DOI: 10.22059/ijbse.2020.297160.665270 مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۵۱، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹ (ص ۶۲۸-۶۱۱)

Life Cycle Assessment and Energy Consumption Optimization in Rainfed Chickpea West Azarbayjan Province

OMID GHADERPOUR[*1], KARIM GERAMI[2], ELYAS DEHGHAN[3]

1. Engineering Technical Research Department, Agricultural Research Centers of West Azarbayejan,Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran
2. Agricultural Research Centers of West Azarbayejan,Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran
3. Agricultural Machinery and Mechanization Research Department of Karaj Agricultural Engineering Technical Institution, Karaj, Iran

(Received: Feb. 5, 2020- Revised: May. 11, 2020- Accepted: May. 26, 2020)

ABSTRACT

This study was conducted in West Azarbayjan province in the crop year 2019 With the aim of rainfed chickpea life cycle assessment and energy consumption optimization and emissions reduction in small farms (equals smaller than 2 hectares), medium farms (between 2 and 4 hectares) and large farms (larger than 4 hectares). Required data, were obtained through face-to-face interviews with farmers and filling out 250 Specialized questionnaires and were evaluated by data envelopment analysis method. Results indicated that total input energy for chickpea production in small, medium and large farms was 6366, 6048 and 6848 $MJ.ha^{1-}$, respectively and the maximum energy consumption was related to large farms. The largest share of consumption energy was related to diesel fuel at all farm levels. The energy ratio in small, medium and large farms was obtained 2.47, 2.49 and 2.13, respectively. Chickpea life cycle assessment results revealed that environmental impacts on medium-sized farms were lower than small and large sizes in all effect sections. Seed, diesel fuel, and agricultural machinery inputs had the largest share in diffusion of environmental indexes. According to energy consumption optimization results, the average of energy efficiency in small, medium and large farms was 93%, 88% and 90%, respectively which demonstrates that farmers of small farms have more precise information about proper production methods or have used different inputs at better time and in a more optimal amount.

Key Words: Farm size, Chickpea, Life Cycle Assessment, Energy Optimization, Data Envelopment Analysis

*Corresponding Author's Email: omidqaderpur@yahoo.com

ارزیابی چرخه زندگی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در تولید نخود دیم در استان آذربایجان غربی

امید قادرپور*[۱]، کریم گرامی[۲]، الیاس دهقان[۳]

۱. بخش تحقیقات فنی مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، ارومیه ، ایران

۲. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

۳. بخش تحقیقات ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون مؤسسه فنی مهندسی کشاورزی کرج، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۶- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۲/۲۲- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۳/۶)

چکیده

این مطالعه در سال زراعی ۱۳۹۸ در استان آذربایجان غربی با هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی، ارزیابی چرخه زندگی نخود و کاهش آلایندگی در مزارع کوچک (کوچک‌تر مساوی ۲ هکتار)، متوسط (بین ۲ تا ۴ هکتار) و بزرگ (بزرگ‌تر از ۴ هکتار) اجرا شد. داده‌های موردنیاز به روش مصاحبه رو در رو با کشاورزان و پر کردن تعداد ۲۵۰ پرسشنامه تخصصی گردآوری و به روش تحلیل پوششی داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کل انرژی نهاده‌های مصرف‌شده برای تولید نخود در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب ۶۳۶۶، ۶۰۴۸ و ۶۸۴۸ مگاژول بر هکتار بود و مزارع بزرگ دارای بیشترین مصرف انرژی بودند. در همه سطوح مزارع، بیشترین سهم انرژی‌های مصرفی مربوط به سوخت دیزل بود. نسبت انرژی مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب برابر ۲/۴۷، ۲/۴۹ و ۲/۱۳ به‌دست آمد. نتایج ارزیابی چرخه زندگی نخود روشن کرد که در همه بخش‌های اثر، آلایندگی زیست‌محیطی در مزارع با اندازه متوسط نسبت به اندازه‌های کوچک و بزرگ کمتر بود. نهاده‌های بذر، سوخت دیزل و ماشین‌های کشاورزی بیشترین سهم را در انتشار شاخص‌های زیست‌محیطی داشتند. طبق نتایج بهینه‌سازی مصرف انرژی، میانگین کارایی انرژی در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب ۹۳٪، ۸۸٪ و ۹۰٪ بود که نشان می‌دهد کشاورزان مزارع کوچک از روش‌های صحیح تولید آگاهی بیشتری داشته و یا نهاده‌های مختلف را در زمان مناسب‌تر و به مقدار بهینه‌تری استفاده کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی: اندازه مزرعه، نخود، ارزیابی چرخه زندگی، بهینه‌سازی انرژی، تحلیل پوششی داده‌ها

مقدمه

انرژی مؤلفه‌ای اساسی در روند توسعه اقتصادی می‌باشد و کمبود انرژی یک محدودیت جدی در توسعه کشورهای کم‌درآمد است. بخش کشاورزی یکی از مصرف‌کننده‌های عمده انرژی است و تولیدات کشاورزی با مصرف انرژی دارای رابطه‌ای تنگاتنگ می‌باشند. بر اساس آخرین آمار موجود، سهم بخش کشاورزی از کل انرژی مصرفی مهم‌ترین حامل‌های انرژی در کشور یعنی برق و گازوئیل به ترتیب ۱۵٪ و ۱۰٪ است. با توجه به بحران انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی تمام تلاش‌ها بر آن است که مصرف انرژی، ازجمله در بخش کشاورزی تا حد ممکن کاهش یابد. یکی از راه‌های کلیدی برای کاهش مصرف انرژی در کشاورزی، بهبود بهره‌وری مصرف آن است. این کار صرفه‌جویی مالی، حفاظت از منابع فسیلی و کاهش آلودگی هوا را به ارمغان می‌آورد (Banaeian *et al.*, 2011; Sefeedpari & Zangeneh, 2012; Anon, 2019).

با تجزیه‌وتحلیل الگوی مصرف انرژی می‌توان با ارائه راهکارهایی جهت مصرف بهینه انرژی، از اتلاف بیش‌ازحد آن جلوگیری کرده و در جهت بهبود وضعیت موجود و افزایش سودآوری حرکت کرد. از دیگر مزایای تجزیه‌وتحلیل انرژی[۱]، بهبود بازده مصرف انرژی برای کاهش هزینه‌های انرژی، حفاظت از منابع طبیعی و جلوگیری از زوال زیست‌محیطی می‌باشد؛ بنابراین فعالیت‌های تحقیقاتی کشاورزی، بر آنالیز انرژی در فرآیند تولیدات مختلف کشاورزی جهت برنامه‌ریزی منابع اکوسیستم با توجه به‌سرعت تولید محصول و بهره‌برداری مؤثر از منابع کشاورزی تأکید می‌کند (Taki *et al.*, 2012).

تولیدات کشاورزی متمرکز و فشرده برخی مشکلات زیست‌محیطی را ایجاد می‌کند. مصرف زیاد نهاده‌ها منجر به اثرات زیست‌محیطی مضری مانند افزایش تقاضا برای منابع انرژی فسیلی، افزایش گرمایش جهانی، از دست رفتن تنوع زیستی، کاهش کیفیت خاک و آلودگی آب، خاک و هوا می‌شود (Nemecek *et al.*, 2011). انتشار گازهای گلخانه‌ای به دلیل رشد چشمگیر مصرف انرژی در بخش‌های مختلف و همچنین بخش

*: نویسنده مسئول: omidqaderpur@yahoo.com

1 Energy Analysis

تولیدی محصولات غذایی، باعث گرمایش جهانی که شاید بتوان آن را به‌عنوان بزرگ‌ترین مشکل پیش روی بشر امروزی دانست، شده است. به همین جهت امروزه مصرف‌کننده‌های دوستدار محیط‌زیست، حساسیت ویژه‌ای بر روی شاخص‌های آلایندگی، از زمان تولید تا مصرف محصول، دارند.

ارزیابی چرخه زندگی، جنبه‌های زیست‌محیطی و پیامدهای بالقوه زیست‌محیطی را (مانند استفاده از منابع و نتایج زیست‌محیطی ناشی از رهاسازی) در سراسر چرخه زندگی یک محصول از مرحله به‌دست آوردن ماده خام، در طول تولید، استفاده، پایان عملیات زندگی، بازیافت تا دفع نهایی در برمی‌گیرد (از گهواره تا گور) (Guinée, 2002).

بهینه‌سازی در یک سامانه، فرآیندی است که در طی آن، با تغییر مقادیر ورودی یا خروجی می‌توان به بیشترین میزان سود یا کمترین میزان زیان دست‌یافت (Thankappan, 2003). با توجه به محدود بودن منابع طبیعی و اثرات استفاده نامناسب از منابع مختلف انرژی بر روی سلامتی انسان و محیط‌زیست، ضرورت بررسی الگوهای مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌منظور استفاده‌ی مؤثر از آن در بخش کشاورزی حیاتی است (Tzilivakis *et al.*, 2005). بر این اساس استفاده از روش‌های نوین بهینه‌سازی، یکی از فاکتورهای کلیدی به‌منظور الگوی صحیح مصرف انرژی و همچنین کاهش اثرات گلخانه‌ای می‌باشد. یکی از روش‌های بهینه‌سازی که به‌صورت گسترده در جهت نیل به اهداف عالی سامانه‌ها به‌کاربرده می‌شود؛ تحلیل پوششی داده‌ها[1] است. تحلیل پوششی داده‌ها به‌عنوان یک روش غیر پارامتری به‌منظور محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده استفاده می‌شود؛ به‌عبارت‌دیگر، تحلیل پوششی داده‌ها روشی نا پارامتری برای پیش‌بینی توابع تولید مبتنی بر یک سری بهینه‌سازی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی است (Ghajehbeyg, 2009). تحلیل پوششی داده‌ها با بهره‌گیری از تکنیک برنامه‌ریزی خطی و بهینه‌سازی، جهت تعیین کارایی هر واحد استفاده و به‌منظور هدف‌گذاری در افزایش کارایی برای هر یک از واحدها، یک مجموعه مرجع برای واحد ناکارا تعیین و کارایی واحدهای مختلف را نسبت به مرز کارایی مقایسه می‌نماید.

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه ارزیابی چرخه زندگی، بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش نشر آلایندگی محصولات مختلف با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

Nassiri & Singh, (2009) کارایی مصرف انرژی در فرآیند تولید برنج در هند را بررسی کردند. محاسبات برای پنج گروه از زمین‌ها با اندازه‌های خیلی کوچک (کوچک‌تر از ۱ هکتار) ، کوچک (۱ تا کمتر از ۲ هکتار)، نیمه متوسط (۲ تا کمتر از ۴ هکتار)، متوسط (۴ تا کمتر از ۱۰ هکتار) و بزرگ (۱۰ و بزرگ‌تر از ۱۰ هکتار) و در پنج ناحیه انجام شد. نتایج نشان داد که میانگین کارایی فنی خالص برای زمین‌های کوچک ۰/۹۱ بوده و نسبت به سایر اندازه‌های زمین بیشتر بوده است (Nassiri & Singh, 2009).

Ajabshirchi et al., (2012) کارایی انرژی مصرفی در کشت گندم دیم را توسط تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها در استان لرستان بررسی کردند. نتایج نشان داد که انرژی بذر، کود و سموم شیمیائی در گندم دیم در هر سه سطح به ترتیب با ۶۳/۶۳٪، ۵۶٪ و ۵۴/۰۸٪ بیشترین سهم مصرف انرژی را به خود اختصاص دادند. بر طبق نتایج به‌دست‌آمده از بهینه‌سازی مصرف انرژی به کمک تحلیل پوششی داده‌ها، میانگین کارایی انرژی در سطوح سه‌گانه زیر کشت (کمتر از ۲ هکتار، ۲/۱ تا ۵ هکتار و بیشتر از ۵ هکتار) به ترتیب ۸۲٪، ۷۸٪ و ۶۸٪ بود که از این میان سطح اول باوجود مصرف انرژی بیشتر در نهاده‌ها به علت بالاتر بودن ستانده در این سطح نسبت به دو سطح دیگر کاراتر بود.

در مطالعه‌ای که به‌منظور بررسی کارایی مصرف انرژی، آنالیز حساسیت، شاخص‌های اقتصادی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در سامانه تولید نخود کوه دشت در سال زراعی ۹۴ توسط چراغی انجام شد میزان کل انرژی ورودی مربوط به سوخت دیزل ۷۳۹۸/۸۹ مگاژول بر هکتار و بعدازآن کودهای شیمیایی به‌ویژه کود فسفات با ۶۲۹/۳۳ مگاژول بر هکتار بود. مقدار کل پتانسیل گرمایش جهانی در نظام‌های زراعی نخود ۵۸۱۷۵۸ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار بود (Cheraghi, 2015).

Rahimian (2015) در پژوهشی به بررسی انرژی مصرفی، تبعات زیست‌محیطی و مدل‌سازی و بهینه‌سازی انرژی و آلایندگی در تولید محصولات غالب شهرستان بوکان پرداخت که نخود زراعی یکی از این محصولات بود. طبق نتایج او میزان کل انرژی نهاده‌ها در جریان تولید نخود زراعی برابر ۶/۱ گیگا ژول بر هکتار بود. بیشترین میزان مصرف انرژی در تولید نخود به سوخت دیزل تعلق داشت. مطابق نتایج بهینه‌سازی مصرف انرژی در تولید نخود به کمک تحلیل پوششی داده‌ها مقادیر کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس کشاورزان به ترتیب برابر ۰/۷۹، ۰/۸۹ و ۰/۸۸ بود.

در پژوهشی، بهینه‌سازی انرژی مصرفی و کاهش انتشار

1 Data Envelopment Analysis (DEA)

گازهای گلخانه‌ای در تولید عدس آبی استان اصفهان با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها توسط Elhami et al., (2016) موردمطالعه قرار گرفت. مقادیر متوسط کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس به ترتیب برابر با ۰/۹۶۰، ۰/۹۹۸ و ۰/۹۶۱ محاسبه شدند. در حالت مصرف بهینه نهاده‌ها، صرفه‌جویی در کل انرژی ۱۰۳۱ مگاژول بر هکتار (معادل ۳/۱۲٪ کل انرژی مصرفی)، برآورد گردید. مقادیر کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در شرایط واقعی و بهینه در یک هکتار زمین زراعی، به ترتیب ۹۳۰/۴۵ و ۸۸۲/۱۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن محاسبه شدند (Elhami *et al.*, 2016).

در مطالعه‌ای که به‌منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی تولید چغندرقند به کمک تحلیل پوششی داده‌ها در استان همدان انجام گرفت مقادیر آلاینده‌های آمونیاک، دی نیتروژن مونواکسید، اکسیدهای نیتروژن و کربن دی‌اکسید به ترتیب ۴۱/۳۶، ۲/۴۳، ۲/۸۳ و ۳۱۸/۵ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. مقدار انتشار همه این آلاینده‌ها بعد از کاربرد مدل BCC تحلیل پوششی داده‌ها حدود ۴۵٪ کاهش یافت (Namdari *et al.*, 2016).

Ghaderpour @ Rafiee (2016) مطالعه‌ای را با هدف تجزیه‌وتحلیل و مدل‌سازی انرژی و عملکرد تولید نخود دیم در شهرستان بوکان انجام دادند. بررسی نتایج آن‌ها نشان داد که کل انرژی مصرفی برای تولید نخود دیم ۷۷۶۰/۴۴۱ مگاژول بر هکتار و انرژی تولیدی کل (دانه+کاه) ۱۵۳۰۵/۹۷۶ مگاژول بر هکتار بود. کارایی انرژی و بهره‌وری انرژی برای تولید نخود به ترتیب ۱/۲۲۹ و ۰/۰۸۳۶ کیلوگرم بر مگاژول و برای نخود+کاه به ترتیب ۱/۹۷۲ و ۰/۱۹۴۶ کیلوگرم بر مگاژول گزارش شد. مهم‌ترین نهاده ورودی، سوخت دیزل با سهم ۷۳/۴۹ درصد از کل انرژی مصرفی بود.

در پژوهشی که باهدف ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید یونجه در سامانه‌های مختلف مزارع استان آذربایجان غربی توسط Ghadepour *et al.* (2018) انجام گرفت، مقادیر سالیانه انتشارات کربن دی‌اکسید، دی نیتروژن مونواکسید و آمونیاک به ترتیب برابر ۵۱/۲۷، ۰/۰۸۰۷ و ۰/۷۳۱۲ کیلوگرم به ازای هر تن یونجه تولیدی محاسبه شد. نتایج طبقه‌بندی مزارع به کوچک، متوسط و بزرگ به‌وضوح نشان داد که مزارع کوچک بارهای زیست‌محیطی بیشتری تولید می‌کنند (Ghadepour *et al.*, 2018).

در مطالعه‌ای که با هدف تجزیه‌وتحلیل و بهینه‌سازی انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید نیشکر در مزارع خوزستان انجام دادند کل انرژی ذخیره‌شده با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها را برای دو دسته مزارع پلنت و راتون به ترتیب ۱۴۷۶۳ (۸٪/۵) و ۳۲۰۵ (۲/۶٪) مگاژول بر هکتار گزارش کردند. طبق نتایج آن‌ها بیشترین سهم انرژی ذخیره‌شده در هر دو دسته مزارع به نهاده‌های الکتریسیته و سوخت دیزل اختصاص داشت.

حبوبات مخصوصاً نخود از منابع مهم پروتئین گیاهی بوده و در بیشتر غذاهای اقشار کم‌درآمد مورداستفاده قرار می‌گیرد. حبوبات به دلیل قابلیت هم‌زیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن مولکولی جو در برقراری تعادل عناصر معدنی خاک در اکوسیستم‌های زراعی حائز اهمیت هستند (Majnoun Hosseini, 2008; Fallah *et al.*, 2005).

نخود جزو محصولات استراتژیک استان آذربایجان غربی بوده و نقش زیادی در درآمدزایی کشاورزان این منطقه داشته و بعد از گندم بیشترین سطح زیر کشت را در این استان دارد. کل سطح زیر کشت محصولات زراعی استان آذربایجان غربی حدوداً برابر ۶۹۵ هزار هکتار است که ۵/۹ درصد از کل سطح زیر کشت محصولات زراعی کشور را به خود اختصاص داده است. سطح زیر کشت نخود در استان آذربایجان غربی ۶۶۳۴۰ هکتار است که ۹۹/۲٪ آن به‌صورت دیم بوده و بعد از استان‌های کرمانشاه (۱۴۱۵۲۰ هکتار)، لرستان (۹۶۵۰۶ هکتار) و کردستان (۹۳۷۸۸)، مقام چهارم را در کشت نخود به خود اختصاص داده است (Anon, 2016b).

مرور منابع مرتبط نشان داد باوجود گستردگی تحقیقات در زمینه‌ی ارزیابی چرخه زندگی و بهینه‌سازی انرژی مصرفی محصولات مختلف زراعی در ایران، مطالعه‌ای جامع در مورد نخود دیم در استان آذربایجان غربی که همه موارد تجزیه‌وتحلیل انرژی، ارزیابی چرخه زندگی، بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش نشر آلایندگی محصول را در برگیرد دیده نمی‌شود؛ همچنین بررسی‌های اولیه در منطقه مطالعاتی حاکی از آن بود که مقدار زیادی از انرژی مصرفی تولید نخود می‌تواند بدون کاهش عملکرد محصول ذخیره شود؛ بنابراین، با توجه به اهمیت تولید نخود در اقتصاد کشاورزی منطقه، مطالعه پیش رو با هدف تجزیه‌وتحلیل و بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی با رویکرد چرخه زندگی با دسته‌بندی مزارع نخود در سطوح مختلف کوچک، متوسط و بزرگ در استان آذربایجان غربی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

تحقیق حاضر در استان آذربایجان غربی انجام شد. این استان در ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه و ۳۹ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی و

۴۴ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی واقع گردیده است. میانگین دمای سالیانه این استان ۱۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مدت روزهای یخبندان از ۸۵ تا ۱۰۰ روز و متوسط میزان بارندگی آن ۴۲۸ میلی‌متر برآورد شده است (Anon, 2016a).

روش جمع‌آوری اطلاعات

جامعه آماری این تحقیق شامل کشاورزانی در استان آذربایجان غربی بود که در سال زراعی ۱۳۹۸ اقدام به کشت نخود کرده بودند. برای دست‌یابی به اطلاعات موردنیاز، پرسشنامه‌هایی تخصصی در رابطه با کشت محصول نخود دیم در استان طراحی شد و در اختیار زارعین گرفت. به علت گسترده بودن جامعه آماری موردمطالعه در این تحقیق، نمونه‌برداری انجام شد و از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شد. برای تعیین تعداد پرسش‌نامه یا حجم نمونه از فرمول کوکران استفاده شد (Cochran, 1963):

$$n = \frac{Nt^2S^2}{Nd^2+t^2S^2} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن n حجم نمونه، N، اندازه جامعه آماری یا تعداد بهره‌برداران منطقه موردمطالعه، t ضریب اطمینان قابل‌قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت موردنظر از جدول t-استیودنت به‌دست می‌آید. S^2 برآورد واریانس صفت موردمطالعه در جامعه و d دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) است. مطابق با فرمول کوکران حجم نمونه (تعداد پرسشنامه) ۲۲۰ به‌دست آمد، اما برای حصول اطمینان بیشتر ۲۵۰ پرسشنامه در نظر گرفته شد. پرسشنامه‌ها در منطقه مطالعاتی با مصاحبه رودررو با کشاورزان پر شد.

تجزیه‌وتحلیل انرژی در تولید محصول

در این مطالعه برای محاسبه میزان انرژی مصرفی و تولیدی نهاده‌ها و ستانده‌ها از هم‌ارز انرژی آن‌ها استفاده شد. هم‌ارز انرژی به ضرایبی اطلاق می‌گردند که بیان‌کننده میزان محتوای انرژی هر واحد از نهاده‌ها یا ستانده‌ها (محصول) بوده که در جریان فرآیند تولید به سامانه تولیدی وارد شده یا از آن خارج می‌گردند؛ بنابراین طبق رابطه ۲، انرژی معادل هر یک از نهاده‌ها یا ستانده‌ها از ضرب نمودن میزان مصرف یا تولید هر یک از آن‌ها در ضریب انرژی ویژه آن‌ها به‌دست می‌آید (Kitani, 1999; Ozkan *et al.*, 2004):

$$E = I \times e \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن، E انرژی معادل نهاده مصرفی یا محصول تولید شده برحسب مگاژول، I میزان نهاده مصرف‌شده یا محصول تولید شده برحسب واحد آن و e محتوای انرژی نهاده یا محصول برحسب مگاژول بر واحد می‌باشد. نهاده‌های استفاده‌شده و ستانده‌های تولید شده در فرآیند تولید نخود به همراه هم‌ارز انرژی آن‌ها در جدول ۱ آمده است.

انرژی مربوط به نهاده‌های ماشینی یکی از مهم‌ترین اقلام انرژی مصرفی در کل فرآیند موازنه انرژی تولیدات کشاورزی است که محاسبه آن یکی از پیچیده‌ترین موارد می‌باشد. در این مطالعه برای محاسبه انرژی ماشینی از رابطه ۳ استفاده شد (Mohammadi & Omid, 2010):

$$ME = E \times \frac{G}{T} \times Q_h \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

که در آن، ME انرژی ماشین‌ها برحسب مگاژول بر هکتار، E انرژی تولید ماشین‌ها که برای تراکتور و سایر ادوات به ترتیب برابر با ۹۳/۶۱ و ۶۲/۷ مگاژول بر کیلوگرم می‌باشد، G وزن ماشین برحسب کیلوگرم، T عمر مفید ماشین برحسب ساعت و Q_h میزان کل ساعات کار ماشین در یک فصل زراعی در هکتار است.

شاخص‌های انرژی

شاخص‌های مهم انرژی شامل نسبت انرژی[1] (ER)، بهره‌وری انرژی[2] (EP)، انرژی ویژه[3] (SE) و افزوده خالص انرژی[4] (NEG) با استفاده از معادلات زیر محاسبه شدند (Mandal *et al.*, 2002):

$$\mathrm{ER} = \frac{\mathrm{EO(Mj.ha^{-1})}}{\mathrm{EI(Mj.ha^{-1})}} \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

$$\mathrm{EP} = \frac{\mathrm{PO(kg.ha^{-1})}}{\mathrm{EI(Mj.ha^{-1})}} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

$$\mathrm{SE} = \frac{\mathrm{EI(Mj.ha^{-1})}}{\mathrm{PO(kg.ha^{-1})}} \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

$$\mathrm{NEG} = \mathrm{EO(Mj.ha^{-1})} - \mathrm{EI(Mj.ha^{-1})} \qquad \text{(رابطه ۷)}$$

در روابط ۴ تا ۷، EO انرژی خروجی[5]، EI انرژی ورودی[6]، PO عملکرد نخود و کاه[7] می‌باشد.

ارزیابی چرخه زندگی

ارزیابی چرخه زندگی یک محصول عبارت است از گردآوری و

1. Energy Ratio
2. Energy Productivity
3. Specific Energy (SE)
4. Net Energy Gain (NEG)
5. Energy Output
6. Energy Input
7. Chickpea and Straw Output

ارزیابی ورودی‌ها، خروجی‌ها و تأثیرات زیست‌محیطی بالقوه در یک فرآیند تولیدی در طول چرخه زندگی آن محصول؛ هر پروژه ارزیابی چرخه زندگی دارای چهار مرحله الزامی، شامل تعریف هدف و دامنه، تحلیل سیاهه، ارزیابی تأثیرات چرخه زندگی و تحلیل نتایج می‌باشد (ISO, 2006).

جدول ۱- محتوای انرژی نهاده‌ها و ستانده در تولید نخود

عنوان	واحد	ضرایب انرژی (MJ/unit)	مرجع
الف) نهاده‌ها			
بذر نخود	kg	۱۴/۷	Kitani, 1999; Salami & Ahmadi, (2010
ماشین‌ها			
تراکتور	kg	۹۳/۶۱	(Canakci *et al.*, 2005)
سایر ادوات	kg	۶۲/۷	(Canakci *et al.*, 2005)
سوخت دیزل	L	۴۷/۸	(Canakci & Akinci, 2006)
سموم شیمیایی			
حشره‌کش	kg	۱۹۹	(Ozkan *et al.*, 2004)
علف‌کش	kg	۲۳۸	(Rafiee *et al.*, 2010)
قارچ‌کش	kg	۲۱۶	(Rafiee *et al.*, 2010)
نیرو کارگری			
مرد	h	۱/۹۶	(Ozkan *et al.*, 2004)
زن	h	۱/۵۷	(Ozkan *et al.*, 2004)
ب) ستانده‌ها			
دانه نخود	kg	۱۴/۷	Kitani, 1999; Salami & Ahmadi, (2010
کاه نخود	kg	۸	(Cheraghi, 2015)

یکی از اقدامات مهم و الزامی در مرحله تعیین هدف و دامنه، انتخاب مرز سامانه است. ارزیابی چرخه زندگی یک نگرش «گهواره تا گور» است، اما این امکان فراهم شده است تا به‌منظور تمرکز بیشتر بر روی فرآیندها، مرز سامانه به‌صورت بخشی از کل فرآیند در نظر گرفته شود و نتایج بر اساس مرز انتخاب شده و برای یک مقیاس کوچک‌تر بیان شوند. تمرکز این مطالعه بر روی مرحله تولید و فرآیندهای صورت گرفته درون مزرعه گذاشته شده و اصطلاحاً دروازه مزرعه به‌عنوان مرز سامانه تعیین شد. یکی دیگر از مراحلی که در یک پروژه ارزیابی چرخه زندگی هر فرآیند یا محصول باید صورت پذیرد، تعیین واحد کارکردی می‌باشد. واحد کارکردی مبنایی است که تمامی محاسبات در طول چرخه زندگی محصول بر اساس آن انجام می‌پذیرد. در این مطالعه واحد کارکردی به‌صورت یک تن محصول تولیدی در نظر گرفته شد، بدین معنا که تمامی آلاینده‌های انتشاریافته بر پایه نهاده‌های مصرفی برای تولید یک تن نخود محاسبه و گزارش می‌شود. در این مطالعه، نهاده‌های مصرفی برای تولید محصول به همراه انتشارات مستقیم (داخل مزرعه) آلاینده‌های ناشی از مصرف نهاده‌ها که از طریق ضرایب انتشارات مربوطه محاسبه شدند، به‌عنوان سیاهه چرخه زندگی نخود به کار رفتند. همچنین به‌منظور دسترسی به برخی اطلاعات لازم، همانند فرآیند تولید و استخراج مواد اولیه و میزان آلایندگی منتشرشده از این فرآیندها (انتشارات غیرمستقیم خارج مزرعه) از برخی از پایگاه‌های داده‌ای معتبر استفاده شد که مهم‌ترین آن پایگاه داده اکوینونت[1] می‌باشد. در بیشتر پروژه‌های ارزیابی چرخه زندگی از پایگاه داده اکوینونت استفاده می‌شود.

ضرایب انتشار آلایندگی ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی در جدول ۲ آمده است (Nemecek et al., 2007):

جدول ۲- ضرایب انتشار آلایندگی ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی

نوع آلاینده	نماد	ضریب انتشار (g/kg fuel[1])
کربن دی‌اکسید	CO_2	۳۱۲۰
سولفور دی‌اکسید	SO_2	۱/۰۱
متان	CH_4	۰/۱۲۹
آمونیاک	NH_3	۰/۰۲
دی نیتروژن مونواکسید	N_2O	۰/۱۲
بنزن	C_6H_6	۰/۰۰۷
کربن مونواکسید	CO	۷/۱۷

۱. گرم انتشار به ازای هر کیلوگرم سوخت مصرفی

در این مطالعه برای کربن دی‌اکسید تولیدی ناشی از نیروی کارگری (کربن دی‌اکسید زیستی) ضریب ۰/۷ به کار رفت. مطابق این ضریب هر یک ساعت کار کارگری حدود ۰/۷ کیلوگرم کربن دی‌اکسید تولید می‌کند (Mousavi-Avval et al., 2016).

در بانک اطلاعاتی اکوینونت، انتشارات آفت‌کش به‌عنوان ۱۰۰٪ از ماده ساطع‌شده به خاک کشاورزی در نظر گرفته‌شده است؛ یعنی میزان ماده فعالِ سم در هر لیتر سم را به‌عنوان میزان انتشار به خاک در نظر می‌گیریم (Nemecek et al., 2007).

بخش‌های اثر مورداستفاده در این مطالعه در جدول ۳ نمایش داده‌شده است. روش ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی بر اساس روش CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 2000 / characterization انتخاب شد (PRé Consultants, 2003). به‌منظور انجام محاسبات ارزیابی چرخه زندگی از نرم‌افزار سیما پرو (SimaPro, V8.2.3.0) استفاده شد.

بخش‌های اثر مورداستفاده در این مطالعه در جدول ۲ نمایش داده‌شده است. روش ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی بر

1 Ecoinvent Database

اساس روش CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 2000 / characterization انتخاب شد (PRé Consultants, 2003). به‌منظور انجام محاسبات ارزیابی چرخه زندگی از نرم‌افزار سیما پرو (SimaPro, V8.2.3.0) استفاده شد. اثر

جدول ۳- بخش‌های اثر و واحدهای اندازه‌گیری هر بخش

	نماد	واحد اندازه‌گیری
تقلیل منابع غیر آلی[۱]	AD	kg Sb eq.
پتانسیل اسیدی شدن[۲]	AC	kg SO_2 eq.
پتانسیل اختناق دریاچه[۳]	EU	kg PO_4^{-2} eq.
پتانسیل گرمایش جهانی[۴]	GW	kg CO_2 eq.
نقصان لایه ازن[۵]	OD	kg CFC-11 eq.
پتانسیل مسمومیت انسان[۶]	HTP	kg 1,4-DCB[1] eq.b
مسمومیت آب‌های سطحی[۷]	FAET	kg 1,4-DCB eq.b
مسمومیت آب‌های آزاد[۸]	MAET	kg 1,4-DCB eq.b
مسمومیت خاک[۹]	TE	kg 1,4-DCB eq.b
اکسیداسیون فتو شیمیایی[۱۰]	PO	kg C_2H_4 eq.

1. DCB= Dichlorobenzene

بهینه‌سازی

بهینه‌سازی یا برنامه‌ریزی ریاضی، به انتخاب عناصر بهینه از یک مجموعه از تناوب‌های قابل‌دستیابی می‌پردازد. به عبارت بهتر، به دنبال یافتن بهترین مقدار قابل‌دستیابی از یک تابع هدف تعریف‌شده بر یک دامنه معین از مقادیر است. در ساده‌ترین حالت، هدف، حداقل یا حداکثر سازی یک تابع حقیقی، با انتخاب نظام‌مند مقادیر حقیقی یا اعداد صحیح از یک مجموعه از مقادیر ممکن است (Beightler *et al.*, 1979).

یکی از روش‌های بهینه‌سازی که به‌صورت گسترده در جهت نیل به اهداف عالی سامانه‌ها به‌کاربرده می‌شود؛ تحلیل پوششی داده‌ها است. روش تحلیل پوششی داده‌ها برای اولین بار توسط Charens et al., (1978) و بر پایه مطالعات Farrell (1957) انجام داده بود، معرفی شد و تابه‌حال به شکل گسترده‌ای در اندازه‌گیری کارایی (بهره‌وری) بسیاری از بخش‌ها مورداستفاده قرارگرفته است. فارل پیشنهاد نمود که بهتر است عملکرد یک واحد تولیدی با عملکرد بهترین واحد موجود در آن بخش مقایسه گردد. با این کار تمام ورودی‌ها و خروجی‌ها مؤثر بوده و همچنین شامل مفاهیم تابع تولید مرزی نیز می‌شود که شاخصی مهم برای اندازه‌گیری کارایی محسوب می‌شود. در واقع روش فارل بازگوکننده این حقیقت است که یک واحد تحت مطالعه تا چه میزان قابلیت افزایش کارایی را دارد، بدون آن‌که به منبع جدیدی نیاز داشته باشد (Charnes et al., 1978; Farrell, 1957).

در روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) هر واحد یا سازمان تحت بررسی، واحد تصمیم‌گیرنده[۱۱] (DMU) نامیده می‌شود. در یک تعریف کلی، یک DMU، سازمان یا موجودیتی است که ورودی‌ها را به خروجی‌ها تبدیل می‌کند و در حقیقت ارزیابی عملکرد موردنظر پژوهشگر است. در کشاورزی، یک DMU ممکن است یک کشاورز، یک گلخانه‌دار، یک کارخانه تولیدکننده تراکتور و یا یک کشت‌وصنعت باشد. مدل بازگشت به مقیاس ثابت[۱۲] (CRS) که گاهی اوقات با حروف CCR نیز نامبرده می‌شود، به لحاظ زمانی اولین مدل پیشنهادی در روش DEA است که توسط چارنز، کوپر و رودز در سال ۱۹۷۸ ارائه شد. این مدل همان‌طور که از نام آن پیداست، با تغییر یک واحد در ورودی‌ها، خروجی‌ها نیز با نسبت ثابت (کاهشی یا افزایشی) تغییر می‌کنند. به‌بیان‌دیگر، شیب تابع تولید در این مدل ثابت است. مدل دوم با نام بازگشت به مقیاس متغیر[۱۳] (VRS) توسط بانکر، چارنز و کوپر در سال ۱۹۸۴ ارائه شد و نام دیگر آن BCC و برگرفته از نام پدیدآورندگان مدل است. برعکس مدل CRS، در این مدل با تغییر یک واحد در ورودی‌ها، خروجی‌ها با نسبت متفاوتی تغییر (افزایشی یا کاهشی) می‌کند؛ بنابراین شیب تابع تولید در این مدل متغیر است (Gheisari et al., 2008).

هر یک از دو مدل فوق دارای دو جهت خروجی محور و ورودی محور می‌باشد. مدل خروجی محور سعی در بیشینه‌سازی خروجی دارد درحالی‌که میزان ورودی‌ها ثابت نگه‌داشته می‌شود و هدف آن است که واحد موردنظر به کارایی برسد. مفهوم ورودی محور این است که به چه میزان باید از مقدار ورودی‌ها با ثابت نگه‌داشتن مقدار خروجی کاست تا واحد موردنظر به مرز کارایی برسد (Mir Hassani, 2008).

در این مطالعه برای محاسبه کارایی از روش ورودی محور و جامع‌ترین مدل‌های DEA که مدل بازگشت به مقیاس ثابت (CCR) و مدل بازگشت به مقیاس متغیر (BCC) است، استفاده شد. مدل BCC برای محاسبه کارایی فنی خالص و مدل CCR برای محاسبه کارایی فنی می‌باشد. کارایی فنی اساساً به‌وسیله

1 Abiotic depletion
2 Acidification potential
3 Eutrophication potential
4 Global warming potential
5 Ozone layer depletion
6 Human toxicity potential
7 Freshwater aquatic ecotoxicity
8 Marine aquatic ecotoxicity
9 Terrestrial ecotoxicity
10 Photochemical oxidation
11 Decision Making Unit
12 Constant Return Scale
13 Variable Return Scale

واحدهای ارزیابی‌شده برای عملکردشان که وابسته به دیگر واحدهاست، اندازه‌گیری می‌شود. کارایی فنی خالص متأثر از کارایی مقیاس می‌باشد. در هر یک از مدل‌های BCC و CCR ورودی‌ها و خروجی‌های مدل توسط یکسری ضرایب که همان مقادیر متغیرهای اولیه مدل است وزن‌دار می‌شوند که درنهایت برای محاسبه کارایی‌ها از نسبت خروجی‌های وزن‌دار شده به ورودی‌های وزن‌دار شده مطابق رابطه ۸ استفاده می‌شود (Farrell, 1957):

$$E = \frac{Weighted\ output\ total}{Weight\ inputs\ total} \qquad \text{(رابطه ۸)}$$

رابطه ۸ می‌تواند در قالب مدل برنامه‌ریزی خطی به‌صورت زیر بیان شود:

$$\text{Maximize } \theta = \sum_r u_r y_{rj}$$
$$\sum_i V_i X_{ij} = 1$$
$$\sum_r u_r y_{rj} - \sum_i V_i X_{ij} \le 0 \ for\ j = 1, 2, 3, \dots n$$
$u_r \ge 0$, for j=1, 2, 3, …s and $v_s \ge 0$, for j=1, 2, 3, …m

که در آن θ کارایی فنی، u وزن خروجی‌ها، y خروجی‌ها، V وزن ورودی‌ها، x ورودی‌ها، n تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده، s تعداد خروجی‌ها و m تعداد نهاده‌ها می‌باشد. همچنین برای محاسبه کارایی فنی خالص از مدل برنامه‌ریزی خطی زیر استفاده شد (Mobtaker *et al.*, 2012):

$$\text{Maximize } \theta = uy_i - u_i$$
Subjected to $vx_i = 1$
$-vX + uY - u_o e \le 0$
$v \ge 0$, $u \ge 0$ and u_o free in sing

طبق رابطه ۹ نسبت کارایی به‌دست‌آمده از مدل CCR ورودی محور (کارایی فنی) و مدل BCC ورودی محور (کارایی فنی خالص)، کارایی مقیاس[1] (SE) هر کشاورز را نشان می‌دهد (Charnes *et al.*, 1978):

$$SE = \frac{TE}{PTE} \qquad \text{(رابطه ۹)}$$

درصورتی‌که افزایش در میزان ورودی‌ها به‌اندازه x٪ به ترتیب منجر به افزایش خروجی به‌اندازه برابر، بیشتر از و یا کمتر از x٪ شود، به ترتیب تحت شرایط بازگشت به مقیاس ثابت، بازگشت به مقیاس افزایشی یا بازگشت به مقیاس کاهشی عمل می‌کند. اطلاع از چگونگی عملیات یک کشاورز در بازگشت به مقیاس ثابت، کاهشی یا افزایشی کمک مفیدی در تعیین پتانسیل توزیع منابع میان کشاورزان می‌کند؛ بنابراین کمک می‌کند که کشاورز عملکرد بیشتری به‌دست آورد.

در این مطالعه، مقادیر انرژی نهاده‌های مختلف به‌عنوان ورودی‌های مدل و میزان عملکرد محصول دانه و کاه و کلش به‌عنوان خروجی مدل و هر کشاورز به‌عنوان یک واحد تصمیم‌گیری شناخته شد. کارا بودن یا غیرکارا بودن یک واحد (DMU) بستگی به عملکرد آن واحد در تبدیل ورودی‌ها به خروجی در مقایسه با سایر واحدها دارد. در این بررسی همچنین درجه کارایی کشاورزان برحسب اندازه‌های مختلف مزارع در سه سطح مزارع کوچک (کوچک‌تر مساوی ۲ هکتار)، مزارع متوسط (بین ۲ تا ۴ هکتار) و مزارع بزرگ (بزرگ‌تر از ۴ هکتار) تعیین شد، کشاورزان کارای هر سه سطح مزارع رتبه‌بندی و میزان کارایی سطوح مختلف باهم مقایسه شده و میزان متوسط انرژی قابل ذخیره و مقدار بهینه انرژی موردنیاز برای هر یک از نهاده‌های مصرفی تعیین شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها به‌صورت ورودی محور انجام می‌شود؛ چراکه میزان بهره‌وری کشاورزان در درجه اول بستگی به کارایی عملیات مختلف دارد و از سوی دیگر، کنترل میزان نهاده‌های در دست کشاورز آسان‌تر از کنترل میزان تولیدات است. به‌منظور انجام تحلیل‌ها از نرم‌افزارهای EMS و DEA solver استفاده گردید.

نتایج و بحث

تحلیل شاخص‌های انرژی در کشت نخود

جدول ۴ میزان مصرف انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها را در تولید نخود دیم برای اندازه‌های مختلف مزارع در استان آذربایجان غربی نشان می‌دهد.

همان‌طور که از جدول ۴ پیداست، در بین کلیه سطوح زیر کشت، بالاترین مقدار انرژی مصرف‌شده مربوط به سوخت دیزل می‌باشد که علت آن استفاده از ماشین‌های مختلف کشاورزی در مراحل مختلف خاک‌ورزی، کاشت، داشت و برداشت محصول نخود دیم در منطقه مطالعاتی است. ازجمله این ماشین‌ها می‌توان به تراکتور، گاوآهن‌های برگردان‌دار و چیزل، پنجه غازی، دیسک، ماله، ردیف‌کار، سم‌پاش، تریلی، خرمن‌کوب و ... اشاره کرد. همچنین مستهلک بودن بیشتر ادوات کشاورزی مانند تراکتورها نیز از دیگر دلایل بالا بودن مصرف سوخت دیزل در منطقه مطالعاتی است. در مطالعه Cheraghi, (2015) که بر روی تجزیه‌وتحلیل انرژی و نشر آلایندگی نخود در کوه دشت انجام شد نیز بیشترین میزان انرژی‌های مصرفی با ۷۳۹۹ مگاژول بر هکتار به سوخت دیزل اختصاص داشت.

1 Scale Efficiency

مزارع بزرگ (سطح زیر کشت بیشتر از ۴ هکتار) با ۶۹۶۸/۷ مگاژول بر هکتار بیشترین میزان انرژی مصرفی را دارند اما بیشترین میزان انرژی تولیدی نخود با ۸۸۷۶ مگاژول بر هکتار به مزارع متوسط اختصاص دارد. به‌طورکلی در بین سه سطح مزارع بررسی‌شده بیشترین میزان انرژی کل تولید شده (انرژی نخود + کاه نخود) مربوط به مزارع کوچک (۱۵۴۷۰/۸ مگاژول بر هکتار) است. می‌توان گفت که در منطقه مطالعاتی به دلیل مدیریت بهتر مزرعه در مزارع با سطوح کوچک‌تر، انجام به‌موقع عملیات مختلف کشاورزی و استفاده بهینه‌تر از برخی نهاده‌ها مانند قارچ‌کش، حشره‌کش و نیروی کارگری، مزارع کوچک‌تر انرژی بیشتری در واحد سطح تولید می‌کنند.

جدول ۴- وضعیت مصرف انرژی در سطوح مختلف کشت نخود دیم در استان آذربایجان غربیعنوان (واحد)

	مقادیر انرژی برای اندازه‌های مختلف مزرعه			
	مزارع کوچک (کمتر از ۲ هکتار)	مزارع متوسط (بین ۲ تا ۴ هکتار)	مزارع بزرگ (بزرگ‌تر از ۴ هکتار)	کل مزارع
انرژی نهاده‌ها* (MJ/ha)				
نیروی کارگری	۱۲۲/۷۴	۱۲۹/۸۱	۱۳۷/۴۲	۱۳۲/۳
سوخت دیزل	۴۱۷۳/۶	۳۹۹۷/۷۴	۴۶۹۴/۵۷	۴۵۰۶/۴
ماشین‌ها	۱۰۴۱/۴۹	۱۰۵۱/۶۹	۱۱۶۹	۱۱۱۰/۶
سموم شیمیایی	۱۱۰/۱۹	۱۰۶/۵	۱۱۷/۰۲	۱۱۲/۶
الف) علف‌کش	۸۸/۲	۷۳/۵	۷۷/۰۴	۷۸/۳
ج) حشره‌کش	۱۳/۳۱	۱۷/۷۵	۲۱/۰۳	۱۸/۵
ب) قارچ‌کش	۸/۶۸	۱۵/۲۴	۱۸/۹۵	۱۵/۸
بذر	۱۰۲۵/۱۶	۸۷۵/۷۵	۸۵۰/۶۹	۸۹۳/۲
کل انرژی نهاده‌ها	۶۴۷۳/۱۷	۶۱۶۱/۴۸	۶۹۶۸/۷	۶۶۴۴/۸
انرژی ستانده‌ها (MJ/ha)				
نخود	۸۵۲۷	۸۸۷۶	۸۶۰۸/۱	۸۶۷۰/۳
کاه نخود	۶۹۴۳/۸	۶۰۵۸/۹	۵۷۴۲/۷	۶۲۴۸/۵
کل انرژی ستانده‌ها	۱۵۴۷۰/۸	۱۴۹۳۴/۹	۱۴۳۵۰/۸	۱۴۹۱۸/۸

***: لازم به ذکر است که در تولید نخود دیم در منطقه به دلیل دیمی بودن محصول از هیچ نوع کود شیمیایی و حیوانی استفاده نمی‌شود.**

شاخص‌های انرژی با توجه به روابط مربوطه‌شان برای سه سطح موردبررسی مزارع محاسبه‌شده و نتایج در جدول (۵) دیده می‌شود. ملاحظه می‌شود که نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی مزارع کوچک و متوسط تقریباً مشابه هم بوده ولی هردوی این شاخص‌ها برای مزارع بزرگ کمتر از سایر سطوح مزارع است که از دلایل آن اتلاف انرژی بیشتر در مزارع بزرگ به دلیل استفاده بی‌رویه از برخی نهاده‌ها مانند سموم شیمیایی و سوخت دیزل، عدم مصرف بهینه نهاده‌ها، نبود ماشین‌های کافی برای زمین‌های بزرگ جهت انجام به‌موقع عملیات در برخی از مناطق تحت مطالعه و عملکرد کمتر محصول در مزارع بزرگ به دلیل مدیریت ضعیف‌تر این مزارع در منطقه مطالعاتی است.

تحلیل شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید نخود دیم

مقادیر انتشارات مستقیم (داخل مزرعه) ناشی از کشت محصول نخود در سطوح مختلف مزارع در جدول ۶ آمده است.

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های انرژی برای سطوح مختلف مزارع نخود دیم

عنوان (واحد)	مزارع کوچک	مزارع متوسط	مزارع بزرگ	کل مزارع
نسبت انرژی (بدون بعد)	۲/۴۷	۲/۴۹	۲/۱۳	۲/۳۰
بهره‌وری انرژی (kg/MJ)	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۲۱
شدت انرژی (MJ/kg)	۴/۵۸	۴/۶۸	۵/۵۶	۵/۱۲
افزوده خالص انرژی (MJ)	۸۹۹۷/۵۸	۸۷۷۳/۴۱	۷۳۸۲/۱۵	۸۰۹۲/۸۴

در میان آلاینده‌های مختلف، کربن دی‌اکسید منتشرشده ناشی از سوختن سوخت دیزل برای هر سه سطح مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب با سهم ۲۲۰/۵۱، ۲۳۹/۵۷ و ۲۶۰/۸۸ کیلوگرم در هکتار، در صدر انتشارات قرار دارد. علت آن استفاده از ماشین‌های گوناگون در مراحل مختلف کشت محصول می‌باشد. بعدازآن انتشار کربن دی‌اکسید زیستی ناشی از نیروی کارگری

برای مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب با مقادیر ۴۶/۵، ۴۹/۴۹ و ۵۲/۱۹ کیلوگرم، رده دوم انتشارات را دارد که دلیل آن کار کارگری زیاد در جریان تولید نخود، به‌ویژه در مرحله برداشت محصول می‌باشد. ملاحظه می‌شود که انتشارات کربن دی‌اکسید مربوط به مزارع کوچک کمتر از سایر مزارع است. به دلیل آنکه برای کشت نخود دیم در منطقه مطالعاتی مصرف هیچ نوع کودی مشاهده نشد، انتشارات مستقیم ناشی از مصرف کودهای شیمیایی صفر می‌باشد. در مطالعه موسوی اول و همکاران که در مورد اثرات زیست‌محیطی کلزا در استان مازندران انجام دادند، در قسمت انتشارات به هوا بیشترین مقادیر مربوط به انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از کاربرد کود اوره و نیروی کارگری (به ترتیب با ۱۵۴/۹ و ۵۱ کیلوگرم) بود (Mousavi-Avval *et al.*, 2016).

شاخص‌های زیست‌محیطی محاسبه‌شده در کشت نخود برای سطوح سه‌گانه در جدول ۷ نشان داده‌شده است. لازم به ذکر است که در مورد محصول نخود به دلیل وجود محصول فرعی کاه، در محاسبه دسته‌های اثر یک نوع تخصیص اقتصادی در نظر گرفته شد. به این صورت که با توجه به قیمت محصول اصلی و کاه و مقدار عملکرد آن‌ها در هکتار، در این تخصیص ۹۳٪ به دانه و ۷٪ به کاه اختصاص داده شد؛ بنابراین شاخص‌های زیست‌محیطی نیز یک‌بار برای دانه و یک‌بار برای کاه محاسبه شدند.

جدول ۶- انتشارات مستقیم مزرعه‌ای در فرآیند تولید نخود دیم در استان آذربایجان غربی

انتشارات مستقیم	مقدار (کیلوگرم در هکتار)			
	مزارع کوچک	مزارع متوسط	مزارع بزرگ	کل مزارع
کربن دی‌اکسید	۲۲۰/۵۱	۲۳۹/۵۷	۲۶۰/۸۸	۲۴۰/۳۲
سولفور دی‌اکسید	۰/۰۷۱	۰/۰۷۸	۰/۰۸۴	۰/۰۷۸
متان	۰/۰۰۹	۰/۰۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۰
آمونیاک	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
دی نیتروژن مونوکسید	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۱	۰/۰۰۹
بنزن	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
کربن مونوکسید	۰/۵۰۷	۰/۵۵۱	۰/۶	۰/۵۵۲
اکسیدهای نیتروژن	۰/۸۵	۰/۹۲	۱	۰/۹۲
کربن دی‌اکسید زیستی	۴۶/۵	۴۹/۴۹	۵۲/۱۹	۴۹/۳۹
لنتاگران (Pyridazine)	۰/۴۹	۰/۴۲	۰/۴۳	۰/۴۴
فن‌والریت (Pyrethroid)	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۱	۰/۰۹
مانکوزب	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۶

جدول ۷- شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید یک تن نخود در سطوح سه‌گانه زمین

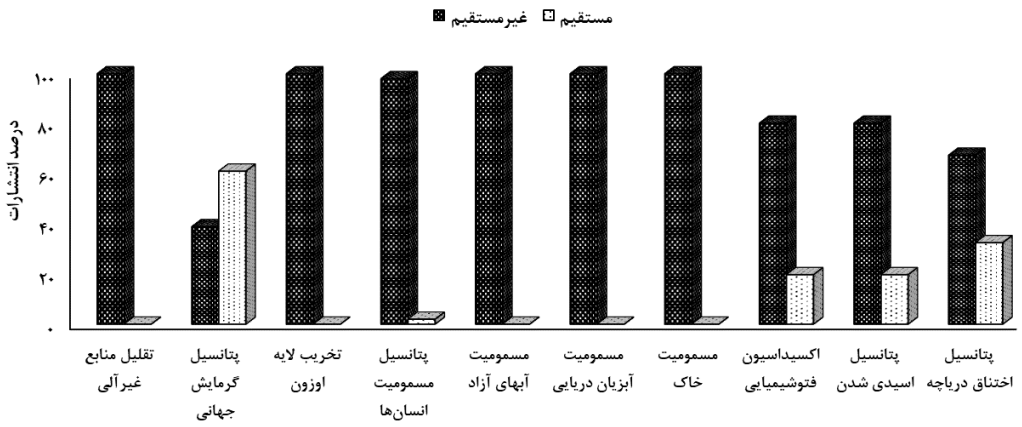
بخش‌های (واحد)	اثر	مزارع کوچک		مزارع متوسط		مزارع بزرگ		کل مزارع	
		دانه	کاه	دانه	کاه	دانه	کاه	دانه	کاه
تقلیل منابع غیر آلی (kg Sb eq.)		۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۳
پتانسیل گرمایش جهانی (kg CO_2 eq.)		۶۰۷	۳۰/۵۳	۶۰۱	۳۶	۶۷۷	۴۲	۶۲۸	۳۶
تخریب لایه اوزون(kg CFC-11)		۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱
پتانسیل مسمومیت انسان‌ها (kg 1,4-DCB eq.)		۲۴۱	۱۲/۱۲	۲۲۵	۱۳/۵۳	۲۵۵	۱۵/۶۷	۲۴۱	۱۳/۶۹
مسمومیت آب‌های آزاد (kg 1,4-DCB eq.)		۶/۴۳	۰/۳۲	۵/۸۳	۰/۳۵	۶/۴۹	۰/۴	۶/۲۳	۰/۳۵
مسمومیت آبزیان دریایی (kg 1,4-DCB eq.)		۸۴۶۸۶	۴۲۵۹	۷۶۳۸۱	۴۵۸۷	۸۵۱۵۸	۵۲۳۱	۸۱۸۵۲	۴۶۵۴
مسمومیت خاک (kg 1,4-DCB eq.)		۰/۸۹	۰/۰۴	۰/۸	۰/۰۵	۰/۸۸	۰/۰۵	۰/۸۵	۰/۰۵
اکسیداسیون فتوشیمیایی (kg C_2H_4 eq.)		۰/۱۵	۰/۰۰۸	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۰۱
پتانسیل اسیدی شدن (kg SO_2 eq.)		۲/۷	۰/۱۴	۲/۵۴	۰/۱۵	۲/۸۷	۰/۱۸	۲/۷	۰/۱۵
پتانسیل اختناق دریاچه (kg PO_4^{-2} eq.)		۱/۰۲	۰/۰۵	۰/۹	۰/۰۵	۰/۹۴	۰/۰۶	۰/۹۴	۰/۰۵

با توجه به جدول ۷ مشاهده می‌شود که کشت نخود تقریباً در تمامی بخش‌های اثر در مزارع با سطوح متوسط بارهای

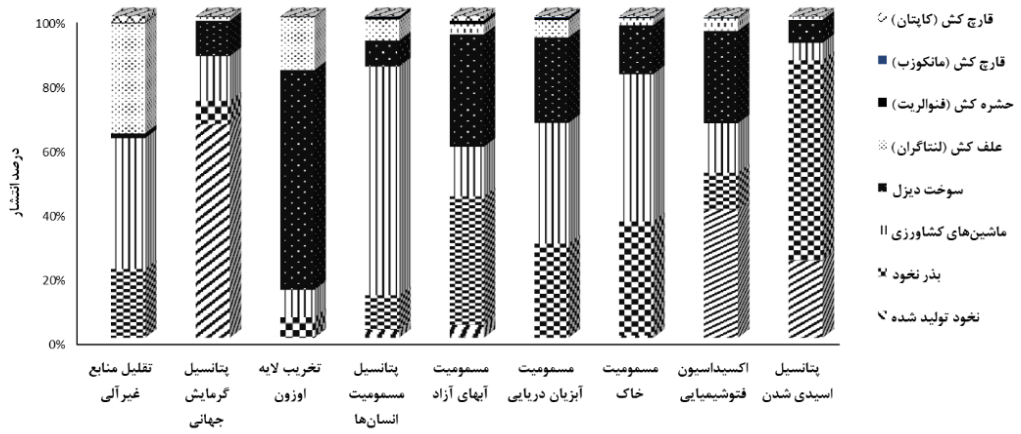
زیست‌محیطی کمتری نسبت به دو سطح دیگر مزارع تولید می‌کند. طبق نتایج جدول ۷ بیشترین بارهای زیست‌محیطی به مزارع بزرگ نخود اختصاص دارد که از دلایل آن می‌توان به اتلاف بیشتر منابع و نهاده‌های تولید در زمین‌های بزرگ به دلیل مدیریت ضعیف مزرعه، مصرف غیر بهینه و بی‌رویه نهاده‌ها جهت تولید محصول بیشتر در مزارع بزرگ و استفاده بیشتر از انواع ماشین‌های کشاورزی که عمر مفید اکثر آن‌ها به اتمام رسیده و مصرف سوختشان بیشتر از حد نرمال شده، اشاره کرد.

در شکل ۱ مقادیر بخش‌های اثر محاسبه‌شده برای نخود به دو دسته انتشارات مستقیم (داخل مزرعه) و غیرمستقیم (خارج مزرعه) تفکیک شده است. منظور از انتشارات غیرمستقیم، انتشارات حاصل از فرآیندهایی است که برای تولید نهاده‌های کشاورزی قبل از ورود به مزرعه در کارخانه صورت گرفته است ملاحظه می‌شود که در همه بخش‌های اثر به‌جز پتانسیل گرمایش جهانی، مقادیر انتشارات خارج مزرعه که مربوط به مرحله فرآوری نهاده‌ها می‌باشد بیشتر از مقادیر داخل مزرعه است. به‌منظور بررسی میزان تأثیر نهاده‌های مصرفی در کشت نخود دیم بر روی بخش‌های اثر باید ابتدا نرمال‌سازی صورت گیرد. نرمال‌سازی، محاسبه اهمیت نتایج شاخص‌ها در ارتباط با برخی اطلاعات مرجع است. توجه به نرمال‌سازی برای درک بهتر میزان ارتباط با نتایج شاخص سامانه تحت مطالعه است. به‌عبارت‌دیگر در این بخش اهمیت یا بزرگی شاخص‌های محاسبه‌شده با توجه به اطلاعات مرجع محاسبه می‌شود.

بخش‌های اثر نرمال شده به ازای تولید یک تن نخود در استان آذربایجان غربی در شکل ۲ نشان داده‌شده است. با دقت در شکل ۲ می‌توان نتیجه گرفت که نهاده‌های بذر، سوخت دیزل و ماشین‌های کشاورزی که در مراحل مختلف تولید نخود مورداستفاده قرارگرفته‌اند بیشترین سهم را بر روی شاخص‌های زیست‌محیطی دارد.



شکل ۱- سهم انتشارات مستقیم و غیرمستقیم برای هریک از شاخص‌های آلایندگی در کشت نخود



شکل ۲- سهم نهاده‌های کشاورزی در تولید شاخص‌های آلایندگی

همچنین انتشارات مستقیم داخل مزرعه (نخود تولید شده) سهم زیادی در شاخص‌های پتانسیل گرمایش جهانی، پتانسیل اسیدی شدن، پتانسیل اختناق دریاچه و اکسیداسیون فتوشیمیایی دارد. استفاده از نهاده‌های مرغوب کشاورزی، منجر

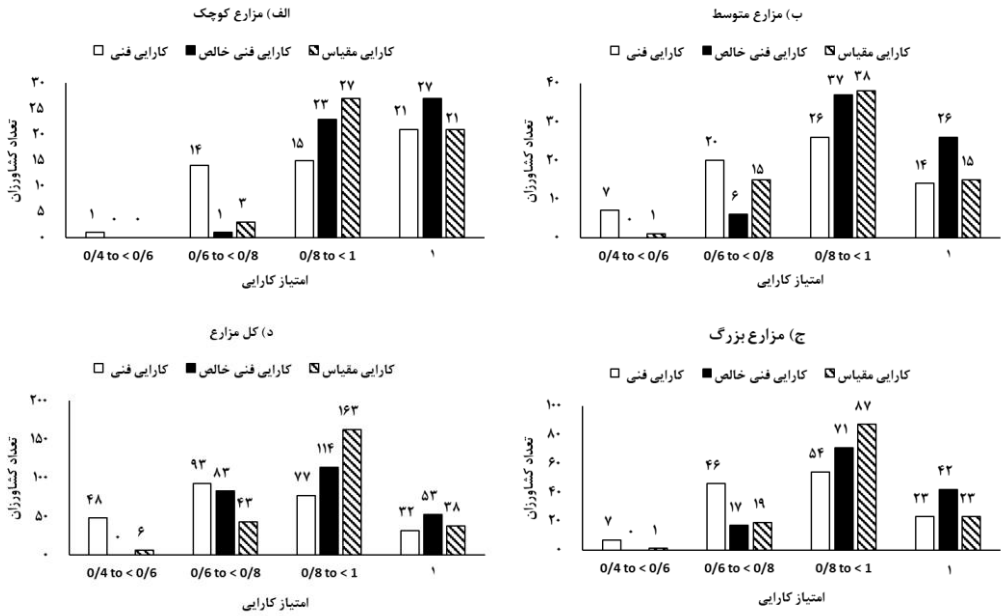
به افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی شده و ازنظر اقتصادی موجب افزایش درآمد کشاورزان می‌گردد با مدیریت صحیح استفاده از منابع و نهاده‌ها و به دنبال آن افزایش عملکرد محصول در واحد سطح، کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی از طریق استفاده از ماشین‌های ترکیبی کشاورزی (کمبینات‌ها) و روش‌های نوین خاک‌ورزی، مانند کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی و عدم استفاده از نهاده‌ها به‌خصوص ترکیبات شیمیایی (سموم) بدون توصیه و نسخه‌های گیاه‌پزشکی که منجر به افزایش تولید محصول مرغوب و کاهش آلایندگی‌های ناشی از مصرف بی‌رویه سموم شیمیایی می‌شود می‌توان آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از تولید نخود را کاهش داد. به‌علاوه کاشت ارقام نخود مناسب خاک و آب‌وهوای منطقه و استفاده از ارقام جدید مقاوم به کم‌آبی با عملکرد بالا مانند رقم نخود سعید و استفاده از ارقام پایه‌بلند که قابلیت برداشت مکانیزه نخود را فراهم می‌آورد و به دنبال آن ایجاد بستر مناسب از سوی واحدهای مکانیزاسیون استان و شهرستان‌های کشت کننده نخود جهت ورود کمباین‌های برداشت نخود به منطقه می‌تواند به افزایش تولید محصول مرغوب، کاهش مصرف نهاده‌هایی مانند بذر و نیروی کارگری و کاهش تلفات برداشت محصول منجر شود.

تعیین کارایی مزارع و بهینه‌سازی انرژی مصرفی تولید نخود به کمک تحلیل پوششی داده‌ها

نتایج مدل BCC و CCR برای سطوح مختلف مزارع در قسمت‌های الف تا د شکل ۳ نشان داده‌شده است. از کل ۲۵۰ مزرعه بررسی‌شده ۵۱ مزرعه کوچک‌تر مساوی ۲ هکتار (مزارع کوچک)، ۶۹ مزرعه بین ۲ تا ۴ هکتار (مزارع متوسط) و بقیه مزارع بالاتر از ۴ هکتار (مزارع بزرگ) مساحت داشتند. همان‌طور که در قسمت د مشاهده می‌شود از کل ۲۵۰ واحد بررسی‌شده تولیدکننده نخود در تحقیق، ۵۳ واحد (۲۱/۲٪) با استفاده از مدل BCC کارا شناخته‌شده‌اند و دارای کارایی فنی خالص برابر ۱ می‌باشند. همچنین ۳۲ واحد (۱۲/۸٪) دارای کارایی فنی ۱ در مدل CCR می‌باشند که نشان می‌دهد ۲۰ کشاورز دارای کارایی فنی خالص برابر ۱ بوده ولی کارایی فنی کمتر از ۱ داشته‌اند که این به دلیل نامناسب بودن مقیاس تولید برای آن‌ها بوده و درنتیجه کارایی مقیاس کمتر از ۱ دارند. در ضمن ۳۸ واحد تولیدکننده نخود (۱۵/۲٪) نیز دارای کارایی مقیاس ۱ می‌باشند. همچنین از کشاورزان ناکارا ۱۶۳ کشاورز کارایی مقیاس در محدوده ۰/۸ تا ۱ بوده‌اند که بیشترین فراوانی را داشتند.

مقادیر میانگین کارایی‌های فنی (CCR)، فنی خالص (BCC) و مقیاس (SE) سطوح سه‌گانه مزارع برای کشاورزان تولیدکننده نخود در جدول ۸ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر متوسط کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس بر اساس مدل‌های بازگشت به مقیاس ثابت و متغیر، برای کشاورزان تولیدکننده نخود در مزارع کوچک به ترتیب برابر ۰/۸۸، ۰/۹۵ و ۰/۹۳، در مزارع متوسط برابر ۰/۸۲، ۰/۹۳ و ۰/۸۸، در مزارع بزرگ برابر ۰/۸۲، ۰/۹۱ و ۰/۹۰ و در کل مزارع برابر ۰/۷۷، ۰/۸۶ و ۰/۸۸ به‌دست‌آمده است. نتایج نشان می‌دهد که مزارع کوچک باوجود مصرف انرژی بیشتر (۶۳۶۶ مگاژول بر هکتار) نسبت به مزارع متوسط (۶۰۴۸ مگاژول بر هکتار) به دلیل بالاتر بودن مقدار کل ستانده‌ها (دانه نخود و کاه نخود) در این سطح (۱۵۴۷۱ مگاژول بر هکتار) نسبت بـه دو سـطح دیگـر کـاراتر است.

همچنین مقادیر انحراف معیار برای کارایی‌های مختلف در جدول ۸ نشان داده‌شده است. مقدار کمتر انحراف معیار مزارع کوچک (۰/۰۷) نسبت به مزارع متوسط (۰/۰۸) و بزرگ (۰/۰۹) و همچنین مقادیر بیشتر متوسط کارایی‌ها برای مزارع کوچک نسبت به دیگر مزارع، نشان می‌دهد که کشاورزان مزارع کوچک از روش‌های صحیح تولید آگاهی بیشتری داشته و یا نهاده‌های مختلف را در زمان مناسب‌تر و به مقدار بهینه‌تری استفاده کرده‌اند. در مطالعه عجب‌شیرچی و همکاران (Ajabshirchi *et al.*, 2012) بر روی کارایی انرژی مصرفی در کشت گندم دیم توسط تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها در استان لرستان نیز مزارع کوچک نسبت بـه دو سـطح دیگـر کـاراتر بود. در مطالعه آن‌ها میانگین کارایی انرژی در سطوح سه‌گانه زیر کشت (کمتر از ۲ هکتار، ۲/۱ تا ۵ هکتار و بیشتر از ۵ هکتار) به ترتیب ۸۲٪، ۷۸٪ و ۶۸٪ بود. همچنین در مطالعه نصیری و سینگ (Nassiri & Singh, 2009) که بر روی کارایی کشاورزان تولیدکننده برنج در هند ازلحاظ مصرف انرژی در سطوح مختلف مزارع انجام شد نیز نتایج مشابهی با مطالعه حاضر به‌دست آمد و کارایی فنی خالص برای زمین‌های کوچک نسبت به سایر اندازه‌های زمین بیشتر بود.



شکل ۳- فراوانی کشاورزان تولیدکننده نخود ازنظر امتیاز کارایی‌های مختلف در سطوح مختلف مزارع

جدول ۸- مقادیر میانگین کارایی‌های مختلف کشاورزان نخود کارعنوان

	میانگین				انحراف معیار				کمترین				بیشترین			
	کوچک ۱	متوسط ۱	بزرگ ۱	کل ۱	کوچک	متوسط	بزرگ	کل	کوچک	متوسط	بزرگ	کل	کوچک	متوسط	بزرگ	کل
CCR	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۷۷	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۵۶	۰/۳۱	۰/۵۳	۰/۳۱	۱	۱	۱	۱
BCC	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۸۶	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۷۹	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۶۱	۱	۱	۱	۱
SE	۰/۹۳	۰/۸۸	۰/۹	۰/۸۸	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۷	۰/۳۳	۰/۵۴	۰/۳۳	۱	۱	۱	۱

۱. اندازه مزارع

به‌منظور رتبه‌بندی کشاورزان کارا از روش تعداد دفعات ارجاع در مجموعه مرجع استفاده شد و به‌وسیله آن تعداد دفعاتی که هر یک از کشاورزان کارا به‌عنوان مرجع برای کشاورزان ناکارا انتخاب شده است برآورد گردید. تعداد دفعات ارجاع برای ۱۵ واحدی که بیشترین تعداد ارجاع را بر اساس مدل CCR داشته‌اند در جدول ۹ ارائه شده است. مقادیر کارایی مقیاس تمام این واحدها برابر ۱ است. نتایج نشان می‌دهد که واحدهای تولید شماره ۹، ۲۱۲، ۱۴۶، ۱۸۷ و ۱۴۷ به ترتیب کاراترین واحدها شناخته‌شده‌اند که تعداد دفعات ارجاع شده به آن‌ها به ترتیب برابر ۱۵۵، ۱۲۲، ۸۵، ۷۰ و ۶۳ می‌باشد.

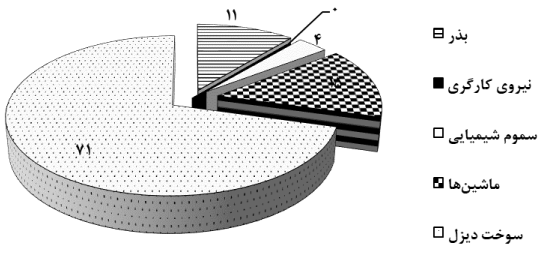
با الگو قرار دادن این واحدها، کشاورزان ناکارا می‌توانند حدس بزنند چه تغییراتی در الگوی مصرف نهاده‌ها لحاظ کنند تا به سطح مدیریت عملیاتی بهتری دست یابند و بتوانند کارایی مصرف انرژی را در تولید افزایش دهند.

جدول ۱۰ مقادیر انرژی موردنیاز در وضعیت مصرف بهینه انرژی و مقادیر انرژی قابل ذخیره برای تولید نخود در منطقه موردنظر را برای سطوح سه‌گانه مزارع نشان می‌دهد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد میزان کل انرژی موردنیاز در حالت مصرف بهینه نهاده‌ها برای مزارع کوچک، متوسط، بزرگ و کل مزارع به ترتیب برابر ۵۶۳۱، ۵۱۴۰، ۵۸۳۴ و ۵۱۰۵ مگاژول بر هکتار به‌دست‌آمده که انرژی سوخت دیزل در همه سطوح مزارع بیشترین مقدار را در حالت بهینه به خود اختصاص داده است. ملاحظه می‌شود که در حالت بهینه نیز مزارع بزرگ بیشترین میزان مصرف انرژی و مزارع متوسط کمترین میزان مصرف انرژی را دارند. مقدار انرژی قابل ذخیره در مزارع کوچک، متوسط، بزرگ و کل مزارع به ترتیب برابر ۷۳۶، ۹۰۸، ۱۰۱۵ و ۱۴۲۴ مگاژول

بر هکتار برآورد گردیده و بازهم در همه سطوح مزارع بیشترین میزان انرژی ذخیره‌شده به نهاده سوخت (۷۱٪) اختصاص دارد که نشان می‌دهد در هر سه دسته مزارع سوخت دیزل بیشترین میزان مصرف غیر بهینه را دارد. بعد از سوخت نیز نهاده ماشین‌های کشاورزی (۱۵٪) و بذر (۱۱٪) سهم زیادی در انرژی ذخیره‌شده دارند که شکل ۴ نیز این موضوع را به‌وضوح نشان می‌دهد.

جدول ۹- رتبه‌بندی ۱۵ کشاورز کارا در تولید نخود در بین تمامی مزارع موردبررسی

رتبه	شماره کشاورز	تعداد ارجاع	رتبه	شماره کشاورز	تعداد ارجاع	رتبه	شماره کشاورز	تعداد ارجاع
۱	۹	۱۵۵	۶	۲۴	۵۲	۱۱	۵۲	۲۰
۲	۲۱۲	۱۲۲	۷	۴۹	۳۹	۱۲	۲۷	۲۰
۳	۱۴۶	۸۵	۸	۲۳۹	۳۱	۱۳	۶۳	۱۸
۴	۱۸۷	۷۰	۹	۱۳۱	۳۱	۱۴	۲۴۰	۱۴
۵	۱۴۷	۶۳	۱۰	۳	۲۵	۱۵	۱۰	۱۳



شکل ۴- سهم نهاده‌های مصرفی در ذخیره‌سازی انرژی در تولید نخود در کل مزارع

جدول ۱۰- مقادیر بهینه و ذخیره‌شده انرژی موردنیاز نهاده‌های مختلف در تولید نخود در مزارع با سطوح مختلف

نهاده‌ها	مقدار انرژی بهینه (MJ/ha)				مقدار انرژی ذخیره‌شده (MJ/ha)			
	کوچک ۱	متوسط ۱	بزرگ ۱	کل مزارع	کوچک	متوسط	بزرگ	کل مزارع
بذر	۸۴۵	۷۹۴	۷۶۵	۷۳۶	۱۸۱	۸۲	۸۶	۱۵۷
نیروی کارگری	۱۴	۱۴	۱۵	۱۴	۱	۲	۲	۳
سموم شیمیایی	۷۷	۶۰	۷۹	۶۳	۳۵	۴۶	۳۸	۵۰
ماشین‌ها	۹۴۶	۹۰۹	۱۰۱۳	۹۰۳	۹۶	۷	۱۵۶	۲۰۸
سوخت دیزل	۳۷۵۰	۳۳۶۳	۳۹۶۲	۳۳۸۹	۴۲۳	۱۴۳	۷۳۲	۱۰۰۷
کل انرژی نهاده‌ها	۵۶۳۱	۵۱۴۰	۵۸۳۴	۵۱۰۵	۷۳۶	۹۰۸	۱۰۱۵	۱۴۲۴

۱. اندازه مزارع

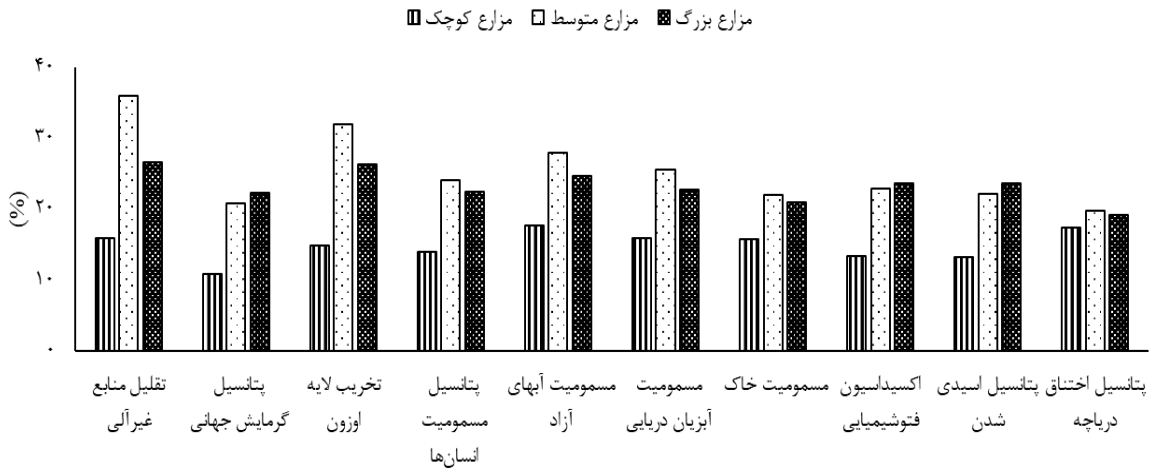
جدول ۱۱- مقادیر مصرف انرژی نهاده‌های بذر، ماشین و سوخت و نخود تولیدی برای کاراترین واحدها

عنوان (واحد)	مقدار انرژی مصرفی و ستانده‌های تولید شده کاراترین واحدها					میانگین
	۹	۲۱۲	۱۴۷	۱۸۷	۲۴	
نهاده‌ها (MJ/ha)						
بذر	۴۱۲	۷۳۵	۷۳۵	۶۶۲	۹۷۰	۷۰۲/۸
ماشین‌ها	۱۰۳۰	۹۲۲	۷۳۷	۶۲۱	۶۹۳	۷۸۹/۸
سوخت دیزل	۲۲۹۴	۳۱۰۷	۳۱۷۹	۴۵۴۱	۲۶۸۹	۳۱۶۲
ستانده‌ها (MJ/ha)						
نخود	۱۴۷۰۰	۹۵۵۵	۷۳۵۰	۷۹۰۸/۶	۹۱۸۷/۵	۹۷۴۰/۲
کاه	۴۸۰۰	۸۰۰۰	۶۸۰۰	۵۵۳۶	۴۰۰۰	۵۸۲۷/۲

طبق نتایج مصرف نهاده‌های سوخت، ماشین و بذر توسط کشاورزان در منطقه مطالعاتی تفاوت زیادی با حالت بهینه دارد و مصرف این نهاده‌ها مخصوصاً در مزارع بزرگ باید اصلاح شود. کشاورزان ناکارای مزارع بزرگ می‌توانند از واحدهای تولید شماره ۹، ۲۱۲، ۱۴۶، ۱۸۷، ۱۴۷ و ۲۴ که به ترتیب کاراترین واحدها شناخته‌شده‌اند جهت مصرف صحیح نهاده‌های سوخت، ماشین و بذر الگوبرداری کنند. مقدار مصرف انرژی این سه نهاده مذکور به همراه مقدار انرژی تولید شده برای کاراترین واحدهای تولید در جدول ۱۱ آمده است.

ملاحظه می‌شود که متوسط مصرف انرژی سوخت، ماشین و بذر برای کاراترین واحدهای تولید به ترتیب ۳۱۶۲، ۷۸۹/۸ و ۷۰۲/۸ مگاژول بر هکتار است. همچنین متوسط انرژی نخود و کاه‌وکلش نخود برای کاراترین واحدها به ترتیب ۹۷۴۰/۲ و ۵۸۲۷/۲ مگاژول بر هکتار است. مقایسه مقادیر انرژی ستانده‌های واحدهای کارای تولید با انرژی ستانده‌های سه دسته مزارع موردبررسی (جدول ۴) نشان می‌دهد که باوجود مصرف نهاده‌های بیشتر در مزارع بزرگ، ستانده‌ها افزایش چندانی نداشته و حتی مقدار نخود تولید شده در مزارع بزرگ کمتر از مقدار آن در مزارع متوسط است.

شکل ۵ درصد کاهش شاخص‌های زیست‌محیطی موردمطالعه نسبت به حالت معمول در صورت اعمال نهاده‌های بهینه انرژی در تولید یک تن نخود را در سطوح مختلف مزارع نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در تمامی شاخص‌ها درصد کاهش مربوط به مزارع متوسط و بزرگ از مزارع کوچک بیشتر است که نشانگر آن است که کشاورزان مزارع کوچک به شکل بهینه‌تری از نهاده‌ها استفاده کرده‌اند. جدول ۱۲ مقادیر انتشار مربوط به هر بخش اثر در صورت اعمال نهاده‌های بهینه انرژی در تولید نخود را نشان می‌دهد. چنانچه مشخص است تمامی شاخص‌های آلایندگی در حالت بهینه تقریباً تا ۵۰ درصد کاهش نسبت به حالت معمول داشته‌اند.



شکل ۵- درصد کاهش شاخص‌های زیست‌محیطی موردمطالعه بر اساس الگوی مصرف روش تحلیل پوششی داده‌ها

جدول ۱۲- مقادیر بهینه شاخص‌های زیست‌محیطی بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌ها در کل مزارع نخود

بخش‌های اثر	واحدهای اندازه‌گیری	انتشار بر اساس مصرف بهینه	کاهش (٪)
تقلیل منابع غیر آلی	kg Sb eq	۰/۰۰۲	۴۶
گرمایش جهانی	kg CO_2 eq	۳۰۶	۴۹
نقصان لایه ازن	kg CFC-11 eq	۰/۰۰۰۰۸	۴۷
مسمومیت انسان	kg 1,4-DCB[1] eq	۱۱۸/۵	۴۹
مسمومیت آب‌های آزاد	kg 1,4-DCB eq	۲/۹۵	۴۷
مسمومیت آبزیان	kg 1,4-DCB eq	۳۹۷۷۲	۴۹
مسمومیت خاک	kg 1,4-DCB eq	۰/۴۲	۵۰
اکسیداسیون فتوشیمیایی	kg C_2H_4 eq	۰/۰۷	۴۹
اسیدی شدن	kg SO_2 eq	۱/۳	۴۸
اختناق دریاچه‌ای	kg PO_4^{-2} eq	۰/۴۶	۴۹

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه، ارزیابی چرخه زندگی نخود و بهینه‌سازی مصرف انرژی در سطوح مختلف مزارع با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها بود. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که انرژی کل نهاده‌ها برای تولید نخود در مزارع کوچک (کوچک‌تر مساوی ۲ هکتار)، مزارع متوسط (بین ۲ تا ۴ هکتار) و مزارع بزرگ (بزرگ‌تر از ۴ هکتار) به ترتیب برابر ۶۳۶۶، ۶۰۴۸ و ۶۸۴۸ مگاژول بر هکتار است. همچنین انرژی کل ستانده‌ها (دانه و کاه) برای مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب برابر ۱۵۴۷۱، ۱۴۹۳۵ و ۱۴۳۵۱ مگاژول بر هکتار به‌دست آمد. واضح است که کمترین انرژی مصرفی و بیشترین انرژی تولیدی به ترتیب مربوط به مزارع متوسط و کوچک است. بیشترین سهم انرژی‌های مصرفی در همه سطوح مزارع مربوط به سوخت دیزل است. شاخص‌های انرژی نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی مزارع کوچک و متوسط به دلیل مدیریت ضعیف مزارع بزرگ، نبود ادوات کافی مناسب زمین‌های بزرگ جهت انجام به‌موقع عملیات و استفاده غیر بهینه از نهاده‌های کشاورزی بیشتر از مزارع بزرگ بود. نتایج ارزیابی چرخه زندگی نخود نشان می‌دهد در میان انتشار آلاینده‌های مختلف، کربن دی‌اکسید منتشرشده ناشی از سوختن سوخت دیزل برای هر سه سطح مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب با سهم ۲۲۰/۵۱، ۲۳۹/۵۷ و ۲۶۰/۸۸ کیلوگرم در هکتار در صدر انتشارات قرار دارد که علت آن کاربرد ماشین‌های مختلف کشاورزی در مراحل زراعی مختلف تولید نخود می‌باشد. ایجاد شرایط مناسب جهت برداشت مکانیزه نخود مانند استفاده از ارقام نخود با ارتفاع بلند بوته برای کشت و توسعه شرکت‌های خدمات مکانیزه در منطقه جهت کمک به ورود کمباین‌های مخصوص برداشت نخود به منطقه مطالعاتی می‌تواند به کاهش استفاده از نیروی کارگری برای برداشت محصول و درنتیجه کاهش مصرف انرژی و آلایندگی تولید نخود منجر شود. نتایج نشان داد که کشت نخود تقریباً در همه بخش‌های اثر در مزارع با سطوح متوسط بارهای زیست‌محیطی کمتری نسبت به دیگر مزارع تولید می‌کند. طبق نتایج، بیشترین بارهای زیست‌محیطی به مزارع بزرگ نخود اختصاص دارد که علت آن استفاده بیش‌ازحد و نامتعارف از نهاده‌ها (با هدف تولید محصول بیشتر) و مدیریت ضعیف مزارع بزرگ است. با مدیریت صحیح استفاده از منابع و نهاده‌ها، کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی از طریق استفاده از ماشین‌های ترکیبی کشاورزی (کمبینات‌ها) و کاربرد روش‌های نوین خاک‌ورزی، مانند کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی، می‌توان آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از تولید نخود را به حداقل رساند. بر طبق نتایج به‌دست‌آمده از بهینه‌سازی مصرف انرژی به کمک تحلیل پوششی داده‌ها، مزارع کوچک باوجود مصرف انرژی بیشتر نسبت به مزارع متوسط به دلیل بالاتر بودن مقدار کل ستانده‌ها (دانه نخود و کاه نخود) در این سطح (۱۵۴۷۱ مگاژول بر هکتار) نسبت بـه دو سـطح دیگـر کـاراتر است. میانگین کارایی انرژی در سطوح سه‌گانه زیر کشت (مزارع کوچک، متوسط و بزرگ) به ترتیب ۹۳٪، ۸۸٪ و ۹۰٪ بود که نشان می‌دهد کشاورزان مزارع کوچک از روش‌های صحیح تولید آگاهی بیشتری داشته و یا نهاده‌های مختلف را در زمان مناسب‌تر و به مقدار بهینه‌تری استفاده کرده‌اند. بیشترین مصرف غیر بهینه انرژی و همچنین بیشترین سهم از کل انرژی ذخیره‌ای در هر سه سطح به ترتیب مربوط بـه نهـاده‌های سوخت دیزل، ماشین و بذر بود که نشانگر آن است مصرف این نهاده‌ها باید اصلاح شود. نتایج نشان داد که باوجود مصرف نهاده‌های بیشتر در مزارع بزرگ، افزایش چندانی در ستانده‌ها ایجاد نشده و حتی مقدار نخود تولید شده در واحد هکتار در مزارع بزرگ کمتر از مقدار آن در مزارع متوسط است؛ بنابراین کشاورزان مزارع بزرگ باید با الگوبرداری از واحدهای کارای تولید در مزارع کوچک و متوسط، مصرف نهاده‌های سوخت، ماشین و بذر را اصلاح کنند و به‌جای مصرف بیشتر این نهاده‌ها جهت دستیابی به مقدار تولید بیشتر، با مدیریت مصرف آن‌ها در زمان مناسب نه‌تنها مقدار محصول تولید شده را افزایش داده بلکه با کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های تولید در راستای اصلاح واحدهای ناکارا گام بردارند.

سپاسگزاری

از مؤسسه تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی کرج و بخش فنی مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی برای تأمین اعتبار این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

REFERENCES

Ajabshirchi, Y., Taki, M., Abdi, R., Ghobadifar, A., & Ranjbar, I. (2012). Investigation of Energy Use Efficiency for Dry Wheat Production Using Data Envelopment Analysis (DEA) Approach; Case Study: Silakhor Plain. *Journal of Agricultural Machinery*, 1(2). (In Farsi)

Anon. (2019). *Country Energy Balance Sheet. Ministry of Energy*. Available at: http://news.moe.gov.ir/. (In Farsi)

Anon. (2016a). *The Geographical location of cities.*

Available at: https://www.fa.wikipedia.org/. (In Farsi)

Anon. (2016b). Agricultural Statistics, First Volume: Crops, 2014-2015, Ministry of Agricultural Jihad. (In Farsi)

Banaeian, N. & Zangeneh, M. (2011). Study on energy efficiency in corn production of Iran. *Energy*, 36: 5394-5402.

Beightler, C. S., Phillips, D. T., & Wilde, D. J. (1979). *Foundations of optimization*.

Canakci, M., & Akinci, I. (2006). Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy*, 31(8-9), 1243-1256.

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 and Management*, 46(4), 655-666.

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of Decision-Making Units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.

Cheraghi, sh. (2015). Energy efficiency, economic indicators and greenhouse gas emissions in Kuhdasht chickpea production system. Master of Science Degree in Agroecology, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, University of Zabol. (in Farsi)

Cochran, W. G. (1963). Sampling Techniques. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Elhami, B., Akram, A., Khanali, M. (2016). Optimization of energy consumption and reduction of greenhouse gas emissions in aquatic lentils production using data envelopment analysis method. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. (4) 47, 710-701. (in Farsi)

Fallah, S., Ehsanzadeh, P. & Daneshvar, M. (2005). Effects of supplemental irrigationand plant densityon yield andyield components of chickpea cultivasion Khorramabad. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 36(3). (In Farsi)

Farrell, M.J., (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society* 120, 253–281.

Ghaderpour, O., & Rafiee, S. (2017). Analysis and modeling of energy and production of dryland chickpea in the city of Bukan. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 47(4), 720-711. doi: 10.22059/ijbse.2017.60265. (In Farsi)

Ghaderpour, O., Rafiee, S., Sharifi, M., & Mousavi-Avval, S. H. (2018). Quantifying the environmental impacts of alfalfa production in different farming systems. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 27, 109-118.

Ghajehbeyg, F. (2009). Development of an energy management decision support system in greenhouse and saffron greenhouses. Master thesis. *Faculty of Engineering and Agricultural Technology*, University of Tehran. (in Farsi)

Gheisari, K., Mehrno, H., Ghafarian, A. (2008). Introduction to Fuzzy Data Envelopment Analysis, Volume 1, p. 184. *Qazvin Azad University Press Publication Center*. (In Farsi)

Guinée J.B. (2000). Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards. *The international journal of life cycle assessment* 7:311-313.

ISO., (2006). ISO 14040 - Environmental Management – Life Cycle Assessment Principles and Framework.

Kaab, A., Sharifi, M., Mobli, H. (2019). Analysis and Optimization of Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Sugarcane Production Using Data Envelopment Analysis. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 50(1), 19-30. doi: 10.22059/ijbse.2018.251593.665035. (In Farsi)

Kitani, O., & Jungbluth, T. (1999). CIGR handbook of agricultural engineering. Energy and biomass engineering, 5, 330.

Majnoun Hosseini, N. (2008) *Grain legume production*. Tehran Jihad-e-Daneshgahi publisher. Tehran, (pp 294). (In Farsi)

Mandal, K. G., Saha, K. P., Ghosh, P. K., Hati, K. M., & Bandyopadhyay, K. K. (2002). Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy*, *23*(5), 337-345.

Mir Hassani, SA data covering analysis. (2008). *Amir Kabir University of Technology Publications*. (In Farsi)

Mobtaker, H.G., Akram, A., Keyhani, A. and Mohammadi, A., (2012). Optimization of energy required for alfalfa production using data envelopment analysis approach. *Energy for sustainable development*, 16(2), pp.242-248.

Mohammadi, A., & Omid, M. (2010). Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied Energy*, 87(1), 191-196.

Mousavi-Avval S.H., Rafiee S., Sharifi M., Hosseinpour S., Notarnicola B., Tassielli G., Renzulli P.A. (2016). Application of multi-objective genetic algorithms for optimization of energy, economics and environmental life cycle assessment in oilseed production. *Journal of Cleaner Production*.

Namdari, M., Rafiee, S., Hosseinpour, S. (2016). Decreasing Environmental Burden by improving efficiency of sugar beet production using data envelopment analysis approach. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 47(2), 353-361.

Nassiri, S.M., Singh, S., (2009). Study on energy use efficiency for paddy crop using data envelopment analysis (DEA) technique. *Applied Energy* 86, 1320-1325.

Nemecek, T., D. Dubois, O. Huguenin-Elie, and G. Gaillard. (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agricultural Systems* 104(3): 217-232.

Nemecek T., Heil A., Huguenin O., Meier S., Erzinger S., Blaser S., Dux D., Zimmermann A. (2007). Life cycle inventories of agricultural production systems. *Final report ecoinvent* v2. 0 No 15.

Ozkan, B., Kurklu, A., Akcaoz, H. (2004). An input–

output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. Biomass and Bioenergy 26, 89-95.

PRé Consultants. (2003). SimaPro 8 Database Manual.

Rafiee, S., Avval, S. H. M., & Mohammadi, A. (2010). Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy*, 35(8), 3301-3306.

Rahimyan, b. (2015). Determination of economic, energy and environmental indicators of some crops (sugar beet, wheat and pea) in West Azarbaijan Province (Boukan Region) using computional intelligence techniques. The Degree of Master of Science in Agriculture Mechanization Engineering, Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran. (in Farsi)

Salami, P., & Ahmadi, H. (2010). Energy inputs and outputs in a chickpea production system in Kurdistan, Iran. *African Crop Science Journal*, 18(2).

Sefeedpari, P., Rafiee, S., & Akram, A. (2012). Modeling of energy output in poultry for egg production farms using artificial neural networks. *J. Anim. Prod. Adv*, 2(5), 247-253.

Taki, M., Mahmoudi, A., Mobtaker, H. G., & Rahbari, H. (2012). Energy consumption and modeling of output energy with multilayer feed-forward neural network for corn silage in Iran. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(4), 93-101.

Thankappan, S. (2003). Rural energy and agricultural interactions in 2000 AD: A study of Uttar Pradesh. *Indian Journal of Gricultural Economics* 6, 47-53.

Tzilivakis, J., Warner, D. J., May, M., Lewis, K. A., & Jaggard, K. (2005). An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (Beta vulgaris) production in the UK. *Agricultural Systems*, 85(2), 101-119.