مقایسه کارایی انرژی در بوم‌نظام‌های برنج (*Oryza sativa* L.)

محمد غروی بایگی[۱*]، مژگان جابر کردستانی[۲]، حشمت‌اله پیردشتی[۳]
۱*- دانشجوی دکتری اکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی بسطام، دانشگاه صنعتی شاهرود
۲- کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی، گروه خاک‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
۳- کارشناس فنی پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
*en_gharavi@yahoo.com

چکیده
امروزه کشاورزی یکی از مصرف‌کنندگان اصلی انرژی در جهان به شمار می‌رود. با توجه به منابع محدود انرژی و روند رو به رشد جمعیت جهان، اهمیت مطالعه انرژی در بخش کشاورزی که مسئول تأمین امنیت غذایی این جمعیت است، آشکار می‌شود. در این تحقیق شاخص‌های انرژی در کشت‌بوم‌های رایج برنج استان‌های گیلان (شهر لنگرود) و مازندران (شهر بهنمیر) در سال ۱۳۹۴ بررسی شد. اطلاعات به دست آمده از ۱۰۰ نفر از کشاورزان هر دو استان با استفاده از پرسش‌نامه و به صورت چهره به چهره گردآوری شده است. شالی‌زارها بر اساس روش نمونه‌گیری تصادفی انتخاب شدند. یافته‌ها نشان داد، کل انرژی‌های ورودی و خروجی شالی‌زارهای شهر لنگرود به ترتیب ۴۳۳۵۹/۸۹ و ۱۲۰۷۲۶/۷۸ مگاژول و شالی‌زارهای شهر بهنمیر ۴۰۲۰۰/۱۱ و ۱۲۶۸۲۲/۴۴ مگاژول بود که در شهر لنگرود بیشترین سهم مربوط به آب آبیاری (۳۹ درصد)، نیروی الکتریسیته (۲۴ درصد) و کودهای شیمیایی (۲۱/۵ درصد) و بیشترین سهم در شهر بهنمیر مربوط به آب آبیاری (۴۰ درصد)، کودهای شیمیایی (۲۲/۴ درصد) و نیروی الکتریسیته (۱۴ درصد) بود. همچنین نتایج نشان داد که کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، بهره‌وری آب، نسبت انرژی آب و انرژی خالص در بوم-نظام‌های برنج در شهر بهنمیر بیشتر از شهر لنگرود بود. بر اساس این نتایج مشخص شد که استفاده از روش آبیاری غرقابی و همچنین استحصال آب از منابع زیرزمینی توسط پمپ‌های الکتریکی سبب شده است که آب بیشترین سهم را در بین انرژی‌های ورودی به کشت‌بوم‌ها را داشته باشد. موضوعی که خود باعث افزایش مصرف انرژی در واحد سطح و همچنین کاهش کارایی و بهره‌وری انرژی شده است. بر این اساس استفاده از فناوری‌های جدید برای مدیریت بهتر منابع آبی پیشنهاد می‌شود.

کلید واژه‌ها: برنج، بهره‌وری انرژی، کشت‌بوم‌ها، منابع محدود

مقدمه
انرژی مهم‌ترین نیروی محرکه توسعه، پیشرفت انسان و ظرفیت انجام کار می‌باشد. در طول تاریخ تمدن، انسان همواره در تلاش بوده انرژی را مهار و آن را به فرم‌های مفید و قابل استفاده برای خود تبدیل کند (توفیق‌اقبال، ۲۰۰۷). این روند تبدیل و مصرف انرژی با عبور انسان از مرحله سنتی به مدرنیزه شدن، شدت یافت که در این دوره هم‌زمان با افزایش تولید، شاهد ورود و مصرف نهاده‌های انرژی‌بر زیادی در کشاورزی بوده‌ایم. افزایش تولید در نظام‌های کشاورزی امروز به دلیل کاربرد زیاد انرژی در مزرعه

که بنابر آمار شش برابر شدن تولید با هشتاد برابر شدن مصرف انرژی همراه بوده است، بازده انرژی در نظام‌های کشاورزی کنونی را با چالش مواجه ساخته است (ذوقی‌پور و ترکمانی، ۲۰۰۵)، به طوری که باعث نگرانی‌هایی در رابطه با کاربرد انرژی فسیلی، افزایش قیمت انرژی و گرمایش جهانی شده است (دیک و همکاران، ۲۰۰۸). مصرف کارامد انرژی در کشاورزی یکی از فاکتورهای مهم برای دست‌یابی به تولید پایدار در کشاورزی است زیرا باعث ذخیره منابع مالی، حفاظت منابع فسیلی و کاهش آلودگی هوا می‌شود (اوهلین، ۱۹۹۸؛ علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۳).

از آنجایی که فعالیت اصلی بخش زیادی از جامعه‌های روستایی ایران، تولید محصولات کشاورزی می‌باشد، بخش عمده‌ای از انرژی مصرفی در این جامعه‌ها در بوم‌نظام‌های زراعی مصرف می‌شود. تجزیه و تحلیل الگوی مصرف انرژی و کارایی آن در نظام‌های کشاورزی می‌تواند از طریق شناسایی نقاط هدر رفت انرژی نقش بسیار مهمی در توسعه و شناخت بوم‌نظام‌های زراعی داشته، موجب ارتقاء، بهبود تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها در مدیریت و توسعه بخش کشاورزی شود (راتک و دیپنبروک، ۲۰۰۶). انرژی مورد نیاز در بخش کشاورزی خود به دو گروه مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شود (سینگ، ۲۰۰۲). انرژی‌های مستقیم (شامل نیروی انسانی، سوخت، نیروی الکتریسیته و آب) به طور مستقیم در مزرعه و در زمینه‌های مختلف مربوط به محصولات استفاده می‌شوند اما انرژی‌های غیرمستقیم (شامل بذر، کودهای شیمیایی و حیوانی، سموم و ماشین‌آلات) در مزرعه به طور مستقیم مصرف نمی‌شوند (ازکان و همکاران، ۲۰۰۴؛ سجادیان و همکاران، ۱۳۹۲). در تحقیقی در استرالیا کارایی انرژی برنج ۶/۷۰ برآورد و اعلام شد که بیشترین انرژی ورودی به شالیزار مربوط به کودهای شیمیایی است که ۴۳ درصد از کل انرژی‌های ورودی به کشت‌بوم‌های برنج را به خود اختصاص داده است (خان و همکاران، ۲۰۱۰). در بررسی دیگری بر روی برنج در بنگلادش نشان داد که انرژی‌های ورودی برای زمین‌های با سطح متوسط (۲-۱ هکتار) ۲۹۳۹۴ مگاژول و انرژی‌های خروجی ۱۱۵۴۴۴ مگاژول بوده است (توفیق‌اقبال، ۲۰۰۷؛ علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۳). سهم انرژی‌های مستقیم در شالی‌زارهای استان گیلان ۳۰/۶ درصد و در استان کهگیلویه و بویراحمد ۱۰/۳ درصد بوده است، که این مورد به خاطر استفاده بیشتر از نهاده‌هایی مانند سوخت فسیلی و نیروی الکتریسیته در مزارع استان گیلان گزارش شده است (سجادیان و همکاران، ۱۳۹۲). این تحقیق با هدف بررسی جریان انرژی و برآورد شاخص‌های مربوط به آن در بوم‌نظام‌های برنج در استان‌های گیلان و مازندران انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق با روش توصیفی و با استفاده از فن پیمایش در سال ۱۳۹۴ اجرا گردید. در این رابطه برای بررسی وضعیت مصرف انرژی در بوم‌نظام‌های رایج برنج در شهر لنگرود (استان گیلان) و شهر بهنمیر (استان مازندران) شمار ۱۰۰ نفر از کشاورزان با آماری با پذیرش خطای ۵ درصد و حد اعتماد ۹۵ درصد (t= 1.64) طبق جدول برآورد نمونه (بارتلت و همکاران، ۲۰۰۱) با روش تصادفی به عنوان نمونه آماری تعیین شدند. ابزار این تحقیق پرسش‌نامه بود که در آن اطلاعاتی در رابطه با مصرف انواع کود، انواع سموم، ماشین‌ها و ادوات کشاورزی، کارگر، آب، سوخت مصرفی، نیروی الکتریسیته و عملیات زراعی گردآوری شدند. در مرحله بعد، میزان هر یک از ورودی‌ها و خروجی‌ها به ازای یک هکتار زمین زراعی محاسبه و با توجه به اینکه ورودی‌ها و خروجی‌های مختلف یک کشت‌بوم دارای واحدهای متفاوت و انجام مقایسات در این شرایط دشوار است، تمام ورودی‌ها و خروجی‌ها از طریق ضرایب مخصوص به معادل انرژی آن تبدیل شدند. سپس شاخص‌های انرژی از جمله کارایی انرژی، بهره‌وری

انرژی، انرژی خالص،بهره‌وری آب و نسبت انرژی آب محاسبه شدند. در انجام محاسبه‌ها از نرم‌افزار SPSS 18 و برای ترسیم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. معادلات مورد استفاده برای محاسبه شاخص‌های انرژی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- فرمول شاخص‌های آب و انرژی

شاخص	واحد	فرمول
کارایی مصرف انرژی	–	انرژی خروجی / انرژی ورودی
بهره‌وری انرژی	کیلوگرم بر مگاژول	عملکرد اقتصادی / انرژی ورودی
بهره‌وری آب	کیلوگرم بر مترمکعب	عملکرد اقتصادی / آب مصرفی
نسبت انرژی آب	درصد	انرژی ورودی از طریق آب آبیاری / کل انرژی ورودی
انرژی خالص	مگاژول در هکتار	انرژی ورودی – انرژی خروجی

(سجادیان و همکاران، ۱۳۹۲)

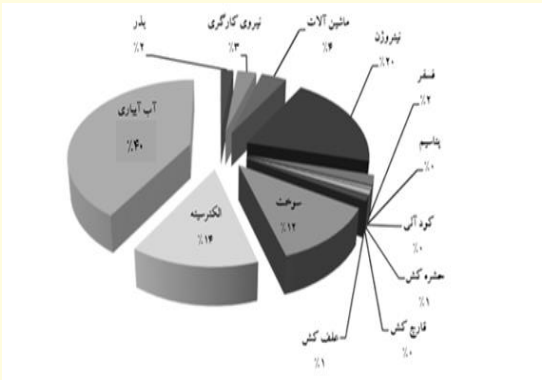
نتایج و بحث

مقادیر و معادل‌های انرژی در جدول ۲، شاخص‌های آب و انرژی در جدول ۳ و شکل‌های ورود و خروج انرژی در بوم‌نظام‌های برنج در شهرهای لنگرود و بهنمیر در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- معادل انرژی و مقادیر انرژی در کشت‌بوم‌های برنج شهرهای لنگرود و بهنمیر

انرژی ورودی و خروجی	واحد	معادل انرژی	منابع	لنگرود			بهنمیر		
				میزان در هکتار	انرژی معادل (مگاژول در هکتار)	درصد از کل (٪)	میزان در هکتار	انرژی معادل (مگاژول در هکتار)	درصد از کل (٪)
الف) انرژی‌های ورودی									
نیروی کارگری	ساعت	۱/۹۶	(گاندوگموس، ۲۰۰۶)	۴۷۹/۰۲	۹۴۲/۳۴	۲	۵۵۵/۲۴	۱۰۹۴/۱۲	۳
ماشین‌ها و ادوات کشاورزی	ساعت	۶۲/۷۰	(گاندوگموس، ۲۰۰۶)	۲۵/۱	۱۶۵۰/۲۳	۴	۲۶/۴۵	۱۷۱۹/۲۱	۴
کود نیتروژن	کیلوگرم	۶۰/۶۰	(گاندوگموس، ۲۰۰۶)	۱۳۳/۵	۸۲۴۹/۷۳	۱۹	۱۲۱/۱۲	۷۵۱۷/۴۴	۲۰
کود فسفر	کیلوگرم	۱۱/۱۰	(گاندوگموس، ۲۰۰۶)	۶۶/۲۴	۷۷۰/۲۸	۲	۶۳/۱۸	۷۴۷/۶۵	۲
کود پتاسیم	کیلوگرم	۶/۷۰	(گاندوگموس، ۲۰۰۶)	۳۱/۱۳	۲۱۹/۲۳	۰/۵	۴۳/۳۲	۳۱۵/۵۴	۰/۴
کود آلی	کیلوگرم	۰/۳۰	(گاندوگموس، ۲۰۰۶)	۰	۰	۰	۲۶۸/۲	۷۹/۳۴	۰/۲
حشره‌کش	کیلوگرم	۱۹۹	(گاندوگموس، ۲۰۰۶)	۳/۳۱	۶۶۰/۱۱	۲	۲	۳۹۳	۱
قارچ‌کش	کیلوگرم	۹۲	(گاندوگموس، ۲۰۰۶)	۰/۳۶۹	۳۲/۱	۰/۰۸	۰/۵۵	۵۰/۷۶	۰/۰۸
علف‌کش	کیلوگرم	۲۳۸	(گاندوگموس، ۲۰۰۶)	۱/۵۸	۳۹۵/۲۲	۱	۲/۱	۵۱۵/۳	۱
سوخت	لیتر	۵۶/۳۱	(گاندوگموس، ۲۰۰۶)	۳۲/۲	۱۹۲۹/۳۴	۳/۴۲	۸۰/۶	۴۶۳۶/۳۲	۱۲
نیروی الکتریسیته	کیلووات ساعت	۱۱/۹۳	(گاندوگموس، ۲۰۰۶)	۸۶۱/۴۴	۱۰۴۰۱	۲۴	۴۵۲/۲۳	۵۵۰۱/۲۴	۱۴
آب آبیاری	مترمکعب	۰/۶۳	(گاندوگموس، ۲۰۰۶)	۲۶۳۱۰/۰۳	۱۶۷۳۲/۲	۳۹	۲۶۲۰۸/۴۳	۱۶۶۶۶/۵۴	۴۰/۳۲
بذر	کیلوگرم	۱۴/۵۷	(اقبال، ۲۰۰۷)	۹۳/۰۱	۱۳۷۸/۱۱	۳	۶۵/۲۲	۹۶۵/۶۵	۲
کل انرژی‌های ورودی	مگاژول		(اقبال، ۲۰۰۷)		۴۳۳۵۹/۸۹	۱۰۰		۴۰۲۰۰/۱۱	۱۰۰
ب) انرژی‌های خروجی									
شلتوک	کیلوگرم	۱۴/۵۷	(اقبال، ۲۰۰۷)	۴۴۳۴	۶۳۲۰۲/۶۶	۵۱/۱	۴۶۱۲/۱	۶۷۵۰۲/۱۲	۵۲/۸
کاه و کلش	کیلوگرم	۱۲/۵	(اقبال، ۲۰۰۷)	۴۶۰۱/۴۵	۵۷۵۲۶/۱۲	۴۸/۹	۴۷۳۱/۳۳	۵۹۳۲۰/۳۲	۴۷/۲
کل انرژی‌های خروجی	کیلوگرم				۱۲۰۷۲۶/۷۸	۱۰۰		۱۲۶۸۲۲/۴۴	۱۰۰

شکل ۱- نسبت انرژی‌های ورودی هر نهاده به کل انرژی‌های ورودی در شالی‌زارهای لنگرود



شکل ۲- نسبت انرژی‌های ورودی هر نهاده به کل انرژی‌های ورودی در شالی‌زارهای بهنمیر

جدول ۳- شاخص‌های آب و انرژی برای کشت‌بوم‌های برنج در شهرهای لنگرود و بهنمیر

شهر	کارایی انرژی	بهره‌وری انرژی	بهره‌وری آب	نسبت انرژی آب	انرژی خالص
لنگرود	۲/۷۸	۰/۱۰	۰/۱۷	۰/۳۹	۷۷۳۶۶/۸۹
بهنمیر	۳/۱۵	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۴۱	۸۶۶۲۲/۳۳

نتایج این تحقیق که به بررسی روند تبدیل انرژی در بوم‌نظام‌های برنج در شهرهای لنگرود و بهنمیر پرداخته است نشان داد که از بعد کاربرد انرژی بیشترین سهم از ورودی انرژی به شالی‌زارهای شهر لنگرود به ترتیب به آب آبیاری (۳۹ درصد)، نیروی الکتریسیته

(۲۴ درصد) و کودهای شیمیایی (۲۱/۵ درصد) و در شالی‌زارهای شهر بهنمیر به ترتیب به آب آبیاری (۴۰ درصد)، کودهای شیمیایی (۲۲/۴ درصد) و نیروی الکتریسیته (۱۴ درصد) اختصاص داشت که با نتایج (خان و همکاران، ۲۰۱۰) در استرالیا که اظهار داشت بیشترین میزان انرژی ورودی به شالی‌زارها مربوط به کودهای شیمیایی (۴۳ درصد) می‌باشد در تناقض است که به احتمال زیاد ناشی از ردپای بالای آب در شالی‌زارهای ایران می‌باشد، زیرا وجود روش آبیاری غرقابی و استفاده از پمپ‌های الکتریکی و دیزلی برای استحصال آب از منابع زیرزمینی باعث بالاتر بودن انرژی‌های مربوط به این منابع نسبت به کودهای شیمیایی در کشت‌بوم‌های برنج شده است. همچنین استفاده بیشتر از پمپ‌های الکتریکی در استان گیلان نسبت به استان مازندران (که بیشتر از پمپ‌های دیزلی استفاده می‌کردند) باعث شده است که میزان ورودی انرژی الکتریسیته در این استان بیشتر باشد (سجادیان و همکاران، ۱۳۹۲).

شاخص انرژی خالص در کشت‌بوم‌های گیلان (۷۷۳۶۶/۸۹ مگاژول) کمتر از کشت‌بوم‌های مازندران(۸۶۶۲۲/۳۳ مگاژول) بوده است که به احتمال فراوان این موضوع ناشی از استفاده از ارقام بومی در استان گیلان و استفاده از ارقام پرمحصول در استان مازندران می‌باشد. کارایی انرژی در کشت‌بوم‌های استان گیلان ۲/۷۸ و در کشت‌بوم‌های استان مازندران ۳/۱۵ محاسبه شد که از

مقادیر گزارش شده توسط خان و همکاران (۲۰۱۰) در استرالیا و توفیق‌اقبال (۲۰۰۷) در هند کمتر است که به احتمال فراوان ناشی از ارزان بودن انرژی در ایران و مصرف بی‌رویه آن می‌باشد (علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۳).

نتیجه‌گیری کلی

بهره‌وری آب در شالی‌زارهای هر دو استان نسبت به استاندارد جهانی بسیار پایین است که این امر می‌تواند به دلیل استفاده از روش‌های ناکارآمد انتقال و توزیع آب یا اتلاف آب در هنگام آبیاری باشد. این مشکل را می‌توان از طریق سهمیه‌بندی، راه‌اندازی بازار آب
و ایجاد زیرساخت‌های مناسب برای انتقال آب به مزارع برطرف نمود. یکی از بزرگ‌ترین ورودی‌های انرژی در مزارع برنج مربوط به کود نیتروژن است. در تناوب قرار دادن گیاهان لگوم از جمله شبدر برسیم و یونجه یکساله، علاوه بر بهبود حاصلخیزی خاک، وابستگی مزارع را به کودهای نیتروژن کاهش می‌دهد و می‌تواند موجب استفاده کارامدتر از نیروی کار در طول سال زراعی شود.

منابع

سجادیان، م.، علی‌پور جهانگیری، ع.، کامبوزیا، ج.، زهری، م. و بهشتی مارنانی، م. ۱۳۹۲. مقایسه کارایی انرژی کشت‌بوم‌های برنج (*Oryza sativa* L.) در دو استان گیلان و کهگیلویه و بویر احمد. مجله کشاورزی بوم‌شناختی. ۳(۱): ۲۶-۱۷.

علی‌پور، ع.، ویسی، ه.، دریجانی، ف.، صباحی، ح. و لیاقتی، ه. ۱۳۹۳. واکاوی وضعیت مصرف انرژی در کشت‌بوم‌های رایج برنج در استان‌های مازندران و گیلان: مطالعه موردی شهرستان بابلسر و لاهیجان. مجله کشاورزی بوم‌شناختی. ۴(۲): ۸-۱.

Bartlett, J., Kotrlik, J. and Higgins, C. 2001. Organizational research: determining appropriate sample size in survey research. Information Technology, Learning, and Performance Journal. 19(1): 43-50.

Deike, S., Pallutt, B. and Christen, O. 2008. Investigations on the energy efficiency of organic and integrated farming with specific emphasis on pesticide use intensity. European Journal of Agronomy. 28, 461-470.

Khan, S., Khan, M.A. and Latif, N. 2010. Energy requirements and economic analysis of wheat, rice and barley production in Australia. Soil and Environment. 29(1), 61-68.

Ozkan, B., Kurklu, A. and Akcaoz, H. 2004. An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: A case study for Antalya region of Turkey. Biomass and Bioenergy. 26, 89-95.

Rathke, G.W. and Diepenbrock, W., 2006. Energy balance of winter oilseed rape (Brassica napus L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. European Journal of Agronomy. 24, 35-44.

Singh, J.M. 2002. On farm energy use pattern in dikerrent cropping systems in Haryana, India. MS.c. Thesis. University of Flensburg, Germany.

Toufiq Iqbal, M.D. 2007. Energy Input and output for production of Boro rice in Bangladesh. Electronic Journal of Environment Agriculture and Food Chemistry. 6(5), 2144-2149.

Uhlin, H.E., 1998. Why energy productivity is increasing: An I-O analysis of Swedish agriculture. Agricultural Systems. 56, 443-465.

Zoghipour, A. and Torkamani, J. 2005. Analysis data energy input-output in the agricultural section of Iran. In Proceedings 6th Economic Agriculture Conference, 1st-20th August, Mashhad, Iran. pp. 242.

Comparison of energy efficiency of rice agroecosystems (*Oryza sativa* L.)

M. Gharavi Baigi[1*], M. Jaber Kordestani[2], H. Pirdashti[3]
1*- Department of Agronomy, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
2- Department of Soil Science, Islamic Azad University, Science and Research branch of Tehran, Tehran, Iran
3- Technical expert at Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

*en_gharavi@yahoo.com

Abstract
Today, the agricultural sector is one of the main energy consumers in the worldwide. Increasing world population, accompanied by natural resource limitations, reveals the importance of research about energy use efficiency in the agriculture that is responsible for supplying food security of this population. In this study, the energy indices of conventional rice production systems in Guilan (Langeroud city) and Mazandaran (Bahnamir city) were investigated in 2015. Data were collected from 100 rice paddy farms in two provinces by carrying out a face-to-face questionnaire. The farms were selected based on random sampling method. The results domonstrated that the total input and output energy in Langeroud city rice production systems were 43359.89 and 120726.78 MJ, respectively, and for input and output energy in Bahnamir city were 40200.11 and 126822.44 MJ, respectively. respectively. Additionally, 39% of energy consumption in Langeroud city, was assigned to water, 24% to electricity and 21.5% was allocated to chemical fertilizers. The character of energy consumption in Bahnamir city was slightly different, since 40% was allocated to water, and 22.4% and 14% to chemical fertilizers and electricity, respectively. Ultimately, the results showed that the energy efficiency, the energy productivity, the water efficiency, the proportion of water energy and the net energy in rice agroecosystems in Bahnamir city was higher than in Langeroud city. Its noticeable that the vast majority of input energy was due to using water logging irrigation systems, obtaining it from groundwater resources through use of electric power which, consequently, reduced energy efficiency and productivity in the rice production systems studied. Regarding this, the employment of new technologies for the proper management of water resources is recommended.
Keywords: Agroecosystems, Energy efficiency, Resources limitation, Rice