University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Investigating the balance and amount of organic carbon sequestered in different parts of plants in different land uses in Behbahan city, Khuzestan province

Saheb Khordehbin[1] | Saeid Hojati[2]✉ | Ahmad Landi[3] | Iman Ahmadianfar[4]

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Khuzestan, Iran. E-mail: research@bkatu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Khuzestan, Iran. E-mail: s.hojati@scu.ac.ir
3. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Khuzestan, Iran. E-mail: landi@scu.ac.ir
4. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Technical University of Khatam-al-Anbia, Behbahan, Khuzestan, Iran. E-mail: i.ahmadianfar@bkatu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 27 April 2022
Received in revised form: 13 August 2022
Accepted: 31 August 2022
Published online: 5 May 2023

Keywords:

Carbon balance,
Carbon emissions,
Carbon storage,
Organic carbon.

ABSTRACT

During photosynthesis, plants secrete atmospheric mineral carbon into their biomass, which is eventually stored in the soil through plant debris. It was used and finally the organic carbon balance was calculated. The area has three land uses, including agriculture (wheat, canola, beans and alfalfa), pasture and palm grove. From each land use, 5 plant samples in quadrats with dimensions of 1m ×1m were taken. Samples were milled and the percentage of carbon in the total plant biomass and each part of the plants (stem, leaf, and root) was calculated. The amount of gases emitted from the soil surface was also measured by a closed chamber. The results showed that the percentage of carbon in the total plant biomass of the studied land uses is significant at 99% confidence level, so that the average percentage of carbon in rapeseed, wheat and beans is the highest and in rangeland and palm crops is the lowest. Also, the percentage of carbon in different parts of plants (stem, leaf, and root) in each cultivation was performed according to a factorial experiment based on a completely randomized block design with 2 replications in SAS software. The results showed that the highest percentage of carbon was present in the stems, roots and leaves of the plants of each use, and the organic carbon balance was the highest in the agricultural use and the lowest in the pasture land use.

Cite this article: Khordehbin, S., Hojati, S., Landi, A., & Ahmadianfar, A. (2023). Investigating the balance and amount of organic carbon sequestered in different parts of plants in different land uses in Behbahan city, Khuzestan province. *Journal of Natural Environment*, 76 (1), 161-171. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2022.342267.2449

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2022.342267.2449

محیط زیست طبیعی
شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳
Homepage: https://jne.ut.ac.ir/
انتشارات دانشگاه تهران

بررسی بیلان و میزان کربن آلی ترسیب‌شده بخش‌های مختلف گیاهان کاربری‌های مختلف شهرستان بهبهان در استان خوزستان

صاحب خورده‌بین[۱] | سعید حجتی[۲]✉ | احمد لندی[۳] | ایمان احمدیان‌فر[۴]

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. رایانامه: research@bkatu.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. رایانامه: s.hojati@scu.ac.ir
۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. رایانامه: landi@scu.ac.ir
۴. گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران. رایانامه: i.ahmadianfar@bkatu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۲/۱۵

کلیدواژه‌ها:
بیلان کربن،
تصاعد کربن،
ذخیرهٔ کربن،
کربن آلی.

چکیده

گیاهان طی عمل فتوسنتز، کربن معدنی، اتمسفر را در زیست‌تودهٔ خود ترسیب می‌کنند که این کربن در نهایت از طریق بقایای گیاهی در خاک ذخیره می‌شوند. این پژوهش به‌منظور اندازه‌گیری میزان کرین آلی ترسیب‌شده در بخش‌های مختلف گیاهان، اندازه‌گیری میزان تصاعد گازهای کربنه هر کاربری و در نهایت محاسبهٔ بیلان کربن آلی صورت گرفت. منطقهٔ مورد مطالعه، دارای سه کاربری کشاورزی (گندم، کلزا، باقلا و یونجه)، مرتع و نخلستان می‌باشد که از هر کاربری ۵ نمونهٔ گیاهی با کوادرات با ابعاد ۱×۱ متر برداشت گردید. نمونه‌ها آسیاب و درصد کربن کل زیست‌تودهٔ گیاهی و هر بخش از گیاه (ساقه، برگ و ریشه) محاسبه گردید. میزان گازهای متصاعد شده از سطح خاک نیز توسط اتاقک بسته اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که درصد کربن در کل زیست‌تودهٔ گیاهی کاربری‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود. به‌طوری که میانگین درصد کربن در کلزا، گندم و باقلا بیشترین و در گیاهان مرتعی و گیاهان زیر کشت نخل کمترین مقدار بود. همچنین، مقایسهٔ آماری کربن در بخش‌های مختلف گیاهان (ساقه، برگ و ریشه) در هر کاربری بر اساس طرح فاکتوریل بر پایهٔ بلوک کاملاً تصادفی با ۲ تکرار در محیط نرم‌افزار SAS اجرا شد. نتایج نشان داد که بیشترین درصد کربن به‌ترتیب در ساقه، ریشه و برگ گیاهان هر کاربری وجود داشت و بیلان کربن آلی در کاربری کشاورزی بیشترین و در کاربری مرتع کمترین مقدار بود.

استناد: خورده‌بین، صاحب؛ حجتی، سعید؛ لندی، احمد؛ و احمدیان‌فر، ایمان (۱۴۰۲). بررسی بیلان و میزان کربن آلی ترسیب‌شده بخش‌های مختلف گیاهان کاربری‌های مختلف شهرستان بهبهان در استان خوزستان. *محیط زیست طبیعی*، ۷۶ (۱)، ۱۷۱-۱۶۱.
DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2022.342267.2449

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.

مقدمه

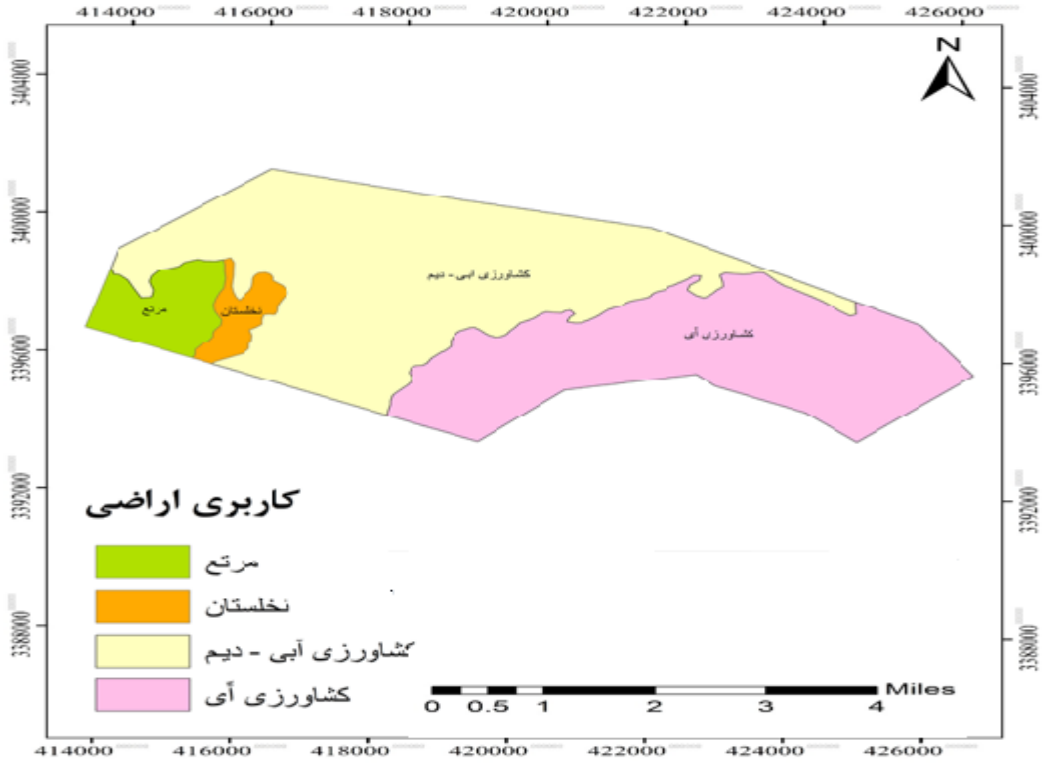
اثر گلخانه‌ای عامل اصلی در گرم نگه داشتن زمین می‌باشد، زیرا از خارج شدن گرمای اتمسفر زمین به فضا جلوگیری می‌کند و در واقع بدون اثر گلخانه‌ای، متوسط دمای جهانی زمین بسیار سرد خواهد شد و زندگی روی زمین غیرممکن خواهد بود (Kweku *et al*., 2018). افزایش جمعیت کرهٔ زمین باعث افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و ایجاد حجم زیادی از گازهای گلخانه‌ای و افزایش بیش از حد دمای سطح زمین شده است. ۵۰ درصد گرم‌شدن هوای زمین، به‌دلیل وجود دی‌اکسیدکربن در اتمسفر است که اراضی کشاورزی نقش مهمی در تولید آن دارند. از این‌رو در سال ۲۰۱۵، ۱۹۲ کشور توافق‌نامه پاریس را تصویب کردند که براساس آن کشورها متعهد شدند تا پایان قرن حاضر، افزایش درجه حرارت جهانی هوا را تا ۲ درجهٔ سانتی‌گراد بالاتر از سطح پیش‌تولیدی محدود کنند (Minasny *et al*., 2017).

کربن آلی خاک (SOC) در خاک‌های کشاورزی برای حاصلخیزی خاک و تولید کشاورزی پایدار و انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات آب و هوایی حیاتی است (Luo *et al*., 2019). مزارع دی‌اکسیدکربن، اتمسفر را ترسیب و به کاهش تغییرات آب و هوایی کمک می‌کنند، اما ظرفیت جذب کربن (C) اتمسفر و مبادلهٔ بین سیستم‌های گیاهی و خاک در طول یک توالی زمانی می‌تواند متفاوت باشد (He *et al*., 2021).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که، اراضی کشاورزی در افزایش گازهای گلخانه‌ای نقش زیادی ایفا می‌کنند؛ به‌طوری که یکی از منابع اصلی تولید گازهای گلخانه‌ای در جو زمین می‌باشند. در میان گازهای گلخانه‌ای متصاعدشده از اراضی کشاورزی، دی‌اکسید کربن به تنهایی۲۰ درصد از کل گازهای متصاعد شده را شامل می‌شود (Dharumarajan *et al*., 2017). در مقابل، گیاهان با ترسیب کربن اتمسفری، می‌توانند در کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای مفید باشند، به گونه‌ای که بیش از ۱۰٪ دی‌اکسیدکربن (CO_2) موجود در جو را می‌توان از طریق فتوسنتز بازیافت کرد (Raich and Potter, 1995). کربن آلی بازیافت و ترسیب‌شده در زیست‌تودهٔ گیاهی در نهایت در خاک رسوب می‌کنند. افزایش خالص ذخیرهٔ کربن خاک هنگامی نمایان می‌شود، که مقدار تجمع یا ذخیرهٔ کربن آلی خاک بیشتر از تلفات میکروبی و تنفس ریشه باشد (Fearnside and Barbosa, 1998). میزان کربن ترسیب‌شده در بخش بالایی (شاخه‌ها و اندام‌های تولید مثلی) و زیرین گیاهان (ریشه)، به ساختار ژنتیکی (De Neergaard and Gorissen 2004)، الگوی رشد، شرایط محیطی و اثرات متقابل این عوامل بستگی دارد (Rangel-Castro *et al*., 2005). مقدار کربن موجود در ریشه نسبت به کربن بخش‌های دیگر گیاه، از اهمیت ویژه‌ای به‌منظور افزایش ذخیرهٔ کربن خاک برخوردار است؛ زیرا بافت‌ها و ترشحات ریشه در تماس مستقیم با فاز معدنی خاک قرار دارند که منجر به کاهش میزان کانی‌سازی نسبت به کربن ذخیره‌شده در بخش هوایی می‌شود (Rasse *et al*., 2005). برخی از ترکیبات بخش هوایی گیاهان به‌راحتی در خاک تجزیه می‌شوند که باعث کاهش ذخیرهٔ کربن خاک بین ٪۱۵-۴۵٪ در گیاهان چندساله و بین ٪۲۷–۶۰٪ در بین گیاهان یک‌ساله می‌شوند (Warembourg and Paul, 1977).

نوع کاربری نیز تأثیر زیادی بر میزان ذخیره و تصاعد کربن آلی خاک دارد، از این‌رو، انتخاب نوع کشت متناسب با شرایط منطقه، نقش مهمی در ترسیب کربن و کاهش گازهای گلخانه‌ای دارد (Singh *et al*., 2013). در یک مطالعه که به‌منظور بررسی میزان تولید کربن اولیه و کربن ورودی به خاک توسط Nasiri Mahallati و همکاران (۲۰۱۴) بر روی محصولات گندم، جو، ذرت، پنبه، برنج، یونجه و نخود صورت گرفت، نشان داد که سهم نسبی کربن در اندام‌های مختلف گیاهی، در بین گیاهان مورد بررسی متفاوت بوده به‌طوری‌که یونجه نسبت به دیگر گیاهان، کربن بیشتری را در بخش زیرزمینی خود ترسیب کرده، همچنین کربن حاصل از ترشحات ریشه در آن نیز بیشتر از بقیهٔ گیاهان بود. نتایج مطالعهٔ آن‌ها نشان داد که، بیشترین میزان ورودی کربن در واحد سطح در بین گیاهان مورد مطالعه برای گیاه یونجه و کمترین ورودی کربن مربوط به گیاه نخود بود که این موضوع می‌تواند اهمیت یونجه برای ترسیب کربن را نشان دهد (Nasiri Mahallati *et al*., 2014). Moradi و همکاران (۲۰۱۵) نیز در مطالعهٔ خود عنوان کردند که مدیریت بقایای گیاهی و افزایش آن به خاک، سبب افزایش ترسیب کربن و بیلان کربن آلی می‌شود به‌طوری که این افزایش هم در خاک‌ورزی رایج و حداقل مشاهده شده است (Moradi *et al*., 2015).

درک اینکه یک کاربری با یک کشت خاص، منبع یا مخزن گاز گلخانه‌ای است، محاسبهٔ بیلان کربن گیاهان در این کاربری‌ها ضروری می‌باشد (Twine *et al*., 2009). بیلان کربن نشان‌دهندهٔ نسبت کربن ورودی به خاک (ترسیب) به کربن



شکل ۱. نقشهٔ کاربری منطقهٔ مورد مطالعه

انتشار یافته به جو می‌باشد (Smith, 2004). از این‌رو، بررسی توانایی گیاهان برای ذخیرهٔ کربن معدنی اتمسفری (در زیست‌تودهٔ خود و در نهایت در خاک) برای کاهش تغییرات آب و هوایی و بهبود باروری خاک مهم است. محاسبهٔ بیلان کربن اکوسیستم‌ها، تلاشی برای توسعهٔ استراتژی‌هایی برای کاهش انتشارات انسانی گازهای گلخانه‌ای است که به کانون تحقیقات برای شناسایی منابع و مخازن CO_2 جوی تبدیل شده است (Unkovich *et al*., 2010).

مطالعات زیادی نیز در خصوص برآورد ترسیب و ذخیرهٔ کربن آلی گیاهان صورت گرفته است که بیشتر آن‌ها برای محصولات واحد انجام شده است (Mathew *et al*., 2020). از آنجا که گیاهان مختلف توانایی متفاوتی در ترسیب و تصاعد گازهای گلخانه‌ای دارند و درک این مهم هم نقش به‌سزایی در کاهش گازهای گلخانه‌ای هر منطقه دارد، از این‌رو، این مطالعه با هدف مقایسهٔ توانایی ترسیب کربن اتمسفری بخش‌های مختلف گیاهان کاربری‌های مختلف و محاسبهٔ میزان تصاعد کربن آلی و در نهایت محاسبهٔ بیلان کربن آلی هر کاربری صورت گرفت تا براساس نتایج، بهترین کشت به‌لحاظ نقش آن‌ها در کاهش گازهای گلخانه‌ای به کشاورزان منطقه پیشنهاد گردد.

روش‌شناسی پژوهش

منطقهٔ مورد مطالعه: منطقهٔ مطالعاتی با مساحتی حدود ۳۱۷۸ هکتار در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی ″۴۰ ′۴۰ °۳۰ تا ″۵۶ ′۴۰ °۳۰ شمالی و طول‌های جغرافیایی ″۵۲ ′۳۰ °۵۰ تا ″۵۰ ′۰۶ °۵۰ شرقی در شهرستان بهبهان واقع شده است. میانگین بارندگی سالانهٔ منطقه، ۳۲۳ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت سالیانهٔ آن ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد و میانگین تبخیر سالیانه ۳۸۱۸ میلی‌متر می‌باشد. منطقهٔ دارای رژیم رطوبتی و حرارتی خاک به‌ترتیب یوستیک و هایپرترمیک می‌باشند (Amirian Chakan *et al*., 2017) و کاربری‌های غالب منطقه، کشاورزی، مرتع و نخلستان هستند (شکل ۱). در کاربری کشاورزی، عمدهٔ محصولاتی که کشت می‌شود شامل گندم، کلزا، باقلا و یونجه می‌باشند.

برداشت و آماده‌سازی نمونه‌های گیاهی: به‌منظور اندازه‌گیری میزان کربن آلی بخش‌های مختلف گیاهان در هر کاربری، ۵ نمونهٔ گیاهی با کوادرات با ابعاد ۱×۱ متر برداشت شد. نمونه‌ها به‌نحوی برداشت گردید که بیانگر شاخص نمونهٔ گیاهی هر

کاربری باشد. برداشت نمونه‌های گیاهی در فصل بهار و در پایان فصل رشد گیاهان انجام گرفت. پس از برداشت نمونه‌های گیاهی، قسمت‌های مختلف گیاه شامل ریشه، ساقه و برگ تفکیک و در هوای آزاد خشک شدند. یک نمونه نیز از مخلوط بخش‌های مختلف گیاهان در هر کاربری تهیه گردید. به‌دلیل وجود گل و لای در بخش زیرزمینی (ریشه)، ابتدا این بخش با استفاده از الک با اندازهٔ چشمهٔ پنج میلی‌متر کاملاً از گل و لای شسته و سپس کلیه نمونه‌ها آسیاب و درون نایلون زیپ‌دار قرار داده و کدگذاری شدند. جهت محاسبهٔ درصد کربن نمونه‌ها، ابتدا آن‌ها در دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. سپس ۲ گرم از هر نمونه توزین و درون کورهٔ الکتریکی در دمای ۵۵۰ و به مدت ۶–۵ ساعت قرار داده شدند و درصد خاکستر گیاهی (مقدار بخش معدنی) و در نهایت درصد کربن آلی هر بخش با استفاده از از رابطهٔ محاسبه گردید (Allen *et al*., 1986).

$$C\% = (100\text{-}Ash\ \%) \times ۰/۵۸$$ رابطهٔ ۱

در یک اکوسیستم، گیاهان دی‌اکسیدکربن را از اتمسفر جذب کرده و مواد آلی تولید می‌کنند. به کل کربن جذب‌شده توسط گیاه درخلال فرآیند فتوسنتز تولید ناخالص اولیه[۱] (GPP) گفته می‌شود. بخشی از کربن ناخالص جذب‌شده توسط گیاه در خلال فتوسنتز، توسط تنفس اتوتروفی (تنفس گیاه) مصرف می‌شود. تنفس خاک نیز خود شامل دی‌اکسیدکرین حاصل از تنفس هتروتروفی خاک[۲] (RH) و تنفس ریشه گیاهان[۳] (RR) می‌باشد (Hanson *et al*, 2000). به بخش کربن خالص باقی‌مانده در زیست‌تودهٔ گیاهی هر اکوسیستم، تولید خالص اولیه[۴] (NPP) و به کل کربن خالص جذب‌شده نیز تولید خالص اکوسیستم[۵] (NEP) گفته می‌شود. پس از مرگ گیاهان، بخشی از بقایای گیاهی به‌وسیلهٔ میکروارگانیسم‌های خاک تجزیه شده و به خاک برمی‌گردند. در خلال این تجزیه، مقداری از کربن موجود در مواد آلی آزاد شده و به اتمسفر باز می‌گردند. با اندازه‌گیری تولید خالص اولیه و تنفس خاک[۶] (RS) مشخص می‌شود که آیا اکوسیستم مورد بررسی، منبع یا مخزن کربن است (Katrin Prescher et al., 2010).

جهت برآورد تولید خالص اولیه، کربن آلی زیست‌تودهٔ گیاهی (بخش هوایی و زیرزمینی گیاه) که در پایان فصل رشد با کوادرات‌های ۱×۱ متر برداشت شده بود، طبق رابطهٔ ۱ محاسبه و میزان تولید خالص اولیه هر بخش بر اساس کربن (NPPc) از طریق رابطهٔ ۲ محاسبه گردید:

$$NPP_c = C_P + C_S + CR + C_E$$ رابطهٔ ۲

که CS[۷]: کربن کاه و کلش، Cp: کربن موجود در اندام (های) اقتصادی، C_R[۸]: کربن موجود در ریشه و CE[۹]: کربن حاصل از ترشحات ریشه‌ای است که مقدار آن براساس منابع حدود ۶۵ درصد کربن موجود در ریشه در نظر گرفته می‌شود (Bolinder *et al*, 2007). برای محاسبهٔ میزان کربن آلی موجود در بخش‌های مختلف گیاهان (اندام اقتصادی، کاه و کلش، ریشه) از رابطه‌های ۳ تا ۶ استفاده شد:

C_P= وزن اندام اقتصادی×C% رابطهٔ ۳

C_S= بیوماس کل- عملکرداقتصادی × C% رابطهٔ ۴

C_R= وزن ریشه × C% رابطهٔ ۵

$C_E = C_R \times ۰/۶۵$ رابطهٔ ۶

همچنین برای محاسبهٔ سهم نسبی هر کدام از اندام‌های مختلف گیاهی از تولید خالص اولیه، از رابطه‌های ۶ تا ۹ استفاده شد.

$$RP = CP / NPPc$$ رابطهٔ ۷

[1] Gross Primary Production
[2] Heterotrophic respiration
[3] Root respiration
[4] Net primary production
[5] Net ecosystem production
[6] Soil respiration
[7] Carbon Straw
[8] Carbon Root
[9] Carbon Exudate

$$RS= CS / NPPc$$ رابطهٔ ۸

$$RR= CR / NPPc$$ رابطهٔ ۹

$$RE= 1- (RP + RS + RR)$$ رابطهٔ ۱۰

که در این رابطه‌ها RE، RP، RS و RR به‌ترتیب بیانگر سهم نسبی ترشحات ریشه‌ای، اندام(های) اقتصادی گیاه، کاه و کلش و ریشه از کل کربن موجود در گیاه می‌باشند. جهت محاسبهٔ بیلان کربن، میزان کربن موجود در بقایای گیاهی و دانهٔ گیاه در هر کاربری به‌عنوان کربن ورودی به خاک در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری میزان گازهای حاصل از تنفس خاک: نمونه‌های گازی حاصل از تنفس گیاهان به‌وسیلهٔ اتاقک‌های بسته[10] جمع‌آوری شدند. بدین‌منظور، اتاقک‌های بسته در محل مورد نظر نصب گردید و دمای داخل اتاقک نیز به وسیلهٔ دماسنج جیوه‌ای که در قسمتی از بدنه اتاقک‌ها تعبیه شده بود، اندازه‌گیری گردید. به‌منظور تعیین زمان حداکثر تجمع گازهای گلخانه‌ای، نمونه‌برداری از اتاقک بسته شاهد، به‌وسیلهٔ سرنگ، در زمان‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ ساعت انجام گردید. نمونه‌ها پس از زمان ۶ ساعت که زمان حداکثر تجمع بود برداشت و بلافاصله در ویال‌های مخصوص تزریق و درپوش ویال‌ها به‌وسیلهٔ پارافیلم پوشانده شدند و در ظروف حاوی یخ قرار داده شدند تا از خروج گاز جلوگیری به‌عمل آید. پس از آن، بلافاصله نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال داده شد و با دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) مدل ۲۵۶۰ قرائت شدند (Khordehbin *et al.*, 2020). پس از قرائت دستگاه، عدد دستگاه با دمای اتاقک تصحیح و براساس حجم اتاقک و مدت زمان نصب اتاقک‌ها، مقدار تصاعد گازها بر حسب جرم در واحد سطح و زمان طبق رابطهٔ ۱۱ محاسبه شدند.

$$Vm = (۱۲/۱۸۷\times Vv) \times (Mv) / (۲۷۳/۱۵+t)$$ رابطهٔ ۱۱

Vm: میزان تصاعد گاز بر حسب میلی‌گرم بر مترمکعب (mg/m^3) ، Vv: عدد قرائت شده دستگاه برحسب قسمت در میلیون (ppm)، Mv: وزن مولی گاز مورد نظر برحسب مول بر کیلوگرم (mol/kg) و t دمای خاک هنگام نمونه‌برداری بر حسب درجهٔ سانتی‌گراد می‌باشد. تمام آنالیزها در محیط نرم‌افزار SAS نسخهٔ ۹/۲ انجام شد.

یافته‌های پژوهش

نتایج توصیف آماری محتوای کربن بخش‌ها و کشت‌های مختلف در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که میانگین درصد کربن در کلزا، گندم و باقلا بیشترین و در یونجه، گیاهان مرتعی و گیاهان زیر کشت گیاه نخل کمترین مقدار را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۱). همچنین بیشترین درصد کربن به‌ترتیب در ساقه، ریشه و برگ گیاهان هر کاربری وجود دارد (جدول ۲). نتایج آزمون لون[11] جهت بررسی برابری واریانس‌ها نیز نشان داد که واریانس بین کشت‌ها و بخش‌های مختلف دارای پراکندگی یکسانی بودند. جهت بررسی وضعیت معنی‌داری درصد کربن در زیست‌تودهٔ گیاهی (مجموع ریشه، ساقه و برگ) در کاربری‌های مختلف از تحلیل واریانس ANOVA استفاده شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که اختلاف میانگین درصد کربن در کل زیست‌تودهٔ گیاهان در کاربری‌های مختلف در سطح اطمینان ۹۹ درصد ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار بود؛ به‌طوری که میانگین درصد کربن در کلزا، گندم و باقلا بیشترین و در گیاهان مرتعی و گیاهان زیر کشت نخل کمترین مقدار بود.

از آنجا که در این تحقیق اثر دو متغیر نوع گیاه و بخش‌های مختلف اندام‌های گیاهی بر روی درصد کربن مورد بررسی قرار گرفت، طرح فاکتوریل بر پایهٔ بلوک کاملاً تصادفی با ۲ تکرار به‌عنوان طرح آماری انتخاب شد (جدول ۴). مقایسهٔ میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن صورت گرفت. نتایج نشان داد که درصد کربن در بخش‌های مختلف گیاهان اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند که بیش‌ترین درصد کربن به‌ترتیب در ساقه، ریشه و برگ گیاهان هر کاربری مشاهده شد.

بیلان کربن و تولید خالص اولیه در کاربری‌های مختلف: جدول بیلان کربن (جدول ۶) نشان می‌دهد که در بین کاربری‌های مختلف، کاربری کشاورزی دارای بیشترین بیلان کربن و کاربری مرتع و نخلستان نیز به‌ترتیب با ۰/۲۷۰ و ۰/۳۹۷

[10] Chamber
[11] Leven Test

جدول ۱. توصیف آماری درصد کربن در کشت‌های مختلف

نوع کشت	تعداد	حداکثر	حداقل	خطای استاندارد	انحراف استاندارد	میانگین
گندم	۵	۵۰/۹۱	۴۹/۹۷	۰/۱۵۱	۰/۳۳۹	۵۰/۴۲
باقلا	۳	۴۹/۲۹	۴۹/۹۷	۰/۳۸۱	۰/۶۶۱	۴۸/۶۶
یونجه	۲	۴۰/۸۸	۳۹/۰۰	۰/۹۳۹	۱/۳۲	۳۹/۹۴
کلزا	۲	۵۱/۲۵	۵۱/۱۱	۰/۰۷۰	۰/۱۰۰	۵۱/۱۸
مرتع	۳	۴۶/۰۷	۴۴/۹۴	.۰/۳۷۳	۰/۶۴۶	۴۵/۳۳
نخلستان	۳	۴۶/۸۲	۴۶/۸۲	۰/۳۱۲	۰/۶۳۱	۴۶/۸۲
کل	۱۶	۵۱/۲۵	۳۹	۰/۹۲۶	۳/۷۰	۴۷/۶۹

جدول ۲. توصیف آماری درصد کربن در بخش‌های مختلف گیاهان

اندام گیاه	تعداد	حداکثر	حداقل	میانگین	خطای استاندارد	انحراف ستاندارد
برگ	۱۱	۴۷/۱۷	۳۸/۷۷	۴۳/۹۱	۱/۰۶	۳/۵۱
ساقه	۱۱	۵۸/۷۹	۴۵/۰۴	۵۱/۴۳	۱/۱۵	۳/۸۳
ریشه	۱۱	۵۱/۹۸	۳۷/۹۲	۴۵/۰۹	۱/۶۴	۵/۴۵
کل	۳۳	۷۵/۴۱	۳۷/۹۲	۴۶/۸۱	۰/۹۳۷	۵/۳۸

جدول ۳. تحلیل واریانس درصد کربن در کل زیست‌تودهٔ گیاهی در کشت‌های مختلف

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	مجموع مربعات	معنی‌داری
تکرار	۱	۰/۰۰۰۹۸		
نوع کاربری	۵	۳۴/۴۸۶	۱۷۲/۴۳۰	۰/۰۰۰۶*
خطا	۵	۰/۹۰۵۶	۴/۵۲۸	
ضریب تغییرات	۲/۰۲۴۷۷۰			

* معنی‌داری در سطح ۰/۰۱

جدول ٤. تحلیل واریانس درصد کربن در کل زیست‌تودهٔ گیاهی در کشت‌های مختلف

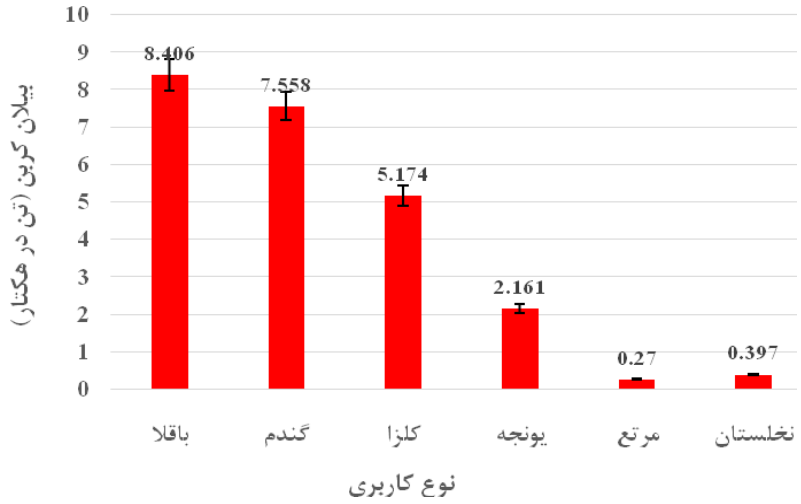
منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	معنی‌داری
تکرار	۱	۱/۹۱۱۵	
نوع گیاه	۲	۸۲/۸۷۱۵۰	۰/۰۰۰۱**
اندام گیاهی	۵	۱۷۱/۵۸۷۱	۰/۰۰۰۱**
نوع گیاه×اندام گیاهی	۱۰	۱۰/۲۴۶۰	۰/۰۵۲*
خطا	۱۷	۴/۲۳۸۱	۰/۰۰۰۱**
ضریب تغییرات	۴/۴۴۶۳		

* معنی‌داری در سطح ۰/۰۱، ** معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

جدول ۵. میزان تولید خالص اولیه اندام‌های گیاهی در کاربری‌های مختلف

نوع کشت	RS=CS/NPPc	RP=CP/NPPc	RR=CR/NPPc	RE=1-(RP+RS+RR)
باقلا	۰/۴۴۹	۰/۳۵۳	۰/۱۱۹	۰/۰۷۹
گندم	۰/۵۲۵	۰/۲۴۷	۰/۱۳۷	۰/۰۹۱
کلزا	۰/۵۷۳	۰/۱۷۰	۰/۱۵۵	۰/۱۰۲
یونجه	۰/۳۸۳	۰/۱۳۳	۰/۲۹۲	۰/۱۹۲
مرتع	۰/۶۲۴	۰/۲۶۰	۰/۰۷۰	۰/۰۴۶
نخلستان	۰/۶۱۵	۰/۲۵۷	۰/۰۷۷	۰/۰۵۱

تن در هکتار دارای کمترین بیلان کربن در منطقهٔ مطالعاتی می‌باشند (شکل ۲). در کاربری کشاورزی، کشت باقلا با ۸/۴ تن در هکتار دارای بیشترین مقدار و پس از آن کاربری به‌ترتیب کشت گندم، کلزا و یونجه با بیلان ۷/۵۶، ۵/۱۷ و ۲/۱۶ تن در هکتار بیلان کربن را به خود اختصاص دادند. مقادیر محاسبه شدهٔ تولید خالص اولیه (NPPC) در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان داد که کاربری باقلا دارای بیشترین میزان تولید خالص اولیه به‌میزان ۹/۴۴ تن در هکتار می‌باشد و پس از آن کاربری گندم، کلزا



شکل ۲. بیلان کربن در کاربری‌های مختلف

جدول ٦. میزان سهم نسبی هریک اندام های گیاهی در تولید خالص اولیه

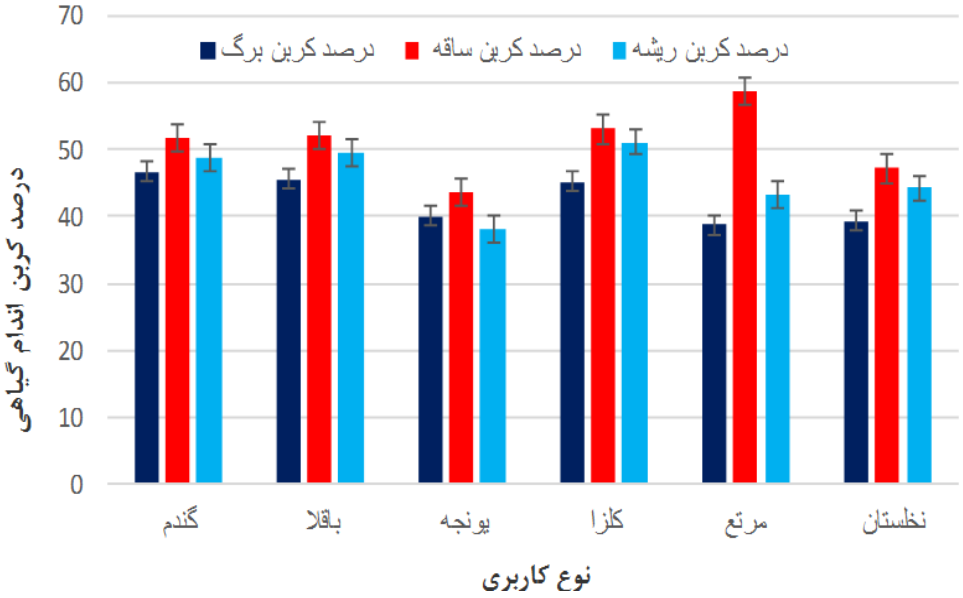
نوع کشت	کربن کاه و کلش (CS) (ton/ha)	کربن دانه (CP) (ton/ha)	کربن ریشه (CR) ton/ha	کربنی انتقالی از ریشه به خاک (CE) ton/ha	میانگین تصاعد دی‌اکسید کربن و متان (ton/ha)	بیلان کربن ton/ha
باقلا	۴/۲۴۳	۳/۳۳۷۵	۱/۱۲۵	۰/۷۳۱	۱/۰۳	۸/۴۰۶
گندم	۴/۲۸۷	۲/۰۲	۱/۱۲۵	۰/۷۳۱	۰/۶۰۵	۷/۵۵۸
کلزا	۳/۳۲۷	۰/۹۹	۰/۹	۰/۵۸۵	۰/۶۲۸	۵/۱۷۴
یونجه	۱/۱۷۸	۰/۴۱۰	۰/۹	۰/۵۸۵	۰/۹۱۲	۲/۱۶۱
مرتع	۰/۴۰۱	۰/۱۶۷	۰/۰۴۵	۰/۰۲۹	۰/۳۷۲	۰/۲۷۰
نخلستان	۰/۵۷۰	۰/۲۳۸	۰/۰۷۲	۰/۰۴۶	۰/۵۲۹	۰/۳۹۷

جدول ۷. میزان سهم نسبی هریک اندام‌های گیاهی در تولید خالص اولیه

نوع کشت	کربن کاه و کلش (CS) (ton/ha)	کربن دانه (CP) (ton/ha)	کربن ریشه (CR) ton/ha	کربنی انتقالی از ریشه به خاک (CE) ton/ha	NPPC (ton/ha)
باقلا	۴/۲۴۳	۳/۳۳۷۵	۱/۱۲۵	۰/۷۳۱	۹/۴۳۶
گندم	۴/۲۸۷	۲/۰۲	۱/۱۲۵	۰/۷۳۱	۸/۱۶۳
کلزا	۳/۳۲۷	۰/۹۹	۰/۹	۰/۵۸۵	۵/۸۰۲
یونجه	۱/۱۷۸	۰/۴۱۰	۰/۹	۰/۵۸۵	۳/۰۷۳
مرتع	۰/۴۰۱	۰/۱۶۷	۰/۰۴۵	۰/۰۲۹	۰/۶۴۲
نخلستان	۰/۵۷۰	۰/۲۳۸	۰/۰۷۲	۰/۰۴۶	۰/۹۲۶

و یونجه به‌ترتیب با میزان تولید خالص اولیه برابر ۸/۱۶ ، ۵/۸۰ و ۳/۷۱ تن در هکتار قرار دارند. سهم نسبی هر یک از اندام‌های گیاهی نیز طبق رابطه‌های ۷ تا ۱۰ محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۷ و شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در کاربری‌های مختلف سهم نسبی کاه و کلش (RS) در میزان تولید خالص اولیه از سایر بخش‌ها بیشتر بوده و پس از آن به‌ترتیب بخش اقتصادی (RP)، بخش ریشه (RR) و در نهایت سهم ترشحات ریشه (RE) قرار دارد. همچنین در مقایسهٔ بخش ریشه بین کاربری‌های مختلف، سهم کربن بخش ریشه در یونجه نسبت به تمام کاربری‌های دیگر بیشتر است.

درصد کربن در بخش‌های مختلف گیاه (ریشه، ساقه و برگ): نتایج توصیف آماری درصد کربن در بخش‌های مختلف گیاهان شامل باقلا، گندم، یونجه، کلزا، مرتع و گیاهان زیر کشت گیاه نخل در کاربری نخلستان در جدول ۷ ارائه شده است. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین درصد کربن به‌ترتیب در ساقه، ریشه و برگ وجود دارد.



شکل ۳. مقایسهٔ درصد کربن در اندام‌های مختلف گیاه در کاربری‌های مختلف

بحث و نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که سهم نسبی کربن در اندام‌های مختلف گیاهی در بین گیاهان مورد بررسی متفاوت می‌باشد. بیلان کربن نیز در بین کاربری‌های متفاوت بوده، به گونه‌ای که در کاربری کشاورزی، باقلا دارای بیشترین میزان بیلان کربن می‌باشد و پس از آن کاربری گندم، کلزا و یونجه قرار دارند و کاربری مرتع و نخلستان کمترین میزان بیلان کربن را در بین کاربری‌های مورد بررسی را به‌خود اختصاص دادند. از آنجا که کاربری گندم دارای سطح زیر کشت بالایی در منطقهٔ مورد مطالعه می‌باشد و میزان بیلان کربن آن نیز بالا می‌باشد و با درنظر گرفتن این موضوع که میزان تصاعد گازهای کربن این کاربری (۰/۶۰۵ تن در هکتار) از دیگر کاربری‌های کشاورزی کمتر است، می‌توان نتیجه گرفت که کاربری گندم می‌تواند نقش مهمی در کاهش گازهای اتمسفری داشته باشد. همچنین با توجه به میزان درصد کربن موجود در کاه و کلش گیاه گندم و کربن انتقالی از طریق ریشهٔ آن، به‌نظر می‌رسد با در نظر گرفتن سطح زیر کشت این محصول در منطقه، برگرداندن بقایای گیاهی این محصول می‌تواند نقش به‌سزایی در میزان ذخیره کربن آلی خاک داشته باشد. Radnejad و همکارن (۲۰۱۰) نیز بیان کردند که باقی گذاشتن بقایای گیاهی و یا آهسته‌تر نمودن تجزیهٔ ماده آلی (عملیات بدون شخم)، سبب افزایش ترسیب کربن خاک می‌شود. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد، که میزان درصد کربن آلی بخش‌های مختلف گیاهان در کاربری مرتع (شکل ۲) مقدار قابل توجهی می‌باشد، بنابراین حفاظت از این اراضی و جلوگیری از چرای بیش از حد از آن‌ها می‌تواند در دراز مدت سبب افزایش بیشتر ذخیرهٔ کربن آلی این اراضی و ایجاد مراتع پر بازده گردد. از آنجا که نتایج اعلام شده برای محصول یونجه (جدول‌های ۵ و ۶) برای یک چین است و با در نظر گرفتن تعداد چین این محصول به‌ازای هر ۴۵ تا ۵۰ روز، این محصول بیشترین کربن ورودی به خاک را در بین سایر کاربری‌ها دارد. Nassiri و همکاران (۲۰۱۴) نیز در مطالعهٔ خود نشان دادند که بیشترین کربن ورودی در بین محصولات مختلف در مناطق مختلف آب و هوایی کشور مربوط به گیاه یونجه است.

با توجه به اینکه میزان تولید خالص اولیه، برآوردی از میزان دی‌اکسیدکربن جذب شده از جو می‌باشد، انتخاب گونه‌های گیاهی که تولید زیست‌تودهٔ بالایی دارند، می‌توانند راهکاری برای کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن جو باشند. نتایج این تحقیق نشان داد که گندم، باقلا و یونجه دارای تولید خالص اولیه بالایی هستند و می‌توانند در کاهش دی‌اکسیدکربن جو نقش به‌سزایی داشته باشند. Gao و همکاران (۲۰۰۷) و He و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعات خود گزارش کردند که بخش‌هایی از گیاه که دارای بافت چوبی (ساقه) هستند، توانایی بیشتری در ترسیب کربن دارند و هرچه نسبت اندام‌های چوبی در گیاه بیشتر باشد توان آن‌ها

در ترسیب کربن بیشتر می‌شود. Foroozeh و همکاران (۲۰۱۰) نیز با مقایسهٔ توان ترسیب کربن سه گونه گل آفتابی، سیاه‌گینه و درمنه دشتی مرتعی در منطقهٔ دشت گربایگان فسا بیان کردند که بیشترین ترسیب کربن مربوط به ساقهٔ این گیاهان است که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. نتایج Ghasemi و همکاران (۲۰۱۷) در منطقهٔ صالح‌آباد شهرستان حاجی‌آباد نشان دادندکه بین اندام‌های مختلف گیاه قیچ و گروج تفاوت معنی‌داری از نظر کربن ذخیره‌شده وجود دارد؛ به‌طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کربن ذخیره‌شده در بافت‌های این گیاهان به‌ترتیب در ساقه و ریشهٔ آن‌ها به‌دست آمد. همچنین بررسی آن‌ها نشان داد که تأثیر نوع گیاه و اندام گیاهی بر مقدار کربن ذخیره‌شده در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ معنی‌دار بود، در حالی که برهم‌کنش این دو عامل تأثیر معنی‌داری بر کربن ذخیره‌شده نداشته است.

مقایسهٔ بین بیلان و ترسیب کربن در کاربری باقلا، گندم، یونجه و کلزا نشان می‌دهد که کاربری گندم و باقلا بیش‌ترین میزان تصاعد گازهای کربنه دی‌اکسید کربن و متان را دارند؛ ولی دارای میزان بیلان کربن بیشتری نسبت به دیگر کاربری‌ها می‌باشد که یکی از دلایل اصلی بیش‌تر بودن بیلان کربن در کاربری گندم و باقلا نسبت به دیگر کاربری‌ها این است که زیست‌تودهٔ گیاهی در گندم (۹/۵۲۷ تن در هکتار) و باقلا(۹/۴۱۱ تن درهکتار) نسبت به دیگر کاربری‌ها بیشتر است. این موضوع سبب می‌شود که ذخیرهٔ کربن ورودی به خاک از طریق این گیاهان بیشتر باشد و سهم بیشتری را بتوانند در کاهش انتشار گازهای کربنه محیط ایفا کنند. بنابراین پیشنهاد می‌گردد با توجه به حمایت دولت از تولید گندم و همچنین نقش آن در کاهش گازهای گلخانه‌ای، درصورت امکان از کشت گندم به جای دیگر کشت‌ها استفاده گردد.

References

Allen, S.E., Grimshaw, H.M., Rowland, A.P., 1986. Chemical analysis: 285-344. In: Moore, P.D. and Chapman, S.B. (Eds.). Method in Plant Ecology. Blackwell Scientific Press, Oxford, London. 589 p.

Amirian Chakan, A., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R., Kumar, S., Khordehbin, S., Yousefi Khanghah, S. 2017. Spatial 3D distribution of soil organic carbon under different land use types. Environmental Monitoring and Assessment 189(3), 1-16.

Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., 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, 29-42.

De Neergaard, A., Gorissen, A., 2004. Carbon allocation to roots, rhizodeposits and soil after pulse labeling: A comparison of white clover (*Trifolium repens* L.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). Biology and Fertility of Soils 39(4), 228-234.

Dharumarajan, S., Hegde, R., Singh, S.K., 2017, Spatial prediction of major soil properties using Random Forest techniques - A case study in semi-arid tropics of South India: Geoderma Regional 10, 154-162.

Fearnside, P.M., Barbosa, R.I., 1998. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. Forest Ecology and Management 108 (1), 147-166.

Gao, Y.H., Luo, P., Wu, N., Chen, H., Wang, G. X., 2007. Grazing intensity impacts on carbon sequestration in an alpine meadow on the eastern Tibetan Plateau. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 3(6), 642-647.

Ghasemi-RaeiniNejad, M., Sadeghi, H., 2017. Investigating the potential of carbon sequestration in different organs and soils under the axes of scissors and hedgehog species. Case study: Salehabad pastures of Hormozgan. Rangeland and Desert Research in Iran, 24(4), 699-707.

He, J., Dai, Q., Xu, F., Peng, X., Yan, Y., 2021. Variability in Carbon Stocks across a Chronosequence of Masson Pine Plantations and the Trade-Off between Plant and Soil Systems. Forests 12(10), 1342.

Khordehbin, S., Hojati, S., Landi, H., Ahmadianfar, I., 2020**.** Comparison of carbon dioxide (CO_2) and methane (CH_4) emissions in some land uses of Behbahan city. Iranian Journal of Soil and Water Research 73(3), 457-470.

Kweku, D.W., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K.A., Danso, K.B., Oti-Mensah, E.A., Adormaa, B.B., 2018. Greenhouse effect: greenhouse gases and their impact on global warming. Journal of Scientific Research and Reports 17(6), 1-9.

Luo, Z., Eady, S., Sharma, B., Grant, T., Li Liu, D., Cowie, A., Farquharson, R., Simmons, A., Crawford, D., Searle, R., Moore, A., 2019. Mapping future soil carbon change and its uncertainty in croplands using simple surrogates of a complex farming system model. Geoderma, 337, 311-321.

Mathew, I., Shimelis, H., Mutema, M., Minasny, B., Chaplot, V., 2020, Crops for increasing soil organic carbon stocks – A global meta-analysis. Geoderma 367, 114230.

Minasny, B., Malone, B.P., McBratney, A.B., Angers, D.A., Arrouays, D., Chambers, A., Winowiecki, L., 2017. Soil carbon 4 per mile. Geoderma 292, 59-86.

Moradi, R., Kouchaki, A., Nasiri Mahallati, M., Mansouri, H., 2015. The effect of tillage, residue management and nitrogen fertilizer on carbon balance and global warming potential in corn cultivation. Agricultural Knowledge and Sustainable Production 25(1), 29-44.

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Mansouri, H., Moradi, R., 2014, Long-term estimation of carbon dynamic and sequestration for Iranian agro-ecosystem: I- Net primary productivity and annual carbon input for common agricultural crops. Journal of Agroecology 6(4), 741-752. (In Persian)

Petite, J.R., Jouzel, J., Raynaud, M., Barnola, M., Chappelaz, J., Davis, M., Stievenard, M., 1999. Climate and atmospheric history of past 420000 years from the Vostock ice core. Antarctica Nature 399, 429-436.

Prescher, A.K., Grunwald, T., Bernhofer, C., 2010. Land use regulates carbon budgets in eastern Germany: From NEE to NBP. Agricultural and Forest Meteorology 150, 1016-1025

Radnejad, H., Naghi Pour, B., Asghar, A., 2010, Investigating the Impact of Plant Residues Management on Soil Carbon. 5th National Conference on New Ideas in Agriculture, Isfahan. (In Persian).

Raich, J.W., Potter, C.S., 1995. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils. Global Biogeochemistry Cycles 9 (1), 23-36.

Rangel-Castro, J.I., Prosser, J.I., Ostle, N., Scrimgeour, C.M., Killham, K., Meharg, A.A., 2005 .Flux and turnover of fixed carbon in soil microbial biomass of limed and unlimed plots of an upland grassland ecosystem. Environmental Microbiology 7(4), 544–552.

Rasse, D.P., Rumpel, C., Dignac, M.F., 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms For a specific stabilization. Plant and Soil 269, 341–356.

Singh, K.P., Ghoshal, N., Singh, S., 2013. Soil carbon dioxide flux, carbon sequestration and crop roductivity in a tropical dryland agroecosystem: Influence of organic inputs of varying resource quality. Applied Soil Ecology, 42(3), 243-253.

Smith, P., 2004. Carbon sequestration in croplands: The potential in Europe and the global context. European Journal of Agronomy, 20, 229-236.

Twine, T.E., Kucharik, C.J., 2009. Climate impacts on net primary productivity trends in natural and managed ecosystems of the central and eastern United States. Agricultural and Forest Meteorology 149(12), 2143-2161.

Unkovich, M., Baldock, J., Forbes, M., 2010. Variability in harvest index of grain crops and potential significance for carbon accounting: examples from Australian agriculture. Advances in Agronomy 105, 173-219.

Warembourg, F.R., Paul, E.A., 1977. Seasonal transfers of assimilated 14C in grassland: Plant production and turnover, translocation and respiration. Soil Biology and Biochemistry 9, 295-301.