فصلنامه علوم محیطی، دوره سیزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴

۵۳-۶۶

تجزیه و تحلیل شاخص‌های انرژی در نظام‌های تولید برنج در منطقه نکا

سلمان دستان[۱*]، قربان نورمحمدی[۲]، حمید مدنی[۳] و افشین سلطانی[۴]

[۱] مربی بخش علوم کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران
[۲] استاد گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران
[۳] دانشیار گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرقدس، شهرقدس
[۴] استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۹ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱/۱۸

چکیده

بهینه‌سازی مصرف انرژی در بوم‌نظام‌های زراعی می‌تواند به کاهش هزینه عملیات زراعی، بهبود کیفیت هوا، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و توسعه پایدار کمک نماید. بنابراین، مطالعه مدیریت نظام‌های مختلف کاشت، نشان‌دهنده یک روش مطلوب برای بهینه‌سازی ورودی‌های مورد نیاز، عملکرد و تأمین انرژی خالص می‌باشد. هدف از اجرای این آزمایش، مستندسازی فرآیند تولید و تجزیه و تحلیل شاخص‌های انرژی در نظام‌های تولید برنج بود. در این آزمایش نظام‌های کاشت فشرده (SRI)، بهبودیافته و رایج منطقه (سنتی) در مزرعه برنج واقع در شهرستان نکا طی سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ مورد ارزیابی قرار گرفتند. تمامی انرژی مصرفی برای کودها، بذر، حفاظت گیاه، ادوات و ماشین‌آلات، حمل و نقل و کلیه عملیات زراعی در نظام‌های کاشت محاسبه شدند. نتایج نشان داد که میانگین انرژی ورودی در نظام‌های مورد مطالعه شامل انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر برابر ۲۴۲۶۲/۲۹ مگاژول در هکتار بود. کل انرژی خروجی در نظام‌های تولید نیز برابر ۱۹۱۳۴۰ مگاژول در هکتار برآورد شد. درصد انرژی مستقیم و تجدیدپذیر مصرفی در SRI بیش‌تر از نظام‌های بهبودیافته و رایج منطقه بود، اما درصد انرژی غیرمستقیم و تجدیدناپذیر مصرفی در SRI کم‌تر از نظام‌های بهبودیافته و رایج منطقه محاسبه شد. بالاترین میزان کارایی و بهره‌وری انرژی و انرژی خالص در SRI مشاهده شد. اما انرژی ویژه برای SRI کم‌تر از دو نظام دیگر بود. این تغییرات به میزان ورودی‌ها و شرایط رشد بستگی دارد. نتایج نشان داد که مدیریت انرژی در سطح مزرعه می‌تواند بهره‌وری انرژی و کارایی اقتصادی را بهبود بخشد. بنابراین، SRI بیش‌ترین بهره‌وری را از نظر انرژی دارا بود. به‌نظر می‌رسد منابع انرژی تجدیدپذیر یکی از راه‌حل‌های کارامد و مؤثر برای توسعه پایدار انرژی و پیشگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی در ایران می‌باشد.

کلمات‌کلیدی: *Oryza sativa*، *SRI*، بیلان انرژی، محیط زیست، مستندسازی.

Analysis of Energy Indices in Rice Production Systems in the Neka Region

Salman Dastan, [1*] Ghorban Noormohamadi,[2] Hamid Madani[3] & Afshin Soltani[4]

[1]*Instructor, Department of Agricultural Science, Payame Noor University, Tehran*
[2]*Professor, Department of Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran*
[3]*Associated Professor, Department of Agronomy, Shahre Qods Branch, Islamic Azad University, Shahre Qods*
[4]*Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan*

Abstract

Optimizing of energy consumption in agro-ecosystems can help reduce farm operating costs, improve air quality, reduce GHG emission levels and results in sustainable development. Therefore, studying the management of different cropping systems represents a good method to optimize input requirements, yield and net energy supply. The objectives of this study were to document the production process and analysis of energy indices in rice production systems. In this experiment, rice production systems that included SRI, improved and conventional, were studied at a paddy field in the Neka region during 2011-2012. The total energy consumption in rice production systems was calculated, including the fertilizers, seed, plant protection, machinery, transportation and all on-farm activities. The results indicated that the average input energy in the systems studied, including direct, indirect, renewable and non-renewable energies, was 24262.29 MJ ha-1. Total output energy in rice-based agro-ecosystems was 191.34 MJ ha-1. The share of direct and renewable energy uses of SRI was more than in improved and conventional systems, but the share of indirect and non-renewable energy uses in SRI was less than in improved and conventional systems. The highest energy efficiency, energy productivity and net energy were observed in SRI. But, specific energy was lower for SRI than for other systems. This variation was dependent on input intensities and growing conditions. It was concluded that energy management at the farm level could be improved to give greater energy productivity and economic efficiency and, so, SRI was the most productive in terms of energy. In this regard, renewable energy sources appear to be one of the most efficient and effective solutions for sustainable energy development and environmental pollution prevention in Iran.

Keywords: Documentation, Energy balance, Environment, *Oryza Sativa*, *SRI*.

* Corresponding Author. *E-mail Address*: sdastan@srbiau.ac.ir

۱- مقدمه

استفاده مؤثر از انرژی در کشاورزی یکی از عوامل مهم در پیدایش کشاورزی پایدار است، زیرا موجب صرفه‌جویی اقتصادی، حفظ سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی هوا می‌گردد [۱]. ضمن این‌که جهت برآورده ساختن نیازهای غذایی جمعیت رو به گسترش بشر، یک نظام پایدار با بهره‌وری بالا باید در اولویت باشد. بنابراین، با تجزیه و تحلیل نظام‌های مختلف کشاورزی، می‌توان به میزان استفاده از تمام شکل‌های انرژی پی برد و از منابع محدود نظیر زمین، آب و منابع بیولوژیک برای نسل‌های آینده حفاظت نمود [۲]. یکی از رویکردهای مناسب در جهت کاهش انرژی‌های ورودی و از سوی دیگر افزایش انرژی خروجی، بررسی و ارزیابی شاخص‌های به‌دست آمده از مطالعات منطقه‌ای می‌باشد. این‌که چه عواملی چگونه و به چه میزان بیش‌ترین تأثیر را در مقدار این شاخص‌ها می‌گذارند [۳]، در کنار بررسی امکان جایگزینی آن‌ها با سایر عوامل و با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و فنی، در نهایت می‌تواند به بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی در تولیدات کشاورزی منجر گردد [۳]. از طرفی ارزیابی مصرف انرژی می‌تواند نشان‌دهنده چگونگی کاهش انرژی ورودی به نظام‌های تولید و افزایش کارایی انرژی باشد [۴].

تولید همه محصولات کشاورزی از جمله برنج، برای انجام عملیات زراعی مانند شخم، کاربرد کود، آفت‌کش‌ها، کاشت، آبیاری، برداشت، فرآوری و حمل و نقل نیاز به برخی از شکل‌های انرژی دارد [۵]. مطالعات مختلف در مورد توازن انرژی در نظام‌های زراعی صورت گرفته است[۶]. با بررسی کارایی مصرف انرژی در اراضی شالیزاری بیان شد که مزارع کوچک دارای نسبت انرژی بالا و انرژی ویژه پایین‌تری در مقایسه با مزارع بزرگ هستند [۷]. باید یادآور شد که نیروی انسانی در بین انرژی‌های ورودی مستقیم به میزان شدید و زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما به‌دلیل ضریب تبدیل پایین انرژی نسبت به سایر ورودی‌ها، از لحاظ مصرف انرژی سهم ناچیزی را شامل می‌شود. با وجود، این عملیات آبیاری مرسوم سهم قابل توجهی در مصرف انرژی انسانی دارد [۸]. در مقایسه با انرژی‌های ورودی سوخت و کودهای شیمیایی، سایر عملیات نظیر کنترل علف‌های هرز، حفاظت گیاه (کنترل آفات)، بذر و ماشین‌آلات انرژی کم‌تری را به نظام‌های تولید وارد می‌کنند [۴]. با ارزیابی انرژی ورودی در تولید گندم در منطقه گرگان مشخص شد که از کل انرژی‌های ورودی مستقیم، سوخت عملیات زراعی با میانگین ۳۳۹۰ مگاژول در هکتار بیش‌ترین مقدار را دارا بوده است و بعد از آن سوخت الکتریسیته با میانگین ۳۰۹ مگاژول در هکتار در جایگاه بعدی قرار دارد [۹]. با استفاده از نسبت انرژی ورودی به خروجی به‌عنوان یک شاخص، گزارش شد که بهره‌وری انرژی با افزایش مصرف کود شیمیایی نیتروژن کاهش یافت [۱۰]. با توجه به توازن انرژی، می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده از آفت‌کش‌ها با توجه به انرژی ورودی از اهمیت کم‌تری برخوردار است، اما یک عامل مورد بررسی مهم برای افزایش عملکرد و انرژی خروجی محسوب می‌شود [۱۰].

در سال‌های اخیر نظام‌های تولید محصولات زراعی به‌دلیل کاربرد مکانیزاسیون، کودهای شیمیایی، بذرهای پرمحصول و حشره‌کش‌ها دست‌خوش تغییر و تحولات عمده‌ای شده است. وقوع این تحولات سبب تغییر جریان انرژی و وابستگی بیش‌تر بخش کشاورزی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به سوخت‌های فسیلی و سایر انرژی‌ها شده است. از این‌رو، لازم است وضعیت انرژی برای نظام‌های نوین بررسی و با نظام‌های سنتی مورد مقایسه قرار گیرد تا آشکار شود که آیا کاربرد انرژی در نظام‌های سنتی تولید بهینه بوده است یا خیر. با وجود افزایش تولید در نظام‌های پیشرفته کشاورزی، به‌دلیل مصرف زیاد انرژی در مزرعه، بازده انرژی در این نظام‌ها پایین بوده و پایداری آن‌ها با چالش مواجه شد و سبب نگرانی‌هایی در رابطه با مصرف انرژی فسیلی، افزایش قیمت انرژی و گرمایش جهانی [۱۱] و از دست رفتن عناصر غذایی شد [۱۲]. 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 شناخت نسبت به بوم‌نظام‌های زراعی داشته و موجب بهبود تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها در مدیریت و توسعه بخش کشاورزی شود [۱۳].

با توجه به این امر، از دیدگاه اکولوژیک، تجزیه و تحلیل انرژی در کشاورزی می‌تواند نقش قابل توجهی در توسعه دیدگاه انسان نسبت به بوم‌نظام‌های زراعی داشته باشد و باعث ایجاد دیدگاهی با محوریت محیط‌زیست از لحاظ مصرف بهینه منابع، تولید انرژی و افزایش کارایی نظام در بیان انرژی شود. علاوه بر این، نهاده‌های انرژی‌بر مشخص شده و با توجه به منابع محدود انرژی، اتکای نظام به نهاده‌ها مشخص می‌شود و در تصمیم‌گیری‌های آینده برای طراحی

بوم‌نظام‌های پایدار در راستای توسعه پایدار مؤثر واقع می‌گردد. به‌منظور رسیدن به این هدف نظام‌های تولید برنج از نظر ورود و خروج انرژی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته تا راه حل‌های منطقی اتخاذ گردد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی واقع در شهرستان نکا به فاصله ۲۵ کیلومتری ایستگاه تحقیقات زراعی بایع‌کلا طی سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ اجرا شد. شهرستان نکا در قسمت شمالی رشته‌کوه‌های البرز و جنوب دریای‌خزر در شمال ایران قرار دارد. محل اجرای آزمایش در امتداد ساحل دریای خزر با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۷ درجه شرقی بود که ارتفاع آن از سطح دریا صفر می‌باشد. در این آزمایش مزرعه‌ای، نظام‌های کاشت رایج منطقه (سنتی)، بهبودیافته و فشرده[1] (SRI) مورد مطالعه قرار گرفتند.

۲-۲- تیمارهای آزمایشی

۲-۲-۱- نظام کاشت رایج منطقه (سنتی):

روش تهیه نشا کرتی بود. از نشاهای بالغ (۳۵ روزه) و تعداد بیش از سه نشا در هر کپه با آرایش کاشت متغیر، تصادفی و نامنظم استفاده شد. غرقابی دایم شالیزار و حفظ سطح آب ایستابی در تمامی مراحل رشد و نمو در نظر گرفته شد. بعد از نشاکاری تا دو هفته قبل از برداشت، مزرعه به حالت غرقاب بود و از زه‌کشی و کاهش سطح آب ایستابی جلوگیری گردید. کودهای شیمیایی NPK از منابع اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، سوپرفسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌کار برده شد. تمامی فسفر و پتاسیم به‌صورت پایه و ۷۵ درصد کود نیتروژن به‌صورت پایه و ۲۵ درصد باقی‌مانده به‌صورت سرک در مرحله ۳۰ روز بعد از نشاکاری مصرف شد. برای کنترل علف‌های هرز یک‌بار از علف‌کش پیش‌رویشی بوتاکلر به‌مقدار ۳ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار و دوبار وجین دستی در ۲۸ و ۴۵ روز بعد از نشاکاری استفاده گردید. مبارزه با آفات به‌وسیله حشره‌کش دیازینون (گرانول ۵ درصد به‌مقدار ۶ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار) و کنترل بلاست به کمک قارچ‌کش بیم (تری‌سیکلازول) به‌مقدار ۱/۱۳ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار در مرحله ۳۰ درصد خوشه‌دهی انجام شد.

۲-۲-۲- نظام کاشت بهبودیافته (اصلاح شده):

روش تهیه نشا کرتی بود و از نشاهای ۲۵ روزه به تعداد سه نشا در هر کپه با آرایش کاشت مربعی به فواصل ۲۵×۲۵ سانتی‌متر استفاده شد. غرقابی دایم شالیزار و یک مرتبه خروج آب میان فصل انجام شد. برای این منظور، بعد از نشاکاری اقدام به ایجاد غرقابی و حفظ آب شده و فقط در مرحله حداکثر پنجه‌زنی، خروج کامل آب انجام شد تا ترک‌هایی در کرت مشاهده گردد، سپس اقدام به آبیاری گردید و تا دو هفته قبل از برداشت به حالت غرقاب باقی ماند. کودهای شیمیایی NPK از منابع اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، سوپرفسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. کاربرد ۵۰ درصد اوره و پتاسیم و تمامی کود فسفر به‌صورت پایه انجام شد. ۵۰ درصد پتاسیم و ۲۵ درصد اوره به‌صورت سرک در مرحله ۳۰ روز بعد از نشاکاری به کار گرفته شد. ۲۵ درصد اوره باقی‌مانده در مرحله ظهور خوشه مصرف گردید. برای کنترل علف‌های‌هرز، یک‌بار از علف‌کش پیش‌رویشی بوتاکلر به‌مقدار ۴/۲ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار و دوبار وجین دستی در ۲۸ و ۴۵ روز بعد از نشاکاری استفاده شد. مبارزه با آفات نیز به‌وسیله حشره‌کش دیازینون (گرانول ۵ درصد به مقدار ۶ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار) و کنترل بلاست توسط قارچ‌کش بیم (تری‌سیکلازول) به‌مقدار ۰/۷۵ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار در مرحله ۳۰ درصد خوشه‌دهی انجام گرفت.

۲-۲-۳- نظام کاشت فشرده یا تقویت شده (SRI):

در طراحی این نظام کاشت سعی شد بهترین شیوه مدیریت عملیات زراعی با توجه به شرایط آب و هوایی، خصوصیات خاک و فرهنگ کشاورزان منطقه اجرا شود. برای این منظور، در شیوه خزانه‌گیری تغییر ایجاد گردید و از خزانه نشای جعبه‌ای پلاستیکی استفاده گردید. از نشاهای جوان ۲۰ روزه (۴-۳ برگی) و تعداد دو نشا در هر کپه با آرایش کاشت مربعی با فواصل ۲۰×۲۰ سانتی‌متر به‌وسیله دستگاه مارکر بهره گرفته شد. در این روش از زمان نشاکاری تا دو هفته بعد از آن، مزرعه به حالت غرقاب نگه داشته شد. سپس تا دو هفته قبل از برداشت اقدام به آبیاری تناوبی گردید، به نحوی‌که خاک مزرعه همیشه مرطوب بود. کود شیمیایی نیتروژن از منبع اوره (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و کود دامی به میزان ۱۰ تن در هکتار به‌صورت پایه قبل از نشاکاری مصرف گردید. ۵۰ درصد اوره به‌صورت پایه و ۵۰

درصد باقی‌مانده در مرحله ظهور خوشه آغازین استفاده شد. کودهای شیمیایی فسفر و پتاسیم در این نظام کاشت مصرف نشد. برای کنترل علف‌های‌هرز، روتاری یا وجین‌کن سه مرتبه با فاصله ۷ روز به کار رفت. مبارزه با آفات به‌وسیله حشره‌کش دیازینون (گرانول ۵ درصد به مقدار ۲ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار) و کنترل بلاست به کمک قارچ‌کش بیم (تری‌سیکلازول) به‌مقدار ۰/۳۸ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار در مرحله ۳۰ درصد خوشه‌دهی انجام شد.

۲-۳- جمع‌آوری اطلاعات

در طی دو سال اطلاعات مربوط به مصرف انرژی مربوط به کلیه عملیات زراعی ثبت و جمع‌آوری شدند. برای برآورد بیلان انرژی در نظام‌های تولید، میزان ورودی‌ها و خروجی‌ها تعیین گردید. جهت ارزیابی انرژی ورودی (مصرفی)، همه ورودی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در هنگام اجرای عملیات زراعی با استفاده از روابط معادل‌های انرژی (ضرایب تبدیل) استخراج شده از منابع متعدد برای هر عملیات زراعی معادل‌سازی شد. سپس مقدار انرژی ورودی برای هر نهاده و عملیات محاسبه گردید. برای تعیین انرژی خروجی (تولیدی) به‌دست آمده از شلتوک و کاه و کلش، با استفاده از معادل‌های انرژی (ضرایب تبدیل) استخراج شده مربوط به شلتوک و کاه و کلش در برنج، اقدام به معادل‌سازی شد. سپس مقدار کل انرژی خروجی آن‌ها به‌طور جداگانه محاسبه گردید [۹]. با برآورد کل انرژی‌های ورودی و خروجی، شاخص‌های ارزیابی انرژی از قبیل نسبت یا کارایی انرژی[۲]، بهره‌وری انرژی[۳]، انرژی ویژه[۴] و عملکرد خالص انرژی[۵] برای هر نظام کاشت محاسبه شدند [۹]. شایان ذکر است که شاخص‌های توصیف شده به‌منظور ارزیابی رابطه بین کل انرژی ورودی و خروجی در هر هکتار تعیین گردیدند که برحسب نوع محصول، نوع خاک، ماهیت عملیات خاک‌ورزی برای آماده‌سازی بستر بذر، نوع و میزان کودهای شیمیایی و دامی، عملیات داشت، برداشت و در نهایت سطوح عملکرد تغییر می‌کنند [۹]. معادلات شاخص‌های انرژی به شرح ذیل می‌باشد:

$$ER = EO/EI \qquad (۱)$$

که در آن ER نسبت یا کارایی انرژی بوده و عددی بدون واحد می‌باشد. EO مجموع انرژی‌های خروجی از مزرعه (مگاژول در هکتار) و EI مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه می‌باشد.

$$EP = PY/EI \qquad (۲)$$

که در آن EP بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)، PY عملکرد شلتوک (کیلوگرم در هکتار) و EI مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) می‌باشد.

$$SE = EI/PY \qquad (۳)$$

که در آن SE انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم)، EI مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) و PY عملکرد شلتوک (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد.

$$NEY = EO - EI \qquad (۴)$$

که در آن NEY عملکرد انرژی خالص (مگاژول در هکتار)، EO مجموع انرژی‌های خروجی از مزرعه (مگاژول در هکتار) و EI مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) می‌باشد.

۲-۴- تجزیه‌های آماری

داده‌های به‌دست آمده با نرم‌افزار آماری SAS مورد تجریه واریانس قرار گرفت. رسم جداول و نمودارها نیز با نرم‌افزار Excel انجام شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مستندسازی فرآیند تولید

عملیات زراعی از مرحله تهیه خزانه تا برداشت محصول در نظام‌های کاشت از اوایل فروردین ماه آغاز شد و تا اوایل شهریورماه ادامه داشت. انجام این عملیات با تهیه خزانه و شخم شروع و با برداشت محصول خاتمه یافت. به‌منظور تهیه خزانه و آماده‌سازی بستر بذر، برحسب نوع نظام کاشت عملیات زراعی مربوط به آن در نظر گرفته شد. جدول۱ میزان نهاده‌های زراعی مصرفی برای نظام‌های تولید مورد مطالعه را نشان می‌دهد. میانگین میزان بذر مصرفی در سه نظام تولید برابر ۷۳/۳۳ کیلوگرم در هکتار بود که برای نظام تولید SRI (۴۰ کیلوگرم در هکتار) کم‌تر از دو نظام تولید بهبودیافته (۸۰ کیلوگرم در هکتار) و رایج منطقه (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. میزان مصرف کود شیمیایی نیتروژن با میانگین ۷۶/۶۷ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار در SRI (۴۶ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار) کم‌تر از دو نظام کاشت بهبودیافته و رایج منطقه با مقدار مصرف ۹۲ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار برآورد شد (جدول ۱).

جدول۱- مقادیر نهاده‌های زراعی بر حسب واحد در هکتار در نظام‌های تولید برنج

نهاده‌های تولید	واحد	نظام‌های کاشت			میانگین	انحراف معیار (SEM)
		فشرده	بهبودیافته	رایج منطقه		
بذر	کیلوگرم	۴۰	۸۰	۱۰۰	۷۳/۳۳	۱۴/۴۰
سوخت	لیتر	۱۱۰	۸۵	۸۵	۹۳/۳۳	۶/۸۰
نیتروژن (N)	کیلوگرم در هکتار	۴۶	۹۲	۹۲	۷۶/۶۷	۱۲/۵۲
فسفر (P_2O_5)	کیلوگرم در هکتار	۰	۴۸	۴۸	۳۲	۱۳/۰۶
پتاسیم (K_2O)	کیلوگرم در هکتار	۰	۵۰	۵۰	۳۳/۳۳	۱۳/۶۱
کود دامی	کیلوگرم	۱۰۰۰۰	۰	۰	۳۳۳۳/۳۳	۹۸۲/۹۵
حشره‌کش	کیلوگرم ماده مؤثره	۲	۶	۶	۴/۶۷	۱/۰۹
قارچ‌کش	کیلوگرم ماده مؤثره	۰/۳۸	۰/۷۵	۱/۱۳	۰/۷۵	۰/۱۸
علف‌کش	کیلوگرم ماده مؤثره	۰	۴/۲	۳	۲/۴	۱/۰۲

در این پژوهش، کودهای شیمیایی فسفر و پتاسیم در نظام کاشت SRI مورد استفاده قرار نگرفت، ولی برای دو نظام کاشت بهبودیافته و رایج منطقه برابر ۴۸ و ۵۰ کیلوگرم ماده موثره در هکتار در نظر گرفته شد. کود دامی به‌میزان ۱۰ تن در هکتار فقط در نظام تولید SRI مصرف گردید. میزان مصرف سوخت با میانگین ۹۳/۳۳ لیتر در هکتار در نظام تولید SRI (۱۱۰ لیتر در هکتار) بیش‌تر از دو نظام بهبودیافته و رایج منطقه برابر ۸۵ لیتر در هکتار بود که می‌توان علت اصلی را کاربرد بیش‌تر ماشین‌آلات عنوان نمود (جدول ۱). علف‌کش نیز تنها در دو نظام تولید بهبودیافته (۴/۲ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار) و رایج منطقه (۳ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار) استفاده شد. میزان مصرف حشره‌کش نیز در نظام SRI (۲ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار) کم‌تر از دو نظام تولید بهبودیافته و رایج منطقه معادل ۶ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار بود. هم چنین قارچ‌کش مورد استفاده در نظام‌های تولید SRI، بهبودیافته و رایج منطقه به‌ترتیب برابر ۰/۳۸، ۰/۷۵ و ۱/۱۳ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار در نظر گرفته شد (جدول ۱).

۳-۲- تجزیه و تحلیل انرژی‌های ورودی و خروجی

سیمای ورود و خروج انرژی مربوط به نظام‌های تولید SRI، بهبودیافته و رایج منطقه در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است. طبق یافته‌های موجود در این دو جدول مشاهده می‌شود که میانگین انرژی ورودی در نظام‌های تولید برابر ۲۴۲۶۲/۲۸ مگاژول در هکتار بود که کم‌ترین میزان انرژی ورودی در نظام SRI برابر ۲۰۱۶۰/۲۲ مگاژول در هکتار حاصل شد و میزان انرژی ورودی در دو نظام بهبودیافته و رایج منطقه به‌ترتیب برابر ۲۵۴۷۷/۰۸ و ۲۷۱۴۹/۵۶ مگاژول در هکتار برآورد شد. بیش‌ترین سهم انرژی ورودی در نظام تولید SRI مربوط به انرژی آب آبیاری (۵۵۶۰/۳۸ مگاژول در هکتار)، سوخت (۴۱۶۰ مگاژول در هکتار)، کود دامی (۳۰۰۰ مگاژول در هکتار)، کود شیمیایی نیتروژن (۲۷۸۷/۶ مگاژول در هکتار) و ادوات و ماشین‌آلات (۲۷۵۸/۸ مگاژول در هکتار) بود که به‌ترتیب هر یک معادل ۲۷/۵۸، ۲۰/۶۳، ۱۴/۸۸، ۱۳/۸۳ و ۱۳/۶۸ درصد از کل انرژی ورودی را شامل می‌شد. کم‌ترین سهم انرژی ورودی در نظام کاشت SRI مربوط به کودهای شیمیایی فسفر و پتاسیم و علف‌کش به‌دلیل عدم استفاده از آن‌ها بود.

در رابطه با نظام تولید بهبودیافته، یافته‌های جدول ۲ نشان می‌دهد که کل انرژی ورودی در این نظام کاشت کم‌تر از انرژی ورودی نظام کاشت رایج منطقه و بیش‌تر از انرژی ورودی نظام SRI بود که در آن بیش‌ترین سهم مربوط به انرژی آب آبیاری (۸۴۲۳/۱ مگاژول در هکتار) و کودهای شیمیایی (۶۴۴۳ مگاژول در هکتار)، انرژی سوخت (۳۲۳۰ مگاژول در هکتار) و سموم شیمیایی (۲۷۷۸/۶ مگاژول در هکتار) بود که به‌ترتیب معادل ۳۳/۰۶، ۲۵/۲۹، ۱۲/۶۸ و ۱۰/۹۱ درصد از کل انرژی ورودی را شامل می‌شد. انرژی ورودی مربوط به بذر (۲۰۰۰ مگاژول در هکتار)، ادوات و ماشین‌آلات (۱۵۶۷/۵ مگاژول در هکتار) و نیروی انسانی (۱۰۳۴/۸۸ مگاژول در هکتار) بود که سهم هر یک از آن‌ها معادل ۷/۸۵، ۶/۱۵ و ۴/۰۶ درصد از کل انرژی ورودی برآورد شد (جدول ۳). بیش‌ترین سهم مربوط به کودهای شیمیایی در این نظام

کاشت مربوط به کود شیمیایی نیتروژن (۵۵۷۵/۲ مگاژول در هکتار) معادل ۲۱/۸۸ درصد از سهم کل انرژی ورودی بود. کم‌ترین سهم انرژی ورودی در این نظام کاشت مربوط به کود دامی و دستگاه‌های نشاکار و وجین‌کن به‌دلیل عدم استفاده از آن‌ها تعیین شد (جدول ۲). بالاترین سهم انرژی ورودی نظام کاشت رایج منطقه متعلق به انرژی آب آبیاری (۹۶۵۷/۹ مگاژول در هکتار) و کودهای شیمیایی (۶۴۴۳ مگاژول در هکتار) برآورد شد که معادل ۳۵/۵۷ و ۲۳/۷۳ درصد از سهم کل انرژی مصرفی را شامل می‌شدند. هم چنین، انرژی ورودی سوخت مصرفی (۳۲۳۰ مگاژول در هکتار)، سموم شیمیایی (۲۵۰۷/۴۸ مگاژول در هکتار) و بذر (۲۵۰۰ مگاژول در هکتار) نیز بخش عمده‌ای از انرژی ورودی را شامل می شدند که به‌ترتیب به‌نسبت ۱۱/۹، ۹/۲۴ و ۹/۲۱ درصد از کل انرژی را به خود اختصاص می دادند (جدول ۳). انرژی ورودی ادوات و ماشین‌آلات و نیروی انسانی در نظام کاشت رایج منطقه به‌ترتیب برابر ۱۶۹۲/۹ و ۱۱۱۸/۲۸ مگاژول در هکتار تعیین شد که سهم هر یک از آن‌ها معادل ۶/۲۳ و ۴/۱۲ درصد از کل انرژی ورودی بود (جدول ۳). در این نظام کاشت نیز همانند دو نظام دیگر، بیش‌ترین سهم مربوط به کودهای شیمیایی مربوط به کود شیمیایی نیتروژن (۵۵۷۵/۲ مگاژول در هکتار) معادل ۲۰/۵۴ درصد از سهم کل انرژی ورودی بود. کم‌ترین سهم انرژی ورودی در این نظام کاشت مربوط به کود دامی، دستگاه نشاکار و وجین‌کن به‌دلیل عدم استفاده از آن‌ها تعیین شد (جدول ۲).

جدول ۲- سیمای انرژی ورودی بر حسب مگاژول در هکتار در نظام‌های تولید برنج

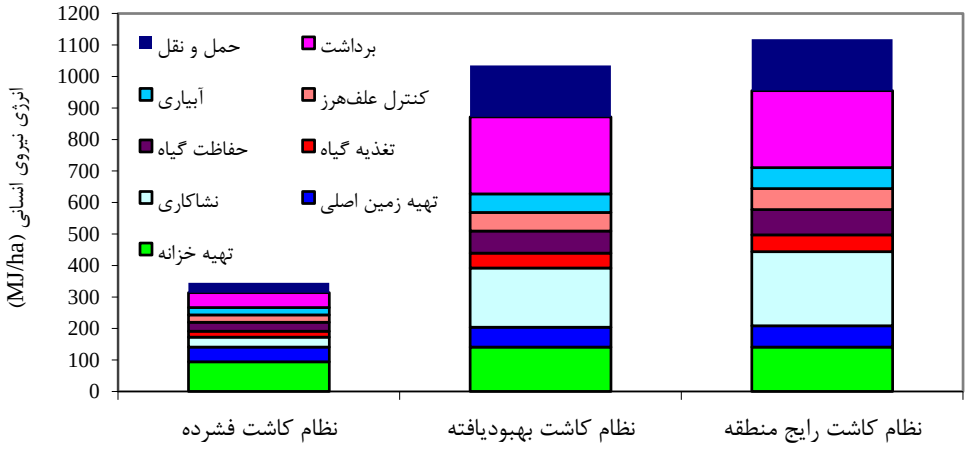
انرژی ورودی	فشرده		بهبودیافته		رایج منطقه		میانگین انرژی ورودی	انحراف معیار (SEM)	درصد از کل
	کل انرژی ورودی	درصد از کل	کل انرژی ورودی	درصد از کل	کل انرژی ورودی	درصد از کل			
نیروی انسانی									
تهیه خزانه	۹۴/۰۸	۰/۴۷	۱۴۱/۱۲	۰/۵۵	۱۴۱/۱۲	۰/۵۲	۱۲۵/۴۴	۴/۶۲	۰/۵۲
آماده‌سازی زمین	۴۷/۰۴	۰/۲۳	۶۲/۷۲	۰/۲۵	۶۷/۷۲	۰/۲۵	۵۹/۱۶	۱/۸۴	۰/۲۴
عملیات کاشت	۳۱/۳۶	۰/۱۶	۱۸۸/۱۶	۰/۷۴	۲۳۵/۲۰	۰/۸۷	۱۵۱/۵۷	۱۸/۱۷	۰/۶۳
عملیات داشت	۹۴/۰۸	۰/۴۷	۲۳۵/۲۰	۰/۹۲	۲۶۶/۵۶	۰/۹۸	۱۹۸/۶۱	۱۵/۶۴	۰/۸۲
عملیات برداشت	۴۷/۰۴	۰/۲۳	۲۴۴/۶۱	۰/۹۶	۲۴۴/۶۱	۰/۹۰	۱۷۸/۷۵	۱۹/۴۲	۰/۷۴
حمل و نقل	۳۱/۳۶	۰/۱۶	۱۶۳/۰۷	۰/۶۴	۱۶۳/۰۷	۰/۶۰	۱۱۹/۱۷	۱۲/۹۵	۰/۴۹
بذر	۱۰۰۰	۴/۹۶	۲۰۰۰	۷/۸۵	۲۵۰۰	۹/۲۱	۱۸۳۳/۳۳	۱۳۰/۰۳	۷/۵۶
آب آبیاری	۵۵۶۰/۳۸	۲۷/۵۸	۸۴۲۳/۱۰	۳۳/۰۶	۹۶۵۷/۹۰	۳۵/۵۷	۷۸۸۰/۴۶	۳۵۷/۸۶	۳۲/۴۸
کود شیمیایی									
نیتروژن (N)	۲۷۸۷/۶۰	۱۳/۸۳	۵۵۷۵/۲۰	۲۱/۸۸	۵۵۷۵/۲۰	۲۰/۵۴	۴۶۴۶	۲۷۴/۰۱	۱۹/۱۵
فسفر (P_2O_5)	۰	۰	۵۳۲/۸۰	۲/۰۹	۵۳۲/۸۰	۱/۹۶	۳۵۵/۲۰	۵۲/۳۷	۱/۴۶
پتاسیم (K_2O)	۰	۰	۳۳۵	۱/۳۲	۳۳۵	۱/۲۳	۲۲۳/۳۳	۳۲/۹۳	۰/۹۲
کود دامی	۳۰۰۰	۱۴/۸۸	۰	۰	۰	۰	۱۰۰۰	۲۹۴/۸۸	۴/۱۲
سموم شیمیایی									
علف‌کش	۰	۰	۱۲۰۹/۶۰	۴/۷۵	۸۶۴	۳/۱۸	۶۹۱/۲۰	۱۰۶/۰۷	۲/۸۵
حشره‌کش	۴۷۴	۲/۳۵	۱۴۲۲	۵/۵۸	۱۴۲۲	۵/۲۴	۱۱۰۶	۹۳/۱۸	۴/۵۶
قارچ‌کش	۷۴/۴۸	۰/۳۷	۱۴۷	۰/۵۸	۲۲۱/۴۸	۰/۸۲	۱۴۷/۶۵	۱۲/۵۱	۰/۶۱
ادوات و ماشین‌آلات									
تراکتور	۵۰۱/۶۰	۲/۴۹	۸۱۵/۱۰	۳/۲۰	۹۴۰/۵۰	۳/۴۶	۷۵۲/۴۰	۳۸/۴۹	۳/۱۰
نشاکار	۶۲۷	۳/۱۱	۰	۰	۰	۰	۲۰۹	۶۱/۶۳	۰/۸۶
سم‌پاش	۲۵۰/۸۰	۱/۲۴	۵۰۱/۶۰	۱/۹۷	۵۰۱/۶۰	۱/۸۵	۴۱۸	۲۴/۶۵	۱/۷۲
وجین‌کن	۷۵۲/۴۰	۳/۷۳	۰	۰	۰	۰	۲۵۰/۸۰	۷۳/۹۶	۱/۰۳
کمباین	۶۲۷	۳/۱۱	۲۵۰/۸۰	۰/۹۸	۲۵۰/۸۰	۰/۹۲	۳۷۶/۲	۵۷/۰۶	۱/۵۵
سوخت									
گازوییل	۳۴۲۰	۱۶/۹۶	۳۲۳۰	۱۲/۶۸	۳۲۳۰	۱۱/۹۰	۳۲۹۳/۳۳	۱۸/۶۸	۱۳/۵۷
بنزین	۷۴۰	۳/۶۷	۰	۰	۰	۰	۲۴۶/۶۷	۷۲/۷۴	۱/۰۲
کل انرژی مصرفی	۲۰۱۶۰/۲۲	۱۰۰	۲۵۴۷۷/۰۸	۱۰۰	۲۷۱۴۹/۵۶	۱۰۰	۲۴۲۶۲/۲۸	۶۲۱/۳۵	۱۰۰

با توجه به بیلان انرژی ورودی مشاهده می‌شود که میانگین انرژی ورودی هر سه نظام کاشت مربوط به انرژی آب آبیاری (۷۷۸۰/۴۶ مگاژول در هکتار)، کودهای شیمیایی (۵۲۲۴/۵۳ مگاژول در هکتار) و سوخت (۳۵۴۰ مگاژول در هکتار) بود که سهم هر یک از آن‌ها به‌ترتیب معادل ۳۲/۴۸، ۲۱/۵۳ و ۱۴/۵۹ درصد از کل انرژی ورودی برآورد شد. هم‌چنین انرژی ورودی مربوط به ادوات و ماشین‌آلات (۲۰۰۶/۴ مگاژول در هکتار)، سموم شیمیایی (۱۹۴۴/۸۵ مگاژول در هکتار) و بذر (۱۸۳۳/۳۳ مگاژول در هکتار) بود که سهم هر یک از آن‌ها به‌ترتیب برابر ۸/۲۷، ۸/۰۲ و ۷/۵۶ درصد از کل انرژی ورودی تعیین گردید. کم‌ترین انرژی ورودی در هر سه نظام تولید مربوط به نیروی انسانی ۸۳۲/۷۱ مگاژول در هکتار بود که ۳/۴۳ درصد از کل انرژی ورودی را شامل می‌شد (جدول ۳). سهم انرژی ورودی مربوط به نیروی انسانی با میانگین ۸۳۲/۷۱ مگاژول در هکتار در SRI با میزان مصرف ۳۴۴/۹۶ مگاژول در هکتار معادل ۱/۷۲ درصد از کل بود که در مقایسه با نظام‌های بهبودیافته (۱۰۳۴/۸۸ مگاژول در هکتار و ۴/۰۶ درصد) و رایج منطقه (۱۱۱۸/۲۸ مگاژول در هکتار و ۴/۱۲ درصد) به‌علت مکانیزه بودن این روش، انرژی کارگری کم‌تری مصرف شد (جدول ۳).

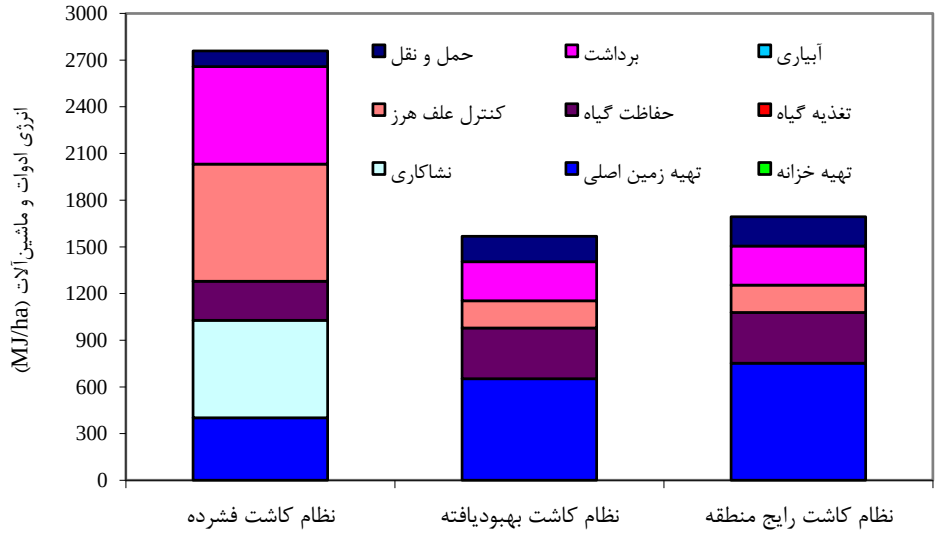
بیش‌ترین انرژی مصرفی به‌صورت نیروی انسانی در نظام SRI مربوط به عملیات تهیه خزانه (۹۴/۰۸ مگاژول در هکتار) بود. هم چنین در این نظام کاشت، سهم انرژی کارگری برای شخم و تهیه زمین و عملیات برداشت برابر ۴۷/۰۴ مگاژول در هکتار، نشاکاری و حمل و نقل ۳۱/۳۶ مگاژول در هکتار، حفاظت گیاه ۲۸/۲۲ مگاژول در هکتار و کنترل علف‌های هرز و آبیاری نیز برابر ۲۳/۵۲ مگاژول در هکتار برآورد شد. بیش‌ترین انرژی کارگری مصرفی در دو نظام بهبودیافته و رایج منطقه برابر ۲۴۴/۶۱ مگاژول در هکتار مربوط به عملیات برداشت بود. از طرفی، سهم انرژی کارگری مربوط عملیات نشاکاری در نظام بهبودیافته و رایج منطقه به‌ترتیب برابر ۱۸۸/۱۶ و ۲۳۵/۲ مگاژول در هکتار تعیین شد. سهم انرژی کارگری برای حمل و نقل در دو نظام بهبودیافته و رایج منطقه برابر ۱۶۳/۰۷ مگاژول در هکتار برآورد گردید. میزان انرژی کارگری برای تهیه خزانه و بستر در دو نظام کاشت بهبودیافته و رایج منطقه برابر ۱۴۱/۱۲ مگاژول در هکتار به‌دست آمد (شکل ۱).

انرژی ورودی ادوات و ماشین‌آلات در مراحل مختلف تولید برنج نشان می‌دهد که بیش‌ترین سهم آن در نظام SRI مربوط به کنترل علف‌های هرز (۷۵۲/۴ مگاژول در هکتار)، نشاکاری (۶۲۷ مگاژول در هکتار)، عملیات برداشت (۶۲۷ مگاژول در هکتار) و شخم و آماده‌سازی زمین (۴۰۱/۲۸ مگاژول در هکتار) بود که دلیل اصلی آن مکانیزه بودن عملیات زراعی در این نظام کاشت می‌باشد. بیش‌ترین انرژی ورودی مربوط به ادوات و ماشین‌آلات در نظام‌های بهبودیافته و رایج منطقه ناشی از شخم و آماده‌سازی زمین به‌ترتیب برابر ۶۵۲/۰۸ و ۷۵۲/۴ مگاژول در هکتار، حفاظت گیاه برابر ۳۲۶/۰۴ مگاژول در هکتار و عملیات برداشت برابر ۲۵۰/۸ مگاژول در هکتار بود. سهم انرژی ادوات و ماشین‌آلات برای حفاظت گیاه در دو نظام بهبودیافته و رایج منطقه برابر ۱۷۵/۵۶ مگاژول در هکتار و برای حمل و نقل به‌ترتیب برابر ۱۶۳/۰۲ و ۱۸۸/۱ مگاژول در هکتار برآورد گردید (شکل ۲).

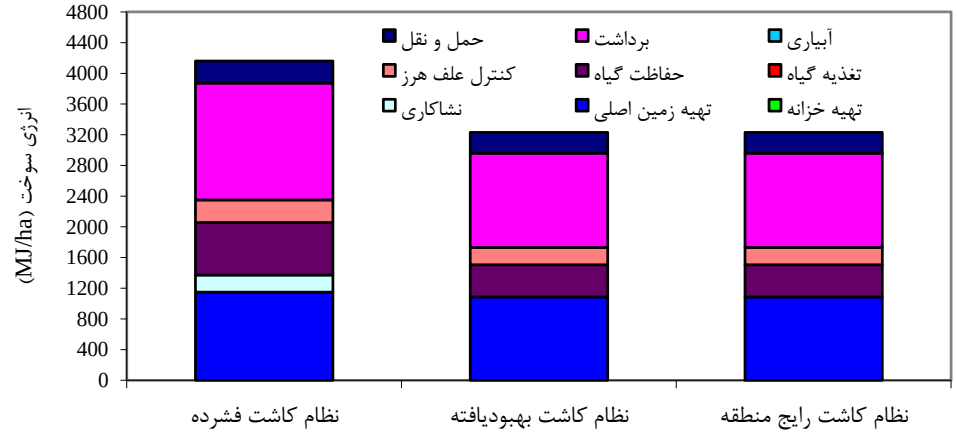
بیش‌ترین انرژی ورودی حاصل از سوخت در نظام کاشت SRI برای عملیات برداشت (۱۵۲۱/۶ مگاژول در هکتار)، شخم و آماده‌سازی زمین (۱۱۴۹/۱۲ مگاژول در هکتار) و حفاظت گیاه۱ ۶۸۴ مگاژول در هکتار۱ بود. هم‌چنین در این نظام تولید، انرژی ورودی مربوط به سوخت برای کنترل علف‌های هرز، حمل و نقل و نشاکاری نیز به‌ترتیب برابر ۲۹۶، ۲۸۷/۲۸ و ۲۲۲ مگاژول در هکتار برآورد گردید. در دو نظام بهبودیافته و رایج منطقه بیش‌ترین انرژی سوخت برای عملیات برداشت۱ ۱۲۲۷/۴ مگاژول در هکتار۱ و شخم و آماده‌سازی زمین (۱۰۸۵/۲۸ مگاژول در هکتار) مصرف شد. از طرفی انرژی سوخت برای حفاظت گیاه (۴۱۹/۹ مگاژول در هکتار)، حمل و نقل (۲۷۱/۳۲ مگاژول در هکتار) و کنترل علف‌های هرز (۲۲۶/۱ مگاژول در هکتار) بود (شکل ۳).



شکل ۱- انرژی نیروی انسانی در مراحل تولید برنج در نظام‌های کاشت



شکل ۲- انرژی ادوات و ماشین‌آلات در مراحل تولید برنج در نظام‌های کاشت



شکل ۳- انرژی سوخت مصرفی در مراحل تولید برنج در نظام‌های کاشت

کل انرژی ورودی مربوط به نهاده‌های مصرفی و عملیات زراعی در مراحل تولید در جدول ۴ نشان داده شد. در SRI بیش‌ترین انرژی مصرفی برای تغذیه گیاه (۵۸۰۶/۴۲ مگاژول در هکتار) و آب آبیاری (۵۵۸۳/۹ مگاژول در هکتار) تعیین شد که سهم هر یک از آن‌ها معادل ۲۸/۸ و ۲۷/۷ درصد از کل انرژی ورودی بود. بخش عمده‌ای از انرژی ورودی مربوط به تغذیه در SRI از کود دامی بود. عملیات برداشت (۲۱۹۵/۶۴ مگاژول در هکتار) نیز در این نظام کاشت سهم عمده‌ای از انرژی ورودی را به خود اختصاص داد که معادل ۱۰/۸۹ درصد از کل انرژی ورودی می‌باشد. سهم انرژی ورودی برای عملیات شخم و آماده‌سازی زمین، حفاظت گیاه، تهیه خزانه و بذر، کنترل علف‌های هرز، نشاکاری و حمل و نقل در SRI به‌ترتیب برابر ۷/۹۲، ۷/۵، ۵/۴۲، ۵/۳۲، ۴/۳۷ و ۲/۰۸ درصد از کل انرژی ورودی بود (جدول ۴). در دو نظام کاشت بهبودیافته و رایج منطقه بیش‌ترین انرژی ورودی برای آب آبیاری به‌ترتیب معادل ۳۳/۲۹ و ۳۵/۸۲ درصد از کل برآورد شد. میزان انرژی ورودی مربوط به آب آبیاری در SRI به‌دلیل آبیاری تناوبی به‌میزان قابل توجهی کم‌تر از این دو نظام بود. هم‌چنین، در این دو نظام تولید، سهم انرژی ورودی مربوط به تغذیه گیاه به‌ترتیب ۲۵/۴۷ و ۲۳/۹۳ درصد از کل انرژی ورودی را شامل می‌شد (جدول ۴). میانگین انرژی ورودی در نظام‌های تولید نشان می‌دهد که بیش‌ترین انرژی ورودی در نظام‌های شالیزاری برای آب آبیاری (۳۲/۶۸ درصد از کل) و تغذیه گیاه (۲۵/۸۲ درصد از کل) می‌باشد. سهم انرژی ورودی مربوط به حفاظت گیاه (۸/۷۵ درصد از کل)، تهیه خزانه و بذر (۸/۰۷ درصد از کل)، عملیات برداشت (۷/۷۵ درصد از کل)، شخم و آماده‌سازی زمین (۷/۲۹ درصد از کل) و کنترل علف‌های هرز (۵/۶ درصد از کل) بود. کم‌ترین میزان انرژی ورودی به نشاکاری (۴۳۴/۵۷ مگاژول در هکتار) و حمل و نقل (۲/۲۵ درصد از کل) اختصاص داشت (جدول ۴). میزان انرژی نیروی انسانی در مقایسه با یافته‌های محققان در کشور هندوستان (۱۸۸۸۲ مگاژول در هکتار) که دارای جمعیت بسیار زیاد و نیروی کارگری ارزان می‌باشد، بسیار کم‌تر بود [۱۴]. هزینه تولید معمولاً در نظام کاشت SRI بین ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد، زیرا کشاورز نیاز به خرید بذر و نهاده‌های شیمیایی کم‌تری دارد [۱۵]. در تحقیقی دیگر، هزینه تولید SRI کم‌تر از نظام کاشت رایج منطقه گزارش شد که شامل کاهش ۳۲ درصد هزینه کارگری برای نشاکاری و کاهش ۵۱ درصد هزینه کارگری برای وجین بود. هزینه مصرف بذر نیز ۹۰ درصد کاهش یافت و هزینه تهیه خزانه در روش SRI حدود ۵۶ درصد کم‌تر از نظام کاشت رایج منطقه بود. اما هزینه خزانه سهم بزرگی از هزینه‌های تولید نبود [۱۶]. هزینه کارگری کم‌تری برای روش SRI در مقایسه با نظام کاشت رایج منطقه مشاهده شد. چون در این روش استفاده از نشاهای کوچک و جوان باعث می‌شود نشاها به آسانی و خیلی سریع با کم‌ترین عملیات و کارگری از بستر خزانه به زمین اصلی انتقال یابند [۱۷]. نظام کاشت SRI باعث صرفه‌جویی در مصرف بذر به‌میزان ۷۰ تا ۸۰ درصد و کاهش سطح خزانه به‌میزان ۷۰ تا ۸۰ درصد شده و سبب کاهش مصرف آب به‌میزان ۳۰ تا ۴۰ درصد می شود که در بعضی از منابع تا ۵۰ درصد نیز گزارش شد. کاهش مصرف کودها و سموم شیمیایی آفت‌کش در دراز مدت، کاهش مصرف سموم علف‌کش، بهبود منابع آب و خاک و کاهش آلودگی آن‌ها نیز از مزایای SRI می‌باشد [۱۸].

در رابطه با انرژی‌های خروجی در نظام‌های کاشت نیز یافته‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که کل انرژی تولیدی در نظام کاشت SRI بیش‌تر از دو نظام کاشت بهبودیافته و رایج منطقه بود. انرژی حاصل از عملکرد شلتوک و کاه و کلش در نظام کاشت SRI به‌ترتیب معادل ۴۸/۷۲ و ۵۱/۲۸ درصد از کل انرژی خروجی می‌باشد. انرژی خروجی حاصل از عملکرد شلتوک و کاه و کلش در نظام تولید بهبودیافته به‌ترتیب برابر ۸۹۳۹۰/۷۰ و ۱۰۰۸۷۵ مگاژول در هکتار بود که ۴۶/۹۸ درصد از آن به عملکرد شلتوک و ۵۳/۰۲ درصد آن به عملکرد کاه و کلش ارتباط داشت (جدول۳). طبق یافته‌های جدول ۳، انرژی حاصل از عملکرد شلتوک و کاه و کلش در نظام تولید رایج منطقه برابر ۸۳۶۷۲/۴۰ و ۱۰۶۶۰۰ مگاژول در هکتار بود که سهم هر یک به‌ترتیب برابر ۴۳/۹۸ و ۵۶/۰۲ درصد برآورد شد. دلیل اصلی اختلافات مشاهده شده در سه میزان انرژی ورودی و خروجی نظام‌های کاشت، تفاوت در اعمال مدیریت و میزان مصرف نهاده‌ها می‌باشد. البته تفاوت در میزان انرژی ورودی اهمیت بسیار کم‌تری نسبت به تفاوت در بهره‌وری و کارایی انرژی خواهد داشت. سطح دانش فنی، انرژی ورودی و عوامل اقلیمی - زراعی، مهم‌ترین عوامل تولید هستند.

جدول ۳- بیلان انرژی‌های ورودی و خروجی بر حسب مگاژول در هکتار در نظام‌های تولید برنج

شاخص‌ها	نظام‌های کاشت						میانگین	انحراف معیار (SEM)	درصد از کل
	فشرده		بهبودیافته		رایج منطقه				
	کل انرژی	درصد از کل	کل انرژی	درصد از کل	کل انرژی	درصد از کل			
ورودی‌ها									
نیروی انسانی	۳۴۴/۹۶	۱/۷۲	۱۰۳۴/۸۸	۴/۰۶	۱۱۱۸/۲۸	۴/۱۲	۸۳۲/۷۱	۲۰۰/۰۹	۳/۴۳
بذر	۱۰۰۰	۴/۹۶	۲۰۰۰	۷/۸۵	۲۵۰۰	۹/۲۱	۱۸۳۳/۳۳	۳۶۰/۰۴	۷/۵۶
آب آبیاری	۵۵۶۰/۳۸	۲۷/۵۸	۸۴۲۳/۱	۳۳/۰۶	۹۶۵۷/۹۰	۳۵/۵۷	۷۸۸۰/۴۶	۹۹۰/۸۸	۳۲/۴۸
کود شیمیایی	۲۷۸۷/۶۰	۱۳/۸۳	۶۴۴۳	۲۵/۲۹	۶۴۴۳	۲۳/۷۳	۵۲۲۴/۵۳	۹۹۴/۸۷	۲۱/۵۳
کود دامی	۳۰۰۰	۱۴/۸۸	۰	۰	۰	۰	۱۰۰۰	۸۱۶/۵۰	۴/۱۲
سموم شیمیایی	۵۴۸/۴۸	۲/۷۲	۲۷۷۸/۶۰	۱۰/۹۱	۲۵۰۷/۴۸	۹/۲۴	۱۹۴۴/۸۵	۵۷۳/۶۴	۸/۰۲
ادوات و ماشین‌آلات	۲۷۵۸/۸	۱۳/۶۸	۱۵۶۷/۵۰	۶/۱۵	۱۶۹۲/۹۰	۶/۲۳	۲۰۰۶/۴	۳۰۸/۵۹	۸/۲۷
سوخت	۴۱۶۰	۲۰/۶۳	۳۲۳۰	۱۲/۶۸	۳۲۳۰	۱۱/۹۰	۳۵۴۰	۲۵۳/۱۱	۱۴/۵۹
کل انرژی مصرفی	۲۰۱۶۰/۲۲	۱۰۰	۲۵۴۷۷/۰۸	۱۰۰	۲۷۱۴۹/۵۶	۱۰۰	۲۴۲۶۲/۲۸	۱۷۲۰/۴۳	۱۰۰
خروجی‌ها									
شلتوک	۹۴۲۶۰	۴۸/۷۲	۸۹۳۹۰	۴۶/۹۸	۸۳۶۷۰	۴۳/۹۸	۸۹۱۰۷	۲۵	۴۶/۵۷
کاه و کلش	۹۹۲۱۰	۵۱/۲۸	۱۰۰۸۸۰	۵۳/۰۲	۱۰۶۶۰۰	۵۶/۰۲	۱۰۲۲۳۰	۱۸/۳	۵۳/۴۳
کل انرژی تولیدی	۱۹۳۴۷۰	۱۰۰	۱۹۰۲۷۰	۱۰۰	۱۹۰۲۷۰	۱۰۰	۱۹۱۳۳۶	۸/۷	۱۰۰

جدول ۴- مقادیر انرژی ورودی مربوط به نوع نهاده و عملیات زراعی بر حسب مگاژول در هکتار در نظام‌های تولید برنج

نهاده و عملیات زراعی	نظام‌های کاشت						میانگین	انحراف معیار (SEM)	درصد از کل
	فشرده		بهبودیافته		رایج منطقه				
	انرژی مصرفی	درصد از کل	انرژی مصرفی	درصد از کل	انرژی مصرفی	درصد از کل			
تهیه خزانه و بذر	۱۰۹۴/۰۸	۵/۴۲	۲۱۴۱/۱۲	۸/۴۰	۲۶۴۱/۱۲	۹/۷۳	۱۹۵۸/۷۷	۳۷۲/۱۶	۸/۰۷
شخم و آماده‌سازی زمین	۱۵۹۷/۴۴	۷/۹۲	۱۸۰۰/۰۸	۷/۰۷	۱۹۰۵/۴۰	۷/۰۲	۱۷۶۷/۶۴	۷۳/۷۹	۷/۲۹
نشاکاری	۸۸۰/۳۶	۴/۳۷	۱۸۸/۱۶	۰/۷۴	۲۳۵/۲۰	۰/۸۶	۴۳۴/۵۷	۱۸۲/۳۳	۱/۷۹
تغذیه گیاه	۵۸۰۶/۴۲	۲۸/۸۰	۶۴۹۰/۰۴	۲۵/۴۷	۶۴۹۶/۳۱	۲۳/۹۳	۶۲۶۴/۲۶	۱۸۶/۹۲	۲۵/۸۲
حفاظت گیاه	۱۵۱۱/۵۰	۷/۵۰	۲۳۸۵/۵۰	۹/۳۶	۲۴۶۹/۳۹	۹/۱۰	۲۱۲۲/۱۳	۲۵۰/۰۷	۸/۷۵
کنترل علف هرز	۱۰۷۱/۹۲	۵/۳۲	۱۶۷۰/۰۶	۶/۵۶	۱۳۳۲/۳۰	۴/۹۱	۱۳۵۸/۰۹	۱۴۱/۳۸	۵/۶۰
آب آبیاری	۵۵۸۳/۹۰	۲۷/۷۰	۸۴۸۱/۹۰	۳۳/۲۹	۹۷۲۴/۵۴	۳۵/۸۲	۷۹۳۰/۱۱	۱۰۰۱/۶۲	۳۲/۶۸
برداشت	۲۱۹۵/۶۴	۱۰/۸۹	۱۷۲۲/۸۱	۶/۷۶	۱۷۲۲/۸۱	۶/۳۴	۱۸۸۰/۴۲	۱۲۸/۶۹	۷/۷۵
حمل و نقل	۴۱۸/۹۶	۲/۰۸	۵۹۷/۴۱	۲/۳۵	۶۲۲/۴۹	۲/۲۹	۵۴۶/۲۹	۵۲/۳۲	۲/۲۵
کل انرژی مصرفی	۲۰۱۶۰/۲۲	۱۰۰	۲۵۴۷۷/۰۸	۱۰۰	۲۷۱۴۹/۵۶	۱۰۰	۲۴۲۶۲/۲۸	۱۷۲۰/۴۳	۱۰۰

تیپی و همکاران [۶] با ارزیابی مصرف انرژی از ۹۷ مزرعه گندم واقع در ایالت مارمارای ترکیه نشان دادند که تولید گندم به میزان ۲۰۶۵۳/۵ مگاژول در هکتار انرژی مصرف می‌کند که از این میان انرژی ورودی سوخت با ۴۵/۱۵ درصد بیش‌ترین سهم را در کل انرژی مصرفی داشته و به دنبال آن کودهای شیمیایی با ۳۴/۲۱ درصد (به‌ویژه کود نیتروژن با ۳۱/۷۷ درصد) بودند. آن‌ها هم چنین نسبت انرژی را ۳/۰۹ برآورد کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش اندازه مزارع گندم نسبت انرژی نیز افزایش خواهد یافت.

۳-۳- سهم انواع انرژی‌های ورودی در نظام‌های تولید

در رابطه با دو نوع انرژی مستقیم و غیرمستقیم، یافته‌های جدول ۵ نشان می‌دهد که میانگین کل انرژی ورودی مستقیم و غیرمستقیم در نظام‌های کاشت به‌ترتیب برابر ۴۳۷۲/۷۱ و ۱۹۸۸۹/۵۸ مگاژول در هکتار بود. بیش‌ترین میزان انرژی مستقیم مصرفی در نظام کاشت رایج منطقه ۴۳۴۸/۲۸ مگاژول در هکتار معادل ۱۶/۰۲ درصد از کل انرژی مصرفی و کم‌ترین میزان آن ۴۵۰۴/۹۶ مگاژول در هکتار معادل ۲۲/۳۵ برای نظام تولید SRI مشاهده شد و نظام کاشت بهبودیافته نیز ۴۲۶۴/۸۸ مگاژول در هکتار را به خود اختصاص داد که ۱۶/۷۴ درصد از کل بود. از طرفی، دو

نظام کاشت بهبودیافته و رایج منطقه بالاترین میزان انرژی ورودی غیرمستقیم (به‌ترتیب برابر ۲۱۲۱۲/۲ و ۲۲۸۰۱/۲۸ مگاژول در هکتار) را به خود اختصاص دادند که معادل ۸۳/۲۶ و ۸۳/۹۸ درصد از کل انرژی مصرفی بود. میزان انرژی ورودی غیرمستقیم برای SRI (۱۵۶۵۵/۲۶ مگاژول در هکتار) حداقل بود که معادل ۷۷/۶۵ درصد از کل انرژی ورودی می‌باشد (جدول ۵). مطابق یافته‌های جدول ۵، میانگین انرژی ورودی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در هر سه نظام کاشت به‌ترتیب برابر ۱۱۵۴۶/۵ و ۱۲۷۱۵/۷۹ مگاژول در هکتار است. در مقایسه گروهی بین دو نوع انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر مشاهده شد که انرژی تجدیدپذیر ورودی برای نظام‌های کاشت SRI، بهبودیافته و رایج منطقه به‌ترتیب برابر ۹۹۰۵/۳۴، ۱۱۴۵۷/۹۸ و ۱۳۲۷۶/۱۸ مگاژول در هکتار بود که به‌ترتیب معادل ۴۹/۱۳، ۴۴/۹۷ و ۴۸/۹ درصد از کل انرژی مصرفی را شامل می‌شود. کم‌ترین انرژی تجدیدناپذیر ورودی (۱۰۲۵۴/۸۸ مگاژول در هکتار) معادل ۵۰/۸۷ درصد مربوط به SRI و بیش‌ترین میزان انرژی تجدیدناپذیر ورودی برابر ۱۴۰۱۹/۱ و ۱۳۸۷۳/۳۸ مگاژول در هکتار به‌ترتیب برای دو نظام کاشت بهبودیافته و رایج منطقه مشاهده شد که به‌ترتیب برابر ۵۵/۰۳ و ۵۱/۱ درصد از کل انرژی مصرفی بود (جدول ۵). این نتایج نشان می‌دهد که سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر در SRI در مقایسه با دو نظام کاشت بهبودیافته و رایج منطقه بسیار پایین می‌باشد. این مسأله از دیدگاه اکولوژیک (بوم‌شناختی) اهمیت قابل توجهی دارد، زیرا منبع انرژی‌های تجدیدناپذیر، عمدتاً سوخت‌های فسیلی می‌باشند و تکیه بر این منابع در آینده با مخاطرات زیادی همراه می‌باشد. یافته‌های تحقیقاتی نشان می‌دهد که کشاورزی در ایران به‌میزان زیادی به انرژی‌های تجدیدناپذیر وابسته است [۱۹]. مصرف بالای انرژی‌های تجدیدناپذیر سبب کاهش کارایی مصرف انرژی نظام‌های تولید خواهد شد، زیرا تولید مواد شیمیایی و استفاده از ماشین‌آلات به‌عنوان شاخص اصلی نظام‌های رایج نیازمند مصرف مقادیر زیادی انرژی است. در این تحقیق نسبت انرژی غیرمستقیم بیش‌تر از انرژی مستقیم و نسبت انرژی تجدیدناپذیر بالاتر از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. طبق گزارش مور [۲۰] جهت حصول یک نظام پایدار تولید، باید میزان کارایی انرژی و سهم انرژی تجدیدپذیر را در بوم‌نظام‌ها افزایش داد. البته در زمان حاضر تأمین غذای جمعیت رو به رشد دنیا بدون استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر کاری دشوار و شاید غیرممکن باشد. بنابراین، با در نظر گرفتن پیامدهای زیست‌محیطی استفاده از مواد شیمیایی و سوخت‌های فسیلی، متخصصان کشاورزی چاره‌ای جز اندیشیدن به افزایش پایداری در کشاورزی و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در نظام‌های تولید نخواهند داشت. شریف [۲۱] نیز معایب و معضلات نظام سنتی برنج را هزینه‌های بالای کارگری، هزینه‌های بالای انرژی برای پمپاژ آب‌های زیرزمینی، کمبود آب با توجه به عرضه کلی ناکافی آن و هزینه بالای نهاده‌ها گزارش کرد. هم‌چنین در گزارش دیگر محققان، هزینه تولید در SRI کم‌تر از نظام سنتی بود که موجب کاهش ۳۲ درصد هزینه کارگری برای نشاکاری و کاهش ۵۱ درصد هزینه کارگری برای وجین شد، هزینه مصرف بذر نیز ۹۰ درصد کاهش یافت.

۳-۴- تجزیه و تحلیل شاخص‌های انرژی در نظام‌های تولید

کشاورزی نظام تبدیل انرژی می‌باشد، به‌طوری‌که برخی منابع انرژی‌زای تجاری و غیرتجاری را به محصولات حاوی انرژی قابل استفاده برای انسان تبدیل می‌کند [۸] و عملکرد و بازدهی این تبدیل با استفاده از شاخص‌هایی نظیر کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی و انرژی خالص سنجیده می‌شود. همان‌طور که در جدول ۵ نمایان است در نظام‌های تولید میانگین کارایی انرژی کل، شلتوک و کاه و کلش به‌ترتیب برابر با ۸/۰۳، ۳/۷۶ و ۴/۲۴ بود. بالاترین میزان کارایی انرژی کل برابر ۹/۶، کارایی انرژی شلتوک ۴/۶۸ و کارایی انرژی کاه و کلش ۴/۹۲ در نظام کاشت SRI حاصل شد. پایین‌ترین کارایی انرژی کل ۷/۰۱ و کارایی انرژی شلتوک ۳/۰۸ برای نظام کاشت رایج منطقه به‌دست آمد. کارایی انرژی کاه و کلش در نظام‌های کاشت بهبودیافته و رایج منطقه برابر ۳/۹۶ و ۳/۹۳ بود (جدول ۵). دلیل پایین بودن کارایی انرژی در دو نظام تولید بهبودیافته و رایج منطقه در مقایسه با SRI را می‌توان به وابستگی زیاد آن‌ها به نهاده‌های ورودی و مصرف بیش‌تر انرژی برای تولید نسبت داد که این نهاده‌ها بدون توجه به مسایل زیست‌محیطی مصرف می‌شوند. کارایی انرژی در نظام‌های کاشت برنج در استرالیا و هند نیز میزان مشابهی را نشان داد [۲۲]. در رابطه با شاخص بهره‌وری انرژی یافته‌های تحقیق بیان کرد که این شاخص در نظام تولید SRI (۰/۳۲ کیلوگرم بر مگاژول) حداکثر و در نظام کاشت رایج منطقه (۰/۲۱ کیلوگرم بر مگاژول) حداقل بود (جدول ۵)، که در مقایسه

با نتایج خان و همکاران [۲۲] در استرالیا کم‌تر برآورد گردید. این موضوع به احتمال زیاد ناشی از بالا بودن انرژی ورودی در نظام‌های تولید ایران و فرهنگ کشاورزان منطقه می‌باشد. کم‌ترین مقدار انرژی ویژه (۳/۱۴ مگاژول بر کیلوگرم) مربوط به SRI و بالاترین مقدار انرژی ویژه (۴/۷۷ مگاژول بر کیلوگرم) برای نظام کاشت رایج منطقه به‌دست آمد (جدول ۵). انرژی ویژه عکس بهره‌وری انرژی می‌باشد. بنابراین، مقادیر کم‌تر آن نشان می‌دهد که انرژی کم‌تری به ازای تولید هر واحد عملکرد مصرف می‌شود. بنابراین، تولید برنج در SRI به لحاظ انرژی ویژه و انرژی خالص برتر از نظام‌های کاشت بهبودیافته و رایج منطقه می‌باشد (جدول ۵). به‌کارگیری ماشین‌آلات و ادوات در SRI بیش از دو نظام دیگر بوده و مصرف انرژی مربوط به آن نیز بالاتر است، امّا سهم این انرژی نسبت به کل انرژی مصرف شده برای تولید برنج بسیار ناچیز و کم اهمیت می‌باشد. در رابطه با بازدهی و عملکرد بوم‌نظام برنج به‌عنوان یک نظام تبدیل انرژی بر اساس یافته‌های تحقیق مشخص شد که شاخص انرژی خالص در نظام کاشت SRI برابر ۱۷۳/۳۱ مگاژول در هکتار بیش‌تر از دو نظام کاشت بهبودیافته (۱۶۴/۷۹ مگاژول در هکتار) و رایج منطقه (۱۶۳/۱۲ مگاژول در هکتار) است. شیوه صحیح مدیریت در SRI و ورودی بسیار بالای نهاده‌ها در نظام‌های تولید بهبودیافته و رایج منطقه منجر به چنین نتیجه‌ای شد (جدول ۵).

میزان بازدهی خالص در SRI با مصرف کود آلی و بدون در نظر گرفتن کنترل علف‌های هرز حدود ۱/۵ برابر بالاتر از نظام کاشت رایج منطقه بود [۲۳]. از طرفی عملکرد دانه برنج در SRI در مقایسه با نظام کاشت رایج منطقه به‌میزان ۱۸ درصد بیش‌تر برآورد گردید، این افزایش عملکرد به افزایش ۵۲ درصد سودآوری برای کشاورزان منجر شد که بالاتر از حد متعارف کارایی بود [۱۶]. تحقیق آواشته و همکاران [۲۴] با مقایسه دو نظام کاشت رایج منطقه و SRI، بالاترین میزان بازگشت خالص سرمایه و سودمندی و کاهش هزینه در نظام کاشت SRI، با نتایج دیگر محققان مطابقت داشت [۲۵].

جدول ۵- مقایسه انواع انرژی ورودی و خروجی و شاخص‌های انرژی در نظام‌های تولید برنج

آیتم	نظام‌های کاشت						میانگین	انحراف معیار (SEM)
	فشرده		بهبودیافته		رایج منطقه			
	کل انرژی	درصد از کل	کل انرژی	درصد از کل	کل انرژی	درصد از کل		
ورودی‌ها								
مستقیم (مگاژول در هکتار)	۴۵۰۴/۹۶	۲۲/۳۵	۴۲۶۴/۸۸	۱۶/۷۴	۴۳۴۸/۲۸	۱۶/۰۲	۴۳۷۲/۷۱	۵۷/۴۶
غیرمستقیم (مگاژول در هکتار)	۱۵۶۵۵/۲۶	۷۷/۶۵	۲۱۲۱۲/۲۰	۸۳/۲۶	۲۲۸۰۱/۲۸	۸۳/۹۸	۱۹۸۸۹/۵۸	۱۷۶۸/۷۷
تجدیدپذیر (مگاژول در هکتار)	۹۹۰۵/۳۴	۴۹/۱۳	۱۱۴۵۷/۹۸	۴۴/۹۷	۱۳۲۷۶/۱۸	۴۸/۹۰	۱۱۵۴۶/۵۰	۷۹۵/۳۴
تجدیدناپذیر (مگاژول در هکتار)	۱۰۲۵۴/۸۸	۵۰/۸۷	۱۴۰۱۹/۱۰	۵۵/۰۳	۱۳۸۷۳/۳۸	۵۱/۱۰	۱۲۷۱۵/۷۹	۱۰۰۵/۲۵
کل انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)	۲۰۱۶۰/۲۲	۱۰۰	۲۵۴۷۷/۰۸	۱۰۰	۲۷۱۴۹/۵۶	۱۰۰	۲۴۲۶۲/۲۹	۱۷۲۰/۴۳
خروجی‌ها								
انرژی شلتوک (مگاژول در هکتار)	۹۴۲۶۰	۴۸/۷۲	۸۹۳۹۰	۴۶/۹۸	۸۳۶۷۰	۴۳/۹۸	۸۹۱۰۷	۲۵
انرژی کاه و کلش (مگاژول در هکتار)	۹۹۲۱۰	۵۱/۲۸	۱۰۰۸۸۰	۵۳/۰۲	۱۰۶۶۰۰	۵۶/۰۲	۱۰۲۲۳۰	۱۸/۳
کل انرژی خروجی (مگاژول در هکتار)	۱۹۳۴۷۰	۱۰۰	۱۹۰۲۷۰	۱۰۰	۱۹۰۲۷۰	۱۰۰	۱۹۱۳۳۶	۸/۷
شاخص‌ها								
کارایی انرژی کل	۹/۶۰		۷/۴۷		۷/۰۱		۸/۰۳	۰/۶۵
کارایی انرژی شلتوک	۴/۶۸		۳/۵۱		۳/۰۸		۳/۷۶	۰/۳۹
کارایی انرژی کاه و کلش	۴/۹۲		۳/۹۶		۳/۹۳		۴/۲۷	۰/۲۷
بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)	۰/۳۲		۰/۲۴		۰/۲۱		۰/۲۶	۰/۰۳
انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم)	۳/۱۴		۴/۱۹		۴/۷۷		۴/۰۳	۰/۳۹
انرژی خالص (مگاژول در هکتار)	۱۷۳۳۱۰		۱۶۴۷۹۰		۱۶۳۱۲۰		۱۶۷۰۷۳	۲۵/۸

۴- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، بررسی نتایج نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان انرژی مصرفی برای تولید برنج مربوط به آب آبیاری و مصرف کودهای شیمیایی می‌باشد. الگو و مدیریت صحیح رژیم آبیاری در اراضی شالیزاری در کاهش مصرف آب و انرژی تأثیر زیادی دارد و از منظر انرژی مصرفی نیز در مناطق برنج‌کاری شمال کشور مفید خواهد بود. هم‌چنین با مصرف کودهای آلی، می‌توان انرژی مصرفی مربوط به کودهای شیمیایی را کاهش داد که می‌تواند برای پایداری

بوم‌نظام منطقه و نظام کاشت برنج مطلوب باشد. بنابراین، در نظام کاشت SRI با الگوی صحیح مصرف آب و آبیاری تناوبی و نیز به حداقل رساندن مصرف کودهای شیمیایی از طریق کاربرد کود دامی، انرژی ورودی مربوط به این دو نهاده در مقایسه با دو نظام کاشت بهبودیافته و رایج منطقه به میزان قابل توجهی کاهش یافت. اما بدون در نظر گرفتن انرژی مربوط به کود شیمیایی و آبیاری و در قیاس با سایر انرژی‌های به‌کار رفته در تولید برنج در سه نظام کاشت مورد بحث می‌توان دریافت که در نظام کاشت SRI نیروی انسانی و انرژی مربوط به آن کم‌تر از دو نظام دیگر بوده و این مسأله با توجه به هزینه بالای نیروی کارگر در زراعت برنج و نیز تبعات کار در گل و لای شالیزار که از لحاظ بهداشتی نامطلوب است، قابل توجه بوده است. هم‌چنین میزان بذر مصرف شده در نظام کاشت SRI کم‌تر از دو نظام کاشت دیگر بود که خود می‌تواند باعث صرفه‌جویی مقدار قابل توجهی بذر در کل مناطق برنج‌خیز کشور شود. هر اندازه اتکای یک نظام به انرژی ورودی بیش‌تر باشد، بهره‌وری انرژی کم‌تر خواهد شد. بهره‌وری انرژی نسبت به کارایی مصرف انرژی، مؤلفه تقریباً مناسب‌تری برای مقایسه نظام‌های مختلف از نظر تولید یک گیاه می‌باشد. زیرا اختلاف در میزان کارایی انرژی می‌تواند به‌دلیل تفاوت در انرژی ورودی و عملکرد باشد که این مسأله اندکی قضاوت را مشکل خواهد ساخت. اما شاخص بهره‌وری انرژی، نسبت عملکرد تولیدی بر حسب کیلوگرم را به انرژی مصرفی محاسبه کرده و تفاوت نظام‌های کاشت را بهتر نشان می‌دهد. بنابراین، با توجه به موارد مذکور می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که کاهش کارایی انرژی در نظام کاشت رایج منطقه ناشی از مصرف بیش از حد نهاده‌هایی نظیر آبیاری و کود شیمیایی بوده که موجب خطر آلودگی محیط‌زیست شده و منطقه با کمبود آب‌های تحت‌الارضی مواجه می‌شود که در صورت بی‌توجهی در بلندمدت بوم‌نظام منطقه به طور جدی با مشکل مواجه خواهد شد. بنابراین، می‌توان از طریق تصویب فن‌آوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب، از این‌که شالیزار به‌طور مداوم تحت شرایط هوازی و یا تا حدی در شرایط بی‌هوازی باشد جلوگیری نمود که این امر برای افزایش بهره‌وری، ایمنی محیط‌زیست و پایداری بوم‌نظام‌های برنج مطلوب می‌باشد. هم‌چنین، روی آوردن به شخم‌های کاهش‌یافته، استفاده از ادوات ترکیبی در جهت کاهش تردد ماشین‌آلات، استفاده از کودهای آلی به جای کودهای شیمیایی، برگرداندن بقایا و نیز کاربرد کشاورزی دقیق که کشاورزی مبتنی بر مصرف بهینه و دقیق نهاده‌هاست، از جمله راه‌کارهایی است که در راستای افزایش پایداری تولید برنج می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

پی‌نوشت

[1] System of Rice Intensification
[2] Energy Ratio
[3] Energy Productivity
[4] Specific Energy
[5] Net Energy Yield

منابع

[1] Pervanchon F, Bockstaller C, Girardin P. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. Agricultural Systems; 2002;72:149-172.

[2] Pimentel D, Pimentel M. Food, Energy and Society. Colorado Press, Niwet; 1996.

[3] Witney B. Choosing and using farm machines. Land Technology Ltd, UK; 1995.

[4] Clements D R, Weise S F, Brown R, Stonehouse D P, Hume D J, Swanton C J. Energy analysis of tillage and herbicide inputs in alternative weed management systems. Agriculture, Ecosystems & Environment; 2005;52:119-128.

[5] Chauhan N S, Mohapatra P K J, Pandey K P. Improving energy productivity in paddy production through benchmarking: an application of data envelopment analysis. Energy Conversion & Management; 2006;47:1063-1085.

[6] Tipi T, Cetin B, Vardar A. An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. Journal of Agriculture & Environment; 2009;7:352-356.

[7] Nassiri S M, Singh S. Study on energy use efficiency for paddy crop using data envelopment analysis (DEA) technique. Applied Energy; 2009;86:1320-1325.

[8] Kizilaslan, H. Input- output energy analysis of cherries production in Tokat province of Turkey. Applied Energy; 2009;86(7/8):1354-1358.

[9] Soltani A, Rajabi M H, Zeinali E, Soltani E. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. Energy; 2013;50:54-61.

[10] Lewandowski I, Schmidt U. Nitrogen, energy and land use efficiency of miscanthus, reed canary grass and triticale as determined by the boundary line approach. Agriculture, Ecosystems & Environment; 2006;112:335-346.

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

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

[13] Rathke G W, Diepenbrock W. Energy balance of winter oilseed rape cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. European Journal of Agronomy; 2006;24:35-44.

[14] Chaudhary V P, Gangwar B, Pandey D K, Gangwar K S. Energy auditing of diversified rice - wheat cropping systems in Indo-gangetic Plaind. Energy; 2009;34:1091-1096.

[15] Uphoff N. The System of Rice Intensification: An Alternate Civil Society Innovation. Technology Assessment: Theory and Practice, Cornell University, Ithaca, NY, USA; 2011;20(2):45-51.

[16] Adusumilli R, Laxmi S B. Potential of the system of rice intensification for systemic improvement in rice production and water use: the case of Andhra Pradesh, India. Paddy & Water Environment; 2011;9:89-97.

[17] Styger E, Aboubacrine G, Attaher M A, Uphoff N. The system of rice intensification as a sustainable agricultural innovation: introducing, adapting and scaling up a system of rice intensification practices in the Timbuktu region of Mali. International Journal of Agricultural Sustainability; 2011;9(1):67-75.

[18] Uphoff, N. Features of the System of Rice Intensification (SRI) apart from increases in yield. Cornell International Institute for Food, Agriculture & Development; 2005.

[19] Beheshti Tabar I, Keyhani A, Rafiee S. Energy balance in Iran's Agronomy. Renewable & Sustainable Energy Reviews; 2010;14:849-855.

[20] Moore S R. Energy efficiency in small-scale bio intensive organic onion production in Pennsylvania, USA. Renewable Agriculture & Food System; 2010;25:181-188.

[21] Sharif A. Technical adaptations for mechanized SRI production to achieve water saving and increased profitability in Punjab, Pakistan. Paddy & Water Environment; 2011;9:111-119.

[22] Khan S, Khan M A, Latif N. Energy requirement and economic analysis of wheat, rice and barley production in Australia. Soil & Environment; 2010;29(1):61-68.

[23] Chapagain T, Riseman A, Yamaji E. Achieving more with less water: Alternate wet and dry irrigation (AWDI) as an alternative to the conventional water management practices in rice farming. Journal of Agricultural Science; 2011;3(3):3-13.

[24] Avasthe R K, Verma S, Kumar A, Rahman H. Performance of rice (Oryza sativa L.) varieties at different spacing under system of rice intensification (SRI) in mid hill acid soils of Sikkim Himalayas. Indian Journal of Agronomy; 2012;57(1):32-37.

[25] Ferichani I M, Prasetya D A. Institutionalization of System of Rice Intensification (SRI) in Indonesia: Socio-economic aspects. Journal of Crop & Weed; 2011;7(1): 12-16.