

ارزیابی چرخه حیات تولید پنبه در استان گلستان مبتنی بر تولید زیست توده، انرژی، و کسب درآمد

مهدی خجسته پور^{۱*}، علیرضا طاهری راد^۲، و امین نیکخواه^۲

۱. دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۵/۱۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۰/۷)

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی تأثیرات زیست محیطی تولید پنبه در استان گلستان با روش ارزیابی چرخه حیات بود. اطلاعات اولیه از پنبه کاران گلستانی از طریق پرسشنامه و به صورت حضوری در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ جمع آوری شد. پرسشنامه‌ها حاوی سؤالاتی درباره میزان مصرف نهاده‌های گوناگون و عملکرد پنبه در منطقه بودند. تأثیرات زیست محیطی براساس سه واحد کارکردی تولید یک تن زیست توده، تولید ۱۰۰۰ مگاژول انرژی، و کسب ده هزار تومان درآمد خالص بررسی شدند. تأثیرات زیست محیطی در قالب هفت گروه تأثیر گرمایش جهانی، اسیدیته، اوتریفیکاسیون خشکی، تخلیه منابع فسیلی، تخلیه منابع آبی، تخلیه منابع فسفات، و تخلیه منابع پتاس بررسی شدند. نتایج نشان داد که اوتریفیکاسیون خشکی و تخلیه منابع فسیلی به ترتیب بیشترین پتانسیل آسیب به محیط زیست را در قالب گروه‌های تأثیر زیست محیطی و تخلیه منابع داشتند. شاخص زیست محیطی (EcoX) برای تولید یک تن زیست توده، تولید ۱۰۰۰ مگاژول انرژی، و کسب ده هزار تومان درآمد خالص به ترتیب ۰/۸۳۲، ۰/۰۴۸، و ۰/۰۳۶ محاسبه شد. شاخص تخلیه منابع (RDI) نیز برای تولید این سه واحد کارکردی به ترتیب ۶/۸۲۵، ۰/۳۹۶، و ۰/۲۹۶ به دست آمد.

کلیدواژگان: آلاینده، تخلیه منابع، درآمد، گرمایش جهانی و محیط زیست.

مقدمه

افزایش بازده تولید محصولات کشاورزی با توجه به روند افزایش جمعیت و در نتیجه آن افزایش تقاضای امری ضروری و شناخته شده است. حال آن که مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و افزایش سطح مکانیزاسیون و در نتیجه آن افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی علاوه بر دستیابی به این هدف سبب ورود ترکیباتی به هوا، آب، و خاک شده است که موجب آسیب به محیط زیست می‌شوند. از این تأثیرات زیست محیطی می‌توان به انتشار گازهای گلخانه‌ای اشاره کرد که مصرف سوخت‌های فسیلی بیش از ۷۵ درصد در انتشار آن سهم دارند (Snyder et al., 2009). همچنین برآورد شده است که ۲۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به فعالیت‌های کشاورزی است (Brentrup et al., 2000).

الگوی مصرف نهاده‌های تولیدی از مسائل مهمی است که عدم توجه کافی به آن می‌تواند باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی شود. در روش‌های مرسوم کشاورزی اتلاف نهاده‌هایی همچون کودهای شیمیایی در اثر مصرف بی‌رویه،

نابه‌هنگام، و نامتعادل باعث ورود ترکیباتی به آب و خاک

می‌شود که سلامت و بهداشت جامعه را تهدید می‌کند.

پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) به‌عنوان یکی از دانه‌های روغنی، ماده خام بالقوه برای تولید سوخت بیودیزل محسوب می‌شود (Ahmad et al., 2011). شرایط مناسب آب‌وهوایی و خاک منطقه برای کشت پنبه سبب شده است تا کشورهای همسایه ایران مانند ترکیه و ترکمنستان به ترتیب هفتمین و نهمین تولیدکننده عمده این محصول در دنیا باشند (FAO, 2011). در زمان حاضر سطح زیر کشت پنبه در ایران ۱۲۳ هزار هکتار است که استان گلستان با ۱۵/۳ درصد، رتبه دوم سطح زیر کشت پنبه در کشور را به خود اختصاص داده است (Anonymous, 2011; Anonymous, 2011b). کشت پنبه از سالیان گذشته در این منطقه رایج بود. برای نمونه سطح زیر کشت پنبه استان گلستان در سال ۱۳۷۵ بیش از ۱۳۳ هزار هکتار بوده است (Anonymous, 2011; Anonymous, 2011b). هنگامی که در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید محصولات کشاورزی بحث می‌شود، این موضوع بیان می‌شود که گیاه در طول دوره فرایند فتوسنتز مقداری دی‌اکسیدکربن جذب می‌کند، ولی می‌بایست این موضوع را در نظر گرفت که بخش کشاورزی در حدود ۳۶/۶۵ درصد انتشار گاز گلخانه‌ای

در استان گیلان، تأثیرات سوء زیست‌محیطی تولید توت‌فرنگی گلخانه‌ای در همه موارد به جز اسیدیته و اوتریفیکاسیون خشکی بیشتر از میزان این تأثیرات در تولید توت‌فرنگی در فضای باز بود (Khoshnevisan *et al.*, 2013). Khorramdel *et al.* (2014) با ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید گندم کشور اظهار داشتند که مصرف نیتروژن تا ۲۲۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برای بوم‌نظام‌های آبی و دیم، موجب بهبود عملکرد دانه شد، ولی افزودن بیش از این میزان، تأثیر زیادی بر عملکرد دانه نداشت. بنابراین، استفاده بیش از این مقادیر از کود نیتروژن، فقط تأثیرات مخرب زیست‌محیطی را در پی خواهد داشت.

هدف از این مطالعه بررسی تأثیرات زیست‌محیطی تولید پنبه در استان گلستان، برآورد میزان انتشار آلاینده‌ها در فرایند تولید پنبه به محیط زیست، و ارائه راهبردهایی در زمینه کاهش تأثیرات زیست‌محیطی تولید پنبه در این منطقه است. بنابراین، در این مطالعه تأثیرات زیست‌محیطی تخلیه منابع آبی، منابع فسیلی، منابع فسفات^۵، منابع پتاس^۶، گرمایش جهانی، اسیدیته، و اوتریفیکاسیون خشکی به‌زای کسب ده هزار تومان درآمد، هزار مگاژول انرژی، و همچنین تولید یک تن پنبه بررسی شدند. با توجه به این که سطح زیر کشت پنبه در استان گلستان به‌طور محسوسی در حال کاهش است و کشاورزان این محصول را با محصولاتی همچون سویا، ذرت و کلزا جایگزین کرده‌اند، پاسخ به این پرسش که «آیا کشت پنبه در استان گلستان با توجه به عملکرد و درآمد حاصل در این منطقه از نظر زیست‌محیطی قابل توجیه است؟» از دیگر اهداف این پژوهش بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه‌شده و روش نمونه‌گیری

مناطق مطالعه‌شده گرگان، آق‌قلا و گنبد در استان گلستان بودند. برای تعیین تعداد افراد نمونه از فرمول کوکران (Snedecor and Cochran, 1989) بهره گرفته شد و براساس معادلات ۱ و ۲ حجم نمونه ۴۳ نفر تعیین شد. پرسشنامه‌ها حاوی سؤالاتی در زمینه مقدار نهاده‌های مصرفی و عملکرد پنبه بودند. پرسشنامه‌ها به‌صورت حضوری تکمیل شدند. اطلاعات خام از مطالعه قبلی اخذ شد (Taheri-Rad *et al.*, 2014).

$$n = \frac{N(s \times t)^2}{(N-1)d^2 + (s \times t)^2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

مهم نیترواکسید (N₂O) را به‌خود اختصاص می‌دهد (MOE, 2012). افزون بر این تأثیرات منفی زیست‌محیطی تولید محصولات کشاورزی فقط مربوط به گروه تأثیر گرمایش جهانی نیست. بلکه آلاینده‌های انتشاریافته در قالب گروه‌های تأثیر گوناگونی مانند اسیدیته، اوتریفیکاسیون، و تخلیه منابع، تأثیرات سوء زیست‌محیطی بر جا می‌گذارند. در بخش تولید محصولات کشاورزی نیز کشاورزان برای کسب درآمد بیشتر، از نهاده‌هایی با پتانسیل آلودگی زیست‌محیطی استفاده می‌کنند و در ازای کسب درآمدی مشخص آلاینده‌هایی تولید می‌کنند که این آلاینده‌ها در قالب گروه‌های تأثیر گوناگون، تأثیرات منفی بر محیط زیست باقی می‌گذارند.

با توجه به این که نهاده‌های مصرفی در بخش کشاورزی به‌صورت بالقوه تأثیرات زیست‌محیطی متفاوتی در قالب گروه‌های تأثیر گوناگون همچون گرمایش جهانی، اسیدیته، اوتریفیکاسیون، و تخلیه منابع بر جا می‌گذارند (Ntiamoah and Afrane, 2008; Nie *et al.*, 2010) و مضاف بر این که روش ارزیابی چرخه حیات (LCA) دارای این قابلیت است که چندین گروه تأثیر زیست‌محیطی را به‌طور همزمان در یک سامانه بررسی کند (Ashworth *et al.*, 2014; Bacenetti *et al.*, 2014)، بنابراین در سال‌های اخیر این روش برای ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی تولید محصولات زراعی مورد توجه محققان قرار گرفته است. Brentrup *et al.* (2001) معتقدند که روش ارزیابی چرخه حیات قادر است مشکلات فرایندهای نظام تولیدی از قبیل میزان مصرف منابع را مشخص و آن‌ها را برطرف کند. در این راستا Buratti *et al.* (2009) با مطالعه تأثیرات زیست‌محیطی نظام تولید سورگوم در دو شرایط کشت دیم و آبی گزارش کردند که کاهش منابع، اوتریفیکاسیون، اسیدیته، و فرسایش خاک از تأثیرگذارترین پیامدها بودند و بین کاشت دیم و آبی تفاوت چندانی مشاهده نشد. در تحقیقی (Mirhaji *et al.*, 2013) تأثیرات زیست‌محیطی تولید گندم در منطقه مرودشت ایران را در قالب چهار گروه تأثیر گرمایش جهانی^۱، اسیدیته^۲، اوتریفیکاسیون خشکی^۳، و تخلیه منابع فسیلی^۴ بررسی کردند. آنها اظهار داشتند که در میان تأثیرات مطالعه‌شده، اوتریفیکاسیون خشکی بیش‌ترین گروه مستعد برای آسیب به محیط زیست در تولید گندم در این منطقه بود. در بررسی تأثیرات زیست‌محیطی تولید توت‌فرنگی گلخانه‌ای و فضای باز

1. Global warming
2. Acidification
3. Terrestrial eutrophication
4. Depletion of fossil resources

5. Depletion of phosphate resources
6. Depletion of potash resources

جدول ۱. ارزیابی اقتصادی تولید پنبه در استان گلستان

میانگین	واحد	
۲۶۵۰	کیلوگرم بر هکتار	عملکرد
۱۷۰۰	تومان بر کیلوگرم	قیمت فروش
۴۰۵۰۰۰	تومان بر هکتار	ارزش ناخالص تولید
۳۰۴۲۴۲۹	تومان بر هکتار	مجموع هزینه‌های متغیر
۸۵۱۸۸۰	تومان بر هکتار	مجموع هزینه‌های ثابت
۳۸۹۴۳۰۹	تومان بر هکتار	کل هزینه تولید
۱۴۶۲۵۷۱	تومان بر هکتار	درآمد ناخالص
۶۱۰۶۹۱	تومان بر هکتار	درآمد خالص

تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه

در این بخش تمام نهاده‌هایی که برای تولید محصول نیاز است و تمامی مقادیر آلاینده‌های انتشار یافته به محیط زیست در اثر استفاده از این نهاده‌ها، تعیین و بر مبنای واحدهای کارکردی محاسبه می‌شوند. در این مطالعه مصرف سوخت گازوییل، آب، کود نیتروژن، فسفات و پتاس به‌عنوان نهاده‌های ورودی مستعد آسیب به محیط زیست برای تولید پنبه شناخته شدند که در جدول ۲ سوخت گازوییل مصرفی برای تولید پنبه به تفکیک عملیات ارائه شده است، همچنین میانگین عملکرد پنبه در این منطقه در جدول ۱ مشخص شده است، میزان نیتروژن مؤثر ۴۶ درصد کود اوره مصرفی در نظر گرفته شد (Erdal et al., 2007). در جدول ۳ میزان مصرف پنج نهاده سوخت دیزل، آب، کود نیتروژن، کود فسفات، کود پتاس به‌ازای سه واحد کارکردی شامل تولید یک تن پنبه، تولید ۱۰۰۰ مگاژول انرژی، و کسب ده هزار تومان درآمد خالص آورده شده است. در جدول ۴ نیز میانگین عملکرد پنبه در منطقه و همچنین انرژی معادل آن نیز ارائه شده است.

از آنجا که که اندازه‌گیری میزان دقیق آلاینده‌های انتشار یافته ناشی از کاربرد نهاده‌های تولیدی با چالش‌هایی روبه‌رو است و با توجه به خاک، آب، و هوا میزان انتشار تغییر می‌یابد (Brenttrup et al., 2000). بنابراین در این مطالعه از ضرایب انتشار آلاینده‌ها استفاده شد که با این کار مقایسه تأثیرات زیست‌محیطی تولید محصولات گوناگون در نقاط تولیدی متفاوت قابل حصول است. میزان انتشار مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسید کربن CO₂، اکسید نیتروژن N₂O، و متان CH₄ از سوختن هر لیتر گازوییل طبق مطالعات صورت گرفته (Tzilivakis et al., 2005) به ترتیب برابر ۲/۷۳، ۱۸/۱×۱۰^{-۶} و ۱۷۳×۱۰^{-۶} کیلوگرم است و میزان انتشار آلاینده‌های SO₂ و NO_x به‌ازای سوختن هر لیتر گازوییل به ترتیب برابر ۲۲/۲×۱۰^{-۳} و ۴×۱۰^{-۳} کیلوگرم است (Dehghani, 2007).

$$d = \frac{t \times s}{\sqrt{n}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این معادلات، t: ۱/۹۶ (در سطح اطمینان ۹۵ درصد)، s: پیش برآورد انحراف معیار جامعه، d: دقت احتمالی مطلوب، N: حجم جامعه، و n: حجم نمونه است.

روش ارزیابی چرخه حیات

این روش بر پایه استاندارد ISO 14040 اجرا می‌شود و به‌طور کلی به چهار بخش بیان هدف و واحد مرجع، تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه، ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی و تفسیر آن‌ها تقسیم‌بندی می‌شود (Iriarte et al., 2010; Khoshnevisan et al., 2014). در ذیل این چهار بخش به تفکیک آورده شده است:

بیان هدف و واحد کارکردی

در ابتدا می‌بایست هدف از پژوهش مشخص باشد. در این مطالعه هدف از پژوهش بررسی تأثیرات زیست‌محیطی تولید پنبه در استان گلستان به روش ارزیابی چرخه حیات در قالب گروه‌های تأثیر تخلیه منابع آبی، منابع فسیلی، منابع فسفات، منابع پتاس، گرمایش جهانی، اسیدیته، و هوپرورش خشکی بود. سپس واحد کارکردی^۱ تعیین می‌گردد. در مطالعاتی مشابه روی بررسی تأثیرات زیست‌محیطی تولید محصولات کشاورزی، واحد مرجع تولید یک تن محصول یا تولید در واحد سطحی مشخص یا تولید مقداری مشخص انرژی در نظر گرفته شده است (Buratti et al., 2009; Nikkhal et al., 2014; Bojacá et al., 2014; Khoshnevisan et al., 2014b; Romero-Gómez et al., 2014). در این مطالعه سه واحد کارکردی بررسی شد، واحد مرجع اول، دوم، و سوم به ترتیب تولید یک تن محصول، تولید هزار مگاژول انرژی، و کسب ده هزار تومان درآمد خالص برای کشاورز بودند. کسب مقدار مشخصی درآمد برای اولین بار در این مطالعه به‌عنوان یک واحد کارکردی مدنظر قرار گرفت. در این راستا برای ارزیابی اقتصادی تولید پنبه در استان گلستان هزینه‌های متغیر، ثابت، و کل تولید بر واحد سطح محاسبه شدند. شاخص‌های اقتصادی ارزش تولید کل و درآمد خالص محاسبه شدند که اطلاعات مربوط به هزینه‌های درآمد کشاورزان از مطالعه قبلی اخذ شد (Taheri-Rad et al., 2014).

$$\text{قیمت محصول} \times \text{عملکرد} = \text{ارزش تولید کل} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$\text{هزینه کل تولید} - \text{ارزش تولید کل} = \text{درآمد خالص} \quad (\text{رابطه ۴})$$

جدول ۲. میانگین میزان مصرف سوخت به تفکیک نوع عملیات متفاوت، تاریخ، و تعداد دفعات استفاده شده برای تولید پنبه در استان گلستان

نوع عملیات	میانگین تعداد دفعات	مصرف سوخت (L.Ton-1)	میزان مصرف سوخت (L.ha-1)
شخم با گاوآهن برگردان دار	۱/۴۹	۱۲/۱۱	۳۲/۰۹
دیسک (۲ الی ۸ بار)	۴/۲۱	۱۵/۴۷	۴۱/۰۰
کاشت با ردیف کار چهارردیفه	۱	۵/۷۷	۱۵/۲۸
سم پاشی	۷/۸۴	۲۸/۳۹	۷۵/۲۳
کود پاشی	-	۱۱/۱۵	۲۹/۵۶
آبیاری	۲/۷۰	۸/۰۹	۲۱/۴۴
حمل و نقل	-	۷/۳۷	۱۹/۵۴
کل سوخت مصرفی	-	۸۸/۳۵	۲۳۴/۱۴

جدول ۳. میزان مصرف نیتروژن، فسفات، پتاس، آب و سوخت گازوییل برای تولید یک تن پنبه، کسب ده هزار تومان درآمد و ۱۰۰۰ مگاژول انرژی

منابع	میزان مصرف (واحد بر تن)	میزان مصرف (واحد بر ۱۰۰۰ مگاژول انرژی تولیدی)	میزان مصرف (واحد بر ده هزار تومان درآمد)
سوخت دیزل	۸۸/۳۵ lit/1000 kg	۵/۱۲ lit/1000 MJ	۳/۸۳ lit
نیتروژن (N)	۲۱/۳۸ kg/1000 kg	۱/۲۴ kg/1000 MJ	۰/۹۳ kg
فسفات (P ₂ O ₅)	۹/۲۶ kg/1000kg	۰/۵۴ kg/1000 MJ	۰/۴۰ kg
پتاس (K ₂ O)	۲/۵۴ kg/1000 kg	۰/۱۵ kg/1000 MJ	۰/۱۱ kg
آب	۷۲۹/۵۱ m ³ /1000 kg	۴۲/۲۹ m ³ /1000 MJ	۳۱/۶۶ m ³

جدول ۴. عملکرد پنبه و انرژی حاصل از آن در یک هکتار

نوع محصول	انرژی خروجی (MJha ⁻¹)	عملکرد (kg.ha ⁻¹)	انرژی معادل (MJ.kg ⁻¹)
الیاف	۱۲۳۲۲/۵	۷۹۵	(Tsatsarelis, 1991; Pishgar-Komleh et al., 2012) 15.5
پنبه دانه	۳۳۳۹۰/۰	۱۸۵۵	(Tsatsarelis, 1991; Pishgar-Komleh et al., 2012) 18
مجموع انرژی خروجی	۴۵۷۱۲/۵	۲۶۵۰	-

می‌باید (Snyder et al., 2009). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد میزان انتشار NOx به اتمسفر برابر ۱۰ درصد میزان N₂O است (Gasol et al., 2007).

ارزیابی تأثیرات

هدف از مرحله سوم (ارزیابی تأثیرات) تفسیر بیشتر ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه تولید محصول است که به سه زیربخش طبقه‌بندی^۲، نرمال‌سازی^۳، و وزن‌دهی^۴ تقسیم‌بندی می‌شود (Brenttrup et al., 2004a). در مرحله طبقه‌بندی هر یک از مقادیر انتشار یافته به محیط‌زیست و منابع استفاده شده در چرخه حیات محصول، به اثر زیست‌محیطی مربوط نسبت داده می‌شود، به این صورت که هر اثر زیست‌محیطی را به شکل یک گروه تأثیر فرض و ترکیبات مؤثر در آن گروه قرار می‌گیرد. در

یکی از آلاینده‌های اصلی انتشار یافته از مصرف کود نیتروژن، آمونیاک است، نزدیک به ۹۰ درصد میزان جهانی تصعید آمونیاک مربوط به بخش کشاورزی است (Brenttrup et al., 2000). فاکتور انتشار آمونیاک از اوره در این مطالعه به علت فقدان بررسی‌های لازم، برابر متوسط اروپا و آمریکا در نظر گرفته شد، بر این اساس حدود ۱۷ درصد از کل نیتروژن مصرفی در قالب کود معدنی اوره به صورت NH₃-N تصعید می‌شود (Goebes et al., 2003; Brenttrup et al., 2000). انتشار N₂O از میزان نیتروژن خاک پیروی می‌کند و به تعامل بین رطوبت خاک و دسترس بودن نیتروژن خاک بستگی دارد (Snyder et al., 2009). براساس گزارش مجمع بین‌المللی تغییرات آب‌وهوایی (IPCC)^۱ در سال ۲۰۰۶، یک درصد از کل نیتروژن کود نیتروژن مصرف شده در هکتار به صورت N₂O-N انتشار

2. Characterization index

3. Normalization index

4. Final index

1. Intergovernmental Panel on Climate Change

پس از تعیین شاخص طبقه‌بندی هر گروه تأثیر برای درک بهتر اهمیت مقادیر به‌دست‌آمده از مرحله نرمال‌سازی استفاده شد و شاخص طبقه‌بندی هر گروه با شاخص‌های مرجع مقایسه شد. در واقع هدف این مرحله بی‌بعد کردن داده‌ها است (Brenttrup et al., 2004a). در انتها نیز فاکتورهای وزن‌دهی پتانسیل آسیب هر گروه تأثیر را نشان می‌دهد. بزرگ‌تر بودن این فاکتور نشان می‌دهد که این گروه، پتانسیل بیشتری برای آسیب به محیط زیست دارد. فاکتورهای وزن‌دهی گروه‌های تأثیر در جدول ۶ ارائه شده است.

این مرحله پس از طبقه‌بندی تأثیرات باید شاخص هر گروه تأثیر محاسبه شود. شاخص هر گروه تأثیر i از معادله ۳ به‌دست می‌آید (Nikkhah et al., 2014).

$$ICI_i = \sum_j [(E_j \text{ or } R_j) \times CF_{i,j}] \quad (\text{رابطه ۳})$$

E_j or R_j : انتشار ترکیب j یا مصرف منبع j بر هر واحد کارکردی، $CF_{i,j}$: فاکتور طبقه‌بندی برای ترکیب، و i : سهم در گروه تأثیر i است. فاکتور طبقه‌بندی در هر گروه تأثیر نشان‌دهنده پتانسیل آن ترکیب در ایجاد اثر مشخص شده است. کارایی هر ترکیب در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵. طبقه‌بندی تأثیرات

منبع	کارایی هر ترکیب	ترکیبات	گروه تأثیر (واحد)
(Snyder et al., 2009)	CO ₂ =1, CH ₄ =21, N ₂ O=310	CO ₂ , N ₂ O و CH ₄	گرمایش جهانی (kg CO ₂ eq)
(Brenttrup et al., 2004a)	SO ₂ =1.2, NO _x =0.5, NH ₃ =1.6	SO ₂ , NO _x و NH ₃	اسیدیته (kg SO ₂ eq)
(Khorramdel et al., 2014)	NH ₃ =4.4, NO _x =1.2	NO _x و NH ₃	اوتریفیکاسیون خشکی (kg NO _x eq)
(Brenttrup et al., 2004a)	۴۲/۸۶	مصرف سوخت دیزل	تخلیه منابع فسیلی (MJ)
(Brenttrup et al., 2004a)	۰/۲۵	مصرف فسفات	تخلیه منابع فسفات (kg P ₂ O ₅ eq)
(Brenttrup et al., 2004a)	۰/۱۰۵	مصرف پتاس	تخلیه منابع پتاسیم (kg K ₂ O eq)
(Buratti et al., 2009)	۱	مصرف آب	تخلیه منابع آب (m ³)

جدول ۶. فاکتورهای وزن‌دهی و نرمال‌سازی

منبع	فاکتور وزن‌دهی	فاکتور نرمال‌سازی (واحد)	گروه تأثیر
(Mirhaji et al., 2013)	۱/۰۵	8143 (kg CO ₂ eq)	گرمایش جهانی
(Mirhaji et al., 2013)	۱/۸	52 (kg SO ₂ eq)	اسیدیته
(Mirhaji et al., 2013)	۱/۴	63 (kg NO _x eq)	اوتریفیکاسیون خشکی
(Mirhaji et al., 2013)	۱/۱۴	39167 (MJ)	تخلیه منابع فسیلی
(Brenttrup et al., 2004a)	۱/۲۰	7.66 (kg P ₂ O ₅ eq)	تخلیه منابع فسفات
(Brenttrup et al., 2004a)	۰/۳۰	8.14 (kg K ₂ O eq)	تخلیه منابع پتاس
(Wang et al., 2010)	۰/۲۱	626.36 (m ³)	تخلیه منابع آبی

(Fallahpour et al., 2012).

$$EcoX = \sum_i [N_i \times WF_i] \quad (\text{رابطه ۴})$$

$EcoX$: شاخص زیست‌محیطی در واحد کارکردی برای تأثیرات زیست‌محیطی، N_i : نتایج نرمال‌سازی برای گروه تأثیر i در هر واحد کارکردی، و WF_i : فاکتور وزن‌دهی برای هر گروه تأثیر است.

شاخص زیست‌محیطی

هرچه شاخص زیست‌محیطی بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده پتانسیل بیشتر در آسیب به محیط زیست است، با ضرب کردن نتایج نرمال‌سازی هر گروه تأثیر در فاکتور وزن‌دهی مربوط به آن و سپس جمع آن‌ها، شاخص زیست‌محیطی برای یک محصول یا سامانه خاص طبق رابطه ۴ به‌دست می‌آید

شاخص تخلیه منابع

گروه‌های تأثیر مربوط به تخلیه منابع عمدتاً برای آیندگان مخاطراتی ایجاد می‌کنند. گروه‌های تأثیر تخلیه منابع آبی، فسیلی، فسفات، و پتاس چهار گروه تأثیر تخلیه منابع بودند. شاخص تخلیه منابع مطابق معادله ۵ محاسبه شد (Brentrop *et al.*, 2004a).

$$RDI = \sum_i (N_i \times WF_i) \quad (\text{رابطه ۵})$$

RDI: شاخص تخلیه منابع برای هر واحد کارکردی است.

نتایج و بحث

مصرف نهاده‌های آب، سوخت دیزل، کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفات، و پتاس برای تولید یک تن پنبه در استان گلستان به ترتیب ۷۲۹/۵۱ متر مکعب، ۸۸/۳۵ لیتر، و ۲۱/۳۸، ۹/۲۶، و ۲/۵۴ کیلوگرم بود (جدول ۳). (Pishgar *et al.*, 2012). مصرف این نهاده‌ها را برای تولید پنبه در استان البرز به ترتیب ۱۰۰/۱۱ متر مکعب، ۴۳/۲ لیتر، و ۲۱/۴، ۳۵/۸، و ۲۰/۳ کیلوگرم اعلام کردند. میزان آب مصرفی برای تولید پنبه در استان گلستان کم‌تر از تولید این محصول در استان البرز بود. متوسط بارندگی سالیانه استان گلستان در حدود ۴۵۰ میلی‌متر است (Anonymous, 2013)، ولی در عین حال اراضی کشاورزی استان گلستان تحت کشت محصولاتی با نیاز آبی نسبتاً بالا مانند برنج است که در سالیان اخیر کمبود آب برای کشت این محصولات چالش محسوب می‌شود. مصرف بیش‌تر سوخت دیزل در استان گلستان را می‌توان به تعداد دفعات دیسک‌زنی و سم‌پاشی نسبتاً زیاد برای تولید پنبه در منطقه نسبت داد. در جدول ۲ مصرف سوخت دیزل به تفکیک عملیات آورده شده

است. مقدار مصرف نهاده‌های آب، سوخت دیزل، و کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفات، و پتاس برای کسب ده هزار تومان درآمد از کشت پنبه به ترتیب ۳۱/۶۶ متر مکعب، ۳/۸۳ لیتر، و ۰/۹۳، ۰/۴۰، و ۰/۱۱ کیلوگرم به‌دست آمد (جدول ۳). همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار سوخت دیزل نسبتاً زیادی برای کسب ده هزار تومان مصرف می‌شود. این در حالی است که قیمت این نهاده انرژی در طی سال‌های اخیر افزایش یافته و این افزایش قیمت با اجرای فاز دوم طرح هدفمندسازی یارانه‌ها در سال ۱۳۹۳ روند روبه‌رشدی گرفته است. بنابراین به‌نظر می‌رسد در سال‌های آینده با افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی استفاده از این حجم سوخت مصرفی ادامه‌پذیر نخواهد بود. مقدار مصرف این نهاده‌ها برای تولید هزار مگاژول انرژی نیز به ترتیب معادل ۴۲/۲۹ مترمکعب، ۵/۱۲ لیتر، و ۱/۲۴، ۰/۵۴، و ۰/۱۵ کیلوگرم محاسبه شد.

میزان آلاینده‌های انتشار یافته ناشی از کشت پنبه در استان گلستان در جدول ۷ ارائه شده است. مقدار انتشار آلاینده‌های CO₂، N₂O، CH₄، NO_x، و SO₂ ناشی از مصرف سوخت دیزل برای تولید یک تن پنبه به ترتیب ۲۴۱/۲۱، ۰/۰۰۲، ۰/۰۱۵، و ۱/۹۶ کیلوگرم به‌دست آمد. همچنین میزان آلاینده‌های NH₃، N₂O، و NO_x از منبع کود آورده برای تولید یک تن پنبه به ترتیب ۴/۳۸، ۰/۶۶، و ۰/۰۶۶ کیلوگرم بود. براساس گزارش مجمع بین‌المللی تغییرات آب‌وهوایی در حدود ۱۳/۵ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای فعالیت‌های بشر ناشی از امور کشاورزی است (Bachmaier *et al.*, 2010; Carozzi *et al.*, 2013; Bacenetti *et al.*, 2014).

جدول ۷. آلاینده‌های انتشار یافته در جریان تولید پنبه در استان گلستان

منبع انتشار	ترکیبات انتشار یافته	میزان انتشار (کیلوگرم به‌ازای تولید ۱۰۰۰ مگاژول انرژی)	میزان انتشار (کیلوگرم به‌ازای کسب ده هزار تومان درآمد)	میزان انتشار (کیلوگرم به‌ازای تولید یک تن پنبه)
کود اوره	NH ₃	۰/۲۵۴۰	۰/۱۹۰۲	۴/۳۸۲۰
کود اوره	N ₂ O	۰/۰۳۸۴	۰/۰۲۸۷	۰/۶۶۲۲
سوخت دیزل	N ₂ O	۹/۲۸*۱۰ ^{-۵}	۶/۹۴*۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۱۶
کود اوره	NO _x	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۲۹	۰/۰۶۲۲
سوخت دیزل	NO _x	۰/۱۱۳۷	۰/۰۸۵۱	۱/۹۶۱۵
سوخت دیزل	CO ₂	۱۳/۹۸۳۱	۱۰/۴۶۶۹	۲۴۱/۲۰۸۴
سوخت دیزل	CH ₄	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۷	۰/۰۱۵۲۹
سوخت دیزل	SO ₂	۰/۰۲۰۵	۰/۰۱۵۳	۰/۳۵۳۴

۱۳/۹۸۳، ۰/۰۳۸، ۰/۰۰۰۹، ۰/۱۱۷، ۰/۰۲۰، و ۰/۲۵۴ کیلوگرم محاسبه شد (جدول ۴). (Nikkhah *et al.*, 2014). میزان انتشار

میزان انتشار آلاینده‌های CO₂، N₂O، CH₄، NO_x، و SO₂ برای تولید ۱۰۰۰ مگاژول انرژی به ترتیب

تولید پنبه انتشار می‌یابد که هزینه‌های مخرب زیست‌محیطی برجا می‌گذارند که این ارقام نیز به هزینه زیست‌محیطی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای اضافه می‌شوند. شاخص طبقه‌بندی گروه‌های تأثیر اسیدپتته، اوتریفیکاسیون خشکی، تخلیه منابع فسیلی، تخلیه منابع فسفات و پتاس، و تخلیه منابع آبی برای کسب ده هزار تومان درآمد به ترتیب kgSO_2eq ۰/۳۷، kgNOx ۰/۹۴، MJ ۹۲۵۳/۱۹۸، $\text{kg P}_2\text{O}_5$ ۰/۱۰، K_2O ۰/۰۱ و $\text{m}^3 \text{water}$ ۳۱/۶۶ به دست آمد.

شاخص نهایی تأثیرات زیست‌محیطی و تخلیه منابع تولید یک تن پنبه در استان گلستان در قالب گروه‌های تأثیر گرمایش جهانی، اسیدپتته، اوتریفیکاسیون خشکی، تخلیه منابع فسیلی، تخلیه منابع فسفات و پتاس، و تخلیه منابع آبی به ترتیب ۰/۰۵۷، ۰/۲۹۲، ۰/۴۸۳، ۰/۲۰۷، ۰/۳۶۳، ۰/۰۱۰، و ۰/۲۴۵ محاسبه شد. نتایج بیانگر این موضوع است که گروه‌های تأثیر تخلیه منابع فسیلی، اوتریفیکاسیون و تخلیه منابع فسفات، اسیدپتته و تخلیه منابع آبی به ترتیب بیش‌ترین تأثیرات سوء زیست‌محیطی را در تولید پنبه در استان گلستان به جا می‌گذارند. در مطالعه مشابهی (Nikkhah et al., 2014) مصرف نسبتاً زیاد سوخت‌های فسیلی برای تولید بادام‌زمینی در استان گیلان را به وجود ماشین‌های فرسوده و با عمر نسبتاً زیاد نسبت دادند. این در حالی است که علاوه بر وجود ماشین‌های فرسوده برای تولید پنبه در استان گلستان، تعداد عملیات نسبتاً زیاد آماده‌سازی زمین برای کشت پنبه نیز منجر به مصرف زیاد سوخت‌های فسیلی شده است. بر این اساس، به نظر می‌رسد اجرای عملیات خاک‌ورزی حفاظتی و بی‌خاک‌ورزی به کاهش عواقب زیست‌محیطی تولید پنبه در استان گلستان می‌انجامد. در یک مطالعه (Wang et al., 2007) به ارزیابی چرخه حیات تولید گندم در چین پرداختند. آن‌ها گزارش کردند که تخلیه انرژی با شاخص نهایی ۰/۱۴ و پس از آن اسیدپتته با شاخص نهایی ۰/۱۳ از تأثیرات مهم زیست‌محیطی بودند (Wang et al., 2007). همچنین در تحقیق مشابه دیگری روی تولید برنج در چین (Wang et al., 2010) بیان داشتند که تخلیه منابع آبی و اوتریفیکاسیون از مهم‌ترین تأثیرات زیست‌محیطی در تولید این محصول بودند. (Iriarte et al., 2010) با بررسی تأثیرات زیست‌محیطی نظام تولید آفتابگردان و کلزا بیان داشتند که بالاترین تأثیرات زیست‌محیطی برای گروه‌های تأثیر گرمایش جهانی و اوتریفیکاسیون حاصل شد. آنها دلیل این امر را به مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی برای افزایش تولید این محصولات زراعی نسبت دادند. (Fallahpour et al., 2012) معتقدند که مصرف مقادیر زیاد کود نیتروژن منجر به افزایش

آلاینده‌های CO_2 ، N_2O ، CH_4 ، NOx ، SO_2 و NH_3 برای تولید یک تن بادام‌زمینی را به ترتیب ۱۴۱/۵۲، ۰/۴۵، ۰/۰۰۹، ۰/۱۹، ۰/۲۱ و ۲/۹۷ کیلوگرم گزارش کردند. همچنین آن‌ها در مطالعه خود میزان انتشار این آلاینده‌ها را برای تولید ۱۰۰۰ مگاژول انرژی ۵/۹۵، ۰/۰۲، ۰/۰۰۴، ۰/۰۵، ۰/۰۰۹ و ۰/۱۲ کیلوگرم اعلام کردند که میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از مصرف سوخت دیزل برای تولید پنبه برای تولید یک تن زیست‌توده در استان گلستان بیش‌تر از تولید بادام‌زمینی در استان گیلان بود.

شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر گرمایش جهانی برای تولید یک تن پنبه kgCO_2eq ۴۴۷/۳۱ محاسبه شد (جدول ۸). چنانکه در زمینه تولید پنبه در استان گلستان اشاره شد، مصرف سوخت دیزل برای تولید پنبه در این منطقه نسبتاً زیاد است. با توجه به این که آلاینده‌های ناشی از مصرف این نهاده تأثیر به سزایی در قالب گروه تأثیر گرمایش جهانی دارند، شاخص طبقه‌بندی این گروه از تولید بسیاری از محصولات دیگر بیش‌تر بود. شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر گرمایش جهانی در مطالعات مشابهی بر تولید گندم در مرودشت، سوئیس، و چین به ترتیب kgCO_2eq ۲۶۲/۱، ۳۸۱، و ۱۱۹/۵ گزارش شد (Wang et al., 2013; Mirhaji et al., 2007; Charles et al., 2006).

شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر اسیدپتته برای تولید یک تن پنبه kgSO_2eq ۸/۴۵ به دست آمد (جدول ۸). این شاخص برای تولید یک تن گندم در چین kgSO_2eq ۴ (Wang et al., 2007)، تولید گندم در گرگان kgSO_2eq ۶/۵ (Soltani et al., 2010)، و تولید کلزا و آفتابگردان در شیلی به ترتیب kgSO_2eq ۱۹ و ۲۳ گزارش شد (Iriarte et al., 2010). شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر اوتریفیکاسیون خشکی برای تولید یک تن پنبه kgNOx ۲۱/۷۱ محاسبه شد (جدول ۸)، این شاخص در تحقیقات مشابهی برای تولید کلزا و آفتابگردان در شیلی به ترتیب kgPO_4eq ۷/۲ و ۹ گزارش شد (Iriarte et al., 2010).

شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر گرمایش جهانی برای کسب ده هزار تومان درآمد خالص kgCO_2eq ۱۹/۴۱ محاسبه شد. (Lehtonen et al., 2006) میزان هزینه زیست‌محیطی انتشار هر تن گازهای گلخانه‌ای را نه یورو در نظر گرفتند. آن‌ها معتقد بودند که ارزش کاهش گازهای گلخانه‌ای با فرض کاشت علوفه برای کشور فنلاند پنج میلیون یورو و با فرض عدم کاشت حدود ۶/۸ میلیون یورو است. با فرض همین رقم، هزینه‌های سوء زیست‌محیطی انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید پنبه در استان گلستان در حدود هشت درصد درآمد خالص پنبه‌کار گلستانی است. این در حالی است که آلاینده‌های دیگری نیز در فرایند

ترتیب ۶/۸۲۵، ۰/۳۹۶، و ۰/۲۹۶ به دست آمد. در تولید گندم با مصرف ۱۴۴ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و با در نظر گرفتن چهار اثر زیست محیطی گرمایش جهانی، اسیدیته، اوتریفیکاسیون، و تغییر کاربری زمین شاخص زیست محیطی حدود ۰/۲ به دست آمد (Brentrup et al., 2004b). در انتها با توجه به میزان شایان توجه آلاینده‌های انتشار یافته در سامانه تولیدی پنبه در استان گلستان، پیشنهاد می‌شود، کمک هزینه‌هایی از طرف دولت به کشاورزان این منطقه با هدف کاهش آلاینده‌های انتشار یافته تولید این محصول پرداخت شود که این کمک هزینه‌ها می‌تواند در قالب جایگزینی ماشین‌های فرسوده با نو، خرید ماشین‌های خاک‌ورزی حفاظتی، استفاده از منابع تأمین نیتروژن با پتانسیل آلودگی کم‌تر به نسبت کود اوره، همچنین کمک به تأمین بخشی از انرژی مزرعه توسط خود مزرعه از طریق تولید بیودیزل و دیگر سوخت‌های سازگار با محیط زیست باشد.

عملکرد محصول نمی‌شود، و عواقب زیست محیطی جدی را در تولید محصول به دنبال خواهد داشت. در تحقیقی در مصرف ۱۴۴ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ابتدا تغییر کاربری زمین و سپس اسیدیته و اوتریفیکاسیون از مهم‌ترین تأثیرات زیست محیطی گزارش شدند (Brentrup et al., 2004b). در بررسی تولید یک تن چغندر در خراسان جنوبی تخلیه منابع آبی با شاخص نهایی ۰/۰۷ در مقایسه با سایر تأثیرات دارای کارایی آسیب زیست محیطی بیش‌تری بود (Mirhaji et al., 2012). شاخص زیست محیطی (EcoX) برای تولید پنبه در استان گلستان که شامل سه گروه تأثیر گرمایش جهانی، اسیدیته، و اوتریفیکاسیون خشکی بود، معادل ۰/۸۳ به دست آمد. شاخص زیست محیطی برای تولید ۱۰۰۰ مگاژول انرژی و کسب ده هزار تومان درآمد خالص به ترتیب ۰/۰۴۸ و ۰/۰۳۶ محاسبه شد. شاخص تخلیه منابع (RDI) نیز برای تولید یک تن پنبه، تولید ۱۰۰۰ مگاژول انرژی، و کسب ده هزار تومان درآمد خالص به

جدول ۸. نتایج ارزیابی تأثیرات برای تولید یک تن پنبه و ۱۰۰۰ مگاژول انرژی

گروه تأثیر	شاخص طبقه‌بندی		شاخص نرمال سازی		شاخص نهایی	
	t ⁻¹	10000 Tom ⁻¹	t ⁻¹	10000 Tom ⁻¹	t ⁻¹	10000 Tom ⁻¹
گرمایش جهانی	۴۷۷/۳۱۲ (kg CO ₂ eq)	۱۹/۴۱۰ (kg CO ₂ eq)	۲۵/۹۳۱۱۳ ۰/۰۵۵	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۳۱۸۸ ۰/۰۵۷	۰/۰۰۲۵ ۰/۰۰۳۳۰۴
اسیدیته	۸/۴۴۹ (kg SO ₂ eq)	۰/۳۶۷ (kg SO ₂ eq)	۰/۴۸۹۷۹۷ ۰/۱۶۲	۰/۰۰۷۰	۰/۰۰۹۳۹۱ ۰/۲۹۲	۰/۰۱۲۷ ۰/۰۱۶۹۲۸
اوتریفیکاسیون خشکی	۲۱/۷۱۴ (kg NO _x eq)	۰/۹۴۲ (kg NO _x eq)	۱/۲۵۸۷۸۳ ۰/۳۴۵	۰/۰۱۵۰	۰/۰۲ ۰/۴۸۳	۰/۰۲۱۰ ۰/۰۲۸
تخلیه منابع فسیلی	۲۱۳۲۳۹/۳۹۱ (in MJ)	۹۲۵۳/۱۹۸ (in MJ)	۱۲۳۶۱/۷ ۵/۴۴۴	۰/۲۳۶۲	۰/۳۱۵۵۹۴۶ ۰/۲۰۷	۰/۲۶۹۳ ۰/۳۵۹۸۲۶
تخلیه منابع فسفات	۲/۳۱۶ (in kg P ₂ O ₅)	۰/۱۰۰ (in kg P ₂ O ₅)	۰/۱۳۴۲۶۱ ۰/۳۰۲	۰/۰۱۳۱	۰/۰۱۷۵۰۷ ۰/۳۶۳	۰/۰۱۵۸ ۰/۰۲۱۰۴۳
تخلیه منابع پتاس	۰/۲۶۷ (in kg K ₂ O)	۰/۰۱۲ (in kg K ₂ O)	۰/۰۱۵۴۷۸ ۰/۰۲۳	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۹۱۳ ۰/۰۱۰	۰/۰۰۰۴ ۰/۰۰۰۵۸
تخلیه منابع آبی	۷۲۹/۵۰۹ (in m ³ water)	۳۱/۶۵۹ (in m ³ water)	۴۲/۲۹۰۳۸ ۱/۱۶۵	۰/۰۵۰۵	۰/۰۶۷۵۳۶ ۰/۲۴۵	۰/۰۱۰۶ ۰/۰۱۴۲۰۳

منتشر شده ناشی از کشت پنبه در قالب گروه‌های تأثیر دیگر نیز هزینه‌های سوء زیست محیطی برجا می‌گذارند. از این رو، ادامه روند تولید پنبه در استان گلستان با این میزان نهاده‌های مصرفی، می‌تواند تأثیرات زیست محیطی شایان توجهی در پی داشته باشد، بر این اساس لزوم توجه به راهبردهایی با هدف کاهش آلودگی تولید پنبه در منطقه از قبیل اجرای عملیات کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی وجود دارد. همچنین با مقایسه شاخص نهایی گروه‌های تأثیر بررسی شده مشخص شد که اوتریفیکاسیون خشکی و تخلیه منابع فسیلی به ترتیب بیش‌ترین پتانسیل آسیب به محیط زیست را در قالب گروه‌های تأثیر زیست محیطی و تخلیه منابع داشتند.

سپاسگزاری

از دانشگاه فردوسی مشهد برای حمایت از این تحقیق در قالب طرح پژوهشی به شماره ۳۲۳۸۸ تشکر و قدردانی می‌شود.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به بررسی تأثیرات زیست محیطی تولید پنبه در استان گلستان در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ پرداخت. برای این منظور روش ارزیابی چرخه حیات که روشی است بر پایه استاندارد ISO ۱۴۰۴۰ به کار گرفته شد. سوخت دیزل، آب، کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفات و پتاس به عنوان نهاده‌هایی با پتانسیل آسیب به محیط زیست شناخته شدند. تأثیرات در قالب گروه‌های تأثیر زیست محیطی (گرمایش جهانی، اسیدیته و اوتریفیکاسیون خشکی) و تخلیه منابع (منابع فسیلی، منابع آبی، منابع پتاس و فسفات) بررسی شدند. تمامی تأثیرات در قالب سه واحد کارکردی تولید یک تن پنبه، تولید هزار مگاژول انرژی، و کسب ده هزار تومان درآمد خالص بررسی شدند. نتایج نشان داد که هزینه‌های زیست محیطی انتشار آلاینده‌های تولیدی در قالب گروه تأثیر گرمایش جهانی معادل هشت درصد از درآمد خالص پنبه‌کار گلستانی است. این در حالی است که آلاینده‌های

REFERENCES

- Ahmad, A.L., Yasin, N.H.M., Derek, C.J.C., & Lim, J. K. (2011). Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 584-593.
- Anonymous. Annual agricultural statistics. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. 2011a. Available from: <http://www.maj.ir> (In Farsi)
- Anonymous. Cotton Research Institute of Iran. 2011b. Available from: cri.arei.ir (In Farsi)
- Anonymous. Ministry of Energy. Golestan Regional Water Company. (2013). Available from: <http://www.gsrw.ir> (In Farsi).
- Ashworth, A.J., Taylor, A.M., Reed, D.L., Allen, F.L., Keyser, P.D., & Tyler, D.D. (2014). Environmental impact assessment of regional switchgrass feedstock production comparing nitrogen input scenarios and legume-intercropping systems. *Journal of Cleaner Production*. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.10.002
- Bacchetti, J., Fusi, A., Negri, M., Guidetti, R., & Fiala, M. (2014). Environmental assessment of two different crop systems in terms of biomethane potential production. *Science of the Total Environment* 466-467, 1066-1077.
- Bachmaier, J., Effenberger, M., & Gronauer, A. (2010). Greenhouse gas balance and resource demand of biogas plants in agriculture. *Eng Life Sci*, 10,560-9.
- Bojacá, C.R., Wyckhuys, K.A.G., & Schrevels, E. (2014). Life cycle assessment of Colombian greenhouse tomato production based on farmer-level survey data. *Journal of Cleaner Production*, 69, 26-33.
- Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., & Lammel, J. (2001). Application of the life cycle assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilisers. *Europ. J. Agron.* 14, 221-233.
- Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., & Lammel, J. (2004a). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy*, 20(3), 247-264.
- Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., & Kuhlmann, H. (2000). Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 5(6), 349-357.
- Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., & Kuhlmann, H. (2004b). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy*, 20(3), 265-279.
- Buratti, C., Barbanera, M., & Fantozzi, F., (2009). Environmental impact assessment of fiber sorghum (Sudan-Grass) production systems for biomass energy production in a central region of Italy.
- Carozzi, M., Ferrara, R., Rana, M., & Acutis, M. (2013). Evaluation of mitigation strategies to reduce ammonia losses from slurry fertilisation on arable lands. *Sci Total Environ*, 449, 126-33.
- Charles, R., Jolliet, O., Gaillard, G., & Pellet, D. (2006). Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113(1-4), 216-225.
- Dehghani, H. (2007). Guide to Air Quality, Principles of Meteorology and Air Pollution. Publications of Ghashie. Tehran, Iran, 402 pp. (In Farsi)
- Energy the Balance Sheet. (2012). Available at Web site <http://www.moe.gov.ir/> (In Farsi)
- Erdal, G., Esengün, K., Erdal, H., & Gündüz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32(1), 35-41.
- Fallahpour, F., Aminghafouri, A., Ghalegolab-Behbahani, A., & Bannayan, M. (2012). The environmental impact assessment of wheat and barley production by using life cycle assessment (LCA) methodology. *Environment, Development and Sustainability*, 14, 979-992.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2011). Fao Statistical. Available on the FAO website (www.fao.org/publications).
- Gasol, C.M. Gabarrell, X., Anton, A., Rigola, M., Carrasco, J., Ciria, P., Solano, M.L., & Rieradevall, J. (2007). Life cycle assessment of a *Brassica carinata* bioenergy cropping system in southern Europe. *Biomass and Bioenergy*, 31(8), 543-555.
- Goebes, M.D., Strader, R., & Davidson, C. (2003). An ammonia emission inventory for fertilizer application in the United States. *Atmospheric Environment*, 37(18), 2539-2550.
- Iriarte, A., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2010). Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. *Journal of Cleaner Production*, 18(4), 336-345.
- Khorramdel, S., Rezvani-Moghaddam, P., & Amin-Ghafari, A. (2014). Evaluation of environmental impacts for wheat Agroecosystems of Iran by using Life Cycle Assessment methodology. *Cereal Research*, 4(1), 27-44 (In Farsi).
- Khoshnevisan, B., Bolandnazar, E., Shamsirband, S., Shariati, H.M., Anuar, N.B., Mat Kiah, M.L.(2014a). Decreasing environmental impacts of cropping systems using life cycle assessment (LCA) and multi-objective genetic algorithm. *Journal of Cleaner Production*, DOI: 10.1016/j.jclepro. 2014. 08. 062
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., & Mousazadeh, H. (2013a). Environmental impact assessment of

- open field and greenhouse strawberry production. *European Journal of Agronomy*, 50, 29-37.
- Khoshnevisan, B., Rajaeifar, M.A., Clark, S., Shamahirband, S., Anuar, N.B., Mohd Shuib, N.L., & Gani, A. (2014b). Evaluation of traditional and consolidated rice farms in Guilan Province, Iran, using life cycle assessment and fuzzy modeling. *Science of The Total Environment*, 481, 242-251.
- Lehtonen, H., Peltola, J., & Sinkkonen, M. (2006). Co-effects of climate policy and agricultural policy on regional agricultural viability in Finland. *Agricultural Systems*, 88, 472-493.
- Mirhaji, H., Khojastehpour, M., & Abaspour-fard, M.H. (2013). Environmental effects of wheat production in the Marvdasht region. *Journal of Natural Environment*, 66(2), 223-232. (In Farsi)
- Mirhaji, H., Khojastehpour, M., Abaspour-fard, M.H., & Mahdavi Shahri, S.M. (2012). Environmental impact study of sugar beet production using life cycle assessment in Khorasan province. *Agroecology*, 4, 112-120. (In Farsi)
- Nie, S.W., Gao, W.S., Chen, Y.Q., Sui, P., Eneji, A.E. (2010). Use of life cycle assessment methodology for determining phytoremediation potentials of maize-based cropping systems in fields with nitrogen fertilizer over-dose. *Journal of Cleaner Production*, 18, 1530-1534.
- Nikkhah, A., Taheri-Rad, A., Khojastehpour, M., Emadi, B., & Payman, S.H. (2014). Environmental Impacts of Peanut Production in Astaneh Ashrafiyeh of Guilan Province. *Agroecology*, 6(2): 273-282 (In Farsi)
- Ntiamoah, A., Afrane, G. (2008). Environmental impacts of cocoa production and processing in Ghana: life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, 16, 1735-1740.
- Pishgar-Komleh, S.H. Sefeedpari, P., & Ghahderijani, M. (2012). Exploring energy consumption and CO₂ emission of cotton production in Iran. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 4: 033115-033114.
- Romero-Gámez, M., Audsley, E., Suárez-Rey, E.M. (2014). Life cycle assessment of cultivating lettuce and escarole in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 73, 193-203.
- Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L., & Fixen, P.E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 133(3-4), 247-266.
- Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E., & Soltani, E. (2010). Evaluation of environmental impact of crop production using LCA: wheat in Gorgan. *Electronic Journal of Crop Production*, 3(3), 201-218. (In Farsi)
- Taheri-Rad, A., Nikkhah, A., Mehdi Khojastehpour, M., & Nourozieh, S. (2014). Assessing the GHG emissions, the energy and economic analysis of cotton production in Golestan province. The 8th National Congress on Agr. Machinery Eng. (Biosystem) & Mechanization, 29-31 January, Mashhad, Iran (In Farsi).
- Tsatsarelis, C. A. 1991. Energy requirements for cotton production in central Greece. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 50, 239-246.
- Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., & Jaggard, K. (2005). An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems*, 85(2), 101-119.
- Wang, M., Wu, W., Liu, W., & Bao, Y. (2007). Life cycle assessment of the winter wheat-summer maize production system on the North China Plain. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 14(4), 400-407.
- Wang, M., Xia, X., Zhang, Q., & Liu, J. (2010). Life cycle assessment of a rice production system in Taihu region, China. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 17(2), 157-161.