

## بررسی اثرات زیست محیطی تولید پسته با روش ارزیابی چرخه حیات، مطالعه موردی: شهرستان رفسنجان

مریم رجایی<sup>۱\*</sup>، محمدرضا علمی<sup>۲</sup>، مهین ملکیان<sup>۳</sup>

[m.rajaeisharif@gmail.com](mailto:m.rajaeisharif@gmail.com)

### چکیده

روش ارزیابی چرخه حیات رویکردی مورد قبول برای ارزیابی اثرات زیست محیطی سراسر چرخه حیات یک محصول می‌باشد که براساس دو مؤلفه میزان مصرف منابع و انتشار آلاینده‌ها به محیط زیست محاسبه می‌شود. در این مطالعه، ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید پسته از ابتدای کاشت تا درب مزرعه با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات (LCA) در شهرستان رفسنجان برآورد شد. اطلاعات اولیه به روش پرسشنامه و مصاحبه با کشاورزان منطقه جمع‌آوری شد. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از پایگاه داده‌های Ecoinvent@3.0 و نرم‌افزار Simapro8.0.4.30 تجزیه و تحلیل شد. مرز سیستم، مزرعه و واحد کاری در این مطالعه یک تن پسته در نظر گرفته شد. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از دیزل و الکتروسیته به عنوان منابع انرژی منجر به انتشار CO<sub>2</sub>، NO<sub>x</sub>، SO<sub>x</sub> و فلزات سنگین به محیط می‌شود. تجزیه و تحلیل داده‌های پسته نشان داد که انتشار ناشی از کودها در طبقات، بیشترین نقش را در کاهش منبع، گرم شدن جهانی، سمیت برای انسان، سمیت برای آبزیان دریایی و فتواکسیداسیون شیمیایی داشت. انتشار ناشی از مصرف سوخت‌ها بیشترین اثر را در تخریب لایه اوزون داشتند.

**کلید واژه‌ها:** اثرات زیست‌محیطی، ارزیابی چرخه حیات، اسیدپسته، رفسنجان، پسته

### The Study of Environmental Impacts of Pistachio Production Using Life Cycle Assessment, (Case Study: Rafsanjan City)

Maryam Rajaei<sup>1\*</sup>, Mohammadreza Elmi<sup>2</sup>, Mahin Malekian<sup>3</sup>

1. M.Sc. of Natural Resources Engineering -Environment, Yazd Science and Technology Park, Yazd, Iran
2. Assistant Professor of Urban Management and Planning, University of Yazd, Yazd, Iran
3. M.Sc. of Natural Resources Engineering -Environment, University of Yazd, Yazd, Iran

### Abstract

Life Cycle Assessment method is an accepted approach for assessing the environmental impacts of a product's life cycle, which is calculated on the basis of two components: the amount of consuming resources and the release of pollutants to the environment. In this study, the environmental impact assessment of pistachio production from the beginning of planting to the field door was estimated using Life Cycle Assessment (LCA) method in Rafsanjan. Initial data were collected through questionnaire method and interview with local farmers. The collected data were analyzed using Ecoinvent@3.0 database and Simapro8.0.4.30 software. The system boundary, field and work unit were considered as a ton of pistachios in this study. The results of this study showed that the use of diesel and electricity as energy sources lead to the release of CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> and heavy metals into the environment. Analysis of the pistachio data showed that emissions from fertilizers in the layers had the highest role in source reduction, global warming, toxicity to humans, toxicity to marine aquatics and chemical photooxidation. Emissions from fuel consumption had the greatest effect on ozone layer depletion.

**Keywords:** Environmental impacts, Life Cycle Assessment, Acidity, Rafsanjan, Pistachio

- ۱- کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی- محیط زیست، پارک علم و فناوری یزد، یزد
- ۲- استادیار مدیریت برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه یزد، یزد
- ۳- کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی- محیط زیست، دانشگاه یزد، یزد

مقدمه

هدف اصلی سیاست کشاورزی تا اوایل سال ۱۹۹۰، اطمینان یافتن از درجه بالایی از خودکفایی در مواد غذایی بود که منجر به بی‌توجهی به اثرات محیط‌زیستی تولیدات کشاورزی شد. افزایش در عملکرد محصولات کشاورزی به لطف پیشرفت‌های فنی، کارهای اصلاحی و نیز تا حد زیادی با افزایش شدید در استفاده از ورودی‌های کمکی مانند کودهای معدنی و آفت‌کش‌ها به دست آمد. این تغییرات در فعالیتهای کشاورزی منجر به مشکلات متعدد محیط‌زیستی مانند مصرف بالای منابع انرژی غیرقابل تجدید، از بین رفتن تنوع زیستی، آلودگی محیط‌های آبی توسط مواد مغذی نیتروژن و فسفر و نیز آفت‌کش‌ها شد (گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۸۸).

اگرچه به کارگیری کودهای شیمیایی و آلی در بهبود حاصل خیزی خاک و افزایش بازده محصولات کشاورزی امری ضروری و شناخته شده است، ولی متأسفانه مصرف بی‌رویه و ناپهنگام 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 کرده است (برنتراپ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۱).

از آنجایی که منابع طبیعی زمین محدود می‌باشند؛ بنابراین تلاش بشر به منظور بهبود وضعیت کنونی بوده است. ارزیابی چرخه حیات (LCA) ابزاری است که برای اندازه‌گیری اثرات محیط‌زیستی توسعه یافته است (ایزه مان<sup>۲</sup>، ۱۹۹۰).

ارزیابی چرخه حیات روشی برای تعیین تمام تاثیرات محیطی مرتبط با یک محصول، فرآیند یا خدمات و تمام آلاینده‌های منتشر شده و مواد زائد رها شده به طبیعت است (هانت<sup>۳</sup> و فرانکلین<sup>۴</sup>، ۱۹۹۶).

ارزیابی چرخه حیات ابتدا در اروپا و آمریکا در اواخر دهه ۱۹۶۰ به طور عمده در ارتباط با اثرات ظروف نوشابه پیشنهاد گردید (دنی چانگ<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۴).

پس از آن کاربردهای عملی عمده به وسیله صنایع شیمیایی با هدف قرار دادن بررسی سم‌شناسی و کاهش آلودگی ارائه شد.

به دنبال آن، در سال ۱۹۹۰ تلاش‌های مهمی برای گسترش یافتن کاربرد ارزیابی چرخه حیات توسط جامعه سم‌شناسی محیط‌زیست و مواد شیمیایی (SETAC) به منظور گسترش ارزیابی چرخه حیات در سرتاسر جهان و بسط دادن تعریف آن صورت گرفت (فاوا<sup>۶</sup> و همکاران، ۱۹۹۱) (اکوال<sup>۷</sup>، ۲۰۰۰).

امروزه ارزیابی چرخه حیات به یک ابزار کمی موثر و متداول برای اندازه‌گیری اثرات محیط‌زیستی تکامل یافته است (ریتزتر<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۵).

به منظور ارزیابی آثار زیست محیطی روش‌های مختلفی وجود دارد. که این روش‌ها در آغاز، تأثیر مصرف نهاده‌های بکار گرفته شده در بوم‌نظام را به صورت اختصاصی در رابطه با یکی از پیامدهای آن به عنوان مثال، گرمایش جهانی و آبشویی ترکیبات نیتروژن‌دار مورد توجه قرار می‌دادند، ولی به تدریج با کامل شدن اطلاعات، کلیه کارکردهای زیست محیطی نیز مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند.

فتا<sup>۹</sup> و آورامیدس<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۸)، ارزیابی مصرف منابع و انتشار گازهای آلاینده ناشی از تولید روغن زیتون در کیپروس<sup>۱۱</sup> ایتالیا را انجام دادند. واحد عملیاتی ۱ لیتر Extra virgin olive oil و مرز سیستم از گهواره تا مدیریت پسماند بود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تولید کودهای غیرارگانیک مصرف شده در مرحله‌ی کشاورزی و مصرف پسماند مایع ناشی از آسیاب زیتون در حوض‌های تبخیر، نقاط داغ فرآیندها در انتشار آلاینده‌ها بودند. بیشترین مصرف انرژی و انتشار CO<sub>2</sub> مربوط به کودهای شیمیایی بود (فتا و آورامیدس، ۲۰۰۸). هوکازونو<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۰۹)، بررسی پتانسیل‌های تولید ارگانیک و پایدار برنج در ژاپن را بر روی یک کیلوگرم محصول انجام دادند. مرز عملیاتی در این تحقیق مزارع تولیدی بود و نتایج حاصل نشان داد که با استفاده از LCA برای مقایسه سیستم‌های تولید برنج در ژاپن، انتشار گازهای گلخانه‌ای حدود ۶ درصد کمتر از کشاورزی ارگانیک به ازای هر کیلوگرم برنج قهوه‌ای است؛ که به علت کاهش عملکرد دانه در کشاورزی ارگانیک است (هوکازونو و همکاران، ۲۰۰۹). بوستو<sup>۱۳</sup> و بلنجینی<sup>۱</sup> (۲۰۰۹)،

6. Fava  
7. Ekvall  
8. Rebitzer  
9. Fatta  
10. Avraamides  
11. Cyprus  
12. Hokazono  
13. Busto

1. Brenttrup  
2. Isermann  
3. Hunt  
4. Franklin  
5. Danni chang

مغان داشتند (شیری و همکاران، ۱۳۹۷). خرم‌دل و همکاران (۱۳۹۸) اثرات زیست محیطی نظام‌های تولید زعفران (Crocus sativus L) تحت تاثیر اندازه زمین با استفاده از ارزیابی چرخه حیات را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق، LCA براساس روش ISO14044، در چهار گام شامل مشخص‌سازی اهداف و حوزه عمل، ممیزی چرخه حیات، ارزیابی تاثیر چرخه حیات و تلفیق، نتیجه‌گیری و تفسیر نتایج محاسبه گردید. نتایج نشان داد که اندازه زمین، میزان مصرف نهاده‌ها و اثرات زیست محیطی را در واحد عملکرد گل تحت تاثیر قرارداد و گروه‌های اوتریفیکاسیون و گرمایش جهانی حساسیت بیشتری نسبت به شدت فشرده‌سازی تحت تاثیر اندازه زمین دارند، بنابراین افزایش کارایی مصرف منابع، یکی از رویکردهای مناسب برای کاهش اثرات زیست محیطی همگام با بهبود عملکرد اقتصادی در واحد سطح است (خرم‌دل و همکاران، ۱۳۹۸).

با توجه به اینکه در کشور ما بحث مهم مدیریت محیط زیستی تولید محصولات کشاورزی مورد غفلت واقع شده است، در این مطالعه سعی شده که مناسب بودن روش ارزیابی چرخه حیات برای ارزیابی اثرات محیط زیستی محصولات کشاورزی (در اینجا محصول پسته) بررسی شود. بنابراین، در این مطالعه اثرات محیط زیستی شامل گرمایش جهانی، اسیدیته، پرمغذایی شدن و تخلیه منابع ناشی از تولید پسته در شهرستان رفسنجان، با روش ارزیابی چرخه حیات بررسی شده است.

### مواد و روش‌ها

از نظر جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در شهرستان رفسنجان با طول جغرافیایی "59°59'55" شرقی و عرض جغرافیایی "29°24'30" شمالی قرار داشته و دارای ۱۵۱۸ متر ارتفاع از سطح دریا است. شهرستان رفسنجان با وسعت ۱۰۶۷۸ کیلومتر در جنوب شرقی ایران و در شمال غربی استان کرمان قرار دارد؛ از شمال به استان یزد، از جنوب به شهرستان‌های بردسیر و سیرجان، از غرب به شهرستان شهربابک و از شرق به شهرستان‌های زرنند و کرمان محدود می‌شود (شکل ۱). رفسنجان به دلیل مجاورت با کویر از جمله مناطق نیمه‌خشک کم‌باران به شمار می‌رود.

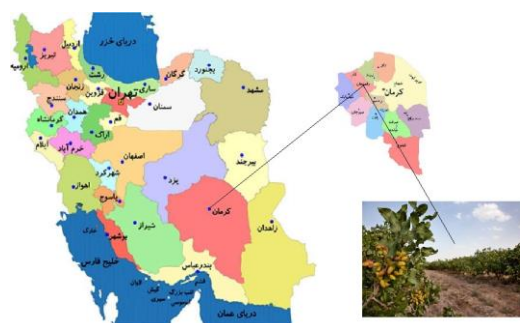
ارزیابی چرخه‌ی عمر برنج در ایتالیا بر روی یک کیلوگرم آرد برنج تصفیه و بسته‌بندی شده را انجام دادند. مرز سیستم در این مطالعه تحویل درب سوپرمارکت بود. نتایج نشان داد که میزان انتشار CO2 2.9 کیلوگرم eq، مصرف انرژی اولیه ۱۷.۸ مگاژول و استفاده از آب ۴/۹ مترمکعب به ازای تولید هر کیلوگرم محصول بود. سناریوهای بهبود کشاورزی جایگزین شامل کشاورزی ارگانیک و کشت دیم و بهبود فرایندهای فراوری است (بوستو و بلنجینی، ۲۰۰۹).

در ایران نتایج منتشر شده در خصوص اجرای LCA در مورد محصولات کشاورزی به صورت محدود وجود دارد. میرحاجی (۱۳۹۱)، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید چغندر قند در خراسان جنوبی را انجام داد که واحد کارکردی این مطالعه یک تن چغندر قند و مرز سیستم مزارع تولیدی بود. نتایج این مطالعه نشان داد که در میان اثرات زیست‌محیطی گرمایش جهانی، اسیدیته، تخلیه‌ی منابع فسیلی و تخلیه‌ی منابع آبی در تولید چغندر قند در استان خراسان جنوبی، بیشتر از سایر اثرات به محیط زیست آسیب می‌رساند (میرحاجی و همکاران، ۱۳۹۱). شاه‌محمدی و همکاران (۱۳۹۵) ارزیابی چرخه حیات تولید سیب‌زمینی به روش نیمه مکانیزه را در استان مرکزی را مورد تحقیق قرار دادند. نتایج نشان داد در تولید سیب‌زمینی انتشارات مستقیم از مزرعه، استفاده از کودهای شیمیایی و الکتروسیته بیشترین سهم تخریب محیط زیست را داشتند. همچنین براساس نتایج به دست آمده از این بررسی، استفاده از نهاده‌های ارگانیک، کشاورزی دقیق، مصرف بهینه کودها و سموم شیمیایی، استفاده از روش‌های نوین آبیاری و فناوری‌های پربازده و کم‌مصرف در تولید سیب‌زمینی پیشنهاد گردید (شاه‌محمدی و همکاران، ۱۳۹۵).

شیری و همکاران (۱۳۹۷) ارزیابی چرخه حیات (LCA) نظام تولید ذرت در شرایط آب و هوایی مغان را مورد بررسی قرار دادند. برای تجزیه و تحلیل اثرات زیست محیطی، از روش ISO14014 به ازای یک واحد کارکردی معادل با یک تن دانه استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که در میان شاخص‌های زیست محیطی بیشترین سهم نظام تولیدی ذرت به ترتیب برای گروه‌های موثر اوتریفیکاسیون اکوسیستم خشکی و اسیدیته و در میان گروه‌های تخلیه منابع، تخلیه منابع فسیلی بیشترین تاثیر سوء زیست محیطی را در تولید ذرت در منطقه

آن‌ها از مزارع امکان‌پذیر نمی‌باشد (مانند انتشار نیتروژن و آفت‌کش‌ها و برخی ترکیبات از مزارع) و پایگاه‌های داده بین‌المللی که در محاسبه مصرف مواد و انرژی برای تولید نهاده‌ها استفاده می‌شود (مانند آفت‌کش‌ها و کودها). برای صورت‌برداری داده‌های مربوط به تولید کودها و آفت‌کش‌ها از داده‌های EcoInvent@2.0 در نرم‌افزار SimaPro7.2 استفاده شد. کودهای شیمیایی استعمال شده شامل اوره، سوپرفسفات تریپل و پتاسیم سولفات بودند.

برای برآورد انتشارات مستقیم از باغ پسته (شامل انتشار ترکیبات نیتروژنه، فسفر و آفت‌کش‌ها) از روش‌های موجود در مقالات بین‌المللی استفاده شد. انتشارات نیتروژن و فسفر، ناشی از مصرف کودهاست. در مطالعات LCA در کشاورزی، انتشارات مستقیم نیتروژن معمولاً در مرحله تولید کشاورزی اتفاق می‌افتد. انتشارات نیتروژن شامل انتشار آمونیاک ( $\text{NH}_3$ ) از طریق تصعید، انتشار نیتروز اکسید ( $\text{N}_2\text{O}$ ) و آبشویی نترات است. اغلب برآورد انتشار واقعی و دقیق نیتروژن به محیط آب و هوا مشکل است چون به نوع خاک، شرایط اقلیمی و عملیات مدیریتی کشاورزی وابستگی زیادی دارد. اندازه‌گیری این انتشارات نیازمند صرف وقت و هزینه زیادی است که در هر مورد نیز تغییرپذیری زیادی نشان می‌دهد (۱۴). در این مطالعه مانند اغلب مطالعات ارزیابی چرخه حیات کشاورزی، برای تخمین انتشارات ترکیبات نیتروژن ( $\text{NO}_3$ ،  $\text{N}_2\text{O}$ ،  $\text{NH}_3$ ) ناشی از استعمال کودها، از روش پیشنهادی برنتراپ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۰) و EPA (۱۹۹۵) استفاده شد. انتشار فسفر، ناشی از کودهای فسفره است که در اثر فرسایش و رواناب به آب‌های سطحی وارد می‌شود. روش استعمال کود در اغلب باغات پسته مورد مطالعه به صورت چال کود است، در این روش چاله‌ای در کنار درخت به عمق ۰/۷ تا ۱ متر حفر می‌شود و کود شیمیایی و دامی به صورت مخلوط درون چاله دفن می‌شود. در روش چال کود تلفات کود به حداقل می‌رسد. بنابراین باتوجه به عدم تحرک فسفات در خاک و نیز دفن کردن کود در عمق چاله، میزان تلفات فسفات از طریق رواناب و فرسایش صفر در نظر گرفته شد. مصرف سوخت دیزل در موتور تراکتور و سایر ماشین‌آلات مربوطه، منجر به آزاد شدن برخی ترکیبات مضر به هوا می‌شود. فاکتورهای انتشار برای مصرف سوخت دیزل توسط



شکل ۱: موقعیت منطقه و باغ‌های مورد مطالعه (منبع: نگارنده)

از آنجایی که ارزیابی چرخه حیات رهیافتی پیچیده و دقیق است و با توجه به اینکه تحقیق حاضر، می‌بایستی در یک بازه زمانی مشخص به سرانجام برسد، تصمیم گرفته شد که مرزهای سیستم به نحوی تعیین شود که داده‌های موجود در ایران و زمان اجازه انجام تحقیق را بدهد. این مطالعه فرآیند مصرف توسط مصرف‌کننده و دفع پسماند (چرا که هنوز در ایران فرایند مصرف و دفع پسماند حاصل از آن به فرایندی نظام مند تبدیل نشده است) و همچنین نوع ابزارآلات و ابنیه به کار رفته در سیستم‌های تولید را لحاظ ننموده است، اما با استفاده از مرور منابع و همچنین جمع‌آوری اطلاعات از بخش‌های مرتبط، اطلاعات مربوط به نهاده‌های لازم برای تولید پسته، حامل‌های انرژی مصرف شده، حمل‌ونقل و تولید پسته لحاظ گردیده است. در این مطالعه مرز سیستم تولید پسته از «گهواره تا دروازه مزرعه» تعیین شد. واحد کارکردی در این مطالعه، تولید یک تن پسته تعیین شد. مرز سیستم تا مرحله تولید کشاورزی در نظر گرفته شد. مرحله کشاورزی شامل روش‌های کشاورزی است که توسط کشاورز به کار برده می‌شود مانند آبیاری و روش‌های آن، کنترل علف‌های هرز، هرس، مدیریت استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها (شکل ۲).

داده‌های لازم برای این مطالعه به دو دسته داده‌های اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند. داده‌های اولیه شامل میزان کودها و آفت‌کش‌های مصرف شده، میزان برداشت میوه پسته، مصرف آب و الکتریسیته برای آبیاری، مصرف سوخت برای تراکتور و سایر ماشین‌آلات و ... می‌باشد. این داده‌ها از طریق مشاهده، پرسشنامه جمع‌آوری شد. پرسشنامه‌ها از طریق مصاحبه حضوری با کشاورزان تکمیل گردید. داده‌های اقلیمی و خاکی نیز از «مرکز تحقیقات پسته» واقع در شهرستان رفسنجان جمع‌آوری شد. داده‌های ثانویه شامل منابع داده‌های مختلف است؛ مقالات بین‌المللی که برای برآورد داده‌هایی که جمع‌آوری

1. Brentrup

لوفوکس در مرحله داشت استفاده می‌شود. برای مقابله با علف‌های هرز از رنداپ و پاراکوات بهره گرفته می‌شود. برای آبیاری از نیروی الکتریسیته برای پمپاژ آب استفاده می‌شود. از ماشین آلات برای مقابله برای علف هرز و سم پاشی درختان استفاده می‌شود. در جدول ۱ صورت‌برداری چرخه حیات برای به ازای یک تن پسته تولیدی آورده شده است.

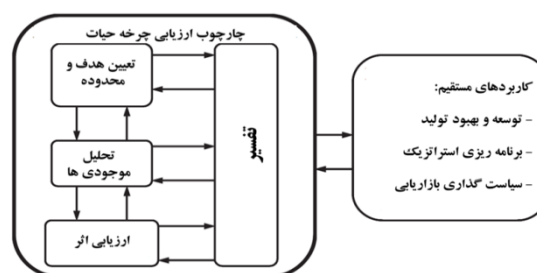
جدول ۱- صورت‌برداری چرخه حیات به ازای یک تن پسته

ورودی	واحد	مترمکعب	۱۰۴۵۴
آبیاری	مترمکعب		۱۰۴۵۴
کودها	اوره	کیلوگرم	۱۸۵
	تریپل فسفات	کیلوگرم	۴۵۰
	سولفات پتاسیم	کیلوگرم	۲۷۰
	سولفات آمونیوم	کیلوگرم	۱۸۰
کود دامی	تن		۲۷/۵
آفت‌کش‌ها			
حشره‌کش‌ها	کیلوگرم		۵/۵
علف‌کش‌ها	کیلوگرم		۴/۵
قارچ‌کش‌ها	کیلوگرم		۴/۵
سوخت مصرفی (گازوئیل)	لیتر		۸۲۰
الکتریسیته	کیلووات		۶۷۰۰
انتشار	نیترات	کیلوگرم	۱۷/۱
	فسفات	کیلوگرم	---
	NH <sub>3</sub>	کیلوگرم	۲۵/۲
	CO <sub>2</sub>	کیلوگرم	۲۳۵۵
	CO	کیلوگرم	۲۵/۳
	N <sub>2</sub> O	کیلوگرم	۲/۵
	NO <sub>x</sub>	کیلوگرم	۵/۵
	N <sub>2</sub>	کیلوگرم	۳/۵

بعد از جمع‌آوری اطلاعات لازم از مزرعه و محاسبه انتشارات از روش‌های معتبر جهانی برنتراپ و همکاران (۲۰۰۰) و نیمک<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۷) سپس داده‌ها به نرم‌افزار SimaPro 8.0.430 وارد و نتایج تحقیق به شرح زیر به دست آمد.

IPCC (۱۹۹۶) و ساوله<sup>۱</sup> و پوتینگ<sup>۲</sup> (۲۰۱۳) ارائه شده است. برای برآورد انتشار آفت‌کش‌ها به هوا از روش پیشنهادی وان در برگ<sup>۳</sup> و همکاران (۱۹۹۹) استفاده شد. اسپری کردن و تصعید پس از آن، دلایل اصلی انتشار آفت‌کش‌ها هستند.

در مرحله بعد به ارزیابی اثر و طبقات اثر پرداخته شد تا بتوان مشخص ساخت که کدام طبقات اثر لحاظ شوند و نیز برای ارزیابی تأثیر از چه روشی استفاده شود. در این مطالعه، همه ده طبقه اثر موجود در روش مطرح شده است. این ده طبقه اثر شامل تهی‌سازی منابع غیرزنده، پتانسیل اسیدی شدن، پتانسیل پرغذایی، پتانسیل گرمایش جهانی، پتانسیل کاهش لایه اوزون، پتانسیل سمیت برای انسان، پتانسیل سمیت برای آبزیان آب‌های شیرین، پتانسیل سمیت برای آبزیان آب‌های دریایی، پتانسیل سمیت برای اکوسیستم‌های خشکی، پتانسیل تشکیل اکسید فتوشیمیایی به منظور تعیین اثرات لحاظ گردید. در این مطالعه برای ارزیابی اثر چرخه حیات از نرم‌افزار SimaPro 7.2 استفاده شد.

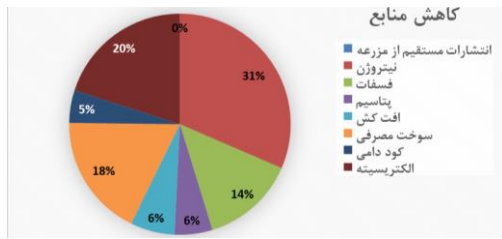


شکل ۲- مراحل اجرای ارزیابی چرخه حیات (ISO, 2006)

### یافته‌های پژوهش

در این بخش ابتدا به مرحله صورت‌برداری سامانه تولیدی پسته در شهرستان رفسنجان پرداخته شد و سپس نتایج به دست آمده از نرم‌افزار سیماپرو در طبقات اثر گرمایش جهانی، کاهش لایه اوزون، پرغذایی، سمیت برای انسان، سمیت برای اکوسیستم‌های خشکی، کاهش منابع غیرزنده، سمیت برای آب‌های شیرین، پتانسیل تشکیل اکسید فتوشیمیایی ارائه گردید. در سیستم کشت تولیدی پسته در شهرستان رفسنجان از انواع کودهای شیمیایی، به ویژه کود اوره، کودهای فسفات‌دار و کودهای پتاسیم‌دار استفاده می‌شود. همچنین از کود حیوانی نیز استفاده می‌شود. از حشره‌کش‌هایی همچون دیازنون و

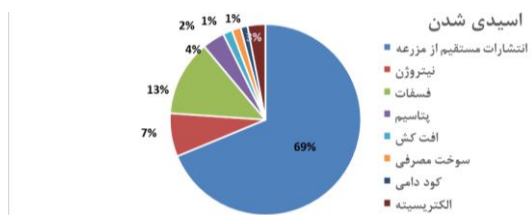
- 1.Sahle
- 2.Potting
- 3.Van den Berg



شکل ۴- مقدار اثر هر یک از ورودی‌ها بر طبقه اثر تخلیه منابع زنده

اسیدی شدن

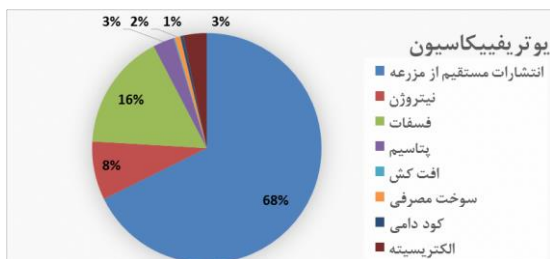
این طبقه اثر تأثیر مواد اسیدزا آزاد شده به اکوسیستم‌ها را نشان می‌دهد. به ازای تولید هر تن پسته تولیدی ۷۶/۳۶ کیلوگرم SO<sub>2</sub> به محیط زیست منتشر می‌شود که دارای اثرات اسیدی شدن است. مهم‌ترین بخش‌هایی که روی اسیدی شدن تأثیر دارند می‌توان به انتشارات مستقیم از مزرعه، کودها و الکتریسیته اشاره کرد. عوامل مؤثر در اسیدی شدن در شکل ۵ آورده شده است.



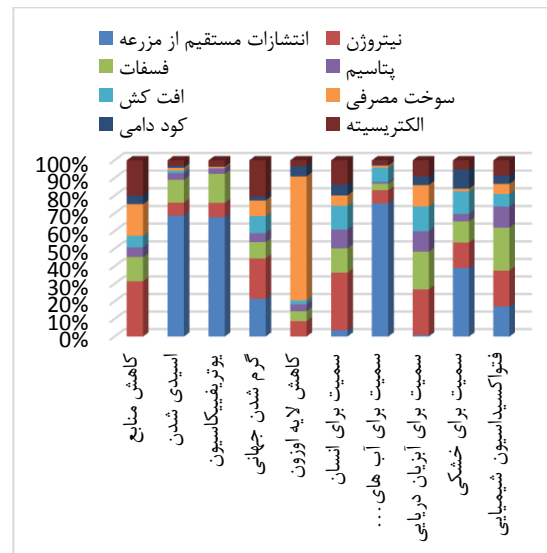
شکل ۵- مقدار اثر هر یک از ورودی‌ها بر طبقه اثر اسیدی شدن

پرغذایی

پرغذایی یا اتروفیکاسیون برای یک تن پسته تولیدی در شرایط رفسنجان معادل ۱۸/۲ کیلوگرم PO<sub>4</sub> به محیط وارد می‌شود. در تولید پسته انتشارات مستقیم از مزرعه و بعد آن کودها بیشترین اثر را روی پرغذایی را در سامانه تولیدی داشتند. در شکل ۶ سهم هر کدام از ورودی‌ها بر پرغذایی آورده شده است. خدا رضایی و همکاران (۱۳۹۴) پرغذایی را برای منطقه طارم ۸/۲۵ کیلوگرم PO<sub>4</sub> به ازای ی‌تن زیتون تولیدی محاسبه کردند. تلفات از ترکیبات دارای نیتروژن و فسفر که در مزرعه استفاده می‌شوند منشأ اصلی پرغذایی هستند.



شکل ۶- مقدار اثر هر یک از ورودی‌ها بر طبقه اثر پرغذایی



شکل ۳- ارزیابی اثرات محیط‌زیستی کشت پسته

در این تحقیق داده‌ها با روش CML 2 baseline 2000/ world 1995 تحلیل شد. نتایج عددی در جدول ۲ به شرح زیر است.

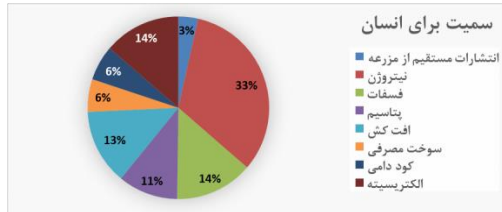
جدول ۲- مقدار اثرات محیط‌زیستی تولید یک تن تولید پسته

مقدار	واحد	طبقه اثر
۵۲/۴۲	کیلوگرم	کاهش منابع غیرزنده
۷۶/۳۶	کیلوگرم SO <sub>2</sub>	اسیدی شدن
۲۳۸۰/۵	کیلوگرم CO <sub>2</sub>	گرمايش جهانی
۰/۰۰۰۹۲	کیلوگرم CFC	کاهش لایه ازن
۱۱۲۳/۵	کیلوگرم DB ۱.۴	سمیت برای انسان
۹۵۱	کیلوگرم DB ۱.۴	سمیت آبریان آب شیرین
۲۰۸۵۵۱/۳	کیلوگرم DB ۱.۴	سمیت آبریان دریایی
۲۶/۶۸	کیلوگرم DB ۱.۴	سمیت برای خاکریان
۱/۲۷	کیلوگرم C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	اکسیداسیون فتوشیمیایی
۱۸/۲	کیلوگرم PO <sub>4</sub> -	پرغذایی

کاهش منابع غیرزنده

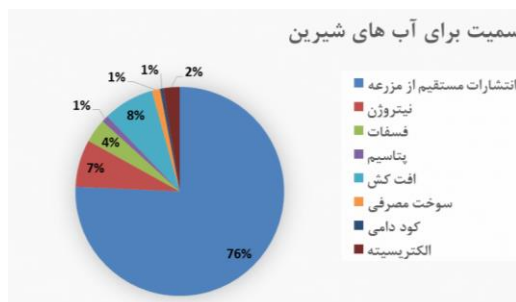
کاهش منابع غیرزنده مربوط به استفاده از منابع غیرزنده مانند سوخت‌های فسیلی یا مواد معدنی است که دسترسی نسل‌های آینده به این منابع کاهش می‌دهد. مقدار این طبقه اثر برای تولید یک تن پسته معادل ۵۲/۴۲ کیلوگرم sb می‌باشد. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که کودها بیشترین اثر و بعد آن الکتریسیته و گازوییل در کاهش منابع غیرزنده نقش داشتند. مقدار اثر هر یک از ورودی‌ها بر تخلیه منابع زنده در شکل ۴ آورده شده است.

پسته ۱۱۲۳/۵ کیلوگرم DB-۱,۴ است. کودها، الکتروسیته و آفت‌کش‌ها بیشترین اثر را بر سمیت برای انسان به همراه داشت. سهم هر کدام از ورودی‌ها در طبقه اثر سمیت برای انسان در شکل ۹ آورده شده است.



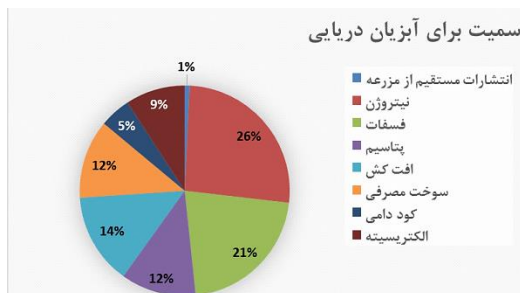
شکل ۹- مقدار اثر هر یک از ورودی‌ها بر طبقه اثر سمیت برای انسان

سمیت برای آب شیرین - مقدار عددی محاسبه شده برای این طبقه اثر در این تحقیق به ازای تولید یک تن پسته ۹۵۱ کیلوگرم DB-۱,۴ به دست آمد. انتشارات مستقیم از مزرعه، کودها و الکتروسیته بیشترین تأثیر را بر سمیت برای آب شیرین به همراه داشت (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- مقدار اثر هر یک از ورودی‌ها بر طبقه اثر سمیت برای آب شیرین

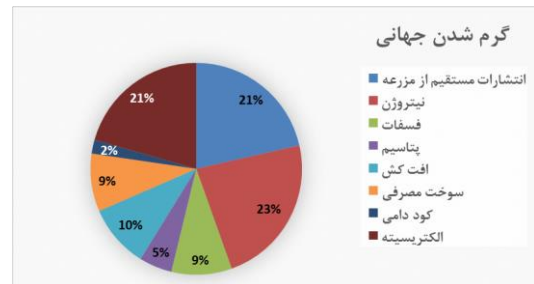
سمیت برای آب شیرین دریایی - شرایط رفسنجان برای تولید یک تن پسته مقدار سمیت برای آب شیرین دریایی معادل ۲۰۸۵۵۱ کیلوگرم DB-۱,۴ به دست آمد. کودهای شیمیایی بیشترین تأثیر را داشتند بعد از آن آفت‌کش‌ها بودند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- مقدار اثر هر یک از ورودی‌ها بر طبقه اثر سمیت برای آب شیرین دریایی

پتانسیل گرمایش جهانی

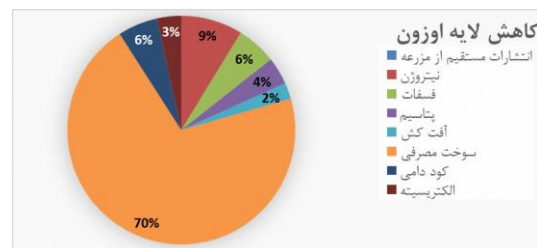
گرمایش جهانی یکی از مهم ترین مسائل حال حاضر در جهان محسوب می شود. در تحقیق حاضر به ازای هر تن پسته تولیدی در شرایط رفسنجان ۲۳۸۰/۵ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن به محیط آزاد می‌شود. در این طبقه اثر کودها و بعد از الکتروسیته بیشترین تأثیر را داشتند. مقدار اثر هر یک از ورودی‌ها بر این طبقه اثر در شکل ۷ آورده شده است.



شکل ۷- مقدار اثر هر یک از ورودی‌ها بر طبقه اثر گرم شدن جهانی

تخریب لایه اوزون

این طبقه اثر تأثیر مواد انتشار یافته در از بین بردن لایه اوزون را کمی می‌کند. مقدار عددی تخریب لایه اوزون معادل ۰/۰۰۰۹۲ کیلوگرم CFC-11 به ازای هر تن تولیدی پسته است. سوخت مصرفی دیزل و کود شیمیایی در تخریب لایه اوزون بیشترین سهم را داشتند. سهم عوامل مؤثر در تخریب لایه اوزون در شکل ۸ زیر آورده شده است.



شکل ۸- مقدار اثر هر یک از ورودی‌ها بر طبقه اثر تخریب لایه اوزون

سمیت

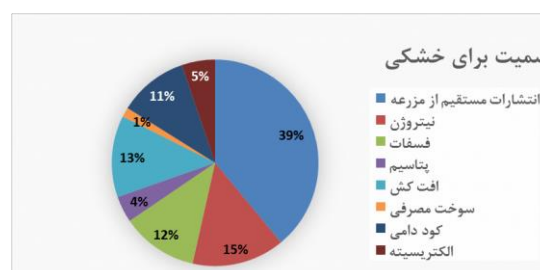
در نرم‌افزار سیمپرو روش CML2baseline2000V2.05 و نرمال‌سازی 4 world 1995 نوع سمیت بررسی می‌شود؛ که شامل سمیت برای انسان، سمیت برای خاکزبان، سمیت برای آب‌های شیرین و سمیت برای آب شیرین دریایی می‌باشد. سمیت بیشتر ناشی از انتشار آفت‌کش‌ها و استفاده از کودها است

سمیت برای انسان

در مطالعه حاضر در طبقه اثر سمیت برای انسان برای کشت

سمیت برای خاکزیان

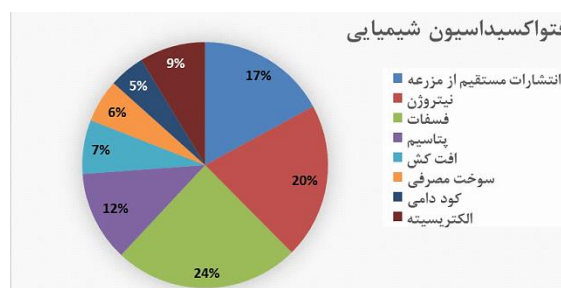
سمیت برای خاکزیان به ازای یک تن پسته تولیدی معادل ۲۶/۶۸ کیلوگرم  $DB-1,4$  به دست آمد. بیشترین تأثیر را بر روی این طبقه اثر مربوط به انتشارات مستقیم از تولید و بعد از آن کودها و الکتريسيته است (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- مقدار اثر هر یک از ورودی‌ها بر طبقه اثر سمیت برای خاکزیان

پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی

آخرین طبقه موردبررسی پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی است که مقدار آن معادل ۱/۲۷ کیلوگرم  $C_2H_4$  به ازای یک تن پسته تولیدی به دست آمد. در این طبقه اثر کودها به خصوص کود فسفات و بعد از آن انتشارات مستقیم از تولید بیشترین تأثیر را داشتند (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- مقدار اثر هر یک از ورودی‌ها بر طبقه اثر اکسیداسیون فتوشیمیایی

بحث و نتیجه گیری

ارزیابی اثرات محیط زیستی تولید پسته در رفسنجان نشان داد که استفاده از دیزل و الکتريسيته به عنوان منبع انرژی منجر به انتشار  $CO_2$ ،  $NO_x$ ،  $SO_x$  و فلزات سنگین به محیط می‌شود. در تحقیق حاضر کارایی پایین آبیاری به وضوح قابل مشاهده است. برای پمپاژ این آب از نیروی الکتريسيته استفاده می‌شود که این خود بر طبقه اثرات کاهش منابع و گرمایش جهانی اثرات قابل مشاهده‌ای دارد. طبق نتایج تحقیقات بوستو و بلنجینی (۲۰۰۹) در زمینه سناریو بهبود کشاورزی، با اجرایی شدن سیستم قطره‌ای کردن باغ‌ها مصرف آب کاهش و در

نتیجه نیروی برق کمتری استفاده می‌شود. در طبقه اثر کاهش منابع بیشترین اثرات مربوط به کودها و الکتريسيته بود. با تقسیط کوددهی می‌توان از میزان مصرف کودها کاست و در نتیجه اثرات ناشی از آن‌ها کاهش یابد.

تجزیه و تحلیل داده‌های تولید پسته نشان داد که انتشارات ناشی از کودها در طبقات کاهش منابع، گرم شدن جهانی، سمیت برای انسان، سمیت برای آبزیان دریایی و فتواکسیدان شیمیایی بیشترین نقش را داشت. این نتایج با نتایج بررسی‌های فتا و آوارامیدس (۲۰۰۸) مطابقت دارد. در مراحل تولید پسته از ماشین‌آلات برای سم‌پاشی و مبارزه با علف‌های هرز استفاده می‌شود انتشارات ناشی از سوختن گازوییل باعث آزاد شدن  $CO_2$ ،  $NO_x$  و  $SO_x$  می‌شود. انتشارات ناشی از مصرف سوخت‌ها بیشترین اثر را در تخریب لایه اوزون دارد. با توجه به نتایج بررسی‌های هوکازونو و همکاران (۲۰۰۹) در زمینه نقش کشاورزی مدرن در کاهش گازهای گلخانه‌ای، استفاده از ماشین‌آلات جدیدتر و با تکنولوژی بالاتر باعث می‌شود که سوخت کمتری مصرف و در نتیجه میزان انتشارات ناشی از مصرف کاهش می‌یابد.

اوره و سایر کودهای نیترژنه باعث انتشار گازهای  $NO_x$ ،  $N_2O$  و  $NH_3$  به هوا و  $NO_3$  به آب‌های زیرزمینی می‌شود. با مصرف تقسیطی کودها به ویژه کود اوره می‌توان از آبهویی و انتشار گازهای آن‌ها کاست.

آفت‌کش‌های مورد استفاده باعث تشدید اثرات بر طبقه اثرهای سمیت شد. با توجه به نتیجه تحقیق مبنی بر اثرات بر تخلیه منابع پیشنهاد می‌شود با استفاده از کودهای بیولوژیک و کمپوست و همچنین تقسیط کوددهی تأثیر کودها را بر این طبقه اثر کاهش داد. در طبقه اثر اسیدی شدن تولید پسته بیشترین سهم اثر مربوط به انتشارات مستقیم از باغ و بعد از آن کود شیمیایی به خصوص فسفر بیشترین اثر را داشت. این نتیجه مطابق با نتایج بررسی فتا و آوارامیدس (۲۰۰۸) می‌باشد. در طبقه اثر گرم شدن جهانی کود شیمیایی و الکتريسيته بیشترین اثر را داشتند و این نتیجه مطابق نتایج تحقیقات شاه محمدی و همکاران (۱۳۹۵) می‌باشد. در طبقه اثر پرغذایی، تولید مستقیم از باغ و کودها به خصوص کود فسفات بیشترین سهم را داشتند. در طبقه اثر تخریب لایه اوزون بیشترین اثر مربوط به مصرف دیزل و بعد از آن کودها بود. در طبقه اثر سمیت برای انسان، کودها بیشترین اثر و بعد از آن آفت‌کش‌ها بیشترین تأثیر را



شیری، م؛ عطایی، ر؛ گل زردی، ف (۱۳۹۷). بررسی چرخه حیات (LCA) نظام تولید ذرت در شرایط آب و هوایی مغان، علوم محیطی، دوره ۱۶، شماره ۱، ص ۱۹۱-۲۰۶.

مجلس شورای اسلامی - (۱۳۸۸) - پایگاه اطلاع رسانی مرکز پژوهش‌های شورای اسلامی، گزارش مرکز پژوهش‌ها درباره چگونگی اصلاح الگوی مصرف کود، سم، بذر و نهال در بخش کشاورزی ایران [www.Majles.ir](http://www.Majles.ir).

میرحاجی، ح؛ خجسته پور، م.ح؛ مهدوی شهری، س.م (۱۳۹۱). ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید چغندر (*Beta vulgaris.L*) با روش ارزیابی چرخه حیات (مطالعه موردی: مزارع استان خراسان جنوبی). نشریه بوم‌شناسی کشاورزی- جلد ۴ - شماره ۲، ص ۱۲۰-۱۱۲. Blengini, G. A. & Busto, M. (2009). The life cycle of rice: LCA of alternative agri-food chain management systems in Vercelli (Italy). Journal of environmental management, 90(3):1512-1522.

Brentrup, F. Kuster S, j. Kuhlmann, H. and Lammel, j. (2001). Application of the live Cycle Assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different Froms of nitrogen fertilizers. European journal of Agronomy, 14:221-233.

Danni chang a, C.K.M Lee b,\* , Chun- Hsien Chen. Review of life cycle assessment to wards sustainable product development. Journal of Cleaner Production. 83(2014), 48-54

Rebitzer G, Ekvall, T., Baumann, H., 2005. Life cycle assessment: expectations, drawbacks and perspectives. J. Clean. Prod. 1 (3-4), 131-137.

Hunt, R.G., Franklin, W.E., 1996. LCA how it came about personal reflections on the origin and the development of LCA in the USA. Int. j. LCA 1(1), 4-7.

Fava, J.A., Denison, R., Jones, B., Curran, M.A., Vigon, B., S., 1991. A Technical Chemistry, Framework for Life-cycle Assessment. Society of Environmental Toxicology and Washington, DC, USA.

Ekvall, t., 2002. Cleaner production tools: LCA and beyond. Journal of Cleaner Production. 10(5), 403-406.

Russell, A., Ekvall, T., Baumann, H., 2005. Life cycle assessment e introduction and overview. J. Clean. Prod. 13(13-14), 1207-1210.

Avraamides, M. & Fatta, D. (2008). Resource consumption and emissions from olive oil production: A life cycle inventory case study in Cyprus. Journal of Cleaner Production. 16:809-821.

Hokazono, S. Hayashi, K. & Sato, M. (2009). Potentialities of organic and sustainable rice production in Japan from a life cycle perspective. Paper presented at the Agronomy Research.

Blengini, G. A. & Busto, M. (2009). The life cycle of rice: LCA of alternative agri-food chain

داشتند. در طبقه اثر سمیت برای آبیان آب شیرین تولید مستقیم از باغ بیشترین اثر را داشت. در طبقه اثر سمیت برای خاکزیان تولید مستقیم بیشترین اثر و بعد از آن کودها و افت‌کش‌ها بیشترین اثر را داشتند. کودهای فسفاته بیشترین اثر را در طبقه اثر اکسیداسیون شیمیایی داشت. این نتیجه با نتایج تحقیقات شیری و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد. با توجه به آنچه گفته شد و هدف اصلی نظام‌های تولید پایداری آن‌ها است باید در راستای پایداری نظام تولیدی حرکت کرد شکل پایین نمایی کلی از چهارچوب ارزیابی برای پایداری می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از بخش یافته‌های تحقیق پیشنهادها بر دو نوع استراتژی‌های ساختاری و استراتژی‌های آگاه‌سازی ارائه می‌شود.

#### • استراتژی‌های ساختاری

تعمیر ماشین‌آلات قدیمی یا استفاده از ماشین‌آلات جدید برای افزایش راندمان مصرف نهاده‌ها؛ توسعه سیستم‌های آبیاری قطره‌ای؛ استفاده از ارقام اصلاح‌شده جدید مناسب منطقه؛

#### • استراتژی‌های آگاه‌سازی

آموزش روش‌های تلفیقی مبارزه با آفات و بیماری‌های مهم؛ آموزش کشاورزان به منظور ارتقا سواد محیط زیستی؛ کاهش مصرف کودهای شیمیایی و جایگزین کردن آن‌ها با کود دامی و بیولوژیک؛ تقسیم کودهای نیتروژنه و استفاده از کودهای ریزمغذی موردنیاز پسته؛ تشکیل دفتر چرخه حیات برای ایجاد پایگاه داده ملی LCI محصولات کشاورزی؛ حمایت سازمان‌های دولتی از پروژه‌هایی که ارزیابی اثرات محیط‌زیستی محصولات کشاورزی را انجام می‌دهند.

#### منابع

خرم دل، س؛ نصیری محلاتی، م؛ معلم بنهنگی، ف و ملافیلابی، ع (۱۳۹۸). بررسی اثرات زیست محیطی نظام‌های تولید زعفران (*Crocus sativus L*). تحت تاثیر اندازه زمین با استفاده از ارزیابی چرخه حیات، فصلنامه زراعت و فناوری زعفران، دوره ۷، شماره ۲.

شاه محمدی، ع. ر؛ ویسی، ه؛ خوشبخت، ک، مهدوی دامغانی، ع؛ سلطانی، ا (۱۳۹۵). ارزیابی چرخه حیات تولید سیب‌زمینی به روش نیمه مکانیزه در ایران: مطالعه موردی، استان مرکزی. مجله مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۴۷، شماره ۴، ص ۶۶۶-۶۵۹.

hinreichende Lösungsansätze zur Minderung-  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft  
(FAL), Braunschweig, Germany .

management systems in Vercelli (Italy). Journal of  
environmental management, 90(3):1512-1522.

Isermann, K. (1990): Ammoniac Emissionen der  
Landwirtschaft, ihrer Stickstoffbilanz- und