

ارزیابی و پهنه‌بندی خدمت تنظیمی پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های گیاهی کلزا (*Brassica napus* L.) (مطالعه موردی: بخش سرخنگلاته، شهرستان گرگان)

Evaluation and Zoning of Carbon Sequestration Potential Regulating Service in Canola Plant Organs (*Brassica napus* L.) (Case study: Sorhankalateh Region, Gorgan County)

راضیه شاهی مریدی^۱، حسین کاظمی^{۲*}، بهنام کامکار^۳، احمد ندیمی^۴، محسن حسینعلی‌زاده^۵،
حسن یگانه^۶

۱. دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. (نگارنده مسئول)
۲. دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۳. استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و گروه آگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۴. استادیار گروه گیاه پزشکی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۵. دانشیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۶. استادیار، گروه مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۴ - شناسانه برنمود رقمی: aj.2023.358416.1600/10.22092

چکیده

شاهی مریدی، ر.، کاظمی، ح.، کامکار، ب.، ندیمی، ا.، حسینعلی‌زاده، م.، یگانه، ح.، ارزیابی و پهنه‌بندی خدمت تنظیمی پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های گیاهی کلزا (*Brassica napus* L.) (مطالعه موردی: بخش سرخنگلاته، شهرستان گرگان)
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۵- شماره ۳- پیاپی ۱۳۶ پائیز ۱۴۰۱ صفحه: ۱۱۷-۱۱۰

بوم نظام‌های زراعی به علت توانایی ترسیب کربن، می‌توانند نقش مهمی در کاهش گازهای گلخانه‌ای ایفا کنند. این مطالعه به منظور ارزیابی و پهنه‌بندی پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های گیاهی ارقام کلزا کشت شده در مزارع بخش سرخنگلاته، شهرستان گرگان در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی انجام شد. برای این منظور نمونه‌برداری از ۵۰ مزرعه به صورت تصادفی با کوادرات $۰/۵ \times ۰/۵$ متر مربعی در زمان رسیدگی گیاه انجام شد و اندام‌های هوایی و زیرزمینی به صورت جداگانه برداشت و خشک شدند. برای تعیین پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های کلزا (ساقه، خورجین، برگ، بذر و ریشه) از روش احتراق استفاده شد. در گام بعدی پس از برسی نرمال بود داده‌ها، با استفاده روش‌های مختلف درون یابی در ArcMap، پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های گیاهی به صورت نقشه تهیه شد. نتایج نشان داد که میانگین کربن ترسیب شده در کل اندام‌های گیاهی کلزا در مزارع تحت کشت رقم هایولا ۵۰، برابر با $۶۶۵۷/۴۷$ کیلوگرم در هکتار و در مزارع تحت کشت رقم تراپ برابر با $۶۵۶۰/۳۳$ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین پتانسیل ترسیب کربن در ساقه در دو رقم هایولا ۵۰ و تراپ به ترتیب برابر با $۲۰۱۲/۳۶$ و $۱۹۹۳/۹۷$ ، در خورجین برابر با $۱۶۷۶/۷۷$ و $۱۶۰۸/۳۶$ ، در بذر معادل $۱۷۱۷/۲۰$ و $۱۶۳۹/۹۵$ ، در برگ به ارزش $۶۰۲/۹۰$ و $۶۱۵/۷۲$ و در ریشه حدود $۶۴۸/۲۱$ و $۷۰۲/۳۰$ کیلوگرم در هکتار تعیین شد. همچنین نسبت اندام هوایی به ریشه دو رقم هایولا ۵۰ و تراپ برابر با $۹/۵۳$ و $۸/۹۳$ و میانگین تولید خالص کل گیاه (NPP) $۷۱۷۴/۸۰$ و $۷۱۳۹/۶۹$ کیلوگرم در هکتار و تولید خالص اندام هوایی (ANPP) $۶۰۷۶/۹۸$ و $۵۹۷۰/۸۷$ کیلوگرم در هکتار و تولید خالص بخش زیر زمینی (BNPP) $۱۰۹۷/۸۲$ و $۱۱۶۸/۸۲$ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. نقشه‌های پتانسیل ترسیب کربن نشان داد که در کشت بوم‌های کلزای واقع در قسمت‌های شمال، غرب و شمال غربی منطقه سرخنگلاته بیشترین میزان پتانسیل ترسیب کربن وجود دارد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که برگشت اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا به خاک، می‌تواند به عنوان راهکاری بوم‌شناختی در جهت بهبود پتانسیل ترسیب کربن مدنظر قرار داد.

واژه های کلیدی: اندام‌های اقتصادی، تولید خالص اولیه، درون‌یابی، گیاه دانه روغنی

* Corresponding author E-mail: hkazemi@gau.ac.ir: نگارنده مسئول

مقدمه

خاک تحت آن برای جذب دی‌اکسید کربن اتمسفر و ذخیره بلند مدت آن به صورت کربن در خود می‌باشد. بنابراین ترسیب کربن زمانی رخ می‌دهد که میزان جذب دی‌اکسید کربن توسط گیاهان از اتمسفر، بزرگتر از مجموع میزان تنفس خاک، تنفس گیاه و قطع زیست‌توده گیاهی باشد (Anderson *et al.*, 2008). افزایش ترسیب کربن ناشی از افزایش زیست‌توده گیاهی موجب افزایش تولید، بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و جلوگیری از فرسایش آبی و بادی می‌گردد. به همین دلیل ترسیب کربن علاوه بر دارا بودن نقش حفاظتی و پایه‌ای به دلیل افزایش تولید زیست‌توده، از نظر اقتصادی نیز دارای ارزش می‌باشد و می‌تواند به عنوان احیای اراضی تخریب شده مطرح گردد (Solaimanisardo, 2013).

کشاورزی از طریق ترسیب کربن می‌تواند به عنوان عامل مهمی در جهت کاهش اثرات تغییر اقلیم مؤثر می‌باشد. در گذشته ترسیب کربن عمدتاً در رابطه با جنگل‌ها مطرح بوده، اما امروزه کاشت گیاهان زراعی نیز می‌تواند از طریق نگهداری بقایای گیاهی و مصرف صحیح کودهای آلی حاصل شده در خاک در ترسیب کربن مؤثر باشند (Seyedi, 2016). گیاهان با جذب دی‌اکسید کربن در طی فتوسنتز، مقدار زیادی کربن آلی را در اندام‌های هوایی و زیر زمینی خود ذخیره می‌کنند. بخصوص در مورد درختان و گیاهان پرشاخ و برگ که ساختار ریشه‌ای گسترده‌ای دارند این موضوع بیشتر صدق می‌کند. ذخیره کربن می‌تواند از طریق

ذخیره‌سازی و ترسیب کربن از مهم‌ترین و شناخته شده‌ترین خدمات تنظیمی بوم‌سازگان است که از طریق تنظیم اقلیم در مقیاس‌های خرد محلی تا کلان جهانی به کاهش و تعدیل سرعت تغییرات اقلیمی منجر می‌شود (Pagiola *et al.*, 2008). خدمات بوم‌سازگان در واقع مزایایی هستند که انسان‌ها از بوم‌نظام‌ها به دست می‌آورند و یکی از بارزترین و با ارزش‌ترین آن‌ها خدمات ترسیب کربن است. پیرو این مساله ترسیب کربن 'رهیافتی برد- برد برای تعدیل آثار مخرب فعالیت بشر در حل مشکلات افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای است (Tolessa *et al.*, 2017). از طرفی دی‌اکسید کربن یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای است که در طول دهه‌های اخیر افزایش مقدار آن در اتمسفر سبب گرم شدن زمین شده است. گرم شدن زمین اثر مخربی بر حیات موجودات داشته و سبب تخریب بوم‌نظام‌های طبیعی، وقوع سیل و خشکسالی و برهم خوردن تعادل اقلیمی و بوم‌شناختی می‌شود. ترسیب کربن فرایندی است که طی آن دی‌اکسید کربن اتمسفر جذب شده و در بافت‌های گیاهان و همچنین در خاک به صورت هیدرات‌های کربن تجمع و رسوب می‌کند (Abdi, 2005). مرکز توسعه پایدار در امریکا ترسیب کربن را تبدیل دی‌اکسید کربن اتمسفری به ترکیبات آلی کربن‌دار توسط گیاهان بیان می‌کند که طی عمل فتوسنتز صورت می‌گیرد (Adams *et al.*, 1999).

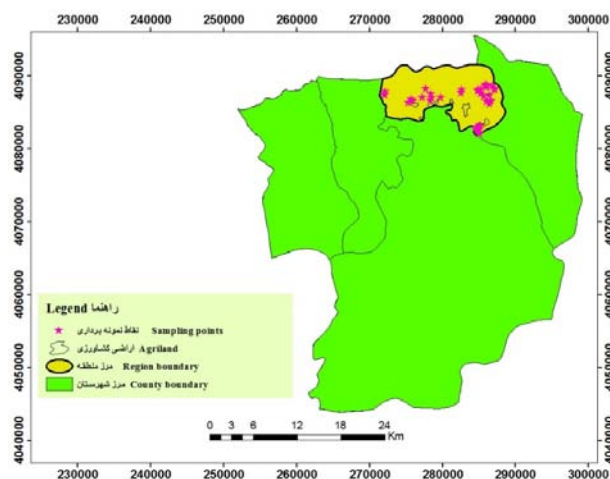
ترسیب کربن توانایی زیست‌توده گیاهی و

غربی محدوده کشاورزی شهرستان گرگان از کمترین میزان پتانسیل ترسیب کربن برخوردار بودند. به طوری که میزان کل پتانسیل ترسیب کربن (مجموع اندام های هوایی و زیرزمینی) در گیاه سویا در این بررسی برابر با ۳۰۸۵/۹۸ کلوگرم در هکتار برآورد شد (Bakhshande, Larimi et al., 2020).

در مطالعه ای که در کشور سنگال روی میزان کربن ذخیره شده در خاک و گیاه *Dactyloctenium aegyptium* انجام شد محققان به این نتیجه دست یافتند که حدود ۶۰ درصد از کربن آلی خاک در عمق ۲۰ سانتی متر از سطح خاک ذخیره شده است (Woomer et al., 2004). در تحقیقی که به منظور ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن در بوم نظام های تولید ذرت تحت نظام های مختلف مدیریت نهاده انجام شد، نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد کربن (۰/۸ کلوگرم در متر مربع) در نظام های کشت پرنهاده و کمترین مقدار آن (۰/۵ کلوگرم در متر مربع) در نظام های کشت کم نهاده با کاربرد کمپوست به دست آمد (Khorramdel et al., 2013). محققان گزارش کردند ترسیب کربن در زیست توده گیاهی و خاک هایی که تحت این زیست توده هستند، ساده ترین و از نظر اقتصادی، عملی ترین راهکار پایدار ممکن به منظور کاهش اثرات تغییر اقلیم و کاهش غلظت دی اکسید کربن از اتمسفر است (Sandhu et al., 2008). در مطالعه ای که روی نظام های زراعی گندم پائیزه - ذرت بهاره در طی چهار سال انجام شد پژوهشگران گزارش کردند که برگرداندن بقایای کاه و کلش ذرت و گندم منجر به بهبود عملکرد و ترسیب کربن

انتقال کربن از اندام های هوایی به بخش های زیرزمینی و سپس ورود به ذخایر کربن آلی و غیر آلی خاک صورت گیرد (Jansson et al., 2010).

در تحقیقی که به منظور بررسی پتانسیل ترسیب کربن اندام های گیاهی سویا در کشت بوم های مرسوم و حفاظتی شهرستان گرگان انجام شد، نتایج نشان داد در نظام های کشاورزی حفاظتی و مرسوم پتانسیل ترسیب کربن در اندام های گیاهی تقریباً مشابه است به طوری که میزان ترسیب کربن در اندام های گیاهی سویا در اراضی کشت شده مرسوم ۳۲۸۱/۴ کلوگرم در هکتار و در اراضی تحت کشت حفاظتی ۳۱۷۶/۱ کلوگرم در هکتار برآورد شد (Moushani et al., 2019). در مطالعه ای که به منظور ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن مزارع جو در خاک های شور شهرستان گمیشان انجام شد، نتایج نشان داد که قسمت های جنوبی این شهرستان از پتانسیل ترسیب کربن بیشتری برخوردار بودند. همچنین میزان ترسیب کربن در زیست توده هوایی به علت وزن خشک بیش تر از زیست توده زیرزمینی گیاه جو برآورد شد (Mokarari et al., 2021). محققان گزارش کردند که حفظ پسماندها و بقایای گیاهی در زمین و تقویت زمین با گیاه ماش، باعث افزایش تجمع کربن در خاک می شود (Kumar et al., 2019). در مطالعه ای پهنه بندی پتانسیل ترسیب کربن در اندام های گیاهی سویا *Glycine max* (L.) در اراضی زراعی شهرستان گرگان مشخص شد که بخش های شرقی، شمال و جنوب شرقی از بیشترین و بخش های مرکزی، غرب و جنوب



شکل ۱- منطقه سرخنکلاته و مزارع کلزا مورد بررسی در شهرستان گرگان
 Fig. 1. Sorkhankalateh region and the studied fields of canola in Gorgan County.

غلات، جایگاه ارزشمندی در تناوب زراعی دارد و به‌علت داشتن قابلیت بالا در رقابت با علف‌های هرز، هم‌اکنون در سطح وسیعی از مزارع جهان در تناوب با محصولات مختلف به‌ویژه غلات کشت می‌شود (Khajepour, 2007). بر اساس آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی، استان گلستان از نظر سطح زیر کشت کلزا در کشور دارای رتبه اول می‌باشد که با سطح زیر کشت حدود ۵۰۹۸۳ هکتار، ۳۲/۳ درصد از سطح کشت کلزای کشور را در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به خود اختصاص داده است. میزان تولید کلزا در این استان ۱۰۹۱۷۵ تن بوده که ۳۱/۱ درصد از کل تولید کلزا کشور را شامل می‌شود. میزان سطح زیر کشت کلزا در شهرستان گرگان ۵۵۲۵ هکتار و میزان تولید آن ۹۴۱۷ تن است که بخش سرخنکلاته با سطح زیر کشت ۷۰۴ هکتار و تولید ۱۴۱۰ تن از کل تولید شهرستان گرگان را به خود اختصاص داده است (Agricultural Jihad Organization of Golestan Province, 2020). اهمیت کلزا به عنوان یک گیاه روغنی

و در نهایت، منجر به بهبود این نوع نظام زراعی می‌شود (Li et al., 2016). در پژوهشی به‌طور هم‌زمان توانایی بالقوه ترسیب کربن و انتشار کربن به‌صورت گازهای گلخانه‌ای در ۱۰ مزرعه کلزا در استان خراسان رضوی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که میانگین ترسیب کربن خاک از مزارع کلزا ۳/۴۶ تن در هکتار است. همچنین در این مطالعه بیشترین انتشار گازهای گلخانه‌ای برای مصرف کودهای نیتروژن با ۰/۶۸۸ تن دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی برابر با ۱/۳۵ تن معادل دی‌اکسید کربن به ازای یک هکتار محاسبه گردید (Khorramdel et al., 2016).

گیاه کلزا (*Brassica napus* L) به عنوان یک گیاه روغنی از نظر اقلیمی سازگاری خوبی با شرایط استان گلستان پیدا نموده است. همچنین این گیاه از نظر بهبود خصوصیات خاک از طریق ریشه‌های عمودی و عمیق و ترکیب مطلوب بقایای گیاهی نظیر برگ‌های ریزش یافته و کاهش آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز مزارع

جدول ۱- مدیریت مزارع کلزا در منطقه سرخکلاته، شهرستان گرگان

Table 1. Management of canola fields in Sorkhankalateh region, Gorgan County.

توضیحات Description	نوع عملیات زراعی Type of agricultural operation
دار bشخم برگردان Moldboard plow	تهیه بستر Preparation of seedbed
دیم، در صورت لزوم آبیاری تکمیلی Rainfed, if necessary supplementary irrigation	نوع آبیاری Type of irrigation
گندم، برنج، باقلا و آیش Wheat, rice, faba bean and fallow	تناوب زراعی Cropping rotation
متر ۳۰-۳۵ سانتی 30-35 cm	عمق شخم Plow depth
دامی و شیمیایی: Manure and Chemical:	
در کشت آبی: -اوره ۳۰۰-۲۵۰ kg، سوپر فسفات تریپل ۱۵۰-۱۰۰ kg و کلرور پتاس ۱۵۰-۱۰۰ kg - گوگرد ۲۵۰ kg	
In irrigation system: 250-300 kg urea, 100-150 kg triple superphosphates and 100-150 kg potassium chloride - 250 kg sulfur.	نوع کود Fertilizer type
در کشت دیم: اوره ۲۰۰-۱۵۰ kg، سوپر فسفات تریپل ۱۰۰-۷۵ kg، کلرور پتاس ۱۰۰-۷۵ kg - گوگرد ۱۰۰ kg دو یا سه ماه قبل از کاشت با باکتری باسیلوس	
In rainfed cultivation: urea 150-200 kg, triple superphosphate 75-100 kg, potassium chloride 75-100 kg - sulfur fertilizer 100 kg two or three months before sowing with Bacillus bacteria.	
-سلکت سوپر برای کنترل باریک برگ های کلزا (۱ تا ۱/۲۵۰ لیتر در هکتار) Select Super for narrow control of leaves (1 to 1/250 liters per hectare)	علف کش Herbicide
-لونتزل (کلوپیرالید) برای کنترل پهن برگها ۷۵۰ سی سی در هکتار Lontrel (Clopyralid) to control broad leaves 750 cc per hectare	
کامباین Harvester Combine	نحوه برداشت Harvest method
۴ تا ۵ کیلو گرم در هکتار 4 to 5 kg per hectare	میزان بذر مصرفی Amount of seed consumption
هایولا ۵۰ و تراپر Hayola50 and Trapper	رقم Cultivar

و اقلیم، باید رقمی که مناسب آن باشد معرفی گردد. همه این عوامل اهمیت نوع رقم را در زراعت کلزا در ایران نشان می دهد.

میزان کربن ذخیره شده در خاک های جهان حدود ۲۵۰۰ گیگاتن و میزان کربن ذخیره شده در گیاهان حدود ۵۶۰ گیگاتن برآورد شده است (Jansson et al., 2010). هر نوع تغییری در این میزان کربن می تواند موجب آزادسازی قسمتی از آن به اتمسفر گردد. افزوده شدن بر کربن موجود در ذخیره اتمسفری پیامدهای

با ارزش در بخش کشاورزی ایران، باعث شده است که وزارت جهاد کشاورزی هر ساله ارقام مختلفی را وارد و یا آزادسازی نماید. با توجه تنوع اقلیمی ایران نیاز است که ارقام متناسب و سازگار به یک یا چند اقلیم خاص معرفی شوند. معمولاً ارقام وارداتی قبل از کاشت در سطح وسیع برای سازگاری با شرایط اقلیمی مناطق مختلف مورد ارزیابی قرار می گیرند. از طرف دیگر گیاه کلزا در کشور به دو صورت پاییزه و بهاره کشت می شود. بنابراین برای هر منطقه

"۳۶۰۹۱۲۵" تا "۳۶۰۵۴۱۴۵" شمالی و طول جغرافیایی "۵۴۰۳۵۱۴۶" تا "۵۴۰۵۹۱۶۱" شرقی واقع شده است (شکل ۱). سرخنکلاته در دشت مسطحی قرار گرفته و آب و هوای آن معتدل با بارندگی زیاد در فصول پاییز، زمستان و اوایل بهار است. در ماه‌های تیر و مرداد هوا در این منطقه گرم و مرطوب است. این منطقه به لحاظ دارا بودن شرایط اتمسفری مناسب، پتانسیل لازم برای تولید محصولات زراعی از جمله کلزا، سیب‌زمینی، گندم، جو، ذرت، باقلا، سویا و غیره را دارد که نقش مهمی در اقتصاد منطقه دارا می‌باشد. مزارع کلزای نمونه برداری شده در این مطالعه شامل ارقام هایولا ۵۰ و تراپر بودند. رقم هایولا ۵۰ در سال ۱۳۸۸ در ایران معرفی شده که این ژنوتیپ وارداتی می‌باشد. رقم تراپر، دارای تیپ بهاره، هیبرید، دوصفر با عملکرد دانه بالا، خیلی زودرس و مقاوم به ورس می‌باشد که در استان گلستان به صورت پاییزه نیز کشت می‌شود. جزییاتی از شیوه مدیریت مزارع در جدول زیر ارائه شده است.

برآورد پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های

مختلف کلزا

نمونه‌برداری به روش تصادفی و بر اساس الگوی W در انتهای فصل رشد در زمان رسیدگی کامل (زمانی که نیام‌ها به رنگ قهوه‌ای و دانه‌ها سیاه شدند و رطوبت دانه نیز به کم‌تر از ۱۵ درصد رسیده بود) در ۵۰ مزرعه با پراکنش مناسب با استفاده از کوادرات‌های ۰/۵×۰/۵ متر مربع انجام شد. اندام‌های هوایی و زیرزمینی هر کوادرات به صورت جداگانه و به طور کامل برداشت گردید. در هر مزرعه

ناگواری به خصوص تشدید گرمایش جهانی را در پی داشته که از جنبه‌های مختلفی می‌تواند بر حیات موجودات کره زمین تاثیرگذار باشد (Khorramdel *et al.*, 2018). با وجود روش‌های گوناگونی که برای ترسیب کربن وجود دارد، اما بسیاری از آنها یا در مرحله آغازین خود بوده یا به کارگیری آن‌ها در حال حاضر از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست و یا اینکه خطر استفاده از آن‌ها بالا می‌باشد. از این رو امروزه به مساله ترسیب کربن در اندام‌های گیاهی و خاک توجه زیادی شده است، زیرا این روش‌ها با فناوری‌های فعلی عملی بوده، از نظر اقتصادی توجیه پذیرند و علاوه بر انجام ترسیب کربن مزایای جانبی دیگری مانند حفظ و تقویت تنوع زیستی، جلوگیری از فرسایش خاک، ایجاد مکان‌های تفریحی، تولید علوفه، بیابان زدایی و نیز بهبود شرایط اقتصادی و اجتماعی جوامع محلی را به دنبال دارند. بنابراین چنین به نظر می‌رسد نظام‌های زراعی که بتوانند میزان دی‌اکسید کربن کمتری را به اتمسفر انتشار دهند و از طرف دیگر، تولید زیست‌توده بالاتری داشته باشند می‌توانند به عنوان راهکاری پایدار برای کاهش غلظت دی‌اکسید کربن در آینده مد نظر قرار گیرند. از این رو این مطالعه به منظور ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های گیاهی ارقام کلزا در کشت‌بوم‌های بخش سرخنکلاته شهرستان گرگان انجام شده است.

مواد و روش‌ها:

منطقه مورد مطالعه:

سرخنکلاته در شمال شرقی شهرستان گرگان از استان گلستان و در عرض جغرافیایی

$$C_p = Y_p \times 0.45 \quad \text{رابطه ۳}$$

$$C_s = Y_p (1 - HI) / HI \times 0.45 \quad \text{رابطه ۴}$$

$$C_r = Y_p / (S : R \times HI) \times 0.45 \quad \text{رابطه ۵}$$

$$C_e = C_r \times 0.65 \quad \text{رابطه ۶}$$

مقدار کربن آلی (درصد) و مقدار ماده آلی (درصد) می باشد.

پس از انجام محاسبات بالا پنج ضریب به صورت $\%OCr$ ، $\%OCs$ ، $\%OCi$ ، $\%OCst$ و $\%OCp$ که به ترتیب نشان دهنده درصد کربن ترسیب شده در ریشه، برگ، دانه، ساقه و خورجین می باشد، به دست آمد. از ضرب ضریب کربن آلی هر اندام در وزن خشک همان اندام گیاهی، مقدار کربن ترسیب شده در آن اندام محاسبه و مجموع کل کربن ترسیب شده در هر هکتار محاسبه گردید.

برآورد میزان تولید کربن، تسهیم کربن و

تولید خالص کربن در اندام های گیاهی

از آنجایی که در هر گرم ماده خشک حدود ۰/۴۵ گرم کربن (۴۵ درصد) موجود می باشد (Bolinder *et al.*, 2007). برای برآورد کربن موجود در بخش های مختلف گیاه (شکل ۲) از روابط زیر استفاده شد (Bolinder *et al.*, 2007).
 که Y_p : عملکرد اندام اقتصادی، C_p : کربن موجود در اندام اقتصادی، C_s : کربن موجود در ساقه، خورجین و برگ، C_r : کربن موجود در ریشه، C_e : کربن شامل ترشحات، تراوره ها و بقایای ریشه ای در خاک، S:R نسبت اندام هوایی (ساقه، خورجین، برگ و دانه) به زیرزمینی (ریشه)، HI: شاخص برداشت ($100 * \text{عملکرد}$)

مختصات جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریای محل نمونه برداری توسط دستگاه GPS مدل گارمین لمسی ثبت شد.

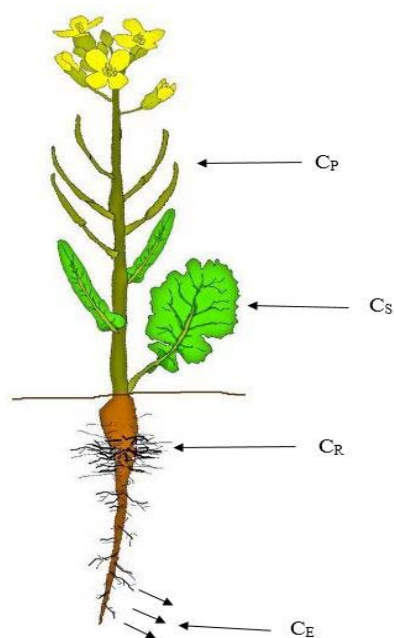
برای تعیین ضرایب تبدیل ترسیب کربن در اندام های کلزا (شامل ساقه، ریشه، برگ، بذر و خورجین) از روش احتراق (Conen & Smith, 1998) استفاده شد. بر این اساس نمونه های برداشت شده ابتدا به تفکیک در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند. سپس به صورت تصادفی از هر اندام مقداری نمونه گرفته شد، تمام نمونه ها به صورت جدا از هم آسیاب و کاملاً پودر شدند، نمونه پودر شده در آون در دمای ۷۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. سپس مقدار ۲ گرم از هر نمونه وزن و در کوره احتراق الکتریکی به مدت ۳ ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد گذاشته شد تا مواد آلی آن کاملاً بسوزد (Azizi *et al.*, 2019). پس از خنک شدن، نمونه ها با ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین گردید و وزن خاکستر از وزن نمونه کسر گردید تا وزن ماده آلی از دست رفته به دست آید. این مسیر برای تمامی نمونه ها و تمامی اندام ها (ریشه، ساقه، خورجین، برگ و بذر) انجام شد. در نهایت با استفاده از رابطه (۱) و (۲) مقدار کربن و ماده آلی موجود در اندام های مورد نظر محاسبه گردید (Polidori *et al.*, 2008).

$$\%OM = ((\text{Ash} - w) / w) \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه، OM ماده آلی (درصد)، Ash وزن خاکستر و w وزن نمونه اولیه

$$\%OC = \%OM \times 0.54 \quad \text{رابطه ۲}$$

که در این رابطه، OC و OM: به ترتیب



شکل ۲. میزان کربن تسهیم یافته به اندام‌های هوایی و زیر زمینی:
 CP: کربن موجود در اندام اقتصادی؛ CS: کربن موجود در ساقه، برگ و غلاف؛ CR: کربن موجود در ریشه؛ CE: کربن، شامل ترشحات، تراوردها و بقایای ریشه در خاک (Bolinder *et al.*, 2007)

Fig. 2. The amount of carbon allocated to shoot and root organs: CP: Carbon in the economic organ, CS: Carbon in stem, leaf and pod: CR: Carbon in the root: CE: Carbon of secretion and permeated material and root exudates in the soil (Bolinder *et al.*, 2007)

بر اساس میزان کربن تسهیم یافته (NPP^*) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Bolinder *et al.*)

$$NPP = C_p + C_s + C_r + C_e \quad \text{رابطه ۷ (al., 2007)}$$

و در نهایت سهم نسبی هر یک از اندام‌های گیاهی از تولید کربن خالص با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (Bolinder *et al.*, 2007).

که NPP : تولید خالص اولیه بر اساس کربن در کل گیاه و R_p : سهم نسبی اندام اقتصادی، R_s : ساقه، خورجین و برگ، R_r و R_e : ریشه و

ε Net primary production

بیولوژیک/عملکرد اقتصادی) می‌باشد که مقدار کربن موجود در تراوردهای ریشه‌ای براساس منابع مختلف حدود ۶۵ درصد کربن موجود در ریشه در نظر گرفته شد (Bolinder *et al.*, 2002 Gill; 2007).

میزان تولید خالص اولیه برای اندام‌های هوایی ($ANPP^*$) و اندام زیر زمینی ($BNPP^*$) به ترتیب از مجموع کربن اختصاص یافته به اندام‌های هوایی (C_s) و (C_p) و اندام‌های زیر زمینی (C_r) و (C_e) برآورد شد، سپس تولید خالص اولیه

۲ Above-ground net primary production

۳ Below-ground net primary production

مقایسه می کند. هر چه کشیدگی از صفر فاصله بگیرد، توزیع داده ها از حالت نرمال دور خواهد شد (Sadeghi, 2012). پس از اطمینان از نرمال بودن داده ها، در محیط Arc Map نسخه ۱۰/۳، با استفاده از روش های مختلف درونیابی زمین آماری شامل کریجینگ، چند جمله ای موضعی، تابع پایه شعاعی و عکس مجذور فاصله و بر اساس کمترین میزان خطای برآورد (RMSE^۵) و انحراف استاندارد عمومی (GSD^۶) میزان پتانسیل ترسیب کربن در کلزا تخمین زده شد.

روش های درونیابی

کریجینگ معمولی

کریجینگ یک روش برآورد آماری است که بر پایه میانگین متحرک وزن دار استوار است. این روش بهترین برآوردکننده خطی نااریب می باشد (Mohmmadi, 2006). کریجینگ به همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز می دهد که با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد آن می توان قسمت های واجد خطای زیاد که برای کاهش خطا به داده های بیش تری نیاز دارند را مشخص نمود (Hassanipak, 2007). این برآورد بصورت زیر تعریف می شود:

$$z \times (x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad \text{رابطه ۱۳}$$

در این معادله $z \times (x_i)$ تخمین مقدار متغیر Z در نقطه x و λ_i و λ_i وزن آماری اختصاص یافته به مقادیر Z در نقطه x_i است. شرط استفاده از این تخمین گر آن است که متغیر Z توزیع نرمال

$$R_p = C_p / NPP \quad \text{رابطه ۸}$$

$$R_s = C_s / NPP \quad \text{رابطه ۹}$$

$$R_r = C_r / NPP \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$E = C_e / NPP \quad \text{رابطه ۱۱}$$

ترشحات ریشه ای از کل کربن موجود در گیاه می باشند که در نهایت با ضرایب فوق رابطه زیر باید منطبق شود (Bolinder et al., 2007).

$$R_p + R_s + R_r + R_e = 1 \quad \text{رابطه ۱۲}$$

روش تجزیه و تحلیل داده ها

پس از جمع آوری داده ها و ثبت آن ها در نرم افزار اکسل، از نرم افزار SAS نسخه ۹/۳ برای تجزیه آماری داده ها استفاده شد و برای مقایسه دو رقم هایولا ۵۰ و تراپر از آزمون تی استفاده شد. ابتدا به منظور تعیین توزیع نرمال و یا غیر نرمال بودن داده های مورد استفاده در این مطالعه از شاخص های موجود در Arc-Map کمک گرفته شد. شاخص های آماری مورد استفاده در این بخش، شاخص های مرکزی (میان و مد) و شاخص های پراکندگی (کشیدگی و چولگی) بودند. شاخص چولگی در واقع عدم تقارن در توزیع فراوانی داده ها را بررسی می کند. اگر توزیع فراوانی به تقارن نزدیک باشد، چولگی یا عدم تقارن بسیار کم شده و به سمت صفر میل خواهد کرد و همچنین هر چقدر میان و میانگین به یکدیگر نزدیک تر باشند، نشان دهنده وجود توزیع نرمال بین داده ها می باشد و شاخص آخر، کشیدگی، توزیع داده ها را با منحنی نرمال

۵- Root Mean Square Error

۶-General Standard Deviation

بین مقادیر متغیر در نقاط همسایگی x ، y و z و حداقل سازی اطلاعات محاسبه شده، درونیابی صورت می‌گیرد (Ruppert, 1996).

روش توابع پایه شعاعی

از جمله روش‌های درونیابی می‌باشد که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. این روش حالتی از شبکه عصبی مصنوعی است. از دیگر خصوصیات این روش این است که مقادیر بیش‌تر از حداکثر مقادیر مشاهده‌ای و یا کمتر از حداقل مقادیر مشاهده‌ای در سطح تخمین وجود دارد (Golmohammadi et al., 2008). در این پژوهش از روش‌های چند ربعی^۷، چند ربعی معکوس^۸ و نواری با ضخامت کم^۹ استفاده شد.

معیار اعتبارسنجی

از روش ارزیابی متقابل برای اعتبارسنجی برآوردهای حاصل از روش‌های درونیابی استفاده شد. در این پژوهش به منظور ارزیابی مناسب روش‌های تخمین‌گر از شاخص‌های ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و انحراف استاندارد عمومی (GSD) استفاده شد. معادلات این آماره‌ها در زیر نشان داده شده است.

ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE):

$$GSD = \frac{RMSE}{z(x_i)} \quad \text{رابطه ۱۶}$$

انحراف استاندارد عمومی (GSD):

که در این معادلات $z^*(x_i)z^*(x_i)$ مقدار برآورد شده در نقطه x_i ، $z(x_i)$ مقدار اندازه

۷-Multiquadric

۸-Inverse Multiquadric

۹-Thin Plate Spline

داشته باشد در غیر این صورت باید از کریجینگ غیرخطی استفاده شود یا با استفاده از روش‌های تبدیل داده‌ها، توزیع متغیر مورد نظر را تبدیل به نرمال نمود (Hassanipak, Mohammadi, 2006). در این تحقیق از روش کریجینگ معمولی با مدل‌های کروی، گوسی، دایره‌ای و نمایی استفاده شد.

فاصله معکوس وزن‌دار

در این روش برای هر کدام از نقاط اندازه‌گیری شده، براساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول وزن مشخصی در نظر گرفته می‌شود. سپس این وزن‌ها توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود، به طوری که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کنند (Mehdian, 2006). مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود. در این تحقیق از روش فاصله معکوس وزن‌دار با توان‌های ۱، ۲ و ۳ استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (z(x_i) - z^*(x_i))^2} \quad \text{رابطه ۱۵}$$

که در آن λ_i ، λ_i وزن نقطه i ام، و D_i فاصله نقطه i ام تا نقطه مجهول و a معادل توان وزن‌دهی می‌باشد.

چند جمله‌ای موضعی

این روش حداقل مجذورات متناسب را بین نقاط شناسایی شده در محدوده بیضوی شکل، به عنوان وزن نقطه تخصیص می‌دهد. در این روش بر اساس ضریب تخصیص داده شده، با بدست آوردن رابطه درجه اول، دوم و یا سوم

میانگین تولید کربن در هر یک از اندام های گیاهی کلزا در دو رقم هایولا ۵۰ و تراپر مشخص شد که در رقم هایولا ۵۰ بیشترین میزان تولید کربن در اندام هوایی (ساقه، برگ و خورجین) با میانگین ۴۵۶۱/۰۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن مربوط به ترشحات و تراوره های ریشه ای با میانگین ۴۳۲/۴۷ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین در رقم تراپر نیز بیشترین میزان تولید کربن مربوط به اندام هوایی (ساقه، برگ و خورجین) با میانگین ۴۵۲۷/۸۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن مربوط به ترشحات و تراوره های ریشه ای با میانگین ۴۶۰/۴۴ کیلوگرم در هکتار اختصاص یافت (جدول ۲). نتایج نشان داد که تفاوتی بین این دو رقم از این نظر وجود ندارد. در همین راستا برخی پژوهشگران بیشترین میزان ضریب تبدیل کربن را در ساقه ها و کمترین میزان را در برگ های گیاهان مورد مطالعه خود یافتند (Fang et al., 2007). در این مطالعه مشخص شد که میانگین (NPP) در رقم هایولا ۵۰ برابر با ۷۱۷۴/۸۰ کیلوگرم کربن در هکتار و میانگین تولید خالص اولیه بر اساس کربن در اندام های هوایی و زیر زمینی کلزا در همین رقم به ترتیب برابر با ۶۰۷۶/۹۸ و ۱۰۹۷/۸۲ کیلوگرم کربن در هکتار برآورد شد (جدول ۲). این در حالی است که در رقم تراپر میانگین تولید خاص (NPP) برابر با ۷۱۳۹/۶۹ کیلوگرم کربن در هکتار و میانگین تولید خالص اولیه در اندام های هوایی و زیر زمینی برابر با ۵۹۷۰/۸۷ و ۱۱۶۸/۸۲ کیلوگرم کربن در هکتار به دست آمد (جدول ۲). در همین راستا پژوهشگران در تحقیقی میانگین تولید خالص کربن در

گیری شده در نقطه x_i و $\bar{Z}(x_i)$ میانگین مقادیر مشاهده ای و N تعداد نقاط می باشد. معمولاً هر قدر مقدار ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و انحراف استاندارد عمومی (GSD) کمتر باشد، صحت روش بیشتر است. از نظر تئوری هرگاه RMSE برابر صفر شود، نمایان گر این است که مقدار تخمین زده شده یک کمیت، دقیقاً برابر مقدار واقعی آن است (Mehdian, 2006).

آزمون تی جفت نشده: یکی از آزمون های پر کاربرد در تحلیل های آماری است. به کمک این آزمون، می توان میانگین دو جامعه مستقل را با هم مقایسه کرد و نسبت به تفاوت های آماری آن ها، تصمیم گرفت. زمانی که داده های جوامع از توزیع نرمال پیروی کنند، آزمون و آماره تی برای مقایسه میانگین دو جامعه، مناسب است. آزمون تی مستقل، فقط برای دو نمونه یا گروه به کار می رود، اگر متغیر مستقل دارای بیش از دو سطح باشد، دیگر امکان به کار گیری این آزمون وجود ندارد و در این حالت باید از روش های تجزیه واریانس (ANOVA) کمک گرفت (Cody & Smith, 2014). با توجه به توضیحات بیان شده برای مقایسه بین صفات اندازه گیری شده مربوط به دو رقم کلزای هایولا ۵۰ (با ۲۶ نمونه) و تراپر (با ۲۴ نمونه) از آزمون تی جفت نشده در این پژوهش استفاده گردید.

نتایج و بحث

برآورد میانگین تولید کربن و تولید خالص

اولیه در اندام های گیاهی

نتایج نشان داد که میانگین تولید کربن در اندام های گیاهی کلزا متفاوت است. در بررسی

جدول ۲- S:R نسبت اندام هوایی به زیر زمینی؛ ضریب تسهیم کربن در اندام های گیاهی؛ Rp: اندام اقتصادی؛ RS: (ساقه، برگ و خوجین)؛ RR: ریشه؛ RE: ترشحات و تراوره های ریشه‌ای در گیاه کلزا و میانگین تولید خالص اندام های هوایی (ANPP)؛ میانگین تولید خالص اندام های زیرزمینی (BNPP) و میانگین تولید خالص اولیه (NPP) در گیاه کلزا، Cp: میانگین تولید کربن در اندام اقتصادی؛ Cs: میانگین تولید کربن در اندام هوایی (ساقه، غلاف و برگ)؛ CR: میانگین تولید کربن در ریشه و CE: میانگین تولید کربن در تراوره‌های ریشه‌ای

Table 2. S:R: Shoot to root ratio (S:R), carbon sequestration coefficient in plant organs, Rp (Economic organs or seed), RS (Stem, leaf and pod), RR (Root) and RE (Root exudates) in canola and average total net production of carbon in the canola plant (NPP), Average above-ground net primary production (ANPP) and below ground (BNPP) of canola plant, Cp: Carbon production in the economic organ, Cs: Carbon production in above-ground (stem, leaf and pod): CR: Carbon production in the root: CE: Carbon production in root exudates

متغیرها Variables	رقم Cultivar	خطای استاندارد ± میانگین Mean± Std Err
S:R (نسبت اندام های هوایی به زیر زمینی)	هایولا ۵۰ Hayola50	9.53 ±0.40
	تراپر Trapper	8.93 ±0.37
Rp (ضریب تسهیم کربن در اندام اقتصادی)	هایولا ۵۰ Hayola50	0.22±0.006
	تراپر Trapper	0.21 ±0.007
RS (ضریب تسهیم کربن در اندام ساقه، برگ و خوجین)	هایولا ۵۰ Hayola50	0.64 ±0.005
	تراپر Trapper	0.64 ±0.004
RR (ضریب تسهیم کربن در اندام ریشه)	هایولا ۵۰ Hayola50	0.09 ±0.003
	تراپر Trapper	0.09 ±0.003
RE (ضریب تسهیم کربن در ترشحات و تراوره های ریشه‌ای)	هایولا ۵۰ Hayola 50	0.05 ±0.002
	تراپر Trapper	0.06 ±0.002
ANPP (kg/ha) (میانگین تولید خالص اندام های هوایی)	هایولا ۵۰ Hayola 50	6076.98 ±191.50
	تراپر Trapper	5970.87 ±218.51
BNPP (kg/ha) (میانگین تولید خالص اندام های زیرزمینی)	هایولا ۵۰ Hayola 50	1097.82 ±55.28
	تراپر Trapper	1168.82 ±81.03
NPP (kg/ha) (میانگین تولید خالص اولیه)	هایولا ۵۰ Hayola 50	7174.80 ±228.64
	تراپر Trapper	7139.69 ±285.99
Cp(kg/ha) (میانگین تولید کربن در اندام اقتصادی)	هایولا ۵۰ Hayola 50	1515.92 ±63.59
	تراپر Trapper	1443.01 ±63.87
Cs(kg/ha) (میانگین تولید کربن در اندام هوایی (ساقه، غلاف و برگ))	هایولا ۵۰ Hayola 50	4561.05±149.40
	تراپر Trapper	4527.85 ±177.02
CR(kg/h) (میانگین تولید کربن در ریشه)	هایولا ۵۰ Hayola 50	665.34 ±33.50
	تراپر Trapper	708.37 ±49.11
CE(kg/ha) (میانگین تولید کربن در تراوره‌های ریشه‌ای)	هایولا ۵۰ Hayola 50	432.47 ±21.78
	تراپر Trapper	460.44 ±31.92

کردند (Bakhshande Larimi *et al.*, 2020). در مطالعه دیگری میانگین تولید خالص کربن در کشت سویا برابر با ۳۸۶۰/۷ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (Noorbakhsh *et al.*, 2016). در

کشت سویا را برابر با ۶۷۳۴/۸۳ کیلوگرم کربن در هکتار و میانگین تولید خالص اولیه در اندام‌های هوایی و زیرزمینی را برابر با ۴۸۶۷/۲ و ۱۸۶۷/۶۳ کیلوگرم کربن در هکتار گزارش

از کربن زیست توده هوایی می باشد و در مورد گونه آتریپلکس نیز سهم اندام های هوایی ۶۵ درصد از کربن کل زیست توده و سهم اندام های زیرزمینی ۳۵ درصد از کربن کل زیست توده بود (Sheidai Karkaj, 2011).

پتانسیل ترسیب کربن در اندام های

گیاهی

ساقه

نتایج آزمون تی (جدول ۳) نشان داد که بین میزان انباشت کربن در اندام ساقه در مزارع زیر کشت رقم هایولا ۵۰ با میانگین پتانسیل ترسیب کربن ۲۰۱۲/۳۶ کیلوگرم در هکتار و رقم تراپر با میانگین کربن ۱۹۹۳/۹۷ کیلوگرم در هکتار از لحاظ آماری اختلاف معنی داری وجود نداشت. جهت ترسیم نقشه پتانسیل ترسیب کربن در ساقه، از میان چهار روش زمین آماری، روش چند جمله ای موضعی درجه ۱ انتخاب شد. این مدل دارای کمترین میزان خطای برآورد (۵۱۸/۷۹) و انحراف استاندارد عمومی (۱۰/۳۷) بود که نشانگر حداکثر دقت و صحت نسبت به سایر مدل ها است (جدول ۴).

نقشه تهیه شده از طریق روش چند جمله ای موضعی، نشان می دهد که پتانسیل ترسیب کربن در اندام ساقه در دامنه ۱۷۸۷/۲۱-۲۰۱۲/۳۵ کیلوگرم در هکتار می باشد. مزارع واقع در بخش های شمال، جنوب و شرق منطقه، از میزان پتانسیل ترسیب کربن بیشتری در اندام ساقه برخوردار بودند. همچنین مزارع واقع در قسمت های غرب منطقه، از پتانسیل ترسیب کمتری برخوردار بودند (شکل ۳). از دلایل بالا بودن میزان ترسیب کربن در اندام ساقه در این

پژوهش های قبلی میانگین تولید خالص اولیه (NPP) برای گیاهان یکساله را حدود ۳۶۰ گرم در متر مربع (Bolinder et al., 2007) و برای بخش های هوایی گندم در امریکا حدود ۴/۵ مگا گرم کربن در هکتار در سال گزارش شده است (Bhardwaj et al., 2011).

تسهیم کربن در اندام های گیاهی

میزان تسهیم نسبی ترسیب کربن در اندام های مختلف گیاه کلزا در جدول ۲ آورده شده است. مشخص شد که در هر دو رقم هایولا ۵۰ و تراپر اندام هوایی (ساقه، برگ و خورجین) به ترتیب با ۰/۶۴ و ۰/۶۴ درصد بیشترین سهم و تراوره های ریشه ای با ۰/۰۵ و ۰/۰۶ درصد کمترین سهم در ترسیب کربن را داشتند (جدول ۲). از دلایل پایین بودن سهم تراوره های ریشه ای را می توان به علت پایین بودن سهم اندام های زیر زمینی به کل اندام های هوایی گیاه دانست که باعث کاهش حجم ریشه و تراوره های ریشه ای شده است. برآورد ضرایب نسبی تسهیم کربن در اندام های مختلف گیاه، سهم هر یک از اندام های مختلف گیاهی را از مقدار کربن جذب شده تعیین می کند و همچنین با توجه به مقدار بقایای اندام های مختلف هر گیاه که به خاک برگردانده می شوند، می توان میزان ترسیب کربن توسط هر گیاه را برآورد کرد (Khorramdel et al., 2011). در مطالعه ای روی دو گونه آگروپایرون و آتریپلکس، مشخص شد که سهم اندام های هوایی گونه آگروپایرون در ذخیره کربن ۷۴ درصد (۴۷ درصد ساقه و ۲۷ درصد برگ) از کربن موجود در کل بوته و سهم اندام زیرزمینی بسیار کمتر (۱۱ درصد)

جدول ۳- نتایج آزمون تی برای سنجش اختلاف میانگین کربن اندام های گیاهی کرا تحت تاثیر تیمار رقم در مزارع منطقه سرخکلانته، شهرستان گرگان
 Table 3. T-test results to measure the mean difference in carbon content of canola plant tissues as affected by cultivar treatment in Sorhankalateh Region in Gorgan County.

اندام گیاهی	رقم	خطای استاندارد میانگین	اختلاف میانگین	عدد تی	درجه آزادی	P
Plant tissue	Cultivar	Mean± Standard Error	The mean difference	T value	df	
ساقه Stem	هائولا ۵۰	2012.36± 91.24	18.38	0.13	48	0.5478 ^{ns}
	تراپر	1993.97±107.4				
خوردچین Silique	هائولا ۵۰	1676.77±69.59	68.41	0.73	48	0.4644 ^{ns}
	هولاس 0	1608.36±62.17				
	تراپر	1717.20±72.66				
بذر Seed	هائولا ۵۰	1717.20±72.66	77.25	0.75	48	0.8166 ^{ns}
	تراپر	1639.95±72.00				
برگ Leaf	هائولا ۵۰	602.90±30.63	-12.82	-0.31	48	0.5054 ^{ns}
	تراپر	615.72±27.74				
ریشه (اندام زیر زمینی) Root (Below ground organs)	هائولا ۵۰	648.21±34.23	-54.09	-0.97	48	0.2677 ^{ns}
	هولاس 0	702.30±44.75				
	تراپر	6009.20±194.0				
اندام هوایی Above-ground organs (Shoot)	هائولا ۵۰	6009.20±194.0	151.2	0.53	48	0.8482 ^{ns}
	تراپر	5858.00±209.8				
زیست توده کل Total biomass	هائولا ۵۰	6657.47±213.9	97.14	0.30	48	0.6453 ^{ns}
	تراپر	6560.33±244.5				

ns: non-significant difference.

^{ns} اختلاف معنی داری وجود ندارد

گیاهی اشاره کرد. اصولاً اندام‌های گیاهی با بافت چوبی تر و خشبی تر از توان ترسیب کربن بیشتری برخوردار هستند. در همین راستا محققان گزارش نمودند که در مقایسه اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی، ساقه‌ها بالاترین

نواحی می‌توان به بالا بودن حجم زیست توده و دسترسی به منابع رطوبتی بیشتر اشاره کرد و همچنین می‌توان یکی دیگر از دلایل بالا بودن توان ترسیب کربن در ساقه را به بافت خشبی تر و عملکرد بیشتر آن در مقایسه با سایر اندام‌های

جدول ۴- نتایج ارزیابی روش های درون‌یابی جهت تخمین پتانسیل ترسیب کربن کل و اندام های گیاهی کلزا در مزارع منطقه سرخکلانته، شهرستان گرگان
 Table 4. The interpolation methods assessment results in estimating the potential of total carbon sequestration and canola plant tissues in fields of Sorhankalateh region, Gorgan County.

اندام گیاهی Plant tissue	روش Method	مدل- توان Type-power	خطای برآورد RMSE	انحراف استاندارد رصومی GSD
ترسیب کربن در ساقه Carbon sequestration in stem	چند جمله‌ای موضعی Local Polynomial Interpolation	درجه ۱ 1 st order	518.79	10.37
ترسیب کربن در خورجین Carbon sequestration in silique	تابع پایه شعاعی Radial Basis Function	چند ربعی معکوس Invers Multi- quadratic function	296.86	5.93
ترسیب کربن در بندر Carbon sequestration in seed	تابع پایه شعاعی Radial Basis Function	چند ربعی معکوس Invers Multi- quadratic function	342.11	6.84
ترسیب کربن در ریشه Carbon sequestration in root	تابع پایه شعاعی Radial Basis Function	چند ربعی معکوس Inverse Multi- quadratic function	203.43	4.06
ترسیب کربن در برگ Carbon sequestration in leaf	چند جمله‌ای موضعی Local Polynomial Interpolation	درجه ۱ 1 st order	140.39	2.80
ترسیب کربن در کل گیاه Total carbon sequestration in the plant	کریجینگ Kriging	ثابت Stable	958.93	23.97

توان و برگ‌ها کمترین توانمندی را در ترسیب کربن به خود اختصاص دادند (Forouzeh *et al.*, 2008). در مطالعه‌ای که به منظور ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن در مزارع کلزا (*Brassica napus* L) در استان خراسان رضوی انجام شد، نتایج نشان داد بالاترین و پایین‌ترین

پتانسیل ترسیب کربن به ترتیب برای ساقه ۱/۸۱ تن در هکتار و برگ ۰/۷۶ تن در هکتار بود (Khorramdel *et al.*, 2016). همچنین برخی پژوهشگران در مطالعات خود دریافتند که میزان کربن ترسیب شده با نوع پوشش گیاهی رابطه مستقیم و مثبت داشت؛ به طوری که بین میزان

شعاعی، نشان می‌دهد که پتانسیل ترسیب کربن در اندام خورجین در دامنه ۶۳۹/۲۳-۱۹۵۶/۲۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. این تغییرات در مزارع واقع در قسمت‌های غربی و مناطق اندکی از شمال شرقی و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه بیشتر و در قسمت‌های شمال، جنوب، شرق و مرکزی منطقه این تغییرات کمتر است (شکل ۴). از دلایل کاهش آن می‌توان به کمتر بودن زیست‌توده گیاهی و همچنین کمبود آب که از عوامل محدود کننده عملکرد و در نتیجه از دلایل کاهش وزن خورجین می‌باشد، اشاره کرد. در پژوهشی با هدف بررسی میزان پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های گیاهی کلزا مشخص شد که میزان پتانسیل ترسیب کربن خورجین +بذر چهار درصد کمتر از ساقه می‌باشد (Khorramdel *et al.*, 2016).

بذر

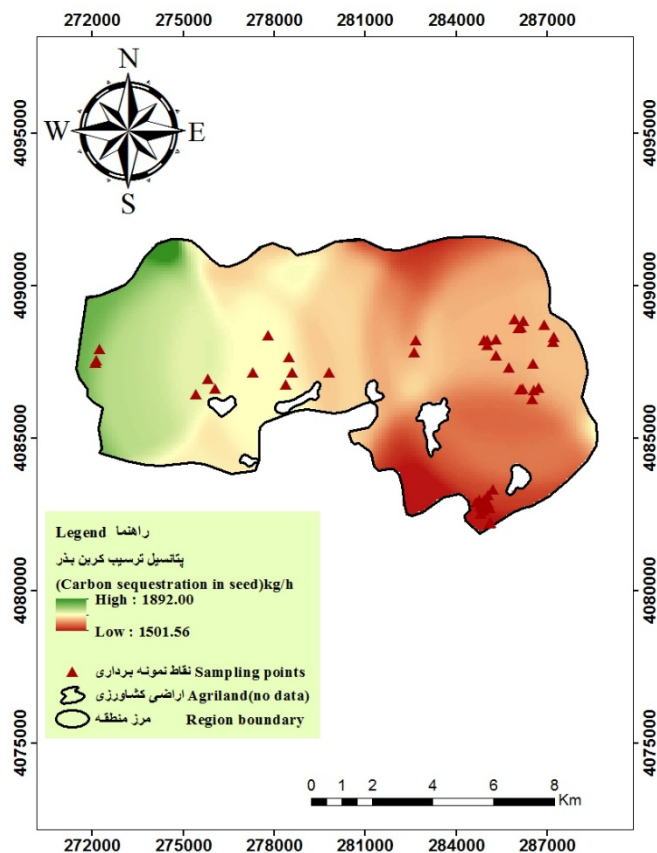
جدول ۳ نشان می‌دهد که بین دو رقم کلزا، هایولا ۵۰ با میانگین پتانسیل ترسیب کربن ۱۷۱۷/۲۰ کیلوگرم در هکتار و رقم تراپر با میانگین کربن ۱۶۳۹/۹۵ کیلوگرم در هکتار از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین از میان روش‌های بکار رفته در این پژوهش جهت درون‌یابی پتانسیل ترسیب کربن در اندام بذر کلزا، روش تابع پایه شعاعی با داشتن کمترین میزان خطای برآورد (۳۴۲/۱۱) و کم‌ترین انحراف استاندارد عمومی (۶/۸۴) نسبت به سایر مدل‌ها و در نتیجه دارا بودن بیشترین میزان دقت و صحت، به عنوان برترین مدل شناخته شد (جدول ۴).

نقشه تولید شده با روش تابع پایه شعاعی

ذخیره کربن پوشش گیاهی، فرم‌های متفاوت رویشی (نظیر علوفه‌ای، بوته‌ای و خشبی) و گستردگی سطوح اندام‌های گیاهی ارتباط مثبت و معنی‌داری وجود داشت (Najmaddini *et al.*, 2013). گونه‌های با میزان لیگنین بالا، میزان کربن بیشتری دارند و تفاوت در میزان لیگنین منجر به اختلاف در میزان کربن در بافت‌های چوبی گیاهان می‌شود. با توجه به اینکه ساقه کلزا بافت چوبی دارد، این نتایج مؤید این است که گونه‌هایی که دارای اندام‌هایی با بافت چوبی‌اند، از توانایی بیشتری در ترسیب کربن برخوردارند و هرچه نسبت اندام‌های چوبی در گیاه بیشتر باشد، توان آن در ذخیره‌ی کربن آلی افزایش می‌یابد (Lamlom & Savidge, 2003). در این رابطه مطالعه محققان دیگر نیز متفاوت بودن سهم اندام‌های گیاهی در ترسیب کربن و توانایی بیشتر اندام‌های چوبی در این فرایند را تایید کردند (Indufor *et al.*, 2002).

خورجین

نتایج تجزیه تحلیل آماری مربوط به کربن ذخیره‌ای در اندام خورجین در جدول ۳ آورده شده است. جدول مربوطه نشان می‌دهد که بین دو رقم کلزا تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری وجود ندارد. همچنین، مدل چند ربعی معکوس از روش تابع پایه شعاعی، در بررسی روش‌های مورد ارزیابی جهت تخمین پتانسیل ترسیب کربن در اندام خورجین، به دلیل برخوردار بودن از حداقل مقادیر خطای برآورد (۲۹۶/۸۶) و انحراف استاندارد عمومی (۵/۹۳) به عنوان روش دقیق‌تر و صحیح‌تر شناخته شد (جدول ۴).
نقشه تهیه شده از طریق روش تابع پایه



شکل ۵- میزان پتانسیل ترسیب کربن بذر کلزا در مزارع منطقه سرخنکلاته، شهرستان گرگان.

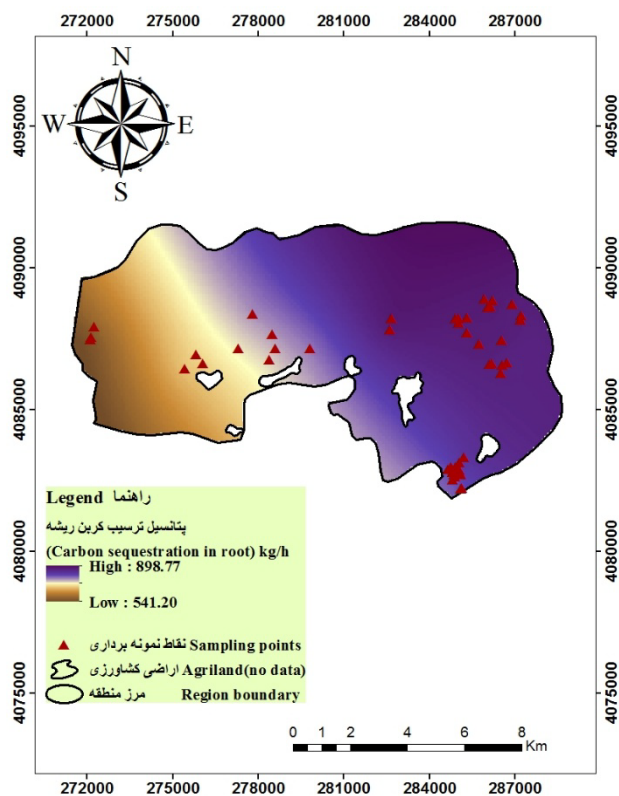
Fig. 5. The amount of carbon sequestration potential of canola seed in the Sorkhankalateh region fields, Gorgan County

کربن گیاه زعفران را دارد (Khorramdel *et al.*, 2018). در آزمایش دیگری بیشترین و کمترین پتانسیل ترسیب کربن در سویا به ترتیب برای بذر ۱۹۰۰/۰۵ کیلوگرم در هکتار و نیام ۹۹/۵۱ کیلوگرم در هکتار حاصل گردید (Moushani *et al.*, 2019). همچنین در تحقیقی به منظور ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن در گیاه سویا نتایج نشان داد که بیشترین میزان پتانسیل ترسیب کربن مربوط به بذر (۸۸۱/۱۶ تن در هکتار) می باشد (Bakhshande Larimi *et al.*, 2020).

ریشه

نتایج تجزیه تحلیل آماری کربن ذخیره‌ای در ریشه در جدول ۳ آورده شده است. جدول

نشان داد که میزان پتانسیل ترسیب کربن در اندام بذر در مزارع منطقه مورد مطالعه از ۱۵۰۱/۵۶ تا ۱۸۹۲/۰۰ کیلوگرم در هکتار است (شکل ۵). بخش‌های غربی منطقه نسبت به قسمت‌های شمال، جنوب و شرقی منطقه از میزان پتانسیل ترسیب کربن بیشتری برخوردار می‌باشند. یکی از دلایل بالا بودن ضریب تبدیل در بذر به احتمال زیاد به دلیل میزان کم آب در هنگام پر شدن دانه‌ها باشد. بذر کلزا پس از ساقه و خورجین بیشترین مقدار ترسیب کربن در گیاه کلزا را داشت. محققان در مطالعه‌ای روی گیاه زعفران ترسیب کربن در بینه را ۵/۸۳ تن در هکتار بیان کردند که بیش‌ترین سهم در ترسیب

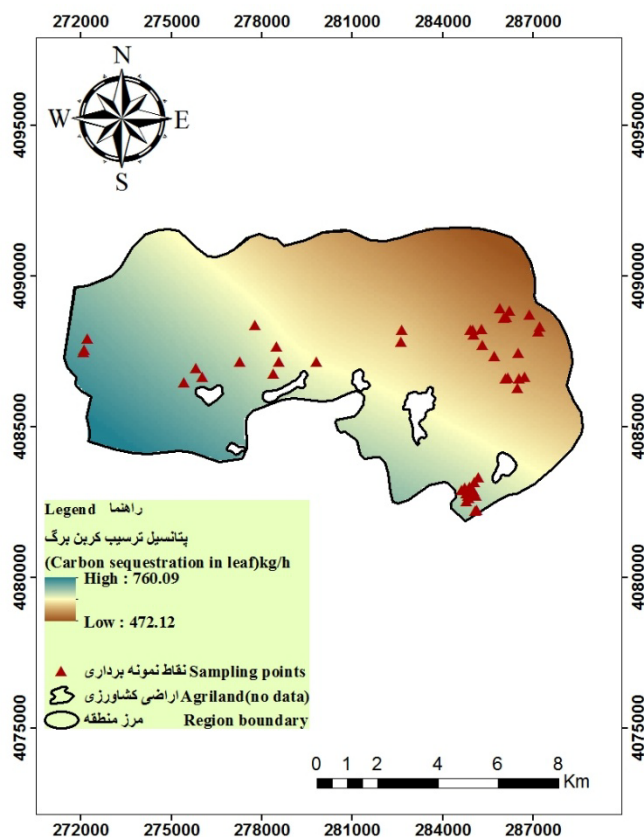


شکل ۶ - میزان پتانسیل ترسیب کربن ریشه کلزا در مزارع منطقه سرخنکلاته، شهرستان گرگان.

Fig. 6. The amount of carbon sequestration potential of canola root in the Sorkhankalateh region fields, Gorgan County

مربوطه نشان می‌دهد که بین دو رقم کلزاهایولا ۵۰ و تراپر به ترتیب با میانگین ۶۴۸/۲۰ کیلوگرم در هکتار و ۷۰۲/۳۰ کیلوگرم در هکتار از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های مختلف درونیابی کلاسیک و زمین‌آمار نشان داد که جهت تخمین پتانسیل ترسیب کربن در اندام ریشه، روش تابع پایه شعاعی مدل چند ربعی معکوس به دلیل داشتن کمترین میزان خطا، (RMSE=۲۰۳/۴۳) و انحراف از استاندارد عمومی، (GSD=۴/۰۶) دارای بالاترین دقت و صحت بوده و مناسب‌ترین روش جهت انجام درونیابی شناخته شد (جدول ۴). شکل ۶ نقشه

پتانسیل کربن ترسیب شده در اندام ریشه را در مزارع کلزای منطقه سرخنکلاته با استفاده از روش درونیابی تابع پایه شعاعی مدل چند ربعی معکوس نشان می‌دهد. بر طبق این شکل پتانسیل ترسیب کربن در مزارع مختلف منطقه از ۵۴۱/۲۰-۸۹۸/۷۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. قسمت‌های غربی، جنوب غربی و شمال غربی منطقه از میزان پتانسیل ترسیب کربن کمتری برخوردارند و مزارع واقع در قسمت‌های شمال، جنوب، شرق و مرکزی منطقه از میزان پتانسیل ترسیب کربن بیشتری برخوردارند. یکی از دلایل کاهش ترسیب کربن در ریشه می‌توان به پایین بودن حجم زیست‌توده اندام‌های



شکل ۷- میزان پتانسیل ترسیب کربن در برگ کلزا در مزارع منطقه سرخنکالاته، شهرستان گرگان.

Fig. 7. The amount of carbon sequestration potential of canola leaf in the Sorkhankalateh region fields, Gorgan County

گونه‌های قیچ (*Zygophyllum atriplicoides*) و گروج (*Gymnocarpus decander*) به این نتیجه رسیدند که کمترین مقدار کربن ذخیره شده در بافت گیاهی مربوط به ریشه می‌باشد (Ghasemi, Nejad Raeini & Sadeghi, 2018).

برگ

نتایج تجزیه تحلیل آماری کربن ذخیره‌ای در اندام برگ در جدول ۳ آورده شده است. جدول مربوطه نشان می‌دهد که بین دو رقم کلزا از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. همچنین از میان روش‌های بکار رفته در این مطالعه جهت برآورد پتانسیل ترسیب کربن در

زیرزمینی نسبت به اندام‌های هوایی اشاره کرد. همچنین با توجه به این که بافت موجود در ریشه خشبی‌تر از بافت ساقه است اما به دلیل وجود ترشحات ریشه‌ای و کمتر بودن نسبت کربن به نیتروژن ریشه در مقایسه با ساقه، باعث کاهش پتانسیل ترسیب کربن این بافت در مقایسه با ساقه شده است. در مطالعه‌ای به منظور بررسی پتانسیل ترسیب کربن در گیاه گندم محققان گزارش کردند که کمترین میزان پتانسیل ترسیب کربن مربوط به اندام ریشه (۰/۱۸۹ تن در هکتار) می‌باشد (Jafarian & Tayefeh, Seyyed Alikhani, 2012). در همین راستا محققین دیگری نیز در پژوهش خود روی

نتایج آزمون تی نشان داد که زیست‌توده کل گیاهی کلزا در دو رقم هایولا ۵۰ و تراپر به ترتیب با میانگین ۶۶۵۷/۴۷ کیلوگرم در هکتار و ۶۵۶۰/۳۳ کیلوگرم در هکتار از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۳). نتایج ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی جهت تخمین کل پتانسیل کربن ترسیب شده در مزارع کلزای منطقه سرخنکلاته نشان داد که از میان روش‌های مورد ارزیابی در این بررسی، روش کریجینگ، مدل ثابت با دارا بودن کمترین میزان انحراف استاندارد عمومی معادل ۲۳/۹۷) مناسب‌ترین مدل شناخته شد (جدول ۴).

شکل ۸ نقشه کل پتانسیل کربن ترسیب شده در گیاه کلزا را در مزارع کلزای منطقه سرخنکلاته با استفاده از روش کریجینگ مدل ثابت نشان می‌دهد. بر طبق این شکل کل پتانسیل کربن ترسیب شده در بخش‌های مختلف منطقه از ۶۲۸۲/۶۹-۷۱۷۳/۳۴ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. مزارع واقع در قسمت‌های شمال شرق، شرق و جنوب منطقه از میزان پتانسیل کربن ترسیب شده کمتری برخوردار بودند به طوری که هر چه از شرق به سمت بخش‌های غربی، شمالی و شمال غربی منطقه پیش می‌رویم بر میزان پتانسیل ترسیب کربن افزوده می‌شود. همچنین توزیع کربن زیست‌توده کل نشان داد که ذخیره کربن در زیست‌توده اندام‌های هوایی بیشتر از اندام زیرزمینی (ریشه) بود که علت آن بالا بودن میزان زیست‌توده هوایی و ساقه چوبی این گیاه می‌باشد. این یافته‌ها با نتایج مطالعات

اندام برگ، روش چند جمله‌ای موضعی درجه ۱، به دلیل برخورداری از حداقل مقادیر خطای برآورد (۱۴۰/۳۹) و انحراف استاندارد عمومی (۲/۸۰) نسبت به سایر مدل‌ها و در نتیجه دارا بودن بیشترین میزان دقت و صحت، به عنوان برترین مدل شناخته شد (جدول ۴).

شکل ۷ وضعیت پتانسیل ترسیب کربن در اندام برگ، در مزارع کلزای منطقه سرخنکلاته را نشان می‌دهد. بررسی این نقشه گویای کاهش میزان پتانسیل کربن ترسیب شده در مزارع واقع در قسمت‌های شرقی و شمال منطقه می‌باشد. به نحوی که از میزان ۴۷۲/۱۲ تا ۷۶۰/۰۹ کیلوگرم در هکتار متغیر می‌باشد. در نواحی منتهی به جنوب و غرب منطقه میزان پتانسیل کربن ترسیب شده برگ‌ها به علت دسترسی گیاه به منابع رطوبتی کافی، بیشتر بود. در مجموع بررسی اندام‌های مختلف گیاهی نشان داد که اندام برگ نسبت اندام‌های ساقه و ریشه به دلیل چوبی نبودن و بالا بودن مواد معدنی این اندام، مقدار کربن کمتری را ترسیب نموده است. در تحقیقی که به منظور ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن در اراضی زراعی گندم دیم در منطقه کیاسر انجام شد، نتایج نشان داد که از میان اندام‌های هوایی کمترین میزان ترسیب کربن مربوط به برگ‌ها و بیشترین مقدار آن مربوط به خوشه‌ها بود (Jafarian & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2012). این نتایج با مطالعات (Fang et al., 2007; Hasanvand et al., 2020) که کمترین میزان ضریب تبدیل کربن را در برگ‌های گیاهان مورد مطالعه خود یافتند، نیز هم‌خوانی دارد.

کل پتانسیل ترسیب کربن در گیاه

اندام های زیرزمینی (با میانگین ۶۷۴/۲ کیلوگرم در هکتار) از لحاظ آماری اختلاف معنی داری در سطح یک درصد وجود دارد (جدول ۵).

نتیجه گیری

به طور کلی زیست توده گیاهی در ترسیب کربن نقش بسزایی دارد. هر گونه اقداماتی که باعث افزایش زیست توده گیاهی شود به طور غیرمستقیم در ترسیب کربن نیز تاثیرگذار می باشد و هر چه زیست توده گیاهی بیشتر باشد ترسیب کربن نیز بیشتر می شود. نتایج مقایسه میانگین ترسیب کربن نشان داد که بین اندام های گیاهی در دو رقم کلزای مورد بررسی (ساقه، خورجین، بذر، ریشه و برگ)، از لحاظ آماری تفاوت معنی داری وجود نداشت. اما در بررسی مقایسه میزان ترسیب کربن بین مجموع اندام های هوایی (ساقه، خورجین، بذر و برگ) با میانگین ۵۹۳۶/۷ کیلوگرم در هکتار و اندام های زیر زمینی (ریشه) با میانگین ۶۷۴/۲ کیلوگرم در هکتار دو رقم کلزا در سطح یک درصد اختلاف معنی داری وجود داشت. همچنین این مطالعه نشان داد که ساقه، بذر و خورجین کلزا میزان ترسیب کربن بیشتری در مقایسه با برگ و ریشه داشتند. کمتر بودن ضریب تبدیل در برگ ها به علت پایین بودن مواد معدنی و بیشتر بودن انباشت کربن در ساقه ها بخاطر بافت چوبی و خشبی آنها است. اصولاً هر چه حجم زیست توده گیاهی در مزارع بیشتر باشد، می توان پیش بینی کرد که ذخیره کربن در گیاه نیز بیشتر می شود. همچنین مشخص شد که در هر دو رقم هایولا ۵۰ و تراپر اندام هوایی (ساقه، برگ، خورجین) به ترتیب با ۰/۶۳ و ۰/۶۳

جدول ۵ - نتایج مقایسه میانگین آزمون تی برای مقایسه کربن اندام های هوایی ازبیتی در نزارع کلزا منطقه سرخکلاته، گرگان.

Table 5. T-test mean comparison results for comparing carbon below and above-ground organs (Root/Shoot) in the canola fields of Sorhankalateh region, Gorgan.

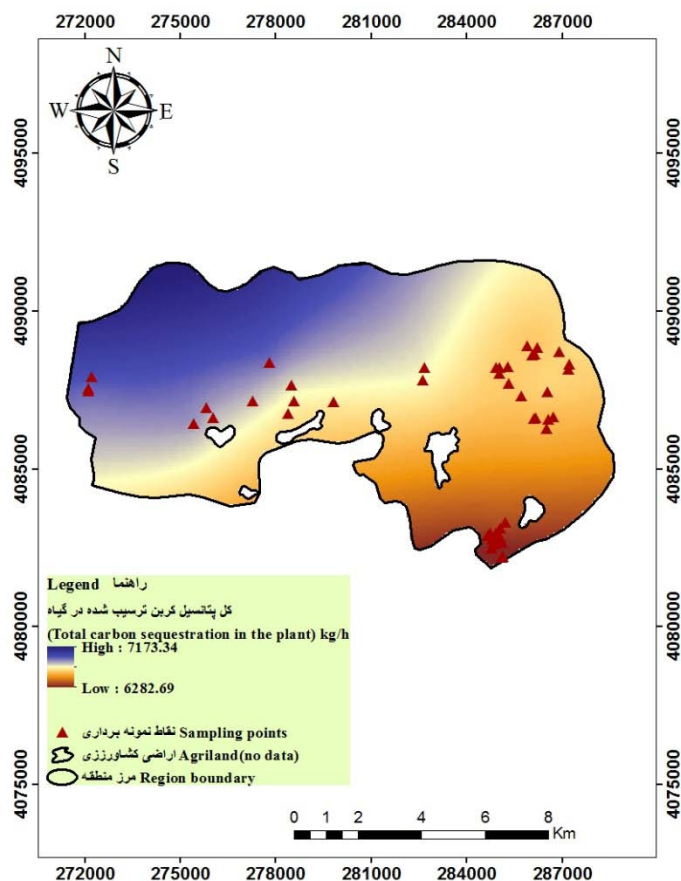
اندام گیاهی	اندام	نوع اندام	میانگین	خطای استاندارد	میانگین	اختلاف میانگین	عدد تی	درجه آزادی	p
Plant organ	Organ type	Mean± Standard Error	The mean difference	T value	df				
اندام هوایی به زیر زمینی	Above-ground	5936.70±141.5							
Root/Shoot	Below-ground	674.20±27.87	5262.5	36.49	98	0.0001**			

**Significantly different at the probability level of 99%

معنی داری در سطح ۹۹ درصد

Gao *et al.*, 2007; Khorramdel *et al.*, 2016; Yong Zhong *et al.*, 2007; Forouzeh *et al.*, 2008)) که گزارش کردند میزان ترسیب کربن در زیست توده هوایی بیشتر از زیست توده زیرزمینی است، مطابقت دارد.

همچنین در این آزمایش مشخص شد که بین میزان ترسیب کربن کل اندام های هوایی (با میانگین ۵۹۳۶/۷ کیلوگرم در هکتار) با



شکل ۸ - نقشه میزان پتانسیل ترسیب کربن در کل زیست توده گیاهی کلزا در مزارع منطقه سرخنکلاته، شهرستان گرگان.

Fig. 8. The amount of carbon sequestration potential of canola total biomass in the Sorkhankalateh region fields, Gorgan County.

بقایا و یا آتش زدن آن، تنظیم تراکم بوته و غیره ضروری است جداگانه مورد پژوهش قرار گیرند.

درصد بیشترین سهم و تراوره‌های ریشه‌ای با ۰/۰۵ و ۰/۰۶ درصد کم‌ترین سهم در ترسیب کربن را داشتند. در این مطالعه نیز میانگین تولید کربن و تولید خالص اولیه بر اساس کربن در اندام‌های هوایی در هر دو رقم کلزا (هایولا ۵۰ و تراپر) به علت وزن خشک بالاتر، بیشتر از اندام زیر زمینی برآورد شد و این مؤید این است که اندام‌های هوایی از توانایی بیشتری در ترسیب کربن برخوردارند. به‌طور کلی عوامل مختلفی می‌توانند بر میزان ترسیب کربن گیاه تاثیرگذار باشند. این عوامل مانند حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاهی، نوع عملیات خاکورزی، حفظ

References

- Anderson, J. L., Beduhn, R. A., Current, D., Espeleta, J. F., Fissore, C., Gangeness, B., Harting, J., Hobbie, S. E., Nater, E. A., and Reich, P. B. 2008. The potential for terrestrial carbon sequestration in Minnesota: a report to the Department of Natural Resources from the Minnesota Terrestrial Carbon Sequestration Initiative.
- Abdi, N. 2005. Estimation of carbon sequestration capacity by *Astragalus* genus (Subgenus: *Tragacantha*) in two provinces Markazi and Isfahan. Ph.D. Thesis in Rangeland Sciences, Islamic Azad University. Science and Research Branch. 158 p. (In Persian with English Summary).
- Aradottir, A., Savarsdottir, L., Kristin, H., Jonsson, P., and Gudbergsson, G. 2000. Carbon accumulation in vegetation and solids by reclamation of degraded areas. *Icelandic agricultural sciences*, 13: 99- 113.
- Azizi, A., Ghanbarian, G., Hassanli, A., and Shomeili, M. 2019. Carbon sequestration in sugarcane plant and soil with different cultivation systems. *Iran Agricultural Research*, 38(2), 47-54.
- Adams, J., Fair, H., Rechard, L., McAlad, M., and Woodward, F. L. 1990. Increases in terrestrial carbon storage from the last glacial maximum to the present. *Nature*, 348 (6303), 711-714.
- Agricultural Jihad Organization of Golestan Province. 2020. https://www.maj.ir/Index.aspx?page_=form&lang=1&PageID=11583&tempname=amar&sub=65&methodName=ShowModuleContent.
- Bakhshande Larimi, S., Kazemi, H., Soltani, A., and Kamkar, B. 2020. Zoning and Evaluation of Carbon Sequestration Potential, Primary Net Production and Carbon Allocation Coefficients of Soybean (*Glycine max* L.) in Gorgan Township. *Journal of Agroecology*, 12 (3), 541-559. (In persian with English Summary).
- Boroumand Rezazadeh, E., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., Nasiri Mahalati, M., and Lakzian, A. 2019. Estimation of Carbon Sequestration in Iran Agroecosystems using Empirical Models. *Journal of Agroecology*, 11 (1), 103-122. (In persian with English Summary).
- Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., and Vandenbygaart,

- A. J. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 118(1-4), 29-42.
- Bhardwaj, A.K., Jasrotia, P., Hamilton, S.K., and Robertson, G.P. 2011. Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustained productivity. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 140 (3-4), 419-429.
- Conen, F., and Smith, K. A. 1998. A re-examination of closed flux chamber methods for the measurement of trace gas emissions from soils to the atmosphere. *European Journal of Soil Science*, 49(4), 701-707.
- Cody, R. P., and Smith, J. K. 2014. Applied statistics and the SAS programming language. North-Holland Publishing Co. 748p.
- ESRI. 2007. ArcGIS version 10/3. ESRI Readlands C. A. Environmental Systems Research Institute.
- Fang, S., Xue, J., and Tang, L. 2007. Biomass production and carbon sequestration potential in poplar plantations with different management patterns. *Journal of environmental management*, 85(3), 672- 679.
- Forouzeh, M.R., Heshmati, G.A., GHanbarian, G.A., and Mesbah, S.H. 2008. Comparing carbon sequestration potential of three shrub species *Heliantemum Lippii*, *Dendrostellera Lessertii* and *Artemisia Sieberi* (Case study; Garehbygon, Fasa). *Journal of Environmental Studies*, 34(46), 65-72. (In Persian).
- Gill, R.A., Kelly, R.H., Parton, W.J., Day, K.A., Jackson, R.B., Morgan, J.A., Scurlock, J. M.O., Tieszen, L. L., Castle, J.V., Ojima, D.S., and Zhang, X. S. 2002. Using simple environmental variables to estimate belowground productivity in grasslands. *Global Ecology and Biogeography*, 11(1), 79-86.
- Gao, Y. H., Lue, P., Wu, C. H., and Wang, G. X. 2007. Grazing intensity impacts on carbon sequestration in an Alpine Meadow on the Eastern Tibetan Plateau. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 3(6), 642-647.
- Geissen, V., Sanchez Hernandez, R., kamprchler, C., Ramos- Reyes, R., Sepulveda –lozadas, A., Ochoa – Goana, S., Dejong, B. H., Huerta-Lwanga, E., and Hernandez – Dumas, S. 2009. Effects of land Use Change on some properties

- of tropical soils an example from south east Mexico. *Geoderma*, 151 (3-5): 87 – 97.
- Ghasemi Nejad Raeini, M., and Sadeghi, H. 2018. Evaluation of carbon sequestration in soil and plant organs of *Zygophyllum atriplicoides* and *Gymnocarpus decander* (Case study: Saleh-Abad, Hormozgan). *Journal of Range and Desert Research*, 24(4): 699-707. (In Persian with English Summary).
- Golmohammadi, G., Maroufi, S., and Mohammadi, K. 2008. Regional runoff Coefficient in Hamedan province using geostatistical methods and GIS. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12 (48): 501-514.
- Hasanvand, H. 2019. Estimating and mapping soil carbon sequestration capacity and plant biomass in Rangelands (Case study; Tilabad basin. Golestan province). A Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements for Degree of M.Sc. in Range. Faculty of Range and Watershed Management. Gorgan University. (In Persian with English Summary).
- Hassanipak, A. A. 2007. Land Statistics (Geostatisticals). Tehran University Press. 2: 386 p.
- Indufor. 2002. Assessing forest based carbon sinks in the Kyoto protocol. Forest Management and Carbon Sequestration Discussion Paper. 115 p.
- Jansson, C., Wullschleger, S.D., Kalluri, U.C., and Tuskan, G.A. 2010. Phytosequestration: Carbon biosequestration by plants and the prospects of genetic engineering. *Bioscience*, 60(9), 685-696.
- 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).
- Khajepour, M.R. 2007. Industrial plants. Isfahan University Publications. 564 p. (In Persian).
- Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Khorasani, R., and Ghorbani, R. 2013. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. *Soil and Tillage Research*, 133(1), 25–31.
- Khorramdel, S., Mollafilabi, A., and Latifi, H. 2018. Evaluating the potential of carbon sequestration and global warming potential for saffron fields (Case

- study: Khorasan-e Razavi Province). *Journal of Plant Production Research*, 25 (1), 13-29. (In Persian).
- Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallti, M., and Khorasani, R. 2011. Effect of different crop management systems on NPP and relative carbon allocation coefficients for corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agroecology*, 2 (1), 667 - 680. (In Persian with English Summary).
- 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).
- Kumar, N., Nath, C.P., Hazra, K. K., Das, K., Vencatesh, M.S., and Singh, S.S. 2019. Impact of zero-till residue management and crop diversification with legumes on soil aggregation and carbon sequestration. *Soil and Tillage Research*, 189 (1), 159-167.
- Li, S., Li, Y., Li, X., Tian, X., Zhao, A., 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(1), 43-51.
- Lamlom, S. H., and Savidge, R. A. 2003. A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. *Biomass and Bioenergy*, 25(4), 381- 389.
- Moushani, S., Kazemi, H., Soltani, A., and Asadi, M.A. 2019. Comparison of carbon sequestration potential of soybean plant organs in conventional and conservation canvas cultivation (Case study: Gorgan city). *Journal of Plant Production Research*, 26 (3), 235-253. (In Persian).
- Mokarari, N.M., Kazemi, H., Kamkar, B., and Bakhshandeh, S. 2021. Evaluation of the carbon sequestration potential by barley crop in saline soils (Case study: Gomishan county, Golestan province). *Journal of Plant Production Research*, 28 (3), 147-163. (In Persian).
- Mohmmadi, J. 2006. Pedometer, spatial statistics. Pelk press. 453 p. (In Persian).
- Mehdian, M.H. 2006. The use of Geostatistic in soil science. Proceedings of the First Conference on Soil, Sustainability Development and Environment.

- Tehran University. Tehran. (In Persian).
- Najmaddini, N. 2013. Eeffects of mechanical structural operations to improve watershed management in carbon sequestration for climate change mitigation (Case Study: Watershed Gavdareh in Kurdistan province). The 2nd National Conference on Climate Change and Agriculture, August 23, Urmia. (in Persian).
- Nair, P.K., Kumar, B., and Nair, D. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(2), 10–23.
- Noorbakhsh, F., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2016. Evaluation of the effect of species diversity on some agro-ecosystem services in maize, soybean and hatchet mixture 2- Performance, land parity ratio, respiration and microbial biomass of soil and carbon sequestration potential. *Journal of Crop Production*, 9 (1), 49-68. (In Persian with English Summary).
- Polidori, A., Turpin, B. J., Davidson, C. I., Rodenburg, L. A., and Maimone, F. 2008. Organic PM 2.5: Fractionation by polarity, FTIR spectroscopy, and OM/OC ratio for the pittsburgh aerosol. *Journal of Aerosol Science and Technology*, 42(3), 233-246.
- Pagiola, S. 2008. Payments for environmental services in Costa Rica. *Ecological Economics*, 65(4), 712-724.
- Ruppert, D. 1996. Local Polynomial regression and its applications in environmental statistics. School of Operations Research and Industrial Engineering, Cornell University, New York.
- Solaimanisardo, M. 2011. Evaluation of the role of Tagh and atriplex species on carbon sequestration and soil erosion indices for management of desert lands (Case study: Joopar Research Station, Kerman Province. M. SC Thesis. Faculty of Fisheries Environment Range and Watershed Gorgan. 130p. (In Persian with English Summary).
- Sandhu, H. S., Wratten, S. D., Cullen, R., and Case, B. 2008. The future of farming: the value of ecosystem services in conventional and organic arable land. An experimental approach. *Ecological Economics*, 64(4), 835-848.
- Sheidai Karkaj, E. 2011. Evaluation of carbon sequestration ability in rangelands restorational species: *Atriplex lentiformis* S. Wats and *Agropyron elongatom*

- (Host) P. Beauv. (Case study: Chapar ghoyneh, Gonbad). M.Sc thesis. Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan. 104p. (In Persian with English Summary).
- Sadeghi, S. 2012. Point interpolation in GIS with emphasis on Kriging technique. Loza Publications, 152 p. (in Persian).
- Seyedi, S. S. 2016. Evaluation of carbon sequestrations in irrigated and dryland wheat cropping systems in north khorasan province. M.Sc thesis. Faculty of agriculture Shahrood University of Technology, 109p. (In Persian with English Summary).
- SAS Institute. 2009. The SAS system for Windows. v. 9.2. SAS Inst., Cary, NC.
- Shibles, R. M., and C. R. Weber. 1965. Leaf area, solar interception and dry matter production in soybeans. *Crop Science*, 5:575-577.
- Tolessa, T., Senbeta, F., and Kidane, M. 2017. The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the central highlands of Ethiopia. *Journal of Ecosystem Services*, 23 (2), 47-54.
- Woomer, P. L., Touré, A., and Sall, M. 2004. Carbon stocks in Senegal's Sahel transition zone. *Journal of Arid Environments*, 59(3), 499-510.
- Yousefi, M., Mahdavi Damghani, A., and Khoramivafa, M. 2016. Comparison greenhouse gas (GHG) emissions and global warning potential (GWP) effect of energy use in different wheat agroecosystems in Iran. *Journal of Environmental Science and Pollution Research*, 23 (8), 7390-7397.
- Yan, H., Gao, M., Liu, J., and Tao, B. 2007. Potential and sustainability for carbon sequestration with improved soil management in agricultural soils of china Agriculture. *Ecosystems and Environment*, 121(4), 325 -335.
- Yong Zhong, S. 2007 Soil Carbon and nitrogen sequestration following theconiersion of cropland to alfalfa land in northwest china. *Journal of Soil and Tillage Research*, 92(1), 181-189

Evaluation and Zoning of Carbon Sequestration Potential Regulating Service in Canola Plant Organs (*Brassica napus* L.) (Case study: Sorkhankalateh Region, Gorgan County)

R. Shahimoridi¹, H. Kazemi^{2*}, B. Kamkar³, A. Nadimi⁴, M. Hosseinalizadeh⁵,
H. Yeganeh⁶

1. PhD student of Plant Ecology, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. .
2. Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.(Corresponding author)
3. Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources and Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Plant Protection, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
5. Associate Professor, Department of Watershed and Desert Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
6. Assistant Professor, Department of Range Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, Iran

Received: April 2022 Accepted: August 2023- DOI: 10.22092/aj.2023.358416.1600

Extended Abstract

R. Shahimoridi, R., Kazemi, H., Kamkar, B., Nadimi, A., Hosseinalizadeh, M., Yeganeh, H., Evaluation and Zoning of Carbon Sequestration Potential Regulating Service in Canola Plant Organs (*Brassica napus* L.) (Case study: Sorkhankalateh Region, Gorgan County)

Applied Research in Field Crops Vol 35, No. 3, 2022 17-19: 110-117(in Persian)

Introduction

Carbon sequestration is the ability of plant biomass and soil to absorb atmospheric carbon dioxide and store it for a long time. Therefore, carbon sequestration occurs when the rate of absorption of carbon dioxide by plants from the atmosphere, is larger than the total soil respiration rate, plant respiration and plant biomass cut (Anderson *et al.*, 2008). The increase in carbon sequestration is caused by the increase in plant biomass, which increases production, improves soil fertility, raises the water holding capacity in the soil, and prevents water and wind erosion (Solaimanisardo, ۲۰۱۳). Today, agriculture is effective in carbon sequestration, which can be important in terms of mitigating the detrimental effects of climate change. In the past, carbon sequesters were mainly grown in relation to forests. But today, crop production or animal husbandry can also be effective by maintaining plant residues and proper consumption of organic fertilizers obtained in soil in carbon sequestration (Seyedi, 2016). Therefore, this study was conducted in

Email address of the corresponding author: * Corresponding author E-mail: hkazemi@gau.ac.ir

order to evaluate the carbon sequestration potential in canola plant tissues in agroecosystems of Sorkhankalateh region, Gorgan County.

Materials & Methods:

This study was conducted to evaluate the carbon sequestration potential in above-ground and below-ground tissues of canola (*Brassica napus L.*) in agricultural lands of Sorkhankalateh region (Gorgan County), during 2021-2022. In this study, 50 fields were selected and sampling from the fields was done based on W pattern in the four geographical directions of the region. An electric burn furnace method was used to determine the conversion coefficients of carbon sequestration potential in above- ground and below-ground tissues (including siliques, seeds, stems, leaves and roots). Additionally, the ratio of above-ground to below-ground tissues and harvest index were estimated to determine the net primary production based on carbon content in the above-ground tissue, below-ground and total plant, and the carbon allocation coefficients in each of the canola plant organs. Finally, using the ArcGIS software version 10.3, the amount of carbon sequestration potential in each of the canola organs was presented in the form of a map, and all the used data were analyzed using SAS software version 9.3.

Results & Discussion

Based on the findings of this study, the average amount of carbon deposited in total plant tissues of Hayola 50 cultivar was equated to 6657.47 kg per hectare and in the fields where Trapper cultivar was grown equated to 6560.33 kg per hectare. The average carbon sequestration potential obtained in stem in Hayola 50 and Trapper cultivars was equal to 2012.36 and 1993.97, in seed 1717.20 and 1639.95, in pod 1676.77 and 1608.36, in leaf 602.90 and 615.72, and in root 648.21 and 702.30 kg per hectare, respectively. Also, the means of the allocation coefficients of economic tissues (stem, leaf and silique), root and root secretions in Hayola 50 and Trapper cultivars were equal to 0.22 and 0.21, 0.64 and 0.64, 0.09 and 0.09, and 0.05 and 0.06 percent, respectively. In this study, the mean of carbon sequestration potential in above-ground and below-ground tissues was equal to 6608.9 kg per hectare. The highest and lowest carbon sequestration potential obtained was respectively with stem at 2003.16 kg per hectare and with leaf at 609.31 kg per hectare. Also, in

the survey of carbon sequestration in the above-ground and below-ground tissues in the canola fields, it was determined that there was a significant difference at 99% probability level. The results of carbon sequestration maps showed that the highest carbon sequestration rate was observed in the fields located in the west and northwest, and carbon sequestration rate was lower in the fields located in the southern and eastern regions.

Keywords: Economic tissues, Interpolation, Net primary production, Oilseed plant

References

- Anderson, J.L., Beduhn, R.A., Current, D., Espeleta, J. F., Fissore, C., Gangeness, B., Harting, J., Hobbie, S. E., Nater, E. A., and Reich, P. B. 2008. The potential for terrestrial carbon sequestration in Minnesota: a report to the Department of Natural Resources from the Minnesota Terrestrial Carbon Sequestration Initiative.
- Seyedi, S.S. 2016. Evaluation of carbon sequestrations in irrigated and dryland wheat cropping systems in north khorasan province. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, 109p. (In Persian with English Summary).
- Solaimanisardo, M. 2011. Evaluation of the role of Tagh and Atriplex species on carbon sequestration and soil erosion indices for management of desert lands (Case study: Joopar Research Station, Kerman Province). M.Sc. Thesis. Faculty of Fisheries, Environment Range and Watershed, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 130p. (In Persian with English Summary).