

استفاده از مدل ناپارامتریک تصادفی فراگیر داده‌ها (StoNED) برای محاسبه کارایی انرژی تولید گندم در استان مازندران

رضا اسفنجاری کناری*

۱- استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

رسید مقاله: ۲۵ مهر ۱۳۹۳

پذیرش مقاله: ۲۰ بهمن ۱۳۹۴

چکیده

در تحقیق حاضر، شاخص‌های کارایی انرژی و کارایی فنی گندم کاران در استان مازندران محاسبه شده است. برای محاسبه کارایی فنی از مدل ناپارامتریک تصادفی فراگیر داده‌ها (StoNED) استفاده شد. این مدل تلفیقی از مدل ناپارامتریک تحلیل فراگیر داده‌ها که دارای قیود یکنواختی و تقعر است با مدل پارامتریک مرزی تصادفی می‌باشد. برای انجام این تحقیق از اطلاعات ۳۷۵ کشاورز در سال ۱۳۹۱، استفاده شد. نتایج نشان داد که در تولید گندم، کود نیترژن، بذر و سوخت به ترتیب با ۴۱/۷، ۲۵/۴ و ۲۰/۵ درصد بیشترین سهم از انرژی ورودی و نیروی انسانی با ۰/۲ درصد و علف کش با ۰/۵ درصد کمترین سهم از انرژی ورودی را به خود اختصاص داده‌اند. در مجموع ۱۵۷۶۱/۵ مگاژول بر هکتار انرژی ورودی و ۶۲/۸ مگاژول بر هکتار انرژی خروجی در سیستم تولید گندم محاسبه شد. حدود ۲۰/۷ درصد از انرژی‌های ورودی در سیستم تولید گندم را انرژی‌های مستقیم و ۷۹/۲ درصد از آن را انرژی‌های غیر مستقیم تشکیل می‌دهند. منابع انرژی تجدیدپذیر ۲۵/۶ درصد از کل انرژی‌های ورودی و منابع انرژی تجدید ناپذیر ۷۴/۳ درصد آن را تشکیل داده‌اند. بهره‌وری انرژی ۰/۲۹ کیلوگرم بر مگاژول است و به این معنی است که هر واحد انرژی به طور متوسط می‌تواند فقط ۰/۲۹ کیلوگرم محصول تولید کند. میانگین کارایی انرژی برای هر هکتار گندم ۳/۹۹ می‌باشد. انرژی خالص و ویژه نیز به ترتیب ۴۷۰۶۶/۹ مگاژول بر هکتار و ۳/۴ مگاژول بر کیلوگرم بدست آمد. همچنین میانگین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس به ترتیب ۰/۴۶، ۰/۴۵ و ۰/۴۳ به دست آمد. حدود ۴۶/۴ درصد از مزارع دارای بازده ثابت نسبت به مقیاس، ۲۴/۸ درصد از مزارع دارای بازده نزولی نسبت به مقیاس و ۲۸/۸ درصد دارای بازده صعودی نسبت به مقیاس می‌باشند.

کلمات کلیدی: نسبت انرژی، مدل ناپارامتریک تصادفی فراگیر داده‌ها، کارایی فنی، گندم

۱ مقدمه

تولید مواد غذایی به ویژه گندم رابطه بسیار نزدیکی با قدرت سیاسی و اقتصادی کشورهای جهان دارد. افزایش سریع و روز افزون جمعیت و عدم بهره‌گیری از روش‌های بهینه تولید در کشورهای در حال توسعه، باعث وابستگی این کشورها به واردات، استفاده ناکارا از منابع انرژی و اتلاف آن‌ها شده است [۱]. امروزه انرژی وارد شده در واحد سطح برای تولید محصول فزونی یافته است. از جمله عوامل اصلی در افزایش مصرف انرژی می‌توان به افزایش جمعیت، محدودیت زمین‌های قابل کشت، ارزان بودن سوخت، کود، افزایش سطح زندگی و توقعات بشر اشاره نمود [۲]. استفاده مؤثر از انرژی در کشاورزی یکی از شرایط مهم در کشاورزی پایدار است، زیرا موجب صرفه جویی اقتصادی، حفظ سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی‌های هوا می‌گردد [۳]. زمین‌های کشاورزی اکوسیستم‌هایی هستند که برای کار روی آنها انرژی زیادی لازم است [۴]. ایران سیزدهمین کشور پر مصرف انرژی در جهان شناخته شده است. مصرف انرژی در کشور پنج برابر متوسط جهانی است لذا توجه جدی به این امر، جهت اعمال راهکارهایی برای بهینه کردن مصرف انرژی در کشور امری ضروری است [۵]. امروزه نگرانی‌های مربوط به حفاظت از سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر به افزایش تحقیقات بر روی توازن انرژی در سیستم‌های تولید گیاهان زراعی شده است. با توجه به بحران انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی تمام تلاش‌ها بر آن است که مصرف انرژی تا حد امکان کاهش یابد. بخش کشاورزی نیز از این موضوع مستثنی نیست. در اکثر کشورهای پیشرفته و حتی در حال توسعه، انرژی وارد شده در واحد سطح برای تولید محصولات مختلف کشاورزی را بررسی و با محاسبه شاخص کارایی انرژی سعی کرده‌اند سیستم کشاورزی خود را از نظر مصرف انرژی بهینه کنند [۶].

در مطالعه‌ای که توسط یوسفی و همکاران با عنوان اثرات مصرف کودهای شیمیایی بر کارایی انرژی نظام‌های تولید گندم در شهرستان کنگاور انجام شد، کل انرژی ورودی به وسیله مصرف نهاده‌ها در سیستم‌های تولید ۳۷۵۴۳/۷۸ مگاژول و مجموع انرژی خروجی حاصل از تولید دانه و کاه و کلش ۱۲۰۱۵۵/۸۸ مگاژول در هکتار برآورد شد [۷]. عجب شیرچی و همکاران کارایی انرژی محصول گندم دیم در سه سطح ۰/۱ تا ۲ هکتار، ۲/۱ تا ۵ هکتار و ۵ هکتار به بالا را برای دشت سیلاخور واقع در شهرستان‌های بروجرد و دورود استان لرستان را توسط رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) بررسی کردند. نتایج نشان داد که انرژی بذر، کود و سموم شیمیایی در گندم دیم در هر سه سطح به ترتیب با ۶۳/۶۳، ۵۶ و ۵۴/۰۷ درصد بیشترین سهم مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهند. میانگین کارایی انرژی نیز در سطوح سه گانه زیر کشت به ترتیب ۸۲، ۷۸ و ۶۸ درصد بدست آمد که از این میان سطح اول با وجود مصرف انرژی بیشتر در نهاده‌ها به علت بالاتر بودن ستانده در این سطح نسبت به دو سطح دیگر کارا تر است [۸]. در تحقیقی در سال ۲۰۰۹ با بررسی مصرف انرژی گندم در منطقه مارمارای ترکیه، نشان دادند که تولید گندم به میزان ۲۰۶۵۳/۳۵ مگاژول در هکتار انرژی مصرف می‌کند و میزان عملکرد انرژی خالص را برابر ۴۳۲۳۲/۶ مگاژول در هکتار گزارش کردند [۹]. در مطالعه‌ای دیگر که کل انرژی خروجی در تولید گندم، برنج و جو به ترتیب ۱۰۰۳۴۶/۴، ۱۶۱۵۸۶ و ۶۴۳۱۴ مگاژول در هکتار بود [۱۰]. در مطالعه‌ای دیگر با مقایسه دو سیستم تولید گندم دیم و آبی نشان دادند که کارایی مصرف انرژی در سیستم تولید

گندم دیم برابر ۳/۳۸ و در سیستم تولید گندم آبی برابر ۱/۴۴ بود. همچنین سهم انرژی‌های مستقیم و تجدید شونده در سیستم تولید گندم دیم بالاتر از آبی بود [۱۱].

بررسی مطالعات صورت گرفته در زمینه الگوی مصرف انرژی نشان می‌دهد که در اکثر آن‌ها محاسبه کارایی از روش ناپارامتریک و به خصوص روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است. در مطالعه حاضر از مدل ناپارامتریک تصادفی فراگیر داده‌ها^۱ (StoNED) برای بررسی کارایی انرژی استفاده شده است. برتری مدل (StoNED) نسبت به روش تحلیل پوششی داده‌ها این است که فرض وجود فرمی خاص را برای تابع تولید در روش پارامتریک مرز تصادفی حذف کرده و فرم تابعی انعطاف پذیر با ویژگی‌های تقعر، یکنواختی و همگنی را معرفی می‌کند. همچنین، در این روش جزء خطای تصادفی در داده‌ها در نظر گرفته می‌شود. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، یک نمونه ۳۷۵ واحدی مستخرج از آمار سرشماری محصولات کشاورزی استان مازندران توسط وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۱ می‌باشد.

۲ مواد و روش‌ها

برای بررسی میزان مصرف انرژی در کشت گندم از شاخص‌های انرژی که با توجه به میزان انرژی‌های معادل نهاده‌ها و ستاده‌ها محاسبه می‌شوند، استفاده شده است. این شاخص‌ها عبارتند از:

۲-۱ شاخص کارایی مصرف انرژی

این نسبت با رابطه (۱) محاسبه می‌شود و نشان دهنده این است که به ازای هر مگاژول انرژی مصرفی در هر هکتار به منظور تولید، چه میزان انرژی برداشت شده است. طبق این فرمول، کل انرژی خروجی از کشت بوم (با واحد کیلوژول، مگاژول، کیلو کالری و ...) بر کل انرژی ورودی به مزرعه تقسیم می‌شود و چون واحد صورت و مخرج کسر یکسان است، کارایی انرژی بدون واحد می‌باشد.

هر چه عدد به دست آمده در این رابطه بزرگ تر باشد نشان دهنده‌ی بالاتر بودن کارایی مصرف انرژی است. البته باید به این نکته توجه داشت که کارایی مصرف انرژی بالاتر یک سیستم لزوماً سود بیشتر آن سیستم را تضمین نمی‌کند.

$$\text{کارایی انرژی} = \frac{\text{کل انرژی محصولات تولید (Mj h}^{-1}\text{)}}{\text{کل انرژی مصرفی (Mj h}^{-1}\text{)}} \quad (1)$$

¹ Stochastic Nonparametric Envelopment of Data

۲-۲ شاخص بهره‌وری انرژی

این شاخص با رابطه (۲) محاسبه می‌شود و بیانگر این است که به ازای هر مگاژول در هکتار انرژی مصرفی نهاده، چند کیلوگرم ستاده حاصل می‌شود. هر چه این نسبت بزرگتر باشد، نشانگر بهره‌وری بالاتر انرژی مصرفی می‌باشد.

$$(۲) \quad \text{کل انرژی محصولات تولید (Kgh}^{-1}\text{)} \\ \text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{کل انرژی مصرفی (Mjh}^{-1}\text{)}}{\text{بهره‌وری انرژی}}$$

۳-۲ شاخص انرژی ویژه

این شاخص با رابطه (۳) محاسبه می‌شود. هر چقدر مقدار این شاخص بیشتر باشد بیانگر هدر رفت بیشتر انرژی است.

$$(۳) \quad \text{کل انرژی مصرفی (Mjh}^{-1}\text{)} \\ \text{انرژی ویژه} = \frac{\text{کل انرژی محصول تولیدی (Kgh}^{-1}\text{)}}{\text{کل انرژی مصرفی (Mjh}^{-1}\text{)}}$$

۴-۲ شاخص انرژی خالص

این شاخص با رابطه (۴) محاسبه می‌شود و بیانگر خالص انرژی خروجی می‌باشد. منفی بودن این عدد نشان دهنده آن است که به اندازه‌ای که انرژی وارد مزرعه شده، انرژی خارج نشده است و در این صورت عدم کارایی مصرف انرژی وجود دارد.

$$(۴) \quad \text{کل انرژی مصرفی (Mjh}^{-1}\text{)} - \text{کل انرژی محصول تولیدی (Mjh}^{-1}\text{)} = \text{انرژی خالص}$$

انرژی معادل نهاده‌ها و ستاده از منابع متعدد جمع‌آوری شده و در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. انرژی معادل نهاده‌ها و ستاده‌ها در تولید گندم

انرژی معادل (مگاژول بر واحد)	واحد	ستاده / نهاده
		ستاده‌ها
۱۴/۷۰	کیلوگرم	دانه گندم
۱۲/۵۰	کیلوگرم	کاه
		نهاده‌ها
۱/۹۶	نفر - روز	نیروی انسانی
۶۲/۷۰	ساعت	ماشین آلات
۵۰/۲۳	لیتر	سوخت دیزلی
۸۴/۹۱	لیتر	علف کش
۲۰/۱۰	کیلوگرم	بذر
		کودهای شیمیایی
۶۶/۱۴	کیلوگرم	نیتروژن
۱۱/۱۵	کیلوگرم	پتاسیم

نهادهای انرژی در این مطالعه از یک دیدگاه به دو دسته تقسیم می‌شوند، نهادهایی که انرژی مستقیم و نهادهایی که انرژی غیرمستقیم ایجاد می‌کنند. انرژی مستقیم شامل انرژی‌های حاصل از نیروی انسانی، آبیاری، سوخت و الکتریسیته، و انرژی غیر مستقیم شامل انرژی بذر، ماشین آلات، کود، مواد شیمیایی می‌باشند [۱۲]. از دیدگاه دیگر نهادهای انرژی به دو دسته تقسیم می‌شوند، نهادهایی که انرژی تجدید شونده دارند به این مفهوم که دوباره بازسازی می‌شوند. این نهادهای عبارتند از نیروی انسانی، کودآلی، بذر و آب. نهادهایی که انرژی تجدید ناشونده دارند، این نهادهای معمولاً قابل بازسازی نیستند و عبارتند از سوخت دیزل، انرژی الکتریسیته، کودهای شیمیایی، مواد شیمیایی و ماشین آلات [۱۲].

به منظور بررسی ارتباط بین انرژی نهادهای و عملکرد محصولات از تابع تولید کاب داگلاس استفاده شده است. تابع تولید کاب داگلاس را می‌توان به فرم رابطه زیر نوشت:

$$\ln Y_i = \alpha_i + \sum_{j=1}^n \alpha_j \ln X_{ij} + e_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

در رابطه (۵)، Y_i سطح عملکرد i امین کشاورز و X_{ij} بردار انرژی نهادهای مصرف شده در تولید، α_j ضرایب نهادهای که توسط مدل برآورد می‌شود و e_i جزء اخلاص می‌باشد. اگر فرض کنیم هیچ نهادهای وجود ندارد پس میزان تولید صفر می‌شود. پس با این فرض می‌توان جزء ثابت α را از رابطه بالا حذف کرد. بنابراین می‌توان اثر انرژی هر کدام از نهادهای را روی عملکرد بررسی کرد. بر اساس این الگو می‌توان اثر انرژی مستقیم (DE) و غیرمستقیم (IDE)، تجدید شونده (RE) و تجدید نشونده (NRE) را روی عملکرد کشاورزان به ترتیب بر اساس روابط (۶) و (۷) مطالعه کرد.

$$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln DE + \beta_2 \ln IDE + e_i \quad (6)$$

$$\ln Y_i = \alpha_0 + \alpha_1 \ln RE + \alpha_2 \ln NRE + e_i \quad (7)$$

α و β ضرایب نهادهای هستند که توسط مدل برآورد می‌شوند.

همچنین برای بررسی کارایی فنی انرژی از مدل (StoNED) استفاده می‌کنیم. محاسبه کارایی از دیدگاه علمی مستلزم تخمین توابع مرزی تولید و یا هزینه است. برای این منظور تکنیک‌های مختلفی مطرح شده که بر حسب ویژگی‌های آن‌ها به دو روش کلی و متمایز طبقه بندی شده‌اند. روش اول تحت عنوان روش ناپارامتری و روش دوم تحت عنوان روش پارامتری می‌باشد. روش اندازه گیری ناپارامتری مبتنی بر تکنیک برنامه‌ریزی ریاضی است و از آن جهت ناپارامتری نامیده می‌شود که برای محاسبه مرز تولید (هزینه) و اندازه‌گیری کارایی در چارچوب آن، الزامی به تخمین هیچ نوع تابع خاصی نیست. متداول‌ترین شیوه محاسباتی که در چارچوب روش مذکور مطرح می‌باشد، روش تحلیل فراگیر داده‌ها^۱ (DEA) است [۱۳]. این روش مبتنی بر یک سری بهینه سازی می‌باشد. بر خلاف روش ناپارامتری، روش پارامتری مستلزم مشخص بودن شکل تابع مرزی و فروض خاص در

خصوص نحوه توزیع عدم کارایی در مدل می‌باشد. این تکنیک مبتنی بر روش‌های اقتصاد سنجی، یک سری پارامترهای تخمینی و استنتاجات آماری است که برای برآورد توابع مرزی و اندازه گیری عدم کارایی (کارایی) به کار می‌رود. بارزترین مدل در این روش، تابع مرزی تصادفی (SFA) می‌باشد [۱۴]. در این مدل سعی می‌شود در کنار سنجش میزان عدم کارایی تأثیر عوامل تصادفی نیز مد نظر قرار گیرد. مشخصه اصلی این مدل ترکیبی بودن جزء اخلاص آن است که نشان می‌دهد بخشی از انحراف نقاط مشاهده شده از تابع مرزی ناشی از عدم کارایی و بخش دیگر ناشی از عوامل تصادفی است. تفاوت این مدل نسبت به مدل‌های معمول اقتصاد سنجی در این است که در برازش تابع، نقاط متوسط را در نظر نمی‌گیرد بلکه نقاط مرزی یا سرحدی را مورد توجه قرار می‌دهد. روش ناپارامتریک تصادفی فراگیر داده‌ها (StoNED)، ویژگی‌های هر دو روش ناپارامتریک تحلیل فراگیر داده‌ها و پارامتریک مرز تصادفی را دارد. در واقع در این روش مرز ناپارامتریک و جزء خطای ترکیبی تصادفی می‌تواند به‌طور همزمان به دست آیند. مزیت این روش این است که فرض وجود فرم تابعی خاص را برای تابع تولید در روش پارامتریک مرز تصادفی حذف کرده و فرم تابعی انعطاف پذیر با ویژگی‌های تقعر، یکنواختی و همگنی را معرفی می‌کند. هم‌چنین، در این روش جزء خطای تصادفی در داده‌ها در نظر گرفته می‌شود. در تحلیل فراگیر داده‌ها تعداد کمی از بنگاه‌های کارا روی مرز تولید اثر می‌گذارند ولی در روش ناپارامتریک تصادفی فراگیر داده‌ها همه مشاهده‌ها در شکل گیری مرز تصادفی تأثیر گذارند [۱۵]. در روش ناپارامتریک تصادفی فراگیر بیشتر ابزارهای رگرسیون پارامتریک از قبیل برازش‌های آماری و تست‌های آماری در روش ناپارامتریک تصادفی به کار گرفته می‌شود که در این روش بدون معرفی ابزار و مفاهیم جدید، اصول و مفاهیم روش‌های SFA و DEA را حفظ کرده و با ترکیب این دو روش ایرادهای وارده بر آن‌ها را رفع می‌کند [۱۵].

در روش (StoNED) تکنیک رگرسیون ناپارامتریک جایگزین رگرسیون حداقل مربعات معمولی شده و به عنوان حداقل مربعات ناپارامتریک مقعر^۱ (CNLS) معرفی می‌شود [۱۵]. روش CNLS یک روش ناپارامتریک برای تخمین تابع تولید است که به شکل مدل برنامه‌ریزی درجه دو فرموله می‌شود که در روابط (۸) نشان داده می‌شود.

$$\begin{aligned} & \text{Min } \sum_{i=1}^n \hat{\varepsilon}_i^{\gamma} \\ & \text{s.t.} \\ & y_i = \alpha_i + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \hat{\varepsilon}_i \quad \forall_i = 1, \dots, n \\ & y_h \leq \alpha_i + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \hat{\varepsilon}_i \quad \forall_{h,i} = 1, \dots, n \\ & \beta_i \geq 0 \quad \forall_i = 1, \dots, n \\ & \hat{\varepsilon}_i \leq 0 \end{aligned} \quad (8)$$

¹ Concave Nonparametric Least Squares

همانطور که در روابط (۸) ملاحظه می‌شود، فن آوری تولید با استفاده از تابع تولید کلاسیک $y=f(x)$ نشان داده شده که محدوده امکانات تولید را نشان می‌دهد. در اینجا ابتدا فرض شده است که تابع f ، تابعی صعودی یکنواخت و مقعر است و فرم تابعی خاصی برای f در نظر گرفته نمی‌شود. X_i برداری از نهاده‌های $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ برای واحد تولیدی i ام می‌باشد و مقادیر محصول y و نهاده‌ها X_i به شکل لگاریتمی می‌باشند.

رگرسیون CNLS، n شیب مختلف را برای تابع تولید نامعین تخمین می‌زند که بر خلاف روش حداقل مربعات معمولی، عرض از مبدا و ضرایب شیب برای هر یک از واحدهای تولیدی متفاوت است. در واقع n تابع تولید مختلف با شیب‌های مختلف وجود دارد. ضرایب شیب‌ها β_i تولید نهایی نهاده را نشان می‌دهند. محدودیت دوم در مدل بالا، ویژگی تقعر در تابع تولید را با استفاده از محدودیت نابرابری افريت نشان می‌دهد [۱۵]. در این مدل فرض بر این است که ناکارایی فنی توزیع نیمه نرمال، ناهمبسته و غیر منفی دارد و جزء اخلاص سفید دارای توزیع $v_i \approx N(0, \sigma_U^2)$ می‌باشد. در روش ناپارامتریک تصادفی، همانند حداقل مربعات اصلاح شده^۱ (MOLS) در روش پارامتریک مرز تصادفی، با استفاده از گشتاورهای نوع دوم و سوم^۲، واریانس ناکارایی و جزء اخلاص تصادفی تخمین زده می‌شود [۱۵].

به‌طور کلی روش ناپارامتریک تصادفی شامل سه مرحله است:

مرحله اول: تخمین حداقل مربعات جزء خطا $\hat{\varepsilon} = (\hat{\varepsilon}_1, \dots, \hat{\varepsilon}_n)$

مرحله دوم: تخمین واریانس پارامترهای σ_v^2 و σ_u^2 با استفاده از گشتاورهای دوم و سوم.

مرحله سوم: تخمین جزء ناکارایی بر مبنای توزیع شرطی آن.

پس از تخمین جزء خطای ترکیبی که شامل جزء ناکارایی است، از گشتاورهای دوم و سوم برای توزیع جزء اخلاص استفاده می‌شود [۱۵].

$$m_v = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{\varepsilon}_i - \hat{E}(\varepsilon_i))^2}{n} \quad (9)$$

$$m_3 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{\varepsilon}_i - \hat{E}(\varepsilon_i))^3}{n} \quad (10)$$

این گشتاورها تخمین زننده‌های سازگاری از آماره‌های حقیقی μ_v و μ_3 می‌باشند که وابسته به واریانس

¹ Modified Ordinary Least Squares

² Second and third moment

جزء ناکارایی و جزء خطای تصادفی هستند [۱۵].

$$\mu_u = \left(\frac{\pi - 2}{\pi} \right) \sigma_u^2 + \sigma_v^2 \quad (11)$$

$$\mu_v = \left(\sqrt{\frac{2}{\pi}} \right) \left(1 - \frac{4}{\pi} \right) \sigma_u^2 \quad (12)$$

واریانس σ_u^2 و σ_v^2 با بکارگیری گشتاورهای دوم و سوم تخمین زده می شود. این بر مبنای چولگی^۱ توزیع جزء خطای ترکیبی^۲ می باشد، که ناشی از جزء ناکارایی است. بنابراین، گشتاور سوم بایستی منفی باشد. اگر چولگی توزیع جزء خطا در مدل CNLS در مسیر نادرستی باشد، گشتاور سوم مثبت خواهد شد و تخمین حداکثر راست‌نمایی برای جزء ناکارایی برابر صفر خواهد شد ($\hat{u} = 0$). زمانی که چولگی توزیع خیلی بزرگ است σ_u^2 بدست آمده از رابطه ۵ بر مبنای رابطه ۳ بزرگتر از m_v می‌باشد و بنابراین، σ_v^2 منفی خواهد شد. در این حالت واریانس جزء اخلاص سفید را برابر صفر ($\hat{\sigma}_v = 0$) و همه واریانس، به جزء ناکارایی نسبت داده می شود [۱۵]. جاندر و همکاران نشان دادند که توزیع شرطی ناکارایی u_i به ازای $\hat{\varepsilon}_i$ معلوم، یک توزیع نرمال ناقص با میانگین رابطه (۱۳) و واریانس رابطه (۱۴) می‌باشد.

$$\mu_* = -\hat{\varepsilon}_i \sigma_u^2 / (\sigma_u^2 + \sigma_v^2) \quad (13)$$

$$\sigma_*^2 = \sigma_v^2 \sigma_u^2 / (\sigma_u^2 + \sigma_v^2) \quad (14)$$

میانگین شرطی u_i نیز به صورت رابطه (۱۵) بدست می‌آید.

$$E \langle u_i | \hat{\varepsilon}_i \rangle = \mu_* + \sigma_* \left[\frac{\phi(-\mu_*/\sigma_*)}{1 - \Phi(-\mu_*/\sigma_*)} \right] \quad (15)$$

که در این رابطه ϕ تابع چگالی نرمال استاندارد^۳ و Φ تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد^۴ می باشد. پس از تخمین میانگین شرطی جزء ناکارایی، برای محاسبه کارایی فنی از رابطه (۱۶) استفاده می شود.

$$EFF_i = E \langle y_i^* | u_i, x_i \rangle / E \langle y_i^* | u_i = 0, x_i \rangle \quad (16)$$

¹ skewness

² Compound disturbance

³ Standard normal density function

⁴ Standard normal cumulative distribution function

در رگرسیون CNLS، محدودیت عرض از مبدا بیانگر بازده نسبت به مقیاس است که به صورت زیر تعریف می‌شود.

۱. بازده نزولی نسبت به مقیاس: $\alpha_i < 0 \quad \forall_i = 1, \dots, n$
۲. بازده صعودی نسبت به مقیاس: $\alpha_i > 0 \quad \forall_i = 1, \dots, n$
۳. بازده ثابت نسبت به مقیاس: $\alpha_i = 0 \quad \forall_i = 1, \dots, n$

۳ نتایج و بحث

پس از جمع آوری اطلاعات، مقادیر نهاده‌های مصرفی و محصول تولید شده در معادل انرژی آنها که در جدول ۱ آمده است ضرب گردید. سپس از این داده‌ها در تجزیه و تحلیل‌های مربوط به شاخص‌های انرژی استفاده شد. انرژی‌های ورودی در تولید گندم شامل انرژی مصرفی ماشین‌های کشاورزی در عملیات آماده سازی زمین و انرژی مصرف شده در تولید و انرژی کود و سم، بذر، نیروی انسانی و غیره بودند. محاسبه انرژی مصرفی با استفاده از معادل انرژی مربوط به هر واحد از نهاده یا ستانده و ضرب آن در مقدار نهاده مصرف شده یا ستانده تولید شده، انجام گرفت. البته در مطالعات، با توجه به شرایط حاکم، از ضرایب متفاوتی استفاده شده که در جدول ۱ به آنها اشاره شده است. سهم هر یک از نهاده‌های ورودی در میزان مصرف انرژی در سطوح مختلف برای کشت یک هکتار گندم در جدول ۲ نشان داده شده است. در مزارع گندم فقط از کودهای نیتروژنه و پتاسه استفاده می‌شود و کود فسفره کاربردی در این مزارع ندارد. میانگین مصرف کودهای نیتروژنه، ۹۹/۵۷ کیلوگرم در هکتار و میانگین مصرف کودهای پتاسه، ۹۹/۷۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. انرژی کودهای مصرفی حدود ۴۸/۸۳٪ از کل انرژی‌های نهاده بوده که در مقایسه با سایر نهاده‌ها بالاترین درصد مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است. میزان کود مصرفی در این مطالعه بالاتر از شهرستان ساوه با ۴۱/۷٪ [۱۶] و آذربایجان شرقی با ۳۱/۲۸٪ [۱۷] و پایین تر از شهرستان اقلید با ۵۷/۵٪ [۱۷] بوده است. بیشترین انرژی‌های ورودی به کود نیتروژن با انرژی ۶۵۸۵/۱ مگاژول، بذر با انرژی ۴۰۱۰/۴ مگاژول و سوخت با انرژی ۳۲۳۴/۲ مگاژول برای یک هکتار در کل دوره زراعی اختصاص یافت. نیروی انسانی با انرژی ۳۳/۶ مگاژول و علف کش با انرژی ۸۴/۷ مگاژول در هکتار کمترین مقادیر انرژی ورودی را در این سیستم زراعی دارا می‌باشند.

کود نیتروژن ۴۱/۷٪، بذر ۲۵/۴٪ و سوخت ۲۰/۵٪ بیشترین درصد از انرژی ورودی و نیروی انسانی ۰/۲۱٪ و علف کش با ۰/۵۳٪ کمترین درصد از انرژی ورودی را به خود اختصاص دادند. در مجموع ۱۵۷۶۱/۵ مگاژول در هکتار انرژی ورودی و ۶۲/۸ مگاژول انرژی خروجی در هکتار در سیستم تولید گندم محاسبه شد. بر طبق جدول ۳ حدود ۲۰/۷٪ از انرژی‌های ورودی در سیستم تولید گندم را انرژی‌های مستقیم و ۷۹/۲٪ از آن را انرژی‌های غیرمستقیم تشکیل می‌دهند. منابع انرژی تجدید پذیر حدود ۲۵/۶٪ از کل انرژی‌های ورودی و منابع انرژی تجدید ناپذیر حدود ۷۴/۳٪ آن را تشکیل داده‌اند. بهره‌وری انرژی ۰/۲۹ کیلوگرم بر مگاژول است و به این معنی است که هر واحد انرژی به طور متوسط می‌تواند فقط ۰/۲۹ کیلوگرم محصول تولید کند. میانگین کارایی

انرژی برای هر هکتار گندم ۳/۹۹ می‌باشد. همچنین انرژی خالص و ویژه نیز به ترتیب ۴۷۰۶۶/۹ و ۳/۴۶ بدست آمد.

جدول ۲. الگوی مصرف انرژی در تولید گندم

نهادها	واحد	میزان مصرف در واحد سطح (واحد بر هکتار)	میزان انرژی در واحد سطح (مگاژول بر هکتار)
مقدار تولید دانه	کیلوگرم	۲۶۸۴/۵۱	۳۹۴۶۲/۲۶
مقدار تولید کاه	کیلوگرم	۱۸۶۹/۳۰	۲۳۳۶۶/۲۰
میزان سوخت	لیتر	۶۴/۳۹	۳۲۳۴/۲۲
کارگر	نفر - روز	۱۷/۱۴	۳۳/۶۰
ماشین آلات	ساعت در هکتار	۱۱/۱۸	۷۰۰/۹۳
علف کشت	کیلوگرم	۱	۸۴/۷۹
بذر	کیلوگرم	۲۰۰	۴۰۱۰/۴۷
کود اوره	کیلوگرم	۱۰۰	۶۵۸۵/۱۲
کود پتاسه	کیلوگرم	۱۰۰	۱۱۱۲/۴۱
کل انرژی نهاده مصرفی	مگاژول بر هکتار	-	۱۵۷۶۱/۵۴

جدول ۳. انرژی نهاده‌های مستقیم و غیرمستقیم، انرژی نهاده‌های تجدیدشونده و تجدید ناشونده و شاخص‌های انرژی

موارد	واحد	مقدار انرژی	درصد
انرژی مستقیم	مگاژول بر هکتار	۳۲۶۷/۸۳	۲۰/۷۳
انرژی غیر مستقیم	مگاژول بر هکتار	۱۲۴۹۳/۷۲	۷۹/۲۷
انرژی تجدیدشونده	مگاژول بر هکتار	۴۰۴۴/۰۷	۲۵/۶۶
انرژی تجدید ناشونده	مگاژول بر هکتار	۱۱۷۱۷/۴۸	۷۴/۳۴
کل انرژی نهاده	مگاژول بر هکتار	۱۵۷۶۱/۵۴	
عملکرد محصول (دانه)	مگاژول بر هکتار	۳۹۴۶۲/۲۵	
عملکرد محصول (دانه)	کیلوگرم بر هکتار	۲۶۸۴/۵۱	
عملکرد محصول (کاه)	مگاژول بر هکتار	۲۳۳۶۶/۲۰	
عملکرد محصول (کاه)	کیلوگرم بر هکتار	۱۸۶۹/۳۰	
کارایی مصرف انرژی	-	۳/۹۹	
بهره‌وری انرژی	کیلوگرم بر مگاژول	۰/۲۹	
انرژی خالص	مگاژول بر هکتار	۴۷۰۶۶/۹۱	
انرژی ویژه	مگاژول بر کیلوگرم	۳/۴۷	

اثر انرژی نهاده‌های مستقیم و غیرمستقیم بر عملکرد محصول گندم بررسی شد، این نتیجه حاصل شد که برای این محصول اثر انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم بر عملکرد در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار شد. ضرایب انرژی‌های

مستقیم و غیر مستقیم به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۳۶ بدست آمد که علامت این ضرایب قابل انتظار است (جدول ۴). بدین معنا که افزایش ۱ درصد در انرژی‌های مستقیم و غیر مستقیم منجر به افزایش ۰/۶۳ و ۰/۳۶ درصد در مقدار تولید این محصول می‌شود.

اثر انرژی‌های تجدید پذیر و تجدید ناپذیر بر عملکرد محصول گندم نیز بررسی شد، این نتیجه حاصل شد که برای محصول گندم اثر انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بر عملکرد به ترتیب در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ معنی‌دار شد. ضرائب انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر مطابق انتظار مثبت و به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۵۱ می‌باشد (جدول ۵). به این معنی که افزایش مصرف این انرژی‌ها منجر به افزایش در مقدار تولید این محصول می‌شود.

جدول ۴. نتایج حاصل از برآورد اثر انرژی نهاده‌های مستقیم و غیر مستقیم بر عملکرد محصول گندم

$$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln DE + \beta_2 \ln IDE + e_i$$

متغیرها	ضرائب	آماره t
جزء ثابت	۰/۳۹***	۴/۷۸
انرژی مستقیم	۰/۶۳**	۲/۹۷
انرژی غیر مستقیم	۰/۳۶**	۲/۳۴
	$R^2 = ۰/۵۹$	$F = ۲۸/۲۱$

***، ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ۵ درصد را نشان می‌دهند.

جدول ۵. نتایج حاصل از برآورد اثر انرژی نهاده‌های تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر بر عملکرد گندم

$$\ln Y_i = \alpha_0 + \alpha_1 \ln RE + \alpha_2 \ln NRE + e_i$$

متغیرها	ضرائب	آماره t
جزء ثابت	۰/۴۳	۰/۴۱
انرژی تجدیدپذیر	۰/۳۲***	۷/۱۲
انرژی تجدید ناپذیر	۰/۵۱**	۲/۲۲
	$R^2 = ۰/۶۳$	$F = ۲۶/۷۶$

***، ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ۵ درصد را نشان می‌دهند.

با توجه به جدول (۶)، کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس ۳۷۵ مزرعه استان مازندران بررسی شد. تعداد ۱۳۲ مزرعه دارای کارایی فنی کمتر از ۴۰ درصد، ۱۸۳ مزرعه دارای کارایی فنی ۴۰-۶۰ درصد، ۴۸ مزرعه دارای کارایی فنی ۶۰-۸۰ درصد و تعداد ۱۲ مزرعه دارای کارایی فنی ۸۰-۱۰۰ درصد می‌باشد. میانگین کارایی فنی مزارع ۰/۴۶ است. حداقل و حداکثر کارایی فنی نیز به ترتیب برابر ۰/۲۷ و ۱/۰۰ می‌باشد. در بررسی‌های انجام شده برای محاسبه‌ی کارایی فنی خالص، تعداد ۱۴۷ مزرعه دارای کارایی فنی خالص کمتر از ۴۰ درصد، ۱۸۹ مزرعه دارای کارایی فنی خالص ۴۰-۶۰ درصد، ۳۰ مزرعه دارای کارایی فنی خالص ۶۰-۸۰ درصد و تعداد ۹ مزرعه دارای کارایی فنی خالص ۸۰-۱۰۰ درصد می‌باشد. میانگین کارایی فنی خالص ۰/۴۵

است. حداقل و حداکثر کارایی فنی در این مزارع نیز به ترتیب برابر $0/30$ و $1/00$ می‌باشد. همچنین در بررسی‌های بعمل آمده از ۳۷۵ مزرعه مورد بررسی، تعداد ۱۵۳ مزرعه دارای کارایی مقیاس کمتر از ۴۰ درصد، ۲۰۱ مزرعه دارای کارایی مقیاس ۴۰ تا ۶۰ درصد، کارایی مقیاس ۱۲ مزرعه ۶۰ تا ۸۰ درصد و تعداد ۹ مزرعه دارای کارایی مقیاس ۸۰ تا ۱۰۰ درصد می‌باشند. میانگین کارایی مقیاس $0/43$ و حداقل و حداکثر کارایی مقیاس به ترتیب $0/25$ و $1/0$ می‌باشد.

جدول ۶. تعداد و درصد انواع کارایی مزارع تولید گندم

کارایی فنی		کارایی فنی خالص		کارایی مقیاس	
درصد کارایی	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد
۰ - ۴۰	۱۳۲	۳۹/۲	۱۴۷	۴۰/۸	۱۵۳
۴۰ - ۶۰	۱۸۳	۴۸/۸	۱۸۹	۵۰/۴	۲۰۱
۶۰ - ۸۰	۴۸	۱۲/۸	۳۰	۸	۱۲
۸۰ - ۱۰۰	۱۲	۳/۲	۹	۲/۴	۹
میانگین	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۳		
انحراف معیار	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۸		
حداکثر	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰		
حداقل	۰/۲۷	۰/۳۰	۰/۲۵		

در جدول شماره ۷، تعداد و درصد مزارع در انواع بازده نسبت به مقیاس نشان داده شده است. در بررسی‌های انجام شده تعداد ۱۵۴ مزرعه دارای بازده ثابت نسبت به مقیاس، تعداد ۹۳ مزرعه دارای بازده نزولی و ۱۰۸ مزرعه از ۳۷۵ مزرعه مورد مطالعه دارای بازده صعودی نسبت به مقیاس بودند.

جدول ۷. تعداد و درصد مزارع در انواع بازده نسبت به مقیاس

انواع بازده نسبت به مقیاس	تعداد	درصد
ثابت	۱۷۴	۴۶/۴
نزولی	۹۳	۲۴/۸
صعودی	۱۰۸	۲۸/۸

۴ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بیشترین سهم مصرف انرژی در کشت گندم استان مازندران مربوط به انرژی کود، بذر و سوخت است. بعد از انرژی کود، بذر و سوخت، بیشترین سهم مصرف انرژی مربوط به انرژی ماشین‌آلات است. بنابراین، به منظور بهبود کارایی انرژی در کشت گندم می‌توان موارد زیر را پیشنهاد داد:

توصیه می‌شود که با بهبود عملیات مدیریتی شامل: استفاده بهینه از کودها، کنترل آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، عملکرد در واحد سطح را افزایش داده و با افزایش عملکرد، کارایی انرژی یعنی نسبت انرژی تولیدی به مصرفی را بهبود بخشید. در این مورد می‌توان:

الف) با نمونه‌گیری از خاک هر مزرعه کود مورد نیاز آن را توصیه کرد.

ب) از آنجایی که بیشترین انرژی سوخت فسیلی به صورت سوخت مصرفی ماشین‌های کشاورزی استفاده می‌شود و یکی از اقلام تشکیل دهنده هزینه‌های متغیر در تولیدات کشاورزی می‌باشد، بنابراین تلاش در جهت استفاده بهینه از سوخت و مدیریت ماشین‌های کشاورزی در راستای کاهش هزینه‌ها و جلوگیری از هدر رفتن سوخت، یکی از قدم‌های مهم در جهت کارایی مصرف انرژی می‌باشد. با ترویج استفاده از گاوآهن قلمی و عمیق‌کار در منطقه علاوه بر کاهش مصرف سوخت می‌توان تا حدی ساختمان خاک و رطوبت آن را حفظ نمود. در درازمدت این عمل موجب افزایش عملکرد و نسبت انرژی خواهند شد. مدیریت صحیح و تسهیلات بانکی می‌تواند به اجرای این امر کمک کنند.

منابع

- [۲] اسفنجاری کناری، ر.، شعبان‌زاده، م.، جانشوز، پ.، امیدی، ا. (۱۳۹۴). بررسی الگوی مصرف انرژی در گلخانه‌های تولید خیار استان تهران. مجله مهندسی بیوسیستم ایران، (۲) ۴۶، ۱۳۴-۱۲۵.
- [۳] دوانی، د.، حسن‌زاده، ع. (۱۳۸۹). سیر انرژی در مزارع گندم دیم استان بوشهر و تاثیر آن بر محیط زیست. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج). شهریور ۱۳۸۹.
- [۵] رضائی امیری، ه.، زیبایی، م. (۱۳۹۰). بررسی ارتباط میان نهاده‌های مصرفی و عملکرد محصولات گوجه، خیار و خربزه تحت شرایط کشت زیر پلاستیک در شهرستان فیروزآباد فارس. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۰، ۶۵-۵۸.
- [۷] یوسفی، م.، دامغانی، م.، ویسی، ع.م.، خوشبخت، ک. (۱۳۸۹). اثرات مصرف کودهای شیمیایی بر کارایی انرژی نظام‌های تولید گندم در شهرستان کنگاور. اولین کنگره چالش‌های کود در ایران: نیم قرن مصرف کود، اسفند ۱۳۸۹.
- [۸] عجب شیرچی اسکویی، ی.، تاکی، م.، عبدی، ر.، قبادی‌فر، ا.، رنجبر، ا. (۱۳۹۰). بررسی کارایی انرژی مصرفی در کشت گندم دیم توسط تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) (مطالعه موردی: دشت سیلاخور). نشریه ماشین‌های کشاورزی، جلد ۱، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۰، ۱۳۲-۱۲۲.
- [۱۳] خدابخشی، م.، ثامری‌پور، ع. (۱۳۹۴). مدل ابرکارایی با داده‌های ترکیبی در تحلیل پوششی داده‌های نادقیق-یک مطالعه موردی: بررسی مراکز خدمات مخابراتی کره جنوبی. تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۱۲(۱۲)، ۱-۱۸.
- [۱۴] حکیمی‌پور، ن.، هژیر کیانی، ک. (۱۳۸۷). تحلیل مقایسه‌ای کارایی بخش صنایع بزرگ استان‌های ایران: با استفاده از روش تابع مرزی تصادفی. مجله دانش و توسعه، ۲۴: ۱۳۸-۱۸۷.
- [۱۸] ملائی، ک.، کیهانی، ع.، کریمی، م.، خیر علی‌پور، ک.، قاسمی، م. (۱۳۸۷). نسبت انرژی گندم دیم - مطالعه موردی: شهرستان اقلید (فارس). مجله مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۳۹، شماره ۱، ۱۳۸۷، ۱۹-۱۳.

- [1] Mazaheri, D., Majnoon Houseini, N., (2003). General Crop Science. University of Tehran Publications, Tehran, Iran.
- [4] Hasanazadeh Ghoultapeh, A., Mazaheri, D., (1996). Evaluation of energy balance in three fields of wheat, potato and rice in Falavarjan in Isfahan. In Proceedings of 4th National Congress of Crop and Plant Breeding of Iran, Isfahan Industrial University,

- 25-28 Aug. Isfahan, Iran
- [6] Nasirian, N., Almasi, M., Minaee, S., Bakhoda, H., (2006). Study of energy flow in sugarcane production in an Agro-industry unit in South of Ahwaz. In Proceedings of 4th National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization, 28-29 Aug. Tabriz University, Tabriz, Iran. (In Farsi).
 - [9] Tippi, T., Cetin, B., Vardar, A., (2009). An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. *J. Agric. Environ*, 7:352-356.
 - [10] Khan, S., Khan, M., Hanjra, M., (2009). Pathways to reduce the environmental foot prints of water and energy inputs in food production. *Food policy*, 34: 141- 149.
 - [11] Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M., Sanjani, S., Anvarkhah, S., Aghel, H., (2011). A case study of energy use and economic analysis of irrigated and dryland wheat production systems. *Applied Energy*. 88: 283–288.
 - [12] Yilmaz, I., Akcoaz, H., Ozkan, B., (2004). An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey, *Renewable Energy*, 30: 145-155.
 - [15] Kuosmanen, T., (2006). "Stochastic Nonparametric Envelopment of Data: Combining Virtues of SFA and DEA in a Unified Framework", MTT Discussion Paper No. 3/2006.
 - [16] Safa, M., Tabatabaeefar, A., (2002). Energy consumption in wheat production in irrigated and dryland farming. In Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, 28-30 Nov., Wuxi, China. p. 183.
 - [17] Valadiani, A., Hasanzadeh Ghoultapeh, A., Valadiani, R., (2005). Study of energy balance in dryland wheat seed cultivars in seed reproduction fields and its effect on the environment in East Azerbaijan Province. *Agricultural Science*, 15(2): 1-12.