

Investigation of CO₂ emission of agroecosystems of Iran

1- wheat, Barley and Corn

Introduction

Carbon is the most abundant element in the biological structure of nature and it makes up the main structure of earth's material. Carbon absorbed in form CO₂ from atmosphere and it fixed by plants during photosynthesis. Plenty of greenhouse gases emission related to agriculture sector. Footprint is an indication of the magnitude of the pressure on the environment and resources included by human activities. This index is grouped for different resources including water, food, carbon and in general term ecological. Carbon footprint is a term associated with emission of greenhouse gases directly or indirectly in the life cycle of a product and is expressed in Co₂ equivalent or C equivalent. Given that no comprehensive research about calculate carbon footprint of field crops of Iran has been done as yet, this topics are absolutely necessary to do in Iran.

Material & Methods

The purpose of present research was to evaluate carbon footprint for cereals in Iran during five years (2006-2011). For this propose three important cereals of Iran (wheat, barley and corn) was selected. Carbon inputs data included chemical fertilizers (N, P and K), herbicides, insecticides, fungicides, diesel fuel and also human labor. Carbon outputs were calculated based on total biomass (economical yield and biological yield plus root).

Results & Dissuasion

Result indicated that chemical fertilizer contributed the most in global warming potential (GWP), (92.1%). Diesel fuel (6.6%), human labor (0.87%), biocides (0.35%) were next others. GWP for corn, wheat and barley were 9162.9, 6579.2 and 4339 KgCO₂-eq/ha respectively. The carbon footprint values for wheat, corn and barley were 0.47, 0.41 and 0.4 KgC input/KgC total biomass respectively. Carbon efficiency showed almost the same trend as carbon footprint and the respected values of this index for barley, corn and wheat were 2.46, 2.37, 2.14 and 2.9 KgC-total biomass/KgC-eq inputs. Carbon footprint trends during the reference period (2006-2011) were almost in a stable state and this fact was despite lower carbon inputs during the years. This could be related to variation of yields during these years. Similarly, previous research estimated that the C footprint of spring wheat was at 0.38 kg CO₂-eq/kg of grain (Gan et al. 2011). The value of carbon efficiency for corn production of USA that reported by Lal (2004e), was 5.3 KgC-total biomass/KgC-eq.

Conclusion

In general, global warming potential for corn was higher than wheat and barley and this was directly associated with higher chemical input mainly as chemical fertilizers for this crop. Wheat in cereal showed higher carbon footprint and barley had the lowest amount of carbon footprint. Carbon footprint trends during the reference period (2006-2011) were almost in a stable state. A full life cycle assessment approach may be required to estimate C footprint for

a whole chain production, but this approach may not be feasible at the present time because of the complexity and heterogeneity of the agricultural sector and the amount of data needed for analysis. As more tools are becoming available in the near future, the estimation of C footprint can be made for various choices of set boundaries or at a whole production system level.

Key words: Biocides, Carbon footprint, Chemical fertilizer, CO₂ equivalent, Greenhouse gases.

ارزیابی انتشار دی‌اکسیدکربن در بوم‌نظام‌های زراعی ایران

۱- گندم، جو و ذرت

چکیده

ردپای کربن شاخصی از انتشار گازهای گلخانه‌ای است که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در طی چرخه حیات یک فرآورده حاصل شده و بر حسب معادل دی‌اکسیدکربن یا کربن محاسبه می‌شود. هدف از این پژوهش ارزیابی انتشار دی‌اکسیدکربن از نظام‌های تولید غلات مهم ایران برای یک دوره پنج ساله (۹۰-۱۳۸۵) می‌باشد. برای این منظور سه غله مهم کشور شامل گندم، جو و ذرت در نظر گرفته شد. داده‌های مربوط به کربن ورودی شامل مقدار مصرف کودهای شیمیایی (نیترژن، فسفر و پتاسیم)، علف‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و قارچ‌کش‌های، سوخت فسیلی و همچنین نیروی کارگری مورد استفاده در تولید هر یک از غلات بود. داده‌های مربوط به کربن خروجی براساس زیست‌توده کل (شامل محصول اقتصادی و محصول بیولوژیک به اضافه جمله ریشه) محاسبه شد. نتایج نشان داد که از بین نهاده‌های ورودی، کودهای شیمیایی بیشترین سهم را در پتانسیل گرمایش جهانی غلات داشت (۹۲/۱ درصد) و پس از آن سوخت‌های فسیلی (۶/۶ درصد) در مرتبه دوم قرار گرفت، نیروی کارگری (۰/۸۷ درصد) و سموم (۰/۳۵ درصد) نیز در مراتب بعدی قرار گرفتند. پتانسیل گرمایش جهانی به تفکیک محصول برای ذرت، گندم و جو به ترتیب ۹۱۶۲/۸، ۶۵۷۹/۱ و ۴۳۳۹ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار بود. مقدار ردپای کربن غلات نیز برای گندم، ذرت و جو به ترتیب ۰/۴۷، ۰/۴۱ و ۰/۴ (کیلوگرم معادل کربن ورودی به ازای کیلوگرم کربن زیست‌توده کل) بود. کارایی کربن نیز که عکس شاخص ردپای کربن است در جو بیشترین و در ذرت کمترین مقدار بدست آمد. در ارتباط با روند تغییرات ردپای کربن در طی سال‌های مورد بررسی مشاهده شد که میانگین ردپای کربن محصولات مورد بررسی عملاً ثابت بوده و این ثبات با وجود کاهش نسبی معادل کربن ورودی در طی این سال‌ها به علت نوسانات عملکرد در طی این دوره بوده است.

واژه‌های کلیدی: آفت‌کش، ردپای کربن، کود شیمیایی، گازهای گلخانه‌ای معادل دی‌اکسید کربن.

مقدمه

کربن ساختار اصلی مواد آلی موجود در کره زمین را تشکیل می‌دهد و فراوان‌ترین عنصر موجود در پیکره زیستی طبیعت است (Sharma & Kumar, 2011) و یکی از عناصر ضروری برای فرآیند رشد و تولید گیاهان می‌باشد. این عنصر به صورت دی‌اکسیدکربن از اتمسفر جذب شده و در جریان فتوسنتز توسط گیاه تثبیت می‌شود. پنج مخزن عمده برای کربن در مقیاس جهانی وجود دارد که در این میان ذخیره اقیانوسی آن (۳۸ گیگاتن^۱) بزرگترین این مخازن بوده و پس از آن مخازن زمین‌شناسی^۲ (۵ گیگاتن)، خاکشناسی^۳ (۲/۵ گیگاتن)، اتمسفری (۰/۷۶ گیگاتن) و زیستی^۴ (۰/۵۶ گیگاتن) قرار می‌گیرند (Borzecka-Walker et al., 2011). در برآوردهای دیگر این مقادیر به اشکال مختلف بیان شده است، به عنوان مثال، لال (Lal, 2004)، ذخیره زنده کربن را ۵۶۰ پتاگرم^۵، ذخیره اتمسفری ۷۶۰ پتاگرم، ذخیره خاک ۲۵۰۰ پتاگرم و ذخیره زمین‌شناسی ۵۰۰۰ پتاگرم گزارش کرد. منابعی دیگر نیز ذخیره کربن اقیانوسی‌ها (بزرگ‌ترین انبار کربن) را ۳۹ گیگاتن، ذخیره کربن اتمسفر ۰/۷۶ گیگاتن و در خاک و پوشش گیاهی ۲/۵ گیگاتن بیان شده است (IPCC, 2006). کلیه فعالیت‌های انسان به نحوی در ارتباط با تغییر توازن کربن در سطح جهان می‌باشد. این توازن امروزه به شکل قابل ملاحظه‌ای تغییر پیدا کرده و پس‌خورهای موجود برای کنترل آن دچار مشکل شده است. به عبارت دیگر فعالیت‌های انسان به نحو بی‌رویه‌ای توازن کربن را مختل و باعث افزایش زیاد کربن در اتمسفر شده است. طی قرن گذشته به دلیل گسترش فعالیت‌های صنعتی، ترکیب شیمیایی اتمسفر تغییر کرده و این امر سبب افزایش بی‌رویه کربن در محیط طبیعی شده است که تبعات آن تغییرات چشمگیری را در اقلیم جهانی بوده است.

اکثر محققان دی‌اکسیدکربن را مؤثرترین گاز گلخانه‌ای نامیده‌اند (Dyer & Desjardins, 2006; Duxbury et al., 2005; Heinemann et al., 2005). نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است که غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر در سال ۱۷۵۰ میلادی در حدود ۲۷۰ قسمت در میلیون^۶ بوده و در سال ۲۰۰۰ میلادی به ۳۶۷ قسمت در میلیون افزایش یافته این میزان (IPCC, 2013; Korner, 2003). از سال ۱۹۵۷ میلادی به طور متوسط سالانه ۷/۱ میلیارد تن دی‌اکسیدکربن در اثر فعالیت‌های انسانی به اتمسفر اضافه شده که حدود ۳/۲ میلیارد تن آن در اتمسفر باقی می‌ماند (Schimel et al., 2000).

کشاورزی، بخش بزرگی از فعالیت‌های انسانی را به خود اختصاص داده است و بوم‌نظام‌های کشاورزی و فعالیت‌های آن، تولیدکننده و منتشرکننده مقادیر زیادی از انواع مختلفی از گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر می‌باشند (Betts et al., 2007; Salinger, 2005). در همین راستا اوسبورن و همکاران (Osborne et al., 2010)، بیان داشتند که حداقل ۲۵ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد و این میزان با افزایش سطح زیر کشت و فشردگی روش‌های مدیریتی در بوم‌نظام‌های زراعی جهان رو به افزایش است. از طرفی دیگر، چون گیاهان به عنوان جذب کننده دی‌اکسیدکربن اتمسفر مطرح می‌باشند، بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌توانند به عنوان کاهش‌دهنده غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر نیز مدنظر قرار گیرند به عبارتی دیگر، کشاورزی می‌تواند از یک طرف به عنوان یک منبع و از طرفی دیگر به عنوان یک مخزن در رابطه با دی‌اکسیدکربن عمل نماید. اما در این رابطه لازم است که به نوع مدیریت نظام زراعی توجه ویژه‌ای شود، زیرا فعالیت‌های

۱ - یک گیگا تن (Gt) برابر ۱۰^۹ تن است.

2- Geological
3- Pedological
4 - Biological

۵ - یک پتاگرم (Pg) برابر ۱۰^{۱۵} گرم است.

6- ppm

مختلف کشاورزی و نهاده‌های مورد استفاده برای مدیریت بوم‌نظام‌ها می‌توانند تولیدکننده دی‌اکسیدکربن و به تبع آن افزایش دهنده غلظت آن در اتمسفر باشند (Saunders, 1998).

نظام کشاورزی ایران طی چند دهه گذشته با سرعت زیاد فشرده‌سازی شده است. با وجودی که این الگوی تولید باعث بهبود قابل توجه عملکرد محصولات زراعی شده ولی افزایش سریع مصرف انواع نهاده‌ها و به خصوص کودهای شیمیایی را به همراه داشته است. به عنوان مثال، مصرف کودهای شیمیایی در کشور بیش از ۳/۳۴ میلیون تن (۵۶/۸ درصد تولید داخلی و بقیه از واردات) گزارش شده است که این مقدار برحسب مصرف سرانه در واحد سطح بسیار بالا می‌باشد (Ministry of agriculture, Jihad of Iran, 2013). روند افزایش مصرف کودهای نیتروژنه در کشور ما طی سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰ شمسی در حدود ۳۲۵ درصد بوده است. مصرف کودهای نیتروژنی در بوم‌نظام‌های گندم کشور از ۲۰ کیلوگرم در هکتار در دهه ۵۰ شمسی به ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار در دهه ۹۰ رسیده است (Koocheki et al., 2014). این موضوع که در اغلب کشورهای جهان نیز مشاهده می‌شود، پی‌آمدهای محیطی جدی به همراه داشته است که تخلیه شدید منابع غیر قابل تجدید، انتشار گازهای گلخانه‌ای، زوال تنوع زیستی و آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی توسط انواع کودها و سموم شیمیایی از مهمترین آنها است (Hass et al., 2001). میزان انتشار جهانی NO و N_2O از طریق فعالیت‌های مختلف کشاورزی به ترتیب ۴/۸ و ۱/۷ تراگرم^۱ در سال گزارش شده است (Yao et al., 2009). برآورد شده است که به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن مصرف شده در کشاورزی یک کیلوگرم نیتروژن به صورت N_2O متصاعد می‌شود و این مقدار برابر ۱/۲۷ کیلوگرم معادل کربن است (IPCC, 2013). کنفرانس بین‌المللی تغییر اقلیم در پاریس (United Nations Climate Change Conference, 2015)، آماری را منتشر کرده است که در آن کشورهایی که بالاترین میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در دنیا را دارند رتبه‌بندی شده‌اند. این کشورها (به ترتیب میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای چین، آمریکا، اتحادیه اروپا، هندوستان، روسیه، ژاپن، برزیل، اندونزی، مکزیک و ایران) به تنهایی ۷۲/۷۸ درصد گازهای گلخانه‌ای دنیا را تولید می‌کنند. بر این اساس چین با تولید ۱۰۹۷۵/۵ میلیون تن معادل دی‌اکسیدکربن در مقام اول قرار دارد و این مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای ۲۵/۳۶ درصد کل گازهای گلخانه‌ای دنیا را تشکیل می‌دهد. در این رتبه‌بندی، ایران در مقام دهم قرار دارد و در سال ۲۰۱۴، ۴۱۰ میلیون تن معادل دی‌اکسیدکربن گاز گلخانه‌ای تولید کرده است که ۵/۳ درصد از کل تولید گازهای گلخانه‌ای دنیا را به خود اختصاص می‌دهد. این درصد در سال ۱۹۹۰ برای ایران ۱/۱ درصد از کل تولید گازهای گلخانه‌ای دنیا بوده است که بدون تردید ردپای کربن قابل ملاحظه‌ای را بر جای گذاشته است (WRI^۲, 2014; EDGR, 2014).

به‌طور کلی ردپا شاخصی است که میزان فشار بر منابع تجدیدپذیر را مشخص می‌سازد. اصطلاح ردپای اکولوژیکی^۳ یکی از رایج‌ترین شاخص‌ها برای نشان دادن این میزان فشار وارده می‌باشد. ردپای کربن روشی برای تخمین کل انتشارات گازهای گلخانه‌ای بر حسب معادل کربن در تولید یک محصول در طی چرخه زندگی آن محصول (تولید، فرآوری، حمل و نقل و غیره)

۱ - بک تراگرم (Tg) برابر ۱۰۱۲ گرم است.

می‌باشد (Carbon Trust, 2007) که معمولاً بر حسب کیلوگرم معادل کربن در هکتار و یا به ازای هر واحد از آن قرآورده خاص بیان می‌شود (Gan et al., 2012).

با توجه به اینکه تاکنون تحقیق جامعی درباره محاسبه ردپای کربن و استفاده از آن برای ارزیابی‌های اکولوژیکی در ایران انجام نشده است و این وضعیت خود تأکیدی بر ضرورت اجرای این نوع پژوهش‌ها در کشور است. بر این اساس، هدف از انجام این مطالعه، ارزیابی میزان انتشار کربن در فرآیند تولید غلات مهم ایران بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به منظور ارزیابی ردپای کربن برای تعدادی از محصولات زراعی ایران انجام شد. برای این منظور سه غله مهم کشور شامل گندم، جو، برنج و ذرت در نظر گرفته شد و اطلاعات مورد نظر جمع‌آوری گردید. برای جمع‌آوری داده‌های لازم، از منابع مختلفی از جمله وزارت جهاد کشاورزی، مرکز آمار ایران، سازمان برنامه و بودجه، سازمان‌های جهاد کشاورزی، مراکز تحقیقاتی، مقالات و پایان‌نامه‌های موجود در محدوده پنج سال زراعی (۹۰-۱۳۸۵)، که از نظر همگنی داده‌ها متوازن‌ترین دوره تولید محصولات زراعی در طی ۳۰ سال گذشته منتهی به سال ۱۳۹۰ بوده است، استفاده شد. علاوه بر آن در مواردی که مغایرت آماری مشاهده می‌شد، با مشاوره خبرگان و کارشناسان، این مغایرت مرتفع و آمار واقعی انتخاب می‌شد. داده‌های مربوط به ورودی دی‌اکسیدکربن به نظام‌های زراعی ایران عبارت بود از: ۱- داده‌های مربوط به آماده‌سازی زمین و عملیات قبل از کاشت گیاه شامل: سطوح مربوط به شخم، دیسک، بذر کار و نیروی انسانی مورد استفاده. ۲- داده‌های مربوط به مرحله داشت گیاه شامل: نوع کود مورد استفاده و مقدار آن (شیمیایی (N,P,K) یا بیولوژیک)، نوع آفت‌کش، قارچ‌کش یا علف‌کش مورد استفاده و میزان مصرفی آن در هر هکتار برای هر محصول و ادوات و یا نیروی کارگری که برای این منظور استفاده می‌شوند محاسبه شد. ۳- داده‌های مربوط به عملیات برداشت گیاه شامل: ماشین‌آلات و نیروی کارگری مورد استفاده برای برداشت. لازم به توضیح است که این بررسی براساس الگوی دروازه به دروازه^۱ انجام شد.

به‌منظور محاسبه کل دی‌اکسیدکربن ورودی به نظام‌های زراعی مورد بررسی میزان انتشار دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروژن برای هر مرحله از فرآیند تولید هر محصول به صورت جداگانه محاسبه و پتانسیل گرمایش جهانی^۲ (GWP) تعیین گردید. برای محاسبه میزان انتشار معادل دی‌اکسیدکربن در اثر استفاده از سموم شیمیایی مقدار ماده مؤثره^۳ سموم مورد استفاده در نظر گرفته شد.

$$\text{GWP} = \text{CO}_2 \text{ flux} + (\text{N}_2\text{O flux} \times 310) + (\text{CH}_4 \text{ flux} \times 21) \quad \text{معادله (۱)}$$

در معادله (۱)، GWP، پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار)، $\text{CO}_2 \text{ flux}$ ، $\text{N}_2\text{O flux}$ و $\text{CH}_4 \text{ flux}$ به ترتیب انتشار دی‌اکسیدکربن، اکسید نیتروژن و متان حاصل از مراحل مختلف تولید گیاه زراعی مورد نظر می‌باشد.

1- Gate to Gate

2- Global Warming Potential

3- Active ingredient

ضرایب جهانی انتشار گازهای گلخانه‌ای برای نهاده‌های مورد استفاده در تولید گیاهان زراعی مورد بررسی در جدول (۱) آورده شده است.

هر نظام زراعی با تولید محصول بیولوژیک و اقتصادی مقداری از دی‌اکسیدکربن را از نظام زراعی خارج می‌کند که با استفاده از داده‌های عملکرد گیاهان زراعی این مقدار کربن خروجی تخمین زده شد. سپس با توجه به ضرایب مختلف جهانی موجود در منابع علمی (جدول ۱) برای محاسبه معادل دی‌اکسیدکربن، میزان انتشار آن طی فعالیت‌های مختلف چرخه زندگی هر گیاه به صورت مجزا محاسبه شد (Lal, 2004b).

چون کربن خروجی از هر نظام زراعی از طریق برداشت عملکرد اقتصادی، زیست‌توده اندام‌های هوایی و زیست‌توده ریشه است، محاسبه میزان زیست‌توده اندام‌های هوایی، نسبت عملکرد به زیست‌توده برای هر محصول زراعی براساس نسبت‌های موجود در منابع مختلف از جمله (Duke, 1993; Palz & Chartier, 1980)؛ برآورد گردید و بر این اساس میزان زیست‌توده اندام‌های هوایی باقی‌مانده برای هر محصول نیز تخمین زده شد (جدول ۲). زیست‌توده ریشه گیاهان زراعی مورد بررسی نیز با استفاده از نتایج بدست آمده از بررسی‌های مختلف از جمله (Bolinder et al., 2007; Pietola & Alakukku, 2005; Amos & Walters, 2006) که در آن‌ها نسبت بین ریشه به اندام هوایی برای محصولات مختلف تخمین زده شده است، محاسبه شد (جدول ۲).

پس از تخمین زیست‌توده اندام‌های هوایی و ریشه براساس معادله (۳-۲) کل زیست‌توده خروجی از نظام‌های زراعی محاسبه شد (جدول ۲).

$$B_{\text{Total}} = Y+S+R \quad \text{معادله (۲)}$$

براساس معادله (۲):

B_{Total} : کل زیست‌توده خروجی از نظام زراعی بر حسب کیلوگرم؛

Y : عملکرد گیاه زراعی (بر حسب کیلوگرم)؛

S : زیست‌توده اندام‌های هوایی (بر حسب کیلوگرم)؛

R : زیست‌توده ریشه (بر حسب کیلوگرم)؛

در نهایت با توجه به اینکه حدود ۴۰٪ از کل زیست‌توده گیاهی کربن است، میزان کربن خروجی با استفاده از نسبت‌ها و داده‌های موجود به تفکیک هر محصول تخمین زده شد (جدول ۲).

با توجه به معادلات (۳) و (۴) و با تخمین مقدار ورودی و خروجی کربن میزان معادل دی‌اکسیدکربن برای هر محصول، نسبت بین ورودی به خروجی کربن در نظام زراعی به‌عنوان ردپای کربن محصول و نسبت خروجی به ورودی کربن در نظام زراعی نیز به عنوان کارایی کربن برآورد گردید (Lal, 2007e).

$$CF(\text{Carbon Footprint}) = C_i/C_o \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن:

CF = ردپای کربن؛

C_i = کربن ورودی به نظام زراعی (کیلوگرم در هکتار)؛

C_o = کربن خروجی از نظام زراعی (کیلوگرم در هکتار)؛

$$CE \text{ (Carbon Efficiency)} = C_o/C_i$$

معادله (۴)

در این معادله:

CF = ردپای کربن؛

C_i = کربن ورودی به نظام زراعی (کیلوگرم در هکتار)؛

C_o = کربن خروجی از نظام زراعی (کیلوگرم در هکتار)؛

جدول ۱: ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای برای نهاده‌های ورودی در بوم‌نظام‌های غلات

Table 1: Coefficient factors of greenhouse gases for inputs of cereal agroecosystems

متان (گرم) CH ₄ (g)	اکسید نیتروژن (گرم) N ₂ O (g)	معادل کربن (کیلوگرم) Carbon equivalent (Kg)	واحد Unit	نهاده‌های ورودی به نظام زراعی Inputs
۵/۲	۰/۷	۰/۷۵	لیتر در هکتار L/ha	سوخت فسیلی (مورد استفاده برای ادوات خاکورزی و موتورهای آبیاری) Diesel fuel
-	-	۰/۳۱	نفر در هکتار Person/ha	نیروی کارگری Human labor
۳/۷	۱/۲۵	۱/۳	کیلوگرم در هکتار Kg/ha	نیتروژن (N)
۱/۸	۱/۲۵	۰/۵۷	کیلوگرم در هکتار Kg/ha	فسفر (P ₂ O ₅)
۱/۰۰	۱/۲۵	۰/۲	کیلوگرم در هکتار Kg/ha	پتاسیم (K ₂ O)
-	-	۶/۳	کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار Active ingredient/ha	علف کش Herbicide

-	-	۵/۱	کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار Active ingredient/ha	حشره کش Insecticide
-	-	۳/۹	کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار Active ingredient/ha	قارچ کش Fungicide

نسخه پیش انتشار

جدول ۲: روش اندازه‌گیری میزان زیست‌توده اندام‌های هوایی، زیست‌توده ریشه و کربن خروجی از بوم‌نظام‌های غلات برای تولید ۱۰۰ کیلوگرم عملکرد

Table 2: An illustration of methodology used to calculate Shoot, Root and C output from cereal agroecosystems for 100 Kg of yield (grain)

گیاه زراعی	نسبت زیست‌توده اندام هوایی به عملکرد	زیست‌توده اندام هوایی (کیلوگرم)	نسبت زیست‌توده اندام هوایی به زیست‌توده ریشه	زیست‌توده ریشه (کیلوگرم)	کل کربن خروجی از نظام زراعی (۴۰٪ از زیست‌توده گیاهی)
Crop	Straw:Grain	Straw biomass (Kg)	Shoot:Root	Root biomass (Kg)	Total C output in Kg (40% of Biomass)
گندم Wheat	۱/۲۳	$100 \times 1/23 = 123$	۷/۴	$(100 + 123) / 7/4 = 30/13$	۱۰۱/۲۵
جو Barley	۱/۴۵	$100 \times 1/45 = 145$	۷/۱	$(100 + 145) / 7/1 = 34/5$	۱۱۱/۸
ذرت Corn	۱/۱۰	$100 \times 1/10 = 110$	۶/۲۵	$(100 + 110) / 6/25 = 33/6$	۹۷/۴۴

نتایج و بحث:

با توجه به جدول ۳ ملاحظه می‌شود که پتانسیل گرمایش جهانی ذرت، گندم و جو در ایران در حالت رایج به ترتیب ۹۱۶۲/۸۶، ۶۵۷۹/۱۹ و ۴۳۳۹/۰۴ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار می‌باشد. از طرف دیگر پتانسیل گرمایش جهانی برای تولید اجزای مختلف گیاه به نحوی است که در تولید دانه ذرت (۳۷۷۰/۷۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار) از سایر غلات بیشتر و پس از آن گندم (۲۶۰۰/۴۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار) در مرتبه بعدی و پس از آن جو با ۲۵۶۹/۶۳ و ۱۵۵۵/۲۱ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار قرار می‌گیرد. پتانسیل گرمایش جهانی برای زیست‌توده اندام‌های هوایی ذرت، گندم و جو به ترتیب ۴۱۴۷/۷۹، ۳۱۹۸/۵۷ و ۲۲۵۵/۰۵ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار بود و در مورد زیست‌توده ریشه نیز ذرت با (۱۲۴۴/۳) کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار) بیشترین میزان پتانسیل گرمایش جهانی را به خود اختصاص داد و پس از آن گندم و جو به ترتیب با ۷۸۰/۱۴ و ۵۲۸/۷۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار در مراتب بعدی قرار گرفتند (جدول ۳). بدین ترتیب به نظر می‌رسد، پتانسیل گرمایش جهانی این سه محصول براساس میزان تولید زیست‌توده کل آنها (محصول، اندام‌های هوایی و ریشه) و نیز نسبت بین اندام‌های مختلف (جدول ۲) تبعیت می‌کند.

از طرفی دیگر، پتانسیل گرمایش جهانی این سه غله بر حسب تولید کیلوگرم ماده خشک هر کدام از اندام‌های گیاهی نیز در جدول (۳) آورده شده است. بر اساس این جدول پتانسیل گرمایش جهانی برای تولید یک کیلوگرم دانه در گندم (۰/۲۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن)، در ذرت (۰/۲۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن) و در جو (۰/۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن) می‌باشد. به همین ترتیب در مورد تولید یک کیلوگرم زیست‌توده اندام‌های هوایی و ریشه و زیست‌توده کل (دانه + اندام‌های هوایی + ریشه)، پتانسیل گرمایش جهانی غلات مورد بررسی در جدول (۴) بیان شده است. بنابراین، مشاهده می‌شود با وجود اینکه پتانسیل گرمایش جهانی کل در ذرت بیشتر از سایر غلات می‌باشد ولی به نظر می‌رسد با توجه به عملکرد این گیاهان در هکتار و نسبت بین اجزای مختلف آنها میزان پتانسیل گرمایش جهانی برای تولید یک کیلوگرم دانه گندم بیشتر از سایر غلات مورد بررسی می‌باشد.

سامی و همکاران (Sami et al., 2014)، در ارزیابی انتشار دی‌اکسیدکربن از نظام‌های تولیدی ذرت و گندم استان خوزستان مقدار انتشار این گاز را برای ذرت (۲۰۱۹۱/۴۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار) و برای گندم (۷۵۴۱/۰۴ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار) برآورد کردند.

در آزمایش مشابهی که در بر روی گیاه جو گیلان انجام شد، مرادی توچایی (Moraditochae, 2015) مقدار پتانسیل گرمایش جهانی را در تولید جو این استان ۴۹۵/۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن برآورد کرد که رقم پایینی بوده است و به نحوی مورد سؤال می‌باشد.

در آزمایشی قاسمی مبتکر (Ghasemi Mobtaker, 2013)، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را در نظام تولید جو در استان همدان را ۸۸۵/۵۶ کیلوگرم در هکتار معادل دی‌اکسیدکربن برآورد کردند.

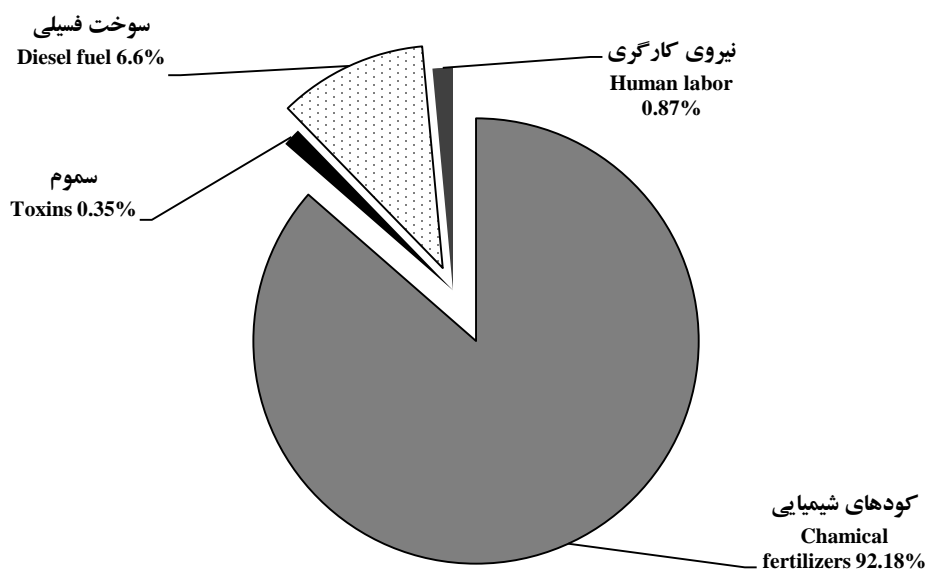
سهم نهاده‌های مصرفی در پتانسیل گرمایش جهانی غلات در شکل (۱) و برای هر یک از غلات مورد بررسی به صورت مجزا در شکل ۲ (الف، ب و ج) نشان داده شده است. به طور کلی کودهای شیمیایی حدود ۹۲/۱۸ درصد پتانسیل گرمایش جهانی را در تولید غلات ایران به عهده داشته است و پس از آن به ترتیب سوخت‌های فسیلی (۶/۶ درصد)، نیروی کارگری (۰/۸۷ درصد) و سموم شیمیایی (۰/۳۵ درصد) قرار دارند. در این رابطه در ذرت که در حدود ۹۵/۲۱ درصد پتانسیل گرمایش جهانی مربوط به کودهای شیمیایی است در رده اول است و پس از آن به ترتیب گندم و جو به ترتیب با حدود ۹۲/۰۱ و ۸۹/۷۵ درصد قرار دارند. بالاتر بودن سهم ذرت و گندم در مقایسه با جو طبیعی به نظر می‌رسد زیرا میانگین مصرف کود در ذرت و پس از آن گندم بالاتر از جو می‌باشد. مصرف کود شیمیایی در کشاورزی ایران سابقه ای بیش از پنجاه ساله دارد. کودهای نیتروژن بیش از ۶۱ درصد مصرف کود شیمیایی در ایران را به خود اختصاص داده و در بین آنها اوره با دارا بودن سهم ۹/۹ درصدی رتبه اول را در مصرف کودهای شیمیایی دارد (Koocheki et al., 2014). علیرغم مصرف بی رویه کود اوره در ایران متوسط عملکرد غلات در کشور بسیار پایین تر از سایر کشورها و میانگین جهانی بوده و رابطه مثبت و معنی داری بین میزان مصرف کود اوره در هکتار و عملکرد کل غلات بعنوان شاخص محصولات کشاورزی در ایران وجود ندارد. عدم مصرف بهینه این کود مشکلات جدی را برای محیط زیست و سلامتی بشر بوجود آورده است زیرا مصرف بیرویه کود اوره که حاوی مقادیر زیادی نیتروژن می‌باشد علاوه بر اختلال در چرخه طبیعی نیتروژن مشکلات زیست محیطی جدی را به همراه خواهد داشت. کارآیی مصرف نیتروژن جهان در سال ۲۰۱۱ در بخش غلات معادل ۳۳ درصد و در ایران حدود ۲۸ درصد گزارش شده است (Koocheki et al., 2014). بدین ترتیب هدرروی کودهای شیمیایی به ویژه نیتروژن از طرق مختلف به ویژه آبشویی و تبخیر زیاد است. در آزمایش فعلی نیز میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از طرق در ذرت، گندم و جو به ترتیب ۴۹۳۶۷، ۳۲۹۵/۹۹ و ۲۲۷۸/۸۵ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار بود. در مورد تبخیر کودهای نیتروژنه نیز این مقادیر در ذرت، گندم و جو به ترتیب ۱۵۷/۷۳، ۱۰۵/۴۷ و ۷۲/۷۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار بود.

پس از کود نیتروژن، سهم سوخت‌های فسیلی (سوخت فسیلی مورد استفاده برای ادوات کاشت، داشت و برداشت و موتورهای آبیاری) در نظام‌های تولید غلات ایران از نظر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در مقام دوم قرار دارد. در ارتباط با درصد و سهم سوخت‌های فسیلی در پتانسیل گرمای جهانی هر یک از غلات مورد بررسی باید گفت که با وجودی که مقدار مصرف سوخت‌های فسیلی در ذرت، گندم و جو به ترتیب ۱۴۲/۹۶، ۱۳۵/۴ و ۱۲۹/۵۵ لیتر در هکتار می‌باشد ولی از نظر اختلاف درصد سهم به علت اختلاف در درصد سهم کودهای شیمیایی به نحوی است که سهم سوخت‌های فسیلی در پتانسیل گرمایش جهانی جو، گندم و ذرت به ترتیب با ۹/۴۷، ۶/۷۹ و ۳/۶۳ درصد می‌باشد (شکل ۲ الف، ب و ج).

بسیاری از محققان پیشنهاد دادند که جایگزینی روش‌های خاک‌ورزی رایج با انواع روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی که از ماشین‌آلات کمتری طی آن استفاده می‌شود، می‌تواند علاوه بر افزایش ماده آلی خاک و بهبود تثبیت کربن در خاک، سبب کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی گردد (Lal, 1997; Paustian et al., 1998; Lal & Kimble, 1997). زمانی که نظام‌های مدیریت

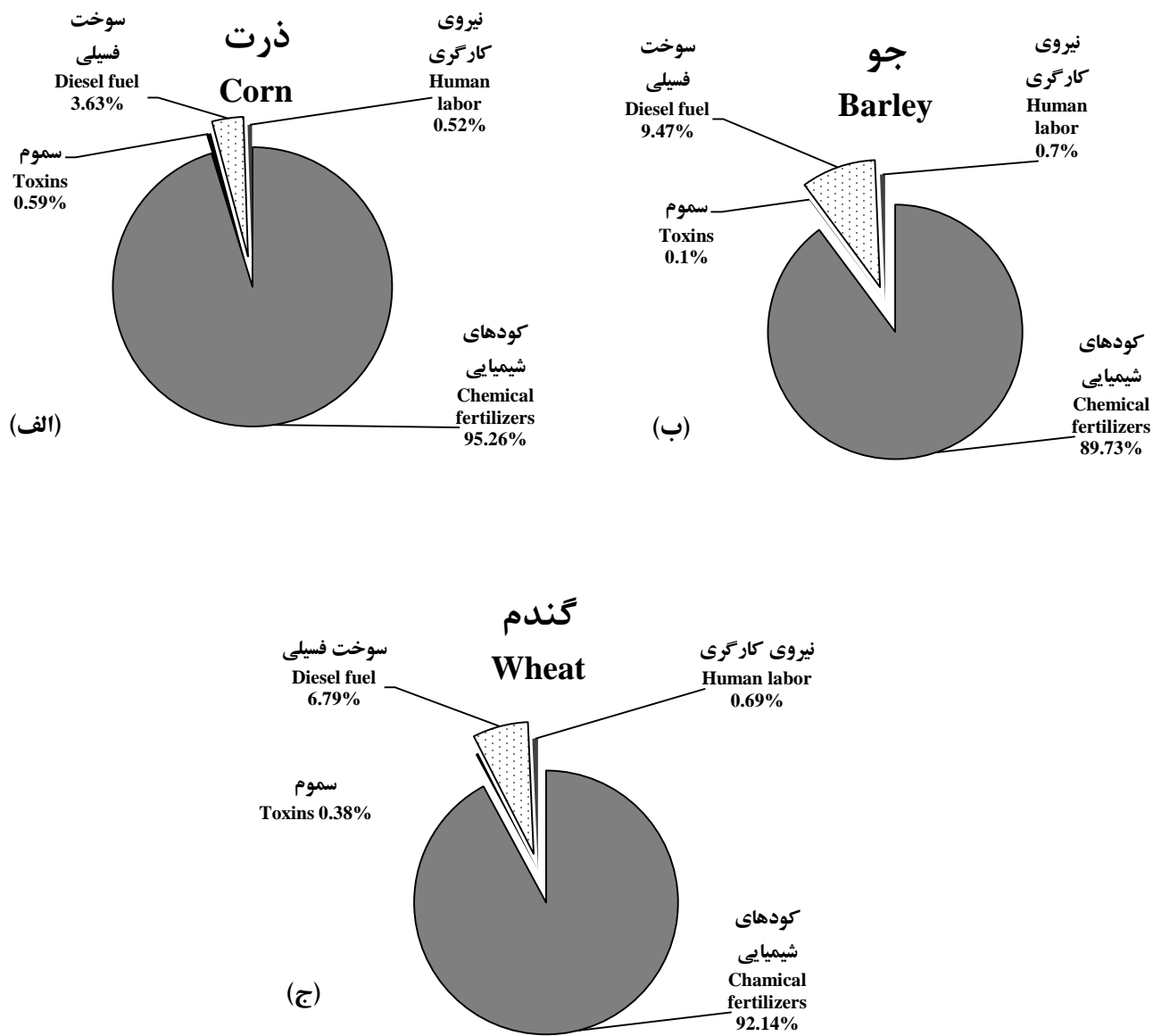
حفاظتی به کار گرفته می‌شوند، با مصرف سوخت فسیلی کمتر، میزان کربن در خاک افزایش خواهد یافت که به نوبه خود سبب کاهش استفاده از کودهای شیمیایی نیز می‌شود (Robertson et al., 2000).

در بررسی انجام شده بر روی برخی از نظام‌های تولید گندم ایران، میزان انتشار کربن ۴۱۰ کیلوگرم تا ۱۱۳۰ کیلوگرم کربن بود که این تفاوت به سطح کود نیتروژن مورد استفاده، اقلیم منطقه و نوع نظام کاشت بستگی داشت (Khakbazan et al., 2009). محققان در بررسی دیگری میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را در کشت سیب‌زمینی محاسبه کردند و کل کربن انتشار یافته از کشت این محصول در استان اصفهان را ۹۹۲/۸۸ کیلوگرم در هکتار کربن بود، که ۳۷ درصد از این مقدار کربن مربوط به استفاده از کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژن بود (Pishgar-Komleh et al., 2012).



شکل ۱: درصد انتشار معادل دی‌اکسیدکربن از نهاده‌های مختلف در نظام‌های تولید غلات ایران.

Fig. 1: Percent of CO₂ equivalent emission from inputs of cereal production systems of Iran.



شکل ۲: درصد انتشار معادل دی‌اکسید کربن از نهاده‌های مختلف در نظام‌های تولید غلات ایران (به تفکیک محصول).

Fig. 1: Percent of CO₂ equivalent emission from inputs of cereal production systems of Iran (per crops).

جدول ۳: پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل دی اکسید کربن در هکتار) غلات

Table 3: GWP (Kg CO₂-eq/ha) of cereal production

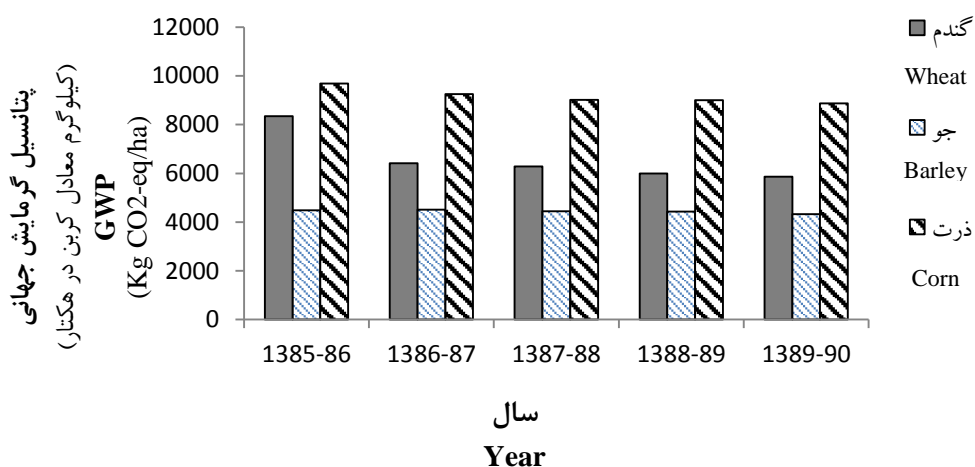
زیست توده گیاه زراعی				گیاه زراعی
Crop biomass				Crop
کل	ریشه	اندام هوایی	محصول	
Total	Root	Shoot	Yield	
6579.18	780.14	3198.57	2600.47	گندم wheat
4339.04	528.77	2255.05	1555.21	جو Barley
9162.86	1244.3	4147.79	3770.72	ذرت Corn
6693.69	851.07	3200.47	2642.13	میانگین غلات Average of cereals

جدول ۴: پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل دی اکسید کربن به ازای تولید یک کیلوگرم عملکرد، اندام هوایی یا ریشه) غلات

Table 4: GWP (Kg CO₂-eq per Kg yield, Kg shoot and Kg root) of cereal production

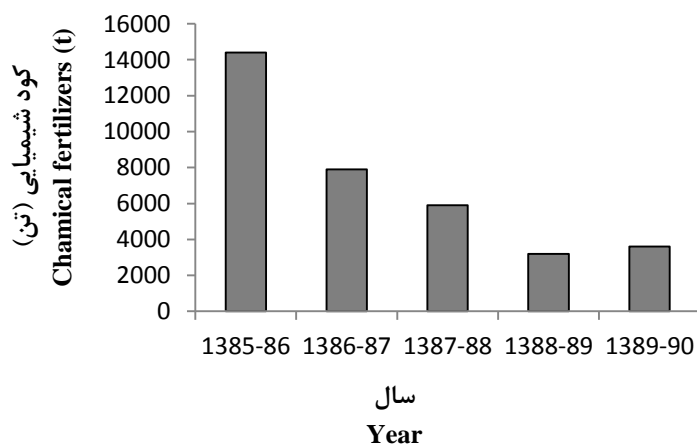
زیست توده گیاه زراعی				گیاه زراعی
Crop biomass				
کل	ریشه	اندام هوایی	عملکرد	
Total	Root	Shoot	Yield	
0.69	0.09	0.33	0.27	گندم wheat
0.57	0.07	0.3	0.2	جو Barley
0.54	0.08	0.24	0.22	ذرت Corn
0.6	0.08	0.29	0.23	میانگین غلات Average of cereals

در شکل (۳) روند پتانسیل گرمایش جهانی غلات مورد بررسی در طی دوره مرجع نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود این روند کاهشی است به نحوی که از سال زراعی ۱۳۸۵-۵۶ تا سال ۱۳۸۹-۹۰ مقدار میانگین پتانسیل گرمایش جهانی برای کل محصولات مورد بررسی از ۷۴۰۶ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار به ۶۳۳۴ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار رسیده است. به نظر می‌رسد چنین روندی به دلیل حذف یارانه نهاده‌های مصرفی در بخش کشاورزی از سال ۱۳۸۵ به بعد بوده است و گران شدن نهاده‌ها در سال‌های بعد باعث تداوم این کاهش شده است. این روند برای تمامی محصولات مورد بررسی تقریباً یکسان بوده است (Ministry of agriculture jihad of Iran, 2011) (شکل ۴).



شکل ۳: پتانسیل گرمایش جهانی غلات در طی سال‌های مورد بررسی

Fig. 3: GWP of cereals during reference years



شکل ۴: میزان مصرف کودهای شیمیایی برای کل محصولات زراعی ایران (سال‌های ۹۰-۱۳۸۵)

Fig 4: Amount of Chemical fertilizers used for all crops of Iran (2006-2011)

در جدول (۵)، ملاحظه می‌شود که در بین غلات گندم دارای بیشترین ردپای کربن است و دو محصول دیگر کم و بیش مشابه اند. انتظار می‌رفت که ردپای کربن ذرت به دلیل پتانسیل گرمایش جهانی بالاتر بیشتر از سایر غلات مورد بررسی باشد ولی در اینجا کمتر بودن ردپا ناشی از بالاتر بودن زیست توده کل ذرت است و در نتیجه مقدار کربن بالاتر زیست توده کل این گیاه نسبت به سایر غلات سبب حصول ردپای کربن کمتری گردید. در بین اندام‌های مختلف گیاهی نیز بیشترین ردپای کربن غلات مربوط به اندام‌های هوایی بود که البته تفاوت آن با محصول چندان زیاد نیست.

از نظر کارآیی کربن نیز نتایج نشان داد که به ازای هر کیلوگرم کربن ورودی به صورت نهاده به نظام زراعی ایران، گندم قادر به ذخیره ۲/۱۴ کیلوگرم کربن در زیست توده گیاهی بود. این در حالی است که این مقدار در مورد جو ۲/۴۶ کیلوگرم، در ذرت ۲/۳۷ کیلوگرم کربن زیست توده گیاهی به ازای کیلوگرم دی‌اکسید کربن ورودی بود (جدول ۶).

نقش اندام‌های مختلف گیاهی در کارآیی کربن در غلات مورد بررسی نیز در جدول (۶) آورده شده است. برای میانگین غلات سهم عملکرد ۰/۹۴ کیلوگرم کربن زیست توده گیاهی به ازای کیلوگرم دی‌اکسید کربن ورودی بود. این رقم در مورد سهم اندام‌های هوایی و ریشه برای میانگین غلات به ترتیب ۱/۱۳ و ۰/۳۲ کیلوگرم کربن زیست توده گیاهی به ازای کیلوگرم دی‌اکسید کربن ورودی بدست آمد (جدول ۶).

لال (Lal, 2004e)، مقدار کارآیی کربن برای نظام‌های تولید ذرت در ایالات متحده آمریکا را حدود ۵/۳ کیلوگرم کربن زیست توده به ازای کیلوگرم کربن ورودی گزارش کرد.

در مطالعه دیگری یوسفی و همکاران (Yousefi et al., 2014)، میزان خروجی و ورودی کربن به بوم‌نظام‌های تولید چغندر قند استان کرمانشاه را به ترتیب ۲۹۳۴۰ و ۲۶۷۸/۶ کیلوگرم کربن در هکتار گزارش کردند که بر این اساس نسبت کارآیی کربن را حدود ۱۰/۹۵ برآورد کردند و نتیجه گرفتند که این گیاه می‌تواند برای ترسیب کربن در بوم‌نظام‌های زراعی مؤثر باشد.

جدول ۵: رد پای کربن (کیلوگرم کربن ورودی به ازای کیلوگرم کربن زیست توده کل) غلات

Table 5: Carbon footprint (KgC-eq input/KgC total biomass of cereal production)

زیست توده گیاه زراعی				گیاه زراعی
Crop biomass				
کل	ریشه	اندام هوایی	عملکرد	
Total	Root	Shoot	Yield	
0.47	0.06	0.23	0.18	گندم
				wheat
0.4	0.06	0.2	0.14	جو
				Barley
0.41	0.05	0.19	0.17	ذرت
				Corn
0.41	0.05	0.2	0.16	میانگین غلات
				Average of cereals

جدول ۶: کارایی کربن (کیلوگرم کربن زیست توده کل به ازای کیلوگرم کربن ورودی) غلات

Table 6: Carbon efficiency (KgC total biomass/KgC-eq input) of cereal production

زیست توده گیاه زراعی				گیاه زراعی
Crop biomass				
کل	ریشه	اندام هوایی	عملکرد	
Total	Root	Shoot	Yield	
2.14	0.26	1.04	0.84	گندم
				wheat
2.46	0.31	1.27	0.88	جو
				Barley
2.37	0.33	1.07	0.97	ذرت
				Corn
2.32	0,3	1.12	0.89	میانگین غلات
				Average of cereals

با توجه به ردپای کربن محصولات مختلف، با مطالعه مزارع مختلف می‌توان دریافت که برای کاهش فشار به محیط زیست، کاهش ردپای کربن و افزایش کارایی کربن در سیستم زراعی سه راهکار عمده وجود دارد. اولین راهکار استفاده کارآتر از آب در مزارع و به دنبال آن کاهش آب مورد استفاده در کشاورزی است (Keshavarz & Heidari, 2004). راهکار دوم کاهش ساعت کار ماشین‌آلاتی است که با سوخت‌های فسیلی کار می‌کنند و مورد سوّم نیز کاهش مصرف نیتروژن در مزارع است که برای این منظور از روش‌های افزایش کارایی کودهای شیمیایی مانند بهبود روش‌های آبیاری، استفاده در زمان و مکان مناسب و غیره باید استفاده نمود (Carreres et al., 2003).

نتیجه‌گیری

در هر سه گیاه گندم، جو و ذرت از بین عوامل انتشار دی‌اکسیدکربن، کود نیتروژن مصرفی بیشترین درصد انتشار کربن را به خود اختصاص داد و پس از آن مصرف سوخت‌های فسیلی نسبت به سایر نهاده‌های ورودی میزان دی‌اکسیدکربن بیشتری را به اتمسفر انتشار داد. همچنین نتایج نشان داد که در تولید گندم به‌ازای هر کیلوگرم زیست‌توده تولید شده گیاهی ۴۷۰ گرم کربن به اتمسفر انتشار می‌یابد. این میزان در مورد جو و ذرت به ترتیب ۴۰۰ و ۴۱۰ گرم کربن بود. این بدین معنی است که میزان ذخیره کربن در ذرت بیشتر از جو و گندم بود. پایین‌تر بودن ردپای کربن در تولید یک محصول زراعی نشان دهنده فشار تحمیلی کمتر بر محیط‌زیست از طریق آن نظام تولیدی است. از نظر کارایی کربن نیز نتایج نشان داد که به‌ازای هر کیلوگرم ورودی کربن به‌صورت نهاده نظام تولید گندم قادر به تثبیت ۲/۱۴ کیلوگرم کربن در زیست‌توده گیاهی بود. این در حالی است که این مقدار در مورد جو ۲/۴۶ کیلوگرم و در ذرت ۲/۳۷ کیلوگرم بود. در بین نهاده‌های مورد استفاده، بالاتر بودن مقدار انتشار دی‌اکسیدکربن در اثر آبخوبی مقدار نیتروژن مصرفی برای تولید محصولات زراعی نشان دهنده کارایی پایین نظام‌های آبیاری در ایران است که این کارایی پایین سبب افزایش آبخوبی و افزایش تلفات کودهای شیمیایی مصرفی خواهد شد. این موضوع از یک سو موجب افزایش آلودگی بوم‌نظام‌های کشاورزی و از سوی دیگر پیامدهای تغییرات اقلیمی را در پی خواهد داشت.

منابع

1. Amos, B., and Walters, D.T. 2006. Maize root biomass and net rhizodeposited carbon: An analysis of the literature. *Soil Science Society of America Journal* 70: 1489-1503.
2. Betts, R.A., Falloon, P., Goldewijk, K.K., and Ramankutty, N. 2007. Biogeophysical effects of land use on climate: model simulations of radiative forcing and large-scale temperature change. *Agricultural and Forest Meteorology* 142: 216–233.
3. Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., and Vanden-Bygaart, A.J. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118: 29-42.

4. Borzecka-Walker, M., Faber, A., Mizak, K., Pudelko, R., and Syp, A. 2011. Soil carbon sequestration under bioenergy crops in Poland. In: Principles, Application and Assessment in Soil Science, Ozkaraova Gungor, D.B. (Ed.), In Tech Publication. Poland. 394 pp.
5. Carbon Trust. 2007. Carbon Footprint Measurement Methodology, Version 1.1. The Carbon Trust, London, UK.
6. Carreres, R., Sendra, J., Ballesteros, R., Valiente, E.F., Quesada, A., Carrasco, D., Legane's, F., and Cuadra, J.G. 2003. Assessment of slow release fertilizers and Nitrification Inhibitors in Flooded Rice. *Biology and Fertility of Soils* 39: 80-87.
7. Duke, J.A. 1993. Handbook of Energy Crops. Unpublished, available at http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Triticum_aestivum.html.
8. Duxbury, J.M., Harper, L.A., and Moiser, A.R. 1993. Contributions of agroecosystems to global climate change. In: "Harper, L., Duxbury, J.M. Moiser, A.R. and Rolstonj, D.S. (eds.). Agroecosystems Effects on Radioactively Important Trace Gases and Global Climate Change. ASA Publication. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin 55: 1-18.
9. Dyer, JA, Desjardins, RL. 2006. Carbon dioxide emissions associated with the manufacturing of tractors and farm machinery in Canada. *Biosystem Energy* 93(1): 107-118.
10. EDGR (Emission Database for Global Atmospheric Research): Trends in Global CO₂ emission. 2014.
11. Gan, Y., Liang, Ch., Campbell, A., Zentner, R.P., Lamke, R.L., Wang, H. and Yang, Ch. 2012. Carbon Footprint of Spring Wheat in Response to Fallow Frequency and Soil Carbon Changes over 25 years on the Semiarid Canadian prairie. *European Journal of Agronomy* 43:175-184.
12. Haas, G., Wetterich, F., Kōpke, U., 2001. Comparing intensive, intensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 83 (1-2): 43-53.
13. Heinemann, A.B., Maia, H.N., Dourado-Neto, A.D., Ingram, K.T., and Hoogenboom, G. 2005. Soybean (*Glycine max* L. Merr.) growth and development response to CO₂ enrichment under different temperature regimes. *European Journal of Agronomy* 24: 52-61.
14. Houghton, R.A. 1995. Changes in the storage of terrestrial carbon since 1850. In: Lal, R., Kimball, J., Levine, E. and Stewart, B.A. (eds) *Soils and Global Change*. CRC Press, Boca Raton, Florida pp. 45-66.
15. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Fifth Assessment Report - Climate Change. The Physical Science Basis Summary for Policymakers. Cambridge University Press, Cambridge.
16. IPCC, 2006. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environment Strategies, Japan. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>.
17. Keshavarz, A., Heidari, N. 2004. An overview on the waste of national waters recourses in the process of production and consumption of agricultural products. 1st Symposium of National Resources Loss Prevention. Tehran Iran 39-52. (in Persian)
18. Khakbazan, M., Mohr, R.M., Derksen, D.A., Monreal, M.A., Grant, C.A., Zentner, R.P., Moulin, A.P., McLaren, D.L., Irvine, R.B., and Nagy, C.N. 2009. Effects of alternative

- management practices on the economics, energy and GHG emissions of a wheat-pea cropping system in the Canadian prairies. *Soil & Tillage Research* 104(1): 30–38.
19. Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M., Bakhshaie, S., Davari, A. 2014. meta-analysis of the chemical nitrogen fertilizers application for cereal crops in Iran. *Journal of Agroecology* 6(4): 1-21.
 20. Korner, C. 2003. Carbon limitation in trees. *Journal of Ecology* 91: 4-17.
 21. Lal, R. 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment International* 30:981-990.
 22. Lal, R. 2004b. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security *Science* 1623-1627.
 23. Lal, R. 2004e. Carbon emissions from farm operations. *Environment International* 30: 981-990.
 24. Lal, R. and Kimble, J.M. 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient Cycle Agroecosystem* 49: 243 - 253.
 25. Lal, R., 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil Tillage Research* 43: 81–107.
 26. Ministry of agriculture Jihad of Iran. 2011. Available at: <http://www.maj.ir>.
 27. Ministry of agriculture Jihad of Iran. 2013. Available at: <http://www.maj.ir>.
 28. Osborne, B., Saunders, M.D., Walmsley, M., and Smith, P. 2010. Key questions and uncertainties associated with the assessment of the cropland greenhouse gas balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment: In press*.
 29. Palz, W., and Chartier, P. 1980. "Energy from biomass in Europe," Applied Science Publishers Ltd., London.
 30. Paustian, K., Andr n, O., Janzen, H.H. 1997. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use Manage* 13: 230–244.
 31. Paustian, K., Cloe, C.V., Sauerbeck, D. and Sampson, N. 1998. CO₂ mitigation by agriculture: an overview. *Climate Change* 40: 135-162.
 32. Pietola, L., and Alakukku, L. 2005. Root growth dynamics and biomass input by Nordic annual field crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 108: 135-144.
 33. Pishgar-Komleh, S.H., Ghahderijani, M., Sefeedpari, P. 2012. Energy consumption and CO₂ emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. *Journal of Cleaner Production* 33: 183-191.
 34. Robertson, G.P., Paul, E.A., Harwood, R.R. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: Contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science* 289: 1922-1925.
 35. Rochette, P. 2008. "Estimation of N₂O emissions from agricultural soils in Canada. I. Development of a country specific methodology". *Canadian Journal of Soil Science* 88(5): 641-654.
 36. Salinger, M.J. 2005. Climate variability and change: past, present and future- an overview. *Climate Change* 70: 9-29.
 37. Saunders, M.A. 1998. Global warming: the view in 1998. Beneld Greig Hazard Research Centre Report, University College London.
 38. Schimel, D., Enting, I.G., Heimann, M., Wigley, T.M.L., Raynaud, D., Alves, D., Siegenthaler, U. 2000. CO₂ and carbon cycle. In: Houghton, J.T., Meira Filho, L.G.,
 39. Sharma, M.K., and Kumar, P. 2011. A guide to identifying and managing nutrient definitions in cereal crops. International Plant Nutrition Institute. USA. 49 P.

40. United Nations Climate Change Conference. 2015. COP21. CMP11, Paris. November 2015.
41. WRI: World Resources Institute, CAIT climate Data Explorer, 2014.
42. Yao, Z., Zheng, X., Xie, B., Mei, B., Wang, R., Butterbach-Bahl, K., Zhu, J., and Yin, R., 2009. Tillage and crop residue management significantly affects N-trace gas emissions during the non-rice season of a subtropical rice-wheat rotation. *Soil Biology and Biochemistry* 41: 2131–2140.
43. Yousefi, M., Khoramivafa, M., and Mondani, F. 2014. Integrated evaluation of energy use, greenhouse gas emissions and global warming potential for sugar beet (*Beta vulgaris* L.) agroecosystems in Iran. *Atmospheric Environment* 92: 501-505.

