

بهینه‌سازی انرژی مصرفی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید عدس آبی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها

بهزاد الهامی^۱، اسداله اکرم^۲، مجید خانعلی^{۳*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳. استادیار، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۹/۱۶)

چکیده

در سال‌های اخیر افزایش مصرف نهاده‌های کشاورزی منجر به افزایش انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است. از این رو، بهینه‌سازی انرژی مصرفی و در نتیجه کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. بدین منظور، در این تحقیق، بهینه‌سازی انرژی مصرفی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید عدس آبی استان اصفهان با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. داده‌های تحقیق به شکل تصادفی و از طریق مصاحبه حضوری پرسش‌نامه‌ای با ۱۴۰ تولیدکننده عدس آبی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ جمع‌آوری شدند. بر اساس دو مدل "بازگشت به مقیاس ثابت" و "بازگشت به مقیاس متغیر"، 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. در این میان، آب آبیاری و کود نیتروژن به ترتیب با ۲۸٪ و ۲۰٪ دارای بیشترین سهم از کل انرژی ذخیره شده، بودند. مقادیر کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در شرایط واقعی و بهینه در یک هکتار زمین زراعی، به ترتیب ۹۳۰/۴۵ و ۸۸۲/۱۷ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن (۵/۱۸٪ کاهش در انتشار گازهای گلخانه‌ای) محاسبه شدند. نهاده‌های الکتریسیته و سوخت دیزل به ترتیب ۳۷٪ و ۳۲٪ از کل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص دادند.

واژه‌های کلیدی: انتشار گازهای گلخانه‌ای، انرژی، بهینه‌سازی، تحلیل پوششی داده‌ها، عدس

مقدمه

مصرفی نظیر کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی و بذور اصلاح شده همبستگی فراوانی ایجاد گردیده که نتیجه‌ی آن، تغییرات چشمگیر در افزایش الگوی مصرف انرژی و متعاقباً کاهش منابع تجدیدناپذیر بوده‌است (Pishgar-Komleh et al., 2012a). از سوی دیگر، افزایش مصرف نهاده‌های انرژی در تولیدات کشاورزی، منجر به مشکلات متعدد زیست‌محیطی همچون کاهش تنوع زیستی و آلودگی زیست‌گاه‌های آبی شده‌است (Mousavi- Avval et al., 2011). در این بین، سهم کشاورزی در انتشار گازهای گلخانه‌ای^۱ (GHG) حدود ۱۲ درصد از کل انتشارات گازهای موجود در جهان می‌باشد (Khoshnevisan et al., 2013a). بر اساس نتایج ۱۰۰ سال گذشته، میانگین دمای کره‌ی زمین در اثر انتشار بی‌رویه‌ی گازهای گلخانه‌ای افزایش یافته‌است. با توجه به منابع طبیعی محدود و اثرات نامناسب استفاده از منابع مختلف انرژی بر روی سلامتی انسان و

حبوبات از منابع با ارزش پروتئین گیاهی بوده که در رژیم غذایی انسان و تغلیف دام بسیار ارزشمند می‌باشند. حبوبات، پایداری و بهره‌وری خاک را افزایش داده و شانس استقرار بیماری‌ها، آفات و علف‌های هرز را برای محصول بعدی به‌خصوص زمانی که در تناوب با غلات قرار دارند، کاهش می‌دهند (Hematian et al., 2013). عدس (*Lens culinaris medic*)، پس از لوبیا، دال عدس (لپه هندی) و نخود زراعی از لحاظ اهمیت غذایی در میان حبوبات در رده‌ی چهارم قرار دارد (Koocheki et al., 2011). بر اساس آمار فائو، ایران با مجموع تولید حدود ۷۹۸۰۰ تن، در رده‌ی یازدهم تولیدکننده‌های عدس در جهان قرار دارد (FAO, 2014). حدود ۱۲ درصد از کل تولید این محصول در ایران، در استان اصفهان کشت می‌شود (Anonymous, 2014). در کشاورزی نوین، بین عملکرد محصولات کشاورزی و نهاده‌های

1. Greenhouse gas

* نویسنده مسئول: khanali@ut.ac.ir

مگاژول بر هکتار، بهترین کارایی انرژی در این تناوب را به خود اختصاص داده است. در این مطالعه سه نهادهای سوخت بنزین، بذر مصرفی و ماشین‌های کشاورزی به ترتیب با ۲۴۰۰، ۷۰۰ و ۴۰۰ مگاژول بر هکتار به عنوان نهادهای پرمصرف شناخته شدند (Risoud, 2000). (Patil et al., 2014) به روند مصرف انرژی در محصول نخود در کشور هندوستان پرداختند. در این پژوهش، نیروی کارگری، بذر مصرفی، کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی به ترتیب با سهم ۲۸/۵، ۲۵/۸، ۲۲/۳ و ۱۴/۸ درصد، بیشترین سهم انرژی مصرفی را به خود اختصاص دادند. در مطالعه‌ای به منظور بهینه‌سازی انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در محصول خیار در استان اصفهان با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها، به ترتیب کل انرژی مصرفی و گازهای گلخانه‌ای از مقادیر ۱۶۶۷/۱۶۴ گیگاژول بر هکتار و ۴۵۱۷۷/۳ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر هکتار در حالت واقعی به مقادیر ۱۲۵۹/۲۴۸ گیگاژول بر هکتار و ۳۴۹۹۶ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن در حالت بهینه کاهش یافتند (Khoshnevisan et al., 2013a). در تحقیق دیگری که بر روی میزان کاهش انرژی ورودی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم شهرستان اهواز صورت گرفت، مقادیر کارایی فنی^۹ (TE)، کارایی فنی خالص^{۱۰} (PTE) و کارایی مقیاس^{۱۱} (SE) به ترتیب برابر با ۰/۹۴، ۰/۹۵ و ۰/۹۸ برآورد شدند. همچنین نتایج بهینه‌سازی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها موجب کاهش ۹/۱۳٪ در انرژی مصرفی و ۷/۲۸٪ در انتشارات گلخانه‌ای نسبت به حالت اولیه گردید (Nabavi-Pelesaraei et al., 2016).

مرور منابع مرتبط نشان داد باوجود گستردگی تحقیقات در زمینه‌ی انرژی مصرفی حبوبات در کشاورزی ایران، هیچ یک از آن‌ها از دیدگاه انتشار گازهای گلخانه‌ای، پیامدهای زیست-محیطی ناشی از آن و بهینه‌سازی انتشار آلاینده‌های مرتبط با آن، به این مقوله نپرداخته‌اند. بنابراین هدف اصلی در این مطالعه بهینه‌سازی انرژی مصرفی و کاهش اثرات گلخانه‌ای در سامانه‌ی تولیدی محصول عدس با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها در استان اصفهان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نمونه برداری و جمع‌آوری اطلاعات

این مطالعه در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در پنج شهرستان فریدن،

محیط‌زیست، ضرورت بررسی الگوهای مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به منظور استفاده‌ی موثر از آن در بخش کشاورزی حیاتی است (Tzivilivakis et al., 2005). بر این اساس استفاده از روش‌های نوین بهینه‌سازی، یکی از فاکتورهای کلیدی به منظور الگوی صحیح مصرف انرژی و همچنین کاهش اثرات گلخانه‌ای می‌باشد. 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 دست یافت (Thankappan, 2003). یکی از روش‌های بهینه‌سازی که به صورت گسترده در جهت نیل به اهداف عالی سامانه‌ها به کار برده می‌شود؛ تحلیل پوششی داده‌ها^۱ (DEA) است. این تکنیک یک مدل ریاضی غیرپارامتری^۲ بوده که برای اندازه‌گیری کارایی نسبی مجموعه واحدهای تصمیم‌گیرنده‌ی^۳ (DMU) مشابه که چندین ورودی را به چندین خروجی تبدیل می‌کنند؛ به کار برده می‌شود (Zhang et al., 2009). تحلیل پوششی داده‌ها از چهار مدل اصلی شامل مدل بازگشت به مقیاس متغیر^۴ (VRS)، مدل بازگشت به مقیاس ثابت^۵ (CRS)، مدل بازگشت به مقیاس افزایشی^۶ (IRS) و مدل بازگشت به مقیاس کاهش^۷ (DRS) تشکیل شده‌است (Gheisari et al., 2007). هر کدام از مدل‌های مذکور دارای دو جهت مطالعاتی خروجی‌محور و ورودی‌محور می‌باشد. منظور از مدل ورودی‌محور این است که به چه میزان باید ورودی‌ها را با ثابت نگاه‌داشتن میزان خروجی-ها، کاهش داد تا واحد موردنظر به مرز کارایی بهینه برسد. در اندازه‌گیری‌های خروجی‌محور سعی بر آن است که با ثابت نگاه‌داشتن میزان ورودی به حداکثر میزان خروجی دست یافته و واحد به مرز کارایی بهینه برسد (Jacobs, 2006). تاکنون مطالعاتی در زمینه‌ی بهینه‌سازی انرژی مصرفی و کاهش اثرات گلخانه‌ای صورت گرفته است؛ (Nabavi-Pelesaraei et al., 2014; Khoshnevisan et al., 2014; Khoshnevisan et al., 2013b; Shamsheirband et al., 2015).

در مطالعه‌ای که در کشور فرانسه به منظور مقایسه‌ی بهره‌وری انرژی در یک سیستم تناوبی، بین محصولات عدس، آفتابگردان و گندم صورت گرفت، مشخص گردید که محصول عدس با نسبت انرژی ۱۹/۵ و افزوده‌ی خالص انرژی^۸ ۳۱۰۶۲

1. Data Envelopment Analysis
2. Nonparametric
3. Decision making units
4. Variable Return to Scale
5. Constant Return to Scale
6. Increase Return to Scale
7. Decrease Return to Scale
8. Net energy gain

9. Technical Efficiency
10. Pure Technical Efficiency
11. Scale Efficiency

(مگاژول بر کیلوگرم)، t زمان استفاده از ماشین (ساعت بر هکتار) و T عمر مفید ماشین (ساعت) می‌باشد.

$$IE = \frac{d \times g \times H \times Q}{\eta_1 \times \eta_2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در رابطه‌ی ۳، DE، انرژی مصرفی مستقیم (ژول بر هکتار)، ρ چگالی آب (۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب)، g ، شتاب جاذبه (۹/۸ متر بر مجذور ثانیه)، H ، کل ارتفاع دینامیکی بعلاوه افت اصطکاکی فشار (متر)، Q ، دبی کل آب مصرفی در فصل زراعی (متر مکعب بر هکتار)، η_1 ، بازده پمپ (تابعی از ارتفاع عمودی بالا، سرعت و جریان آب معادل ۰/۷ تا ۰/۹)، η_2 ، بازدهی کل تبدیل انرژی و توان (برای پمپ‌های برقی برابر ۰/۱۸ تا ۰/۲۰) می‌باشد (Kitani, 1999).

همچنین سایر انرژی نهاده‌های مصرفی از ضرب هم-ارزهای انرژی در میزان مصرف نهاده‌ها بر هکتار محاسبه گردیدند.

انتشارات گلخانه‌ای

فرآیندهای تولید، انتقال، شکل‌گیری، ذخیره‌سازی، توزیع و کاربرد نهاده‌های کشاورزی از طرفی و مصرف سوخت‌های فسیلی در اثر استفاده از ماشین‌های کشاورزی از سوی دیگر، موجب انتشار گاز دی اکسید کربن و دیگر انتشارات گلخانه‌ای به جو می‌گردد (Khoshnevisan et al., 2013a). در این مطالعه، میزان انتشار گاز دی اکسید کربن حاصل از مصرف نهاده‌های ماشین‌های کشاورزی، سوخت دیزل، الکتریسیته و کودها و سموم شیمیایی، از حاصلضرب مقادیر هر یک از نهاده‌ها در ضرایب انتشار مربوط به آن نهاده در هر هکتار محاسبه گردید. میزان مصرف هر یک از نهاده‌ها در تولید عدس و ضرایب انتشار مربوطه در جدول ۱، نشان داده شده‌اند.

تحلیل پوششی داده‌ها

در این مطالعه، تحلیل پوششی داده‌ها در سه مدل کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس به منظور محاسبه‌ی مقادیر بهینه‌شده در انرژی مصرفی و انتشارات گلخانه‌ای در محصول عدس آبی به کار گرفته شد. به طور کلی، تعریف کارایی که در مدل‌های تحلیل پوششی استفاده می‌شود بدین صورت می‌باشد (Charness et al., 1978):

$$\text{کارایی} = \frac{\text{مجموع خروجی وزن دار شده}}{\text{مجموع ورودی وزن دار شده}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

کارایی فنی که بر اساس مدل بازگشت به مقیاس ثابت معرفی می‌گردد، اساساً به‌وسیله‌ی واحدهای ارزیابی شده برای عملکردشان اندازه‌گیری می‌شود که وابسته به دیگر واحدها می‌باشد. این نوع کارایی از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه بوده که در

فریدون‌شهر، چادگان، تیران و سمیرم واقع در استان اصفهان اجرا گردید. این استان بین ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی خط استوا و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی نصف النهار گرینویچ قرار دارد (Anonymous, 2013). اطلاعات اولیه با استفاده از تکمیل پرسش‌نامه و مصاحبه‌ی رودررو با کشاورزان عدس‌کار این مناطق به‌دست آمد. به منظور گردآوری داده‌های موردنیاز، پرسشنامه‌ی تحقیق، حاوی سوالاتی در زمینه‌ی مقدار مصرف نهاده‌های تولیدی عدس در منطقه (سوخت دیزل، آب آبیاری، نیروی کارگری، ماشین‌های کشاورزی و ...) بود. به دلیل بالا-بودن حجم جامعه در این مطالعه، از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده گردید. پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط به ۲۵ پرسش‌نامه، از شاخص نسبت انرژی برای اندازه‌گیری انحراف معیار استفاده شد. سپس حجم نمونه‌ی مورد نیاز برای محصول عدس با استفاده از رابطه‌ی کوکران^۱ (رابطه‌ی ۱) برابر با ۱۳۴ نمونه برآورد گردید که برای بالا بردن دقت، تعداد پرسش‌نامه‌ها به ۱۴۰ نمونه در نظر گرفته شد (Elhami et al., 2016a).

(رابطه ۱)

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

$$d = \frac{(t \times s)}{\sqrt{n}}$$

که در آن N اندازه جامعه آماری یا تعداد کشاورزان عدس‌کار منطقه مورد مطالعه، t ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول تی-استیودنت^۲ به دست می‌آید؛ k^2 برآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه، d دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) و n حجم نمونه است.

این مطالعه به دنبال مطالعه‌ی انجام شده در استان اصفهان که به مدل‌سازی شاخص‌های انرژی و اقتصادی در تولید عدس و نخود زراعی پرداخته‌است، اجرا شد (Elhami et al., 2016b). بر این اساس هم‌ارزهای انرژی و میزان مصرف هر یک از نهاده‌ها در تولید عدس از مطالعه‌ی مذکور اقتباس گردید. انرژی مصرفی در دو نهاده‌ی ماشین‌های کشاورزی و آب آبیاری به ترتیب از روابط ۲ و ۳ محاسبه می‌گردد (Kitani, 1999; Pishgar-Komleh et al., 2012a):

$$ME = \frac{G \times M_p \times t}{T} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن ME انرژی ماشین در واحد سطح (مگاژول بر هکتار)، G جرم ماشین (کیلوگرم)، M_p هم‌ارز مربوط به ماشین

1. Cochran
2. t- student

واقع همان مدل برنامه ریزی خطی در رابطه ی ۴ می باشد:

به طوری که؛

در این رابطه: k مقادیر مربوط به ورودی ها، y خروجی مورد نظر، m و s به ترتیب تعداد ورودی ها و خروجی های تولیدی توسط واحدهای تصمیم گیرنده، و v_{ik} و u_{rk} به ترتیب ماتریس اوزان ورودی ها و خروجی ها می باشد.

$$\begin{aligned} \text{Max } h_k &= \frac{\sum_{r=1}^s (u_{rk} y_{rk})}{\sum_{i=1}^m (v_{ik} x_{ik})} & \text{(رابطه ۵)} \\ \frac{\sum_{r=1}^s (u_{rk} y_{rk})}{\sum_{i=1}^m (v_{ik} x_{ik})} &\leq 1; \quad j = 1, \dots, n \\ u_{rk}, y_{rk} &\geq 0; \quad r = \\ &1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

جدول ۱. ضرایب و میزان انتشار گازهای گلخانه ای در تولید محصول عدس در استان اصفهان

| مرجع | ضریب انتشار گلخانه ای (کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر واحد) | میزان مصرف هر نهاده (واحد بر هکتار) | نهاده (واحد) |
|------------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------|
| (Dyer and Desjardins, 2006) | ۰/۰۷۱ | ۶۳۱/۷۰ | ۱- ماشین ها (مگاژول) |
| (Lai, 2004) | ۱/۳ | ۱۳۴/۳۱ | ۲- کودهای شیمیایی (کیلوگرم) |
| (Lai, 2004) | ۰/۲ | ۱۳۱/۳۵ | الف) نیتروژن |
| (Lai, 2004) | ۰/۲ | ۷۵/۲۸ | ب) فسفات |
| (Lai, 2004) | ۵/۱ | ۵/۱۳ | ج) پتاسیم |
| (Dyer and Desjardins, 2003) | ۲/۷۶ | ۱۰۸/۳۹ | ۱- سموم شیمیایی (کیلوگرم) |
| (Khoshnevisan et al., 2013b) | ۰/۶۰۸ | ۵۶۵ | ۲- سوخت دیزل (لیتر) |
| | | | ۳- الکتريسيته (کیلو وات ساعت) |

کارایی فنی کمتر از یک می باشد یعنی بر روی خط بازگشت به مقیاس ثابت قرار نگرفته اند و برای تعیین نوع بازگشت به مقیاسی (افزایشی یا کاهششی)، یک آزمون اضافی نیاز است. بر این اساس، اگر نتایج حاصل از مدل بازگشت به مقیاس کاهششی و مدل بازگشت به مقیاس متغیر نزدیک به هم باشند، در این صورت، کشاورزان با کارایی فنی خالص، دارای بازگشت به مقیاس کاهششی می باشند و در غیر این صورت بازگشت به مقیاس آن ها افزایشی است (Khoshnevisan et al., 2013b). به منظور تعیین سطح عدم کارایی در انرژی مصرفی از رابطه ی محاسبه نسبت انرژی صرفه جویی شده به شکل زیر استفاده شد (Ghasemi-Mobtaker et al., 2012):

(رابطه ۸)

$$j(ESTR) = \frac{\text{انرژی ذخیره شده مطلوب}}{\text{انرژی ورودی واقعی}} \times 100$$

در این رابطه، محدوده ی نسبت انرژی صرفه جویی شده بین صفر و یک می باشد. هر چه نسبت این کسر بیشتر شود ناکارایی کشاورزان مورد مطالعه در انرژی مصرف شده افزایش یافته و قابلیت میزان انرژی ذخیره شده نیز افزایش می یابد (Ghasemi-Mobtaker et al., 2012). همچنین در این مطالعه از روش ورودی محور برای ارزیابی مقادیر بهینه یافته ی نهاده ها

کارایی فنی خالص، همان کارایی فنی بوده که متأثر از جابه جایی کارایی مقیاس بر اساس مدل بازگشت به مقیاس متغیر است. در این مدل با تغییر یک واحد در ورودی ها خروجی با نسبت متغیری افزایش یا کاهش پیدا می کند. رابطه ی خطی زیر نحوه محاسبه ی کارایی فنی خالص را نشان می دهد (Banker et al., 1984):

$$\begin{aligned} \text{Max } z &= u y_j - u_j & \text{(رابطه ۶)} \\ v x_i &= 1; \quad -v x + u y - u_0 e \leq 0 \\ v &\geq 0, u \geq 0 \end{aligned}$$

به طوری که:

x و y به ترتیب مقدار ورودی و خروجی مدل و u_0 و z به ترتیب مربوط به ماتریس اوزان ورودی و خروجی مدل است.

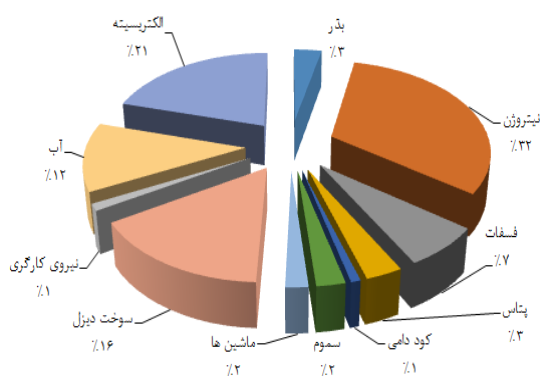
کارایی مقیاس نیز بنا به تعریف، پتانسیل بالقوه ی دستیابی به مقدار بهینه برای یک واحد تصمیم گیرنده می باشد و از رابطه ی زیر قابل محاسبه است (Mousavi - Avval et al., 2011):

$$\text{(رابطه ۷)} \quad \text{SE} = \frac{\text{TE}}{\text{PTE}}$$

وقتی که مقادیر کارایی فنی و کارایی فنی خالص یکسان باشند نشان از کارایی مقیاس بوده و در غیر این صورت پارامتر مقیاس ناکارا است. نکته ی قابل ذکر در این است که کشاورزانی که دارای کارایی فنی برابر یک هستند حتماً دارای کارایی فنی خالص برابر یک نیز می باشند. بنابراین وقتی کشاورزی دارای

1. energy saving target ratio

روند مصرف انرژی در کشت عدس در استان خراسان رضوی پرداختند. براساس نتایج به‌دست آمده، انرژی‌های ورودی و خروجی به ترتیب ۱۴۱۱۴/۸ و ۲۵۲۸۲/۵ مگاژول بر هکتار گزارش شدند. همچنین سوخت دیزل و آب آبیاری به ترتیب ۲۴٪ و ۱۹٪ از کل انرژی ورودی در تولید عدس این استان را به خود اختصاص دادند. در پژوهشی دیگر، به مقایسه‌ی روند مصرف انرژی در تولید عدس برای دو کشت ارگانیک و مرسوم در شهرستان کوهدشت پرداخته شد. نتایج نشان داد که کل انرژی ورودی برای کشت مرسوم و ارگانیک به ترتیب برابر با ۵۰۶۲ و ۶۱۹۶/۵ مگاژول بر هکتار محاسبه گردیدند؛ در حالی که نسبت انرژی برای کشت ارگانیک (۲/۱۲) نسبت به کشت یکپارچه (۲/۰۵) مقدار بیشتری به‌دست آمد. همچنین سوخت دیزل و بذر مصرفی در هر دو کشت به عنوان پرمصرف‌ترین نهاده‌های مصرفی شناخته شدند (Asakereh et al., 2010).



شکل ۱. سهم نهاده‌های مصرفی در تولید عدس آبی در منطقه مورد مطالعه

نتایج تحلیل پوششی داده‌ها در روند انرژی مصرفی

برآورد انواع کارایی در بهینه‌سازی مصرف انرژی

نتایج مدل نرخ بازگشت به مقیاس ثابت و نرخ بازگشت به مقیاس متغیر در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود از کل ۱۴۰ تولیدکننده‌ی عدس، ۱۱۰ کشاورز با استفاده از مدل بازگشت به مقیاس متغیر دارای کارایی فنی خالص برابر ۱ بودند. همچنین کارایی فنی ۴۴ کشاورز بر اساس مدل بازگشت به مقیاس ثابت برابر با ۱ بود. بنابراین ۶۶ کشاورز دارای کارایی فنی خالص برابر ۱ و کارایی فنی کمتر از ۱ بوده که این اختلاف به دلیل نامناسب بودن مقیاس تولید برای آن‌ها می‌باشد. همچنین کارایی مقیاس ۷۴ کشاورز برابر با یک بود. در ضمن از مجموع کل کشاورزان ناکارا، ۳۰ و ۷۴ کشاورز به ترتیب دارای کارایی فنی خالص و کارایی فنی در محدوده ۰/۹ تا ۱ بودند.

استفاده گردید؛ زیرا چندین نهاد به عنوان ورودی مدل مشخص شده است؛ این در حالی است که تنها یک خروجی (عملکرد عدس) وجود دارد.

به منظور تحلیل داده‌ها، ابتدا داده‌ها قبل از اجرا به صورت یک کاربرگ در نرم افزار اکسل ۲۰۱۳ آماده شد تا نرم افزار بتواند آن‌ها را درک کند. از نرم افزار اندازه‌گیری کارایی سامانه‌ها (EMS V1.3) برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و بررسی کارایی واحدها استفاده شد. مزارع از نظر مصرف انرژی و عملکرد تولید و همچنین روند انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس واحدهای کارا و ناکارا مشخص شده و میزان انرژی نهاده‌ها و انتشارات گلخانه‌ای در حالت بهینه محاسبه و تفاوت آن‌ها با حالت واقعی مشخص گردید.

نتایج و بحث

سهم هر یک از نهاده‌ها در مصرف انرژی

بر اساس نتایج به‌دست آمده در ستون سوم جدول ۲، مجموع انرژی ورودی و خروجی در تولید محصول عدس آبی به ترتیب برابر با ۳۲۹۷۰/۱ و ۲۹۷۴۶/۵ مگاژول بر هکتار محاسبه شدند. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص شده‌است، کود نیترژن، الکتریسیته، سوخت دیزل و آب آبیاری به ترتیب با سهم ۳۲٪، ۲۱٪، ۱۶٪ و ۱۲٪ بیشترین سهم را در بین نهاده‌های مصرفی به خود اختصاص داده‌اند.

میزان مصرف کود نیترژن به عنوان پرمصرف‌ترین نهاد، ریشه در باورهای نادرست کشاورزان این منطقه دارد. استفاده‌ی مناسب و بهینه از کودها و آگاهی از ترکیبات به کار رفته در آن‌ها می‌تواند تأثیر به‌سزایی در کاهش مصرف کود داشته باشد. در این منطقه تقریباً کل نهاده‌ی الکتریسیته به منظور پمپاژ آب آبیاری استفاده می‌شود. عدم انتخاب صحیح پمپ‌های آبیاری برای استخراج آب از چاه‌ها، یکی از اشکالات عمده در کلیه‌ی مزارع بوده است که باعث عدم کارایی پمپ در بازدهی بالا می‌شود. همچنین بیشترین میزان مصرف سوخت در منطقه مورد مطالعه، مربوط به عملیات خاک‌ورزی بوده که با وجود سهم پایین ماشین‌ها در کل انرژی نهاده‌ها، میزان سوخت بالایی در طی این فرآیند مصرف می‌شود. این مطلب حاکی از کارایی پایین ماشین‌ها در اثر عدم تعمیر به موقع، عدم نگهداری مناسب و عدم تعویض به موقع آن‌ها می‌باشد.

(Koocheki et al., 2011) نیز در مطالعه‌ای، به ارزیابی

جدول ۲. مقادیر مصرف واقعی و بهینه انرژی معادل نهاده‌های مختلف در تولید عدس

| انحراف معیار نهاده‌ها (SD) | مقدار واقعی مصرف (مگاژول در هکتار) | مقدار بهینه مصرف (مگاژول در هکتار) | مقدار انرژی ذخیره شده (مگاژول در هکتار) | درصد صرفه‌جویی (ESTR)j | نهاده‌ها (واحد) |
|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------|---|
| ۹۳/۶۶ | ۱۰۹۹/۳۵ | ۱۰۸۳/۵۳ | ۱۵/۸۱ | ۱/۴۰ | ۱- بذر (کیلوگرم) ۲- کودهای شیمیایی (کیلوگرم) |
| ۲۱۴۱/۴۲ | ۱۰۵۳۷/۹۲ | ۱۰۳۳۵/۹۷ | ۲۰۱/۹۴ | ۱/۹۰ | الف) نیتروژن |
| ۴۱۴/۴۰ | ۲۲۸۵/۶۱ | ۲۲۵۰/۵۵ | ۳۵/۰۶ | ۱/۵۰ | ب) فسفات |
| ۵۸۰/۲۲ | ۱۰۳۱/۳۴ | ۹۴۴/۲۸ | ۸۷/۰۵ | ۸/۴۰ | ج) پتاسیم |
| ۵۷۶/۵۵ | ۲۶۷/۸۵ | ۱۳۹/۶۷ | ۱۲۸/۱۸ | ۴۷/۸۰ | ۳- کود دامی (کیلوگرم) |
| ۱۰۰/۳۵ | ۸۰۳/۷۵ | ۷۸۹/۶۳ | ۱۴/۱۲ | ۱/۷۰ | ۴- سموم شیمیایی (کیلوگرم) |
| ۱۹۹/۴۵ | ۶۳۱/۷۰ | ۵۹۱/۷۰ | ۳۹/۸۶ | ۶/۳۰ | ۵- ماشین‌ها (کیلوگرم) |
| ۶۱۱/۷۰ | ۵۱۸۱/۱۷ | ۵۰۶۸/۰۱ | ۱۱۳/۱۶ | ۲/۱۰ | ۶- سوخت دیزل (لیتر) |
| ۲۹/۶۶ | ۳۹۴/۱۷ | ۳۹۰/۴۲ | ۳/۷۸ | ۰/۹۰ | ۷- نیروی کارگری (ساعت) |
| ۴۸۴/۵۲ | ۳۹۵۷/۲۱ | ۳۶۶۵/۹۲ | ۲۹۱/۲۹ | ۷/۳۶ | ۸- آب آبیاری (متر مکعب) |
| ۱۲۸۴/۸۴ | ۶۷۸۰/۰۰ | ۶۶۷۹/۱۵ | ۱۰۰/۸۴ | ۱/۴۰ | ۹- الکتریسیته (کیلووات ساعت) |
| | ۳۲۹۷۰/۱۰ | ۳۱۹۳۸/۸۷ | ۱۰۳۱/۲۳ | ۳/۱۲ | کل انرژی ورودی |
| | ۲۹۷۴۶/۵۰ | - | - | - | کل انرژی خروجی |

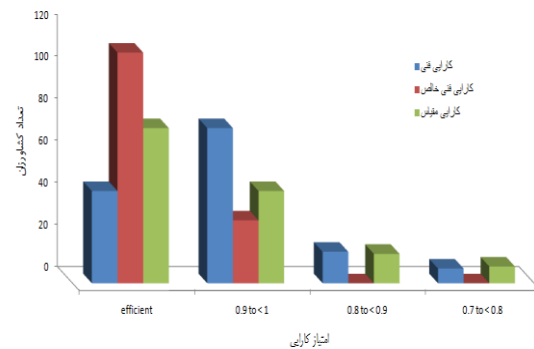
استان اصفهان به ترتیب برابر با ۰/۹۴، ۰/۹۹ و ۰/۹۴ گزارش گردید. همچنین مشخص شد که به علت پراکندگی زیاد در مقدار کارایی فنی، کشاورزان مورد مطالعه نهاده‌های مختلف را بیش از حد نیاز مصرف کرده‌اند (Elhami et al., 2016a).

جدول ۳. مقادیر مختلف کارایی‌های مختلف کشاورزان در مصرف انرژی برای تولید عدس در استان اصفهان

| عنوان | میانگین | انحراف معیار | حداقل | حداکثر |
|-----------------|---------|--------------|-------|--------|
| کارایی فنی | ۰/۹۶۰ | ۰/۰۶۲ | ۰/۷۴۷ | ۱ |
| کارایی فنی خالص | ۰/۹۹۸ | ۰/۰۰۳ | ۰/۹۷۷ | ۱ |
| کارایی مقیاس | ۰/۹۶۱ | ۰/۰۶۲ | ۰/۷۵۰ | ۱ |

بهبودسازی مصرف انرژی و میزان ذخیره انرژی در هر یک از نهاده‌های مصرفی

در ستون چهارم جدول ۲ مقادیر انرژی مورد نیاز در وضعیت مصرف بهینه انرژی برای تولید عدس آبی در منطقه‌ی مورد نظر نشان داده شده‌اند. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد میزان کل انرژی مورد نیاز در حالت مصرف بهینه نهاده‌ها برابر ۳۱۹۳۸/۸۷ مگاژول بر هکتار به دست آمد. بنابراین، بدون کاهش در عملکرد عدس، می‌توان ۳/۱۲٪ در انرژی ورودی کل صرفه‌جویی کرد. همچنین انرژی کود دامی با اختلاف چشمگیری نسبت به سایر نهاده‌ها با ۴۷٪ صرفه‌جویی انرژی و پس از آن کود پتاسیم، آب



شکل ۲. فراوانی کشاورزان از نظر امتیاز کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس در مصرف انرژی عدس

مقادیر میانگین کارایی‌های مختلف و انحراف معیار آن‌ها برای تولیدکنندگان محصول عدس در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس برای کشاورزان به ترتیب برابر با ۰/۹۶۰، ۰/۹۹۸ و ۰/۹۶۱ تعیین شدند. با توجه به مقادیر مربوط به انحراف معیار، پراکندگی کارایی فنی نسبت به کارایی فنی خالص بسیار زیادتر است. این نتیجه نشان می‌دهد که همه‌ی کشاورزان از روش‌های صحیح تولید آگاهی نداشته و یا نهاده‌های مختلف را در زمان مناسب و به مقدار بهینه استفاده نکرده‌اند.

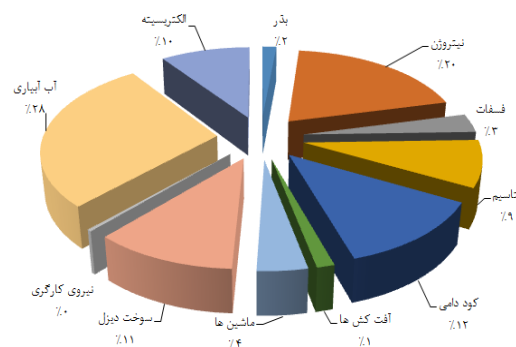
در مطالعه‌ی مقادیر کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس برای کشاورزان تولیدکننده‌ی نخود زراعی در

مقایسه‌ی مقادیر واقعی و بهینه‌شده در انتشارات گلخانه‌ای میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در حالت واقعی و بهینه‌شده در جدول ۴ درج شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده میزان کل انتشارات گلخانه‌ای در یک هکتار زمین زراعی برابر با ۹۳۰/۵ کیلوگرم معادل کربن اکسید بوده که الکتریسیته، سوخت دیزل و کود نیتروژن به ترتیب با ۳۷٪، ۳۲٪ و ۱۹٪ بیشترین سهم از کل انتشارات گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند. مصرف کودهای شیمیایی (به خصوص کود نیتروژن) بیش از نیاز گیاه، علاوه بر انتشار فراوان گازهای گلخانه‌ای سبب آلودگی آب و خاک نیز می‌گردد. همچنین انتشارات مربوط به مصرف سوخت دیزل به دلیل استفاده از تراکتورهای فرسوده در عملیات مختلف کشاورزی، عدم تناسب ظرفیت توانی بین ماشین‌ها و تراکتور و ایجاد انرژی بسیار زیاد ناشی از عملیات شدید خاکورزی می‌باشد. استفاده از روش‌های مناسب خاکورزی نظیر روش استفاده از ماشین‌های کمینات، موجب کاهش سوخت مصرفی در منطقه می‌گردد. از طرفی در مزارع کوچکتر به منظور پخش کودهای شیمیایی و آفت کش‌های مصرفی، استفاده از نیروی کارگری به جای ماشین‌های کشاورزی باعث کاهش سوخت مصرفی در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌شود. همچنین استفاده از الکتروموتورهای جدید و با قابلیت اطمینان کاری بالا و کسب آگاهی کشاورزان از نیاز واقعی آب در مراحل مختلف تولید محصول عدس، باعث کاهش انتشارات گلخانه‌ای مربوط به الکتریسیته مصرفی می‌گردد.

Khakbazan et al., (2009) به مقایسه‌ی انتشارات گلخانه‌ای در کشت تناوبی محصولات گندم و نخود پرداختند. بر این اساس کل انتشارات گلخانه‌ای در تولید یک هکتار محصول نخود و گندم به ترتیب برابر با ۲۵۰ و ۷۶۸ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن به‌دست آمدند. همچنین نسبت عملکرد محصولات به کل انتشارات گلخانه‌ای در محصولات نخود و گندم نیز به ترتیب برابر با ۱۲/۶ و ۳/۶۵ کیلوگرم عملکرد بر کیلوگرم معادل دی اکسید کربن برآورد شدند که نشان از بازدهی بیشتر محصول نخود نسبت به گندم می‌باشد. در مطالعه‌ی به منظور محاسبه‌ی انتشارات گلخانه‌ای در تولید گندم در استان اصفهان، الکتریسیته مصرفی و کود نیتروژن به ترتیب با ۲۰۰۴/۷ (۰/۷۴) و ۳۷۱/۲ (۰/۱۴) کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر هکتار دارای بیشترین سهم مصرفی از بین دیگر نهاده‌ها بوده‌اند (Khoshnevisan et al., 2013b). همچنین Pishgar-Komleh et al., (2012b) نشان دادند که کودهای شیمیایی با ۳۷۰ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن (۳۷ درصد از کل انتشارات) و سوخت دیزل با ۳۲۵/۵ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن (۳۳

آبیاری و ماشین‌های کشاورزی به ترتیب با ۸/۴٪، ۷/۳۶٪ و ۶/۳٪ صرفه‌جویی انرژی در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در مطالعه‌ی به منظور بهینه‌سازی انرژی مصرفی در تولید کلزا در استان گلستان گزارش گردید که اگر کشاورزان از توصیه‌های ارائه شده در تحقیق پیروی کنند، کل انرژی مصرفی برای تولید این محصول می‌تواند به اندازه‌ی ۲۰/۱۲٪ بدون تغییر در عملکرد محصول، کاهش داشته باشد. همچنین نهاده‌های الکتریسیته و ماشین‌ها به ترتیب با ۳۵٪ و ۹٪ بیشترین کاهش مصرف انرژی را در تولید کلزا به خود اختصاص دادند (Mousavi-Avval et al., 2011).

سهم هر یک از نهاده‌های انرژی در میزان کل انرژی ذخیره‌شده با استفاده از مدل نرخ بازگشت به مقیاس متغیر در شکل ۳ نشان داده شده است. بر این اساس، نهاده‌های آب آبیاری، کود نیتروژن و کود دامی به ترتیب با ۲۸٪، ۲۰٪ و ۱۲٪ دارای بیشترین سهم از کل انرژی ذخیره شده هستند. به منظور کاهش مصرف انرژی معادل آبیاری، توصیه می‌شود که سامانه‌های سنتی آبیاری در کشت عدس در استان اصفهان، مورد بازنگری قرار گرفته و کارایی آبیاری در مزارع عدس منطقه مورد مطالعه، تا حد امکان افزایش یابد. بدین منظور یکپارچه‌سازی مزارع، تسطیح مناسب زمین‌ها و ایجاد شیب مناسب برای آبیاری می‌تواند زمینه را برای تحقق این هدف مهیا سازد. همچنین مقایسه‌ی بین نتایج این تحقیق و مطالعه‌ی انجام شده بر روی محصول عدس در استان خراسان رضوی (Koocheki et al., 2011) نشان می‌دهد که استفاده‌ی بی‌رویه از نهاده‌ی کودهای شیمیایی، به علت عدم آگاهی کشاورزان از میزان مصرف صحیح این نهاده می‌باشد. کوددهی بر اساس نیاز گیاه، تناوب زراعی صحیح محصولات مورد مطالعه با گیاهان خانواده‌ی بقولات، کاربرد کودهای کمپوست و کودهای سبز می‌تواند در کاهش مصرف کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژن مفید واقع شود.



شکل ۳. سهم نهاده‌های مختلف در ذخیره‌سازی انرژی در تولید عدس با روش نرخ بازگشت به مقیاس متغیر

دارد. همچنین گاز طبیعی با سهم ۶۵٪ بیشترین پتانسیل کاهش انتشارات گلخانه‌ای را داشته است (Khoshnevisan et al., 2014). همچنین Pahlavan et al., (2012) در مطالعه‌ای که به بهینه‌سازی انرژی مصرفی در کشت گل رز با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در استان اصفهان پرداختند، نشان دادند که کود دامی، کودهای شیمیایی و الکتریسیته به ترتیب با ۱۹، ۱۸/۱۹ و ۱۸/۱۴ درصد، بیشترین سهم را در کاهش انتشارات گلخانه‌ای به خود اختصاص می‌دهند.

درصد از کل انتشارات) بیشترین میزان انتشارات گلخانه‌ای را در تولید یک هکتار سیب‌زمینی تولید می‌کنند.

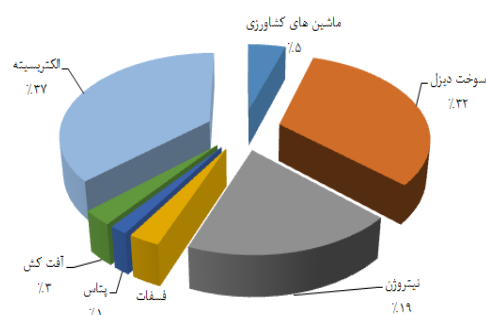
همان طور که در ستون آخر این جدول قابل مشاهده است، روش تحلیل پوششی داده‌ها قادر به کاهش کل انتشارات گلخانه‌ای به میزان ۴۸/۲۸ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن می‌باشد. در مطالعه‌ای بر روی میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید توت فرنگی استان گیلان، نشان داده شد که تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها قابلیت کاهش ۵۷۷۴ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن در کشت یک هکتار محصول تولیدی را

جدول ۴. میزان کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای در حالات مصرف واقعی و بهینه نهاده‌های تولیدی کشت عدس در استان اصفهان

| نهاده (واحد) | مقدار واقعی مصرف (کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر هکتار) | مقدار بهینه مصرف (کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر هکتار) | کاهش انتشارات گلخانه‌ای (کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر هکتار) |
|-----------------------|---|---|--|
| ۱- ماشین‌های کشاورزی | ۴۴/۸۵ | ۴۲/۲۷ | ۲/۵۷ |
| ۲- کودهای شیمیایی | | | |
| الف) نیتروژن | ۱۷۵/۴۰ | ۱۶۳/۳۱ | ۱۲/۰۹ |
| ب) فسفات | ۲۶/۲۷ | ۲۴/۸۵ | ۱/۴۱ |
| ج) پتاسیم | ۱۵/۰۵ | ۱۲/۵۷ | ۲/۴۸ |
| ۳- سموم شیمیایی | ۲۶/۱۸ | ۲۵/۱۲ | ۱/۰۵ |
| ۴- سوخت دیزل | ۲۹۹/۱۶ | ۲۹۰/۳۱ | ۸/۸۴ |
| ۵- الکتریسیته | ۳۴۳/۵۰ | ۳۲۳/۷۱ | ۱۹/۸۰ |
| کل انتشارات گلخانه‌ای | ۹۳۰/۴۵۵ | ۸۸۲/۱۷۸ | ۴۸/۲۸ |

از تولیدکنندگان منطقه به ترتیب با استفاده از مدل‌های بازگشت به مقیاس ثابت و بازگشت به مقیاس متغیر کارا شدند. کل انرژی مصرفی و انتشارات گلخانه‌ای به ترتیب از ۳۲/۹۷ گیگاژول بر هکتار و ۹۳۰/۴۵ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر هکتار در حالت واقعی به ۳۱/۹۳ گیگاژول بر هکتار (۳/۱۲٪ ذخیره انرژی) و ۸۸۲/۱۷ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر هکتار (۵/۱۸٪ کاهش انتشارات) در حالت بهینه کاهش یافت. همچنین آب آبیاری و کود نیتروژن به ترتیب با ۲۸٪ و ۲۰٪ دارای بیشترین سهم از کل انرژی ذخیره شده را به خود اختصاص دادند. عدم کارایی سیستم‌های آبیاری، استفاده از الکتروموتورهای فرسوده و عدم آگاهی کشاورزان از نیاز واقعی آب مورد نیاز گیاه، از دلایل افزایش انرژی مصرفی در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. بنابراین توصیه به بازنگری سامانه‌های فرسوده و از کارافتاده در بخش آبیاری می‌گردد. مدیریت مصرف کودهای شیمیایی، تحقیقات کاربردی به منظور تعیین میزان نیاز گیاه به مواد غذایی در مراحل مختلف رشد و تعیین مقدار مناسب کود شیمیایی مورد نیاز خاک با استفاده از آزمون خاک نیز علاوه بر کاهش انرژی مصرفی این نهاد، نقش به‌سزایی در کاهش انتشارات گلخانه‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه دارد.

سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی در کاهش پتانسیل انتشارات گلخانه‌ای در شکل ۴ مشخص شده است. با توجه به این شکل الکتریسیته مصرفی، سوخت دیزل و کود نیتروژن بیشترین پتانسیل کاهش انتشارات گلخانه‌ای به ترتیب با ۳۷٪ و ۳۲٪ و ۱۹٪ از سهم کل کاهش یافته‌ی انتشارات را به خود نسبت داده‌اند.



شکل ۴. سهم نهاده‌های تولیدی در کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای در تولید عدس در استان اصفهان با مصرف بهینه نهاده‌های تولیدی

نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش انتشارات گلخانه‌ای در سامانه‌ی تولیدی محصول عدس در استان اصفهان از روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شد. حدود ۷۸٪ و ۲۸٪

معرفی نمادها

| | | | |
|----------|-------------------------------------|-------|---|
| s | تعداد خروجی‌ها در مدل رابطه‌ی ۳ | d | دقت احتمالی مطلوب |
| T | عمر ماشین | DE | انرژی مصرفی |
| t | زمان استفاده از ماشین | G | جرم ماشین کشاورزی |
| t | ضریب اطمینان قابل قبول در سطح ۵٪ | g | شتاب جاذبه |
| x | مقادیر ورودی در مدل رابطه‌ی ۴ | H | مجموع ارتفاع دینامیکی و افت استاتیکی فشار |
| y | مقدار خروجی در مدل رابطه‌ی ۳ و ۴ | k | مقادیر ورودی در مدل رابطه‌ی ۳ |
| z | ماتریس اوزان خروجی در مدل رابطه‌ی ۴ | M_E | انرژی ماشین کشاورزی |
| ρ | چگالی آب آبیاری | Mp | هم ارز انرژی ماشین کشاورزی |
| η_1 | بازده پمپ | m | تعداد ورودی‌ها در مدل رابطه‌ی ۳ |
| η_2 | بازدهی کل تبدیل انرژی و توان | N | اندازه جامعه آماری |
| u_0 | ماتریس اوزان ورودی در مدل رابطه‌ی ۴ | n | حجم نمونه |
| u_{rk} | ماتریس اوزان خروجی در مدل رابطه‌ی ۳ | Q | دبی مصرفی آب در فصل زراعی |
| v_{ik} | ماتریس اوزان ورودی در مدل رابطه‌ی ۳ | S^2 | واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه |

REFERENCES

- Asakereh, A., Shiekhdavoodi, M.J. and Safaieenejad, M. (2010). Energy Consumption Pattern of Organic and Conventional Lentil in Iran A Case Study: Kuhdasht County. *Asian Journal of Agricultural Sciences* 2(3), 111-116.
- Anonymous (2014). Annual agricultural statistics. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. <http://www.maj.ir>.
- Anonymous (2013). Statistical Yearbook of Esfahan province in Iran. <http://amar.org.ir>.
- Banker, R., Charnes, A., and Cooper, W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science* 30, 1078-1092.
- Charnes, A., Cooper, W.W., and Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 2, 429-444.
- Dyer, J.A., and Desjardins, R.L. (2003). Simulated farm fieldwork, energy consumption and related greenhouse gas emissions in Canada. *Biosystems Engineering* 85(4), 503-513.
- Dyer, J.A., and Desjardins, R.L. (2006). Carbon dioxide emissions associated with the manufacturing of tractors and farm machinery in Canada. *Biosystems Engineering* 93(1), 107-118.
- Elhami, B., Akram, A., and Khanali, M. (2016a). Optimization of energy consumption and environmental impacts of chickpea production using data envelopment analysis (DEA) and multi objective genetic algorithm (MOGA) approaches. *Information Processing in Agriculture*, 3(3), 190-205.
- Elhami, B., Akram, A., Khanali, M., and Mousavi-Avval, S.H. (2016b). Application of ANFIS and Cobb-Douglas models to predict the output energy and benefit to cost ratio of lentil and chickpea production (a case study in Iran). *Energy Equipment and System xxx* (In press).
- FAO (2014). <http://www.fao.org>.
- Ghasemi-Mobtaker, H., 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, 242-248.
- Gheisari, K., Mehmoo, H., and Gafarian, A. (2007). An introduction to the fuzzy data envelopment analysis, Vol. 1, pp.184. Center of Scientific Publications Qazvin Islamic Azad University (In Farsi).
- Hematian, A., Bakhtiari, A.A., Moradipour, M., and Zarei-Shahamat. (2013). Energetic Evaluation in Cultivation of Dryland Chickpea and Assessment Its Energy and Economic Indexes in Kermanshah and Hamadan Provinces, Iran. Eighth National Congress of Agricultural Engineering (Biosystems) and mechanization Iran, Mashhad, Ferdowsi University of Mashhad (In Farsi).
- Jacobs, R., Smith, P. and Street, A. (2006). Measuring efficiency in health care: Analytic techniques and health policy, Cambridge University Press: Cambridge. <https://pure.york.ac.uk>.
- Khakbazan, M., Mohr, R.M., Derksen, D.A., Monreal, M.A., Grant, C.A., Zentner, R.P., Moulin, A.P., McLaren, D.L., Irvine, R.B., and Nagy, C.N. (2009). Effects of alternative management practices on the economics, energy and GHG emissions of a wheat-pea cropping system in the Canadian prairies. *Soil & Tillage Research* 104, 30-38.

- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., and Mousazadeh, H. (2013a). Reduction of CO₂ emission by improving energy use efficiency of greenhouse cucumber production using DEA approach. *Energy* 55, 676-682.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., and Mousazadeh, H. (2013b). Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce GHG (greenhouse gas) emission of wheat production. *Energy* 58, 588-593.
- Khoshnevisan, B., Shariati, H.M., Rafiee, S., and Mousazadeh, H. (2014). Comparison of energy consumption and GHG emissions of open field and greenhouse strawberry production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29, 316-324.
- Kitani, O. (1999). Energy and Biomass Engineering. In "CIGR Handbook of Agricultural Engineering", Vol. 5, pp. 330. St. Joseph, MI: ASAE.
- Koocheki, A., Ghorbani, R., Monadi, F., Alizadeh, Y., and Moradi, R. (2011). Pulses Production Systems in Term of Energy Use Efficiency and Economical Analysis in Iran, *International Journal of Energy Economics and Policy* 4(1), 95-106.
- Lai, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International* 30(7), 981-990.
- Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, S., Jafari, A., and Mohammadi, A. (2011). Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Energy* 36, 2765-2772.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, S., and Taromi, K. (2014). Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce greenhouse gas emission of rice production. *Engineering in Agriculture, Environment and Food* 7(4):155-162.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Qasemi-Kordkheili, P., Kouchaki-Penchah, H., and Riahi-Dorcheh, F. (2016). Applying optimization techniques to improve of energy efficiency and GHG (greenhouse gas) emissions of wheat production. *Energy* 103, 672-678.
- Pahlavan, R., Omid, M., Rafiee, S., and Mousavi-Avval, S.H. (2012). Optimization of energy consumption for rose production in Iran. *Energy for Sustainable Development* 16, 236-241.
- Patil, S.L., Mishra, P.K., Loganandhan, N., Ramesha, M.N., and Math, S.K.N. (2014). Energy, economics, and water use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in Vertisols of semi-arid tropics, India. *Mechanics Research Communications* 107, 656-664.
- Pishgar-Komleh, S.H., Keyhani, A., Mostofi-Sarkari, M.R., and Jafari, A. (2012a). Energy and economic analysis of different seed corn harvesting systems in Iran. *Energy* 43, 469-476.
- Pishgar-Komleh, S.H., Ghahderijani, M., Sefeedpari, P. (2012b). Energy consumption and CO₂ emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. *Journal of Cleaner Production* 33, 183-191.
- Risoud, B. (2000). Energy efficiency of various French farming systems: questions to sustainability. In International Conference Sustainable energy: new challenges for agriculture and implications for land use 18-20.
- Shamshirband, S., Khoshnevisan, B., Yousefi, M., Bolandnazar, E., Anuar, N.B., Abdol Wahab, A.W., and RehmanKhan, S.U. (2015). A multi-objective evolutionary algorithm for energy management of agricultural systems- A case study in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 44, 457-465.
- Thankappan, S. (2003). Rural energy and agricultural interactions in 2000 AD: A study of Uttar Pradesh. *Indian Journal of Agricultural Economics* 6, 47-53.
- Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., and Jaggard, K. (2005). An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the Ukrain. *Agricultural Systems* 85, 101-119.
- Zhang, X., Huang, G.H., Lin, Q., and Yu, H. (2009). Petroleum - contaminated groundwater remediation systems design: a data envelopment analysis based approach. *Expert Systems with Applications* 36(3):5666-5772.