

## برآورد میزان کربن آلی خاک و تغییرات آن در تناوب زراعی سویا - گندم

سمانه بخشنده لاریمی<sup>۱</sup>، حسین کاظمی<sup>۲\*</sup>، افشین سلطانی<sup>۳</sup>، بهنام کامکار<sup>۴</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۹)

### چکیده

این تحقیق با هدف تأثیر نوع گیاه زراعی بر میزان کربن خاک در زمین‌های زراعی تحت تناوب سویا (*Glycin max L.*) و گندم (*Triticum aestivum L.*) به ترتیب در سال‌های زراعی ۱۳۹۵-۹۶ در ۱۵۰ مزرعه و ۱۳۹۶-۹۷ در ۸۹ مزرعه در شهرستان گرگان انجام شد. برای تعیین میزان کربن آلی و تغییرات آن، نمونه‌های خاک در دو عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری تهیه شدند و سپس کربن آلی خاک با روش والکی - بلک اندازه‌گیری شد. توزیع مکانی کربن آلی خاک و تغییرات آن در عمق‌های مختلف و در زمان‌های قبل از کاشت و پس از برداشت با استفاده از انواع روش‌های مختلف درون-یابی در محیط ArcGIS انجام شد. نتایج روش‌های درون‌یابی نشان داد که روش کریجینگ بهترین مدل برای درون‌یابی کربن آلی و میزان انباشت کربن خاک می‌باشد. میانگین کربن آلی خاک در مزرعه سویا در شرایط قبل از کاشت در عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری (عمق اول) به میزان ۱۴/۸۴ تن در هکتار و در عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری (عمق دوم) به میزان ۱۳/۴۱ تن در هکتار بدست آمد و در شرایط پس از برداشت سویا در عمق اول به میزان ۱۶/۸۵ تن در هکتار و در عمق دوم نیز به میزان ۱۵/۵۲ تن در هکتار برآورد شد. همچنین میزان کربن آلی خاک در مزارع گندم در عمق‌های اول و دوم خاک به ترتیب ۱۶/۷۸ و ۱۵/۲۵ تن در هکتار در مرحله قبل از کاشت و در شرایط پس از برداشت گندم نیز در عمق‌های اول و دوم خاک به ترتیب ۱۳/۶۸ و ۱۲/۳۰ تن در هکتار به دست آمد. نتایج نشان داد که بخش‌های شرقی، شمال، شمال شرقی، جنوب، جنوب شرقی و مرکزی شهرستان به علت دسترسی به سیستم‌های آبیاری مدرن، منابع آبی بیشتر، مدیریت‌های زراعی مناسب، برگرداندن مناسب بقایای گیاهی به خاک، توسعه روش‌های کم خاکورزی، به حداقل رساندن آتش زدن بقایا و استفاده از کود دامی دارای بیشترین میزان انباشت کربن بود.

**واژه‌های کلیدی:** کربن آلی، تناوب زراعی، سویا، گندم، کریجینگ

بخشنده لاریمی س.، کاظمی ح.، سلطانی الف.، کامکار ب. ۱۴۰۲. برآورد میزان کربن آلی خاک و تغییرات آن در تناوب زراعی سویا-گندم. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۱، شماره ۱. صفحه: ۱-۱۵.

۱- دانش آموخته دکتری رشته زراعت، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشیار گروه زراعت، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- استاد گروه زراعت، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴- استاد گروه اگروتکنولوژی، گروه اگروتکنولوژی دانشگاه فردوسی مشهد

\* پست الکترونیک: [hkazemi@gau.ac.ir](mailto:hkazemi@gau.ac.ir)

## مقدمه

گرمایش جهانی ناشی از تشدید اثرات گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسیدکربن، عامل اصلی وقوع تغییرات درازمدت اقلیمی در کره زمین است و این امر اثرات زیادی بر بوم‌نظام‌های کشاورزی جهان خواهد گذاشت، زیرا افزایش دمای محیط می‌تواند بر میزان خروج گاز دی‌اکسیدکربن از خاک نیز موثر باشد (Lichtfouse, 2009؛ Smith et al., 2010؛ Dieleman et al., 2015). خاک با کیفیت و سلامت بهتر، عملکرد زراعی بهتری تحت شرایط اقلیمی موردنظر خواهد داشت و سلامت خاک به عنوان یک عامل مهم برای سازگاری و کاهش اثرات تغییر اقلیم توسط گیاه زراعی خواهد بود (Shadrack et al., 2014). هدف از فعالیت‌های کشاورزی به منظور حفاظت از منابع آب و خاک و بهبود فشرده‌گی خاک، کاهش تغییرات اقلیمی و حفظ کربن آلی خاک است (Das et al., 2014). ترسیب کربن به تمام عملیات‌هایی گفته می‌شود که منجر به انتقال دی-اکسیدکربن اتمسفری به مخازن طولانی مدت شده و کربن را به شکلی حفظ می‌کند که بلافاصله به جو برنگردد و میزان افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در جو را کاهش می‌دهد (Luedling et al., 2014؛ Qiu et al., 2015). ذخیره کربن آلی خاک در بوم‌نظام‌های کشاورزی جهانی<sup>۱</sup> (۱۷۰-۱۴۰ Pg) تقریباً برابر با ۱۰ درصد از کل ذخیره کربن آلی خاک در وضعیت خشکی است (Buringh, 1984).

سامر و بوسینو (Sommer & Bossio, 2014) و اسمیت و همکاران (Smith, 2012) توانایی ترسیب کربن آلی خاک در زمین‌های کشاورزی را برای کاهش تغییرات اقلیمی در طی ۸۷ سال آینده بررسی کردند و آن را به عنوان راهکاری برای کاهش تغییر اقلیم معرفی نمودند. لو و همکاران (Lu et al., 2011) مشاهده کردند که ترسیب کربن در خاک‌های سطحی، اغلب تحت تاثیر برگشت مجدد بقایای کاه قرار می‌گیرد. از این رو مقدار برگشت کاه گیاه زراعی یکی از عوامل مهمی است که منجر به تغییر کربن آلی خاک می‌شود.

با توجه به اهمیت گیاه زراعی در میزان ذخیره‌سازی کربن در خاک، مقدار و نوع کربن حاصل از کاه، عوامل

اولیه مناسبی هستند که در زمان برگرداندن کاه روی ترسیب کربن آلی خاک تاثیرگذار می‌باشند (Wuest & Zhang et al., 2014؛ Shadrack et al., 2015). در مطالعه‌ای جعفریان و طایفه سید علیخوانی (Jafarian & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2012) میزان کربن ذخیره شده در مزرعه گندم را ۱۶/۳۳ تن در هکتار در منطقه کیاسر گزارش کردند. همچنین خرمدل و همکاران (Khorramdel et al., 2016) نیز میانگین ترسیب کربن خاک مزارع کلزا (*Brassica napus L.*) را ۳/۴۶ تن در هکتار محاسبه نمودند. برار و همکاران (Brar et al., 2013) طی بررسی‌های انجام شده در نظام زراعی برنج-گندم، مقدار ذخایر کربن آلی خاک و ترسیب کربن را به ترتیب ۷/۸۴ و ۰/۲۲ مگاگرم کربن در هکتار در سال گزارش دادند. همچنین این محققان بیان داشتند که توالی این نظام زراعی به دنبال هم، به واسطه ترسیب کربن موجب کاهش کربن اتمسفری می‌شود. آن‌ها تفاوت مکانی و به دنبال آن تفاوت ویژگی‌های خاک هر منطقه را عامل تفاوت در میزان تغییرات کربن آلی خاک معرفی کردند. ساپکوتا و همکاران (Sapkota et al., 2017) دریافتند که در نظام زراعی برنج - گندم در تیمار گیاهان پوششی به همراه گیاه زراعی اصلی، مقدار کربن آلی خاک بعد از هفت سال به میزان ۳ تا ۴/۷ مگا گرم در هکتار افزایش یافت. تائو و همکاران (Tao et al., 2019) در تحقیقات خود در زمین‌های زراعی چین، میزان ذخیره کربن آلی خاک را در این زمین‌ها طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۱ در حدود ۰/۴۸ درصد اندازه‌گیری نمودند. همچنین آن‌ها بیان داشتند که با اعمال مدیریت‌های زراعی مناسب در زمین‌های زراعی، می‌توان میزان ذخیره‌سازی کربن را به بیش از ۲۵ ترا گرم<sup>۲</sup> کربن در سال که برابر با ۰/۶۳ درصد در سال است، افزایش داد.

در شهرستان گرگان علی‌رغم شرایط اقلیمی مناسب برای کشت انواع گیاهان زراعی و باغی، به دلیل مدیریت کشاورزی فشرده، نابسامانی‌هایی در بوم‌نظام‌های زراعی این شهرستان دیده می‌شود. دلیل یکی از این نابسامانی‌ها، آتش زدن بقایای گیاهی بعد از برداشت محصولات در تناوب رایج منطقه (گندم - سویا) می‌باشد. بر این مبنا رویکردهای کشاورزی منطقه به سمتی

1. 1Pg= 10<sup>15</sup>g2. 1Tg= 10<sup>12</sup>g

(عمق دوم) در سال زراعی اول (۹۶-۱۳۹۵) از ۱۵۰ مزرعه سویا و در سال زراعی دوم (۹۷-۱۳۹۶) نیز از ۸۹ مزرعه گندم انجام شد. کاهش تعداد مزارع گندم به دلیل کشت گیاه دیگری غیر از گندم در مزارع انتخابی می‌باشد. همچنین به دلیل اینکه در تمامی مزارع منطقه کشت گندم - سویا انجام نمی‌شد، ابتدا پهنه موردنظر در گوگل ارث مورد شناسایی قرار گرفت و سپس نمونه-برداری در کل شهرستان گرگان در تمامی دهستان‌های آن در چهار جهت اصلی و در هر دهستان نیز با تعداد برابر، نمونه‌برداری تصادفی انجام شد (شکل ۳-۱). پس از نمونه‌گیری، نمونه‌های خاک به آزمایشگاه تحقیقات زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شدند. بعد از هوا خشک نمودن، به منظور انجام آزمایش‌ها از ال‌ک ۲ میلی‌متری عبور داده و سپس جرم مخصوص ظاهری نمونه‌های خاک به روش کلوخه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب (Blake & Hartge, 1986) و درصد کربن آلی به کمک روش والکی-بلک (Walkley & Black, 1934) تعیین شد. درصد کربن آلی خاک در نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۱ تعیین گردید:

$$\% OC = N \times 0.39 \times \left[ \frac{A-B}{S} \right] \quad (1)$$

به طوری که در این رابطه:  $OC$  = کربن آلی؛  $A$  = مقدار فرو آمونیوم سولفات مصرفی برای نمونه شاهد بر حسب  $CC$ ؛  $B$  = مقدار فرو آمونیوم سولفات مصرفی برای نمونه بر حسب  $CC$ ؛  $N$  = نرمالیتته فرو آمونیوم سولفات مصرفی و  $S$  = مقدار وزن نمونه بر حسب گرم می‌باشند.

در پایان با استفاده از رابطه ۲، میزان کربن آلی خاک بر حسب مگاگرم بر هکتار تعیین گردید (Lemma et al., 2006).

$$OC \left( \frac{mg}{ha} \right) = OC \left( \frac{g}{kg \text{ soil}} \right) \times Bd \left( \frac{Mg}{m^2} \right) \times D (m) \times 10 \quad (2)$$

که در این رابطه:  $OC$  = کربن آلی بر حسب مگاگرم (تن) در هکتار؛  $OC$  % = درصد کربن آلی؛  $Bd$  = وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب مگاگرم در متر مکعب و  $D$  = عمق نمونه‌برداری بر حسب متر می‌باشند.

است که با کاهش ذخیره کربنی خاک و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای همراه است. بنابراین از طریق راهکارهای افزایش ذخیره کربنی بوم‌نظام‌های کشاورزی از جمله بررسی توانایی و پتانسیل مکانی مزارع از نظر ترسیب کربن، شناسایی پتانسیل گیاهان زراعی تحت کشت منطقه و نقش بقایای گیاهان زراعی در انباشت و ترسیب کربن، می‌توان در راستای کشاورزی پایدار در مقیاس منطقه‌ای و در مقیاس جهانی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به جو، گرمایش جهانی و کاهش اثرات سوء تغییر اقلیم گام برداشت. از آنجایی که سطح زیر کشت سویا و گندم به عنوان تناوب رایج در شهرستان گرگان نسبت به سایر گیاهان بالاتر بوده است. هدف از این مطالعه برآورد میزان کربن آلی خاک در شرایط قبل و بعد از کاشت دو گیاه زراعی سویا و گندم، برآورد میزان انباشت کربن خاک و تحلیل‌های مکانی مربوط به آن، در شهرستان گرگان می‌باشد.

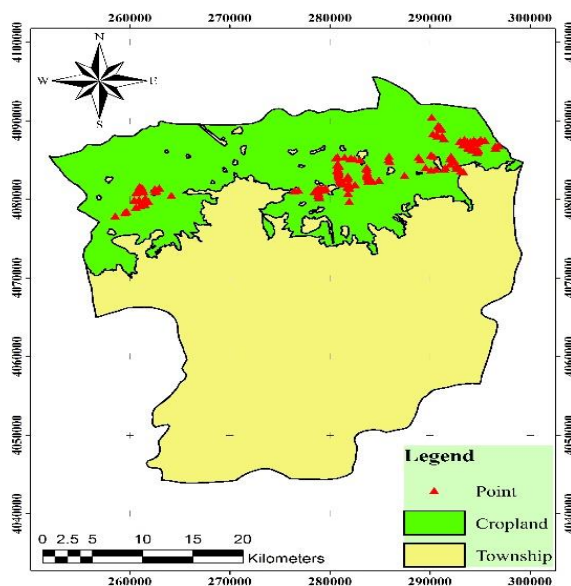
## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

این آزمایش در زمین‌های زراعی شهرستان گرگان انجام شد. این شهرستان با میانگین درازمدت بارندگی سالانه ۴۲۲/۵ میلی‌متر، میانگین ارتفاع ۱۳/۳ متر از سطح دریا و میانگین درازمدت دمای سردترین و گرم‌ترین ماه سال به ترتیب ۷/۹ درجه سانتی‌گراد در بهمن ماه و ۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد در مرداد ماه، در استان گلستان واقع شده است. این شهرستان در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی قرار دارد (شکل ۱). در این منطقه معمولاً یک فصل معتدل و نیمه مرطوب (از اواسط پاییز تا اوایل بهار) به وسیله یک فصل نسبتاً گرم و نیمه مرطوب دنبال می‌شود (اداره هواشناسی استان گلستان، ۲۰۱۶).

### نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌ها

نمونه‌برداری از مزارعی که فقط تحت کشت گندم - سویا بودند، انجام شد. براین اساس نمونه‌های خاک به ترتیب قبل از کشت سویا، بعد از برداشت سویا که برابر با زمان قبل از کشت گندم بود و نیز بعد از برداشت گندم از دو عمق ۱۵-۰ (عمق اول) و ۳۰-۱۵ سانتی‌متر



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و محل نمونه برداری از مزارع شهرستان گرگان

Figure 1. Study area and sampling place of farms in Gorgan township

صحت تخمین روش‌های میان‌یابی استفاده شد. این روش بر این اساس استوار است که هر بار یکی از نقاط معلوم حذف شده و سپس مقدار آن نقطه از روی نقاط مجاور مقداری برآورد گردید، سپس مقدار واقعی به محل واقعی برگردانده شد و برای تمامی نقاط، این عمل تکرار شد (Hasanipak, 1998). در نهایت با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده، شاخص دقت هر روش با توجه به معیارهای آماری میانگین مطلق خطا (*Mean Absolute Error*)، میانگین اریب خطا (*MBE*) و خطای برآورد ریشه دوم میانگین مربعات (*Root Mean Square Error*) محاسبه شدند (Webster & Oliver, 2000). مقدار این معیارها با استفاده از روابط ۴ الی ۶ تعیین شدند (Mahdian, 2007):

(۴) میانگین مطلق خطا (*MAE*):

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |p_i - O_i|}{n}$$

(۵) میانگین انحراف خطا (*MBE*):

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - O_i)}{n}$$

(۶) ریشه دوم میانگین مربعات خطا (*RMSE*):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(p_i - O_i)]^2}{n}}$$

که در این معادلات  $O_i$  مقدار برآورد شده،  $P_i$  مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه  $i$  و  $N$  تعداد نقاط می‌باشد (Kazemi et al., 2015). با مقایسه مدل‌های میان‌یابی،

مقدار انباشت کربن آلی خاک بر طبق رابطه زیر برآورد می‌شود (Li et al., 2016):

(۳) انباشت کربن آلی خاک (مگاگرم بر هکتار) = ذخیره کربن آلی خاک در پایان آزمایش - ذخیره کربن آلی خاک مربوط به زمان شروع آزمایش.

بررسی نرمال بودن، توزیع فراوانی و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای *SPSS* و *Excel* انجام شد.

#### تحلیل‌های مکانی

در ابتدا نرمال بودن توزیع فراوانی داده‌ها با محاسبه آماره‌های کشیدگی، چولگی و آزمون‌های شاپیرو-ولک و کولوموگروف-اسمیرنوف با استفاده از نرم‌افزار *SPSS* انجام شد (Kravchenko & Bullock, 1999). پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، در محیط *ArcGIS* با استفاده از روش‌های مختلف میان‌یابی شامل کریجینگ ساده<sup>۱</sup>، روش عکس مجذور فاصله<sup>۲</sup>، روش تابع شعاعی<sup>۳</sup>، روش میان‌یابی چند جمله‌ای موضعی<sup>۴</sup>، میزان کربن آلی خاک در عمق‌های مختلف در شرایط قبل از کاشت و پس از برداشت و همچنین میزان انباشت کربن در خاک تخمین زده شد. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی نیز با استفاده از روش اعتبارسنجی جک نایف برای برآزش

1. Simple Kriging
2. Inverse Distance Weights
4. Radial Basis Function
5. Local Polynomial Interpolation

نتایج آزمون‌های نرمال بودن داده‌ها نشان داد که مقادیر چولگی و کشیدگی همه داده‌ها در حد فاصل  $+2$  و  $-2$  قرار دارند و نیز براساس نتایج آزمون کولموگراف - اسمیرنوف و شاپیرو - ویلک نیز مشخص شد که مقادیر معنی‌داری بزرگ‌تر از پنج درصد بوده ( $P \geq 0.05$ )، در نتیجه داده‌ها نرمال بوده‌اند (جدول ۱).

بهترین مدل برای هر یک از موارد میزان کربن آلی خاک در عمق‌های مختلف در شرایط قبل از کاشت و پس از برداشت و میزان کربن انباشت شده مطابق با کمترین خطا ( $RMSE$ ) شناسایی شدند و لایه رستری آن براساس محدوده اراضی زراعی با استفاده از نرم - افزار  $ArcGIS (Var 10.6)$  تهیه شد.

## نتایج و بحث

جدول ۱- نتایج بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آماره‌های مختلف در مزارع سویا و گندم.

Table 1. Normality results of data using statistical indices in soybean and wheat fields (S: Soybean, W: Wheat)

Variables	Kurtosis				Skewness			
	Statistic		Std.Error		Statistic		Std.Error	
	S	W	S	W	S	W	S	W
Before sowing (0-15cm)	-0.45	-0.5	0.39	0.5	-0.09	-0.2	0.19	0.25
Before sowing (15-30cm)	1.09	1.76	0.39	0.5	-1.05	-0.8	0.19	0.25
After harvest (0-15cm)	-0.36	1.54	0.39	0.5	-0.15	0.25	0.19	0.25
After harvest (15-30cm)	-0.33	1.57	0.39	0.5	-0.16	0.80	0.19	0.25
	Kolmogorov-Smirnov				Shapiro-Wilkstatis			
	Statistic		Sig.		Statistic		Sig.	
	S	W	S	W	S	W	S	W
Before sowing (0-15cm)	0.04	0.07	0.2	0.2	0.98	0.97	0.29	0.16
Before sowing (15-30cm)	0.13	0.06	0.2	0.2	0.90	0.96	0.29	0.15
After harvest (0-15cm)	0.03	0.09	0.2	0.2	0.99	0.96	0.29	0.02
After harvest (15-30cm)	0.04	0.07	0.2	0.2	0.99	0.95	0.29	0.06

الف) و در عمق دوم خاک نشان می‌دهد که بیشترین مقدار کربن آلی خاک در بخش‌های شرق، شمال، شمال شرقی، مرکزی و جنوب غربی ( $14/27 - 12/88$  تن در هکتار) بیشتر از مناطق شمال شرقی است ( $12/88 - 10/04$  تن در هکتار) (شکل ۲ ج). نتایج پهنه‌بندی کربن آلی خاک در شرایط پس از برداشت سویا، در عمق اول نشان می‌دهد که بیشترین مقدار آن در بخش‌های شرقی، شمال شرقی و تا حدودی بخش مرکزی ( $18/50 - 16/84$  تن در هکتار) و کمترین مقدار تا حدودی در مناطق شمال شرق، جنوب و جنوب غربی است ( $16/84 - 14/68$  تن در هکتار) (شکل ۲ ب) و در عمق دوم خاک نیز مقدار آن در بخش‌های شرق، شمال شرقی، مرکزی ( $17/29 - 15/48$  تن در هکتار) بیشتر از مناطق جنوب، جنوب غربی و تا حدودی شمال شرقی است ( $15/48 - 13/77$  تن در هکتار) (شکل ۲ د). میزان کربن آلی خاک در شرایط پس از برداشت بیشتر از قبل

## تغییرات مکانی میزان کربن آلی مزارع سویا

نتایج نشان داد که در شرایط قبل از کاشت و پس از برداشت گیاه سویا در بین روش‌های مختلف زمین آماری، روش کریجینگ کمترین خطا و بیشترین صحت را دارا می‌باشد. از بین ۱۲ روش - مدل مورد استفاده در این مطالعه، روش میان‌یابی چندجمله‌ای با مدل درجه ۳، بیشترین خطا و کمترین صحت و درستی را نشان داد و به عنوان نامناسب‌ترین روش شناخته شد (جدول ۲). توزیع مکانی میزان کربن آلی خاک در شرایط قبل از کاشت سویا در عمق‌های اول و دوم خاک در دو طبقه در شکل ۲ الف و ب نشان داده شده است. نتایج پهنه - بندی کربن آلی خاک در شرایط قبل از کاشت سویا در عمق اول خاک نشان می‌دهد که مقدار آن در بخش‌های شمال شرقی و مرکزی ( $16/92 - 14/42$  تن در هکتار) بیشتر از مناطق جنوبی، جنوب غربی و تا حدودی شمال شرقی است ( $14/42 - 11/73$  تن در هکتار) (شکل ۲

از کاشت و در عمق اول بیشتر از عمق دوم بود به نظر می‌رسد که بالا بودن میزان زیست‌توده اندام هوایی در گیاه سویا و در نتیجه برگرداندن آن به خاک، در افزایش سطح میزان کربن آلی خاک نقش داشته باشد. قبلا در بررسی‌های شادراک و همکاران (Shadrack *et al.*, 2014) و ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2015) به اهمیت نوع گیاه زراعی در میزان ذخیره‌سازی کربن در خاک، مقدار و نوع کربن حاصل از زیست‌توده اندام هوایی اشاره شده بود که در زمان برگرداندن بقایا، بر میزان کربن آلی خاک و ترسیب آن در خاک می‌توانند تاثیرگذار باشند.

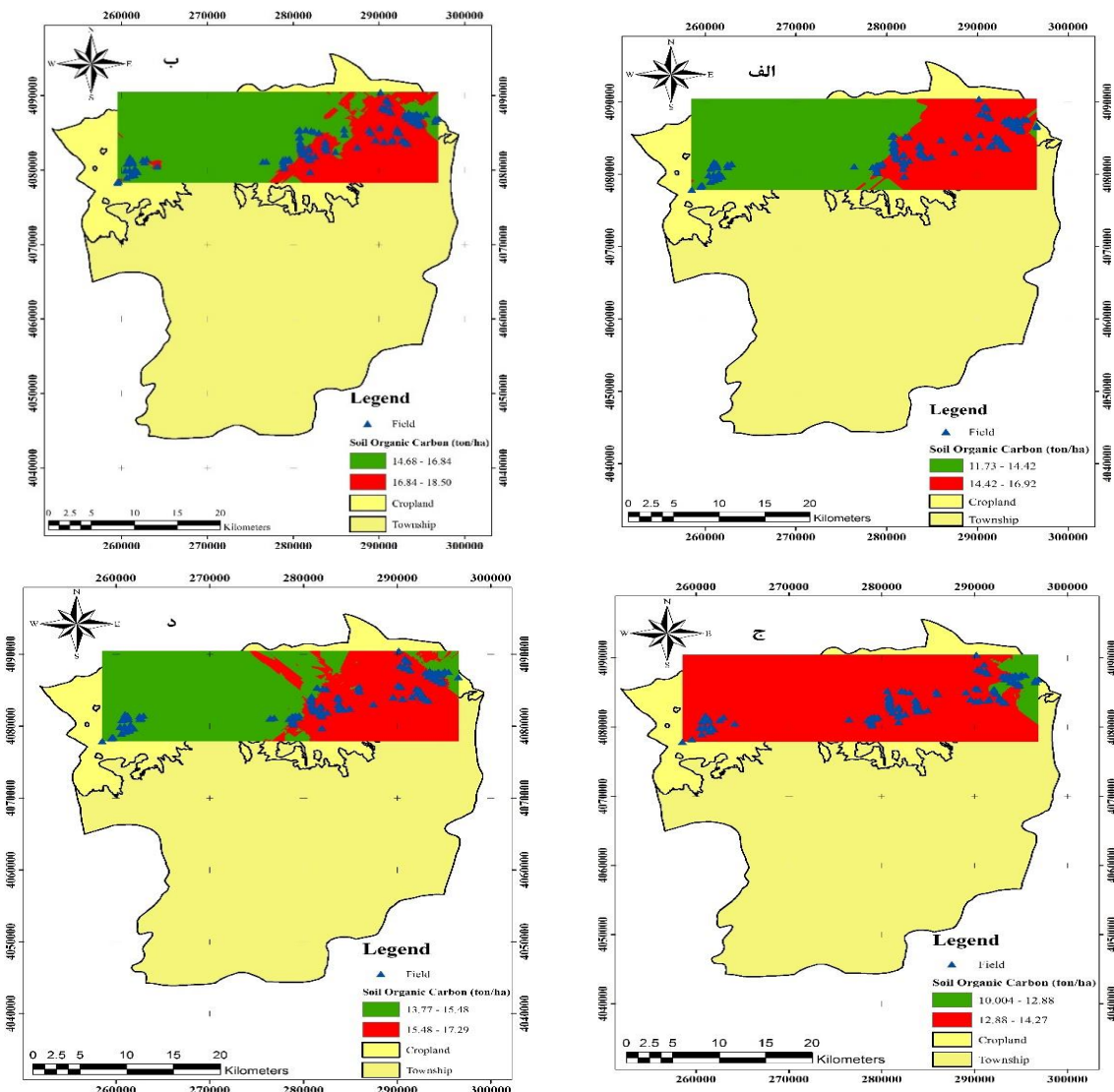
### تغییرات مکانی میزان کربن آلی در مزارع گندم

با توجه به نتایج جدول ۳، روش کریجینگ در بین روش‌های مختلف زمین آمار به‌عنوان بهترین الگو برای تخمین میزان کربن آلی خاک در زمین‌های زراعی شهرستان گرگان تعیین شد. در نقشه پهنه‌بندی، میزان کربن آلی خاک در زمین‌های تحت کشت گندم در محدوده شهرستان گرگان در شرایط قبل از کاشت و پس از برداشت گندم، بیشترین مقدار در عمق اول در محدوده شرق، شمال، تا حدودی شمال شرق، مرکز، جنوب و تا حدودی جنوب غرب به‌ترتیب از ۱۶/۵۲ تا ۱۸/۳۴ تن در هکتار (قبل از کاشت) (شکل ۳ الف) و از ۱۳/۵۴ - ۱۴/۰۵ تن در هکتار (پس از برداشت) (شکل ۳ ب) مشاهده گردید و در قسمت‌های شمال شرقی و تا حدودی مرکزی و جنوب غربی کمترین مقدار از ۱۴/۷۱ تا ۱۶/۵۲ تن در هکتار (قبل از کاشت) (شکل ۳ الف) و از ۱۳/۱۸ تا ۱۳/۵۴ تن در هکتار (پس از برداشت) (شکل ۳ ب) برآورد شد. در عمق دوم خاک در محدوده شرق، شمال، تا حدودی شمال شرقی، مرکز، جنوب و تا حدودی جنوب غربی بیشترین مقدار از ۱۵/۸۲ تا ۱۷/۶۸ تن در هکتار (قبل از کاشت) (شکل ۳ ج) و از ۱۱/۹۷ تا ۱۲/۹۲ تن در هکتار (پس از برداشت) (شکل ۳ د) و کمترین مقدار در قسمت‌های شمال شرق و تا حدودی مرکزی و جنوب غربی از ۱۴/۲۶ تا ۱۵/۸۲ تن در هکتار (قبل از کاشت) (شکل ۳ ج) و از ۱۱/۱۸ تا

۱۱/۹۷ تن در هکتار (پس از برداشت) (شکل ۳ د) مشاهده شد. نتایج نشان داد که میزان کربن آلی خاک در عمق اول بیشتر از عمق دوم خاک بود، اما میزان کربن در شرایط قبل از کاشت گندم بیشتر از پس از برداشت آن بود. با توجه به اینکه فرم رویشی گندم به صورت علفی است، به طبع میزان تولید حجم لاشبرگ در این گونه گیاهی نسبت به سویا کمتر بوده که این امر کاهش میزان کربن آلی و در نهایت انباشت آن در خاک را موجب می‌شود. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2011) مطابقت دارد که بیان کردند الگوهای متفاوت تاج پوشش در میزان کربن آلی و ترسیب کربن تاثیرگذار است.

**تغییرات مکانی انباشت کربن خاک در مزارع سویا**

نتایج نشان داد که در هر دو عمق اول و دوم خاک در بین روش‌های مختلف زمین آماری، روش کریجینگ مدل نمایی، کمترین خطا و بیشترین صحت و درستی را دارا بود. در نقشه پهنه‌بندی، میزان انباشت کربن خاک در عمق اول خاک در محدوده کشاورزی شهرستان گرگان در نیمه شرقی، شمال شرقی، جنوبی و مرکزی بیشترین مقدار (از ۱/۷۶ تا ۲/۹۴ تن در هکتار) و در قسمت‌های جنوب غربی کمترین مقدار (از ۱/۰۷ تا ۱/۷۶ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (شکل ۴ الف) و پس از برداشت سویا نیز در نیمه شرقی، شمال شرقی، جنوبی و مرکزی بیشترین مقدار (از ۱/۷۷ تا ۶/۰۶ تن در هکتار) و در قسمت‌های جنوب غربی کمترین مقدار (از ۲/۵۰ - ۱/۷۷ تن در هکتار) مشاهده شد (شکل ۴ ب). منفی بودن میزان انباشت کربن در قسمت‌های جنوب غربی در عمق دوم خاک، نشان از عدم ذخیره کربن آلی در خاک است. می‌توان دلیل آن را کاهش میزان بقایای گیاهی در این عمق دانست. در تحقیقی که ورامش و همکاران (Veramesh *et al.*, 2010) انجام دادند لایه اول خاک (۳۰ - ۱۰ سانتی‌متری) را لایه‌ای با بیشترین میزان لاشبرگ و قابلیت زیاد در انباشت و ترسیب کربن، معرفی کردند.



شکل ۲- پهنه‌بندی میزان کربن آلی خاک زمین‌های زراعی تحت کشت سویا در عمق‌های ۰-۱۵ سانتی‌متر قبل از کاشت سویا (شکل الف)، ۰-۱۵ سانتی‌متر بعد از برداشت سویا (شکل ب)، ۱۵-۳۰ سانتی‌متر قبل از کاشت سویا (شکل ج) و ۱۵-۳۰ سانتی‌متر بعد از برداشت سویا (شکل د) با استفاده از روش کریجینگ در محدوده زراعی شهرستان گرگان

Figure 2. Zoning of soil organic carbon content of fields under wheat cultivation at depths of 0-15 cm before sowing (Figure A), 0-15 cm after harvest (Figure B), 15-30 cm before sowing (Figure C) and 15-30 cm after soybean harvest (Figure D) using kriging method in Gorgan croplands

محدوده زراعی شهرستان گرگان بیشتر از نیمه غربی و جنوب غربی (۳/۴۳- تا ۲/۷۸- تن در هکتار) (شکل ۵ الف) بوده است و در عمق دوم خاک بیشترین مقدار پتانسیل انباشت کربن در قسمت‌هایی از شمال شرقی، جنوب شرقی و نواحی مرکزی (۳/۰۳- تا ۱/۲۰- تن در هکتار) و کمترین مقدار در جنوب غربی و تا حدودی از شمال شرق (۵/۲۱- تا ۳/۰۳- تن در هکتار) (شکل ۵ ب) مشاهده شد. علی‌رغم منفی بودن میزان انباشت کربن در مزارع گندم به علت حجم لاشبرگ کمتر و نوع

تغییرات مکانی انباشت کربن خاک در مزارع گندم در بین روش‌های مختلف زمین‌آماری، روش کریجینگ مدل‌نمایی بهترین الگو را برای تخمین میزان انباشت کربن خاک در زمین‌های زراعی تحت کشت سویا در عمق‌های اول و دوم خاک در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان گرگان ارائه می‌دهد. براساس نقشه پهنه‌بندی، میزان انباشت کربن در عمق اول خاک در زمین‌های زراعی تحت کشت گندم، در مناطق شرقی، شمال شرقی، جنوبی و مرکزی (۲/۷۸- تا ۱/۴۵- تن در هکتار)

انتخاب درست کشاورزان مبنی بر گنجاندن گیاه سویا در تناوب بعد از کشت گندم در شهرستان گرگان و جبران این میزان منفی می‌باشد. اصولاً دلایل مختلفی در این کاهش کربن در خاک دخالت دارند: از جمله زیاد بودن دفعات خاکورزی در فصل زراعی گیاه گندم، مصرف زیاد کود شیمیایی، ورود ماشین‌آلات کشاورزی مختلف به مزارع و به دفعات زیاد در چندین مرحله، آتش زدن بقایای گیاهی و کم بودن حجم لاشبرگ ورودی به خاک در مزارع گندم نسبت به سویا ( Heidari *et al.*, 2017).

میزان کاهش انباشت کربن در عمق دوم تا حدودی منطقه وسیع‌تری از نواحی شمال شرقی شهرستان را نسبت به عمق اول به خود اختصاص داد که می‌توان علت آن را در مصرف بیشتر کود اوره در زمان کشت گندم در این منطقه و آبشویی و نفوذ آن به عمق بیشتر خاک دانست. احتمال می‌رود که افزایش مصرف کود اوره و نفوذ آن به اعماق، منجر به کاهش کربن موجود برای ریزجانداران خاک، کاهش تنفس و کربن زیست-توده میکروبی در عمق دوم و در نتیجه منجر به افزایش کربن و میزان انباشت آن در عمق اول خاک شود.

مدیریت زراعی نسبت به مزارع سویا که نشان دهنده مصرف کربن در این مزارع است، میزان انباشت کربن در عمق اول بیشتر از عمق دوم بود. علت این افزایش را می‌توان علاوه بر حجم بیشتر لاشبرگ در این عمق، سطحی بودن سیستم ریشه‌ای در گیاه گندم دانست، زیرا این امر می‌تواند بر حجم لاشبرگ بیافزاید و در نتیجه میزان ماده آلی، کربن آلی و در نهایت میزان انباشت و ترسیب کربن خاک افزایش می‌یابد. دیانتی و همکاران (Dianati Tilaki *et al.*, 2009) مقادیر زیاد ترسیب کربن خاک در عمق اول را نسبت به عمق دوم، به حجم زیاد لاشبرگ در این عمق نسبت دادند.

### تغییرات مکانی انباشت کربن خاک مزارع تحت الگوی تناوبی سویا-گندم

نتایج نشان داد که در هر دو عمق اول و دوم خاک در بین روش‌های مختلف زمین آماری، روش کریجینگ مدل نمایی، کمترین خطا و بیشترین صحت و درستی را دارا بود. در نقشه پهنه‌بندی، میزان انباشت کربن آلی خاک در زمین‌های تحت تناوب کشت سویا-گندم در محدوده شهرستان گرگان در عمق اول در محدوده شرقی، شمال، تا حدودی شمال شرقی، مرکزی و جنوبی، بیشترین مقدار از ۴/۷۴- تا ۳/۸۹- تن در هکتار و از ۵/۲۳- تا ۴/۷۴- تن در هکتار، کمترین مقدار را نشان داده است (شکل ۶ الف). همچنین در عمق دوم خاک، بیشترین مقدار در قسمت‌های مرکزی، جنوبی، تا حدودی در قسمت‌های شمال شرقی، شرقی (۲/۴۸- ۵/۳۰- تن در هکتار) و کمترین مقدار در قسمت‌های شمال شرقی و جنوب غرب (۵/۳۰- ۸/۴۸- تن در هکتار) مشاهده گردید (شکل ۶ ب). نتایج بررسی‌ها در تناوب زراعی سویا-گندم نشان داد که میزان انباشت کربن آلی خاک در عمق دوم بیشتر از عمق اول خاک است، که به‌نظر می‌رسد به علت سیستم ریشه‌ای گسترده سویا علاوه بر بهبود ساختمان خاک، مقدار قابل توجهی بقایای ریشه به خاک اضافه شده و به تبع افزایش میزان کربن خاک، میزان انباشت آن نیز افزایش می‌یابد. این نتایج با نتایج تحقیقات سروی و متین‌فر ( Sarvi & Matinfar, 2016) روی گیاه یونجه مطابقت داشت. براساس نتایج، میزان انباشت کربن در این الگوی تناوبی به صورت منفی بود که نشانگر مصرف کربن خاک و انتشار آن به جو در مزارع گندم است. از طرفی حاکی از



جدول ۲- نتایج ارزیابی روش‌های زمین آماری در تخمین میزان کربن آلی خاک در زمان قبل از کاشت و پس از برداشت در زمین‌های زراعی تحت کشت شده گیاه سویا در محدوده زراعی گرگان

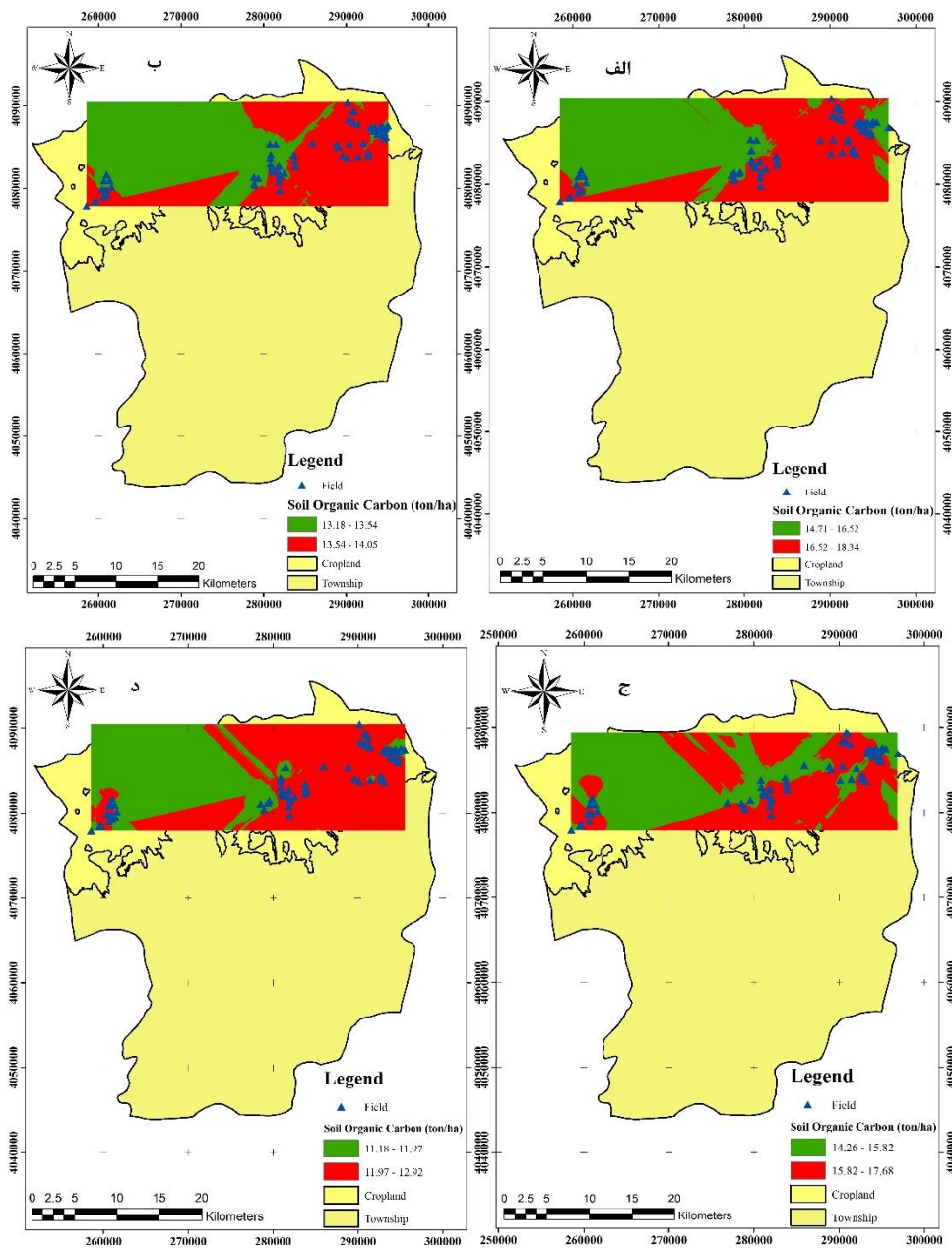
Table 2. The geostatistical methods assessment results in estimating the amount of soil organic carbon in the before sowing and after harvest soybean in Gorgan croplands

Depth	Model	Before planting (0-15cm)			After harvest (15-30 cm)			Before planting (0-15cm)			After harvest (15-30 cm)		
		RMSE	MBE	MAE	RMSE	MBE	MAE	RMSE	MBE	MAE	RMSE	MBE	MAE
IDW	Power 1	3.51	-0.13	4.20	1.82	-0.31	2.14	0.77	-0.012	0.92	1.97	-0.06	2.14
	Power 2	4.06	-0.51	4.75	1.93	-0.42	2.27	0.79	-0.03	0.98	1.90	-0.12	2.32
	Power 3	4.36	-0.72	5.09	1.98	-0.39	2.37	0.81	-0.004	1.02	1.85	-0.14	2.27
RBF	Multiquadric function	4.50	-0.52	5.15	1.88	-0.24	2.28	0.90	0.03	1.12	1.91	-0.06	2.35
	Invers Multiquadric function	3.18	0.20	3.96	1.77	-0.15	2.11	0.75	0.065	0.89	2.005	-0.02	2.37
	Thin-plate spiline	6.86	-1.03	7.73	1.89	-0.32	2.47	1.15	0.084	1.51	2.17	-0.05	2.63
Local Plynomial	Order1	3.53	-0.18	4.42	1.77	0.013	2.07	0.80	-0.032	0.95	2.062	-0.19	2.42
	Order2	4.22	-0.67	5.52	1.95	-0.04	2.44	0.87	0.16	1.11	2.05	-0.14	2.57
	Order3	5.54	0.51	9.03	2.20	-0.41	4.36	1.17	0.35	1.62	2.59	-0.033	3.38
Kriging	Stable	3.17	0.25	4.03	1.66	-0.15	2.04	0.77	0.033	0.92	2.015	-0.12	2.47
	J-Bassel	3.17	0.25	4.03	1.62	-0.12	1.98	0.76	0.030	0.90	2.13	-0.10	2.61
	Gaussin	3.17	0.25	4.03	1.66	-0.15	2.04	0.77	0.033	0.92	1.97	-0.13	0.19
	Exponential	2.99	0.20	3.98	1.70	-0.13	2.06	0.73	0.047	0.87	1.97	-0.09	2.41
	Spherical	3.17	0.25	4.03	1.70	-0.13	2.06	0.75	0.033	0.90	1.97	-0.10	2.41
	Circular	3.17	0.25	4.03	1.67	-0.15	2.04	0.76	0.034	0.91	1.94	-0.13	2.38

جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های زمین آماری در تخمین میزان کربن آلی خاک در زمان قبل از کاشت و پس از برداشت در زمین‌های زراعی تحت کشت شده گیاه گندم در محدوده زراعی گرگان

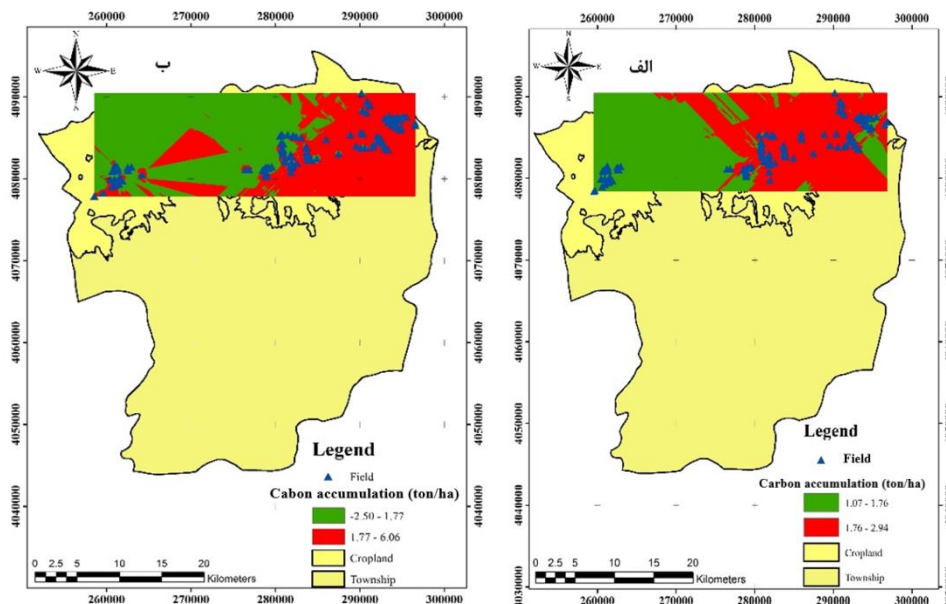
Table 3. The geostatistical methods assessment results in estimating the amount of soil organic carbon in the before sowing and after harvest wheat in Gorgan croplands.

Depth	Model	Before planting (0-15cm)			After harvest (0-15cm)			Before planting (15-30cm)			After harvest (15-30 cm)		
		RMSE	MBE	MAE	RMSE	MBE	MAE	RMSE	MBE	MAE	RMSE	MBE	MAE
IDW	Power 1	2.20	0.38	2.65	0.5	-0.02	0.55	1.45	-0.016	1.64	0.50	0.001	0.63
	Power 2	2.41	0.51	2.90	0.52	-0.05	0.56	1.57	-0.023	1.77	0.58	-0.01	0.66
	Power 3	2.52	0.52	3.04	0.54	-0.04	0.58	1.62	-0.025	1.82	0.63	-0.01	0.69
RBF	Multiquadric function	2.35	0.36	2.86	0.45	-0.02	0.50	1.54	0.035	1.75	0.57	0.082	0.66
	Invers Multiquadric function	2.06	0.11	2.48	0.45	-0.02	0.50	1.32	0.013	1.50	0.48	0.016	0.59
	Thin-plate spiline	3.80	0.98	5.65	0.47	-0.03	0.61	1.80	0.26	2.12	0.67	0.059	0.79
Local Plynomia	Order1	2.04	0.13	2.54	0.46	-0.02	0.57	1.49	0.009	1.64	0.56	-0.02	0.71
	Order2	3.27	0.34	4.25	-0.071	-0.07	0.71	1.52	0.10	1.92	0.63	-0.03	0.78
	Order3	0.27	-0.20	11.75	1.11	-0.39	1.60	3.39	1.34	5.66	4.54	0.41	12.13
Kriging	Stable	2.05	0.13	2.48	0.44	-0.05	0.49	1.38	-0.02	1.56	0.48	0.015	0.60
	J-Bassel	2.04	0.10	2.45	0.45	0.05	0.50	1.27	0.03	1.48	0.43	0.025	0.56
	Gaussin	2.05	0.13	2.48	0.44	-0.05	0.49	1.38	-0.03	1.56	0.50	0.013	0.62
	Exponential	1.98	0.075	2.44	0.43	0.021	0.47	1.27	-0.001	1.49	0.47	0.043	0.59
	Spherical	2.05	0.12	2.47	0.44	-0.001	0.49	1.34	-0.007	1.52	0.49	0.015	0.61
	Circular	2.06	0.13	2.48	0.46	-0.01	0.49	1.30	-0.014	1.56	0.49	0.013	0.62



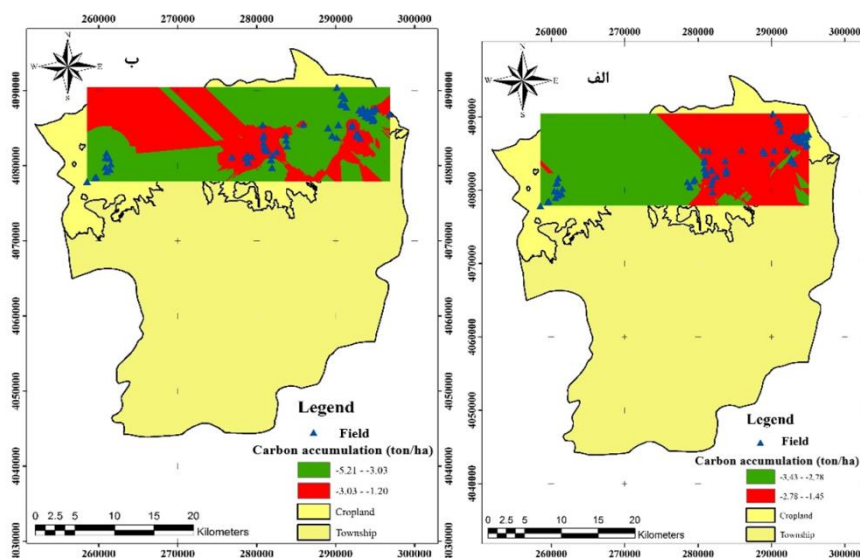
شکل ۳- پهنه‌بندی میزان کربن آلی خاک زمین‌های زراعی تحت کشت گندم در عمق‌های ۰-۱۵ قبل از کاشت (شکل الف)، ۰-۱۵ بعد از برداشت (شکل ب)، ۱۵-۳۰ قبل از کاشت (شکل ج) و ۱۵-۳۰ سانتی‌متر بعد از برداشت گندم (شکل د) با استفاده از روش کریجینگ در محدوده زراعی گرگان

Figure 3. Zoning of soil organic carbon content in fields under wheat cultivation at depths of 0-15 before sowing (A), 0-15 after harvest (B), 15-30 before planting (C) And 15-30 cm after wheat harvest (D) using kriging method in Gorgan croplands



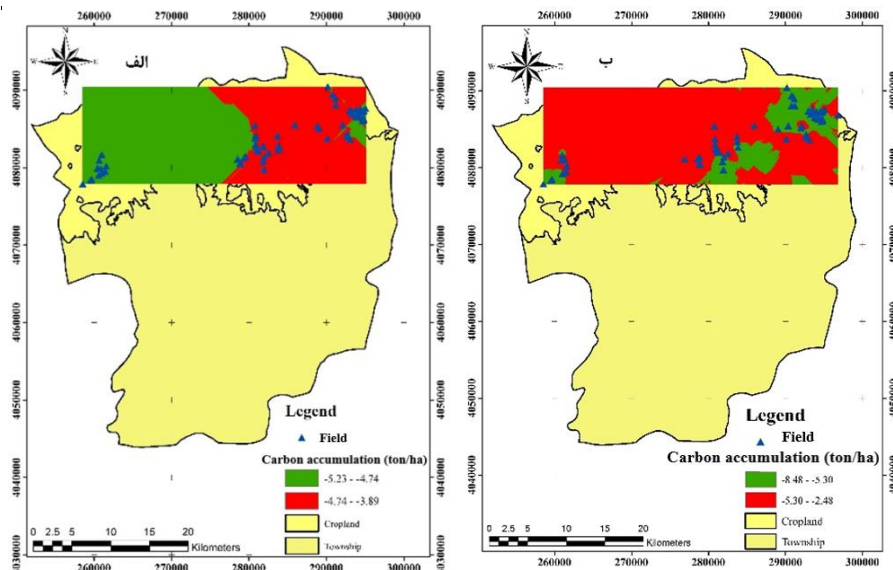
شکل ۴- پهنه‌بندی میزان انباشت کربن آلی خاک زمین‌های زراعی تحت کشت سویا در عمق‌های ۰-۱۵ سانتی‌متری (شکل الف) و ۱۵-۳۰ سانتی‌متر خاک (شکل ب) با استفاده از روش کریجینگ در محدوده زراعی گرگان

Figure 4. Zoning map of carbon accumulation under the cultivation of soybean in depths 0-15 cm (a) and 15-30 cm (b) using Kriging method in Gorgan croplands



شکل ۵- پهنه‌بندی میزان انباشت کربن آلی خاک زمین‌های زراعی تحت کشت گندم در عمق‌های ۰-۱۵ سانتی‌متری (شکل الف) و ۱۵-۳۰ سانتی‌متر خاک (شکل ب) با استفاده از روش کریجینگ در محدوده زراعی گرگان

Figure 5. Zoning map of carbon accumulation in under the cultivation of wheat in the depths 0-15 cm (a) and 15-30 cm (b) using Kriging method in Gorgan croplands



شکل ۶- پهنه‌بندی میزان انباشت کربن آلی خاک زمین‌های زراعی تحت تناوب کشت سویا-گندم در عمق‌های ۱۵-۰ (شکل الف) و

۳۰-۱۵ سانتی‌متر خاک (شکل ب) با استفاده از روش کریجینگ در محدوده زراعی شهرستان گرگان

Figure 6. Zoning map of carbon accumulation in the soybean-wheat crop rotation in the depths 0-15 cm (a) and 15-30 cm (b) using Kriging method in Gorgan croplands

بصورت منفی برآورد شد که نشان‌گر مصرف کربن خاک و انتشار آن به جو در این مزارع است. از طرفی حاکی از انتخاب درست کشاورزان مبنی بر گنجاندن گیاه سویا در تناوب با گندم در شهرستان گرگان می‌باشد. زیرا در این آزمایش میزان کربن آلی و پتانسیل انباشت آن در گیاه زراعی سویا بیشتر از گندم برآورد شد. این نتیجه مؤید آن است فرم رویشی گیاه زراعی نقش مهمی در میزان کربن آلی و پتانسیل انباشت کربن آلی خاک در عمق‌های اول و دوم خاک دارد. گیاه سویا به دلیل داشتن تاج پوشش انبوه‌تر، اندام‌های هوایی و زیرزمینی بیشتر و در نتیجه حجم بیشتر لاشبرگ، از توانایی بیشتری در انباشت کربن برخوردار است. اصولاً هرچه نسبت اندام‌های هوایی و زیرزمینی در گیاه بیشتر باشد، توانایی آن در ترسیب کربن افزایش می‌یابد. بررسی سابقه و برنامه مدیریتی مزارع مشخص نمود که دلایل مختلفی مانند آتش زدن بقایای گیاهی، خاکورزی رایج و مکرر، مصرف زیاد کود شیمیایی و ورود ماشین‌آلات مختلف به مزارع، منجر به کاهش انباشت کربن خاک در مزارع گندم می‌شوند.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این بررسی نشان داد که روش کریجینگ بهترین تخمین‌گر برای پتانسیل انباشت کربن در عمق‌های اول و دوم خاک در زمین‌های زراعی تحت تناوب زراعی سویا و گندم در محدوده کشاورزی شهرستان گرگان است. برای پهنه‌بندی میزان پتانسیل انباشت کربن خاک در هر دو عمق خاک، مدل‌های مختلف کریجینگ به‌علت داشتن دقت بالا و کمترین خطا انتخاب شدند. نتایج پهنه‌بندی نشان داد که در مجموع، در بخش‌های شرقی، شمالی، شمال شرقی، جنوبی، جنوب شرقی و مرکزی شهرستان بیشترین و بخش‌های غرب و جنوب غربی شهرستان کمترین میزان پتانسیل انباشت کربن وجود دارد. سهم نسبی کربن در مزارع سویا در زمان پس از برداشت بیشتر از قبل از کاشت و در مزارع گندم در زمان قبل از کاشت بیشتر از زمان پس از برداشت بود. به‌طور کلی بیشترین میزان کربن آلی ذخیره شده و بیشترین میزان پتانسیل انباشت کربن در خاک در هر دو گونه گیاهی به عمق اول اختصاص یافت. براساس نتایج، میزان انباشت کربن در برخی از مزارع گندم

## References

- Ahmadi H., Heshmati G.H.A., and Naseri H.R. 2014. Potential of soil carbon sequestration in desert lands under the influence of Saxaul (*Haloxylon persicum* L.) and Spiny Rush (*Juncus acutus* L.) (Case study: Aran and Bidgol). *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 23(5): 63-92.
- Ayobi S., Mohammad Zamani S., and Khormali F. 2007. Prediction total N by organic matter content using some geostatistic approaches in part of farm land of Sorkhankalateh, Golestan Province. *Journal Agriculture Sciences and Natural Resource*, 14(4): 1-10. (In Persian with English Summary)
- Blake G.R., and Hartge K.H. 1986. Bulk density. In: Klute, A. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part I: Physical and Mineralogical Method, Agronomy Monograph No. 9*. ASA-SSSA, Madison, pp. 363-375.
- Brar B.S., Singh K., Dheri G.S., and Kumar B. 2013. Carbon sequestration and soil carbon pools in a rice-wheat cropping system: effect of long-term use of inorganic fertilizers and organic manure. *Soil Tillage Research*, 128: 30-36.
- Buringh P. 1984. Original carbon in soils of the world. In: Woodwell, G.M. (Eds.), *The Role of Terrestrial Vegetation in the Global Carbon Cycle*. John Wiley and Sons, Inc, New York, 247p.
- Das A., Lal R., Patel D.P., Idapuganti R.G., Layek J., Ngachan S.V., and Ghosh P.K. 2014. Effects of tillage and biomass on soil quality and productivity of lowland rice cultivation by small scale farmers in North Eastern India. *Soil and Tillage Research*, 143: 50-58.
- Dieleman C.M., Branfireun B.A., McLaughlin J.W., and Lindo Z. 2015. Climate change drives a shift in peatland ecosystem plant community: implications for ecosystem function and stability. *Global Change Biology*, 21: 388-395.
- Dianati Tilaki G.H.A., Naghipoor Borj A.A., Tavakoli H., Heidarian Aghakhani M., and Saeed Afkhamoshara M.R. 2009. Effect of enclosure on soil carbon sequestration and plant biomass in semi-arid rangelands of North - Khorasan province. *Rangeland Scientific Research Journal*, 23: 668-679.
- Han B., Wang X.K., and Ouyang Z.Y. 2005. Saturation levels and carbon sequestration potentials of soil carbon pools in farmland ecosystems of China. *Rural Eco-Environment*, 21: 6-11. (In Chinese)
- Hasanipak A. 1998. *Geostatistics*. Tehran University Press, 314p. (In Persian)
- Heidari P., Hojati S., Enayati Zamir N., and Rayatpishe A. 2017. The impact of land use change on organic carbon storage and some soil biological properties in a part of rakat watershed in Khuzestan province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24: 181-192.
- Jafarian Z., and Tayefeh Seyyed Alikhani L. 2012. Carbon sequestration potential in dry farmed wheat in Kiasar Region. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 23(1): 31-41. (In Persian with English Summary)
- Kazemi H., and Ghorbani Kh. 2015. Investigation of different interpolation methods for estimation and zoning of precipitation variables in agricultural lands of Aq-Qalla township for rainfed cropping of autumn cereals. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(4): 1-23.
- Kravchenko A., and Bullock D.G. 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. *Agronomy Journal*, 91: 393- 400.
- Khorramdel S., Rezvani Moghaddam P., and Jafari L. 2016. Evaluation of potential for carbon sequestration in Rapeseed (*Brassica napus* L.) in Razavi Khorasan province. *Journal of Crop Production*, 9(3): 22-43. (In Persian with English Summary)
- Lemma B., Kleja D.B., Nilsson I., and Olsson M. 2006. Soil carbon sequestration under different exotic tree species in the southwestern highlands of Ethiopia. *Geoderma*, 136: 886-898.
- Lichtfouse E. 2009. *Climate Change, Intercropping, Pest Control and Beneficial Microorganisms*. Springer. 524p.
- Li H., Qiu J.J., Wang L.G. and Yang L. 2011. Advance in a terrestrial biogeochemical model-DNDC model. *Acta Ecological Sinica*, 31: 91-96.
- Li S., Li Y., Li X., Tian X., Zhao A., Wang S., Wang S., and Shi J. 2016. Effect of straw management on carbon sequestration and grain production in a maize-wheat cropping system in Anthrosol of the Guanzhong Plain. *Soil and Tillage Research*, 157: 43-51.

- Luedling E., Kindt R., Hunth N., and Koenig, K. 2014. Agroforestry systems in a changing climate-challenges in projecting future performance. *Current Opinion Environmental Sustainability*, 6: 1-7.
- Mahdian M.H. 2007. Application of Geostatistics in Soil Science. Proceedings of the First Conference on Soil, Sustainable Development and the Environment. University of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian)
- Qiu Q., Wu L., Ouyang Z., Li B., Xu Y., Wu S., and Gregorich, E.G. 2015. Effects of plant-derived dissolved organic matter (DOM) on soil CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions and soil carbon and nitrogen sequestrations. *Applied Soil Ecology*, 96: 122-130.
- Sapkota T.B., Jat K.R., Singh R.G., Jat M.L., Stirling C.M., Jat M.k., Bijarniva D., Kumar M., Saharawat Y.S., and Gupta R.K. 2017. Soil organic carbon changes after seven years of conservation agriculture in a rice-wheat system of the eastern Indo-Gangetic Plains. *Sil Use and Management*, 33(1): 81-89.
- Sarvi V., and Matinfar H.R. 2016. Evaluation of carbon sequestration potential in alfalfa, maize and canola fields of Moghan plain using different statistical methods in GIS environment. First Conferences on Remote Sensing and Geographic Information Systems in Earth Sciences. Faculty of Agriculture, Shiraz University, Iran. *Oceanic and Oceanographic Research Center*. (In Persian)
- Shadrack B.D., Chen Z.D., Ratten L., Zhang H.L., and Chen F. 2014. Changes in soil organic carbon and nitrogen as affected by tillage and residue management under Wheat -Maize cropping system in North China Plain. *Soil Tillage Research*, 144: 110-118.
- Smith J., Coleman K., Gottschalk P., Bellarby J., Richards M., and Nayak D. 2010. Estimating changes in national soil carbon stocks using ECOSSE- a new model that includes upland organic soils. Part II. Application in Scotland. *Climate Research*, 45: 193-205.
- Smith P. 2012. Agricultural gas mitigation potential globally, in Europe and in the UK: what have we learnt in the last 20 years? *Global Change Biology*, 18:35-43.
- Sommer R., and Bossio D. 2014. Dynamics and climate change mitigation potential of soil organic carbon sequestration. *Journal of Environmental Management*, 144: 83-87.
- Tao F., Palosuo T., and Valkama E. 2019. Cropland soils in China have a large potential for carbon sequestration based on literature survey. *Soil and Tillage Research*, 186: 70-78.
- Veramesh S., Hosseini S.M., Abdi N., and Akbarinia M. 2010. Effects of afforestation on increasing carbon sequestration and improving some soil properties, *Iranian Journal of Forestry, Iranian Forestry Association*, 1: 25-35.
- Walkley A., and Black I.A. 1934. Na examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
- Webster R., and Oliver M.A. 2000. Geostatistics for environmental scientists. Wiley press, 271p.
- Wuest S.B., and Gollany H.T. 2013. Soil organic carbon and nitrogen after application of nine organic amendments. *Soil Science Society American Journal*, 77: 237-245.
- Zhang P., Wei T., Li Y., Wang K., Jia Z., Han Q., and Ren X. 2015. Effects of straw incorporation on the stratification of the soil organic C, total N and C: N ratio in a semiarid region of China. *Soil Tillage Research*, 153: 23-35.

## Estimation of Organic Carbon Content and its Changes in Soybean-Wheat Cropping Rotation

Samane Bakhshande Larimi<sup>1</sup>, Hossein Kazemi<sup>2\*</sup>, Afshin Soltani<sup>3</sup>, Behnam Kamkar<sup>4</sup>

(Received: October 2020      Accept: December 2021)

### Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of crop type on soil carbon accumulation in soybean (*Glycin max* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) rotation, in 150 fields of soybean and 89 wheat fields in Gorgan county, in the cropping years of 2016-2017 and 2017-2018, respectively. In order to determine the amount of organic carbon and its changes, soil samples from two depths of 0-15 cm (first depth) and 15-30 cm (second depth) were prepared and then soil carbon was measured by Walkley-Black method. Spatial distributions of soil organic carbon and carbon accumulation potential at different depths and also, in the pre-sowing and post-harvest stages were performance using different types of interpolation methods in ArcGIS environment. The results of interpolation methods showed that Kriging was the best model for interpolation of organic carbon distribution and carbon accumulation in agricultural fields of Gorgan. Average amounts of soil organic carbon in the first depth of soybean fields were as 14.84 mg ha<sup>-1</sup> and 13.41 mg ha<sup>-1</sup> for the second depth in the pre-sowing stage. Also, it was estimated as 16.85 mg ha<sup>-1</sup> in the first depth and 15.52 mg ha<sup>-1</sup> for second depth, in the post-harvest stage. The amounts of soil organic carbon in the wheat fields were determined about 16.78 and 15.25 mg ha<sup>-1</sup> for first and second depths in the pre-sowing stage, respectively. Those were 13.68 and 12.30 mg ha<sup>-1</sup> for of first and second depths in the post-harvest stage sampling, respectively. The results showed that the eastern, northern, northeastern, southern, southeastern and central parts of the county had the highest carbon accumulation due to access to modern irrigation systems, more water resources, better crop management, suitable return of crop residue to the soil, develop of minimum tillage, minimizing the burning of residue and using manure. Results showed that the western and southwestern parts of the county had the lowest carbon accumulation.

**Keywords:** Crop rotation, Kriging method, Organic Carbon, Soybean, Wheat

Bakhshande Larimi S., Kazemi H., Soltani A. and Kamkar B. 2023. Estimation of organic carbon content and its changes in soybean-wheat cropping rotation. *Applied Soil Research*, 11(1): 1-15.

1. Former Ph.D. Student of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources  
2. Associate Professor of Agronomy Department, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources  
3. Professor of Agronomy Department, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources  
4. Professor of Agrotechnology Department, Ferdowsi University of Mashhad  
\* Corresponding Author Email: [hkazemi@gau.ac.ir](mailto:hkazemi@gau.ac.ir)