

## تحلیل اقتصادسنجی الگوی مصرف انرژی در تولید غلات ایران

### (مطالعه موردی: گندم، جو، برنج و ذرت)

فاخر کردونی<sup>۱</sup>، مجید جامی الاحمدی<sup>۲</sup> و محمدرضا بخشی<sup>۳\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۲

### چکیده

هدف از این مطالعه بررسی روند مصرف و محاسبه شاخص‌های کارایی انرژی و تحلیل اقتصادسنجی مصرف انرژی در تولید غلات آبی کشور (گندم، جو، برنج و ذرت) در طی دوره زمانی ۱۳۶۵-۸۷ می‌باشد. پس از تعیین مقدار مصرف هر نهاده در تولید یک هکتار از محصول، هر نهاده مصرفی به هم‌ارزی انرژی آن تبدیل شد. نتایج نشان دادند روند مصرف انرژی در تولید غلات مورد بررسی در دوره یاد شده روند صعودی داشته است و مقدار کل انرژی ورودی و خروجی در سال ۱۳۸۷ نسبت به سال ۱۳۶۵ به ترتیب به مقدار ۲۷ و ۴۳ درصد افزایش یافته‌است. هم‌چنین، شاخص‌های کارایی و بهره‌وری مصرف انرژی غلات در طی دوره یاد شده دارای روند صعودی بوده است. نسبت انرژی از ۱/۴۵ در سال ۱۳۶۵ به ۱/۸۵ در سال ۱۳۸۷ افزایش یافته‌است، ولی افزایش در کارایی مصرف انرژی محصولات، همراه با افزایش انرژی ورودی بوده که نشان‌دهنده وابستگی بوم‌نظام‌های زراعی کشور به انرژی‌های ورودی بویژه منابع تجدیدناپذیر همانند سوخت‌های فسیلی می‌باشد. نتایج تحلیل اقتصادسنجی تولید غلات نشان‌داد افزایش انرژی‌های سموم شیمیایی و بذری تأثیری مثبت و معنی‌دار بر مقدار تولید محصولات مورد مطالعه داشته‌است.

طبقه بندی JEL: Q49, Q19, C01

واژه های کلیدی: سیستم‌های زراعی، کارایی مصرف انرژی، مدل‌سازی انرژی، نسبت انرژی

<sup>۱</sup> - دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته اگراکولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند.

<sup>۲</sup> - دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند.

<sup>۳</sup> - استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند

\* نویسنده مسئول مقاله: mbakhshi@birjand.ac.ir

### پیشگفتار

بر اساس گزارش سازمان ملل متحد، جمعیت جهان از ۶/۴ میلیارد نفر در سال ۲۰۰۶ به ۸ میلیارد نفر در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید که بیش‌تر مقدار افزایش جمعیت مربوط به کشورهای در حال توسعه خواهد بود. افزایش شایان توجه جمعیت و رشد اقتصادی در دهه‌های آتی در الگویی نامتقارن به سمت کشورهای در حال توسعه، سبب خواهد شد که تقاضای انرژی با رشدی شدید همراه باشد و لذا نگرانی‌های امنیتی و زیست محیطی ناشی از افزایش تقاضای انرژی‌های فسیلی و تجدیدناپذیر تشدید شود (حسن تاش و نادریان، ۱۳۸۷).

در سال‌های اخیر، تلاش در جهت استفاده بهتر از منابع انرژی مورد توجه دولت‌ها قرار گرفته است که بخش کشاورزی نیز از این قاعده مستثنی نبوده است. اکوسیستم‌های فشرده همانند بخش کشاورزی نسبت به اکوسیستم‌های طبیعی تولید بالاتری دارند که این تولید بالاتر فقط به کمک مقادیر شایان توجهی انرژی کمکی بدست می‌آید که به وسیله انسان در کاشت، آبیاری، مصرف کود، مبارزه با آفات، امراض و علف‌های هرز و غیره مصرف می‌شود. سوختی که در ماشین‌های کشاورزی بکار می‌رود تا عملیات گوناگون کاشت، داشت و برداشت را انجام دهد، تقریباً به اندازه خورشید، انرژی وارد زمین می‌نماید که به این ارقام باید مقادیر سرسام‌آوری از انرژی که در تولید کودها و سموم شیمیایی و تحقیقات مربوط به آن‌ها و هم‌چنین، پژوهش‌های مربوط به تولید نژادهای پر بازده گیاهان و حیوانات کشاورزی بکار می‌رود را نیز اضافه کرد (کوچکی، ۱۳۷۳). با توجه به این‌که بخش کشاورزی از طرفی با محدودیت منابع تولید روبه‌رو بوده و از سوی دیگر، تامین‌کننده امنیت غذایی جمعیت در حال رشد می‌باشد، باید تعادل و توازن بین جریان برداشت و بهره‌وری از منابع تولید محصولات کشاورزی ایجاد شود (بهشتی‌تبار، ۱۳۸۷). به همین منظور، در بوم‌نظام‌های زراعی به منظور افزایش تولید و تثبیت آن در بلندمدت، هم‌گام با رعایت اصول اکولوژیک و حفظ پایداری سیستم‌های تولید، لازم‌است چگونگی مصرف انرژی در بوم‌نظام‌های زراعی مورد ارزیابی قرار گیرد. بی‌گمان در سیستمی که روند مصرف انرژی و تولید انرژی در تعادل نباشد، نمی‌توان ادعا کرد که از لحاظ کارایی و بهره‌وری انرژی وضعیت باثبات و پایداری دارد. بهره‌وری و کارایی مصرف انرژی از جمله شاخص‌هایی مهم هستند که در تبیین ساختار مصرف انرژی بخش‌های گوناگون اقتصادی در کشور بویژه بخش کشاورزی، برای سیاست‌گذاری نقش مهمی را ایفا می‌کنند. به کمک دو معیار بهره‌وری و کارایی انرژی می‌توان بوم‌نظام‌های کشاورزی را در زمان‌های گوناگون مقایسه و روند تغییرات انرژی آن‌ها را رصد و مدیریت کرد. به همین منظور، پژوهش‌های زیادی به وسیله پژوهشگران در سرتاسر دنیا از جمله ایران در زمینه کارایی انرژی انجام شده است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعه بهشتی‌تبار و همکاران (۲۰۱۰) اشاره

کرد که نشان دادند انرژی ورودی در بخش کشاورزی ایران در سال ۱۳۸۵ نسبت به ۱۳۶۹، ۷/۳ درصد افزایش یافته است و انرژی خروجی در طی همین دوره، ۲۹/۳ درصد رشد داشته است. در مطالعات منطقه‌ای انجام شده، مقدار انرژی مصرفی در کشت محصولات به دلیل متفاوت بودن فاکتورهای محیطی از جمله شرایط آب و هوایی و خاک در هر منطقه، متفاوت است. بررسی روند مصرف انرژی در بخش کشاورزی ترکیه نشان داد انرژی ورودی در بخش کشاورزی ترکیه، در سال ۲۰۰۰ نسبت به سال ۱۹۷۵، ۵۷/۱ درصد افزایش یافته است. این در حالی است که انرژی خروجی آن در طی این دوره، ۳۰/۶ درصد رشد داشته است که نشان دهنده نرخ رشد کم‌تر انرژی خروجی نسبت به انرژی ورودی در بخش کشاورزی ترکیه می‌باشد (هاتیرلی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). در مطالعه قربانی و همکاران (۲۰۱۱) نسبت انرژی در تولید گندم در دو سیستم آبی (پرنهاده) و دیم (کم نهاده) در شمال خراسان به ترتیب، ۳/۳۸ و ۱/۴۴ به دست آمد. هم‌چنین، آن‌ها نشان دادند بیش‌ترین سهم انرژی ورودی از کل انرژی‌های ورودی را در سیستم آبی، کود شیمیایی (۳۷/۱٪) و در سیستم دیم، سوخت دیزل (۴۵٪) به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین، کل انرژی ورودی برای تولید گندم آبی برای شمال خراسان ۴۵/۳ گیگاژول در هکتار محاسبه شده است. شاهین و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثر اندازه مزرعه بر نسبت انرژی در تولید گندم آبی در استان اردبیل، کل انرژی ورودی را ۳۸/۳۶ گیگاژول در هکتار گزارش کردند.

بررسی نقش انرژی در تولید محصولات کشاورزی بویژه محصولات زراعی در مطالعات داخلی در طی چند سال اخیر مورد توجه پژوهشگران بخش کشاورزی قرار گرفته است، اما بیش‌تر مطالعات انجام شده در داخل، کارایی انرژی را در تولید یک محصول خاص و در یک مقطع زمانی مورد توجه قرار داده‌اند و روند زمانی آن در بخش کشاورزی و یا یک زیربخش خاص همانند زراعت کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. به همین منظور، در این پژوهش به بررسی وضعیت این شاخص‌ها در مصرف انرژی محصولات زراعی مهم ایران طی دوره ۱۳۸۷-۱۳۶۵ پرداخته شد.

### روش پژوهش

داده‌های بکار رفته در پژوهش، مربوط به دوره زمانی ۱۳۸۷-۱۳۶۵ می‌باشد که از منابع گوناگونی مانند جهاد کشاورزی و مرکز آمار ایران تهیه شد. آمار قابل اطمینان پیش از سال ۱۳۶۵ در دسترس بود به همین علت شروع پژوهش از این سال بوده است.

در این پژوهش چهار محصول مهم زراعی آبی کشور شامل گندم، جو، ذرت و برنج که در کل حدود ۷۰ درصد از سطح کل اراضی زراعی ایران را شامل می‌شود، در نظر گرفته شده است که

<sup>1</sup> - Hatirli et al

سطح زیرکشت آن‌ها در سال ۱۳۸۸ در ایران به ترتیب ۶۶۴۷۳۷۰، ۱۶۷۵۶۵۰، ۵۳۵۸۱۳ و ۲۲۵۶۳۹ هکتار می‌باشد (سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، ۲۰۱۱). نهاده‌های مهم در تولید محصولات مورد بررسی شامل نیروی انسانی، انرژی مستقیم (برق، سوخت فسیلی)، کود (شیمیایی و حیوانی)، بذر، سموم و آب بوده‌اند. برای محاسبه انرژی ورودی، معادل انرژی نیروی کار، الکتریسیته، سوخت دیزل، بذر، آب و کود و سموم شیمیایی و بمنظور محاسبه انرژی خروجی، میانگین عملکرد هر محصول در هر سال با توجه به معادل انرژی آن‌ها لحاظ شد. معادل انرژی استفاده‌شده در محصولات با توجه به بررسی منابع و استاندارد<sup>۱</sup> ASAE از مطالعه کیتانی<sup>۲</sup> (۱۹۹۹) گرفته شد. معادل انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

نیروی انسانی که به گونه مستقیم در نظام‌های زراعی صرف می‌شود جزء منابع اکولوژیک می‌باشد. نیروی کار انسانی در بوم نظام‌های کشاورزی شامل تمام مدت زمان کار در طول دوره کاشت، داشت، برداشت و فرآوری محصولات کشاورزی است که صرف مدیریت و تولید این محصولات می‌شود. انرژی معادل مرتبط با نیروی کارگری، به گونه شایانی به رهیافت انتخابی وابسته است و باید با شرایط واقعی زندگی در منطقه مورد مطالعه منطبق باشد (فلاک<sup>۳</sup>، ۱۹۹۲). از این رو، سعی شده‌است از معادل انرژی نیروی کارگری کشورهایی که شرایط نیروی کارگری در آن‌ها، مشابه ایران است استفاده شود. ابتدا داده‌ها از واحد روز در هکتار به واحد ساعت در هکتار تبدیل شدند (معادل هر روز کار برابر ۸ ساعت در نظر گرفته شد). سپس با توجه به ارزش هر ساعت کار نیروی انسانی بر اساس منابع موجود که به طور میانگین ۱/۹۶ مگاژول بر ساعت می‌باشد میزان انرژی نیروی انسانی در هر محصول بدست آمد.

نیروی حیوانی به دلیل داشتن سهم ناچیز در کل انرژی ورودی حذف شد. سوخت‌های فسیلی جزء منابع انرژی تجدیدناپذیر می‌باشند و در تمام مراحل کاشت، داشت و برداشت به وسیله ماشین‌آلات و تجهیزات دیگر مصرف می‌شوند. هم‌چنین، درجه مکانیزاسیون عملیات گوناگون اعم از خاک‌ورزی، کاشت، داشت و برداشت برای محصولات گوناگون در سال‌های مورد مطالعه از آمارنامه‌های هزینه تولید محصولات وزارت جهاد کشاورزی استخراج شد.

نهاده‌های شیمیایی، جزء انرژی برترین نهاده‌ها بشمار می‌رود. این نهاده‌ها جزء منابع انرژی زراعی- صنعتی بوده که به گونه غیرمستقیم در مزارع استفاده می‌شوند. از جمله نهاده‌های شیمیایی قابل مصرف در بخش کشاورزی، انواع سموم (قارچ‌کش، حشره‌کش، آفت‌کش و علف‌کش) و کودهای شیمیایی (نیترژن، پتاس و فسفر) می‌باشند. کودهای شیمیایی بدلیل مصرف انرژی بالا

<sup>۱</sup>-American Society of Agricultural Engineers

<sup>۲</sup>-Kitani

<sup>۳</sup>- Fluck

در زمان تولید و فرآوری آن‌ها، یکی از نهاده‌های تاثیرگذار بر کارایی انرژی سیستم‌های کشاورزی هستند (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۰).

از جمله اجزای انرژی کل ورودی، انرژی بذر می‌باشد که به گونه غیرمستقیم در مزارع بکار برده می‌شود. برای محاسبه انرژی این نهاده، میانگین بذر مصرفی در یک هکتار از محصول زراعی را در انرژی معادل هر کیلوگرم بذر ضرب نموده و انرژی ورودی به ازای مصرف هر کیلو بذر بدست آمد. نیروی الکتریسیته یکی دیگر از اجزاء انرژی ورودی می‌باشد که در تولید محصولات زراعی سهمی ویژه از انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است. در این مطالعه بدلیل نبود داده لازم در مورد مقدار الکتریسیته لازم برای تولید محصولات زراعی، انرژی ورودی ناشی از مصرف نیروی الکتریسیته از رابطه زیر محاسبه شد (سینگ<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰):

$$DE = \frac{YgHq}{Eg} \quad (1)$$

DE: انرژی مستقیم (گیگاژول در هکتار)

: شدت آب (۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب)

g: نیروی جاذبه (۹/۸ متر بر مجذور ثانیه)

H: میانگین عمق پمپاژ آب (بر اساس گزارش وزارت نیرو ۸۰ متر در نظر گرفته شد)

Q: نیاز خالص آبی گیاه (مترمکعب در هکتار). برای بدست آوردن این پارامتر از برنامه Cropwat استفاده شد که بدین منظور برای هر محصول در هر سال، با وارد کردن مقدار تبخیر و تعرق و بارندگی کل کشور در برنامه یاد شده، میزان نیاز آبی خالص محاسبه شد.  
Eg: کارایی کلی آبیاری (مقدار آن براساس گزارش ارکولی<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۹) برابر با ۰/۱۸ در نظر گرفته شد).

پس از محاسبه انرژی مربوط به نهاده‌های موثر در کل انرژی ورودی محصولات مورد بررسی، شاخص‌های کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی و انرژی خالص برای محصولات در هر سال با استفاده از روابط ذیل محاسبه شد (هاتیرلی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۶):

$$\text{کارایی انرژی} = \frac{\text{انرژی مستقیم (گیگاژول/هکتار)}}{\text{انرژی نهاده (گیگاژول/هکتار)}} \quad (2)$$

$$\text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{مقدار مستقیم (کیلوگرم/هکتار)}}{\text{انرژی نهاده (مگاژول/هکتار)}} \quad (3)$$

<sup>1</sup>-Singh

<sup>2</sup>- Ercolia et al

<sup>3</sup>-Hatirli et al

(۴)

انرژی نهاده - انرژی ستانده = انرژی خالص

بمنظور بررسی رابطه بین مصرف نهاده‌های انرژی و عملکرد محصولات منتخب (گندم، جو، ذرت و برنج) از تابع تولید کاب-داگلاس (۱۹۲۸) استفاده شد. این تابع یکی از معروفترین توابع در بیان روابط ساختاری تولید می‌باشد (قاسمی مبتکر و همکاران، ۲۰۱۰؛ هاتیرلی و همکاران، ۲۰۰۶):

$$Y = \alpha_0 \prod_{i=1}^n X_i^{\alpha_i}$$

(۵)

فرم خطی این تابع در این مطالعه، به صورت زیر می‌باشد:

$$\ln Y_i = a_0 + \alpha_1 \ln X_1 + \alpha_2 \ln X_2 + \alpha_3 \ln X_3 + \alpha_4 \ln X_4 + \alpha_5 \ln X_5 + \alpha_6 \ln X_6 + \alpha_7 T + e \quad (۶)$$

در معادله مذکور، عملکرد محصولات بررسی شده تابعی از انرژی‌های نیروی انسانی ( $X_1$ )، سوخت ( $X_2$ )، کود ( $X_3$ ) و سموم شیمیایی ( $X_4$ )، آب آبیاری ( $X_5$ )، بذر ( $X_6$ ) و  $T$  (بعنوان متغیری که تغییرات تکنولوژی را در طی زمان نشان می‌دهد)، می‌باشد.

هم‌چنین، اثر انرژی‌های مستقیم<sup>۱</sup> (DE) و غیر مستقیم<sup>۲</sup> (IDE)، انرژی‌های تجدیدپذیر<sup>۳</sup> (RE) و تجدیدناپذیر<sup>۴</sup> (NRE) بر تولید محصولات مذکور مورد تحلیل قرار گرفت. انرژی‌های مستقیم شامل سوخت، نیروی انسانی، آب آبیاری و انرژی‌های غیر مستقیم شامل بذر، کود و سموم شیمیایی و هم‌چنین، انرژی‌های قابل تجدید شامل آب آبیاری، نیروی انسانی و بذر و انرژی‌های تجدیدناپذیر شامل سوخت، کود و سموم شیمیایی می‌باشد. برای این منظور، از تابع کاب داگلاس به شکل زیر استفاده شد:

$$\ln Y_i = a_0 + \alpha_1 \ln DE_t + \alpha_2 \ln IDE_t + \alpha_3 T + e \quad (۷)$$

$$\ln Y_i = a_0 + \alpha_1 \ln RE_t + \alpha_2 \ln NRE_t + \alpha_3 T + e \quad (۸)$$

برای برآورد معادلات اقتصادسنجی (۵)-(۸) از روش کم‌ترین مربعات معمولی و نرم افزار SHAZAM 10 استفاده شد.

<sup>1</sup> - Direct Energy

<sup>2</sup> - Indirect Energy

<sup>3</sup> - Renewable Energy

<sup>4</sup> - Non-Renewable Energy

## نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل‌های مربوط به انرژی نهاده‌ها و انرژی ستانده‌ها بر مبنای یک هکتار انجام شده‌است. بر همین اساس در ادامه، پس از بررسی روند انرژی نهاده‌های مصرفی در تولید محصولات زراعی مورد بررسی در دوره مورد مطالعه، شاخص‌های انرژی محصولات یاد شده بیان شده و سپس تحلیل اقتصادسنجی مصرف انرژی در تولید محصولات مورد مطالعه ارائه شده است.

### بررسی روند انرژی نهاده‌ها در تولید غلات

میانگین کل انرژی نهاده‌های مصرفی در تولید محصولات زراعی مورد بررسی در طی سال‌های ۸۷-۱۳۶۵ در جدول ۲ نشان داده شده‌است. با توجه به نتایج جدول ۲ انرژی تمام نهاده‌ها به جز سموم شیمیایی در طی دوره یاد شده روند افزایشی داشته‌است. کود شیمیایی بیش‌ترین سهم را از کل انرژی ورودی به خود اختصاص داده است به گونه‌ای که میزان نرخ رشد آن در طی دوره ۸۷-۱۳۶۵، ۲/۹۵ درصد بوده است. اثر کود شیمیایی بر میزان افزایش عملکرد در واحد سطح یکی از مهم‌ترین دلایل افزایش مصرف کل انرژی ورودی در طول دوره مورد بررسی بوده است. میانگین انرژی کود شیمیایی محصولات زراعی مورد بررسی در طی دوره یاد شده، ۱۶/۳۳ گیگاژول در هکتار بوده است که نسبت به میانگین انرژی کود شیمیایی در بخش کشاورزی ایران با میانگین ۹/۸ گیگاژول در هکتار (بهشتی تبار و همکاران، ۲۰۱۰) بسیار بالا می‌باشد. این موضوع نشان‌دهنده مصرف بالای کود شیمیایی بخصوص نیتروژن در تولید غلات ایران (بویژه ذرت) می‌باشد. مدیریت سیستم‌های زراعی از طریق مصرف بهینه کودهای شیمیایی، وارد کردن لگوم‌ها و تناوب کشت، انتخاب ارقام با کارایی جذب بالای عناصر غذایی کم‌مصرف (ریزمغذی)، به خوبی می‌تواند باعث کاهش مصرف کود شیمیایی در مزارع غلات کشور شود. پس از کود شیمیایی، انرژی سوخت بیش‌ترین سهم از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص داده‌است به گونه‌ای که میانگین انرژی این نهاده در دوره مورد بررسی در تمام محصولات، ۸/۳۱ گیگاژول در هکتار برآورد شده‌است. گفتنی است عمده مصرف سوخت در محصولات گندم و جو مربوط به نیروهای محرکه (انواع تراکتورها) و ماشین‌های خودگردان (کمباین و...) و در تولید برنج و ذرت مربوط به پمپاژ کردن آب برای آبیاری می‌باشد. کشت برنج در مناطق گوناگون ایران بویژه شمال کشور به صورت غرقابی می‌باشد که مستلزم مصرف آب زیاد و در نتیجه نیاز به انرژی بیش‌تری برای پمپاژ کردن آب برای تولید این محصول می‌باشد که افزایش مصرف سوخت را به همراه دارد. هم‌چنین، گیاه ذرت به دلیل این که فصل کشت آن در بیش‌تر مناطق کشور بخصوص خوزستان (دارای بالاترین سطح زیر کشت ذرت

در کشور) در فصل تابستان می‌باشد، نیاز زیادی به آب آبیاری و سوخت دارد و لذا منجر به مصرف سوخت زیاد در تولید محصولات یاد شده می‌شود.

### بررسی روند شاخص‌های انرژی در غلات

روند نسبت انرژی (ستانده به نهاده) در تولید غلات در طی دوره مطالعه دارای یک روند افزایشی بوده‌است به گونه‌ای که میانگین رشد نسبت انرژی کل در محصولات یاد شده در طی دوره مورد بررسی، ۱/۷۱ درصد بوده است (جدول ۳). روی هم رفته، میانگین نسبت انرژی در تولید محصولات یاد شده در طی دوره مورد بررسی برابر با ۱/۳۹ می‌باشد (جدول ۳). بهشتی تبار و همکاران (بهشتی تبار و همکاران، ۲۰۱۰) نیز در بررسی روند مصرف انرژی در بخش کشاورزی ایران در طی دوره ۸۵-۱۳۶۹ نشان دادند که روند کارایی انرژی در بخش کشاورزی ایران در طی دوره یاد شده افزایش یافته است. از سوی دیگر، عالم<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی جریان انرژی در کشاورزی بنگلادش در طی دوره ۲۰۰۰-۱۹۸۰ نشان دادند که کارایی انرژی یعنی نسبت ستاده به داده انرژی در دوره یاد شده، ۲۸ درصد کاهش یافته‌است که نشان می‌دهد نهاده انرژی سریع‌تر از ستاده انرژی افزایش یافته و در پی آن کارایی مصرف انرژی کاهش یافته‌است. در یک نگاه کلی می‌توان بیان داشت نتایج این مطالعه نشان می‌دهند افزایش کارایی انرژی نشان دهنده روند رشد بیش‌تر انرژی ستانده (به دلیل رشد بیش‌تر عملکرد در واحد سطح) نسبت به رشد انرژی ورودی بوده است.

روند تغییرات شاخص‌های بهره‌وری انرژی و انرژی خالص در تولید محصولات مورد بررسی در در سال‌های ۸۷-۱۳۶۵ در جدول ۳ نشان داده شده‌است. میانگین بهره‌وری انرژی ۰/۰۹ کیلوگرم بر مگاژول بدست آمد که به این معنی است که به ازای هر مگاژول افزایش در انرژی ورودی، عملکرد ۰/۰۹ کیلوگرم افزایش می‌یابد. بهره‌وری انرژی در طی دوره مورد بررسی از ۰/۰۹ به ۰/۱ کیلوگرم بر مگاژول افزایش یافته‌است. هم‌چنین، انرژی خالص در طی دوره یاد شده روند افزایشی را نشان داده‌است به گونه‌ای که میانگین رشد انرژی خالص در هر سال در دوره مورد بررسی، ۳۰/۱ درصد رشد داشته‌است. در پژوهشی که روی ۱۰۴ محصول کشاورزی در ترکیه در طی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۷۵ انجام شد، نشان داده شده‌است که شاخص‌های بهره‌وری انرژی و انرژی خالص در طی زمان کاهش یافته‌است که بیان‌کننده این واقعیت است که الگوی مصرف انرژی در کشاورزی ترکیه ناکارا عمل کرده‌است که می‌تواند مسایل زیست محیطی را در پی داشته باشد (هاتیرلی<sup>۲</sup> و

<sup>۱</sup> - Alam et al

<sup>۲</sup> - Hatirli et al

همکاران، ۲۰۰۵). نتایج این مطالعه نشان‌دهنده مصرف بهتر منابع تولید در بخش کشاورزی ایران در تولید محصولات مورد بررسی در طی زمان بوده است. مقایسه نسبت‌های انرژی در بخش کشاورزی ایران و کشورهای دیگر همانند ترکیه نشان می‌دهد که نسبت انرژی در ایران پایین است که دلیل عمده آن کارایی پایین نهاده‌های کود شیمیایی و آب آبیاری می‌باشد. میانگین نهاده‌های انرژی ورودی به صورت مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در طی دوره مورد بررسی در جدول ۴ نشان داده شده است. انرژی‌های غیر قابل تجدید شونده تقریباً با مقدار ۷۴ درصد بیش‌ترین سهم را در تولید محصولات زراعی در طی سال‌های ۸۷-۱۳۶۵ داشته‌اند که نشان‌دهنده وابستگی کشاورزی ایران در تولید محصولات زراعی به انرژی‌های تجدیدناپذیر است.

داده‌های مندرج در جدول ۵ نتایج رگرسیون اثر انرژی‌های نهاده‌های گوناگون بر میانگین عملکرد محصولات را نشان می‌دهد. مقدار آماره  $R^2$  برابر با ۰/۸۲ بوده که نشان می‌دهد به طور میانگین ۸۰ درصد تغییرات در عملکرد محصولات توسط متغیرهای لحاظ در مدل توجیه شده است. همچنین، مقدار آماره دوربین واتسون ۱/۹۸ می‌باشد که بیانگر عدم وجود مشکل خودهمبستگی اجزاء اخلاص در الگو می‌باشد.

ضریب متغیر مصرف انرژی‌های سموم شیمیایی و بذر که از لحاظ آماری در سطح ۱۰٪ معنی‌دار و دارای علامت مثبت می‌باشند، نشان می‌دهد که افزایش مصرف این نوع انرژی‌ها باعث افزایش عملکرد محصولات غلات می‌شود. ضریب رگرسیونی انرژی‌های سم و بذر برای غلات در دوره زمانی مورد بررسی به ترتیب برابر با ۱/۱۵۶ و ۰/۰۹۴ می‌باشد. این بدان معنی است که نخست، مصرف انرژی‌های بذر و سم در تولید محصولات سبب افزایش عملکرد آن‌ها می‌شود، دوم، اگر مصرف انرژی‌های سم و بذر در تولید محصولات به مقدار یک درصد افزایش یابد، تولید غلات به ترتیب به مقدار ۱/۱۵۶ و ۰/۰۹۴ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین، متغیر زمان که نشانگر تغییرات فناوری در طی دوره مورد بررسی می‌باشد، در سطح پنج درصد معنی‌دار می‌باشد و تاثیر آن را بر عملکرد محصولات مورد بررسی نشان می‌دهد. اوناکیتان و همکاران (۲۰۱۰) و هاتیرلی و همکاران (۲۰۰۵) نیز در تحلیل اقتصادسنجی انرژی در بخش کشاورزی ترکیه، اثر معنی‌دار سموم شیمیایی را بر عملکرد محصولات گزارش کردند.

در جدول ۶ نتایج رگرسیونی اثر انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم و همچنین، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بر میانگین عملکرد محصولات منتخب نشان داده شده است. ضریب رگرسیونی انرژی غیرمستقیم و انرژی غیرقابل تجدیدپذیر در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار شده است که نشان می‌دهد عملکرد غلات با افزایش مصرف این نوع انرژی‌ها افزایش خواهند یافت. هاتیرلی و همکاران (۲۰۰۶)

نشان دادند که افزایش در مصرف انرژی غیرقابل تجدید پذیر، تولید ۱۰۴ محصول کشاورزی را در ترکیه افزایش می‌دهد.

### نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج این مطالعه نشان می‌دهند کارایی انرژی محصولات غلات کشور در طی زمان افزایش یافته‌است، اما این افزایش در کارایی، با افزایش انرژی‌های ورودی مانند کود و سموم شیمیایی همراه بوده‌است که نشان‌دهنده وابستگی روز افزون بوم نظام‌های زراعی کشور به منابع تجدیدناپذیر می‌باشد. بهره‌وری انرژی در تولید محصولات غلات در ایران نسبت به کشورهای دیگر پایین‌تر بوده است که از دلایل آن می‌توان به پایین بودن قیمت سوخت، اختصاص پارانه به کودهای شیمیایی و نقش کم رنگ ترویج و آموزش کشاورزی در آموزش‌دادن برای استفاده مناسب از منابع موجود اشاره کرد. از این‌رو، نیاز به سوق‌دادن بوم نظام‌های زراعی بسمت کشاورزی پایدار برای استفاده بهینه از منابع تولید و کاهش دادن نهاده انرژی (بویژه نهاده‌های با مصرف بالا از جمله کودهای شیمیایی و سوخت) احساس می‌شود. بهره‌گیری از منابع تجدیدشونده برای کاهش مقدار استفاده از انرژی‌های صنعتی و استفاده از سیستم‌های آبیاری کارآمد بمنظور صرفه‌جویی در نیرویی الکتریسیته و کاهش مصرف آب از راههای عمده در تقلیل مصرف منابع تجدیدناپذیر و افزایش کارایی انرژی در تولید غلات در کشور می‌باشد.

**منابع**

- بهشتی تبار، ا. (۱۳۸۷). بررسی نهاد-ستانه انرژی در کشاورزی ایران (۸۵-۱۳۷۰). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تهران.
- حسن تاش، س، غ. و نادریان، م. (۱۳۸۷). ارزیابی پتانسیل ها و مزایای کاهش شدت انرژی در کشور های عضو اوپک، مطالعات اقتصاد انرژی، دوره ۵، شماره ۱۶. ص ۱۸۴-۱۵۷.
- کوچکی، ع. (۱۳۷۳). انرژی و کشاورزی. انتشارات دانشگاه فردوسی. مشهد.
- کوچکی، ع.، جامی الاحمدی، م.، کامکار، ب و مهدوی دامغانی، ع. (۱۳۸۰). اصول بوم شناسی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

**References**

- Alam, M.S., Alam, M.R. & Islam, K, K. (2005). Energy flow in agriculture: Bangladesh. *American Journal of Environmental Science* 3: 213-220.
- Beheshti Tabar, I., Keyhani, A., & Rafiee, S. (2010). Energy balance in Iran's agronomy (1990-2006). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14:849-55.
- Cobb, C.W. & P.H. Douglas (1928), A theory of production, *American Economic Review*, 1:139-165.
- Ercolia, L., Mariottib, M., Masonib, A., & Bonaria, E. (1999). Effect of irrigation and nitrogen fertilization on biomass yield and efficiency of energy use in crop production of *Miscanthus*. *Field Crops Research* 63:68-81.
- FAO. (2011). Faostat agriculture data. <http://www.faostat.fao.org/faostat/collections?subset=agriculture> (Visited 22 December 2011).
- Fluck, R. C. (1992). Energy of human labor. In: Fluck, R. C. (Ed), *Energy in farm Production*. Elsevier, Amsterdam. 31-37.
- Ghasemi Mobtaker, H, G., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee S., & Akram, A., (2010). Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agriculture Ecosystem Environ.* 137: 367-372.
- 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 economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. *Applied Energy* 88, 283-288.
- Hatirli, S.A., Ozkan, B., & Fert, C. (2005). An econometric analysis of energy input-output in Turkish agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9: 608-623.
- Hatirli S.A, Ozkan B., & Fert, C. (2006). Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy*. 31:427-438.
- Kitani, O. (1999). *CIGR handbook of agricultural engineering. Energy & biomass engineering*. ASAE Publication.

- Shahin, S., Jafari, A., Mobli, H., Rafiee, S., & Karimi, M. (2008). Effect of Farm Size on Energy Ratio for Wheat Production: A Case Study from Ardabil Province of Iran. *American-Eurasian Journal Agriculture and Environmental Science* 3 (4): 604-608.
- Singh, J.M. (2000). On farm energy use pattern in different cropping systems in Haryana, India. MSc. Thesis. International Institute of Management, University of Flensburg, Sustainable Energy Systems and Management, Germany.
- Unakitan, G., Hurma, H., & Yilmaz, F. (2010). An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. *Journal of Energy* 35: 3623-3627.

## پیوست‌ها

جدول ۱- معادل انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها.

معادل انرژی (مگاژول در هکتار)	واحد	نهاده	معادل انرژی (مگاژول در هکتار)	واحد	نهاده
۵۸	کیلوگرم	حشره کش	۱/۹۶	ساعت	نیروی انسانی
۱۱۵	کیلوگرم	قارچ کش	۴۷/۳	لیتر	سوخت دیزل
۲۹۵	کیلوگرم	علف کش	۱/۰۲	متر مکعب	آب آبیاری
۲۵	کیلوگرم	بذر	۶۰/۱	کیلوگرم	کود نیتروژن
		ستانده:	۱۷/۴	کیلوگرم	کود فسفات
۱۴/۷	کیلوگرم	غلات	۱۳/۷	کیلوگرم	کود پتاس
			۰/۳	کیلوگرم	کود آلی

مأخذ: (Kitani, 1999)

تحقیقات اقتصاد کشاورزی / جلد ۱۰ / شماره ۱ / بهار ۱۳۹۷ (صص ۱۴۸-۱۳۳) ۱۴۵

جدول ۲- میانگین انرژی نهاده‌ها و ستانده (گیگاژول در هکتار) محصولات مورد بررسی در دوره ۱۳۶۵-۸۷.

میانگین کل	۱۳۸۷	۱۳۸۰	۱۳۷۵	۱۳۷۰	۱۳۶۵	نهاده
۰/۸۶	۰/۹۳	۰/۷۲	۰/۸۱	۰/۸۹	۰/۷۸	نیروی انسانی
۸/۳۱	۸/۶۶	۸/۳۵	۸/۲۳	۸/۲۵	۸/۰۵	سوخت دیزل
۴/۳۴	۴/۷۴	۴/۳۱	۴/۲۲	۴/۱	۴/۱	آب آبیاری
۱۶/۳۳	۱۷/۷۸	۱۴/۳۴	۱۸/۱۴	۱۴/۶۴	۱۰/۹۳	کود شیمیایی
۰/۷۶	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۹۸	۰/۷۴	۰/۴۹	سموم شیمیایی
۳/۶۷	۴/۶۲	۳/۹۱	۳/۳۱	۳/۱۲	۳/۰۳	بذر
۶۰/۷۲	۶۹/۷۷	۶۶/۷۴	۶۰/۰۲	۵۸/۵۴	۳۹/۷۸	ستانده (عملکرد دانه)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۳- میانگین کل شاخص‌های انرژی در تولید محصولات زراعی مورد بررسی در طی سال‌های ۱۳۶۵-۸۷.

میانگین	۱۳۸۷	۱۳۸۰	۱۳۷۵	۱۳۷۰	۱۳۶۵	
۳۴/۲۷	۳۷/۵۳	۳۲/۲۲	۳۵/۷۲	۳۱/۸	۲۷/۳۸	انرژی ورودی (گیگاژول در هکتار)
۶۰/۷۲	۶۹/۷۷	۶۶/۷۴	۶۰/۰۲	۵۸/۵۴	۳۹/۷۸	انرژی خروجی (گیگاژول در هکتار)
۱/۷۷	۱/۸۵	۲/۰۷	۱/۶۸	۱/۷۶	۱/۴۵	نسبت انرژی
۰/۱۲۰	۰/۱۲۶	۰/۱۴	۰/۱۱۴	۰/۱۱۹	۰/۰۹۸	بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)
۲۶/۴۵	۳۲/۲۴	۳۴/۵۱	۲۴/۳	۲۴/۲۴	۱۲/۴	انرژی خالص (گیگاژول در هکتار)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۴- انواع انرژی‌های گوناگون در تولید محصولات زراعی مورد بررسی (میانگین کل دوره).

انواع انرژی	میانگین (گیگاژول در هکتار)	درصد (%)
انرژی مستقیم <sup>a</sup>	۱۳/۵۱	۳۹/۴۲
انرژی غیر مستقیم <sup>b</sup>	۲۰/۷۶	۶۰/۵۷
انرژی قابل تجدید <sup>c</sup>	۸/۸۷	۲۵/۸۸
انرژی غیر قابل تجدید <sup>d</sup>	۲۵/۴	۷۴/۱۱

<sup>a</sup> سوخت، نیروی انسانی، آب آبیاری <sup>b</sup> بذر، کود و سموم شیمیایی <sup>c</sup> آب آبیاری، نیروی انسانی و بذر <sup>d</sup> سوخت، کود و سموم شیمیایی  
مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۵- نتایج بر آورد اثر نهاده های انرژی بر عملکرد غلات.

متغیر	ضریب	آماره t
	$\ln Y_i = a_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3 \ln X_3 + \beta_4 \ln X_4 + \beta_5 \ln X_5 + \beta_6 \ln X_6 + \beta_7 T + e$	
ضریب ثابت	۲/۳۸۴	۰/۲۳۸
سال	۰/۰۶۵	۲/۲۲**
نیروی انسانی	۱/۲۵۶	۰/۹۴۶
سوخت	-۰/۰۶۵	-۰/۲۰
کود شیمیایی	-۰/۰۲۷	۰/۴۴۹
سموم شیمیایی	۱/۱۵۶	۱/۵۵*
آب آبیاری	۰/۰۰۰۰۶۹	۰/۵۳۱
بذر	۰/۰۹۴	۱/۴۵۵*
آماره دوربین واتسون	۱/۹۸	
R <sup>2</sup>	۰/۸۲	

\*\*\*، \* به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۵ و ۱۰ درصد.

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۶- نتایج برآورد اثر انرژی های مستقیم، غیرمستقیم، تجدید پذیر و تجدیدناپذیر بر عملکرد غلات.

متغیر	ضریب	آماره t
$\ln Y_i = a_0 + \beta_1 \ln DE_t + \beta_2 \ln IDE_t + \beta_3 T + e$		
ضریب ثابت	۰/۶۴۲	۰/۳۷۳
سال	۰/۰۳۹	۲/۱۶۳**
انرژی مستقیم	۰/۰۴	۰/۳۷۴
انرژی غیر مستقیم	۰/۰۴۳	۱/۴۳*
آماره دوربین واتسون	۱/۸۶	
R <sup>2</sup>	۰/۷۹	
$\ln Y_i = a_0 + \beta_1 \ln RE_t + \beta_2 \ln NRE_t + \beta_3 T + e$		
ضریب ثابت	۰/۴۳۶	۰/۴۰۵
سال	۰/۰۴۲	۲/۰۴۱**
انرژی های تجدید پذیر	۰/۰۰۶	۱/۳۱۶*
انرژی های غیرقابل تجدید پذیر	۰/۰۴۹	۰/۰۴۴
آماره دوربین واتسون	۱/۸۳	
R <sup>2</sup>	۰/۸۲	

\*\*\*، \*\*، \* به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح ۵ و ۱۰ درصد.

مأخذ: یافته‌های پژوهش