

## استفاده از مدل ریاضی غیر پارامتریک به منظور بهینه‌سازی میزان انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشت گندم آبی

مرتضی تاکی<sup>۱\*</sup>

[Mortezataaki@gmail.com](mailto:Mortezataaki@gmail.com)

یحیی عجب‌شیرچی<sup>۲</sup>

احمد قبادی‌فر<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۱۸

### چکیده

**زمینه و هدف:** امروزه مصرف بی‌رویه انرژی در بخش کشاورزی علاوه بر افزایش قیمت تمام شده محصولات، باعث ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی فراوانی شده است. هدف از تحقیق حاضر استفاده از روش غیرپارامتریک تحلیل پوششی داده‌ها به منظور بررسی میزان کارایی انرژی و همچنین انتشار گازهای گلخانه‌ای از مزارع گندم آبی دشت سیلاخور استان لرستان بود.

**روش بررسی:** داده‌ها از طریق تکمیل پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری با ۱۵۰ کشاورز گندمکار این دشت به دست آمد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که میزان مصرف انرژی در سطوح ۰/۱ تا ۲ هکتار، ۲/۱ تا ۵ هکتار و ۵ هکتار به بالا به ترتیب ۲۲۱۳۴، ۲۴۱۲۸ و ۲۵۰۷۸ مگاژول بر هکتار بوده و نهاده بذر، کود و سموم مصرفی در هر سه سطح بیشترین میزان مصرف را به خود اختصاص می‌دهد. نتایج حاصل از تحلیل پوششی داده‌ها نشان داد که کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس در سطح ۵ هکتار به بالا به ترتیب با مقادیر ۸۸، ۹۳ و ۹۴ درصد از مقادیر مشابه در سایر سطوح بیشتر است. نسبت انرژی صرفه-جویی شده در هر سه سطح به ترتیب برابر ۶/۸۳، ۸/۱۱ و ۶/۵۴ درصد محاسبه شد.

**نتیجه‌گیری:** با به‌کارگیری نتایج حاصل از این روش می‌توان در سطوح فوق به ترتیب حدود ۱۵۱۲، ۱۹۵۷ و ۱۶۴۰ مگاژول بر هکتار انرژی صرفه‌جویی کرد. نتایج حاصل از بررسی گازهای گلخانه‌ای در این کشت نشان داد که در سه سطح، نهاده سوخت دیزل بیشترین سهم در میزان آلاینده‌های زیست محیطی را دارد. بهینه‌سازی انرژی مصرفی در سطوح فوق در کل می‌تواند ۶۵۱۶/۶۷ کیلوگرم معادل گاز CO<sub>2</sub> از میزان آلاینده‌های حاصل از تولید این محصول را بکاهد.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی مقیاس، گندم آبی، واحدهای ناکارا، گازهای گلخانه‌ای.

\*۱- (مسئول مکاتبات): استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، ملاتانی، اهواز، ایران.

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران.

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران.

## **Application of nonparametric method for optimization of energy consumption and greenhouse gas emission in wheat production**

**Morteza Taki** <sup>1\*</sup>

[Mortezataaki@gmail.com](mailto:Mortezataaki@gmail.com)

**Yahya Ajabshirchi** <sup>2</sup>

**Ahmad Ghobadifar** <sup>3</sup>

### **Abstract**

**Background and Objective:** Nowadays, increase of energy consumption in agricultural section has lead to some environmental problems and increase of final costs. In this study, the non-parametric method of Data Envelopment Analysis (DEA) is used to estimate the energy efficiency and greenhose gas emission in the irrigated wheat farms in Silakhor plain of Lorestan province.

**Method:** Data were collected through both questionnaire and interview surveys using 150 farmers. Results showed that the energy consumption for 0.1 up to 2, 2.1 up to 5 and over 5 hectares were 22134, 24128 and 25078 MJ/ha respectively, and the sum of grain, fertilizer and pesticides had the highest share of energy consumption in all levels. The results of DEA showed that technical, pure technical and scale efficiencies in the third level were 88, 93 and 94% and higher than the same amounts obtained in other levels.

**Results:** Energy saving ratios in these levels were 6.83, 8.11 and 6.54 respectively. This indicates that 1512, 1957 and 1640 MJ/ha of total input energy can be saved, if the mentioned method is used. The results of greenhouse gas emission showed that diesel fuel has the highest share in the environmental pollutants. Optimization of energy consumption can totally decrease 6516.67 kg CO<sub>2</sub> produced in wheat production.

**Keywords:** Data Envelopment Analysis, Scale Efficency, Irrigated Wheat, Noeffective Units, Greenhouse Gas.

---

1- Assistant Professor Department of Agricultural Machinery and Mechanization, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Ahvaz, Iran. *\*(Corresponding Author)*

2- Professor Department of Biosysyems Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3- MSc. Student of Agricultural Mechanization, Department of Biosysyems Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

## مقدمه

رشد فزاینده جمعیت و بحران کمبود غذا، انسان را ناگزیر از بهره‌برداری بیش از اندازه از منابع طبیعی و مصرف بی‌رویه مواد شیمیایی کرده و این کار باعث برهم خوردن توان بیولوژیک محیط گردیده است. این در حالی است که جمعیت جهان در دهه‌های گذشته رو به افزایش بوده و این افزایش ادامه دارد. از طرفی ذخایر نفت جهان محدود بوده و در سال‌های آینده به اتمام خواهد رسید. بنابراین انسان در آینده مجبور به تولید غذای بیش‌تر با انرژی کم‌تری خواهد بود. چون در سال‌های گذشته اکثر زمین‌های زراعی (حتی نامرغوب) تحت کاشت قرار گرفته‌اند، بنابراین فقط استفاده از روش‌های نوین و استفاده بهینه از زمین‌های زراعی موجود به عنوان یکی از چند راه تهیه غذای بشر آینده باقی می‌ماند تا همواره تولید مواد غذایی با افزایش جمعیت تناسب داشته باشد. این روش تولید که می‌توان آن را همان کشاورزی پایدار نامید، سودمند و مستمر بوده و متکی بر حفظ منابع طبیعی است (۱). در این راستا یکی از معیارهای کلیدی برای گزینش روش‌های راهبردی در رسیدن به کشاورزی پایدار، افزایش کارایی و بهره‌وری است. کارایی و بهره‌وری از طریق کاربرد پایدارتر منابع از جمله نیروی کار، دسترسی بهتر به فن‌آوری‌های جدید، استفاده بهتر از نهاده‌ها و چرخه‌های زیست‌شناختی و فرآوری در مزرعه، قابل افزایش است (۲).

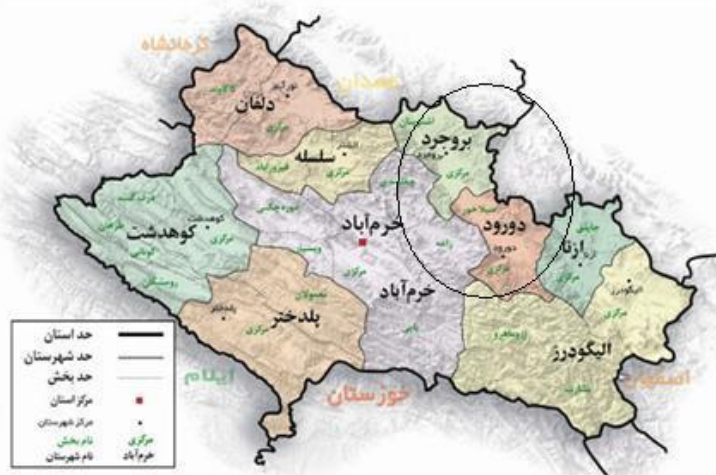
در زمینه بهبود مصرف انرژی در بخش کشاورزی مطالعات بسیاری انجام یافته است. در حالی که این چنین مطالعاتی کم‌تر در ایران مورد توجه قرار می‌گیرد. به منظور پیشینه کردن عملکرد تولید گندم به مقایسه الگوی مصرف انرژی در نقاط مختلف هند مطالعات انرژی صورت گرفت (۳). سطح فن‌آوری، انرژی نهاده و عوامل اقلیمی - زراعی مرتبط ترین پارامترهای تولید گندم محسوب شدند. بیش‌ترین میزان انرژی نهاده ۱۷/۷۸۸ گیگاژول بر هکتار و بالاترین نسبت انرژی ۵/۲ برای محصول گندم به‌دست آمد. در ایران، شاخص‌های انرژی در تولید گندم و ذرت در دشت عباس مورد بررسی قرار گرفت (۴). نتایج این تحقیق نشان داد که برای محصول گندم کشت شده با خطی کار نسبت انرژی ستانده به نهاده، خالص افزوده انرژی و بهره‌وری انرژی به ترتیب ۳/۰۳، ۴۶/۳۲ گیگاژول و ۰/۲۰۶ کیلوگرم بر مگاژول است. در تحقیقی از دو روش بازگشت نسبت به مقیاس ثابت (CRS)<sup>۷</sup> و بازگشت نسبت به مقیاس متغیر (VRS)<sup>۸</sup> برای تحلیل پوششی داده‌ها در تولید خیار گل‌خانه‌ای شهرستان شهرضا استفاده شد (۵). از بین منابع موجود انرژی سوخت دیزل و آب مصرفی بیش‌ترین سهم را به خود اختصاص داده است. کارایی فنی، فنی خالص و مقیاس با استفاده از این مدل‌ها به ترتیب ۹۰/۳۷، ۹۵/۰۹ و ۹۴/۶٪ به دست آمد، همچنین میانگین کارایی فنی واحدهای ناکارا براساس مدل بازگشت به مقیاس ثابت ۸۷٪ محاسبه شد. در تحقیق دیگری پیرامون مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن در کشت سیب‌زمینی در استان اصفهان نشان داده شد که مقدار کل انرژی مصرفی و دی‌اکسیدکربن منتشر شده به ترتیب ۴۷ گیگاژول برهکتار و ۹۹۲/۸۸ kg CO<sub>2eq</sub> بوده

است (۶). آن‌ها بیان کردند که بیش‌ترین انرژی مصرفی متعلق به کودهای شیمیایی (۴۹٪) و به ویژه نیتروژن (۴۰٪) بوده است. از روش پارامتری تخمین تابع تولید در کشت محصول گوجه‌فرنگی استان اصفهان استفاده شد (۷). نتایج نشان داد که نهاده سوخت دیزل با ۲۷۱۹/۹۸ kg CO<sub>2eq</sub> بیش‌ترین سهم در میزان آلاینده‌گی محیط زیست را داراست. نهاده‌های الکتریسیته مصرفی و کود نیترا ته به ترتیب با ۷۲۹/۶ و ۴۰۹/۵ kg CO<sub>2eq</sub> در رتبه‌های دوم و سوم آلاینده‌های خطرناک زیست محیطی قرار گرفتند.

در این تحقیق از تحلیل پوششی داده‌ها به عنوان روشی غیر پارامتریک به منظور آنالیز داده‌های مربوط به کشت گندم آبی در دشت سیلاخور استان لرستان استفاده شد. هدف از این کار تفکیک واحدهای کارا از ناکارا، تعیین استفاده بی‌رویه از نهاده‌های انرژی در واحدهای ناکارا و پیشنهاد مقدار ضروری نهاده‌های مختلف که باید به‌وسیله واحدهای ناکارا از منابع انرژی استفاده شود، می‌باشد. همچنین در این مقاله به بررسی میزان تولید معادل آلاینده CO<sub>2</sub> در واحد سطح پرداخته شده و مقدار کاهش آن در هر سطح پس از بهینه‌سازی نهاده‌های مصرفی مشخص شده است.

## روش بررسی

این تحقیق در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷، در دشت سیلاخور که بین شهرستان‌های بروجرد و دورود در استان لرستان واقع شده، انجام یافت. دشت سیلاخور بزرگ‌ترین زمین هموار استان لرستان است و بیش‌تر مساحت شهرستان‌های بروجرد و دورود را در بر گرفته است. این دشت به دو قسمت تقسیم شده است، سیلاخور بالا که از جنوب ملایر و شرق نهاوند شروع شده و تا حوالی بروجرد ادامه دارد و سیلاخور پایین که بخش اصلی دشت سیلاخور را تشکیل می‌دهد. این قسمت از شهر بروجرد شروع شده و در جهت جنوبی شرقی تا شهر دورود پیش می‌رود، دو دهستان از بخش مرکزی شهرستان بروجرد (دهستان‌های همت‌آباد و شیروان)، دو دهستان از بخش سیلاخور شهرستان دورود (دهستان‌های چالانچولان و سیلاخور) و دو دهستان از بخش مرکزی شهرستان دورود (دهستان‌های ژان و دورود) در این دشت واقع شده‌اند. به دلیل آب فراوان، خاک خوب و زمین هموار این منطقه از کشاورزی پررونقی برخوردار است. در این دشت محصولاتی از قبیل گندم، جو، برنج، انواع میوه، چغندر، ذرت و صیفی جات کشت می‌شود. ارتفاع این دشت از سطح دریا ۱۶۰۰ متر در شهر بروجرد تا ۱۴۰۰ متر در شهر دورود متغییر است. این تحقیق بخش اصلی دشت سیلاخور را مورد بررسی قرار داده است (۸) (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان‌های بروجرد و دورود در استان لرستان  
Figure 1- Geographical location of Doroud and Borojerd in Lorestan Province

در پارامترهای بالا به‌خاطر این که واریانس صفت مورد مطالعه (نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی) در ابتدا مشخص نیست، بایستی از قبل یک بررسی آزمایشی در مقیاس کوچک برای پی بردن به نواقص احتمالی و برآورد تقریبی صفت مورد مطالعه در جامعه‌ای که قصد انتخاب نمونه از آن در پیش است، انجام داد. بدین منظور از بین کشاورزان گندم‌کار آبی در دشت سیلاخور ۱۳ کشاورز به‌طور تصادفی انتخاب و پرسش‌نامه‌هایی که از قبل طراحی شده بود، در بین آن‌ها توزیع و تکمیل گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌های نمونه‌گیری مقدماتی از نرم‌افزار EXCEL 2007 و SPSS 16 استفاده شد. پس از تجزیه و تحلیل داده‌های نمونه‌گیری مقدماتی و به دست آوردن تقریبی آماره-های بالا در صفت مورد مطالعه در جامعه مورد نظر با داشتن مقدار پارامترهای بالا و قرار دادن آن‌ها در فرمول کوکران حجم نمونه‌گیری اصلی به‌دست آمد. بدین‌ترتیب حجم نمونه برای گندم‌کاران آبی دشت سیلاخور ۱۴۲ کشاورز به-دست آمد که به منظور افزایش دقت به ۱۵۰ کشاورز افزایش یافت. برای نمونه‌گیری از روش نمونه‌گیری تصادفی استفاده شد، زیرا آسان‌ترین و اصولی‌ترین روش برای نمونه‌گیری بوده و قابل تعمیم به کل جامعه است. دلیل دیگر انتخاب این روش نمونه‌گیری هماهنگی و تطابق آن با روش اتخاذ شده توسط مرکز آمار ایران و سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی در آمارگیری کشور است. در این روش نمونه‌گیری، احتمال انتخاب در هر مرحله برای کلیه واحدهای جامعه یکسان است (۱۰). داده‌ها در قالب طرح طبقه‌بندی شده (نوعی طرح کاملاً تصادفی) جمع‌آوری شدند، به‌طوری که واحدهای آزمایشی به سه دسته: الف) ۱ تا ۲ هکتار ب) ۲/۱ تا ۵ هکتار و ج) ۵ هکتار به بالا تقسیم شده و در هر بازه نمونه‌گیری به‌صورت تصادفی به‌عمل آمد. بدیهی است که چون بازه‌ها مقدار مساوی نداشتند، نمونه‌ها نیز در هر بازه به تناسب تعداد کشاورزان مربوطه انتخاب شدند.

انرژی‌های ورودی در تولید گندم شامل انرژی مصرفی در عملیات و انرژی مصرف شده در تولید ماشین‌های کشاورزی، کود، سم، بذر، نیروی انسانی،

محدوده جغرافیایی این تحقیق دشت سیلاخور و محدوده زمانی جمع‌آوری اطلاعات از اوایل فروردین ماه ۱۳۸۸ تا اوایل مردادماه ۱۳۸۸ می‌باشد. پس از بررسی آمار و اطلاعات موجود و گفتگو با کارشناسان جهاد کشاورزی شهرستان و مراکز خدمات کشاورزی واقع در دشت سیلاخور، شناختی کلی از وضعیت مکانیزاسیون، وضعیت اقلیمی، منابع آبی، سطح زیر کشت محصولات زراعی، نوع مالکیت اراضی، اندازه متوسط قطعات اراضی و پراکنندگی اراضی زراعی در سطح دشت سیلاخور به دست آمد. بنابراین جامعه آماری مورد مطالعه را کشاورزان گندم‌کار آبی (غیردیم) دشت سیلاخور تشکیل می‌دهند. سوالی که در جریان تحقیق پیش می‌آید، این است که محقق چه تعداد از افراد جامعه مورد مطالعه را می‌تواند به عنوان نمونه تعیین کند یا به عبارت دیگر حجم و تعداد افراد نمونه چند نفر باید باشد تا محقق بتواند با اطمینان خاطر نتایج حاصل و شاخص‌های محاسبه شده را به جامعه مورد مطالعه تعمیم دهد. در این تحقیق برای برآورد حجم نمونه از تکنیک‌ها و روش‌های آماری استفاده شد. اما برای انجام آن نیاز به دانستن اطلاعات و پارامترهایی درباره جامعه مورد مطالعه بود. به عنوان مثال لازم بود وضعیت توزیع یک یا چند صفت یا متغیر مورد مطالعه در اختیار باشد. برای به دست آوردن حجم نمونه از فرمول کوکران به شرح زیر استفاده شد (۹):

$$n = \frac{N(t.s)^2}{Nd^2 + (t.s)^2} \quad (1)$$

n = حجم نمونه

N = اندازه جامعه آماری

t = ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر

از جدول t استیودنت به دست می‌آید

S<sup>2</sup> = برآورد واریانس صفت مورد مطالعه

d = دقت احتمالی مطلوب

شرایط حاکم، از ضرایب متفاوتی استفاده شده که در جدول ۱ به برخی از آنها اشاره شده است.

سوخت مصرفی، آبیاری و حمل و نقل بودند. محاسبه انرژی مصرفی با استفاده از معادل انرژی مربوط به هر واحد از نهاده یا ستانده ضرب آن در مقدار نهاده مصرف شده یا ستانده تولید شده، انجام گرفت البته در مطالعات، با توجه به

جدول ۱- معادل نهاده‌ها و ستانده‌های انرژی در تولیدات کشاورزی.

Table 1. Energy input and output equivalent in agricultural production

منبع	انرژی بر هر واحد (MJ)	واحد	الف- نهاده های
(۱۱)	۱/۹۶	ساعت	نیروی کارگری
(۱۲)	۴۷/۱۰	کیلوگرم	N
(۱۲)	۱۵/۸۰	کیلوگرم	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
(۱۲)	۱۰۱/۲۰	کیلوگرم	حشره کش
(۱۲)	۲۳۸/۰۰	کیلوگرم	علف کش
(۱۳)	۹۳/۶۱	کیلوگرم	تراکتور
(۱۴)	۸۷/۶۳	کیلوگرم	کمباین
(۱۵)	۶۲/۷۰	کیلوگرم	ادوات و ماشین آلات
(۱۶)	۲۵/۰۰	کیلوگرم	گندم (اصلاح شده)
			ب- ستانده‌های
(۱۶)	۱۴/۷۰	کیلوگرم	دانه
(۱۶)	۱۲/۵۰	کیلوگرم	کاه

#### تحلیل پوششی داده‌ها

در این حالت تحلیل پوششی داده<sup>۱</sup> یا DEA می‌تواند به رفع این مشکل کمک کند. در این روش برای اندازه‌گیری کارایی و مقایسه واحدها به هر واحد اجازه داده می‌شود وزن (ارزش) هر یک از ستانده‌های خود را تعیین کند، مشروط بر این که وزن‌های اختصاص داده شده، کارایی واحد(های) دیگر را بیش‌تر از یک ننماید؛ زیرا مطابق تعریف، کارایی هر واحد حداکثر ۱۰۰٪ یا واحد است. لازم به ذکر است که در تحلیل پوششی داده‌ها عملکرد واحدهایی با هم مقایسه می‌شوند که کار مشابهی را انجام می‌دهند. به چنین واحدهایی واحدهای تصمیم‌گیری<sup>۲</sup> مشابه یا DMU اطلاق می‌شود (۱۷).

در این تحقیق به منظور تعیین میزان انرژی نهاده‌های مصرفی در کشت گندم و ارزیابی مزارع، تعداد ۱۵۰ پرسشنامه تهیه شد. برای توصیف ویژگی‌های کلی و عمومی منطقه مورد مطالعه، نیازمند آمار و اطلاعاتی در زمینه فعالیت‌های زراعی منطقه و استان از جمله سطح زیر کشت محصولات، عملکرد محصولات، تعداد و انواع ماشین‌های کشاورزی و همچنین آمار مربوط به خصوصیات جغرافیایی، تقسیم‌بندی سیاسی بخش‌ها و دهستان‌ها و اطلاعات مربوط به وضعیت اقلیمی و جوی بود که این اطلاعات از سازمان‌های جهاد کشاورزی و هواشناسی استان لرستان جمع‌آوری شدند.

به‌طور کلی امروزه برای ارزیابی کارایی، دو روش پارامتریک و غیرپارامتریک مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌هایی که الگوهای اقتصادسنجی را برای ارزیابی کارایی به کار می‌برند، به روش‌های پارامتریک موسومند؛ زیرا در این روش‌ها ابتدا یک تابع تولید (هزینه، سود و ...) برای واحدهای مورد بررسی تصریح گردیده، سپس با تخمین پارامترهای آن و پیدا کردن تابع تولید مرزی، میزان تولید بهینه به ازای نهاده‌های هر واحد، محاسبه می‌گردد. اما در روش‌های غیرپارامتری نیازی به تصریح شکل تابع خاصی برای ارزیابی کارایی نیست، بلکه در این روش‌ها از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی (بهینه‌سازی تابع هدف با رعایت قیود لازم) کارایی هر واحد تولیدی محاسبه می‌شود (۱۷). لازم است ذکر کنیم که یکی از محدودیت‌های روش پارامتریک، این است که واحدهای مورد بررسی فقط باید دارای یک ستانده باشند (اگر بیش از یک ستانده داشته باشند باید بتوان با تبدیل و یکسان سازی واحد اندازه‌گیری آن‌ها، همه ستانده‌ها را بر حسب یک واحد بیان کرد)؛ به عبارت دیگر مدل منتخب فقط باید دارای یک متغیر وابسته باشد. این در حالی است که محدودیتی (جز ملاحظات نظری) در تعداد متغیرهای مستقل وجود ندارد. اما تصور کنید که ستانده‌های واحد مورد بررسی قابل تبدیل به یک واحد یکسان نباشند، بنابراین باید از روش دیگری کارایی چنین واحدهایی را بررسی کرد.

1- Data Envelopment Analysis

2- Decision Making Unit

$$\begin{aligned} & \text{Min } \theta, \\ & \text{s. t.} \end{aligned} \quad (۴)$$

$$-Y_i + Y\lambda \geq 0$$

$$\theta X_i - X\lambda \geq 0 \text{ and } \lambda \geq 0$$

$\lambda$  یک بردار  $N \times 1$  شامل اطلاعات ثابت می‌باشد که وزن‌های مجموعه مرجع را نشان می‌دهد. مقادیر اسکالر به‌دست آمده برای  $\theta$  کارایی بنگاه‌ها خواهد بود که شرط  $\theta \leq 1$  را تأمین می‌نماید. در رابطه بالا اولین قید بیان می‌دارد که آیا مقادیر واقعی محصول تولید شده توسط واحد تولیدی  $\lambda$  با استفاده از عوامل تولید مورد استفاده، می‌تواند بیش از این باشد. محدودیت دوم دلالت بر این دارد که عوامل تولیدی که توسط بنگاه  $\lambda$  به کار می‌روند، حداقل بایستی به اندازه عوامل به کار رفته توسط بنگاه مرجع باشند.

#### مدل بازگشت به مقیاس متغیر (VRS)

با استفاده از فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس، زمانی که تمام بنگاه‌ها در مقیاس بهینه فعالیت نمی‌نمایند، مقادیر محاسبه شده برای کارایی فنی (با دربر داشتن کارایی مقیاس) تحلیل را دچار اختلال خواهد کرد. استفاده از بازده متغیر نسبت به مقیاس موجب می‌شود با محاسبه کارایی فنی بر حسب مقادیر کارایی ناشی از مقیاس و کارایی ناشی از مدیریت (کارایی فنی خالص)، تحلیل بسیار دقیقی ارائه گردد (۱۹).

انجام این کار در فرموله کردن مسئله دوگان در برنامه‌ریزی خطی با فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس به وسیله اضافه نمودن محدودیت  $NI'\lambda = 1$  (قید تحذب) به برنامه‌ریزی خطی قبلی، محاسبات با فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس انجام می‌شود.

$$\begin{aligned} & \text{Min } \theta, \\ & -Y_i + Y\lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (۵)$$

$$\theta X_i - X\lambda \geq 0$$

$$NI'\lambda = 1 \text{ and } \lambda \geq 0$$

مدل اخیر با قید بازده متغیر نسبت به مقیاس مشخص نمی‌کند که آیا واحد تولیدی در ناحیه بازده صعودی یا نزولی مقیاس فعالیت می‌کند. این مهم در عمل با مقایسه قید بازده غیرصعودی به مقیاس ( $NI'\lambda \leq 1$ ) صورت می‌گیرد:

$$\begin{aligned} & \text{Min } \theta, \\ & -y_i + Y\lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (۶)$$

$$\theta X_i - X\lambda \geq 0$$

$$NI'\lambda \leq 1 \text{ and } \lambda \geq 0$$

به عبارت دیگر ماهیت نوع بازده در عدم کارایی مقیاس برای یک واحد تولیدی خاص با مقایسه مقدار کارایی فنی در حالت بازده غیرصعودی نسبت به مقیاس، با مقدار کارایی فنی بازده متغیر نسبت به مقیاس، تعیین می‌شود، بدین صورت که اگر این دو با هم مساوی باشند آن‌گاه واحد موردنظر با بازده نزولی نسبت به مقیاس مواجه می‌باشد در غیر این صورت شرط بازده صعودی نسبت به مقیاس برقرار است (۱۹).

پس از تکمیل پرسشنامه‌ها از طریق مصاحبه و پرسش حضوری، داده‌های به-دست آمده وارد نرم‌افزار اکسل شد و سپس با روش تحلیل پوششی داده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تمامی واحدهای تولیدی از نظر مصرف انرژی و عملکرد مورد بررسی قرار گرفته و از بین آن‌ها واحدهای کارا و ناکارا و همچنین میزان مصرف نهاده و تولید ستانده در آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس میزان مصرف انرژی هر یک از نهاده‌ها به‌دست آمده و با در نظر گرفتن معادل انرژی برای هر نهاده (جدول ۱)، میزان مصرف انرژی کل در مزارع مورد مطالعه، حاصل شد.

تجزیه و تحلیل اطلاعات با دو مدل بازگشت به مقیاس ثابت (CRS) و بازگشت به مقیاس متغیر (VRS) انجام یافت.

#### مدل بازگشت به مقیاس ثابت (CRS)

روش DEA حالت چند محصولی و چند عامل تولیدی را به صورت ابتکاری، به حالت ساده یک عاملی و یک محصولی تبدیل می‌نماید. اگر اطلاعات در مورد  $k$  عامل تولید و  $M$  محصول برای هر کدام از  $N$  واحد تولیدی وجود داشته باشد، فرایند محاسبه به صورت زیر خواهد بود (۱۸):

$$\begin{aligned} & \text{Max } \frac{u' y_i}{v' x_i} \\ & \text{s. t.} \end{aligned} \quad (۲)$$

$$\frac{u' y_i}{v' x_i} \leq 1 \quad j = 1, \dots, N$$

$$u \geq 0, v \geq 0$$

که در آن  $u$  یک بردار شامل وزن‌های محصولات و  $v$  یک بردار شامل وزن‌های عوامل تولید می‌باشد.  $X$  یک ماتریس  $k \times N$  از عوامل تولید و  $Y$  ماتریس  $M \times N$  از محصولات می‌باشد. این دو ماتریس نشان‌دهنده کلیه اطلاعات مربوط به  $N$  واحد تولیدی (DMU) خواهد بود. در رابطه بالا هدف به‌دست آوردن مقادیر بهینه  $u$  و  $v$  می‌باشد، به گونه‌ای که نسبت کل مجموع وزنی محصولات به مجموع وزنی عوامل تولید (میزان کارایی هر واحد تولیدی) حداکثر گردد، مشروط بر این‌که، اندازه کارایی هر بنگاه بایستی کوچک‌تر و یا مساوی واحد باشد. رابطه کسری بالا تعداد بی‌شماری راه‌حل بهینه دارد. با قرار دادن مخرج کسر مساوی یک مدل بالا به مدل برنامه‌ریزی خطی تبدیل گردید:

$$\begin{aligned} & \text{Max } \mu' Y_i \\ & v' X_j = 1 \end{aligned} \quad (۳)$$

$$v' X_j - X_j \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, N$$

$$\mu \geq 0, v \geq 0$$

به خاطر تبدیل خطی به جای  $u$  و  $v$  پارامترهای جدید  $\mu$  و  $\nu$  به‌کار برده شده‌اند. مسئله اخیر را می‌توان با استفاده از تکنیک‌های رایج برنامه‌ریزی خطی حل نمود. در برنامه‌ریزی خطی عموماً تحمیل قیود کم‌تر، حل مسئله را آسان‌تر می‌نماید. برنامه‌ریزی خطی با حل این فرم در واقع میزان کارایی فنی ( $\theta$ ) برای هر واحد تولیدی را به تفکیک ارائه می‌نماید:

می‌گذارد. یعنی مشخص می‌کند که ناکارایی به علت ناکارایی مدیریتی است یا ناشی از شرایطی است که کارایی مقیاس را نشان می‌دهد و یا از هر دو عامل (۲۱).

یافته‌ها

همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد، بیش‌ترین میزان مصرف انرژی مربوط به نهاده بذر، کود و سموم شیمیایی است. این نهاده ۴۷٪ از کل انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است. همچنین بالاترین انرژی مصرفی در بین کلیه سطوح زیر کشت مربوط به انرژی بذر، کود و سموم شیمیایی است که در سطح زیر کشت بالای ۵ هکتار، میزان انرژی مصرفی نسبتاً بیش‌تر از سطوح دیگر می‌باشد. دلیل این موضوع را می‌توان استفاده بیش‌تر از کود و سموم شیمیایی در این سطح زیر کشت بیان نمود. نهاده‌های سوخت، آبیاری و ساخت و اسهلاک ماشین‌آلات به ترتیب با ۱۸، ۳۰ و ۵ درصد در رده‌های بعدی قرار دارند. در بین سطوح زیر کشت بیش‌ترین انرژی سوخت مصرفی مربوط به سطح زیر کشت بین ۲/۱ تا ۵ هکتار و کم‌ترین انرژی مصرفی مربوط به سطح زیر کشت بین ۰/۱ تا ۲ هکتار می‌باشد. با افزایش سطح زیر کشت، میزان انرژی مصرفی آبیاری افزایش یافته و با کاهش سطح زیر کشت، میزان انرژی نیروی انسانی افزایش می‌یابد. از آن‌جا که در برخی از مناطق این دشت، کشاورزان به منظور آبیاری مزارع از آب رودخانه یا کانال استفاده می‌کنند، بنابراین در این بخش، بعضی از کشاورزان نیاز به انرژی کم‌تری دارند. در نهایت سطح زیر کشت بالای ۵ هکتار با ۲۵۰۷۸/۷ مگاژول بر هکتار بیش‌ترین سهم از مصرف انرژی کل را به خود اختصاص داده و کم‌ترین سهم از مصرف انرژی کل مربوط به سطح زیر کشت بین ۰/۱ تا ۲ هکتار با ۲۲۱۳۴ مگاژول بر هکتار می‌باشد.

حداقل تعداد واحدهای تصمیم‌گیری مورد مطالعه برای بالا بردن قابلیت اطمینان و اعتماد به نتایج حاصل از مدل تحلیل پوششی داده‌ها از رابطه ۸ محاسبه شد (۲۰):

$$(8) \quad I+O \geq 3 \text{ تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده}$$

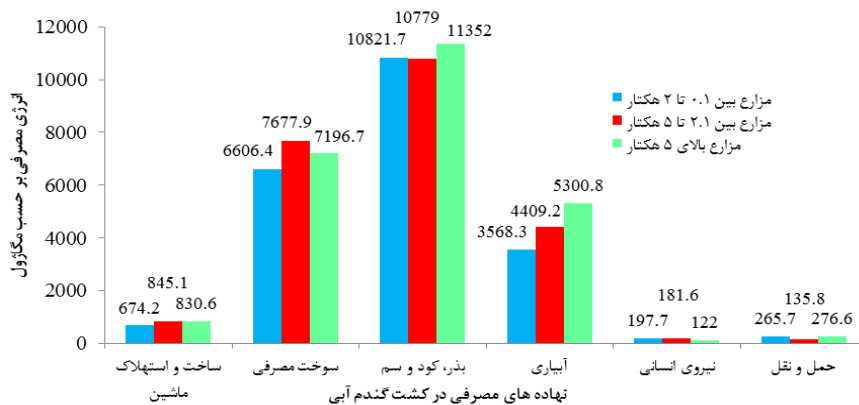
در رابطه ۸، I تعداد نهاده‌ها و O تعداد ستانده‌هاست. در تحقیق حاضر شش نهاده تولید یعنی انرژی مربوط به ماشین‌آلات، انرژی سوخت مصرفی، انرژی بذر، کود و سموم شیمیایی، انرژی کارگری، انرژی آب مصرفی و انرژی حمل و نقل به عنوان نهاده و انرژی محصول (عملکرد) به عنوان ستانده در نظر گرفته شد. بنابراین حداقل تعداد واحدهای تصمیم‌گیری برای تجزیه و تحلیل برابر است با:

$$(9) \quad 21 = 3(6+1) = \text{تعداد واحدهای تصمیم‌گیری}$$

در این پژوهش ابتدا از بین داده‌های هر سه سطح، داده‌های پرت با توجه به روش‌های آماری تشخیص و حذف شد. در نهایت به صورت تصادفی از سطح اول ۳۰ مزرعه، از سطح دوم ۲۵ مزرعه و از سطح سوم ۲۰ مزرعه برای انجام تحلیل وارد نرم افزار Frontier Professional Analyst ورژن ۵ شدند. رابطه بین کارایی فنی (ECCR)، کارایی فنی خالص (EBCC) و کارایی مقیاس (ES) به صورت رابطه ۱۰ تعریف شده است (۱۹):

$$(10) \quad E_s = \frac{E_{CCR}}{E_{BCC}}$$

مقدار کارایی مقیاس بیش از یک نخواهد بود. کارایی مدل CRS کارایی فنی کل نامیده می‌شود، زیرا تحت تاثیر مقیاس و اندازه نیست. از طرف دیگر VRS، کارایی فنی خالص را تحت بازه به مقیاس متغیر نشان می‌دهد. رابطه بالا تجزیه کارایی را نشان می‌دهد که این رابطه منابع کارایی را به نمایش



شکل ۲- مقدار نهاده‌های مصرفی در کشت گندم آبی در منطقه سیلاخور استان لرستان

Figure 2- Amounts of input consumption for irrigated wheat production at Silakhor plain in Lorestan Province

۱۷/۲ و ۱۶/۱٪ از نهاده‌ها در هر سه سطح و با ثابت ماندن میزان خروجی، واحدهای ناکارا می‌توانند به مرز کارایی رسیده و ۵۴٪ از مجموع نهاده‌ها را با افزایش کارایی خود ذخیره کنند. مقدار کارایی واحدهای تولیدی به این مفهوم است که هر واحد باید قادر باشد میزان مصرف خود را از کلیه نهاده‌ها

با اندکی تاثر در نتایج موجود در شکل ۳، میانگین کارایی فنی مزارع ناکارا در کشت گندم در سطوح ۰/۱ تا ۲ هکتار، ۲/۱ تا ۵ هکتار و ۵ هکتار به بالا با مدل CRS ورودی محور به ترتیب برابر ۷۹/۸، ۸۲/۸ و ۸۳/۴ به دست خواهد آمد، یعنی با استفاده بهینه از منابع انرژی و جلوگیری از اتلاف ۲۰/۲،

از نظر مدل CRS داشته باشد، آن‌گاه موضعا کاراست ولی کارایی کل ندارد ( در این حالت ناکارایی کل ناشی از ناکارایی مقیاس است ولی اگر کارایی در هر دو مدل CRS و VRS کمتر از ۱۰۰٪ باشد در این حالت ناکارایی ناشی از ناکارایی مقیاس یا ناکارایی شرایط واحد تولیدی و همچنین ناکارایی مدیریتی است). (۲۲).

به میزان  $(1-\theta)\%$  مقدار کارایی واحد ناکاراست) کاهش دهد، بدون این‌که میزان تولیدش کاهش یابد (۲۲). به عنوان مثال کارایی ۶۳ درصدی مزرعه شماره ۲۲ در سطح زیر کشت بالای ۰/۱ تا ۲ هکتار به معنای آن است که این واحد باید ۳۷٪ مصرف خود را از کلیه عوامل تولید کاهش دهد (بدون این‌که از میزان تولیدش کاسته شود) تا بتواند به یک واحد تولید کارا تبدیل شود. اگر یک واحد تولیدی از نظر مدل VRS کاملا کارا ولی مقدار کارایی پایینی



شکل ۳- ارزیابی مزارع گندم آبی توسط مجموعه‌های مرجع آن‌ها با استفاده از مدل CRS نهاده محور

Figure 3- Evaluation of irrigated wheat farms with reference units with CCR model

بازده به مقیاس افزایشی است، اگر بزرگتر از صفر باشد بازده به مقیاس کاهش‌ی و اگر مساوی صفر باشد بازده به مقیاس ثابت است. در بازده به مقیاس افزایشی نمی‌توان مقیاس واحد تولیدی را کاهش داد ولی می‌توان آن را تا بی‌نهایت افزایش داد. نسبت خروجی به ورودی برای هر نقطه روی مرز کارا نسبت به ورودی، غیر کاهش‌ی است یعنی افزایش در خروجی همواره حداقل به اندازه‌ای متناسب با ورودی است. در جدول ۲ وضعیت بازده به مقیاس برای مزارع گندم در هر سه سطح مشخص شده است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول ۲، در سطح ۰/۱ تا ۲ هکتار مزارع ۸، ۱۳، ۲۴ و ۲۶، در سطح ۲/۱ تا ۵ هکتار مزارع ۵، ۶، ۱۷ و ۲۵ و در سطح ۵ هکتار به بالا مزارع ۵ و ۱۶ به‌طور موضعی کارا عمل می‌کنند یعنی در آن‌ها کارایی فنی خالص مساوی یک است ولی کارایی کلی آن‌ها کوچکتر از یک می‌باشد که این ناکارایی ناشی از ناکارایی مقیاس یا مدیریتی است. ناکارایی سایر مزارع، ناشی از ناکارایی مدیریتی و همچنین شرایط مزرعه (ناکارایی مقیاس) است. وقتی یک واحد تولیدی کارایی VRS است، وضعیت بازده به مقیاس از طریق وزن خروجی مشخص می‌شود. اگر کوچکتر از صفر باشد



جدول ۲- انواع کارایی‌های فنی، فنی خالص و مقیاس در سطوح مختلف کشت گندم آبی

Table 2- Technical, pure technical and scale efficiency at different levels of irrigated wheat Production

مزارع بالاتر از ۵ هکتار				مزارع بین ۲/۱ تا ۵ هکتار				مزارع بین ۰/۱ تا ۲ هکتار						
بازده به مقیاس	Es	EvRS	EORS	شماره مزرعه	بازده به مقیاس	Es	EvRS	EORS	شماره مزرعه	بازده به مقیاس	Es	EvRS	EORS	شماره مزرعه
افزایشی	%۸۶	%۸۶	%۷۴	۱	افزایشی	%۷۲	%۹۳	%۶۷	۱	افزایشی	%۹۲	%۶۷	%۶۲	۱
ثابت	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	۲	افزایشی	%۸۸	%۶۷	%۵۹	۲	افزایشی	%۹۶	%۸۹	%۸۶	۲
افزایشی	%۹۶	%۸۴	%۸۱	۳	افزایشی	%۹۶	%۷۵	%۷۲	۳	افزایشی	%۹۶	%۹۲	%۸۹	۳
افزایشی	%۹۶	%۸۸	%۸۵	۴	افزایشی	%۹۴	%۷۳	%۶۹	۴	افزایشی	%۹۳	%۷۵	%۷۰	۴
افزایشی	%۹۲	%۱۰۰	%۹۲	۵	افزایشی	%۸۷	%۱۰۰	%۸۷	۵	ثابت	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	۵
ثابت	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	۶	افزایشی	%۹۸	%۱۰۰	%۹۸	۶	افزایشی	%۹۳	%۷۹	%۷۴	۶
افزایشی	%۹۱	%۸۳	%۷۶	۷	افزایشی	%۹۶	%۹۰	%۸۷	۷	افزایشی	%۹۴	%۹۸	%۹۳	۷
افزایشی	%۹۵	%۸۵	%۸۱	۸	ثابت	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	۸	افزایشی	%۸۳	%۱۰۰	%۸۳	۸
افزایشی	%۹۷	%۸۷	%۸۵	۹	افزایشی	%۹۵	%۹۳	%۸۹	۹	ثابت	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	۹
افزایشی	%۸۸	%۹۶	%۸۸	۱۰	ثابت	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	۱۰	افزایشی	%۹۶	%۸۰	%۷۷	۱۰
ثابت	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	۱۱	افزایشی	%۹۵	%۸۷	%۸۳	۱۱	افزایشی	%۹۴	%۷۳	%۶۹	۱۱
ثابت	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	۱۲	افزایشی	%۸۵	%۸۴	%۷۲	۱۲	افزایشی	%۷۵	%۸۱	%۶۱	۱۲
افزایشی	%۸۹	%۸۹	%۸۰	۱۳	افزایشی	%۹۶	%۹۷	%۹۴	۱۳	افزایشی	%۹۲	%۱۰۰	%۹۲	۱۳
افزایشی	%۹۳	%۸۳	%۷۸	۱۴	افزایشی	%۹۲	%۹۰	%۸۳	۱۴	افزایشی	%۹۵	%۸۳	%۷۹	۱۴
افزایشی	%۹۴	%۹۱	%۸۶	۱۵	ثابت	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	۱۵	افزایشی	%۹۵	%۹۵	%۹۱	۱۵
افزایشی	%۹۴	%۱۰۰	%۹۴	۱۶	افزایشی	%۹۴	%۹۳	%۸۸	۱۶	ثابت	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	۱۶
ثابت	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	۱۷	افزایشی	%۹۵	%۱۰۰ض	%۹۵	۱۷	افزایشی	%۹۳	%۸۷	%۸۱	۱۷
افزایشی	%۹۷	%۹۴	%۹۲	۱۸	افزایشی	%۹۷	%۸۷	%۸۵	۱۸	افزایشی	%۹۱	%۹۱	%۸۳	۱۸
ثابت	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	۱۹	ثابت	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	۱۹	افزایشی	%۸۹	%۷۹	%۷۱	۱۹
افزایشی	%۹۱	%۸۳	%۷۶	۲۰	افزایشی	%۹۴	%۸۹	%۸۴	۲۰	افزایشی	%۹۵	%۹۲	%۸۸	۲۰
-	-	-	-	-	افزایشی	%۹۵	%۹۵	%۹۱	۲۱	ثابت	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	۲۱
-	-	-	-	-	ثابت	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	۲۲	افزایشی	%۹۲	%۶۸	%۶۳	۲۲
-	-	-	-	-	افزایشی	%۹۱	%۸۲	%۷۵	۲۳	افزایشی	%۸۶	%۸۱	%۷۰	۲۳
-	-	-	-	-	افزایشی	%۹۵	%۹۱	%۸۷	۲۴	افزایشی	%۹۱	%۱۰۰	%۹۱	۲۴
-	-	-	-	-	افزایشی	%۹۱	%۱۰۰	%۹۱	۲۵	افزایشی	%۸۶	%۸۴	%۷۳	۲۵
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	افزایشی	%۹۷	%۱۰۰	%۹۷	۲۶
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	افزایشی	%۹۶	%۸۹	%۸۶	۲۷
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	افزایشی	%۹۱	%۷۹	%۷۲	۲۸
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	افزایشی	%۹۴	%۸۹	%۸۴	۲۹
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	افزایشی	%۹۶	%۹۳	%۹۰	۳۰

نهاده نیروی انسانی، ۳۶۸ واحد از نهاده ساخت و استهلاک ماشین‌آلات، ۵۷۶۱ واحد از نهاده کود شیمیایی، بذر و سموم مصرفی، ۲۶۴۱ واحد از نهاده آب و همچنین ۱۰۸ واحد از نهاده حمل و نقل را کاهش دهد تا بر روی مرز کارایی قرار گیرد. مشابه این کار برای دو سطح دیگر نیز می‌تواند انجام گیرد که در این جا به علت اختصار فقط به ذکر یک نمونه اکتفا شد. در تحقیقی از

جدول ۳ نتایج حاصل از تحلیل مزارع گندم در سطح ۵ هکتار به بالا با مدل بازگشت به مقیاس ثابت ورودی محور برای تعیین مازاد نهاده‌ها و کمبود عملکرد را نشان می‌دهد. برای هر کدام از واحدهای ناکارا تعیین شده که به چه میزان باید از مصرف نهاده‌های مازاد را کم کنند تا کارا شوند. مثلا مزرعه شماره ۱ با کارایی %۷۴ باید ۳۵۲۳ واحد از نهاده سوخت مصرفی، ۹۱ واحد از

مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مزارع با دو مدل CRS و VRS ارزیابی شدند که میانگین کارایی مزارع ناکارا ۰/۸۵ به دست آمد که با رسیدن به مرز کارایی می‌توانند ۱۵٪ از انرژی نهاده‌های خود را ذخیره کنند.

روش تحلیل پوششی داده‌ها به منظور بهینه‌سازی انرژی مصرفی در کشت گندم در هند و پاکستان استفاده شد (۲۳). در این تحقیق، سه نهاده آبیاری، بذر و کود شیمیایی به عنوان ورودی و عملکرد محصول به عنوان خروجی

جدول ۳- مازاد و کمبود مصرف انرژی در سطح ۵ هکتار به بالا با مدل CRS نهاده محور (برحسب MJ/ha)

Table 3- Energy lack and excess with CCR model (for up to 5 ha farms)

مزرعه (م)	کارایی (درصد)	سوخت مصرفی	نیروی انسانی	ساخت و استهلاك ماشین-آلات	بذر، کود و سموم شیمیایی	آب مصرفی	حمل و نقل
۱	٪۷۴	۳۵۲۳/۰۰	۹۱/۰۰	۳۶۸/۰۰	۵۷۶۱/۰۰	۲۶۴۱/۰۰	۱۰۸/۰۰
۲	٪۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳	٪۸۱	۲۴۵۶/۰۰	۳۲/۰۰	۱۳۹/۰۰	۳۴۷۶/۰۰	۱۲۳۰/۰۰	۰
۴	٪۸۵	۲۱۸۹/۰۰	۲۷/۰۰	۰	۳۵۱۲/۰۰	۱۴۱۸/۰۰	۲۴/۰۰
۵	٪۹۲	۱۱۵۰/۰۰	۰	۱۵۱/۰۰	۱۷۸۹/۰۰	۹۸۲/۰۰	۰
۶	٪۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷	٪۷۶	۳۱۷۴/۰۰	۷۹/۰۰	۳۱۲/۰۰	۴۹۸۳/۰۰	۲۵۷۴/۰۰	۵۹/۰۰
۸	٪۸۱	۲۸۹۰/۰۰	۲۵/۰۰	۲۲۱/۰۰	۳۲۷۴/۰۰	۱۳۵۱/۰۰	۰
۹	٪۸۵	۲۷۶۱/۰۰	۲۳/۰۰	۰	۳۰۸۹/۰۰	۱۲۸۴/۰۰	۰
۱۰	٪۸۸	۲۹۵۳/۰۰	۰	۰	۳۲۱۰/۰۰	۱۰۹۲/۰۰	۱۸/۰۰
۱۱	٪۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۲	٪۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳	٪۸۰	۳۳۱۴/۰۰	۱۹/۰۰	۱۹۸/۰۰	۳۱۸۴/۰۰	۱۳۰۰/۰۰	۰
۱۴	٪۷۸	۳۱۸۹/۰۰	۳۲/۰۰	۲۵۴/۰۰	۴۹۵۱/۰۰	۲۱۶۳/۰۰	۳۶/۰۰
۱۵	٪۸۶	۲۹۹۰/۰۰	۳۵/۰۰	۰	۳۰۸۴/۰۰	۱۳۶۱/۰۰	۲۷/۰۰
۱۶	٪۹۴	۸۹۱/۰۰	۰	۰	۱۵۴۰/۰۰	۷۶۰/۰۰	۰
۱۷	٪۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۸	٪۹۲	۱۳۴۲/۰۰	۰	۱۰۹/۰۰	۱۷۸۹/۰۰	۸۳۱/۰۰	۱۰۹/۰۰
۱۹	٪۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۰	٪۷۶	۳۳۵۰/۰۰	۵۸/۰۰	۲۰۳/۰۰	۴۸۷۵/۰۰	۱۹۵۹/۰۰	۵۹/۰۰

مگاژول بر هکتار می‌توان در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد. در این مطالعه بیش‌ترین نهاده‌ای که با استفاده از DEA می‌توان در مصرف آن صرفه‌جویی کرد در هر سه سطح مربوط به نهاده کود و سموم شیمیایی است. در تحقیقی که در مورد گردو انجام یافت نیز نهاده کود و سموم شیمیایی مستعد بیش‌ترین مقدار صرفه‌جویی با این روش بودند (۲۵). نتیجه این تحقیق با پژوهشی که بر روی محصول سیر انجام گرفت هم راستا است (۲۶). این در حالی است که طبق نتایج تحقیقی که روی کشت ذرت انجام یافته است، نهاده سوخت مصرفی می‌تواند بیش‌ترین پتانسیل ذخیره‌سازی با این تکنیک را داشته باشد (۲۷). همچنین در تحقیقی که روی یک وارپته ذرت در گلستان انجام یافته است، نهاده الکتریسیته به عنوان مستعدترین نهاده جهت ذخیره‌سازی معرفی شده است (۲۴).

به منظور بررسی میزان صرفه‌جویی انرژی در این کشت به کمک روش تحلیل پوششی داده‌ها شاخص ESR<sup>۱</sup> یا نسبت انرژی صرفه‌جویی به‌صورت رابطه ۱۱ تعریف می‌شود (۲۴):

$$ESR = \frac{\text{Saving energy}}{\text{Consume energy}} \quad (11)$$

مقادیر ESR محاسبه شده برای سه سطح زیر کشت گندم در این منطقه در جدول شماره ۴ نشان داده شده است. طبق نتایج این جدول، برای سطوح ۰/۱ تا ۲ هکتار، ۲/۱ تا ۵ هکتار به بالا به ترتیب مقدار ESR برابر با ۶/۸۳، ۸/۱۱ و ۶/۵۴ است. یعنی با استفاده از بهینه‌سازی انرژی مصرفی برای تمامی نهاده‌ها در سه سطح، به‌ترتیب حدود ۱۵۱۲، ۱۹۵۷ و ۱۶۴۰

نتایج حاصل از بهینه‌سازی میزان آلاینده‌های حاصل از تولید گندم آبی در منطقه سیلاخور استان لرستان با مدل CRS نهاده محور در جدول ۵ نشان داده شده است. طبق نتایج این جدول در سطح ۰/۱ تا ۲ هکتار با بهینه‌سازی مصرف انرژی در مزارع می‌توان مقدار ۱۹۰۴/۳۳ کیلوگرم معادل گاز CO<sub>2</sub> از میزان آلاینده‌گی حاصل از کشت گندم آبی کاست. این مقدار برای سطوح ۲/۱ تا ۵ و بالاتر از ۵ هکتار ۲۷۵۰/۴۴ و ۱۸۶۱/۹ می‌باشد. در تمامی سطوح زیر کشت، نهاده سوخت دیزل بیش‌ترین میزان آلاینده‌گی را ایجاد می‌کند که با بهینه‌سازی میزان مصرف در سطوح سه گانه بالا، به ترتیب می‌توان

نتایج این تحقیق هم راستا با نتایج تحقیقی است که روی کشت ذرت دانه‌ای در منطقه اصفهان انجام گرفته است (۲۸). در این تحقیق نیز نهاده سوخت دیزل و کودهای شیمیایی بیش‌ترین میزان آلودگی محیط زیست را فراهم کردند. نتایج این جدول نشان می‌دهد که در سطوح بزرگ‌تر از سوخت دیزل بهتر استفاده شده است که احتمالاً به دلیل سرعت عمل بیش‌تر راننده در حین عملیات کاشت، داشت و برداشت به علت مانور بهتر در مزرعه است.

جدول ۴- محاسبه شاخص ESR برای سه سطح زیر کشت با مدل CRS نهاده محور

Table 4- ESR index for all the 3 areas under cultivation with CCR model

مزارع بالاتر از ۵ هکتار			مزارع بین ۲/۱ تا ۵ هکتار			مزارع بین ۰/۱ تا ۲ هکتار			نهادهای مصرفی
ESR (%)	انرژی مورد نیاز (MJha <sup>-1</sup> )	انرژی مصرفی (MJha <sup>-1</sup> )	ESR (%)	انرژی مورد نیاز (MJha <sup>-1</sup> )	انرژی مصرفی (MJha <sup>-1</sup> )	ESR (%)	انرژی مورد نیاز (MJ ha <sup>-1</sup> )	انرژی مصرفی (MJha <sup>-1</sup> )	
۵/۶۰	۱۱۵/۱۰	۱۲۲/۰۰	۶/۹۳	۱۶۹/۰۰	۱۸۱/۶۰	۵/۸۶	۱۸۶/۱۰	۱۹۷/۷۰	نیروی انسانی
۴/۱۰	۶۸۹۷/۴۰	۷۱۹۶/۷۰	۸/۶۷	۷۰۱۲/۲۰	۷۶۷۷/۹۰	۵/۶۷	۶۲۳۱/۶۰	۶۶۰۶/۴۰	سوخت مصرفی
۵/۵۰	۲۶۱/۳۰	۲۷۶/۶۰	۴/۷۰	۲۲۴/۷۰	۲۳۵/۸۰	۳/۲۷	۲۵۷/۰۰	۲۶۵/۷۰	حمل و نقل
۳/۸۱	۵۰۹۸/۵۰	۵۳۰۰/۸۰	۴/۵۱	۴۲۱۰/۰۰	۴۴۰۹/۲۰	۴/۳۸	۳۴۱۲/۰۰	۳۵۶۸/۳۰	آبیاری
۹/۶۵	۱۰۲۵۶/۰۰	۱۱۳۵۲/۰۰	۹/۷۴	۹۷۲۹/۰۰	۱۰۷۷۹/۰۰	۸/۵۷	۹۸۹۳/۹۰	۱۰۸۲۱/۷۰	بذر، کود و سموم
۲/۵۸	۸۰۹/۱۰	۸۳۰/۶۰	۲/۲۳	۸۲۶/۲۰	۸۴۵/۱۰	۴/۹۰	۶۴۱/۱۰	۶۷۴/۲۰	ساخت و استهلاک
۶/۵۴	۲۳۴۳۷/۴۰	۲۵۰۷۸/۷۰	۸/۱۱	۲۲۱۷۱/۱۰	۲۴۱۲۸/۶۰	۶/۸۳	۲۰۶۲۱/۷۰	۲۲۱۳۴	مجموع

جدول ۵- کاهش میزان آلاینده‌های محیط زیست در کشت گندم آبی با مدل CRS نهاده محور

Table 5- Decrease of environmental pollutions in irrigated wheat production with CCR model

مقادیر انتشار گاز CO <sub>2</sub> معادل (Kg) با استفاده از مدل CRS			مقادیر انتشار گاز CO <sub>2</sub> معادل (Kg) در حالت عادی			ضریب CO <sub>2</sub> (KgCO <sub>2eq</sub> بر واحد)	نهادها
۵/۱ هکتار به بالا	بین ۲/۱ تا ۵ هکتار	بین ۰/۱ تا ۲ هکتار	۵/۱ هکتار به بالا	بین ۲/۱ تا ۵ هکتار	بین ۰/۱ تا ۲ هکتار		
۵۷/۴۵	۵۸/۶۶	۴۵/۵۲	۵۸/۹۷	۶۰/۰۱	۴۷/۸۷	۰/۰۷۱ (۲۹)	۱- انرژی ماشین آلات
۱۹۰۳۶/۸۴	۱۹۳۵۳/۶۷	۱۷۱۹۹/۲۲	۱۹۸۶۲/۸۹	۲۱۱۹۱/۰۱	۱۸۲۳۳/۶۶	۲/۷۶ (۲۹)	۲- سوخت دیزل
					-		۳- کودهای شیمیایی
۵۶۹۴/۸۳	۵۰۴۶/۱۲	۴۹۸۶/۵۲	۶۲۹۱/۴۸	۵۵۲۰/۴۵	۵۳۶۲/۵۰	۱/۳ (۳۰)	- نیتروژن
۲۶۲/۹۱	۱۸۵/۷۴	۲۵۱/۵۲	۲۸۰/۷۲	۲۰۲/۷۸	۲۷۰/۱۲	۰/۲ (۳۰)	- فسفات
							۴- سموم شیمیایی
۵۱۹/۱۲	۵۷۴/۲۲	۳۱۹/۶۳	۵۷۲/۱۳	۶۱۵/۴۲	۳۶۸/۵۵	۳/۹ (۳۰)	- آفت‌کش
۳۶۷۱/۴۴	۲۸۹۶/۹۴	۲۵۶۱/۲۴	۴۰۳۸/۳۳	۳۲۷۶/۱۲	۲۹۸۵/۲۸	۰/۶۰۸ (۲۹)	۵- الکتريسيته

## بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق به کمک روش غیرپارامتریک تحلیل پوششی داده‌ها کارایی تولید کنندگان گندم منطقه سیلاخور استان لرستان توسط دو مدل VRS و CRS ورودی محور مورد بررسی قرار گرفت. مهم‌ترین نتایج این تحقیق به قرار زیر است:

۱- مجموع کل انرژی مورد نیاز برای کشت گندم آبی در سطوح ۰/۱ تا ۲ هکتار، ۲/۱ تا ۵ هکتار و ۵ هکتار به بالا به ترتیب برابر ۲۲۱۳۴، ۲۴۱۲۸ و ۲۵۰۷۸ مگاژول بر هکتار است. مجموع نهاده‌های کود، بذر و سموم شیمیایی در هر سه سطح بیش‌ترین میزان انرژی از مجموع کل انرژی مصرفی را به خود اختصاص دادند.

۲- میانگین کارایی فنی مزارع ناکارا در کشت گندم در سطوح ۰/۱ تا ۲ هکتار، ۲/۱ تا ۵ هکتار و ۵ هکتار به بالا با مدل CRS ورودی محور به ترتیب برابر ۰/۸۹۷، ۰/۸۲۷ و ۰/۸۳۴ است، یعنی با استفاده بهینه از منابع انرژی و جلوگیری از اتلاف ۲۰/۲، ۱۷/۲ و ۱۶/۶٪ از نهاده‌ها در هر سه سطح و با ثابت ماندن میزان خروجی، واحدهای ناکارا می‌توانند به مرز کارایی رسیده و ۵۴٪ از مجموع نهاده‌ها را با افزایش کارایی خود ذخیره کنند.

۳- میزان آلودگی تولید شده در سطوح سه گانه بالا در این کشت به ترتیب ۲۷۲۶۷، ۳۰۸۶۵ و ۳۱۱۰۴ کیلوگرم معادل گاز CO<sub>2</sub> محاسبه شد. بهینه‌سازی نهاده‌های مصرفی قادر به کاهش مقادیر بالا به میزان ۱۹۰۴، ۲۷۵۰ و ۱۶۲۳ کیلوگرم معادل گاز CO<sub>2</sub> است. این میزان کاهش در یک کشت از یک محصول استرژیک در استان در هر سال می‌تواند سهم به‌سزایی در کاهش آلودگی محیط زیست و انباشته شدن مواد مضر در جو کره زمین شود.

۴- استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها ابزاری ارزشمند به منظور تعیین میزان بهینه مصرف انرژی در انواع واحدهای کشاورزی است که می‌تواند برای انواع محصولات مختلف کشاورزی استفاده شود ولی در نهایت با توجه به نتایج باید برای هر محصول، راهبرد مناسبی را در نظر گرفت و برای انجام آن، پیشنهادی مربوط را به دولت یا کسانی که مجری اجرای سیاست‌های کلی هستند، ارائه داد.

## منابع

- ۱- پاشایی ف. رحمتی م. پاشایی پ. ۱۳۸۷. بررسی و تعیین میزان مصرف انرژی برای تولید گوجه فرنگی گل‌خانه‌ای در گل‌خانه‌های استان کرمانشاه. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲- منصوریان ن. ۱۳۸۴. بررسی بهره‌وری انرژی در کشاورزی ایران (مطالعه موردی استان خراسان). پنجمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران، ۷ تا ۹ شهریور، بلوچستان.
- 3- Singh G. 2006. Estimation of a Mechanization Index and Its Impact on Production and economic Factor: A Case Study in India. *Biosystem Engineering*. 93(1): 99-106.
- ۴- فرجی ی. ۱۳۸۶. بررسی وضع موجود مکانیزاسیون و شاخص‌های انرژی در کشاورزی دشت عباس و ارایه راه‌کارهای مناسب توسعه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
- ۵- تاکي م. عجب شیرچی ی. عبدی ر. اکبرپور م. ۱۳۹۱. تجزیه و تحلیل کارایی انرژی محصول خیار گل‌خانه‌ای به روش تحلیل پوششی داده‌ها، مطالعه موردی (شهرستان شهرضا - استان اصفهان). نشریه ماشین‌های کشاورزی. (۱(۲): ۲۸ - ۳۷.
- 6- Pishgar-Komleh S.H. Ghahderijani M. Sefeeefari P. 2012. Energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. *Journal of Cleaner Production*. 33:183-191.
- 7- Taki M. Abdi R. Akbarpour M. Mobtaker HG. 2013. Energy inputs – yield relationship and sensitivity analysis for tomato greenhouse production in Iran. *CIGR Journal*. 15: 59–67.
- ۸- بی نام. ۱۳۸۷. آمار مساحت اراضی و محصولات زراعی شهرستان‌های بروجرد و دورود. مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان‌های بروجرد و دورود.
- 9- Cochran William. G. 1977, *Sampling Techniques*, Third Edition.
- ۱۰- منصوریان، نجم‌الدین. ۱۳۸۴. بررسی بهره‌وری انرژی در کشاورزی ایران (مطالعه موردی استان خراسان). پنجمین کنفرانس دوسالانه اقتصاد کشاورزی ایران، ۷ تا ۹ شهریور، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- 11- Mandal K.G. Saha K.P. Ghosh P.K. Hati K.M. and Bandyopadhyay K.K. 2002. Bio energy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India, *Biomass Bio energy*. 23(5): 337–345.
- 12- Kaltschmitt M. Reinhardt G.A. and Stelzer T. 1997. Life cycle analysis of befouls under different environmental aspects. *Biomass and Bio energy*. 12(2): 121–134
- 13- Karkacier O. and Goktolga Z.G. 2005. Input-output analysis of energy use in agriculture, *Energy Conversion and Management*. 46(9-10): 1513- 1521.
- 14- Unakitan G. Hurma H. Yilmaz F. 2010. An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. *Energy*. 35: 3623-3627.
- 15- Mohammadi. A. and Omid M. 2010. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran, *Applied Energy*. 87: 191–196

- envelopment analysis (DEA) approach. Energy. 36: 2765- 2772.
- 25- Banaeian N. Zangeneh M. and Omid M. 2010. Energy use efficiency for walnut producers using Data Envelopment Analysis (DEA), Australian journal of crop science. 4(5): 359-362.
- ۲۶- سماواتیان ن. رفیعی ش. مبلی م. ۱۳۸۹. بررسی بهبود مصرف انرژی در تولید سیر با روش تحلیل پوششی داده‌ها. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی تهران.
- 27- Pishgar S.H. Omid M. and Keyhani A. 2011. Study on Energy use Pattern and Efficiency of Corn Silage in Iran by using Data Envelopment Analysis (DEA) Technique, International Journal of Environmental Sciences. 1(6): 1094-1106.
- 28- Taki M. Mahmoudi A. Mobtaker HG. Rahbari H. 2012. Energy consumption and modeling of output energy with multilayer feed-forward neural network for corn silage in Iran. CIGR Journal. 14: 93-101.
- 29- Dyer J. A. and Desjardins R. L. 2007. Energy based GHG emissions from Canadian agriculture. Journal of the Energy Institute. 80(2):93-95.
- 30- Lal R. 2004. Carbon emission from farm operations. Environment International. 30(7): 981-990.
- 16- Yaldiz O. Ozkan H.H. Zeren Y. and Bascetincelik A. 1993. Energy usage in production of field crops in Turkey. Pp.854-864. International Congress on Mechanization and Energy Use in Agriculture. Kusadasi, Turkey.
- ۱۷- کورهونن پ. میکولاس ل. ۱۳۸۰. استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در ارزیابی اکو-کارایی نیروگاه‌های برق. ترجمه کیومرث حیدری. صنعت برق.
- ۱۸- غچه بیگ ف. امید م. احمدی ح. دلشاد د. ۱۳۸۹. ارزیابی و بهبود مصرف بهینه منابع انرژی در تولید محصول خیار در گلخانه‌های تهران با استفاده از تحلیل پوششی داده، ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی تهران.
- ۱۹- امامی میبدی ع. ۱۳۷۹. اصول اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری. انتشارات موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی.
- 20- Yong T. and Chunweki K. 2003. A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem. European Journal of Operational Research 147(2): 128-136.
- ۲۱- قیصری ک. مهرنوح ج. جعفری الف. ر. ۱۳۸۶. کلیاتی بر تحلیل پوششی داده‌های فازی. مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین
- 22- Omid M. Ghojabeige F. Delshad M. and Ahmadi H. 2011. Energy use pattern and benchmarking of selected greenhouses in Iran using data envelopment analysis, Energy Conversion and Management. 52: 153-162.
- 23- Malana N.M. and Malano H.M. 2006. Benchmarking productive efficiency of selected wheat areas in Pakistan and India - Data Envelopment Analysis. Irrigation and Drainage. 55: 383-394
- 24- Mousavi-Avval. SH. Rafiee S. Jafari A. and Mohammadi A. 2011. Improving energy use efficiency of canola production using data