

Investigating the ecological impacts caused by the acidification and eutrophication of the terrestrial ecosystem in two geographical areas

Mohsen Noori¹, Salim Farzaneh^{2*} , Alireza Shahriari³, Seyed Raouf Seyed Sharifi⁴, Abbas Keshtehgar⁵

1. PhD of Agrotechnology-Crop Ecology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. *Corresponding Author*, Associate Professor of Agronomy, Seed Science and Technology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3. Associate Professor of landscape Design Engineering Department, Geography and Environmental planning Faculty, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
4. Professor of Agronomy- Crop Physiology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
5. PhD of Agroecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 07 June 2023

Revised: 18 November 2023

Accepted: 09 December 2023

Keywords:

Acidification, Water resources depletion, Eco-X index, Eutrophication, One ton of forage.

ABSTRACT

Nowadays, following the development of agriculture, there are concerns about adverse environmental consequences such as water, soil, air pollution, fertility reduction, soil erosion, and resource depletion based on the use of non-renewable inputs, which require a solution in this regard. This study was conducted in Gorgan and Zahedan counties during the agricultural year of 2018-2019 to evaluate the environmental impacts caused by the acidification and eutrophication of the terrestrial ecosystem and resource depletion. In this study, water consumption, vermicompost fertilizer, nitrogen fertilizer nano chelate, phosphorus nano chelate, potassium fertilizer nano chelate, and chemical fertilizer consumption (from the source of urea, triple superphosphate, and potassium sulfate) are considered as inputs susceptible to environmental damage. In general, for one ton of purslane forage production, Gorgan County creates fewer ecological burdens than Zahedan County due to less consumption of inputs in all impact sectors. Based on the final index results, it concluded that the highest environmental damage potential in Zahedan County is related to the impact group of water resources depletion with the amount of 3.18 m³, and in Gorgan County, related to the impact group of terrestrial ecosystem acidification with the amount of 1.608 kilograms is equivalent to one kilogram of SO₂ in the production of one ton of purslane forage, and the lowest environmental damage potential in both the cities of Zahedan and Gorgan is related to the groups of phosphate and potassium depletion with partial amounts. Based on the evaluation results of the ecological index (Eco-X) and the resource depletion index (RDI) per ton of purslane forage production, Zahedan County has a higher ecological index (Eco-X = 3.387) than Gorgan County (Eco-X = 2.899) and created more ecological burdens. However, the resource depletion index (RDI) was calculated for Zahedan County as (RDI = 3.188) and Gorgan County as (RDI = 1.456).

Cite this article: Noori, M., Farzaneh, S., Shahriari, A., Seyed Sharifi, S. R., & Keshtehgar, A. (2023). Investigating the ecological impacts caused by the acidification and eutrophication of the terrestrial ecosystem in two geographical areas. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 13(40), 23-40. DOI: 10.22111/jneh.2023.45867.1969



© Salim Farzaneh

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2023.45867.1969

* Corresponding Author Email: s.farzaneh@uma.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۴۰، تیر ۱۴۰۳

ارزیابی اثرات زیست محیطی ناشی از اسیدی و مردابی شدن اکوسیستم خشکی در دو منطقه جغرافیایی

محسن نوری^۱، سلیم فرزانه^{۲*}، علیرضا شهریاری^۳، رئوف سید شریفی^۴، عباس کشته گر^۵

۱. دکتری آگرو تکنولوژی-اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۲. دانشیار زراعت، علوم و تکنولوژی بذر، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول)
۳. دانشیار گروه فضای سبز، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
۴. استاد زراعت-فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۵. دکتری آگرو اکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	امروزه به دنبال توسعه کشاورزی، نگرانی‌هایی در مورد پیامدهای نامطلوب زیست محیطی مانند آلودگی آب، خاک، هوا، کاهش حاصلخیزی، فرسایش خاک و تخلیه منابع بر پایه استفاده از نهاده‌های غیرقابل تجدید بوجود آمده است که نیازمند چاره اندیشی در این باره است. این پژوهش به منظور ارزیابی اثرات زیست محیطی ناشی از اسیدی و مردابی شدن اکوسیستم خشکی و تخلیه منابع، طی سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در دو شهرستان گرگان و زاهدان انجام شد. در این پژوهش مصرف آب، کود ورمی کمپوست، مصرف نانو کلات کود نیتروژن، نانو کلات کود فسفر و نانو کلات کود پتاسیم، و مصرف کامل کود شیمیایی (از منبع اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم) به عنوان نهاده‌های ورودی مستعد آسیب به محیط زیست در نظر گرفته شدند. به طور کلی به ازای تولید یک تن علوفه خرفه، شهرستان گرگان به دلیل مصرف کمتر نهاده‌ها در تمامی بخش‌های اثر بارهای محیطی کمتری نسبت به شهرستان زاهدان ایجاد می‌کند. بر اساس نتایج شاخص نهایی می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین پتانسیل آسیب زیست محیطی در شهرستان زاهدان مربوط به گروه تاثیر تخلیه منابع آب به میزان ۳/۱۸ متر مکعب و در شهرستان گرگان مربوط به گروه تاثیر اسیدی شدن اکوسیستم خشکی با مقدار ۱/۶۰۸ کیلوگرم معادل کیلوگرم SO ₂ در تولید یک تن علوفه خرفه بوده است، همچنین کمترین پتانسیل آسیب زیست محیطی در هر دو شهرستان زاهدان و گرگان مربوط به گروه‌های تاثیر تخلیه منابع فسفات و پتاسیم با مقادیر بسیار ناچیز می‌باشد. بر اساس نتایج ارزیابی شاخص زیست محیطی (Eco-X) و شاخص تخلیه منابع (RDI) به ازای تولید یک تن علوفه خرفه، شهرستان زاهدان شاخص زیست محیطی (Eco-X = ۳/۳۸۷) بالاتری را نسبت به شهرستان گرگان (Eco-X = ۲/۸۹۹) نشان داد و فشارهای محیطی بیشتری ایجاد کرد. اما شاخص تخلیه منابع (RDI) برای شهرستان زاهدان به میزان (RDI = ۳/۱۸۸) و برای شهرستان گرگان به میزان (RDI = ۱/۴۵۶) محاسبه گردید.

استناد: نوری، محسن، فرزانه، سلیم، شهریاری، علیرضا، سید شریفی، رئوف، کشته گر، عباس. (۱۴۰۲). ارزیابی اثرات زیست محیطی ناشی از اسیدی و

مردابی شدن اکوسیستم خشکی در دو منطقه جغرافیایی. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳(۴۰): ۲۳-۴۰.

DOI: 10.22111/jneh.2023.45867.1969



© محسن نوری، سلیم فرزانه، علیرضا شهریاری، رئوف سید شریفی، عباس کشته گر.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

امروزه تولیدات کشاورزی عموماً بر پایه استفاده از منابع محدودی مثل سوخت‌های فسیلی، منابع آبی و دیگر نهاده‌های غیرقابل تجدید می‌باشد که نگرانی‌هایی را در مورد مشکلات زیست‌محیطی مانند آلودگی آب، خاک، هوا، کاهش حاصلخیزی، فرسایش خاک و تخلیه منابع بوجود آورده (Nabavi-Pelesaraei et al., 2018)، و نیازمند چاره‌اندیشی در ارتباط با پیامدهای نامطلوب اکوسیستم‌های زمینی از جمله سمیت آب، سمیت خشکی، اسیدی و مردابی شدن خشکی، اشغال زمین، اسیدی و مردابی شدن آب می‌باشد (Prechsl et al., 2017; Jafari et al., 2018; Amiri et al., 2020). مطالعه جنبه‌های محیطی تولید محصولات کشاورزی بر کیفیت اکوسیستم از اهمیت بالایی برخوردار است (MacWilliam et al., 2014). جهت دستیابی به پایداری در بخش کشاورزی لازم است تا منابع تولید از جمله آب و زمین به بهترین وجه ممکن استفاده شوند تا ضمن کاهش مصرف منابع، سودآوری و رفاه کشاورزان افزایش یابد (Mardani Najafabadi et al., 2019).

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، فرآیند پیش‌بینی اثرات ناشی از فعالیت‌های یک پروژه بر فاکتورهای زیست‌محیطی مشتمل بر محیط‌های فیزیکی و شیمیایی، بیولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی طی فازهای ساختمانی و بهره‌برداری می‌باشد که پیامدهای مثبت یا منفی ناشی از آن بر اساس دوره‌های زمانی بلندمدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت و همچنین نحوه اثرگذاری به صورت مستقیم و غیرمستقیم مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر این اساس امروزه اکثر مصرف‌کنندگان متعهد به محیط‌زیست، حساسیت ویژه‌ای بر شاخص‌های زیست‌محیطی از فرایند تولید تا مصرف محصول دارند. 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 (Kropp et al., 2019). ارزیابی چرخه حیات^۱ (LCA) یکی از روش‌های ارزیابی اثرات محیطی است که بر مبنای ارزیابی اثرات ناشی از تولید یک محصول، فرآیند و یا یک فعالیت بوسیله تشخیص و کمی‌سازی انرژی و مواد استفاده شده، و ضایعات و پسماندهای تولیدی توسعه یافته است (Esmaeilzadeh et al., 2020). ارزیابی چرخه حیات مجموعه‌ای از روش‌های سیستماتیک برای گردآوری و ارزیابی مواد، انرژی ورودی و خروجی و اثرات محیط زیستی همراه یک سیستم تولید محصول در طول چرخه حیات آن می‌باشد (خانعلی و حسین‌زاده بندباف‌ها، ۱۳۹۶). با توجه به تعریف استاندارد ISO 14040، ارزیابی چرخه حیات (LCA) عبارت است از روشی که در آن کلیه اثرات زیست‌محیطی مرتبط با یک محصول، در کل چرخه حیات آن، از مرحله استخراج مواد خام تا تولید، مصرف، بازیافت، ضایعات حاصل و در نهایت دفع آن از گهواره تا گور، بر مبنای دو مؤلفه مصرف منابع و انتشار آلاینده‌ها به محیط زیست ارزیابی می‌شود (Kopiński, 2012).

مطالعات متعددی در زمینه اثرات زیست محیطی انجام شده است که می‌توان به آنها اشاره کرد. در یک تحقیق که در شالیزارهای استان گیلان انجام شد، اثرات زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی ارزیابی و میزان انتشار آلاینده‌ها بررسی شد (Nabavi-Pelesaraei et al., 2018). همچنین در مطالعه دیگری به پیش‌بینی عملکرد محصول و برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید محصول گندم پرداخته شد، هدف از این مطالعه پیش‌بینی عملکرد گندم و انتشار آلاینده‌ها بر اساس نهاده‌های انرژی ورودی بود (Khoshnevisan et al., 2013). صحابی و همکاران (Sahabi et al., 2016) انرژی مصرفی و کارایی مصرف انرژی زعفران در تربت حیدریه را به ترتیب ۲۱۵۸۰ مگاژول در هکتار و

¹ Life Cycle Assessment

۰/۰۰۳۵ محاسبه کردند. آنها عمده‌ترین موارد مصرف انرژی را به ترتیب به عملیات کاشت دستی پیاز (۵۹/۶۶ درصد)، مصرف کود نیتروژن (۱۳/۷۹ درصد) و کود دامی (۱۳/۳۵ درصد) مربوط دانستند. بختیاری و همکاران (Bakhtiari et al., 2015) انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظام‌های تولید زعفران را ۲۳۲۵/۵ معادل کیلوگرم CO₂ در هکتار برآورد کرده و عمده‌ترین عامل انتشار این گازها را به کودهای شیمیایی نسبت دادند.

خرفه^۱ گیاهی یک ساله و چهار کربنه از خانواده پرتولاکاسه^۲ است. این گیاه بومی ایران بوده (اسدی و همکاران، ۱۳۸۵) و به تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی مقاوم می‌باشد (کافی و رحیمی، ۱۳۸۹؛ رحیمی و همکاران، ۱۳۹۰). خرufe در بسیاری از کشورهای دنیا برای اهداف گوناگون از جمله تغذیه انسان، صنایع تبدیلی و دارویی کاربرد دارد (جوادی و همکاران، ۱۳۹۶؛ یوسفیان قهفرخی و همکاران، ۱۳۹۶).

با توجه به پایین آمدن سطح آب‌های زیرزمینی در کشور و با در نظر گرفتن شرایط کم‌آبی کشور؛ و همچنین، گرایش به بکارگیری ماشین آلات و استفاده فشرده از کودهای شیمیایی و آلی علاوه بر بروز مشکلات زیست محیطی همچون اسیدی شدن، مردابی شدن، آلودگی آب‌های زیرزمینی، تخلیه منابع آب و تخلیه منابع غیر زنده کاهش کیفیت محصولات کشاورزی را نیز موجب شده است. بدین ترتیب، با توجه به اهمیت ارزیابی چرخه حیات و برآورد انتشار آلاینده‌های زیست محیطی، به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، بررسی و مقایسه اثرات زیست محیطی نظام تولید خرufe در شهرستان‌های زاهدان و گرگان تحت مدیریت سطوح مختلف کودی در شرایط استفاده از ورمی-کمپوست انجام گردید. در این پژوهش مصرف آب، مصرف کود ورمی‌کمپوست، مصرف نانو کلات‌های کود نیتروژن، کود فسفر و کود پتاسیم، و مصرف کامل کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به عنوان نهاده‌های ورودی مستعد آسیب به محیط زیست شناسایی شدند. سپس پتانسیل انتشار آلاینده‌ها و میزان مصرف منابع برای این نهاده‌ها در گروه‌های تأثیر مختلف بررسی شد و شاخص زیست‌محیطی (Eco-X) و شاخص تخلیه منابع (RDI) برای آنها برآورد گردید. در نهایت نتایج برآورد شده از این شاخص‌ها بین شهرستان‌های گرگان و زاهدان مقایسه و میزان فشارهای محیطی وارد شده در دو منطقه جغرافیایی شمال و جنوب کشور محاسبه گردید. بر این اساس ضمن تحلیل چرخه تولید محصول، پیشنهاد می‌شود منابع تولید از جمله آب و کودهای شیمیایی و آلی به بهترین وجه ممکن استفاده شوند و علاوه بر کاهش مصرف منابع و انتشار آلاینده‌ها، جهت ارتقاء کارایی محیطی در تولید محصول خرufe اقدام کرد.

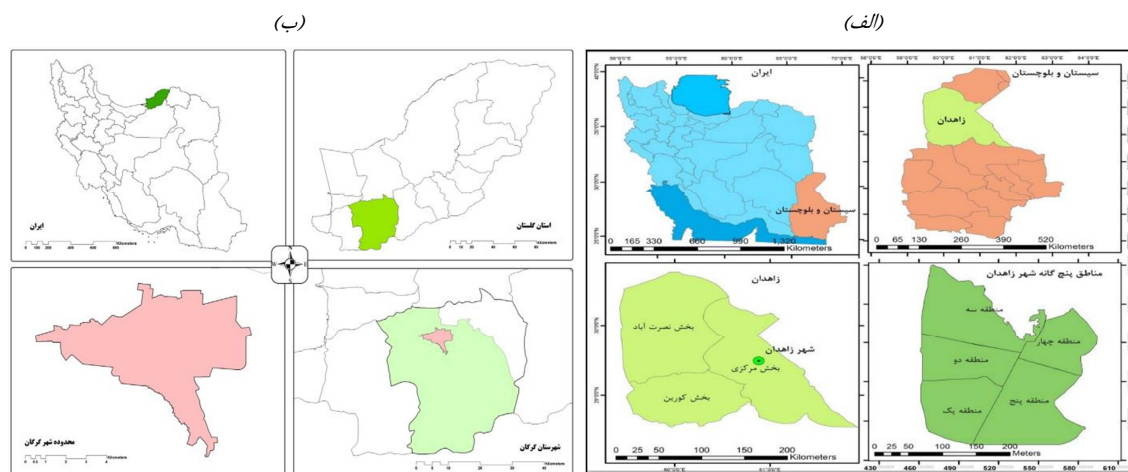
داده ها

این پژوهش طی سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در دو شهرستان گرگان و زاهدان انجام شد. شهر زاهدان، با مختصات جغرافیایی ۶۰/۵۲ طول شرقی و ۲۹/۳۰ عرض شمالی در ارتفاع ۱۳۷۳ متر از سطح دریا قرار دارد. اقلیم این منطقه از نوع معتدل و خشک و نیمه کوهستانی می‌باشد. شهرستان گرگان نیز با طول جغرافیایی ۵۴/۲۶ و عرض جغرافیایی ۳۶/۵۰ در ارتفاع حدود ۱۶۰ متر از سطح دریا واقع شده است. این منطقه از نظر هواشناسی جزء مناطقی با آب و

¹ *Portulaca oleracea* L.

² Portulacaceae

هوای معتدل خزری یا مدیترانه‌ای است که بطور معمول از غرب مازندران بارش کمتری دارد و تابستان‌های آن نسبتاً گرم و شرجی است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهرستان زاهدان. منبع: روستا و همکاران، ۱۳۹۷ (الف) و شهرستان گرگان. منبع: میرکتولی و حسینی، ۱۳۹۲ (ب).

نتایج آزمون خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مزرعه هر دو منطقه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک مزرعه مناطق مورد آزمایش

مکان	بافت	رس	سیلت	شن	کربن آلی نیتروژن			فسفر	پتاسیم	pH	EC
					(درصد)	(میلی گرم بر کیلوگرم)	(میلی گرم بر کیلوگرم)				
زاهدان	شن لومی	۱۲	۲۴	۶۴	۰/۱۳	۰/۰۱	۳	۲۴۰	۸/۰۶	۶/۹۹	
گرگان	لوم سیلتی	۳۲/۸	۴۴	۲۳/۲	۱/۵۸	۰/۱۴	۱۱/۳	۳۳۵	۷/۷۳	۱/۰۷	

این مطالعه به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. کاربرد کود شیمیایی و نانو در شش سطح شامل شاهد یا عدم کاربرد کود، نانوذره نیتروژن، فسفر و پتاسیم (به ترتیب با نسبت‌های ۳، ۲ و ۲ در هزار) و مصرف کود شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (به ترتیب ۲۰۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار)، به عنوان عامل اول و چهار سطح مختلف ورمی‌کمپوست شامل شاهد یا عدم مصرف ورمی‌کمپوست، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار به عنوان عامل دوم بودند. کودهای نانو از شرکت خضرا تهیه و بر اساس دستورالعمل در دو مرحله رشدی گیاه خرفه قبل از شروع گلدهی محلول‌پاشی شدند. کودهای شیمیایی نیتروژن از منبع اوره و در دو مرحله (یک دوم قبل از کاشت و در اوایل بهار، یک دوم پس از چین اول) به صورت سرک، فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل و پتاسیم منبع سولفات پتاسیم تامین شدند.

علوفه خشک پس از جداسازی دانه، از قرار دادن اندام‌های هوایی در آن دیجیتال (مدل PTN 55، ساخت شرکت پارس طب نوین کشور ایران) با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۷۲ ساعت و پس از توزین آنها به دست آمد. جهت محاسبه عملکرد علوفه خشک از میانگین مجموع عملکرد این صفات در دو مرحله برداشت (دو چین) استفاده شد. اندازه‌گیری اسیدیته خاک توسط دستگاه pH متر هر ۱۰ روز یکبار برای تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد.

(Campitelli and Ceppi, 2008). جهت تعیین غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، نمونه‌های فراهم شده در آون دیجیتال با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و خاکستر خشک آنها تهیه شد. اندازه‌گیری عنصر نیتروژن با استفاده از روش کج‌دال^۱ (1833)، فسفر با استفاده از روش Olsen *et al.* (1954) با استفاده از دستگاه طیف‌سنج (اسپکتروفتومتر مدل UV-2100S، ساخت شرکت یونیکو^۲ کشور آمریکا)، و پتاسیم به روش شعله-سنجی با استفاده از دستگاه نورسنج شعله‌ای (فلیم‌فتومتر مدل PFP7، شرکت جنوی^۳ ساخت کشور انگلستان) در آزمایشگاه اندازه‌گیری و تعیین شدند.

ارزیابی چرخه حیات (LCA)

ارزیابی چرخه حیات دارای چهار مرحله تعیین هدف و حوزه مطالعه، صورت‌برداری، ارزیابی اثر و تفسیر نتایج است (Valiante et al., 2019). در این تحقیق هدف از پژوهش ارزیابی چرخه حیات تولید خرفه در قالب گروه‌های تأثیر اسیدی شدن، مردابی شدن، تخلیه منابع آبی، تخلیه منابع فسفات، و تخلیه منابع پتاس بود. در این پژوهش واحد کارکردی به ازای تولید "یک تن علوفه" و مرز سیستم "دروازه مزرعه" در نظر گرفته شد. نهاده‌های ورودی و مجموع مقادیرشان در هکتار که به عنوان بخشی از سیاهه چرخه حیات برای تولید یک تن علوفه خرفه به کار رفتند و همچنین واحدهای سنجش آنها در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲: مقدار ورودی‌های سامانه به ازای تولید یک تن علوفه خرفه در دو شهرستان زاهدان و گرگان

ورودی	واحد در هکتار	زاهدان	گرگان
آب	متر مکعب	۳۵۴۶/۰۲	۴۳۴۳/۲۳
نانو نیتروژن	لیتر در هزار	۳	
نانو فسفر	لیتر در هزار	۲	
نانو پتاسیم	لیتر در هزار	۲	
کود شیمیایی اوره	کیلوگرم	۲۰۰	
سوپر فسفات تریپل	کیلوگرم	۱۰۰	
سولفات پتاسیم	کیلوگرم	۱۵۰	
ورمی‌کمپوست	تن	۳۰	

به منظور برآورد آلاینده‌های منتشر شده از کودهای شیمیایی، کودهای نانو و همچنین کود ورمی‌کمپوست میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در کود بر حسب کیلوگرم محاسبه و لحاظ گردید. کود شیمیایی اوره حاوی ۴۶ درصد عنصر نیتروژن، کود سوپر فسفات تریپل حاوی ۴۵ درصد عنصر فسفر و سولفات پتاسیم حاوی ۴۷ درصد عنصر پتاسیم می‌باشد (جدول ۳).

¹ Kjeldahl

² Unico

³ Jenway

جدول ۳: ترکیب عناصر موجود در کودهای به کار رفته در آزمایش (میزان عناصر در کود بر حسب کیلوگرم)

گرگان			زاهدان			میزان مصرف	نوع کود
N	P	K	N	P	K		
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)		
۰/۵۱	-	-	۰/۵۱	-	-	۳ لیتر در هزار	نانو نیتروژن
-	۰/۳۴	-	-	۰/۳۴	-	۲ لیتر در هزار	نانو فسفر
-	-	۰/۵۴	-	-	۰/۵۴	۲ لیتر در هزار	نانو پتاسیم
۹۲	۴۵	۷۰/۵	۹۲	۴۵	۷۰/۵	۲۰۰: ۱۰۰: ۱۵۰	کود شیمیایی NPK
۷۵	۶۵	۶۰	۷۰	۲۱	۵۵	۵ تن در هکتار	ورمی کمپوست
۱۵۰	۱۳۰	۱۲۰	۱۴۰	۱۰۲	۱۱۰	۱۰ تن در هکتار	ورمی کمپوست
۲۲۵	۱۹۵	۱۸۰	۲۱۰	۱۵۳	۱۶۵	۱۵ تن در هکتار	ورمی کمپوست

خروجی‌ها شامل تمام آلاینده‌هایی است که در اثر مصرف منابع در سامانه مورد مطالعه، به محیط زیست انتشار پیدا می‌کنند. در این پژوهش میزان انتشار NH_3 ، SO_2 و NO_x از کاربرد کودها و میزان تخلیه منابع، شامل مصرف آب، مصرف فسفات و مصرف پتاسیم در نظر گرفته شده و برآورد شده است. میزان انتشار NH_3 و N_2O طبق روش برنتراپ (Brentrup et al., 2000) برآورد شد. فاکتور انتشار برای آمونیاک ۱۷ درصد در نظر گرفته شد، همچنین یک درصد از نیتروژن کود نیتروژنه بکار رفته در هر هکتار به صورت N_2O -N انتشار پیدا می‌کند (Brentrup et al., 2000). میزان انتشار NO_x به اتمسفر برابر ۱۰ درصد از میزان انتشار N_2O در نظر گرفته شد (Gasol et al., 2007).

مرحله ارزیابی اثرات به ارزیابی بیشتر ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه می‌پردازد. این مرحله به سه مرحله طبقه‌بندی^۱، نرمال‌سازی^۲ و وزن‌دهی^۳ تقسیم‌بندی می‌شود (Brentrup et al., 2004). در نهایت برای هر اثر زیست محیطی و محصول مورد مطالعه یک شاخص نهایی به دست می‌آید. با ضرب کردن مقدار انتشار هر یک از آلاینده‌ها در ضریب تأثیر آن در گروه تأثیر مربوطه، شاخص طبقه‌بندی محاسبه می‌شود (Brentrup et al., 2004; Finkbeiner et al., 2006). بخش‌های اثر بهره گرفته در این مطالعه و واحدهای سنجش آنها در جدول (۴) آمده‌اند.

جدول ۴: طبقه‌بندی گروه‌های تأثیر مورد بررسی بر اساس نوع آلاینده و ضرایب یکسان‌سازی

فاکتور تأثیر	آلاینده	گروه تأثیر (واحد)
$\text{SO}_2 = 1/2, \text{NO}_x = 0/5, \text{NH}_3 = 1/6$	$\text{SO}_2, \text{NO}_x, \text{NH}_3$	اسیدی شدن ($\text{kg SO}_2 \text{ eq}$)
$\text{NO}_x = 0/5, \text{NH}_3 = 1/6$	NO_x, NH_3	مردابی شدن ($\text{kg PO}_4 \text{ eq}$)
۱	مصرف آب	تخلیه منابع آب (m^3)
۰/۲۵	مصرف فسفات	تخلیه منابع فسفات ($\text{kg P}_2\text{O}_5$)
۰/۱۰۵	مصرف پتاسیم	تخلیه منابع پتاسیم ($\text{kg K}_2\text{O}$)

برای فراهم کردن امکان مقایسه اثرات گروه‌های تأثیر مختلف، ضروری است که این اعداد بی‌بعد شوند (Firouzi and Nikkhah, 2015). در واقع هدف این مرحله بی‌مقیاس کردن داده‌ها است (Brentrup et al., 2004). بدین ترتیب،

¹ Characterization² Normalization³ Weighting

شاخص طبقه‌بندی ابتدا بر فاکتور نرمال‌سازی تقسیم و سپس در فاکتور وزن‌دهی ضرب شد که در نتیجه، شاخص نهایی به دست آمد. فاکتورهای نرمال‌سازی و وزن‌دهی در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵: فاکتورهای وزن‌دهی و نرمال‌سازی گروه‌های تأثیر مورد بررسی

فاکتور وزن‌دهی	فاکتور نرمال‌سازی	گروه تأثیر (واحد)
۱/۳۴	۵۶/۱۴	اسیدی شدن (kg SO ₂ eq)
۱/۴۴	۸/۵۶	مردابی شدن (kg PO ₄ eq)
۰/۲۱	۶۲۶/۳۶	تخلیه منابع آب (m ³)
۱/۲	۷/۶۶	تخلیه منابع فسفات (kg P ₂ O ₅)
۰/۳	۸/۱۴	تخلیه منابع پتاسیم (kg K ₂ O)

شاخص‌های نهایی در قالب دو گروه شاخص زیست‌محیطی و شاخص تخلیه منابع دسته‌بندی شدند. شاخص زیست-محیطی در این تحقیق برابر با مجموع شاخص‌های نهایی دو گروه تأثیر اسیدی شدن و مردابی شدن در نظر گرفته شد. شاخص زیست‌محیطی برای یک محصول یا سامانه خاص طبق رابطه (۱) به دست می‌آید (Brenttrup et al., 2004: 255). بزرگتر بودن شاخص زیست‌محیطی نشان می‌دهد که این گروه، پتانسیل بیشتری برای آسیب به محیط زیست دارد.

$$Eco-X = \sum N_i \times W_i \quad (1)$$

که در این رابطه، Eco-X: شاخص زیست‌محیطی به ازای واحد کارکردی برای تأثیرات زیست‌محیطی، N_i : مقدار نرمال شده برای گروه تأثیر و W_i : فاکتور وزن‌دهی برای هر یک از مقدار N_i است.

شاخص تخلیه منابع در این تحقیق برابر با مجموع شاخص‌های نهایی سه گروه تأثیر تخلیه منابع آبی، تخلیه منابع فسفات، و تخلیه منابع پتاسیم با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد:

$$RDI = \sum N_i \times WF_i \quad (2)$$

RDI: شاخص تخلیه منابع برای هر واحد کارکردی است.

به منظور دستیابی به اطلاعات مورد نیاز جهت ارزیابی چرخه حیات از پایگاه داده‌ای OpenLCA Nexus استفاده شد و آنالیز داده‌ها با کمک نرم‌افزار OpenLCA (1.10.3) انجام گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها جهت تعیین میزان اسیدیته و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS (9.4)، و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

اسیدیته، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات متقابل منطقه تولید × تیمارهای مختلف کودی × کود ورمی‌کمپوست بر میزان اسیدیته، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم خاک معنی‌دار بودند (جدول ۶).

جدول ۶: نتایج تجزیه واریانس خصوصیات خاک دو منطقه تحت تاثیر سطوح مختلف ورمی کمپوست و کود شیمیایی و نانو

منابع تغییر	درجه آزادی	اسیدیته	نیترژن کل	فسفر	پتاسیم
مکان (S)	۱	۵۸/۴۴ **	۰/۰۴۹۰۲۹ **	۵۰۶۹/۳ **	۲۳۱۷۶۹/۴ **
خطا (تکرار مکان)	۳	۰/۳۹۵	۰/۰۰۰۰۵۰	۰/۱۸۸۷	۳۰۳/۵۰
سطوح کودی (F)	۶	۱۲/۴۴ **	۰/۰۰۶۱۵۰ **	۲۶۳/۲ **	۴۲۷۳/۷۸ **
ورمی کمپوست (W)	۳	۱/۴۴۲ **	۰/۰۰۳۱۷۶ **	۵۶/۳۲ **	۱۹۷۵/۴۳ **
اثر متقابل F×W	۱۸	۲/۸۷۷ **	۰/۰۰۰۴۰۸ **	۷۵/۱۴ **	۵۱۲۷/۳۷ **
اثر متقابل S×F	۶	۹/۳۲۸ **	۰/۰۰۰۲۸۱ **	۸/۶۱۹ *	۲۲۴۶/۰۴ **
اثر متقابل S×W	۳	۳/۸۱۱ **	۰/۰۰۱۷۷۹ **	۳۶/۴۸ **	۴۳۱/۶۰ **
اثر متقابل S×F×W	۱۸	۲/۴۴۶ **	۰/۰۰۲۲۲۵ **	۲۶/۳۰ **	۷۰۹/۸۶ *
خطا	۱۶۲	۰/۲۷۱	۰/۰۰۰۰۴۹	۲/۷۲۴	۳۵۹/۰۷
ضریب تغییرات (%)	-	۶/۵۱	۷/۵۴	۱۰/۹۰	۷/۵۱

ns: غیر معنی دار، * و ** به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نشان داد که بیشترین میزان اسیدیته در منطقه گرگان معادل ۸/۵۹ در تیمار کاربرد کود شیمیایی پتاسیم و مصرف ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست، و در منطقه زاهدان معادل ۱۰/۹۱ در تیمار کاربرد کود شیمیایی پتاسیم و مصرف ۱۵ تن در هکتار ورمی کمپوست مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان نیترژن کل در منطقه گرگان معادل ۰/۱۵ درصد مربوط به تیمار کاربرد کود شیمیایی نیترژن و مصرف ۱۵ تن در هکتار ورمی کمپوست، و در منطقه زاهدان معادل ۰/۱۰ درصد مربوط به تیمار کاربرد کود شیمیایی نیترژن و مصرف ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست بود. علاوه بر این، بیشترین میزان فسفر خاک در منطقه گرگان معادل ۲۵/۰۹ میلی-گرم بر کیلوگرم، و در منطقه زاهدان معادل ۱۱/۸۷ میلی-گرم بر کیلوگرم از تیمار محلول پاشی نانوذره فسفر و مصرف ۱۵ تن در هکتار ورمی کمپوست حاصل شد. همچنین بیشترین میزان پتاسیم خاک در منطقه گرگان معادل ۲۹۹/۸۵ میلی-گرم بر کیلوگرم در تیمار محلول پاشی نانوذره پتاسیم و مصرف ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست، و در منطقه زاهدان معادل ۲۷۱/۹۳ میلی-گرم بر کیلوگرم در تیمار محلول پاشی نانوذره پتاسیم و مصرف ۱۰ تن در هکتار ورمی-کمپوست مشاهده شد (جدول ۷).

جدول ۷: نتایج مقایسه میانگین خصوصیات خاک دو منطقه تحت تاثیر سطوح مختلف ورمی کمپوست و کود شیمیایی و نانو

تیمارهای آزمایشی	اسیدیته		نیترژن کل (درصد)		فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم)		پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم)
	زاهدان	گرگان	زاهدان	گرگان	زاهدان	گرگان	
F ₁ V ₁	۱۰/۴۹ ab	۸/۴۸ d-h	۰/۰۵۸۰ p	۰/۰۴۱۸ q	۴/۱۶ z	۶/۶۷ i	۲۸۰/۳۳ a-d ۱۸۸/۳۰ pqr
F ₁ V ₂	۹/۲۶ cde	۸/۵۹ d-g	۰/۰۷۶۳ j-n	۰/۰۶۶۸ m-p	۸/۴۰ hi	۱۱/۲۲ g	۲۷۵/۱۰ a-d ۱۹۸/۳۳ mq
F ₁ V ₃	۱۰/۸۸ a	۸/۰۶ f-j	۰/۰۶۵۳ nop	۰/۰۶۳۳ op	۷/۲۰ i	۱۱/۲۲ g	۲۸۰/۷۵ a-d opg ۱۹۰/۷۵
F ₁ V ₄	۸/۱۱ f-j	۷/۰۷ k-n	۰/۰۸۵۳ g-j	۰/۰۹۳۳ efg	۷/۸۳ i	۱۵/۳۳ de	۲۷۹/۰۰ a-d nq ۱۹۳/۶۰

۱۶۱/۳۰ r	۲۶۹/۵۸ a-e	۶/۶۷ i	۱۰/۸۵ gh	۰/۰۸۸۲ ghi	۰/۱۳۶۸ bc	۶/۸۲ lmn	۷/۳۹ j-m	F ₂ V ₁
۲۰۲/۵۰ k-q	۲۸۱/۵۸ abc	۱۱/۸۰ fg	۱۷/۶۳ d	۰/۰۷۶۳ j-n	۰/۱۴۰۰ abc	۸/۰۳ f-j	۷/۳۵ j-m	F ₂ V ₂
۱۹۶/۹۵ m- q	۲۸۶/۲۰ ab	۱۱/۰۷ gh	۲۰/۷۴ c	۰/۰۹۱۳ fgh	۰/۱۳۶۸ bc	۶/۲۲ no	۶/۶۶ mn	F ₂ V ₃
۲۲۷/۱۸ g- m	۲۹۱/۸۸ a	۱۰/۷۳ gh	۲۵/۰۹ a	۰/۰۸۰۰ h-l	۰/۱۰۳۳ de	۷/۷۷ h-k	۵/۷۹ o	F ₂ V ₄
۱۷۹/۱۸ qr	۲۷۹/۸۸ a- d	۱۱/۰۷ gh	۲۵/۰۹ a	۰/۰۸۳۸ g-j	۰/۱۰۶۸ d	۷/۰۱ k-n	۶/۸۲ lmn	F ₃ V ₁
۲۲۳/۹۰ h-n	۲۸۴/۳۸ ab	۱۱/۸۰ fg	۲۳/۱۰ abc	۰/۰۷۴۰ k-o	۰/۰۴۱۸ q	۷/۴۵ j-m	۷/۲۶ j-m	F ₃ V ₂
۲۳۴/۵۳ g-j	۲۸۵/۳۵ ab	۱۱/۵۰ g	۲۰/۷۴ c	۰/۰۶۵۳ nop	۰/۱۴۶۸ ab	۸/۸۴ def	۷/۵۳ i-m	F ₃ V ₃
۲۴۱/۹۵ e-i	۲۹۳/۵۵ a	۱۱/۸۷ fg	۲۵/۰۹ a	۰/۰۸۱۰ h-l	۰/۰۹۳۳ efg	۸/۱۱ f-j	۷/۲۸ j-m	F ₃ V ₄
۲۲۰/۲۵ h-o	۲۸۳/۶۳ ab	۱۱/۵۰ g	۲۱/۴۴ bc	۰/۰۵۸۰ p	۰/۱۴۰۰ abc	۷/۶۳ h-l	۵/۷۹ o	F ₄ V ₁
۲۰۱/۳۳ l-q	۲۹۹/۸۵ a	۷/۸۳ i	۲۳/۱۰ abc	۰/۰۷۴۳ k-o	۰/۱۴۶۸ ab	۷/۴۵ j-m	۸/۵۹ d-g	F ₄ V ₂
۲۷۱/۹۳ a-e	۲۶۶/۹۰ a-f	۱۱/۸۰ fg	۲۵/۰۹ a	۰/۰۷۹۸ h-l	۰/۱۰۳۳ de	۸/۳۴ f-i	۷/۰۷ k-n	F ₄ V ₃
۲۵۷/۱۰ b-g	۲۹۷/۴۸ a	۱۱/۸۰ fg	۱۴/۵۰ ef	۰/۰۸۳۸ g-j	۰/۱۱۰۰ d	۹/۹۶ bc	۷/۳۵ j-m	F ₄ V ₄
۲۱۳/۲۳ i-p	۲۶۹/۵۸ a-e	۷/۸۳ i	۲۰/۷۴ c	۰/۰۷۴۸ k-o	۰/۱۴۳۳ abc	۷/۰۱ k-n	۷/۲۸ j-m	F ₅ V ₁
۲۱۵/۵۰ i-p	۲۷۵/۱۰ a- d	۱۱/۵۰ g	۲۱/۴۴ bc	۰/۰۸۴۸ g-j	۰/۱۳۳۳ c	۹/۳۱ cd	۸/۴۸ d-h	F ₅ V ₂
۲۲۶/۸۳ g- m	۲۸۵/۳۵ ab	۱۱/۸۰ fg	۲۰/۹۸ bc	۰/۱۰۱۳ def	۰/۱۰۶۸ d	۸/۷۹ def	۷/۳۵ j-m	F ₅ V ₃
۲۳۲/۳۸ g-l	۲۹۷/۴۸ a	۱۰/۷۳ gh	۲۴/۳۴ a	۰/۰۸۱۳ h-l	۰/۱۵۰۰ a	۸/۴۵ d-h	۷/۲۶ j- m	F ₅ V ₄
۲۰۶/۲۵ j-q	۲۸۶/۲۰ ab	۱۱/۸۰ fg	۲۰/۷۴ c	۰/۰۷۴۸ k-o	۰/۰۷۰۰ k- o	۸/۱۱ f-j	۸/۵۹ d-g	F ₆ V ₁
۲۲۳/۰۵ h-n	۲۷۹/۰۰ a- d	۱۱/۵۰ g	۲۰/۹۸ bc	۰/۰۶۸۰ m- p	۰/۰۷۶۸ i-n	۸/۷۹ def	۷/۲۶ j- m	F ₆ V ₂
۲۳۷/۵۳ f-j	۲۷۹/۸۸ a- d	۱۱/۰۷ gh	۲۵/۰۹ a	۰/۰۷۸۰ i- m	۰/۱۳۳۳ c	۸/۸۴ def	۷/۵۳ i- m	F ₆ V ₃
۲۴۳/۷۵ e-i	۲۸۳/۶۳ ab	۱۱/۷۰ g	۲۵/۰۹ a	۰/۰۸۸۰ g-j	۰/۱۰۳۳ de	۱۰/۸۸ a	۸/۰۶ f-j	F ₆ V ₄
۲۳۳/۳۵ g-k	۲۹۵/۴۰ a	۱۰/۷۳ gh	۱۵/۳۳ de	۰/۰۷۵۰ k-o	۰/۱۰۶۸ d	۸/۴۲ e-h	۷/۳۹ j- m	F ₇ V ₁
۲۴۲/۳۵ e-i	۲۹۰/۹۳ a	۱۱/۸۰ fg	۲۰/۷۴ c	۰/۰۶۶۰ nop	۰/۱۴۶۸ ab	۷/۳۵ j-m	۸/۵۹ d-g	F ₇ V ₂
۲۵۰/۳۰ c-h	۲۹۴/۵۸ a	۱۱/۸۷ fg	۲۳/۵۸ ab	۰/۰۸۱۰ h-l	۰/۰۶۳۳ op	۸/۸۴ def	۷/۵۳ i- m	F ₇ V ₃
۲۴۹/۱۳ d-h	۲۹۱/۵۰ a	۱۱/۱۷ g	۲۰/۹۸ bc	۰/۰۸۵۳ g-j	۰/۱۰۳۳ de	۱۰/۹۱ a	۷/۰۷ k-n	F ₇ V ₄
	۲۶/۴۶	۲/۳۰۵		۰/۰۰۹۷		۰/۷۲۷		LSD (0.05%)

سطوح کودی شامل: عدم مصرف کود (F₁), نانوذره نیتروژن (F₂), فسفر (F₃), پتاسیم (F₄) و کود شیمیایی نیتروژن (F₅), فسفر (F₆), و پتاسیم (F₇) سطوح مختلف ورمی کمپوست شامل: عدم مصرف ورمی کمپوست (V₁), ۵ (V₂), ۱۰ (V₃), و ۱۵ (V₄) تن در هکتار

با توجه به ماهیت اسیدی خاک‌های منطقه گرگان و همچنین توانایی بالاتر میکروارگانسیم‌های موجود در کود ورمی-کمپوست در تولید اسیدهای آلی، پایین بودن اسیدیته خاک در این منطقه دور از انتظار نیست. در نتیجه خاک منطقه گرگان اسیدیته پایین تری را نسبت به خاک منطقه زاهدان نشان داد (جدول ۷). مواد آلی قادرند که تغییرات زیاد در اسیدیته خاک را تعدیل کنند. مواد آلی با گرفتن یا رها کردن یون H^+ در خاک اسیدیته خاک را تعدیل می‌کنند. در نتیجه قادر خواهند بود که آن را در حالت خنثی یا مناسب برای رشد یک محصول خاص نگه دارند. در صورتی که در خاک با ماده آلی کم، گیاه با کمبود یا زیادی یک یون مواجه می‌شود. پژوهشگران یکی از دلایل کاهش اسیدیته را تبدیل زیستی مواد اولیه به مواد حد واسط از جمله اسیدهای آلی دانسته و همچنین دلیل دیگر آن را معدنی شدن نیتروژن و فسفر و تبدیل آنها به نیترات، نیتريت و ارتوفسفات معرفی کردند. گارگ و همکاران (Garg et al., 2006) در مطالعه‌ای که با هدف بررسی پتانسیل بازیافت انواع مختلف مواد زاید آلی انجام دادند، کاهش اسیدیته مواد بستر را در تمامی تیمارها در طول دوره ۱۰۰ روزه گزارش کردند و این کاهش را به آزاد شدن گاز دی اکسیدکربن و اسیدهای آلی حاصل از تجزیه مواد غذایی موجود در بستر به‌وسیله کرم‌های خاکی و میکروارگانسیم‌های خاکزی نسبت دادند.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۷) میزان نیتروژن کل در خاک منطقه زاهدان کمتر از خاک منطقه گرگان بود. نورقلی‌پور و همکاران (Noorgholi Poor et al., 2009) محبوس شدن نیتروژن و شستشوی نیترات از خاک را در طی فصل رشد گزارش کردند. از سوی دیگر میزان نیتروژن خاک به دلیل فعالیت میکروارگانسیم‌ها کاهش یافته و رشد گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Javadi et al., 2009). در این راستا محققان در مطالعات دیگری افزایش میزان نیترات و کاهش آمونیوم را در طی فرایند تجزیه در ورمی‌کمپوست اعلام نمودند (Khwairakpam and Bhargava, 2009). آنها علت کاهش نیتروژن کل خاک را کاهش وزن خشک مواد بستر (کاهش مواد آلی در فرم CO_2) در حین استفاده کرم‌ها و میکروارگانسیم‌ها از آن و همچنین کاهش رطوبت بستر در اثر تبخیر در حین فرایند معدنی شدن مواد آلی بیان نمودند.

میزان فسفر و پتاسیم خاک در منطقه گرگان فراوان‌تر از خاک منطقه زاهدان بود (جدول ۷). قابلیت استفاده فسفر تحت تاثیر ویژگی‌های خاک مانند اسیدیته، مقدار ماده آلی، مقدار رس و مقدار کربنات‌های خاک قرار می‌گیرد (Havlin et al., 2014). افزایش ده برابری جذب سطحی فسفر با افزایش مقدار رس در خاک‌های مختلف به‌وسیله هاولین و همکاران (Havlin et al., 2014) گزارش شده است. مقدار پتاسیم قابل استفاده و ظرفیت بافری خاک در جایگزینی پتاسیم قابل استفاده از راه آزادسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار، ارتباط زیادی با مقدار رس خاک دارد (Najafi-Ghiri et al., 2011a). نجفی و همکاران (Najafi-Ghiri et al., 2011b) بیان کردند که مقدار پتاسیم خاک تحت تاثیر ویژگی‌های مختلف خاک قرار گرفته و با افزایش مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی افزایش می‌یابد.

برآورد میزان انتشار آلاینده‌ها در تولید علوفه خرفه با روش ارزیابی چرخه حیات (LCA)

میزان مصرف نهاده‌های مختلف نظام تولید علوفه خرفه شامل آب و کودهای مصرفی در جدول (۲) آورده شده است. با مقایسه نتایج این جدول مشخص است که به ازای تولید یک تن علوفه خرفه در شهرستان زاهدان میزان آب

بیشتری در مقایسه با شهرستان گرگان مورد استفاده قرار گرفته است. مقدار کودهای مصرفی با توجه به تیمارهای آزمایش در هر دو شهرستان مورد مطالعه به یک میزان بود. خرم دل و همکاران (۱۳۹۳) با ارزیابی تأثیرات زیست محیطی نظام‌های تولید گندم کشور اظهار داشتند که مصرف نیتروژن تا ۲۲۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برای بوم نظام‌های آبی و دیم، موجب بهبود عملکرد دانه شد، ولی افزودن بیش از این میزان تأثیر زیادی بر عملکرد دانه نداشت. بنابراین، استفاده بیش از این مقادیر از کود نیتروژن، فقط تأثیرات مخرب زیست محیطی را در پی خواهد داشت. در ارزیابی چرخه حیات تولید گوجه فرنگی در کلمبیا، بوجاکا و همکاران (Bojaca et al., 2014) اظهار داشتند که کوددهی شیمیایی اثرات محیط زیستی قابل توجهی در قالب گروه‌های تأثیر اوتریفیکاسیون و اسیدپته خاک برجای گذاشت.

نتایج ارزیابی اثرات زیست محیطی در تولید علوفه خرفه

به طور کلی به ازای تولید یک تن علوفه خرفه، شهرستان گرگان به دلیل مصرف کمتر نهاده‌ها در تمامی بخش‌های اثر بارهای محیطی کمتری نسبت به شهرستان زاهدان ایجاد می‌کند. در جداول زیر نتایج ارزیابی اثرات زیست محیطی ناشی از انتشار آلاینده‌ها به ازای تولید یک تن علوفه خرفه مربوط به شهرستان زاهدان (جدول ۸) و شهرستان گرگان (جدول ۹) نشان داده شده است.

جدول ۸: نتایج ارزیابی اثرات زیست محیطی ناشی از انتشار آلاینده‌ها به ازای تولید یک تن علوفه خرفه (شهرستان زاهدان)

گروه تاثیر (واحد)	آلاینده	فاکتور تاثیر آلاینده	میزان انتشار	شاخص بندی طبقه بندی	شاخص نرمال سازی	شاخص نهایی
اسیدی شدن (kg SO₂ eq)						
انتشار به هوا	SO ₂	۱/۲	۲۶/۶۶۹	۳۲/۰۰۲	۰/۵۷۰	۰/۷۶۳
انتشار به خاک	NH ₃	۱/۶	۲۳/۸۳۹	۳۸/۱۴۲	۰/۶۷۹	۰/۹۱۰
انتشار به خاک	NO _x	۰/۵	۰/۷۵۹۲	۰/۳۷۹۶	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۹۰۶
مردابی شدن (kg PO₄ eq)						
انتشار به خاک	NH ₃	۰/۳۵	۲۳/۸۳۹	۸/۳۴۳	۰/۹۷۴	۱/۴۰۳۶
انتشار به خاک	NO _x	۰/۱۳	۰/۰۹۸۷	۰/۰۱۲۸	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۲۱۵
تخلیه منابع آب (m³)						
مصرف آب	آب	۱	۳۵۴۶/۰۲۱	۳۵۴۶/۰۲۱	۵/۶۶۱۳	۳/۱۸۸۸
تخلیه منابع فسفات (kg Sb eq)						
مصرف کود	فسفر	۰/۲۵	۰/۰۰۰۵۳	۰/۰۰۰۱۳۲	۱/۷۲۹×۱۰ ^{-۵}	۲/۰۷۵×۱۰ ^{-۵}
تخلیه منابع پتاسیم (kg Sb eq)						
مصرف کود	پتاسیم	۰/۱۰۵	۱/۷۵۵×۱۰ ^{-۶}	۱/۸۴۳×۱۰ ^{-۷}	۲/۲۶۴×۱۰ ^{-۸}	۶/۷۹۴×۱۰ ^{-۹}

جدول ۹: نتایج ارزیابی اثرات زیست محیطی ناشی از انتشار آلاینده‌ها به ازای تولید یک تن علوفه خرفه (شهرستان گرگان)

گروه تاثیر (واحد)	آلاینده	فاکتور تاثیر آلاینده	میزان انتشار	شاخص طبقه‌بندی	شاخص نرمال-ساز	شاخص نهایی
اسیدی شدن (kg SO₂ eq)						
انتشار به هوا	SO ₂	۱/۲	۲۶/۶۶۹	۳۲/۰۰۲	۰/۵۷۰	۰/۷۶۳۸
انتشار به خاک	NH ₃	۱/۶	۲۱/۸۹۸۸	۳۵/۰۳۸	۰/۶۲۴۱	۰/۸۳۶۳
انتشار به خاک	NO _x	۰/۵	۰/۶۹۶۸	۰/۳۴۸۴	۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۸۳۱
مردابی شدن (kg PO₄ eq)						
انتشار به خاک	NH ₃	۰/۳۵	۲۱/۸۹۸۸	۷/۶۶۴۵	۰/۸۹۵۳	۱/۲۸۹۳
انتشار به خاک	NO _x	۰/۱۳	۰/۰۹۰۵۸	۰/۰۱۱۷۷	۰/۰۰۱۳۷	۰/۰۰۱۹۸
تخلیه منابع آب (m³)						
مصرف آب	آب	۱	۴۳۴۳/۲۳۶	۴۳۴۳/۲۳۶	۶/۹۳۴	۱/۴۵۶۱
تخلیه منابع فسفات (kg Sb eq)						
مصرف کود	فسفر	۰/۲۵	۰/۰۰۰۴۹	۰/۰۰۰۱۲۲۵	۱/۵۹۹×۱۰ ^{-۵}	۱/۹۱۹×۱۰ ^{-۵}
تخلیه منابع پتاسیم (kg Sb eq)						
مصرف کود	پتاسیم	۰/۱۰۵	۱/۶۱۲×۱۰ ^{-۶}	۱/۶۹۲×۱۰ ^{-۷}	۲/۰۷۹×۱۰ ^{-۸}	۶/۲۳۸×۱۰ ^{-۹}

ارزیابی آلاینده‌های منتشر شده در گروه تاثیر اسیدی شدن

ارزیابی آلاینده‌های منتشر شده در گروه تاثیر اسیدی شدن مهم در عنوان آلاینده‌های مهم در گروه تاثیر اسیدی شدن هستند. انتشار آمونیاک (NH₃) به میزان ۰/۹۱۰ کیلوگرم (kg SO₂ eq) در شهرستان زاهدان و به میزان ۰/۸۳۶ کیلوگرم (kg SO₂ eq) در شهرستان گرگان بیشتر از سایر ترکیبات در ایجاد اثر اسیدی سهمیه بوده و منبع انتشار آن از کود اوره می‌باشد. پس از انتشار آمونیاک؛ در هر دو شهرستان زاهدان و گرگان انتشار اکسیدهای گوگرد (SO₂) به میزان ۰/۷۶۳ کیلوگرم (kg SO₂ eq) در ایجاد اثر اسیدی بیشترین سهم را داشت. اکسیدهای نیتروژن (NO_x) در ایجاد اثر اسیدی کمترین سهم را به میزان ۰/۰۰۹۰۶ کیلوگرم (kg SO₂ eq) در شهرستان زاهدان و به میزان ۰/۰۰۸۳۱ کیلوگرم (kg SO₂ eq) در شهرستان گرگان داشتند (جدول ۸ و ۹). افزایش بیش از حد مصرف کودهای نیتروژنه در مزارع تولید این محصولات باعث افزایش انتشار آلاینده‌ها به محیط شد و پتانسیل اسیدی شدن 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 بوم نظام‌های زراعی به ویژه در شرایط مصرف بالای کودهای نیتروژنه نسبت دادند (Fallahpour et al., 2012). برنترپ و همکاران (Brentrup et al., 2004) دریافتند که میزان انتشار آمونیاک وابسته به میزان مصرف کود نیتروژن است؛ به طوری که با افزایش مصرف نیتروژن، میزان انتشار این گاز به محیط نیز افزایش یافت. این محققان همچنین اظهار داشتند که پتانسیل آزادسازی آمونیاک همبستگی قوی با مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه دارد.

¹ Sulfur dioxide

² Nitrogen oxides

³ Ammonia

ارزیابی آلاینده‌های منتشر شده در گروه تأثیر مردابی شدن خشکی

آمونیاک (NH_3) بیشترین سهم را در گروه تأثیر مردابی شدن در شهرستان زاهدان به میزان $1/403$ کیلوگرم (kg PO_4 eq) و در شهرستان گرگان به میزان $1/289$ کیلوگرم (kg PO_4 eq) در تولید علوفه خرفه دارد و مشخص است که انتشار آمونیاک به محیط خشکی باعث تشدید پتانسیل این گروه تأثیر شده است. منبع انتشار آمونیاک ورمی-کمپوست و کودهای شیمیایی می‌باشد. همچنین سهم انتشار اکسیدهای نیتروژن (NO_x) در شهرستان زاهدان به میزان $0/00215$ کیلوگرم (kg PO_4 eq) و در شهرستان گرگان به میزان $0/00198$ کیلوگرم (kg PO_4 eq) بود و منبع انتشار اکسیدهای نیتروژن نیز از کودهای مصرفی می‌باشد. انتشار اکسیدهای نیتروژن عمدتاً وابسته به نقل و انتقال و استفاده از ماشین‌آلات است (جدول ۸ و ۹). فسفر مهمترین عامل تشدید کننده گروه تأثیر مردابی شدن می‌باشد (Charles et al., 2006). خوشنویسان و همکاران (Khoshnevisan et al., 2013) بیان داشتند که اصلی‌ترین عامل تشدید کننده پتانسیل گروه تأثیر مردابی شدن به فسفات با سهم ۶۸ درصد اختصاص دارد. با توجه به پتانسیل بالای خاک‌های کشور در تأمین نیاز گیاهان از نظر فسفر (میرباقری و همکاران، ۱۳۹۱) و آستانه مردابی شدن ($0/1$ - $0/2$ میلی‌گرم در لیتر) (Kronvang et al., 2009)، مشخص است که احتمال آلودگی آب‌های زیرزمینی به فسفر و تشدید پتانسیل این گروه تأثیر به ویژه در نظام‌های فشرده تولید محصولات مختلف بسیار زیاد است.

ارزیابی ترکیبات تخلیه شده در گروه تأثیر تخلیه منابع

مشخص است که بالاترین پتانسیل آسیب به محیط زیست مربوط به گروه تأثیر تخلیه منابع آب به میزان $3/188$ مترمکعب در شهرستان زاهدان و $1/456$ مترمکعب در شهرستان گرگان بود. همچنین کمترین پتانسیل آسیب مربوط به گروه تأثیر تخلیه منابع فسفات (kg P_2O_5 eq) و تخلیه منابع پتاسیم (kg K_2O eq) با مقادیر بسیار ناچیز بود (جدول ۸ و ۹).

نتایج ارزیابی شاخص زیست‌محیطی (Eco-X) و شاخص تخلیه منابع (RDI)

بر اساس نتایج شاخص نهایی می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین پتانسیل آسیب زیست محیطی در شهرستان زاهدان مربوط به گروه تأثیر تخلیه منابع آب به میزان $3/18$ متر مکعب و در شهرستان گرگان مربوط به گروه تأثیر اسیدی شدن اکوسیستم خشکی با مقدار $1/608$ کیلوگرم (kg SO_2 eq) در تولید یک تن علوفه خرفه بوده است (جدول ۱۰ و ۱۱). در مقابل کمترین پتانسیل آسیب زیست محیطی در هر دو شهرستان زاهدان و گرگان مربوط به گروه‌های تأثیر تخلیه منابع فسفات (kg P_2O_5 eq) و تخلیه منابع پتاسیم (kg K_2O eq) با مقادیر بسیار ناچیز می‌باشد (جدول ۱۱).

جدول ۱۰: شاخص زیست‌محیطی (Eco-X) آلاینده‌ها به ازای تولید یک تن علوفه خرفه

گروه تأثیر (واحد)	زاهدان	گرگان
اسیدی شدن (kg SO_2 eq)	۱/۹۸۲	۱/۶۰۸
مردابی شدن (kg PO_4 eq)	۱/۴۰۵	۱/۲۹۱
شاخص زیست‌محیطی (Eco-X)	۳/۴۸۷	۲/۸۹۹

جدول ۱۱: شاخص تخلیه منابع (RDI) آلاینده‌ها به ازای تولید یک تن علوفه خرفه

گروه تاثیر (واحد)	زاهدان	گرگان
تخلیه منابع آب (m^3)	۳/۱۸۸۸	۱/۴۵۶۱
تخلیه منابع فسفات ($kg P_2O_5 eq$)	$2/0.75 \times 10^{-5}$	$1/9.19 \times 10^{-5}$
تخلیه منابع پتاسیم ($kg K_2O eq$)	$6/794 \times 10^{-9}$	$6/238 \times 10^{-9}$
شاخص تخلیه منابع (RDI)	۳/۱۸۸	۱/۴۵۶

نتایج ارزیابی شاخص زیست‌محیطی (Eco-X) و شاخص تخلیه منابع (RDI) ناشی از انتشار آلاینده‌ها به ازای تولید یک تن علوفه خرفه مربوط به شهرستان‌های زاهدان و گرگان در جدول (۱۰ و ۱۱) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج شهرستان زاهدان شاخص زیست‌محیطی بالاتری را ($Eco-X = 3/387$) نسبت به شاخص زیست‌محیطی شهرستان گرگان ($Eco-X = 2/899$) نشان داد و فشارهای محیطی بیشتری ایجاد کرد. اما شاخص تخلیه منابع (RDI) با توجه به در نظر گرفتن بازه زمانی هدف ۱۰۰ ساله به معنای مدت زمانی که پیش‌بینی می‌شود منبع مورد نظر در دسترس باشد، برای شهرستان زاهدان به میزان ($RDI = 3/188$) و برای شهرستان گرگان به میزان ($RDI = 1/456$) محاسبه گردید. نتایج این پژوهش با بررسی اثرات زیست محیطی تولید بادام زمینی در استان گیلان مطابقت داشت (Nikkhah et al., 2015). به دلیل اهمیت حفظ محیط زیست، اجرای هر نوع برنامه‌ای به علم و آگاهی کافی در این زمینه نیاز دارد (میرحاجی و همکاران، ۱۳۹۲). تولیدات کشاورزی متمرکز و فشرده باعث ایجاد مشکلات زیست-محیطی می‌شود. مصرف بالای نهاده‌ها منجر به اثرات زیست‌محیطی مضرمانند افزایش تقاضا برای منابع انرژی‌های فسیلی، افزایش پتانسیل گرمایش جهانی، از دست رفتن تنوع زیستی، تنزل کیفیت خاک و آلودگی آب، خاک و هوا شده است (Nemecek et al., 2011).

نتیجه گیری

به طور کلی به ازای تولید یک تن علوفه خرفه، شهرستان گرگان به دلیل مصرف کمتر نهاده‌ها در تمامی بخش‌های اثر بارهای محیطی کمتری نسبت به شهرستان زاهدان ایجاد می‌کند. بر اساس نتایج شاخص نهایی می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین پتانسیل آسیب زیست محیطی در شهرستان زاهدان مربوط به گروه تاثیر تخلیه منابع آب به میزان $3/18$ متر مکعب و در شهرستان گرگان مربوط به گروه تاثیر اسیدی شدن اکوسیستم خشکی با مقدار $1/608$ کیلوگرم ($kg SO_2 eq$) در تولید یک تن علوفه خرفه بوده است، همچنین کمترین پتانسیل آسیب زیست محیطی در هر دو شهرستان زاهدان و گرگان مربوط به گروه‌های تاثیر تخلیه منابع فسفات ($kg P_2O_5 eq$) و تخلیه منابع پتاسیم ($kg K_2O eq$) با مقادیر بسیار ناچیز می‌باشد.

بر اساس نتایج ارزیابی شاخص زیست‌محیطی (Eco-X) و شاخص تخلیه منابع (RDI) به ازای تولید یک تن علوفه خرفه، شهرستان زاهدان شاخص زیست‌محیطی ($Eco-X = 3/387$) بالاتری را نسبت به شهرستان گرگان ($Eco-X = 2/899$) نشان داد و فشارهای محیطی بیشتری ایجاد کرد. اما شاخص تخلیه منابع (RDI) با توجه به در نظر گرفتن بازه زمانی هدف ۱۰۰ ساله به معنای مدت زمانی که پیش‌بینی می‌شود منبع مورد نظر در دسترس باشد، برای شهرستان زاهدان به میزان ($RDI = 3/188$) و برای شهرستان گرگان به میزان ($RDI = 1/456$) محاسبه گردید.

تقدیر و تشکر

از همکاری مدیریت و پرسنل محترم پژوهشکده گیاهان دارویی دانشگاه سیستان و بلوچستان نهایت تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

اسدی، حسین علی، حسندخت، محمدرضا، دشتی، فرشاد. (۱۳۸۵). مقایسه ترکیب اسیدهای چرب، اگزالیک اسید و عناصر معدنی بذر و برگ ارقام خرفه ایرانی (*Portulaca oleracea L.*) با نمونه خارجی. علوم و صنایع غذایی ایران، ۳(۱۰)، ۴۹-۵۵.

جوادی، حامد، رضوانی مقدم، پرویز، ثقه‌الاسلامی، محمد جواد، موسوی، غلامرضا. (۱۳۹۶). بررسی اثر تراکم و تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد خرفه (*Portulaca oleracea L.*). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۵(۱)، ۱۱۳-۱۲۳.

خانعلی، مجید، حسین‌زاده بندباف‌ها، هما. (۱۳۹۶). ارزیابی جریان انرژی و اثرات زیست‌محیطی تولید گلخانه‌ای گیاهان دارویی با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی مطالعه موردی گیاه آلوئه‌ورا. مهندسی بیوسیستم ایران، ۴۸(۳)، ۳۶۱-۳۷۷.

خرم دل، سرور، رضوانی مقدم، پرویز، امین غفوری، افسانه. (۱۳۹۳). بررسی آثار زیست محیطی نظام‌های تولید گندم در کشور با استفاده از ارزیابی چرخه حیات. تحقیقات غلات، ۴(۱)، ۲۷-۴۴.

رحیمی، زینب، کافی، محمد، نظامی، احمد، خزاعی، حمیدرضا. (۱۳۹۰). تأثیر سطوح شوری و سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک گیاه دارویی خرفه (*Portulaca oleracea L.*). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۷(۳)، ۳۷۴-۳۵۹.

روستا، مجتبی، ابراهیم‌زاده، عیسی، ایستگلدی، مصطفی. (۱۳۹۷). ارزیابی میزان تاب‌آوری اجتماعی شهری موردشناسی؛ شهر زاهدان. نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۹(۳۲): ۱-۱۴.

فیروزی، سعید، نیکخواه، امین. (۱۳۹۴). ارزیابی چرخه حیات کشت بادام‌زمینی در نظام‌های تک‌کشتی و مخلوط با لوبیا. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی، ۷(۲۲): ۲۶۸-۲۷۹.

کافی، محمد، رحیمی، رحیم. (۱۳۸۹). بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی گیاه خرفه (*Portulaca oleracea L.*). پژوهش‌های زراعی ایران، ۸(۴)، ۶۱۵-۶۲۱.

میرباقری، الهام، عباس‌پور، علی، روحانی، عباس، قربانی، هادی. (۱۳۹۱). ارزیابی وضعیت سفر در برخی مزارع سیب زمینی منطقه مجن در استان سمنان. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۶(۳)، ۲۳۵-۲۴۳.

میرحاجی، حمزه، خجسته‌پور، مهدی، عباس‌پور فرد، محمدحسین. (۱۳۹۲). بررسی تأثیرات زیست‌محیطی تولید گندم منطقه مرودشت در ایران. نشریه محیط زیست طبیعی، ۶۶(۲)، ۲۲۳-۲۳۲.

میرکتولی، جعفر، حسینی، سید محمد حسن. (۱۳۹۲). ارزیابی تناسب اراضی میان‌بافتی شهر گرگان برای توسعه میان‌افزا با استفاده ترکیبی از AHP و GIS. فصلنامه علمی-پژوهشی مطالعات شهری، ۳(۹): ۸۰-۶۹.

یوسفیان قهفرخی، حبیب‌الله، ابدالی مشهدی، علیرضا، بخشنده، عبدالمهدی، لطفی جلال آبادی، امین. (۱۳۹۶). بررسی اثر مواد جاذب الرطوبه، کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی خرفه (*Portulaca oleracea L.*) در منطقه اهواز. مجله فرآیند و کار کرد گیاهی، ۴(۱۳)، ۸۷-۹۶.

Amiri, Z., Asgharipour, M. R., Campbell, D. E., & Armin, M. (2020). Extended exergy analysis (EAA) of two canola farming systems in Khorramabad, Iran. *Agricultural Systems*, 180, 102789.

Bakhtiari, A. A., Hematian, A., & Sharifi, A. (2015). Energy analyses and greenhouse gas emissions assessment for the saffron production cycle. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 16184-16201.

- Bojacá, C. R., Wyckhuys, K. A. G., & Schrevens, E. (2014). Life cycle assessment of Colombian greenhouse tomato production based on farmer-level survey data. *Journal of Cleaner Production*, 69, 26-33.
- Brentrup, F., Kusters, J., Kuhlmann, H., & Lammel, J. (2004). Environmental impact assessment of agriculture production systems using the life cycle assessment methodology. I. The theoretical concept of an LCA method tailored crop production. *European of Agronomy Journal*, 20, 247-264.
- Brentrup, F., Kusters, J., Lammel, J., & Kuhlmann, H. (2000). Methods to estimate on-field nitrogens from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 5, 349-357.
- Campitelli, P., & Ceppi, S. (2008). Chemical, physical and biological compost, and vermicompost characterization: A chemometric study. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 90, 64-71.
- Charles, R., Jolliet, O., Gaillard, G., & Pellet, D. (2006). Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113, 216-225.
- Esmaeilzadeh, S., Asgharipour, M. R., & Khoshnevisan, B. (2020). Water footprint and life cycle assessment of edible onion production case study in Iran. *Scientia Horticulturae*, 261, 108925.
- 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, 979-992.
- Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R. B. H., Christiansen, K., & Klüppel, H. J. (2006). The new international standards for life cycle assessment: are ISO 14040 and ISO 14044. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11, 80-85.
- Garg, P., Gupta, A., & Satya, S. (2006). Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*, 97, 391-395.
- Gasol, C. M., Gabarrell, X., Anton, A., Rigola, M., Carrasco, J., Ciria, P., Solano, M. L., & Rieradevall, J. (2007). Life cycle assessment of a Brassica carinata bioenergy cropping system in southern Europe. *Biomass and Bioenergy*, 31, 543-555.
- Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S., & Nelson, W. (2014). Soil Fertility and Fertilizers. New Jersey: Prentice Hall. 516p. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780429445552-34/soil-fertility-nutrient-management-john-havlin>
- Jafari, M., Asgharipour, M. R., Ramroudi, M., Galavi, M., & Hadarbadi, G. (2018). Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, energy, and economic approaches. *Journal of Cleaner Production*, 193, 642-651.
- Javadi, A., Rahmati, M. H., & Tabatabaefar, A. (2009). Sustainable tillage methods for irrigated wheat production in different regions of Iran. *Soil and Tillage Research Journal*, 104, 143-149.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S. H., Omid, M., & Mousazadeh, H. (2013). Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce GHG (greenhouse gas) emission of wheat production. *Energy*, 58, 588-593.
- Khwairakpam, M., & Bhargava, R. (2009). Vermitechnology for sewage sludge recycling. *Journal of Hazardous Materials*, 161, 948-954.
- Kjeldahl, J. (1883). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern (New method for the determination of nitrogen in organic substances). *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22, 366-383.
- Kopiński, J. (2012). Realization of environmental and economic objectives by the farms of various specialization directions (in Polish). *Problems Agricultural Engineering*, 2, 37-45.
- Kronvang, B., Rubak, G. H., & Heckrath, G. (2009). International phosphorus workshop: Diffuse phosphorus loss to surface water bodies- risk assessment, mitigation options, and ecological effects in river basins. *Journal of Environmental Quality*, 38, 1924-1929.
- Kropp, I., Nejadhashemi, A. P., Deb, K., Abouali, M., Roy, P. C., Adhikari, U., & Hoogenboom, G. (2019). A multi-objective approach to water and nutrient efficiency for sustainable agricultural intensification. *Agricultural Systems*, 173, 289-302.
- MacWilliam, S., Wismer, M., & Kulshreshtha, S. (2014). Life cycle and economic assessment of Western Canadian pulse systems: the inclusion of pulses in crop rotations. *Agricultural Systems*, 123, 43-53.
- Mardani Najafabadi, M. M., Ziaee, S., Nikouei, A., & Borazjani, M. A. (2019). Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. *Agricultural Systems*, 173, 218-232.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Chau, K. W. (2018). Integration of artificial intelligence methods and life cycle assessment to predict energy output and environmental impacts of paddy production. *Science of the Total Environment*, 631-632, 1279-1294.
- Najafi-Ghiri, M., Abtahi, A., Karimian, N., Owliaie, H., & Khormali, F. (2011a). Kinetics of non-exchangeable potassium release as a function of clay mineralogy and soil taxonomy in calcareous soils of southern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 57, 343-363.

- Najafi-Ghiri, M., Abtahi, A., Owliaie, H., Hashemi, S. S., & Koohkan, H. (2011b). Factors Affecting Potassium Pools Distribution in Calcareous Soils of Southern Iran. *Arid Land Research and Management*, 25, 313-327.
- Nemecek, T., Dubois, D., Huguenin-Elie, O., & Gaillard, G. (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agricultural Systems*, 104(3), 217-232.
- Nikkhah, A., Taheri-Rad, A. R., Khojastehpour, M., Emadi, B., & Khorramdel, S. (2015). Environmental impacts of peanut production system using life cycle assessment methodology. *Cleaner Production*, 92, 84-90.
- Noorgholi Poor, F., Bagheri, Y. R., & Lotfolahi, M. (2009). Effect of different sources of nitrogen fertilizer on yield and quality of wheat. *Journal of Research in Agricultural Science*, 4, 120-129.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). Estimation of Available Phosphorous in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. U.S. Department of Agriculture, Washington DC: USDA Circ, 939p. <https://ia903207.us.archive.org/21/items/estimationofavai939olse/estimationofavai939olse.pdf>
- Prechsl, U. E., Wittwer, R., Van der Heijden, M. G., Lüscher, G., Jeanneret, P., & Nemecek, T. (2017). Assessing the environmental impacts of cropping systems and cover crops: Life cycle assessment of FAST, a long-term arable farming field experiment. *Agricultural Systems*, 157, 39-50.
- Sahabi, H., Feizi, H., & Karbasi, A. (2016). Is saffron more energy and economically efficient than wheat in crop rotation systems in northeast Iran? *Sustainable Production and Consumption*, 5, 29-35.
- Valiante, D., Sirtori, I., Cossa, S., Corengia, L., Pedretti, M., Cavallaro, L., & Boccardelli, A. (2019). Environmental impact of strawberry production in Italy and Switzerland with different cultivation practices. *Science of the Total Environment*, 664, 249-261.

References

References (in Persian)

- Asadi, H. A., Hassandaught, M. R., & Dashti, F. (2007). Comparison of fatty acids, oxalic acid, and mineral varieties of seeds and leaves of purslane Iranian foreign examples. *Journal of Food Science*, 3(3), 49-54. [In Persian]
- 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]
- Javadi, H., Rezvani Moghaddam, P., Seghatoleslami, M., & Mosavi, G. (2017). Effect of sowing date and plant density on yield and yield components of common purslane (*Portulaca Oleracea L.*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(1), 113-123. [In Persian]
- Kafi, M., & Rahimi, Z. (2010). Effect of Salinity on Germination Characteristics of Purslane (*Portulaca oleracea L.*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(4), 615-621. [In Persian]
- Khanali, M., & Hosseinzadeh Bandbafha, H. (2017). Assessment of the energy flow and environmental impacts of greenhouse production of medicinal plants with life cycle assessment approach- case study of aloe vera. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 48(3), 361-377. [In Persian]
- Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., & Amin Ghafari, A. (2014). Evaluation of environmental impacts for wheat Agroecosystems of Iran by using Life Cycle Assessment methodology. *Cereal Research*, 4(1), 27-44. [In Persian]
- Mirbagheri, E., Abbaspour, A., Rouhani, A., & Ghorbani, H. (2012). Evaluation of phosphorus status in some potato fields of Mojen region in Semnan Province. *Iranian Journal of Soil Research (Formerly Soil and Water Sciences)*, 26(3), 235-243. [In Persian]
- Mirhaji, H., Khojastehpour, M., & Abbaspour-Fard, M. (2013). Environmental Impact Study of Wheat Production in Marvdasht Area of IRAN. *Journal of Natural Environment*, 66(2), 223-232. [In Persian]
- Mirkatoli, J., & Hosseini, M. H. (2014). Internal lands suitability evaluation for interior development in Gorgan city using AHP and GIS. *Motaleate Shahri*, 3(9), 69-80. [In Persian]
- Rahimi, Z., Kafi, M., Nezami, A., & Khazaie, H. R. (2011). Effect of salinity and silicon on some morphophysiological characters of purslane (*Portulaca oleracea L.*). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(3), 359-374. [In Persian]
- Rousta, M., Ebrahimzadeh, I., & Istgaldi, M. (2018). Assessment of urban social resilience (case study: city of Zahedan). *Research and Urban Planning*, 9(32), 1-14. [In Persian]
- Yusefian Ghahfarokhi, H. A., Abdali Mashhadi, A., Bakhshandeh, A., & Lotfi Jalal Abadi, A. (2015). Evaluation of the effect of attracting moisture substances and organic fertilizers on quality and quantity yield of Purslane (*Portulaca oleracea L.*) in the Ahwaz region. *Journal of Plant Process and Function*, 4(13), 87-96. [In Persian]

References (in English)

- Amiri, Z., Asgharipour, M. R., Campbell, D. E., & Armin, M. (2020). Extended exergy analysis (EAA) of two canola farming systems in Khorramabad, Iran. *Agricultural Systems*, 180, 102789.
- Bakhtiari, A. A., Hematian, A., & Sharifi, A. (2015). Energy analyses and greenhouse gas emissions assessment for the saffron production cycle. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 16184-16201.
- Bojacá, C. R., Wyckhuys, K. A. G., & Schrevels, E. (2014). Life cycle assessment of Colombian greenhouse tomato production based on farmer-level survey data. *Journal of Cleaner Production*, 69, 26-33.
- Brentrup, F., Kusters, J., Kuhlmann, H., & Lammel, J. (2004). Environmental impact assessment of agriculture production systems using the life cycle assessment methodology. I. The theoretical concept of an LCA method tailored crop production. *European of Agronomy Journal*, 20, 247-264.
- Brentrup, F., Kusters, J., Lammel, J., & Kuhlmann, H. (2000). Methods to estimate on-field nitrogens from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 5, 349-357.
- Campitelli, P., & Ceppi, S. (2008). Chemical, physical and biological compost, and vermicompost characterization: A chemometric study. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 90, 64-71.
- Charles, R., Jolliet, O., Gaillard, G., & Pellet, D. (2006). Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113, 216-225.
- Esmailzadeh, S., Asgharipour, M. R., & Khoshnevisan, B. (2020). Water footprint and life cycle assessment of edible onion production case study in Iran. *Scientia Horticulturae*, 261, 108925.
- 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, 979-992.

- Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R. B. H., Christiansen, K., & Klüppel, H. J. (2006). The new international standards for life cycle assessment: are ISO 14040 and ISO 14044. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11, 80-85.
- Garg, P., Gupta, A., & Satya, S. (2006). Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*, 97, 391-395.
- Gasol, C. M., Gabarrell, X., Anton, A., Rigola, M., Carrasco, J., Ciria, P., Solano, M. L., & Rieradevall, J. (2007). Life cycle assessment of a Brassica carinata bioenergy cropping system in southern Europe. *Biomass and Bioenergy*, 31, 543-555.
- Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S., & Nelson, W. (2014). Soil Fertility and Fertilizers. New Jersey: Prentice Hall. 516p. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780429445552-34/soil-fertility-nutrient-management-john-havlin>
- Jafari, M., Asgharipour, M. R., Ramroudi, M., Galavi, M., & Hadarbadi, G. (2018). Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, energy, and economic approaches. *Journal of Cleaner Production*, 193, 642-651.
- Javadi, A., Rahmati, M. H., & Tabatabaefar, A. (2009). Sustainable tillage methods for irrigated wheat production in different regions of Iran. *Soil and Tillage Research Journal*, 104, 143-149.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S. H., Omid, M., & Mousazadeh, H. (2013). Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce GHG (greenhouse gas) emission of wheat production. *Energy*, 58, 588-593.
- Khwaitrakpam, M., & Bhargava, R. (2009). Vermitechnology for sewage sludge recycling. *Journal of Hazardous Materials*, 161, 948-954.
- Kjeldahl, J. (1883). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern (New method for the determination of nitrogen in organic substances). *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22, 366-383.
- Kopiński, J. (2012). Realization of environmental and economic objectives by the farms of various specialization directions (in Polish). *Problems Agricultural Engineering*, 2, 37-45.
- Kronvang, B., Rubak, G. H., & Heckrath, G. (2009). International phosphorus workshop: Diffuse phosphorus loss to surface water bodies- risk assessment, mitigation options, and ecological effects in river basins. *Journal of Environmental Quality*, 38, 1924-1929.
- Kropp, I., Nejadhashemi, A. P., Deb, K., Abouali, M., Roy, P. C., Adhikari, U., & Hoogenboom, G. (2019). A multi-objective approach to water and nutrient efficiency for sustainable agricultural intensification. *Agricultural Systems*, 173, 289-302.
- MacWilliam, S., Wismer, M., & Kulshreshtha, S. (2014). Life cycle and economic assessment of Western Canadian pulse systems: the inclusion of pulses in crop rotations. *Agricultural Systems*, 123, 43-53.
- Mardani Najafabadi, M. M., Ziaee, S., Nikouei, A., & Borazjani, M. A. (2019). Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. *Agricultural Systems*, 173, 218-232.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Chau, K. W. (2018). Integration of artificial intelligence methods and life cycle assessment to predict energy output and environmental impacts of paddy production. *Science of the Total Environment*, 631-632, 1279-1294.
- Najafi-Ghiri, M., Abtahi, A., Karimian, N., Owliaie, H., & Khormali, F. (2011a). Kinetics of non-exchangeable potassium release as a function of clay mineralogy and soil taxonomy in calcareous soils of southern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 57, 343-363.
- Najafi-Ghiri, M., Abtahi, A., Owliaie, H., Hashemi, S. S., & Koohkan, H. (2011b). Factors Affecting Potassium Pools Distribution in Calcareous Soils of Southern Iran. *Arid Land Research and Management*, 25, 313-327.
- Nemecek, T., Dubois, D., Huguenin-Elie, O., & Gaillard, G. (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agricultural Systems*, 104(3), 217-232.
- Nikkhah, A., Taheri-Rad, A. R., Khojastehpour, M., Emadi, B., & Khorramdel, S. (2015). Environmental impacts of peanut production system using life cycle assessment methodology. *Cleaner Production*, 92, 84-90.
- Noorgholi Poor, F., Bagheri, Y. R., & Lotfolahi, M. (2009). Effect of different sources of nitrogen fertilizer on yield and quality of wheat. *Journal of Research in Agricultural Science*, 4, 120-129.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). Estimation of Available Phosphorous in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. U.S. Department of Agriculture, Washington DC: USDA Circ, 939p. <https://ia903207.us.archive.org/21/items/estimationofavai939olse/estimationofavai939olse.pdf>
- Prechsl, U. E., Wittwer, R., Van der Heijden, M. G., Lüscher, G., Jeanneret, P., & Nemecek, T. (2017). Assessing the environmental impacts of cropping systems and cover crops: Life cycle assessment of FAST, a long-term arable farming field experiment. *Agricultural Systems*, 157, 39-50.
- Sahabi, H., Feizi, H., & Karbasi, A. (2016). Is saffron more energy and economically efficient than wheat in crop rotation systems in northeast Iran? *Sustainable Production and Consumption*, 5, 29-35.
- Valiante, D., Sirtori, I., Cossa, S., Corengia, L., Pedretti, M., Cavallaro, L., & Boccadelli, A. (2019). Environmental impact of strawberry production in Italy and Switzerland with different cultivation practices. *Science of the Total Environment*, 664, 249-261.