Archive of SID

مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۴۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵ (ص ۶۸۸-۶۷۷)

ارزیابی چرخه زندگی محصول رب گوجه‌فرنگی (مطالعه موردی: استان البرز)

سیدحسن پیشگرکومله [1*]، اسداله اکرم [2]، علیرضا کیهانی [3]، مارک. ای. جی. هوبرت [4]

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۲. دانشیار، گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۳. استاد، گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۴. استاد گروه محیط زیست، دانشگاه رادبود هلند

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۱۰- تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۸/۲)

چکیده

کشاورزی، صنایع غذایی و محیط زیست، بدلیل اثرپذیری از یکدیگر نمی‌توانند به صورت مجزا مورد بررسی قرار گیرند. تحقیق حاضر با رویکردی تلفیقی و با استفاده از ارزیابی چرخه‌زندگی به بررسی و ارزیابی فرایند تولید محصول رب گوجه‌فرنگی می‌پردازد. سه مرحله‌ی تولید گوجه‌فرنگی در مزرعه، حمل محصول از مزرعه به کارخانه و تولید رب در کارخانه مورد بررسی قرار گرفت و مرز سامانه شامل تمامی فعالیت‌های مربوط به تولید، حمل و نقل و مصرف نهاده‌های مختلف مورد استفاده در تولید رب‌گوجه‌فرنگی بوده است (از ماده خام اولیه تا تولید رب درب کارخانه). داده‌های مورد نیاز از یکی از کارخانه‌های تولید رب در استان البرز و مزارع دو استان البرز و آذربایجان‌شرقی جمع‌آوری شد. از شاخص اثرکربن به منظور کمی کردن اثر گازهای گلخانه‌ای استفاده شد. دو واحد عملیاتی کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل به ازای کیلوگرم گوجه‌فرنگی و رب‌گوجه‌فرنگی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد به منظور تولید یک کیلوگرم رب گوجه‌فرنگی در حدود ۳/۰۲ کیلوگرم کربن‌دی‌اکسید تولید می‌شود و بیشترین سهم متعلق به بخش کشاورزی (۲۸٪) می‌باشد. میانگین اثرکربن در فرایند کشت گوجه‌فرنگی برابر با ۰/۲۲ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل به ازای یک کیلوگرم گوجه‌فرنگی گزارش شد. نهاده‌ی الکتریسیته (آبیاری) و پس از آن کودشیمیایی بیشترین سهم را در آلایندگی کشت مزرعه‌ای به خود اختصاص دادند. مقایسه‌ی دو استان و دو سیستم آبیاری (مدرن و سنتی) در کشت گوجه‌فرنگی حکایت از تولید با اثرکربن کمتر در سامانه‌ی آبیاری قطره‌ای و در استان البرز داشت. آبیاری و نهاده کود شیمیایی به عنوان نقاط بحرانی در شاخص اثر کربن معرفی شدند. یکپارچه‌سازی مزارع به منظور مدیریت بهتر نهاده و استفاده از آبیاری قطره‌ای از نتایج تحقیق حاضر می‌باشد که منجر به کاهش اثر کربن می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اثر کربن، ارزیابی چرخه‌ی زندگی، رب گوجه‌فرنگی، البرز، آذربایجان شرقی.

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت و به تبع آن افزایش نیاز غذایی و امنیت غذایی یکی از مهمترین دغدغه‌های دولت‌های مختلف در دهه‌های اخیر بوده است. پیش‌بینی‌ها حکایت از افزایش جمعیت از ۷/۲ میلیارد نفر در سال ۲۰۱۵ به ۹/۶ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰ دارد (Garnett, 2008). کشاورزی و بخش صنایع غذایی نقش مهمی را در امنیت غذایی و اقتصاد امروز جهان بازی می‌کنند (Notarnicola *et al.*, 2012). تولید محصولات غذایی زمانی به صورت مستمر ادامه ادامه خواهد داشت که سامانه تولید کشاورزی پایدار باشد. در این شرایط، کشاورزی پایدار معنا و مفهوم پیدا می‌کند. بر اساس تعریف، کشاورزی پایدار به مفهوم تولید محصول کافی (با بیشترین مقدار و کیفیت) با حفاظت کامل از منابع و محیط زیست است (Reganold *et al.*, 2001). کشاورزی پایدار در ارتباط تنگاتنگ با محیط زیست قرار دارد و از این نظر لازم است در تولید هر محصول کشاورزی ابعاد زیست محیطی تولید مورد بررسی قرار گیرد.

بر اساس شواهد علمی، آب و هوای کره‌ی زمین به سرعت در حال تغییر است که یکی از دلایل عمده آن افزایش روزافزون مقدار گازهای گلخانه‌ای (GHG)[1] است. بر اساس آخرین اطلاعات بدست آمده از اطلس جهانی کربن، مقدار آلاینده‌های موجود در کل کره زمین در سال ۲۰۱۴ در حدود ۳۵۸۹۰ میلیون تن کربن‌دی‌اکسید بوده است. چین با مقدار ۹۶۸۰

* نویسنده مسئول: hpishgar@ut.ac.ir

1. Greenhouse Gas (GHG)

www.SID.ir

Archive of SID

میلیون تن بیشترین تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای به شمار می‌رود و پس از آن کشورهای ایالات متحده، هند و روسیه با مقدار تولید ۵۵۶۱، ۲۵۹۷ و ۱۵۹۵ میلیون تن کربن‌دی‌اکسید قرار دارند. در این سال در حدود ۶۱۶ میلیون تن کربن‌دی‌اکسید در ایران تولید شد و ایران را در جایگاه هشتم بیشترین تولیدکنندگان گازهای گلخانه‌ای قرار داد (Global Carbon Atlas, 2015). در مقیاس جهانی، کربن‌دی‌اکسید (CO_2)، متان (CH_4) و نیتروکسید (N_2O) مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای هستند که توسط فعالیت‌های انسانی تولید می‌شوند. بخش‌های تولید گرما و الکتریسیته در حدود ۲۵ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای را تولید می‌کنند و پس از آن‌ها بخش‌های کشاورزی و صنعت قرار دارند که به ترتیب ۲۴ و ۲۱ درصد از آلایندگی به آن‌ها اختصاص دارد (Edenhofer *et al*., 2015). از آن‌جا که کشاورزی بخش قابل توجهی از کربن‌دی‌اکسید، متان و نیتروکسید را وارد محیط زیست می‌کند لازم است مورد توجه بیشتری قرار گیرد. سهم عمده‌ای از کربن‌دی‌اکسید با احتراق سوخت و گیاهان، فعالیت‌های میکروبیولوژی و ماده آلی خاک تولید می‌شود (Janzen, 2004). نیتروکسید از طریق تبدیل و تغییر نیتروژن موجود در خاک و کودهای آلی حاصل می‌شود. معمولاً زمانی این پدیده اتفاق می‌افتد که نیتروژن موجود در خاک بیش از نیاز گیاه باشد و خاک رطوبت زیادی داشته باشد. متان نیز زمانی تولید می‌شود که مواد آلی موجود در خاک و کودهای آلی در شرایط بی‌هوازی قرار می‌گیرند (Mosier *et al*. 1998; Smith *et al*., 2008).

هر محصول و کالایی دارای یک چرخه‌ی زندگی است که با طراحی و توسعه محصول آغاز می‌شود و با استخراج منابع، ساخت محصول، دسته‌بندی، مصرف کالا، بازیافت و دفن زائدات ادامه پیدا می‌کند. به منظور تخمین اثرات زیست محیطی همچون تغییرات آب و هوایی یک چارچوب اجرایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به عنوان ارزیابی چرخه‌ی زندگی[1] شناخته می‌شود (Rebitzer *et al*., 2004). بر اساس تعاریف مختلف موجود، ارزیابی چرخه زندگی تکنیکی است برای ارزیابی پتانسیل اثرات زیست محیطی و منابع مورد استفاده در طی زندگی یک کالا و محصول از ابتدا تا انتها (گهواره تا گور[2]) (ISO, 2006). روش‌های مورد استفاده در ارزیابی چرخه زندگی جزئی از استانداردها سری ISO 14000 (به عنوان نمونه ISO 14040 و ISO 14044) در زمینه مدیریت محیط زیست هستند.

1. Life Cycle Assessment
2 .Cradle to grave

استانداردهای ارزیابی‌های مربوط به چرخه عمر گازهای گلخانه‌ای محصول می‌تواند با اجزا و مشخصه‌های استانداردها PAS 2050 مطابقت داشته باشد. به منظور تخمین اثر گازهای گلخانه‌ای از اثر کربن (CF)[3] استفاده می‌شود (Bestari Tjandr *et al*, 2016). اثر کربن به صورت مقدار کربن‌دی‌اکسید که در نتیجه فعالیت‌های انسانی تولید می‌شود تعریف می‌شود (Wiedmann, 2007).

گوجه‌فرنگی (Lycopersicom esculentum L.) یکی از محصولات کشاورزی است که به صورت گسترده (میوه خام، میوه پخته شده، آب میوه، میوه خشک، سس و رب) مورد استفاده قرار می‌گیرد. تازه‌خوری، سس و رب مهم‌ترین‌مصارف گوجه‌فرنگی است. میزان تولید جهانی این محصول در سال ۲۰۱۲، ۱۶۱ میلیون تن بوده است. چین، هند، ایالات متحده و ترکیه از بزرگترین تولیدکنندگان گوجه‌فرنگی با میزان تولید ۵۰، ۱۷/۵، ۱۳/۲ و ۱۱/۳۵ میلیون تن در سال می‌باشند. آمار موجود حکایت از تولیدی در حدود ۶ میلیون تن برای ایران دارد که این میزان تولید، ایران را در جایگاه ششم تولیدکنندگان عمده گوجه‌فرنگی در جهان قرار داده است (FAO, 2012). در حدود ۱/۲ میلیون تن از گوجه‌فرنگی تولید شده به منظور فرآوری و تولید رب مصرف می‌شود. ارزش صادرات رب تولید شده در سال ۲۰۱۲ برابر با ۱۹۴ میلیون دلار بوده است که این مقدار صادرات، ایران را در جایگاه نهم جهانی کشورهای صادر کننده رب گوجه‌فرنگی قرار داده است (Barati and Nourozi, 2014).

تحقیقات مختلفی در زمینه بررسی و ارزیابی اثرات زیست محیطی و انرژی مصرفی در تولید رب و کشت گوجه‌فرنگی صورت گرفته است (Anton *et al*., 2014; Muñoz *et al*., 2008; Maraseni *et al*., 2010; Martinez-Blanco *et al*., 2011). برخی از موارد که به صورت مبسوط بدان اشاره می‌شود به قرار زیر می‌باشند:

در تحقیقی میزان گازهای گلخانه‌ای تولیدی در فرایند تولید گوجه‌فرنگی مزرعه‌ای بررسی شد. نتایج نشان داد که با توجه به تغییرات فصلی، میزان آلایندگی از ۱۶۱۸۳ تا ۲۲۴۲۶ کیلوگرم کربن‌دی‌اکسید معادل در هکتار متغیر می‌باشد. آبیاری و کود نیتروژن نیز بیشترین سطوح آلایندگی را در بین نهاده‌ها به خود اختصاص دادند (Jones *et al*., 2012). در تحقیقی دیگر میزان آلایندگی کربن دی‌اکسید در تولید گوجه‌فرنگی تازه، آب

3 .Carbon Footprint

www.SID.ir

Archive of SID

گرفته و تکه شده تعیین شد. نتایج نشان از آلایندگی برای تولید گوجه‌فرنگی تازه برابر با ۱۸۹ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل بر تن محصول تولیدی بوده است. این در شرایطی بود که فراوری محصول به رب‌گوجه‌فرنگی به همان مقدار آلایندگی به همراه داشت (Karakay and Özilgen, 2011). در تحقیقی مشابه به بررسی انرژی مصرفی در تولید رب گوجه‌فرنگی پرداخته و انرژی حاصل از مصرف سوخت دیزل به عنوان مهمترین نهاده معرفی شد (Abubakar *et al*., 2010). ارزیابی اثر کربن و آب در تولید محصول گوجه‌فرنگی در سیدنی استرالیا هدف تحقیق دیگری بود. نتایج نشان داد بسته به فصل و روش تولید اثر کربن در محدوده‌ی ۰/۳۹ تا ۱/۹۷ کیلوگرم‌کربن‌دی‌اکسیدبرکیلوگرم محصول برای شاخص کربن و ۵ تا ۵۳ لیتربرکیلوگرم محصول برای شاخص آب مصرفی متغیر است (Page *et al*., 2012).

بر اساس مرور منابع انجام شده و با توجه به جایگاه بالای ایران در صادرات رب‌گوجه‌فرنگی در جهان و از آنجا که پتانسیل تولید آلاینده‌های مختلف در ایران بالا می‌باشد (جایگاه هشتم در بین تمامی کشورهای آلاینده دنیا) و در حدود ۲۴ درصد از کل آلایندگی‌ها در جهان متعلق به بخش کشاورزی می‌باشد لازم است بخش کشاورزی ایران از نقطه نظر آلایندگی مورد بررسی دقیق‌تر قرار بگیرد (Edenhofer *et al*., 2015; Global Carbon Atlas, 2015). یکی از تفاوت‌های اصولی تحقیق حاضر با تحقیقات دیگر، بررسی تمامی منابع آلوده‌کننده در فرایند تولید محصول گوجه‌فرنگی است که در قسمت مواد و روش‌ها بصورت تفصیلی بدان اشاره خواهد شد. از آن‌جا که یکی از رسالت‌های رشته مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، مدیریت بخش‌های مختلف فعال در بحث کشاورزی با توجه به شاخص‌های مهم در تولید (شاخص‌های اقتصادی، زیست محیطی، انرژی، تکنولوژی و ...) می‌باشد، تحقیق حاضر به دنبال این هدف است که با بررسی دقیق، تمامی منابع تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای را شناسایی و مقدار آلایندگی هر بخش را تعیین نماید و راه‌کارهای مناسب در جهت تغییر روش تولید به منظور کاهش آلایندگی در کشت گوجه‌فرنگی مزرعه‌ای ارائه نماید.

مواد و روش‌ها

فرایند جمع‌آوری اطلاعات شامل سه مرحله اصلی کشت و تولید گوجه‌فرنگی در مزرعه، انتقال گوجه‌فرنگی به کارخانه و انجام فراوری بر روی گوجه‌فرنگی دریافتی و تولید رب می‌باشد. داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر در مرحله کشت گوجه‌فرنگی از دو استان البرز (شهرستان‌های کرج، نظرآباد، اشتهارد) و استان آذربایجان شرقی(شهرستان مرند) جمع‌آوری شد. در استان البرز به دلیل دسترسی ساده‌تر به تمامی مناطق گوجه‌کاری تلاش شد تمامی استان تحت بررسی قرار گرفت و در استان آذربایجان شرقی، شهرستان مرند که در حدود ۴۰درصد از مزارع گوجه‌فرنگی استان در این شهرستان قرار دارد به عنوان نمونه انتخابی مورد ارزیابی قرار گرفت. از روش نمونه‌گیری تصادفی به منظور تعیین تعداد نمونه استفاده شد. در انتها نیز تعداد پرسشنامه‌های توزیع شده بیش از تعداد نمونه مورد نیاز بوده است. داده‌های مورد استفاده در پژوهش از ۲۰۴ پرسشنامه (۱۱۱ و ۹۳ مزرعه به ترتیب در استان‌های البرز و آذربایجان‌شرقی) توزیع شده در بین کشاورزان جمع‌آوری شد. بدلیل اینکه هدف نهایی پروژه ارزیابی چرخه زندگی محصول رب گوجه‌فرنگی است، مناطقی مورد بررسی قرار گرفت که خوراک اولیه کارخانه رب‌گوجه‌فرنگی مورد نظر را تأمین می‌کند. پرسشنامه‌ها شامل سوالاتی در رابطه با مقدار مصرف نهاده‌ها و عملکرد محصول گوجه‌فرنگی در هکتار زمین زراعی بود. جدول ۱ خلاصه‌ای از اطلاعات بدست آمده در مراحل مختلف تولید را نشان می‌دهد. این جدول در مباحث ارزیابی چرخه عمر با عنوان فهرست موجودی چرخه عمر (LCI)[1] شناخته می‌شود.

هدف از ارزیابی چرخه عمر تعیین مقدار اثر کربن در فرایند تولید رب گوجه‌فرنگی بوده است و واحد عملیاتی (FU)[2] تحقیق حاضر یک کیلوگرم محصول گوجه‌فرنگی در بخش مزرعه‌ای و حمل و نقل و یک کیلوگرم رب گوجه‌فرنگی در بخش فراوری می‌باشد. به منظور تعیین اثر کربن، مقدار کربن‌دی‌اکسید، متان و نیتروکسید تولید شده در فرایند تولید محاسبه شد. به منظور نمایش اعداد به صورت مقدار معادل کربن‌دی‌اکسید، مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی ۱، ۲۸ و ۲۵۶ کیلوگرم کربن‌دی‌اکسید معادل، متناظر با کربن‌دی‌اکسید، متان و نیتروکسید استفاده شد (Myhre *et al*. 2013). مرز سامانه نیز از ابتدای تولید تمامی نهاده‌ها (ماده خام) تا مرحله تولید رب گوجه‌فرنگی (درب کارخانه) بوده است (شکل ۱).

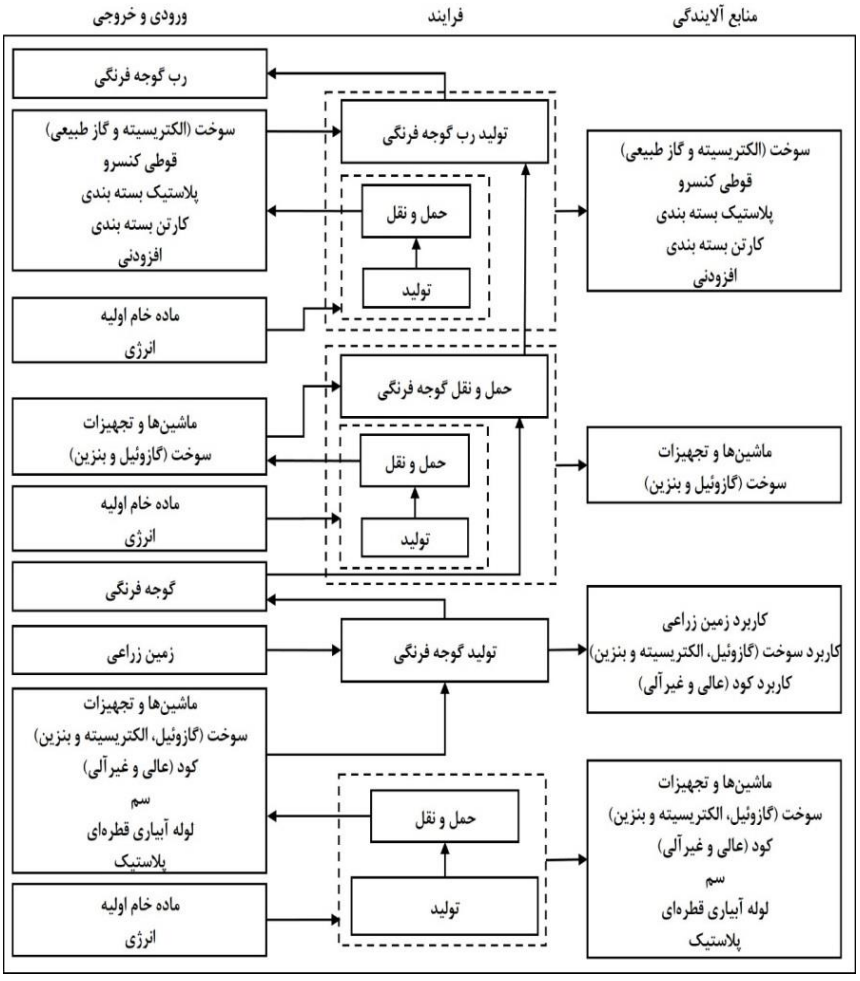
1. Life Cycle Inventory
2. Functional Unit

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ . فهرست موجودی چرخه عمر محصول رب گوجه‌فرنگی (مطالعه موردی در استان البرز)

مرحله	مورد	واحد	مقدار
تولید گوجه‌فرنگی	۱. عملکرد	تن در هکتار	۶۱
	۲. زمین مورد استفاده	مترمربع بر کیلوگرم گوجه‌فرنگی	$۱/۸\times۱۰^{-۱}$
	۳. ماشین‌های کشاورزی	کیلوگرم بر کیلوگرم گوجه‌فرنگی	۲×۱۰^{-۴}
	۴. سوخت مایع	لیتر بر کیلوگرم گوجه‌فرنگی	$۲/۵\times۱۰^{-۳}$
	۵. پلاستیک	کیلوگرم بر کیلوگرم گوجه‌فرنگی	$۵/۹\times۱۰^{-۴}$
	۶. لوله‌های آبیاری قطره‌ای	کیلوگرم بر کیلوگرم گوجه‌فرنگی	$۴/۳\times۱۰^{-۴}$
	۷. الکتریسیته	کیلووات ساعت بر کیلوگرم گوجه‌فرنگی	$۱/۱\times۱۰^{-۱}$
	۸. سم	لیتر بر کیلوگرم گوجه‌فرنگی	$۸/۶\times۱۰^{-۵}$
	۹. کود ازت (N)	کیلوگرم بر کیلوگرم گوجه‌فرنگی	$۲/۸\times۱۰^{-۳}$
	۱۰. کود فسفات (P_2O_5)	کیلوگرم بر کیلوگرم گوجه‌فرنگی	۲×۱۰^{-۳}
	۱۱. کود پتاس (K_2O)	کیلوگرم بر کیلوگرم گوجه‌فرنگی	$۵/۷\times۱۰^{-۴}$
	۱۲. کود دامی	کیلوگرم بر کیلوگرم گوجه‌فرنگی	$۲/۸\times۱۰^{-۱}$
حمل و نقل گوجه‌فرنگی	۱. حمل و نقل محصول تا کارخانه	تن محصول در کیلومتر بر کیلوگرم گوجه‌فرنگی	۲/۹
تولید رب گوجه فرنگی	۱. گوجه مصرفی	کیلوگرم گوجه فرنگی بر کیلوگرم رب گوجه فرنگی	۴
	۲. افزودنی	کیلوگرم بر کیلوگرم رب گوجه فرنگی	۱×۱۰^{-۲}
	۳. گاز طبیعی	مترمکعب بر کیلوگرم رب گوجه فرنگی	۱×۱۰^{-۲}
	۴. الکتریسیته	کیلووات ساعت بر کیلوگرم رب گوجه فرنگی	$۷/۷\times۱۰^{-۱}$
	۵. قوطی کنسرو	کیلوگرم بر کیلوگرم رب گوجه فرنگی	$۲/۴\times۱۰^{-۱}$
	۶. کارتن بسته بندی	کیلوگرم بر کیلوگرم رب گوجه فرنگی	$۲/۱\times۱۰^{-۲}$
	۷. پلاستیک بسته بندی	کیلوگرم بر کیلوگرم رب گوجه فرنگی	$۳/۱\times۱۰^{-۳}$



شکل ۱ . مرز سامانه تولید رب گوجه‌فرنگی (مطالعه موردی در استان البرز)

www.SID.ir

Archive of SID

به منظور تعیین اثر کربن در بخش مزرعه‌ای از رابطه (۱) استفاده شد.

$$CF = \frac{GHG_{Bio.} + GHG_{Fer.} + GHG_{Mat.}}{Y} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

به ترتیب CF، $GHG_{Bio.}$، $GHG_{Fert.}$، $GHG_{Mat.}$ و Y اثرکربن، آلایندگی حاصل از تغییر کاربری[1]، آلایندگی حاصل از مصرف کودهای شیمیایی و آلی، آلایندگی حاصل از مصرف مواد و انرژی و عملکرد گوجه‌فرنگی می‌باشد.

همانگونه که در رابطه (۱) بدان اشاره شد سه دسته اصلی آلایندگی در بخش کشاورزی در مطالعه حاضر مورد بررسی قرار گرفت. یکی از مهمترین نوآوری‌های تحقیق حاضر بررسی آلایندگی حاصل از تغییر کاربری است که متأسفانه بدلیل پیچیدگی محاسبات کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. در مطالعه حاضر از روش EPIC و IPCC برای محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از تغییر کاربری زمین استفاده شد (Hiederer and Köchy, 2011; Ruesch and Gibbs, 2008; Gibbs *et al*., 2014). در این دسته اختلاف کربن و نیتروژن موجود در خاک و پوشش گیاهی در دو حالت با پوشش گیاهی طبیعی موجود در منطقه و پوشش گیاهی گوجه‌فرنگی با کمک روابط (۲) تا (۴) محاسبه شد (Searchinger *et al*., 2008). مجموع اعداد محاسبه شده در روابط (۲) تا (۴) مقدار انتشار حاصل از تغییر کاربری را بیان می‌کند.

$$\Delta C_{Biomass} = \frac{C_{Natural} - C_{Crop}}{LT} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$\Delta C_{Soil} = \frac{C_{Natural} - C_{Crop}}{LT} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

$$\Delta N_{Soil} = Loss\ of\ soil\ Cover\ 20\ years \times \left(\frac{1}{15}\right) \times 0.01 \times \frac{M_{N2O}}{M_N} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

$C_{Natural}$ و C_{Crop} به ترتیب مقدار کربن ذخیره شده در پوشش گیاهی طبیعی و محصول گوجه‌فرنگی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد، LT دوره زمانی تبدیل پوشش گیاهی طبیعی به زمین کشاورزی است که سی سال در نظر گرفته شد، مقدار عددی کربن موجود در پوشش گیاهی گوجه‌فرنگی ۴ تن‌درهکتار در سال مورد استفاده قرار گرفت (Mota *et al*., 2010)، (۱/۱۵) نسبت نیتروژن به کربن ماده آلی خاک، ۰/۰۱ فاکتور آلایندگی نیتروژن معدنی و M_{N2O} و M_N به ترتیب جرم مولی N_2O و N می‌باشد.

1. Biogenic Source

دسته دوم آلایندگی مربوط به آلایندگی حاصل از کاربرد کودهای شیمیایی و آلی است. بدین منظور ابتدا آلایندگی حاصل تولید نیتروکسید (N_2O) برای تمامی کودها از طریق روابط (۵) إلی (۷) محاسبه شد و برای کود گاوی میزان متان تولیدی از طریق رابطه (۸) برآورد شد (Nemecek *et al*., 2015؛ Agrammon Group (2009)).

$$N_2O = \left(\frac{44}{28}\right) \times (0.01 \times (N_{total} + N_{cr}) + 0.01 \times \left(\frac{14}{17}\right) \times NH_3 + 0.0075 \times \left(\frac{14}{62}\right) \times NO_3) \quad \text{(رابطه ۵)}$$

$$NH_3 - N = TAN \times (er + c_app) \times C_x \quad \text{(رابطه ۶)}$$

$$NO_3 - N = 21.37 \times \frac{P}{c \times L}[0.0037 \times S + 0.0000601 \times N_{org} - 0.00362 \times U] \quad \text{(رابطه ۷)}$$

در این روابط N_{total} مقدار نیتروژن مصرفی به صورت کود شیمیایی و آلی بر حسب کیلوگرم در هکتار است، N_{cr} مقدار نیتروژن ذخیره شده در محصول بر حسب کیلوگرم در هکتار، NH_3 و NO_3 مقدار تلفات نیتروژن به شکل NH_3 و NO_3 بر حسب کیلوگرم در هکتار، TAN محتوای آمونیوم کود است که برای کود گاوی و مرغی در شرایط خشک به ترتیب ۱/۳ کیلوگرم بر مترمکعب و ۱۰ کیلوگرم بر تن استفاده شد. er نرخ آلایندگی به صورت درصدی از TAN است که در جدول ۱ و ۲ برای انواع کود ارائه شده است. c_app و C_x فاکتورهای تصحیح بدون بعد هستند (Agrammon Group (2009)). P مجموع بارندگی و آبیاری بر حسب میلیمتر در سال، c درصد محتوای رس بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال، L عمق ریشه بر حسب متر، S مقدار نیتروژن تأمینی توسط کودهای شیمیایی بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال، N_{org} نیتروژن موجود در ماده آلی بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال و U مقدار نیتروژن گرفته شده توسط گیاه بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال است.

جدول ۲ . نرخ آلایندگی نیتروژن برای انواع مختلف کود آلی

نوع کود	واحد	مقدار آلایندگی (درصدی از TAN)
گاوی	مایع	۵۰
	جامد	۸۰
مرغی	جامد تخمگذار	۳۰
	جامد گوشتی	۶۵

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. نرخ الایندگی نیتروژن برای انواع مختلف کود شیمیایی

نوع کود	مقدار آلایندگی (درصدی از TAN)
آمینیوم نیترات	۲
امونیوم سولفات	۸
اوره	۱۵
کود شیمیایی ترکیبی (NPK)	۴

به منظور تخمین متان تولیدی از کود آلی، رابطه‌ی (۸) استفاده شد (IPCC, 2006).

$$EF = \frac{VS \times B_o \times \rho_{CH4} \times MCF \times MS}{MP} \quad \text{(رابطه۸)}$$

EF شاخص آلایندگی کود دامی بر حسب کیلوگرم متان به ازای کیلوگرم کود است، VS جامد فرار بر حسب کیلوگرم جامد فرار به ازای هر رأس گاو در هر روز است، B_O حداکثر ظرفیت متان تولیدی بر حسب مترمکعب متان به ازای کیلوگرم جامد فرار، ρ_{CH4} چگالی متان که مقدار ۰/۶۷ کیلوگرم متان به ازای هر مترمکعب متان در نظر گرفته شد، MCF شاخص تبدیل متان است (متغیر بین یک تا دو درصد)، MS مدیریت سامانه استفاده کود بر حسب درصد و میزان کود تولیدی بر حسب کیلوگرم کود به ازای هر رأس دام در هر روز است.

در بخش آلایندگی مربوط به نهاده و انرژی مصرفی، آلایندگی نهاده‌های مصرفی شامل آلایندگی‌های موجود در فرایند تولید نهاده، حمل و نقل و مصرف نهاده با کمک پایگاه داده Ecoinvent 3.1 محاسبه شد. آلایندگی‌های مورد بررسی شامل سوخت مایع، لوله‌های آبیاری، پلاستیک، کود شیمیایی (تولید)، سموم، الکتریسیته مصرفی برای آبیاری و حمل و نقل نهاده‌ها بود. برای نهاده ماشین‌ها به منظور اختصاص بخشی از زمان استفاده شده برای یک دوره تولید نسبت به کل عمر ماشین از رابطه (۹) استفاده شد.

$$M = \frac{t}{UL} \times m \quad \text{(رابطه۹)}$$

در این رابطه M جرم متناظر ماشین‌ها و تراکتور برای عملیات مشخص بر حسب کیلوگرم‌برهکتار، t زمان مورد نیاز برای عملیات بر حسب ساعت بر هکتار، UL عمر مفید ماشین و تراکتور بر حسب ساعت و m جرم ماشین بر حسب کیلوگرم است.

به منظور بررسی برخی عوامل مؤثر بر میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در فرایند کشت محصول گوجه‌فرنگی مزرعه‌ای، اثر موقعیت جغرافیایی، سامانه آبیاری، اندازه مزارع و میزان عملکرد بر شاخص مقدار اثر کربن بررسی شد و در این فرایند از آزمون t-student و طرح بلوک کامل تصادفی استفاده شد و مقایسات میانگین نیز با روش آزمون دانکن انجام شد. در رابطه با دو شاخص سطح زیر کشت و عملکرد بدلیل پیوسته بودن متغیرها، روابط رگرسیونی به منظور تخمین نوع رابطه استفاده شد و دقت رابطه با کمک ضریب تبیین (R^2) تعیین و ارزیابی شد.

در رابطه با حمل و نقل نیز مقدار ماشین مورد استفاده برای حمل و نقل و سوخت مصرفی برآورد شد. در بخش کارخانه رب مقدار تمامی نهاده‌های آلاینده شامل گاز طبیعی، الکتریسیته، آب، گوجه‌وروی، قوطی، کارتن، پلاستیک و ترکیبات مختلف افزودنی به رب به ازای تولید یک کیلوگرم رب تعیین شد و آلایندگی هر یک با کمک پایگاه داده Ecoinvent 3.1 محاسبه شد.

تمامی داده‌ها و اطلاعات مستخرج از پرسشنامه‌ها و مشاهدات میدانی وارد نرم‌افزار Excel 2013 شد و از نرم‌فزار SimaPro 8.0.5.13 (2015) به منظور محاسبه آلایندگی گلخانه‌ای و SPSS 19 به منظور انجام آزمون F و t-student استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی انجام شده نشان داد به منظور تولید یک کیلوگرم رب گوجه‌فرنگی در حدود ۳/۰۲ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل تولید می‌شود. در بین نهاده‌های مختلف نیز تولید گوجه‌فرنگی (بخش مزرعه)، قوطی کنسرو و الکتریسیته به ترتیب با ۲۹، ۲۵ و ۲۴ درصد، بیشترین سهم را در اثر کربن کل به خود اختصاص دادند و پس از آن، گاز طبیعی با ۱۳ درصد در جایگاه بعدی قرار گرفت (جدول ۳). در تحقیقی مشابه در ایالات متحده مقدار اثر کربن تولید رب گوجه‌فرنگی در حدود ۱/۴ کیلوگرم کربن دی‌اکسید برآورد شد (Brodt *et al.*, 2013). تفاوت دو برابری در مقدار اثر کربن در تحقیق حاضر و تحقیق مشابه، در ابتدای امر مربوط به مرحله تولید گوجه‌فرنگی است. بررسی منابع اثر کربن در بخش مزرعه‌ای نشان داد که آلایندگی مربوط به ماشین‌های کشاورزی تحقیق مشابه برخلاف مطالعه حاضر مورد محاسبه قرار نگرفت. علاوه‌براین، مبحث آلایندگی حاصل از تغییر کاربری که بیش از ۳۰درصد (جدول ۴) از کل اثر کربن مرحله تولید گوجه‌فرنگی را به خود اختصاص می‌دهد

www.SID.ir

Archive of SID

در تحقیق مشابه مورد بررسی قرار نگرفت. از نظر مقدار نهاده مصرفی نیز می‌توان به تفاوت بسیار زیاد در مقدار کودشیمیایی مصرفی و همچنین آب آبیاری اشاره کرد که با وجود مصرف بیشتر نهاده در مطالعه حاضر، مقدار عملکرد محصول گوجه‌فرنگی در حدود ۲۰ تن کمتر از تحقیق مشابه می‌باشد. مصرف الکتریسیته نیز در مرحله تولید رب عامل دیگر بروز تفاوت زیاد اثر کربن در دو تحقیق است. نکته دیگر که می‌توان بدان اشاره کرد مقدار اثر کربن قوطی کنسرواست که متأسفانه توضیحات دقیق و روشنی در مطالعه قبلی در بحث بسته‌بندی ارائه نشده است که بر اساس آن بتوان به مقایسه و بررسی تفاوت‌ها با جزئیات بیشتر پرداخت.

بدلیل سهم بالای فرایند تولید گوجه‌فرنگی در مزرعه در مقدار اثر کربن کل رب گوجه‌فرنگی، در ادامه به بحث تفصیلی در رابطه با این بخش می‌پردازیم. جدول ۴ مقدار و سهم هر یک از منابع تولید گوجه‌فرنگی در اثر کربن کل را در بخش مزرعه نشان می‌دهد. مقدار اثر کربن کل در مرحله تولید گوجه‌فرنگی ۰/۲۲ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل به ازای یک کیلوگرم گوجه‌فرنگی محاسبه شد (جدول ۴). این مقدار مشابه با تحقیقات دیگر (Jones *et al*., 2012; Page *et al*, 2012) بود که اثر کربن را در محدوده ۰/۲ تا ۰/۳ برای گوجه‌فرنگی مزرعه‌ای برآورد کردند. همانگونه که ملاحظه می‌شود، بیشترین سهم متعلق به مواد و انرژی مصرفی (۶۱ درصد) است و پس از آن آلایندگی حاصل از تغییر کاربری زمین (۳۰ درصد) و آلایندگی حاصل از کاربرد کودهای آلی و غیرآلی (۱۰ درصد) است. با توجه به سهم بالای مواد و انرژی مصرفی در آلایندگی کل، اجزای تشکیل دهنده این بخش مورد بررسی بیشتر قرار گرفت و نتایج حکایت از سهم بالای فرایند آبیاری (۴۶ درصد) و پس از آن آلایندگی غیرمستقیم کود شیمیایی و سموم (۱۱ درصد) داشت. نتایج مشابهی در تحقیقات دیگر (Jones *et al*., 2012) در رابطه با سهم بالای آبیاری و کود شیمیایی در آلایندگی گازهای گلخانه‌ای در کشت گوجه‌فرنگی بدست آمد. معضل مصرف بالای کودهای شیمیای از دیرباز در کشاورزی ایران وجود داشته است و تحقیقات بسیار نشان از مصرف زیاد (بیش از نیاز گیاه) این نوع کودها در کشاورزی ایران دارد (Sefeedpari *et al*., 2013; Omid *et al*., 2011; Heidari and Omid, 2011). سطح سواد پایین و عدم تبعیت کشاورزان از نظرات کارشناسان کشاورزی، قیمت بالای کودهای دامی، عدم توجه به تناوب زراعی، عدم آزمایش دوره‌ای خاک زراعی از نقطه نظر تعیین مقدار عناصر موجود در خاک زراعی و درآمد پایین کشاورزان، از عواملی هستند که می‌توان از آن‌ها به عنوان دلایل بالا بودن مصرف کودهای شیمیایی در ایران نام برد. قرارگیری ایران در محدوده جغرافیایی گرم و خشک و از سوی دیگر وجود خشکسالی‌های پی‌درپی از سال ۱۹۹۹ باعث شده است که سطح آب‌های زیرزمینی در اکثر مناطق ایران کاهش پیدا کند. در این شرایط استخراج آب از عمق‌های بیشتر نیاز به صرف انرژی بیشتر به شکل الکتریسیته دارد. این مسئله در رابطه با گیاه گوجه‌فرنگی بدلیل نیاز آبی بالا نمود بیشتر پیدا می‌کند تا جاییکه بیشتر آلایندگی گازهای گلخانه‌ای در کشت این محصول در ایران اختصاص به نهاده آبیاری یا الکتریسیته مصرفی دارد. بدلیل اهمیت موضوع آبیاری در ادامه به بررسی دقیق‌تر و یافتن راه‌حلی در جهت کاهش مصرف آب در کشت می‌پردازیم.

در شکل ۲ دامنه تغییرات سه منبع اثر کربن ارائه شده در جدول ۴ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود دامنه‌ی تغییرات ۹۵ درصدی اثر کربن کل بین ۰/۱۰ تا ۰/۳۷ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل به ازای یک کیلوگرم گوجه‌فرنگی تعیین شد. وجود دامنه‌ی تغییرات زیاد در هر یک از منابع آلایندگی نشان دهنده پتانسیل اعمال تغییر و کاهش آلایندگی در هر بخش به واسطه‌ی بهبود مدیریت در آن بخش است. در تحقیقی (Page *et al*., 2012) مقدار اثر کربن ۰/۳ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل بر کیلوگرم گوجه‌فرنگی گزارش شد که تقریباً برابر با نتایج تحقیق حاضر است. Jones *et al*., (2012) گزارش کردند که آلایندگی مربوط به گازهای گلخانه‌ای در کشت گوجه‌فرنگی با توجه به فصل رشد بین ۰/۱۹ تا ۰/۲۷ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل بر کیلوگرم گوجه‌فرنگی متغیر است. دامنه تغییرات زیاد در دو گروه نهاده و انرژی مصرفی و گروه تغییر کاربری نشان از پتانسیل در این دو گروه به منظور کاهش مقدار اثر کربن کل دارد (شکل ۲). در ادامه به مقایسه و بررسی هر گروه با توجه به منطقه کشت می‌پردازیم تا جزئیات بیشتری از نوع تغییرات مدیریتی در کشت گوجه‌فرنگی ارائه گردد.

www.SID.ir

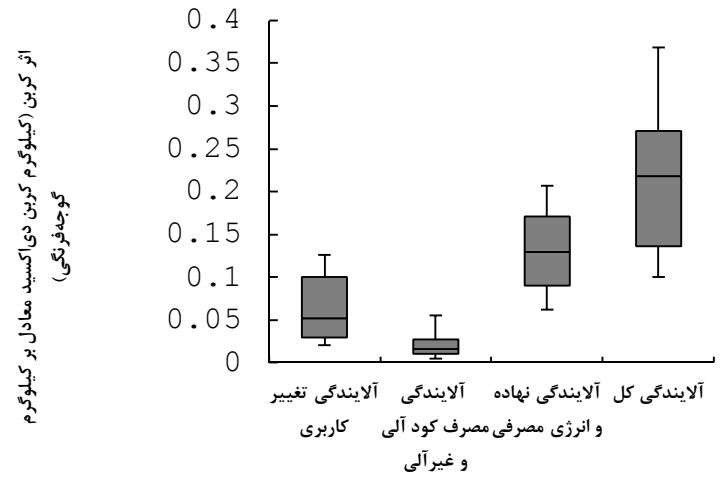
Archive of SID

جدول ۴. مقدار و سهم منابع مختلف در مقدار اثر کربن در تولید یک کیلوگرم رب گوجه‌فرنگی

موارد مورد استفاده در تولید	مقدار اثر کربن (کیلوگرم کربن‌دی‌اکسید بر کیلوگرم رب‌گوجه‌فرنگی)	سهم در کل اثر کربن تولید رب‌گوجه‌فرنگی (٪)
۱. تولید گوجه گوجه فرنگی	۰/۸۷	۲۸/۸
۲. حمل و نقل گوجه فرنگی	۰/۲۷	۸/۹
۳. استفاده از زمین	$۱/۹\times۱۰^{-۳}$	۰/۱
۴. الکتریسیته	۰/۷۳	۲۴
۵. گاز طبیعی	۰/۴۰	۱۳/۲
۶. قوطی کنسرو	۰/۷۵	۲۴/۷
۷. کارتن بسته بندی	۳×۱۰^{-۳}	۰/۱
۸. پلاستیک بسته بندی	$۷/۱\times۱۰^{-۳}$	۰/۲
مجموع آلایندگی گل	۳/۰۲	

جدول ۵. مقدار و سهم منابع مختلف در مقدار اثر کربن در تولید یک کیلوگرم گوجه‌فرنگی

موارد مورد استفاده در تولید	مقدار اثر کربن (کیلوگرم کربن‌دی‌اکسید بر کیلوگرم گوجه‌فرنگی)	سهم در کل اثر کربن تولید گوجه‌فرنگی (٪)
۱. تغییر کاربری زمین	$۶/۵\times۱۰^{-۲}$	۳۰
۲. آلایندگی مستقیم کاربرد کودهای آلی و غیرآلی	$۲/۱\times۱۰^{-۲}$	۱۰
۳. مواد و انرژی مصرفی	$۱/۳\times۱۰^{-۱}$	۶۱
تهیه بستر کشت	$۷/۷\times۱۰^{-۳}$	۴
کاشت	$۶/۱\times۱۰^{-۴}$	۰/۳
آبیاری	$۹/۹\times۱۰^{-۲}$	۴۶
آلایندگی غیر مستقیم کود شیمیای و سم	$۲/۴\times۱۰^{-۲}$	۱۱
آلایندگی غیر مستقیم کود دامی	$۲/۶\times۱۰^{-۴}$	۰/۱
مجموع الایندگی کل مرحله تولید گوجه فرنگی	۰/۲۱۷۷	



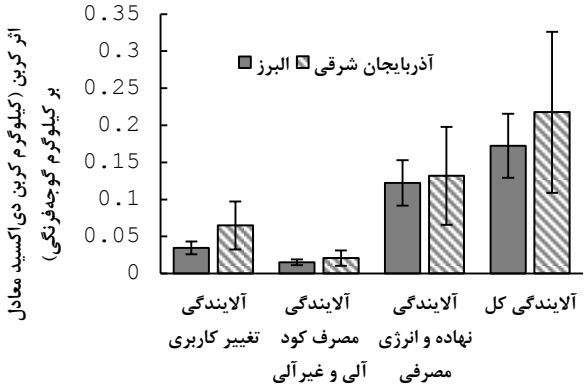
شکل ۲ . تغییرات در منابع مختلف آلایندگی گازهای گلخانه‌ای در تولید محصول گوجه‌فرنگی مزرعه‌ای در ایران
مرکز جعبه‌ها برابر با میانگین، لبه‌های پایینی و بالایی جعبه‌ها به ترتیب بیانگر بیست و پنجمین و هفتاد و پنجمین درصد و زبانه‌های بالایی و پایینی به ترتیب بیانگر پنجمین و نود و پنجمین درصد از داده‌ها می‌باشد.

شکل ۳ مقایسه دو استان البرز و آذربایجان شرقی را از نقطه نظر منابع مختلف آلایندگی در کشت گوجه‌فرنگی مزرعه‌ای نشان می‌دهد. نتایج آزمون تی استیودنت حکایت از تفاوت معنی‌دار برای دو منطقه در تمامی منابع آلایندگی داشت. همانگونه که مشاهده می‌شود در تمامی منابع آلایندگی، استان البرز مقادیر میانگین کمتری در مقایسه با آذربایجان شرقی

www.SID.ir

Archive of SID

داشته است. آنچه که از شکل ۳ قابل برداشت است دو نکته می‌باشد. اول اینکه مقدار اثر کربن در استان البرز کمتر از آذربایجان شرقی است که نشان‌دهنده این است که شیوه تولید و مقدار مصرف نهاده در مقایسه با مقدار عملکرد در این استان بهتر است و دوم اینکه دامنه تغییرات در اثر کربن در این استان کمتر است و بدین مفهوم است که مدیریت همسان و مشابهی در مزارع مختلف گوجه‌فرنگی در البرز در مقایسه با آذربایجان شرقی وجود دارد. عملکرد بالاتر و همچنین مدیریت بهتر نهاده و سامانه کشت مناسب‌تر در استان البرز از دلایل کمتر بودن اثر کربن به شمار می‌رود. علاوه بر کمتر بود میانگین اثر کربن در استان البرز، میزان پراکنش داده‌ها نیز در این استان در مقایسه با استان دیگر کمتر می‌باشد که نشان دهنده این امر است که نیاز به تغییرات گسترده و بیشتر مدیرتی در فرایند تولید گوجه‌فرنگی در آذربایجان شرقی در مقایسه با البرز می‌باشد.



شکل ۳ . مقایسه‌ی میزان آلایندگی گازهای گلخانه‌ای در تولید محصول گوجه‌فرنگی مزرعه‌ای در دو استان البرز و آذربایجان شرقی در ایران. زبانه‌های پایینی و بالایی به ترتیب بیانگر پنجمین و نود و پنجمین درصد از داده‌ها می‌باشد.

همانگونه که گفته شد سهم الکتریسیته (آبیاری) در اثر کربن کل در کشت گوجه‌فرنگی بالا می‌باشد بنابراین لازم است سامانه‌های آبیاری مختلف موجود در منطقه مورد بررسی قرار بگیرد. در شکل ۴ مقایسه دو سامانه آبیاری سنتی (جوی و پشته و سطحی) و پیشرفته (قطره‌ای) از نقطه نظر منابع مختلف آلایندگی در کشت گوجه‌فرنگی مزرعه‌ای نشان داده شده است. نتایج آزمون تی استیودنت حکایت از مقادیر معنی‌دار بالاتر اثر کربن برای آبیاری سنتی در مقایسه با آبیاری نوین داشت. پراکنش اثر کربن در سامانه سنتی آبیاری نیز بیشتر گزارش شد. عملکرد پایین‌تر و همچنین مصرف بالای آب در سامانه سنتی در مقایسه با سامانه پیشرفته آبیاری از دلایل تفاوت معنی‌دار در مقادیر اثر کربن است. آشکار است استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای با توجه به تأثیرات زیست محیطی پایین‌تر در مقایسه با سامانه سنتی و قدیمی لازم است در اولویت اجرایی کشاورزان گوجه‌کار قرار گیرد. استفاده از مالچ در سامانه آبیاری نوین اگرچه در ابتدا موجب افزایش اثر کربن کل می‌شود اما بدلیل کاهش آبشویی در نتیجه باران‌های شدید در مجموع موجب مصرف کمتر کود ازته می‌گردد (Hochmuth *et al*., 2008). علاوه براین وجود مالچ میزان تبخیر و به تبع آن نیاز به آبیاری را کاهش می‌دهد (Simonne *et al*., 2010).

شکل ۴ . مقایسه‌ی میزان آلایندگی گازهای گلخانه‌ای در تولید محصول گوجه‌فرنگی مزرعه‌ای در دو سامانه آبیاری سنتی و پیشرفته. زبانه‌های پایینی و بالایی به ترتیب بیانگر پنجمین و نود و پنجمین درصد از داده‌ها می‌باشد.

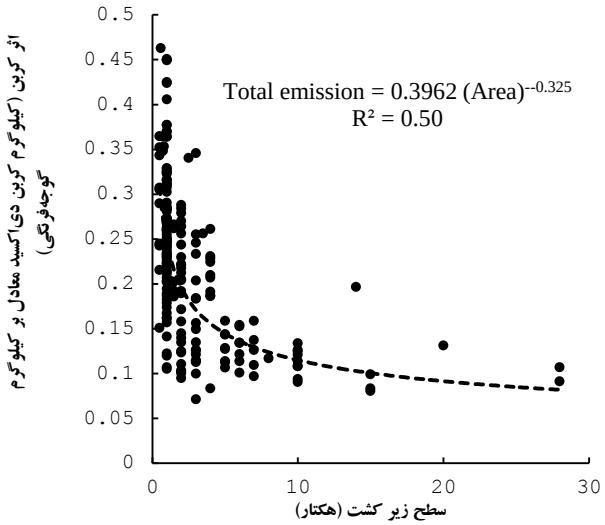
از آنجا که مدیریت بهتر نهاده در عملکرد محصول تأثیر مستقیم می‌گذارد و از سوی دیگر چون عملکرد محصول، خود در شاخص اثر کربن دخالت دارد لذا بهتر است رابطه‌ی بین عملکرد و اثر کربن بررسی شود. در شکل ۵ نتایج بررسی رابطه اندازه‌ی مزارع گوجه فرنگی و مقدار اثرکربن ارائه شده است. با افزایش سطح زیر کشت میزان اثر کربن کاهش پیدا می‌کند (شکل ۵ الف). در سطوح پایین (کمتر از ۱ هکتار) پراکنش مقادیر اثر کربن بسیار زیاد بوده (شکل ۵ الف) و هرچه مزارع بزرگتر می‌شوند مدیریت نهاده و ستانده مشابهی به اجرا در می‌آید و مقدار اثر کربن در مزارع بزرگتر (بزرگتر از ۷ هکتار) تقریباً برابر ۰/۱ کیلوگرم کربن‌دی‌اکسید معادل بر کیلوگرم گوجه‌فرنگی می‌شود. این مسئله در قسمت (ب) شکل ۵ که مقایسه میانگین سطوح مختلف کشت در آزمون دانکن است به صورت کامل نشان داده شده است. همانگونه که دیده می‌شود در تمامی سطوح چهارگانه کشت تفاوت معنی‌داری (در سطح ۵ درصد آزمون F) از نظر مقدار اثر کربن مشاهده شد. مشاهدات میدانی حکایت از این داشت که هر چه اندازه مزارع در منطقه مورد بررسی افزایش پیدا می‌کند مدیریت یکپارچه‌تر و دقیق‌تری در مزارع اعمال می‌شود، به گونه‌ای که در مزارع بیش

www.SID.ir

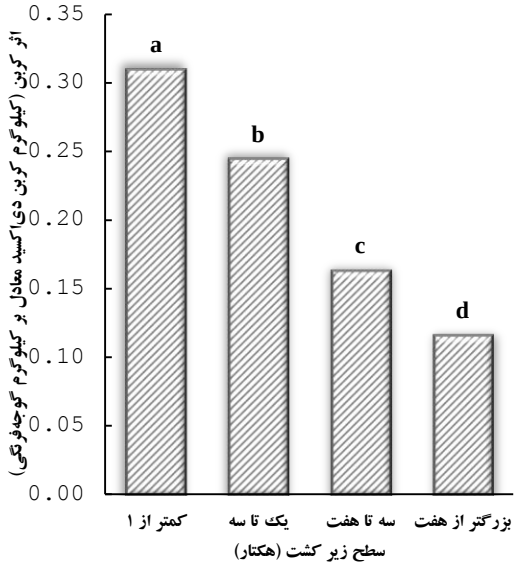
Archive of SID

از هفت هکتار مدیر مزرعه از دفتر ثبت مصرف نهاده و عملکرد استفاده می‌کرد. تمامی نهاده‌های مصرفی به دقت ثبت می‌شد و نظارت کامل بر روند تولید وجود داشت. مزراع کوچک (یک هکتار و کمتر)، بیشتر مزارع اجاره‌ای بوده و صحبت با مدیران این مزارع نشان از تجربه کم و ناکافی آن‌ها در کشت گوجه‌فرنگی داشت.

(الف)



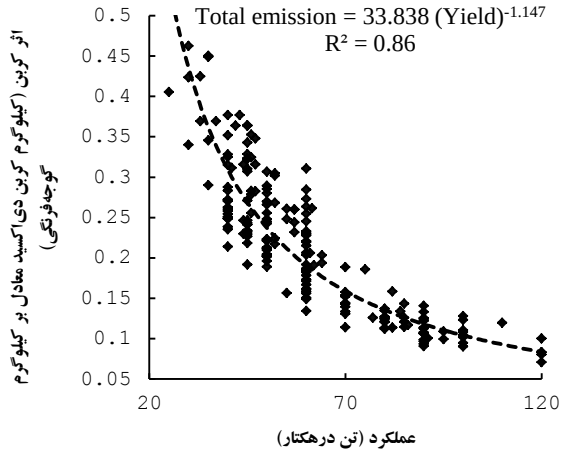
(ب)



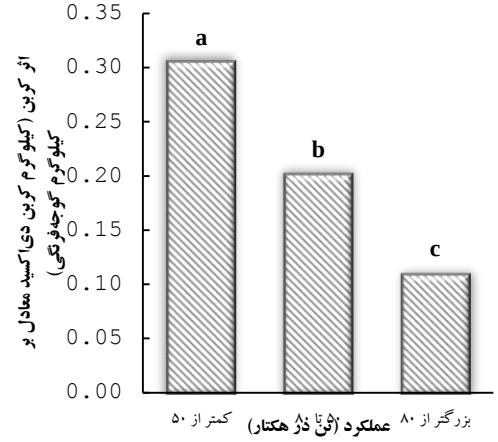
شکل ۵. رابطه بین سطح زیر کشت و اثر کربن (الف) و مقایسه میانگین اثر کربن در سطوح مختلف کشت گوجه‌فرنگی (ب)

تغییرات اثر کربن در نتیجه تغییرات عملکرد در کشت گوجه‌فرنگی در شکل ۶ نمایش داده شده است. تفاوت بین سه سطح عملکرد معنادار مشاهده شد. تغییرات و رابطه‌ی بین عملکرد و اثر کربن نشان می‌دهد که با افزایش عملکرد مقدار اثر کربن کاهش می‌یابد. بدلیل اینکه عملکرد در مخرج شاخص اثر کربن وجود دارد می‌توان رابطه‌ی نزولی و کاهشی را انتظار داشت اما از آنجا که این رابطه به صورت غیر خطی با دقت بالایی (ضریب تبیین ۸۶ درصد) بدست آمده است نشان دهنده این مطلب است که اثر عملکرد بصورت فزاینده بر مقدار اثر کربن تأثیرگذار است. با تلفیق شکل ۵ و ۶ می‌توان این استدلال را بیان کرد که در مزارع بزرگتر به دلایل مختلف همچون سرمایه‌گذاری بالاتر و وجود مدیران با تجربه بیشتر، مدیریت نهاده و نظارت بر فرایند تولید به شکل بهتری در مقایسه با مزارع کوچکتر انجام می‌شود. بدین ترتیب به صورت همزمان مصرف کمتر نهاده و عملکرد بالاتر محصول گوجه‌فرنگی را در مزارع بزرگتر در مقایسه با مزارع کوچکتر شاهد هستیم. مزارع کوچک معمولاً به صورت اجاره‌ای بوده و کشاورزان در این مزارع از تجربه کافی برخوردار نمی‌باشند و از این رو مدیریت ضعیف‌تری در این مزارع شاهد هستیم.

(الف)



(ب)



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر کربن در سطوح مختلف عملکرد گوجه‌فرنگی (الف) و رابطه بین عملکرد و اثر کربن (ب)

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه گیری و پیشنهادها

تحقیق حاضر به بررسی و مطالعه فرایند تولید گوجه‌فرنگی مزرعه‌ای در دو استان البرز و آذربایجان شرقی از دیدگاه زیست محیطی پرداخته و به صورت اختصار به نتایج زیر دست یافته است:

میانگین اثر کربن در چرخه‌ی زندگی محصول رب گوجه‌فرنگی ۳/۰۲ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل محاسبه شد. بیشترین سهم با مقدار ۰/۸۷ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل به ازای یک کیلوگرم رب متعلق به فرایند کشت و تولید گوجه‌فرنگی بود. در جایگاه بعدی نیز نهاده‌های قوطی کنسرو و الکتریسیته به ترتیب با مقدار ۰/۷۵ و ۰/۷۳ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل به ازای یک کیلوگرم رب قرار داشتند. میانگین اثر کربن مزارع گوجه‌فرنگی برابر با ۰/۲۲ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل به ازای یک کیلوگرم گوجه‌فرنگی گزارش شد که در بین منابع آلاینده، بیشترین سهم (۶۱ درصد) متعلق به گروه مواد و انرژی مصرفی بود. در گروه مواد و انرژی مصرفی نهاده‌های الکتریسیته و کود شیمیایی و سموم مصرفی به ترتیب با ۷۴ و ۱۸ درصد بیشترین آلایندگی را داشتند. مقایسه شاخص اثر کربن در کشت گوجه‌فرنگی در دو استان البرز و آذربایجان حکایت از تولید پاک‌تر در استان البرز داشت. در شرایط مشابه مقایسه دو سامانه آبیاری سنتی و پیشرفته نشان داد که بدلیل عملکرد بالاتر و میزان نهاده مصرفی کمتر، سامانه آبیاری پیشرفته به صورت معنی‌داری از نظر شاخص اثر کربن بهتر از سامانه آبیاری سنتی است. رابطه رگرسیونی بین شاخص اثر کربن و عملکرد و سطح زیر کشت به ترتیب با ضرایب تبیینی برابر با ۰/۸۶ و ۰/۵۰ تخمین زده شد. نتایج حکایت داشت که کمترین میزان میانگین اثر کربن در سطوح بالای کشت ۷ هکتار قابل دست یافتن است که دلیل آن مدیریت بهتر نهاده و عملکرد بالاتر محصول گوجه‌فرنگی در آن مزارع می‌باشد.

با توجه به مشاهدات صورت گرفته و نظر کارشناسان و نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر، توصیه می‌گردد یکپارچه سازی مزارع به منظور بهبود مدیریت نهاده و کنترل بهتر و بیشتر فرایند تولید مورد توجه بیشتر تصمیم‌گیران کلان قرار گیرد و با ایجاد مشوق‌های مختلف به روند آن سرعت بخشند. استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای بجای سامانه‌های متداول سطحی همچون جوی و پشته‌ای به صورت ویژه مورد توجه مسئولین و کشاورزان قرار گیرد. توصیه می‌شود با انجام دوره‌ای آنالیز خاک زراعی و تعیین محتوای عناصر موجود در خاک میزان دقیق کود شیمیایی مورد نیاز برای مزارع هر منطقه مشخص شود. رعایت و اصلاح تناوب زراعی و استفاده از گیاهان خانواده لگوم به منظور افزایش ذخیره نیتروژن موجود در خاک می‌تواند به بهبود ذخایر ازت موجود در خاک‌های دو استان کمک نموده و از مصرف زیاد کودهای شیمیایی بکاهد.

REFERENCES

Abubakar, M. S., Umar, B., Ahmad, D. (2010). Energy Use Patterns in Tomato Paste Production: A case study of Savannah Integrated Farms Limited, Dadin–kowa, Gombe State, Nigeria. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS*, 10(01), 16-22.

Agrammon Group (2009). *Technical process description AGRAMMON-draft*, Retrieved December 2015, from http://www.agrammon.ch.

Anton, A., Torrellas, M., Nunez, M., Sevigne, E., Amores, M. J., Munoz, P., J. Montero, I. (2014). Improvement of Agricultural Life Cycle Assessment Studies through Spatial Differentiation and New Impact Categories: Case Study on Greenhouse Tomato Production. *Environ. Sci. Technol.*, 48, 9454-9462.

Barati, Z., Nourozi, F. (2014). Official Document of Tomato Paste. Trade Promotion Organization of Iran. Retrieved December 2015, from http:// farsi.tpo.ir. (In Farsi)

Bestari Tjandr, T., Ng, R., Yeo, Z., Song, B. (2016). Frame work and methods to quantify carbon footprint based on an office environment in Singapore. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4183-4195.

Brodt, S., Kramer, K.J., Kendall, A., Feenstra, G., (2013). Comparing environmental impacts of regional and national-scale food supply chains: A case study of processed tomatoes. *Food Policy*, 42, 106-114.

Edenhofer O., *et al*. (2015). *Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press. Retrieved December 2015, from https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/.

FAO (2012). *Food and Agriculture Organization Statistics*. Retrieved December 2015, from http://faostat.fao.org.

Garnett, T. (2008). Cooking up a Storm. Food, Greenhouse Gas Emissions and Our Changing Climate. *Report of the Food Climate Research Network*. University of Surrey, United Kingdom.

Gibbs, H., Yui, S., Plevin, R. (2014). New Estimates of Soil and Biomass Carbon Stocks for Global Economic Models. *GTAP Technical Paper*, 33.

Global Carbon Atlas, (2015). Retrieved December 2015, from http:// www. globalcarbonatlas. org/? q=en/emissions

www.SID.ir

Archive of SID

Heidari, M. D., Omid, M. (2011). Energy use patterns and econometric models of major greenhouse vegetable productions in Iran. *Energy*, 36, 220-225.

Hiederer, R. and Köchy, M. (2011). Global Soil Organic Carbon Estimates and the Harmonized World Soil Database: *Publications Office of the European Union*, (EUR 25225 EN, 2). (pp. 79).

Hochmuth, G.C., Hochmuth, R.C. and Olson, S.M. (2008). Polyethylene Mulching for Early Vegetable Production in North Florida. Florida Cooperative Extension Service, University of Florida, Gainesville, FL, USA.

IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 11: N2O emissions from managed soils, and CO2 emissions from lime and urea application: *Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA*: Cambridge University Press.

ISO (2006). ISO 14040 International Standard. *In: Environmental Management–Life Cycle assessment– Principles and Framework*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Janzen, H. H. (2004). Carbon cycling in earth systems-a soil science perspective. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 104, 399-417.

Jones, C. D., Fraisse, C.W., Ozores-Hampton, M. (2012). Quantification of greenhouse gas emissions from open field-grown Florida tomato production. *Agricultural Systems*, 113, 64-72.

Karakay, A., Özilgen, M. (2011). Energy utilization and carbon dioxide emission in the fresh, paste, whole-peeled, diced, and juiced tomato production processes. *Energy*, 36, 5101-5110.

Maraseni, T. N., Cockfield, G., Maroulis, J., Chen, G. N. (2010). An assessment of greenhouse gas emissions from the Australian vegetables industry. *Journal of Environmental Science and Health, Part B- Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*, 45(6), 578-588.

Martinez-Blanco, J., Munoz, P., Anton, A., Rieradevall, J. (2011). Assessment of tomato Mediterranean production in open-field and standard multi-tunnel greenhouse, with compos tor mineral fertilizers, from an agricultural and environmental stand point. *Journal of Cleaner Production*, 19(9-10), 985-997.

Mosier, A. R., Duxbury, J. M., Freney, J. R., Heinemeyer, O., Minami, K. & Johnson, D. E. (1998). Mitigating agricultural emissions of methane. *Climate Change*, 40, 39-80.

Mota, C., Alcaraz-López, C., Iglesias, M., Martínez-Ballesta, M.C. and Carvajal, M. (2010). Investigation into CO2 Absorption of the Most Representative Agricultural Crops of the Region of Murcia. *CSIC (Consejo Superior de Investigations Scientifics)*, Madrid, Spain, from *http://www.lessco2.es/pdfs/noticias/ponencia_cisc_ingles.pdf* Muñoz, P. *et al*. (2008). Comparing the environmental impacts of greenhouse versus open-field tomato production in the Mediterranean region. *Acta Horticulturae* (ISHS), 801, 1591-1596.

Myhre, G., *et al*. (2013) Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York*, NY, USA.

Nemecek, T., Schnetzer, J., Reinhard, J. (2015) Updated and harmonized greenhouse gas emissions for crop inventories. *International Journal of Life Cycle Assess*, DOI: 10.1007/s11367-014-0712-7.

Notarnicola, B., Hayashi, K., Curran, M. A., Huisingh, D. (2012). Progress in working towards a more sustainable Agri-food industry. *Journal of Cleaner and Production*, 28, 1-8,

Omid, M., Ghojabeige, F., Delshad, M., Ahmadi, H. (2011). Energy use pattern and benchmarking of selected greenhouses in Iran using data envelopment analysis. *Energy Conversion and Management*, 52, 153-162.

Page, G., Ridoutt, B., Bellotti, B. (2012). Carbon and water footprint tradeoffs in fresh tomato production. *Journal of Cleaner Production*, 32, 219-226.

Rebitzer G., *et al*., (2004). Life cycle assessment part 1: framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environ Int.*, 30(5), 701-20.

Reganold, J. P., Glover, P. K., Andrews, P. K., Hinman, H. R. (2001). Sustainability of three apple production systems. *Nature*, 410, 926-929.

Ruesch, A., Gibbs, H. K. (2008). New IPCC Tier-1 Global Biomass Carbon Map for the Year 2000. Retrieved December 2015, from http://cdiac.ornl.gov.

Searchinger T., *et al*. (2008). Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science*, 319, 1238-1240.

Sefeedpari, P., Ghahderijani, M., Pishgar-Komleh, S. H. (2013). Assessment the effect of wheat farm sizes on energy consumption and CO2 emission. *Journal of Renewable Sustainable Energy*, 5, 1-15.

Simonne, E.H., Dukes, M.D. and Zotarelli, L. (2010). Principles and practices of irrigation management for vegetables. In: Olson, S.M., Santos, B. (Eds.), Vegetable Production Handbook for Florida 2010-2011. University of Florida, Gainesville, FL, USA.

Smith P., *et al*. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 363, 789-813.

Wiedmann, T. M. J. (2007). A Definition of Carbon Footprint. *Dunham, United Kingdom: ISAUK*, Research Report 07-01.

www.SID.ir