مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی
جلد سوم، شماره سوم، پاییز ۸۹
۲۰۱-۲۱۸
ejcp.gau@gmail.com

ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید گیاهان زراعی با روش LCA: گندم در گرگان

[*]افشین سلطانی[۱]، محمدحسین رجبی[۲]، ابراهیم زینلی[۱] و الیاس سلطانی[۱]

[۱]گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]دانشجوی کارشناسی‌ارشد زراعت
دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد

چکیده

در سال‌های اخیر توجه به مسائل زیست‌محیطی افزایش یافته است. ارزیابی چرخه حیاتی (LCA) عبارت از روشی است که در آن کلیه اثرات زیست‌محیطی مرتبط با یک محصول در کل چرخه حیاتی آن ارزیابی می‌شود. هدف از این تحقیق معرفی روش LCA و استفاده از آن در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید گندم در گرگان و مقایسه آن با اروپا بود. بدین منظور ابتدا داده‌های مختلف مزرعه‌ای جمع آوری شدند. سپس کلیه مواد و منابع محیطی و تکنولوژی مورد استفاده و میزان انتشار مواد مختلف به محیط‌زیست به‌ازای تولید یک تن گندم برآورد (صورت برداری) شدند. سرانجام، تأثیر این مواد در قالب تعدادی شاخص‌های زیست‌محیطی کمی شدند. نتایج نشان داد که تولید گندم در گرگان دارای اثرات زیست‌محیطی قابل‌توجهی از نظر تخلیه انرژی غیرتجدیدشونده، گرمایش جهانی، یوتریفیکاسیون، اکسیداسیون فتوشیمیایی، اسیدی‌شدن و تخلیه اوزون می‌باشد و از این نظر فاصله معنی‌داری با کشورهای اروپایی (حد مطلوب) وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: گندم، اثرات زیست‌محیطی، ارزیابی چرخه حیاتی.

مقدمه

در سال‌های اخیر توجه به مسائل زیست‌محیطی افزایش یافته است. با افزایش آگاهی زیست‌محیطی، بخش‌های مختلف اقتصادی به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های خود مشغول شده‌اند. کشاورزی یکی از بخش‌های مهم اقتصادی است که اثرات مهمی بر محیط‌زیست دارد (نمچک

[*]- مسئول مکاتبه: afsoltani@yahoo.com

و همکاران، ۲۰۰۸). در طی قرن بیستم تولیدات کشاورزی به نحو چشمگیری افزایش یافت که افزایش مکانیزاسیون، بهبود روش‌های تولید، کاربرد گسترده کودها و آفت‌کش‌ها و پیشرفت‌ها در دامپروری به افزایش تولید کمک زیادی نموده‌اند. امّا، افزایش تولید و استفاده گسترده از نهاده‌ها به انواعی از مشکلات زیست‌محیطی مثل یوتریفیکاسیون[1] منجر شده است. منبع اصلی چندین آلاینده مهم محیط زیست کشاورزی می‌باشد (برنتراپ و همکاران، ۲۰۰٤ الف و ب؛ بریکود و هاسچایلد، ۲۰۰٦؛ ون در ورف و ترنن، ۲۰۰۸). برای مثال، ۹۳ درصد آمونیاک از کشاورزی ناشی می‌شود (هاسچایلد و ونزل، ۱۹۹۸). بنابراین، مطالعه جنبه‌های زیست‌محیطی سیستم‌های تولید کشاورزی دارای اهمیت زیادی است.

ارزیابی[2] یا آنالیز چرخه حیاتی[3] عبارت از روشی است که در آن کلیه اثرات زیست‌محیطی مرتبط با یک محصول[4] (شامل کالا[5] و خدمات[6]) در کل چرخه حیاتی آن از مرحله استخراج و یا جمع‌آوری مواد خام، تا مرحله مصرف و سپس بازیافت و یا امحا ضایعات حاصل از آن ارزیابی می‌شود؛ در این روش با بررسی دقیق و ممیزی، کلیه منابع مصرف شده برای تولید محصول و کلیه مواد منتشره[7] به محیط‌زیست کمّی و ارزیابی می‌شوند (هاسچایلد و ونزل، ۱۹۹۸؛ ربیتزر و همکاران، ۲۰۰٤؛ پنیگتن و همکاران، ۲۰۰٤).

LCA یک فرآیند سیستماتیک و مرحله‌ای است که از ٤ بخش تشکیل شده است: تعریف هدف و حوزه کاری، صورت‌برداری[8]، ارزیابی تأثیر[9] و تفسیر[10] که در شکل (۱) نشان داده شده‌اند (گوییني و همکاران، ۲۰۰۱).

تعریف هدف و حوزه: در این مرحله محصول، فرآیند یا فعالیت تعریف و توصیف می‌شود. همچنین سیستم تحت مطالعه، مرزهای سیستم[11] و واحد کارکردی[12] مشخص می‌شوند.

1- Eutrophication
2- Life cycle assessment (LCA)
3- Life cycle analysis (LCA)
4- Product
5- Goods
6- Services
7- Emissions
8- Inventory analysis
9- Impact assessment
10- Interpretation
11- System boundaries
12- Functional unit

صورت‌برداری: این مرحله شامل شناسایی و کمّی‌کردن کلیه منابع مورد استفاده برای تولید محصول مثل انرژی، آب، مواد خام و فرآوری‌شده و کلیه مواد منتشرشده به محیط‌زیست مثل انتشار مواد آلاینده به هوا، خاک و آب و ضایعات ناشی از تولید و مصرف محصول می‌باشد.

ارزیابی تأثیر: در این مرحله اثرات بالقوه ناشی از مصرف منابع محیطی و تولید آلاینده‌ها بر انسان و طبیعت ارزیابی می‌گردد.

تفسیر: در این مرحله نتایج مراحل صورت‌برداری و ارزیابی تأثیر ارزشیابی می‌گردد تا مراحل یا نقاط در مسیر تولید و مصرف محصول که بیشترین اثرات سوء زیست‌محیطی را دارند[1] شناسایی شوند و نیز محصول و گزینه دارای اثرات سوء کمتر برای محیط‌زیست مشخص می‌گردد، نتیجه‌گیری‌های لازم انجام شده، توصیه‌های مورد نیاز به‌عمل می‌آید و گزارش LCA تهیه می‌گردد.

LCA از جمله روش‌های مورد تأیید ISO می‌باشد و این سازمان در سری انتشارات ۱٤۰٤۰ خود نحوه انجام این روش را مشخص نموده است (ISO، ۱۹۹۷):

نشریه ۱٤۰٤۰- اصول و چارچوب LCA

نشریه ۱٤۰٤۱- هدف، حوزه و صورت‌برداری (ممیزی)

نشریه ۱٤۰٤۲- ارزیابی اثرات زیست‌محیطی

نشریه ۱٤۰٤۳- تفسیر نتایج LCA

تاکنون از روش LCA برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید گیاهان زراعی استفاده نشده است و این مطالعه، اولین از نوع خود در کشور می‌باشد. بنابراین، هدف از این تحقیق عبارت بود از (۱) معرفی روش LCA و مراحل آن به طور خلاصه جهت آشنایی دانشجویان، محققان و سایر دست‌اندرکاران، و (۲) ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید گندم در گرگان به‌عنوان نمونه با این روش و مقایسه آن با اروپا. خاطر نشان می‌سازد در مجلات بین‌المللی نیز تعداد مقالاتی که به ارزیابی زیست‌محیطی تولید گیاهان زراعی پرداخته‌اند، بسیار محدود می‌باشد.

1- Hot spots

مواد و روش‌ها

در این قسمت مواد و روش‌ها مطابق روش LCA و طبق استاندارد ISO (ISO، ۱۹۹۷) توضیح داده می‌شود:

(الف) هدف و حوزه: هدف از LCA نشان دادن اثرات زیست‌محیطی تولید گندم در گرگان و مقایسه آن با تولید این محصول در باروئیس[1] در شمال فرانسه و ساکسونی-آنهالت[2] در شرق آلمان بود. انتخاب گرگان از آن جهت بود که این منطقه از مهمترین مناطق تولید گندم در کشور است و به‌دلیل شرایط مساعد محیطی، سیستم دو کشتی[3] در آن رواج دارد. در سیستم دوکشتی به دلیل فشرده بودن زراعت احتمال اثرات سوء زیست‌محیطی بیشتر می‌باشد. همچنین انتخاب گرگان به‌دلیل وجود اطلاعات لازم برای انجام LCA بود که بخش مهمی از آن قبلاً توسط نگارندگان تهیه شده بودند (زینلی، ۲۰۰۹: رجبی، ۲۰۱۰). انتخاب سایر نقاط نیز به‌دلیل وجود اطلاعات مشابه برای انجام مقایسه در این نقاط بود (نمچک و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین به‌دلیل رعایت استانداردهای بالای زیست‌محیطی در اروپا، انجام این مقایسه فاصله با حد مطلوب را نشان خواهد داد. مرز سیستم در این مطالعه، دروازه مزرعه[4] در نظر گرفته شد؛ یعنی کلیه ورودی‌ها و فرآیندهای مورد نیاز برای تولید محصول و تحویل آن درب مزرعه در نظر گرفته شدند (شکل ۲). واحد کارکردی در این مطالعه یک تن گندم در نظر گرفته شد که کلیه ورودی‌ها و خروجی‌ها و اثرات زیست‌محیطی نسبت به آن سنجیده شدند. با توجه به این‌که مزرعه دارای دو خروجی، یکی محصول دانه و دیگری کاه و کلش است، توزیع (تخصیص) اثرات زیست‌محیطی (ربیتزر و همکاران، ۲۰۰٤) به صورت ۹۰ درصد دانه و ۱۰ درصد کاه و کلش در نظر گرفته شد که مطابق ارزش اقتصادی آن‌ها می‌باشد. در شرایطی که سیستم دارای دو یا چند خروجی است توزیع اثرات باید به اجزا گذاشته شود.

(ب) صورت‌برداری از چرخه حیاتی: در این مرحله باید کلیه منابع لازم در سیستم جهت تولید محصول و کلیه خروجی‌ها (انتشارات) به محیط‌زیست تعیین و فهرست‌برداری شوند. در این مرحله ابتدا ٦ مزرعه گندم انتخاب شدند و کلیه فعالیت‌ها و ورودی‌ها و خروجی‌ها مورد بررسی و فهرست‌برداری قرار گرفت: جزییات بیشتر توسط رجبی (۲۰۱۰) ارایه شده است. در این مقاله LCA

1- Barrois
2- Saxony-Anhalt
3- Double cropping
4- Farm gate

برای یک مزرعه نمونه در شرایط گرگان انجام می‌گیرد، اگرچه وضعیت‌های تولید قدری متفاوت‌تر نیز وجود دارند. در مرحله صورت برداری به موارد زیر توجه شده‌است: (۱) زیرساخت‌ها: شامل ساخت، نگهداری و استهلاک ماشین‌آلات و ساختمان‌ها (پناهگاه برای ماشین‌آلات)، (۲) کلیه عملیات زراعی شامل تهیه بستر، کاشت، تغذیه گیاه، حفاظت گیاه، آبیاری، برداشت و حمل و نقل ادوات و تأمین و مصرف سوخت جهت انجام آن‌ها، و (۳) تولید کودها و آفت‌کش‌ها و حمل و نقل آن‌ها.

در مواردی مثل کودها، سموم و ماشین‌آلات فهرست‌برداری مربوط به آن‌ها (یعنی کلیه منابع مصرف‌شده در تولید آن‌ها و انتشارات مرتبط به محیط‌زیست؛ موراد و همکاران، ۲۰۰۷) از سایر منابع (هیجونگز و همکاران، ۱۹۹۲؛ گوئینی و همکاران، ۲۰۰۱) و عمدتاً از فریشنخت و همکاران (۲۰۰٤) گرفته شد. در این مورد چون اطلاعات خاص برای کشور در دست نبود، از اطلاعات مربوط به اروپا استفاده شد و فرض شد، فرآیند تولید این مواد در کشور مشابه اروپا است.

انتشارات مستقیم از مزرعه شامل انتشار آمونیاک از کودهای نیتروژنی به‌کار رفته، انتشار گازهای N_2O و NO_x به‌طور مستقیم از کودهای مصرفی و نیتروژن قابل دسترس خاک و غیرمستقیم از آمونیاک و نیترات منتشرشده به محیط زیست، انتشار دی‌اکسید کربن به هوا ناشی از مصرف کود اوره، تلفات نیترات در اثر آبشویی، تلفات فسفر به دلیل حمل با آب و انتقال به آب‌های سطحی و زیرزمینی با روش‌های مختلفی برآورد گردیدند (زینلی، ۲۰۰۹؛ موراد و همکاران، ۲۰۰۷؛ بری و همکاران، ۲۰۰۳؛ برنتراپ و همکاران، ۲۰۰٤ الف و ب؛ ون در ورف و ترنن، ۲۰۰۸؛ رناف و همکاران، ۲۰۰۸؛ برکود و هاسچایلد، ۲۰۰٦). تلفات فسفر ناشی از فرسایش خاک صفر در نظر گرفته شد، چون فرض شد فرسایش خاک رخ نمی‌دهد. میزان انتشار عناصر سنگین به آب و خاک براساس برآورد سالانه ورود آن‌ها به خاک (از محل کود، سموم، بذر و رسوب) و خروج آن‌ها از خاک (توسط برداشت محصول و آبشویی و فرسایش) محاسبه شد (ون در ورف و ترنن، ۲۰۰۸).

نتیجه مرحله صورت برداری فهرستی از ورودی‌ها به مزرعه و خروجی‌ها و انتشارات از مزرعه است.

ارزیابی تأثیر در چرخه حیاتی: در این مرحله ابتدا باید مشخص ساخت که کدام طبقات تأثیر[1] لحاظ شوند و نیز برای ارزیابی تأثیر از چه روشی استفاده گردد. طبقات تأثیر که در این مطالعه انتخاب شدند عبارت بودند از (پنیگتن و همکاران، ۲۰۰٤):

1- Impact categories

(۱) تقاضا برای انرژی غیرتجدیدشونده[1] (مثل گازوئیل، گاز طبیعی و نظیر این‌ها) که براساس ورودی‌های مختلف و انرژی مورد نیاز برای ساخت و حمل و نقل آن‌ها و نگهداری (ماشین‌آلات) محاسبه گردید.

(۲) پتانسیل گرمایش جهانی[2]: منظور توانایی گرمایش جهانی ایجادشده در طول یک دوره ۱۰۰ ساله است که توسط مواد انتشار یافته در جریان تولید محصول ایجاد می‌شوند.

(۳) پتانسیل یوتریفیکاسیون[3]: مربوط به اثر تلفات نیتروژن و فسفر به اکوسیستم‌ها می‌باشد که به صورت معادل PO_4^- کمّی می‌شود.

(٤) پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی[4]: منظور تشکیل اوزون در لایه تحتانی اتمسفر می‌باشد.

(٥) پتانسیل اسیدی‌شدن[5]: تأثیر مواد اسیدزا آزادشده به اکوسیستم‌ها را نشان می‌دهد.

(٦) پتانسیل تخلیه اوزون[6]: تأثیر مواد انتشاریافته در از بین بردن لایه اوزون را کمّی می‌کند.

(۷) اشغال یا استفاده از زمین[7]: مربوط می‌شود به استفاده از زمین به عنوان یک منبع که باعث می‌شود به‌طور موقت برای سایر مقاصد و حیات وحش غیرقابل دسترس گردد. این استفاده به صورت کمّی است و کیفیت زمین در آن لحاظ نمی‌شود.

روش مورد استفاده در این تحقیق برای محاسبه شاخص‌های مرتبط با طبقات تأثیر ذکرشده EPD[8] بود، هرچند روش‌های متعدد دیگری نیز وجود دارد (گادکاپ و همکاران، ۲۰۰۸).

در مرحله ارزیابی تأثیر، ابتدا تعیین می‌گردد که هر یک از مواد انتشاریافته به محیط که مقدار آن‌ها در مرحله قبل مشخص شده است دارای کدام تأثیرات هستند و باید در کدام طبقه یا طبقه‌های تأثیر قرار گیرند. سپس این انتشارات به یک واحد معادل برای هر طبقه تأثیر تبدیل می‌شوند. برای مثال، گازهای انتشاریافته دی اکسید کربن، CH_4 و N_2O دارای تأثیر بر گرم‌شدن کره زمین هستند ولی پتانسیل این گازها در ایجاد تغییر اقلیم متفاوت است. به این صورت که برای دی اکسید کربن برابر ۱، برای CH_4

1- Non-renewable energy
2- Global warming potential
3- Eutrophication potential
4- Smog formation
5- Acidification potential
6- Ozone depletion potential
7- Land occupation
8- Environmental Product Declarations

برابر ۲۱ و برای N_2O برابر ۳۱۰ می‌باشد. بنابراین، چنان‌چه یک کیلوگرم N_2O انتشار یافته باشد به‌صورت ۳۱۰ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بیان می‌شود. عدد ۳۱۰ ضریب مشخص‌سازی[1] نامیده می‌شود. هیجونگز و همکاران (۲۰۰۰)، گوییني و همکاران (۲۰۰۲) و بری و همکاران (۲۰۰۳) ضرایب مشخص‌سازی برای تبدیل مواد انتشاریافته به معادل‌های هر طبقه تأثیر را ارایه کرده‌اند.

(د) تفسیر نتایج: این مرحله LCA نیز مطابق استانداردهای موجود انجام گرفت که در بخش نتایج و بحث ارائه می‌شوند.

نتایج و بحث

در بین ٦ مزرعه مورد بررسی عملکرد دانه برداشت‌شده بین ۲۵۰۰ تا ۵۲۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. امّا، در یک مزرعه از مزارع که عملیات زراعی آن و سایر شرایط آن با سایر کشاورزان مشابهت بیشتری داشت، عملکرد دانه ٤١٠٠ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۱). با لحاظ شاخص برداشت ۰/٤٥ و این که حدود ٦۰ درصد بقایا از مزرعه خارج می‌شوند، عملکرد کاه و کلش این مزرعه ۳۲۵۰ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد. با توجه به قیمت‌های سال ۱۳۸۸، درآمد ناخالص کشاورز از محل فروش دانه و کاه به ترتیب ۱۲/۷۱ و ۱/۳۷ میلیون ریال (کل درآمد ناخالص ١٤/۰۸ میلیون ریال) می‌باشد، که ۹۰ درصد آن مربوط به دانه و ۱۰ درصد مربوط به کاه است. بنابراین، نسبت ۹۰ به ۱۰ برای اختصاص اثرات زیست‌محیطی بین خروجی‌های سیستم (مزرعه گندم) استفاده شد. بیشتر پژوهشگران تخصیص بر مبنای ارزش اقتصادی محصولات را توصیه می‌کنند، هرچند تخصیص بر اساس وزن تولیدی هم مورد استفاده قرار می‌گیرد (ربیتزر و همکاران، ۲۰۰٤).

منابع محیطی مورد استفاده در تولید گندم در جدول ۲ درج شده‌اند. با توجه به سیستم دوکشتی مورد استفاده در تولید گندم در واقع برای تولید ٤١٠٠ کیلوگرم دانه به نیم هکتار زمین در سال نیاز می‌باشد، چون بعد از گندم به طور معمول محصول دیگری در زمین کشت می‌گردد (اغلب سویا) و در یک سال دو محصول از زمین برداشت می‌شود. با احتساب این موضوع برای تولید هر کیلوگرم گندم در گرگان به ۱/۲۲ مترمربع زمین در سال نیاز می‌باشد. این مقدار زمین برای سایر مصارف و حیات وحش قابل استفاده نخواهد بود. با توجه به مقدار انرژی دانه و کاه گندم که به‌ترتیب ١٤/۷ و ۹/۲۵

1- Characterization factor

جدول ۱- مقادیر عملکرد دانه و کاه گندم و درآمد ناخالص حاصله در شرایط گرگان. درآمد ناخالص براساس قیمت‌های سال ۱۳۸۸ محاسبه شده است.

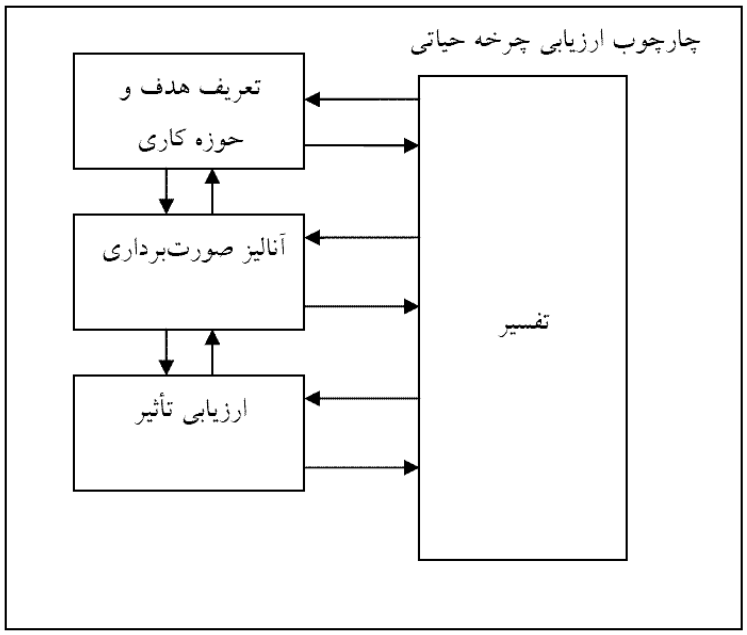
خروجی	واحد	مقدار
عملکرد دانه	کیلوگرم در هکتار	٤١٠٠
عملکرد کاه	کیلوگرم در هکتار	٣٢٥٠
درآمد ناخالص دانه	میلیون ریال در هکتار	١٢/٧١
درآمد ناخالص کاه	میلیون ریال در هکتار	١/٣٦٥
درآمد کل	میلیون ریال در هکتار	١٤/٠٧٥

جدول ۲- مقادیر منابع محیطی، تشعشع خورشیدی و دی‌اکسیدکربن جذب‌شده (دریافت‌شده) در جریان تولید گندم در شرایط گرگان

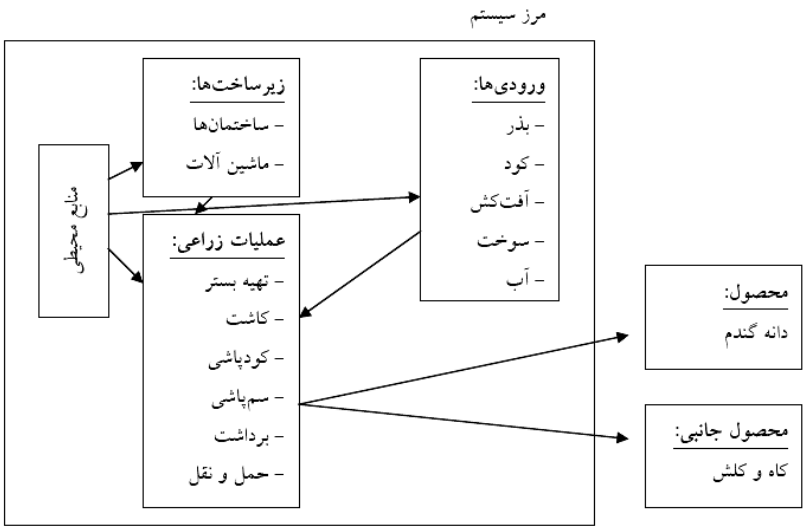
منابع	واحد	مقدار
تشعشع خورشیدی	مگاژول در هکتار	٩٠٣٣٣
دی‌اکسیدکربن	کیلوگرم دی اکسید کربن در هکتار	١١٥٨٨

جدول ۳- مقادیر ورودی‌های مختلف جهت تولید محصول گندم در یک هکتار زمین در شرایط گرگان.

ورودی	واحد	مقدار
سوخت	لیتر در هکتار	١٠٠
بذر	کیلوگرم در هکتار	١٥٠
کود		
N	کیلوگرم در هکتار	٨٥
P_2O_5	کیلوگرم در هکتار	٩٩
K_2O	کیلوگرم در هکتار	٤٨
آفت‌کش	گرم ماده موثره در هکتار	٥٦٧/٥
عملیات زراعی		
شخم	مرتبه	١
دیسک (تهیه بستر و اختلاط کود با خاک)	مرتبه	٥
پخش کود	مرتبه	٣
کاشت با خطی‌کار	مرتبه	١
سم پاشی	مرتبه	٢
برداشت	مرتبه	١
حمل و نقل ادوات زراعی	تن کیلومتر	١٨
حمل و نقل جاده‌ای	تن کیلومتر	٣
آب آبیاری	مترمکعب در هکتار	٨٠٠



شکل ۱- مراحل آنالیز چرخه حیاتی (ISO، ۱۹۹۷).



شکل ۲- سیستم مورد مطالعه و مرزهای آن.

مگاژول بر کیلوگرم است (رجبی، ۲۰۱۰)، کل انرژی خورشیدی به دام افتاده توسط گندم معادل ۹۰۳۳۳ مگاژول در هکتار می‌باشد. همچنین با لحاظ درصد کربن در دانه و کاه گندم کل دی اکسید کربن جذب‌شده (ترسیب‌شده) معادل ۱۱۵۸۸ کیلوگرم دی اکسید کربن در هکتار می‌باشد.

نتایج صورت‌برداری در خصوص ورودی‌های مزرعه گندم در جدول ۳ آورده شده‌اند. رجبی (۲۰۱۰) عملیات تولید گندم در شرایط گرگان را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است. برای تولید گندم به ۱۰۰ لیتر گازوئیل و ۱۵۰ کیلوگرم بذر در هکتار نیاز است. مقادیر کودهای مصرف‌شده در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. کودهای معمول مورد استفاده کشاورزان که در این مطالعه لحاظ شده‌اند، عبارتند از اوره، فسفات نیترات آمونیوم، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم. در هر هکتار ۵٦۷/۵ گرم آفت‌کش (ماده مؤثره) به مصرف می‌رسد که به‌طور عمده از دسته علف‌کش‌ها (شامل گرانستار، تاپیک و سافیکس) هستند و در مرحله بعد قارچ‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها می‌باشند.

عملیات زراعی معمول برای تولید گندم عبارتند از: شخم از اواخر شهریور تا اوایل آبان، دیسک به تعداد ۵ تا ٦ نوبت جهت نرم‌کردن خاک و اختلاط کودهای پایه با خاک، ۳ نوبت پاشیدن کودهای پایه و سرک با دستگاه سانتریفوژ، ۲ نوبت سمپاشی، کاشت با دستگاه خطی‌کار و برداشت با کمباین. همچنین برآورد شد که برای تولید در هر هکتار به ۱۸ تن کیلومتر حمل و نقل ادوات زراعی (رفت و برگشت ماشین‌آلات از محل نگهداری تا محل عملیات) و ۳ تن کیلومتر حمل و نقل جاده‌ای (جهت حمل و نقل ورودی‌ها) نیاز می‌باشد. مقدار آب لازم برای آبیاری حدود ۸۰۰ مترمکعب در هکتار در نظر گرفته شد که در دو نوبت آبیاری به مصرف می‌رسد.

انواع و مقدار انتشار مواد مختلف به محیط‌زیست برای تولید گندم در هر هکتار در جدول ٤ نشان داده شده است. انتشار آمونیاک به میزان ۱۱/۱۳ کیلوگرم در هکتار برآورد شد که به دلیل فرار از کودهای نیتروژنی به‌کار رفته می‌باشد. میزان انتشار گاز N_2O معادل ۳/۱۱ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید که شامل تلفات مستقیم از کودهای مصرفی و نیتروژن قابل دسترس خاک و غیرمستقیم از آمونیاک و نیترات منتشرشده می‌باشد. تلفات NO_x به‌صورت ۲۱ درصد N_2O و به میزان ۰/۵ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد. مقدار دی‌اکسید کربن منتشرشده به هوا ناشی از مصرف کود اوره ۷۲/۲ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. تلفات نیترات بر اساس مطالعه زینلی (۲۰۰۹) ۳۵ کیلوگرم در هکتار لحاظ شد. تلفات فسفر به دلیل حمل با آب و انتقال به آب‌های سطحی و زیرزمینی ۱٤٤ گرم در هکتار برآورد گردید. تلفات فسفر ناشی از فرسایش خاک صفر در نظر گرفته شد، چون فرض شد

جدول ٤- مقادیر انتشار مواد مختلف به محیط‌زیست ناشی از تولید گندم در یک هکتار زمین.

انتشار	واحد	مقدار
در هوا		
آمونیاک ($NH3$)	کیلوگرم در هکتار	۱۱/۱۳
اکسیدهای نیتروژن (NO_x)	کیلوگرم در هکتار	۰/۵
اکسید دی نیتروژن (N_2O)	کیلوگرم در هکتار	۳/۱۱
دی‌اکسید کربن (CO_2)	کیلوگرم در هکتار	۷۲/۲
در آب		
نیترات (NO_3^-)	کیلوگرم در هکتار	۳۵
فسفات	کیلوگرم در هکتار	۰/۱٤٤
کادمیم	میلی‌گرم در هکتار	۲۳/۹
مس	میلی‌گرم در هکتار	۱٦۱۱/۲
روی	میلی‌گرم در هکتار	۹۱۰۵
سرب	میلی‌گرم در هکتار	۳۲/۹
کروم	میلی‌گرم در هکتار	۱۰۱۳۵/٤
در خاک		
کادمیم	میلی‌گرم در هکتار	٦۸۰۳/۸
مس	میلی‌گرم در هکتار	-۱۰۵۸٤/٦
روی	میلی‌گرم در هکتار	-۱٤۳۲۵/۱
سرب	میلی‌گرم در هکتار	۸٤٤/۱
نیکل	میلی‌گرم در هکتار	۵۷۰۷/۳
کروم	میلی‌گرم در هکتار	۲۷۱۵۹/۱
جیوه	میلی‌گرم در هکتار	-۰/۸۲۳
آفت‌کش‌ها	گرم در هکتار	۵٦۷/۵

فرسایش خاک رخ نمی‌دهد. میزان عناصر سنگین به آب و خاک براساس برآورد سالانه رسوب این عناصر و نیز مقدار ورود آن‌ها به خاک از محل کود، سموم، بذر و رسوب و خروج آن‌ها از خاک توسط برداشت محصول و آبشویی و فرسایش محاسبه شد (جدول ٤). برای مس، روی، جیوه میزان

خروج از خاک بیش از ورود آن‌ها بود. استفاده از منابع[1] و انتشارات به محیط‌زیست روی هم بار زیست‌محیطی[2] نامیده می‌شوند. اثرات زیست‌محیطی[3] نتیجه بار زیست‌محیطی هستند. مثلاً آبشویی نیترات یک بار زیست‌محیطی است ولی یوتریفیکاسیون ناشی از آن یک اثر زیست‌محیطی محسوب می‌شود.

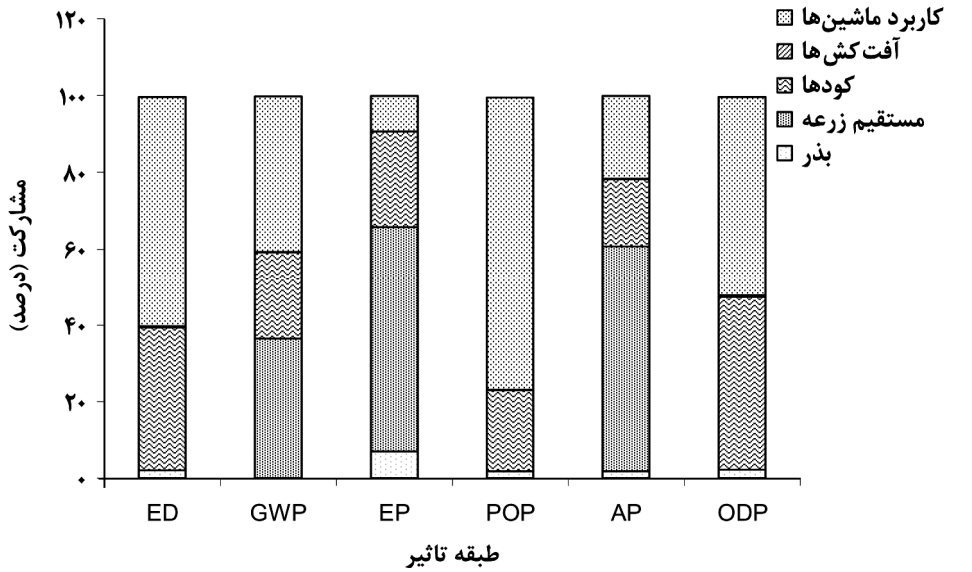
جدول ۵- مقادیر شاخص‌های مختلف جهت ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید گندم. مقادیر برای تولید یک تن محصول گندم (واحد کارکردی) ارائه شده‌اند. مقادیر این شاخص‌ها مربوط به شرایط فرانسه و آلمان نیز گنجانده شده‌اند. میزان تولید محصول در گرگان، فرانسه و آلمان به‌ترتیب ٤١٠٠، ٦٧٥٣ و ٦٩٨٥ کیلوگرم در هکتار بوده است.

شاخص	واحد	گرگان- ایران	باروئیس- فرانسه	ساکسونی آنهالت- آلمان
تقاضای انرژی	مگا ژول	٦٦٤٠	٣٥٤٩	٣٣٤٦
پتانسیل گرمایی جهانی	کیلوگرم معادل CO_2	٦٢٠	٦٠٢	٥٢٤
پتانسیل یوتریفیکاسیون	کیلوگرم معادل PO_4	٢/٩٩	٦/١٧	٢/٨١
پتانسیل اسیدی‌شدن	کیلوگرم معادل SO_2	٦/٧٤	٦/١٣	٢/٦٣
پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی	کیلوگرم معادل C_2H_4	٠/٥٠	٠/١٢٧٣	٠/١٢٦٨
پتانسیل تخلیه اوزون	میلی‌گرم معادل CFC-11	٤٦/٦٤	٢٥/٦٦	٢٥/٢٧
اشغال زمین	مترمربع در سال	١٢١٩	١٤٨١	١٤٣٢

نتایج حاصل از ارزیابی تأثیر در جدول (۵) نشان داده شده است. نتایج این جدول براساس مقدار برای تولید یک تن گندم هستند.

میزان انرژی غیرقابل تجدید (فسیلی) مورد استفاده در تولید یک تن گندم در گرگان ٦٦٤٠ مگاژول برآورد گردید. این مقدار در مقایسه با دو کشور اروپایی از همه بیشتر بود. در فرانسه و آلمان به‌ترتیب با ٥٤ و ٥١ درصد این مقدار تولید انجام می‌شود. انجام عملیات زراعی (تولید، تعمیر و نگهداری ماشین‌ها و سوخت مصرفی) با ٥٩ درصد و تولید و عرضه کودها با ٣٨ درصد بیشترین سهم را در مصرف انرژی داشته‌اند (شکل ٣).

1- Resources
2- Environmental burdens
3- Environmental impact



شکل ۳- سهم بذر، انتشارات مستقیم مزرعه، کودها، آفت‌کش‌ها و کاربرد ماشین‌آلات در تقاضای انرژی (ED)، پتانسیل گرمایی جهانی(GWP)، پتانسیل یوتریفیکاسیون (EP)، پتانسیل اسیدی‌شدن (AP)،پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی (POP)، پتانسیل تخلیه اوزون (ODP) در تولید گندم در گرگان.

در شرایط گرگان برای تولید هر تن گندم ٦٢٠ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر آزاد می‌گردد. این رقم به‌ترتیب ۳ و ۱۸ درصد بیشتر از فرانسه و آلمان است. انتشار مستقیم از مزرعه (اوره) ۳۷ درصد، انتشار در جریان تولید و عرضه کودها ۲۳درصد و انتشار ناشی از عملیات زراعی ٤٠ درصد در تولید گازهای گلخانه‌ای سهم داشته‌اند (شکل ۳). انتشار گازهای گلخانه‌ای به دلیل خصوصیات تشعشعی ویژه این گازها باعث گرم‌شدن غیرطبیعی سطح کره زمین می‌شوند که به نوبه خود باعث تغییر اقلیم جهانی و منطقه می‌گردند (پنینگتن و همکاران، ۲۰۰٤).

در چرخه حیاتی تولید یک تن گندم در گرگان معادل ۲/۹۹ کیلوگرم PO_4^- به محیط‌زیست منتشر می‌شود که دارای اثرات یوتریفیکاسیون می‌باشد. این رقم حدود ٤٨ درصد مقدار در فرانسه است، ولی نسبت به آلمان ٦ درصد بیشتر می‌باشد. تلفات مستقیم مزرعه ٧٦ درصد، کودها ۱۵ درصد و عملیات زراعی ۵ درصد در پتانسیل یوتریفیکاسیون سهم داشته‌اند (شکل ۳). یوتریفیکاسیون عبارت از افزایش ناخواسته در تولید بیوماس در اکوسیستم‌های زمینی و آبی به علت ورود عناصر غذایی است که

می‌تواند باعث تغییر در ترکیب گونه‌ای رستنی‌ها شود. یوتریفیکاسیون به‌ویژه در آب‌های سطحی خطرناک است چون می‌تواند رشد جلبک را تشدید نموده و سرانجام به از بین رفتن حیات برکه‌ها و دریاچه‌ها منجر گردد (برنتراپ و همکاران، ۲۰۰٤ الف و ب).

به‌ازای تولید هر تن گندم در گرگان معادل ٦/۷ کیلوگرم SO_2 مواد به محیط‌زیست منتشر می‌شوند که دارای اثرات اسیدی‌شدن هستند. در فرانسه و آلمان به‌ترتیب ۹۱ و ۳۹ درصد این مقدار در جریان تولید هر تن گندم منتشر می‌شود. انتشار مستقیم از مزرعه ۵۷ درصد، کودها ۱۹ درصد و عملیات زراعی ۲۲ درصد در اسیدی شدن نقش داشته‌اند (شکل ۳). اثرات اسیدی‌شدن به‌طور عمده به علت انتشار SO_2، NO_2 و NH_3 به هوا می‌باشد. SO_2 در وهله اول از احتراق سوخت‌های فسیلی تولید می‌گردد. آمونیاک اگرچه قلیایی است، ولی در اتمسفر به اسید نیتریک اکسیده می‌شود. اسیدی‌شدن دارای اثرات زیان‌بار برای گیاهان و حیوانات بوده به اکوسیستم‌ها و ساختمان‌ها نیز خسارت وارد می‌آورد (بری و همکاران، ۲۰۰۳؛ برنتراپ و همکاران، ۲۰۰٤ الف و ب).

به‌ازای تولید هر تن گندم در گرگان آلاینده‌هایی به محیط‌زیست منتشر می‌شوند که معادل ۰/۵ کیلوگرم C_2H_4 دارای پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی (دودمه) هستند. این رقم حدوداً چهار برابر بیشتر از فرانسه و آلمان است. کودها با ۲٦ درصد و عملیات زراعی با ۷۱ درصد مهمترین نقش را داشته‌اند. این پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی به‌طور عمده ناشی از تشکیل اوزون در لایه‌های تحتانی اتمسفر است. البته در طبیعت اوزون به مقدار کم تولید می‌شود، ولی در شرایط انتشار آلاینده‌ها، تولید آن افزایش می‌یابد و می‌تواند اثرات سوئی بر سلامت انسان و اکوسیستم بگذارد. میزان تولید اوزون تحت تأثیر غلظت NO_x، ترکیبات آلی فرار، منواکسیدکربن و متان می‌باشد که شرایط محیطی مثل دما، تشعشع و جریانات همرفتی بر آن اثر می‌گذارد (بری و همکاران، ۲۰۰۳).

به‌ازای تولید هر تن گندم در گرگان معادل ٤٦/٦٤ میلی‌گرم آلاینده‌های CFC-11 به محیط‌زیست منتشر می‌شوند که می‌توانند باعث تخریب لایه اوزون در استراتوسفر گردند. در فرانسه و آلمان حدود ۵۵ درصد این مقدار تولید می‌گردد. کودها با ۳۵ درصد و عملیات زراعی با ٦۲ درصد نقش عمده در تولید آلاینده‌های دارای اثر مخرب بر لایه اوزون داشته‌اند (شکل ۳). کلروفلوروکربن‌ها مهمترین موادی هستند که دارای خاصیت تخریب لایه اوزون می‌باشند (گوییني و همکاران، ۲۰۰۱). تخریب لایه اوزون می‌تواند باعث اثراتی مثل سرطان پوست، ورود خسارت‌های مولکولی به مواد، صدمه به

گیاهان و حیوانات گردد که به علت افزایش عبور اشعه ماوراء بنفش رخ می‌دهند (بری و همکاران، ۲۰۰۳).

برای تولید هر تن گندم در گرگان در سال به ۱۲۱۹ متر مربع زمین نیاز می‌باشد. این رقم برای فرانسه و آلمان به‌ترتیب ۱٤۸۱ و ۱٤۳۲ متر مربع در سال می‌باشد.

خاطر نشان می‌سازد که در محاسبه اثرات زیست‌محیطی، نقش مواد و وسایل مورد استفاده در تولید گندم هم لحاظ شده است. برای مثال، در خصوص پتانسیل گرمایش جهانی (٦۲۰ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر تن)، ۸ درصد این رقم در جریان تولید فسفات نیترات آمونیوم رخ می‌دهد یا حدود ٦ درصد اثرات اسیدی‌شدن (۷ کیلوگرم معادل SO_2 بر تن) مربوط به تولید کود سوپر فسفات تریپل است که در تولید گندم مورد نیاز می‌باشد (داده‌ها نشان داده نشده‌اند).

بنابراین، در جمع بندی نتایج این تحقیق می‌توان اظهار داشت که:

(۱) تولید گندم در گرگان دارای اثرات زیست‌محیطی قابل‌توجهی است و در مقایسه با کشورهای اروپایی با حد مطلوب فاصله معنی‌داری وجود دارد.

(۲) انتشارات مستقیم مزرعه، کودها و عملیات زراعی مهمترین نقش را در تولید آلاینده‌ها دارند. با مدیریت بهتر مزرعه، مصرف کمتر کودها از طریق بهینه‌سازی استفاده از آن‌ها و کاهش کاربرد ماشین‌ها در عملیات زراعی می‌توان نسبت به کاهش اثرات زیست‌محیطی اقدام نمود.

(۳) در این تحقیق به عنوان یک تحقیق اولیه برای انتشارات غیرمستقیم از مزرعه به‌طور مثالً انتشارات در اثر تولید کودها، اطلاعات خاص برای کشور در دست نبود، بنابراین، از اطلاعات مربوط به اروپا استفاده شد و فرض شد، فرآیند تولید این مواد در کشور مشابه اروپا است، در مطالعات بعدی می‌بایست تا حد امکان از اطلاعات داخل کشور استفاده گردد.

منابع

Bare, J.C., Norris, G.A., Pennington, D.W., and McKone. T. 2003. TRACI: The tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts. J. Ind. Ecol. 6: 49-78.

Birkved, M., and Hauschild, M.Z. 2006. PestLCI- model for estimating field emissions of pesticides in agricultural LCA. Ecol. Model. 198: 433-51.

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., and Kuhlmann, H. 2004a. Environmental impactassessment of agricultural production systems using the life cycle

assessment (LCA) methodology. I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. Eur. J. Agron. 20: 247–264.

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Kuhlmann, H., and 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. Eur. J. Agron 20: 265–279.

Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.J., Doka, G., Hellweg, S., Hischier, R., Nemecek, T., Rebitzer, G., and Spielmann, M. 2004. Overview and Methodology-coinvent data v1.1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories (ecoinvent), D¨ubendorf. Ecoinvent Report 1, p:75.

Goedkoop, M., Oele, M., de Schryver, A., and Vieira, M. 2008. SimaPro Database Manual: Methods library. PRé Consultants, the Netherlands.

Guinee, J.B., Gorr´ee, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A.,van Oers, L.,Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H.A., de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M.A.J., Lindeijer, E., Roorda, A.A.H., and Weidema, B.P., 2001. Life cycle assessment—An operational guide to the ISO standards. Ministry of Housing. Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML), Den Haag and Leiden, The Netherlands.

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

Heijungs, R., Guinée, J.B., Huppes, G., Lankreijer, R.M., Udo de Haes, H.A., Wegener Sleeswijk, A., Ansems, A.M.M., Eggels, P.G., van Duin, R., and Goede, H.P. 1992. Environmental Life Cycle Assessments of Products, Guide and Backgrounds. Centre of Environmental Science (CML), Leiden University, Leiden, The Netherlands.

ISO, 1997. ISO 14040-Environmental management-Life cycle assessment-rinciples and framework, p:14.

Mourad, A.L., Coltro, L., Oliveira, P.A.P.L.V., Kletecke, R.M., and Baddini, J.P.O.A. 2007. A simple methodology for elaborating the life cycle inventory of agricultural products. Int J LCA 12: 408 -13.

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

Pennington, D.W., Potting, J., Finnveden, G., Lindeijer, E., Jolliete, O., Rydberg, T., and Rebitzer, G. 2004. Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice. Environ. Int. 30: 721–739.

Rajabi, M. 2010. Evaluation of energy balance and greenhouse gases emission in wheat production in Gorgan. Agronomy MSc Thesis, Islamic Azad University of Bojnourd Branch. p110.

Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W., Suh, S., Weidema, B.P., and Pennington, D.W. 2004. Life cycle

assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environ. Int. 30: 701– 720.

Renouf, M.A., Wegener, M.K., and Nielsen, L.K. 2008. An environmental life cycle assessment comparing Australian sugarcane with US corn and UK sugar beet as producers of sugars for fermentation. Biomass Bioenergy 32: 1144–1155.

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

Zeinali, E. 2009. Wheat nitrogen nutrition in Gorgan; agronomical, physiological, and environmental aspects. PhD Thesis, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 201 p.

EJCP., Vol. 3 (3): 201-218
ejcp.gau@gmail.com

Evaluation of environmental impact of crop production using LCA: wheat in Gorgan

***A. Soltani[1], M.H. Rajabi[2], E. Zeinali[1] and E. Soltani[1]**
[1]Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,
[2]M.Sc student of Islamic Azad University of Bojnord

Abstract

Environmental issues have attracted many concerns in recent years. Life cycle assessment (LCA) is a method that evaluates all environmental effects of a product during its life cycle. The objective of this study was to introduce LCA [to Persian researchers] and to use it in assessment of environmental impact of wheat production in Gorgan, NE Iran compared to European counties. First, data were gathered regarding materials and processes in wheat production, the inventory analysis. Then, all resources and emissions per each ton of wheat grain were quantified. Finally, the impact of the emissions and resource usage were aggregated into some indicators. The results indicated that wheat production in Gorgan has important environmental impacts regarding depletion of non-renewable energy sources, global warming, eutrophication, photochemical oxidation, acidification and ozone layer depletion. There is a significant gap between Gorgan and European countries (optimum situation) that should be considered.

***Keywords*:** Wheat; Environmental impact; Life cycle assessment.

*- Corresponding Author; Email: afsoltani@yahoo.com