Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Water and Soil Conservation

Print ISSN: 2322 - 2069
Online ISSN: 2322 - 2794

Study of environmental effects of forage maize production using life cycle assessment

Parisa Mohseni[1] | Ahmad Heidari[*2] | Ali Keshavarzi[3] | Elnaz Maleki-Ghelichi[4]

1. M.Sc., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Karaj, Iran. E-mail: parisa.mohseni@alumni.ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Karaj, Iran. E-mail: ahaidari@ut.ac.ir
3. Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Karaj, Iran. E-mail: alikeshavarzi@ut.ac.ir
4. Ph.D. Student, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Karaj, Iran. E-mail: e.maleki90@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 07.30.2021
Revised: 11.17.2021
Accepted: 12.21.2021

Keywords:
Environmental Index,
Life Cycle Assessment,
Maize

ABSTRACT

Background and Objectives: Iran is one of the countries with the highest production of greenhouse gases in the world, which according to estimates is a significant part of these effects are related to agricultural activities. There are various methods for assessing the environmental impact of agricultural activities. Life cycle assessment is one of the methods for assessing the effects of sustainability that has been developed based on the product production process. Existing methods for assessing the effects of life cycle and determining the effects of agricultural activities are determined by classifying and modeling the evaluation and possible changes in soil quality indicators as a result of agricultural activities in the field. The main purpose of this study is to investigate the environmental effects of forage maize production system using the Life Cycle Assessment (LCA) method in order to better manage and control these effects.

Materials and Methods: The study area is an educational farm of the University of Tehran with an area of 260 hectares. The required information was collected through interviews with field experts. The amount of inputs used and the emission of pollutants in several groups of effects including global warming, eutrophication, acidification, surface water poisoning and ozone depletion, classification per functional unit (one ton of forage corn) are determined and their effect on the exchange life cycle. Life cycle evaluation calculations were performed by Sima Pro software.

Results: The results showed that (1): The most environmental degradation due to forage maize production is related to surface water pollution with a value of 1.94×10^{-13} kg, 1,4-DB_{eq} that chemical fertilizers and irrigation have the most effect on this pollution 1.33×10^{-13} and 4.96×10^{-14}, kg 1,4-DB_{eq}, respectively: (2): The value of the environmental index is 2.19×10^{-13} points or 0.219 picopoint. It was calculated that the normalized values of the effect groups are due to the production of fodder corn, which is calculated by multiplying the total amount of contamination of each effect group by the normalization and weighting factors, specific to each effect group. The lower the value and the closer it is to zero, the less environmental impact of the product is less.

Conclusion: Using different methods of crop management such as the use of organic inputs, rotation, nitrogen-fixing plants, and tillage, at least based on the using of low input principles to reduce these environmental effects and also by selecting appropriate methods of irrigation yield and optimal crop yield management environmental degradation reduced these operations. The solution that can be proposed and implemented to reduce the effects of this operation is to use different methods of crop management such as the use of organic inputs, rotation, nitrogen-fixing plants, and tillage at least, based on the use of minimizing principles to reduce these environmental effects. By selecting appropriate methods for irrigation and optimal management of water consumption while increasing crop yield, the environmentally destructive effects of this operation were reduced.

Cite this article: Mohseni, Parisa, Heidari, Ahmad, Keshavarzi, Ali, Maleki-Ghelichi, Elnaz. 2022. Study of environmental effects of forage maize production using life cycle assessment. *Journal of Water and Soil Conservation*, 28 (3), 71-91.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2022.19362.3485
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹
شاپا الکترونیکی: ۲۳۲۲-۲۷۹٤

بررسی اثرات زیست‌محیطی نظام تولید ذرت علوفه‌ای به روش ارزیابی چرخه حیات

پریسا محسنی[۱] | احمد حیدری*[۲] | علی کشاورزی[۳] | الناز ملکی قلیچی[٤]

۱. کارشناس‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. رایانامه: parisa.mohseni@alumni.ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. رایانامه: ahaidari@ut.ac.ir
۳. استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. رایانامه: alikeshavarzi@ut.ac.ir
٤. دانشجوی دکتری گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. رایانامه: e.maleki90@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۰/۰۵/۰۸
تاریخ ویرایش: ۰۰/۰۸/۲٦
تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۹/۳۰

واژه‌های کلیدی:
ارزیابی چرخه حیات،
ذرت علوفه‌ای،
شاخص محیط‌زیستی

چکیده

سابقه و هدف: ایران جزء کشورهایی با بیش‌ترین میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در جهان است که طبق برآوردهای انجام گرفته بخش قابل توجهی از این اثرات مربوط به فعالیت‌های کشاورزی است. روش‌های مختلفی برای ارزیابی اثرات محیط زیستی فعالیت‌های کشاورزی وجود دارد که ارزیابی چرخه حیات یکی از روش‌های ارزیابی اثرات پایداری است که بر مبنای فرآیند تولید محصول توسعه یافته است. روش‌های موجود ارزیابی اثرات چرخه حیات و تعیین اثرات فعالیت‌های کشاورزی از طریق کلاس‌بندی و مدل‌سازی ارزیابی و تغییرات احتمالی در شاخص‌های کیفیت خاک به عنوان یک نتیجه در فعالیت‌های کشاورزی در مزرعه تعیین می‌شوند. هدف اصلی از انجام و طراحی این پژوهش، بررسی آثار زیست‌محیطی ناشی از نظام تولید ذرت علوفه‌ای با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات (LCA) به منظور مدیریت و کنترل هرچه بهتر این اثرات است.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه مزرعه آموزشی دانشگاه تهران به مساحت ۲٦۰ هکتار است. اطلاعات مورد نیاز، از طریق مصاحبه با کارشناسان مزرعه جمع‌آوری گردید. میزان مصرف نهاده‌ها و انتشار آلاینده‌ها در چند گروه تأثیر شامل گرمایش جهانی، اوتریفیکاسیون، اسیدی شدن، مسمومیت آب‌های سطحی و تخریب ازون، دسته‌بندی به ازای یک واحد کارکردی (یک تن ذرت علوفه‌ای) تعیین و تأثیر آن‌ها بر چرخه حیات ارزیابی شد. محاسبات ارزیابی چرخه حیات توسط نرم‌افزار سیماپرو انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که (۱): بیش‌ترین تخریب محیط‌زیستی ناشی از تولید ذرت علوفه‌ای مربوط به مسمومیت آب‌های سطحی با مقدار $kg\ 1,4\text{-}DB_{eq}$ ۱/۹٤ ×۱۰$^{-۱۳}$ می‌باشد که کودهای شیمیایی وآبیاری به ترتیب با مقادیر ۱/۳۳۱×۱۰$^{-۱۳}$ و ٤/۹٦×۱۰$^{-۱٤}$ $kg\ 1,4\text{-}DB_{eq}$ روی این آلایندگی بیش‌ترین اثر را دارند، (۲): مقدار شاخص زیست‌محیطی ۲/۱۹ ×۱۰$^{-۱۳}$ پوینت یا ۰/۲۱۹

پیکوپوینت محاسبه شد که مقادیر نرمال شده گروه‌های اثر ناشی از تولید ذرت علوفه‌ای می‌باشد که با ضرب کردن مقدار کل آلایندگی هر گروه اثر در فاکتورهای نرمال‌سازی و وزن‌دهی مختص هر گروه اثر محاسبه شده است. هرچه این مقدار کم‌تر شده و به صفر نزدیک‌تر باشد این‌طور نتیجه‌گیری می‌شود که اثرات زیست‌محیطی محصول تولید شده نیز کم‌تر می‌باشد.

نتیجه‌گیری: استفاده از روش‌های مختلف مدیریت نظام زراعی هم‌چون کاربرد نهاده‌های آلی، تناوب زراعی، کاشت گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن و خاک‌ورزی حداقل، برمبنای بهره‌گیری از اصول کم‌نهاده برای کاهش این اثرات محیط‌زیستی ضروری است. هم‌چنین انتخاب روش‌های مناسب آبیاری و مدیریت بهینه مصرف آب ضمن افزایش عملکرد محصول، می‌تواند اثرات تخریبی زیست‌محیطی این عملیات را کاهش دهد.

استناد: محسنی، پریسا، حیدری، احمد، کشاورزی، علی، ملکی قلیچی، الناز (۱۴۰۰). بررسی اثرات زیست‌محیطی نظام تولید ذرت علوفه‌ای به روش ارزیابی چرخه حیات. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۸ (۳)، ۹۱-۷۱.

DOI: 10.22069/jwsc.2022.19362.3485

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

ایران جزء کشورهایی با بیش‌ترین میزان تولید گازهای گلخانه‌ای[1] در جهان است که طبق برآوردهای انجام گرفته ۲۰ درصد از اثرات گازهای گلخانه‌ای مربوط به فعالیت‌های کشاورزی است و کشاورزی نیز از بخش‌های مهم اثرگذار بر محیط‌زیست می‌باشد. سهم قابل‌توجهی از مصرف انرژی‌های غیرتجدیدشونده و در نتیجه اثرات زیست‌محیطی حاصل از آن در ایران، به بخش کشاورزی اختصاص دارد. اثرات محیط‌زیستی فعالیت‌های کشاورزی به وسیله روش‌های مختلفی ارزیابی می‌شود که هریک دارای اهداف خاصی می‌باشند. روش‌های مختلفی برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی فعالیت‌های کشاورزی وجود دارد که ارزیابی چرخه حیات یکی از روش‌های ارزیابی اثرات پایداری است که بر مبنای فرآیند تولید محصول توسعه یافته است. طی ارزیابی چرخه حیات اثرات تحمیلی ناشی از تولید یک محصول و یا یک فرآیند و یا یک فعالیت، شامل ضایعات و پسماندهای تولیدی که به محیط‌زیست وارد می‌کند، ارزیابی می‌شود (۲۰). به منظور ارزیابی زیست‌محیطی روش‌های مختلفی وجود دارد که این روش‌ها در آغاز تأثیر مصرف نهاده‌های به‌کار گرفته شده در زیست‌بوم را به صورت اختصاصی در رابطه با یکی از پیامدهای آن به‌طور مثال، گرمایش جهانی و آبشویی ترکیبات نیتروژن‌دار مورد توجه قرار می‌دادند، ولی به تدریج با کامل شدن اطلاعات، همه کارکردهای محیط‌زیستی نیز مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند (۹).

روش ارزیابی چرخه حیات (LCA)[2] بر اساس محاسبه دو مؤلفه میزان مصرف منابع و انتشار آلاینده‌ها به محیط‌زیست تعیین می‌شود (۸). LCA یک فرآیند سیستماتیک و مرحله‌ای است که از چهار بخش تشکیل شده است: ۱- تعریف هدف و حوزه کاری، ۲- آماربرداری و جمع‌آوری اطلاعات، ۳- ارزیابی تأثیر، ٤- تفسیر نتایج (۲۲). ارزیابی چرخه حیات از دید چرخه حیات یکی از بهترین روش‌های اندازه‌گیری اثرات زیست‌محیطی محصول تولید شده می‌باشد (٤). مطالعه چرخه حیات محصولات زراعی روشی مناسب برای ارزیابی تأثیرات محیط‌زیستی تولید آن محصول است (۱۱، ۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۳). هر محصولی دارای یک چرخه حیات است که با طراحی و توسعه محصول آغاز می‌شود و با استخراج منابع، ساخت محصول، دسته‌بندی، مصرف کالا، بازیافت و دفع زائدات ادامه پیدا می‌کند (۱۷). روش‌های موجود ارزیابی اثرات چرخه حیات و تعیین اثرات فعالیت‌های کشاورزی از طریق کلاس‌بندی و مدل‌سازی ارزیابی و تغییرات احتمالی در شاخص‌های کیفیت خاک به عنوان یک نتیجه در فعالیت‌های کشاورزی در مزرعه تعیین می‌شوند (۱۵).

پیشگر و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی با رویکرد تلفیقی و با استفاده از ارزیابی چرخه حیات به بررسی و ارزیابی فرآیند تولید محصول رب‌گوجه‌فرنگی پرداختند. در این پژوهش، سه مرحله تولید گوجه‌فرنگی در مزرعه، حمل محصول از مزرعه به کارخانه و تولید رب در کارخانه مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های مورد نیاز جمع‌آوری شده و در نتیجه از شاخص اثر کربن به منظور کمی کردن اثر گاز گلخانه‌ای در این پژوهش استفاده شد (۱۷).

پیج و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی وضعیت مصرف آب و میزان کربن‌دی‌اکسید تولیدی به‌عنوان دو شاخص زیست‌محیطی مهم در فرایند تولید گوجه‌فرنگی تازه پرداختند و بیان کردند که مقدار اثر کربن دی‌اکسید و آب برای هر کیلوگرم گوجه‌فرنگی تازه بر اساس فصل و سامانه تولید از ۰/۳۹ تا ۱/۹۷ کیلوگرم کربن‌دی‌اکسید و بین ۵ تا ۵۳ لیتر متغیر است.

1- Greenhouse Gases
2- Life Cycle Assessment

انرژی مصرفی نیز بین دو بازه ٦/١٦ تا ٢٧/٤٢ مگاژول به‌ازای هر کیلوگرم گوجه‌فرنگی تعیین شد (١٦).

لگاز و همکاران (۲۰۱۷) طی پژوهشی نشان دادند که خاک‌ها خدمات اکوسیستمی مهمی برای حمایت انسان و نیازهای اکوسیستمی فراهم می‌کنند. در این مطالعه معیارهای مختلفی شامل صحت علمی مدل، پذیرش ارزیابی صورت گرفته و تکرارپذیری و کاربرد مدل ارزیابی چرخه زندگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه زمینه‌های مشترک برای توسعه و شناسایی مدل‌های ارزیابی جامع از تغییرات صورت گرفته بر روی اراضی و تأثیر آن بر روی خاک را نمایان‌تر کرد (۱۰).

هدف اصلی از انجام و طراحی این پژوهش، بررسی آثار زیست‌محیطی ناشی از نظام تولید ذرت علوفه‌ای با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات (LCA) به منظور مدیریت و کنترل هرچه بهتر این اثرات است. از اهداف دیگر می‌توان به محاسبه برخی اثرات زیست‌محیطی تولید محصول ذرت علوفه‌ای مانند گرمایش جهانی، کودهای شیمیایی، اوتریفیکاسیون[1]، اسیدی شدن و تخریب لایه ازون و هم‌چنین بررسی امکان بهره‌برداری از روش LCA در مطالعات مزرعه‌ای اشاره کرد.

مواد و روش‌ها

اطلاعات موجود از مزرعه و محصولات تولیدی در مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و مصاحبه از کارشناس مزرعه استخراج شده و این اطلاعات بازه‌ای معقول (دوره ۲۰ ساله) از داده‌های موجود در این پژوهش می‌باشد. در مطالعه حاضر دو مرحله تولید برای ذرت علوفه‌ای در نظر گرفته شد که شامل تولید، و حمل و نقل محصول از مزرعه تا بازار هدف می‌باشد. دست‌یابی به اطلاعات مورد نیاز در بخش‌های مزرعه‌ای و حمل و نقل، با استفاده از آرشیو مزرعه آموزشی-پژوهشی و پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و مصاحبه حضوری با کارشناسان مزرعه صورت پذیرفت.

بخش زراعی (تولید ذرت علوفه‌ای): در بخش زراعی، عملیات مختلف آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت (مبارزه با علف‌های هرز، آبیاری، مبارزه با آفات) و برداشت محصول مورد بررسی کامل قرار گرفت. در این بخش اطلاعات اولیه مربوط به کشاورز و مزرعه ذرت علوفه‌ای هم‌چون سابقه کشت، سطح زیرکشت، تعداد قطعات زمین، نوع مالکیت زمین، نوع تراکتور و ادوات و غیره از طریق مصاحبه حضوری از کارشناسان مزرعه جمع‌آوری شد. در مرحله‌ی بعدی اطلاعات مربوط به میزان عملکرد و نهاده‌های مصرفی در هکتار شامل تعداد ساعت کارگر مورد نیاز در عملیات مختلف تولید (کاشت، داشت و برداشت)، میزان بذر و نوع آن، میزان کودهای شیمیایی و دامی، مقدار سموم و غیره استخراج شد. در مرحله بعد، اطلاعاتی در مورد عملیات مختلف کشاورزی از خاک‌ورزی تا برداشت (نحوه انجام عملیات، مدت زمان انجام عملیات، تعداد نفر ساعت نیروی انسانی به‌کار رفته، منبع توان، میزان سوخت مصرفی در هر یک از عملیات، نوع و وزن ماشین‌های به کار رفته در عملیات مختلف، تعداد دفعات انجام عملیات و غیره) جمع‌آوری شد. قسمت چهارم اطلاعات نیز مربوط به درآمد فروش و هزینه نهاده‌های مصرفی شامل هزینه بذر مصرفی خریداری شده، اجاره زمین، هزینه کودهای شیمیایی و دامی و سموم، هزینه آب آبیاری، اجاره ماشین‌ها، هزینه خرید مواد مصرفی و غیره بود.

در مرحله آماده‌سازی زمین در کشت ذرت علوفه‌ای مزرعه‌ای ادواتی چون گاوآهن، دیسک، ماله، روتیواتور[2]، فاروئر[3] و مرزبند مورد استفاده قرار می‌گیرد. مرحله کاشت ذرت به صورت تک مرحله‌ای بوده که مقدار ۳۵ کیلوگرم در هکتار بذر ذرت

1- Eutrophication

2- Rotavator

3- Farrower

علوفه‌ای به صورت ردیفی کاشته می‌شود. عملیات آبیاری برای تمامی مزرعه با توجه به نیاز آبی گیاه در مدت سه ماه هر هفت روز یک بار و با هر دور سامانه آبیاری بارانی به مدت چهار شبانه روز انجام می‌پذیرد. در مورد آبیاری، اطلاعاتی مانند دبی منبع تأمین آب، دفعات آبیاری، مدت زمان هر آبیاری، تعداد ساعت کارگر آبیاری، و هزینه ماهیانه برق چاه‌ها و پمپاژ (در صورت استفاده از چاه برقی به عنوان منبع تأمین آب) جمع‌آوری گردید. مبارزه با آفات از دیگر عملیات داشت است. بیماری و آفات مهم ذرت علوفه‌ای در منطقه مورد مطالعه عبارت‌اند از شب‌پره زمستانی[1]، کرم برگ‌خوار[2]، پروانه گاما[3]، کرم قوزه یا کرم بلال[4]، پروانه برنج[5] و غیره که از سموم مختلف آفت‌کش و قارچ‌کش برای مبارزه شیمیایی استفاده می‌شود. در مورد سموم شیمیایی، اطلاعاتی مانند میزان سم مصرفی در هکتار، تعداد قوطی سم بعد از سم‌پاشی، وضعیت قوطی سم بعد از مصرف (سوزانده یا دور انداخته شده)، نوع سم‌پاش، مدت زمان سم‌پاشی، دفعات سم‌پاشی و تعداد ساعت کارگر سم‌پاشی جمع‌آوری شد.

عملیات برداشت ذرت علوفه‌ای تابستانه در نیمه دوم مهرماه توسط چاپر شش ردیفه انجام می‌شود. در مورد برداشت، اطلاعاتی چون نوع ماشین برداشت، مدت زمان برداشت،مقدار گازوئیل مصرفی، نوع ماشین حمل و نقل، فاصله مزرعه تا بازار مصرف و میزان عملکرد محصول جمع‌آوری شد.

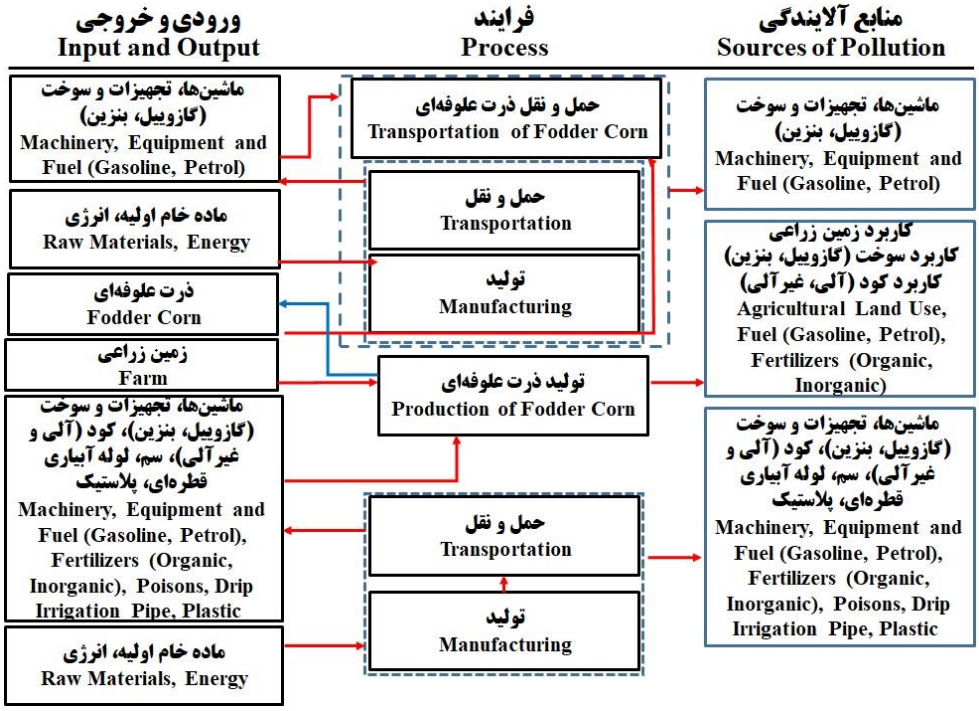
بخش حمل و نقل: انتقال ذرت علوفه‌ای برداشت شده به بازار (با فاصله ۱۵ کیلومتر) توسط کامیون انجام می‌شود. فاصله مزرعه تا بازار، تعداد و نوع ماشین مورد نیاز و مقدار سوخت مصرفی در هر مرحله تعیین و محاسبه شد.

ارزیابی چرخه حیات: محاسبات ارزیابی چرخه زندگی توسط نرم‌افزار سیماپرو (Sima Pro, v.7.1) انجام شد. مرز سیستم[6] زیربخش قسمت تعریف هدف و دامنه پژوهش است. مرز سامانه معمولاً به‌صورت نموداری از روند ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم تولید مورد مطالعه نشان داده می‌شود. تمامی مراحل مورد مطالعه در چرخه زندگی محصول، از تولید ورودی‌ها تا انتقال به واحد تولیدی و مراحل تولید در مرز سیستم نشان داده می‌شود. شکل ۱ مرز سیستم مورد مطالعه پژوهش حاضر در ارزیابی چرخه زندگی ذرت علوفه‌ای در گام‌های ارزیابی زیست‌محیطی این محصول را نشان می‌دهد.

زیربخش دیگر قسمت تعریف هدف و دامنه پژوهش، واحد عملیاتی یا محاسباتی[7] است. بر اساس تعریف، واحد عملیاتی، یک واحد پایه برای محاسبات چرخه زندگی می‌باشد که مقادیر ورودی‌ها در مرحله دوم چرخه حیات (ارزیابی موجودی) جمع‌آوری و محاسبه می‌شوند. تعیین واحد عملیاتی بسته به محصول مورد مطالعه و هدف مطالعه می‌تواند به‌صورت جرم محصول، سطح و یا تعداد، متفاوت در نظر گرفته شود. در ارزیابی‌های مربوط به محصولات کشاورزی و مواد غذایی، واحد عملیاتی معمولاً به‌صورت یک کیلوگرم محصول تولید شده در نظر گرفته می‌شود. در مطالعه حاضر واحد عملیاتی در بخش مزرعه بر اساس میزان انتشار گاز کربن‌دی‌اکسید به ازای یک تن ذرت علوفه‌ای در نظر گرفته شد. در ادامه ابتدا میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از تولید یک تن ذرت علوفه‌ای محاسبه می‌گردد. با توجه به سهم بالای بخش کشاورزی در میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای، میزان تغییرپذیری انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش مزرعه‌ای، بررسی می‌شود.

1- Agrotis segetum
2- Spodoptera littoralis
3- Plusia (phytometra) gamma L
4- Heliothis armigera Hub
5- Cirphis unipuncta Haw

6- Substance
7- Functional unit



شکل ۱- مرز سیستم در ارزیابی چرخه حیات محصول ذرت علوفه‌ای.

Figure 1. The boundary of system in life cycle assessment of forage corn.

هدف از مرحله فهرست‌بندی و جمع‌آوری داده‌های اولیه، محاسبه میزان انتشار مواد طی فرایند تولید محصول مورد مطالعه به داخل هوا، آب و خاک است. خروجی این مرحله، لیست مواد منتشر شده به‌ازای واحد عملیاتی می‌باشد. داده‌های به دست آمده از مقدار نهاده‌های مصرفی و خروجی فرایند تولید در هر قسمت وارد نرم‌افزار سیماپرو شد و در مرحله بعد از پایگاه داده‌های اکوینونت[1] برای محاسبه میزان انتشار مواد طی فرایند تولید استفاده شد. داده‌های مربوط به قسمت کشاورزی، از طریق مصاحبه حضوری با کشاورزان و کارشناسان مزرعه و اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای جمع‌آوری گردید در هر مرحله از تولید محصول، باید دو نوع انتشار شامل میزان انتشار به‌ازای تولید مواد مصرفی در آن مرحله و میزان انتشار به ازای مصرف مواد در آن مرحله در نظر گرفته شود. اطلاعات مورد استفاده از پایگاه داده‌های اکوینونت شامل میزان انتشار به‌ازای تولید ادوات، تراکتور و سوخت مصرفی برای یک هکتار و میزان انتشار به ازای سوختن گازوییل در موتور تراکتور در یک هکتار شخم می‌باشد که نحوه محاسبه گروه‌های تأثیر در ادامه شرح داده شده است. از آن‌جا که اطلاعات موجود در پایگاه داده‌های اکوینونت، برای مزارع کشورهای اروپایی محاسبه شده و در بسیاری از موارد برای کشور ایران پروژه خاصی تعریف نشده است بنابراین در مطالعه حاضر برای هر مرحله از تولید یک پروژه جدید در نرم‌افزار سیماپرو تعریف شد و داده‌های جمع‌آوری شده وارد نرم‌افزار گردید و میزان انتشار مربوط به مواد مصرفی در آن مرحله پس از محاسبه در نرم‌افزار اکسل وارد نرم‌افزار سیماپرو شده و بدین‌ترتیب برای هر مزرعه یا هر مرحله از حمل و نقل، زیرگروه‌های مختلفی منطبق با شرایط ایران تعریف شد. در مرحله جمع‌آوری داده‌های ورودی اولیه نرم‌افزار سیماپرو، میزان انتشار آلاینده‌ها

1- Ecoinvent

در محدوده مرز سامانه تعیین شد. در مورد بخش مزرعه با توجه به میزان نهاده‌های مصرف شده و ضرایب تبدیل، میزان انتشار از مصرف هر بخش محاسبه گردید.

خروجی مرحله دوم، لیست بلندی از میزان انتشار مواد مختلف به داخل محیط‌زیست است. مقایسه این نتایج و بررسی این نتایج عملاً غیرممکن است و لازم است از دسته‌بندی و گروه‌بندی‌های مختلف برای ساده کردن کار استفاده کرد. در مرحله ارزیابی اثرات، نتایج حاصل از مرحله دوم در گروه‌های مختلفی که به‌نام گروه‌های اثر شناخته می‌شوند دسته‌بندی می‌گردند. حیدری (۲۰۱۵) برای تعیین گروه‌های اثر از نرم‌افزار سیماپرو (۷/۱) که نرم‌افزار مربوط به ارزیابی چرخه زندگی محصول می‌باشد، استفاده نمود (۳). سپس برای تعیین گروه‌های تأثیر از روش CML[1] که روشی متداول و معمول در ایران می‌باشد و توسط دانشکده علوم محیطی لیدن هلند طراحی شده و به منطقه خاصی تعلق ندارد، گروه‌های اثر به دست آمد.

گروه‌های اثر مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ نمایش داده شده است. روش ارزیابی تأثیرات محیط‌زیستی براساس روش CMLbaseline 2000 V2.04 / word, 1990 /Characterization انتخاب گردیده است. با توجه به اهمیت گروه اثر میانی گرمایش جهانی و محاسبات پیچیده و جزئی در این گروه اثر، روابط به کار گرفته شده در محاسبات مربوط به این گروه اثر در ادامه ارائه شده است (۱۷).

جدول ۱- بخش‌های اثر مورد مطالعه در روش CML baseline 2000 V2.04 / word, 1990 / Characterization. [1]

Table 1. The functional groups in CML baseline 2000 V2.04 / word, 1990 / Characterization.

اسامی گروه‌های اثر در این روش Effect groups in this method	گروه‌های اثر Effect groups
پتانسیل اسیدی شدن Acidification Potential	اسیدی شدن Acidification
تغییرات اقلیمی Climate change	پتانسیل گرم شدن زمین Global warming potential
تقلیل منابع غیرآلی Inorganic resources Reduction	تخلیه غیرزیستی Abnormal discharge
تقلیل منابع غیرآلی- سوخت‌های فسیلی Inorganic resources - fossil fuels reduction	
پتانسیل سمیت آب‌های آزاد Open water toxicity potential	
پتانسیل سمیت آب‌های سطحی Potential of surface water toxicity	مسمومیت اکوسیستم Ecosystem poisoning
پتانسیل سمیت خاک Soil toxicity potential	
اوتریفیکاسیون Eutrophication	اوتریفیکاسیون Eutrophication
پتانسیل مسمومیت انسان‌ها The potential for human poisoning	مسمومیت برای انسان Poisoning for humans
گازهای مخرب لایه ازن Destructive gases of the ozone layer	تخلیه لایه ازون Ozone depletion
اکسیداسیون فوتوشیمیایی Photochemical oxidation	اکسیداسیون فوتوشیمیایی Oxidation Photochemical

1- Chronic Myeloid Leukemia

بر اساس شواهد علمی، آب و هوای کره زمین به سرعت در حال تغییر است که یکی از دلایل عمده آن افزایش روزافزون مقدار گازهای گلخانه‌ای است. گازهای گلخانه‌ای که یکی از مهم‌ترین انتشارات زیست‌محیطی در مطالعات چرخه حیات محصولات کشاورزی به شمار می‌روند. گازهایی هستند که در جو زمین باعث نگه داشتن گرمای بازتاب شده از سطح زمین و در نتیجه گرم شدن کره زمین می‌شوند. شش گاز گلخانه‌ای که باعث ایجاد اثر گلخانه‌ای می‌شوند عبارت‌اند از نیتروکسید[1]، کربن‌دی‌اکسید[2]، متان[3]، هیدروفلوروکربن‌ها[4]، پرفلوروکربن‌ها[5] و هگزافلوراید سولفور[6]. سهم عمده‌ای از کربن‌دی‌اکسید با احتراق سوخت و گیاهان، فعالیت‌های میکروبیولوژی و ماده آلی خاک تولید می‌شود (٦). نیتروکسید از طریق تبدیل و تغییر نیتروژن موجود در خاک و کودهای آلی حاصل می‌شود. معمولاً زمانی این پدیده اتفاق می‌افتد که نیتروژن موجود در خاک بیش از نیاز گیاه باشد و خاک رطوبت زیادی داشته باشد. متان نیز زمانی تولید می‌شود که مواد آلی موجود در خاک و کودهای آلی در شرایط بی‌هوازی قرار می‌گیرند (٢٤، ٢١، ١٢).

به‌منظور محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای یا اثر کربن (CF)[7] در بخش مزرعه‌ای از رابطه ۱ استفاده شد (۱۷).

$$CF = \frac{GHG_{Bio.} + GHG_{Mat.} + GHG_{fert.}}{Y} \quad (1)$$

که در آن، CF میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای یا اثر کربن به‌ازای کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید در تن ذرت علوفه‌ای، GHG_{Bio}. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از تغییر کاربری زمین (به‌ازای کیلوگرم معادل کربن در هکتار)، GHG_{Mat}. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از تولید نهاده‌های مصرفی مانند ماشین‌های کشاورزی، کودهای شیمیایی، سوخت، الکتریسیته، لوله‌های آبیاری و... (به‌ازای کیلوگرم معادل کربن در هکتار)، GHG_{fert}. میزان انتشار حاصل از کاربرد کودهای شیمیایی و آلی در مزرعه ذرت علوفه‌ای (به‌ازای کیلوگرم معادل کربن در هکتار و Y عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای در هر مزرعه (کیلوگرم در هکتار) می‌باشند.

همان‌گونه که در رابطه ۱ بدان اشاره شد دو دسته اصلی آلایندگی در بخش کشاورزی در مطالعه حاضر مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه به شرح تفصیلی هر قسمت و نحوه محاسبه هر یک پرداخته شده است.

در مورد کودهای شیمیایی و آلی، دو نوع انتشار و آلایندگی وجود دارد: ۱- آلایندگی حاصل از فرایند تولید کودهای شیمیایی و آلی، و ۲- آلایندگی حاصل از استفاده و مصرف کودهای شیمیایی و آلی در مزرعه. در زمینه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در نرم‌افزار SimaPro میزان انتشار حاصل از تولید کودهای شیمیایی وجود دارد، اما میزان انتشار حاصل از مصرف کودهای شیمیایی و آلی وجود ندارد و باید به‌صورت مجزا محاسبه شود. متأسفانه در مطالعات چرخه حیات با این تصور که این دسته از انتشارات در نرم‌افزار محاسبه می‌گردد، محاسبه نمی‌شود. در این مطالعه نحوه محاسبه این انتشارات در ادامه شرح داده می‌شود.

مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای حاصل از مصرف کودهای شیمیایی و آلی نیترواکسید است. به منظور محاسبه نیتروکسید از رابطه ۲ استفاده شد (١٤):

1- N_2O
2- CO_2
3- CH_4
4- HFC
5- Perfleorocarbons
6- SF_6
7- Carbon Footprint

$$N_2O = \left(\frac{44}{28}\right) \times (0.01 \times (N_{total} + N_{cr}) + 0.01 \times \left(\frac{14}{17}\right) \times NH_3 + 0.0075 \times \left(\frac{14}{62}\right) \times NO_3) \quad (۲)$$

که در آن، N_2O میزان نیتروکسید منتشر شده از مصرف کود (کیلوگرم در هکتار)، N_{total} میزان کل نیتروژن موجود در کودهای مصرفی (کیلوگرم در هکتار)، N_{cr} میزان نیتروژن موجود در بقایای گیاهی (کیلوگرم در هکتار)، NH_3 میزان نیتروژن از دست رفته به‌صورت آمونیاک و NO_3 میزان نیتروژن از دست رفته به‌صورت نیترات می‌باشند. به‌منظور محاسبه مقدار آمونیاک و نیترات از روابط ۳ و ٤ استفاده شد (١٤):

$$NH_3 - N = TAN \times (er + c_app) \times C_x \quad (۳)$$

$$NO_3 - N = 21.37 \times \frac{P}{c \times L}\left[0.0037 \times S + 0.0000601 \times N_{org} - 0.00362 \times U\right] \quad (٤)$$

که در آن، NH_3–N H11 مقدار انتشار نیتروژون در قالب آمونیاک (کیلوگرم نیتروژن)، TAN[1] مقدار نیتروژن موجود در آمونیاک (کیلوگرم نیتروژن) است که این مقدار، معمولاً معادل نیتروژن قابل انحلال موجود در کودهای مصرفی در نظر گرفته می‌شود (جدول ۲).

جدول ۲- توان آلایندگی آمونیاک (درصد نیتروژن) حاصل از کاربرد کودهای شیمیایی (١٤).

Table 2. Ammonia pollution potential (N %) resulting from the application of chemical fertilizers.

نوع کود شیمیایی Type of chemical fertilizer	er (درصد)٪
نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	2
سولفات آمونیوم Ammonium sulfate	8
اوره Urea	15
کودهای کامل محتوی چند عنصر (NPK, NP, NK) Complete fertilizers containing several elements	4
نیترات آمونیوم اوره Ammonium nitrate urea	8.5
آمونیاک مایع Liquid ammonia	3

(er)[2] نرخ انتشار است که به‌صورتی درصدی از TAN بیان می‌شود و برای کودهای دامی مختلف در جدول‌های ۳ و ٤ آورده شده است.

1- Total ammonium N

2- Emission rate (نرخ آلایندگی)

جدول ۳- محتوای نیتروژن انواع کود دامی (۱٤).

Table 3. Nitrogen content of different animal manure.

نوع کود Type of fertilizer	واحد The unit	TAN (کیلوگرم بر واحد) kg per unit
کود گاوی Cow manure		
کود مایع Liquid manure	مترمکعب M3	2.3
کود با رطوبت کم Fertilizer with low humidity	مترمکعب M3	3.2
کود خالص Pure fertilizer	تن Ton	0.8
کود رهاسازی شده Released fertilizer	تن Ton	1.3
کود مرغی Poultry manure		
کود مرغ گوشتی Broiler chicken manure	تن Ton	10
کود مرغ تخم‌گذار Laying chicken manure	تن Ton	6.3
کود مرغ گوشتی به همراه بستر Broiler manure with litter	تن Ton	9
کود مرغ تخم‌گذار به همراه بستر Laying chicken manure with litter	تن Ton	7

c_app H11[1] و C_x عامل تصحیح، که با توجه به نحوه مصرف کودهای دامی متفاوت می‌باشد (نحوه محاسبه عامل تصحیح در منبع زیر به صورت تفصیلی بیان شده است (نمچک و همکاران، ۲۰۱۵). NO_3–N میزان انتشار نیتروژن در قالب نیترات (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)، P میزان مجموع بارندگی سالانه و آبیاری (میلی‌متر)، c میزان رس خاک در منطقه مورد بررسی (٪)، L عمق ریشه گیاه ذرت علوفه‌ای (متر)، S مقدار نیتروژن موجود در کودهای شیمیایی (کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال)، N_{org} مقدار نیتروژن موجود در کودهای آلی (کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال) و U مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه (کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال) است. به‌منظور تعیین میزان آلایندگی متان تولیدی حاصل از کاربرد کودهای آلی در مزارع ذرت علوفه‌ای از رابطه ۵ استفاده شد (۵).

$$EF = \frac{VS \times B_o \times \rho \times MCF \times MS}{MP} \qquad (۵)$$

که در آن، EF عامل آلایندگی کود دامی (کیلوگرم متان بر کیلوگرم کود)، VS جامد فرار (کیلوگرم جامد فرار در روز به ازای یک رأس گاو)، B0 حداکثر ظرفیت تولید گاز متان (مترمکعب متان بر کیلوگرم جامد فرار)، ρ چگالی متان (۰/٦۷ کیلوگرم متان بر مترمکعب متان)، MCF عامل تبدیل متان (متغیر بین یک و دو درصد)، MS میزان مصرف سامانه مدیریت کود (درصد) و MP میزان کود تولیدی (کیلوگرم کود در روز به ازای یک رأس گاو) است (جدول ٤).

در این قسمت آلایندگی حاصل از فرایند تولید و حمل و نقل تمامی ورودی‌های (شامل ماشین‌ها و تراکتور، لوله‌های آبیاری، مالچ، پلاستیک، کود شیمیایی، سوخت، الکتریسیته و...) مورد استفاده در

1- Correction factor

فرایند تولید ذرت علوفه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SimaPro محاسبه شد. در بخش حمل و نقل، با توجه به فاصله مزرعه در هر منطقه تا بازار مصرف، میزان سوخت مصرفی کامیون انتقال و ظرفیت انتقال هر کامیون میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر تن ذرت علوفه‌ای محاسبه شد.

نرمال‌سازی فرآیندی است که جهت نشان دادن مقدار سهم معنی‌دار یک اثر از مشکل محیط‌زیستی کلی، مورد نیاز است. به منظور مقایسه شاخص‌های مختلف زیست‌محیطی لازم است تمام این شاخص‌ها با واحد یکسانی برآورد گردند. برای این منظور از ضرایب یا فاکتورهای نرمال‌سازی استفاده می‌گردد و شاخص‌های نرمال شده بدون واحد برآورد می‌گردد.

نرمال‌سازی، محاسبه اهمیت نتایج شاخص‌ها در ارتباط با برخی اطلاعات مرجع است. توجه به نرمال‌سازی برای درک بهتر میزان ارتباط با نتایج شاخص سامانه تحت مطالعه است. به عبارت دیگر در این بخش اهمیت یا بزرگی شاخص‌های محاسبه شده با توجه به اطلاعات مرجع محاسبه می‌شود. نرمال‌سازی با تقسیم شاخص‌های رده اثر به یک مقدار نرمال انجام می‌پذیرد. رایج‌ترین روش جهت تعیین مقدار نرمال، تعیین شاخص‌های رده اثر در یک ناحیه در طول یک سال و تقسیم این نتایج بر تعداد ساکنان آن ناحیه می‌باشد. همه گروه‌های اثر بعد از نرمال‌سازی بدون واحد می‌باشند و بنابراین قابل‌مقایسه با یکدیگر هستند. نرمال‌سازی هم بر روی نتایج داده‌های توصیف صفات شده و یا ارزیابی خسارت قابل‌اعمال است. در مدل CML baseline برای تبدیل مقادیر واقعی اثرات محیط‌زیستی به مقادیر نرمال‌شده مربوط به شاخص‌های محیط‌زیستی از ضرایب خاصی استفاده می‌شود که این ضرایب از نرم‌افزار سیماپرو استخراج و در جدول ٦ ارائه شده است.

جدول ٤- نتایج حداکثر ظرفیت تولید گاز متان به ازای یک راس گاو و حداکثر تولید گاز متان براساس روش IPCC (سافلی و همکاران، ۱۹۹۲) (۵).

Table 4. Results of maximum methane gas production capacity per cow and maximum methane gas production based on method IPCC (5).

گاو شیری Cow		گاو غیرشیری Non-dairy cows		بوفالو Buffalo		خوک Pig		منطقه Area
B0a	VSb	B0a	VSb	B0a	VSb	B0a	VSb	
0.24	5.2	0.17	2.4	0	0	45.0	0.5	آمریکای شمالی North America
0.24	5.1	0.17	2.7	0.1	3.9	45.0	0.5	اروپای غربی Western Rupee
0.24	4.1	0.17	2.7	0.1	3.9	45.0	0.5	اروپای شرقی Eastern Europe
0.13	3.5	0.17	3	0.1	3.9	45.0	0.5	اقیانوسیه Oceania
0.13	2.9	0.1	2.5	0.1	3.9	0.29	0.3	آمریکای لاتین Latin America
0.13	1.9	0.1	1.5	0.1	3.9	0.29	0.3	آفریقا Africa
0.13	1.9	0.1	1.5	0.1	3.9	0.29	0.3	خاورمیانه Middle East
0.13	2.8	0.1	2.3	0.1	3.9	0.29	0.3	آسیا Asia
0.13	2.6	0.1	1.4	0.1	0.3	0.29	0.3	شبه قاره هندوستان Indian subcontinent

a in m^3 CH/kg VS, b average VS production for per head per day for the average animal (kg Vs/ head day (source: IPCC 1997))

وزن‌دهی مشکل‌ترین و بحث‌برانگیزترین مرحله از ارزیابی اثر چرخه زندگی به‌خصوص برای روش‌های با نقطه هدف میانی است. راه‌حل‌های مختلفی برای حل یا ساده نمودن این مشکل پیشنهاد شده است. یکی از نقاط ضعف مدل CML baseline عدم ارائه نتایج به‌صورت نرمال شده و وزن‌دارشده می‌باشد. برای این‌که بتوان شاخص‌های محیط‌زیستی را با واحدهای مربوطه با یکدیگر جمع کرد و شاخص کلی برآورد کرد لازم است ضرایب وزنی برای این شاخص‌ها وجود داشته باشد. در مرحله انتهایی ارزیابی اثرات زیست‌محیطی به منظور بی‌بعد کردن شاخص‌ها، فراهم کردن امکان مقایسه آن‌ها و درک بهتر نتایج حاصل عمل وزن‌دهی انجام می‌شود. در این مرحله شاخص یا نتایج نرمال شده با مؤلفه‌های انتخاب شده وزن‌دهی و بی‌بعد می‌گردند. در مدل CML baseline برای تبدیل مقادیر واقعی اثرات زیست‌محیطی به مقادیر وزن‌دار شده مربوط به شاخص‌ها از ضرایب وزنی استفاده می‌شود که شاخص‌های وزن‌دار شده (Eco-index) با واحد پیکوپوینت pPt برآورد می‌گردد. ضرایب استفاده شده برای این منظور در ستون آخر جدول ٦ ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است ضرایب وزنی و ضرایب نرمال‌سازی برای همه شاخص‌های زیست‌محیطی یکسان است.

جدول ۵- فاکتورهای تبدیل متان (٪) برای سیستم‌های مختلف کود و شرایط آب و هوایی، گاوهای شیری و گوشتی و بوفالو (۵).

Table 5. Methane conversion factors (%) for different fertilizer systems and climatic conditions, dairy and beef cattle and buffalo.

اقلیم Climate	سایر Other	سوخت Burned for fuel	هضم‌کننده Digester	پخش روزانه Daily Spread	محدوده مرتع Pasture range	دریلوت Drylot	ذخیره‌سازی جامد Solid storage	مایع/دوغاب Liquide/ slurry	مرداب Lagoon
سرد Cold	1	10	10	0	1	1	1	10	90
معتدل Mild	1	10	10	00.5	2	11.5	11.5	35	90
گرم Hot	1	10	10	10	2	5	2	65	90

در مرحله تلفیق و تفسیر نتایج، شاخص زیست‌محیطی تحت عنوان شاخص بوم شناخت (Eco-Index) که معیار نهایی روش ارزیابی چرخه حیات و نشان‌دهنده مجموع اثرات محیط‌زیستی (تبعات منفی محیط‌زیستی) انتشار انواع آلاینده‌ها و مصرف منابع غیرقابل تجدید می‌باشد، با استفاده از رابطه ٦ محاسبه خواهد شد (۱۷):

$$Eco - Index = \sum_{i=1}^{n} W_i . N_i \qquad (٦)$$

که در آن، Eco-Index H10 شاخص محیطی بوم شناخت به ازای واحد کارکردی (یک تن ذرت علوفه‌ای)، N_i مقدار نرمال شده مربوط به هرگروه تأثیر (مانند گرمایش جهانی، کودهای شیمیایی، اوتریفیکاسیون، اسیدی شدن و تخلیه ازون و ...)، W_i وزن مربوط به هریک از مقادیر N_i می‌باشد.

مرحله نهایی ارزیابی چرخه زندگی یک محصول یا کالا تفسیر نتایج است. در این مرحله نتایج حاصل از مراحل ارزیابی چرخه زندگی، مورد بحث، تجزیه و تحلیل قرار گرفته و به عبارتی نتیجه‌گیری کلی از فرضیات اولیه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نتایج و بحث

اثرات زیست‌محیطی تولید ذرت علوفه‌ای: جدول‌های ۷ و ۷ مقدار کل آلایندگی‌ها و گروه اثر در ارزیابی زیست‌محیطی و عملیات مختلف در ایجاد این آلایندگی‌ها می‌باشند. بیش‌ترین تخریب زیست‌محیطی ناشی از تولید ذرت علوفه‌ای در این پژوهش مربوط به مسمومیت آب‌های سطحی با مقدار $۱/۹٤\times۱۰^{-۱۳}$ kg 1,4-DBeq می‌باشد که عملیاتی شامل کودهای شیمیایی و آبیاری به ترتیب با مقادیر $۱/۳۳۱\times۱۰^{-۱۳}$ و $٤/۹٦\times۱۰^{-۱٤}$ روی این آلایندگی بیش‌ترین اثر را دارند. مسمومیت زیست‌محیطی سه مقوله تأثیرگذار که شامل آب شیرین، دریا و خشکی است به صورت جداگانه اندازه‌گیری می‌شود.

انتشار برخی از مواد مانند فلزات سنگین می‌تواند بر اکوسیستم تأثیر بگذارد. ارزیابی سمیت در اکوسیستم بر اساس حداکثر غلظت قابل تحمل سم در آب در نظر گرفته می‌شود که مسمومیت آب سطحی در این گروه اثر قرار دارد. پتانسیل مسمومیت برای انسان یک شاخص محاسباتی است که نشان‌دهنده زیان بالقوه یک واحد از مواد شیمیایی آزاد شده به محیط‌زیست می‌باشد که این مواد شیمیایی به‌طور بالقوه از طریق استنشاق، بلعیدن و حتی تماس برای انسان خطرناک هستند. که این آلایندگی بعد از مسمومیت آب‌های سطحی دارای بیش‌ترین آثار زیست‌محیطی تولید ذرت علوفه‌ای می‌باشد که مقدار کلی این آلاینده‌ها در این مطالعه $۸/۲٦\times۱۰^{-۱۵}$ kg 1,4-DB eq بوده و کودهای شیمیایی با مقدار $٤/۷۷\times۱۰^{-۱۵}$ و آبیاری $۲/۸۸\times۱۰^{-۱۵}$ بیش‌ترین اثر را در افزایش این گروه اثر دارند.

جدول ٦- ضرایب تبدیل مقادیر برای گروه‌های اثر زیست‌محیطی به مقادیر نرمال شده و وزن‌دار شده.

Table 6. Conversion coefficients for environmental impact groups into normalized and weighted values.

ضرایب وزن‌دهی (pPt)[1] Weighting coefficients	ضرایب نرمال سازی ($\times۱۰^{-۱۲}$) Normalization coefficients	واحد The unit	گروه اثر Effect group
0.478	0.478	kg Sb_{eq}	تقلیل منابع غیرآلی Inorganic resources Reduction
0.003	0.003	MJ	تقلیل منابع غیرآلی (سوخت‌های فسیلی) Inorganic resources Reduction (fossil fuels)
0.02	0.02	kg CO_{2eq}	پتانسیل گرمایش جهانی Global warming potential
0.441	0.441	kg CFC-11_{eq}	نقصان لایه ازون Ozone layer defect
0.39	0.39	kg 1,4-DB_{eq}	پتانسیل مسمومیت انسان‌ها The potential for human poisoning
0.42	0.42	kg 1,4-DB_{eq}	مسمومیت آب‌های سطحی Surface water poisoning
0.01	0.01	kg 1,4-DB_{eq}	مسمومیت آب‌های آزاد Open water poisoning
0.92	0.92	kg 1,4-DB_{eq}	مسمومیت خاک Soil poisoning
2.72	2.72	kg C_2H_{4eq}	اکسیداسیون‌فتوشیمیایی Photochemical oxidation
4.19	4.19	kg SO_{2eq}	پتانسیل اسیدی شدن Potential for acidification
6.32	6.32	kg $PO_4^{3-}{}_{eq}$	پتانسیل اختناق دریاچه‌ای The potential for lake suffocation

1- Picopoint (پیکوپوینت)

مسمومیت آب‌های آزاد که جز مسمومیت‌های محیط‌زیستی می‌باشد با مقدار $۷/۱۶\times۱۰^{-۱۵}$ kg 1,4-DB eq بعد از مسمومیت آب‌های سطحی و مسمومیت برای انسان دارای بیش‌ترین اثر محیط‌زیستی تولید محصول ذرت علوفه‌ای در این پژوهش حاضر می‌باشد که آبیاری و کود شیمیایی با مقادیر $۴/۱۵\times۱۰^{-۱۵}$ و $۲/۶\times۱۰^{-۱۵}$ به ترتیب بیش‌ترین عملیات دخیل در تولید این گروه اثر می‌باشند. تخلیه غیرزیستی به‌طورکلی، این سطح تأثیر به مصرف منابع غیر بیولوژیکی مانند سوخت‌های فسیلی، کانی‌ها، فلزات، آب، و سایر موارد اشاره می‌کند. که مقدار کل این آلایندگی برای تخلیه غیرزیستی سوخت‌های فسیلی $۲/۹\times۱۰^{-۱۵}$ MJ و برای تخلیه منابع غیرآلی در پژوهش حاضر $۱/۰۹\times۱۰^{-۱۵}$ kg Sb eq محاسبه شد.

کودهای شیمیایی و آبیاری نیز عملیاتی هستند که به ترتیب با مقادیر $۸/۲۱\times۱۰^{-۱۶}$ و $۱/۶۵\times۱۰^{-۱۶}$ بیش‌ترین سهم در افزایش این گروه اثر را دارند. امروزه در مورد گرمایش جهانی، افراد معمولاً به انتشار موادی اشاره می‌کنند که توسط نوع بشر صورت می‌گیرد که به‌طور طبیعی باعث افزایش گرمایش جهانی می‌شود که در طی مدت طولانی دمای متوسط زمین را افزایش می‌دهد. مقدار کل این گروه اثر $۲/۶۰\times۱۰^{-۱۵}$ kg CO_2 eq بوده و کود شیمیایی و آبیاری عملیاتی هستند که با مقادیر به‌ترتیب ۰/۰۵۸۷۰۹ و ۰/۰۰۴۲۴۵۳ بیش‌ترین تأثیر را در افزایش گرمایش جهانی دارند. اسیدی شدن زمانی اتفاق می‌افتد که ترکیباتی مانند آمونیاک، اکسیدهای نیتروژن و دی اکسید گوگرد در واکنش شیمیایی به مواد اسیدی تبدیل می‌شوند. اکثر این ترکیبات به‌طور مستقیم از آلودگی هوا حاصل می‌شوند. مقدار کل این آلایندگی $۱/۸۷\times۱۰^{-۱۵}$ kg SO_2 eq و بیش‌ترین عملیات تأثیرگذار روی این گروه اثر، آبیاری با مقدار $۹/۸۸\times۱۰^{-۱۶}$ می‌باشد.

اوتریفیکاسیون تغلیظ مواد مغذی شیمیایی در یک اکوسیستم است که منجر به بارخیزی غیرطبیعی اکوسیستم می‌شود. این عمل باعث رشد بیش از حد گیاهانی مانند جلبک در رودخانه‌ها می‌شود که نتیجه آن کاهش شدید کیفیت آب و جمعیت جانوری می‌شود. بر اساس جدول ۷ مقدار کل اوترفیکاسیون $۷/۵۱\times۱۰^{-۱۵}$ kg PO_4^{3-} eq محاسبه شده و کود شیمیایی با مقدار $۵/۳۸\times۱۰^{-۱۶}$ و آبیاری نیز با $۱/۰۴\times۱۰^{-۱۶}$ بیش‌ترین تأثیر را در افزایش آن دارا می‌باشند. ازون لایه محافظ در استراتوسفر است، اما در سطح زمین برای افراد با غلظت بالا سمی است این سطح تأثیر به‌طور عمده بستگی به مقدار مونوکسید کربن (CO)، دی اکسید گوگرد (SO_2)، اکسید نیتروژن (NO)، آمونیوم و NMVOC (ترکیبات آلی فرار غیرمتان) دارد مقدار کل این آلایندگی $۴/۹۷ \times ۱۰^{-۱۶}$ kg C_2H_4 eq بوده و آبیاری با مقدار $۲/۸۷\times۱۰^{-۱۶}$ و کود شیمیایی $۷/۸۷\times۱۰^{-۱۷}$ بیش‌ترین نقش در افزایش آن را دارند.

جدول ۷- مقادیر نرمال نشده آلایندگی برای هر گروه اثر در کشت ذرت علوفه‌ای.

Table 7. Non-normalized levels of contamination for each effect group in forage maize cultivation.

مقدار کل Total amount	واحد The unit	گروه‌های اثر Effect groups
2.28×10^{-17}	kg Sb eq	تقلیل منابع غیرآلی Inorganic resources Reduction
1.103301	MJ	تقلیل منابع غیرآلی (سوخت فسیلی) Inorganic resources Reduction (fossil fuels)
1.83×10^{-5}	kg CFC-11 eq	نقصان لایه ازون Ozone depletion
0.021286	kg 1,4-DB eq	پتانسیل مسمومیت انسان‌ها The potential for human poisoning
0.016915	kg 1,4-DB eq	مسمومیت آب‌های آزاد Open water poisoning
37.58279	kg 1,4-DB eq	مسمومیت آب‌های سطحی Surface water poisoning
0.000209	kg 1,4-DB eq	مسمومیت خاک Soil poisoning
1.83×10^{-5}	kg C_2H_4 eq	اکسیداسیون فوتوشیمیایی Photochemical oxidation
0.000441	kg SO_2 eq	پتانسیل اسیدی شدن Potential for acidification
0.000119	kg PO_4^{3-} eq	اوتریفیکاسیون Eutrophication
0.108969	kg CO_2 eq	پتانسیل گرمایش جهانی Global warming potential

مسمومیت خاک یک مقوله مسمومیت زیست‌محیطی می‌باشد که مقدار کل محاسبه شده آن $۱/۹۱\times۱۰^{-۱۶}$ kg 1,4-DB eq بوده و عملیات افزایش‌دهنده این گروه اثر شامل آبیاری با مقدار $۱/٤۲\times۱۰^{-۱۶}$ می‌باشد. گازهای مخرب لایه ازون باعث آسیب به ازون استراتوسفری یا "لایه ازون"می‌شوند. مقدار کل این آلایندگی $۳/۱۳\times۱۰^{-۱۷}$ kg CFC^{-11} eq و آبیاری و کودهای شیمیایی به‌ترتیب با مقادیر $۱/۵۲\times۱۰^{-۱۷}$ و $۱/۰۳\times۱۰^{-۱۷}$ بیش‌ترین تأثیر در تخریب این لایه را دارند. عملیاتی که در این پژوهش بیش‌ترین تخریب محیط‌زیستی ناشی از کشت ذرت علوفه‌ای را ایجاد می‌کنند، استفاده از کودهای شیمیایی و مقدار آبیاری می‌باشند. کود شیمیایی مورد استفاده از نوع NPK بوده و آبیاری نیز به روش آبیاری بارانی در یک دوره سه ماهه هر هفت روز یک بار انجام می‌شد. راهکاری که می‌توان برای کاهش اثرات این عملیات به جای استفاده از کودهای شیمیایی، از کودآلی استفاده شود و برای کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی ناشی از آبیاری بارانی، با مدیریت بهینه مصرف آب و سایر روش‌های آبیاری به صرفه در حین این‌که عملکرد محصول کاهش نیابد، اثرات تخریبی زیست‌محیطی این عملیات را نیز کاهش داد.

جدول ۹ مقادیر نرمال شده گروه‌های اثر ناشی از تولید ذرت علوفه‌ای در نرم‌افزار سیماپرو می‌باشد که حاصل‌ضرب مقدار کل آلایندگی هر گروه اثر در فاکتورهای نرمال‌سازی و وزن‌دهی مختص هر گروه

اثر می‌باشد. مقادیر آلایندگی‌ها نرمال‌سازی و وزن‌دهی شده و در نهایت مقادیر نرمال شده شاخص زیستی $۲/۱۹\times۱۰^{-۱۳}$ پوینت یا ۰/۲۱۹ پیکوپوینت محاسبه شد.

شاخص محیط‌زیستی بین اعداد صفر تا یک اندازه‌گیری می‌شود و هرچه این مقدار کم‌تر شده و به صفر نزدیک‌تر باشد این‌طور نتیجه‌گیری می‌شود که اثرات محیط‌زیستی محصول تولید شده نیز کم‌تر می‌باشد. اما قضاوت برای این‌که بتوان گفت که آیا محصول تولیدی در پژوهش حاضر (ذرت علوفه‌ای) با این مقدار عددی شاخص زیستی، اثرات محیط‌زیستی کم‌تری بر محیط داشته یا خیر؟ در پاسخ به قضاوت درباره این موضوع، زمانی می‌توان به این نتیجه رسید که محصولات بررسی شده در پژوهش بیش از یک نوع محصول باشد تا بتوان بعد از محاسبه شاخص زیست‌محیطی آن‌ها به مقایسه اعداد به‌دست آمده پرداخته و نتیجه گرفت که کدام محصول آثار زیست‌محیطی کم‌تری در محیط ایجاد می‌کند و یا این‌که با مطالعات مشابه این پژوهش در هر نقطه از زمین به مقایسه شاخص‌های زیست‌محیطی و قضاوت درباره آثار زیست‌محیطی ناشی از تولید آن‌ها پرداخت.

جدول ۸- سهم عملیات مختلف در میزان آلایندگی برای هریک از گروه‌های اثر.

Table 8. The effect of different operations on the amount of pollution for each of the effect groups.

واحد The unit	کاشت Planting	آبیاری Watering Systems	سم‌پاشی Spraying	کود شیمیایی Fertilizer	کود آلی Organic Fertilizer	عملیات برداشت Harvest operation	گروه‌های اثر Effect groups
kg Sb eq	2.08×10^{-17}	1.65×10^{-16}	3.84×10^{-18}	8.21×10^{-16}	2.19×10^{-17}	5.8×10^{-17}	تقلیل منابع غیرآلی Inorganic resources Reduction
MJ	5.47×10^{-17}	1.81×10^{-15}	2.68×10^{-17}	7.86×10^{-16}	3.99×10^{-17}	1.8×10^{-16}	تقلیل منابع غیرآلی (سوخت فسیلی) Inorganic resources Reduction (fossil fuels)
kg CFC-11 eq	9.79×10^{-19}	1.52×10^{-17}	5.35×10^{-19}	1.03×10^{-17}	7.71×10^{-19}	3.5×10^{-18}	نقصان لایه ازون Ozone depletion
kg 1,4-DB eq	1.66×10^{-16}	2.88×10^{-15}	2.64×10^{-17}	4.77×10^{-15}	8.17×10^{-17}	3.38×10^{-17}	پتانسیل مسمومیت انسان‌ها The potential for human poisoning
kg 1,4-DB eq	$2.17\times/10^{-16}$	4.15×10^{-15}	1.05×10^{-17}	2.56×10^{-15}	3.38×10^{-17}	1.86×10^{-16}	مسمومیت آب‌های آزاد Open water poisoning
kg 1,4-DB eq	3.96×10^{-15}	4.96×10^{-14}	4.09×10^{-16}	1.33×10^{-13}	1.44×10^{-15}	5.78×10^{-15}	مسمومیت آب‌های سطحی Surface water poisoning
kg 1,4-DB eq	3.83×10^{-18}	1.42×10^{-16}	5.15×10^{-19}	3.9×10^{-17}	9.64×10^{-19}	4.49×10^{-18}	مسمومیت خاک Soil poisoning
kg C_2H_4 eq	1.03×10^{-17}	2.87×10^{-16}	3.38×10^{-18}	1.67×10^{-16}	6×10^{-18}	2.22×10^{-17}	اکسیداسیون فوتوشیمیایی Photochemical oxidation
kg SO_2 eq	4.96×10^{-17}	9.8810^{-16}	2×10^{-17}	6.82×10^{-16}	2.97×10^{-17}	1.03×10^{-16}	پتانسیل اسیدی شدن Potential for acidification
kg PO_4^{3-} eq	1.47×10^{-17}	1.04×10^{-16}	6.38×10^{-17}	5.38×10^{-16}	1.09×10^{-17}	3.36×10^{-17}	اوتریفیکاسیون Eutrophication
kg CO_2 eq	0.001717	0.042453	0.000669	0.058709	0.001012	0.004408	پتانسیل گرمایش جهانی Global warming potential

جدول ۹- مقادیر نرمال شده گروه‌های اثر.

Table 9. Environmental index results (Normalized values).

گروه‌های اثر	واحد	مقدار کل
تقلیل منابع غیرآلی Inorganic resources Reduction	kg Sb eq	1.09×10^{-15}
تقلیل منابع غیرآلی (سوخت‌های فسیلی) Inorganic resources Reduction (fossil fuels)	MJ	2.09×10^{-15}
نقصان لایه ازون Ozone depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	3.13×10^{-17}
پتانسیل مسمومیت انسان‌ها The potential for human poisoning	kg 1,4-DB eq	8.26×10^{-15}
مسمومیت آب‌های آزاد Open water poisoning	kg 1,4-DB eq	7.16×10^{-15}
مسمومیت آب‌های سطحی Surface water poisoning	kg 1,4-DB eq	1.94×10^{-13}
مسمومیت خاک Soil poisoning	kg 1,4-DB eq	1.91×10^{-16}
اکسیداسیون فوتوشیمیایی Photochemical oxidation	kg C_2H_4 eq	4.97×10^{-16}
پتانسیل اسیدی شدن Potential for acidification	kg SO_2 eq	1.87×10^{-15}
اوتریفیکاسیون Eutrophication	kg PO_4^{---} eq	7.51×10^{-15}
پتانسیل گرمایش جهانی Global warming potential	kg CO_2 eq	2.60×10^{-17}
		2.19×10^{-13}

نتیجه‌گیری کلی

نتایج ارزیابی اثرات محیط‌زیستی تولید ذرت علوفه‌ای در مزرعه آموزشی- پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران با استفاده از ارزیابی چرخه حیات در گروه‌های تأثیر گرمایش جهانی، اوتریفیکاسیون، اسیدی شدن و تخریب ازون نشان داد که بیش‌ترین تخریب زیست‌محیطی ناشی از تولید ذرت علوفه‌ای در این پژوهش مربوط به مسمومیت آب‌های سطحی با مقدار ۱٫۹٤ ×۱۰$^{-۱۳}$ kg 1,4-DBeq می‌باشد که عملیاتی شامل کودهای شیمیایی و آبیاری به ترتیب با مقادیر ۱/۳۳۱×۱۰$^{-۱۳}$ و ٤/۹٦×۱۰$^{-۱٤}$ روی این آلایندگی بیش‌ترین اثر را دارند و مقدار شاخص زیست‌محیطی ۲/۱۹ ×۱۰$^{-۱۳}$ پوینت یا ۰/۲۱۹ پیکوپوینت محاسبه شد. راهکاری که می‌توان برای کاهش اثرات این عملیات پیشنهاد و اجرا نمود، استفاده از روش‌های مختلف مدیریت نظام زراعی هم‌چون کاربرد نهاده‌های آلی، تناوب، گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن و خاک‌ورزی حداقل، بر مبنای بهره‌گیری از اصول کم نهاده برای کاهش این اثرات زیست‌محیطی است و با انتخاب روش‌های مناسب برای آبیاری و مدیریت بهینه مصرف آب ضمن افزایش عملکرد محصول، اثرات تخریبی زیست‌محیطی این عملیات را کاهش داد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران برای تأمین هزینه‌های این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند.

داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

اطلاعات ارائه شده در این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد خانم پریسا محسنی می‌باشد که تحت راهنمایی مشترک دکتر احمد حیدری و دکتر علی کشاورزی انجام گرفته است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان به‌ترتیب ذکر شده می‌باشد.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها است.

حمایت مالی

حمایت مالی از این پژوهش از اعتبارات گرانت دکتر احمد حیدری صورت گرفته است.

منابع

1. Cellura, M., Longo, S., and Mistretta, M. 2012. Life Cycle Assessment (LCA) of protected crops: an Italian case study. Journal of Cleaner Production. 28: 56-62.
2. Esfahani, S.M.J., Naderi-Mahdae, K., Saadi, H.A., and Dorandish, A. 2017. Environmental impact assessment of forage corn (*Zea mays* L.) in South Khorasan.Agricultural ecology. 10: 1. 281-298. https://doi.org/ 10.22067/ jag.v10i1.60850.
3. Heidari, A. 2015. Life Cycle Assessment of Macaroni Production, Case Study: Zarmakaron Company. PhD thesis. University of Tehran. 135p. (In Persian)
4. Hellweg, S., Mila, I., and Canals, L. 2014. Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. Science. 344 (6188), 1109e1113.
5. IPCC. 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.
6. Janzen, H.H. 2004. Carbon cycling in earth systems- a soil science perspective. Agriculture, Ecosystem and Environment 104: 399-417.
7. Jones, C.D., Fraisse, C.W., and Ozores-Hampton, M. 2012. Quantification of greenhouse gasemissions from open field-grown Floridatomato production. A. System. 113: 64-72.
8. Khoramdel, S., Shabahang, J., and Amin Ghafouri, A. 2016. Evaluation of Environmental Impacts for Rice Agroecosystems using Life Cycle Assessment (LCA). ijae. 2017; 5: 18. 1-14. (In Persian)
9. Khorramdel, S., Rezvani-Moghaddam, P., and Amin-Ghafori, A. 2014. Evaluation of environmental impacts for wheat Agro ecosystems of Iran by using Life Cycle Assessment methodology. Cereal Research, 4: 1. 27-44. (In Farsi)
10. Legaz, B.V., Maia De Souza, D., Teixeira, R.F.M., Anton, A., Putman, B., and Sala, S. 2017. Soil quality, properties, and functions in life cycle assessment: an evaluation of models. Journal of Cleaner Production. 140: 502-515.
11. Mirhaji, H., Khojastehpour, M., and Abaspour-Fard, M.H. 2013. Environmental Effects of wheat production in the Marvdasht region, Journal of Natural Environment, 66: 2. 223-232. (In Farsi)

12.Mosier, A.R., Duxbury, J.M., Freney, J.R., Heinemeyer, O., Minami, K., and Johnson, D.E. 1998. Mitigating agricultural emissions of methane. Climate Change 40: 39-80.
13.Mousavi, H. 2015. Modeling and Optimization of Rapeseed Production Using Fuzzy-Neural-Genetic Inference System - Case Study of Mazandaran Province. PhD thesis. University of Tehran.
14.Nemecek, T., Schnetzer, J., and Reinhard, J. 2015. Updated and harmonized greenhouse gas emissions for crop inventories. Int. J. Life Cycle Assess, 21: 9. 1361-1378. DOI:10.1007/s11367-014-0712.
15.Oberholzer, H.R., Knuchel, R.F., Weisskopf, P., and Gaillard, G. 2012. A novel method for soil quality in life cycle assessment using several soil indicators. Agron. Sustain. Dev. 32: 639-649. DOI: 10.1007/s13593-011-0072-7.
16.Page, G., Ridoutt, B., and Bellotti, B. 2012. Carbon and water footprint tradeoffs in fresh tomato production. Journal of Cleaner Production. 32: 219-226.
17.Pishgar-Komleh, S.H., Akram, A., and Keyhani, A. 2017. Life Cycle Assessment of Paste Production (Case Study: Alborz Province), Iranian Journal of Biosystems Engineering. 47: 4. 677-688.
18.Roos, E., Sundberg, C., and Hansson, P.A. 2011. Uncertainties in the carbon footprint of refined wheat products: a case study on Swedish pasta. The International Journal of Life Cycle Assessment. 16: 338-350.
19.Ruini, L.F., Marchelli, L., and Filareto, L. 2013. LCA methodology from analysis to actions: some Barilla's examples of improvement projects. The 6th international conference on life cycle management in Gothenburg.
20.Shahmohammadi, A., Vasi, E., Hassanbakht, K., Mahdavi-Damghani, A.S., and Soltani, A. 2016. Evaluation of the life cycle of semi-mechanized potato production in Iran: a case study,Markazi province, Engineering of Biosystem of Iran, 47: 4. 659-666. (In Persian)
21.Smith, P. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. Phil. Trans. R. Soc. B, 363: 789-813.
22.Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E., and 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 Persian)
23.Tipi, T., Cetin, B., and Vardar, A. 2009. An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. Journal of Food, Agriculture and Environment. 7: 352-356.
24.Wiedmann, T.M.J. 2007. A Definition of 'Carbon Footprint'. Dunham, United Kingdom: ISAUK. Research Report 07.