Ordinary kriging; IDW: inverse distance weighting. Variable symbols description is available under Table 1.



شکل ۳- نمودار ۱:۱ میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و نسبت جذبی سدیم (SAR) اندازه‌گیری و برآورد شده

Figure 4. 1:1 Scatter plots of the measured and estimated mean weight diameter of aggregates (MWD) and sodium adsorption ratio (SAR)

گردید؛ در این قسمت‌ها به‌علت استفاده کشاورزان محلی از کودهای دامی و نیز مالچ‌شن و سنگریزه (برای حفظ رطوبت خاک و تسهیل جوانه‌زنی بذور صیفی‌جات)، مقادیر کربن آلی (درصد >۲) و شن (درصد >۴۰) بالا است (شکل ۴). وجود همبستگی‌های معنی‌دار ($P < 0.01$) بین MWD با شن ($r = 0.60$)، کربن آلی ($r = 0.58$) و SAR ($r = -0.57$) نیز تأییدکننده ادعاهای فوق می‌باشد (جدول ۲). با توجه به این‌که شن از عوامل کاهنده پایداری خاکدانه‌ها (۱۳) است لذا به‌نظر می‌رسد در منطقه مورد مطالعه، MWD بیشتر متأثر از کربن آلی و SAR بوده است. به‌عبارت دیگر وجود کربن آلی زیاد در کاربری کشاورزی باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها در آب و در نتیجه MWD گردیده است در حالی‌که در کاربری بایر به‌علت مقادیر بالای سدیم (SAR زیاد) نسبت به کاربری کشاورزی، از پایداری خاکدانه‌ها و MWD کاسته شده است. سدیم به‌علت پراکنش رس‌ها از عوامل مخرب خاکدانه‌سازی می‌باشد. یزدانی و همکاران (۲۷) نیز گزارش کردند در خاک‌های منطقه اصفهان با افزایش شن و گچ، MWD افزایش ولی با افزایش SAR و EC، MWD کاهش یافت.

شکل ۵ نشان می‌دهد از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه با تغییر کاربری از کشاورزی به بایر به‌علت نزدیک شدن به رسوبات دریاچه، بر میزان رس و EC افزوده شده است. روند تقریباً مشابهی در مورد تغییرات اسیدیته و آهک در منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. وجود همبستگی‌های مثبت و معنی‌دار ($P < 0.01$) بین رس با آهک ($r = 0.54$)، اسیدیته ($r = 0.56$)، EC ($r = 0.40$) و SAR ($r = 0.62$) نیز این موضوع را تأیید می‌کند (جدول ۲). مقایسه نقشه توزیع مقادیر MWD (شکل ۴) با نقشه‌های توزیع مقادیر رس و آهک (شکل ۵) و نیز همبستگی‌های آن‌ها (جدول ۲) نشان می‌دهد اگرچه رس و آهک

بالاترین مقدار ضریب تطابق (CCC) برای MWD در روش IDW توان ۲ (۰/۳۲۵) و برای SAR در روش OK (۰/۳۸۲) یافت شد (جدول ۴). این مقادیر CCC بیانگر آن است که در پهنه‌بندی MWD روش IDW توان ۲ و در پهنه‌بندی SAR روش OK از مطابقت نسبتاً خوبی حول خط ۱:۱ (۵) مابین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده متغیرهای مذکور برخوردار بوده است. اصغری و همکاران (۲) نیز گزارش کردند روش OK به‌علت داشتن CCC بالاتر (۰/۴۸) در مقایسه با روش IDW توان ۱ (۰/۲۴) و توان ۲ (۰/۲۹) در تخمین مقاومت فروریوی خاک از دقت و صحت بالاتری برخوردار بود در حالی‌که براساس آماره CCC، در پهنه‌بندی جرم مخصوص ظاهری حداکثر، روش IDW توان ۲ (۰/۰۹) دارای دقت و صحت بیشتری در مقایسه با روش OK (۰/۰۲) بود.

نقشه‌های توزیع مکانی ویژگی‌های خاک

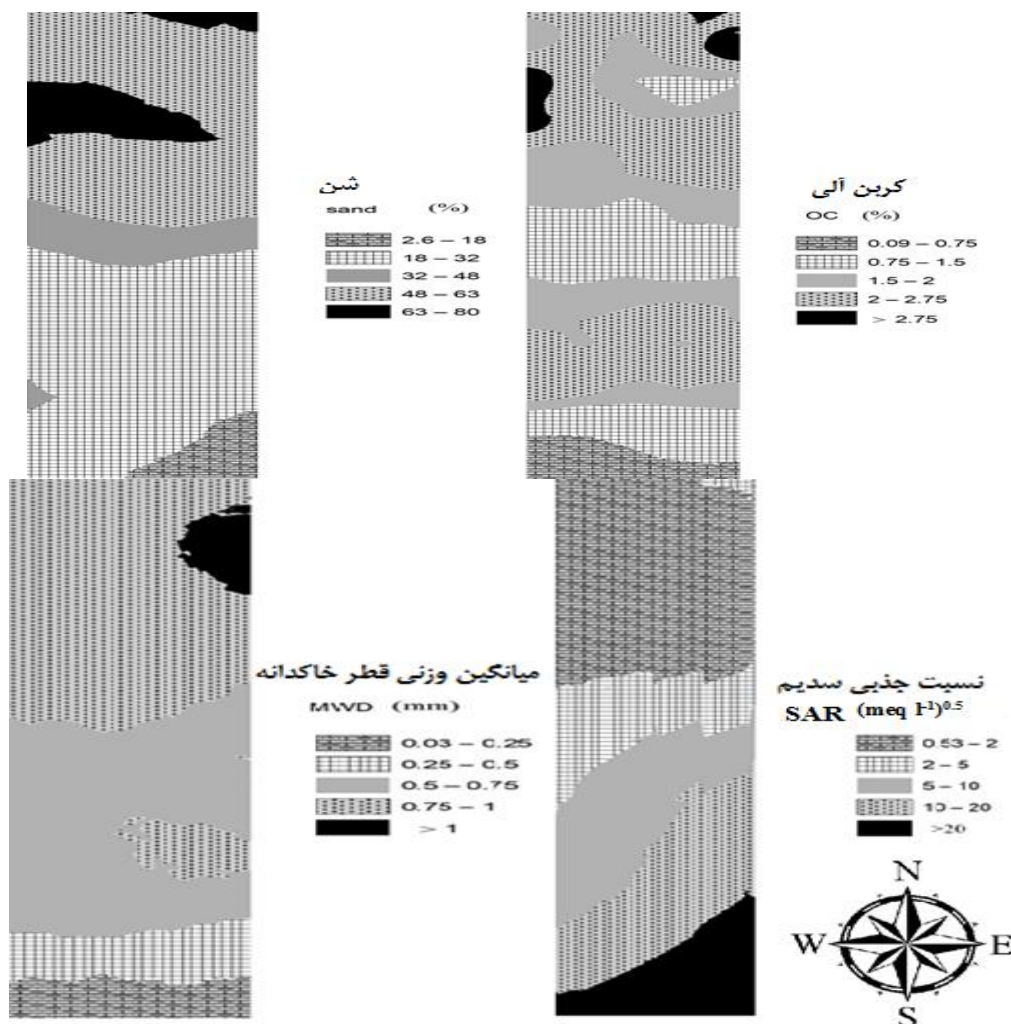
نقشه‌های توزیع مکانی شن، کربن آلی، MWD و SAR (شکل ۴) و رس، EC، اسیدیته و آهک (شکل ۵) با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS در ۵ کلاس طبقه‌بندی برای منطقه مورد مطالعه رسم گردید. شکل ۴ نشان می‌دهد که خاک‌های با SAR بالا ($(\text{meq l}^{-1})^{0.5}$) >۲۰ و MWD پایین (<۰/۲۵ mm) در بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه (کاربری بایر) و نزدیکی دریاچه واقع شده‌اند؛ در این قسمت‌ها میزان کربن آلی (درصد <۰/۷۵) و شن (درصد <۲۲) پایین بوده (شکل ۴) در حالی‌که میزان رس (درصد >۲۷) و (dS m^{-1}) >۴ EC بالا می‌باشد (شکل ۵). بیشترین مقادیر MWD (>۱ mm) در شمال شرق و نیز کمترین مقادیر SAR ($(\text{meq l}^{-1})^{0.5}$) <۲ در بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه و کاربری کشاورزی مشاهده

کربن آلی و شن همبستگی مثبت یافت شد. بین SAR با EC و رس همبستگی مثبت و با شن و کربن آلی همبستگی منفی یافت شد. متغیر SAR از وابستگی مکانی قوی و دامنه تأثیر بالا (۱۹۰۳ m) در حالی که MWD از وابستگی مکانی متوسط و دامنه تأثیر پایین (۱۶۱۴) برخوردار بود. از کاربری کشاورزی به سمت کاربری بایر و با نزدیک شدن به رسوبات دریاچه ارومیه بر میزان رس، SAR، EC، اسیدیته و آهک افزوده شده از مقدار شن و MWD کاسته شد. بنابراین به منظور برنامه‌ریزی برای کشاورزی پایدار، لازم است اقدامات مدیریتی و حفاظتی مناسب در کاربری بایر اجرا گردد. کمترین دامنه تأثیر (۶۶۰ m) برای کربن آلی در میان متغیرهای مورد مطالعه به دست آمد لذا پیشنهاد می‌شود برای صرفه‌جویی در هزینه و زمان در مطالعات بعدی، فواصل نمونه‌برداری خاک به جای ۱۰۰ متر، ۶۶۰ متر در نظر گرفته شود.

از عوامل مؤثر بر خاکدانه‌سازی هستند ولی در این پژوهش تغییرات این متغیرها در جهت عکس تغییرات MWD می‌باشد. علت این قضیه را می‌توان به همبستگی مثبت و معنی‌دار (SAR ($P < 0.01$) با رس و آهک (جدول ۲) نسبت داد. به عبارت دیگر، با افزایش رس و آهک به علت بالا رفتن سهم کاتیون سدیم در مکان‌های تبادل، از پایداری خاکدانه‌ها و در نتیجه MWD کاسته شده است. تاجیک (۲۴) نیز همبستگی منفی بین SAR و EC با پایداری خاکدانه‌ها در آب در خاک‌های برداشته شده از برخی مناطق گلستان، کرمانشاه، مازندران و آذربایجان غربی گزارش کرد.

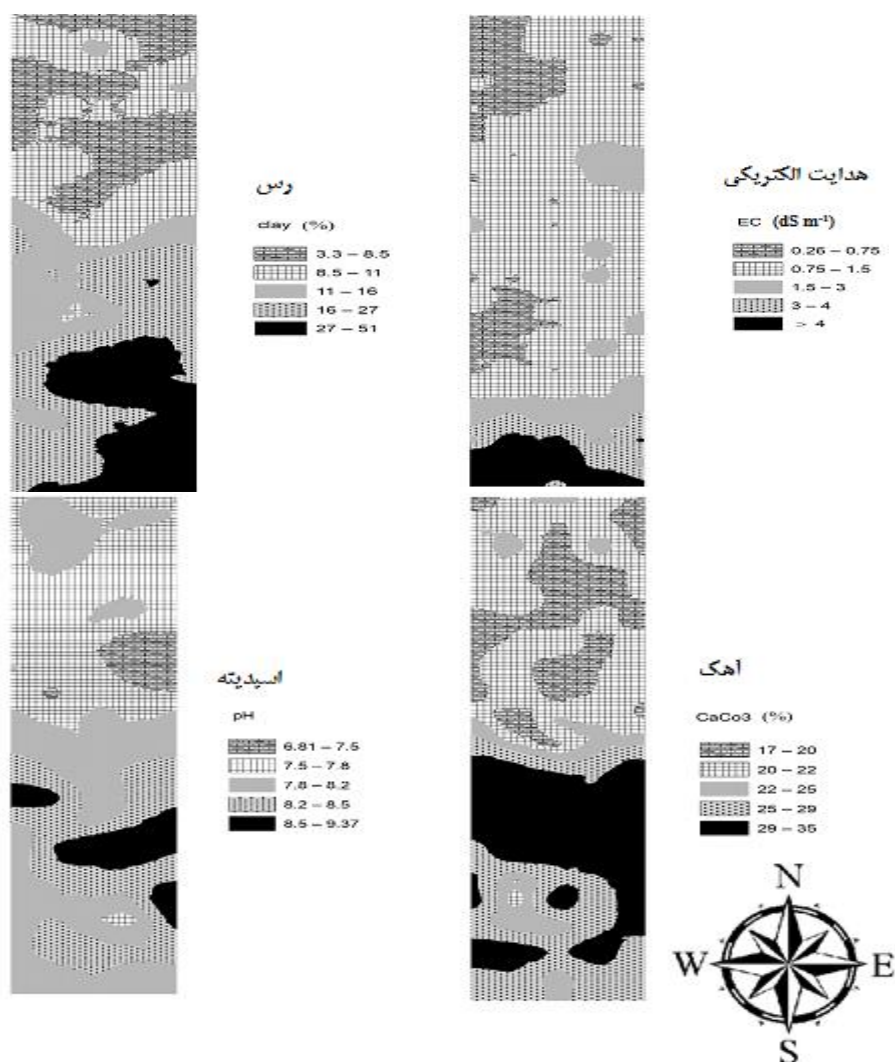
نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج CV در منطقه مورد مطالعه، تغییرپذیرترین متغیر SAR در کاربری بایر و کم‌تغییرپذیرترین متغیر اسیدیته در کاربری کشاورزی بود. بین MWD با SAR و EC همبستگی منفی و با



شکل ۴- نقشه‌های تغییرات مکانی شن، کربن آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و نسبت جذبی سدیم در منطقه مورد مطالعه

Figure 4- Spatial variability maps of sand, OC, MWD and SAR in the studied area



شکل ۵- نقشه‌های تغییرات مکانی رس، هدایت الکتریکی، اسیدیته و آهک در منطقه مورد مطالعه

Figure 5- Spatial variability maps of clay, EC, pH and CaCO₃ in the studied area

منابع

- 1- Annabi M., Raclot D., Bahri H., Bailly G.S., Gomez C., and Bissonais Y.L. 2017. Spatial variability of soil aggregate stability at the scale of an agricultural region in Tunisia. *Catena*, 153: 157-167.
- 2- Asghari Sh., Sheykhzadeh G.R., and Shahabi M. 2017. Geostatistical analysis of soil mechanical properties in Ardabil plain of Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63 (12): 1631-1643.
- 3- Ardahanlioglu O., Oztas T., Evren S., Yilmaz H., and Yildirim Z. 2003. Spatial variability of exchangeable sodium, electrical conductivity, soil pH and boron content in salt- and sodium-affected areas of the Iğdir plain (Turkey). *Journal of Arid Environments*, 54: 495-503.
- 4- Cambardella C., Moorman T., Novak J., Parkin T., Karlen D., Turco R., and Konopka A. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 1501-1510.
- 5- Dai F., Zhou Q., Lv Z., Wang X., and Liu G. 2014. Spatial prediction of soil organic matter content integrating artificial neural network and ordinary kriging in Tibetan Plateau. *Ecological Indicator*, 45: 184-194.
- 6- Delbari M., and Jahani S. 2014. Investigation of soil salinity and sodicity properties in Chat region of Golestan province. *Iranian Journal of Soil Research*, 28(2): 432-446. (In Persian)
- 7- Douaik A., Van Meirvenne M., and Toth T. 2005. Soil salinity mapping using spatio-temporal kriging and Bayesian Maximum Entropy with interval soft data. *Geoderma*, 128: 234-248.
- 8- Foroughifar H., Jafarzadah A.A., TorabiGelsefidi H., Aliasgharzadah N., Toomanian N., and Davatgar, N. 2011. Spatial variations of surface soil physical and chemical properties on different landforms of Tabriz plain. *Water and*

- Soil Science- University of Tabriz, 21(3): 1-21. (In Persian with English abstract)
- 9- Goovaerts P. 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press. Oxford.
 - 10- GS⁺5.1. 2001. Gamma Design software. Plainwell, MI, USA.
 - 11- Gee G.W., and Or D. 2002. Particle-size analysis. p. 255–293. In: Dane J. H., and Topp G. C. (eds.). Methods of Soil Analysis. Part 4. SSSA Book Series No. 5. Soil Science Society of America, Madison, WI.
 - 12- Hamzehpoura N., and Bogaert P. 2017. Improved spatiotemporal monitoring of soil salinity using filtered kriging with measurement errors: An application to the West Urmia Lake, Iran. *Geoderma*, 295: 22–33.
 - 13- Hillel D. 2004. Environmental soil physics. New York, USA: Academic Press.
 - 14- Isaaks H.E., and Srivastava R.M. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, NY.
 - 15- Lin L.I. 1989. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Bio-metrics*, 45: 255–268.
 - 16- Mohammadi J., and Motaghian M.H. 2011. Spatial prediction of soil aggregate stability and aggregate-associated organic carbon content at the catchment scale using geostatistical techniques. *Pedosphere*, 21(3): 389–399.
 - 17- Nabiollahia K., Taghizadeh-Mehrdar R., Kerry R., and Moradian S. 2017. Assessment of soil quality indices for salt-affected agricultural land in Kurdistan Province, Iran. *Ecological Indicators*, 83: 482–494.
 - 18- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 539–579. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
 - 19- Owji A.R., and Kamali A. 2015. The effect of irrigation management and soil texture on the pattern of soil salinity variability in pistachio orchards of Rafsanjan. *Irrigation & Water Engineering*, 3(10): 65-77. (In Persian with English abstract)
 - 20- Page A.L. 1985. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Methods*. Agron. Monog. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
 - 21- Ranjbar F., and Jalali M. 2016. The combination of geostatistics and geochemical simulation for the site-specific management of soil salinity and sodicity. *Computers and Electronics in Agriculture*, 121: 301–312.
 - 22- Richards L.A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Agricultural Handbook No. 60. U.S. Salinity Laboratory Riverside, California.
 - 23- Sheng J., Maa L., Jiang P., Li B., Huang F., and Wu, H. 2010. Digital soil mapping to enable classification of the salt-affected soils in desert agro-ecological zones. *Agricultural Water Management*, 97: 1944–1951.
 - 24- Tajik F. 2004. Evaluation of aggregates stability in some regions of Iran. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 8(1): 107-122. (In Persian)
 - 25- Webster R. 1985. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Advanced Soil Science*, 3: 1–70.
 - 26- Wilding L.P., and Dress L.R. 1983. Spatial variability and pedology. p: 83-116. In: Wilding L.P, Smeckand N.E, and Hall GF, (EDs). *Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions*. Elsevier Science Pub.
 - 27- Yazdani A., Mosaddeghi M.R., Khademi H., Ayoubi S., and Khayamim F. 2014. Relationship between surface aggregate stability and some soil and climate properties in Isfahan province. *Soil Management*, 3(2): 23-31. (In Persian)
 - 28- Yoder R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of American Society Agronomy*, 28: 337-35.

Geostatistical Assessment of Aggregates Stability and Sodium Adsorption Ratio in Salt-Affected Soils Around Urmia Lake

Sh. Asghari^{1*} - M. Shahabi²

Received: 07-05-2018

Accepted: 16-07-2018

Introduction: Salinity and sodicity are the most important land degradation problems particularly in arid and semi-arid regions. Due to the depletion of Urmia Lake located in the northwest of Iran during recent years, the proportion of surrounding saline agricultural lands increased at a past pace. In the salt-affected soils, aggregate stability is weak due to the high contents of sodium. The analysis of spatial variability of mean weight diameter of aggregates (MWD) and sodium adsorption ratio (SAR) is necessary to implement a site-specific soil management especially in the salt-affected soils. The main object of this study was evaluating the effects of different land uses (bare and agriculture) on the spatial variability of MWD and SAR in the salt-affected soils around Urmia Lake.

Materials and Methods: This study was conducted in the agricultural and bare lands of Shend Abad region located at the 15 km of Shabestar city, northwest of Iran ($45^{\circ} 36' 34''$ E and $38^{\circ} 6' 37''$ N). Totally, 100 geo-referenced samples were taken from 0-10 cm soil depth with 100×100 m intervals (80 ha) in agricultural ($n=49$) and bare ($n=51$) land uses. Sand, silt, clay, organic carbon (OC), CaCO_3 , pH_e , MWD, SAR and electrical conductivity (EC), were measured in the collected soil samples. The wet sieving method was used to determine MWD of wet aggregates. The sieves were: 2, 1, 0.5, 0.25 and 0.106mm. The EC and SAR were measured in 1:2.5 (soil: distilled water) extra. The SAR was calculated from concentrations of Na^+ and $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. The best fit semivariogram model (Gaussian, spherical and exponential) was chosen by considering the minimum residual sum of square (RSS) and maximum determination coefficient (R^2). Ordinary kriging (OK) and inverse distance weighting (IDW) interpolation methods were used to analyze spatial variability of MWD and SAR. Spatial distribution maps of soil variables were provided by Arc GIS software. The accuracy of OK and IDW methods in estimating MWD and SAR was evaluated by mean error (ME), mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE) and concordance correlation coefficient (CCC) criteria. The CCC indicates the degree to which pairs of the measured and estimated parameter value fall on the 45° line through the origin.

Results and Discussion: According to the results of coefficient of variation (CV) from the study area, the most variable ($\text{CV}=113.05\%$) soil indicator was SAR (bare land use), whereas the least variable ($\text{CV}= 3.52\%$) was pH_e (agricultural land use). The Pearson correlation coefficients (r value) indicated that there are significant ($P < 0.01$) correlations between MWD with OC ($r=0.58$), sand ($r=0.60$), SAR ($r=-0.57$), EC ($r=-0.56$), CaCO_3 ($r=-0.38$) and clay ($r=-0.48$). Also, negative correlations ($P < 0.01$) were observed between SAR with sand ($r=-0.61$), OC ($r=-0.38$) but positive correlations ($P < 0.01$) were found between SAR with EC ($r=0.61$), pH_e ($r=0.56$), CaCO_3 ($r=0.40$) and Clay ($r=0.62$). The spatial dependency classes of soil variables were determined according to the ratio of nugget variance to sill expressed in percentages: If the ratio was $>25\%$ and $<75\%$, the variable was considered moderately spatially dependent; if the ratio was $>75\%$, variable was considered weakly spatially dependent; and if the ratio was $<25\%$, the variable was considered strongly spatially dependent. The strong and moderate spatial dependences with the effective ranges of 1903 and 1614m were found for SAR and MWD, respectively. The OC and EC variables had the least (660m) and the highest (1987m) effective range, respectively. The range of influence indicates the limit distance at which a sample point has influence over another points, that is, the maximum distance for correlation between two sampling point. The models of fitted semivariograms were Gaussian for both MWD and SAR. The best prediction according to CCC criterion was obtained by OK for SAR (0.382) and IDW (\wedge^2) for MWD (0.325). The spatial maps showed that from agricultural to bare land use by nearing to Urmia Lake, the MWD decreased by decreasing OC and increasing EC and SAR.

Conclusions: Results showed that MWD negatively related to the SAR and EC and positively related to the OC and sand in the study area. The SAR correlated positively with EC and Clay and negatively with sand and

1- Associate Professor of Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(*- Corresponding Author Email: shokrollah.asghari@gmail.com)

2- Graduated Ph.D Student of Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

OC. The spatial dependency was found strong for SAR and the moderate for MWD. The soil OC showed the smallest effective range (660m) among the studied variables. As a suggestion, for subsequent study, soil sampling distance could be taken as 660m in order to save time and minimize cost.

Keywords: Agricultural lands, Mean weight diameter of aggregates, Saline and sodic soils, Spatial variability, Shabestar