

بررسی چرخه درازمدت کربن و میزان ترسیب آن در سیستم کشاورزی ایران: II- ترسیب و انتشار کربن برای محصولات زراعی مختلف با استفاده از مدل ICBM

مهدی نصیری محلاتی^۱، علیرضا کوچکی^{۲*}، روح‌الله مرادی^۳ و حامد منصوری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۴/۲۵

چکیده

ترسیب کربن یکی از مهمترین راهبردهای کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر می‌باشد. به منظور بررسی میزان ترسیب کربن و انتشار CO₂ در بوم‌نظام‌های زراعی ایران، میزان ورودی کربن حاصل از هفت محصول زراعی اصلی از گروه‌های مختلف شامل غلات (گندم (*Triticum aestivum* L.))، جو (*Hordeum vulgare* L.)، ذرت (*Zea mays* L.) و برنج (*Oryza sativa* L.)، علوفه‌های (یونجه (*Medicago sativa* L.))، صنعتی (پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)) و حبوبات (نخود (*Cicer arietinum* L.)) در اقلیم‌های مختلف کشور محاسبه شد و در نهایت با استفاده از مدل ICBM میزان ترسیب و انتشار کربن برای این محصولات و اقلیم‌های مورد نظر برآورد گردید. میانگین ورودی کربن در طول دوره ۲۰ ساله نشان داد که در بین مناطق اقلیمی مورد مطالعه، اقلیم گرم و خشک دارای بیشترین و اقلیم سرد کوهستانی از کمترین ورودی کربن برخوردار بودند. بیشترین نوسانات ورودی کربن در بین مناطق مختلف در اقلیم سرد کوهستانی با ۲۹/۱۳ درصد تغییر در سال و کمترین نوسانات مربوط به اقلیم مرطوب و گرم با ۸/۸۲ درصد تغییر در سال به دست آمد. روند تغییرات ورودی کربن در بین محصولات مختلف نشان داد که بیشترین ورودی کربن توسط یونجه و پنبه و کمترین آن مربوط به نخود بود. همچنین از بین گیاهان مورد بررسی دو گیاه یونجه و پنبه در کلیه سال‌های مورد بررسی بالاترین میزان کربن ترسیب شده به خاک را دارا بودند و کمترین مقدار آن در گیاه نخود مشاهده شد. در بین اقلیم‌های مختلف نیز بیشترین و کمترین میزان ترسیب کربن به ترتیب مربوط به اقلیم گرم و خشک و اقلیم مرطوب و گرم بود. از طرفی، بیشترین انتشار CO₂ در اقلیم مرطوب و گرم با میانگین ۲۰ ساله حدود ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار در سال و کمترین میزان مربوط به اقلیم سرد کوهستانی با ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار در سال مشاهده شد. نتایج نشان داد که میانگین ۲۰ ساله انتشار کربن به اتمسفر در گیاه یونجه (۵۸۰ کیلوگرم کربن) بیشتر از دیگر محصولات مورد بررسی بود و گیاه نخود نیز کمترین (۷۸/۸ کیلوگرم کربن) میزان انتشار کربن به جو را شامل شد. میزان انتشار CO₂ رابطه خطی معنی‌داری با میزان کربن ورودی به خاک و درجه حرارت نشان داد.

واژه‌های کلیدی: بقایای گیاهی، پویایی کربن، تغییر اقلیم، تولید خالص اولیه، هوموسی شدن

مقدمه

راهبردی مهم در کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن به اتمسفر در نظر گرفته شود (Smith et al., 2001). بوم‌نظام‌های کشاورزی به عنوان بزرگترین منبع تلفات کربن اتمسفری تخمین زده شده‌اند، که مقدار این تلفات برای اروپا ۳۰۰ مگاتن کربن در هر سال گزارش شده است (Smith, 2004). به خوبی اثبات شده است که میزان کربن خاک وابسته به تعادل بین کربن ورودی (بقایای برداشت شده و زیست‌توده گیاه) و خروجی (انتشار دی‌اکسیدکربن حاصل از تجزیه مواد آلی خاک) می‌باشد. سرعت تجزیه بقایای گیاهی وابسته به گونه گیاهی و میزان محتوی نیتروژن و لیگنین گیاه یا به عبارتی نسبت C/N بقایای گیاهی متغیر می‌باشد. از طرفی اثر عملیات کاشت بر

در سال‌های اخیر همراه با افزایش میزان غلظت دی‌اکسیدکربن در جو (*Hordeum vulgare* L.) و در پی گزارشات کمیته بین‌الدول تغییر اقلیم^۳ (IPCC) موضوع پویایی کربن در خاک مورد توجه قرار گرفته است (Andren et al., 2008). از طرفی تأکید شده است که ترسیب کربن در خاک بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌تواند به عنوان

۱ و ۲- به ترتیب استاد و دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*)- نویسنده مسئول: (Email: akooch@um.ac.ir)

3- Intergovernmental panel on climate change

سیستم‌های زراعی خروجی‌های جانبی مانند برداشت و کاربرد کودهای ارگانیک و دامی تأثیر قابل توجهی بر بودجه کربن اکوسیستم‌ها می‌گذارد. بنابراین، باید کربن‌های منتقل شده در مسیرهای جانبی را با روش‌هایی محاسبه کرد تا بتوان تولید خالص بیوم را از تبدلات خالص اکوسیستم محاسبه کرد (Osborne et al., 2010). به عبارتی، در اکوسیستم‌های زراعی، علاوه بر خروج تنفسی کربن (تنفس هتروتروفری خاک) خروج‌های جانبی نیز وجود دارد که شامل برداشت، آتش زدن بقایا، چرای دام و یا ورود حاصل از کاربرد کودهای آلی می‌باشد که این مدیریت‌های مختلف باید در بیان کربنی یک اکوسیستم زراعی مورد بررسی قرار گیرد (Gehring et al., 2009). به علت اختلاف در محصولات، سیستم‌های زراعی و عملیات کشاورزی، تخمین میزان تبادل کربن و گازهای گلخانه‌ای بین اتمسفر و اکوسیستم زراعی در مکان‌های مختلف ضروری است (Kutsch et al., 2010).

میزان ترسیب کربن در مناطق مختلف با توجه به نوع گونه‌های گیاهی، روش احیای بستر و شرایط محیطی به ویژه مقدار بارندگی متفاوت است. میزان ترسیب کربن در واحد زمان به خصوصیات رشد گونه‌های گیاهی و شیوه‌های مدیریت، تغییر کاربری اراضی، شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک و ذخیره قبلی کربن در خاک بستگی دارد (Post & Kwon, 2000; Derner & Schuman, 2007; Abdi et al., 2009). یکی از راهکارهای اندازه‌گیری میزان ترسیب کربن در سیستم‌های زراعی استفاده از مدل بیان کربن مقدماتی (ICBM) می‌باشد. ICBM یک مدل منطقه‌ای برای تخمین پویایی ذخیره کربن در خاک‌های کشاورزی می‌باشد که بر اساس نوع محصول زراعی، بافت خاک و خصوصیات اقلیمی عمل می‌کند (Andrén et al., 2004). هدف از اجرای این تحقیق بررسی میزان ترسیب و انتشار کربن برای برخی از مهمترین محصولات زراعی در اقلیم‌های مختلف کشور بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، داده‌های عملکرد و سطح زیر کشت برخی گیاهان زراعی مهم کشور شامل: گندم (*Triticum aestivum* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.)، ذرت (*Zea mays* L.)، پنبه

خصوصیات فیزیکی (از قبیل ساختمان، نفوذ آب، پایداری خاکدانه‌ها و تهویه) و شیمیایی (معدنی‌شدن و نیتریفیکاسیون) خاک شناخته شده است (Miller et al., 2004). سالیانس-گارسیا و همکاران (Salinas-Garcia et al., 1997) گزارش کردند که عملیات کاشت نقش مهمی بر خصوصیات فیزیکی خاک دارد. در سیستم‌های بدون شخم و شخم حداقل مواد غذایی و کربن آلی را در سطح خاک تجمع می‌یابد (Karlen et al., 1991). از طرفی نوع سیستم شخم رطوبت و دمای خاک را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد که این دو عامل خود باعث تغییر در پویایی کربن و نیتروژن شده و نسبت C/N را تحت تأثیر قرار می‌دهند که به نوبه خود نقش به‌سزایی بر پتانسیل ترسیب کربن ایفا می‌نماید (Wood et al., 1991; Tracy et al., 1990).

بالا بودن محتوی کربن آلی خاک برای حفظ حاصلخیزی و رطوبت بوم‌نظام‌های کشاورزی ضروری می‌باشد (Grace et al., 2006). میزان تغییر در کربن خاک به میزان فاصله از حالت پایدار کربن خاک^۱ بستگی دارد (Andrén et al., 2004). بنابراین، اگر به هر طریقی میزان ورودی سالانه کربن به خاک افزایش یابد، میزان تغییر در کربن خاک و به عبارتی شیب تغییرات آن کاهش خواهد یافت و به مقدار پتانسیل ذخیره کربن خاک نزدیک خواهد شد (Andrén & Kätterer, 2001). افزایش ترسیب کربن باعث افزایش تولید زیست‌توده گیاهی، بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و در نتیجه جلوگیری از فرسایش آبی و بادی می‌شود. به همین دلیل ترسیب کربن علاوه بر دارا بودن ارزش‌های حفاظتی، به دلیل افزایش تولید زیست‌توده، از نظر اقتصادی نیز دارای ارزش است و می‌تواند به عنوان منفعت و سود اضافی حاصل از فعالیت عملیات ترسیب کربن لحاظ شود (Abdi et al., 2009). سیستم‌های بدون شخم و شخم کاهش یافته، کشت و کار گیاهان چندساله، کاشت گیاهان دارای ریشه عمیق، استفاده از نهاده‌های آلی کود دامی و کمپوست، نگهداری کاه و کلش محصولات زراعی در سطح خاک، تناوب و مدیریت ارگانیک به عنوان مهمترین راهکارهای مدیریتی بهبود ترسیب کربن در بخش کشاورزی مورد توجه قرار گرفته‌اند (Smith et al., 2000).

بین سیستم‌های کشاورزی و سیستم‌های طبیعی از نظر بیان کربن و میزان ترسیب آن به خاک اختلاف نظر وجود دارد، در

ترسیب کربن در کشور ایران از مدل ICBM که اجزاء آن در شکل ۱ نشان داده شده است، استفاده شد (Andrén et al., 2004).

این مدل شامل دو بخش اصلی، شامل کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری (Y) و کربن ذخیره شده از سال‌های قبل (O) می‌باشد که در نهایت از طریق معادله‌های زیر میزان کربن هر یک از بخش‌های فوق و در نتیجه میزان کل کربن ترسیب شده که مجموع این دو می‌باشد، در سیستم کشاورزی محاسبه شد.

$$Y_t = (Y_{t-1} + i_{t-1})e^{-k_Y r_e} \quad (1)$$

$$O_t = \left(O_{t-1} - h \frac{k_Y(Y_{t-1} + i_{t-1})}{k_O - k_Y} \right) e^{-k_O r_e} + h \frac{k_Y(Y_{t-1} + i_{t-1})}{k_O - k_Y} e^{-k_Y r_e} \quad (2)$$

که در این معادلات، Y : کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری، O : کربن ذخیره شده از سال‌های قبل، i : زمان (سال)، h : کربن ورودی (تن در هکتار)، h : ضریب هموسی شدن، k_Y : ثابت تجزیه بقایا برای Y ، k_O : ثابت تجزیه بقایا برای O و r_e : ضریب اقلیمی. مقدار k_Y و k_O نیز به ترتیب $0/06$ و $0/8$ در نظر گرفته شدند (Andrén & Kätterer, 1997). میزان r_e نیز بر اساس روش آندرن و همکاران (Andren et al., 2004) با توجه به خصوصیات اقلیمی و خاک محاسبه شد.

میزان انتشار دی‌اکسیدکربن به جو حاصل از بقایای سال جاری (Y) نیز از اختلاف بین میزان کربن ورودی و میزان ترسیب کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری محاسبه گردید. برای بررسی داده‌ها و رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

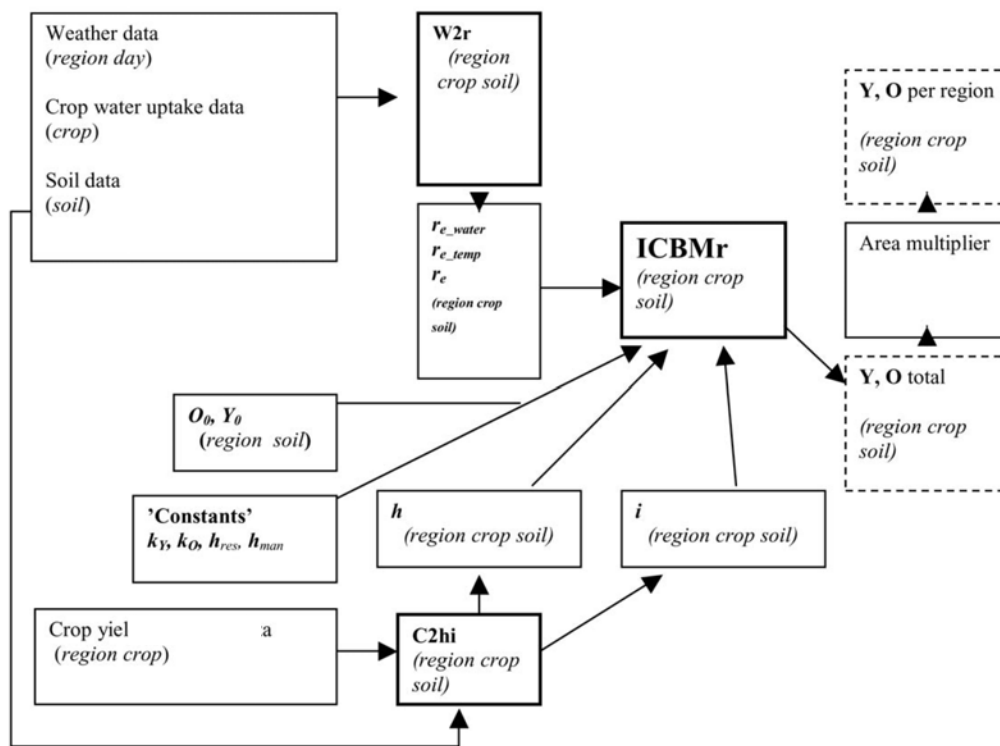
ویژگی فاکتورهای مؤثر در مدل ICBM در جدول ۱ نشان داده شده است. از بین این فاکتورها میزان ورودی کربن و ضریب هموسی شدن نقش مثبتی در میزان ترسیب کربن داشتند و از طرفی ثابت تجزیه بقایا برای Y و O و ضریب اقلیمی نقش منفی در میزان ترسیب کربن سیستم‌های زراعی بر عهده دارند. به عبارتی، هرچه میزان ورودی کربن و ضریب هموسی شدن بیشتر باشد، میزان ذخیره کربن در خاک بهبود می‌یابد. از طرفی هرچه میزان تجزیه بقایا بیشتر باشد، کربن زودتر تجزیه شده و سریع‌تر از سیستم خارج می‌گردد.

(*Gossypium hirsutum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.)، یونجه (*Medicago sativa* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) برای استان‌های مختلف کشور طی یک دوره ۲۰ ساله (۱۳۶۹-۸۹) از طریق مراجعه به پایگاه اطلاعاتی وزارت جهاد کشاورزی کشور جمع‌آوری شد. اطلاعات هواشناسی و اقلیمی مربوطه از طریق کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی هر استان و نیز در مواردی مراجعه موردی به مسئولین هر بخش جمع‌آوری گردید. سپس میزان تولید خالص اولیه بر اساس کربن (NPPc) محاسبه شد که روش محاسبه آن توسط کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013) گزارش شده است.

اطلاعات مربوط به شاخص برداشت و نسبت اندام هوایی به زیرزمینی، از طریق مطالعات انجام گرفته در کشور برای محصولات مختلف و نیز نمونه‌گیری از محصولات زراعی مورد مطالعه در نقاط مختلف کشور به دست آمد. برای یونجه، مجموع چین‌های برداشت شده در کل طول فصل رشد به عنوان اندام هوایی مدنظر قرار گرفت. برای گیاهان یک‌ساله زیست‌توده گیاه در مرحله رسیدگی لحاظ گردید. در این تحقیق، برای گیاهان گندم، جو، ذرت، برنج و نخود عملکرد دانه؛ در پنبه عملکرد و ش و برای یونجه زیست‌توده اندام هوایی به عنوان عملکرد اقتصادی در نظر گرفته شد.

همچنین استان‌های کشور به چهار اقلیم مرطوب خزری (استان‌های گیلان، مازندران و گلستان)، گرم و خشک (استان‌های قم، سمنان، اصفهان، کرمان، یزد، خراسان بزرگ، سیستان و بلوچستان، تهران و قزوین)، سرد و کوهستانی (اردبیل، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویر احمد، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، زنجان، همدان، مرکزی، کردستان، لرستان، ایلام و کرمانشاه) و گرم و مرطوب جنوبی (بوشهر، هرمزگان، خوزستان و فارس) تقسیم بندی شدند (Yousefi & Famili, 2008).

بعد از محاسبه میزان کربن خالص تولیدی در محصولات مختلف، میزان بقایای باقیمانده در مزارع پس از برداشت هر محصول که منبع کربن ورودی می‌باشد، از طریق اندازه‌گیری بقایای باقیمانده محصولات در مزارع مختلف و نیز پرسشنامه‌های که در اختیار کشاورزان قرار داده شد، تعیین گردید. همچنین برای تعیین میزان پتانسیل ورودی کربن از طریق محصولات زراعی مورد مطالعه، فرض بر این گرفته شد که کل زیست‌توده تولیدی به غیر از اندام اقتصادی به خاک بازگردانده شود و اختلاف بین میزان واقعی و پتانسیل کربن ورودی به عنوان خلاء ورودی کربن در نظر گرفته شد. برای محاسبه پویایی کربن و در نهایت، سهم بخش کشاورزی در



شکل ۱- شمای کلی مدل ICBM.

داده‌های مربوط به محصول زراعی، آب و هوا و خاک از هر منطقه در نمودار مربوط به $W2r_e$ مورد استفاده قرار می‌گیرد. (Y_0 و O_0) نشان‌دهنده میزان اولیه کربن می‌باشد. پارامترهای K و h ثابت در نظر گرفته شدند. i و r_e نیز به ترتیب نشان‌دهنده میزان کربن ورودی و شاخص اقلیمی (تن در هکتار))

Fig. 1- The ICBM region concept.

(Crop, weather, and soil data for each region are used in the weather-to-re module ($W2r_e$). The initial carbon mass values were presented as O_0 and Y_0 . K and h were considered constant. i and r_e show the climate coefficient and C input to soil respectively. ($t \cdot ha^{-1}$))

جدول ۱- ویژگی فاکتورهای دخیل در مدل ICBM (Andrén et al., 2004)

Table 1- The parameters of the ICBM model (Andrén et al., 2004)

فاکتور Parameter	علامت اختصاری Symbol	واحد Typical unit	تأثیر بر افزایش میزان کربن خاک Effect on soil C increase
ورودی کربن C input	i	کیلوگرم در سال kg.year ⁻¹	مثبت Positive
ثابت تجزیه بقایا برای Y Decomposition rate constant for Y	K_Y	در سال Year ⁻¹	منفی Negative
ضریب هموموسی شدن Humification coefficient	h	بدون واحد Dimensionless	مثبت Positive
ثابت تجزیه بقایا برای O Decomposition rate constant for O	K_O	در سال Year ⁻¹	منفی Negative
ضریب اقلیمی Climatic coefficient	r_e	بدون واحد Dimensionless	منفی Negative

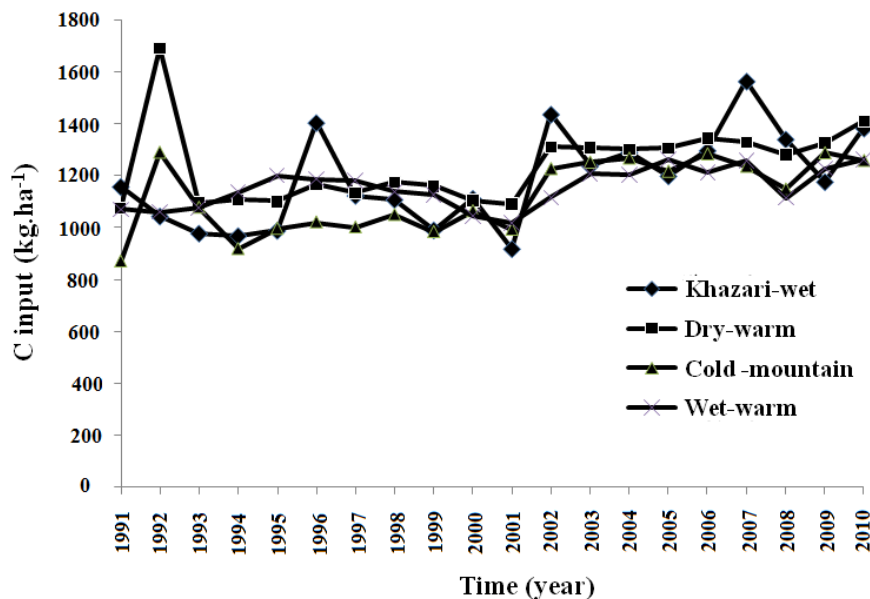
همان‌طور که مشاهده می‌شود ورودی کربن در اغلب مناطق روند صعودی داشته و اختلاف چندانی بین مناطق مختلف به خصوص در سال‌های آخر وجود نداشت. بیشترین ورودی کربن در اقلیم گرم و

کربن ورودی به خاک

روند تغییرات ورودی کربن در مناطق مختلف که میانگینی از محصولات زراعی مختلف می‌باشد در شکل ۲ نشان داده شده است.

نزولی را نشان داد (شکل ۳). به نظر می‌رسد که این امر به دلیل نوسانات مختلف عملکرد گیاهان مربوطه می‌باشد. بیشترین نوسانات ورودی کربن در بین مناطق مختلف در اقلیم سرد کوهستانی با ۲۹/۱۳ درصد تغییر در سال و کمترین نوسانات مربوط به اقلیم مرطوب و گرم با ۸/۸۲ درصد تغییر در سال مشاهده شد (جدول ۲). بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) نیز گزارش کردند که به دلیل تغییرات ناچیز میزان ورودی کربن و همچنین خصوصیات اقلیم و تجزیه‌ای، میزان تغییرات سالانه کربن آلی در خاک بوم-نظام‌های زراعی کشور کانادا ناچیز بود. آندرون و همکاران (Andren et al., 2008) نیز این موضوع را برای کشور سوئیس تأیید نمودند.

خشک فلات مرکزی در سال ۱۳۷۱ با ورودی کربنی معادل ۱۶۹۲ کیلوگرم در هکتار و کمترین ورودی کربن مربوط به اقلیم سرد کوهستانی در سال ۱۳۷۰ با ورودی کربنی به میزان ۸۶۹ کیلوگرم کربن بود. میانگین ورودی کربن در طول دوره ۲۰ ساله نیز نشان داد که اقلیم گرم و خشک دارای بیشترین ورودی کربن و اقلیم سرد کوهستانی از کمترین ورودی کربن در بین مناطق مختلف برخوردار بودند (جدول ۲). درصد تغییرات ورودی کربن نسبت به ابتدای دوره مورد بررسی نشان داد که میزان ورودی کربن به غیر از اقلیم معتدل و مرطوب سواحل خزری در سایر اقلیم‌ها روند افزایشی داشت، در صورتی که در اقلیم معتدل و مرطوب خزری در برخی از سال‌ها روند

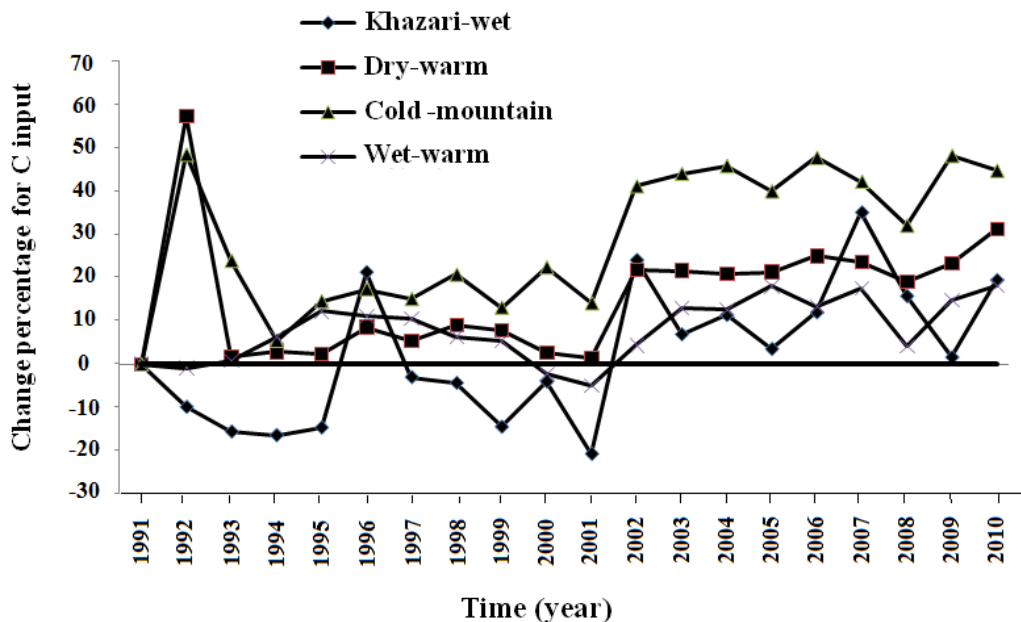


شکل ۲- میزان ورودی درازمدت کربن در مناطق مختلف کشور طی یک دوره ۲۰ ساله (۱۹۹۱-۲۰۱۰ میلادی)
 Fig. 2- Long term C input in different regions of Iran under 20 years period (1991-2010)

جدول ۲- ضرایب هموسی شدن (h)، منطقه‌ای (r_e) و میانگین درازمدت ورودی کربن برای اقلیم‌های مختلف کشور

Table 2- Humification (h) and climatic (r_e) coefficient and average of long term C input in different climates

اقلیم Climate	ضریب هموسی شدن h	ضریب اقلیمی r_e	میانگین ۲۰ ساله ورودی کربن (کیلوگرم در هکتار در سال) Average of 20 years C ($\text{kg.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$)	درصد تغییر در سال Change in year (%)
معتدل خزری Khazari-wet	0.290	1.07	1186.18	12.72
گرم و خشک Dry-warm	0.140	0.86	1241.79	15.35
سرد کوهستانی Cold-mountain	0.170	0.74	1123.40	29.13
گرم مرطوب Wet-warm	0.320	1.24	1155.97	8.82



شکل ۳- درصد تغییرات ورودی کربن در اقلیم‌های مختلف کشور طی یک دوره ۲۰ ساله (۱۹۹۱-۲۰۱۰ میلادی)
 Fig. 3- Change percentage of C input in different climates of Iran under 20 years period (1991-2010)

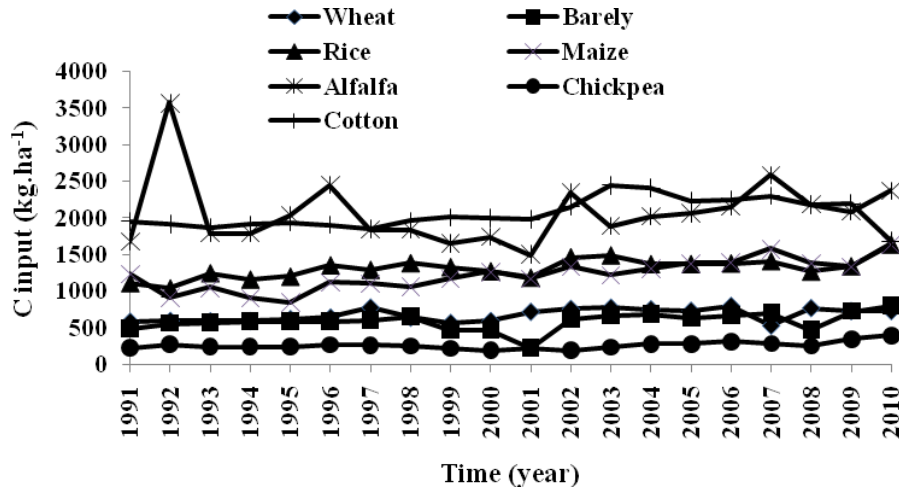
سال‌های مورد بررسی بالاترین میزان کربن ترسیب شده به خاک را هم برای کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری (Y) و هم برای کربن ذخیره شده از سال‌های قبل (O) دارا بودند و کمترین مقدار این پارامترها در گیاه نخود مشاهده شد (جدول ۳). دلیل این امر بیشتر بودن بخش زیرزمینی دو گیاه یونجه و پنبه می‌باشد. میزان ترسیب کربن برای هر یک از گیاهان زراعی در طی سال‌های مختلف روند متفاوتی را نشان داد، به طوری که بیشترین (۵۶۷ کیلوگرم کربن در هکتار) و کمترین (۴۳۴ کیلوگرم کربن در هکتار) میزان ترسیب کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری در گندم به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۷۲ مشاهده شد (جدول ۳). آندرن و همکاران (Andren et al., 2008) با بررسی میزان کربن حاصل از بقایای سال جاری (Y) و گذشته (O) برای دو گیاه جو و گندم در مناطق مختلف کشور سوئد گزارش نمودند که مقدار Y بین ۱/۲ تا ۳/۵ تن کربن در هکتار و میزان O نیز بین ۶۷ تا ۹۰ تن کربن در هکتار متفاوت بود که خیلی بالاتر از میزان آن در ایران می‌باشد. نتایج آزمایش مذکور حاکی از این بود که درصد کربن خاک در سوئد برای مناطق مختلف این کشور بین ۲-۵ درصد متفاوت بود، در حالی که این نسبت برای ایران به طور میانگین ۰/۵ درصد بود و از طرف دیگر، ایشان گزارش نمودند که در سوئد بیش از ۷۰ درصد بقایای محصول به خاک برگردانده می‌شود و

روند تغییرات ورودی کربن در بین محصولات مختلف نشان می‌دهد که بیشترین ورودی کربن توسط یونجه و پنبه وارد خاک می‌شود و کمترین ورودی کربن مربوط به گیاه نخود می‌باشد، به طوری که میانگین ۲۰ ساله ورودی کربن برای یونجه و پنبه به ترتیب برابر با ۲۰۸۵ و ۲۰۶۲ کیلوگرم در هکتار در سال و برای گیاه نخود معادل ۲۶۹ کیلوگرم در هکتار در سال می‌باشد (شکل ۴). میزان ورودی کربن توسط ذرت و برنج نیز در تمام سال‌ها بیشتر از گندم و جو بود که می‌توان دلیل احتمالی این موضوع را به زیست‌توده بالای ذرت و همچنین بیشتر بودن برگشت بقایا در برنج نسبت به گیاهانی چون گندم و جو مربوط دانست. همان‌طور که در شکل ۴ نیز مشاهده می‌شود، بیشترین نوسانات ورودی کربن در بین محصولات مختلف زراعی طی دوره ۲۰ ساله مربوط به گیاه یونجه و کمترین نوسانات مربوط به گیاه نخود بود (شکل ۴). بیشترین ورودی کربن در بین محصولات و سال‌های مختلف در گیاه یونجه و در سال ۱۳۷۱ با ورودی معادل ۳۵۸۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان در گیاه نخود در سال ۱۳۸۱ با ورودی برابر ۱۹۹ کیلوگرم کربن در هکتار بود (شکل ۴).

ترسیب کربن

از بین گیاهان مورد بررسی دو گیاه یونجه و پنبه در کلیه

این میزان در ایران کمتر از ۱۰ درصد بقایا می‌باشد. به نظر می‌رسد این دو عامل، دلیل اختلاف زیاد در میزان کربن حاصل از بقایای سال جاری (Y) و گذشته (O) برای ایران و سوئد باشد.



شکل ۴- میزان ورودی درازمدت کربن در محصولات مختلف کشور طی یک دوره ۲۰ ساله (۱۹۹۱-۲۰۱۰ میلادی)
 Fig. 4- Long term C input of different crops under 20 years period (1991-2010)

جدول ۳- میزان ترسیب کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری (Y) بر حسب کیلوگرم در هکتار و قبل (O) بر حسب تن در سال

Table 3- C sequestration related to current year (Y) (kg.ha⁻¹) and prior year (O) (t.year⁻¹)

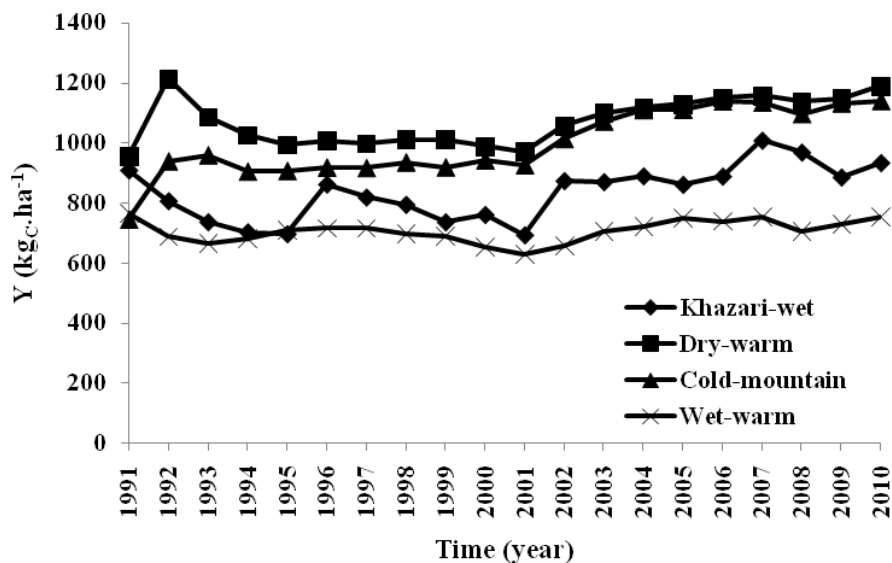
سال Year	گندم Wheat		جو Barely		ذرت Maize		برنج Rice		یونجه Alfalfa		نخود Chickpea		پنبه Cotton	
	O	Y	O	Y	O	Y	O	Y	O	Y	O	Y	O	Y
1991	22.0	449	22.0	377	24.2	941	24.1	845	26.7	1264	18.0	176	26.8	1490
1992	22.0	438	22.0	395	24.2	782	24.1	789	27.0	1993	18.0	188	26.8	1432
1993	22.0	434	22.0	410	24.2	767	24.1	847	26.7	1666	18.0	183	26.8	1393
1994	22.0	435	22.0	422	24.2	704	24.1	845	26.7	1503	18.0	182	26.8	1385
1995	22.0	445	22.0	430	24.1	650	24.1	861	26.8	1509	18.0	183	26.8	1388
1996	22.0	457	22.0	432	24.2	736	24.2	929	26.9	1656	18.0	192	26.8	1379
1997	22.1	514	22.0	439	24.2	768	24.2	938	26.7	1485	18.0	194	26.8	1357
1998	22.1	487	22.0	459	24.2	772	24.2	978	26.7	1409	18.0	192	26.8	1388
1999	22.0	448	22.0	403	24.2	818	24.2	978	26.7	1301	18.0	178	26.8	1421
2000	22.0	440	22.0	376	24.2	874	24.1	961	26.7	1285	18.0	162	26.8	1437
2001	22.1	485	21.9	206	24.2	866	24.1	917	26.7	1186	18.0	167	26.8	1443
2002	22.1	522	22.0	367	24.2	928	24.2	1003	26.9	1462	17.9	157	26.8	1519
2003	22.1	547	22.0	435	24.2	915	24.2	1054	26.7	1415	18.0	170	26.9	1664
2004	22.1	551	22.0	473	24.2	944	24.2	1032	26.8	1445	18.0	191	26.9	1717
2005	22.1	546	22.0	470	24.2	987	24.2	1021	26.8	1470	18.3	201	26.8	1676
2006	22.1	567	22.0	483	24.2	1015	24.2	1019	26.8	1517	18.0	218	26.8	1667
2007	22.0	476	22.1	503	24.3	1100	24.2	1030	26.9	1698	18.0	213	26.9	1682
2008	22.1	526	22.0	423	24.2	1067	24.1	979	26.8	1628	18.0	197	26.8	1641
2009	22.1	534	22.1	485	24.2	1032	24.2	983	26.8	1561	18.0	223	26.8	1629
2010	22.1	540	22.1	546	24.3	1138	24.2	1094	26.9	1645	18.0	254	26.7	1426
میانگین Mean	22.1	492.1	22.0	426.7	24.2	890.2	24.2	955.2	26.8	1504.9	18.0	191.1	26.8	1506.7

بررسی روند تغییرات میزان ترسیب کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری برای دو گیاه ذرت و پنبه نشان داد که با گذشت زمان

میزان ترسیب کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری برای دو گیاه ذرت و پنبه نشان داد که با گذشت زمان

قبل (O) در همه گیاهان مورد بررسی با گذشت زمان تغییر چندانی نیافت. این امر می‌تواند نشان‌دهنده این موضوع باشد از آن‌جا که در سیستم کشاورزی ایران، بخش غالب محصول تولیدی از زمین خارج شده و سهم ناچیزی از آن به خاک برگردانده می‌شود، در نتیجه میزان کربن ترسیب شده در خاک بوم‌نظام‌های زراعی تقریباً ثابت می‌باشد. نتایج ثابت می‌کند که گیاه یونجه یکی از مؤثرترین گیاهان در بهبود میزان ذخیره کربن خاک می‌باشد.

میزان ترسیب کربن این دو گیاه بهبود یافت، به طوری که به عنوان مثال در گیاه ذرت از سال ۱۳۸۰ به بعد میزان ترسیب کربن همواره بالاتر از ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد این بیشتر به دلیل استفاده از ارقام با تولید زیست‌توده بیشتر در سال‌های اخیر باشد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، میزان کربن ورودی نقش مثبتی در ترسیب کربن دارد و این موضوع را تصدیق می‌نماید. این روند برای گیاه نخود هم مشاهده شد (جدول ۳). نکته قابل توجه اینجاست که میزان کربن ذخیره شده حاصل از سال‌های



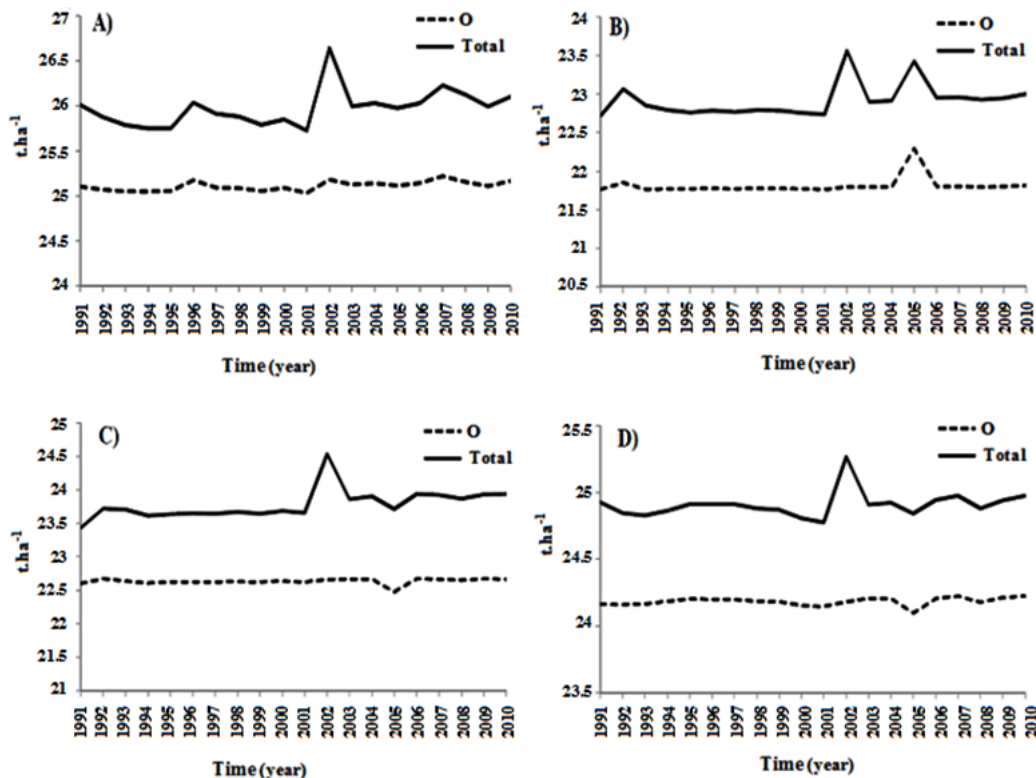
شکل ۵- میزان کربن ترسیب شده حاصل از بقایای سال جاری (Y) در مناطق مختلف کشور طی یک دوره ۲۰ ساله (۱۹۹۱-۲۰۱۰ میلادی)
Fig. 5- C sequestration related to young residuals in different regions under 20 years period (1991-2010)

کمترین ترسیب مربوط به اقلیم مرطوب و گرم با میانگینی معادل ۷۰۵/۴۳ کیلوگرم کربن در هکتار در سال بود (جدول ۴). میانگین درازمدت ترسیب کربن در اقلیم سرد کوهستانی بیشتر از اقلیم معتدل خزری بود، به طوری که به ترتیب دارای ترسیب کربنی معادل ۹۹۷/۷۷ و ۸۳۵/۴۲ کیلوگرم در هکتار در سال بودند (جدول ۴). اسمیت و همکاران (Smith et al., 2005) نیز میزان کربن ترسیب شده حاصل از بقایای گیاهی را در بوم‌نظام‌های زراعی اروپا را مورد بررسی قرار دادند و مقدار آن را برای مناطق مختلف بین ۴۷۰ تا ۳۱۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر گزارش نمودند. ایشان تغییر در میزان اولیه کربن خاک و نسبت بقایای برگشتی به خاک را مهمترین عوامل مؤثر در تعیین میزان ترسیب کربن خاک معرفی نمودند.

روند ترسیب کربن حاصل از بقایای سال جاری (Y) در مناطق مختلف کشور نشان می‌دهد که در تمام اقلیم‌های مورد بررسی روند تقریباً ثابتی در ترسیب کربن در طی دوره ۲۰ ساله وجود دارد، هر چند نوساناتی هم در طول سال‌ها در مناطق مختلف مشاهده می‌شود. بیشترین نوسانات ترسیب کربن حاصل از بقایای سال جاری در اقلیم معتدل و مرطوب سواحل خزر مشاهده شد (شکل ۵). با توجه به شکل ۵ می‌توان بیان کرد که ترسیب کربن در اقلیم سرد کوهستانی در مقایسه با سایر اقلیم‌ها که تقریباً ترسیب کربن ثابتی در درازمدت داشته‌اند، روند افزایشی در درازمدت داشته است. بیشترین ترسیب کربن حاصل از بقایای سال جاری در درازمدت در اقلیم گرم و خشک فلات مرکزی با میانگین ۱۰۷۲/۸۴ کیلوگرم کربن در هکتار در سال و

جدول ۴- میانگین درازمدت دما، بارندگی، کربن ترسیب شده حاصل از سال جاری (Y) و انتشار دی اکسید کربن در اقلیم‌های مختلف کشور
Table 4- Long terms average of temperature, precipitation, C sequestration related to young residuals and CO₂ emission in various climates

اقلیم Climate	میانگین ۲۰ ساله دما (سانتی‌گراد) 20 years average of temperature (°C)	میانگین ۲۰ ساله بارندگی (میلی‌متر) 20 years average of precipitation (mm)	میانگین ۲۰ ساله ترسیب کربن حاصل از Y (کیلوگرم در هکتار در سال) 20 years average of C sequestration (kg.ha ⁻¹ .year ⁻¹)	میانگین ۲۰ ساله انتشار دی اکسید کربن (کیلوگرم در هکتار در سال) 20 years average of CO ₂ emission (kg.ha ⁻¹ .year ⁻¹)
معتدل خزری Khazari-wet	17.11	935.91	835.42	350.76
گرم و خشک Dry-warm	16.98	277.95	1072.84	169.95
سرد کوهستانی Cold-mountain	13.67	483.8	997.77	125.62
گرم مرطوب Wet-warm	24.15	275.83	705.43	450.54



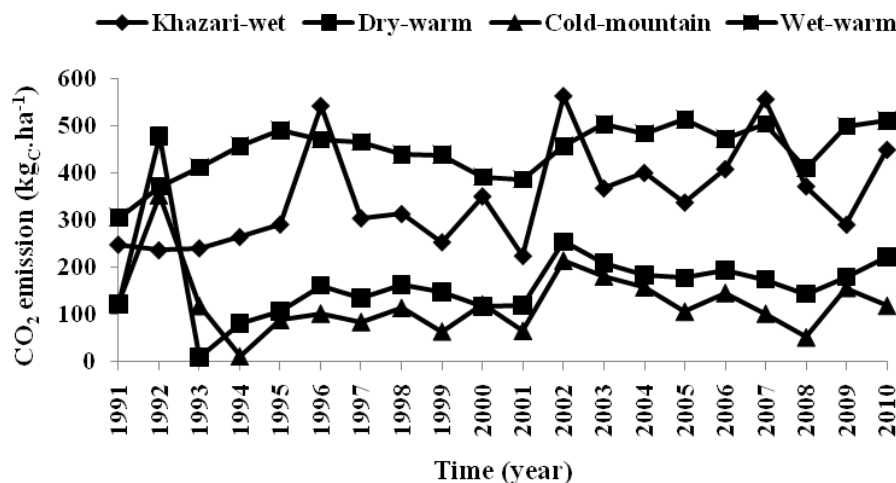
شکل ۶- روند ترسیب کربن حاصل از سال‌های قبل (O) و مجموع کربن ترسیب شده (Total) حاصل از سال‌های جاری و قبل (A, B, C, D به ترتیب نشان‌دهنده اقلیم‌های معتدل و مرطوب خزری، گرم و خشک فلات مرکزی، سرد کوهستانی و گرم و مرطوب)

Fig. 6- Trend of C sequestration of old and total residuals for current and prior years (A, B, C and D indicate the Khazari, Warm-dry, Cold and Warm-wet climates, respectively.)

تمام مناطق میزان انتشار دی اکسید کربن تقریباً ثابت بوده و بیشترین نوسانات در اقلیم معتدل و مرطوب خزری و کمترین نوسان را اقلیم

انتشار دی اکسید کربن
روند انتشار دی اکسید کربن در مناطق مختلف نشان می‌دهد که در

مرطوب و گرم دارا می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۷- میزان انتشار دی‌اکسیدکربن حاصل از برخی محصولات زراعی در مناطق مختلف کشور طی یک دوره ۲۰ ساله (۱۹۹۱-۲۰۱۰ میلادی)
 Fig. 7- CO₂ emission of different crops in various years in different region under 20 years period (1991-2010)

مقایسه با رطوبت بر انتشار دی‌اکسیدکربن داشته است. لوماندر و همکاران (Lomander et al., 1998)، تأثیر دما و رطوبت بالا و زیر خاک را بر انتشار CO₂ مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که با افزایش درجه حرارت میزان انتشار CO₂ افزایش نشان داد، در حالی که افزایش رطوبت تأثیر منفی بر انتشار CO₂ داشت. همچنین بیان نمودند که تأثیر دما بر انتشار CO₂ بیشتر از رطوبت بود. همچنین کاترر و همکاران (Katterer et al., 1998) نیز تأکید نمودند که به دلیل تأثیر درجه حرارت بر میزان تجزیه مواد آلی، این عامل اقلیمی نقش اساسی در ترسیب و انتشار کربن بر عهده دارد.

نتایج نشان داد که میانگین ۲۰ ساله انتشار کربن به جو در گیاه یونجه (۵۸۰ کیلوگرم کربن) بیشتر از دیگر محصولات مورد بررسی بود و گیاه نخود نیز کمترین (۷۸/۸ کیلوگرم کربن) میزان انتشار کربن به اتمسفر را شامل شد (جدول ۵). بعد از یونجه نیز گیاه پنبه نسبت به سایر محصولات مورد بررسی میزان انتشار کربن بیشتری را دارا بود. تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن در بین محصولات زراعی نوسانات زیادی نشان داد و محدوده آن از ۴۰ کیلوگرم در هکتار برای گیاه نخود در سال ۱۳۷۹ تا ۱۵۸۸ کیلوگرم در هکتار برای گیاه یونجه در سال ۱۳۷۱ متغیر بود (جدول ۵). لوکوپیتیا (Lokupitiya, 2006) نیز با بررسی مقدار انتشار کربن را برای گندم، جو و برنج در سال‌های مختلف در کشور آمریکا، گزارش کرد که مقدار انتشار کربن از بقایای

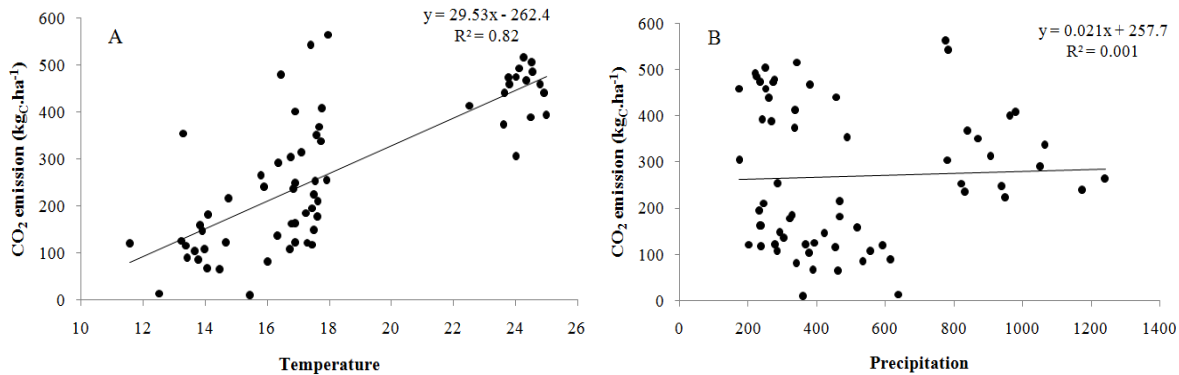
بیشترین انتشار دی‌اکسیدکربن در اقلیم مرطوب و گرم با میانگین ۲۰ ساله حدود ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار در سال و کمترین میزان مربوط به اقلیم سرد کوهستانی با ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار در سال است (جدول ۴). میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در اقلیم معتدل و مرطوب خزری نیز بیشتر از اقلیم گرم و خشک فلات مرکزی بود؛ به طوری که به ترتیب میانگینی حدود ۳۵۰ و ۱۶۹ کیلوگرم در هکتار در سال داشتند (جدول ۴). سوگیهارا و همکاران (Sugihara et al., 2012) نیز مقدار انتشار دی‌اکسیدکربن برای بوم‌نظام‌های زراعی مناطق مختلف کشور تانزانیا را بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم کربن در هکتار متغیر گزارش کردند.

با توجه به رابطه به دست آمده بین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن و درجه حرارت (ضریب تبیین = ۰/۸۲) که در شکل ۸ نشان داده شده است، می‌توان چنین بیان کرد که در مناطقی که درجه حرارت بالا باشد، میزان انتشار نیز افزایش می‌یابد که شیب این افزایش ۲۹/۵۳ کیلوگرم به ازای یک درجه افزایش دما می‌باشد. بنابراین، دلیل بیشتر بودن انتشار دی‌اکسیدکربن در اقلیم‌های گرم و مرطوب و همچنین معتدل و مرطوب خزری را می‌توان به بالاتر بودن درجه حرارت در این مناطق نسبت داد. رابطه معنی‌داری بین میزان انتشار دی-اکسیدکربن و بارندگی با توجه به شکل ۸ مشاهده نشد. بدین ترتیب چنین به نظر می‌رسد که درجه حرارت تأثیر بیشتر و معنی‌داری در

به طور کلی بررسی میانگین ورودی کربن از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ برای بوم‌نظام‌های زراعی ایران نشان داد که اقلیم گرم و خشک دارای بیشترین ورودی کربن و اقلیم سرد کوهستانی از کمترین ورودی کربن در بین مناطق مختلف برخوردار بودند. نتایج نشان داد که در درازمدت روند تغییرات ورودی کربن تقریباً ثابت بود، با این وجود، بیشترین نوسانات ورودی کربن در بین مناطق مختلف در اقلیم سرد کوهستانی و کمترین نوسانات مربوط به اقلیم مرطوب و گرم مشاهده گردید.

برگشتی به خاک از ۲۲۰ تا ۲۴۰ کیلوگرم کربن در هکتار متفاوت بود. بررسی میزان انتشار کربن در سال‌های مختلف نشان داد که رابطه مستقیمی (با ضریب تبیین ۰/۸۸) بین میزان کربن ورودی به خاک و میزان انتشار کربن به اتمسفر وجود داشت، به طوری که به ازای هر کیلوگرم کربن که به زمین وارد می‌شد، میزان حدود ۰/۴۶ کیلوگرم کربن به جو انتشار پیدا می‌کرد (شکل ۹).

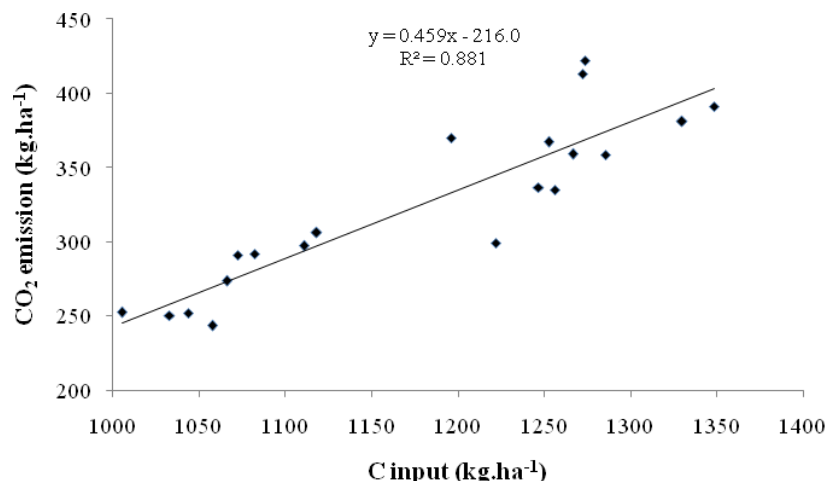
نتیجه‌گیری



شکل ۸- رابطه خطی بین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن با درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) (A) و بارندگی (میلی‌متر) (B)
 Fig. 8- Linear relationship between CO₂ emission with temperature (°C) (A) and precipitation (mm) (B)

جدول ۵- میزان انتشار دی‌اکسیدکربن حاصل از بقایای سال جاری (کیلوگرم در هکتار) برای محصولات مختلف زراعی در سال‌های مختلف
 Table 5- CO₂ emission (kg.ha⁻¹) of young residuals for different crops in different years

سال Year	گندم Wheat	جو Barely	برنج Rice	ذرت Maize	یونجه Alfalfa	نخود Chickpea	پنبه Cotton
1991	145.5	110.3	268.9	302.3	413.2	57.0	465.9
1992	167.7	167.0	253.7	135.3	1587.5	93.6	484.8
1993	165.9	168.0	402.7	287.5	129.1	70.4	480.1
1994	167.9	166.3	318.4	208.2	292.8	71.5	528.6
1995	184.5	162.3	341.8	197.2	528.8	69.6	554.4
1996	193.2	156.6	429.3	391.5	802.4	85.5	530.7
1997	272.0	168.5	358.5	339.2	359.3	79.2	502.3
1998	162.1	192.9	409.8	294.4	436.1	70.5	576.3
1999	130.3	75.4	355.2	353.5	358.0	49.3	592.7
2000	163.3	100.4	316.8	392.2	462.9	40.1	565.9
2001	242.8	18.7	272.0	305.1	316.1	69.0	542.7
2002	245.2	255.5	465.5	410.6	895.1	42.2	641.5
2003	236.5	237.5	441.0	307.3	481.7	75.7	790.2
2004	211.6	214.3	342.2	367.4	585.3	95.1	696.9
2005	197.0	163.8	354.9	394.5	597.4	85.3	563.3
2006	239.3	184.3	366.3	379.4	645.6	102.9	593.7
2007	64.8	200.8	386.2	483.9	892.4	77.6	630.0
2008	253.0	46.5	292.6	324.8	565.5	62.0	548.1
2009	203.9	242.0	362.5	306.3	529.7	128.6	570.0
2010	198.7	261.3	551.2	512.0	733.2	150.3	259.3
میانگین Mean	192.3	164.6	364.5	334.6	580.6	78.8	555.9



شکل ۹- رابطه بین میزان کربن ورودی به خاک و انتشار دی‌اکسیدکربن به جو
 Fig. 9- Linear relation between C input to soil and CO₂ emission to atmosphere

در سال و کمترین ترسیب مربوط به اقلیم مرطوب و گرم با میانگینی معادل ۷۰۵/۴۳ کیلوگرم کربن در هکتار در سال بود. بیشترین انتشار دی‌اکسیدکربن در اقلیم مرطوب و گرم و کمترین میزان مربوط به اقلیم سرد کوهستانی بود. همچنین نتایج نشان داد که رابطه معنی‌داری بین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن با بارندگی وجود نداشت ولی بین درجه حرارت و میزان کربن ورودی با انتشار دی‌اکسیدکربن رابطه معنی‌داری وجود داشت. نتایج نشان داد که گیاه یونجه یکی از مؤثرترین گیاهان در بهبود میزان ترسیب کربن خاک می‌باشد.

سپاسگزاری

هزینه این پژوهش از محل پژوهش شماره ۱۶۲۵۵/۲ مورخه ۱۳۸۹/۱۰/۱۲، معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است. از مساعدت‌های معاونت پژوهشی و فناوری دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در اجرای این طرح سپاسگزاری می‌گردد.

همچنین بیشترین ورودی کربن در بین محصولات و سال‌های مختلف در گیاه یونجه و در سال ۱۳۷۱ با ورودی معادل ۳۵۸۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان در گیاه نخود در سال ۱۳۸۱ با ورودی برابر ۱۹۹ کیلوگرم کربن در هکتار بود. روند تغییرات ورودی کربن در بین محصولات مختلف نشان می‌دهد که بیشترین ورودی کربن توسط یونجه و پنبه وارد خاک گردید و کمترین ورودی کربن مربوط به گیاه نخود بود، به طوری که میانگین ۲۰ ساله ورودی کربن برای یونجه و پنبه به ترتیب برابر با ۲۰۸۵ و ۲۰۶۲ کیلوگرم در هکتار در سال و برای گیاه نخود معادل ۲۶۹ کیلوگرم در هکتار در سال به دست آمد. از بین گیاهان مورد بررسی دو گیاه یونجه و پنبه در کلیه سال‌های مورد بررسی بالاترین میزان کربن ترسیب شده به خاک را هم برای کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری (Y) و هم برای کربن ذخیره شده از سال‌های قبل (O) دارا بودند و کمترین مقدار این پارامترها در گیاه نخود مشاهده شد. همچنین میزان O در همه گیاهان مورد بررسی با گذشت زمان تغییر چندانی نیافت. بیشترین ترسیب کربن حاصل از بقایای سال جاری در درازمدت در اقلیم گرم و خشک فلات مرکزی با میانگین ۱۰۷۲/۸۴ کیلوگرم کربن در هکتار

- 1- Abdi, N., Maddah Arefi, H., and Zahedi Amiri, G. 2009. Estimation of carbon sequestration in Astragalus rangelands of Markazi province (Case study: Malmir rangeland in Shazand region). *Iranian Journal of Range and Desert Reseach* 15: 269-282 (In Persian with English Summary)
- 2- Andrén, O., Kätterer, T., and Karlsson, T. 2004. ICBM regional model for estimations of dynamics of agricultural soil carbon pools. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70: 231-239, 200.
- 3- Andrén, O., and Kätterer, T. 2001. Basic principles for soil carbon sequestration and calculating dynamic country-level balances including future scenarios. In: Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.M., and Stewart, B.A. (Eds.). *Assessment Methods for Soil Carbon*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, p. 495-511.
- 4- Andren, O., Kätterer, T., Karlsson, T., and Eriksson, J. 2008. Soil C balances in Swedish agricultural soils 1990-2004, with preliminary projections. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 81: 129-144.
- 5- Andrén, O., and Kätterer, T. 1997. ICBM-the introductory carbon balance model for exploration of soil carbon balances. *Ecological Application* 7(4): 1226-1236.
- 6- 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: 29-42.
- 7- Derner, J.D., and Schuman, G.E. 2007. Carbon sequestration and rangelands: A synthesis of land management and precipitation effects. *Journal of Soil and Water Conservation* 62(2): 77-85.
- 8- Gehring, J., and Scholz, Y. 2009. The application of simulated NPP data in improving the assessment of the spatial distribution of biomass in Europe. *Biomass and Bioenergy* 33: 712-720.
- 9- Grace, P.R., Colunga-Garcia, M., Gage, S.H., Robertson, G.P., and Safir, G.R. 2006. The potential impact of agricultural management and climate change on soil organic carbon resources in terrestrial ecosystems of the North Central Region of the United States. *Ecosystems* 9: 816-827.
- 10- Karlen, D.L., Berry, E.C., and Colvin, T.S. 1991. Twelve-year tillage and crop rotation effects on yields and soil chemical properties in Northeast Iowa. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 22: 1985-2003.
- 11- Katterer, T., Reichstein, M., Andren, O., and Lomander, A. 1998. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models. *Biology and Fertility of Soils* 27: 258-262.
- 12- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mansoori, H., and Moradi, R. 2013. Long term estimation of carbon dynamic and sequestration for Iranian agro-ecosystem I- Net primary productivity and annual carbon input for common agricultural crops. *Agroecology* 6(4): 741-752. (In Persian with English Summary)
- 13- Kutsch, W.L., Aubinet, M., Buchmann, N., Smith, P., Osborne, B., Eugster, W., Wattenbach, M., Schrupf, M., Schulze, E.D., Tomelleri, E., Ceschia, E., Bernhofer, C., Béziat, P., Carrara, A., DiTommasi, P., Grünwald, T., Jones, M., Magliulo, V., Marloie, O., Moureaux, C., Olioso, A., Sanz, M.J., Saunders, M., Sogaard, H., and Ziegler, W. 2010. The net biome production of full crop rotations in Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139: 336-345.
- 14- Lomander, A., Kätterer, T., and Andrén, O. 1998. Modelling the effects of temperature and moisture on CO₂ evolution from top and subsoil using a multi-compartment approach. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 2023-2030
- 15- Miller, A.J., Amundson, R., Burke, I.C., and Yonker, C. 2004. The effect of climate and cultivation on soil organic C and N. *Biogeochemistry* 67: 57-72.
- 16- Osborne, B., Saunders, M., Walmsley, D., Jones, M., and Smith, P. 2010. Key questions and uncertainties associated with the assessment of the cropland greenhouse gas balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139: 293-301.
- 17- Post, W.M., and Kwon, K.C. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change, processes and potential. *Global Change Biology* 6(3): 317-327.
- 18- Salinas-Garcia, J.R., Hons, F.M., and Matocha, J.E. 1997. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Science Society of America Journal* 61: 152-159.
- 19- Smith, P., Smith, J.U., Andren, O., Karlsson, T., Perala, P., Regina, K., Rounsevell, M., and Wesemael, B. 2005. Carbon sequestration potential in European croplands has been overestimated. *Global Change Biology* 11: 2153-

2163.

- 20- Smith, P. 2004. Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. *European Journal of Agronomy* 20: 229-236.
- 21- Smith, P., Goulding, K.W., Smith, K.A., Powlson, D.S., Smith, J.U., Falloon, P.D., and Coleman, K. 2001. Enhancing the carbon sink in European agricultural soils: Including trace gas fluxes in estimates of carbon mitigation potential. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 60: 237-252.
- 22- Smith, P., Powlson, D.S., Smith, J.U., Falloon, P.D., and Coleman, K. 2000. Meeting Europe's climate change commitments: quantitative estimates of the potential for carbon mitigation by agriculture. *Global Change Biology* 6: 525-539.
- 23- Sugihara, S., Funakawa, S., Kilasara, M., and Kosaki, T. 2012. Effects of land management on CO₂ flux and soil C stock in two Tanzanian croplands with contrasting soil texture. *Soil Biology and Biochemistry* 46: 1-9.
- 24- Tracy, P.W., Westfall, D.G., Elliott, E.T., Peterson, G.A., and Cole, C.V. 1990. Carbon, nitrogen phosphorus, and sulfur mineralization in plow and no-till cultivation. *Soil Science Society of America Journal* 54: 457-461.
- 25- Wood, C.W., Edwards, J.H., and Cummins, C.G. 1991. Tillage and crop rotation effects on soil organic matter in a typic hapludult of Northern Alabama. *Journal of Sustainable Agriculture* 2: 31-41.
- 26- Yousefi, N., and Famili, D. 2008. *Weather and Climatology*. Danesh Behbad Publication, Iran 306 pp. (In Persian)

Long term estimation of carbon dynamic and sequestration for Iranian agro-ecosystem: II- Sequestration and emission of carbon for common agricultural crops using ICBM model

M. Nassiri Mahallati¹, A. Koocheki^{1*}, R. Moradi² and H. Mansoori³

Submitted: 29-09-2012

Accepted: 16-07-2013

Introduction

Carbon sequestration is one of the most important approaches to reduce CO₂ concentration in the atmosphere. Increase of CO₂ in the atmosphere has prompted renewed interest in increasing the stocks of carbon (C) in the world's croplands to mitigate climate change and also improve soil quality. To better characterize, predict and manage soil C dynamics, more precise and accurate estimates of C inputs to the soil is required. The C fixed in plants by photosynthesis and added to the soil as above- and below-ground litter, is the primary source of C in ecosystems (Warembourg & Paul, 1977). Predicting the changes in C stocks (notably in soils), therefore, depends on reliable estimates of net primary productivity (NPP) and the proportion of the NPP returned to the soil (Paustian et al., 1997). The annual NPP in agroecosystems, and the distribution of C in plant parts, is usually calculated from agricultural yield, the plant component most often measured.

For carbon sequestration estimation, it is necessary to evaluate the effects of management practices on soil organic carbon (SOC) dynamics in a wide range of production systems and climatic zones. Soil organic carbon is essential for maintaining fertility, water retention, and plant production in terrestrial ecosystems. The amount of SOC stored within an ecosystem, depends on the quantity and quality of organic matter returned to the soil matrix, the soils ability to retain organic carbon (a function of texture and cation exchange capacity), and biotic influences of both temperature and precipitation. The abiotic influences on SOC dynamics, such as moisture, temperature, aeration and the composition of plant residues are reasonably well understood.

The objective of this study was to evaluate the amount of carbon sequestration by agro-ecosystems and also the amount of CO₂ emitted from agro-ecosystems in Iran.

Material and methods

The amount of carbon input for seven main crops including cereal (wheat, barley, rice and maize), forage crops (alfalfa), industrial crops (cotton) and legume (chickpea) were calculated in different climate types of Iran and finally, the amount of carbon sequestration and CO₂ emission for different crops were estimated. Plant C allometric functions developed for the crops together with *The Introductory C Balance Model* (ICBM; Andrén and Kätterer, 1997) to describe SOC dynamics for the cropping systems were employed in this study. The model has two compartments, called Young and Old soil C, and five parameters: i , r_e , h , k_Y and k_O . Annual inputs of soil C to topsoil from crop and manure are summarized in i . The parameter r_e (decomposer activity factor, see above) is multiplied by k_Y and k_O , respectively, to determine the actual decomposition rates of the young and old pools for a given year. Parameter h , the humification coefficient, determines the fraction of the input that goes through Young and into Old (humus, or refractory component), and is about 0.1 for most agricultural crops and about 0.3 for manure. Then we adapted the ICBM soil climate and decomposer activity parameter (r_e) to account for the major effects of managing and climatically parameters. The r_e parameter usually is calculated from sub-parameters based on climate, soil type, crop type, intensity of cultivation and so on.

Results and discussion

The average of carbon input during 20 years showed that the warm-dry climate had the highest carbon input

1 and 3- Professor and PhD student of Crop Ecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.

2- The former PhD student of Crop Ecology, Ferdowsi University of Mashhad and Assistance Professor, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

(*- Corresponding author Email: akooch@um.ac.ir)

and cold climate had the lowest amount. The highest carbon input fluctuation was obtained in cold climate by 29.13% per year and the lowest fluctuation was related to warm-dry climate by 8.82% per year. Trend of carbon input changes among different crops illustrated that the highest carbon input was gained by alfalfa and cotton and the lowest was for chickpea. Alfalfa and cotton had the highest sequestered carbon to the soil in all years and the lowest was observed in chickpea. The highest and lowest carbon sequestration was related to warm-dry and warm-wet climate, respectively. The highest amount of CO₂ emission was observed in warm-wet climate (450 kg.ha⁻¹.year⁻¹) as average of 20 years and the lowest was gained in cold climate (125 kg.ha⁻¹.year⁻¹). The results showed that the average of CO₂ emission in 20 years was 580 kg carbon for alfalfa which had the highest amount and chickpea had the lowest CO₂ emission (78.8 kg.ha⁻¹). A significant relation was observed between CO₂ emission with carbon input to the soil and also with temperature.

Conclusion

In essence, it was shown that by increasing the temperature and decreasing the humidity of regions, the value of carbon input was reduced. Among the study crops, alfalfa and cotton had the highest sequestered carbon to the soil. The highest and the lowest amount of CO₂ emission was related to warm-wet and cold climate, respectively.

Keywords: Carbon dynamic, Climate change, Humification, NPP, Residuals

References

- Andrén, O., and Kätterer, T. 1997. ICBM-the Introductory Carbon Balance Model for exploration of soil carbon balances. *Ecological Applications* 7: 1226-1236.
- Paustian, K., Collins, H.P, and Paul, E.A. 1997. Management controls on soil carbon. In: Paul, E.A., et al. (Eds.), *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. Long-Term Experiments in North America*. CRC Press, Boca Raton p. 15-49.
- Warembourg, F.R., and Paul, E.A. 1977. Seasonal transfers of assimilated in grassland: plant production and turnover, translocation and respiration. In: Marshall, J.K. (Ed.), *The Below-ground Ecosystem: A Synthesis of 'Plant-Associated Processes'*, Range Sci. Dept., Sci. Series No. 26, Colorado State University, Fort Collins p. 133-149.