نشریه علمی‌پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی
سال یازدهم، شمارهٔ اول/ بهار ۱۴۰۰/ صفحه ۱۱۶ـ۱۲۷

تعیین تابع تولید انرژی در گندم آبی استان اصفهان

محسن حیدری سلطان‌آبادی

استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
mheisol@gmail.com

چکیده: امروزه بخش کشاورزی به منظور پاسخ‌گویی به نیاز روزافزون غذا برای جمعیت رو به رشد کرهٔ زمین و فراهم کردن مواد غذایی کافی و مناسب به میزان زیادی به مصرف انرژی وابسته است. مطالعهٔ حاضر با هدف تعیین شاخص‌ها و معادلات انرژی بر اساس میزان مصرف و تولید انرژی در نظام‌های تولید گندم آبی استان اصفهان انجام شد. به این منظور، اطلاعات مورد نیاز توسط بهره‌برداران و کشاورزان تولیدکنندهٔ گندم آبی در سطح ۲۴ شهرستان استان با انتخاب ۳۸۰ زارع از مجموع کل ۳۱۱۹۰ گندمکار (بر اساس رابطهٔ کوکران) اخذ شد. سپس شاخص‌های مصرف انرژی و معادلات انرژی در تولید گندم تعیین شد. طبق نتایج، مجموع انرژی مصرفی و تولیدی گندم در استان اصفهان به‌ترتیب ۹۲۷۱۴/۸ مگاژول بر هکتار و ۱۳۱۹۵۸/۸ مگاژول بر هکتار برآورد شد. از مجموع این انرژی‌ها ۵۵۸۲۰/۶ مگاژول بر هکتار در گروه انرژی‌های تجدیدپذیر و ۳۶۸۹۴/۲ مگاژول بر هکتار در گروه انرژی‌های تجدیدناپذیر قرار داشتند. نتایج حاصل از تابع تولید انرژی نشان داد که تنها ضرایب انرژی کود و حمل‌ونقل در سطح ۱۰٪ معنی‌دار شده‌اند. با توجه به نرخ بازگشت به مقیاس تولید انرژی که در ناحیهٔ سوم تولید قرار داشت، استفادهٔ بیشتر از انرژی نهاده‌های مصرفی باعث کاهش تولید انرژی گندم خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری انرژی، انرژی تجدیدپذیر، گندم آبی، تابع تولید.

---

* نویسندهٔ مسئول

۱. مقدمه

بشر بدون توجه به نوع انرژی مصرفی، همیشه برای تأمین نیازهای اولیهٔ غذایی خود، مجبور به صرف انرژی در فعالیت‌هایی مانند کشاورزی بوده است. در کشاورزی انرژی خورشید، فرآورده‌های سوخت‌های فسیلی و الکتریسیته به غذا و الیاف مورد نیاز انسان تبدیل می‌شود. افزایش تقاضا برای مواد غذایی باعث تشدید در مصرف انرژی از طریق کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، ماشین‌ها و سایر منابع طبیعی شده است [۱]. پژوهش‌ها نشان داده است که با رشد مکانیزاسیون و استفاده از مواد شیمیایی در کشاورزی، کارایی (نسبت انرژی تولیدی به مصرفی) و بهره‌وری انرژی (مقدار محصول تولیدشده به انرژی مصرف‌شده) به‌تدریج کاهش یافته است [۲]. از طرفی، مصرف نامتوازن انرژی در کشاورزی در کنار مصارف خانگی و صنعتی، برخی مسائل زیست‌محیطی مثل انتشار گازهای گلخانه‌ای، افزایش گرمای زمین و سمیت آب و خاک را باعث شده است [۳].

مصرف انرژی در بخش کشاورزی از مقدار ۳۰/۳۵ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۸۰ به ۴۵/۶۸ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۹۰ رسیده است و سهمی در حدود ۳/۷۲٪ مصرف انرژی نهایی را شامل می‌شود. نتایج تحقیقات نشان داده است که مصرف انرژی در تولید غلات گندم، جو، برنج و ذرت روند صعودی داشته است به‌گونه‌ای که مقدار کل انرژی ورودی و خروجی در سال ۱۳۸۷ نسبت به سال ۱۳۶۵ به‌ترتیب به مقدار ۲۷ و ۴۳٪ افزایش یافته است. همچنین، شاخص‌های کارایی و بهره‌وری مصرف انرژی غلات در طی دورهٔ یادشده دارای روند صعودی بوده است. نسبت انرژی از ۱/۴۵ در سال ۱۳۶۵ به ۱/۸۵ در سال ۱۳۸۷ افزایش یافته ولی افزایش در کارایی مصرف انرژی محصولات، همراه با افزایش انرژی ورودی بوده که نشان‌دهندهٔ وابستگی بوم‌نظام‌های زراعی کشور به انرژی‌های ورودی به‌ویژه منابع تجدیدناپذیر همانند سوخت‌های فسیلی است [۴].

در تحقیقی، روند انرژی ورودی و خروجی به سیستم‌های زراعی در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی، کاهش هزینه‌های عملکرد و تولید از طریق کاهش هزینه‌های مصرف انرژی بررسی شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که بیشترین هزینهٔ انرژی در مورد مزرعهٔ مورد نظر مربوط به انرژی الکتریسیتهٔ آبیاری برابر ۴۶/۵۵٪ و دومین مورد انرژی بر، کود شیمیایی برابر ۳۱/۱۸٪ از انرژی کل بود. همچنین کمترین هزینهٔ انرژی مربوط به نهادهٔ بذر به میزان ۷/۶٪ به دست آمد [۵]. در مطالعه‌ای برای آشنایی با روند مصرف انرژی در مزارع و مقدار انرژی به‌دست‌آمده از اکوسیستم‌های زراعی، در یک مزرعهٔ نمونه، میزان بازدهی مصرف انرژی محاسبه شد. کارایی انرژی در مزرعه ۱/۶۷ به دست آمد و مشخص شد که نسبت به سایر کشورهایی که دارای کشاورزی پیشرفته‌ای هستند در حد مطلوبی قرار دارد. بیشترین هزینهٔ انرژی مزرعهٔ مورد نظر مربوط به انرژی الکتریسیته بود که برای پمپاژ آب مصرف می‌شد (۳۸٪). دومین مورد انرژی‌بر، کود شیمیایی بود که با صرف ۳۶٪ از انرژی کل قرار گرفت. همچنین کمترین هزینهٔ انرژی مربوط به نهاده بذر به میزان ۴/۴٪ به دست آمد. نتایج این بررسی نشان داد که انرژی اولیهٔ مصرفی به‌ازای هر واحد انرژی تولیدشده در کشورهای پیشرفته ۲ تا ۱۰۰ برابر بیشتر از کشورهای در حال توسعه است، به‌طوری که بازدهی انرژی در مزارع چغندر قند آمریکا ۰/۸ اعلام شده است [۶]. در طی تحقیقی که در زمینهٔ جریان انرژی بر اساس نسبت سهم انرژی ورودی‌های مختلف به مزرعه و به دست آوردن شاخص‌های متداول در بحث انرژی از جمله شاخص کارایی انرژی، شاخص مکانیزاسیون، شاخص کارایی تبدیل انرژی خورشیدی، خالص انرژی دریافتی و بهره‌وری انرژی در سه محصول گندم آبی، گندم دیم و پیاز در سطح کشاورزان شهرستان بناب انجام شد، دریافتند که شاخص کارایی انرژی مربوط به عملکرد دانه که از مهم‌ترین این شاخص‌ها می‌باشد، برای گندم آبی برداشت شده با دست ۲/۹، برای گندم آبی برداشت با کمباین ۲/۵، برای گندم دیم ۱/۳ و برای پیاز ۰/۷۷ برآورد شد. همچنین با مطالعهٔ سهم نهاده‌ها از کل انرژی ورودی غیر خورشیدی مشاهده شد که در اکثر موارد، مصرف سوخت‌های فسیلی بیش از ۵۰٪ انرژی را به خود اختصاص داده است. با توجه به شرایط کشت محصول در منطقه و استعدادهای آن، با اصلاح روش‌های کشت، مصرف بهینهٔ کودهای شیمیایی، کاهش مصرف بذر و اصلاح روش‌های آبیاری، کارایی انرژی را می‌توان تا حد قابل ملاحظه‌ای افزایش داد و از آلودگی و اثرات مخرب زیست‌محیطی جلوگیری کرد [۷]. در مطالعه‌ای، انرژی ورودی و خروجی برای کشت گندم آبی زمستانه در یونان مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، میزان انرژی ورودی برای تولید این نوع گندم آبی ۱۶۰۰۰ تا ۲۶۰۰۰ مگاژول در هکتار گزارش شد که نهاده‌های کودهای شیمیایی و سوخت دیزل بیشترین سهم را از کل انرژی ورودی به خود اختصاص داده بودند. همچنین عملکرد گندم آبی بین ۲۵۰۰ــ۶۰۰۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد [۸]. به‌منظور بررسی انرژی داده ـ ستاده در تولید آفتابگردان به‌عنوان یک منبع سوخت بیودیزل در یونان مطالعه‌ای انجام شد. نتایج بررسی نشان داد که کل انرژی ورودی برای تولید آفتابگردان برابر ۱۰/۴۹ گیگاژول بر هکتار بوده است که سوخت و کود ازته به‌ترتیب با ۴۲/۴٪ و ۳۳/۹٪ از کل انرژی ورودی، بیشترین سهم را به خود اختصاص داده‌اند درحالی‌که سهم نیروی انسانی کمترین و برابر

۰/۴٪ بوده است. همچنین نسبت انرژی خروجی به ورودی برابر ۴/۵ گزارش شد [۹].

در مطالعه‌ای دربارهٔ تعیین میزان مصرف انرژی گندم آبی و سیب‌زمینی در سطوح مختلف کشت در غرب اصفهان نشان داده شد که با افزایش سطح زیرکشت برای هر دو محصول، میزان بازده انرژی افزایش می‌یابد. در هر دو محصول، بیشترین میزان مصرف انرژی مربوط به کودهای شیمیایی و کمترین میزان مصرف انرژی مربوط به انرژی کارگر بود. بیشترین بازده انرژی مربوط به سیب‌زمینی در سطوح بالای پنج هکتار با متوسط ۲/۰۸ و کمترین میزان بازده انرژی با متوسط ۰/۸۱ مربوط به تولید گندم آبی در سطوح زیر یک هکتار بود [۱۰]. بر اساس تحقیقات صورت گرفته بر روی انرژی مصرفی گندم در دو روش کشاورزی حفاظتی و مرسوم به‌ترتیب نسبت انرژی ۴/۳۱ و ۳/۰۳، افزودهٔ خالص انرژی ۱۳۷۶۵۶ و ۹۰۱۰۱ مگاژول بر هکتار، شدت انرژی ۵/۵۶ و ۷/۶۹ مگاژول بر کیلوگرم و بهره‌وری انرژی ۰/۱۸ و ۰/۱۳ کیلوگرم بر مگاژول به دست آمد. تحلیل پوششی داده‌ها نشان داد که بیشترین انرژی قابل ذخیره در روش کشت مرسوم شامل انرژی سوخت، آب و کارگری و در روش کشت حفاظتی شامل انرژی کود و کارگری بود [۱۱]. در مطالعه‌ای به بررسی میزان انرژی ورودی و خروجی کشت گندم در چهار روش آماده‌سازی زمین مبادرت شد. نتایج نشان داد که بیشترین نسبت و بهره‌وری انرژی به‌ترتیب با مقادیر ۱/۷۱ و ۰/۰۷۵ کیلوگرم بر مگاژول در روش کم‌خاک‌ورزی (کمترین عملیات شخم) دیده شد [۱۲]. نتایج پژوهش دیگری نشان داد که حداکثر انرژی ورودی تولید گندم معادل ۲۹۵۸۶ مگاژول در هکتار و حداکثر انرژی خروجی معادل ۷۰۷۴۳ مگاژول در هکتار بود. همچنین بیشترین و کمترین کارایی مصرف انرژی در بخش دانه به‌ترتیب ۲/۴۳ و ۱/۰۳ برآورد شد. بیشترین انرژی مصرفی گندم آبی به‌ترتیب مربوط به کود نیتروژن و بعد از آن به آبیاری تعلق داشت [۱۳].

تحقیقاتی به‌صورت موردی در برخی از شهرستان‌های استان اصفهان برای تعیین انرژی مصرفی و تولیدی در زراعت گندم انجام شده است. مطالعهٔ حاضر با هدف تعیین تابع تولید انرژی در گندم آبی از طریق محاسبهٔ میزان نهاده‌های مصرفی و عملکرد تولید و انرژی معادل آن‌ها در کل استان انجام شد. این تحقیق یکی از جامع‌ترین تحقیقات حوزهٔ انرژی در تولید گندم در سطح ۲۴ شهرستان استان اصفهان است که در آن علاوه بر در نظر گرفتن تمامی نهاده‌های مصرفی، داده‌های مربوط به انرژی آب به‌صورت دقیق و بر اساس شرایط واقعی استان تهیه شده است.

۲. مواد و روش‌ها

استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۲۷ کیلومتر مربع در مرکز کشور واقع شده و مرکز آن شهر اصفهان است. مساحت اراضی کشاورزی این استان ۵۶۹ هزار هکتار (۵/۲٪ از کل کشور) می‌باشد. سطح زیر کشت گندم آبی در استان اصفهان ۶۳۸۳۷ هکتار بوده که از این سطح ۲۹۴۷۵۸ تن گندم تولید شده است [۱۴].

۱.۲. روش جمع‌آوری اطلاعات

این بررسی طی سال زراعی ۱۳۹۶ـ۱۳۹۷ در استان اصفهان اجرا شد. با توجه به هدف تحقیق، لازم بود تا تمامی نهاده‌های مورد مصرف و نیز ستاده‌های تولیدی گندم شامل دانه و کاه در سطح استان بررسی و ثبت شود. به این منظور از روش تکمیل پرسش‌نامه توسط زارعین استفاده شد. در این پرسش‌نامه، اطلاعات کاملی از عملیات زراعی گندم در مراحل تهیهٔ زمین، کاشت، داشت و برداشت و حمل‌ونقل تا محل خرید درج شد. با تکمیل هر پرسش‌نامه، داده‌هایی از قبیل سطح زیر کشت گندم، میزان سوخت مصرفی، ساعات کارگری یا نیروی انسانی، مقدار بذر مصرفی، نوع و ساعات کار ماشین‌های کشاورزی، مقدار مصرف سموم و کودهای شیمیایی یا حیوانی، مقدار آب مصرفی در آبیاری و فاصلهٔ حمل‌ونقل محصول اخذ شد. همچنین اطلاعات مربوط به عملکرد محصول تولیدی شامل دانه و کاه نیز ثبت شد. در تکمیل پرسش‌نامه‌ها دقیق‌ترین روش این بود که پرسش‌نامه در اختیار تمام گندمکاران قرار می‌گرفت اما با توجه به محدودیت‌های موجود از روش نمونه‌گیری یا انتخاب تصادفی کشاورزان استفاده شد. طبق رابطهٔ کوکران (رابطهٔ ۱) می‌توان تعداد نمونه‌ها را از جامعهٔ اصلی هدف به دست آورد [۱۵]:

$$n = \frac{Nz^2 pq}{Nd^2 + z^2 pq} \qquad (۱)$$

که n تعداد نمونه (تکمیل‌کنندگان پرسش‌نامه)، N تعداد جامعه آماری (کل زارعین گندمکار)، z مقدار متغیر نرمال واحد استاندارد (که در سطح اطمینان ۹۵٪ برابر ۱/۹۶ می‌باشد)، P مقدار نسبت صفت موجود در جامعه (اگر در اختیار نباشد می‌توان آن را ۰/۵در نظر گرفت)، q درصد افراد فاقد صفت مورد نظر در جامعه (q=p-1) و d مقدار اشتباه مجاز که ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. با توجه به تعداد کل ۳۱۱۹۲ نفر گندمکار استان و بر اساس رابطهٔ (۱)، ۳۸۰ پرسش‌نامه تکمیل شد. روایی یا اعتبار پرسش‌نامهٔ طراحی‌شده از روش‌های مصاحبه و تحقیق میدانی برای تکمیل اطلاعات، تصدیق گردید. همچنین برای تعیین پایایی پاسخ‌ها ضریب پایایی کرونباخ محاسبه شد که مقدار آن ۰/۹۳

(پایایی در حد مناسب) به دست آمد. پس از دستیابی به تعداد پرسش‌شوندگان، از طریق مصاحبهٔ حضوری با آن‌ها به تکمیل پرسش‌نامه‌ها پرداخته شد. در ادامه، انرژی‌های ورودی و خروجی هر مزرعه محاسبه شد. انرژی‌های ورودی مورد اندازه‌گیری شامل انرژی سوخت، نیروی انسانی، بذر، ماشین، سموم و کودهای شیمیایی، آبیاری و حمل‌ونقل بود. انرژی‌های خروجی نیز شامل انرژی دانهٔ گندم آبی و کاه برداشت شده می‌شد. در نهایت سامانه‌های تولید گندم آبی بر اساس شاخص‌های انرژی ارزیابی شد. برای محاسبهٔ انرژی‌های ورودی و خروجی در یک سیستم تولیدی می‌توان مقدار هرکدام از نهاده‌های مصرفی یا محصول تولیدی را در ضریب انرژی (هم‌ارز یا معادل) آن ضرب نمود. مقادیر هم‌ارز یا معادل انرژی نهاده‌های مصرفی و محصول تولیدی گندم در جدول (۱) آورده شده‌اند.

جدول (۱): هم‌ارز انرژی نهاده‌های مصرفی

انرژی نهاده (ورودی)	واحد	هم‌ارز انرژی	واحد انرژی	مرجع
نیروی انسان	ساعت	۱/۹۶	مگاژول بر ساعت	[۱۸ـ۲۰]
سوخت دیزل	لیتر	۵۶/۳	مگاژول بر لیتر	[۱ و ۱۹]
ماشین‌ها				
تراکتور	کیلوگرم	۱۳۸	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۱]
گاوآهن	کیلوگرم	۱۸۰	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۱]
سمپاش	کیلوگرم	۱۲۹	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۱]
کودپاش	کیلوگرم	۱۲۹	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۱]
تریلر	کیلوگرم	۱۳۸	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۱]
کمباین	کیلوگرم	۱۴۸	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۱]
دیسک	کیلوگرم	۶۲/۷	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۲]
ماله	کیلوگرم	۶۲/۷	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۲]
زیرشکن	کیلوگرم	۶۲/۷	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۲]
موتور الکتریکی	کیلوگرم	۶۴/۸۰	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۲]
کودهای شیمیایی				
ازت (N)	کیلوگرم	۷۶/۱۴	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۰و ۲۳]
فسفره (P_2O_5)	کیلوگرم	۱۲/۴	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۰و ۲۳]
پتاسه (K_2O)	کیلوگرم	۱۱/۱۵	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۰و ۲۳]
سموم شیمیایی	کیلوگرم	۱۲۰	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۲، ۲۴ و ۲۵]
بذر گندم	کیلوگرم	۲۵	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۷]
برق	کیلووات ساعت	۱۱/۹۳	مگاژول بر کیلووات ساعت	[۱۷]
حمل‌ونقل	تن کیلومتر	۳/۰۵	مگاژول بر تن کیلومتر	[۲۱]
انرژی ستاده (خروجی)				
دانهٔ گندم آبی	کیلوگرم	۱۴/۷	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۷]
کاه و کلش گندم آبی	کیلوگرم	۱۲/۵	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۷]

۲.۲. محاسبهٔ انرژی‌های ورودی و خروجی

الف. انرژی‌های ورودی

انرژی ورودی (نهاده یا مصرفی) به‌طور کلی به انرژی‌هایی گفته می‌شود که به‌صورت‌های مختلف برای تولید محصول مصرف شده و عموماً برای آن‌ها هزینه پرداخت می‌شود. لذا نور خورشید هرچند پایهٔ اصلی در تولید محصولات کشاورزی است، به‌علت رایگان بودن در محاسبهٔ انرژی مصرفی لحاظ نمی‌شود [۱۶ و ۱۷]. انرژی‌های ورودی شامل انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم هستند. از طرفی این انرژی‌ها می‌توانند تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر باشند. انرژی‌های مستقیم شامل تمام انرژی‌هایی است که در عملیات کاشت، داشت و برداشت محصولات زراعی به گونهٔ مستقیم در مزرعه مصرف می‌شود و انرژی‌های غیرمستقیم شامل انرژی‌های مصرفی در ساخت، بسته‌بندی و انتقال مواد مورد استفاده در کشاورزی است [۱۸]. انرژی‌های تجدیدپذیر یا برگشت‌پذیر به انواعی از انرژی می‌گویند که برخلاف انرژی‌های تجدیدناپذیر قابلیت بازگشت مجدد را به طبیعت دارند. در میان انرژی‌های مورد مصرف، انرژی‌های مستقیم شامل انرژی نیروی

انسانی، سوخت، آب و الکتریسیته، انرژی‌های غیرمستقیم شامل انرژی کودهای شیمیایی و دامی، سموم شیمیایی و ماشین‌های کشاورزی هستند. انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی نیروی انسانی، کود حیوانی و آب و در نهایت انرژی‌های تجدیدناپذیر شامل انرژی سوخت، ماشین‌های کشاورزی، کودها و سموم شیمیایی و الکتریسیته هستند. محاسبهٔ انرژی‌های ورودی مورد بررسی در این پژوهش به شرح زیر است:

ـ انرژی سوخت

برای محاسبهٔ انرژی سوخت در هر کدام از عملیات ماشینی در فرایند تولید محصول، طبق رابطهٔ (۲)، متوسط مقدار سوخت مصرفی در عملیات مختلف محاسبه و در هم‌ارز انرژی آن (جدول ۱) ضرب می‌شود.

$$E_{fu} = EI_{fu}.Q \qquad (۲)$$

که در آن، E_{fu} انرژی سوخت (MJ/ha)، EI_{fu} هم‌ارز انرژی هر واحد از حجم سوخت (MJ/L)، Q مقدار سوخت مصرفی (L/ha) است.

ـ انرژی ماشین

ماشین‌های کشاورزی (تراکتور، کمباین، ادوات) هر کدام دارای عمر اقتصادی معینی هستند که به‌تدریج با انجام کار در فرایند تولید محصول، مستهلک می‌شوند. عمر مفید زمانی است که هزینه‌های کل ماشین به‌ازای واحد کارکرد (معمولاً ساعت) به حداقل مقدار خود برسد. انرژی هم‌ارز ماشین برابر است با نسبت انرژی‌های مصرفی در تولید مواد اولیه، ساخت و فرایند ماشین، حمل‌ونقل آن از کارخانه تا تحویل سر مزرعه و انرژی مصرفی برای تعمیرات آن به کل وزن ماشین و برحسب مگاژول بر کیلوگرم بیان می‌شود. با داشتن هم‌ارز انرژی هر واحد از وزن ماشین (جدول ۱)، می‌توان با استفاده از رابطهٔ (۳) مقدار انرژی مصرفی ماشین را به دست آورد.

$$E_m = \frac{EI_m.W.T}{N} \qquad (۳)$$

که در آن، E_m انرژی ماشین (MJ/ha)، EI_m هم‌ارز انرژی هر واحد از وزن ماشین (MJ/kg)، N عمر اقتصادی ماشین (hr)، W وزن ماشین (kg) و T ساعات استفاده از ماشین در یک هکتار (hr/ha) است.

ـ انرژی کودهای شیمیایی

انرژی کودهای شیمیایی با حاصل‌ضرب وزن هر کدام از کودهای مصرفی در هم‌ارز انرژی کود مورد نظر برابر است. وزن هر کود مصرفی، مقدار کودی است که در یک فصل زراعی صرف‌نظر از کشت قبلی و یا آیش‌بندی به‌صورت پاشش جامد یا محلول‌پاشی مصرف می‌شود. انرژی کودهای شیمیایی از رابطهٔ (۴) به‌دست می‌آید:

$$E_{fer} = EI_{fer}.W \qquad (۴)$$

که در آن، E_{fer} انرژی کود (MJ/ha)، EI_{fer} هم‌ارز انرژی هر واحد از وزن کود (MJ/kg) و W وزن کود مصرفی (kg/ha) است.

ـ انرژی سموم شیمیایی

برای محاسبهٔ انرژی سموم شیمیایی (علف‌کش، حشره‌کش و قارچ‌کش) مصرف‌شده در فرایند تولید محصول، مقدار سم مصرفی در هم‌ارز انرژی سم ضرب می‌شود (رابطهٔ ۵):

$$E_p = EI_p.W \qquad (۵)$$

که در آن، E_p انرژی سم (MJ/ha)، EI_p هم‌ارز انرژی هر واحد از سم (MJ/L) و W مقدار سم مصرفی (L/ha) است.

ـ انرژی بذر مصرفی

انرژی بذر مصرفی با حاصل‌ضرب وزن بذر در هم‌ارز انرژی آن برابر بوده و از رابطهٔ (۶) به دست می‌آید:

$$E_s = EI_s.W \qquad (۶)$$

که در آن، E_s انرژی بذر (MJ/ha)، EI_s هم‌ارز انرژی هر واحد از وزن بذر (MJ/kg) و W متوسط وزن بذر مصرفی (kg/ha) است.

ـ انرژی آبیاری

انرژی مستقیم مصرفی برای رساندن آب به گیاه را می‌توان از طریق محاسبهٔ انرژی معادل برق یا سوخت مصرفی در پمپ‌های مورد استفاده محاسبه کرد [۲۶]. علاوه بر این، از طریق رابطهٔ (۷) نیز می‌توان آن را محاسبه کرد:

$$E_{ir} = \left(\frac{\delta.g.H.Q}{n_1.n_0}\right)/1000000 \qquad (۷)$$

که در آن، E_{ri} انرژی آبیاری (MJ/ha)، δ چگالی آب (۱۰۰۰ kg/m^3)، g شتاب جاذبه (۹/۸m/s^2)، H هد دینامیکی چاه (m)، Q کل آب مورد نیاز گیاه طی دورهٔ رشد (m^3/ha)، n_1 بازده پمپ (۹۰-۷۰٪) و n_0 بازده بازده کلی توان پمپ (۱۸ـ۲۲٪ برای الکتروموتور و ۲۵ـ۳۰٪ برای موتور دیزل). انرژی غیرمستقیم آب آبیاری شامل انرژی تولید مواد اولیهٔ خام، ساخت و انتقال کلیهٔ عواملی که در آبیاری دخالت دارند می‌باشد، اما با توجه به اینکه محاسبهٔ این مقادیر مشکل است، معمولاً درصدی (حدود ۲۰٪) از انرژی مستقیم را برای این منظور در نظر می‌گیرند [۲۶].

ـ انرژی انسان

برای محاسبهٔ انرژی انسان (نیروی کارگری) مورد استفاده در فرایند تولید محصول، از رابطهٔ (۸) استفاده می‌شود:

$$E_{la} = EI_{la}.d.h \qquad (۸)$$

که در آن، E_{la} انرژی کارگری (MJ/ha)، EI_{la} هم‌ارز انرژی کار کارگری (MJ/hr)، d تعداد روز کارکرد (day/ha) و h تعداد ساعات کار در روز (hr/day) است.

ـ انرژی کار حیوان

برای محاسبهٔ انرژی کار حیوانی مورد استفاده در فرایند تولید محصول (مانند حمل‌ونقل)، از رابطهٔ (۹) استفاده می‌شود:

$$E_{an} = EI_{an}.d.h \quad (۹)$$

که در آن، E_{an} انرژی کار حیوانی (MJ/ha)، EI_{an} هم‌ارز انرژی کار حیوان (MJ/hr)، d تعداد روز کار حیوان (day/ha) و h تعداد ساعات کار در روز (hr/day) است.

ـ انرژی حمل‌ونقل

شامل انرژی مصرف‌شده برای رساندن محصول گندم آبی به محل خرید بوده و از طریق رابطهٔ (۱۰) محاسبه خواهد شد:

$$E_{tr} = W.EI_{tr}.D \quad (۱۰)$$

که در آن، E_{tr} انرژی مصرفی برای حمل‌ونقل محصول (MJ/t.km)، EI_{tr} هم‌ارز انرژی حمل‌ونقل محصول یا نهاده با کامیون (MJ/t.km)، W وزن محصول یا نهاده حمل‌شده (ton) و D فاصلهٔ بین مزرعه و محل خرید (km) است.

ب. انرژی‌های خروجی (ستاده)

به مجموع انرژی محصولات تولیدشده در یک سیستم، انرژی خروجی آن سیستم گویند. انرژی خروجی در این پژوهش شامل دانهٔ گندم آبی و کاه است. انرژی دانهٔ گندم آبی یا کاه برابر است با حاصل‌ضرب وزن محصول برداشت‌شده در هم‌ارز انرژی آن و از رابطهٔ (۱۱) به دست می‌آید:

$$E_g = EI_g.W \quad (۱۱)$$

که در آن، E_g انرژی (MJ/ha)، EI_g هم‌ارز انرژی هر واحد از وزن محصول (MJ/kg) و W میانگین وزن محصول برداشت‌شده (kg/ha) است.

ـ شاخص‌های انرژی

محققان شاخص‌های انرژی را در ارزیابی و آنالیز مصرف انرژی در بخش کشاورزی مهم دانسته‌اند [۲۶]. این شاخص‌ها شامل بازده یا نسبت انرژی[1]، افزوده خالص انرژی[2]، بهره‌دهی یا بهره‌وری انرژی[3] و شدت انرژی[4] هستند.

نسبت یا بازده انرژی که مهم‌ترین شاخص در ارزیابی انرژی در سیستم‌های کشاورزی می‌باشد، عبارت است از نسبت مجموع انرژی‌های خروجی (انرژی محصولات تولیدی) به مجموع انرژی‌های ورودی (انرژی نهاده‌های مصرف‌شده). افزودهٔ خالص انرژی طبق تعریف برابر است با اختلاف عددی مجموع انرژی‌های تولیدی (ستاده) و مجموع انرژی‌های ورودی (نهاده). بهره‌دهی (بهره‌وری) انرژی نیز برابر است با مقدار محصول تولیدشده تقسیم بر کل انرژی‌های مصرف‌شده (ورودی) یا به عبارت دیگر برابر با مقدار محصول تولیدشده به‌ازای هر واحد مصرف انرژی است. شدت انرژی نیز برابر با مقدار انرژی مصرفی برای هر واحد محصول تولیدی می‌باشد [۲۷].

۳.۲. تابع تولید انرژی

در تعیین تابع تولید انرژی از تحلیل رگرسیون استفاده شد. تحلیل رگرسیون روشی آماری است که در آن از رابطهٔ بین دو یا چند متغیر کمی استفاده می‌شود تا یک متغیر به کمک متغیر یا متغیرهای دیگر پیش‌بینی شود. در این مطالعه، از روش رگرسیونی برای برقراری رابطه بین انرژی نهاده‌های مصرفی و انرژی دریافتی از عملکرد محصول گندم آبی استفاده شد. به این منظور از بین انواع مختلف تابع تولید، از تابع تولید کاب- داگلاس به‌دلیل ساده بودن، سازگاری با منطق فیزیکی و قدرت تعمیم‌دهی آن استفاده شد. از این تابع در تحقیقات مربوط به نهاده‌ها و انرژی محصول گندم [۲۸ و ۲۹] و برخی محصولات دیگر [۳۰، ۳۱ و ۳۲] استفاده شده است. شکل کلی این تابع در رابطهٔ (۱۲) نشان داده شده است:

$$Y = f(x)\exp(u) \quad (۱۲)$$

اگر از طرفین معادلهٔ بالا لگاریتم گرفته شود، معادله به‌صورت یک معادلهٔ خطی می‌شود (رابطهٔ ۱۳):

$$\ln Y_i = a + \sum_{j=1}^{n} a_j \ln(X_{ij}) + e_i, \quad i = 1, 2, \ldots, n \quad (۱۳)$$

که در آن، Y_i عملکرد گندم آبی مزرعهٔ iام، X_{ij} نهاده‌های مورد استفاده در تولید، a_j ضریب رگرسیونی نهاده‌ها، e_i ضریب خطا و a ضریب ثابت. در این مطالعه هشت نهاده وجود دارد که طبق رابطهٔ (۱۴) به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$\ln Y_i = a_0 + \alpha_1 \ln X_1 + \alpha_2 \ln X_2 + \alpha_3 \ln X_3 + \alpha_4 \ln X_4 + \alpha_5 \ln X_5 + \alpha_6 \ln X_6 + \alpha_7 \ln X_7 + \alpha_8 \ln X_8 + e_i \quad (۱۴)$$

که در آن، X_1 انرژی ساخت و استهلاک ماشین‌ها، X_2 انرژی سوخت، X_3 انرژی نیروی انسانی، X_4 انرژی بذر، X_5 انرژی کودهای شیمیایی، X_6 انرژی سموم شیمیایی، X_7 انرژی آب آبیاری، X_8 انرژی حمل‌ونقل و a_0 ضریب ثابت است.

در این مطالعه، برای تحلیل میزان تغییر در خروجی با توجه به میزان تغییر در ورودی‌ها از شاخص بازدهی به مقیاس استفاده شد. این شاخص از طریق جمع کردن ضرایب رگرسیون به‌دست‌آمده برای هریک از معادلات رگرسیونی ذکرشده به دست می‌آید. در صورتی که مجموع این ضرایب بزرگ‌تر از یک باشد، بازدهی به مقیاس فزاینده،

1. Energy Ratio (ER)
2. Net Energy Gain (NEG)
3. Energy Productivity (EP)
4. Energy Intensity (EI)

در صورتی که کوچک‌تر از یک باشد، بازدهی به مقیاس کاهنده و در صورتی که برابر با یک باشد، بازدهی به مقیاس ثابت خواهد بود [۳۰ و ۳۱].

۳. نتایج و بحث

۱.۳. مقادیر انرژی ورودی و خروجی

پس از بررسی و جمع‌آوری داده‌های مربوط به نهاده‌های مصرفی و نیز عملکرد دانه و کاه گندم در ۲۴ شهرستان استان اصفهان، میانگین مقادیر هر شهرستان ثبت شد. سپس با ضرب مقدار هر نهاده (یا ستاده) در هم‌ارز انرژی آن، انرژی معادل نهاده‌ها و ستاده‌های گندم آبی در ۲۴ شهرستان استان اصفهان محاسبه و ثبت شد. میانگین‌های انرژی معادل نهاده‌های مصرفی گندم آبی در ۲۴ شهرستان استان اصفهان (مگاژول بر هکتار) در جدول (۲) ارائه شده است. بر این اساس، میانگین استانی مصرف انرژی ساخت و استهلاک ماشین ۲۱۹۱/۷ مگاژول بر هکتار، انرژی سوخت ۸۳۸۵/۳ مگاژول بر هکتار، انرژی نیروی انسانی ۱۸۲/۲ مگاژول بر هکتار، انرژی بذر ۵۲۹۲ مگاژول بر هکتار، انرژی کود ۲۰۲۸۴/۲ مگاژول بر هکتار، انرژی سموم ۲۵۳/۲ مگاژول بر هکتار، انرژی آبیاری ۵۵۶۳۸/۳ مگاژول بر هکتار، انرژی حمل‌ونقل ۴۸۷/۶ مگاژول بر هکتار و میانگین مجموع انرژی مصرفی برای تولید گندم در استان اصفهان ۹۲۷۱۴/۸ مگاژول بر هکتار به دست آمد. در این بین بیشترین مصرف انرژی (۱۵۳۸۵۳/۵ مگاژول بر هکتار) در شهرستان شهرضا و کمترین مقدار (۴۴۵۶۴/۸ مگاژول بر هکتار) در شهرستان خور و بیابانک مشاهده شد.

طبق این نتایج، انرژی آبیاری با نسبت ۶۰٪ انرژی کل ورودی بیشترین سهم از مصرف انرژی را به خود اختصاص داد. اطلاعات جمع‌آوری‌شده نشان می‌دهد که با کاهش سطح سفره‌های زیرزمینی و به‌تبع آن افزایش عمق چاه‌ها که در برخی از نقاط استان به ۴۰۰ متر می‌رسد، انرژی زیادی صرف استحصال آب و انتقال آن به محصول می‌گردد. برخی از محققان نیز انرژی مصرفی در آبیاری گندم را بیشترین سهم انرژی مصرفی برای تولید گندم عنوان کردند [۳۳]. بعد از آب، کودهای شیمیایی و سوخت بیشترین مصرف انرژی را در تولید گندم داشتند. تخصیص و رفع نیاز کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک، گام مهمی در جهت کاهش هزینه‌های کوددهی و کاهش انرژی مصرفی محسوب می‌شود. طبق نتایج مطالعه‌ای مقدار کل انرژی مصرفی در تولید گندم آبی و دیم به‌ترتیب ۵۳۰۸۲ و ۱۵۶۰۳ مگاژول بر هکتار به دست آمد. همچنین انرژی سوخت با مقدار ۴۶/۹٪ بیشترین سهم مصرف انرژی را در زراعت آبی گندم دارا بود و الکتریسیته و کود حیوانی در درجات بعدی قرار داشتند [۳۴]. برآورد انرژی مصرفی گندم در هند نشان داد که کل انرژی ورودی ۱۷۷۱۵ مگاژول بر هکتار بود و کود ازت، سوخت و آبیاری با مقادیر به‌ترتیب ۳۳، ۱۸ و ۲۴٪، بیشترین سهم انرژی مصرفی را به خود اختصاص دادند [۳۵].

طبق نتایج جدول (۳) میانگین استانی انرژی ستادهٔ دانه ۶۵۳۱۲/۹ مگاژول بر هکتار، انرژی ستادهٔ کاه ۶۶۶۴۵/۸ مگاژول بر هکتار و مجموع این دو ۱۳۱۹۵۸/۸ مگاژول بر هکتار به دست آمد. در بین شهرستان‌های مختلف، بیشترین انرژی ستاده (۱۸۰۶۷۵ مگاژول بر هکتار) در شهرستان فلاورجان و کمترین مقدار (۸۸۶۰۵ مگاژول بر هکتار) در شهرستان سمیرم مشاهده شد. در تحقیقات دیگر، میزان انرژی خروجی ۳۱۵۶۸ مگاژول بر هکتار گزارش شده است [۲۷]. انرژی دریافتی از زراعت گندم مستقیماً به مقدار عملکرد گندم بستگی داشته و تفاوت انرژی دریافتی در مطالعات مختلف ناشی از اختلاف عملکرد است.

۲.۳. شاخص‌های انرژی

محاسبهٔ چهار شاخص مصرف انرژی در استان اصفهان نشان داد که به‌طور متوسط نسبت انرژی تولید دانهٔ گندم ۰/۷، نسبت انرژی دانه و کاه ۱/۴۲، بهره‌وری انرژی در تولید دانهٔ گندم ۰/۰۴۸ کیلوگرم بر مگاژول، بهره‌وری انرژی در تولید دانهٔ گندم و کاه ۰/۱ کیلوگرم بر مگاژول، افزودهٔ خاص انرژی دانه ۲۷۴۰۱/۹- مگاژول بر هکتار، افزوده خاص انرژی دانه و کاه ۳۹۲۴۳/۹ مگاژول بر هکتار، شدت انرژی دانه ۲۰/۸۷ مگاژول بر کیلوگرم و شدت انرژی دانه و کاه ۹/۴۸ مگاژول بر کیلوگرم است (جدول ۳). در بین شهرستان‌های مورد مطالعه بیشترین نسبت انرژی دانه و کاه (۲/۶۹) در شهرستان لنجان و کمترین مقدار (۰/۷۲) در شهرستان آران و بیدگل، بیشترین بهره‌وری انرژی دانه و کاه (۰/۲۳ کیلوگرم بر مگاژول) در شهرستان فلاورجان و کمترین مقدار (۰/۰۵۳ کیلوگرم بر مگاژول) در شهرستان آران و بیدگل، بیشترین افزودهٔ خالص انرژی (۱۲۳۱۰۳/۶ مگاژول بر هکتار) در شهرستان فلاورجان و کمترین مقدار (۳۷۵۱۳/۳- مگاژول بر هکتار) در شهرستان آران و بیدگل و در نهایت بیشترین شدت انرژی (۱۸/۶۹ مگاژول بر کیلوگرم) در شهرستان آران و بیدگل و کمترین مقدار (۴/۳ مگاژول بر کیلوگرم) در شهرستان فلاورجان اندازه‌گیری شد (جدول ۳).

در تحقیقات مشابه، محاسبهٔ شاخص‌های انرژی نشان داد که متوسط نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و افزودهٔ خالص انرژی به‌ترتیب ۳/۰۴، ۰/۰۱۳ کیلوگرم بر مگاژول، ۸/۲۱ مگاژول بر هکتار و ۲۱۰۳۶ مگاژول بر هکتار بود [۲۷]. در پژوهشی، بیشترین

مقادیر افزودهٔ خالص انرژی، نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی و سودآوری انرژی گندم با مقادیر ۱۰۹/۲۵ گیگاژول بر هکتار، ۵/۵۳، ۳۸۲ کیلوگرم بر گیگاژول و ۸/۵ مشاهده شد [۳۶]. بررسی تولید گندم در پاکستان نشان داد که در هر هکتار، انرژی ورودی گندم ۳۴/۴۳ مگاژول، انرژی خروجی ۴۸/۲۶ مگاژول، کارایی مصرف انرژی ۱/۴ کیلوگرم بر مگاژول، شدت انرژی ۹/۲۷ مگاژول بر کیلوگرم، بهره‌وری انرژی ۰/۱ کیلوگرم بر مگاژول و افزودهٔ خالص انرژی ۱۳۸۳۶ مگاژول به دست آمد [۳۷]. از جمله دلایل اختلاف مقادیر و شاخص‌های انرژی در شهرستان‌های مختلف استان و همچنین سایر تحقیقات مشابه را می‌توان به تفاوت عملکرد گندم و انرژی ورودی که غالباً انرژی آبیاری است، نسبت داد. در برخی از شهرستان‌های استان به‌دلیل شرایط اقلیمی و کیفیت آب و خاک، عملکرد گندم و به‌تبع انرژی استحصالی از آن نسبت به دیگر مناطق کمتر است. از طرفی در بیشتر نقاط استان، سطح ایستابی آب پایین رفته است که این عامل انرژی پمپاژ آب را به‌صورت چشمگیر افزایش می‌دهد.

۳.۳. تقسیم‌بندی انرژی

طبق نتایج جدول (۴)، از مجموع انرژی مصرفی در استان اصفهان برای تولید گندم آبی، ۶۴۲۰۶ مگاژول بر هکتار به‌صورت مستقیم و ۲۸۵۰۸/۹ مگاژول بر هکتار به‌صورت غیرمستقیم به مصرف رسیده است. از مجموع این انرژی‌ها ۵۵۸۲۰/۶ مگاژول بر هکتار در گروه انرژی‌های تجدیدپذیر و ۳۶۸۹۴/۲ مگاژول بر هکتار در گروه انرژی‌های تجدیدناپذیر قرار داشتند. طبق نتایج تحقیقی متوسط انرژی مصرفی، بیشترین نسبت انرژی غیرمستقیم و بیشترین نسبت انرژی تجدیدناپذیر در دو سامانهٔ آبیاری سنتی (غرقابی) و بارانی به‌ترتیب ۱۶/۳۶ و ۱۴/۰۷ گیگاژول بر هکتار، ۶۵/۳ و ۵۴/۹٪ و ۷۶ و ۶۲/۹٪ به دست آمد [۳۶].

۴.۳. مدل رگرسیونی

نتایج حاصل از تعیین ضرایب معادلهٔ رگرسیون (کاب- داگلاس) انرژی در جدول (۵) خلاصه شده است. طبق نتایج تنها ضرایب انرژی کود و حمل‌ونقل در سطح ۱۰٪ معنی‌دار شده‌اند. مقدار ضریب کود در معادله نشان می‌دهد که به ازای افزایش ۱۰ درصدی در کود مصرفی، مقدار عملکرد ۱/۷۴٪ افزایش خواهد یافت. با توجه به نرخ بازگشت به مقیاس تولید انرژی که در ناحیهٔ سوم قرار دارد، استفادهٔ بیشتر از انرژی نهاده‌های مصرفی باعث کاهش تولید انرژی گندم می‌شود. نتایج پژوهشی نشان داد که متغیرهای نیروی کار انسانی، ماشین‌آلات و آبیاری در سطح ۱٪ و سوخت دیزل، کود نیتروژن و الکتریسیته در سطح ۵٪ بر عملکرد گندم معنی‌دار شد درحالی‌که متغیرهای کودهای فسفر و پتاسیم و سموم تأثیر معنی‌داری نداشت [۳۸].

۴. نتیجه‌گیری

تولید محصولات مختلف کشاورزی از جمله گندم، همواره با مصرف انرژی همراه است. عدم توجه به مدیریت این مصرف، علاوه بر غیر اقتصادی نمودن تولید، اثرات مخرب زیست‌محیطی را به دنبال خواهد داشت. در پژوهش حاضر، همهٔ نهاده‌های مصرفی و نیز ستاده‌های تولید گندم آبی، در سطح ۲۴ شهرستان استان اصفهان از طریق پرسش‌نامه و مصاحبه با کشاورزان و بهره‌برداران اخذ و معادل انرژی آن‌ها استخراج شد. طبق نتایج، متوسط مجموع انرژی مصرفی برای تولید گندم در استان اصفهان ۹۲۷۱۴/۸ مگاژول بر هکتار به دست آمد. همچنین میزان متوسط انرژی دریافتی (ستاده) از زراعت گندم در استان اصفهان معادل ۱۳۱۹۵۸/۸ مگاژول بر هکتار برآورد شد. از مجموع انرژی مصرفی در استان اصفهان برای تولید گندم آبی، ۶۴۲۰۶ مگاژول بر هکتار (معادل ۶۹/۲۵٪) به‌صورت مستقیم و ۲۸۵۰۸/۹ مگاژول بر هکتار (معادل ۳۰/۷۵٪) به‌صورت غیرمستقیم به مصرف رسیده است. در تقسیم‌بندی دیگر از مجموع انرژی‌های مصرفی ۵۵۸۲۰/۶ مگاژول بر هکتار (معادل ۶۰/۲٪) در گروه انرژی‌های تجدیدپذیر و ۳۶۸۹۴/۲ مگاژول بر هکتار (معادل ۳۹/۸٪) در گروه انرژی‌های تجدیدناپذیر قرار داشتند در میان نهاده‌های مصرفی، انرژی آبیاری با صرف بیش از ۶۰٪ از کل انرژی مصرفی در فرایند تولید گندم، بیشترین سهم مصرف انرژی را به خود اختصاص داد که علت آن افت سطح آب‌های زیرزمینی و افزایش توان مصرفی برای استحصال آب می‌باشد. نتایج مدل‌سازی فرایند تولید و مصرف انرژی در گندم استان، بر اساس معادلات کاب-داگلاس نشان داد که تنها ضرایب انرژی کود و حمل‌ونقل معنی‌دار شدند و با توجه به نرخ بازگشت به مقیاس، استفاده بیشتر از انرژی نهاده‌های مصرفی باعث افت عملکرد محصول و به دنبال آن کاهش تولید انرژی گندم خواهد شد.

جدول (۲): میانگین‌های انرژی نهاده‌های مصرفی گندم آبی در ۲۴ شهرستان استان اصفهان (مگاژول بر هکتار)

نام شهرستان	ساخت و استهلاک ماشین	سوخت	نیروی انسانی	بذر	کود	سموم	آب	حمل‌ونقل	مجموع
اردستان	۲۰۹۷	۸۰۱۰/۹	۱۶۷	۵۶۶۰	۲۵۰۲۸/۸	۱۲۰	۸۶۳۲۸	۴۸۱/۶	۱۲۷۸۸۳/۸
اصفهان	۲۳۴۰	۸۳۵۳/۵	۱۵۸	۵۱۵۰	۲۷۶۷۲/۶	۱۸۰	۷۷۰۰۸/۵	۴۹۹/۴	۱۲۱۳۷۱
آران و بیدگل	۲۲۵۴	۸۲۲۹/۶	۱۵۵	۵۳۰۰	۲۲۰۱۵/۹	۲۷۶	۹۶۴۸۱/۳	۳۱۶/۴	۱۳۵۰۲۸/۳
برخوار	۲۳۴۰	۸۳۰۲/۸	۱۶۷	۵۱۰۰	۱۸۰۱۲/۶	۳۰۰	۷۹۷۰۶/۲	۴۷۲	۱۱۴۴۰۰/۶
بوئین	۲۰۳۰	۸۲۶۲	۱۹۸	۵۰۵۰	۱۸۹۳۹/۴	۲۷۶	۳۲۹۸۶	۴۵۴	۶۸۱۹۵/۷
تیران و کرون	۲۱۹۰	۸۳۱۵/۲	۱۸۹	۴۹۵۰	۲۲۹۱۸/۷	۳۰۰	۳۱۷۵۹/۸	۴۳۰/۳	۷۱۰۵۳/۱
چادگان	۲۱۷۰	۸۳۱۸/۳	۲۵۶	۵۵۰۰	۱۱۱۴۳/۱	۲۲۸	۵۶۶۵۲/۷	۴۴۷/۳	۸۴۷۲۴/۵
خمینی شهر	۲۳۰۰	۸۱۸۲/۲	۲۳۵	۵۸۰۰	۲۰۰۹۶/۱	۲۱۶	۶۰۰۸۶/۳	۵۶۴/۲	۹۷۴۷۹/۸
خوانسار	۲۲۹۰	۸۱۵۶/۴	۲۰۰	۴۹۰۰	۱۸۹۰۷/۸	۲۴۰	۳۹۰۶۸/۳	۳۸۳/۳	۷۴۱۴۵/۹
خور و بیابانک	۲۱۲۰	۷۹۵۲/۴	۱۸۹	۵۸۵۰	۲۳۴۴/۷	۱۵۶	۲۵۶۴۸/۳	۳۰۴/۵	۴۴۵۶۴/۸
دهاقان	۲۰۹۸	۸۳۵۳/۵	۱۶۵	۵۴۵۰	۱۷۴۹۸/۵	۲۴۰	۳۴۷۵۲	۴۴۴/۸	۶۹۰۲۵/۸
سمیرم	۲۳۲۰	۸۲۲۰	۱۹۰	۵۲۰۰	۱۹۸۹۸	۲۱۶	۴۰۷۶۰/۶	۳۰۷	۷۷۱۱۱/۷
شاهین‌شهر	۲۱۹۰	۸۳۳۱/۳	۱۵۹	۵۲۰۰	۲۲۰۷۲/۴	۲۷۶	۷۱۸۰۹/۲	۵۵۲	۱۱۰۵۹۰
شهرضا	۲۳۲۰	۷۸۵۳	۱۷۸	۶۴۰۰	۲۲۰۹۷/۳	۱۵۶	۱۱۴۲۸۶/۵	۵۶۲/۷	۱۵۳۸۵۳/۵
فریدن	۲۴۱۰	۸۳۴۶/۵	۱۷۸	۵۴۵۰	۱۶۲۴۰	۳۶۰	۴۳۹۴۸/۸	۳۶۶	۷۷۲۹۹/۲
فریدونشهر	۲۲۰۰	۸۲۶۴/۶	۱۹۶	۴۹۰۰	۱۸۱۸۴/۳	۳۰۰	۶۲۵۸۷/۸	۳۹۱/۴	۹۷۰۰۶
فلاورجان	۲۱۰۰	۸۲۲۰	۱۸۷	۵۰۰۰	۲۱۳۷۹/۲	۲۴۰	۱۹۸۰۶/۴	۶۳۸/۷	۵۷۵۶۲/۴
کاشان	۲۰۹۶	۸۶۲۳	۱۷۸	۴۶۵۰	۱۹۹۳۵/۲	۹۶	۹۴۷۶۴/۶	۴۶۸/۴	۱۳۰۸۱۱/۲
گلپایگان	۲۰۹۸	۸۱۲۱/۳	۱۷۵	۵۳۰۰	۱۶۸۶۰	۲۷۶	۴۰۹۱۵/۹	۵۰۷/۸	۷۴۲۵۳/۹
لنجان	۲۰۵۰	۹۰۵۴/۵	۱۷۵	۵۱۱۰	۲۶۰۵۲/۳	۳۹۰	۱۸۵۶۰/۵	۲۸۴/۲	۶۱۶۷۶/۴
مبارکه	۲۰۹۸	۷۹۱۰/۱	۱۶۵	۵۲۵۰	۲۱۹۹۸	۲۱۶	۴۰۴۴۶/۶	۵۵۲/۶	۷۸۶۳۶/۳
نایین	۲۱۰۰	۸۴۹۲/۵	۱۶۵	۵۷۰۰	۲۷۸۸۳/۶	۳۰۰	۳۴۳۸۴	۷۵۱	۷۹۷۷۶/۲
نجف‌آباد	۲۲۴۰	۹۲۴۴	۱۷۵	۵۱۵۰	۲۵۴۵۰	۴۲۰	۵۲۲۸۷/۳	۸۳۸/۵	۹۵۸۰۴/۹
نطنز	۲۱۵۰	۱۰۱۳۰/۳	۱۶۵	۵۰۰۰	۲۴۱۹۲	۳۰۰	۸۰۲۸۵	۶۸۵	۱۲۲۹۰۷/۳
میانگین استان	۲۱۹۱/۷	۸۳۸۵/۳	۱۸۲/۲	۵۲۹۲	۲۰۲۸۴/۲	۲۵۳/۲	۵۵۶۳۸/۳	۴۸۷/۶	۹۲۷۱۴/۸

جدول (۳): میانگین‌های انرژی ستاده و شاخص‌های انرژی گندم آبی در ۲۴ شهرستان استان اصفهان

نام شهرستان	مجموع ستاده (مگاژول بر هکتار)	نسبت انرژی دانه و کاه	بهره‌وری انرژی دانه و کاه (کیلوگرم بر مگاژول)	افزوده خالص انرژی دانه و کاه (مگاژول بر هکتار)	شدت انرژی دانه و کاه (مگاژول بر کیلوگرم)
اردستان	۱۳۸۱۰۵	۱/۰۸	۰/۰۸	۱۰۲۲۱/۵	۱۲/۵
اصفهان	۱۴۱۵۷۰	۱/۱۶	۰/۰۸۶	۲۰۲۰۷/۹	۱۱/۷۵
آران و بیدگل	۹۷۵۱۵	۰/۷۲	۰/۰۵۳	-۳۷۵۱۳/۳	۱۸/۶۹
برخوار	۱۳۶۱۲۵	۱/۱۹	۰/۰۹	۲۱۷۲۴/۳	۱۱/۳۴
بوئین و میاندشت	۱۳۲۶۶۰	۱/۹۴	۰/۱۴	۶۴۴۶۴/۲	۶/۹
تیران و کرون	۱۲۰۷۸۰	۱/۷	۰/۱۲	۴۹۷۲۶/۹	۷/۹۴
چادگان	۱۲۷۷۱۰	۱/۵	۰/۱۱	۴۲۹۸۵/۵	۸/۹۵
خمینی شهر	۱۵۹۳۹۰	۱/۶۳	۰/۱۲	۶۱۹۱۰/۲	۸/۲۵
خوانسار	۱۱۳۳۵۵	۱/۵۲	۰/۱۱	۳۹۲۰۹/۱	۸/۸۳
خور و بیابانک	۹۳۰۶۰	۲/۰۹	۰/۱۵	۴۸۴۹۵/۲	۶/۴۶
دهاقان	۱۲۸۷۰۰	۱/۸۶	۰/۱۳	۵۹۶۹۸/۲	۷/۲۳
سمیرم	۸۸۶۰۵	۱/۱۴	۰/۰۸۵	۱۱۴۹۳/۳	۱۱/۷۴

شاهین‌شهر	۱۴۹۴۹۰	۱/۳۵	۰/۱	۳۸۹۰۰	۹/۹۸
شهرضا	۱۵۲۴۶۰	۰/۹۹	۰/۰۷۳	-۱۳۹۳/۵	۱۳/۶۲
فریدن	۱۰۶۹۲۰	۱/۳۸	۰/۱	۲۹۶۲۰/۷	۹/۷۶
فریدونشهر	۱۱۳۸۵۰	۱/۱۷	۰/۰۸۶	۱۶۸۲۵/۹	۱۱/۵
فلاورجان	۱۸۰۶۷۵	۳/۱۳	۰/۲۳	۱۲۳۱۰۳/۶	۴/۳
کاشان	۱۲۹۶۹۰	۰/۹۹	۰/۰۷۳	-۱۱۲۱/۲	۱۳/۶۱
گلپایگان	۱۴۴۵۴۰	۱/۹۴	۰/۱۴۴	۷۰۲۸۶	۶/۹۳
لنجان	۱۶۵۸۲۵	۲/۶۹	۰/۲	۱۰۴۱۴۸/۶	۵/۰۲
مبارکه	۱۵۵۹۲۵	۱/۹۸	۰/۱۴	۷۷۲۸۸/۶	۶/۸
نایین	۱۲۹۱۹۵	۱/۶۲	۰/۱۲	۴۹۴۱۸/۷	۸/۳۳
نجف‌آباد	۱۳۵۱۳۵	۱/۴۱	۰/۱	۳۹۳۳۰	۹/۵۷
نطنز	۱۲۵۷۳۰	۱/۰۲	۰/۰۷۵	۲۸۲۲/۶	۱۳/۱۹
میانگین استان	۱۳۱۹۵۸/۸	۱/۴۲	۰/۱	۳۹۲۴۳/۹	۹/۴۸

جدول (۴): میانگین‌های انرژی مصرفی (مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) گندم آبی در ۲۴ شهرستان استان اصفهان

نام شهرستان	انرژی مصرفی مستقیم (مگاژول بر هکتار)	انرژی مصرفی غیرمستقیم (مگاژول بر هکتار)	انرژی مصرفی تجدیدپذیر (مگاژول بر هکتار)	انرژی مصرفی تجدیدناپذیر (مگاژول بر هکتار)
اردستان	۹۴۵۰۵/۹	۳۳۳۷۷/۵	۸۶۴۹۵	۴۱۳۸۸/۴
اصفهان	۸۵۵۲۰	۳۵۸۴۲	۷۷۱۶۶/۵	۴۴۱۹۵/۵
آران و بیدگل	۱۰۴۸۶۶	۳۰۱۶۲/۳	۹۶۶۳۶/۳	۳۸۳۹۲
برخوار	۸۸۱۷۶	۲۶۲۲۴/۶	۷۹۸۷۳/۲	۳۴۵۲۷/۴
بوئین و میاندشت	۴۱۴۴۶/۲	۲۶۷۴۹/۶	۳۳۱۸۴/۱	۳۵۰۱۱/۶
تیران و کرون	۴۰۲۶۴/۱	۳۰۷۸۹	۳۱۹۴۸/۹	۳۹۱۰۴/۲
چادگان	۶۵۲۳۶/۱	۱۹۴۸۸/۴	۵۶۹۱۷/۷	۲۷۸۰۶/۷
خمینی شهر	۶۸۵۰۳/۴	۲۸۹۷۶/۳	۶۰۳۲۱/۲	۳۷۱۵۸/۵
خوانسار	۴۷۴۲۴/۸	۲۶۷۲۱/۱	۳۹۲۶۸/۳	۳۴۸۷۷/۵
خور و بیابانک	۳۳۷۸۹/۶	۱۰۷۷۵/۲	۲۵۸۳۷/۲	۱۸۷۲۷/۵
دهاقان	۴۳۲۷۰/۴	۲۵۷۳۱/۳	۳۴۹۱۶/۹	۳۴۰۸۴/۸
سمیرم	۴۹۱۷۰/۶	۲۷۹۴۱/۱	۴۰۹۵۰/۵	۳۶۱۶۱/۱
شاهین‌شهر	۸۰۲۹۹/۵	۳۰۲۹۰/۴	۷۱۹۶۸/۲	۳۸۶۲۱/۷
شهرضا	۱۲۲۳۱۷/۴	۳۱۵۳۶	۱۱۴۴۶۴/۵	۳۹۳۸۸/۹
فریدن	۵۲۴۷۳/۳	۲۴۸۲۵/۹	۴۴۱۲۶/۸	۳۳۱۷۲/۴
فریدونشهر	۷۱۰۴۸/۳	۲۵۹۷۵/۷	۶۲۷۸۳/۸	۳۴۲۴۰/۳
فلاورجان	۲۸۲۱۳/۴	۲۹۳۵۷/۸	۱۹۹۹۳/۴	۳۷۵۷۷/۹
کاشان	۱۰۳۵۶۵/۶	۲۷۲۴۵/۶	۹۴۹۴۲/۶	۳۵۸۶۸/۶
گلپایگان	۴۹۲۱۲/۱	۲۵۰۴۱/۷	۴۱۰۹۰/۹	۳۳۱۶۳
لنجان	۲۷۷۹۰	۳۳۸۸۶/۴	۱۸۷۳۵/۵	۴۲۹۴۰/۹
مبارکه	۴۸۵۲۱/۷	۳۰۱۱۴/۵	۴۰۶۱۱/۶	۳۸۰۲۴/۷
نایین	۴۳۰۴۱/۵	۳۶۷۳۴/۷	۳۴۵۴۹	۴۳۳۴۲/۶
نجف‌آباد	۶۱۷۰۶/۴	۳۴۰۹۸/۴	۵۲۴۶۲/۳	۴۲۴۵۷/۳
نطنز	۹۰۵۸۰/۴	۳۲۳۲۶/۹	۸۰۴۵۰	۴۲۴۵۷/۳
میانگین استان	**۶۴۲۰۶**	**۲۸۵۰۸/۹**	**۵۵۸۲۰/۶**	**۳۶۸۹۴/۲**

جدول (۵): ضرایب تابع تولید انرژی در گندم آبی

پارامترها	مقدار ضریب	مقدار F	مقدار t
عرض از مبدأ	۱۷/۰۶۹	۰/۱۶۱	۱/۴۷۴
ضریب انرژی ماشین	-۰/۹۱۹	۰/۲۹۹	-۱/۰۷۷
ضریب انرژی سوخت	-۰/۴۴۷	۰/۵۶۹	-۰/۵۸۲
ضریب انرژی نیروی انسانی	۰/۱۵۹	۰/۵۷۲	۰/۵۷۸
ضریب انرژی بذر	۰/۳۰۱	۰/۵۸۷	۰/۵۵۵
ضریب انرژی کود	۰/۱۷۴	۰/۰۵۷	۲/۰۵۸*
ضریب انرژی سموم	-۰/۰۴۲	۰/۷۴۸	-۰/۳۲۷
ضریب انرژی آب	-۰/۰۶۸	۰/۴۸۲	-۰/۷۲۱
ضریب انرژی حمل‌ونقل	۰/۲۷۰	۰/۰۶۶	۱/۹۸۲*
آزمون دوربین-واتسون	۲/۱۷		
R^2 (ضریب تعیین)	۰/۵۳۲		
نرخ بازگشت به مقیاس	-۱/۱۴۴		

* معنی‌داری در سطح ۱۰٪

مراجع

[1] Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H. and Gunduz, O., "*Energy Use and Economical Analysis of Sugar Beet Production in Tokat Province of Turkey*", Energy, Vol. 32, No. 1, pp. 35–41, 2007.

[2] Darlington, D., *What is efficient agriculture?* Available at URL: http:// www. veganorganic.net/agri.htm. 1997.

[۳] ذوقی‌پور، آمنه و ترکمانی، جواد، «**تحلیل الگوی داده- ستاده انرژی در بخش کشاورزی ایران**». ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران، مشهد، انجمن اقتصاد کشاورزی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۶.

[۴] کردونی، فاخر، جامی الاحمدی، مجید و بخشی، محمد رضا، «**تحلیل اقتصادسنجی الگوی مصرف انرژی در تولید غلات ایران (مطالعه موردی: گندم، جو، برنج و ذرت)**»، تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۱۰، شماره ۱، صفحه ۱۳۳ـ۱۴۸، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، ۱۳۹۷.

[۵] زینل‌زاده‌تبریزی، حسین، سقفی، سیامک، فاتح، رویا و صدیق‌نیا، معصومه، «**کارایی مصرف انرژی در کشاورزی**»، همایش راه‌کارهای کشاورزی پایدار ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۶] رضادوست، ساسان، «**سیر انرژی در کشاورزی پایدار**»، دومین همایش ملی انرژی، تهران، کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران، معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو، ۱۳۷۸.

[۷] میسمی، محمدعلی، عجب شیرچی، یحیی و رنجبر، ایرج، «**الگوی مصرف انرژی در تولید برخی محصولات کشاورزی و برآورد شاخص‌های انرژی (مطالعه موردی در سطح شهرستان بناب)**»، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۷.

[8] Tsatsarelis, C. A., "*Energy Inputs and Outputs for Soft winter Wheat Production in Greece*", Agriculture, Ecosystems & Environment, Vol. 43, No. 2, pp. 109-118, 1993.

[9] Kallivroussis, L., Natsis, A. and Papadakis, G., "*The Energy Balance of Sunflower Production for Biodiesel in Greece*", Biosystems Engineering, Vol. 81, No. 3, pp. 347-354, 2002.

[۱۰] قهدریجانی، محمد، **تعیین میزان مصرف انرژی گندم آبی وسیب‌زمینی در سطوح مختلف کشت در غرب اصفهان (فریدن و فریدونشهر)**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۸۶.

[11] Moradi, M., Nematollahi, M. A., Mousavi Khaneghah, A., Pishgar-Komleh, S. H. and Rajabi, M. R., "*Comparison of Energy Consumption of Wheat Production in Conservation and Conventional Agriculture Using DEA*", Environ. Sc.i Pollut. Res. Int, Vol. 25, No. 35, pp. 35200-35209, 2018.

[۱۲] هدایتی‌پور، ابوالفضل و یونسی‌الموتی، محمد، «**تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر مصرف انرژی و عملکرد گندم آبی در منطقه اراک**»، تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی، جلد ۱۹، شماره ۷۱، صفحه ۱۷ـ۲۸، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی، کرج، ۱۳۹۷.

[۱۳] کاظمی، حسین، علیزاده، پریسا و نهبندان، علی، «**بررسی جریان انرژی در مزارع گندم دیم و آبی شهرستان شهرکرد تحت دو روش خاک‌ورزی**»، نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، دوره ۸، شماره ۲، صفحه ۲۸۱ـ۲۹۵، ۱۳۹۵.

[۱۴] بی‌نام. **آمارنامه کشاورزی**، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، وزارت جهاد کشاورزی. جلد ۱، محصولات زراعی، ۱۳۹۷.

[۱۵] یارمحمدی، مسعود، **روش‌شناسی نمونه‌گیری و کاربردهای آن**، ترجمه، انتشارات مرکز آمار ایران، تهران، ۱۳۸۴.

[۱۶] شرافتی، کیهان، **انرژی تولید خیار در گلخانه‌های غالب استان تهران**،

محیط‌زیست، تهران، ۱۳۹۶.

[۲۹] عرب‌زاده کفاش، پریسا و بریم‌نژاد، ولی، «**محاسبه بهره‌وری عوامل تولید گندم با استفاده از تابع تولید کاب داگلاس**»، هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۲.

[30] Banaeian, N. and Zangeneh, M., "*Modeling Energy Flow and Economic Analysis for walnut production in Iran*", Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, Vol. 3, No. 3, pp. 194-201, 2011.

[31] Mohammadi, A., Rafiee, S. h., Mohtasebi, S. S. and Rafiee, H., "*Energy Inputs-Yield Relationship and Cost Analysis of Kiwifruit Production in Iran*", Renewable Energy, Vol. 35, No. 5, pp. 1071-1075, 2009.

[32] Royan, M., Khojastehpour, M., Emadi, B. and Ghasemi Mobtakr, H., "*Investigation of Energy Inputs for Peach Production Using Sensitivity Analysis in Iran*", Energy Conversion and Management, Vol. 64, pp. 441-446, 2012.

[33] Ansari, R., Liaqat, M. U., Ihsan Khan, H. and Mushtaq, S., "*Energy Efficiency Analysis of Wheat Crop under Different Climate and Soil-Based Irrigation Schedules*", Proceedings, Vol. 2, No. 5,184, 2018.

[34] Mondani, F., Aleagha, S., Khoramivafa, M. and Ghobadi, R., "*Evaluation of Greenhouse Gases Emission Based on Energy Consumption in Wheat Agroecosystems*", Energy Report, Vol. 3, pp. 37-45, 2017.

[35] Paramesh, V., Ravisankar, N., Das, B., Viswanatha Reddy, K. and Pratap Singh, N., "*Energy Budgeting and Sensitivity Analysis of Rice (Oryza sativa) – Wheat (Triticum aestivum) Cropping System in Indogangentic Plains of India*", Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci., Vol. 6, No. 3, pp. 1534-1544, 2017.

[36] Nasseri, A., "*Energy Use and Economic Analysis for Wheat Production by Conservation Tillage Along with Sprinkler Irrigation*", Sci. Total Environ, 648, pp. 450-459, 2019.

[37] Ilahi, S., Wu, Y., Ali Raza, M. A., Wei W., Imran, M. and Lyankhua, B. "*Optimization Approach for Improving Energy Eciency and Evaluation of Greenhouse Gas Emission of Wheat Crop using Data Envelopment Analysis*", Sustainability, Vol. 11, No. 12, pp. 1-16, 2019.

[۳۸] اصغری‌پور، محمدرضا، صالحی، فریبز و احمدپور، محمود، «**تحلیل حساسیت الگوی مصرف انرژی در تولید گندم آبی شهرستان کرمانشاه**»، فصلنامه علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، دوره ۱۴، شماره ۱، صفحه ۹ـ۱۸، ۱۳۹۵.

گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی، کرج، شماره ثبت ۸۸/۵۹۴ ، ۴۵ صفحه، ۱۳۸۸.

[17] Burhan, O., Akcaoz, H. and Cemal, F., "*Energy Input–Output Analysis in Turkish Agriculture*", Renewable Energy, Vol. 29, No.1, pp. 39–51, 2004.

[18] Ozkan. B, Akcaoz, H. and Fert, C., "*Energy Input–Output Analysis in Turkish Agriculture*", Renewable Energy, Vol. 29, No. 1, pp. 39–51, 2004.

[19] Singh, H., Mishra, D. and Nahar, N. M., "*Energy Use Pattern in Production Agriculture of a Typical Village in Arid Zent*", Energy Conversion and Management, Vol. 43, No. 3, pp. 2275–2286, 2002.

[20] Yilmaz, I., Akcaoz, H. and Ozkan, B., "*An Analysis of Energy Use and Input Costs for Cotton Productionin Turkey*", Renewable Energy, Vol. 30, No. 2, pp. 145-155, 2005.

[21] Kitani, O., *CIGR Handbook of Agricultural Engineering,* Volume 5. Energy and Biomass Engineering. ASAE publication, St Joseph, MI.1999.

[22] Singh, G., Singh, S. and Singh, J., "*Optimization of Energy Inputs for Wheat Crop in Punjab*", Energy Conversion and Management, Vol. 45, pp. 453-465, 2004.

[23] Esengun, K., Gunduz, O. and Erdal, G., "*Input–Output Energy Analysis in Dry Apricot Production of Turkey*", Energy Conversion and Management, Vol. 48, No. 2, pp. 592–598, 2007.

[24] Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I. and Ozmerzi, A., "*Energy Use Pattern of Some Field Crops and Vegetable Production, Case Study for Antalya Region, Turkey*", Energy Convers Manage, Vol. 46, No. 4, pp. 655–666, 2005.

[25] Mandal, K. G., Saha, K. P., Ghosh, P. K., Hati, K. M. and Bandyopadhyay, K.K., "*Bioenergy and Economic Analysis of Soybeanbased Crop Production Systems in Central India*", Biomass Bioenergy 2002, Vol. 23, No. 5, pp. 337–345, 2002.

[۲۶] الماسی، مرتضی، کیانی، شهرام و لویمی، نعیم، **مبانی مکانیزاسیون کشاورزی**، چاپ چهارم، انتشارات جنگل، تهران، ۲۹۳ ص، ۱۳۸۷.

[۲۷] فتحی، رستم، امجدپور، فرهاد، کوچک‌زاده، احمد و عزیزپناه، امیر، «**الگو و کارایی مصرف انرژی تولید گندم دیم به کمک رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها، مطالعهٔ موردی: شهرستان چرداول استان ایلام** »، نشریه زراعت دیم ایران، دوره ۷، شماره ۱، صفحه ۳۳ـ۴۶، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، ۱۳۹۷.

[۲۸] عابدی، اصغر، «**مدل‌سازی و تحلیل حساسیت نهاده‌های انرژی برای تولید گندم در استان چهارمحال و بختیاری**»، دومین همایش بین‌المللی افق‌های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و