Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Assessing the life cycle cost (LCC) and energy of soybean agroecosystems in Mazandaran province

Faezeh Mohammadi-Kashka[1], Zeinolabedin Tahmasebi Sarvestani[2*], Hemmatollah Pirdashti[3], Homa Hosseinzadeh-Bandbafha[4]

1. Ph.D. Student of Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: f.mohammadikashka@modares.ac.ir
2. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: tahmaseb@modares.ac.ir
3. Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir
4. Ph.D. in Agricultural Mechanization Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: homa.hosseinzadeh@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2023-9-11
Accepted: 2024-1-19

Keywords:
Energy efficiency
Economic productivity
Non-renewable energy
Nitrous oxide (N_2O)
Social cost of emissions

ABSTRACT

Background and Objectives: Energy is a limiting factor for agricultural sustainability due to costs and supply security. Agriculture section as one of the world's major food suppliers, has faced challenges in recent times due to increased energy consumption trends. This rise in energy consumption has led to increased production costs, negative impacts on food security, and environmental concerns. Therefore, achieving a balance between energy demand and supply in agricultural systems and assessing their economic performance is essential. With the recognition that soybean [*Glycine max* (L.) Merril] plays a crucial role in ensuring food security. A study was conducted in 2019 to analyze the energy flow and economic costs of soybean production at the provincial level in Mazandaran, Iran.

Materials and Methods: To assess the economic efficiency and energy consumption pattern in soybean farms, data were collected through direct interviews with 301 soybean farmers. The inputs used for estimating energy efficiency per hectare of soybean cultivation included fossil fuels, machinery, human labor, seeds, irrigation water, electricity, fertilizers, and chemical pesticides. The produced soybean grain was also considered as an output energy source. Life Cycle Cost (LCC) methodology was employed to evaluate the economic efficiency of soybean production; for this purpose, the farm gate was defined as the system boundary, and one hectare of soybean farm was taken as the base unit for all analyses. The social costs of emissions, in addition to the fixed and variable production costs that are addressed in most studies, were evaluated and analyzed. In the current study, the social costs of pollutant emissions in soybean production agroecosystems were considered from two aspects: (1) emissions on the farm and (2) pollutants generated from electricity generation. These costs were estimated using the standard coefficients established in previous research.

Results: Based on the results, diesel fuel, nitrogen chemical fertilizers, and consumed seeds had the highest shares of total input energy in soybean production with 47.90%, 19.61%, and 13.53% respectively. The average energy productivity for soybean production in Mazandaran province was calculated to be 0.16 kg MJ^{-1}. From this point of view, Galugah county was the best with 0.25 kg MJ^{-1}, while Amol was the worst with 0.11 kg MJ^{-1} compared to other cities under investigation. In terms of the type of consumed energy, the results indicated that the current soybean production in Mazandaran province is not sustainable due to heavy reliance on non-renewable energy resources such as diesel fuel and nitrogen chemical fertilizers. The LCC of soybean production in Mazandaran province, including variable, fixed, and social costs resulting from emissions, was estimated to be an average of $327.90 per hectare. Among these costs, variable costs accounted for the highest share in soybean production in the region with $299.52 per hectare (approximately 91%). The average wage paid to owners of agricultural machinery and equipment was $141.85 per hectare (equivalent to 47.36%), and the average wage for human labor was $85.77 per hectare (equivalent to 28.64%). These two factors were the first and second most significant contributors to production costs for the soybean crop, respectively. Together, they accounted for approximately 69% of the total production cost (LCC). Carbon dioxide emissions, accounting for 41.16% (mainly due to diesel fuel combustion and urea fertilizer consumption on the farm), constituted a significant portion of the social cost resulting from emissions (at $7.38 per ton).

Conclusion: In general, the results of the survey of 301 farms indicated that soybean production in Mazandaran province, with an average energy efficiency of 2.43, is economically justifiable in terms of energy balance and constitutes a profitable agricultural product in the region, with a profit-to-cost ratio of 1.86.

Cite this article: Mohammadi-Kashka, F., Tahmasebi Sarvestani, Z, Pirdashti, H., Hosseinzadeh-Bandbafha, H. 2024. Assessing the life cycle cost (LCC) and energy of soybean agroecosystems in Mazandaran province. *Crop Production Journal*, 16 (4), 169-198.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2024.21649.2598
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تـولیـد گیـاهـان زراعـی
شـاپا چـاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹x
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳

ارزیابی هزینه چرخه حیات و انرژی بوم نظام‌های تولید سویا در استان مازندران

فائزه محمدی کشکا[۱]، زین‌العابدین طهماسبی سروستانی[۲*]، همت‌اله پیردشتی[۳]، هما حسین‌زاده بندبافها[٤]

۱. دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: f.mohammadikashka@modares.ac.ir

۲. دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: tahmaseb@modares.ac.ir

۳. استاد گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
رایانامه: h.pirdashti@sanru.ac.ir

٤. دانش‌آموخته دکتری مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
رایانامه:homa.hosseinzadeh@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/٦/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۱۰/۲۹

واژه‌های کلیدی:
انرژی تجدیدناپذیر
بهره‌وری اقتصادی
هزینه اجتماعی انتشارات
کارایی انرژی
نیتروز اکسید

چکیده

سابقه و هدف: انرژی به‌دلیل هزینه‌ها و امنیت عرضه، عامل محدودکننده پایداری کشاورزی است. بخش کشاورزی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین تأمین‌کنندگان غذای جهان، در دوران اخیر با گرایش به افزایش مصرف انرژی منجر به افزایش هزینه‌های تولید و تأثیرات منفی بر امنیت غذایی و نگرانی‌های زیست‌محیطی شده که جهت غلبه بر این چالش‌های پیش رو، برقراری تعادل بین تقاضا و عرضه انرژی در سامانه‌های کشاورزی و همچنین بررسی عملکرد اقتصادی آن‌ها ضروری است. به‌این ترتیب با در نظر داشتن این مهم که سویا [*Glycine max* (L.) Merril] گیاهی مهم در برقراری امنیت غذایی است؛ پژوهشی در سال ۱۳۹۸ به‌منظور تحلیل جریان انرژی و بررسی اقتصادی هزینه‌های تولید سویا در سطح استان مازندران انجام شد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور ارزیابی کارایی اقتصادی و الگوی مصرف انرژی در مزارع سویا، اطلاعات موردنیاز به‌صورت مراجعه حضوری و گفتگوی مستقیم با ۳۰۱ سویاکار جمع‌آوری شد. ورودی‌هایی که برای برآورد کارایی انرژی هر هکتار زراعت سویا مورد استفاده قرار گرفتند شامل سوخت‌های فسیلی، ماشین‌آلات، نیروی انسانی، بذر، آب آبیاری، الکتریسیته، کودها و سموم شیمیایی بودند. دانه سویا تولیدی نیز به‌عنوان منبع انرژی خروجی در نظر گرفته شد. برای ارزیابی کارایی اقتصادی تولید سویا از رویکرد هزینه‌یابی چرخه حیات (LCC) استفاده شد که به‌این منظور، دروازه مزرعه به‌عنوان مرز سامانه و یک هکتار مزرعه سویا به‌عنوان واحد پایه برای تمام تجزیه و تحلیل‌ها در نظر گرفته شد. هزینه‌های اجتماعی انتشارات علاوه‌بر هزینه‌های ثابت و متغیر تولید که در بیش‌تر پژوهش‌ها به آن‌ها پرداخته می‌شود؛ ارزیابی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در پژوهش حاضر، هزینه‌های اجتماعی انتشار آلاینده‌ها در بوم‌نظام‌های تولید سویا شامل دو بخش: (۱) انتشارات در مزرعه و (۲) آلاینده‌های ناشی از تولید برق بوده که با استفاده از ضرایب استاندارد تعیین شده در مطالعات قبلی برآورد شدند.

یافته‌ها: بر اساس نتایج، سوخت دیزل، کودهای شیمیایی نیتروژنه و بذر مصرفی به‌ترتیب با

۴۷/۹۰، ۱۹/۶۱ و ۱۳/۵۳ درصد بیش‌ترین سهم از کل انرژی نهاده‌های مصرفی در تولید سویا را دارا بودند. میانگین بهره‌وری انرژی برای سویا تولیدی در استان مازندران معادل ۰/۱۶ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه شده که از این نظر، شهرستان گلوگاه با ۰/۲۵ کیلوگرم بر مگاژول بهترین و آمل با ۰/۱۱ کیلوگرم بر مگاژول بدترین وضعیت را نسبت به سایر شهرستان‌های تحت بررسی داشتند. از نظر نوع انرژی مصرفی، نتایج نشان داد که تولید فعلی سویا در استان مازندران به‌دلیل وابستگی زیاد به منابع انرژی تجدیدناپذیری چون سوخت دیزل و کودهای شیمیایی نیتروژنه پایدار نیست. هزینه چرخه حیات تولید سویا در استان مازندران که شامل هزینه‌های متغیر، ثابت و اجتماعی حاصله از انتشارات بوده نیز به‌طور متوسط به میزان ۳۲۷/۹۰ دلار بر هکتار برآورد شده که در این بین هزینه‌های متغیر با ۲۹۹/۵۲ دلار بر هکتار (یعنی حدود ۹۱ درصد) سهم بالایی در تولید سویای منطقه داشته است. متوسط دستمزد پرداختی به صاحبان ادوات و ماشین‌آلات کشاورزی با ۱۴۱/۸۵ دلار بر هکتار (معادل ۴۷/۳۶ درصد) اولین نهاده و نیروی کار انسانی با ۸۵/۷۷ دلار بر هکتار (معادل ۲۸/۶۴ درصد) دومین نهاده با بیش‌ترین هزینه در تولید بودند که در مجموع حدود ۶۹ درصد از کل هزینه تولید (LCC) سویا را به خود اختصاص داده‌اند. نشر دی‌اکسیدکربن با ۴۱/۱۶ درصد، سهم عمده‌ای در هزینه اجتماعی حاصله از انتشارات (۷/۳۸ دلار بر تن) داشته که این هزینه به‌دلیل مقادیر بالای انتشار آن در پی احتراق سوخت دیزل و مصرف کود اوره در مزرعه بود.

نتیجه‌گیری: در مجموع نتایج حاصله از پیمایش ۳۰۱ مزرعه تحت بررسی نشان داد که تولید سویا در استان مازندران با متوسط کارایی انرژی ۲/۴۳، به لحاظ بیلان انرژی توجیه‌پذیر و با نسبت سود به هزینه ۱/۸۶ محصولی سودآور در کشاورزی منطقه می‌باشد.

استناد: محمدی کشکا، ف.، طهماسبی سروستانی، ز.، پیردشتی، ه.، حسین‌زاده بندبافها، ه. (۱۴۰۲). ارزیابی هزینه چرخه حیات و انرژی بوم‌نظام‌های تولید سویا در استان مازندران. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۶ (۴)، ۱۹۸-۱۶۹.

DOI: 10.22069/ejcp.2024.21649.2598

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

بخش کشاورزی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین بخش‌های تأمین‌کننده غذای مردم جهان در دوران اخیر به شدت انرژی گرفته و با افزایش قابل‌توجه انتشار گازهای گلخانه‌ای به جو، به یکی از چالش‌های مهم قرن حاضر یعنی پدیده گرمایش جهانی و پیامدهای ناشی از آن دامن زده است (۱، ۲، ۳). عنوان شده که این بخش به‌تنهایی مسئول انتشار ۱۰ تا ۱۵ درصد گازهای گلخانه‌ای جهانی است که با افزودن انتشارات ناشی از جنگل‌زدایی و تغییر کاربری اراضی برای تولید خوراک دام این مقدار به حدود ۳۰ درصد هم می‌رسد (٤). سهم انرژی در تولیدات کشاورزی به‌طور گسترده‌ای بر اساس نوع فعالیت‌ها، شیوه‌ها/مدیریت‌های تولید به‌کار گرفته شده، موقعیت جغرافیایی مناطق تولید و بسته به شرایط محیطی مانند عوامل خاکی و آب و هوایی متفاوت است (۵). از این رو، شیوه‌های مدیریتی مورد استفاده در یک سامانه تولید محصول مثل فناوری مزرعه، مصرف کودها و آفت‌کش‌ها می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی بر تعادل انرژی آن سامانه داشته باشد (٦). در این بین، عملیات خاک‌ورزی و کاربرد مواد شیمیایی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی و نیروی کار در شیوه‌های کشاورزی امروزی عنوان می‌شوند (۷) که بخش اعظمی از هزینه‌های تولید را نیز به خود اختصاص می‌دهند. از این رو توجه ویژه به نوع مدیریت نظام تولید محصول امری ضروری است؛ چرا که بهبود مدیریت محصول می‌تواند یک راهبردی کلیدی و نقطه تمرکزی برای کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای و نیز افزایش تولید و سودآوری محصول باشد (۸).

پیش‌نیاز چنین بهبودهایی متضمن ارزیابی تعادل انرژی در هر سامانه کشاورزی (۷) و برقراری تعادل بین برداشت و بهره‌برداری از منابع تولید و میزان تولیدات کشاورزی است (۹) که برای دستیابی به این اهداف، اندازه‌گیری جریان انرژی یعنی میزان انرژی ورودی و خروجی در سامانه‌های تولید محصول شاخص خوبی است که جنبه‌های فن‌آورانه سامانه‌های تولید محصول را منعکس می‌کند (۱۰). طی دهه‌های اخیر علاقه زیادی به ارزیابی جریان انرژی و اثرات ناشی از آن از نقطه نظر پایداری در بخش کشاورزی در سراسر دنیا به‌وجود آمده که برای نمونه می‌توان به بررسی الگوهای مصرف انرژی در تولید محصولات زراعی چون بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) در هند (۱۱)، باقلا (*Vicia Faba* L.) در لیتوانی (۱۲)، سویا (*Glycine max* (L.) Merril) در ایتالیا (۱۳) و چین (١٤)، کلزا (*Brassica napus* L.) در ترکیه (۱۵)، ذرت (*Zea mays* L.) در فیلیپین (١٦) و برنج (*Oryza sativa* L.) در هند (۱۷) اشاره کرد. در کشور ما ایران نیز مطالعات متعددی در خصوص مصرف انرژی در مزارع تولید سویا و سایر محصولات زراعی صورت گرفته که در این بین می‌توان به مطالعه موسوی اول و همکاران (۲۰۱۱a) در بررسی و مقایسه وضعیت مصرف انرژی در تولید سه گیاه دانه روغنی سویا، کلزا و آفتابگردان در استان گلستان اشاره کرد. نتایج این محققین نشان داد که سویا با مقدار ۲۲۲۳۵ مگاژول بر هکتار بیش‌ترین انرژی ورودی عملیاتی را داشته و دو گیاه کلزا و آفتابگردان (*Helianthus annuus*) نیز به‌ترتیب با مقادیر ۸۳۱۷ و ٦۰۱۳ مگاژول بر هکتار در مراتب بعدی قرار داشتند (۱۸). در خصوص سایر محصولات زراعی نیز برای نمونه خدایی جوقان و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی به سنجش بهره‌وری انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) و کلزا در شهرستان خرمشهر پرداختند و بیان نمودند که کود نیتروژن، الکتریسیته و سوخت مهم‌ترین ورودی‌های

تأثیرگذار بر کارایی انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در بوم‌سامانه‌های این دو محصول می‌باشند (۱۹).

متخصصین ارزیابی چرخه حیات[1] (LCA) طی سال‌های گذشته تمایل نشان داده‌اند که در کشاورزی نیز همانند سایر بخش‌ها، ارزیابی زیست‌محیطی را به جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی مرتبط کنند (۲۰). به‌این منظور، رهیافت هزینه‌یابی چرخه حیات (Life Cycle Cost (LCC) Approach) را که ایده مفهومی پشت آن تفکر چرخه حیات است به‌عنوان یک ابزار جامع در این خصوص مطرح نمودند که با اتخاذ یک رهیافت سامانه‌ای بر روابط بین بخش‌های یک سامانه و اثر بر/ یا تأثیرپذیری از سایر بخش‌های مرتبط دیگر مانند پیامدهای خارجی تمرکز دارد و به‌این گونه قادر است تمام هزینه‌های مربوط به یک محصول در کل چرخه عمر آن از تولید تا مصرف، نگهداری و دفع را گردآوری و ارزیابی کند. این رویکرد در واقع یک ابزار ارزیابی است که می‌توان آن را در هر مرحله از چرخه حیات یک محصول به‌کار گرفت (۲۱) و خلاصه‌ای از تمام هزینه‌های مرتبط با چرخه زندگی آن که به‌طور مستقیم توسط یک یا چند عامل اصلی (به‌عنوان مثال تأمین‌کننده، تولیدکننده و مصرف‌کننده/ کاربر) در آن چرخه زندگی پوشش داده می‌شود را به ارزش پول واقعی بیان کرد (۲۲). مشاهده می‌شود که در سال‌های اخیر ارزیابی هزینه چرخه حیات به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای مدیریت هزینه (۲۱) به‌تنهایی در حال توسعه است که به سامانه‌های تولیدی بخش کشاورزی در سراسر دنیا نیز راه یافته است. برای نمونه می‌توان به بررسی هزینه‌های چرخه حیات تولید زیتون (*Olea europaea* L.) (۲۰)، انگور (*Vitis vinifera* L.) (۲۳)، کنگر فرنگی (*Cynara Scolymus* L.) (۲٤) گندم، گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، سیب (*Malus domestica* L.) و گلابی (*Pyrus communis* L.) (۲۵) در ایتالیا، کلزا (۲٦) و ذرت (۲۷) در لهستان و برنج در تایلند (۲۸) اشاره کرد.

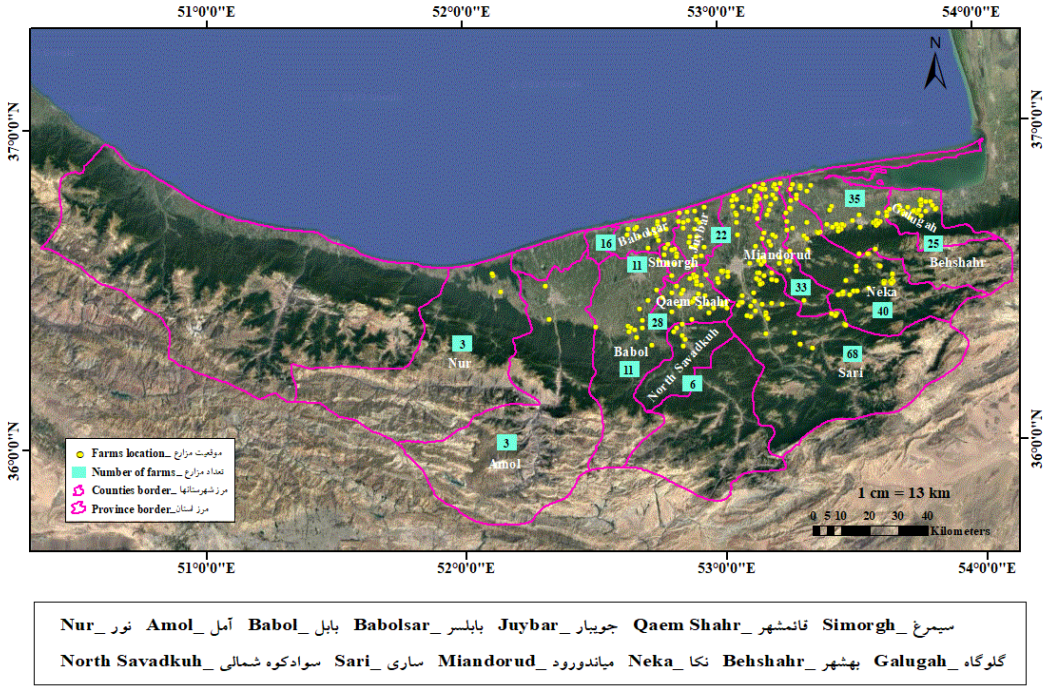
آلودگی‌های محیط‌زیستی یکی از مهمترین مسائلی است که سبب تحمیل هزینه‌های خارجی می‌گردد و باید مبالغی جهت کنترل این آلودگی‌ها پرداخت نمود. از این روی و به خاطر وجود چنین هزینه‌های خارجی و کنترل آلودگی‌ها، جامعه متحمل هزینه‌های اجتماعی می‌شود (۲۹). هزینه اجتماعی در واقع هزینه‌ای است که آثار مخرب یک آلاینده و یا فعالیت را بر تولیدات کشاورزی، بوم‌نظام‌ها، مواد و سلامت انسان تخمین می‌کند. به عبارتی مقدار پولی است که برای جبران خسارات ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و مواد آلاینده هزینه می‌شود؛ که لازمه محاسبه این هزینه‌ها کمی‌کردن اثر آلاینده‌ها و فعالیت‌ها در محیط‌های اثرپذیر است (۳۰). نتایج مطالعه‌ای در سه سامانه کشت سنتی، کم‌نهاده و ارگانیک برنج نشان داد که سامانه کشت ارگانیک با ۳۷۰/۲۷ دلار به ازای یک تن شلتوک تولیدی کم‌ترین هزینه تولید (اقتصادی-اجتماعی) را داشته که از این میزان، ۳۷/٤۸ دلار بر تن مربوط به هزینه اجتماعی حاصله از انتشارات بوده است. این میزان هزینه اجتماعی نیز در مقایسه با دو سامانه کشت سنتی و کم‌نهاده (به‌ترتیب ۵۰/٤۰ و ۵۰/۹۳ دلار بر تن) کم‌ترین بوده که در پایان به‌عنوان سامانه تولیدی با بیش‌ترین سود خالص برای زراعت برنج در منطقه معرفی شد (۳۱). در مطالعه دیگری تحلیل اقتصادی برای هر تن شلتوک ورودی به کارخانه‌های شالیکوبی استان گیلان میزان سود خالص ٤۷/۳۷ دلار و هزینه کل نیز ۲۹٤/۲۱ دلار برآورد شد. هزینه اجتماعی برای انتشار آلاینده‌های تولید در این کارخانه‌ها نیز ۳۰/۹۹ دلار به ازای هر تن شلتوک ورودی گزارش شد (۳۲).

۱. Life Cycle Assessment (LCA)

با توجه به نتایج موفقیت آمیز این رویکرد در ارزیابی و واکاوی تولیدات کشاورزی از منظر هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی (ناشی از انتشار آلاینده‌ها) در نقاط مختلف جهان و نبود مطالعه جامعی در این خصوص برای تولید سویا در ایران که گیاهی مهم در برقراری امنیت غذایی است (۳۳)؛ پژوهش حاضر با هدف ارزیابی هزینه چرخه حیات و انرژی بوم‌نظام‌های تولید این محصول ارزشمند در استان مازندران به‌عنوان یکی از مناطق دارای پتانسیل کشت این محصول در شمال ایران (۳٤) طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه بر بوم‌نظام‌های تولید سویا در استان مازندران به‌عنوان یکی از تولیدکنندگان عمده محصولات کشاورزی ایران از جمله سویا متمرکز شده است (۳٤). مزارع مورد مطالعه از مناطق تحت کشت سویا این استان در سال ۱۳۹۸ شامل ۱۳ شهرستان نور، آمل، بابل، بابلسر، جویبار، سیمرغ، قائم‌شهر، سوادکوه شمالی، ساری، میاندورود، نکا، بهشهر و گلوگاه انتخاب شدند. تعداد کل سویاکاران (جامعه آماری) استان در این سال معادل ۲۳٦۰ نفر بودند که با استفاده از فرمول کوکران حجم نمونه ۳۳۰ نفر تعیین (۳۵) و با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای با انتساب متناسب انتخاب شدند (۳۵، ۳٦) که در نهایت به‌دلیل محدودیت‌های موجود در تحقیقات میدانی ۳۰۱ مزرعه با میانگین فاصله ۱/۷۷ کیلومتر مورد پایش و بررسی قرار گرفتند. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی مزارع تحت بررسی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت مزارع پایش‌شده در اراضی تحت کشت سویای استان مازندران

Figure 1. The location of the monitored farms in the soybean cultivated areas of Mazandaran province

داده‌های جمع‌آوری شده جهت تحلیل الگوی مصرف انرژی و بررسی هزینه‌های تولید سویا شامل مواردی چون ماشین‌آلات و تجهیزات، عملکرد دانه و تمامی نهاده‌های کشاورزی مورد استفاده نظیر بذر، کودها، سموم و غیره بودند که به‌صورت مراجعه حضوری و گفتگوی مستقیم با کشاورزان صورت

گرفت. روش کار هر یک از تحلیل‌های به‌کار رفته در این پژوهش به شرح زیر می‌باشند:

تحلیل انرژی: به‌این منظور، نخست تمامی اطلاعات مربوط به عملیات‌های مدیریتی در مزارع تولید سویا برای هر یک از مراحل تهیه بستر بذر، کاشت، داشت و برداشت محصول جمع‌آوری و ثبت شدند. مقدار دانه سویا تولیدی نیز به‌عنوان منبع انرژی خروجی در نظر گرفته شد. برای محاسبه مقدار انرژی معادل هر یک از ورودی‌ها و خروجی (ستانده) از ضرایب هم‌ارزی انرژی (معادل‌های انرژی) استخراج شده از منابع علمی متعدد (برای نمونه ۳۷، ۳۸، ۳۹، ٤۰) استفاده شد. با برآورد معادل‌های انرژی کل ورودی‌ها و خروجی، شاخص‌های کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه، افزوده خالص انرژی، سودآوری انرژی و فشردگی انرژی نیز برای هر یک از مزارع تولید سویا به شرح ذیل محاسبه شدند (۱۱، ٤۱):

$$\text{کارایی مصرف انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)}} \quad (۱)$$

$$\text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)}} \quad (۲)$$

$$\text{انرژی ویژه} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)}}{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)}} \quad (۳)$$

$$\text{افزوده خالص انرژی} = \text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)} - \text{انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار)} \quad (٤)$$

$$\text{سودآوری انرژی} = \frac{\text{افزوده خالص انرژی (مگاژول بر هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)}} \quad (۵)$$

$$\text{فشردگی انرژی} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)}}{\text{کل هزینه تولید (دلار بر هکتار)}} \quad (٦)$$

علاوه‌بر شاخص‌های ذکر شده فوق، اشکال مختلف انرژی به‌کار رفته در مزارع تولید سویا نیز بر اساس نوع ورودی‌ها در نظر گرفته شده که شامل موارد زیر بودند:

انرژی تجدیدپذیر: بذر، نیروی انسانی، آب آبیاری و کود دامی

انرژی تجدیدناپذیر: سوخت‌ها، الکتریسیته، ماشین‌آلات، کودهای شیمیایی، پلی‌اتیلن و سموم شیمیایی

انرژی مستقیم: سوخت‌ها، الکتریسیته، نیروی انسانی و آب آبیاری

انرژی غیرمستقیم: بذر، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، کود دامی، ماشین‌آلات و پلی‌اتیلن

بررسی اقتصادی هزینه‌های تولید: برای ارزیابی هزینه چرخه حیات (LCC)، دروازه مزرعه به‌عنوان مرز سامانه یا محدوده مورد مطالعه در نظر گرفته شد. واحد پایه برای تمام تجزیه و تحلیل‌ها یک هکتار مزرعه سویا و هزینه‌ها نیز از دیدگاه کشاورز (مصرف‌کننده) تعیین شدند. تمامی این هزینه‌ها بر اساس تحلیل جریان نقدی (معاملات پول واقعی) به دلار با در نظر گرفتن قیمت در سال ۲۰۱۹ میلادی محاسبه و بیان شد. خروجی اقتصادی سویا نیز عملکرد دانه این محصول راهبردی در نظر گرفته شد. در زیر شاخص‌های اقتصادی جهت تحلیل هزینه چرخه حیات سامانه تولید سویا ارائه شده است (۳۱):

(۷) قیمت محصول (دلار بر تن) × عملکرد محصول (تن بر هکتار) =ارزش ناخالص تولید

(۸) هزینه‌های ثابت تولید (دلار بر هکتار) + هزینه‌های متغیر تولید (دلار بر هکتار) + هزینه‌های اجتماعی انتشارات (دلار بر هکتار) =کل هزینه تولید (LCC)

(۹) هزینه‌های متغیر تولید (دلار بر هکتار) – ارزش ناخالص تولید (دلار بر هکتار) =سود ناخالص

(۱۰) کل هزینه‌های تولید (دلار بر هکتار) – ارزش ناخالص تولید (دلار بر هکتار) =سود خالص

(۱۱) $$\text{نسبت سود به هزینه} = \frac{\text{ارزش ناخالص تولید (دلار بر هکتار)}}{\text{کل هزینه‌های تولید (دلار بر هکتار)}}$$

(۱۲) $$\text{بهره‌وری} = \frac{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)}}{\text{کل هزینه‌های تولید (دلار بر هکتار)}}$$

همانطور که در رابطه ۸ مشاهده می‌شود هزینه اجتماعی انتشار آلاینده‌ها که به معنای هزینه‌های مرتبط با حذف انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف مواد و انرژی در جامعه است هم علاوه بر هزینه‌های ثابت و متغیر که در بیش‌تر مطالعات به این دو مقوله پرداخته می‌شود؛ به‌عنوان بخشی از هزینه چرخه حیات در مطالعه حاضر ارزیابی و مورد تحلیل قرار گرفت. هزینه اجتماعی انتشار آلاینده‌ها در سامانه تولید سویا شامل دو بخش: ۱. انتشارات در مزرعه و ۲. آلاینده‌های ناشی از تولید برق بوده که جهت برآورد آن از ضرایب استاندارد تعیین‌شده در مطالعات پیشین بهره گرفته شد (۳۱، ۳۲). آلاینده‌های انتشار یافته در مزارع تولید سویا از منابع کودهای شیمیایی، سوخت‌های فسیلی (دیزل، بنزین و نفت سفید) و کود حیوانی بوده‌اند که برای محاسبه میزان انتشار آن‌ها نیز از ضرایب استاندارد موجود در منابع علمی استفاده شد (جدول ۱). علاوه‌بر برآورد هزینه تولید، شاخص‌های اقتصادی سود خالص و ناخالص، نسبت سود به هزینه و بهره‌وری بیان شده در رابطه‌های ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ (٤١) نیز برای ارزیابی عملکرد اقتصادی سامانه تولید سویا در استان مازندران به‌کار گرفته شد. برای تمام تحلیل‌های ارائه شده در این بخش از جمله ورود داده‌ها، محاسبه شاخص‌ها و رسم شکل‌ها از صفحه‌گستر Excel 2016 استفاده شد.

جدول ۱- ضرایب انتشارات داخل مزرعه ناشی از نهاده‌های مصرفی در تولید سویا استان مازندران

Table 1. Coefficients related to on-farm emissions caused by inputs used in soybean production in Mazandaran province

منبع Reference	نوع و منابع انتشارات Type and sources of emissions	
	۱- انتشارات ناشی از کودهای شیمیایی و دامی به هوا (واحد= کیلوگرم):	
	1- Emissions from chemical fertilizers and manure into the air (unit=kg):	
کیلوگرم نیتروزاکسید بر کیلوگرم نیتروژن $kg\ N_2O\ kg^{-1}\ N$	$N_2O = \left[0.01 \times kg\ N_{\text{in chemical fertilizers and manure applied}}\right] \times \left(\frac{44}{28}\right)$	(٤٢)
کیلوگرم دی‌اکسید کربن بر کیلوگرم اوره $kg\ CO_2\ kg^{-1}$ Urea	$CO_2 = [0.2 \times kg\ \text{Urea}] \times \left(\frac{44}{12}\right)$	
	۲- انتشار نیتروزاکسید ناشی از تجزیه اتمسفری کودهای شیمیایی و دامی به هوا (واحد= کیلوگرم):	
	2- N_2O emission from the atmospheric decomposition of chemical fertilizers and manure into the air (unit=kg):	
کیلوگرم نیتروزاکسید بر کیلوگرم نیتروژن	$N_2O = \left[0.001 \times kg\ N_{\text{in chemical fertilizers applied}}\right] \times \left(\frac{44}{28}\right)$	(٤٢)

منبع Reference	نوع و منابع انتشارات Type and sources of emissions	
	$N_2O = \left[0.002 \times \text{kg } N_{\text{in manure applied}}\right] \times \left(\frac{44}{28}\right)$	kg N_2O kg^{-1} N

۳- انتشار اکسیدهای نیتروژن ناشی از کودها و خاک به هوا (واحد= کیلوگرم):

3- NO_X emission from fertilizers and soil into the air (unit=kg):

$NO_X = \left[0.21 \times \text{kg } N_2O_{\text{from fertilizers and soil}}\right]$	(٤۲)	کیلوگرم اکسیدهای نیتروژن بر کیلوگرم نیتروزاکسید kg NO_X kg^{-1} N_2O

٤- انتشارات ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی به هوا:

4- Emissions from the consumption of fossil fuels into the air:

انتشارات: Emissions:	گرم بر مگاژول دیزل g MJ^{-1} Diesel	گرم بر کیلوگرم بنزین g kg^{-1} Petrol	نفت Kerosene	
اکسیدهای نیتروژن Nitrogen oxides (NOx)	1.06	2.70×10^{-2}	3.00 g kg^{-1} (گرم بر کیلوگرم)	(٤۳، ٤٤، ٤٥، ٤٦، ٤۷)
دی‌اکسید سولفور Sulfur dioxide (SO_2)	2.41×10^{-2}	7.20×10^{-2}	0.005 MT MT^{-1} (متریک تن بر متریک تن)	
مونوکسید کربن Carbon monoxide (CO)	0.15	–	62.00 g kg^{-1} (گرم بر کیلوگرم)	
دی‌اکسید کربن Carbon dioxide (CO_2)	74.50	$3.00\times10^{+3}$	71.50 t TJ^{-1} (تن بر تراژول)	
متان Methane (CH_4)	3.08×10^{-3}	2.92	10 kg TJ^{-1} (کیلوگرم بر تراژول)	
نیتروز اکسید Dinitrogen monoxide (N_2O)	2.86×10^{-3}	0.13	0.6 kg TJ^{-1} (کیلوگرم بر تراژول)	

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل تعادل انرژی در تولید سویا: نتایج به‌دست آمده از تحلیل جریان انرژی ورودی-خروجی برای ۳۰۱ مزرعه سویا تحت بررسی در جدول ۲ نشان می‌دهد که به‌طور متوسط به ازای تولید ۲/٤٦ تن دانه سویا در هکتار به مقدار ۱٥۲۸٤ مگاژول انرژی صرف شده که این میزان انرژی منجر به تولید ۳۷۰۹۸ مگاژول انرژی خروجی یعنی چیزی تقریباً معادل ۲/٥ برابر میزان انرژی ورودی شده است. این میزان برای تولید ۲/٦۷ تن در هکتار سویا که یک محصول ارزشمند در ایالات متحده شناخته می‌شود حدود ۳/۷ میلیون کیلوکالری (۱٥٤۸۱ مگاژول) گزارش شده و هزینه‌های تولید این محصول نیز در حدود ٥۳۷ دلار در هکتار برآورد شده است (٤۸). در استان جی‌لین چین نیز به ازای تولید ۲/٤۱ تن دانه سویا در هکتار به‌میزان ۹۳۷۰ مگاژول انرژی صرف شده که تقریباً ۲۳/۲۷ درصد میزان انرژی خروجی (٤۰۲۷۰ مگاژول) بوده است (۱٤). دامنه مقادیر کل انرژی ورودی به ازای هر هکتار بوم‌نظام تولید سویا در مناطق مختلف استان مازندران نیز به‌طور متوسط از ۱۲٥۳۲ (شهرستان گلوگاه) تا ۲۱٦۳٦ (شهرستان آمل) مگاژول و برای انرژی خروجی نیز از ۲٥٥۸٥ (شهرستان نور) تا ٤۷۷۸٦ (شهرستان سیمرغ) مگاژول متغیر بود. مطابق بررسی‌های به‌عمل آمده از داده‌های جمع‌آوری‌شده در منطقه، این میزان نوسان موجود در مقادیر انرژی‌های ورودی و خروجی ذکرشده بیش‌تر ناشی از تفاوت در به‌کارگیری مقادیر نهاده‌های مصرفی چون کودهای شیمیایی نیتروژنه، ارقام زراعی با پتانسیل عملکرد مختلف و از همه مهم‌تر مدیریت‌های متنوع در عملیات خاک‌ورزی و نحوه به‌کارگیری تجهیزات و ماشین‌آلات کشاورزی در مناطق مورد بررسی می‌باشد.

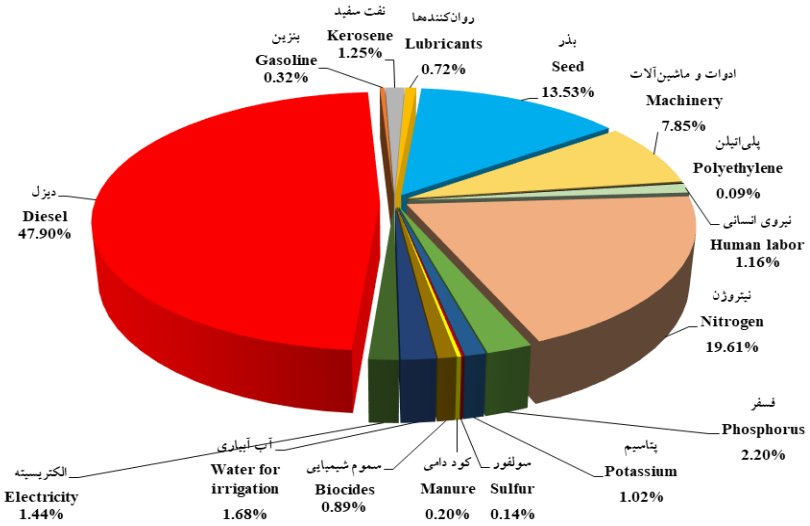
اطلاعات دقیق در مورد متوسط سهم انرژی نهاده‌های مختلف از کل انرژی ورودی برای تولید

سویای منطقه در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که سوخت دیزل با متوسط انرژی ۷۳۲۱ مگاژول بر هکتار بیش‌ترین سهم با حدود ٤٨ درصد از کل انرژی نهاده‌های مصرفی در تولید سویا را دارا بوده که این میزان مصرف بیش‌تر برای بهره‌برداری از تراکتور و کمباین در مزارع بوده است (جدول ۲ و شکل ۲). شایان ذکر است که این نهاده همچنین در تمامی شهرستان‌های مختلف این استان نیز بیش‌ترین سهم از انرژی ورودی به مزارع تولید سویا را به خود اختصاص داده بود که دامنه محتوای انرژی آن به‌طور متوسط از ۵۷۷۲ مگاژول بر هکتار در شهرستان گلوگاه تا ۱۲۵٦۸ مگاژول بر هکتار در شهرستان سوادکوه شمالی متغیر بوده است (شکل ۳). در دیگر پژوهش‌های علمی صورت گرفته جهت ارزیابی تعادل انرژی در تولید محصولات زراعی متنوعی چون سویا (٤۹، ۵۰)، کلزا (۵۱)، آفتابگردان (۵۲) و برنج (۵۳) در ایران نیز گزارش‌ها حاکی از سهم بیش‌تر نهاده‌های سوخت دیزل نسبت به سایر نهاده‌ها از کل انرژی ورودی بوده است. اما مقایسه نتایج به‌دست آمده از بوم‌نظام‌های تولید سویا در استان گلستان نسبت به آن چه که در مطالعه حاضر به‌دست آمده نشان می‌دهد که نخست الکتریسیته و به‌دنبال آن سوخت دیزل بیش‌ترین سهم از انرژی ورودی برای سامانه‌های مکانیزه و مرسوم تولید سویا در این استان را دارا بوده‌اند که این امر به‌دلیل آبیاری بیش‌تر سویا در استان گلستان و همچنین به‌کارگیری انرژی الکتریکی برای پمپاژ آب بوده که باعث افزایش سهم این نهاده‌ها در کل انرژی مصرفی شده است (۳۹).

اما در رابطه با سهم بالای سوخت دیزل (٤۷/۹۰ درصد) و توجه به سهم حدود هشت درصدی ماشین‌آلات در مطالعه حاضر باید اذعان نمود که طبق بررسی‌های به‌عمل آمده در منطقه، این مسئله بیش‌تر به دو دلیل ۱. استفاده از دفعات زیاد و غیراصولی خاک‌ورزی در بیش‌تر مناطق و همچنین به‌کارگیری جداگانه ماشین‌آلات برای عملیات‌های زراعی به‌ویژه آماده‌سازی بستر بذر و کاشت (عدم به‌کارگیری کمبینات‌ها برای تولید سویا در منطقه) و ۲. استفاده از تراکتورها و ماشین‌آلات فرسوده و با بهره‌وری کم در منطقه می‌باشد که این عوامل با افزایش احتراق سوخت مصرفی نه‌تنها هزینه تولید را افزایش می‌دهند بلکه موجبات آلودگی محیط‌زیست و آسیب به سلامت انسان را با انتشار آلاینده‌هایی چون دی‌اکسیدکربن، مونوکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق فراهم می‌کنند (٥٤). طباطبائی‌فر و همکاران (۲۰۰۹) در این خصوص گزارش کردند که میانگین انرژی ورودی در هکتار با شدت خاک‌ورزی متناسب است به گونه‌ای که هر چه کاهش شدت دستکاری خاک بیش‌تر باشد نسبت انرژی بیش‌تر می‌شود (۵۵). مطالعه دیگری در این زمینه نیز مستند نموده که روش بدون خاک‌ورزی در تولید سویا می‌تواند میزان انتشار دی‌اکسیدکربن و نیتروز اکسید را نسبت به روش خاک‌ورزی معمولی در ایران کاهش دهد (٥٦). به‌این ترتیب، کاهش عملیات خاک‌ورزی که منجر به کاهش مصرف سوخت، کنترل فرسایش خاک و آسیب‌های ساختاری و همچنین کاهش زمان و انرژی موردنیاز برای آماده‌سازی بستر بذر می‌شود (۵۵)؛ می‌تواند به‌عنوان راهبردی مناسب و مهم در تولید سویا منطقه مدنظر قرار گیرد. مورد بعدی که می‌تواند در کاهش سوخت مصرفی (به‌ویژه دیزل) در منطقه مورد مطالعه مورد توجه قرار گیرد تراکتورهای کشاورزی هستند که از نظر مصرف سوخت و آلودگی مهم می‌باشند. از این روی، با تنظیم سرعت دور موتور و شرایط بار آن که تأثیر مهمی بر رفتار احتراق موتور و انتشار گازهای خروجی دارند و همچنین با بالا بردن راندمان کششی و انتخاب دنده مناسب می‌توان مصرف انرژی و میزان انتشار ماشین‌ها را کاهش داد (٥٤).

پس از سوخت دیزل، نهاده‌های نیتروژن کودی (معدنی) و بذر مصرفی به‌ترتیب با متوسط انرژی

۲۹۹۷ و ۲۰٦۸ مگاژول بر هکتار و با سهم ۱۹/٦۱ و ۱۳/۵۳ درصدی بالاترین مشارکت را در انرژی ورودی به بوم‌نظام‌های تولید سویای استان مازندران داشته‌اند (جدول ۲ و شکل ۲). این دو نهاده همچنین در تمامی شهرستان‌های این استان نیز رتبه‌های دوم و سوم مصرف انرژی را دارا بوده‌اند (شکل ۳) که این نتایج به‌دست آمده در حقیقت روشنگر این واقعیت است که اتخاذ شیوه‌های مدیریتی صحیح در مصرف این نهاده‌ها می‌تواند زمینه بهبود کارایی مصرف انرژی در تولید سویای منطقه باشد. چرا که حقیقت توانمندی بالای سویا در تثبیت زیستی نیتروژن مدت‌هاست که در مجامع و منابع علمی جهانی اثبات شده است (۵۷، ۵۸، ۵۹). در منابع علمی موجود چنین آمده که اگر باکتری همزیست این گیاه یعنی برادی‌ریزوبیوم مناسبی در خاک وجود داشته باشد و یا به‌درستی با بذر سویا تلقیح شود؛ گیاهان تقریباً به مدت چهار هفته پس از جوانه‌زنی شروع به تثبیت مقادیر قابل‌توجهی از نیتروژن جو می‌کنند (۵۸، ۵۹). آنچه واضح است این است که سویا از گیاهان لگوم پیشرو در جهان برای تثبیت نیتروژن می‌باشد که با گنجاندن آن در تناوب زراعی که در آن نیتروژن ناکافی در دسترس است؛ می‌تواند منجر به عملکردهای بالای سویا و بهبود عملکرد محصولات تناوب غیر تثبیت‌کننده نیتروژن شود (٦۰). این در حالی است که طبق پرسش‌های به‌عمل آمده (تجربه شخصی) بخش اعظمی از کشاورزان منطقه یا از این مهم مطلع نبودند و یا از طریقه به‌کارگیری صحیح این باکتری‌ها اطلاعات کافی نداشتند. درحالی‌که نیتروژن تا حدی به‌دلیل نیاز بالای گیاهان به این ماده مغذی و تا حدودی هم به‌دلیل عدم دوام آن در محیط خاک، معمولاً محدودکننده‌ترین ماده مغذی در تولید محصولات زراعی است (۵۷). بنابراین با توجه به این که تلقیح سویه‌های مؤثر/ کارآمد برادی‌ریزوبیوم ممکن است رشد سویا و عملکرد دانه آن را بهبود بخشد (٦۱) و با در نظر داشتن این مهم که فرآیند تثبیت نیتروژن در پی مصرف مقادیر زیادی از کودهای نیتروژنه برای حبوبات به‌طور مؤثر اتفاق نمی‌افتد (۵۸)؛ به‌این ترتیب کوددهی نیتروژن برای این گیاه باید با توجه به این مباحث مطروحه انجام شود تا علاوه بر کاهش خلأ عملکردی و هزینه‌های تولیدی، سبب کاهش مخاطرات زیست‌محیطی در منطقه شد.



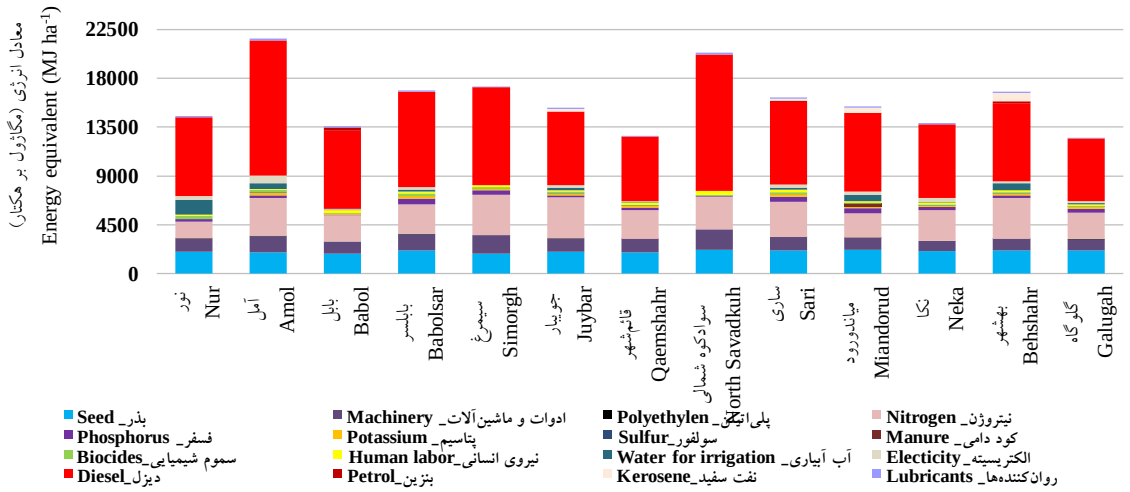
شکل ۲- متوسط سهم هر یک از نهاده‌ها از کل انرژی ورودی در تولید سویا استان مازندران

Figure 2. The average share of each input to the total input energy in soybean production in Mazandaran province

جدول ۲- میزان انرژی ورودی‌ها و خروجی در مزارع تولید سویا استان مازندران

Table 2- Inputs and output energies in soybean production fields in Mazandaran province

ورودی‌ها/ خروجی Inputs/ Output	میانگین در واحد سطح (هکتار) Average per unit area (ha)	معادل انرژی (مگاژول بر هکتار) Energy equivalent (MJ ha^{-1})
الف). ورودی‌ها A). Inputs		
۱. بذر سویا (کیلوگرم) 1. Soybean seed (kg)	67.82 ± 20.21	2068.55
۲. نیروی انسانی (ساعت) 2. Human labor (h)		
مرد Male	30.46 ± 37.83	59.71
زن Female	74.62 ± 89.50	117.16
۳. ادوات و ماشین‌آلات (کیلوگرم) 3. Machinery (kg)	8.41 ± 3.96	1200.00
٤. سوخت 4. Fuel		
دیزل (لیتر) Diesel (L)	130.02 ± 71.71	7321.49
روان‌کننده‌ها (کیلوگرم) Lubricants (kg)	2.75 ± 2.09	110.50
بنزین (لیتر) Petrol (L)	1.05 ± 7.00	48.88
نفت سفید (لیتر) Kerosene (L)	4.14 ± 26.95	191.21
۵. الکتریسیته (کیلووات ساعت) 5. Electricity (kWh)	18.46 ± 110.87	220.18
٦. سموم شیمیایی (کیلوگرم) 6. Biocides (kg)		
حشره‌کش‌ها Insecticides	0.42 ± 0.77	42.21
قارچ‌کش‌ها Fungicides	0.008 ± 0.10	1.70
علف‌کش‌ها Herbicides	0.385 ± 0.63	91.59
۷. کودهای شیمیایی 7. Chemical fertilizers		
نیتروژن (کیلوگرم N) Nitrogen (kg N)	45.32 ± 37.98	2997.18
فسفر (کیلوگرم P_2O_5) Phosphorus (kg P_2O_5)	27.04 ± 28.66	336.35
پتاسیم (کیلوگرم K_2O) Potassium (kg K_2O)	14.01 ± 23.27	156.26
سولفور (کیلوگرم S) Sulfur (kg S)	18.29 ± 33.57	20.49
۸. کود دامی (تن) 8. Manure (ton)	0.10 ± 1.00	30.62
۹. آب آبیاری (متر مکعب) 9. Water for irrigation (m^3)	251.79 ± 645.84	256.83
۱۰. پلی‌اتیلن (کیلوگرم) 10. Polyethylene (kg)	0.29 ± 1.09	13.50
ب). خروجی B). Output		
دانه سویا (کیلوگرم) Soybean grain (kg)	2464.97 ± 952.43	37097.80



شکل ۳- متوسط کل انرژی ورودی و سهم نهاده‌های مختلف در بوم‌نظام‌های تولید سویا شهرستان‌های مختلف استان مازندران

Figure 3, The average total input energy and the share of different inputs in soybean production agroecosystems of different counties in Mazandaran province

بررسی شاخص‌ها و اشکال انرژی در تولید سویا:

نسبت انرژی که به‌عنوان شاخصی برای بررسی کارایی مصرف انرژی در تولید محصول به‌کار می‌رود به‌طور متوسط برای تولید سویا در استان مازندران معادل ۲/٤۳ محاسبه شد (جدول ۳). این بدان معناست که با مصرف یک مگاژول انرژی ورودی در مزارع تولید سویا در استان مازندران به‌میزان ۲/٤۳ مگاژول انرژی تولید شده است. وضعیت این مؤلفه انرژی در مناطق مختلف استان مازندران هم به‌این صورت بود که شهرستان آمل با متوسط ۱/۷۱ کم‌ترین و گلوگاه با متوسط ۳/۷۲ بیش‌ترین کارآمدی در استفاده از انرژی را دارا بودند (شکل ٤). با این همه، اگرچه کارایی مصرف انرژی در تمامی شهرستان‌های مورد مطالعه بیش از یک بوده که بیانگر توجیه‌پذیری تولید سویا در تمامی مناطق تحت بررسی است؛ اما بررسی‌های به‌عمل آمده در منطقه نشان از این واقعیت دارد که پتانسیل زیادی برای بهبود کارایی انرژی تولید سویا در منطقه مورد مطالعه وجود داشته که با کاهش حجم انرژی‌های ورودی (مثل سوخت و کودهای شیمیایی) و همچنین افزایش متوسط عملکرد دانه سویا تولیدی در منطقه می‌توان به آن دست یافت. نمونه عینی این مسئله را می‌توان در شهرستان گلوگاه مشاهده نمود که سویاکاران این منطقه با به‌کارگیری شیوه‌های مدیریتی هم‌راستا با اهداف کشاورزی پایدار مانند کاهش دفعات خاک‌ورزی و همچنین کاهش مصرف منابع نیتروژن معدنی از طریق به‌کارگیری باکتری‌های همزیست سویا توانسته‌اند ضمن افزایش متوسط عملکرد دانه تولیدی در منطقه، کارایی مصرف انرژی را در بوم‌نظام‌های زراعی خود بهبود بخشند و به‌این ترتیب گامی در جهت تولید پایدار کشاورزی بردارند. چرا که کارآمدی در استفاده از منابع انرژی علاوه‌بر افزایش تولید، بهره‌وری و رقابت‌پذیری کشاورزی (٦۲)، به‌عنوان یکی از الزامات کشاورزی پایدار، امکان صرفه‌جویی مالی، حفظ منابع فسیلی و کاهش آلودگی هوا را نیز تضمین می‌کند (٦۳).

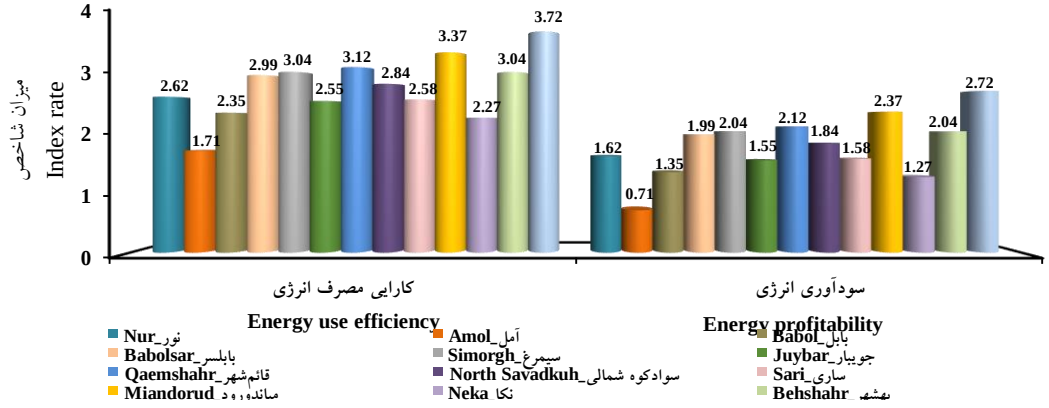
از نظر سودآوری انرژی نیز، تمامی مناطق تحت بررسی به غیر از آمل (مقدار ۰/۷۱) دارای مقادیری بیش از یک بوده‌اند (یعنی از ۱/۲۷ در شهرستان نکا تا ۲/۷۲ در شهرستان گلوگاه) که متوسط آن برای کل استان مازندران برابر ۱/٤۳ به‌دست آمد (جدول ۳ و شکل ٤). این میزان سودآوری انرژی در مقایسه با مقادیر ۱/۲۸ (٦٤)، ۰/۵۳، ۰/۹۸، ۲/۰۳ و ۲/۱۸ (۳۹)

به‌دست آمده در استان گلستان مؤید این مطلب است که این دو استان تولیدکننده سویا در کشور از نقطه‌نظر سودآوری انرژی در تولید این محصول تا حدودی وضعیت مشابهی داشته‌اند. اما در مقایسه با استان همدان که بهره‌وری و سودآوری انرژی آن به‌ترتیب ۰/۳۲۹ کیلوگرم بر مگاژول و ٤/٨٩ محاسبه شده (۷) مقدار کم‌تری را نشان می‌دهد که دلیل آن را با وجود مقدار حجم انرژی ورودی بیش‌تر (۲۳۳۹۹ مگاژول بر کیلوگرم) در استان همدان نسبت به استان مازندران (١٥٢٨٤ مگاژول بر هکتار) می‌توان به سبب متوسط عملکرد دانه تولیدی بیش‌تری دانست که از کرت‌های آزمایش مزرعه‌ای و تحت نظارت متخصصین زراعت به‌دست آمده است.

جدول ۳- مؤلفه‌های انرژی و سهم اشکال گوناگون انرژی برای تولید سویا در مزارع استان مازندران

Table 3. Energy indices and contribution of different energy forms for soybean production in the fields of Mazandaran province

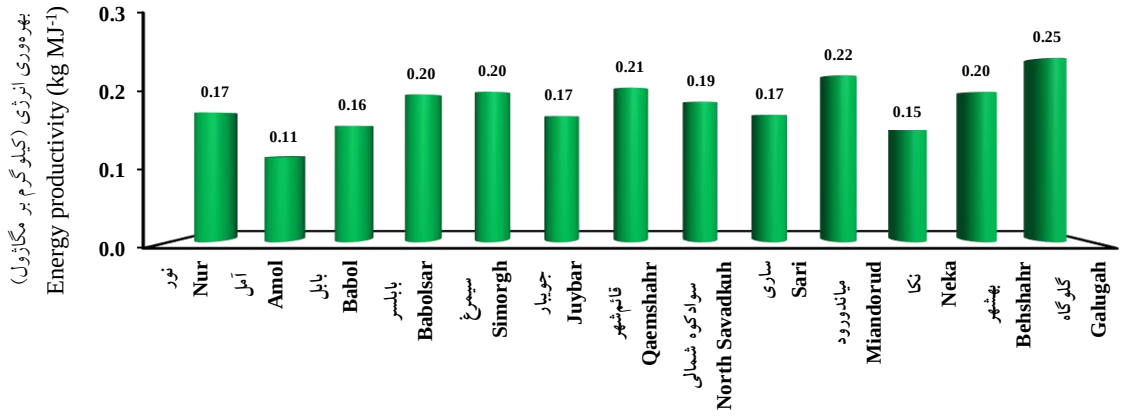
مؤلفه‌های انرژی Energy parameters	واحد Unit	میانگین Average
مقدار کل انرژی ورودی Total input energy	مگاژول بر هکتار MJ ha^{-1}	15284.42
مقدار کل انرژی خروجی Total output energy	مگاژول بر هکتار MJ ha^{-1}	37097.80
کارایی/ نسبت انرژی Energy use efficiency	-	2.43
بهره‌وری انرژی Energy productivity	کیلوگرم بر مگاژول kg MJ^{-1}	0.16
انرژی ویژه Specific energy	مگاژول بر کیلوگرم MJ kg^{-1}	6.20
افزوده خالص انرژی Net energy	مگاژول بر هکتار MJ ha^{-1}	21813.38
سودآوری انرژی Energy profitability	-	1.43
فشردگی انرژی Energy intensiveness	مگاژول بر دلار MJ $\$^{-1}$	46.61
انرژی تجدیدپذیر: بذر، نیروی انسانی، آب آبیاری و کود دامی Renewable energy: Seed, Human labor, Irrigation water and Manure	مگاژول بر هکتار MJ ha^{-1}	2532.87
انرژی تجدیدناپذیر: سوخت‌های مصرفی، الکتریسیته، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، ادوات و ماشین‌آلات و پلی‌اتیلن Non-renewable energy: Fossil fuels, electricity, Chemical fertilizers, Biocides, Machinary and Polyethylene	مگاژول بر هکتار MJ ha^{-1}	12751.55
انرژی مستقیم: سوخت‌های مصرفی، الکتریسیته، نیروی انسانی و آب آبیاری Direct energy: Fossil fuels, electricity, Human labor and Irrigation water	مگاژول بر هکتار MJ ha^{-1}	8325.98
انرژی غیرمستقیم: بذر، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، کود دامی، ادوات و ماشین‌آلات و پلی‌اتیلن Indirect energy: Seed, Chemical fertilizers, Biocides, Manure, Machinary and Polyethylene	مگاژول بر هکتار MJ ha^{-1}	6958.44



شکل ٤- مقادیر سودآوری و کارایی مصرف انرژی برای تولید سویا در مزارع شهرستان‌های مختلف استان مازندران

Figure 4. Profitability values and efficiency of energy use for soybean production in farms located in different counties of Mazandaran province

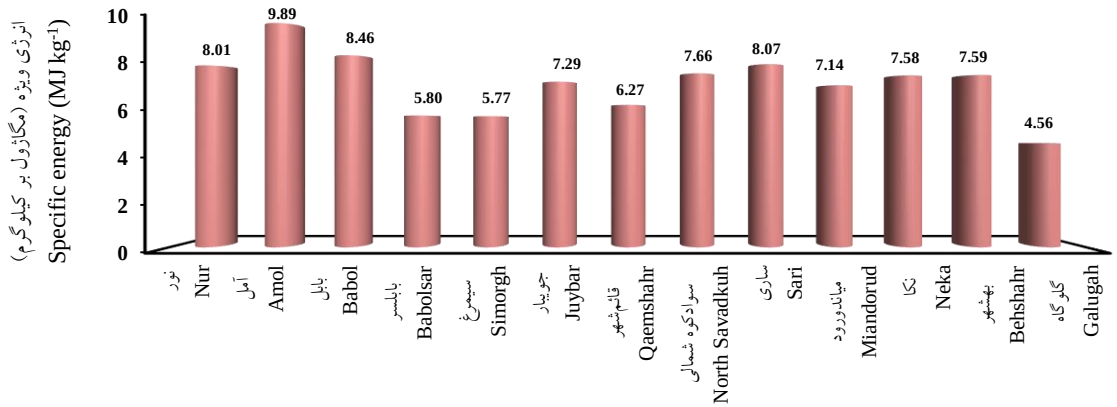
میانگین بهره‌وری انرژی برای سویا تولیدی در استان مازندران نیز معادل ۰/۱٦ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه شده که نشان می‌دهد به ازای هر مگاژول انرژی مصرفی حدود ۰/۱٦ کیلوگرم دانه سویا تولید شده است (جدول ۳). این نسبت در تمامی شهرستان‌های مورد بررسی کم‌تر از یک کیلوگرم بر مگاژول بود که در این بین بیش‌ترین بهره‌وری انرژی تولید سویا برای شهرستان‌های میاندورود و گلوگاه با مقادیر ۰/۲۲ و ۰/۲۵ کیلوگرم بر مگاژول و کم‌ترین میزان آن برای شهرستان‌های آمل و نکا با مقادیر ۰/۱۱ و ۰/۱۵ کیلوگرم بر مگاژول تعیین شد (شکل ۵). این میزان اختلاف موجود در مناطق مختلف استان مؤید این حقیقت است که اگر بر شیوه‌های مدیریتی تولید محصول مثل مدیریت بقایای گیاهی و کشاورزی حفاظتی، نگهداری مناسب و تعمیرات به‌موقع ادوات و ماشین‌آلات کشاورزی نظارت شود و در اندازه توان تلاش‌هایی جهت افزایش تولید در واحد سطح به‌واسطه به‌کارگیری بهینه نهاده‌های تولیدی در مزارع صورت گیرد می‌توان میزان بهره‌وری انرژی را در منطقه ارتقاء بخشید. این نسبت در بوم‌نظام‌های تولید سویای استان همجوار یعنی گلستان نیز به مقادیر ۰/۰۹ (٦٤)، ۰/۱۰، ۰/۱۳، ۰/۲۰ و ۰/۲۱ کیلوگرم بر مگاژول (۳۹) گزارش شده که با نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر تقریباً مشابه است.



شکل ۵- مقادیر بهره‌وری انرژی برای تولید سویا در مزارع شهرستان‌های مختلف استان مازندران

Figure 5. Values of energy productivity for soybean production in farms located in different counties of Mazandaran province

برای نشان دادن این کـه در منطقـه مـورد مطالعـه برای تولید هر کیلوگرم سویا چه میزان انرژی صـرف شده از شاخص شدت انرژی (انـرژی ویـژه) اسـتفاده شد که میزان آن بـرای متوسـط کـل اسـتان مازنـدران معادل ٦/٢٠ مگاژول بر کیلوگرم برآورد شـد (جـدول ٣). به عبارت دیگر، به‌طور متوسط بـرای تولیـد یـک کیلوگرم دانه سویا در مزارع اسـتان مازنـدران معـادل ٦/٢٠ مگاژول انرژی صرف شده اسـت. ایـن نسـبت برای بوم‌نظام‌های تولید سویا در استان گلستان معـادل ١٠/٩٤ مگاژول بر کیلـوگرم محاسـبه شـده (٦٤) کـه بیانگر این حقیقت است که برای تولید هـر کیلـوگرم سویا در استان گلستان متوسط انرژی ورودی بیش‌تری (١٠/٩٤ مگاژول) در مقایسه با استان مازندران (٦/٢٠ مگاژول) مصرف می‌شود. میزان این مؤلفـه انـرژی در شهرستان‌های مختلف استان مازندران نیز از ٤/٥٦ تـا ٩/٨٩ مگاژول بر کیلوگرم در نوسان بوده که شهرستان آمل بیش‌ترین و گلوگاه کم‌ترین مقدار از این شاخص را دارا بودند (شکل ٦). با توجه به این کـه کوچـک‌تر بودن مقدار این شـاخص بیـانگر کـارایی بالـای یـک سامانه تولیدی است؛ بنـابراین از ایـن نتـایج می‌تـوان چنین استنباط نمود که در شهرستان آمل، پرداختن بـه تولید سویا بر اساس اصول اقتصادی و علمی صورت نمی‌گیرد. به گونه‌ای که علی‌رغم تلـاش فـراوان و بـه نسبت انرژی ورودی بیش‌تر، بوم‌نظام‌های تولید سـویا در این منطقه از کـارایی و سـودآوری انـرژی بالـایی برخوردار نمی‌باشند و این مسئله روشنگر این حقیقت است که تولید سویا در این منطقه با اتکای بیش‌تر بـه نهاده‌های ورودی در راسـتای پایـداری در کشـاورزی نبوده و تداوم این روش مدیریتی نادرست برای تولید سـویا می‌توانـد تبعـات زیسـت‌محیطی و ناپایـداری بوم‌شناختی را در آینده نزدیک بـه اوج خـود برسـاند. چرا که پیش از این نیز نتایج ارزیـابی اثـرات چرخـه حیات بوم‌نظام‌هـای تولیـد سـویا در اسـتان مازنـدران نشان داده که شهرستان آمل با اختلـاف خیلـی جزئـی پس از شهرستان ساری (مقـدار mPt ٤٣٩/٧٧) دارای بیش‌ترین مقادیر کـل خسـارت زیسـت‌محیطی (mPt ٤٣٨/٠٦) به ازای هر تن دانه سویا تولیدی است (٦٥).

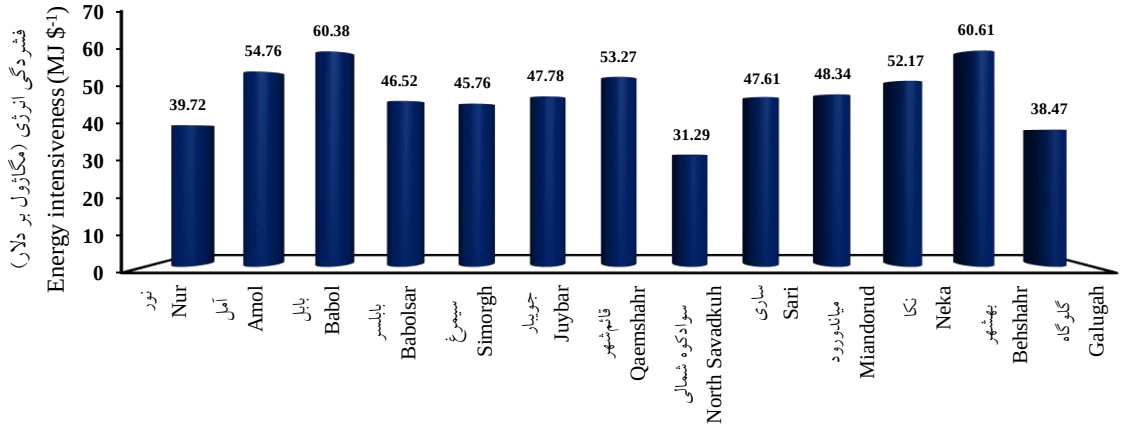


شکل ٦- مقادیر مؤلفه شدت انرژی برای تولید سویا در مزارع شهرستان‌های مختلف استان مازندران

Figure 6. Values of specific energy for soybean production in farms located in different counties of Mazandaran province

مطابق نتایج به‌دست آمده از جـدول ٣، فشـردگی انرژی (انرژی مصرفی بـه ازای هـر یـک دلـار هزینـه تولیـد) بـرای بوم‌نظام‌هـای تولیـد سـویا در اسـتان مازنـدران بـه‌طور متوسـط ٤٦/٦١ مگـاژول بـر دلـار

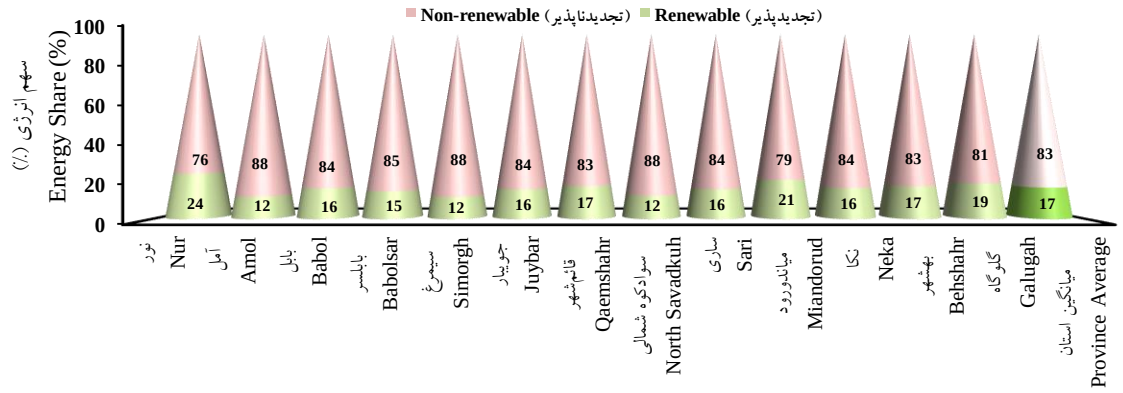
به‌دست آمد که نشان می‌دهد به ازای هر یک دلار هزینه تولید، شامل هزینه‌های ثابت، متغیر و اجتماعی حاصله از انتشارات، حدود ٤٦ مگاژول انرژی صرف شده است. این نسبت در مناطق مختلف استان نیز از ۳۱/۲۹ مگاژول بر دلار در شهرستان سوادکوه شمالی تا ٦۰/٦۱ مگاژول بر دلار در شهرستان بهشهر متغیر بوده است (شکل ۷). در رابطه با مقدار خیلی کم فشردگی انرژی در سوادکوه شمالی نسبت به سایر مناطق تحت بررسی باید خاطر نشان ساخت که این مسئله تنها به‌سبب متوسط کل هزینه تولید بالای این منطقه در مقایسه با سایر مناطق تحت بررسی می‌باشد. همانطور که در شکل ۳ دیده می‌شود این شهرستان بالاترین انرژی ورودی را پس از شهرستان آمل داشته که به‌این ترتیب نمی‌توان این میزان کم فشردگی انرژی را به انرژی ورودی نسبت داد.



شکل ۷- مقادیر مؤلفه فشردگی انرژی برای تولید سویا در مزارع شهرستان‌های مختلف استان مازندران

Figure 7. Values of energy intensiveness for soybean production in farms located in different counties of Mazandaran province

نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که حدود ۸۳ درصد (۱۲۷۵۱ مگاژول بر هکتار) از کل انرژی ورودی مصرفی در تولید سویا از انرژی تجدیدناپذیر به‌دست آمده که در حدود ٦٦ درصد بیش‌تر از سهم انرژی‌های تجدیدپذیر (۲۵۳۳ مگاژول بر هکتار) می‌باشد (جدول ۳). مطابق شکل ۸ این نسبت افزایش با دامنه ۵۲ تا ۷٦ درصدی در تمامی شهرستان‌های مختلف این استان نیز برقرار بوده که نشان می‌دهد تولید سویای منطقه بیش‌تر به منابع انرژی تجدیدناپذیری چون سوخت دیزل و کودهای شیمیایی نیتروژنه بستگی دارد. این موضوع با در نظر داشتن این مهم که استفاده بیش از حد از منابع انرژی تجدیدناپذیر در درازمدت پایدار نبوده و در نهایت کاهش می‌یابد و همچنین با التفات به این که از نظر بوم‌شناختی و سلامت انسان نیز دارای اهمیت قابل‌توجهی است (٦٤، ٦٦)؛ بنابراین ما را بر آن می‌دارد که استفاده بهینه از این منابع ارزشمند را هر چه بیش‌تر و بهتر در بوم‌نظام‌های زراعی به‌کار گیریم تا ضمن تحقق اهداف توسعه پایدار و کاهش معضلات زیست‌محیطی در منطقه، با نرخ سریع تخلیه آن‌ها نیز مواجه نشویم. در این راستا، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به‌دست آمده از محصولات کشاورزی نیز می‌تواند گامی مؤثر در تحقق این اهداف باشد؛ چرا که می‌توانند هم در تأمین انرژی مورد نیاز و هم از نظر کاهش اثرات زیست‌محیطی نقش مهمی ایفا کنند (٦۷).



شکل ۸- سهم اشکال مختلف انرژی برای تولید سویا در شهرستان‌های مختلف استان مازندران

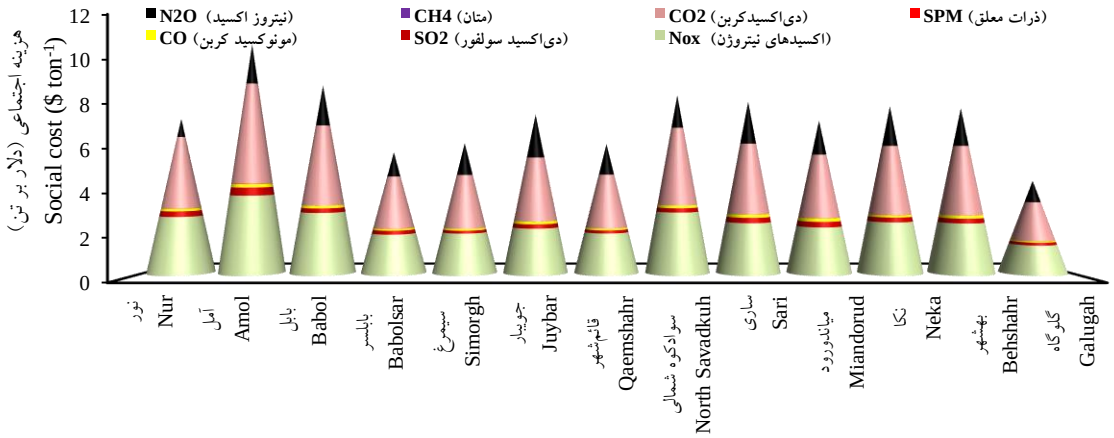
Figure 8. Contribution of different forms of energy for soybeans production in different counties of Mazandaran province

ارزیابی هزینه چرخه حیات (LCCA): مطابق نتایج به‌دست آمده از پیمایش ۳۰۱ مزرعه سویا تحت بررسی، مجموع هزینه اجتماعی انتشار آلاینده‌ها (درون مزرعه‌ای و برق) به‌طور متوسط به ازای هر تن دانه سویا تولیدی در استان مازندران معادل ۷/۳۸ دلار بوده که در این بین شهرستان‌های گلوگاه و بابلسر (به‌ترتیب با حدود ٤/٤٢ و ٥/٨٠ دلار) کم‌ترین و بابل و آمل (به‌ترتیب با حدود ۹/۰۳ و ۱۱/۰۳ دلار) بیش‌ترین مقادیر این هزینه را دارا بودند (شکل ۹). همانطور که در جدول ٤ و شکل ۹ به وضوح دیده می‌شود؛ بخش اعظم این مقدار هزینه ذکرشده بیش‌تر به انتشار سه گاز مهم دی‌اکسیدکربن (٤١/١٦ درصد)، اکسیدهای نیتروژن (۳۰/۸۵ درصد) و نیتروز اکسید (۲۳/۳۵ درصد) مربوط می‌شود که از نظر اثر گلخانه‌ای و پدیده تغییر اقلیم دارای اهمیت می‌باشند. در این بین اگرچه هزینه هر واحد دی‌اکسیدکربن در مقایسه با سایر انتشارات بسیار پایین است (جدول ٤)؛ اما این هزینه به‌دلیل انتشار بالا در استفاده از سوخت (بیش‌تر به شکل دیزل) و مقادیری هم به‌دلیل مصرف کود اوره در مزرعه سهم عمده‌ای در هزینه کل دارد. همانطور که در جدول ٤ نشان داده شده است؛ مقدار انتشار دی‌اکسیدکربن در پی تولید هر تن دانه سویا تولیدی در استان مازندران برابر ۳۰۳/۹۰ kg CO_2 eq است. این نتیجه بر این مهم تأکید دارد که با صرفه‌جویی و مدیریت‌های زراعی بهینه می‌توان به ازای انتشار هر کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل (kg CO_2 eq) کم‌تر در مزارع استان، میزان هزینه تولید را به‌میزان ۰/۰۱ دلار کاهش داد. بر خلاف دی‌اکسیدکربن، نیتروز اکسید با وجود اینکه دارای مقادیر کم انتشار در بوم‌نظام‌های تولید سویا است؛ اما این مقدار کم با توجه به هزینه بالای هر واحد انتشار آن (٤/٥٨ دلار) می‌تواند رقم درخور توجهی باشد (جدول ٤). چرا که نیتروز اکسید به‌دلیل ماندگاری طولانی در جو (بیش از ١١٤ سال) و دارا بودن پتانسیل گرمایش ۲۹۸ برابر بیش‌تر از دی‌اکسیدکربن از اهمیت بالایی در پدیده گرمایش جهانی و تغییر اقلیم برخوردار است (٦٨).

جدول ٤- نتایج مربوط به هزینه‌های اجتماعی انتشارات ناشی از تولید یک تن سویا در استان مازندران

Table 4. The results related to the social costs of emissions caused by the production of one ton of soybeans in Mazandaran province

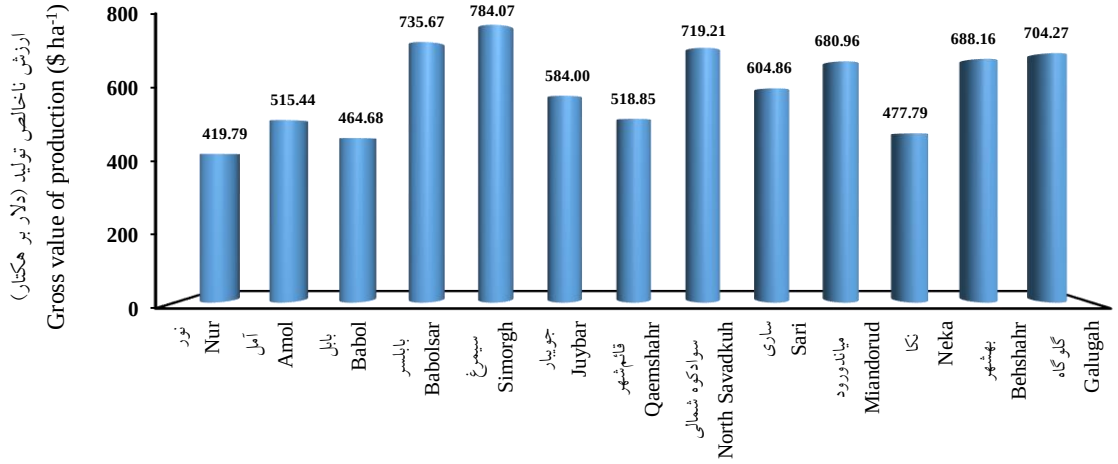
انتشارات Emissions	واحد Unit	انتشارات داخل مزرعه (کیلوگرم بر تن) On-Farm emissions (kg ton^{-1})	تولید الکتریسیته (کیلوگرم بر کیلووات ساعت) Electricity generation (kg kWh^{-1})	ضریب هزینه انتشارات (دلار بر کیلوگرم) Emission cost coefficient ($ kg^{-1})	هزینه اجتماعی (دلار بر تن) Social cost ($ ton^{-1})
اکسیدهای نیتروژن Nitrogen oxides (NOx)	کیلوگرم NOx معادل kg NOx eq	3.777	0.019	0.6	2.278
دی‌اکسید سولفور Sulfur dioxide (SO_2)	کیلوگرم SO_2 معادل kg SO_2 eq	0.095	0.022	1.825	0.212
مونوکسید کربن Carbon monoxide (CO)	کیلوگرم CO معادل kg CO eq	0.655	0.005	0.187	0.123
ذرات معلق SPM	کیلوگرم SPM معادل kg SPM eq	-	0.001	4.3	0.0040
دی‌اکسیدکربن Carbon dioxide (CO_2)	کیلوگرم CO_2 معادل kg CO_2 eq	298.92	4.978	0.01	3.039
متان Methane (CH_4)	کیلوگرم CH_4 معادل kg CH_4 eq	0.013	0.00013	0.21	0.003
نیتروز اکسید Dinitrogen monoxide (N_2O)	کیلوگرم N_2O معادل kg N_2O eq	0.376	0.00002	4.58	1.724
		کل هزینه اجتماعی Total social cost			7.383



شکل ۹- مقادیر هزینه‌های اجتماعی انتشارات ناشی از تولید یک تن سویا در شهرستان‌های مختلف استان مازندران

Figure 9- Social costs of emissions caused by the production of one ton of soybeans in different counties of Mazandaran province

بـه‌منظور ارزیـابی مـزارع تولیـد سـویا از منظـر کارآمدی اقتصادی نیز، تجزیه و تحلیـل شـاخص‌های اصلی اقتصادی انجام شد که نتایج تخمینـی هـر یـک برای متوسط کل استان در جدول ۵ و به تفکیـک هـر شهرستان در شکل‌های ۱۰ تـا ۱۳ ارائـه شـده اسـت. جهت برآورد هزینه کل و مؤلفـه‌های ارزش تولیـد از قیمت بازار (۲٤۷ دلار بر تن) و بهـای تمـام‌شـده هـر نهاده برای تولید دانه سویا در ایـران اسـتفاده شـد. بـا ضرب قیمت فروش در متوسـط عملکـرد دانـه سـویا تولیدی به‌دسـت‌آمـده از ۳۰۱ مزرعـه تحـت بررسـی (۲/٤٦ تن در هکتار)، ارزش ناخالص تولیـد سـویا در استان مازندران معادل ٦۰۸/٦۹ دلار بر هکتـار بـرآورد شـد (جـدول ۵). مطـابق شـکل ۱۰، وضـعیت ارزش ناخالص تولید هـر هکتـار بوم‌نظـام کشـت سـویا در شهرستان‌های تابعه این استان نیـز بـه‌طور متوسـط از ٤۱۹/۷۹ تا ۷۸٤/۰۷ دلار متغیر بـوده کـه در ایـن بـین شهرستان‌های بابلسـر و سـیمرغ بـه‌ترتیب بـا مقـادیر ۷۳۵/٦۷ و ۷۸٤/۰۷ دلـار بیش‌تـرین و نـور و بابـل به‌ترتیب بـا ٤۱۹/۷۹ و ٤٦٤/٦۸ دلـار کم‌تـرین میـزان درآمد کـل را دارا بودنـد کـه ایـن نـابرابری درآمـدی به‌دلیل تفاوت در متوسط عملکـرد سـویا تولیـدی در شهرستان‌های مختلف می‌باشد.



شکل ۱۰- ارزش ناخالص تولید سویا در شهرستان‌های مختلف استان مازندران

Figure 10- Gross value of soybean production in different counties of Mazandaran province

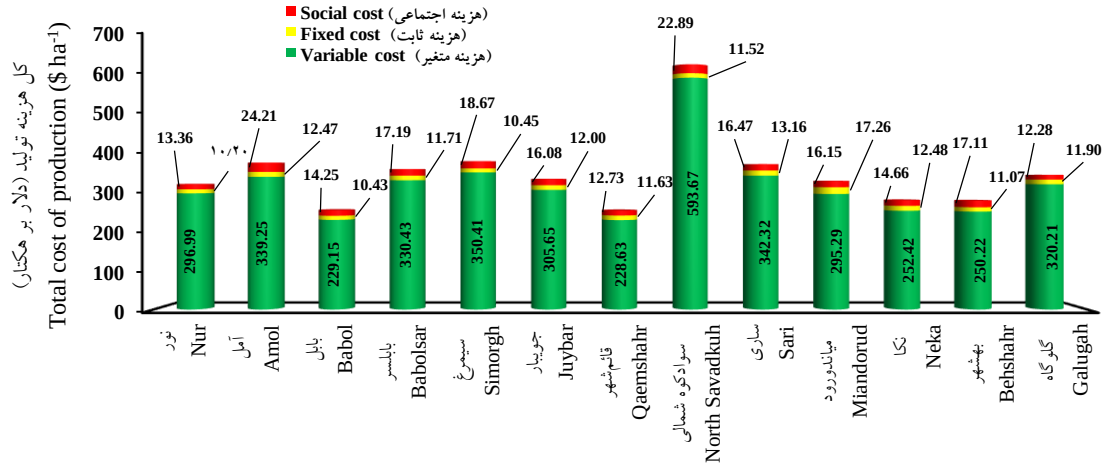
جدول ۵- تحلیل اقتصادی تولید سویا در استان مازندران

Table 5. Economic analysis of soybean production in Mazandaran province

اجزای هزینه و سود Cost and return components	واحد Unit	مقدار Quantity
عملکرد Yield	تن بر هکتار ton ha^{-1}	2.46
قیمت فروش Sale price	دلار بر تن $ ton^{-1}	247
ارزش ناخالص تولید Gross value of production	دلار بر هکتار $ ha^{-1}	608.69
هزینه متغیر تولید Variable cost of production	دلار بر هکتار $ ha^{-1}	299.52
هزینه ثابت تولید Fixed cost of production	دلار بر هکتار $ ha^{-1}	12.61
هزینه اجتماعی انتشارات Emissions social cost	دلار بر هکتار $ ha^{-1}	15.77
کل هزینه تولید (LCC) Total cost of production (LCC)	دلار بر هکتار $ ha^{-1}	327.90

اجزای هزینه و سود Cost and return components	واحد Unit	مقدار Quantity
درآمد/ سود ناخالص Gross return	دلار بر هکتار $ ha^{-1}	309.18
درآمد/ سود خالص Net return	دلار بر هکتار $ ha^{-1}	280.80
نسبت سود به هزینه Benefit-to-cost ratio	–	1.86
بهره‌وری Productivity	کیلوگرم بر دلار kg $^{-1}$	7.52

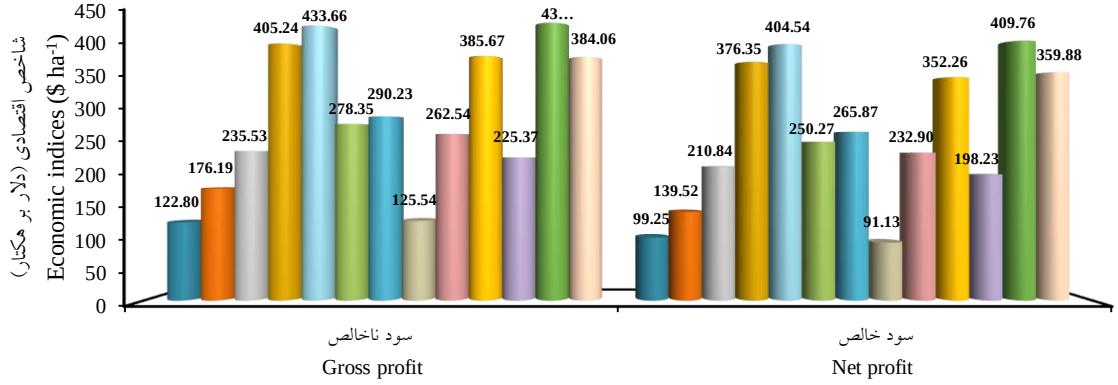
متوسط سهم هزینه‌های متغیر، ثابت و هزینه اجتماعی حاصله از انتشارات نیز به‌ترتیب حدود ۹۱ (۲۹۹/۵۲ دلار بر هکتار)، چهار (۱۲/٦۱ دلار بر هکتار) و پنج درصد (۱۵/۷۷ دلار بر هکتار) از کل هزینه تولید (۳۲۷/۹۰ دلار بر هکتار) در مزارع سویاکاری استان بود (جدول ۵). این نتیجه نشان‌دهنده سهم بالای هزینه‌های متغیر در تولید سویای منطقه است که در این بین هزینه مربوط به ادوات و ماشین‌آلات کشاورزی (به‌ویژه برای کاشت و برداشت محصول) با ۱٤۱/۸۵ دلار بر هکتار (معادل ٤۷/۳٦ درصد) اولین نهاده و نیروی کار انسانی با ۸۵/۷۷ دلار بر هکتار (معادل ۲۸/٦٤ درصد) دومین نهاده با بیش‌ترین هزینه در تولید بودند که در مجموع حدود ۷٦ درصد از کل هزینه متغیر تولید سویا را به خود اختصاص داده‌اند. پیش از این در مطالعه‌ای جهت بررسی خلأ عملکرد سویای این منطقه به روش تحلیل مقایسه کارکرد نیز عنوان شده که بالغ بر ۸۰ درصد از اراضی سویاکاری استان مازندران از رقم ساری (JK-695) استفاده می‌کنند که این امر با توجه به نزدیکی نقطه شروع غلاف‌بندی این رقم زراعی به سطح زمین به‌همراه شرایط نامناسب مزارع تحت کشت سبب تقاضای نیروی کار انسانی بیش‌تری جهت درو دستی تمامی سطح مزرعه قبل از کوبش توسط کمباین (برداشت غیرمستقیم محصول) می‌شود که در نتیجه افزایش هزینه متغیر تولید را برای کشاورزان منطقه به‌همراه خواهد داشت (٦۹). بخش دیگری از این هزینه نیروی کار انسانی به دو عملیات زراعی وجین و تنک محصول مربوط می‌شود که به‌جهت خرده مالکی و پراکندگی اراضی که مانعی جهت توسعه مکانیزاسیون اراضی کشاورزی در منطقه است و همچنین نبود ماشین‌آلات مناسب برای این عملیات‌های زراعی باز هم نیازمند نیروی انسانی بیش‌تری است که این امر بار مالی سویاکاران منطقه را سنگین‌تر می‌کند. مسئله مهم دیگری که در نتایج تحلیل اقتصادی بوم‌نظام‌های تولید سویا در تمامی شهرستان‌های مختلف استان مازندران باعث افزایش هزینه متغیر تولید شده؛ دامنه متوسط هزینه‌های پرداختی خدمات ماشینی به ازای هر هکتار زمین زراعی است که نبود سیاست‌های مناسب و همچنین عدم نظارت و مدیریت صاحبنظران امر در ساماندهی این وضعیت سبب افزایش هزینه متغیر تولید در تمامی شهرستان‌های این استان شده که وخامت این مسئله را می‌توان در منطقه سوادکوه شمالی مشاهده نمود (شکل ۱۱). به‌نحوی که این هزینه حدود ۵۰ درصد از هزینه متغیر تولید سویا (۵۹۳/٦۷ دلار بر هکتار) را در این منطقه از استان شامل می‌شود. پس از آن هزینه نیروی کار انسانی با سهم حدود ٤۰ درصدی در رتبه دوم اهمیت قرار دارد که این میزان بالای هزینه نیروی کار انسانی بیش‌تر به‌جهت ناهمواری و عدم تسطیح اراضی در منطقه است که برای عملیات‌های زراعی به ساعت نیروی کاری بیش‌تری در هر هکتار نیاز دارد.



شکل ۱۱- کل هزینه تولید سویا در شهرستان‌های مختلف استان مازندران

Figure 11. The total cost of soybean production in different counties of Mazandaran province

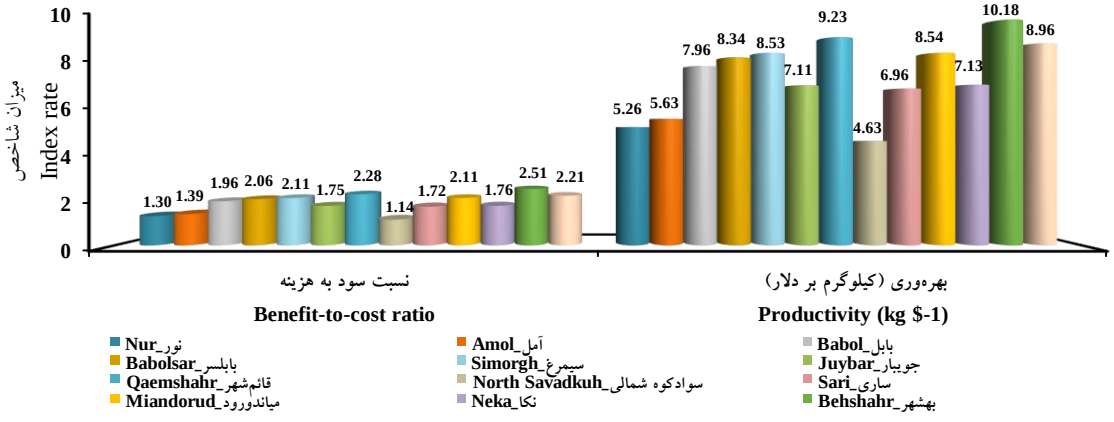
متوسط درآمد ناخالص (۳۰۹/۱۸ دلار بر هکتار) با کسر هزینه متغیر تولید در هر هکتار از ارزش ناخالص تولید به‌دست آمد (جدول ۵). متوسط سود خالص به ازای هر هکتار بوم‌نظام تولیدی نیز معادل ۲۸۰/۸۰ دلار برآورد شد که حدود ٤٦ درصد از درآمد حاصل از فروش سویا است و بیانگر سودآوری تولید سویا در منطقه می‌باشد. با این حال این سود خالص می‌تواند با کاهش مصرف ورودی از طریق استفاده بهینه، به‌ویژه در رابطه با هزینه‌های عملیاتی ماشین‌آلات و نیروی کار انسانی افزایش بیش‌تری یابد. مقایسه نتایج این وضعیت در مناطق مختلف استان مازندران نشان می‌دهد در شهرستان‌هایی مثل بابلسر، سیمرغ، میاندورود، بهشهر و گلوگاه، که دارای درآمد حاصل از فروش یا همان ارزش ناخالص تولید بیش‌تری در نتیجه عملکرد دانه تولیدی بیش‌تر و به نسبت هزینه متغیر تولید کم‌تری هم بوده‌اند؛ به مراتب از سودآوری بیش‌تری در مقایسه با سایر مناطق استان برخوردار شدند (شکل ۱۲). به‌این ترتیب از دو طریق ۱. افزایش ارزش ناخالص تولید به‌واسطه بالابردن قیمت خرید تضمینی سویا از سوی دولت و بهبود مدیریت‌های زراعی جهت افزایش عملکرد تولیدی و همچنین ۲. کاهش هزینه‌های متغیر در امر تولید سویا با جایگزینی ارقام زراعی مناسب منطقه، عرضه مناسب ماشین‌های کشاورزی، استفاده از ماشین‌آلات مناسب برای وجین و تنک محصول، ارائه تسهیلاتی به کشاورزان منطقه جهت افزایش قدرت خرید ماشین‌آلات و جلوگیری از خرد شدن اراضی کشاورزی می‌توان سود خالص اقتصادی را در منطقه افزایش داد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحلیل اقتصادی ٦۰ مزرعه تولید سویا در استان‌های مازندران و گلستان (از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹ میلادی) که تنها با در نظر گرفتن هزینه‌های ثابت و متغیر تولید انجام شده نیز، متوسط سود خالص اقتصادی ۳۱۹ دلار بر هکتار برآورد شده که روش برداشت محصول به‌دلیل عدم وجود کمباین مناسب در منطقه سهم قابل‌توجهی در هزینه تولید سویا داشته است. در ادامه نیز به‌کارگیری کمباین مناسب را جهت کاهش هزینه‌ها و مصرف انرژی در منطقه توصیه نمودند (٤۹).



شکل ۱۲- مقادیر سود خالص و ناخالص تولید سویا در شهرستان‌های مختلف استان مازندران

Figure 12- Values of net and gross profits of soybean production in different counties of Mazandaran province

با توجه به نتایج جدول ۵، نسبت سود به هزینه حاصل از تولید سویا در مزارع مورد بررسی ۱/۸٦ محاسبه شد. این بدان معناست که تولید سویا یک عملیات سودآور در کشاورزی منطقه است. این میزان برای شهرستان‌های مختلف استان از ۱/۱٤ در سوادکوه شمالی تا ۲/۵۱ در بهشهر متغیر بوده (شکل ۱۳) و به‌طور مشابه برای بوم‌نظام‌های تولید سویا در استان‌های گلستان و مازندران ایران ۱/۳۵ (٤۹)، استان جی‌لین چین ۳/۳٦ (۱٤) و در المورا هند نیز ۱/۲۰ (۷۰) گزارش شده است. برای محاسبه میزان سویا تولیدشده (یک کیلوگرم) به ازای هر دلار هزینه شده در منطقه مورد مطالعه نیز از شاخص بهره‌وری استفاده شد که مطابق خروجی جدول ۵ میزان این شاخص اقتصادی برای متوسط کل استان ۷/۵۲ کیلوگرم بر دلار بود. دامنه مقادیر آن نیز به‌طور متوسط از ٤/٦۳ کیلوگرم در شهرستان سوادکوه شمالی تا ۱۰/۱۸ کیلوگرم در شهرستان بهشهر به ازای هر دلار هزینه، متغیر بوده است که نشان‌دهنده وضعیت مساعد اقتصادی در تولید سویای منطقه می‌باشد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- مقادیر بهره‌وری و نسبت سود به هزینه تولید سویا در شهرستان‌های مختلف استان مازندران

Figure 13. Productivity values and the ratio of benefit to cost of soybean production in different counties of Mazandaran province

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج تحلیل انرژی، متوسط کل انرژی ورودی به ازای هر هکتار بوم‌نظام تولید سویا در استان مازندران معادل ۱۵۲۸٤ مگاژول برآورد شده که در حدود ۰/٤۱ انرژی خروجی (۳۷۰۹۸ مگاژول بر هکتار) بود. از این میزان انرژی مصرفی، سوخت دیزل،

کودهای شیمیایی نیتروژنه و بذر مصرفی به‌ترتیب با متوسط انرژی ۷۳۲۱، ۲۹۹۷ و ۲۰٦۸ مگاژول بر هکتار بیش‌ترین سهم (به‌ترتیب با ٤۷/۹۰، ۱۹/٦۱ و ۱۳/۵۳ درصد) را به خود اختصاص دادند. این نهاده‌ها همچنین در تمامی شهرستان‌های تحت بررسی این استان به‌ترتیب رتبه‌های اول تا سوم کل انرژی ورودی به مزارع تولید سویا را دارا بودند. کارایی انرژی نیز در تمامی مناطق تحت بررسی بیش از یک محاسبه شده که نمایانگر توجیه‌پذیری تولید سویا از منظر بیلان انرژی بود. اما به لحاظ نوع انرژی مصرفی، نتایج نشان داد که تولید کنونی سویا در استان مازندران به‌خاطر اتکاء زیاد به منابع انرژی تجدیدناپذیر (در حدود ۸۳ درصد) ناپایدار است. نشر دی‌اکسیدکربن به‌طور متوسط با ۳/۰۳۹ دلار بر تن دانه سویا تولیدی سهم عمده‌ای (٤۱/۱٦ درصد) در هزینه‌های اجتماعی حاصله از انتشارات (۷/۳۸ دلار بر تن) داشته که این هزینه به‌دلیل مقادیر بالای انتشار آن در پی احتراق سوخت فسیلی (عمدتاً دیزل) و مصرف کود اوره در مزرعه بود. وضعیت هزینه اجتماعی انتشارات برای تولید سویا در شهرستان‌های تابعه این استان نیز به‌طور متوسط از ٤/٤۲ تا ۱۱/۰۳ دلار بر تن متغیر بوده که شهرستان آمل بیش‌ترین مقدار این هزینه را دارا بود. میانگین هزینه چرخه حیات تولید سویا در استان مازندران ۳۲۷/۹۰ دلار بر هکتار برآورد شده که در حدود ٦۹ درصد از این هزینه مربوط به دستمزد پرداختی به صاحبان ماشین‌آلات کشاورزی و نیروی کار انسانی بود. متوسط سود خالص اقتصادی نیز به ازای تولید ۲/٤٦ تن دانه سویا در استان مازندران معادل ۲۸۰/۸۰ دلار بر هکتار محاسبه شده که در حدود ٤٦ درصد درآمد حاصل از فروش سویا بود. با توجه به یافته‌های به‌دست آمده از این پژوهش، به‌کارگیری روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و ارائه تسهیلات مناسب توسط سازمان‌های مسئول جهت تجهیز و نوسازی ماشین‌آلات کشاورزی همراه با اقداماتی برای بهبود مدیریت در کودهای مصرفی مثل مدیریت صحیح در میزان و زمان مصرف آن، تمرکز بیش‌تر بر توانمندی تثبیت زیستی نیتروژن خود گیاه سویا، استفاده بیش‌تر از کودهای آلی و وارد نمودن گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن نظیر باقلا و شبدر در تناوب زراعی منطقه و همچنین اصلاح ارقام زراعی مناسب برای هر پهنه (و شرایط ویژه مکان) پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

به‌این‌وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و به‌ویژه از کشاورزان شریف استان مازندران جهت جمع‌آوری داده‌های این پژوهش تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

References

1. Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N. & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 1-10. https://doi.org/ 10.1016/j.jfoodeng. 2008.06.016
2. Skaf, L., Buonocore, E., Dumontet, S., Capone, R. & Franzese, P.P. (2019). Food security and sustainable agriculture in Lebanon: an environmental accounting framework. *Journal of Cleaner Production*, *209*, 1025-1032. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10. 301
3. Pratibha, G., Srinivas, I., Rao, K.V, Raju, B.M.K., Shanker, A.K., Jha, A., Kumar, M.U., Rao, K.S. & Reddy, K.S. (2019). Identification of environment friendly tillage implement as a strategy for energy efficiency and mitigation of climate change in semiarid rainfed agro ecosystems. *Journal of Cleaner*

Production, 214, 524–535. https://doi.org /10.1016/j.jclepro.2018.12.251

4. Muller, A., Jawtusch, J. & Gattinger, A. (2011). Mitigating greenhouse gases in agriculture: A challenge and opportunity for agricultural policies. Diakonisches Werk der EKD e.V. for Brot für die Welt: Stuttgart, Germany, 88 p.
5. Esengun, K., Gündüz, O. & Erdal, G. (2007). Input–output energy analysis in dry apricot production of Turkey. *Energy Conversion and Management, 48*(2), 592-598. https://doi.org/10.1016 /j.enconman.2006.06.006
6. Rathke, G.W., Wienhold, B.J., Wilhelm, W.W. & Diepenbrock, W. (2007). Tillage and rotation effect on corn–soybean energy balances in eastern Nebraska. *Soil and Tillage Research, 97*(1), 60-70. https://doi.org /10.1016 /j.still.2007. 08.008
7. Hamzei, J. & Seyyedi, M. (2016). Energy use and input–output costs for sunflower production in sole and intercropping with soybean under different tillage systems. *Soil and Tillage Research, 157*, 73-82. https://doi.org/10.1016/j.still.2015.11.008
8. Soltani, A., Maleki, M.H.M. & Zeinali, E. (2014). Optimal crop management can reduce energy use and greenhouse gases emissions in rainfed canola production. *International Journal of plant production, 8*(4), 587–604.
9. Norouzi, N. & Kalantari, G. (2020). The food-water-energy nexus governance model: a case study for Iran. *Water-Energy Nexus, 3*, 72-80. https://doi.org/ 10.1016/j.wen.2020.05.005
10. Mandal, K.G., Saha, K.P., Hati, K.M., Singh, V.V., Misra, A.K., Ghosh, P.K. & Bandyopadhyay, K.K. (2005). Cropping systems of central India: an energy and economic analysis. *Journal of Sustainable Agriculture, 25*(3), 117-140. https://doi.org/10.1300/J064v25n03_08
11. Mondal, M., Garai, S., Banerjee, H., Sarkar, S. & Kundu, R. (2021). Mulching and nitrogen management in peanut cultivation: an evaluation of productivity, energy trade-off, carbon footprint and profitability. *Energy, Ecology and Environment, 6*, 133-147. https://doi.org/ 10.1007/s40974-020-00189-9
12. Šarauskis, E., Romaneckas, K., Jasinskas, A., Kimbirauskienė, R. & Naujokienė, V. (2020). Improving energy efficiency and environmental mitigation through tillage management in faba bean production. *Energy, 209*, 118453. https://doi.org/10. 1016/j.energy.2020.118453
13. Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D. & Grignani, C. (2011). EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. *Energy, 36*(7), 4468-4481. https://doi.org/10.1016 /j.energy.2011.03.075
14. Zhang, L.W., Feike, T., Holst, J., Hoffmann, C. & Doluschitz, R. (2015). Comparison of energy consumption and economic performance of organic and conventional soybean production—a case study from Jilin Province, China. *Journal of Integrative Agriculture, 14*(8), 1561-1572. https://doi.org/10.1016 /S2095-3119(15): 61131-5
15. Unakitan, G., Hurma, H. & Yilmaz, F. (2010). An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. *Energy, 35*(9), 3623-3627. https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05. 005
16. Flores, E.D., Cruz, R.S.D. & Antolin, M.C.R. (2016). Environmental performance of farmer-level corn production systems in the Philippines. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 18*(2), 133-143.
17. Chaudhary, V.P., Singh, K.K., Pratibha, G., Bhattacharyya, R., Shamim, M., Srinivas, I. & Patel, A. (2017). Energy conservation and greenhouse gas mitigation under different production systems in rice cultivation. *Energy, 130*, 307-317. https://doi.org/10.1016 /j.energy.2017.04.131
18. Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, S., Jafari, A. & Mohammadi, A. (2011a). Investigating the energy consumption in different operations of oilseed productions in Iran. *Journal of Agricultural Technology, 7*(3), 557-565.
19. Khodaei Joghan, A., Taki, M. & Matoorian, H. (2022). Evaluating energy productivity, greenhouse gas emission, global warming potential and sustainability index of wheat and

rapeseed agroecosystems in Khorramshahr. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 32*(1), 309-324. [In Persian]

20. Mohamad, R.S., Verrastro, V., Cardone, G., Bteich, M.R., Favia, M., Moretti, M. & Roma, R. (2014). Optimization of organic and conventional olive agricultural practices from a life cycle assessment and life cycle costing perspectives. *Journal of Cleaner Production, 70*, 78-89. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.033
21. Reddy, V.R., Kurian, M. & Ardakanian, R. (2015). Life-cycle cost approach for management of environmental resources: a primer. Springer, Cham, 73 p.
22. Klöpffer, W. (2008). Life cycle sustainability assessment of products: (with Comments by Helias A. Udo de Haes, p. 95). *The International Journal of Life Cycle Assessment, 13*, 89-95. https://doi.org/10.1065/lca2008.02.376
23. Canaj, K., Mehmeti, A. & Berbel, J. (2021a). The economics of fruit and vegetable production irrigated with reclaimed water incorporating the hidden costs of life cycle environmental impacts. *Resources, 10*(9), 90. https://doi.org/10.3390/resources10090090
24. Canaj, K., Morrone, D., Roma, R., Boari, F., Cantore, V. & Todorovic, M. (2021b). Reclaimed water for vineyard irrigation in a mediterranean context: life cycle environmental impacts, life cycle costs, and eco-efficiency. *Water, 13*(16), 2242. https://doi.org/10.3390/w13162242
25. Tamburini, E., Pedrini, P., Marchetti, M.G., Fano, E.A. & Castaldelli, G. (2015). Life cycle based evaluation of environmental and economic impacts of agricultural productions in the Mediterranean area. *Sustainability, 7*(3), 2915-2935. https://doi.org/10.3390/su7032915
26. Baum, R. & Bieńkowski, J. (2020). Eco-efficiency in measuring the sustainable production of agricultural crops. *Sustainability, 12*(4), 1418. https://doi.org/10.3390/su12041418
27. Holka, M. & Bieńkowski, J. (2020). Carbon footprint and life-cycle costs of maize production in conventional and non-inversion tillage systems. *Agronomy, 10*(12), 1877. https://doi.org/10.3390/agronomy10121877
28. Jirapornvaree, I., Suppadit, T. & Kumar, V. (2021). Assessing the economic and environmental impact of jasmine rice production: life cycle assessment and life cycle costs analysis. *Journal of Cleaner Production, 303*, 127079. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127079
29. Kargari, N. & Khodi, M. (2005). Social costs of the energy sector. *Journal of Environmental Science and Technology, 7*(2), 62-75. [In Persian]
30. Energy balance sheet. (2013). Energy balance sheet for 2012. Ministry of Energy. Electricity and energy deputy, Electricity and energy macro planning office. [In Persian]
31. Saber, Z., Esmaeili, M., Pirdashti, H., Motevali, A. & Nabavi-Pelesaraei, A. (2020). Exergoenvironmental-Life cycle cost analysis for conventional, low external input and organic systems of rice paddy production. *Journal of Cleaner Production, 263*, 121529. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121529
32. Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H. & Chau, K.W. (2019). Comprehensive model of energy, environmental impacts and economic in rice milling factories by coupling adaptive neuro-fuzzy inference system and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production, 217*, 742-756. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.228
33. Hartman, G.L., West, E.D. & Herman, T.K. (2011). Crops that feed the world 2. soybean—worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. *Food Security, 3*, 5–17. https://doi.org/ 10.1007/s12571-010-0108-x
34. Ministry of Agriculture-Jahad. (2020). Annual agricultural statistics, Vol. 1. Ministry of Agriculture Planning and Economic Deputy, Iranian's Ministry of Agriculture-Jahad. Available at Web site www.maj.ir. [In Persian]

35. Cochran, W.G. (1977). Sampling techniques (3rd Edition). John Wiley and Sons: New York, USA, 442 p.
36. Kalantari, K.H. (2017). Data Processing and Analysis in Socio-Economic Research. Farhang Saba, Tehran, Iran, 402 p. [In Persian]
37. Kitani, O., Jungbluth, T., Peart, R.M. & Ramdani, A. (1999). CIGR handbook of agricultural engineering, Volume 5: Energy and biomass engineering. ASAE Publication, St Joseph, MI, 330 p.
38. Banaeian, N. & Zangeneh, M. (2011). Study on energy efficiency in corn production of Iran. *Energy*, *36*(8), 5394-5402. https://doi.org/ 10.1016/j. energy.2011.06.052
39. Alimagham, S.M., Soltani, A., Zeinali, E. & Kazemi, H. (2017). Energy flow analysis and estimation of greenhouse gases (GHG) emissions in different scenarios of soybean production (case study: Gorgan region, Iran). *Journal of Cleaner Production, 149*, 621-628. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.118.
40. Heidari, M.D., Omid, M. & Akram, A. (2011). Energy efficiency and econometric analysis of broiler production farms. *Energy*, *36*(11), 6536-6541. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.09.011
41. Asgharipour, M.R., Mondani, F. & Riahinia, S. (2012). Energy use efficiency and economic analysis of sugar beet production system in Iran: a case study in Khorasan Razavi province. *Energy*, *44*(1), 1078-1084. https://doi.org/ 10.1016/j.energy.2012.04.023
42. IPCC. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. In: H.S. Eggleston L. Buendia K. Miwa T. Ngara & K. Tanabe (eds.). Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm
43. Nemecek, T. & Kagi, T. (2007). Life cycle inventories of agricultural production systems. Final report ecoinvent V2.0 No. 15a. Agroscope Reckenholz-Taenikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich and Dübendorf, 360p.
44. Engineering ToolBox. (2009). Combustion of fuels and nitrogen oxides (NOx) emission, [online] Available at Web site https://www.engineeringtoolbox.com/nox-emission-combustion-fuels-d_1086.html (verified 17 November 2021).
45. Majumdar, D. & Gajghate, D.G. (2011). Sectoral CO_2, CH_4, N_2O and SO_2 emissions from fossil fuel consumption in Nagpur city of central India. *Atmospheric Environment*, *45*(25), 4170–4179. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.05.019
46. Ramachandra, T.V. & Shwetmala. (2012). Decentralised carbon footprint analysis for opting climate change mitigation strategies in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16*, 5820–5833. https://doi.org/10.1016 j.rser.2012.05.035
47. Khoshnevisan, B., Rajaeifar, M.A., Clark, S., Shamahirband, S., Anuar, N.B., Mohd Shuib, N.L. & Gani, A. (2014). Evaluation of traditional and consolidated rice farms in Guilan Province, Iran, using life cycle assessment and fuzzy modeling. *Science of The Total Environment, 481*, 242–251. https://doi.org/10.1016 /j.scitotenv.2014.02.052
48. Pimentel, D. & Patzek, T.W. (2005). Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. *Natural Resources Research, 14*(1), 65-76. https://doi.org/ 10.1007/s11053-005-4679-8
49. Dehshiri, A. & Aghaalikhani, M. (2012). Input-output and economic analysis of soybean production in the main cultivation areas in Iran. *African Journal of Agricultural Research, 7*(35), 4894-4899. https://doi.org/10.5897/AJAR12.010
50. Ramedani, Z., Rafiee, S. & Heidari, M.D. (2011). An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms. *Energy*, *36*(11), 6340-6344. https://doi.org/ 10.1016/j.energy.2011.09.042
51. Fathi, R., Kheiralipour, K. & Azizpanah, A. (2019). Assessment of the pattern of

energy consumption in dryland rape production and its environmental effects in Ilam province. *Quarterly Energy Economics Review*, 15(62), 155-179. [In Persian]

52. Omidmehr, Z. (2019). Comparison of energy productivity and global warming potential in rain-fed sunflower (*Helianthus annuus* L.) production systems. *Journal of Agroecology*, *11*(2), 739-755. [In Persian]
53. Pirdashti, H., Pirdashti, M., Mohammadi, M., Gharavi Baigi, M. & Movagharnejad, K. (2015). Efficient use of energy through organic rice–duck mutualism system. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*, 1489-1497. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0311-4
54. Janulevičius, A., Juostas, A. & Pupinis, G. (2013). Tractor's engine performance and emission characteristics in the process of ploughing. *Energy Conversion and Management*, *75*, 498–508. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.06.052
55. Tabatabaeefar, A., Emamzadeh, H., Ghasemi Varnamkhasti, M., Rahimizadeh, R. & Karimi, M. (2009). Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy*, *34*(1), 41-45. https://doi.org/10.1016 /j.energy. 2008.09.023
56. Safahani Langeroodi, A.R., Osipitan, O.A. & Radicetti, E. (2019). Benefits of sustainable management practices on mitigating greenhouse gas emissions in soybean crop (*Glycine max*). *Science of the Total Environment*, *660*, 1593–1601. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019. 01.074
57. Ray, J.D. & Fritschi, F.B. (2009). Soybean mineral nutrition and biotic relationships. P 29-56, In: L.R. Elsworth & W.O. Paley (eds.), Fertilizers: Properties, Applications and Effects, Nova Science Publishers, Inc., New York.
58. Rao, A.S. & Reddy, K.S. (2010). Nutrient management in soybean. P 161–190, In: G. Singh (eds.), The Soybean: Botany, Production and Uses, CAB International.
59. Fageria, N.K., Baligar, V.C. & Jones, C.A. (2011). Growth and mineral nutrition of field crops (3rd Edition). CRC press, 550 p.
60. McNeil, D.L. (2010). Biological nitrogen fixation in soybean. P 227–246, In: G. Singh (eds.). The Soybean: Botany, Production and Uses, CAB International.
61. Ohyama, T., Minagawa, R., Ishikawa, S., Yamamoto, M., Hung, N.V.P., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Sato, T., Nagumo, Y. & Takahashi, Y. (2012). Soybean seed production and nitrogen nutrition. P 115-157, In: J.E. Board (eds), A Comprehensive Survey of International Soybean Research-Genetics, Physiology, Agronomy and Nitrogen Relationships, InTech.
62. Ozkan, B., Fert, C. & Karadeniz, C.F. (2007). Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production. *Energy*, *32*(8), 1500-1504. https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.09 .010
63. 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*(2), 149-172. https://doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00073-7
64. Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, S., Jafari, A. & Mohammadi, A. (2011b). The functional relationship between energy inputs and yield value of soybean production in Iran. *International Journal of Green Energy*, *8*(3), 398-410. https://doi.org/10.1080/15435075.2011. 557842
65. Mohammadi Kashka, F., Tahmasebi Sarvestani, Z., Pirdashti, H., Motevali, A. & Nadi, M. (2022a). Assessing the environmental impacts of soybean [*Glycine max* (L.) Merril] cultivation in the eastern and central regions of Mazandaran province using life cycle assessment. *Journal of Agroecology*, 14(2), 309-330. [In Persian]
66. Kazemi, H., Bourkheili, S.H., Kamkar, B., Soltani, A., Gharanjic, K. & Nazari, N.M. (2016). Estimation of greenhouse

gas (GHG) emission and energy use efficiency (EUE) analysis in rainfed canola production (case study: Golestan province, Iran). *Energy, 116*, 694-700. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.010

67. Rathke, G.W. & Diepenbrock, W. (2006). Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *European Journal of Agronomy, 24*(1), 35-44. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.04.003
68. Signor, D. & Cerri, C.E.P. (2013). Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. *Pesquisa Agropecuária Tropical, 43*(3), 322–338. https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000300014
69. Mohammadi Kashka, F., Tahmasebi Sarvestani, Z.A., Pirdashti, H., Motevali, A. & Nadi, M. (2022b). Evaluation of management factors affecting soybean [*Glycine max* (L.) Merril] yield gap in Mazandaran province using comparative performance analysis (CPA). *Crop Production, 15*(1), 73-100. [In Persian]
70. Singh, K.P., Prakash, V., Srinivas, K. & Srivastva, A.K. (2008). Effect of tillage management on energy-use efficiency and economics of soybean (*Glycine max*) based cropping systems under the rainfed conditions in North-West Himalayan Region. *Soil and Tillage Research, 100*(1-2), 78-82. https://doi.org/10.1016/ j.still. 2008.04.011