محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۷۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸
صفحات ۴۸۵ تا ۴۹۸

# مطالعه ارزیابی چرخه حیات در تولید ذرت دانه‌ای تحت دو نظام کشت بهاره و پاییزه (مطالعه موردی استان خوزستان)

**مریم کاظمی زاده[۱]؛ عبدالرحیم هوشمند[۲]* ؛ عبدعلی ناصری[۳]؛ منا گلابی[۴] و موسی مسکرباشی[۵]**

***۱- دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز***

***۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز***

***۳- استاد گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز***

***۴- استادیار گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز***

***۵- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز***

(تاریخ دریافت۹۷/۱۲/۱۲-تاریخ پذیرش۹۸/۰۲/۰۴)

**چکیده:**

کشاورزی یکی از فعالیت‌های مهم اقتصادی و اثرگذار بر محیط زیست است. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید محصولات کشاورزی از راهکارهای موثر در دست‌یابی به کشاورزی پایدار و حفظ منابع طبیعی است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید ذرت در استان خوزستان به‌عنوان یک کشت راهبردی که در سال دوبار کشت می‌شود، پرداخته است. داده‌های اولیه از اطلاعات جهاد کشاورزی استان، اطلاعات کتابخانه‌ای و داده‌های تجربی کشاورزان منطقه جمع‌آوری شد. برای تعیین آب آبیاری و عملکرد محصول از اسفندماه ۹۶ تا آذرماه ۹۷ آزمایشاتی به صورت تیمارهای صحرایی انجام شد. اثرات منفی زیست‌محیطی گروه‌های تاثیر پتانسیل گرمایش‌جهانی، پتانسیل یوتریفیکاسیون، پتانسیل اسیدی‌شدن، تخلیه منابع آبی، تخلیه منابع فسیلی، تخلیه منابع فسفات و تخلیه منابع پتاس بررسی شد. یوتریفیکاسیون خشکی و تخلیه منابع فسفات به ازای تولید یک تن دانه ذرت به‌عنوان واحد کارکردی، بیشترین اثرات منفی زیست‌محیطی را داشتند و هریک از آن‌ها به‌ترتیب سهم ۱۸/۷۳ و ۳۴/۰۸ درصدی در هزینه‌های زیست‌محیطی انتشار آلاینده‌ها را داشتند. در این میان سهم تخلیه منابع آبی در اثرات مخرب زیست-محیطی برابر ۲۲/۸۵ درصد بود. برای کشت بهاره و پاییزه شاخص Eco-x به ترتیب برابر ۰/۹۲ و ۰/۷۰ و شاخص RDI به‌ترتیب برابر ۱/۷۵و ۱/۲۹ محاسبه شد. پس به‌منظور کاهش آلایندگی تولید ذرت در منطقه بایستی بر لزوم مدیریت مصرف بهینه کودهای شیمیایی، جایگزینی آن‌ها با کودهای آلی و استفاده از کودهای زیستی و استفاده از منابع تامین نیتروژن با پتانسیل آلودگی کمتر تاکید کرد. همچنین در کشت بهاره کاشت ارقام زودرس با پتانسیل عملکرد بالا و سازگار با شرایط آب‌وهوایی منطقه توصیه می‌شود.

**کلید واژه‌گان:** ارزیابی چرخه حیات (LCA)، گرمایش‌جهانی، یوتریفیکاسیون، تخلیه منابع، اسیدیته

*نویسنده مسئول؛ تلفن: ۰۹۱۶۳۱۱۹۶۳۲ ایمیل: Hooshmand_a@scu.ac.ir

## ۱. مقدمه

با افزایش آگاهی نسبت به مسائل زیست‌محیطی، بخش‌های مختلف اقتصادی به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های خود پرداخته‌اند (Nemecek *et al.*, 2008). کشاورزی نیز یکی از بخش‌های مهم اقتصادی و اثرگذار بر محیط زیست است. ارزیابی چرخه حیات[1] (LCA) روشی برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی حاصل از تولید یک محصول به همراه کل مراحل مختلف زندگی آن محصول از «گهواره تا گور»[2] است. متاسفانه در ایران از این روش به‌ویژه در فعالیت‌های کشاورزی کمتر استفاده شده است. کشاورزی یکی از مصرف کنندگان عمده انرژی و سایر منابع طبیعی به شمار می‌آید و تولید فشرده محصولات کشاورزی همراه با مصرف آب آبیاری و کود نیتروژن باعث ایجاد طیف وسیعی از اثرات منفی بر محیط زیست می‌شود. این در حالی است که تولید، نگهداری و توزیع محصولات کشاورزی سهم بزرگی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و ایجاد جنبه‌های مختلف تغییر اقلیم به عنوان بزرگترین چالش پیش روی انسان دارد. مشکلات زیست‌محیطی دیگری نظیر انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی و پیامدهای آن نظیر اسیدی‌شدن و یوتریفیکاسیون نیز حاصل از استفاده نهاده‌های مختلف در تولید محصولات کشاورزی است (Brentrup *et al.*, 2004a,b؛ Birkved & Hauschild, 2006؛ Van der Werf & Turunen, 2008). از جمله مطالعات انجام گرفته بر روی چغندرقند می‌توان به Bazrgar (۲۰۱۵) اشاره کرد که به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کشت چغندرقند در سیستم‌های تولید در خراسان پرداخت. Khorramdel و همکاران (۲۰۱۶) نیز به بررسی اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید برنج با استفاده از روش LCA پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بالاترین اثرات زیست‌محیطی مربوط به گروه تأثیر یوتریفیکاسیون در محیط آبی (EcoX ۰/۱۳ به‌ازای یک تن شلتوک) بود. Brentrup و همکاران (2004b) طی مطالعه‌ای به بررسی اثرات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد مقادیر مختلف نیتروژن در تولید گندم زمستانه پرداختند؛ در مقادیر مصرف کم کود نیتروژن، کاربری زمین و در مقادیر بالای مصرف نیتروژن، یوتریفیکاسیون فاکتورهای اصلی زیست‌محیطی بودند. در برخی دیگر از پژوهش‌ها از روش LCA به‌منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی حاصل از کشت محصولات مختلف با کاربرد مقادیر مختلف آب آبیاری و کود نیتروژن، سیستم‌های مختلف زراعی مانند روش‌های مکانیزه، نیمه‌مکانیزه و سنتی و کاربرد کودهای مختلف (آلی و معدنی) استفاده شده است. طبق نتایج حاصل از این پژوهش‌ها مشخص شد که در ایجاد اثرات منفی زیست‌محیطی آبیاری نقش مهمی دارد و در این میان سهم سیستم‌های تولید مکانیزه به ازای هر تن محصول تولیدی، کمتر از سیستم سنتی است (Soltani *et al.*, 2015). میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای با بهبود مدیریت آب و نیتروژن کاهش داشت (Van der laan *et al.*, 2015). نتایج همچنین نشان داد که تولید گازهای گلخانه‌ای به طور قابل توجهی تحت تاثیر شیوه‌های مدیریت بقایای گیاهی است و اختلاط بقایای گیاهی با خاک کمترین و سوزاندن بقایا بیشترین اثر را بر انتشارات زیست‌محیطی دارد

1-Life Cycle Assessment1

2-Cradle to grave

(Mousavi-Avval *et al*., 2017). ذرت یکی از مهمترین گیاهان زراعی است که از نظر سطح زیرکشت پس از گندم و برنج رتبه سوم را در کشور دارد. در استان خوزستان با توجه به شرایط آب‌وهوایی منطقه در دو فصل از سال امکان کاشت ذرت مهیاست. براساس آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۶-۹۵، سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای در این استان برابر ۵۴۲۶۰ هکتار و میزان عملکرد برابر ۷/۳ تن در هکتار گزارش شده است. تاکنون در استان خوزستان به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کشت ذرت پرداخته نشده و همچنین در بررسی اثرات سوء زیست‌محیطی، مقایسه‌ایی بین کشت بهاره و پاییزه ذرت انجام نگرفته است. پس ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کشت ذرت به عنوان یک محصول راهبردی در سطح استان با توجه به اینکه در سال دوبار کشت می‌شود امری ضروری است. بنابراین این مطالعه به‌منظور شناخت و بررسی اثرات زیست‌محیطی حاصل از تولید ذرت، تحت دو نظام کشت بهاره و پاییزه در استان خوزستان با کاربرد روش LCA انجام شد تا بتوان در نهایت راهکارهایی مناسب جهت کاهش اثرات منفی محیط زیست و توسعه کشاورزی پایدار ارائه نمود.

## ۲. مواد و روش‌ها

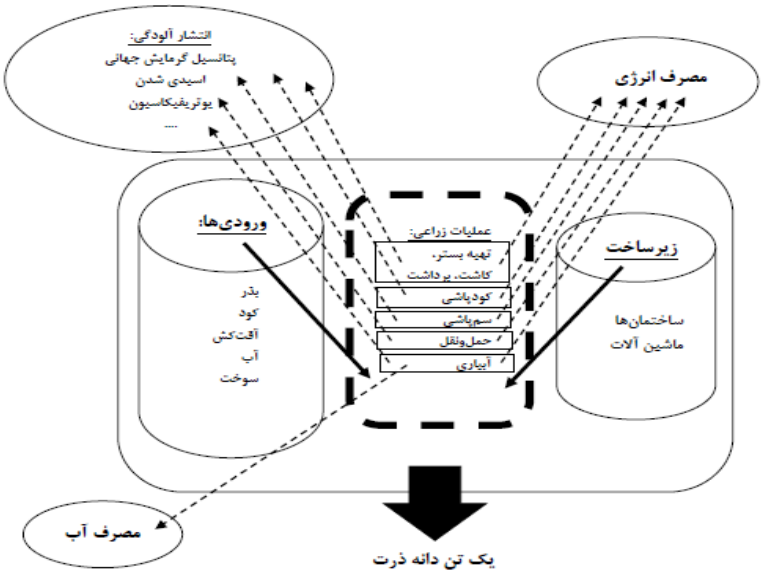
هدف اصلی از این مطالعه در واقع بررسی اثرات زیست-محیطی تولید ذرت در استان خوزستان تحت دو نظام کشت بهاره و پاییزه بود. مناطق مورد مطالعه اهواز، دزفول و شوش بودند. از روش چهار مرحله‌ای LCA استفاده شد؛ که شامل تعیین هدف و حوزه‌کاری، سیاهه نویسی از چرخه زندگی، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و تفسیر نتایج می‌باشد (ISO14040., 2006: انتشارات 14040-14044). میدان کاری یا مرزهای سیستم در این مطالعه، از آماده‌سازی زمین برای کشت ذرت تا دروازه سیلو در نظر گرفته شد. واحد کارکردی مورد استفاده یک تن دانه ذرت بود. در مرحله سیاهه نویسی چرخه حیات، کلیه منابع موردنیاز و انتشارات زیست-محیطی در فرآیند تولید و فرآیندهای وابسته تعیین و فهرست‌برداری شدند. برای این‌منظور از اطلاعات جهاد کشاورزی استان، اطلاعات کتابخانه‌ای، میدانی و داده‌های تجربی کشاورزان (تکمیل پرسش‌نامه از طریق مصاحبه) استفاده شد. شرایط کاشت، داشت و برداشت برای هر دو فصل کشت یکسان بود. تعداد ۳۳ پرسش‌نامه از روش کوکران انتخاب شد. روایی پرسش‌نامه‌ها توسط چند تن از اساتید گروه آبیاری و زهکشی دانشکده علوم آب شهید چمران اهواز و پایایی پرسش‌نامه‌ها با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ بررسی شد ($\alpha$=۸۱/۰). شکل ۱ طرحی از سیستم و مرزهای مورد مطالعه در فرآیند LCA را نشان می‌دهد که در تولید یک تن دانه ذرت بایستی مورد بررسی قرار گیرند. معمولا انرژی مورد نیاز برای ساخت و نگهداری ماشین‌آلات کشاورزی، در مطالعات LCA نادیده گرفته شده است (Reno *et al*., 2011). در فهرست‌برداری مواردی مثل کودها، سموم و ماشین‌آلات به‌دلیل عدم اطلاعات کافی برای ایران، با فرض این‌که تولید این مواد مشابه اروپا است؛ از اطلاعات مربوط به اروپا استفاده شد. از مهم‌ترین آلاینده‌های انتشار یافته از کود اوره، $NH_3$، $N_2O$ و $NO_X$ هستند. ۱۷ درصد از کل نیتروژن مصرفی در غالب کود اوره به‌صورت $NH_3$-N تصعید می‌شود (Brentrup *et al*., 2000a) و میزان انتشار $NO_X$ به اتمسفر نیز ۱۰ درصد میزان $N_2O$ است (Gasol *et al*., 2007). میزان انتشار گازهای $CO_2$،

$CH_4$ و $N_2O$ به اتمسفر ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی، سوخت مصرفی، الکتریسیته، سموم و آفت-کش‌ها نیز با روش‌های مختلفی محاسبه شدند که به‌طور مختصر در جدول ۱ آورده شده است.

مقادیر انتشار $NO_X$ و $SO_X$ به اتمسفر ناشی از الکتریسیته مصرفی به‌ترتیب با استفاده از ضرایب $gNO_X$ ۴/۱۷ و $gSO_X$ ۸/۱ به ازای هر کیلو وات ساعت محاسبه شد (ESKOM, 2010). با توجه به برقی بودن چاه‌ها در استان خوزستان، مقدار انرژی موردنیاز برای تامین هر مترمکعب آب آبیاری برابر ۰/۰۷ کیلووات ساعت تخمین زده شد (Bahrami Bavani, 2013).

**جدول ۱- ضرایب محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (بر حسب g) به‌ازای هر واحد از نهاده‌های مختلف در کشاورزی**

| ورودی | $CH_4$ | $N_2O$ | $CO_2$ | منبع |
|---|---|---|---|---|
| سوخت فسیلی (l) | ۵/۲۰ | ۰/۷۰ | ۳۵۶۰ | (Kramer *et al*., 1999) |
| الکتریسیته (kWh) | ۰/۰۲ | ۸/۸۲ | ۶۱/۲۰ | ( Tzilivakis *et al*., 2005) |
| کود اوره (kg) | ۳/۷۰ | ۰/۰۳ | ۳۱۰۰ | (Snyder *et al*., 2009) |
| کود فسفات ($P_2O_5$) (kg) | ۱/۸۰ | ۰/۰۲ | ۱۰۰۰ | (Snyder *et al*., 2009) |
| کود پتاسیم ($K_2O$) (kg) | ۱/۰۰ | ۰/۰۱ | ۷۰۰ | (Snyder *et al*., 2009) |
| سموم و آفت‌کش‌ها (kg ai) | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۵۱۰۰ | (Green, 1987) |




**شکل ۱- سیستم مورد مطالعه و مرزهای آن**

مقادیر سوخت مصرفی نیز برای تولید، بسته‌بندی و حمل‌ونقل کودهای شیمیایی، سموم و آفت‌کش‌ها براساس اطلاعات مربوط به اروپا تخمین زده شد (Bahat Mudahar & Hignett, ؛*et al*., 1994 ؛1987 Mashoko *et al*., 2010؛ Helsel, 1992). از آن‌جا که در پژوهش‌های انجام گرفته اخیر توصیه شده است که در شرایط آب و هوایی خوزستان آبیاری ذرت بعد از تخلیه ۴۰ درصدی ظرفیت زراعی انجام گیرد (Ghamari et al., 2011)؛ از اسفندماه ۹۶ تا آذرماه ۹۷ آزمایشاتی به صورت تیمارهای صحرایی و کاملا مشابه با شرایط کشت در منطقه از نظر استفاده از نهاده‌ها، در لایسیمترهایی به ارتفاع ۱/۲ و قطر ۰/۸ متر در مزرعه تحقیقاتی شماره ۲ دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز با سه تکرار انجام شد. ارقام مورد استفاده ذرت (میان‌رس) هیبرید ۶۱۱ و ۷۰۴ سینگل‌کراس بود؛ که به ترتیب در دو فصل زراعی به صورت بهاره و پاییزه کشت و مقادیر آب آبیاری موردنیاز در طول دوره رشد گیاه و عملکرد محصول برای هردو فصل کشت اندازه-گیری شد. در مرحله ارزیابی تاثیر، نتایج حاصل از مرحله سیاهه نویسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای این منظور از روش‌های مختلفی استفاده و تاثیر هریک از آلاینده‌ها و طبقات تاثیر مشخص و برای هر کدام از آن‌ها یک ضریب کارایی تعریف شد (جدول ۲). گروه‌های تاثیر مورد بررسی براساس ISO14040 شامل پتانسیل گرمایش‌جهانی، تخلیه منابع فسیلی، تخلیه منابع آبی، یوتریفیکاسیون خشکی، اسیدیته، تخلیه منابع فسفات و تخلیه منابع پتاسیم بود.

**جدول ۲- طبقه‌بندی اثرات گروه‌های تاثیر مختلف**

| گروه تاثیر | ترکیب | کارایی هر ترکیب | منبع |
|---|---|---|---|
| گرمایش‌جهانی ($kgCO_2eq$) | $CO_2$ , $N_2O$ , $CH_4$ | $CO_2$ = ۱ , $CH_4$ = ۲۱ , $N_2O$ = ۳۱۰ | (Snyder *et al*., 2009) |
| یوتریفیکاسیون خشکی ($kgNO_xeq$) | $NO_x$ , $NH_3$ | $NH_3$ = ۴/۴ , $NO_x$ = ۱/۲ | (Khorramdel *et al*., 2014) |
| اسیدیته ($kgSO_2eq$) | $SO_2$ , $NO_x$ , $NH_3$ | $SO_2$ = ۱/۲ , $NO_x$ = ۰/۵ , $NH_3$ = ۱/۶ | (Brentrup *et al*., 2004a) |
| تخلیهٔ منابع فسیلی (MJ) | مصرف سوخت دیزل | ۴۲/۸۶ | (Brentrup *et al*., 2004a) |
| تخلیهٔ منابع آب ($m^3$) | مصرف آب | ۱ | (Buratti *et al*., 2009) |
| تخلیهٔ منابع فسفات ($kgP_2O_5eq$) | مصرف فسفات | ۰/۲۵ | (Brentrup *et al*., 2004a) |
| تخلیهٔ منابع پتاسیم ($kgK_2Oeq$) | مصرف پتاس | ۰/۱۰۵ | (Brentrup *et al*., 2004a) |

مقادیر منابع ورودی یا عوامل انتشار یافته در ضریب تاثیر مربوطه ضرب و تاثیر آن‌ها به ازای واحد کارکردی مشخص و با هم جمع شدند. سپس در مرحله نرمال‌سازی برای درک بهتر مقادیر به دست آمده، شاخص‌های گروه تاثیر بی‌بعد شدند و درنهایت برای تعیین میزان آسیب هر گروه تاثیر به محیط زیست، شاخص‌های نرمال‌شده، وزن‌دهی شدند. مقادیر فاکتورهای نرمال‌سازی و وزن-دهی و منابع مورد استفاده در جدول ۳ آورده شده‌اند. معادله کاربردی برای تعیین شاخص نهایی به‌صورت رابطه ۱ می‌باشد (Brentrup *et al.*, 2004a).

$$FI = \sum_i \frac{\sum_j (E_j \text{ or } R_j) \times CF_{i,j}}{NF_i} WF_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

$E_j$ or $R_j$ انتشار ترکیب j یا مصرف منبع j بر هر واحد مرجع، $CF_{i,j}$ فاکتور طبقه‌بندی برای ترکیب j یا منبع j سهیم در گروه تاثیر i، $NF_i$ فاکتور نرمالیزه برای گروه تاثیر i و $WF_i$ فاکتور وزن‌دهی برای گروه تاثیر i می‌باشد، در نتیجه FI نیز شاخص نهایی برای گروه تاثیر i می‌شود. در نهایت شاخص تخلیه منابع (RDI)[3] که مجموع چهار گروه تاثیر تخلیه منابع آبی، تخلیه منابع سوختی، تخلیه منابع فسفات و تخلیه منابع پتاسیم است و شاخص زیست‌محیطی یا شاخص بوم‌شناخت (Eco-X Index)[4] که مجموع اثرات منفی زیست‌محیطی طبقات تاثیر مختلف از جمله گروه‌های تاثیرگرمایش‌جهانی، یوتریفیکاسیون خشکی و اسیدیته است؛ مشخص شد. به‌منظور انجام محاسبات و رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2016 استفاده شد.

**جدول ۳- فاکتورهای نرمال‌سازی و وزن‌دهی هر یک از گروه‌های تاثیر**

| گروه تاثیر | فاکتور نرمال‌سازی (واحد) | فاکتور وزن‌دهی | منبع |
|---|---|---|---|
| گرمایش‌جهانی | ۸۱۴۳ ($kgCO_2eq$) | ۱/۰۵ | (Mirhaji *et al.*, 2013; Nikkhah *et al.*, 2015) |
| یوتریفیکاسیون خشکی | ۶۳ ($kgNO_xeq$) | ۱/۴ | (Mirhaji *et al.*, 2013; Nikkhah *et al.*, 2015) |
| اسیدیته | ۵۲ ($kgSO_2eq$) | ۱/۸ | (Mirhaji *et al.*, 2013; Soltanali *et al.*, 2015) |
| تخلیه منابع فسیلی | ۳۹۱۶۷ (MJ) | ۱/۱۴ | (Mirhaji *et al.*, 2013; Soltanali *et al.*, 2015) |
| تخلیه منابع آبی | ۶۲۶/۳۶ ($m^3$) | ۰/۲۱ | (Wang *et al.*, 2010) |
| تخلیه منابع فسفات | ۷/۶۶ ($kgP_2O_5eq$) | ۱/۲ | (Brentrup *et al.*, 2004a) |
| تخلیه منابع پتاسیم | ۸/۱۴ ($kgK_2Oeq$) | ۰/۳۰ | (Brentrup *et al.*, 2004a) |

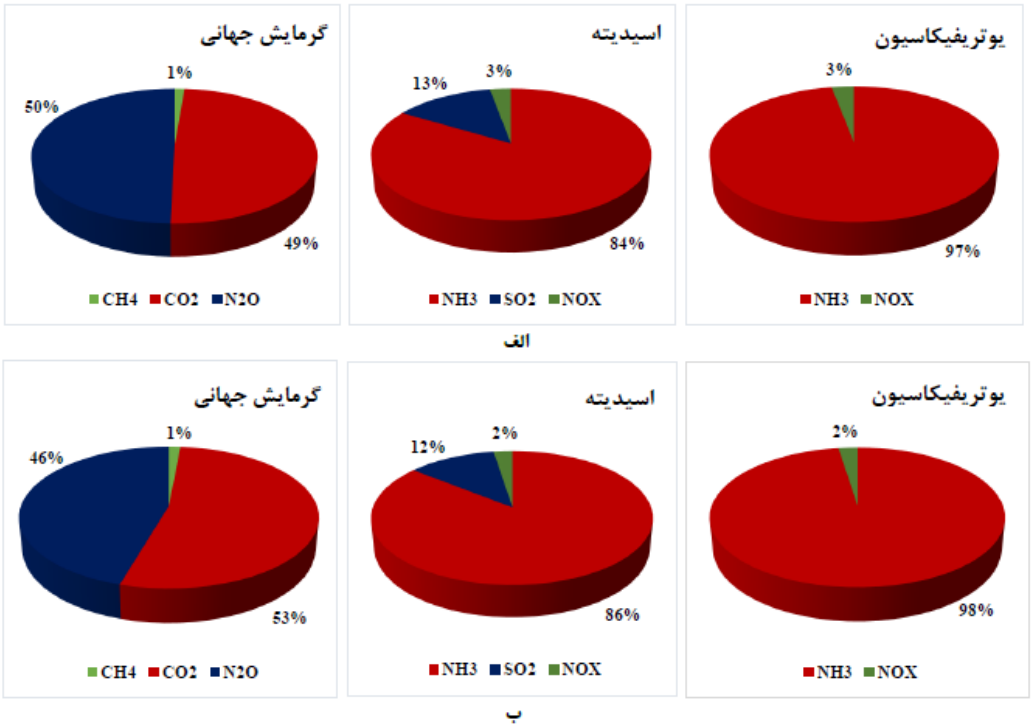
## ۳. نتایج

براساس آزمایشات صحرایی، عملکرد دانه برداشت شده و مقدار آب آبیاری برای کشت بهاره به‌ترتیب برابر ۶۹۰۸ کیلوگرم و ۱۲۵۰۰ مترمکعب در هکتار بود. این مقادیر برای کشت پاییزه به‌ترتیب برابر ۸۸۴۳ کیلوگرم و ۱۰۵۰۰ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد. مقادیر بارندگی برای کشت بهاره و پاییزه به‌ترتیب برابر ۵۰ و ۲۱۵ میلی‌متر بود. نتایج سیاهه نویسی در خصوص منابع موردنیاز در یک هکتار زمین و همچنین انواع و میزان انتشارات زیست‌محیطی تولید ذرت در شرایط استان خوزستان به

3- Resources Discharge Index

4- Ecological Index

ازای یک واحد کارکردی در جداول ۴ و ۵ آورده شده است. میزان انتشار گاز $N_2O$ در تولید یک تن دانه ذرت به‌ترتیب برای کشت بهاره و پاییزه معادل ۱/۱۸ و ۰/۷۸ کیلوگرم به‌ازای هرتن دانه ذرت برآورد شد که شامل تلفات مستقیم از کودهای مصرفی و نیتروژن قابل دسترس خاک و غیرمستقیم از آمونیاک و نیترات منتشر شده می‌باشد (Soltani *et al.*, 2010) و بخش عمده‌ای از آن ناشی از کاربرد جریان الکتریسیته در فرآیند آبیاری و سوخت دیزلی در استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی است. تلفات $NO_X$ نیز برابر ۱۰ درصد $N_2O$ و به‌ترتیب برای کشت بهاره و پاییزه به‌میزان ۰/۵۵ و ۰/۳۶ کیلوگرم به‌ازای هر تن دانه ذرت تخمین زده شد. انتشار گاز آمونیاک به میزان ۴/۹۲ و ۳/۸۴ کیلوگرم به‌ازای هر تن دانه ذرت برای کشت بهاره و پاییزه برآورد شد؛ که به‌دلیل تصعید و فرار از کودهای نیتروژنی اتفاق می‌افتد. نتایج حاصل از ارزیابی تاثیر برای تولید یک تن دانه ذرت در جدول ۶ و میزان تاثیر هریک از آلاینده‌ها در تولید یک تن دانه ذرت در منطقه خوزستان برای گروه‌های تاثیر گرمایش‌جهانی، اسیدیته و یوتریفیکاسیون خشکی برای دو کشت بهاره و پاییزه در شکل ۲ نشان داده شده است. گاز $CO_2$ تاثیر بسزایی بر گرمایش‌جهانی در هر دو فصل کشت دارد و بخش عمده انتشار این گاز به‌دلیل استفاده از کودهای شیمیایی، سموم و کاربرد سوخت‌های دیزلی در فرآیند تولید این نهاده‌ها و عملیات زراعی است.




**شکل ۲- سهم انتشار آلاینده‌ها بر گروه‌های تاثیر گرمایش‌جهانی، اسیدیته و یوتریفیکاسیون خشکی به‌ازای یک واحد کارکردی در تولید کشت ذرت بهاره (الف) و پاییزه (ب) در خوزستان**

آلاینده $NH_3$ بیش‌ترین سهم آلایندگی محیط زیست را در قالب گروه تاثیر اسیدیته و یوتریفیکاسیون خشکی به خود اختصاص داده است که دلیل آن کاربرد زیاد کود نیتروژن در تولید ذرت است. شاخص طبقه بندی گروه تأثیر گرمایش‌جهانی برای تولید یک تن دانه ذرت در کشت بهاره و پاییزه به‌ترتیب ۷۳۷/۱۵ $kgCO_2eq$ و ۵۳۰/۹۴ $kgCO_2eq$ محاسبه شد (جدول ۶).

**جدول ۴- مقادیر ورودی موردنیاز برای تولید ذرت بهاره و پاییزه در یک هکتار زمین در شرایط خوزستان**

| ورودی | واحد | کشت بهاره | کشت پاییزه |
|---|---|---|---|
| **عملیات زراعی** | | | |
| شخم | مرتبه | ۱ | ۱ |
| دیسک (تهیه بستر و اختلاط کود با خاک) | مرتبه | ۳ | ۳ |
| کواتیواتور | مرتبه | ۲ | ۲ |
| پخش کود | مرتبه | ۲ | ۲ |
| نهرکن | مرتبه | ۱ | ۱ |
| ایجاد فارو | مرتبه | ۱ | ۱ |
| کاشت با ردیف‌کار | مرتبه | ۱ | ۱ |
| سمپاشی (آفت‌کش و علف‌کش) | مرتبه | ۲ | ۲ |
| برداشت | مرتبه | ۱ | ۱ |
| حمل‌ونقل ادوات زراعی | تن کیلومتر | ۱۷ | ۱۷ |
| حمل ونقل جاده‌ای | تن کیلومتر | ۵ | ۵ |
| سوخت | لیتر در هکتار | ۲۲۴/۵ | ۲۲۴/۵ |
| **نهاده‌ها** | | | |
| آب آبیاری | مترمکعب در هکتار | ۱۲۵۰۰ | ۱۰۵۰۰ |
| کود | | | |
| اوره | کیلوگرم درهکتار | ۴۳۵ | ۴۳۵ |
| $P_2O_5$ | کیلوگرم درهکتار | ۱۵۰ | ۱۵۰ |
| $K_2O$ | کیلوگرم درهکتار | ۲۰۰ | ۲۰۰ |
| آفت‌کش | گرم ماده موثره درهکتار | ۹۶/۲ | ۹۶/۲ |
| علف‌کش | گرم ماده موثره درهکتار | ۶۸۲ | ۶۸۲ |

شاخص گروه تاثیر اسیدیته و یوتریفیکاسیون برای تولید یک تن دانه ذرت در کشت پاییزه به‌ترتیب $kgSO_2eq$ ۷/۱۶ و $kgNO_xeq$ ۱۷/۳۳ و برای کشت بهاره به‌ترتیب برابر $kgSO_2eq$ ۹/۴۲ و $kgNO_xeq$ ۲۲/۳۱ محاسبه شد. شاخص گروه تاثیر اسیدیته و یوتریفیکاسیون برای تولید یک تن دانه ذرت در کشت پاییزه به‌ترتیب $kgSO_2eq$ ۷/۱۶ و $kgNO_xeq$ ۱۷/۳۳ و برای کشت بهاره به‌ترتیب برابر $kgSO_2eq$ ۹/۴۲ و $kgNO_xeq$ ۲۲/۳۱ محاسبه شد. اثرات مخرب زیست‌محیطی در قالب گروه‌های تاثیر اسیدیته و یوتریفیکاسیون برای تولید یک‌تن ذرت در استان خوزستان به‌دلیل نیاز آبی بالا و مصرف بالای کودهای شیمیایی به‌مراتب بیشتر از تولید محصولات زراعی در مناطق دیگر است. مقدار انرژی غیرقابل تجدید مورد استفاده در چرخه حیاتی تولید یک-تن ذرت بهاره و پاییزه در استان خوزستان برابر ۴۱۸۷/۶۵ و ۳۲۷۱/۳۲ مگاژول بر تن بود.

**جدول ۵- انتشارات زیست‌محیطی حاصل از تولید یک تن دانه ذرت کشت بهاره و پاییزه در شرایط خوزستان**

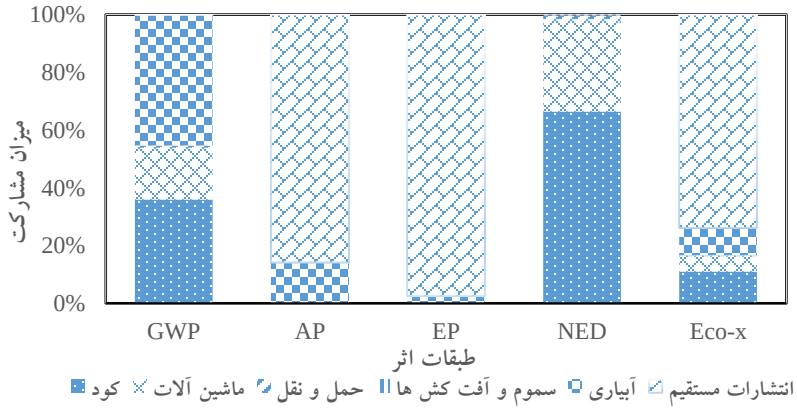
| میزان انتشار در کشت پاییزه (کیلوگرم به‌ازای هر تن دانه ذرت) | میزان انتشار در کشت بهاره (کیلوگرم به‌ازای هر تن دانه ذرت) | ترکیبات انتشار یافته | منبع اصلی انتشار |
|---|---|---|---|
| ۰/۷۸ | ۱/۱۸ | $N_2O$ | اوره و گازوئیل، الکتریسیته |
| ۰/۳۶ | ۰/۵۵ | $NO_X$ | اوره و الکتریسیته |
| ۳/۸۴ | ۴/۹۲ | $NH_3$ | اوره |
| ۲۸۱/۳۷ | ۳۶۱/۴۸ | $CO_2$ | اوره، گازوئیل، الکتریسیته، سموم |
| ۰/۳۷ | ۰/۴۷ | $CH_4$ | اوره، گازوئیل |
| ۰/۷۰ | ۱/۰۶ | $SO_X$ | الکتریسیته |

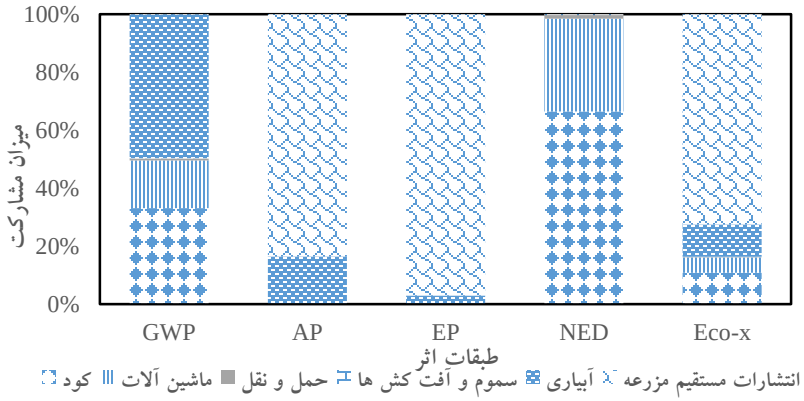
برای تولید یک تن دانه ذرت بهاره در استان خوزستان گروه‌های تاثیر گرمایش‌جهانی، یوتریفیکاسیون خشکی، اسیدیته، تخلیه منابع فسیلی، تخلیه منابع فسفات، تخلیه منابع پتاس و تخلیه منابع آبی به‌ترتیب برابر ۰/۰۹، ۰/۵، ۰/۳۳، ۰/۱۲، ۰/۹۱، ۰/۱۱ و ۰/۶۱ و برای کشت پاییزه این مقادیر به‌ترتیب برابر ۰/۰۷، ۰/۳۸، ۰/۲۵، ۰/۰۹، ۰/۷۱، ۰/۰۹ و ۰/۴ محاسبه شد. تخلیه منابع فسفات، تخلیه منابع آبی و یوتریفیکاسیون خشکی به‌ترتیب بیشترین اثرات سوء زیست‌محیطی را در تولید ذرت در استان خوزستان دارند. شاخص زیست‌محیطی (Eco-X) برای تولید ذرت در شرایط خوزستان به ترتیب برای کشت بهاره و پاییزه معادل ۰/۹۲ و ۰/۷۰ به دست آمد. علت بالا بودن این شاخص مصرف زیاد کودهای نیتروژن با منشا آلودگی زیست محیطی بالا به‌منظور افزایش محصول است. شاخص تخلیه منابع (RDI) نیز برای کشت بهاره و پاییزه به‌ترتیب معادل ۱/۷۵ و ۱/۲۹ محاسبه شد. باتوجه به پایین بودن عملکرد محصول در کشت بهاره و میزان بارندگی کمتر در این بازه زمانی

**جدول ۶- مقادیر شاخص‌های مختلف در مطالعه LCA در تولید یک تن دانه ذرت تحت دو نظام کشت بهاره و پاییزه در استان خوزستان**

| گروه تاثیر | کشت بهاره | | | کشت پاییزه | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | شاخص طبقه‌بندی | شاخص نرمال‌سازی | شاخص نهایی | شاخص طبقه‌بندی | شاخص نرمال‌سازی | شاخص نهایی |
| تقاضای انرژی | ۴۱۸۷/۶۵ (MJ) | ۰/۱۱ | ۰/۱۲ | ۳۲۷۱/۳۲ (MJ) | ۰/۰۸ | ۰/۰۹ |
| پتانسیل گرمایش‌جهانی | ۷۳۷/۱۵ ($KgCO_2eq$) | ۰/۰۹ | ۰/۰۹ | ۵۳۰/۹۴ ($KgCO_2eq$) | ۰/۰۶ | ۰/۰۷ |
| پتانسیل یوتریفیکاسیون | ۲۲/۳۱ ($KgNO_xeq$) | ۰/۳۵ | ۰/۵۰ | ۱۷/۳۳ ($KgNO_xeq$) | ۰/۲۷ | ۰/۳۸ |
| پتانسیل اسیدی‌شدن | ۹/۴۲ ($KgSO_2eq$) | ۰/۱۸ | ۰/۳۳ | ۷/۱۶ ($KgSO_2eq$) | ۰/۱۴ | ۰/۲۵ |
| تخلیه منابع فسفات | ۵/۴۳ ($KgP_2O_5eq$) | ۰/۷۶ | ۰/۹۱ | ۴/۲۴ ($KgP_2O_5eq$) | ۰/۵۹ | ۰/۷۱ |
| تخلیه منابع پتاس | ۳/۰۴ ($KgK_2Oeq$) | ۰/۳۷ | ۰/۱۱ | ۲/۳۷ ($KgK_2Oeq$) | ۰/۲۹ | ۰/۰۹ |
| تخلیه منابع آبی | ۱۸۰۹/۵۰ ($m^3$) | ۲/۸۹ | ۰/۶۱ | ۱۱۸۷/۳۸ ($m^3$) | ۱/۹۰ | ۰/۴۰ |

(آب مصرفی بیشتر)، شاخص مربوط به گروه تاثیر تخلیه منابع آبی در کشت بهاره بیشتر از کشت پاییزه به‌دست آمد. اثرات زیست‌محیطی نهایی حاصل از تولید یک محصول حاصل جمع اثرات فرآیندهایی است که در جریان تولید آن محصول دخالت دارند (Volad, 2009). در شکل ۳ سهم هریک از فرآیندهای موثر در تولید ذرت در استان خوزستان بر هریک از گروه‌های تاثیر گرمایش-جهانی، یوتریفیکاسیون، اسیدیته، تقاضا برای انرژی غیرقابل تجدید و شاخص زیست‌محیطی نشان داده شده است. به‌طورکلی در کشت ذرت در استان خوزستان مصرف کودهای شیمیایی و فرآیند تولید آن‌ها سهم بالایی در اثرات سوء زیست‌محیطی دارند. بعد از کودهای شیمیایی، آبیاری و استفاده از سوخت‌های دیزلی و الکتریسیته در ایجاد اثرات مخرب زیست‌محیطی نقش موثری داشتند. دلیل این امر در واقع نیاز آبی بالا، انتشار بالای آلاینده‌های زیست‌محیطی در تولید برق موردنیاز برای آبیاری و اجرای عملیات آماده‌سازی زمین است.






**شکل ۳- سهم کود، ماشین‌آلات کشاورزی، حمل‌ونقل، سموم و آفات‌کش‌ها، آبیاری و انتشارات مستقیم از مزرعه بر پتانسیل گرمایش‌جهانی (GWP)، پتانسیل اسیدی‌شدن (AP)، پتانسیل یوتریفیکاسیون خشکی (EP)، تقاضا برای انرژی غیرقابل تجدید (NED) و شاخص زیست-محیطی (Eco-x) در مطالعه LCA تولید یک تن دانه ذرت در کشت بهاره (شکل بالا) و پاییزه (شکل پایین) در استان خوزستان**

## ۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به مطالعه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی حاصل از تولید ذرت تحت دونظام کشت بهاره و پاییزه در استان خوزستان در سال زراعی ۹۷-۹۶ پرداخته شد. برای این منظور از روش LCA براساس استاندارد ISO14040 استفاده شد. شاخص‌های زیست‌محیطی (پتانسیل گرمایش‌جهانی، پتانسیل یوتریفیکاسیون و پتانسیل اسیدی‌شدن) و تخلیه منابع (منابع فسیلی، منابع آبی، منابع فسفات و منابع پتاس) به‌ازای تولید یک-تن دانه ذرت به‌عنوان واحد کارکردی بررسی شدند. کودهای شیمیایی، آب و سوخت (دیزل و الکتریسیته) نهاده‌های با بیشترین پتانسیل آسیب به محیط‌زیست بودند. نتایج مشابهی نیز در مطالعه LCA در تولید هندوانه در گیلان و تولید ذرت در گرگان گزارش شده است (Mohammadi Barsari *et al*, 2016؛ Feyzbakhsh *et al*., 2016). نتایج نشان داد که بیشترین اثرات منفی زیست‌محیطی به‌ترتیب مربوط به یوتریفیکاسیون خشکی و تخلیه منابع فسفات بود. یوتریفیکاسیون و تخلیه منابع فسفات به‌ترتیب سهم ۱۸/۷۳ و ۳۴/۰۸ درصدی در هزینه‌های زیست‌محیطی انتشارات آلاینده‌ها را داشتند و سهم تخلیه منابع آبی در اثرات مخرب زیست‌محیطی برابر ۲۲/۸۵ درصد بود. شاخص یوتریفیکاسیون برای تولید یک‌تن بادام‌زمینی در استان گیلان برابر ۱۴/۲ kgNOxeq و شاخص تخلیه منابع فسفات نیز ۱/۷ kg $P_2O_5$ گزارش شده است (Nikkhah *et al*., 2015). همچنین در مطالعه انجام-شده بر روی چغندرقند میزان آب مصرفی برای تولید یک‌تن محصول برابر ۲۱۸/۴ مترمکعب به‌دست آمد (Mirhaji *et al*., 2013). به‌منظور کاهش آلایندگی تولید ذرت در منطقه بایستی بر مصرف بهینه کودهای شیمیایی به‌خصوص کودهای نیتروژن و فسفر، جایگزین کردن کودهای شیمیایی با کودهای آلی و استفاده از کودهای بیولوژیکی و ارگانیک، استفاده از منابع تامین نیتروژن با پتانسیل آلودگی کمتر مانند بیوچار، هیدروچار و ورمی‌کمپوست، استفاده از ارقام با پتانسیل عملکرد بالا وکشت گیاهانی که قادر به تثبیت نیتروژن هستند تاکید

شود. از راهکارهای مفید جهت کاهش سوخت مصرفی و در نهایت کاهش آلودگی محیط‌زیست می‌توان به جایگزینی ماشین‌آلات فرسوده با نو، به‌کارگیری شیوه-های حفاظتی از قبیل کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی، استفاده از ادواتی با مصرف سوخت کمتر، تولید سوخت-های سازگار با محیط زیست از قبیل اتانول، متانول، بیوگاز و ... از ضایعات تجدیدپذیر کشاورزی به‌منظور تامین بخشی از انرژی مزرعه اشاره کرد. در مقایسه کشت بهاره و پاییزه مشاهده می‌شود که اثرات منفی زیست-محیطی به ازای تولید یک تن دانه ذرت در کشت بهاره بیشتر از کشت پاییزه است. در کشت بهاره به علت مقارن شدن عمل گرده افشانی با دمای زیاد خرداد ماه عملکرد ذرت کاهش یافت. بنابراین برای تولید یک تن دانه ذرت به‌عنوان واحد کارکردی مقادیر ورودی مورد نیاز و انتشارات خروجی افزایش می‌یابد. پس در شرایط آب-وهوایی خوزستان در کشت بهاره کاشت ارقام زودرس به‌جای میان‌رس توصیه می‌شود.

## References


Bahrami-Bavani, N., 2013. Analysis of energy consumption in sprinkler and surface irrigation systems in wheat production in north Ahwaz region. M.S thesis. Department of Mechanics of Agricultural Machinery and Mechanization. Shahid Chamran University Faculty of Agricultural. Ahwaz, Iran, 148 p. (in Persain)

Bazrgar, A.B., Soltani, A., Koochaki, A., Zeinali, E., Ghaemi, A., Hajarpoor, A., 2015. Simulation of nitrogen losses in sugar beet production in various production systems in Khorasan. Electronic Journal Soil Management Sustainable Production.

Bhat, M.G., English, B.C., Turhollow, A.F., Nyangito, H.O., 1994. Energy in Synthetic Fertilizers and Pesticides: Revisited. ORNL/Sub/90-99732/2. Oak Ridge National Laboratory: Oak Ridge, Tenn, Department of Energy, USA, 49 pp.

Birkved, M., & Hauschild, M.Z., 2006. Pest LCI-model for estimating field emissions of pesticides in agricultural LCA. Ecological Modelling 198, 433-51.

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Kuhlmann, H., 2004a. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology, I, Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. European Journal Agronomy 20, 247–264.

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Kuhlmann, H., Barraclough, P., 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 Agronomy 20, 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. Biomass Research Centre, University of Perugia.

ESKOM, 2010. ESKOM Integrated Report. Available from http:// financialresults.co.za/2010/eskom_ar2010/downloads /eskom_ar2010.pdf.

Feyzbakhsh, M.T., 2016. Evaluation of silage corn production in terms of energy consumption and global warming potential in Gorgan city. Crop Production Research 8(3), 183-199. (in Persain)

Gasol, C.M., Gabarrell, X., Anton, A., Rigola, M., Carrasco, J., Ciria, M. J., Rieradevall, J., 2007. Life

Kramer, K.J., Moll, H.C., Nonhebel, S., 1999. Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. Agricultural Ecosystem Environment 72, 9–16.

Mashoko, L., Mbohwa, C., Thomas, V.M., 2010. LCA of the South African sugar industry. Journal of Environmental Planning Management 53, 793–807.

Mirhaji, H., Khojastehpour, M., Abaspour-fard, M.H., Mahdavi, M., 2013. Environmental Impact Assessment of Sugar Beet Production (Beta vulgaris L.) by Life Cycle Assessment (Case Study: South Khorasan Province Farms). Journal of Agroecology. 4(2), 112-120. (in parsian)

Mohammadi-Barsari, A., Firoozi, S., Amin-Panah, H., 2015. Environmental effects of watermelon production in Guilan province by life cycle assessment method. Iranian Journal of Biosystems Engineering 47(1), 139-146. (in parsian)

Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, SH., Sharifi, M., Hosseinpour, S., 2017. Use of LCA indicators to assess Iranian rapeseed production systems with different residue management practices. Ecological Indicators 80, 31-39.

Mudahar, M.S., & Hignett, T.P., 1987. Energy requirements, technology, and resources in the fertilizer sector. In Helsel ZR (ed). Energy in World Agriculture vol 2, Elsevier: New York, 25–61.

Nemecek, T., von Richthofen, J., Dubois, G., Casta, P., Charles, R., Pahl, H., 2008. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. European Journal Agronomy 28, 380–393.

Nikkhah, A., Khojastehpour, M., Emadi, B., Taheri-Rad, A., Khorramdel, S., 2015. Environmental Impacts of Peanut Production System using Life Cycle Assessment Methodology. Journal of Cleaner Production 92, 84-90.

Pishgar-Komleh, S.H., Keyhani, A., Rafiee, S., Sefeedpari, P., 2012. Analysis of Energy and Economic Indicators for Cultivation of Forage Corn in Three Districts of Tehran Province in Iran. Energy 36, 3341-3335.

cycle assessment of a Brassica carinata bioenergy cropping system in southern Europe. Biomass and Bioenergy 31, 543-555.

Ghamari, M., Andarzian, B., Bakhshandeh, A., Gharineh, M.H., Fathi, GH., 2011. Simulation of drought stress and nitrogen effects on yield, water use and nitrogen use efficiency of corn using simulation model CERES-Maize. Crop Physiology Journal 17(2): 21– 31. (in Persain)

Green, M., 1987. Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In: Helsel, Z.R. (Ed.), Energy in Plant Nutrition and Pest Control 7, Elsevier, Amsterdam, ISBN: 0-444-42753-8, 165–177.

Hauschild, M., & Wenzel, H., 1998. Environmental assessment of products, Scientific Background vol. 2. Chapman and Hall, London, 565 p.

Helsel, Z.R., 1992. Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use. In Energy in World Agriculture 6, Fluck RC (ed). Elsevier: Amsterdam, the Netherlands, 177–201.

ISO, 2006. ISO 14040-Environmental Management Life Cycle Assessment-Principles and framework. ISO 14040-International Organization for Standardization, ISO, Geneva, 20 p.

Khojastehpour, M., Rad-Taheri, A.R., Nikkhah, A., 2015. Life Cycle Assessment of cotton production in Golestan province as based on the production of biomass energy as well as net income. Iranian Journal of Biosystems Engineering 46(2), 95-104. (in parsian)

Khorramdel, S., Rezvani-Moghaddam, P., Amin-Ghafori, A., 2014. Evaluation of environmental impacts for wheat Agroecosystems of Iran by using Life Cycle Assessment methodology. Cereal Research 4(1), 27-44. (In Persian)

Khorramdel, S., Shabahang, J., Ghafouri, A.A., 2017. Evaluation of Environmental Impacts for Rice Agroecosystems using Life Cycle Assessment (LCA). Iranian Journal of Applied Ecology 5(18), 1-14. (in persian)

Reno, M.L.G., Lora, E.E.S., Palacio, J.C.E., Venturini, O.J., Buchgeister, J., Almazan, O., 2011. A LCA (life cycle assessment) of the methanol production from sugarcane bagasse. Energy 36(6), 3716-3726.

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., Bazrgar, A., Koochaki, A., Zeinali, E., Ghaemi, A., Hajarpoor, A., 2015. Life cycle assessment (LCA) of sugar beet production in various production systems in Khorasan. Electronic Journal Plant Production 8(1), 43-62.

Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E., Soltani, E., 2010. Evaluation of environmental impact of crop production using LCA: wheat in Gorgan. Electronic Journal Plant Production 3, 201-218. (in Persian)

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 System 85, 101–119.

Van der laan, M., Jumman, A., Perret, S.R., 2015. Environmental benefits of improved water and nitrogen management in irrigation sugar cane: a combined crop modelling and life cycle assessment approach. Irrigation and drainage 64, 241-252.

Van der Werf, H.M.G., & Turunen, L., 2008. The environmental impacts of the production of hemp and flax textile yarn. Industrial Crops Product 27, 1–10.

Van Zeijts, H., Leneman, H., Sleeswijk, A.W., 1999. Fitting fertilization in LCA: allocation to crops in a cropping plan. Cleaner Production 7, 69-74.

Volad, M., 2009. Development and application of mathematical program for contribution analysis in Life Cycle Assessment. Thesis for Master of science in Energy and Environment, Norwegian University of Science and Technology Department of Energy and process Engineering.

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 and World Ecology 3(11): 157– 161