Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

LCA evaluation of walnut production in different irrigation methods: A Case Study of Shahrekord and Saman Counties

Zahra Heidarpour[1] | Hassan Ghasemi-Mobtaker[2]✉ | Majid Khanali[3] | Abdolmajid Liaghat[4]

1. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: heidarpoor.zahra@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mobtaker@ut.ac.ir
3. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: khanali@ut.ac.ir
4. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: aliaghat@ut.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Feb. 8, 2023

Revised: Apr. 7, 2023

Accepted: Apr. 27, 2023

Published online: May. 22, 2023

Keywords:
Walnuts,
Energy consumption,
Irrigation systems,
Life cycle assessment.

ABSTRACT

Today, the increase in food demand has led to an increase in energy use, which has some environmental consequences such as air pollution and global warming. Irrigation is one of the energy-intensive operations in agriculture, which consumes great part of energy inputs and has harmful environmental effects. Applications of modern methods of irrigation in agriculture can be considered from different aspects. So, the aim of this study was to evaluate the energy and environmental indicators of walnut orchards under surface and pressured irrigation methods. The required data, including information about inputs and energy consumed in walnut orchards, were collected using questionnaires and face-to-face interviews in Shahr-e Kord and Saman region of Chaharmahal and Bakhtiari province. The collected data belonged to the production period of 2021–2022. The averages of total energy consumed for walnuts production in pressured and surface irrigation systems were 29573.53 and 25058.46 MJ ha−1, respectively. This shows that despite less water consumption in the pressured irrigation system, the total energy input in this irrigation system is more than the surface irrigation system. No significant difference was observed regarding the performance of walnut in the two mentioned irrigation systems. The inputs energy consumption in the walnut production with the pressurized irrigation system were highest for plastic and farmyard manure (about 32% and 15%, respectively); while in surface irrigation system, the share of nitrogen fertilizer and farmyard manure were highest (about 30% and 25%, respectively). Energy ratio of walnut production in surface irrigation systems was computed as 3.58, while the corresponding value in pressured system was 2.77. In other words, surface irrigation had better conditions in terms of energy indicators. The LCA results of walnut production showed that in the two irrigation systems, the greatest effects in human health and the ecosystems are from on-farm emissions. In general, the investigation of the environmental indicators of walnut production in the two irrigation systems showed that the use of the pressured irrigation system reduces the environmental damage.

Cite this article: Heidarpour, Z., Ghasemi-Mobtake, H., Khanali, M., & Liaghat, A. (2023). Comparative LCA of Surface and Pressured Irrigation Systems in Walnut Orchards: A Case Study of Shahrekord and Saman Counties, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (3), 497-512. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.355103.669451

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.355103.669451

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۳ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

ارزیابی چرخه زندگی تولید گردو در روش‌های مختلف آبیاری: مطالعه موردی شهرستان‌های شهرکرد و سامان

زهرا حیدرپور[۱] | حسن قاسمی مبتکر[۲]✉ | مجید خانعلی[۳] | عبدالمجید لیاقت[۴]

۱. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، ایمیل: heidarpoor.zahra@ut.ac.ir
۲. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، ایمیل: mobtaker@ut.ac.ir
۳. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، ایمیل: khanali@ut.ac.ir
۴. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، ایمیل: aliaghat@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۲۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۳/۱

واژه‌های کلیدی:
گردو،
مصرف انرژی،
سامانه‌های آبیاری،
ارزیابی چرخه زندگی.

چکیده

امروزه، افزایش تقاضای غذایی باعث افزایش مصرف انرژی شده که این امر پیامدهای زیست‌محیطی زیادی نظیر آلودگی هوا و گرمایش جهانی را به همراه دارد. آبیاری یکی از عملیات انرژی‌بر در کشاورزی است که انرژی زیادی را مصرف می‌کند و اثرات زیانبار زیست‌محیطی دارد. کاربرد روش‌های نوین آبیاری در کشاورزی از جنبه‌های مختلف قابل بررسی است. بنابراین، هدف از این تحقیق بررسی شاخص‌های انرژی و زیست‌محیطی تولید گردو در روش‌های آبیاری سطحی و تحت‌فشار است. داده‌های موردنیاز شامل اطلاعات مربوط به نهاده‌ها و انرژی مصرفی از باغات شهرستان‌های شهرکرد و سامان استان چهارمحال‌وبختیاری در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۴۰۱ با استفاده پرسشنامه و مصاحبه جمع‌آوری گردید. نتایج نشان داد که انرژی کل مصرفی تولید گردو در روش آبیاری تحت‌فشار ۲۹۵۷۳/۵۳ و در روش آبیاری سطحی ۲۵۰۵۸/۴۶ مگاژول بر هکتار است. این موضوع نشان می‌دهد در تولید گردو به روش آبیاری تحت‌فشار، علی‌رغم مصرف کمتر آب، انرژی کل مصرفی بیشتر است. در مورد عملکرد مغز گردو در دو سامانه مذکور تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج همچنین نشان داد در تولید گردو، پرمصرف‌ترین نهاده‌ها در روش آبیاری تحت‌فشار پلاستیک و کود حیوانی (به ترتیب حدود ۳۲٪ و ۱۵٪) و در روش آبیاری سطحی کود ازته و کود حیوانی (به ترتیب حدود ۳۰٪ و ۲۵٪) بود. شاخص نسبت انرژی گردو در روش‌های آبیاری تحت‌فشار و سطحی به ترتیب برابر با ۲/۷۷ و ۳/۵۸ به‌دست آمد. در کل از نظر شاخص‌های انرژی، روش آبیاری سطحی شرایط بهتری نسبت به روش آبیاری تحت‌فشار داشت. نتایج ارزیابی چرخه زندگی تولید گردو نشان داد در دو روش آبیاری، در آسیب به سلامت انسان و اکوسیستم‌ها بیشترین درصد را انتشارات مستقیم داشته است. به‌طور کلی بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی تولید گردو در دو روش آبیاری نشان داد که استفاده از روش آبیاری تحت‌فشار باعث کاهش آسیب به محیط زیست می‌شود.

استناد: حیدرپور، زهرا؛ قاسمی مبتکر، حسن؛ خانعلی، مجید؛ لیاقت، عبدالمجید. (۱۴۰۲). ارزیابی چرخه زندگی تولید گردو در روش‌های مختلف آبیاری: مطالعه موردی شهرستان‌های شهرکرد و سامان، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۳)، ۵۱۲-۴۹۷.
https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.355103.669451
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.355103.669451

مقدمه

مصرف انرژی در کشاورزی، همراه با افزایش جمعیت رو به افزایش است. محدود بودن اراضی کشاورزی و همچنین بالا رفتن معیارهای زندگی سالم، باعث استفاده شدید از سوخت‌های فسیلی گشته است که این امر موجب افزایش خطرات زیست‌محیطی، آلودگی محیط‌زیست، انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای، آلودگی آب و خاک و همچنین افزایش قیمت انرژی گردیده است (Pervanchon et al., 2002; Mohammadi et al., 2008). رابطه بین کشاورزی و انرژی بسیار نزدیک است؛ به شکلی که کشاورزی هم در دسته تولیدکنندگان انرژی و هم در دسته مصرف‌کنندگان انرژی قرار می‌گیرد. بخش‌های مختلف کشاورزی تولیدکننده انرژی است و بخش‌های متعدد دیگر مصرف‌کننده آن و ارتباط بین این دو همواره به عنوان معیاری از توسعه‌یافتگی کشاورزی مطرح بوده است (Singh et al., 2004). در سال‌های اخیر استفاده از سامانه‌های کشاورزی با ورودی انرژی بالا، باعث ایجاد چالش‌های زیست‌محیطی، همچون گرمایش جهانی و آلودگی هوا گردیده است (Pahlavan et al., 2011).

انرژی و آب به‌عنوان دو نهاده اصلی سامانه‌های آبیاری، عناصر کلیدی و حیاتی برای توسعه اجتماعی و اقتصادی هستند (Tarjuelo et al., 2015). بررسی مطالعات انجام‌شده در زمینه مصرف انرژی در کشاورزی نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از انرژی مورداستفاده برای تولید محصولات کشاورزی در سامانه‌های آبیاری (شامل استحصال آب از چاه و ایستگاه‌های پمپاژ) مصرف می‌شود (Ghasemi-Mobtaker et al., 2012). این عملیات، علاوه بر مصرف بخش عمده‌ای از انرژی ورودی، اثرات زیست‌محیطی زیادی نیز به همراه دارند. در بین روش‌های آبیاری، روش آبیاری قطره‌ای، بیشترین بازده مصرفی آب را نسبت به روش‌های سنتی دارد که باعث کاهش میزان قابل‌توجهی از مصرف آب می‌گردد. نتایج مطالعات اخیر نشان داده که راندمان مصرف آب و همچنین بازده اقتصادی روش‌های آبیاری تحت‌فشار نسبت به آبیاری سطحی بالاتر است (Ze-Qiang et al., 2010; Andres and Cuchi, 2014; Darouich et al., 2017).

روش‌های نوین آبیاری در کشاورزی را می‌توان از جنبه‌های مختلفی شامل انرژی، اقتصادی، کارایی مصرف آب و زیست‌محیطی مورد توجه و بررسی قرار داد. امروزه بحث انرژی و آثار زیست‌محیطی در این سامانه‌ها در کانون توجهات بوده است. یک رویکرد ساختاری و جامع برای تجزیه و تحلیل آثار زیست‌محیطی در سامانه‌های تولیدی مختلف، ارزیابی چرخه زندگی است (Kaab et al., 2019a). این رهیافت همچنین می‌تواند برای مقایسه اثرات زیست‌محیطی سامانه‌های مختلف و انتخاب سامانه بهینه مورد استفاده قرار گیرد (Hosseini-Fashami et al., 2019). ارزیابی چرخه زندگی، یک روش برای تعیین و ارزیابی بارهای زیست‌محیطی در فرآیند تولید یک محصول است.

گردو یکی از درختان خانواده پهن‌برگان است که در بسیاری از نقاط جهان مانند اروپا، آمریکای شمالی و جنوبی، ایران، چین و ژاپن وجود دارد. میوه این درخت یکی از میوه‌های شناخته شده است که از زمان‌های بسیار قبل تولید می‌شده است. درخت گردو از اجزای مختلفی تشکیل شده است که تقریباً از تمام اجزای آن در موارد مختلف استفاده می‌گردد. از جمله موارد مورد استفاده، میوه آن در بخش خوراکی و داروها و چوب آن در قسمت ساخت لوازم مختلف و برگ آن برای مصارف رنگ‌رزی و دارویی است. در سال زراعی ۲۰۲۰-۲۰۲۱ میزان تولید گردو در ایران بیش از ۳۵۶ هزار تن بوده است (بی‌نام، ۱۴۰۰). این درحالی است که بیشترین میزان تولید گردو در جهان متعلق به چین و سپس آمریکاست و ایران در رتبه سوم قرار دارد (Khanali et al., 2021).

مطالعات زیادی در خصوص مصرف انرژی در تولید محصولات کشاورزی و همچنین بارهای زیست‌محیطی که همراه با تولید محصولات به محیط زیست وارد می‌شود انجام شده است. در مطالعه‌ای بر روی محصول ذرت بذری، بهره‌وری آب و انرژی مصرفی الکتریکی در سه سامانه مختلف آبیاری شامل بارانی، قطره‌ای و نشتی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد بهره‌وری انرژی در سامانه آبیاری بارانی بیشتر از دو سامانه دیگر است. در مجموع نتایج نشان داد سامانه آبیاری بارانی سنترپیوت در مقایسه با دو سامانه دیگر، بهترین عملکرد ازنظر آب و برق مصرفی را دارا است (علی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۴). مطالعه‌ای برای مدل‌سازی جریان انرژی و تحلیل اقتصادی برای تولید گردو در ایران توسط بناییان و زنگنه انجام شد. هدف از مطالعه تعیین الگوی مصرف انرژی و روابط بین انرژی نهادها و عملکرد و همچنین تحلیل اقتصادی باغات استان همدان بود. نتایج نشان داد که برای تولید گردو MJ ۱۵۱۹۶/۱ در هر هکتار انرژی مورد نیاز است. شاخص‌های نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی و شدت انرژی به ترتیب ۲/۹، $kg\ MJ^{-1}$ ۰/۳ و $MJ\ kg^{-1}$ ۳/۴ محاسبه گردید. نتایج همچنین نشان داد با مصرف بهینه نهاده‌ها و کاربرد پمپ مناسب برای پمپاژ آب و همچنین استفاده از ادوات کشاورزی برای آماده‌سازی زمین می توان میزان انرژی مصرفی و اثرات منفی بر محیط‌زیست را کنترل کرد (Banaeian & Zangeneh, 2011). در مطالعه‌ای دیگر در خصوص میزان کاهش انتشار کربن از طریق بهبود آبیاری، عنوان شد که استفاده از آب‌های زیرزمینی برای آبیاری در کشاورزی علاوه‌بر

کاهش سطح آب سفره‌های زیرزمینی، انرژی زیادی نیز مصرف می‌کنند. نتایج همچنین نشان داد برای پمپاژ آب‌های زیرزمینی به ۲۰/۵ میلیارد کیلووات ساعت برق و ۲ میلیارد لیتر گازوئیل نیاز است که این موضوع باعث انتشار ۳/۶ درصد کل انتشار کربن در کشور است. در این مطالعه همچنین عنوان شد در صورت ایجاد برنامه مناسب آبیاری و افزایش راندمان کار مزرعه می‌توان بهره‌وری آب را افزایش داد که این امر می‌تواند باعث کاهش انتشار کربن و کاهش ۴۰ درصدی مصرف انرژی گردد (Karimi et al., 2012).

در مطالعه‌ای که بر روی باغات بادام استان چهارمحال‌وبختیاری انجام شد باغات به سه گروه مطالعاتی بر اساس سن درختان تقسیم شدند، گروه اول شامل درختان ۶ تا ۱۰ سال، گروه دوم ۱۱ تا ۱۵ سال و گروه سوم شامل درختان ۱۶ تا ۲۰ سال بود. نتایج نشان داد کل انرژی ورودی برای گروه‌های اول تا سوم به ترتیب ۵۷۰۲۸/۱۳، ۶۰۳۴۱/۱۴ و ۶۱۶۴۰/۴۳ مگاژول در هکتار می‌باشد. نسبت انرژی برای گروه‌های اول تا سوم به ترتیب برابر با ۰/۶۲، ۱/۱۲ و ۰/۸۱ محاسبه شد. انرژی الکتریسته با مصرف حدود ۵۶ درصد انرژی کل در تمامی گروها مهم‌ترین ورودی انرژی بود. همچنین نتایج نشان داد در تولید بادام میزان انرژی تجدیدناپذیر ۸ برابر انرژی تجدیدپذیر است (Beigi et al., 2016). مطالعه‌ای دیگر به‌منظور بررسی مصرف انرژی ناشی از پمپاژ آب‌های زیرزمینی برای آبیاری در چین نشان داد که فعالیت آبیاری در کشاورزی مقدار زیادی از منابع آب‌های زیرزمینی را با صرف انرژی زیادی مصرف می‌کند. همچنین نتایج حاکی از آن بود که تغییر در نحوه آبیاری و استفاده از آبیاری قطره‌ای و بارانی و به همراه تغییر روش‌های زراعی می‌تواند در روند کاهش مصرف انرژی آبیاری بسیار مؤثر باشد (Chen et al., 2019).

میزان مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای محصول گردو در استان البرز توسط خانعلی و همکاران مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان انرژی ورودی و خروجی به ترتیب برابر با ۲۷۲۰۰ و ۳۱۰۱۵ مگاژول در هکتار محاسبه شد. شاخص نسبت انرژی ۰/۸۸ به دست آمد که نشان از ناکارایی انرژی در سامانه تولید گردو است. نتایج همچنین نشان داد سوخت بنزین با ۴۰ درصد بیشترین سهم مصرف انرژی در بین نهاده‌های ورودی را به خود اختصاص داده است. نتایج تحلیل زیست‌محیطی نشان داد که انتشارات مستقیم با سهم بیش از ۵۰ درصد اثر در شاخص‌های کیفیت اکوسیستم، سلامت انسان و تغییرات آب و هوایی، مهم‌ترین عامل اثرات زیست‌محیطی تولید گردو است (Khanali et al., 2021). در مطالعه‌ای دیگر در استان گیلان، اثرات زیست‌محیطی تولید محصولات باغی کیوی و فندق مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد انتشارات مستقیم و مصرف نهاده کودهای ازته بیشترین اثرات منفی را بر روی محیط زیست دارند. نتایج همچنین نشان داد به دلیل مصرف بالای انرژی، اثرات زیست‌محیطی تولید فندق بیشتر از سایر محصولات است. برای بهبود شرایط توصیه شد از کودهای آلی با اثرات زیست‌محیطی کمتر به جای کودهای ازته استفاده شود (Mostashari-Rad et al., 2021).

با توجه به بررسی منابع و تحقیقات انجام‌شده در زمینه مصرف انرژی در تولید محصولات باغی، مشخص شد که مطالعه‌ای در مورد اثر روش‌های مختلف آبیاری بر مصرف انرژی و شاخص‌های زیست‌محیطی تولید گردو در استان چهارمحال‌وبختیاری انجام نشده است. ازآنجایی‌که مطالعه شاخص‌های انرژی اولین گام در جهت مدیریت مصرف انرژی در نظر گرفته می‌شود، بنابراین لازم است روند مصرف انرژی در تولید این محصول در منطقه، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق تولید محصولات باغی، مورد بررسی قرار گیرد. همچنین در این مطالعه به بررسی اثرات زیست‌محیطی در تولید گردو در باغات شهرستان‌های شهرکرد و سامان پرداخته خواهد شد تا سامانه با اثرات زیست‌محیطی کمتر معرفی شود. در نهایت پیشنهادهایی در جهت کاهش مصرف انرژی و همچنین کاهش اثرات زیست‌محیطی تولید گردو ارائه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه و جمع‌آوری اطلاعات

استان چهارمحال‌وبختیاری با مساحت ۱۶۴۱۱ کیلومترمربع (حدود ۱ درصد از مساحت کل کشور) در جنوب‌غربی ایران واقع شده است. استان دارای ۴۴۲۶۰ هکتار سطح باغات است. از این میزان ۱۳۶۷۵ هکتار آن در شهرستان سامان و ۴۳۱۶ هکتار آن در شهرستان شهرکرد است. از کل میزان سطح زیر کشت باغات در شهرستان شهرکرد ۴۵۹ هکتار و در شهرستان سامان ۱۰۶۵ هکتار آن به گردو اختصاص دارد (بی‌نام، ۱۴۰۰). اطلاعات موردنیاز این پژوهش، در سال زراعی ۱۴۰۰– ۱۴۰۱، از باغات گردوی شهرستان‌های شهرکرد و سامان واقع در استان چهارمحال‌وبختیاری جمع‌آوری گردید. باغات این دو شهرستان از طریق دو روش آبیاری تحت‌فشار و سطحی آبیاری می‌گردد. در آبیاری تحت‌فشار آب توسط پمپی از رودخانه به استخر انتقال می‌یابد و سپس توسط پمپی دیگر به لوله‌های آبیاری منتقل می‌شود. در این روش آب تنها در اطراف ریشه است و بنابراین مصرف آب به‌شدت کاهش می‌یابد. همچنین در این روش مصرف کودهای شیمیایی و سموم

از طریق سامانه آبیاری انجام می‌شود. در این روش نیازی به ایجاد نهر آب و تمیز کردن آن نیست؛ لذا نیاز به نیروی کارگری کاهش می‌یابد. در روش آبیاری سطحی آب رودخانه به شکل مستقیم وارد نهرهای ایجادشده در نزدیکی درختان می‌شود. با توجه به ضرورت ایجاد و نگهداری نهرها، استفاده از نیروی کارگری در این روش بیشتر است. به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات ابتدا با ۱۵ باغدار مصاحبه شد و با استناد به مراحل و نهاده‌های ذکرشده توسط ایشان پرسشنامه تنظیم و طراحی گردید. روش نمونه‌گیری تصادفی ساده، روش مورداستفاده در این پژوهش بود. همچنین برای تعیین حجم نمونه از رابطه کوکران (رابطه ۱) استفاده شد (Ghasemi-Mobtaker et al., 2010). در مجموع ۴۵ پرسش‌نامه از باغ‌های گردو شامل ۳۲ باغ با روش آبیاری تحت‌فشار و ۱۳ باغ با روش آبیاری سطحی تکمیل گردید.

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

که در این رابطه:

n: حجم نمونه — t: ۱/۹۶

N: حجم جامعه — d: دقت مطلوب احتمالی

S: انحراف معیار

محاسبه انرژی نهاده و ستانده

تمامی نهاده‌های مورداستفاده و محصولات تولیدی در باغات مشخص شدند و از ضرایب و هم‌ارزهای مختلف جهت محاسبه محتوای انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها استفاده گردید. نهاده‌های مورداستفاده، ستانده‌ها و محتوای انرژی آنها در جدول (۱) نمایش داده شده است.

جدول ۱. هم‌ارز انرژی نهاده‌های ورودی و خروجی در باغات گردو

نهاده‌ها	واحد	محتوای انرژی ($MJ\ unit^{-1}$)	مرجع
نهاده‌های ورودی			
۱. نیروی انسانی	h		
– مرد		۱/۹۶	(Mohammadi et al., 2010)
– زن		۱/۵۷	(Salehi et al., 2014)
۲. ماشین‌ها	h	۶۴/۸۰	(Ghasemi-Mobtaker et al., 2010)
۳. سوخت	L	۵۶/۳۱	(Ghasemi-Mobtaker et al., 2010)
۴. کودهای شیمیایی	kg		
– نیتروژن(N)		۶۶/۱۴	(Mohammadi et al., 2010)
– فسفر(P_2O_5)		۱۲/۴۴	(Mohammadi et al., 2010)
– پتاسیم(K_2O)		۱۱/۱۵	(Rafiee et al., 2010)
– گوگرد(S)		۱/۱۲	(Pahlavan et al., 2012)
– کلسیم(Ca)		۸/۸	(Strapatsa et al., 2006)
۵. کود حیوانی	kg	۰/۳۰	(Mohammadi et al., 2010)
۶. آفت‌کش‌ها	kg		
– حشره‌کش		۱۰۱/۲	(Erdal et al., 2007)
– قارچ‌کش		۲۱۶	(Rafiee et al., 2010)
۷. پلاستیک	kg	۶۰	(Canakci et al., 2005)
۸. الکتریسیته	kWh	۱۱/۹۳	(Ozkan et al., 2004)
ستانده‌ها			
۱. مغز گردو	kg	۲۶/۱۵	(Banaeian and Zangeneh, 2011)
۲. پوست سبز گردو	kg	۱۸	(Banaeian and Zangeneh, 2011)
۳. چوب گردو	kg	۱۰	(Banaeian and Zangeneh, 2011)

شاخص‌های انرژی

در مطالعات مربوط به انرژی هدف نهایی محاسبه شاخص‌های انرژی است. این شاخص‌ها امکان مقایسه بین سامانه‌های مختلف را فراهم می‌آورند. مهم‌ترین این شاخص‌ها شامل نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی و افزوده خالص انرژی است که رابطه‌های (۲) تا (۴) برای محاسبه

این شاخص‌ها استفاده شد (Nabavi-Pelesaraei et al., 2014). یکی از شاخص‌های مهم برای ارزیابی میزان مصرف آب در تولید محصولات شاخص بهره‌وری آب است (Ghasemi-Mobtaker et al., 2022). در واقع این شاخص مشخص می‌کند به ازای هر واحد از آب مصرفی (مترمکعب) چه مقدار محصول (کیلوگرم) تولید شده است. در این مطالعه برای مقایسه دو روش آبیاری از نظر کارایی مصرف آب از شاخص بهره‌وری آب استفاده شد. این شاخص در رابطه (۵) معرفی شده است.

$$ER = \frac{E_{out}}{E_{in}}$$ رابطه ۲)

$$NEG = E_{out} - E_{in}$$ رابطه ۳)

$$EP = \frac{Y}{E_{in}}$$ رابطه ۴)

$$WP = \frac{Y}{WA}$$ رابطه ۵)

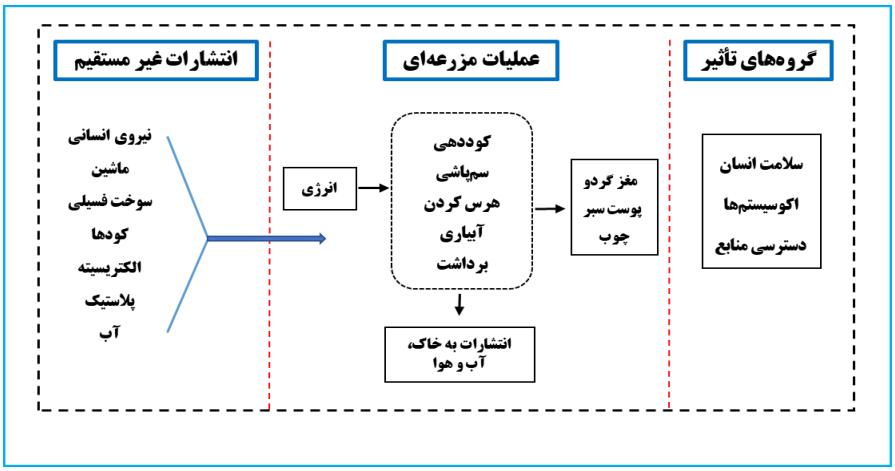
که در این روابط:

ER : نسبت انرژی (–)
NEG : افزوده خالص انرژی ($MJ\ ha^{-1}$)
EP : بهره‌وری انرژی ($kg\ MJ^{-1}$)
E_{out} : مقدار انرژی خروجی ($MJ\ ha^{-1}$)
Y : عملکرد محصول ($kg\ ha^{-1}$)
E_{in} : مقدار انرژی ورودی ($MJ\ ha^{-1}$)
WP : شاخص بهره‌وری آب ($kg\ m^{-1}$)
WA : حجم آب مصرفی (m^3)

ارزیابی چرخه زندگی

ارزیابی چرخه زندگی یک روش جامع است که امروزه به‌طور گسترده برای مطالعه و کمی‌سازی اثرات زیست‌محیطی یک محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سامانه‌های کشاورزی، ارزیابی چرخه زندگی بیشتر برای تخمین گازهای گلخانه‌ای منتشرشده که در جریان تولید نهاده‌ها یا خود محصول ایجاد می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد و از این روش می‌توان برای انتخاب مناسب‌ترین روش تولید محصولات زراعی استفاده کرد (Nabavi-Pelesaraei et al., 2018). چهار مرحله برای ارزیابی چرخه زندگی در هر پروژه وجود دارد:

تعریف هدف و دامنه: مهم‌ترین مرحله، تعریف هدف و دامنه است که در آن چهارچوب کلی کار تعیین می‌شود. در مطالعه حاضر، یک تن از محصول (مغز گردو) به‌عنوان واحد کارکردی درنظر گرفته شد؛ به این معنا که تمامی آلاینده‌های انتشاریافته بر پایه نهاده‌های مصرفی برای تولید یک تن محصول در هر دو روش آبیاری محاسبه و گزارش شد. همچنین مرز سامانه از شروع عملیات در فصل بهار (شامل تمام نهاده‌های مورداستفاده و عملیات انجام‌شده در باغ‌ها در دو سامانه آبیاری) تا تولید محصول گردو در مزرعه تعیین شد. شکل (۱) مرز سامانه تولید گردو را نشان می‌دهد.



شکل ۱. مرز سامانه تولید گردو

تحلیل سیاهه: در این مطالعه با استفاده از ضرایب انتشار، میزان انتشار آلاینده‌های سامانه‌های مختلف به هوا، آب و خاک در کل چرخه عمر محصولات موردمطالعه محاسبه شد (Kaab et al., 2019b). همچنین برای محاسبه میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی غیرمستقیم یا خارج از مزرعه ناشی از مصرف نهاده‌ها از داده‌های موجود در پایگاه داده اکواینونت استفاده شد (Nemecek et al., 2011).

ارزیابی اثرات چرخه زندگی: هدف از ارزیابی اثر چرخه‌ی زندگی تفسیر بیشتر داده‌های سیاهه‌ی چرخه‌ی زندگی است. در واقع هدف این مرحله، تبدیل نتایج کمی بخش تحلیل سیاهه به نتایج کیفی و قابل‌فهم است که به درک بهتر اثرات و پیامدهای زیست‌محیطی سامانه موردپژوهش بیانجامد. در این مرحله، داده‌های سیاهه، در عامل‌های توصیف (ضرایب تبدیل) مربوطه ضرب می‌شود تا شاخص‌های مربوط به بخش‌های اثرهای مختلف به‌دست آید. روش‌های مختلفی برای ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی وجود دارد. مطالعه حاضر براساس روش ReCiPe 2016 انجام شد. با استفاده از این روش، سه شاخص نهایی آسیب به سلامت انسان، آسیب به منابع و آسیب به اکوسیستم‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به‌منظور انجام محاسبات ارزیابی چرخه زندگی از نرم‌افزار SimaPro V. 9.1.01 استفاده گردید (Ghasemi-Mobtaker et al., 2022).

تفسیر نتایج: در مرحله تفسیر نتایج، مراحل ارزیابی اثر مورد ارزشیابی قرار می‌گیرند تا مراحل یا نقاطی که در مسیر تولید محصولات بیشترین و کمترین اثر سوء را برای محیط‌زیست داشته‌اند مشخص شود و در نهایت نتیجه‌گیری و ارائه راهکارها انجام گردد (Tricase et al., 2018).

نتایج و بحث

انرژی نهاده و ستانده

نتایج این مطالعه نشان داد که انرژی کل مصرفی در یک سال زراعی برای تولید گردو در روش آبیاری تحت‌فشار ۲۹۵۷۳/۵۳ مگاژول در هکتار است (جدول ۲). همچنین برای روش آبیاری سطحی کل انرژی مصرفی ۲۵۰۵۸/۴۶ مگاژول در هکتار به‌دست‌آمد. به عبارت دیگر مصرف انرژی تولید گردو در روش آبیاری تحت‌فشار حدود ۱۸ درصد بیشتر از روش آبیاری سطحی محاسبه شد. این موضوع به دلیل دو نهاده الکتریسیته و پلاستیک مورداستفاده در روش تحت‌فشار است. نهاده الکتریسیته برای پمپاژ آب استفاده می‌شود و لوله‌های پلاستیکی به همراه قطره‌چکان‌ها در سامانه آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته باید توجه داشت که در روش آبیاری تحت‌فشار به دلیل امکان استعمال کود از طریق سامانه آبیاری، مصرف کودهای شیمیایی در مقایسه با روش سطحی پایین است و این موضوع می‌تواند یکی از مزایای این روش باشد. نتایج همچنین نشان داد میزان عملکرد مغز گردو در هر دو روش آبیاری تقریباً برابر است. در مطالعات مشابه گزارش شده که استفاده از روش آبیاری تحت‌فشار علی‌رغم اینکه باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌شود، باعث افزایش مصرف انرژی در تولید محصولات نیز می‌شود که این امر می‌تواند مشکلات زیست‌محیطی نظیر افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای را به همراه داشته باشد (Lal, 2004; Tarjuelo et al., 2015).

در مطالعه‌ای دیگر که در استان همدان بر روی مصرف انرژی در سامانه‌های آبیاری محصولات گندم، جو و یونجه انجام شد نتایج نشان داد استفاده از سامانه آبیاری تحت‌فشار باعث استفاده کارا از نهاده‌های الکتریسیته و نیروی انسانی می‌شود، اما در عین حال مصرف انرژی به دلیل استفاده بیشتر از سوخت فسیلی برای پمپاژ آب افزایش می‌یابد (قاسمی مبتکر، ۱۳۹۸).

شکل‌های (۲) و (۳) سهم انرژی نهاده‌های مصرفی در تولید گردو در دو روش آبیاری مذکور را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در روش آبیاری تحت‌فشار نهاده‌ای که بیشترین انرژی را مصرف نموده است، پلاستیک با ۳۲ درصد از کل انرژی ورودی است که علت آن این است که برای استفاده از این نوع روش باید پای هر درخت، لوله آب و قطره‌چکان نصب گردد، که نیاز است کل باغ به‌واسطه لوله‌های پلاستیکی پوشش داده شود. با توجه به عمر مفید لوله‌های اصلی و فرعی به طور متوسط حدود ۱۵۷ کیلوگرم پلاستیک در هر سال زراعی نیاز است که این میزان معادل ۹۴۳۲ مگاژول انرژی است. افزایش عمر لوله‌ها و به خصوص لوله‌های فرعی از راه‌های کاهش مصرف این نهاده است که این امر با محافظت لوله‌ها از تابش مستقیم آفتاب مسیر است. در روش آبیاری سطحی بیشترین سهم مصرف انرژی مربوط به کود ازت با ۳۰ درصد از کل انرژی مصرفی است که آبشویی این کود در این روش آبیاری را می‌توان یکی از دلایل آن عنوان نمود. مقایسه مصرف نهاده کودهای شیمیایی در دو روش آبیاری نشان داد میزان مصرف کودهای شیمیایی در روش آبیاری سطحی به مراتب بیشتر از روش تحت‌فشار است. دلیل این موضوع این است که برخلاف روش تحت‌فشار که سامانه‌ای کنترلی بوده و مصرف کود در آن به

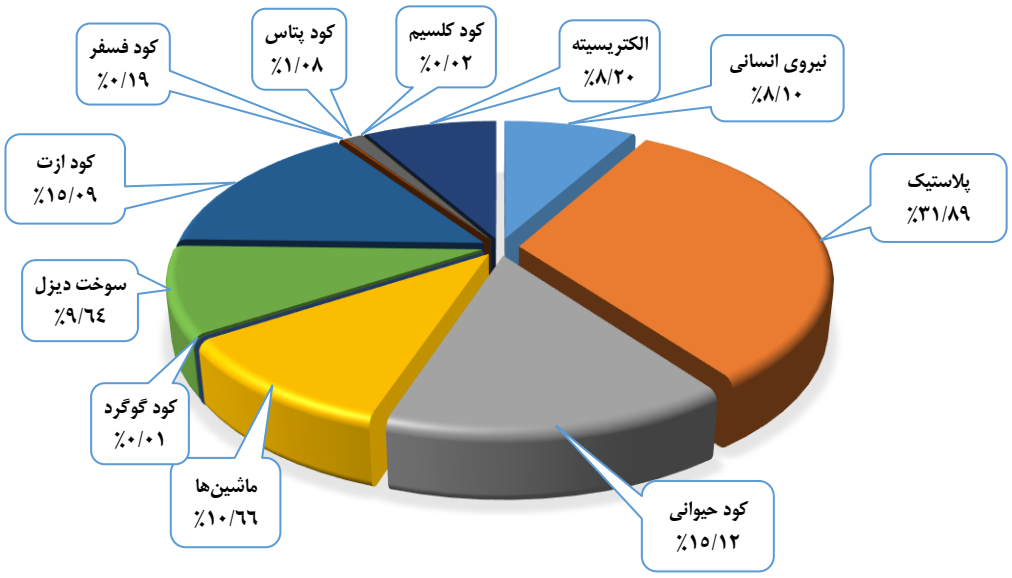
شکل تزریق است، در روش سطحی به‌علت ساختار جوی مانند و عبور آب برای برطرف نمودن نیاز آبی گیاه، مقدار بیشتری از کود از طریق آبشویی از دسترس گیاه خارج می‌شود. با توجه به اینکه کود ازته سریع از دسترس گیاه خارج می‌شود، ارائه توصیه‌هایی در جهت مصرف صحیح و به موقع این کود می‌تواند باعث صرفه‌جویی در مصرف آن شود.

جدول ۲. مقدار نهاده‌ها و محتوای انرژی آنها در تولید گردو

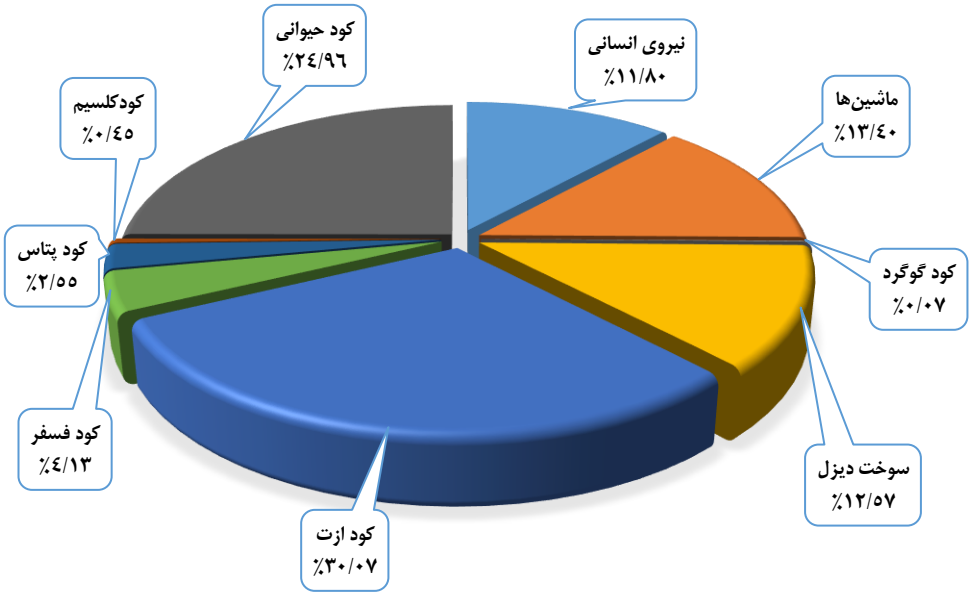
نهاده‌ها	مقدار در هکتار (تحت‌فشار)	مقدار در هکتار (سطحی)	انرژی در هکتار (تحت‌فشار)	انرژی در هکتار (سطحی)
			MJ ha^{-1}	
۱- نیروی انسانی (h)	۱۲۲۱/۶۱	۱۵۰۹/۱۵	۲۳۹۴/۳۶	۲۹۵۷/۹۴
۲- ماشین‌ها (h)	۴۸/۶۶	۵۹/۶۲	۳۱۵۲/۹۳	۳۳۵۶/۹۴
۳- سوخت دیزل (L)	۵۰/۶۳	۵۵/۹۲	۲۸۵۰/۶۹	۳۱۴۹/۰۳
۴- کودهای شیمیایی (kg)				
- کود ازت	۶۷/۴۷	۱۱۳/۹۴	۴۴۶۲/۲۵	۷۵۳۵/۸۹
- کود فسفر	۴/۵۳	۸۳/۱۵	۵۶/۳۷	۱۰۳۴/۴۳
- کود پتاس	۲۸/۶۱	۵۷/۴۸	۳۱۹/۰۳	۶۴۰/۹۵
- کود کلسیم	۰/۵۶	۱۲/۷۷	۴/۹۰	۱۱۲/۳۷
- کود گوگرد	۲/۲۳	۱۵/۲۳	۲/۵۰	۱۷/۰۶
۵- کود حیوانی (kg)	۱۴۹۰۶/۲۵	۲۰۸۴۶/۱۵	۴۴۷۱/۸۸	۶۲۵۳/۸۵
۶- الکتریسیته (kWh)	۲۰۳/۴۱	۰/۰۰	۲۴۲۶/۶۴	۰/۰۰
۷- پلاستیک (kg)	۱۵۷/۲۰	۰/۰۰	۹۴۳۲/۰۰	۰/۰۰
۸- آب (m^3)	۴۰۲۰/۶۵	۱۴۴۹۵/۲۶		
کل انرژی ورودی			۲۹۵۷۳/۵۳	۲۵۰۵۸/۴۶
ستانده‌ها				
مغز گردو (kg)	۸۷۹/۵۳	۸۸۴/۶۲	۲۲۹۹۹/۷۴	۲۳۱۳۲/۶۹
پوست سبز (kg)	۲۲۶۲/۵۰	۲۴۴۲/۳۱	۴۰۷۲۵/۰۰	۴۳۹۶۱/۵۴
چوب (kg)	۱۸۲۷/۹۷	۲۲۶۵/۳۸	۱۸۲۷۹/۶۹	۲۲۶۵۳/۸۵
کل انرژی خروجی			۸۲۰۰۴/۴۳	۸۹۷۴۸/۰۸

در مطالعات زیادی انرژی کودهای شیمیایی به عنوان مهم‌ترین نهاده در تولید محصولات گزارش شده است. به عنوان مثال در مطالعه‌ای که در باغ‌های کیوی در شمال ایران انجام شد سهم انرژی کودهای شیمیایی و به‌خصوص کود ازته از انرژی ورودی قابل‌توجه بود؛ به طوری که ۳۰ درصد از انرژی ورودی به کود ازته اختصاص یافته بود (Mohammadi *et al.*, 2010). در پژوهشی دیگر در باغ‌های فندق در شمال ایران هم نتایج مشابهی گزارش شد و سهم کود ازته از انرژی ورودی بیشترین مقدار گزارش شد (Mostashari-Rad *et al.*, 2019).

کود حیوانی به‌ترتیب با ۱۵ و ۲۵ درصد از کل انرژی مصرفی در روش‌های تحت‌فشار و سطحی، در جایگاه بعدی قرار دارد که نشان‌دهنده اهمیت مصرف کود آلی در این منطقه است. بررسی نتایج در خصوص استفاده از نیروی انسانی نشان داد در روش آبیاری تحت‌فشار در حدود ۲۸۸ ساعت (حدود ۱۹ درصد) کمتر به نیروی انسانی نیاز است. علت کم بودن سهم انرژی نیروی انسانی در این روش به دلیل نوع سامانه آبیاری است؛ که تنها نیاز به فردی است که آب را در سامانه جاری سازد و کنترل انسداد و خرابی لوله و تجهیزات را انجام دهد و برخلاف روش سطحی، نیاز به عملیات بیشتر در خصوص ایجاد نهر و آبیاری نیست. نتایج همچنین نشان داد در روش آبیاری تحت‌فشار در مقایسه با روش آبیاری سطحی به علت کاهش عملیات خاک‌ورزی به ماشین و در نتیجه سوخت کمتری نیاز است. سوخت دیزلی یکی از پرمصرف‌ترین سوخت‌های فسیلی در تراکتورها و تیلرهای کشاورزی است. ادوات خاک‌ورزی و کودپاش‌ها از جمله ادواتی می‌باشند که در این منطقه برای خاک‌ورزی و استفاده از کودهای شیمیایی و حیوانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مصرف بالای این سوخت‌ها نیز به علت توپوگرافی منطقه است که پستی و بلندی زیادی دارند. همچنین دلیل دیگر را می‌توان بازدهی کم ادوات کشاورزی در منطقه و فرسودگی آنها بیان کرد. کمترین میزان مصرف انرژی در هر دو سامانه موردبررسی به کودهای گوگرد و کلسیم تعلق داشت



شکل ۲. سهم انرژی نهاده‌های مصرفی در تولید گردو در روش آبیاری تحت‌فشار



شکل۳. سهم انرژی نهاده‌های مصرفی در تولید گردو در روش آبیاری سطحی

در مطالعه‌ای مشابه انرژی مصرفی گردو مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد برای تولید گردو ۱۵۱۹۶/۱ مگاژول در هکتار انرژی مصرف می‌گردد که بیشترین سهم مصرف انرژی را کودهای شیمیایی با ۴۱/۵ درصد از کل انرژی داشته‌اند که در واقع کود ازت با ۳۳/۲ درصد پرمصرف‌ترین نهاده بوده است (Banaeian & Zangeneh, 2011). همچنین در مطالعه دیگر میزان انرژی ورودی برای تولید گردو ۲۷۲۰۰ مگاژول در هکتار گزارش شد که بیشترین میزان مصرف انرژی مربوط به سوخت‌های فسیلی با ۶۲ درصد از انرژی مصرفی بود (Khanali *et al.*, 2021). نکته قابل‌توجه دیگر در مورد این دو سامانه مصرف کمتر آب در روش تحت‌فشار است. نتایج نشان داد روش آبیاری تحت‌فشار در حدود ۷۲ درصد نسبت به روش آبیاری سطحی آب کمتری مصرف می‌کند. این موضوع به خصوص اینکه ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و با محدودیت منابع آبی روبرو است می‌تواند قابل‌توجه باشد.

محاسبه شاخص‌های انرژی

جدول (۳) نمایانگر نتایج مربوط به محاسبه شاخص‌های انرژی در تولید محصول گردو است. نسبت انرژی که بیانگر کارایی انرژی در تولید محصول است، در این مطالعه در روش آبیاری تحت‌فشار ۲/۷۷ به‌دست آمد که نشان می‌دهد به ازای یک مگاژول انرژی ورودی در این روش ۲/۷۷ مگاژول انرژی تولید شده است. این شاخص برای روش آبیاری سطحی ۳/۵۸ محاسبه شد. در مطالعه‌ای که در استان همدان انجام شد، برای محصول گردو این شاخص ۲/۹ گزارش شد (Banaeian & Zangeneh, 2011). در مطالعه‌ای دیگر این شاخص برای محصول نارنگی در مازندران ۰/۸۷ محاسبه شد (Mohammadshirazi *et al.*, 2012). بهره‌وری انرژی گردو در روش آبیاری تحت‌فشار ۰/۰۳kg MJ^{-1} و در روش آبیاری سطحی ۰/۰۴ kg MJ^{-1} به‌دست آمد. این شاخص بیانگر آن است که به ازای هر یک مگاژول انرژی مصرفی در روش تحت‌فشار ۰/۰۳ کیلوگرم محصول مغز گردو و در روش سطحی ۰/۰۴ کیلوگرم محصول مغز گردو تولید شده است. این در حالی است که بنایان و زنگنه (۲۰۱۱) برای محصول گردو شاخص بهره‌وری انرژی را ۰/۳ kg MJ^{-1} بیان کردند.

جدول ۳. شاخص‌های انرژی در دو روش آبیاری محصول گردو

شاخص‌ها	روش آبیاری تحت‌فشار	روش آبیاری سطحی
نسبت انرژی (–)	۲/۷۷	۳/۵۸
بهره‌وری انرژی (kg MJ^{-1})	۰/۰۳	۰/۰۴
بهره‌وری آب (kg m^{-3})	۰/۲۲	۰/۰۶
افزوده خالص انرژی(MJ ha^{-1})	۵۲۴۳۰/۹۰	۶۴۶۸۹/۶۱

بهره‌وری آب برای روش آبیاری تحت‌فشار در محصول گردو ۰/۲۲ بود که نشان می‌دهد به ازای یک مترمکعب آب مصرفی ۰/۲۲ کیلوگرم محصول تولید می‌گردد. همچنین در روش آبیاری سطحی این رقم ۰/۰۶ بوده است. نتایج نشان می‌دهد همان‌طور که انتظار می رود، از نظر شاخص بهره‌وری آب روش آبیاری تحت‌فشار به مراتب شرایط بهتری نسبت به روش آبیاری سطحی دارد. به عبارت دیگر در روش آبیاری تحت‌فشار میزان تلفات آب به حداقل می‌رسد و آب مطابق با نیاز گیاه و فقط در اطراف ریشه است. افزوده خالص انرژی در هر دو روش آبیاری مثبت به‌دست آمد (به ترتیب ۵۲۴۳۰/۹۰ و ۶۴۶۸۹/۶۱ مگاژول در هکتار برای آبیاری تحت‌فشار و سطحی) که نشان می‌دهد در تولید گردو در هر دو روش آبیاری انرژی تولید شده است. این نتایج با بسیاری از نتایج که در مناطق دیگر انجام شده مطابقت دارد (Banaeian and Zangeneh, 2011; Torki *et al.*, 2015).

ارزیابی چرخه زندگی در تولید گردو

در بخش پایانی شاخص‌های زیست‌محیطی محصول گردو در دو روش آبیاری بررسی گردید و نتایج در جدول (۴) و همچنین شکل‌های (۴) و (۵) خلاصه شده است. شاخص آسیب به سلامت انسان در روش آبیاری تحت‌فشار ۰/۰۸۰۸ DALY برای هر تن محصول گردو به دست آمد. برای این شاخص۳۹/۶۳ درصد مربوط به انتشارات مستقیم بود. بعد از انتشارات مستقیم پلاستیک بیشترین اثر را بر شاخص سلامت انسان داشت؛ به‌طوری که حدود ۲۳ درصد از شاخص سلامت انسان مربوط به مصرف این نهاده بود. علت بالا بودن آن به دلیل استفاده از پلاستیک در لوله‌های انتقال آب و تجهیزات آبیاری است. همان‌طور که اشاره شد، اگر بتوان لوله‌های اصلی و فرعی را از تابش نور خورشید محافظت کرد می‌توان عمر مفید آنها را افزایش داد که این امر در کاهش مصرف انرژی و همچنین کاهش اثرات زیست‌محیطی مؤثر است. کودهای شیمیایی با ۱۶/۴۰ درصد نهاده بعدی مؤثر در شاخص سلامت انسان بود که مصرف بالای این کودها در تولید گردو دلیل بالا بودن درصد این نهاده در شاخص آسیب به سلامت انسان است. البته باید توجه داشت که در روش آبیاری تحت‌فشار مصرف کودهای شیمیایی نسبت به روش آبیاری سطحی کمتر است که نشان می‌دهد در روش آبیاری تحت‌فشار میزان آسیب‌های کودهای شیمیایی که سلامت انسان را به‌خطر می‌اندازد کمتر از روش آبیاری سطحی است. در مطالعه‌ای در خصوص ارزیابی چرخه‌زندگی محصول آلوورا در استان خراسان رضوی گزارش شد انتشارات مستقیم حاصل از سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی بیشترین اثر را در شاخص آسیب به سلامت انسان داشته است (خانعلی و حسین‌زاده، ۱۳۹۶).

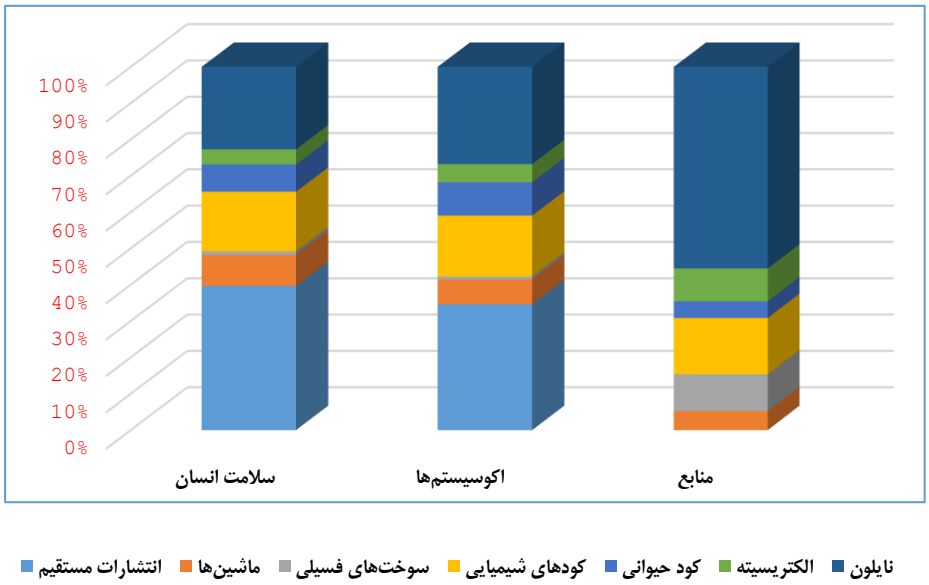
جدول ٤. شاخص‌های نهایی در تولید گردو در دو روش آبیاری

شاخص‌ها	واحد	روش آبیاری تحت‌فشار	روش آبیاری سطحی

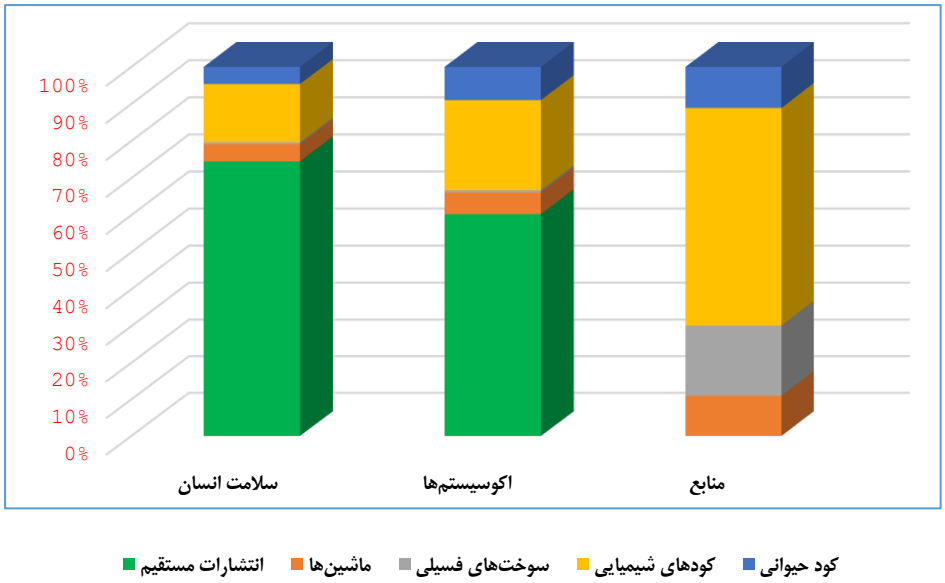
		(نرمال شده)	(نرمال شده)
آسیب به سلامت انسان	DALY	۰/۰۸۰۸	۰/۱۸۲۷
		(۰/۹۰۵۴)	(۲/۰۴۶۴)
آسیب به اکوسیستم‌ها	species.yr	۱/۲۳ × ۱۰$^{-۴}$	۱/۷۶ ×۱۰$^{-۴}$
		(۰/۱۴۶۴)	(۰/۲۰۸۹)
آسیب به دسترسی منابع	USD 2013	۳۱۵/۹۴	۱۸۲/۶۹
		(۰/۰۱۱۳)	(۰/۰۰۶۵)

در روش آبیاری سطحی شاخص سلامت انسان ۰/۱۸۲۷ DALY محاسبه شد که ۷۴/۵۲ درصد آن مربوط به انتشارات مستقیم و ۱۵/۷۶ درصد آن مربوط به کودهای شیمیایی است که نشان می‌دهد کودهای شیمیایی سلامت انسان را تا حد زیادی به خطر می‌اندازد. همچنین ممکن است از طریق آب مورداستفاده در آبیاری وارد منابع آب آشامیدنی شوند و مسمومیت‌های زیادی به‌وجود آورند. در مطالعه‌ای بر روی چرخه‌زندگی تولید کلزا در استان مازندران گزارش شد که برای شاخص آسیب به سلامت انسان بیشترین درصد نهاده مربوط به کودهای شیمیایی بوده است و بعد از آن ماشین‌ها قرار دارند (موسوی اول و همکاران، ۱۳۹۴).

با توجه به مقادیر نرمال شده شاخص‌ها، مقایسه تولید گردو در دو روش آبیاری از نظر شاخص آسیب به سلامت انسان نشان می‌دهد که استفاده از روش آبیاری تحت‌فشار باعث کاهش ۵۶ درصدی آسیب به سلامت انسان می‌شود. این موضوع به دو دلیل است؛ اولاً اینکه مصرف کودهای شیمیایی که باقیمانده آنها در محصولات کشاورزی مستقیماً وارد زنجیره غذایی می‌شود، در روش آبیاری تحت‌فشار کمتر است. ثانیاً به دلیل نیاز به عملیات کشاورزی کمتر، نیاز به ماشین‌ها و سوخت‌های فسیلی در این روش کمتر است که این موضوع هم باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آسیب کمتر به سلامت انسان می‌شود. در مطالعه‌ای که در استان همدان انجام شد نتایج متفاوتی گزارش شد؛ به‌طوری‌که نتایج نشان داد استفاده از روش آبیاری تحت‌فشار باعث افزایش آسیب به سلامت انسان می‌شود. دلیل این موضوع هم استفاده از یک موتور دیزل نامتناسب با استفاده غیرکارا از سوخت فسیلی عنوان شد (Ghasemi-Mobtaker et al., 2020).



شکل ٤. سهم هر یک از منابع در بخش‌های اثر در تولید گردو (روش آبیاری تحت‌فشار)



شکل ۵. سهم هر یک از منابع در بخش‌های اثر در تولید گردو (روش آبیاری سطحی)

شاخص آسیب به اکوسیستم‌ها برای تولید گردو در روش آبیاری تحت‌فشار species.yr ۱۰$^{-۴}$×۱/۲۳ به‌دست‌آمد. در ارتباط با این شاخص نتایج نشان داد که انتشارات مستقیم ۳۴/۶۱ درصد آن را تشکیل می‌دهد و پس از آن پلاستیک با ۲۶/۷۹ درصد قرار دارد. پس از آن کودهای شیمیایی با۱۶/۸۰ قرار دارد که نشان می‌دهد مصرف بالای این کودها آسیب‌های زیادی به اکوسیستم وارد می‌نماید. نتایج همچنین نشان داد شاخص آسیب به اکوسیستم‌ها در روش آبیاری سطحی species.yr ۱۰$^{-۴}$×۱/۷۶ است که ۶۰/۲۵ درصد آن انتشارات مستقیم و ۲۴/۳۳ درصد مربوط به کودهای شیمیایی است. با توجه به مقادیر نرمال شده شاخص‌ها، مقایسه تولید گردو در دو روش آبیاری نشان می‌دهد که مقدار شاخص آسیب به اکوسیستم‌ها در روش آبیاری تحت‌فشار حدود ۳۰ درصد کمتر از روش آبیاری سطحی است که این موضوع نشان می‌دهد در روش آبیاری تحت‌فشار میزان آسیب به اکوسیستم‌ها به دلیل استفاده کمتر از ماشین‌ها و سوخت‌های فسیلی و همچنین استفاده کمتر از منابع آبی کمتر از آبیاری سطحی است.

نتایج نشان داد شاخص آسیب به دسترسی منابع برای روش آبیاری تحت‌فشار USD 2013 ۳۱۵/۹۴ بود. از این میزان ۵۵/۵۵ درصد به پلاستیک اختصاص داشت که نشان می‌دهد که در این روش مصرف پلاستیک بالاست و این موضوع صدمات زیادی به دسترسی به منابع وارد می‌نماید. کودهای شیمیایی ۱۵/۴۶ درصد را تشکیل می‌دهند و نشان‌دهنده آسیب‌زا بودن این مواد است و پس از آن سوخت‌های فسیلی با ۱۰/۱۱ درصد قرار دارد. سهم نهاده الکتریسیته نیز در این شاخص بالاست و علت آن مصرف الکتریسیته در پمپ‌های آب است که باعث آسیب به دسترسی به منابع می‌گردد. شاخص آسیب به دسترسی به منابع در روش آبیاری سطحی USD 2013 ۱۸۲/۶۹ به‌دست آمد که ۵۸/۷۴ درصد آن مربوط به کودهای شیمیایی است که آسیب زیادی وارد می‌نماید و پس از آن سوخت‌های فسیلی با ۱۹/۲۰ درصد و کود حیوانی با ۱۱/۰۸ درصد قرار دارد. نتایج نرمال شده همچنین نشان داد مقدار شاخص آسیب به دسترسی به منابع در روش آبیاری تحت‌فشار حدود ۷۴ بیشتر از روش آبیاری سطحی بود که علت آن مصرف پلاستیک در این روش آبیاری است.

به‌طور کلی بررسی نتایج نرمال شده ارزیابی چرخه زندگی در دو روش آبیاری در تولید گردو نشان داد که استفاده از روش آبیاری تحت‌فشار باعث کاهش آسیب به محیط زیست می‌شود (به‌جز شاخص آسیب به دسترسی منابع). این موضوع از چند جنبه قابل‌توجه و بررسی است. اولاً اینکه در روش آبیاری تحت‌فشار به علت عملیات خاک‌ورزی کمتر، نیاز به ماشین‌ها و سوخت کمتر است و این امر باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. ثانیاً در این روش آبیاری امکان استفاده انواع کودهای شیمیایی از طریق سامانه آبیاری وجود دارد و این امر باعث مصرف بهینه کودها و به اصطلاح مصرف کود به اندازه نیاز گیاه می‌شود و در واقع آبشویی کودها به حداقل می‌رسد، لذا اثرات استفاده از کودها بر محیط زیست به حداقل می‌رسد. ثالثاً مصرف آب در این روش در مقایسه با روش آبیاری سطحی پایین است و این هم باعث کاهش اثرات زیست‌محیطی تولید گردو در این روش آبیاری می‌شود. در ارتباط با آسیب به دسترسی منابع نیز باید تا حد امکان کاهش استفاده از پلاستیک مدنظر قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش بررسی شاخص‌های انرژی و چرخه زندگی گردو در روش‌های آبیاری تحت‌فشار و سطحی در شهرستان‌های شهرکرد و سامان بود. مهم‌ترین نتایج پژوهش به شرح زیر است:

بررسی و تحلیل روند مصرف انرژی برای محصول گردو نشان داد در روش آبیاری تحت‌فشار ۲۹۵۷۳/۵۳ مگاژول در هکتار انرژی ورودی نیاز است. این مقدار در روش آبیاری سطحی ۲۵۰۵۸/۴۶ مگاژول در هکتار بود. بیشترین انرژی نهاده‌های مصرفی گردو در روش‌های آبیاری تحت‌فشار به پلاستیک و کود حیوانی و در روش آبیاری سطحی به کود ازت و کود حیوانی تعلق داشت.

شاخص نسبت انرژی برای محصول گردو در روش آبیاری تحت‌فشار و سطحی به ترتیب برابر با ۲/۷۷، ۳/۵۸ به دست آمد که حاکی از این است که از نظر این شاخص روش آبیاری سطحی شرایط بهتری دارد.

شاخص آسیب به سلامت انسان برای تولید گردو در روش آبیاری تحت‌فشار DALY ۰/۰۸۰۸ برای هر تن محصول گردو به‌دست آمد که نتایج نشان می‌دهد نسبت به روش آبیاری سطحی آسیب به سلامت انسان حدود ۵۶ درصد کمتر است.

به‌طور کلی بررسی نتایج ارزیابی چرخه زندگی تولید گردو در دو روش آبیاری نشان داد که استفاده از روش آبیاری تحت‌فشار به‌جز شاخص آسیب به دسترسی منابع، باعث بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی می‌شود. هرچند مصرف انرژی در این روش بالاست. بنابراین به شرط مدیریت منابع انرژی در روش آبیاری تحت‌فشار استفاده از این روش می‌تواند در تولید گردو توصیه شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

بی‌نام، ۱۴۰۰. سایت جهاد کشاورزی.www.amar.maj.ir.

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

علی‌آبادی؛ حسن، علیزاده؛ امین، و عرفانی؛ عاطفه. (۱۳۹۴). بهره‌وری مصرف آب و انرژی در سامانه‌های مختلف آبیاری (مطالعه موردی ذرت بذری در کشت و صنعت جوین) در استان خراسان رضوی. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۹(۴)، ۵۷۱-۵۸۲.

قاسمی مبتکر؛ حسن. (۱۳۹۸). بررسی روند مصرف انرژی در دو سامانه آبیاری غرقابی و تحت‌فشار: مطالعه موردی یک مزرعه صد هکتاری در همدان. *مهندسی بیوسیستم ایران*، ۵۰(۴): ۸۰۱-۸۰۹.

موسوی اول؛ سید هاشم، رفیعی؛ شاهین، شریفی؛ محمد، حسین‌پور؛ سلیمان (۱۳۹۴). ارزیابی چرخه زندگی انرژی و تأثیرات زیست‌محیطی تولید کلزا در استان مازندران با دو رویکرد متفاوت. *مهندسی بیوسیستم ایران*، ۴۶(۳)، ۲۶۵-۲۷۴.

REFERENCES

Aliabadi, H., Alizadeh, A., & Erfani, A. (2015). Energy and Water Productivity under Different Irrigation Systems, (Case Study of Corn in Jovain Agro-Industry). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 9(4), 571–582, (in Persian).

Andres, R., & Cuchi, J. A. (2014). Analysis of sprinkler irrigation management in the LASESA district, Monegros (Spain). *Agricultural Water Management*, 131, 95–107.

Anonymous, (2022). Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. http://www.maj.ir, (in Persian).

Banaeian, N., & Zangeneh, M. (2011). Modeling Energy Flow and Economic Analysis for walnut production in Iran. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 3(3), 197–201.

Beigi, M., Torki-Harchegani, M., & Ghanbarian, D. (2016). Energy use efficiency and economical analysis of almond production: a case study in Chaharmahad-va-Bakhtiari province, Iran. *Energy Efficiency*, 9, 745–754.

Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., & Ozmerzi, A. (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: case study for Antalya region, Turkey. *Energy Conversion & Management*, 46, 655–666.

Chen, X., Thorp, K. R., Ouyang, Z., Hou, Y., Zhou, B., & Li, Y. (2019). Energy consumption due to groundwater pumping for irrigation in the North China Plain. *Science of the Total Environment*, 669, 1033–1042.

Darouich, H., Camera, M. R., Goncalves, J. M., Paredes, P., & Pereira, L. S. (2017). Comparing sprinkler and

surface irrigation for wheat using multi-criteria analysis: water saving vs. economic returns. *Water*, 9(1), 50.

Erdal, G., Esengün, K., Erdal, H., & Gündüz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32, 35–41.

Ghasemi-Mobtaker, H. (2019). Investigation of energy consumption trend in two flood and sprinkler irrigation systems: case study of one hundred hectare farm in Hamadan. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 50(4), 801–809, (in Persian).

Ghasemi-Mobtaker, H., Mostashari-Rad, F., Saber, Z., Chau, K. W., & Nabavi-Pelesaraei, A. (2020). Application of photovoltaic system to modify energyuse, environmental damages and cumulative exergy demana of two irrigation systems-A case study: Barly procuction of Iran. *Renewable Energy*, 160, 1316–1334.

Ghasemi-Mobtaker, H., Akram, A., & Keyhani, A. (2012). Energy use and sensitivity analysis of energy inputs for alfalfa production in Iran. *Energy for Sustainable Development*, 16, 84–89.

Ghasemi-Mobtaker, H., Kaab, A., Rafiee, S., & Nabavi-Pelesaraei, A. (2022). A comparative of modeling techniques and life cycle assessment for prediction of output energy, economic profit, and global warming potential for wheat farms. *Energy Reports*, 8, 4922–4934.

Ghasemi-Mobtaker, H., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S., & Akram, A. (2010). Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 137, 367–372.

Hosseini-Fashami, F., Motevali, A., Nabavi-Pelesaraei, A., Hashemi, S. J., & Chau, K. W. (2019). Energy-Life cycle assessment on applying solar technologies for greenhouse strawberry production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116, 109411.

Kaab, A., Sharifi, M., Mobli, H., Nabavi-Pelesaraei, A., & Chau, K. W. (2019a). Use of optimization techniques for energy use efficiency and environmental life cycle assessment modification in sugarcane production. *Energy*, 181, 1298–1320.

Kaab, A., Sharifi, M., Mobli, H., Nabavi-Pelesaraei, A., & Chau, K-W., (2019b). Combined life cycle assessment and artificial intelligence for prediction of output energy and environmental impacts of sugarcane production. *Science of the Total Environment*, 664, 1005–1019.

Karimi, P., Qureshi, A. S., Bahramloo, R., & Molden, D. (2012). Reducing carbon emissions through improved irrigation and groundwater management: A case study from Iran. *Agricultural Water Management*, 108, 52–60.

Khanali, M., Akram, A., Behzadi, J., Mostashari-Rad, F., Saber, Z., Chau, K., & Nabavi-Pelesaraei, A. (2021). Multi-objective optimization of energy use and environmental emissions for walnut production using imperialist competitive algorithm. *Applied Energy*, 284, 116342.

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).

Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30, 981–990.

Mohammadi, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., & Rafiee, H. (2010). Energy inputs–yield relationship and cost analysis of kiwifruit production in Iran. *Renewable Energy*, 35, 1071–1075.

Mohammadi, A., Tabatabaeefar, A., Shahin, S., Rafiee, S., & Keyhani, A. (2008). Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. *Energy conversion and Management*, 49, 3566–3570.

Mohammadshirazi, A., Akram, A., Rafiee, S., Mousavi-Avval, S. H., & Bagheri-Kalhor, E. (2012). An analysis of energy use and relation between energy inputs and yield in tangerine production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 4515–4521.

Mostashari-Rad, F., Ghasemi-Mobtaker, H., Taki, M., Ghahderijani, M., Kaab, A., Chau, K. W., Nabavi-Pelesaraei, A., 2021. Exergoenvironmental damages assessment of horticultural crops using ReCiPe2016 and cumulative exergy demand frameworks. Journal of Cleaner Production. 278, 123788.

Mostashari-Rad, F., Nabavi-Pelesaraei, A., Soheilifard, F., Hosseini-Fashami, F., & Chau, K. W. (2019). Energy optimization and greenhouse gas emissions mitigation for agricultural and horticultural systems in Northern Iran. *Energy*, 186, 115845.

Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Sharifi, M., & Hosseinpour, S. (2015). Energy and environmental life cycle assessment of canola production in Mazandaran province of Iran by applying two different approaches. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 46(3), 265–274, (in Persian)

Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, S., & Ghasemi-Mobtaker, H. (2014). Optimization of energy requied

and greenhouse gas emissions analysis for orange producers using data envelopment analysis approach. *Journal of Cleaner Production*, 65, 311–317.

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.

Nemecek, T., Huguenin-Elie, O., Dubois, D., Gaillard, G., Schaller, B., & Chervet, A. (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production. Agricultural Systems, 104, 233–245.

Ozkan, B., Akcaoz, H., & Karadcniz, F. (2004). Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. *Energy Conversion & Management*, 45, 1821–1830.

Pahlavan, R., Omid, M., Rafiee, S., & Mousavi-Avval, S. H. (2012). Optimization of energy consumption for rose production in Iran. *Energy for Sustainable Development*, 16(2), 236–241.

Pervanchon, F., Bockstaller, C., & Girardin, P. (2002). Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro ecological indicator: the energy indicator. *Agricultural Systems*, 72, 149–170.

Rafiee, S., Mousavi Avval, S. H., & Mohammadi, A. (2010). Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy*, 35, 3301–3306.

Salehi, M., Ebrahimi, R., Maleki, A., & Ghasemi-Mobtaker, H. (2014). An assessment of energy modeling and input costs for greenhouse button mushroom production in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 64, 377–383.

Singh, G., Singh, S., & Singh, J. (2004). Optimization of energy inputs for wheat crop in Punjab. *Energy Conversion and Management*, 45(3), 453–465.

Strapatsa, A. V., Nanos, G. D., & Tsatsarelis, C. A. (2006). Energy flow for integrated apple production in Greece. *Agriculture Ecosystems &Environment*, 116, 176–180.

Tarjuelo, J. M., Rodriguez-Diaz, J. A., Abadía, R., Camacho, E., Rocamora, C., & Moreno, M. A. (2015). Efficient water and energy use in irrigation modernization: Lessons from Spanish case studies. *Agricultural Water Management*, 162, 67–77.

Torki-Harchegany, M., Ebrahimi, R., & Mahmoodi, M. (2015). Almond production in Iran: An analysis of energy use efficiency (2008-2011). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 217–224.

Tricase, C., Lamonaca, E., Ingrao, C., Bacenetti, J., & Lo Giudice, A. (2018). A comparative Life Cycle Assessment between organic and conventional barley cultivation for sustainable agriculture pathways. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3747–3759.

Zen-Qiang, S. U. N., Yao-Hu, K. A. N. G., & Jiang, S. F. (2010). Effect of sprinkler and border irrigation on topsoil structure in winter wheat field. *Pedosphere*, 20(4), 419–426.

LCA evaluation of walnut production in different irrigation methods: A Case Study of Shahrekord and Saman Counties

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Today, the increase in food demand has led to an increase in energy use, which has some environmental consequences such as air pollution and global warming. Irrigation is one of the energy-intensive operations in agriculture, which consumes great part of energy inputs and has harmful environmental effects. Energy and water as essential inputs of irrigation system are key and vital elements for social and economic development. Applications of modern methods of irrigation in agriculture can be considered from different aspects. Life Cycle Assessment (LCA) is a structural and comprehensive approach to evaluate environmental impacts in various systems. So, the aim of this study was to evaluate the energy and environmental indicators of walnut orchards under surface and pressured irrigation methods.

Materials and methods

The required data, including information about inputs and energy consumed in walnut orchards, were collected using questionnaires and face-to-face interviews in Shahr-e Kord and Saman region of Chaharmahal and Bakhtiari province. The collected data belonged to the production period of 2021–2022. The inputs and outputs were calculated per hectare and environmental impacts of walnut production were analysed by life cycle assessment approach. According to inputs/outputs as well as their energy equivalents, energy indices including energy ratio (ER), net energy gain (NEG), and energy productivity (EP), were computed. Also, the water productivity index was calculated for walnut production in two investigated systems.

Results and Discussions

The averages of total energy consumed for walnuts production in pressured and surface irrigation systems were 29573.53 and 25058.46 MJ ha^{-1}, respectively. This shows that despite less water consumption in the pressured irrigation system, the total energy input in this irrigation system is more than the surface irrigation system. No significant difference was observed regarding the performance of walnut in the two mentioned irrigation systems. The inputs energy consumption in the walnut production with the pressurized irrigation system were highest for plastic and farmyard manure (about 32% and 15%, respectively); while in surface irrigation system, the share of nitrogen fertilizer and farmyard manure were highest (about 30% and 25%, respectively). Energy ratio of walnut production in surface irrigation systems was computed as 3.58, while the corresponding value in pressured system was 2.77. In other words, surface irrigation had better conditions in terms of energy indicators; so that the energy ratio of surface irrigation system was about 29% higher than that of pressured irrigation system.

Endpoints results by using LCA method in surface and pressured irrigation systems for production of 1 t of walnut production were calculated. The results showed that in surface and pressured irrigation systems, human health damage categories generated are 0.1827 and 0.0808 Disability Adjusted Life Years (DALY) per 1 t of walnut production, respectively. Also, in the two irrigation systems, the greatest effects in human health and the ecosystems are from on-farm emissions.

Conclusion

In general, the investigation of the environmental indicators of walnut production in the two irrigation systems showed that the use of the pressured irrigation system reduces the environmental damage. So, this method can be introduced as an environmentally friendly system.

Keywords: **Walnuts, Energy consumption, Irrigation systems, Life cycle assessment.**