ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید گندم در پاکدشت و ورامین با ارزیابی چرخه حیات

محسن فاخردیزجی[1*]، سیدرضا حسن بیگی بیدگلی[2]، محمدحسین کیانمهر[3]

۱- کارشناس ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تهران- پردیس ابوریحان

۲- دانشیار و عضو هئیت علمی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تهران- پردیس ابوریحان

۳- استاد و عضو هیئت علمی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تهران- پردیس ابوریحان

* ایمیل نویسنده مسئول: mfakher@ut.ac.ir

چکیده

هدف از انجام این تحقیق بررسی اثرات زیست محیطی تولید گندم در شهرستان‌های پاکدشت و ورامین می باشد، که بدین منظور از روش ارزیابی چرخه حیات (LCA) استفاده شد. در این تحقیق از نرم افزار سیماپرو و روش ارزیابی اثرات EPD (2013) V 1.02 استفاده شد که شامل ۶ گروه اثر اسیدی شدن، اتروفیکاسیون، گرمایش جهانی، اکسیداسیون فتوشیمیایی، تخلیه لایه اوزون و تخلیه عوامل غیرجاندار می‌باشد. روش جمع‌آوری داده‌ها بصورت پرسش‌نامه و مصاحبه با کشاورزان و صاحبان تراکتور بود. در این تحقیق انرژی تولید شده از گازوییل و کودهای شیمیایی اوره و سوپرفسفات تریپل به عنوان سه نهاده ورودی اصلی در نرم افزار وارد شدند. از روش تخصیص اقتصادی استفاده شد و مقدار انرژی ورودی تولیدی از گازوییل ۱۰۱۴ مگاژول و مقدار کود سوپر فسفات تریپل و کود اوره به ترتیب ۲۸/۹۳ و ۱۹/۲۸کیلوگرم برای تولید یک تن گندم بدست آمد. آلاینده‌های منتشر شده به آب، خاک و هوا در فرآیند تولید گندم بصورت مجزا محاسبه شد. مرحله ارزیابی اثرات چرخه حیات توسط نرم افزار انجام شد و میزان تاثیرات زیست محیطی اسیدی شدن معادل ۴/۰۹ کیلوگرم SO_2، اتریفیکاسیون معادل ۱/۹۸ کیلوگرم PO_4^-، گرمایش جهانی معادل ۱۶۴ کیلوگرم دی‌اکسید کربن، اکسیداسیون فتوشیمیایی معادل ۰/۰۱۵۹ کیلوگرم C_2H_2، تخلیه لایه اوزون معادل ۰/۵۰۵ میلی گرم CFC-11 و تخلیه عوامل غیرجاندار معادل ۴۱/۳ میلی‌گرم Sb بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: اثرات زیست محیطی، ارزیابی چرخه حیات (LCA)، تولید گندم، گرمایش جهانی.

مقدمه

آشنایی با اثرات زیست‌محیطی مرتبط با تولید محصولات کشاورزی و مواد غذایی و مصرف آن‌ها، پیش‌نیازی برای شناسایی مسیری به سوی داشتن آینده‌ای پایدار می‌باشد. توسعه سیاست‌های کارآمد در قبال کاهش گازهای گلخانه‌ای و دیگر مسائل زیست‌محیطی مانند اسیدی شدن، نیاز به درک قوی از اثرات مرتبط با فعالیت‌های جاری و روزمره ما دارد. بدلیل این‌که تولید محصولات کشاورزی تحت شرایط مختلف و واگرا انجام می‌شود، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در کشاورزی یک چالش جدی به

حساب می‌آید. نوع خاک، آب و هوا، تفاوت در مدیریت، انتخاب محصولات و شرایط جغرافیایی ممکن است حتی در بین مزارع یک منطقه هم متفاوت باشد (Korsaeth *et al*, 2012). بررسی تاثیرات زیست‌محیطی سامانه‌های تولیدی سبب دست‌یابی بـه اهـداف توسعه پایدار می‌شود (میرحاجی و همکاران، ۱۳۹۲).

ارزیابی چرخه حیات[1] (LCA) یک روش مناسب برای بررسی تمام اثرات زیست‌محیطی در ارتباط با یک سیستم تولید است (Wang *et al*, 2010). رویکرد حاکم بر انجام مطالعه چرخه حیات، گهواره تا گور می‌باشد، به این مفهوم که مراحل مختلف انجام یک فرآیند یا تولید یک محصول از استخراج مواد اولیه تا دفع نهایی مورد بررسی قرار می‌گیرد (Powell, 2000). البته در مواردی این ارزیابی بصورت از گهواره تا دروازه به عنوان قسمت اولیه چرخه و یا دروازه تا دروازه به عنـوان قسـمت میـانی ارزیـابی چرخـه حیات صورت می‌گیرد که بستگی به مرز سیستم انتخاب شده در ارزیابی فرآیند یا محصول مورد نظر دارد. چـارچوب کلـی مراحـل یک LCA طبق استاندارد سازمان جهانی استانداردها (ISO) شامل چهار مرحله به شرح زیر می باشد (ISO 14040, 2006):

۱- تعریف هدف و دامنه کاربرد یا محدوده، که اساس و مهم‌ترین بخش در ارزیـابی چرخـه حیـات اسـت. در ایـن مرحلـه اهـداف مطالعه، محصول نهایی مورد نظر، مرزهای سیستم مورد مطالعه، واحد کارکردی و پیش فرض‌های مطالعه مشخص می‌گردد.

۲- تجزیه و تحلیل سیاهه، شامل جمع‌آوری داده‌ها و رویه‌های محاسباتی جهت کمی‌سازی ورودی‌ها و خروجی‌های مرتبط با یک سیستم محصول می‌باشد.

۳- ارزیابی اثرات یا پیامد چرخه حیات، که قصد دارد اهمیت پیامدهای زیست‌محیطی بالقوه را با اسـتفاده از نتـایج مرحلـه تحلیـل سیاهه چرخه حیات ارزیابی نماید. بطورکلی، این فرآیند شامل مرتبط نمودن داده‌های سیاهه با رده پیامدهای زیست‌محیطی خاص و شاخص‌های رده می‌باشد.

۴- تفسیر نتایج، که عبارت است از مرحله ای از LCA که در آن یافته‌های حاصل از تجزیه و تحلیل سیاهه و ارزیابی پیامد با هم مدنظر قرار می‌گیرند. مرحله‌ی تفسیر می بایست نتایجی را ارائه دهد که مطابق بـا هـدف و دامنـه‌ی کـاربرد مـورد نظـر باشـد، محدودیت‌ها را توضیح داده و توصیه‌هایی را ارائه کند.

مواد و روش‌ها

مناطق مورد بررسی در این تحقیق شهرستان‌های پاکدشت (۳۵/۴۷ عرضـی و ۵۱/۶۷ طـولی) و ورامـین (۳۵/۳۱ عرضـی و ۵۱/۶۷ طولی) از توابع استان تهران بود. این دو شهرستان دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک و بارش سالانه حدوداً ۱۶۰ میلی متر می باشند. این دو شهرستان طبق آمار سازمان جهاد کشاورزی استان تهران، ۸۲۶۸۵ هکتار اراضـی کشـاورزی و میـزان تولیـد سالانه ۵۵۶۰۰ تن گندم را دارا می باشند. نحوه جمع‌آوری داده‌های مربوط به میزان عملکـرد محصـول در هکتـار، سـاعت کـاری

[1] Life cycle assessment

ادوات کشاورزی در مراحل مختلف کشت، انواع و مقدار استفاده از سم‌ها و کودها و... بصورت سوال و پرسش‌نامه از برخی کشاورزان و تراکتورداران این مناطق می‌باشد. همچنین از داده‌های جهاد کشاورزی شهرستان‌ها نیز استفاده شد.

مراحل مختلف ارزیابی چرخه حیات

در این تحقیق از نرم افزار Simapro 8.1 برای ارزیابی چرخه حیات استفاده شد. این نرم افزار پایگاه داده وسیع و جامعی دارد که از داده‌های پیش‌فرض نرم افزار استفاده شد مثلا ورودی‌ها و خروجی‌های تولید کود مصرف شده در زمین‌های کشاورزی .

هدف و دامنه کاربرد

هدف از انجام این تحقیق بررسی میزان آلایندگی‌های زیست محیطی تولید گندم در شهرستان‌های پاکدشت و ورامین می‌باشد. واحد مرجع تولید یک تن گندم از زمین‌های زراعی این مناطق می‌باشد. روش تخصیص در این مطالعه اقتصادی بوده و تولید کاه بعنوان محصول جانبی در نظر گرفته شد. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، با توجه به میزان عملکرد دانه گندم و کاه در هکتار و همچنین قیمت هر کیلو دانه گندم و کاه در سال ۱۳۹۴، فاکتور تخصیص برای دانه گندم ۸۱ ٪ بدست آمد. مرز سیستم در این تحقیق شامل مراحل تولید انرژی از گازوییل و تولید کودها و تولید گندم در مزرعه می‌شود.

جدول۱ - فاکتور تخصیص اقتصادی دانه گندم و کاه

سیستم محصول		عملکرد محصول (تن در هکتار)	قیمت هر کیلو (ریال)	فاکتور تخصیص (٪)
گندم	دانه	۴/۲	۱۱۰۰۰	۸۱
	کاه	۳/۵	۳۰۰۰	۱۹

تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه

ورودی‌های سامانه

با توجه به تعداد ساعات کاری تراکتور و کمباین برای عملیات کشاورزی که در جدول ۲ نشان داده شده است و پرسش از چند صاحب تراکتور، میزان سوخت گازوییل مصرفی برای یک هکتار به طور میانگین ۱۱۰ لیتر محاسبه شد. با توجه به این‌که در نرم افزار سیماپرو "انرژی سوختن گازوییل در ماشین آلات" بعنوان ورودی سیستم در نظر گرفته می‌شود؛ لذا در این تحقیق نیز از این پارامتر بعنوان ورودی سیستم استفاده شد. باتوجه به پایگاه داده نرم افزار از سوختن هر یک لیتر گازوییل در ماشین‌آلات معادل ۴۴/۸ مگاژول انرژی تولید می‌شود؛ بنابراین کل انرژی ورودی از سوختن گازوییل در ماشین‌آلات برای کشت یک هکتار گندم ۵۲۵۸ مگاژول بدست آمد.

جدول ۲ -ساعت کاری عملیات کشاورزی برای کشت یک هکتار گندم

نوع عملیات		ساعت کاری در هکتار
تهیه بستر	شخم	۳
	دیسک	۱
	لولر	۱
کاشت	بذر پاش	۱/۵
داشت	کود پاش	۱/۲۵
	سم پاش	۱/۲۵
برداشت	کمباین	۲/۵
جمع کل		۱۱/۵

آب مورد استفاده در بیشتر مزارع مورد مطالعه از طریق آب‌های تصفیه شده فاضلاب تهران تامین می‌شود. برای کشت یک هکتار گندم به طور معمول ۵ نوبت آبیاری در نظر گرفته می‌شود که در هر نوبت آبیاری به مدت ۸ ساعت طول می‌کشد. دبی ورودی آب هم ۱۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد؛ بنابراین مقدار آب مصرف شده برای زراعت یک هکتار گندم ۱۴۴۰ متر مکعب بدست آمد.

همانطور که در جدول ۳ نشان داده است، به طور میانگین در مزارع مورد مطالعه مقدار ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره و ۱۵۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل برای زراعت یک هکتار گندم مصرف می‌شود. همچنین معمولاً از سم 2-4-D به مقدار ۱ لیتر در هکتار بعنوان علف‌کش و سم دلتامترین به مقدار ۱ لیتر در یک هکتار برای سن گندم استفاده می‌شود.

جدول۳ -کودهای مصرفی برای زراعت یک هکتار گندم

نوع کود	مقدار مصرف (کیلوگرم بر هکتار)	ماده فعال	درصد ماده فعال	مقدار مصرف ماده فعال (کیلوگرم بر هکتار)
اوره	۱۰۰	ازت (N)	۴۶	۴۶
سوپر فسفات تریپل	۱۵۰	P2O5	۴۶	۶۹

خروجی‌های سامانه

۱- انتشار آلودگی از سوختن گازوئیل

بدلیل سوختن گازوییل آلاینده‌هایی نظیر گازهای گلخانه‌ای به هوا منتشر می‌شود. با توجه به پایگاه داده نرم افزار سیماپرو و مطالعات (Klein *et al*, 2012) فاکتور انتشار گازهای آلاینده به هوا به ازای سوختن یک لیتر گازوییل در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ٤ -فاکتور انتشار گازهای آلاینده انتشار یافته از سوختن یک لیتر گازوییل

گازها و آلاینده‌های انتشار یافته	فاکتور انتشار (گرم بر لیتر)
آمونیاک (NH_3)	۰/۰۰۹۹۹

CO_2	۳۱۷۲/۶۱
N_2O	۰/۰۲۵۶
CH_4	۰/۱۱۱
CO	۴/۹
NO_x	۲۹/۹۵
ذرات ریزتر از ۲/۵ میکرون	۱/۴۲
ذرات بین ۲/۵ و ۱۰ میکرون	۰/۰۷۵

۲- آلودگی از خاک‌های تقویت شده

افزودن نیتروژن به خاک موجب وارد شدن برخی آلاینده‌ها به خاک می‌شود که این آلاینده ها بر گرمایش جهانی، اتریفیکاسیون و سایر شاخص‌های مهم دیگر تاثیر می‌گذارد. نیتروژن برای تسریع رشد گیاه و افزایش عملکرد محصول به خاک-های کشاورزی اضافه می‌شود. رایج‌ترین روش برای اضافه کردن نیتروژن به خاک، استفاده از کودهای شیمیایی مثل اوره می‌باشد. بدلیل نبود اطلاعات محلی انتشار آمونیاک از کود اوره، میزان انتشار آمونیاک طبق مطالعات (Brentrup *et al*, 2000) برابر متوسط اروپا در نظر گرفته شد، یعنی ۱۷ درصد از نیتروژن در قالب کود معدنی اوره به صورت NH_3-N در هوا منتشر می‌شود. واحد عبارت (kg NH_3-N) باید بصورت kg NH_3 که فقط N آن اندازه‌گیری شده است خوانده شود. بنابراین برای بدست آوردن جرم NH_3 با توجه به اعداد اتمی N و H با ضرب کردن مقدار NH_3-N در عدد (۱۷/۱۴) مقدار NH_3 بدست می‌آید.

بر اساس گزارش مجمع بین‌المللی تغییرات آب و هوایی یک درصد از نیتروژن مصرفی در قالب کود اوره بصورت N2O-N انتشار می‌یابد (Snyder *et al*, 2009). همچنین میزان انتشار NO_x ۱۰ درصد انتشار N_2O در نظر گرفته می‌شود (Gasol *et al*., 2007). انتشار آلودگی CO_2 با توجه به پایگاه داده نرم افزار Agri-footprint 2.0 به مقدار ۲۰ درصد جرم کود اوره مصرف شده و بصورت CO_2-C در هوا منتشر می‌شود.طبق کتابچه راهنمای داده نرم افزار سیماپرو (Agri-footprint 2.0)، ۳۰ درصد نیتروژن استفاده شده در قالب نیترات (NO_3 -N) توسط آبیاری مزارع شسته شده و وارد آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌شود.

۳- آلودگی فلزات سنگین در طی زراعت

با توجه به تجزیه و تحلیلی که در مزارع سوئیس بر روی فلزات سنگین مشکل‌آفرین در بخش کشاورزی انجام شد، هفت فلز کادمیم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu)، سرب (Pb)، جیوه (Hg)، نیکل (Ni) و روی (Zn). به‌عنوان ورودی در پایگاه داده نرم افزار انتخاب شدند (Nemecek and Schnetzer, 2012).و در این تحقیق هم این فلزات مورد بررسی قرار گرفتند.

سه نوع انتشار آلودگی فلزات سنگین در نظر گرفته می‌شود (Nemecek and Schnetzer, 2012):

- آبشویی فلزات سنگین به آب‌های زیرزمینی (همیشه مقداری مثبت دارد)

- آلایندگی فلزات سنگین وارد شده به آب‌های سطحی از طریق فرسایش ذرات خاک (همیشه مقداری مثبت دارد)
- آلایندگی فلزات سنگین به خاک کشاورزی (مقدار مثبت یا منفی، با توجه به نتایج حاصل از تعادل).

ورود فلزات سنگین به خاک بدلیل عملکرد کودها (شیمیایی و حیوانی) و بدلیل رسوب می‌باشد. محتوای فلـزات سـنگین کودهـای شیمیایی در جدول ۵ آورده شده است، همچنین رسوب فلزات سنگین در جدول ۶ آمده است.

جدول ۵ -محتوای فلزات سنگین کودهای شیمیایی (Mels et al., 2008)

کود شیمیایی	واحد	Cd	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Hg
کود ازته	mg/kg N	۶	۲۶	۲۰۳	۵۴/۹	۲۰/۹	۷۷/۹	۰/۱
کود فسفاته	mg/kg P_2O_5	۳۹۵/۵	۹۰/۵	۸۳۹	۶۷	۸۸/۳	۵۴۳	۰/۳

جدول ٦ -رسوب فلزات سنگین (Nemecek and Schnetzer, 2012)

	واحد	Cd	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Hg
رسوب	mg/ha/yr	۷۰۰	۲۴۰۰	۹۰۴۰۰	۱۸۷۰۰	۵۴۷۵	۳۶۵۰	۵۰

فلزات سنگین بدلیل دو عامل آبشویی و زیست توده از خاک حذف می‌شوند. محتوای فلزات سنگین برای گندم در جـدول ۷ ارائه شده است. همچنین مقدار آبشویی فلزات سنگین به آبهای زیرزمینی در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۷ -محتوای فلزات سنگین گندم (Dlahaye *et al.*, 2003)

محصول	واحد	Cd	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Hg
گندم	mg/kg	۰/۰۱۳	۲/۲۸	۴/۱	۰/۰۰۹	۰/۸۶	۰/۱	۲۴/۸

جدول ۸ آبشویی فلزات سنگین به آبهای زیرزمینی (Nemecek and Schnetzer, 2012)

	واحد	Cd	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Hg
آبشویی	mg/ha/yr	۵۰	۳۶۰۰	۳۳۰۰۰	۶۰۰	n.a.	۲۱۲۰۰	۱,۳

مقداری از فلزات سنگین بدلیل فعالیت‌های دیگر در نواحی اطراف مزارع به خاک و آب وارد می‌شوند. بدلیل این‌کـه تمـامی فلزات سنگین موجود در خاک در نتیجه فعالیت کشاورزی نیست، یک فاکتور تخصیص مورد نیاز اسـت. فـاکتور تخصـیص فلـزات

سنگین از رابطه ۱ بدست می‌آید که در آن A_i فاکتور تخصیص فلز سنگین i، $M_{agro\ i}$ جرم فلز سنگین i ورودی بدلیل فعالیت‌های کشاورزی (مانند استفاده از کود) و $M_{deposition\ i}$ جرم فلز سنگین i ورودی بدلیل رسوب می‌باشد (Nemecek and Schnetzer, 2012).

$$A_i = M_{agro\ i} / (M_{agro\ i} + M_{deposition\ i}) \quad (۱)$$

مقدار آلایندگی فلزات سنگین به آب‌های سطحی و زیرزمینی از رابطه ۲ بدست می‌آید که در آن $M_{leach\ i}$ جرم فلز سنگین i آبشویی شده به آب‌های سطحی و زیرزمینی، $m_{leach\ i}$ مقدار متوسط آلایندگی فلز سنگین i (جدول ۸) می‌باشد (Nemecek and Schnetzer, 2012).

$$M_{leach\ i} = m_{leach\ i} \times A_i \quad (۲)$$

آلایندگی فلزات سنگین به خاک از رابطه ۳ بدست می‌آید که در آن $M_{soil\ i}$ انباشتگی جرم فلز سنگین i در خاک، $\sum inputs_i$ مجموع ورودی‌های فلز i به خاک و $\sum outputs_i$ مجموع خروجی‌های فلز i از خاک می‌باشد (Nemecek and Schnetzer, 2012).

$$M_{soil\ i} = (\sum inputs_i - \sum outputs_i) \times A_i \quad (۳)$$

مجموع ورودی فلزات به خاک از فرمول ۴ به دست می‌آید که در آن A مقدار کود مصرف شده در هکتار در هر سال می باشد، $A_{content\ i}$ محتوای فلز سنگین i در هر کیلوگرم کود (جدول ۵) و C مقدار رسوب می باشد (جدول ۶) می‌باشد (Nemecek and Schnetzer, 2012).

$$\sum inputs_i = A \times A_{content\ i} + C \quad (۴)$$

مجموع خروجی فلزات سنگین از خاک از فرمول ۵ بدست می آید. که در آن D عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار در سال) و $D_{content\ i}$ محتوای فلز سنگین i در محصول (جدول ۷) می باشد (Nemecek and Schnetzer, 2012).

$$\sum outputs_i = M_{leach\ i} + D \times D_{content\ i} \quad (۵)$$

زمانی‌که مقدار خروجی فلزات سنگین از خاک بدلیل آبشویی و زیست توده بیشتر از ورودی فلزات از کودها و رسوب باشد مقدار آلایندگی منفی خواهد بود.

ارزیابی اثرات چرخه حیات

این مرحله از ارزیابی چرخه حیات بصورت خودکار در زمان اجرای برنامه سیماپرو در درون نرم افـزار انجـام مـی‌شـود. ایـن مرحله شامل چند مرحله می‌باشد که برخی الزامی و برخی اختیاری می‌باشد. نرم افـزار سـیماپرو تعـداد زیـادی روش ارزیـابی اثـر استاندارد را پشتیبانی می‌کند که هر روش شامل تعدادی گروه‌های اثر می‌باشد. در این تحقیق از روش ارزیـابی EPD (2013) V 1.02 استفاده شد که در آن فقط مرحله الزامی تعیین خصوصیات[1] انجام می شود. ایـن روش شـامل ۶ گـروه اثـر اسـیدی شـدن[2]، اتروفیکاسیون[3]، گرمایش جهانی[4]، اکسیداسیون فتوشیمیایی[5]، تخلیه لایه اوزون[6] و تخلیه عوامل غیرجاندار[7] می‌باشد.

نتایج و بحث

در این تحقیق ۳ نهاده انرژی تولیدی از گازوییل، کود سوپر فسفات تریپل و کود اوره به عنوان ورودی برای تولید یـک تـن گندم در منطقه پاکدشت و ورامین مورد بررسی قرار گرفتند. البته لازم به ذکر است که ورودی‌ها و خروجی‌های مراحـل تولیـد هـر سه نهاده در نرم افزار و با استفاده از پایگاه داده آن بصورت خودکار در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن سهم فاکتور تخصـیص ۸۱ درصدی برای تولید دانه گندم، مقدار ورودی انرژی تولیدی از گازوییل ۱۰۱۴ مگاژول و مقدار کود سوپر فسفات تریپـل و کـود اوره به ترتیب ۲۸/۹۳ و ۱۹/۲۸ کیلوگرم برای تولید یک تن گندم در منطقه پاکدشت و ورامین بدست آمد. میـزان انتشـار آلاینـده‌هـای مختلف به هوا بدلیل استفاده از کودهای شیمیایی برای تولید یک تن گندم در جدول ۱۰ آمده است. همـانطور کـه در ایـن جـدول مشاهده می‌شود میزان انتشار CO_2 بیشتر از سایر ترکیبات می باشد.

جدول ۱۰ -میزان انتشار آلاینده‌ها به هوا برای تولید یک تن گندم

ترکیبات انتشار یافته به هوا	میزان انتشار (کیلوگرم)
NH_3	۱/۸۳
N_2O	۰/۱۴
CO_2	۱۴/۱۴
NO_x	۰/۰۱۴

با استفاده از رابطه ۲ میزان انتشار فلزات سنگین به آب برای تولید یک تن گندم با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۱۱ آورده شده است. همچنین انتشار نیترات در آب‌های زیرزمینی و سطحی بدلیل استفاده از کود اوره به مقدار ۱۱/۷۸ کیلوگرم برای تولید یک تن گندم محاسبه شد.

[1] Characterization
[2] Acidification
[3] Eutrophication
[4] Global warming
[5] Photochemical oxidation
[6] Ozone layer depletion
[7] Abiotic depletion

جدول ۱۱ -میزان انتشار فلزات سنگین به آب برای تولید یک تن گندم

فلز سنگین	میزان انتشار (میلی گرم)
کادمیم (Cd)	۷/۸۱
مس (Cu)	۵۲۴/۸۸
روی (Zn)	۲۷۱۱/۱۸
سرب (Pb)	۳۱/۹۳
کروم (Cr)	۱۹۴۶۱/۶
جیوه (Hg)	۳۷۵۳/۳۱

با استفاده از رابطه ۳، میزان انتشار فلزات سنگین به خاک برای تولید یک تن گندم محاسبه شد که نتـایج آن در جـدول ۱۲ آورده شده است. همچنین مقدار ۷۲ کیلوگرم فسفر بدلیل استفاده از کود فسفاته وارد خاک شده است. منفی بودن میزان انتشار مس نشان دهنده این است که مقدار خروجی این فلز از خاک بوسیله آبشویی و جذب توسط گیاه گندم بیشتر از ورودی ایـن فلـز بـدلیل رسوب و استفاده از کودهای شیمیایی در این تحقیق می باشد.

جدول ۱۲ -میزان انتشار فلزات سنگین به خاک برای تولید یک تن گندم

فلز سنگین	میزان انتشار (میلی گرم)
کادمیم (Cd)	۵۶۳/۳۳
مس (Cu)	-۱۴۷۲/۷۴
روی (Zn)	۳۲۳۷/۸۹
سرب (Pb)	۱۳۴۴/۶۹
کروم (Cr)	۲۷۷۲/۹۸
جیوه (Hg)	۲/۴۰
نیکل (Ni)	۹۶۸/۱۹

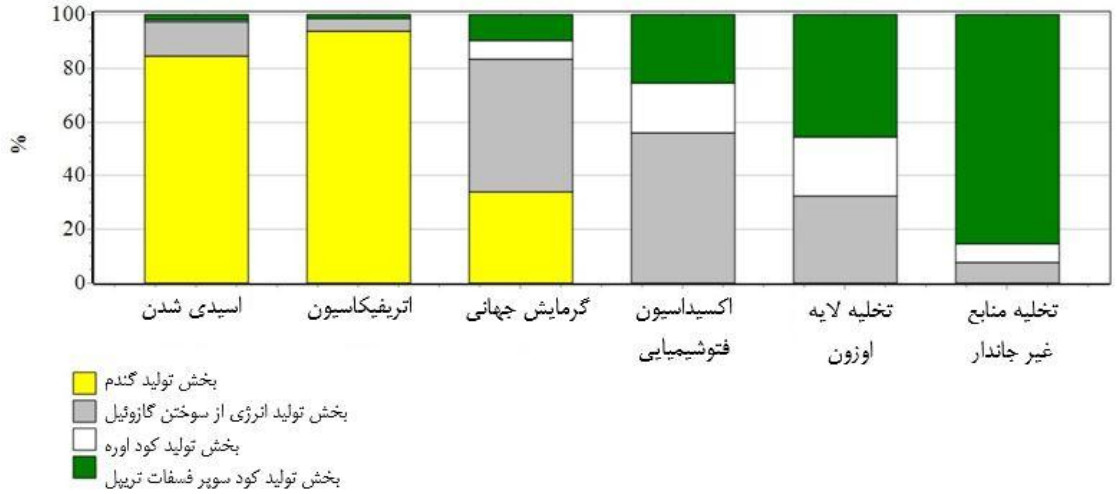
بعد از مشخص شدن ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم تولید یک تن گندم، در مرحله ارزیابی اثرات چرخه حیات مقدار کل هر کدام از گروه‌های اثر شاخص طبقه‌بندی توسط نرم افزار بصورت خودکار محاسبه شد. همانطورکه در جدول ۱۳ آمده اسـت، میـزان سهم سه نهاده اصلی ورودی و سهم تولید یک تن گندم بصورت مجزا برای هر گروه اثر مشخص شده است.

جدول ۱۳ - مقادیر شاخص طبقه‌بندی گروه‌های اثر در ارزیابی اثرات چرخه حیات تولید یک تن گندم

گروه اثر	واحد	کل	تولید گندم	تولید انرژی از گازوییل	کود اوره	کود سوپر فسفات تریپل
اسیدی شدن	معادل $kg\ SO_2$	۴/۰۹	۳/۴۵	۰/۵۳۱	۰/۰۲۶۲	۰/۰۸۰۲

اتریفیکاسیون	معادل $kg\ PO_4^-$	۱/۹۸	۱/۸۶	۰/۰۹۲۸	۰/۰۰۳۱۸	۰/۰۲۸۱
گرمایش جهانی	معادل $kg\ CO_2$	۱۶۴	۵۵/۷	۸۱/۲	۱۱/۲	۱۶/۱
اکسیداسیون فتوشیمیایی	معادل $kg\ C_2H_4$	۰/۰۱۵۹	۰	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۲۹۳	۰/۰۰۴۰۹
تخلیه لایه اوزون	معادل mg CFC-11	۰/۵۰۵	۰	۰/۱۶۵	۰/۱۱۱	۰/۲۳
تخلیه عوامل غیرجاندار	معادل mg Sb	۴۱/۳	۰	۳/۲۴	۲/۸۲	۳۵/۲

در شکل ۱ میزان سهم هریک از ورودی‌ها و تولید گندم در هریک از گروه‌های اثر نشان داده شده است. با توجه به جدول ۱۳ و شکل ۱، طبق نتایج ارزیابی اثرات در منطقه پاکدشت و ورامین برای تولید یک تن گندم معادل ۴/۰۹ کیلوگرم SO_2 به محیط زیست منتشر می‌شود که دارای اثرات اسیدی شدن می‌باشد. انتشار مستقیم از مزرعه (بخش تولید گندم) با ۸۴ درصد بیشترین سهم را در انتشار SO_2 و اسیدی شدن دارد. بخش تولید انرژی از گازوییل ۱۳ درصد و تولید کودها ۳ درصد در اسیدی شدن سهم داشتند. اثرات اسیدی شدن به طور عمده به علت انتشار SO_2، NO_x و NH_3 به هوا می‌باشد. SO_2 در ابتدا از احتراق سوخت‌های فسیلی تولید می‌گردد. آمونیاک اگرچه قلیایی است، ولی در اتمسفر به اسید نیتریک اکسید می‌شود. اسیدی شدن دارای اثرات زیان بار برای گیاهان و حیوانات است. همچنین اسیدی شدن به اکوسیستم و ساختمان‌ها نیز خسارت وارد می‌کند (Brentrup *et al*, 2004).



شکل ۱-درصد سهم تولید ورودی‌ها (تولید انرژی و کودها) و تولید گندم در گروه‌های اثر

با توجه به جدول ۱۳ در چرخه حیات تولید یک تن گندم معادل ۱/۹۸ کیلوگرم PO_4^- به محیط زیست منتشر می شود که دارای اثرات اتریفیکاسیون می‌باشد. بخش تولید گندم با ۹۳/۷ درصد بیشترین سهم را در انتشار PO_4^- داشت، همچنین بخش تولید انرژی از گازوییل ۴/۷ درصد و تولید کودهای اوره و سوپرفسفات تریپل ۱/۶ درصد سهم در اتریفیکاسیون داشتند (شکل ۱). اتریفیکاسیون عبارت است از افزایش ناخواسته در تولید زیست توده در اکوسیستم‌های زمینی و آبی به علت ورود عناصر غذایی که

می‌تواند باعث تغییر در ترکیب گونه‌ها شود. خطر اتریفیکاسیون بخصوص در آب‌های سطحی جدی است چون می‌تواند رشد جلبک‌ها را تشدید نموده و باعث از بین رفتن حیات در برکه‌ها و دریاچه‌ها شود (Brentrup *et al*, 2004).

طبق نتایج ارزیابی اثرات، در منطقه پاکدشت و ورامین برای تولید هر تن گندم ۱۶۴ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر آزاد می‌شود (جدول ۱۳). بخش تولید انرژی از گازوییل با ۴۹/۵ درصد بیشترین سهم را در تولید گازهای گلخانه‌ای داشت، همچنین بخش تولید گندم و بخش تولید کودها به ترتیب ۳۴ و ۱۵/۵ درصد در تولید گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی سهم داشتند (شکل ۱). انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند CO_2 و N_2O بدلیل خصوصیات تشعشعی ویژه این گازها باعث گرم شدن غیرطبیعی سطح کره زمین می‌شوند که به نوبه خود باعث تغییرات آب و هوایی منطقه‌ای و جهانی می‌شوند (Brentrup *et al*, 2004).

به ازای تولید یک تن گندم آلاینده‌هایی به معادل ۰/۰۱۵۹ کیلوگرم C_2H_2 به محیط زیست منتشر می‌شود که باعث اکسیداسیون فتوشیمیایی می‌شود. تولید انرژی از گازوییل با ۵۶ درصد و تولید کودها با ۴۴ درصد در انتشار این آلاینده‌ها نقش داشتند. بخش تولید گندم در انتشار این آلاینده‌ها سهمی نداشت. اکسیداسیون فتوشیمیایی به طور عمده ناشی از تشکیل اوزون در لایه‌های تحتانی اتمسفر است. در شرایط انتشار آلاینده‌ها تولید اوزون افزایش می‌یابد و می‌تواند اثرات بدی بر سلامت انسان و اکوسیستم بگذارد. میزان تولید اوزون تحت تاثیر NO_x، ترکیبات آلی فرار، CO و CH_4 می‌باشد که شرایط محیطی دما، تشعشع و جریانات همرفتی بر آن تاثیر می گذارد (Bare *et al*., 2003).

تولید هر تن گندم باعث انتشار معادل ۰/۵۰۵ میلی گرم CFC-11 به محیط زیست می‌شود که می‌تواند باعث تخریب لایه اوزون شود. تولید انرژی از گازوییل ۳۲/۶ درصد و تولید کودها ۶۷/۴ درصد در انتشار این آلاینده‌ها سهم داشتند. CFCها مهم‌ترین موادی هستند که دارای اثر مخرب بر لایه اوزون می‌باشند (Guinee *et al*, 2001). تخریب لایه اوزون می‌تواند باعث سرطان پوست، ورود خسارت‌های مولکولی به مواد، صدمه به گیاهان و حیوانات گردند که به علت افزایش عبور اشعه ماوراء بنفش رخ می-دهد (سلطانی و همکاران ۱۳۸۹ ;Bare *et al*., 2003).

به ازای تولید یک تن گندم معادل ۴۱/۳ میلی‌گرم آنتیموان (Sb) به محیط زیست منتشر می‌شود که باعث از بین رفتن عوامل غیرجاندار مانند زمین زراعی، آب آشامیدنی، هوا، فلزات سنگین و... می‌شود (جدول ۱۳). با توجه به شکل ۱ حدودا ۸ درصد این مواد از تولید انرژی از گازوییل و مابقی به دلیل استفاده از کودهای اوره و فسفاته به محیط انتشار می‌یابند. بخش تولید گندم سهمی در انتشار این مواد آلاینده نداشت.

نتیجه گیری کلی

در این تحقیق سه نهاده تولید انرژی از گازوییل، کود اوره و کود سوپرفسفات تریپل بعنوان ورودی‌های اصلی برای تولید گندم در مزارع پاکدشت و ورامین مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد تولید هر تن گندم اثرات زیست محیطی قابل توجهی

ایجاد می‌کند. در این تحقیق علاوه بر بخش تولید گندم در مزرعه، اثرات زیست محیطی بخش تولید کودها و انرژی بدست آمده از گازوییل هم با استفاده از پایگاه داده نرم افزار سیماپرو مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر بدست آمد:

- بخش تولید گندم در مزرعه بیشترین تاثیر را در اسیدی شدن و اتریفیکاسیون محیط زیست نشان داد.
- بخش تولید انرژی از گازوییل بیشترین سهم را در گرمایش جهانی داشت، این بدین علت است که مصرف هر لیتر گازوییل گازهای گلخانه‌ای قابل توجهی منتشر می‌کند.
- بخش تولید گندم تاثیری در اکسیداسیون فتوشیمیایی، تخلیه لایه اوزون و تخلیه عوامل غیرجاندار نداشت و ایجاد این عوامل و انتشار آلاینده‌های آن‌ها مربوط به مراحل تولید کودها و تولید انرژی از گازوییل بود.

منابع

سلطانی، ا.، رجبی، م. ح.، زینلی، الف. و سلطانی، الف. ۱۳۸۹. ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید گیاهان زراعی با روش LCA: گندم در گرگان. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. جلد سوم، شماره سوم ۲۰۱-۲۱۸.

میرحاجی، ح.، خجسته پور، م. و عباسپورفرد، م. ح. ۱۳۹۲. بررسی تاثیرات زیست محیطی تولید گندم منطقه مرودشت در ایران. نشریه محیط زیست طبیعی. دوره ۶۶، شماره دوم، ۲۲۳-۲۳۲.

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.

Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H. and Lammel, J. 2004. 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. and 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.

Delahaye, R., Fong, P., Van Eerdt, M., Van der Hoek, K. and Olsthoorn, C. 2003. Emissie van zeven zware metalen naar landbouwgrond. CBS, Voorburg/Heerlen.

Gasol, C. M., Gabarrell, X., Anton, A., Rigola, M., Carrasco, J., Ciria, P., Solano, M. and Rieradevall, J. 2007. Life cycle assessment of a Brassica carinata bioenergy cropping system in southern Europe. Biomass and Bioenergy 31(8): 543-555.

Guinée, J., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., De Koning, A., Van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S. and Udo de Haes, H. 2001. Life cycle assessment;

An operational guide to the ISO standards; Parts 1 and 2. Ministry of housing, spatial planning and environment (VROM) and centre of environmental science (CML), Den Haag and Leiden, The Netherlands.

ISO 14040. 2006. Environmental management – life cycle assessment – principles and framework. Available from: http://www.iso.org/iso.

Klein, J., Geilenkirchen, G., Hulskotte, J., Hensema, A., Fortuin, P., and Molnár-in 't Veld, H. 2012. The emissions of transport in the Netherlands.

Korsaeth, A., Jacobsen, A., Roer, A.-G., Henriksen, T., Sonesson, U., Bonesmo, H., Skjelvåg, A. and Strømman, A. H. 2012. Environmental life cycle assessment of cereal and bread production in Norway. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A–Animal Science 62(4): 242-253.

Mels, A., Bisschops, I., & Swart, B. 2008 Zware metalen in meststoffen – vergelijking van urine en zwart water met in Nederland toegepaste meststoffen, 1–10. Retrieved from http://nieuwesanitatie.stowa.nl/Upload/Zware metalen in meststoffen.pdf

Nemecek, T. and Schnetzer, J. 2012. Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems. Data v3. 0.

Powell, J. 2000. The potential for using life cycle inventory analysis in local authority waste management decision making. Journal of Environmental Planning and Management 43(3): 351-367.

Snyder, C., Bruulsema, T., Jensen, T. and Fixen, P. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. Agriculture, Ecosystems & Environment 133(3): 247-266.

Wang, M., Xia, X., Zhang, Q. and 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.