محور مقاله: فناوری‌های نوین در علوم خاک

کاربرد روش‌های درون‌یابی و انتخاب برترین روش در برآورد تغییرات مکانی کربن آلی خاک (مطالعه موردی: بخشی از منطقه خرمرود استان همدان)

نوا کیانیان[۱]، افسانه عالی‌نژادیان بیدآبادی[۲] *

[۱] دانشجوی دکترای گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

[۲] استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

چکیده

کربن آلی خاک عاملی مؤثر بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژی خاک و نیز کمیت و کیفیت عملکرد است. بنابراین، ارزیابی دقیق تغییرات مکانی کربن آلی خاک در مقیاس‌های ملی و محلی، گام مؤثر و ضروری برای مدیریت کربن آلی خاک می‌باشد. این پژوهش به منظور ارزیابی کارایی تخمین‌گرهای مکانی کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله در برآورد کربن آلی در اراضی منطقه خرمرود استان همدان انجام گردید. پس از نمونه‌برداری خاک سطحی در ۹۵ نقطه، میزان کربن آلی خاک در آزمایشگاه تعیین شد. بعد از تجزیه و تحلیل‌های آماری، مدل کروی بر داده‌ها برازش داده شد و نقشه‌های توزیع مکانی کربن آلی خاک به دو روش درون‌یابی کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله تهیه گردید. معیارهای ارزیابی در این پژوهش، خطای مطلق میانگین، مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل بود. نتایج حاکی از آن است که مقادیر کربن آلی خاک‌های سطحی منطقه دارای وابستگی مکانی متوسطی هستند. روش کریجینگ با ضریب تبیین ۰/۷۴ و مجذور میانگین مربعات خطای ۰/۴۵ بر روش وزن‌دهی معکوس فاصله برای تهیه نقشه توزیع مکانی کربن آلی در منطقه مطالعاتی برتری دارد.

کلمات کلیدی: کریجینگ، وزن‌دهی معکوس فاصله، کربن آلی خاک، زمین‌آمار.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان پائین بودن مقدار ماده آلی آنها است (رئیسی، ۲۰۰۶). پایین بودن ماده آلی خاک از یک طرف و تنش‌های خشکی از طرف دیگر باعث بروز مشکلات فیزیکی، شیمیایی، تغذیه‌ای و به‌ویژه بیولوژیک در خاک‌های این مناطق گردیده است که به‌تدریج باعث کاهش حاصلخیزی و کیفیت خاک‌ها می‌شود (رئیسی، ۲۰۰۶؛ کلیهر و همکاران، ۲۰۰۴). کربن آلی خاک عاملی مؤثر بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک است. اخیراً به دلیل نقش حیاتی کربن آلی خاک در چرخه جهانی کربن و قابلیت آن در تعدیل یا تشدید انتشار گازهای گلخانه‌ای، مطالعات بر روی ذخایر کربن آلی خاک متمرکز شده و استفاده و توسعه تکنولوژی برای کاهش غلظت روز افزون دی‌اکسیدکربن اتمسفر به مهم‌ترین مشکل قرن ۲۱ تبدیل شده است (لال، ۲۰۰۸). در این راستا داشتن اطلاعات کافی از مقدار ذخیره کربن در خاک و توزیع مکانی آن در مطالعات خاکشناسی و زیست محیطی ضروری به‌نظر می‌رسد. گرونوالد (۲۰۰۹) گزارش کرده که ۳۱ درصد از مطالعات نقشه‌برداری خاک برای تهیه نقشه کربن آلی خاک، به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفیت خاک، صورت گرفته است. با توجه به اهمیت کربن آلی خاک، ارائه تکنیک‌های دقیق، سریع، کم‌هزینه و غیرمستقیم برای اندازه‌گیری تغییرات مکانی کربن خاک در پاسخ به تغییرات مدیریت اراضی مورد نیاز است. اندازه‌گیری کربن آلی خاک در آزمایشگاه و آن هم برای یک سطح وسیع، بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر است. به این منظور تهیه نقشه‌های مربوط به این ویژگی، گامی مهم در راستای نیل به کشاورزی دقیق می‌باشد (یاماگیشی و همکاران، ۲۰۰۳). خصوصیات خاک دارای تغییرات مکانی و زمانی در مقیاس‌های کوچک تا مقیاس‌های بزرگ می‌باشند که عوامل طبیعی و عوامل انسانی مانند عملیات مدیریتی خاک، کوددهی و تناوب زراعی کنترل‌کننده این تغییرات هستند (کوئین و زانگ، ۲۰۰۲).

* ایمیل نویسنده مسئول: alinezhadian.a@lu.ac.ir

روش‌های مختلفی برای تهیه نقشه و پیش‌بینی توزیع مکانی ویژگی‌های خاک وجود دارد. در بررسی‌های آمار کلاسیک مقدار اندازه‌گیری‌شده برای یک ویژگی در یک نمونه، مستقل از موقعیت مکانی آن و ارتباطش با نمونه‌های دیگر مورد تحلیل قرار می‌گیرد. درحالی‌که در زمین آمار مقدار متغیر همراه با موقعیت مکانی آن و در ارتباط با دیگر نمونه‌ها بررسی می‌شود. روش‌های زمین‌آماری به دلیل در نظرگرفتن موقعیت و آرایش داده‌ها و همچنین همبستگی مکانی آنها، عملکرد بهتری دارند. این روش‌ها نیاز به نمونه‌برداری متراکم را کاهش داده و از این طریق تا حد زیادی در هزینه و وقت صرفه‌جویی می‌شود. در سال‌های اخیر برای کمی نمودن توزیع ویژگی‌های مکانی و تغییرات کربن آلی خاک از زمین‌آمار استفاده شده است. کریجینگ[۱] یکی از مرسوم‌ترین روش‌های زمین‌آمار است که می توان از آن به عنوان یکی از روش‌های بهینه‌ی میان‌یابی مکانی یاد کرد. در این روش تابع وزن اختیاری نبوده و از پارامترهای مدل نیم‌تغییرنمای برازشی در شرلیط ناریب محاسبه می‌شود. بنابراین در روش کریجینگ، وزن‌ها به‌گونه‌ای انتخاب می‌شوند که واریانس تخمین، کمترین مقدار باشد. از این‌رو، کریجینگ به‌عنوان بهترین تخمین‌گر ناریب خطی مورد توجه قرار می‌گیرد. روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW)[۲] برآورد را بر اساس مقادیر نقاط نزدیک به نقطه برآورد انجام می‌دهد. به عبارت دیگر به نقاط نزدیک به نقطه برآورد وزن بیشتری اختصاص می‌دهد. به منظور کاربرد مدیریت پایدار و دقیق در اراضی منطقه خرمرود، دست‌یابی به تغییرات مکانی کربن آلی خاک در این اراضی با استفاده از بهترین روش زمین‌آماری با توضیح دقیق‌ترین جزئیات ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی، بخشی از اراضی ناحیه خرمرود استان همدان واقع در جنوب‌غربی کوه الوند با وسعت حدود ۱۲ هزار هکتار بود. این منطقه دارای آب و هوای نیمه‌خشک، سرد و معتدل، رژیم رطوبتی زریک و رژیم حرارتی مزیک (بنائی، ۱۹۷۷) می‌باشد. میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد است. میزان بارندگی و تبخیر سالیانه به‌ترتیب ۴۰۰ و ۱۸۵۰ میلی‌متر گزارش شده است. منطقه از دیدگاه زمین‌شناسی در زون سیرجان-سنندج قرار دارد. تعداد ۹۵ نمونه سطحی تهیه و موقعیت نقاط در دستگاه GPS ثبت شد. نمونه‌ها برای انجام آنالیزهای آزمایشگاهی به آزمایشگاه منتقل شده و پس از هواخشک شدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. پس از تعیین بافت، اندازه‌گیری هدایت‌الکتریکی، واکنش خاک و مقدار کربن آلی خاک با روش والکی‌بلاک تعیین گردید (والکی و بلاک، ۱۹۳۴). تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام شد. قبل از استفاده از روش‌های درون‌یابی، آزمون داده‌های پرت، روند و همسانگردی برای متغیر مورد نظر انجام شد. سپس، نیم‌تغییرنما در محیط نرم‌افزار GS+ رسم گردید و برآورد درصد کربن آلی افق سطحی در منطقه مطالعاتی با استفاده از روش‌های کریجینگ معمولی، وزن‌دهی معکوس فاصله و اسپلاین انجام شد. در نهایت نقشه‌های توزیع مکانی این متغیر با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS نسخه ۱۰/ ۲ رسم گردید. به‌منظور مقایسه روش‌های مورد استفاده در این پژوهش و انتخاب مناسب ترین روش درون‌یابی، از تکنیک اعتبارسنجی متقابل استفاده شد. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط، آن نقطه برآورد می‌شود. این مرحله برای همه نقاط مشاهده‌ای تکرار شده، به‌طوری که در نهایت به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت. در این مطالعه به‌منظور ارزیابی کارآیی روش‌ها در پیش‌بینی کربن آلی خاک در نقاط نمونه‌برداری‌نشده از پارامترهای میانگین مطلق خطا[۳](MAE)، مجذور میانگین مربعات خطا[۴](RMSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد.

---

[۱] Kriging

[۲] Inverse Distance Weighted

[۳] Mean Absolute Error

[۴] Root Mean Square Error

نتایج و بحث

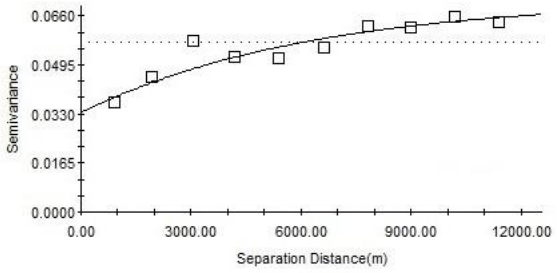
خلاصه آماری کربن آلی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. خلاصه آماری کربن آلی خاک سطحی در منطقه مطالعاتی

متغیر	بیشینه	کمینه	میانه	میانگین	انحراف‌معیار	ضریب‌تغییرات	چولگی
کربن آلی (%)	۲/۶۵	۰/۱۱	۰/۷۱	۰/۸۲	۰/۵۵	۰/۶۷	۰/۸۴

با توجه به میانگین کربن آلی (۰/۸۲)، خاک‌های منطقه مورد مطالعه در گروه خاک‌های با مواد آلی کم قرار گرفتند. پژوهشگران کربن آلی خاک را در چهار کلاس کیفی خیلی کم (کمتر از ۰/۶ درصد)، کم (۰/۶-۱/۲ درصد)، متوسط (۱/۲-۱/۷۵درصد) و زیاد (بیش از ۱/۷۵ درصد) برای ایران پیشنهاد میکنند (پرویزی و گرجی، ۲۰۱۳). با توجه به چولگی و میانه می‌توان گفت توزیع کربن آلی به سمت مقادیر کوچک است (جدول۱).

پس از انتخاب گام مناسب و محاسبه نیم‌تغییرنمای تجربی برای متغیر مورد نظر، مدل نمائی[۵]به عنوان بهترین مدل تجربی برازش داده شد (شکل۱). پارامترهای این مدل در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به دامنه تأثیر بزرگ کربن آلی، می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات این ویژگی در فواصل بلند رخ می‌دهد. بنابراین مناسب‌ترین فاصله جهت نمونه‌برداری برای تعیین غلظت کربن آلی در این منطقه کمتر از دامنه تأثیر است. بدیهی است که دامنه تأثیر بزرگتر دلالت بر ساختار مکانی گسترده‌تر، پراکنش رونددار و در حقیقت پیوستگی مکانی بیشتر در مقادیر متغیر مورد نظر دارد. هر چه دامنه گسترده‌تر باشد به تعداد نمونه کمتری جهت تعیین نقاط نمونه‌برداری نشده نیاز است (حسنی پاک، ۱۳۸۶). همبستگی مکانی کربن آلی (۰/۴۲) نشان‌دهنده‌ی همبستگی مکانی متوسط این ویژگی در منطقه مطالعاتی است. همچنین مدل برازش داده شده بر نیم‌تغییرنمای تجربی نیز از ضریب تبیین بالایی برخوردار است.



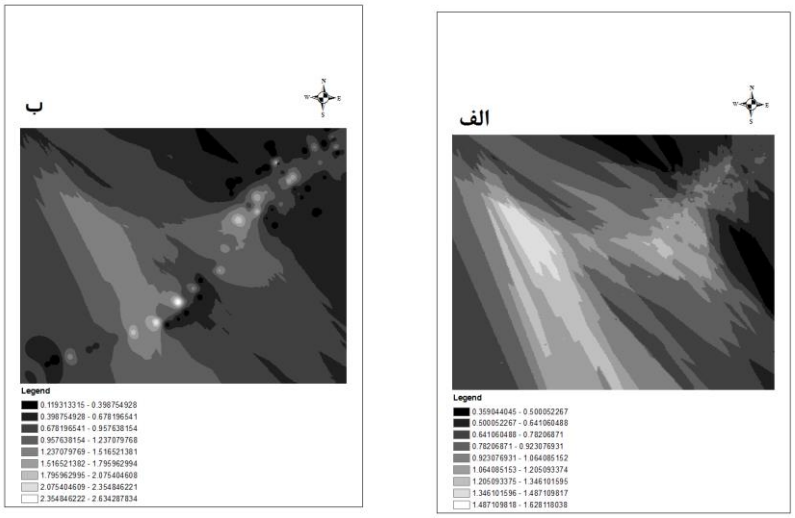
شکل ۱. نیم‌تغییرنمای تجربی کربن آلی خاک سطحی در منطقه مطالعاتی

[۵]Exponential

جدول۲ . پارامترهای نیم‌تغییرنمای تجربی ماده آلی در منطقه مطالعاتی

متغیر	مدل	دامنه تأثیر (متر)	اثر قطعه‌ای	آستانه	ضریب تبیین	وابستگی مکانی (٪)	کلاس وابستگی مکانی
کربن آلی	کروی	۱۷۲۴۰	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۸۳	۴۲	متوسط

نقشه پراکنش مکانی کربن آلی خاک به دو روش کریجینگ معمولی و وزن‌دهی معکوس فاصله در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲ . نقشه پراکنش مکانی کربن آلی در مطقه مطالعاتی به روش کریجینگ معمولی (الف) و IDW (ب).

کیفیت تخمین هر یک از روش های به کارگرفته شده برای پیش‌بینی میزان کربن آلی خاک با استفاده از معیارهای میانگین خطای مطلق، مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین حاصل از پراکنش مقادیر تخمینی، اندازه‌گیری شده و در جدول ۳ ارائه شده است. کارآیی هر یک از این روش ها بستگی به ماهیت داده‌ها و مورد مطالعه تغییر می‌کند (مک برتنی و همکاران، ۲۰۰۳).

جدول ۳. ارزیابی کیفیت تخمین روش های درون‌یابی به کار رفته در منطقه مطالعاتی

روش درون‌یابی	MAE	RMSE	R^2
کریجینگ	۰/۲۲	۰/۴۵	۰/۷۴
وزن‌دهی معکوس فاصله	۰/۳۴	۰/۵۳	۰/۶۴

با توجه به جدول ۳ می‌توان نتیجه گرفت روش کریجینگ با ضریب تبیین بالاتر و میانگین مطلق خطای و RMSE نزدیکتر به صفر، روش بهتری برای پهنه‌بندی کربن آلی در منطقه مطالعاتی بود. مقدار کمتر RMSE و MAE نشان‌دهنده‌ی اختلاف کمتر میان میزان برآوردی و مشاهده‌شده، همچنین برآورد قوی‌تر است (رودهم و رد، ۱۹۹۹). سرمدیان و همکاران (۱۳۸۸) کارآیی روش‌های زمین‌آماری به منظور پهنه‌بندی برخی از ویژگی‌های خاک در

منطقه اخترآباد را بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که روش کریجینگ برای پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک، برتری دارد. یکی از دلایل آن را ساختار مکانی قوی در این روش بیان کردند. زینگ و همکاران (۲۰۰۷) نیز در بررسی تغییرات مکانی کربن آلی خاک‌های شمال‌شرق چین به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ برای درون‌یابی روش قابل قبولی است. با توجه به شکل ۲ و مقایسه آن با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی کربن آلی در نقاط مشاهداتی می‌توان گفت قسمت‌های مرکز تا غرب و جنوب‌غربی منطقه دارای کربن آلی بالاتری هستند که پهنه‌بندی با روش کریجینگ این موضوع را تأیید می‌کند. همچنین با توجه به داده‌های اندازه‌گیری‌شده، قسمت‌های شمال‌شرق و شمال‌غرب منطقه دارای درصد بالایی از کربن آلی هستند که روش کریجینگ در این قسمت‌ها نیز برآورد قابل قبول‌تری داشته است. از سویی می‌توان مشاهده کرد که در روش وزن‌دهی معکوس فاصله، برآورد متغیر حول نقاط نمونه‌برداری بسیار قوی‌تر صورت گرفته و در قسمت‌های دورتر از نقاط مشاهداتی که اطلاعاتی درباره آن‌ها وجود ندارد، پیش‌بینی ضعیفی صورت گرفته است. در این روش حداقل و حداکثر متغیر برآورد شده در محل نمونه‌های اولیه قابل مشاهده است. علت ضعیف عمل کردن این روش شاید وزن‌دهی آن به صورت محلی و وابستگی‌اش به نقاط مشاهداتی باشد که در روش کریجینگ، وزن‌ها به صورت پیچیده‌تری به‌دست می‌آیند (ایزاکس و سریواستاوا، ۱۹۸۹). روش کریجینگ مقادیر حداقل را بیشتر و مقادیر حداکثر را کمتر نشان داده و تمایل به هموارسازی جزئیات دارد. در نتیجه روش کریجینگ با واقعیت تغییرات تدریجی و پیوسته متغیرهای خاک همخوانی بیشتری دارد. این نتایج با نتایج حاصل از پژوهش‌های دیگر زمین‌آماری که در حوزه انتخاب و توصیه روش برتر برای تهیه نقشه توزیع مکانی صورت گرفته، مطابقت داشت (والتر و همکاران، ۲۰۰۱؛ اسفندیارپور و همکاران، ۲۰۱۰).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت کربن آلی خاک در منطقه خرمرود استان همدان دارای وابستگی مکانی متوسطی بوده که ممکن است به‌وسیله تغییرات ذاتی ویژگی‌های خاک و نحوه مدیریت کنترل شود. در این مطالعه برتری روش کریجینگ بر روش وزن‌دهی معکوس فاصله با ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطا به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۴۵ ثابت شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده پیشنهاد می‌شود که از روش کریجینگ برای پهنه‌بندی مقادیر کربن آلی به منظور مدیریت صحیح و توسعه کشاورزی پایدار استفاده شود.

منابع

حسنی پاک، ا . ۱۳۸۶ . مبانی زمین آمار ، انتشارات دانشگاه تهران.

سرمدیان ف.، ر. تقی‌زاده مهرجردی. ۱۳۸۸ . بررسی کارایی روش های زمین آماری به منظور پهنه بندی برخی از ویژگی‌های خاک در منطقه اخترآباد. نشریه مرتع و آبخیز داری ایران. دوره ۶۲ شماره ۳ . ص ۳۷۷-۳۸۸.

Banaie, M. H., 1977. Moisture and Thermal regime of Soil Map of Iran. Ministry of Agriculture and Rural Development. Soil Science and Soil Fertility Institute.

Esfandiarpoor Borujeni, I., Mohammadi, J. Salehi, M.H., Toomanian, N., and Poch, R.M. 2010. Assessing geopedological soil mapping approach by statistical and geostatistical methods: A case study in the Borujen region, Central Iran. Journal of Catena. 82: 1-14.

Grunwald, S. 2009. Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches. Geoderma. 152: 195-207.

Issaks, E.H., and R.M. Srivastava. 1989. Applied Geostatistics. Newyork, Oxford University Press.

Kelliher FM, Ross DJ, Law BE, Baldocchi DD and Rodda NJ, 2004. Limitations to carbon mineralization in litter and mineral soil of young and old ponderosa pine forests. Forest Ecology and Management 191: 201-213.

Lal, R. 2008. Carbon sequestration. Philos. Trans. R. Soc. B. Biol. Sci.363: 815-830.

McBratney A.B., Santos M.L.M., and Minasny B. 2003. On digital soil mapping. Geoderma. 117(1-2): 3-52.

Parvizi, Y. and M. Gorji. 2013. The effect of dry land management factors on soil organic carbon in the Merck basin of Kermanshah. Land Manage. J. 1(1): 81-89.

Prudhomme, C., and Reed, D.W. 1999. Mapping extreme rainfall in a mountainous region using geostatistical techniques: A case study in Scotland. International Journal of Climatology. 19: 1337-1356.

Quine, T.A. and Y. Zhang. 2002. An investigation of spatial variation in soil erosion, soil properties and crop production within an agricultural field in Devon, U.K. Journal of soil and water conservation. 57: 50-60.

Raiesi F, 2006. Carbon and N mineralization as affected by soil cultivation and crop residue in a calcareous wetland ecosystem in Central Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment 112: 3-20.

Walkly, A. and Black, I. 1934. An examination of the Degtiareff method for deteming soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 63, 29-38.

Walter, C., Mc Bratney, B., Douaoui, A., and Minasny, B. 2001. Spatial prediction of topsoil salinity in the Chelif Valley, Algeria, using local ordinary kriging with local variograms versus whole-area variogram. Journal of Soil Research. 39: 259-272.

Xing, Z.S., Yue-Yu, Z., Zu-Dong, M., Kai, S., and Herbert, J. 2007. Spatial variability of nutrient properties in black soil of Northeast China. Journal of Pedosphere. 17(1): 19-29.

Yamagishi J, Nakamoto T, and Richner W, 2003. Stability of spatial variability of wheat and maize biomass in a small field managed under two contrasting tillage systems over 3 years. Field Crop Res 81:95-108.

16th Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019

Topic for submission: Novel Technologies in Soil Science

Applying interpolation methods and selecting the best one for spatial estimation of soil organic carbon (case study: A part of Khorramrud region of Hamedan province)

Kianian[1], N., Alinejadian Bidabadi[2], A*.

[1] PhD. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran

[2] Assistant Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran

Abstract

Soil organic carbon determines the chemical, physical and biological properties of the soil as well as the quantity and quality of the soil function. Therefore, the accurate assessment of spatial changes and soil organic carbon reserves at national and local scales is an effective step for the management of organic carbon. This study was carried out to evaluate the efficiency of Kriging and Inverse Distance Weighted (IDW) spatial estimators in estimating organic carbon in Khoramrud area of Hamedan province. After soil surface sampling at 95 points, soil organic carbon was determined in the laboratory. After statistical analysis, the spherical model was fitted to the data and the maps of the spatial estimation of soil organic carbon were prepared by Kriging interpolation and Inverse Distance Weighted. The criteria for evaluation in this study were mean absolute error, root means square error and coefficient of determination using mutual validation method. The results indicate that the organic carbon content of the surface soils of the region has a moderate spatial dependence. The Kriging method with a coefficient of determination of 0.74 and a root mean square error of 0.45 on the inverse distance weighting method is superior to the spatial distribution of organic carbon in the study area.

Keywords: Kriging, Inverse Distance Weighted, Soil organic carbon, Geostatistics.

* Corresponding author, Email: alinejadian@yahoo.com