Journal of Vegetables Sciences, Autumn & Winter 2022, Vol 5, No 10(2), Pages 73-91

doi: 10.22034/iuvs.2021.529996.1158 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

Comparison of Environmental Effects and Resource Depletion Index of Summer Production System in Dezful County Using LCA Method

Nastaran Tadayonpour[1], Gholam Reza Sabzghabaei[2*] and Soolmaz Dashti[3]

1. M.Sc. Graduated. Assessment and Land Use Planning, Department of Environment, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran
2. Assistant Professor, Department of Environment, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran
3. Associate Professor, Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

***Corresponding author:** Sabzghabaei@bkatu.ac.ir

(**Received:** 8 May 2021 **Revise:** 12 August 2021 **Accepted:** 22 September 2021)

Extended Abstract

1. Introduction: Life cycle assessment is a well-known and accurate solution for comparing the environmental effects of various activities, including the management of agricultural systems. This study was reviewed during the crop years 1390-1396. For this purpose, among 260 people in the statistical population, the sample size was determined using the Cochran's formula 152 people.

2. Materials and Methods: the relevant information was collected through interviews with farmers, the Ministry of Jihad for Agriculture and relevant organizations. In order to analyze the environmental effects, the ISO 14040 method in four steps and six groups of global warming, acidity, depletion of fossil resources, depletion of water resources, depletion of phosphate resources and depletion of potassium resources per functional unit equivalent to one ton of lettuce, Cabbage , and bell peppers were examined..

3. Results and Discussion: For this purpose, the highest share of environmental index and resource depletion was related to lettuce and allspice products with values of 0.172 and 0.578, respectively. The groups of the effect of acidity on lettuce and depletion of phosphate sources in cayenne pepper with values of 0.001 and 0.424, respectively, had the highest potential for environmental damage. Among all three studied products, lettuce has the highest value in the environmental index with a value of 0.1720, which indicates the greatest impact on the environment, while in terms of depletion index of bell peppers with a value of 0/5786 has the most effect.

4. Conclusion: Resource depletion impact groups are a challenge for the future, while environmental impact impact groups are visible in a relatively shorter period of time. Excessive increase of nitrogen fertilizers in summer production farms causes the release of pollutants into the environment and increases the potential for acidification. Therefore, by using low-input and ecological principles, including the use of organic fertilizers, plant residues and importers of nitrogen-fixing plants as a solution to reduce the environmental consequences of summer production in Dezful can be considered.

Keywords: Acidification, Dezful county, Environmental index, Life cycle assessment.

Citation: Tadayonpour, N., Sabzghabaei, G. R. & Dashti, S. (2022). Comparison of environmental effects and resource depletion index of summer production system in Dezful county using LCA method. *Journal of Vegetables Sciences*, 10(2), 73-91. doi: 10.22034/iuvs.2021.529996.1158

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال ۵، دوره ۱۰، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۰، صفحات (۹۱-۷۳)

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi: 10.22034/iuvs.2021.529996.1158

مقایسه اثرات زیست‌محیطی و شاخص تخلیه منابع نظام تولید صیفی‌جات در شهرستان دزفول با استفاده از روش LCA

نسترن تدین‌پور[۱]، غلامرضا سبزقبایی[۲*] و سولماز دشتی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ارزیابی آمایش سرزمین گروه محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران

۲- استادیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران

۳- دانشیار گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

[*]نویسنده مسئول: sabzghabaei@bkatu.ac.ir

(**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۰/۰۲/۱۸ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۰/۰۵/۲۱ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۰/۰۶/۳۱)

چکیده

ارزیابی چرخه‌حیات راهکاری شناخته شده و دقیق برای مقایسه اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های مختلف شامل مدیریت نظام‌های کشاورزی است. این مطالعه در طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۰ مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور تجزیه و تحلیل اثرات زیست‌محیطی، روش ایزو ۱۴۰۴۰ در چهار گام و شش گروه تأثیر به ازای یک واحد کارکردی معادل تولید یک تن کاهو (*Lactuca sativa*)، کلم (*Brassica oleracea*) و فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum*) مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور، بیشترین سهم شاخص زیست‌محیطی و تخلیه منابع به‌ترتیب مربوط به محصولات کاهو و فلفل دلمه‌ای با مقادیر ۰/۱۷۲ و ۰/۵۷۸ برآورد شد. گروه‌های تأثیر اسیدیته در کاهو و تخلیه منابع فسفات در فلفل دلمه‌ای به‌ترتیب با مقادیر ۰/۰۰۱ و ۰/۴۲۴ بیشترین پتانسیل آسیب به محیط‌زیست داشتند. از بین هر سه محصول مورد مطالعه کاهو بیشترین مقدار را در شاخص زیست‌محیطی با مقدار۰/۱۷۲۰ به خود اختصاص داده که نشان‌دهنده بیشترین تأثیر در محیط‌زیست می‌باشد در صورتی‌که از نظر شاخص تخلیه منابع فلفل دلمه‌ای با مقدار۰/۵۷۸۶ بیشترین اثر را دارد.گروه‌های تأثیر تخلیه منابع، چالشی برای آیندگان محسوب می‌شوند، در حالی‌که اثرات زیست‌محیطی گروه‌های تأثیر شاخص زیست محیطی، در مدت زمان نسبتاً کوتاه‌تری قابل مشاهده‌اند. افزایش بیش از حد کودهای نیتروژنه در مزارع تولید صیفی‌جات باعث انتشار آلاینده‌ها به محیط و پتانسیل اسیدی‌شدن را افزایش می‌دهد. بنابراین با بهره‌گیری از اصول کم‌نهاده و اکولوژیک از جمله مصرف انواع کود آلی، بقایای گیاهی و واردکننده گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن به‌عنوان راهکاری برای کاهش عواقب محیط‌زیستی تولید صیفی‌جات در شهرستان دزفول می‌تواند مد نظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چرخه‌حیات، اسیدی شدن، شاخص زیست‌محیطی، شهرستان دزفول.

استناد: تدین‌پور، ن.، سبزقبایی، غ. ر. و دشتی، س. (۱۴۰۰). مقایسه اثرات زیست‌محیطی و شاخص تخلیه منابع نظام تولید صیفی‌جات در شهرستان دزفول با استفاده از روش LCA. *علوم سبزی‌ها*، ۱۰(۲)، ۹۱-۷۳.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

مدیریت فشرده بوم‌نظام‌های کشاورزی روزبه‌روز در حال افزایش است (Khorramdel *et al*., 2019). با مشاهده آثار نامطلوبی که کشاورزی متداول مبتنی بر مصرف مواد مصنوعی و کاربرد فناوری‌های جدید بر روی محیط‌زیست و سلامتی انسان‌ها می‌گذارد نیاز به روش‌های فنی کشاورزی که از نظر محیطی، اقتصادی، تولیدی و اجتماعی پایدار و متضمن سلامتی باشند، احساس شده است (Shahmohammadi *et al*., 2016; Tadayonpour *et al*., 2019). بنابراین، به‌منظور حفظ پایداری تولید در کشاورزی، ضروری است همزمان با گسترش فعالیت‌های کشاورزی در جهت رفع نیازهای در حال‌تغییر بشر، ذخایر منابع طبیعی و نیز کیفیت محیط‌زیست را حفظ نموده و حتی بهبود بخشید. کشاورزی پایدار تنها با تکیه بر حفظ منابع طبیعی و محیط‌زیست، سودمند و مستمر خواهد بود. این شیوه کشاورزی، اقتصادی‌ترین و در عین‌حال، سودمندترین شکل استفاده از انرژی و تبدیل آن به محصولات کشاورزی را با سعی در جهت حفظ کیفیت محیط‌زیست به‌دنبال دارد (Khodzai *et al*., 2017; Malafilab *et al*., 2014). تجزیه و تحلیل نظام‌های کشاورزی به‌منظور بررسی اثرات زیست‌محیطی موجب ارتقاء کیفی مدیریت و توسعه پایدار کشاورزی می‌شود. از آن‌جا که اثرات محیط‌زیستی تولید محصولات زراعی در ایران به نسبت بالا است و کشاورزی در ایران ۹۰ درصد منابع آب را مصرف می‌کند (Dekamin *et al*., 2019) ارزیابی جامع اثرات تولید از اهمیت بالایی برخوردار است (Dekamin *et al*., 2019). محققان ابزارهای پژوهشی مختلف را توسعه داده‌اند تا ضمن تحلیل چرخه تولید محصول پیشنهادهایی برای بهبود تمام مراحل تولید به جهت ارتقاء کارایی محیطی داشته باشند (Yue *et al*., 2016; Karlsson *et al*., 2019; Marzban *et al*., 2020). Brentrup و همکاران (۲۰۰۴a) بیان داشتند که ارزیابی پایداری نظام‌های تولید امری ضروری بوده و بدین منظور می‌توان از شاخص‌های مختلف استفاده کرد، ولی در مجموع با توجه به کارکردها و دامنه‌ی استفاده از LCA[1]، بهره‌گیری از این رویکرد را رهیافتی مناسب برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در فعالیت‌های کشاورزی توصیه کردند. ارزیابی چرخه‌حیات (LCA) یکی از روش‌های ارزیابی زیست‌محیطی است که امروزه به‌عنوان یکی از روش‌های استاندارد و پر کاربرد در ارزیابی محیط‌زیستی فرآیندها، محصولات و خدمات مورد استفاده قرار می‌گیرد (Khorramdel *et al*., 2015). ارزیابی چرخه حیات رویکردی کلی‌نگر دارد و امکان تخمین اثرات زیست‌محیطی تجمعی ناشی از همه مراحل چرخه‌حیات محصول را فراهم می‌آورد، به‌طوری‌که تمامی ورودی‌ها و خروجی‌های ضروری در خیلی از مراحل و عملیات‌های چرخه‌حیات در درون مرزهای سیستم لحاظ می‌شود (Roy *et al*., 2009). قدرت LCA در این است که نگرانی‌های زیست‌محیطی را فراتر از یک مسئله خاص بسط می‌دهد و می‌کوشد محدوده وسیعی از مسائل زیست‌محیطی را با استفاده از روشی کمی برای تصمیم‌گیرندگان مورد بحث و بررسی قرار دهد. دید جامع LCA در جلوگیری از جابه‌جایی مشکل مفید است، مثلاً از یک بخش LCA به بخش دیگر، از یک ناحیه به ناحیه دیگر و یا از یک مشکل زیست‌محیطی به مشکلی دیگر است. اهداف LCA برای بهبود فرآیندها، پشتیبانی از سیاست‌ها و ارائه مبانی مناسب برای اتخاذ تصمیمات آگاهانه ارائه شده است. در این راستا تحقیقاتی به‌منظور بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید محصولات کشاورزی در نقاط مختلف جهان و ایران انجام گرفته است (Koocheki *et al*., 2018).

Siavoshi و Dastan (۲۰۱۹) در تحقیق خود به ارزیابی چرخه حیات تولید گندم آبی (*Triticum aestivum* L.) تحت اثر مقادیر و تقسیط نیتروژن در بوشهر پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش مصرف نیتروژن، تمامی آلاینده‌های انتشار یافته به آب و هوا

1. Life Cycle Assessment

کاهش یافتند. با مقایسه گروهی بین مقادیر نیتروژن در سطوح تقسیط می‌توان بیان کرد علت اصلی تغییرات میزان آلاینده‌ها، بالاتر بودن مقدار خروجی (عملکرد) در مقابل ورودی‌ها بود. در واقع، تقسیط نیتروژن در چهار مرحله تعیین‌کننده رشدی، منجر به حداکثر استفاده گیاه شده که نتیجه آن نیز افزایش عملکرد و کاهش انتشار آلاینده‌ها در واحد سطح بود. همچنین، کاهش انتشار آلاینده‌ها با افزایش مقدار نیتروزن می‌تواند به‌دلیل افزایش عملکرد باشد. امروزه مصرف انرژی در بخش کشاورزی به‌دلیل رشد جمعیت و تهیه مواد غذایی کافی برای جمعیت در حال‌رشد، افزایش یافته است و کشاورزی به‌عنوان مصرف‌کننده فشرده انرژی مطرح می‌باشد (Fei *et al.*, 2017). Khorramdel و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه خود تحت عنوان بررسی اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید زعفران (*Crocus sativus* L.) تحت تأثیر اندازه زمین با استفاده از ارزیابی چرخه‌حیات به این نتیجه رسیدند که اندازه زمین، میزان مصرف نهاده‌ها و اثرات زیست‌محیطی را در واحد عملکرد گل تحت تأثیر قرار داد و گروه‌های اوتریفیکاسیون و گرمایش جهانی حساسیت بیشتری نسبت به شدت فشرده‌سازی تحت تأثیر اندازه زمین دارند، بنابراین افزایش کارایی مصرف منابع، یکی از رویکردهای مناسب برای کاهش، اثرات زیست‌محیطی همگام با بهبود عملکرد اقتصادی در واحد سطح است. Shiri و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود به بررسی چرخه حیات نظام تولید ذرت (*Zea mays*) در شرایط آب و هوایی مغان پرداختند که در میان شاخص‌های زیست‌محیطی بیشترین سهم نظام تولیدی ذرت به‌ترتیب برای گروه‌های مؤثر اوتریفیکاسیون اکوسیستم خشکی و اسیدیته و در میان گروه‌های تخلیه منابع، تخلیه منابع فسیلی بیشترین تأثیر سوء زیست‌محیطی را در تولید ذرت در منطقه مغان داشتند. Khodzaii و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی که به بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید زیتون (*Olea europaea*) با روش ارزیابی چرخه‌حیات پرداختند و بیان کردند که که تولید کودهای شیمیایی و انتشارات مستقیم از باغ زیتون بیشترین نقش را در تولید آلاینده‌ها داشتند. در پژوهش دیگر، اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید گندم آبی و دیم در کل ایران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مصرف کود نیتروژن تا سطح ۲۲۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب برای بوم‌نظام‌های آبی و دیم، موجب بهبود عملکرد دانه گردید، ولی مصرف سطوح بالاتر کود نیتروژن، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت. بنابراین، مازاد مصرف کود نیتروژن، تنها اثرات مخرب زیست‌محیطی را به‌دنبال خواهد داشت (Khorramdel *et al.*, 2014).

Romero-Gomez و همکاران (۲۰۱۴) در خصوص اثرات زیست‌محیطی فرآیند تولید محصولات زراعی و گلخانه‌ای در کشور سوئیس نشان داد که انتخاب انواع کودهای شیمیایی و نحوه و میزان مصرف آن‌ها در جلوگیری از آلایندگی آب‌های زیرزمینی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

Pirsaheb و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهش خود تحت عنوان بررسی میزان نیتریت و نیترات صیفی‌جات و سبزی‌های کشت شده در دشت‌های جنوبی و شرقی کرمانشاه پرداختند. میانگین میزان نیتریت و نیترات در بین سبزیجات یا صیفی‌جات مختلف مورد بررسی اختلاف معنی‌داری داشت. با توجه به نتایج می‌توان نتیجه گرفت که مقدار نیتریت در بعضی از سبزیجات و صیفی‌جات مورد بررسی فراتر از مقدار مجاز است. بنابراین لازم است که تا حد ممکن استفاده از کودهای نیتروژنه در مزارع کشت آن‌ها کاهش یابد. Tadayonpoor و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه خود به بررسی اثرات زیست‌محیطی نظام تولید فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum*) با استفاده از تکنیک ارزیابی چرخه‌حیات در شهرستان دزفول پرداختند. نتایج نشان داد که اسیدیته و فسفات به‌ترتیب بیشترین پتانسیل آسیب به محیط‌زیست را در قالب گروه‌های تأثیر زیست‌محیطی و تخلیه منابع داشتند. انتشارات مستقیم از مزرعه و کودهای شیمیایی به‌علت انتشار ترکیبات نیتروژن و فسفر ناشی از کودها و انتشار آن‌ها به محیط، بیشترین تأثیر را در اسیدی شدن دارند. آزاد شدن

گازهای اسیدی از جمله آمونیاک ناشی از تولید و مصرف کودها به اتمسفر و بازگشت مواد به خاک علت اصلی اسیدی‌شدن خاک‌ها است. بنابراین، مدیریت مصرف کود اوره و جایگزینی بخشی از آن با منابع آلی و غیرشیمیایی در بوم‌نظام‌های کشاورزی به‌منظور کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ایران امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. در پژوهشی به بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی کشت پیاز (*Allium cepa*) با رویکرد ارزیابی چرخه‌حیات پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان داد که مهمترین نهاده مصرفی در ایجاد پیامدهای زیست‌محیطی در همه بخش‌های اثر مربوط به کود نیتروژن بوده است. نتایج نشان داد بیش از ۵۰ درصد از پیامدهای زیست‌محیطی مربوط به بخش‌های اثر مسمومیت انسان، آب‌های سطحی، آب‌های آزاد و خاک مربوط به کود نیتروژن است. همچنین کود نیتروژن با سهم ۳۵ درصد مهمترین عامل در ایجاد پیامدهای زیست‌محیطی در بخش گرمایش جهانی است. از این‌رو این نهاده در مزرعه پیاز به‌عنوان یک نقطه‌داغ عنوان شده است و کشاورزان باید به مدیریت بهتر در مصرف این نهاده توجه کنند (Molaee *et al.*, 2017).

در مطالعه‌ای که به بررسی و مقایسه ارزیابی چرخه‌حیات خیار (*Cucumis sativus*)، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) و بادنجان (*Solanum melongena*) در نظام‌های کشت گلخانه‌ای در منطقه ساوه بخش آوه انجام گرفت. نتایج نشان داد که گوجه‌فرنگی و بادنجان گلخانه‌ای در مقایسه با خیار از لحاظ زیست‌محیطی در وضعیت بهتری بوده و در تمامی بخش‌ها اثر بارهای محیطی کمتری تولید می‌کند. در نتیجه انجام تحقیقات کاربردی به‌منظور تعیین میزان نیاز گیاه به مواد غذایی در مراحل مختلف رشد و همچنین تعیین مقدار مناسب کود شیمیایی مورد نیاز خاک با استفاده از آزمون خاک و نظر کارشناسان تأثیر قابل‌توجهی در کاهش میزان انرژی مصرفی، کاهش هزینه‌های تولید و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی خواهد داشت (Mamivand *et al.*, 2016).

با توجه به این‌که در کشور ما بحث مهم مدیریت زیست‌محیطی تولید محصولات کشاورزی مورد غفلت واقع شده است و تولید این سه محصول ۱۰ درصد از کل تولید صیفی‌جات کشور را شامل می‌شوند و شهرستان دزفول دارای رتبه اول تولید صیفی‌جات در استان خوزستان می‌باشد و همه‌ی تلاش‌ها در بخش کشاورزی در جهت افزایش هر چه بیشتر این محصولات می‌باشد. در این مطالعه سعی شده که مناسب بودن روش ارزیابی چرخه‌حیات برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، محصولات کشاورزی بررسی شود؛ بنابراین هدف این مطالعه برآورد میزان مصرف منابع و انتشار آلاینده‌ها در فرآیند تولید محصولات به محیط‌زیست و ارائه راهبردهایی در زمینه کاهش تأثیرات زیست‌محیطی محصولات در این منطقه (شهرستان دزفول) است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعه شده و روش نمونه‌گیری

این مطالعه به‌منظور مقایسه اثرات زیست‌محیطی و شاخص تخلیه منابع نظام تولید کاهو (*Lactuca sativa*)، کلم (*Brassica oleracea*) و فلفل دلمه‌ای با استفاده از ارزیابی چرخه‌حیات از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ در شهرستان دزفول (با مساحت ۴۷۶۲ کیلومترمربع بین ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و بین ۳۲ درجه و ۷۵ دقیقه عرض شمالی از خط استوا) واقع در استان خوزستان انجام گرفت. سطح زیر کشت صیفی‌جات در شهرستان دزفول حدود ۹۰ هزار هکتار می‌باشد که این سطح برای محصولات کاهو، کلم، و فلفل دلمه‌ای در طی سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۰ برابر است با ۳۹۰۲۲ هزار هکتار است که تولید کل این سه محصول حدود ۱۶۶۹۲۲۱ میلیون تن در هکتار می‌باشد. که ۱۰ درصد از کل تولید صیفی‌جات کشور در شهرستان دزفول تولید می‌شود. با توجه به اینکه اعم تلاش‌ها در بخش کشاورزی در جهت افزایش هر چه بیشتر این محصولات

می‌باشد، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فرآیندهای تولید این محصولات در جهت کاهش اثرات زیست‌محیطی امری ضروری تلقی می‌شود؛ بنابراین این پژوهش دارای رویکردی کمی بوده که از لحاظ استفاده از نتایج و یافته‌ها، از نوع تحقیقات کاربردی محسوب می‌شود. داده‌های مورد نیاز از روش‌میدانی و مصاحبه با کشاورزان و سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان و شهرستان دزفول استفاده گردید. همچنین از نظر نحوه کنترل متغیرها، از نوع پیمایش توصیفی بود. حجم نمونه از طریق فرمول کوکران ۱۵۲ نفر تعیین شد (Snedecor & Cochran, 1989).

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

رابطه (۲) $$d: \frac{t\times s}{\sqrt{n}}$$

که در این رابطه، t برابر با ۱/۹۶ (در سطح اطمینان ۹۵ درصد)، s پیش‌برآورد انحراف معیار جامعه، d دقت احتمالی مطلوب، N حجم جامعه و n حجم نمونه است. بر این اساس، تعداد ۱۵۲ پرسش‌نامه در بین کشاورزان صیفی‌جات کار شهرستان دزفول، توزیع گردیده و پس از تکمیل،گردآوری شدند. پرسش‌نامه مذکور شامل پرسش‌هایی در زمینه مقادیر مصرف نهاده‌های تولیدی صیفی‌جات از جمله، مقدار مصرفی آب، سوخت‌های فسیلی و انواع کودهای شیمیایی بود.

روش ارزیابی چرخه‌ی حیات: این روش بر پایهٔ استاندارد ISO 14040 اجرا می‌شود و به‌طور کلی به چهار بخش تعریف اهداف و حوزه عمل مطالعه، ممیزی چرخه حیات، ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی و تلفیق و تفسیر آن‌ها تقسیم‌بندی می‌شود (Iriarte *et al.*, 2010; Valiante *et al.*, 2019) در ذیل این چهار بخش به تفکیک آورده شده است:

الف- تعریف اهداف و حوزه عمل مطالعه

در این مرحله، هدف از اجرای LCA بررسی اثرات زیست‌محیطی بوم‌نظام‌های تولید صیفی‌جات در شهرستان دزفول و مقایسه این اثرات بر اساس میزان مصرف نهاده‌ها بود. «واحدکارکردی» یا به‌عبارت دیگر، واحد مبنا که نشان‌دهنده معیار کمی کارکرد بوم‌نظام می‌باشد (Brentrup *et al.*, 2004a).

ب- ممیزی چرخه‌حیات

بخش دوم در ارزیابی چرخه‌حیات، تعیین تمام منابع (در این مطالعه مقصود از منابع، منابع تجدیدناپذیر است) و مقادیری است که وارد سامانه شده و همچنین از سامانه خارج می‌شود.

محاسبه ورودی‌های سامانه تولید صیفی‌جات: در این مطالعه مصرف آب، کود نیتروژنه اوره، سوخت فسیلی گازوییل، کود فسفات و کود پتاس برای یک تن صیفی‌جات، به‌عنوان دو نهاده ورودی به سامانه در نظر گرفته شده و میزان مصرف آن‌ها به ازای یک تن صیفی‌جات در شهرستان دزفول محاسبه شده است. برآورد خروجی‌های سامانه تولید صیفی‌جات: خروجی‌های شامل تمام مقادیرآلاینده‌ای است که در اثر مصرف منابع در سامانه مورد مطالعه، به محیط‌زیست انتشار پیدا می‌کند. در این تحقیق میزان انتشار آمونیاک (NH_3)، نیترواکسید (N_2O) و نیتریک اکسید (NO_X) از کاربرد کود اوره و همین‌طور NO_X، دی‌اکسید گوگرد (SO_2) و گازهای گلخانه‌ای N_2O، دی‌اکسید کربن (CO_2) و آمونیوم (CH_4) از مصرف گازوئیل در نظر گرفته شده و برآورد شده است.

ج- ارزیابی اثرات زیست‌محیطی:

ارزیابی اثرات بخش سوم و مهمترین بخش از ارزیابی چرخه‌حیات می‌باشد، در واقع این بخش به ارزیابی بیشتر ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه می‌پردازد. در واقع یک نمایه زیست‌محیطی بررسی می‌شودکه دارای سه مرحله طبقه‌بندی[1]، نرمال‌سازی[2] و وزن‌دهی[3] می‌باشد (Brentrup *et al.*, 2004b). در نهایت برای هر اثر زیست‌محیطی و محصول مورد مطالعه یک شاخص نهایی به‌دست می‌آید.

طبقه‌بندی: در این مرحله هر کدام از مقادیر انتشار یافته به محیط‌زیست و همین‌طور منابع استفاده شده

1. Characterization
2. Normalization
3. Weighting

در چرخه‌حیات محصول، به اثر زیست‌محیطی مربوطه نسبت داده شده، به این صورت که هر اثر زیست‌محیطی را به شکل یک گروه تأثیر[1] فرض کرده و ترکیبات مؤثر، در آن قرار داده می‌شود. در این مطالعه شش گروه تأثیر گرمایش جهانی، اسیدیته، تخلیه منابع آبی، تخلیه منابع فسفات، تخلیه منابع پتاس و تخلیه منابع فسیلی بررسی شده است (جدول ۱). در این مرحله پس از طبقه‌بندی اثرات باید شاخص هر گروه تأثیر محاسبه شود. شاخص هر گروه تأثیر[2]، از رابطه ۳ به‌دست می‌آید (Brentrup *et al*., 2004b).

رابطه (۳) $ICI_i = E_j or R_j \times CF_{i,j}$

Ej یا Rj انتشار ترکیب j یا مصرف منبع j، بر هر واحد کارکردی j، CFi فاکتور طبقه‌بندی[3] برای ترکیب j یا منبع j سهیم در گروه تأثیر i می‌باشد. فاکتور طبقه‌بندی در هر گروه تأثیر نشان‌دهنده پتانسیل آن ترکیب در ایجاد اثر مربوطه می‌باشد. برای مثال متان در ایجاد اثر گرمایش‌جهانی دارای پتانسیلی برابر ۲۱ و دی‌اکسید کربن برابر ۱ می‌باشد. جدول ۱ گروه‌های تأثیر، طبقه‌بندی آن‌ها و فاکتورهای طبقه‌بندی ترکیبات را در این مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۱- طبقه‌بندی اثرات

Table 1- Classification of effects

گروه تأثیر (واحد) Impact category (unit)	ترکیبات Compounds	کارایی هر ترکیب Potential of compound	منبع Reference
گرمایش جهانی (کیلوگرم دی‌اکسید کربن) Global warming (kg CO_2 eq)	آمونیوم، دی‌اکسید کربن، نیترواکسید CH_4 , CO_2 , N_2O	CO_2: 1; CH_4: 21; N_2O: 310	(Snyder *et al*., 2009; Soltanali *et al*., 2015)
اسیدیته (کیلوگرم دی‌اکسید گوگرد) Acidification (kg SO_2 eq)	آمونیاک، دی‌اکسید گوگرد، نیتریک اکسید NH_3, SO_2, NO_X	NH_3: 1.6; NOx: 0.5; SO_2: 1.2	(Brentrup *et al*., 2004; Soltanali *et al*., 2015)
منابع تخلیه سوخت فسیلی (مگاژول) Discharge of Fossil fuel sources (MJ)	سوخت‌های فسیلی Diesel fuel consumption	48.86	(Buratti *et al*., 2009; Soltanali *et al* ., 2015)
منابع تخلیه آب (مترمکعب) Discharge of water resources (m^3)	مصرف آب Water consumption	1	(Buratti *et al*., 2009)
تخلیه منابع فسفات Discharge of phosphate resources	جذب فسفر Phosphate intake	0.25	(Brentrup *et al*., 2004; Nikkhah *et al*., 2015)
تخلیه منابع پتاس Discharge of potash resources	مصرف پتاسیم Consumption of potassium	0.105	(Brentrup *et al*., 2004; Nikkhah *et al*., 2015)

نرمال‌سازی: پس از انجام مرحله اول و محاسبه شاخص طبقه‌بندی هر گروه تأثیر، نمی‌توان به اهمیت مقادیر به‌دست آمده پی برد، هدف از مرحله نرمال‌سازی درک اهمیت مقادیر به‌دست آمده می‌باشد و شاخص طبقه‌بندی هر گروه تأثیر با شاخص‌های مرجع مقایسه می‌شود (Brentrup *et al*., 2004b). هدف از این مرحله بی‌واحد کردن داده‌ها و آماده کردن آن‌ها برای مرحله وزن‌دهی می‌باشد. از رابطه ۴ شاخص نرمال‌سازی[4] هر گروه تأثیر i را می‌توان به‌دست آورد (Brentrup *et al*., 2004b; Hayashi, 2005; Hosseinpanani *et al*., 2012):

رابطه (۴) $Ni: \frac{I_i}{I_{i,ref}}$

که در این معادله، N_i: مقدار نرمال شده شاخص مربوط به گروه تأثیر i به ازای واحد کارکردی تعریف شده (یک تن در هکتار محصول)، I_i: مقدار محاسبه شده (غیرنرمال) شاخص مربوط به گروه تأثیر i (به ازای یک تن محصول) و $I_{i,ref.}$ مقدار شاخص مربوط به هر گروه تأثیر در شرایط مرجع است (Brentrup *et al*.,

1. Impact category
2. Impact CategoryIndicator (ICI)
3. Characterization factor
4. Normalization indicator

2004a). سپس شاخص‌های نرمال شده، موزون می‌شوند تا شدت تأثیر آن‌ها بر حسب وزن (W) مربوط به هر گروه تأثیر در محاسبات لحاظ گردد (جدول ۲).

گرمایش جهانی: پتانسیل گرمایش جهانی[1] برای بیان میزان مشارکت انتشار انواع گازها از نظام‌های کشاورزی در بروز مشکلات زیست‌محیطی و تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرد (Brentrup *et al*., 2004). این تأثیر پس از تعیین از طریق برآورد میزان تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل، نیترواکسید و آمونیوم، دی‌اکسید کربن بر اساس معادل دی‌اکسید کربن یکسان‌سازی شد (ISO, 2006).

اسیدیته: پتانسیل اسیدی‌شدن[2] یک سیستم، به‌صورت کیلوگرم دی‌اکسید گوگرد واحد معادل به ازای واحد کارکردی بیان می‌شود (Brentrup *et al*., 2004a). شاخص مربوط به این گروه بر اساس میزان ورود املاح و ترکیبات معدنی به خاک برآورد و بر اساس دی‌اکسید گوگرد یکسان‌سازی شد (Brentrup *et al*., 2004a؛ Biswas *et al*., 2008).

تخلیه منابع: در این مطالعـــه در مورد اثر زیســـت‌محیطی تخلیه منابع، میزان مصرف گازوئیل، مصرف آب، مصرف فسفات و مصرف پتاس در نظر گرفته شده است.

جدول ۲- فاکتورهای نرمال‌سازی گروه‌های تأثیر

Table 2- Normalization factors of impact groups

گروه تأثیر (واحد) Impact category (unit)	فاکتور نرمال‌سازی (واحد) Normalization factor (unit)	فاکتور نرمال‌سازی (ایران) Normalization factor (IRAN)	منبع Reference
گرمایش جهانی (کیلوگرم دی‌اکسید کربن) Global warming (kg CO_2 eq)	7192.98	8143.00	(Mirhaji *et al*., 2012; Nikkhah *et al*., 2015)
اسیدیته (کیلوگرم دی‌اکسید گوگرد) Acidification (kg SO_2 eq)	56.14	52.00	(Mirhaji *et al*., 2012; Soltanali *et al*., 2015)
منابع تخلیه سوخت فسیلی (مگاژول) Discharge of Fossil fuel sources (MJ)	626.36	626.36	(Mirhaji *et al*., 2012; Soltanali *et al*., 2015)
منابع تخلیه آب (مترمکعب) Discharge of water resources (m^3)	7.66	7.66	(Wang *et al*., 2010)
تخلیه منابع فسفات Discharge of phosphate resources	8.14	8.14	(Brentrup *et al*., 2004)
تخلیه منابع پتاس Discharge of potash resources	56877.88	39167	(Brentrup *et al*., 2004; Mirhaji et al., 2012)

وزن‌دهی: این مرحله به‌عنوان نتیجه‌گیری نهایی ارزیابی چرخه‌حیات یک محصول یا فرآیند است. فاکتورهای وزن‌دهی پتانسیل آسیب هر گروه تأثیر را نشان می‌دهد، یعنی هر چه این فاکتور وزن‌دهی بزرگ‌تر باشد نشان‌دهنده پتانسیل بیشتر آن اثر برای لطمه به محیط‌زیست می‌باشد (Brentrup *et al*., 2004a). در این مطالعه برای به‌دست آوردن فاکتور وزن‌دهی برای دو گروه تأثیر گرمایش جهانی و اسیدیته از روش فاصله تا هدف[3] استفاده شده است (جدول ۳). فاکتور وزن‌دهی از رابطه ۵ به‌دست می‌آید (Brentrup *et al*., 2004a):

رابطه (۵)
$$W_{ijk}: \frac{C_{ijk}}{T_{ijk}}$$

که در آن W_{ijk}: وزن مربوط به شاخص i در منطقه j در سال K، C_{ijk}: مقدار فعلی شاخص i در منطقه j در سال K، T_{ijk}: مقدار هدف برای شاخص i در منطقه j درسال K می‌باشد.

1. Global warming potential
2. Acidfication potential
3. Distance-to-Target

جدول ۳- فاکتورهای وزن‌دهی گروه‌های تأثیر در ایران و اروپا

Table 3- Weighting factors of influence groups in Iran and Europe

گروه تأثیر (واحد) Impact category (unit)	فاکتور وزن (واحد) Weighting factor (unit)	فاکتور وزن (ایران) Weighting factor (IRAN)	منبع Reference
گرمایش جهانی (کیلوگرم دی‌اکسید کربن) Global warming (kg CO_2 eq)	1.06	1.05	(Mirhaji *et al*., 2012; Nikkhah *et al*., 2015)
اسیدیته (کیلوگرم سولفید) Acidification (kg SO_2 eq)	1.34	1.80	(Mirhaji *et al*., 2012; Soltanali *et al*., 2015)
منابع تخلیه سوخت فسیلی (مگاژول) Discharge of Fossil fuel sources (MJ)	0.21	0.21	(Mirhaji *et al*., 2012; Soltanali *et al*., 2015)
منابع تخلیه آب (مترمکعب) Discharge of water resources (m^3)	1.20	1.20	(Wang *et al*., 2010)
تخلیه منابع فسفات Discharge of phosphate resources	0.30	0.30	(Brentrup *et al*., 2004)
تخلیه منابع پتاس Discharge of potash resources	1.05	1.14	(Brentrup *et al*., 2004)

شاخص زیست‌محیطی: جهت نشان دادن برتری یک محصول نسبت به محصولات دیگر به‌کار می‌رود. در روش ارزیابی چرخه‌حیات دو شاخص نهایی زیست‌محیطی جداگانه با عنوان تخلیه منابع و اثرات روی بوم‌سازگان طبیعی و سلامتی انسانی در نظر گرفته می‌شود.

با ضرب‌کردن نتایج نرمال‌سازی هر گروه تأثیر در فاکتور وزن‌دهی مربوطه و سپس جمع آن‌ها شاخص زیست‌محیطی برای یک محصول یا سامانه خاص طبق رابطه ۶ به‌دست می‌آید (Brentrup *et al*., 2004b).

رابطه (۶) $$EcoX: \sum N_i \times W_i$$

که در این معادله Eco-X: شاخص محیطی بوم‌شناخت به ازای واحد کارکردی (یک تن از محصول)، N_i: مقدار نرمال شده مربوط به هر گروه تأثیر، W_i: وزن مربوط به هر یک از مقادیر N_i می‌باشد. رابطه ۷ نیز شاخص تخلیه منابع را بیان می‌کند (Brentrup *et al*., 2004b):

رابطه (۷) $$RDI = \Sigma N_i \times WF_i$$

شاخص تخلیه منابع[1] برای هر واحد کارکردی، N_i نتایج نرمال‌سازی برای هر گروه تأثیر i در واحد کارکردی و WF_i فاکتور وزن‌دهی برای گروه تأثیر i می‌باشد. شاخص بوم‌شناخت و شاخص تخلیه منابع، نشان‌دهنده مجموع اثرات زیست‌محیطی ناشی از انتشار انواع آلاینده‌ها به محیط‌زیست و میزان مصرف منابع به‌ویژه منابع غیرقابل تجدید است (Brentrup *et al*., 2004a).

نتایج و بحث

در این مطالعه میزان مصرف آب و سوخت فسیلی برای محصولات کاهو، کلم و فلفل دلمه‌ای با در نظر گرفتن تراکتور، ادوات و عملیات کشاورزی متداول که با نمونه‌گیری غیراحتمالی و مصاحبه با کشاورزان و همچنین میزان مصرف نیتروژن در قالب کود اوره، برای کاهو، کلم و فلفل دلمه‌ای به‌ترتیب برابر ۸/۷۵، ۷/۶۰ و ۳۳/۳۳ کیلوگرم و همچنین میزان مصرف کود فسفات و پتاس در شهرستان دزفول برای تولید یک تن محصول در جدول۴ به‌دست آمد.

1. Resource depletion indicator

جدول ۴- میانگین مصرفی گروه‌های تأثیر در سه محصول

Table 3- Weighting factors of influence groups in Iran and Europe

محصول Products	مصرف آب (مترمکعب) Consumption of water (m3)	مصرف سوخت فسیلی (لیتر) Consumption of fossil fuel (L)	مصرف کود نیتروژن (کیلوگرم) Consumption N fertilizer (kg)	مصرف کود فسفات (کیلوگرم) Consumption P fertilizer (kg)	مصرف کود پتاس (کیلوگرم) Consumption K fertilizer (kg)
کاهو Lettuce	10.8	2.075	8.75	3.25	2.50
انواع کلم Cabbage	6.48	1.660	7.60	3.00	2.40
فلفل دلمه‌ای Bell Pappers	27.0	6.917	33.33	10.83	10.00

در این مطالعه ۴۵ درصد از مصرف سوخت به عملیات تهیه زمین قبل از کاشت مربوط می‌شود. عامل مهم دیگری که بر روی مصرف گازوئیل بسیار مؤثر است، عمر تراکتورها می‌باشد. طبق آمار تعداد کل تراکتورهای زراعی کشور ۴۷۶۸۸۴ دستگاه بوده که ۶۱ درصد آن‌ها فرسوده می‌باشد (Agricultural Statistics, 2008). در شهرستان دزفول نیز تقریباً این آمار صدق می‌کند و حدود ۵۱ درصد از تراکتورها، فرسوده می‌باشند. فرسودگی تراکتور موجب افزایش مصرف سوخت به‌میزان سه لیتر در ساعت می‌شود (Rajabi *et al.*, 2010). برای مشخص کردن میزان مصرف سوخت گازوئیل در هر هکتار صیفی‌جات، با توجه به‌وجود متـغیرهای زیاد، اعـم از انواع مختلف تراکتور و ادوات در منطقه، عمرهای متفـاوت‌کاری، تجـارب‌کاری متفاوت و همچنین توجه نکردن به مقدار مصرف گازوئیل، نمونه‌گیری کار دشواری بوده و نیز با خطا مواجه می‌شد. به همین دلیل با همکاری کارشناسان جهاد کشاورزی معمول‌ترین نوع تراکتور، ادوات و همچنین زمان‌بندی هر عملیات زراعی در شهرستان دزفول به‌دست آمد. از میان ۴۲۵۲ دستگاه تراکتور زراعی در شهرستان دزفول، تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ با توان اسمی موتور ۷۵ اسب بخار، با تعداد ۲۰۵۳ دستگاه معمول‌ترین نوع تراکتور است. کمباین جاندیر ۹۵۵ نیز معمول‌ترین ماشین برداشت صیفی‌جات می‌باشد که۱۴/۶ لیتر بر ساعت مصرف سوخت دارد. جدول ۵ عملیات مکانیزه جهت تولیدصیفی‌جات و ساعات‌کاری در هکتار، در شهرستان دزفول را نشان می‌دهد.

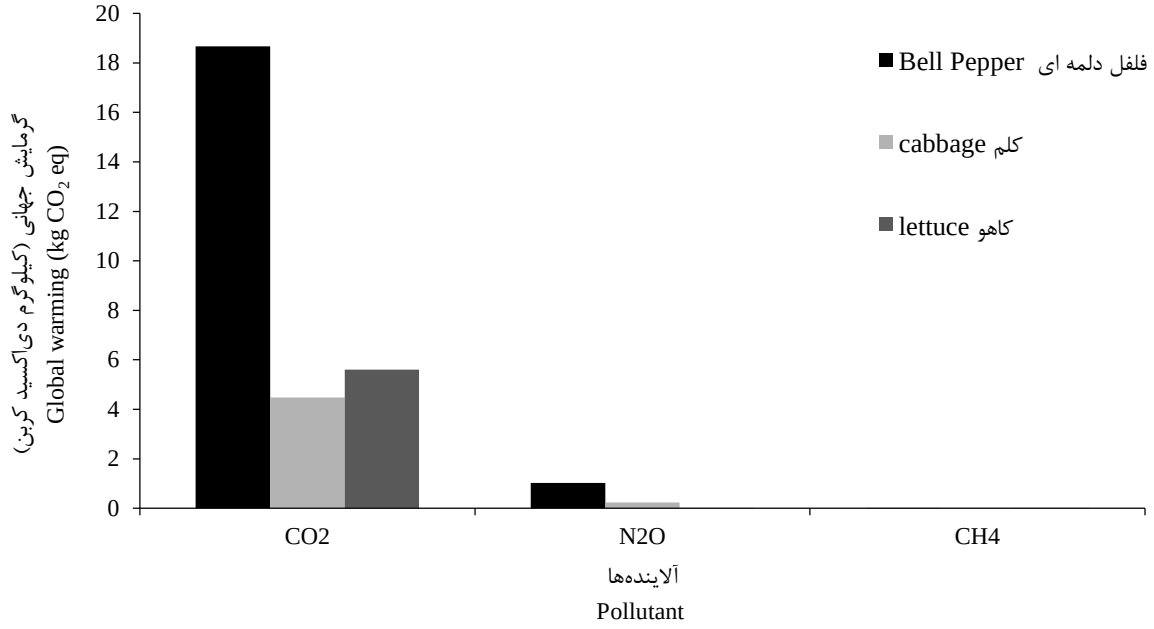
جدول ۵- توان وگازوئیل مصرفی انواع تراکتورهای مورد استفاده در تولید صیفی‌جات

Table 5- Power and diesel consumption of various tractors used in the production of summer vegetables

نوع تراکتور Tractor type	قدرت اسبی (اسب بخار) Power (HP)	گازوئیل مصرفی (لیتر بر ساعت) Diesel fuel consumption (L hr^{-1})
رومانی (Romani)	82	10.0
جاندیر (John Deere)	110	14.6
فرگوسن (Ferguson)	75	9.3

Firouzi و Nikkhah (۲۰۱۴) مصرف نسبتاً زیاد سوخت‌های فسیلی برای تولید بادام‌زمینی در استان گیلان را به‌وجود ماشین‌های فرسوده و با عمر نسبتاً زیاد نسبت دادند. این در حالی است که در مطالعه که در ارزیابی چرخهٔ حیات تولید پنبه (*Gossypium*) در استان گلستان انجام گرفت؛ وجود ماشین‌های فرسوده،

تعداد عملیات نسبتاً زیاد آماده‌سازی زمین برای کشت پنبه را منجر به مصرف زیاد سوخت‌های فسیلی دانسته‌اند. بر این اساس، به‌نظر می‌رسد اجرای عملیات خاک‌ورزی حفاظتی و بی‌خاک‌ورزی به کاهش عواقب زیست‌محیطی تولید پنبه در استان گلستان می‌انجامد (Khojastehpour *et al*., 2015).

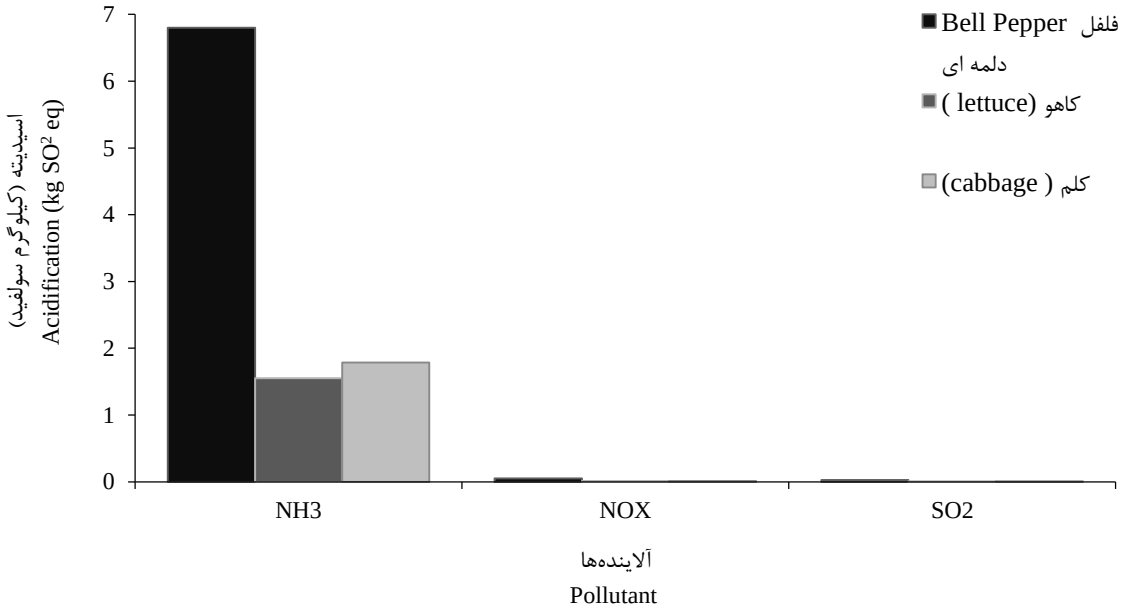


شکل ۱- مقایسه انتشار آلاینده‌ها برای گروه تأثیر گرمایش جهانی به ازای یک واحد عملکردی درتولیدهر سه محصول در شهرستان دزفول

Figure 1- Comparison of pollutant emissions for the global warming impact group per functional unit in the production of all three products in Dezful city

دی‌اکسید کربن با مقدار ۱۸/۶۷۵، تأثیرگذارترین گاز در ایجاد اثر گرمایش جهانی می‌باشد و بعد از آن نیتروز اکسید و آمونیوم با مقادیر ۱/۰۲۹ و $۱/۱۹۶ \times ۱۰^{-۳}$ سهمی را در افزایش گرمایش جهانی دارد. دلیل عمده تولید و انتشار انواع گازهای گلخانه ای به‌ویژه دی‌اکسید کربن و نیتروز اکسید (N_2O) در بوم‌نظام‌های تولید کاهو، انواع کلم و فلفل دلمه‌ای مربوط به مصرف سوخت‌های فسیلی و به‌کارگیری ماشین‌آلات در عملیات مختلف زراعی شامل کاشت، داشت و برداشت و همچنین طی فرآیند مصرف کود نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی است. عمده‌ترین دلایل انتشار آمونیوم در بوم‌نظام‌های زراعی ناشی از مصرف کودهای دامی و ایجاد شرایط غرقابی است (Biswas et al.,2010). Sahle و Potting (۲۰۱۳) اظهار داشتند که مهمترین راهکار برای کاهش تخفیف اثرات زیست‌محیطی در راستای کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای، مدیریت عناصرغذایی و سموم شیمیایی است. تنها راه کاهش مصرف سوخت به‌کارگیری سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی می‌باشد. در شهرستان دزفول کشاورزان سودمندی روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی را به‌خوبی قبول داشته ولی کم بودن ادوات خاک‌ورزی حفاظتی از دلایل عدم به‌کارگیری این سامانه خاک‌ورزی است.

شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر اسیدیته یا میزان اسیدیته تولید یک تن کاهو، انواع کلم، و فلفل دلمه‌ای در انتشار آمونیاک. درشهرستان دزفول به‌ترتیب برابر ۱/۵۵، ۱/۷۸۵ و ۶/۷۹۹ که بیشتر از سایر ترکیبات در ایجاد این اثر سهیم بوده و منبع انتشار آن از کود اوره می‌باشد. شکل ۲ سهم هر کدام از ترکیبات را در این اثر نشان می‌دهد:



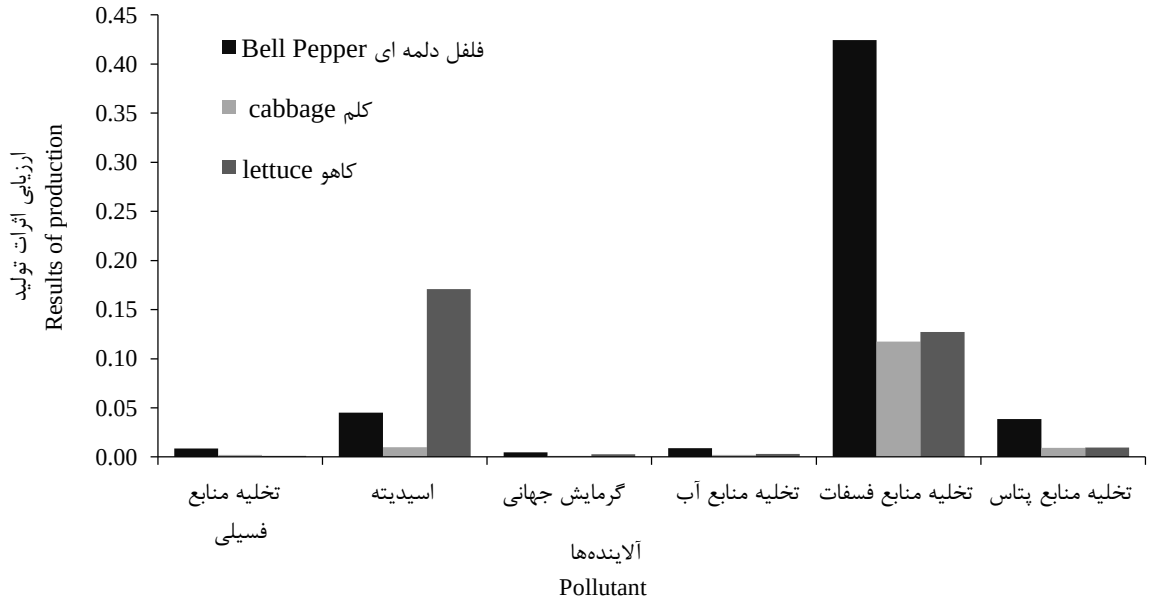
شکل ۲- مقایسه انتشار آلاینده‌ها برای گروه تأثیر اسیدیته به ازای یک واحد عملکردی در تولید هر سه محصول در شهرستان دزفول

Figure 2- Comparison of pollutant emissions for the group of the effect of acidity per functional unit in the production of all three products in Dezful city

در گروه تأثیر اسیدیته، در هر سه محصول افزایش بیش از حد مصرف کودهای نیتروژنه در مزارع تولید این محصولات باعث افزایش انتشارآلاینده‌ها به محیط شد و پتانسیل اسیدی‌شدن را افزایش داد. چون با افزایش میزان مصرف نیتروژن، انتشار آمونیاک افزایش می‌یابد. برخی از محققان دلیل این انتشار را به تبخیر نیتروژن به فرم آمونیاک پس از کاربرد آن در بوم‌نظام‌های زراعی به‌ویژه در شرایط مصرف بالای کودهای نیتروژنه نسبت دادند (Fallahpour *et al*., 2012). Brentrup و همکاران (۲۰۰۴a) دریافتند که میزان انتشار آمونیاک وابسته به‌میزان مصرف کود نیتروژن است؛ به‌طوری‌که با افزایش مصرف نیتروژن، میزان انتشار این گاز به محیط نیز افزایش یافت. مصرف انواع کود به‌خصوص کود اوره در شهرستان دزفول بر اساس تجربه و میزان آب در دسترس می‌باشد تا اینکه بر اساس آزمایش خاک و علمی باشد. با افزایش بارندگی و در دسترس قرار گرفتن آب، کشاورز در پی افزایش مصرف کود و در نتیجه افزایش محصول می‌باشد. دسترسی راحت، قیمت پایین و آسان بودن مصرف کود شیمیایی نیتروژنه اوره و (کود فسفات و پتاس) از دلایل مصرف بیشتر آن‌ها در مقایسه با سایر کودهاست. علاوه بر این کود نیتروژنه باعث رشد رویشی (سبزینه) گیاهان می‌گردد. همین خصوصیت کود اوره موجب ترغیب کشاورزان به استفاده از این نوع کود شده است. در مورد نحوه مصرف کودهای آلی هیچ آماری در کشور وجود ندارد. یکی از عوامل مؤثر در میزان کود نیتروژنه مصرفی و حاصلخیزی خاک به‌کارگیری تناوب صحیح زراعی می‌باشد ولی متأسفانه در بیشتر مناطق، تناوب اقتصادی به‌کارگرفته شده و محصول به‌صورت پی‌درپی کاشته می‌شود، در تحقیقی در اروپا با قرار دادن نخود (*Cicer arietinum*) در تناوب محصولات، به‌میزان ۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هر هکتار صرفه‌جویی شد (Nemecek *et al*., 2008). Pirsaheb و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشتند که میانگین میزان نیتریت و نیترات در بین سبزیجات یا صیفی‌جات مختلف مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری داشت. با توجه به نتایج مقدار نیتریت در بعضی از سبزیجات و صیفی‌جات مورد بررسی فراتر از مقدار مجاز است. در مطالعه‌ای که به بررسی اثرات زیست‌محیطی هندوانه (*Citrullus lanatus*) در استان گیلان با روش ارزیابی چرخه‌حیات صورت گرفت. دلیل شاخص زیست‌محیطی

نسبتاً بالای تولید هندوانه را مصرف نسبتا زیاد کودهای شیمیایی می‌دانند (Mohammadi Barsari *et al.*, 2016). Malafilabi و همکاران (۲۰۱۴) بیان داشتند که افزایش بیش از حد مصرف کود نیتروژنه در مزارع تولید زعفران باعث افزایش انتشار آلاینده‌ها به محیط شده و پتانسیل اسیدی شدن را افزایش داده است. تدوین الگوی کشت می‌تواند بهره‌وری از ظرفیت‌های بخش کشاورزی را به حداکثر برساند و در عین‌حال پیامدهای مخرب تولید محصول را تقلیل دهد (West, Kazemizadeh 2019). و همکاران (۲۰۱۹) در نتایج خود بیان داشتند که به‌منظور کاهش آلایندگی تولید ذرت در منطقه بایستی بر لزوم مدیریت مصرف بهینه کودهای شیمیایی، جایگزینی آن‌ها با کودهای آلی و استفاده از کودهای زیستی و استفاده از منابع تأمین نیتروژن با پتانسیل آلودگی کمتر تأکید کرد. همچنین در کشت بهاره کاشت ارقام زودرس با پتانسیل عملکرد بالا و سازگار با شرایط آب وهوایی منطقه توصیه می‌شود.

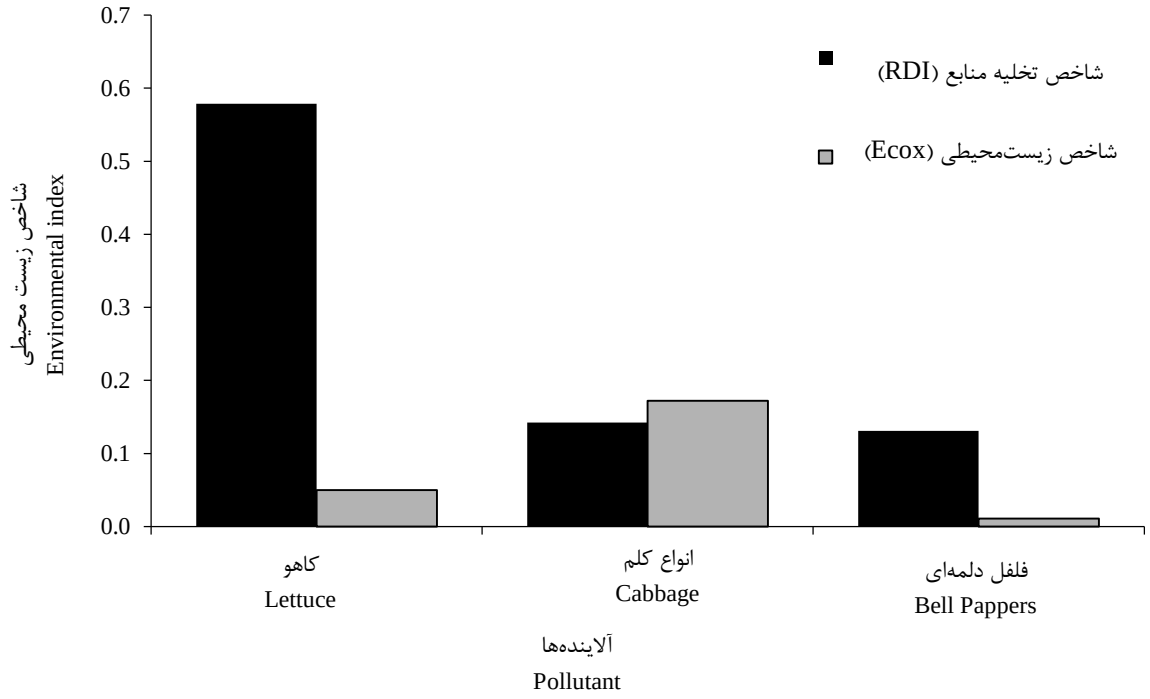
همان‌طور که در شکل ۳ قابل مشاهده می‌باشد فلفل دلمه‌ای در همه گروه‌ها به‌جز اسیدیته بالاترین مقدار را به خود اختصاص داده است و محصول کاهو در گروه اسیدیته بیشترین مقدار را دارا می‌باشد.



شکل ۳- مقایسه نتایج ارزیابی اثرات تولید هرسه محصول به ازای یک واحد کارکردی

Figure 3- Comparison of evaluation results of production effects of all three products per functional unit

شاخص زیست‌محیطی (EcoX) و شاخص تخلیه منابع (RDI) برای بخش زراعی سامانه تولید کاهو، کلم و فلفل دلمه‌ای به ازای یک تن محصول در شهرستان دزفول در شکل ۴ نشان داده شده است. شاخص زیست‌محیطی با جمع کردن نتایج وزن‌دهی اثرات محصول مورد مطالعه به‌دست می‌آید. شاخص زیست‌محیطی در تولید یک تن کاهو، کلم و فلفل دلمه‌ای در شهرستان دزفول با در نظر گرفتن دو اثر زیست‌محیطی گرمایش‌جهانی و اسیدیته به‌ترتیب برابر ۰/۱۷۲، ۰/۰۱۱۱ و ۰/۰۴۹۸ به‌دست آمدند. شاخص زیست‌محیطی کاهو در مقایسه با دو محصول دیگر بیشتر می‌باشد. این امر نشان‌دهنده زیاد بودن پتانسیل آسیب زیست‌محیطی تولید کاهو در شهرستان دزفول می‌باشد، تأثیرگذارترین اثرات زیست‌محیطی، اسیدیته می‌باشد که مهمترین عامل در ایجاد این اثرات، مصرف کود اوره می‌باشد. بهینه‌سازی محصول از نظر زیست‌محیطی با کم کردن مصرف کود و مواد شیمیایی و تلفیق نمودن آن‌ها با روش‌های مدیریتی زراعی از قبیل تناوب و افزایش مواد آلی خاک حاصل می‌شود.



شکل ۴- مقایسه شاخص زیست محیطی هر سه محصول به ازای یک واحد کارکردی

Figure 4- Comparison of environmental index of all three products per functional unit

در صورتی‌که از نظر شاخص تخلیه منابع فلفل دلمه‌ای بیشترین اثر را دارد. گروه‌های تأثیر تخلیه منابع، چالشی برای آیندگان محسوب می‌شوند، در حالی‌که اثرات زیست‌محیطی گروه‌های تأثیر شاخص زیست‌محیطی، در مدت زمان نسبتاً کوتاه‌تری قابل مشاهده‌اند (Firouzi & Nikkhah, 2015).

سموم کشاورزی[1] به‌منظور کنترل آفاتی که محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. سموم کشاورزی طیف گسترده‌ای دارند و شامل علف‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها هستند که علف‌کش‌ها در این بین ۸۰ درصد کل سموم دفع آفات را تشکیل می‌دهند (Sadeghi *et al.*, 2013). سموم دفع آفات هر ماده یا مخلوطی از مواد شیمیایی برای جلوگیری، از بین بردن، دفع یا کاهش هر گونه آفتی است که محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آفات را می‌توان به‌عنوان هر ارگانیسم ایجادکننده بیماری‌های گیاهی تعریف کرد. در واقع سموم کشاورزی مواد شیمیایی هستند که توسط کشاورزان برای جلوگیری از تأثیر آفات بر رشد و بهره‌وری محصولات زراعی استفاده می‌شود (Mahdavi *et al.*, 2015). در این پژوهش میزان استفاده از سموم برای صیفی‌جات (کاهو، انواع کلم و فلفل دلمه‌ای) مورد بررسی قرار گرفته است. طبق اظهارات سازمان جهاد کشاورزی و کشاورزان منطقه معمولاً برای کشت کاهو چند نمونه سم در نظر گرفته می‌شود. بدین صورت که از هر کدام یک نمونه از سم‌های علف‌کش، آفت‌کش، قارچ‌کش و سموم پوسیدگی ریشه از راه آبیاری استفاده می‌شود و برای انواع کلم‌ها مانند کاهو، از میزان آفت‌کش و قارچ‌کش بیشتری استفاده می‌شود. برای فلفل دلمه‌ای در طول کشت از یک سم علف‌کش، آفت‌کش و بعد از هر برداشت یک قارچ‌کش و بسته به آفت و شرایط آن محصول در سال، بعضی از سموم تکرار می‌شود. نحوه استفاده قارچ‌کش‌ها اگر از طریق محلول‌پاش صورت گیرد یک لیتردر هکتار ولی از طریق آب و آبیاری برای ریشه به‌میزان سه لیتر در هکتار مصرف می‌شود. علف‌کش‌ها

1. Agricultural Pesticides

در سم‌پاش ۲۰ لیتری میزان ۳۰۰ میلی‌لیتر که معادل سه لیتر در هکتار است. میزان مصرف آفت‌کش‌ها یک لیتر در هکتار که در یک سم‌پاش ۲۰ لیتری میزان ۷۰ میلی‌لیتر سم آفت‌کش اضافه می‌شود.

جدول ۶- سموم مورد استفاده درتولید صیفی‌جات و میزان هر یک از آن‌ها
Table 6- Toxins used in the production of summer crops and the amount of each of them

محصول Products	علف‌کش Herbicide	قارچ‌کش Fungicides	حشره‌کش Insecticide	سموم پوسیدگی ریشه Root rot toxins
کاهو Lettuce	ترفلان: ۲ تا ۲/۵ لیتر در هکتار که دو مرحله استفاده می‌شود	کاربندازیم: ۱/۵ لیتر در هکتار که دو مرحله استفاده می‌شود	دلتامترین: ۰/۳ تا ۰/۴ لیتر در هکتار که دو مرحله استفاده می‌شود.	اسید هیومیک: ۱ تا ۵ لیتر در هکتار که یک مرحله استفاده می‌شود.
انواع کلم cabbage	پاراکوات: حدود ۳ تا ۵ لیتر در هکتار که چهار مرحله علف‌کش پاراکوات استفاده می‌شود	کاربندازیم: ۱/۵ لیتر در هکتار که دو مرحله استفاده می‌شود	دلتامترین: ۰/۳ تا ۰/۴ لیتر در هکتار که دو مرحله استفاده می‌شود	
فلفل دلمه‌ای bell peppers	پاراکوات: حدود ۳ تا ۵ لیتر در هکتار که چهار مرحله علف‌کش پاراکوات استفاده می‌شود	کوپراکسی کلراید: ۱ تا ۲ لیتر در هکتار که دو مرحله از این قارچ‌کش استفاده می‌شود.	آبامکتین: ۰/۶ لیتر در هکتار که در سه مرحله استفاده می‌شود.	

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشترین میزان سموم به‌ترتیب در محصولات فلفل دلمه‌ای، انواع کلم و کاهو استفاده شده است. بر عهده‌ی مسئولین است که با راه‌اندازی آزمایشگاه‌های تشخیص سموم و کنترل دقیق محصولات کشاورزی، اقدام به نمونه‌برداری حد مجاز باقیمانده سموم نمایند. همچنین آگاه‌سازی کشاورزان و توصیه به آن‌ها برای رعایت زمان مصرف سم و جلوگیری از مصرف سموم غیرمجاز، در دستورکار دست‌اندرکاران مربوطه قرار گیرد. واضح و مبرهن است که اگر سازمان، نظارت دقیقی بر میزان سم موجود در محصولات کشاورزی داشته باشد. می‌تواند از توزیع محصولات دارای مواد سمی بیش از حد مجاز جلوگیری کند. و بالطبع کشاورزان نیز مجبور به‌رعایت مقررات علمی جهت سم‌پاشی محصولات خواهند شد.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه اثرات زیست‌محیطی و شاخص تخلیه منابع تولید سه محصول صیفی‌جات با استفاده از ارزیابی چرخه‌حیات در شهرستان دزفول مورد مقایسه قرار گرفت. طبق محاسبات انجام شده فلفل دلمه‌ای بیشترین آسیب را در تمام گروه‌های تأثیر به‌جزء اسیدیته و کاهو بیشترین مقدار را در انتشار آلاینده‌ها برای گروه تأثیر اسیدیته به ازای یک واحد عملکردی در تولید هر سه محصول در شهرستان دزفول را نشان می‌دهد. بالاترین اثرات زیست‌محیطی مربوط به دو گروه تأثیر اسیدیته و تخلیه منابع فسفات، بود. مصرف زیاد کودهای نیتروژنه از طریق تبخیر آمونیاک باعث افزایش انتشار آلاینده‌های نیتروژنه به محیط شده و پتانسیل اسیـدی شدن را افزایش داد. اگرچه به‌کارگیری کودهای شیمیایی و آلی در بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش بازده محصولات کشاورزی امری ضروری و شناخته شده است، ولی متأسفانه مصرف بی‌رویه و نابهنگام و نامتعادل در کشور، علاوه بر عدم دست‌یابی به عملکرد بهینه، با ورود این ترکیبات به خاک و آب به شدت به محیط‌زیست آسیب رسانده و سلامت و بهداشت جامعه را تهدید می‌کند. بنابراین توصیه می‌شود منبع تأمین نیتروژن و همین‌طور زمان استفاده با نیازهای محصول و خاک کشاورزی مطابق باشد تا تلفات نیتروژن را از هر راهی کاهش داد و همچنین ادواتی که برای به‌کارگیری کود استفاده می‌شود تنظیم، تا مطمئن شده که کود به‌میزان مناسب و به‌خوبی در زمین قرار می‌گیرد. به‌طور کلی تمامی روش‌هایی که از فرسایش خاک جلوگیری می‌کند مانع تلفات نیتروژن معدنی و آلی نیز می‌شود.

در انتها می‌توان گفت ارزیابی چرخه‌حیات به‌دلیل جامعیت و به‌کارگیری روش کمی و محاسباتی، روش مناسبی برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فرآیندهای مختلف تولید محصولات کشاورزی می‌باشد و بخش‌های دارای پتانسیل آسیب را نشان می‌دهد.

سپاسگزاری

تیم مطالعاتی نهایت سپاس و قدردانی خود را از مسئولین و مهندسین محترم اداره جهاد کشاورزی و زارعین عزیز شهرستان دزفول که در این مطالعه ما را یاری نمودند ابراز می‌دارد.

References

- Agricultural Statistics. Volume II. (2008). Office of Statistics and Information Technology. Ministry of Agriculture Jihad. (In Persian)
- Biswas, W. K., Barton, L. & Carter, D. (2008). Global warming potential of Wheat production in Western Australia: a life cycle assessment. *Water and Environment Journal*, 22(3), 206-216.
- Biswas, W. K., Graham, J., Kelly, K. & John, M. B. (2010). Global warming contributions from wheat, sheep meat and wool production in Victoria, *Australia. A life cycle assessment. Journal of Clean Production*, 30, 1-7.
- Brentrup, F., Kusters, J., Kuhlmann, H. & Lammel, J. (2004a). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy*, 20(3), 247-264.
- Brentrup, F., Kusters, J., Lammel, J., Barraclough, P. & Kuhlmann, H. (2004). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy*, 20(3), 265-279.
- Buratti, C., Barbanera, M. & Fantozzi, F. (2009). Environmental impact assessment of fiber sorghum (Sudan-Grass) production systems for biomass energy production in a central region of Italy. Biomass Research Centre, University of Perugia.
- Dekamin, M., Barmaki, M., Kanooni, A. & Mosavi, R. (2019). Environmental impact assessment of Soybean cultivation in Ardabil farms. *Journal of Environmental Science and Technology*, 21(8), 175-184.
- Fallahpour, F., Aminghafouri, A., Ghalegolab Behbahani, A. & Bannayan, M. (2012). The environmental impact assessment of Wheat and Barley production by using life cycle assessment (LCA) methodology. *Environment, Development and Sustainability*, 14(6), 979-992.
- Fei, R. & Lin, B. (2017). Estimates of energy demand and energy saving potential in China's agricultural sector. *Energy*, 135, 865-875.
- Firouzi, S. & Nikkhah, A. (2015). Life cycle assessment of peanut production in sole cropping and mixed intercropping with bean systems. *Journal of Plant Ecophysiology*, 7(22), 268-279. (In Persian)
- Hosseinpanahi, F. & Kafi, M. (2012). Evaluation of energy budget and productivity of potato farm of Kurdistan province; case study: Dehgolan Plain Journal ofAgroecology, 4(2), 159-169. (In Persian)
- Hayashi, K. (2005). Practical implications of functional units in life cycle assessment for horticulture: intensiveness and environmental impacts. *Barcelona LCM Innov Life Cycle Manage*, 1, 368-371.
- Iriarte, A., Rieradevall, J. & Gabarrell, X. (2010). Life cycle assessment of Sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. *Journal of Cleaner Production*, 18(4), 336-345.
- International Organization for

Standardization. (2006). *Environmental management: life cycle assessment; Principles and Framework*. ISO.

- Karlsson, J. O. & Roos, E. (2019). Resource-efficient use of land and animals-environmental impacts of food systems based on organic cropping and avoided food-feed competition. *Land Use Policy*, 85, 63-72.
- Kazemizadeh, M., Hooshmand, A. R., Naseri, A. A., Golabi, M. & Maskerbashi. M. (2019). Life cycle evaluation study in grain production under spring and autumn cropping systems (Case study of Khuzestan province). *Natural Environment, Natural Resources of Iran*, 72(4), 414 to 431. (In Persian)
- Khodzaii, E., Weissi, H., Nouri, A., Taheri, M. & Hoshbakht, K. (2017). Environmental impact assessment of Olive (*Olea europaea* L.) production using life cycle assessment: a case study of Tarom county, Zanjan province. *Journal of Agricultural Ecology*, 9(2), 474-458. (In Persian)
- Khorramdel, S., Mahallati, N., Banhangi, M. & Mollafilabi, A. (2019). Evaluation of environmental impacts of Saffron (*Crocus sativus* L.) agroecosystems in the Khorasan province affected as field size by using life cycle assessment. *Saffron Agronomy & Technology*, 7(2), 185-206. (In Persian)
- Khojastehpour, M., Nikkhah, A. & Hashemabadi, D. (2015). A comparative study of energy use and greenhouse gas emissions of canola. *International Journal of Agricultural Management & Development*, 5(1), (In Presian)
- Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, R. & Amin Ghafori, A. (2014). Evaluation of environmental impacts for Wheat agroecosystems of Iran by using life cycle assessment methodology. Cereal Res. In Press. (In Persian)
- Khorram Dell, S., Ghorbani, R. & Amin Ghafour, A. (2015). Comparison of environmental impacts of rainfed and aquatic Barley production systems in Iran using life cycle assessment. *Journal of Plant Production Research*. 22(1), 243-264. (In Persian)
- Koocheki, A. Vafabakhsh, J. & Khorramdel, S. (2018). Evaluation of environmental impacts of important field crops by Life Cycle Assessment (LCA) in Khorasan-e Razavi Province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(3), 665-681. (In Persian)
- Mahdavi, V. Nourbakhsh, R. Bagheri, S. Firoozi, R. & Fadavi, G. (2015). *Examination of residues and period of carbaryl pesticide on lettuce in Iran*. Special Letter of the 23rd National Congress of Food Science and Industry of Iran, Islamic Azad University, Quchan Branch. (In Persian)
- Malafilabi, A., Khorramdel, D., AminGhafa Ray, A. & Hosseini, M. (2014). Evaluation of environmental effects of saffron production system in Khorasan province based on nitrogen fertilizer using life cycle assessment. *Saffron Research Journal*, 2(2), 152-166. (In Persian)
- Mamivand, B., Habibi, H., Mahdavi Damghani, A. & Calligraphers, B. (2016). A study and comparison of life cycle evaluation of Tomato and Eggplant in greenhouse cultivation systems in saveh region case study of aweh section. *2nd National Congress of Development and Extension Agricultural Engineering and Soil Science of Iran, Tehran, https://civilica.com/doc/520643.*
- Marzban. Z., Asgharipour. M. R., Ghanbari. A., Nikouei. A. R., Ramroudi. M. & Seyedabadi, E. (2020). Reducing environmental impacts through redesigning cropping pattern using LCA and MOP (Case study: east Lorestan province). Scientific knowledge of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 30(3), 330-311. (In Persian)
- Mirhaji, H., Khojastehpour, M., Abbaspour Fard, M. H. & Mahdavi Shahri, M. (2012). Environmental impact assessment of *Beta vulgaris* L. by life cycle assessment (case study: South Khorasan province farms). *Journal of*

Agricultural Ecology, 4(2), 112-120. (In Persian)
- Molaee, M., Khanali, M. & Mousavi, S. A. (2017). Investigation of environmental indicators of onion cultivation with life cycle assessment approach. Conference on organic vs. conventional Agriculture.
- Nikkhah, A., Taheri-Rad, A., Khojastehpour, M., Emadi. B. & Payman. S.H. (2015). Environmental Impacts of Peanut Production in Astaneh Ashrafiyeh of Guilan province. *Agroecology*, 6(2), 273-282. (In Persian)
- Nemecek, T., von Richthofen, J. S., Dubois, G., Casta, P., Charles, R. & Pahl, H. (2008). Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *European journal of Agronomy*, 28(3), 380-393.
- Pirsaheb, M., Sharafi, K. & Morad, M. (2013). A survey on nitrite and nitrate levels in vegetables and cucurbits cultivated in northern and western plains of Kermanshah City in 2012. *Journal of Food Hygiene*, 3(1), 77-88. (In Persian)
- Rajabi, M. P., Soltani, A., Vahdia, B., Zinley, A., Soltani, A. & Mousavi Maleki, M. (2010). *Evaluation of fuel consumption in Gorgan Wheat production farms. 4th Specialized Conference on Environmental Engineering, Tehran*. (In Persian)
- Romero-Gamez, M., Audsley, E. & Suarez-Rey, E. M. (2014). Life cycle assessment of cultivating lettuce and escarole in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 73, 193-203.
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N. & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 1-10.
- Sadeghi, R., Salarvandian, S. & Saeedisad, S. (2013). *Improper use of chemical pesticides in agricultural products and its role in community health*. National conference of Passive defense in agriculture. (In Persian)
- Sahle, A. & Potting, J. (2013). Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation. *Science of the Total Environment*, 443, 163-172.
- Shahmohammadi, A., Vasi, E., Hassanbakht, K., Mahdavi Damghani, A. S. & 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)
- Shiri, M., Ataei, R. & Golzardi, F. (2018). Life cycle assessment (LCA) for a Maize production system under Moghan climatic conditions. *Environmental Sciences*, 16(1), 191-206. (In Persian)
- Siavoshi, M. & Dastan, S. (2019). Life Cycle assessment of irrigated Wheat production under the effects of Nitrogen amounts and splitting its use in Boushehr region. *Journal of Crop Ecophysiology*, 13(3), 461-484.
- Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L. & Fixen, P. E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(3), 247-266.
- Snedecor, G. W. & Cochran, W. G. (1989). Arc sine transformation for proportions. *Statistical Methods. 8th ed. Iowa State University Press, Ames*, 289-290.
- Soltanali, H., Emadi, B., Rohani, A., Khojastehpour, M. & Nikkhah, A. (2015). Life cycle assessment modeling of milk production in Iran. *Information Processing in Agriculture*, 2(2), 101-108. (In Persian)
- Tadayonpour, N., Sabzghabaei, G.R. & Dashti, S. (2019). Evaluating the environmental impacts of the Bell Pepper production system using the life cycle assessment technique (Case study: Dezful county). *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 22(9). 39-51. (In Persian)
- Valiante, D., Sirtori, I., Cossa, S., Corengia, L., Pedretti, M., Cavallaro, L. & Bacenetti, J. (2019). Environmental impact of strawberry production in Italy

and Switzerland with different cultivation practices. *Science of the Total Environment*, 664, 249-261.

- Wang, M., Xia, X., Zhang, Q. & Liu, J. (2010). Life cycle assessment of a rice production system in Taihu region, China. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 17(2), 157-161.
- West, J. (2019). Multi-criteria evolutionary algorithm optimization for horticulture crop management. *Agricultural Systems*, 173, 469-481.
- Yue, D., Pandya, S. & You, F. (2016). Integrating hybrid life cycle assessment with multiobjective optimization: a modeling framework. *Environmental Science & Technology*, 50(3), 1501-1509.