

تأثیر بهبود کارایی انرژی بر کاهش انتشار دی‌اکسید کربن در گلخانه‌های تولید خیار

مرضیه شاکریان^۱، علی یوسفی^{۱*} و امیرمظفر امینی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۲۱)

چکیده

بهبودسازی و مدیریت انرژی در کشاورزی از عوامل مهم دستیابی به توسعه پایدار است. هدف این پژوهش، ارزیابی کارایی انرژی در سطح گلخانه‌های تولید خیار در منطقه‌ی مرکزی استان اصفهان و تأثیر بهبود آن بر کاهش انتشار دی‌اکسید کربن می‌باشد. داده‌های مورد نیاز از طریق پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری با ۸۱ گلخانه‌دار، با شناسایی گلخانه‌داران همگن، از طریق خوشه‌بندی دومارحله‌ای و استفاده از نمونه‌گیری متناسب طبقه‌ای جمع‌آوری شد و با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین انرژی ورودی و خروجی گلخانه‌ها به ترتیب ۳۲۳۲/۵ و ۱۶۶/۱ گیگاژول در هکتار است. همچنین، نهاده‌های سوخت و الکتریسیته به ترتیب با ۷۴/۸ و ۱۶/۲ درصد بیشترین سهم مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهند. از طرفی، میزان انتشار دی‌اکسید کربن ۷۴۹۴۱/۲ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید که بر اساس الگوی مصرف انرژی در واحدهای کارای مشابه، ۴۵٪ امکان کاهش این میزان انتشار وجود دارد. همچنین، نهاده‌های سوخت و الکتریسیته بیشترین پتانسیل صرفه‌جویی انرژی را دارا می‌باشند. بنابراین، مدیریت صحیح و سیاست‌گذاری مناسب در جهت تشویق کشاورزان به الگوپذیری از گلخانه‌های کارا می‌تواند منجر به کاهش چشمگیر مصرف انرژی و آلودگی‌های زیست‌محیطی شود.

کلمات کلیدی: کارایی انرژی، گلخانه، تحلیل پوششی داده‌ها، انتشار دی‌اکسید کربن

مقدمه

کشت گلخانه‌ای، این سیستم کشاورزی به انرژی و سوخت‌های فسیلی به صورت مستقیم و غیر مستقیم وابستگی شدید دارد (۳۸). این موضوع، کشاورزی را در برابر قیمت نفت و کاهش مقدار آن آسیب‌پذیر می‌سازد (۸). به عبارتی، با کاهش منابع انرژی، انسان در آینده مجبور به تولید غذای بیشتر با انرژی کمتر خواهد بود (۵). از طرف دیگر، وابستگی تولیدات کشاورزی به سوخت‌های فسیلی نگرانی‌هایی

محدودیت آب و خاک و ازدیاد جمعیت جهان، همواره توجه دانشمندان را برای تأمین هر چه بیشتر مواد غذایی در واحد سطح به خود معطوف داشته است (۶). با افزایش جمعیت، نیاز بشر به غذا افزایش می‌یابد و یکی از راه‌های تأمین غذای این جمعیت روبه رشد، استفاده از روش‌های نوین کشاورزی مانند کشت‌های گلخانه‌ای است. با وجود مزیت‌های

۱. گروه توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ayousefi@cc.iut.ac.ir

کشاورزان از پیشنهاد‌های ارائه شده در گزارش آنها استفاده کنند، بدون هیچ‌گونه کاهش در میزان عملکرد محصول، حدود ۱۱/۶ درصد از کل انرژی ورودی می‌تواند ذخیره شود. در مطالعه‌ی دیگر، عمیدی و همکاران (۶) به منظور بررسی تأثیر اندازه‌ی زمین بر میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در استان گیلان، نشان دادند که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید نارنگی، ۶۲۲/۲ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار است که در مزارع بزرگ بیشتر از مزارع متوسط و کوچک می‌باشد. پیشگر کومله و همکاران (۳۱) نیز میزان کل انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید سیب زمینی را به ترتیب ۴۷ گیگاژول در هکتار و ۹۹۳ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار برآورد نمودند. تاکی و همکاران (۳۸) نشان دادند که کل انتشار گازهای گلخانه‌ای برای محصول خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب ۴/۶۲۲ و ۴/۹۱ تن بر هکتار می‌باشد. همچنین، در مطالعه‌ی خوشنویسان و رفیعی (۲۱) برای تولید خیار گلخانه‌ای، کل انتشار دی‌اکسید کربن ۵۴۱۷۷/۳ کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید و مشخص شد که با کاهش و بهبود مصرف انرژی، انتشار دی‌اکسید کربن نیز به میزان ۳۴۹۹۵/۹ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌یابد.

از منظر روش‌شناسی سنجش کارایی انرژی گلخانه‌ها، در مطالعات مختلف، نهاده‌های ورودی سیستم بسیار متنوع در نظر گرفته شده است. برای مثال، انرژی نیروی انسانی در مطالعه‌ی کاناکسی و آکینسی (۱۵) و عبدی و همکاران (۱۲) به دو جزء زن و مرد تفکیک شده و یا انرژی کودهای میکرو، گوگرد، نایلون و نشا به ترتیب در مطالعاتی همچون پهلوان و همکاران (۳۰)، خوشنویسان و رفیعی (۲۱)، کاناکسی و آکینسی (۱۵) و عبدی و همکاران (۱۲)، در نظر گرفته شده‌اند و در سایر مطالعات این موارد نادیده گرفته شده است. همچنین، انرژی آفت‌کش‌ها در مطالعه‌ی پهلوان و همکاران (۳۰) به صورت کلی با نام سموم و بدون تفکیک اجزا به کار رفته است. در نظر گرفتن عوامل و نهاده‌های انرژی ورودی متفاوت به یک سیستم منجر به نتایج متفاوتی در ارزیابی کارایی انرژی، حتی برای یک

در مورد مشکلات زیست‌محیطی نظیر آلودگی آب، خاک، هوا، کاهش حاصلخیزی خاک و گرمایش جهانی ایجاد نموده (۱۸) و باعث ناپایداری کشاورزی و افزایش مخاطرات زیست‌محیطی، از جمله انتشار گازهای گلخانه‌ای، شده است (۲۸). بررسی‌ها نشان می‌دهد که از میزان نشر گازهای گلخانه‌ای در دنیا، سهم فعالیت‌های کشاورزی حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد می‌باشد (۲۱) و در تولید محصولات کشاورزی، حدود ۱۴٪ دی‌اکسید کربن خالص جهانی منتشر می‌شود (۳۱). بنابراین، بررسی کارایی انرژی و ارزیابی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید محصولات کشاورزی بسیار حائز اهمیت است.

مشخص نمودن کارایی انرژی در فرایند تولید، اولین قدم در راستای استفاده‌ی بهینه از منابع موجود می‌باشد (۴). با مشخص نمودن مراحل انرژی بر می‌توان با ارائه راهکارهایی در جهت کاهش مصرف انرژی، تولید معقول، ضمن مصرف کمتر انرژی را امکان‌پذیر نمود (۲). برای این منظور، تحلیل‌های انرژی برای ارزیابی کارایی انرژی و آثار زیست‌محیطی آن از جمله رویکردهای مهم مدیریتی در کشاورزی می‌باشند (۷ و ۱۰) که می‌تواند نقش قابل توجهی در ارتقاء دیدگاه انسان‌ها نسبت به بوم‌نظام‌های زراعی و بهبود کیفی تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها در مدیریت و توسعه این بخش داشته باشد (۹). با توجه به اهمیت و ضرورت موضوع، بررسی‌های زیادی بر انرژی و کارایی آن در تولیدات کشاورزی تمرکز داشته‌اند. موسوی اول و رفیعی (۲۵) در زمینه تولید دانه‌های آفتابگردان نتیجه گرفتند که با افزایش عملکرد کشاورزان ناکارا، ۹/۳ درصد از کل انرژی ورودی قابل ذخیره است. در مطالعه‌ی پهلوان و همکاران (۳۰)، کارایی فنی و بازگشت به مقیاس برای گلخانه‌های تولید خیار با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (Data envelopment analysis) برآورد شد و نتایج دلالت بر آن داشت که با کارا نمودن گلخانه‌های ناکارا، ۳۰/۲۷ درصد در کل انرژی ورودی صرفه‌جویی می‌شود. همچنین، بررسی چوهان و همکاران (۱۶) نشان داد که در صورتی که

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \theta_p = \sum_{r=1}^s u_r y_{rp}, \\
 & \text{s.t. } \sum_{i=1}^m v_i x_{ip} = 1, \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad \forall j, \\
 & u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

در این مدل، x نماد نهاده‌ها و y ستاده‌ها $x_{ij} (i=1, \dots, m; j=1, \dots, n)$ و $y_{rj} (r=1, \dots, s; j=1, \dots, n)$ (i) امین نهاده و r امین ستاده مربوط به تولیدکننده مورد نظر (j)، m و s به ترتیب تعداد نهاده‌ها و ستاده‌های هر واحد تولیدی، n تعداد گلخانه، v_i و u_r به ترتیب وزن نهاده و ستاده و $\varepsilon > 0$ یک عنصر غیرارشمیدی است که کوچک‌تر از هر عدد حقیقی مثبت می‌باشد. کارایی نسبی تولیدکننده مورد نظر به صورت حداکثر ارزش، θ_p ، تعریف شده که در فاصله $0 \leq \theta_p \leq 1$ قرار می‌گیرد. مقدار یک بیانگر آن است که گلخانه دارای کارایی فنی کامل است و مقادیر کمتر از یک تا صفر بیانگر عدم کارایی گلخانه می‌باشد (۱۷، ۳۵ و ۳۷).

مقادیر مصرف بهینه و یا هدف جهت کارا شدن واحدهای ناکارا از طریق رابطه ۲ محاسبه می‌شود (۱۱ و ۱۷):

$$\begin{aligned}
 x_{ip}^* &= x_{ip} \theta_p - s_{ip}^-, \quad \forall i, \\
 y_{rp}^* &= y_{rp} \theta_p + s_{rp}^+, \quad \forall r.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

با توجه به میزان مصرف بهینه هر یک از نهاده‌ها، میزان انتشار دی‌اکسید کربن هدف یا بهینه حاصل می‌شود. بنابراین، میانگین کاهش نشر دی‌اکسید کربن در اثر مصرف بهینه‌ی انرژی برابر با حاصل تفریق میانگین نشر واقعی دی‌اکسید کربن از میانگین میزان نشر بهینه است (۲۱ و ۲۲).

تجزیه و تحلیل صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌ها، بدون کاهش سطح تولید، به منظور جلوگیری از اتلاف انرژی صورت می‌پذیرد. درصد صرفه‌جویی در انرژی مصرفی با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود (۳۴):

محصول خاص، می‌گردد که زیداد و ماتیسسی (۴۱) نیز در مطالعه‌ی انتقادی خود به آن اشاره نموده‌اند. از طرف دیگر، در مطالعات بوجاکا و همکاران (۱۴) و کاناکسی و آکینسی (۱۵) انرژی سازه و ساختار گلخانه به عنوان یک عامل ورودی به سیستم در نظر گرفته شده است. ولی، در دیگر مطالعات، به خصوص در هیچیک از مطالعات داخلی، به این عامل ورودی توجهی نشده است. همچنین، بیشتر مطالعاتی که به بررسی کارایی انرژی در گلخانه‌ها و یا مزارع پرداخته‌اند، کمتر به بررسی جنبه‌های زیست‌محیطی مصرف انرژی توجه نموده‌اند. بررسی رشد کشت‌های گلخانه‌ای در کشور نشان می‌دهد که طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳ سطح زیر کشت از ۳۳۸۰ به ۹۶۰۶ هکتار افزایش یافته است (۱). بنابراین، هدف این بررسی آن است که در سنجش کارایی انرژی گلخانه‌ها به صورت جامع، نهاده‌های ورودی مغفول مانده در سایر مطالعات، نظیر انرژی سازه، در نظر گرفته شود. همچنین، علاوه بر سنجش کارایی انرژی، تأثیر مصرف بهینه‌ی انرژی، بر کاهش انتشار دی‌اکسید کربن ارزیابی می‌شود.

مواد و روش‌ها

ارزیابی عملکرد و اندازه‌گیری کارایی فنی واحدهای تولیدی مبتنی بر دو گروه روش‌های پارامتری و غیرپارامتری است. بارزترین ویژگی روش‌های غیرپارامتری، عدم نیاز به تخمین توزیع یا شکل خاص تابع تولید است. یکی از مهم‌ترین روش‌های غیرپارامتری، تحلیل پوششی داده‌ها است (۳۷). در این روش، واحدها به صورت کارا و ناکارا دسته‌بندی می‌شوند و هر یک از واحدها که واحد تصمیم‌گیری (DMU) نامیده می‌شود، در مقایسه با دیگر واحدها، بررسی می‌شود. بنابراین، امتیاز کارایی هر واحد به صورت نسبی محاسبه می‌شود (۱۱). چارلز و همکاران (به نقل از ۳۷) مدل بازده ثابت نسبت به مقیاس (CRS) و ورودی‌محور را به صورت رابطه ۱ پیشنهاد نموده‌اند:

شدند. با توجه به این که این عوامل از دو جنس متغیرهای کمی و کیفی بودند، از روش خوشه‌بندی دومرحله‌ای استفاده شد و همچنین، با در نظر داشتن جمعیت هر خوشه با به‌کار بردن تناسب، میزان نمونه هر خوشه مشخص شد. داده‌های این پژوهش از طریق تکمیل پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری جمع‌آوری شد. با مرور پژوهش‌های قبلی، مقادیر هم‌ارزهای انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای که قابلیت استفاده در منطقه مورد بررسی را دارا بودند، تعیین شد. در جدول ۱، منابع انرژی ورودی، خروجی و معادل‌های انرژی نشان داده شده است. همچنین، میزان انتشار دی‌اکسید کربن، از نهاده‌هایی همچون ماشین‌آلات، الکتریسیته، سوخت‌های گازوئیل و گاز، کودهای شیمیایی نیتروژنه، فسفر، پتاسیم، حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها مورد سنجش قرار گرفت.

در این تحقیق، برای بررسی مصرف و کارایی انرژی در گلخانه‌ها از بسته‌های نرم‌افزاری GAMS استفاده شده است.

نتایج و بحث

سیمای کلی گلخانه‌های مورد بررسی

بر اساس نتایج، میانگین مساحت گلخانه‌های مورد بررسی ۲۳۷۳ متر مربع است، که ۶۸٪ دارای سازه‌ی چوبی سستی و مابقی دارای سازه فلزی گالوانیزه (جوشی یا پیچ و مهره‌ای) هستند. همچنین، تعداد لایه‌های پوشش گلخانه‌ها عبارت است از: ۳۹/۵ درصد یک لایه، ۵۳/۱ درصد دو لایه و ۷/۴ درصد سه لایه. مقدار ۶۳٪ گلخانه‌ها دارای فرم تک‌واحدی و مابقی به هم پیوسته می‌باشند. نوع پنجره‌های به‌کار رفته در ساختمان گلخانه‌ها، بیشتر دیواری و سقفی است. مقدار ۳۷/۵ درصد گلخانه‌ها از سیستم آبیاری ثقلی (جوی و پشته) و ۶۲/۵ درصد از سیستم آبیاری قطره‌ای برخوردار هستند. مقدار ۶٪ گلخانه‌ها دارای فصل کشت پاییزه (کشتی که از مرداد ماه آغاز می‌شود و تا اواخر آبان ماه به طول می‌انجامد) و ۹۴٪ مابقی دارای فصل کشت بهاره می‌باشند. بیشتر گلخانه‌داران مورد مطالعه، کشت بهاره‌ی خیار را از اسفند ماه آغاز می‌نمایند. همچنین، ۸۳/۸

= درصد ذخیره‌سازی انرژی هدف

$100 \times (\text{میزان مصرف واقعی} / \text{میزان صرفه‌جویی هدف})$

[۳]

درصد صرفه‌جویی انرژی برای هر نهاده، بین مقادیر صفر تا ۱۰۰ متغیر است. هر چه این درصد بیشتر باشد، کارایی نهاده کمتر است (۳۳ و ۳۴).

محل اجرای این پژوهش، منطقه‌ی مرکزی استان اصفهان تا شعاع ۵۰ کیلومتری نسبت به مرکز استان می‌باشد. استان اصفهان با مساحتی حدود ۱۰۵۹۳۷ کیلومتر مربع بین ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی قرار دارد (۳۴). داده‌های میدانی این تحقیق در سال ۱۳۹۳ از گلخانه‌های تولید خیار، در سطح منطقه‌ی مورد پژوهش جمع‌آوری شد.

حجم نمونه مورد نیاز به منظور افزایش قابلیت اطمینان و اعتماد به نتایج حاصل از مدل تحلیل پوششی داده‌ها مطابق با معادله‌ی ۴ برآورد شد (۱۱، ۱۷، ۳۴ و ۳۹).

$n \geq \max \{m \times s 4, 3(m+s)\}$ [۴]

در این معادله، m تعداد پارامترهای ورودی، s تعداد پارامترهای خروجی و n تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده می‌باشد. پارامترهای ورودی در مطالعه‌ی حاضر شامل انرژی (نیروی انسانی، ماشین‌آلات کشاورزی، بذر یا نشاء، کود دامی، مواد شیمیایی، گوگرد، قارچ‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، کودهای شیمیایی نیتروژنه، فسفر، پتاسیم، کودهای میکرو، سازه، نایلون، آب آبیاری، سوخت و الکتریسیته) می‌باشد و پارامتر خروجی نیز انرژی محصول خیار است. در واقع، مدل دارای ۱۸ ورودی و ۱ خروجی است که مجموع آن‌ها ۱۹ پارامتر می‌شود. داده‌های مورد نیاز از ۸۱ گلخانه‌دار جمع‌آوری شد. با توجه به بزرگی جامعه آماری مورد مطالعه و کاربرد مدل تحلیل پوششی داده‌ها، گلخانه‌داران همگن با در نظر گرفتن منطقه‌ی جغرافیایی، نوع سازه، فرم گلخانه، نوع سوخت مصرفی، انواع سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی به‌کار رفته و مساحت گلخانه شناسایی

جدول ۱. معادل انرژی نهاده‌ها و ستاده در تولید محصول خیار گلخانه‌ای

منبع	معادل انرژی ^a	واحد	نهاده A	منبع	معادل انرژی ^a	واحد	نهاده A
(۲۹)	۱۶۸	لیتر	الف: قارچ‌کش				نیروی کار
(۲۹)	۱۹۶	لیتر	ب: حشره‌کش	(۳۲)	۱/۹۶	ساعت	الف: مرد
(۲۹)	۲۳۸	لیتر	پ: علف‌کش	(۴)	۱/۵۷	ساعت	ب: زن
(۲۱)	۱/۲	کیلوگرم	ت: گوگرد	(۱۳)	۶۲/۷	ساعت	ماشین‌آلات
(۱۴)	۱۲۰	کیلوگرم	سایر سموم شیمیایی				سوخت دیزل
(۲۱)	۱	کیلوگرم	بذر	(۲۱)	۴۶/۳	لیتر	الف: بنزین
(۱۴)	۰/۲۸	واحد	نشا	(۲۱)	۴۷/۸	لیتر	ب: گازوئیل
(۱۲)	۶۰	کیلوگرم	نایلون	(۲۱)	۴۹/۵	لیتر	پ: گاز
(۳۰)	۰/۳	کیلوگرم	کود غیر شیمیایی				کود شیمیایی
			B سازه	(۲۱)	۶۶/۱۴	کیلوگرم	الف: نیتروژن
(۱۴)	۱۸/۹	کیلوگرم	الف: چوب	(۲۴)	۱۲/۴۴	کیلوگرم	ب: فسفات
(۳۶)	۳۸	کیلوگرم	ب: فلز	(۲۴)	۱۱/۱۵	کیلوگرم	پ: پتاسیم
(۳۶)	۴۶/۳	کیلوگرم	پ: پلی اتیلن	(۳۰)	۱۲۰	کیلوگرم	ج: کود میکرو
(۱۴)	۰/۰۷	کیلوگرم	ت: شن	(۲۱)	۱۱/۹۳	کیلووات ساعت	الکتريسيته
(۱۴)	۷/۷	کیلوگرم	ث: سیمان				آفت‌کش‌ها
(۲۰)	۱/۰۲	متر مکعب	آب	(۲۱)	۲۹۵	کیلوگرم	الف: قارچ‌کش
			C ستاده	(۲۱)	۱۱۵	کیلوگرم	ب: حشره‌کش
(۲۱)	۰/۸	کیلوگرم	خیار	(۲۱)	۸۵	کیلوگرم	پ: علف‌کش

a: مگاژول در هکتار

ارزیابی کارایی انرژی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها

با استفاده از مدل CRS، کارایی فنی واحدها مورد بررسی قرار گرفت. کارایی انرژی گلخانه‌ها عددی بین صفر تا یک می‌باشد. در این پژوهش، از مجموع ۸۱ گلخانه‌ی مورد مطالعه، ۴۰ گلخانه کارا شناخته شدند. همچنین، میانگین کارایی فنی برای گلخانه‌ها ۰/۸۸۳ برآورد شد.

در جدول ۴، میانگین مصرف واقعی و بهینه هر یک از نهاده‌ها به همراه درصد ذخیره‌سازی و سهم هر یک از این نهاده‌ها در ذخیره‌سازی کلی (۱۵۳۷/۵ گیگاژول در هکتار) برآورد شده است. گلخانه‌های مورد بررسی می‌توانند بدون

درصد گلخانه‌ها دارای سیستم گرمایشی گازوئیل‌سوز و ۱۶/۲ درصد مابقی، دارای سیستم‌های گازسوز می‌باشند (جدول ۲).

الگوی مصرف انرژی

مقدار انرژی‌های ورودی و خروجی برای تولید خیار گلخانه‌ای در جدول ۳ آورده شده است. کل انرژی تولیدی در گلخانه‌های مورد بررسی، ۱۶۶/۱ گیگاژول بر هکتار می‌باشد. همچنین، در میان انرژی‌های ورودی به گلخانه، نهاده‌های سوخت و الکتريسيته به ترتیب با مصرف ۷۴/۸ و ۱۶/۱۶ درصد از کل انرژی ورودی، بیشترین سهم انرژی را دارا می‌باشند.

جدول ۲. سیمای کلی گلخانه‌های مورد بررسی

مساحت (متر مربع)	درصد فراوانی	فصل کشت	درصد فراوانی	نوع دربیچه	درصد فراوانی	تعداد لایه‌ها	درصد فراوانی
۵۰۰-۱۹۹۹	۳۴/۶	پاییزه	۶	دیواری	۷/۴	یک	۳۹/۵
۲۰۰۰-۳۴۹۹	۲۹/۶	بهاره-اسفند ماه	۴۱	سقفی	۶/۲	دو	۵۳/۱
۳۵۰۰-۴۹۹۹	۲۵/۹	بهاره-بهار ماه	۳۶	بال کیوتری	۳/۷	سه	۷/۴
بیشتر از ۵۰۰۰	۹/۸	بهاره-آذر ماه	۱۶	دیواری و سقفی	۸۲/۷	-	-
کل	۱۰۰	کل	۱۰۰	کل	۱۰۰	کل	۱۰۰

جنس سازه	درصد فراوانی	سیستم آبیاری	درصد فراوانی	فرم گلخانه	درصد فراوانی	نوع سوخت	درصد فراوانی
چوبی سنتی	۶۹/۹	ثقلی	۳۷/۵	بهم پیوسته	۳۷	گاز	۱۶/۲
فلزی	۳۲/۱	قطره‌ای	۶۲/۵	واحدی	۶۳	گازوئیل	۸۳/۸
کل	۱۰۰	کل	۱۰۰	کل	۱۰۰	کل	۱۰۰

جدول ۳. انرژی مصرفی و سهم هر یک از نهاده‌ها و ستاده‌ها در تولید یک هکتار خیار گلخانه‌ای منطقه مرکزی استان اصفهان

نهاده	میزان انرژی*	درصد	نهاده	میزان انرژی*	درصد
گاز	۴۱۵۰۴۷۵	۷۴/۸۳	چوبی	۲۷۰۹۷۸/۳	۵/۵۵
گازوئیل	۱۵۶۴۹۴۵		فلزی	۷۸۳۲۴/۷	
الکتریسیته	۵۵۸۴۵۵/۹۰	۱۶/۱۶	کود پتاسیم	۲۹۳۳/۹۱	۰/۸۴
سایر سموم شیمیایی	۵۹/۲۶	۰/۰۱	ماشین‌آلات	۲۷۹۲/۸۶	۰/۰۸
قارچ‌کش	۳۱۷۹۲/۲۶	۰/۹۲	کود فسفات	۲۴۹۸/۳۸	۰/۰۷
کود نیتروژن	۲۰۴۸۲/۹۷	۰/۵۶	گوگرد	۶۶/۶۳	۰/۰۰
نایلون	۱۳۲۸۷/۲۵	۰/۳۸	کود میکرو	۴۱۲۰/۴	۰/۱۱
نیروی کار	۱۳۲۳۷/۳	۰/۳۸	نشا و بذر	۴۶/۷۱	۰/۰۰
کود آلی	۱۱۷۱۹/۳۱	۰/۳۳	علف‌کش	۱۰/۵	۰/۰۰
آب	۱۱۵۰۳/۰۴	۰/۳۳	کل نهاده‌ها	۳۲۳۲۵۲۸	۱۰۰
حشره‌کش	۴۶۴۹/۶۹	۰/۱۳	ستاده: خیار	۱۶۶۰۶۲/۳	۱۰۰

* مگاژول در هکتار

مصرف بیشتر نهاده‌ها می‌توان به میزان زیادی صرفه‌جویی کرد. برای مثال، میزان مصرف واقعی کود نیتروژن ۲۱۶۶۹/۲۱ مگاژول در هکتار و میزان مصرف هدف ۸۸۳۱/۲ مگاژول در هکتار می‌باشد. بنابراین، امکان ۵۹٪ صرفه‌جویی در مصرف کود

تغییر در میزان تولید محصول، مصرف انرژی را ۱۶۹۵/۱ گیگاژول در هکتار کاهش دهند. به عبارت دیگر، در صورت استفاده‌ی بهینه از منابع انرژی ورودی، می‌توان ۱۵۳۷/۵ گیگاژول در هکتار انرژی را ذخیره نمود. مطابق با جدول ۴، در

جدول ۴. سهم هر نهاد در ذخیره شده در گلخانه‌های مورد بررسی

سهم ذخیره (%)	ذخیره (%)	میانگین ذخیره	میانگین بهینه	میانگین واقعی	نهاده‌های انرژی	سهم ذخیره (%)	ذخیره (%)	میانگین ذخیره	میانگین بهینه	میانگین واقعی	نهاده‌های انرژی
۰/۴	۴۷/۸	۶۴۴۹/۶	۷۰۲۱/۸	۱۳۴۷۱/۵	نایلون	۰/۸۳	۵۹/۲	۱۲۸۳۸	۸۸۳۱/۲	۲۱۶۶۲۹	نیتروژن
۰/۳۸	۴۱/۳	۵۸۵۳/۶	۸۲۹۵/۷	۱۴۱۴۹/۳	نیروی کار	۰/۱۱	۶۲/۶	۱۷۷۴/۹	۱۰۵۸/۶	۲۸۳۳/۵	فسفات
۶۷/۲۰	۴۳/۹	۱۰۳۳۳۳۲	۱۳۱۶۳۰۴	۲۳۴۹۶۳۶	سوخت	۰/۰۹	۴۸/۵	۱۴۴۴/۷	۱۵۳۱/۳	۲۹۷۵/۹	پتاسیم
۰/۰۰۴	۶۷	۵۸/۷	۰/۳۱۸	۵۹/۰۶	بذر و نشاء	۰/۱۹۵	۶۳/۹	۲۹۹۹/۷	۱۶۹۱/۹	۴۶۹۱/۷	میکرو
۰/۰۰۴	۸۳	۶۰	۲۲/۵	۷۱/۵	گوگرد	۰/۳۵	۵۴	۵۳۱۰/۳	۵۹۲۰/۵	۱۰۹۳۰	کود آلی
۱۸/۷۸	۵۱	۲۸۸۸۰۴	۲۶۹۰۹۳/۲	۵۵۷۸۹۷	الکتریسیته	۲/۰۴	۸۳/۵	۳۱۳۹۶	۶۱۶۵/۳	۳۷۵۶۲	فازچ کش
۰/۱۲	۵۶	۱۸۰۳/۴	۱۳۸۸/۲	۳۱۹۱/۶	ماشین آلات	۰/۲	۵۶/۸	۳۰۴۸	۲۳۰۹/۳	۵۷۵۳/۳	حشره کش
۸/۸۵	۶۹	۱۳۵۹۴۲	۶۰۳۵۶	۱۹۶۲۹۹	سازه	۰/۰۰۱	۱۰۰	۱۲/۴۳	۰	۱۲/۴۳	علف کش
		درصد سهم ذخیره‌سازی	درصد ذخیره‌سازی	کل ذخیره‌سازی انرژی	مصرف بهینه	مصرف واقعی					
		۱۰۰	۴۷/۵	۱۵۳۷۴۶۹	۱۶۹۵۰۸۲	۳۲۳۲۵۲۸					

صورت گاز و گازوئیل، باعث انتشار به ترتیب ۳۸ و ۲۰ درصد دی‌اکسید کربن می‌شود، که در مجموع ۵۸٪ انتشار را شامل است. کودهای شیمیایی K_2O و P_2O_5 با انتشار ۰/۰۷ درصد از گازهای گلخانه‌ای، کمترین سهم را در انتشار دارا می‌باشند. همچنین، به علت درصد کم گلخانه‌داران مصرف کننده‌ی علف کش‌ها، درصد ناچیزی از کل انتشار دی‌اکسید کربن به مصرف علف‌کش‌ها اختصاص یافته است.

میزان کاهش انتشار دی‌اکسید کربن در اثر مصرف بهینه‌ی نهاده‌ها در جدول ۷ آورده شده است. با بهبود کارایی انرژی و تبدیل گلخانه‌های ناکارا به کارا، میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن از ۷۴۹۴۱/۲ کیلوگرم در هکتار به میزان ۳۴۵۹۶/۹ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، به میزان ۴۶/۱ درصد، امکان کاهش در انتشار دی‌اکسید کربن وجود دارد. بیشترین سهم برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن، متعلق به سوخت مصرفی به میزان ۵۳/۶ درصد می‌باشد و بعد از آن، نهاده‌ی الکتریسیته با ۴۳/۴ درصد در جایگاه دوم قرار می‌گیرد.

نیتروژن وجود دارد. همچنین، با توجه به سهم قابل توجه انرژی سوخت، بیشترین سهم ذخیره‌ی انرژی متعلق به نهاده‌ی سوخت، با ۶۷/۲ درصد پتانسیل صرفه‌جویی می‌باشد. در نمونه‌های مورد بررسی، به علت مصرف اندک علف‌کش‌ها، کمترین سهم صرفه‌جویی مربوط به این نهاده می‌باشد.

با توجه به میزان مصرف واقعی و بهینه هر یک از منابع انرژی می‌توان نشان داد که با مصرف بهینه انرژی در گلخانه‌های ناکارا، تا چه میزان امکان ذخیره نمودن انرژی بدون کاهش تولید مهیا است. درصد ذخیره‌سازی انرژی برای هر یک از گلخانه‌های ناکارا در جدول ۵ محاسبه شده است.

میزان انتشار دی‌اکسید کربن در گلخانه‌های مورد بررسی

جدول ۶، میزان انتشار دی‌اکسید کربن در گلخانه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای ۷۴۹۴۱/۲۱ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار برآورد شده است. در بین نهاده‌های ورودی به گلخانه‌های مورد بررسی، الکتریسیته باعث انتشار ۳۸/۷ درصد و نهاده‌ی سوخت به

جدول ۵. میزان کارایی فنی و ذخیره‌سازی انرژی برای هر یک از گلخانه‌های ناکارا

شماره گلخانه	کارایی	صرفه‌جویی (%)	شماره گلخانه	کارایی	صرفه‌جویی (%)	شماره گلخانه	کارایی	صرفه‌جویی (%)
۱	۰/۹۴	۲۱	۲۸	۰/۵۶	۵۶/۹	۵۹	۰/۴۱	۷۳/۶
۲	۰/۷۳	۵۱/۶	۳۱	۰/۶۵	۵۸/۸	۶۰	۰/۶۷	۷۵/۵
۳	۰/۷۹	۴۱/۵	۳۲	۰/۶۱	۶۳/۳	۶۴	۰/۹۸	۲۶/۸
۴	۰/۸۴	۴۶/۹	۳۳	۰/۸۴	۶۸/۴	۶۶	۰/۴۰	۷۵/۹
۹	۰/۹۸	۴۳	۳۴	۰/۵۵	۷۱/۱۳	۶۷	۰/۸۵	۴۵/۶
۱۶	۰/۹۶	۱۳/۷	۳۵	۰/۶۱	۴۷/۲	۶۹	۰/۶۱	۶۰/۳۰
۱۷	۰/۹۸	۳۰/۵۲	۳۸	۰/۹۱	۳۸/۹	۷۳	۰/۹۲	۲۵/۸
۱۸	۰/۹۱	۳۸/۸	۳۹	۰/۸۵	۳۹/۸	۷۴	۰/۸۹	۴۶/۸
۱۹	۰/۶۷	۵۸/۸	۴۰	۰/۷۸	۵۵/۵	۷۵	۰/۴۹	۶۹/۱
۲۰	۰/۹۹	۴۵	۴۱	۰/۹۷	۴۷/۳	۷۶	۰/۴۵	۶۶
۲۱	۰/۶۰	۵۸/۲	۴۴	۰/۴۷	۶۶/۷	۷۷	۰/۶۶	۶۷
۲۲	۰/۹۱	۴۸/۶	۴۶	۰/۶۱	۵۸/۱۸	۷۹	۰/۹۴	۳۷/۲۵
۲۴	۰/۹۳	۴۲/۸	۵۰	۰/۹۵	۳۱/۹	۸۱	۰/۹۳	۲۵/۸
۲۷	۰/۶۰	۵۵/۸	۵۳	۰/۹۷	۲۳/۵			

جدول ۶. میانگین انتشار دی‌اکسید کربن در گلخانه‌های مورد بررسی

نهاده‌های منتشر کننده	واحد	ضرایب ^a	میانگین انتشار ^a	انتشار (درصد)
ماشین‌آلات (۲۱)	MJ	۰/۰۷	۲۰۶/۸۱	۰/۲۸
کود شیمیایی نیتروژن (۲۱)	kg	۱/۳	۴۱۹/۲۵	۰/۵۶
کود شیمیایی P ₂ O ₅ (۲۷)	kg	۰/۲	۴۹/۴۸	۰/۰۷
کود شیمیایی K ₂ O (۲۶)	kg	۰/۲	۵۲/۸	۰/۰۷
قارچ‌کش (۳۳)	kg	۳/۹	۶۹۲/۸	۰/۹۲
حشره‌کش (۲۲)	kg	۵/۱	۱۹۴/۷	۰/۲۷
علف‌کش (۲۲)	kg	۶/۳	۰/۲۹	۰/۰۶
گاز (۲۳)	M ³	۰/۹۴	۲۸۳۸۹/۱۶	۳۸/۷
سوخت گازوئیل (۲۳)	kg ³	۰/۸۵	۱۴۸۷۴/۶	۲۰/۲۰
الکتریسیته (۲۱)	kW	۰/۶۰۸	۲۸۷۲۹/۵	۳۸/۸
مجموع میزان انتشار	(b)	-	۷۴۹۴۱/۲	۱۰۰

a: kgCO₂/unit

b: kgCO₂

بحث

گیگاژول بر هکتار است که بیشترین سهم انرژی ورودی مربوط به انرژی سوخت و الکتریسیته به ترتیب با ۷۴/۸ و ۱۶/۱۶ درصد می‌باشد. نتایج پژوهش‌های خوشنویسان و رفیعی (۲۱)،

نتایج این بررسی نشان داد که میانگین انرژی ورودی و خروجی به گلخانه‌های مورد بررسی به ترتیب ۳۲۳۲/۵ و ۱۶۶/۱

جدول ۷. میانگین کاهش انتشار دی‌اکسید کربن در گلخانه‌های مورد بررسی

نهاده	انتشار فعلی (kgCO ₂ /ha)	انتشار هدف (kgCO ₂ /ha)	کاهش انتشار (kgCO ₂ /ha)	کاهش انتشار (درصد)
الکتریسیته	۲۸۷۲۹/۵	۱۳۷۱۴/۱	۱۵۰۱۵/۵	۴۳/۴
سوخت	۴۴۵۹۵/۵	۲۶۰۵۱/۸	۱۸۵۴۴۳/۷	۵۳/۶
کود شیمیایی	۵۲۱/۵	۲۱۸/۱	۳۰۳۰/۵	۰/۹
ماشین آلات	۲۰۶/۸	۹۷/۲	۱۰۹/۶	۰/۳
سایر سموم	۸۸۷/۸	۲۶۸/۹	۶۲۴/۶	۱/۸
مجموع	۷۴۹۴۱/۲	۴۰۳۵۰/۰	۳۴۵۹۶/۹	۱۰۰

کشت می‌باشد. همچنین، میزان انتشار دی‌اکسید کربن در این پژوهش نسبت به بررسی‌های خوشنویسان و رفیعی (۲۱)، عمید و همکاران (۶)، نبوی پله سرایی (۲۶)، خوشنویسان و همکاران (۲۲)، قاسمی و نبوی پله سرایی (۳۳) و یوسفی و همکاران (۴۰) بیشتر برآورد شد که دلیل آن در نظر گرفتن سهم انتشار نهاده‌هایی همچون سازه و غیره می‌باشد. مشابه سایر مطالعات، در این مطالعه نیز انرژی سوخت و الکتریسیته بیشترین سهم را در مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای داشته و بیشترین پتانسیل را در صرفه‌جویی انرژی دارا می‌باشد.

در این بررسی، با استفاده از روش DEA، گلخانه‌های کارا شناسایی شدند که امکان صرفه‌جویی در مصرف انرژی تا ۴۷/۵ درصد با الگوپذیری از آنها وجود دارد. از طرفی، مقایسه‌ی نتایج مطالعات انجام شده نشان دهنده‌ی وجود اختلاف در نتایج سنجش کارایی انرژی برای محصول خیار گلخانه‌ای است که می‌تواند به علت در نظر گرفتن ورودی‌های مختلف انرژی در بررسی سیستم گلخانه‌ها باشد. با توجه به تفاوت مرز سیستم در مطالعات مختلف، این موضوع امکان قابلیت مقایسه‌ی نتایج را کاهش می‌دهد. به عبارتی، نمی‌توان اذعان نمود که تفاوت در نتایج تنها تحت تأثیر الگوهای مختلف مصرف انرژی است. برای مثال، انرژی سازه، از نظر میزان مصرف انرژی در این مطالعه در رتبه‌ی سوم، در مطالعه کاناکسی و آکینسی (۱۵) در رتبه‌ی اول و در مطالعه‌ی بوجاکا و همکاران (۱۴) در رتبه‌ی چهارم قرار گرفته و در سایر مطالعات نادیده انگاشته شده‌است.

کاناکسی و آکینسی (۱۵)، عبدی و همکاران (۱۲) و تاکی و همکاران (۳۸) نیز دلالت بر این موضوع داشته که انرژی سوخت در تولیدات گلخانه‌ای بیشترین سهم را در مجموع انرژی‌های ورودی دارا می‌باشد. مقایسه الگوی مصرف فعلی و بهینه‌ی انرژی در گلخانه‌ها نشان داد که بیشتر نهاده‌ها به میزان زیادی پتانسیل ذخیره‌سازی دارند و با مصرف بهینه انرژی در گلخانه‌های ناکارا، امکان صرفه‌جویی به میزان ۱۵۳۷/۵ گیگاژول بر هکتار (۴۷/۵ درصد) وجود دارد. بر پایه نتایج بررسی‌های خوشنویسان و رفیعی (۲۱)، تاکی و همکاران (۳)، پهلوان و همکاران (۳۰) و فیروزی و همکاران (۱۹)، میزان صرفه‌جویی انرژی در کشت خیار گلخانه‌ای به ترتیب ۲۴/۴، ۱۳، ۱۳ و ۲۶/۸ درصد می‌باشد. همچنین، در این مطالعات نیز بیشترین سهم در ذخیره‌سازی انرژی مربوط به انرژی سوخت می‌باشد.

میزان انتشار دی‌اکسید کربن در گلخانه‌های مورد بررسی ۷۴۹۴۱/۲ کیلوگرم در هکتار برآورد شد که در صورت الگوپذیری از گلخانه‌های کارا، امکان کاهش انتشار به میزان ۴۰۳۴۴/۳ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار وجود دارد. همچنین، بیشترین سهم کاهش انتشار نیز متعلق به نهاده‌های سوخت و الکتریسیته می‌باشد. مقایسه‌ی نتایج مطالعات در زمینه‌ی میزان انتشار دی‌اکسید کربن دلالت بر آن دارد که میزان انتشار در گلخانه‌ها بیشتر از مزارع و باغ‌ها می‌باشد که نشانگر ورود انرژی بیشتر به گلخانه‌ها برای مساعد نمودن شرایط

و پنجره‌ها، احداث اتاق ایزوله قبل از ورود به گلخانه، درزگیری کامل پوشش گلخانه، کنترل کمینه و بیشینه دما و افزایش کارایی پمپ‌های الکتریکی در سیستم‌های آبیاری میسر گردد. همچنین، استفاده از سوخت گاز در سیستم‌های گرمایشی نسبت به سوخت گازوئیل باعث مصرف بیشتر انرژی در واحد سطح می‌شود که این امر می‌تواند به علت انرژی گرمایی کمتر سوخت گاز نسبت به گازوئیل و یا توجه کمتر گلخانه‌داران برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی گاز به دلیل قیمت کمتر آن باشد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در بررسی‌های آتی، اثر واقعی نمودن قیمت انرژی بر کارایی اقتصادی گلخانه‌های کارا و ناکارا مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین، در سنجش انرژی نهاده‌ها در مطالعات مختلف، از معادل‌های انرژی متنوعی استفاده شده است. پیشنهاد می‌شود تأثیر استفاده از معادل‌های مختلف انرژی بر نتایج کارایی انرژی ارزیابی شود و نیز به نقش کانال‌های تصمیم‌گیری گلخانه‌داران در مصرف انرژی و عوامل مؤثر بر آن توجه شود.

که توجه بیشتر به این نهاده را در بررسی‌های کارایی انرژی نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های مناسب در راستای متعادل نمودن رشد و توسعه اقتصادی، همراه با مصرف مطمئن انرژی و حفاظت از محیط‌زیست، بسیار ضروری است. کاهش مصرف انرژی، به‌ویژه سوخت و الکتریسیته در گلخانه‌ها، علاوه بر کاهش هزینه‌ها و ارتقاء درآمد کشاورزان، منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌گردد. با توجه به اینکه انرژی سوخت و الکتریسیته بیشترین سهم را در کل انرژی ورودی به خود اختصاص می‌دهد، تمهیدات لازم برای کاهش مصرف این نهاده‌ها باید در الویت اجرا قرار گیرد. همانطور که در بیشتر گلخانه‌های کارا مشاهده شد، این امر می‌تواند از طریق بهبود بهره‌وری وسایل گرمایشی، استفاده از پوشش‌های پلاستیکی مناسب و چندلایه، کاربرد فناوری مناسب در سیستم‌های تهویه

منابع مورد استفاده

۱. آمارنامه تولید وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۹۳. معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی، دفتر آمار و فناوری اطلاعات.
۲. پاشایی، ف.، م. ه. رحمتی و پ. پاشایی. ۱۳۸۶. بررسی و تعیین میزان مصرف انرژی برای تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در گلخانه‌های استان کرمانشاه. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه فردوسی مشهد.
۳. تاکی، م.، ی. عجب‌شیرچی، ر. عبدی و م. اکبرپور. ۱۳۹۱. تجزیه و تحلیل کارایی انرژی محصول خیار گلخانه‌ای به روش تحلیل پوششی داده‌ها: مطالعه موردی (شهرستان شهرضا) استان اصفهان. نشریه ماشین‌های کشاورزی ۲(۱): ۲۷-۳۷.
۴. حسین پناهی، ف. و م. کافی. ۱۳۹۰. ارزیابی بودجه‌ی انرژی و بهره‌وری آن در مزارع تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) استان کردستان، مطالعه موردی: دشت دهگلان. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی ۴: ۱۵۹-۱۶۹.
۵. طراوتی، ح. ۱۳۹۱. نجات محیط‌زیست. انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد.
۶. عمید، م.، ا. نبوی پله‌سرایبی و ت. مصری. ۱۳۹۳. بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید نارنگی بر اساس اندازه مزرعه در استان گیلان. سومین کنگره‌ی کشاورزی ارگانیک و مرسوم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
۷. کوچکی، ع. و م. حسینی. ۱۳۶۸. سیر انرژی در اکوسیستم‌های کشاورزی. انتشارات جاوید، مشهد.

۸. موسی ایزدخواه، ش. م.، تاجبخش سیشوان و ع. حسن زاده قورت تپه. ۱۳۸۹. ارزیابی و مقایسه کارایی انرژی دو نظام کشت متداول و مکانیزه در مزارع سیب‌زمینی استان آذربایجان شرقی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۲: ۲۸۴-۲۷۲.
۹. مویدی شهرکی، ع. م.، جامی‌الاحمدی و م. بهدانی. ۱۳۸۹. بررسی کارایی انرژی زراعت زعفران. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی ۲(۱): ۵۵-۶۲.
۱۰. مهرابی بشرآبادی، ح. و ع. اسمعیلی. ۱۳۹۰. تجزیه و تحلیل ورودی خروجی انرژی در بخش کشاورزی ایران. نشریه اقتصاد کشاورزی و توسعه ۷۴: ۱-۲۸.
۱۱. میرحسینی، ع. ۱۳۹۲. تحلیل پوششی داده‌ها مدل‌ها و کاربردها. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
12. Abdi, R., M. Akbarpour and M. Taki. 2012. An analysis of energy input-output and emissions of greenhouse gases from agricultural productions. *Int. J. Nat. Eng. Sci.* 3: 73-79.
13. Banaeian, N. and M. Namdari. 2010. Effect of ownership on energy use efficiency in watermelon farms- a data envelopment analysis approach. *Int. J. Renew. Energy Res.* 1: 75-82.
14. Bojacáa, C.R., H.A. Casilimasb, R. Gila and E. Schrevensc. 2012. Extending the input-output energy balance methodology in agriculture through cluster analysis. *Energy* 47: 465-470.
15. Canakci, M. and I. Akinci. 2004. Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy* 31: 1243-1256.
16. Chauhan, N.S., P. Mohapatra and K.P. Pandey. 2006. Improving energy productivity in paddy production through benchmarking an application of data envelopment analysis. *Energy Convers. Manage.* 47: 1063-1085.
17. Cooper, W., L. Seiford and K. Tone. 2002. *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software.* Springer Science & Business Media.
18. Federico, Z. 2009. A review and an overview about energy balances in agriculture. *Cuartas Jornadas de la Asociación Argentina Uruguaya de Economía Ecológica, Buenos Aires, Argentina.*
19. Firoozi, S., M. Sheikhdavoodi and S. Mohammadi-Farani. 2014. Optimizing energy consumption efficiency for greenhouse cucumber production using the data envelopment analysis technique in Lorestan province of Iran. *I.J.E.N.S.* 3: 636-649.
20. Heidari, M. and M. Omid. 2011. Energy use patterns and econometric models of major greenhouse vegetable productions in Iran. *Energy* 36: 220-225.
21. Khoshnevisan, B. and Sh. Rafiee. 2013. Reduction of CO₂ emission by improving energy use efficiency of greenhouse cucumber production using DEA approach. *Energy* 55: 676-682.
22. Khoshnevisan, B., M. Omid and Sh. Rafiee. 2013. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy* 55: 333-338.
23. Lal, R. 2004. Carbon emission from farm operations. *Environ. Int.* 30: 981-990.
24. Mousavi-avval, S. and H.S. Rafiee. 2010. Optimization of energy consumption for soybean production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Appl. Energ.* 88: 3765-3772.
25. Mousavi-avval, S. and S. Rafiee. 2012. Energy storage in field operations of sunflower production using data envelopment analysis approach. *Int. J. Eng. Sci.* 2: 136-148.
26. Nabavi-Pelesaraei, A., A. Sadeghzadeh, M. Payman and H. Mobtaker. 2013. An analysis of energy use CO₂ emission and relation between energy inputs and yield of hazelnut production in Guilan province of Iran. *I.J.A.B.B.R.* 12: 1601-1113.
27. Nabavi-Pelesaraei, A., R. Abdi, S. Rafiee and H. Mobtaker. 2014. Optimization of energy required and greenhouse gas emissions analysis for orange producers using data envelopment analysis approach. *J. Clean. Prod.* 65: 311-317.
28. Nemecek, T., A. Heil, O. Huguenin, S. Meier, S. Erzinger, S. Blaser, D. Dux and A. Zimmermann. 2004. *Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems- Ecoinvent Data v1.1, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Ecoinvent Report.*
29. Nita, K., P. Soni and G. Shivakoti. 2013. Comparative energy input-output and financial analyses of greenhouse and open field vegetables production in west Java, Indonesia. *Energy* 53: 83-92.
30. Pahlavan, R., M. Omid and A. Akram. 2010. Application of data envelopment analysis for performance assessment and energy efficiency improvement opportunities greenhouses cucumber production. *J. Agric. Sci. Tech.* 14(6): 1243-1253.
31. Pishgar Komleh, S. and A. Keyhani. 2013. Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated area levels in Tehran province of Iran. *Energy* 36(5): 3335-3341.

32. Pishgar-Komleh, S., M. Ghahderijani and P. Sefeedpari. 2012. Energy consumption and CO₂ emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. *J. Clean. Prod.* 33: 183-191.
33. Qasemi-Kordkheili, P. and A. Nabavi-Pelesaraei. 2014. Optimization of energy required and potential of greenhouse gas emissions reductions for nectarine production using data envelopment analysis approach. *Int. J. Energy Environ.* 5: 207-218.
34. Rahbari, H., Y. Ajabshirchi and A. Mahmudi. 2012. Improving energy use efficiency of greenhouse tomato production using the data envelopment analysis (DEA) technique. *Int. J. Agr.* 3: 559-568.
35. Reig-Martinez, E. 2004. Analysing farming systems with data envelopment analysis: Citrus farming in Spain. *Agric. Sys.* 82(1): 17-30.
36. Sefeedpari, P., A. Akram and S. Rafiee. Selecting energy efficient poultry egg producers: A fuzzy data envelopment analysis approach. *Int. J. Appl. Oper. Res.* 2(2): 77-88.
37. Shokouhi, A.H., A. Hatami, L. Tavana and M.S. Saati. 2010. A robust optimization approach for imprecise data envelopment analysis. *Comp. Ind. Eng.* 59: 387-397.
38. Taki, M., Y. Ajabshirchi and H. Ghasemi Mobtaker. 2012. Energy consumption input-output relationship and cost analysis for greenhouse. *Am. J. Exp. Agric.* 2(3): 485-501.
39. William, F. 1998. Measuring performance: An introduction to data envelopment analysis (DEA). *Energy Policy* 15(2): 3-27.
40. Yousefi, M., M. Omid and Sh. Rafiee. 2013. Modeling GHG emission and energy consumption in selected greenhouses in Iran. *Int. J. Renew. Energy Res.* 4: 511-518.
41. Zegada-Lizarazu, W. and D. Matteucci. 2010. Critical review on energy balance of agricultural systems. *Energy Policy* 4: 423-446.