جریان انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در روش کشت نشایی و خشکه‌کاری برنج در سامانه‌های مختلف آبیاری

سیده طیبه حسینی، حسین شریفان[۱]، علیرضا کیانی، نورمحمد آبیار و محمدتقی فیض‌بخش

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
tayyebeh.hosseini@gmail.com
دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
h_sharifan@gau.ac.ir
استاد پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج، گرگان، ایران.**akiani71@yahoo.com**
استادیار پژوهش گروه تحقیقات اقتصادی و اجتماعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش، گرگان، ایران.**abyarnm@yahoo.com**
استادیار بخش زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.**Feyz_54@yahoo.com**

دریافت: مرداد ۱۴۰۰ و پذیرش: آذر ۱۴۰۰

چکیده

کارآیی استفاده از انرژی یکی از مهمترین عوامل برای کشاورزی پایدار است. در این پژوهش، در شهرستان گرگان استان گلستان، میزان ورودی و خروجی انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی (GWP)[۲] در روش‌های تولیدی کشت نشایی و کشت مستقیم برنج در سامانه‌های آبیاری بارانی، غرقابی و قطره‌ای بررسی شد. با توجه به نتایج، میانگین انرژی ورودی و خروجی برای سامانه‌های مختلف آبیاری در تیمار نشا گلخراب بیشتر از تیمارهای دیگر بود و بیشترین میزان انرژی ورودی و خروجی مربوط به سامانه آبیاری قطره‌ای به‌ترتیب برابر۳۶۳۶۶ و ۲۴۹۹۷۱ مگاژول در هکتار بود. بیشترین سهم انرژی مصرفی در سامانه‌های مختلف آبیاری و کشت متعلق به نهاده آب آبیاری و کودهای شیمیایی بود. همچنین، نتایج نشان داد که شاخص کارایی انرژی برای تیمارهای مختلف بین ۷/۳۵-۵/۰۵ کیلوگرم برمگاژول بود. کارایی انرژی برای سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار در روش نشا غیرگلخراب و برای سامانه‌های آبیاری غرقابی در روش نشا گلخراب بیشتر بود. همچنین، بهره‌وری انرژی تیمارهای مختلف بین ۰/۲۴-۰/۱ کیلوگرم بر مگاژول بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بهره‌وری انرژی تیمارهای نشا گلخراب و نشا غیرگلخراب با هم اختلاف معنی‌داری نداشته و بیشتر از تیمارهای خشکه‌بذری بود. مقادیر انرژی ویژه و خالص انرژی برای تیمارهای مختلف به‌ترتیب بین ۱۰/۲-۴/۲۹ مگاژول بر کیلوگرم و ۲۱۳۸۲۵-۱۱۲۷۸۵ مگاژول بر هکتار بود. تیمار نشا گلخراب برای تمام سامانه‌های آبیاری بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی را داشت. در کشت برنج، بیشترین سهم در پتانسیل گرمایش جهانی مربوط به استفاده از کود نیتروژن، سوخت و ادوات و ماشین‌آلات بود. نتایج مقایسه میانگین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد سطح، وزن، انرژی ورودی و انرژی خروجی نشان داد که سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار با شیوه کشت نشا غیرگلخراب (به دلیل مصرف نهاده کمتر و عملکرد مشابه با کشت نشا گلخراب) می‌توانند روش مناسبی برای کشت برنج و کاهش مصرف انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی آن باشند.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری انرژی، انرژی ورودی- خروجی، نشا گلخراب برنج

---

[۱]- آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

[۲] -Global warming potential

مقدمه

ایران به‌عنوان سیزدهمین کشور پرمصرف انرژی در جهان شناخته‌شده است. مصرف انرژی در کشور پنج برابر میانگین جهانی است و وضعیت مصرف انرژی با اصول مربوط به ارتقای بهره‌وری و بازدهی انرژی در جهان، مغایرت دارد. قیمت کم حامل‌های انرژی و در دسترس بودن انواع منابع انرژی سبب شده تا جامعه ما با تأخیر قابل توجهی به ضرورت بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی بیندیشد (رمضانی امیری و زیبایی، ۱۳۹۰). با توجه به بروز بحران انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی تمام تلاش‌ها بر آن است که مصرف انرژی تا حد ممکن کاهش یابد. بخش کشاورزی نیز از این موضوع مستثنی نبوده و سهم زیادی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی دارد. سهم این بخش حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد و سهم زمین‌های شالیزاری برابر ۰/۱۱ درصد تخمین زده شده است (اسمیت و همکاران، ۲۰۰۷). 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 (سجادیان و همکاران، ۱۳۹۲). رابطه بین کشاورزی و انرژی بسیار نزدیک بوده و انرژی یکی از مهم‌ترین نهاده‌های ورودی در تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود (چودری و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین، بزرگ‌ترین عامل انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر، بخش انرژی است و در سال‌های اخیر در کنار ارزیابی انرژی در سیستم‌های زراعی، موضوع انتشار گازهای گلخانه‌ای بسیار مورد توجه بوده است (IPCC، ۲۰۰۷). بدین ترتیب، توسعه نظام‌های زراعی با ورودی کمتر انرژی و بهره‌وری بیشتر می‌تواند به کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای CO_2، به‌ویژه در بخش کشاورزی، کمک کند (دالگارد و همکاران، ۲۰۰۰). در بیشتر کشورهای پیشرفته و حتی در حال توسعه، انرژی وارد شده در سطح برای تولید محصولات مختلف کشاورزی را بررسی و با محاسبه شاخص کارایی انرژی سعی کرده‌اند نظام‌های کشاورزی خود را از نظر مصرف انرژی بهینه کنند. طبق بررسی انجام گرفته توسط بوکاری و همکاران (۲۰۰۵) در زمینه جریان مصرف انرژی در شالیزارهای مالزی، بیشترین مصرف انرژی در مراحل مختلف تولید به میزان ۴۶/۵ درصد برای آماده‌سازی زمین استفاده‌شده و پس از آن مراحل برداشت و نشاکاری قرار گرفته است. همچنین، براساس این تحقیق، کل انرژی مصرف‌شده به‌منظور تولید برنج در هر هکتار از اراضی مالزی حدود ۱۲۱۸۱ مگاژول بوده که به ترتیب کود، سوخت ماشین‌آلات و ماشین‌آلات کشاورزی بیشترین سهم را در مصرف انرژی به خود اختصاص داده بودند. پیمان و همکاران (۱۳۸۴) نشان دادند که کارایی انرژی در تولید برنج به روش نیمه مکانیزه نسبت به روش سنتی بیشتر است. کل انرژی نیازمند برای تولید شلتوک و تبدیل آن به برنج سفید در هر هکتار از یک رقم متداول در استان گیلان برای دو روش کاشت سنتی و نیمه مکانیزه به‌ترتیب ۷۲۴۸۸/۷ و ۶۸۶۳۳/۸ مگاژول و کارایی انرژی آن‌ها ۲/۰۹ و ۲/۲۱ محاسبه شد. نتایج نشان داد که روش نیمه مکانیزه کاراتر و کم‌هزینه‌تر است. یوان و پنگ (۲۰۱۷) با مطالعه روی کشت برنج نشایی به دو روش معمول کشاورزان و روش کم‌نهاده در چین نشان دادند که انرژی ورودی، انرژی خروجی و عملکرد دانه برنج در روش معمول کشاورزان و روش کم‌نهاده به ترتیب ۳۴۵۴۴/۴ و ۲۵۴۴۱/۵ مگاژول بر هکتار، ۲۶۶۷۴۴/۹ و ۲۳۴۳۹۳ مگاژول در هکتار و ۹۱۷۱/۳ و ۸۴۴۹/۹ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین، نتایج بررسی شاخص‌های انرژی نشان داد که میانگین مقادیر کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص به روش کشت معمول کشاورزان به ترتیب ۷/۷۷، ۰/۲۷ کیلوگرم بر مگاژول، ۳/۷۶ مگاژول بر کیلوگرم و ۲۳۲۲۰۰/۵ مگاژول بر هکتار و در روش کشت کم نهاده به ترتیب ۹/۲۵، ۰/۳۳ کیلوگرم بر مگاژول، ۳/۰۱ مگاژول بر کیلوگرم و ۲۰۸۹۵۱/۵ مگاژول بر هکتار بود. اسلام و همکاران (۲۰۰۱) با مطالعه روی کاربرد انرژی در زراعت برنج تحت تأثیر سیستم‌های

شخم با ماشین و حیوانات در بنگلادش گزارش کردند که در هر دو سیستم بیشترین انرژی برای کودهای شیمیایی و کمترین آن برای آماده‌سازی بستر بذر مصرف‌شده است. ماهانسیگ (۲۰۰۲) به بررسی الگوی مصرف انرژی مربوط به محصولات خردل، گندم، چاودار و برنج آسیاب نکرده، برای ۹۰ کشاورز از نه دهکده واقع در سه منطقه از هند پرداخت. نتایج نشان داد که گندم و برنج در مقایسه با دیگر محصولات در نظر گرفته شده انرژی‌محورتر بوده که انرژی مصرف‌شده برای تولید برنج با شلتوک برابر با ۳۴۶۸۰ مگاژول بر هکتار و برای گندم برابر با ۳۱۰۱۶ مگاژول بر هکتار بود. اقبال (۲۰۰۷) با مطالعه روند جریان انرژی در زراعت برنج در بنگلادش ضمن تقسیم کشاورزان به پنج گروه براساس سطح زیرکشت، گزارش نمود که میزان انرژی ورودی زراعت برنج حدود ۲۸۰۰۰ مگاژول در هکتار بوده و بیشترین انرژی ورودی در تمامی گروه‌ها برای تهیه کودهای شیمیایی به مصرف رسیده و بازده انرژی در کشت نیمه مکانیزه نسبت به کشت سنتی بیشتر بوده است. مبتکر و همکاران (۲۰۱۱) سیکل مصرف انرژی در تولید یونجه برای دو سیستم مختلف آبیاری را مقایسه کردند. آنان دو سیستم آبیاری سنتی و مدرن (آبیاری بارانی، غلتان) را بررسی کردند. میزان انرژی مصرفی در سیستم آبیاری سنتی برابر ۸۲۱۶۱۵/۱۹ و در سیستم آبیاری مدرن برابر ۷۲۳۲۵۴/۳۸ مگاژول بر هکتار و بیشترین میزان مصرف انرژی مربوط به نهاده الکتریسیته در هر دو سیستم آبیاری بود. همچنین، در سیستم آبیاری مدرن استفاده بهتر و مناسب‌تری از نهاده‌های انرژی و آب شده و شاخص‌های انرژی در این نوع سیستم مناسب‌تر بود. پیشگار و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی انرژی مصرفی تولید برنج در استان گیلان پرداختند. در این تحقیق، کارایی انرژی برابر ۱/۵۳ اعلام شد. نتایج نشان داد که ورودی و خروجی انرژی تولید برنج، ۳۹۳۳۳ مگاژول بر هکتار و ۶۰۳۴۱ مگاژول بر هکتار بود که انرژی سوخت با ۴۶ درصد و بعد از آن کود شیمیایی با ۳۶ درصد بیشترین سهم را در مصرف انرژی داشتند. بساوالینگایا و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تعیین الگوی استفاده از انرژی و میزان بهره‌مندی از مزارع برنج در سیستم‌های تولیدی کشت نشایی و بذر مستقیم برنج در هند پراختند. یافته‌ها نشان داد که بیشترین میزان کارایی انرژی (۷/۳)، بهره‌وری انرژی (۰/۳ کیلوگرم بر مگاژول) و سودآوری انرژی (۶/۳) به دلیل کاهش بیشتر ورودی انرژی در سیستم کشت مستقیم بذر برنج بود. از این رو، با توجه به نقش و اهمیت مصرف انرژی در بخش کشاورزی، در این مطالعه، به ارزیابی ورودی- خروجی انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی زراعت برنج در سیستم‌های مختلف آبیاری و کشت در استان گلستان پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ برای بررسی انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی محصول برنج (*Oryza sativa* L.) رقم فجر، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان (عراقی محله) واقع در شهرستان گرگان انجام شد. طرح در زمینی به ابعاد ۳۶۰۰ متر مربع که مساحت کرت‌ها در آن ۴۸ مترمربع (۸×۶ متر) بود و بر پایه کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل چهار تیمار سیستم آبیاری بارانی (I_1) با به کارگیری چهار آبپاش برای هر کرت (با دبی ۰/۱۵ لیتر بر ثانیه در هر آبپاش)، غرقابی دائم (I_2)، غرقابی تناوبی (I_3) و قطره‌ای (I_4) با فاصله نوار تیپ ۵۰ سانتیمتر (با فاصله روزنه ۲۰ سانتیمتر و دبی یک لیتر بر ساعت) به‌عنوان عامل اصلی و سه تیمار کشت شامل کشت مستقیم بذر برنج (C_1)، کشت مستقیم نشایی با ریشه لخت در زمین غیرگلخراب (C_2) و کشت نشایی در زمین گلخراب شده (C_3)، به‌عنوان عامل فرعی بود.

عملیات نشاکاری در زمین اصلی ۲۵ روز پس از کشت بذر در خزانه صورت گرفت که نشاکاری توسط کارگر با فواصل ۲۵×۲۵ سانتی‌متر و با ۵-۴ نشا در هر کپه و در اواسط خردادماه انجام شد. در تیمار خشکه‌بذری نیز

بذر برنج به‌صورت مستقیم به‌وسیله تراکتور و با فاصله ۲۵ سانتی‌متر، هم‌زمان با نشاکاری در سطح خاک کشت شد. آب مورد نیاز تمامی تیمارهای آزمایشی طرح از یک حلقه چاه آب برقی با سیستم پمپاژ آب در ایستگاه تحقیقاتی عراقی‌محله تأمین شد. برای اعمال تیمارهای آبیاری، میزان تبخیر از تشت کلاس A به‌صورت روزانه اندازه‌گیری گردید و مقدار آب آبیاری در هر تیمار بر اساس سطح کرت و درصد تبخیر در نظر گرفته شد. برای روش غرقابی دائم، آب به‌طور پیوسته با عمق تقریبی پنج سانتی‌متر در سطح خاک کرت‌ها و در روش غرقابی تناوبی، کرت ابتدا با عمق تقریبی پنج سانتی‌متر غرقاب شد و در زمان خشک شدن آب و رؤیت ترک موئین روی زمین، آبیاری دوباره انجام شد. آزمایش خاک نیز ابتدای دوره کشت انجام گرفت. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مطالعه شده در جدول (۱) آورده شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق (cm)	رس Clay %	سیلت Silt %	ماسه Sand %	بافت	K پتاسیم‌قابل جذب p.p.m	p فسفر قابل جذب p.p.m	T.N.V آهک %	O.C کربن‌آلی %	N نیتروژن کل %	هدایت الکتریکی Ec*103	pH
۰-۳۰	۲۸	۵۲	۲۰	Si-C-L	۳۶۰	۷/۸	۲۶/۵	۱/۳۳	۰/۱	۰/۸	۷/۷

کودهای لازم بر اساس آزمایش خاک، بسته به وضعیت عناصر غذایی موجود در خاک مزرعه و توصیه های فنی به صورت پایه و سرک استفاده شد. کودهای پایه شامل کود اوره (۵۰ کیلوگرم در هکتار)، سوپر فسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود و توزیع کود سرک در کرت‌ها با توجه به نیاز برنج (بر اساس توصیه‌هایLCC[1]) انجام شد. برای مبارزه با علف‌های هرز برنج (عمدتاً علف هرز سوروف و اویارسلام)، علف‌کش نوینو در یک نوبت (دو هفته پس از کشت) برای تمام تیمارها و علف‌کش بنتازون (بازاگران) طی یک نوبت (سه هفته پس از کشت) برای تیمارهای خشکه‌بذری در سطح کرت‌ها پخش گردید. در تیمارهای مختلف در کنار استفاده از علف‌کش‌های مذکور از وجین دستی نیز استفاده گردید. در کرت‌های آزمایشی برای مبارزه با بیماری بلاست برنج، میزان نیم کیلوگرم در هکتار قارچ‌کش بیم به‌محض مشاهده بلاست برگی با استفاده از تراکتور در سطح تمام کرت‌ها پخش شد. همچنین، جهت مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج، از سم دیازینون گرانولی۱۰٪ استفاده شد. پس از رسیدن محصول، برداشت توسط کارگر و پس از حذف حاشیه انجام شد، سپس به‌وسیله دستگاه خرمنکوب، عملیات خرمنکوبی انجام شد.

جریان انرژی

نهاده‌ها در سامانه تولید شلتوک برنج در منطقه مطالعه شده شامل نیروی کارگری، ماشین‌ها (ادوات آماده-سازی زمین، کاشت، داشت و برداشت)، سوخت دیزل، بذر، سموم شیمیایی (علف‌کش، قارچ‌کش و حشره‌کش)، کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفات، پتاسیم و ریزمغذی-ها)، کود آلی، آبیاری و الکتریسیته و همچنین ستاده‌های تولید شامل، کاه و شلتوک برنج بودند. ضرایب هم‌ارز انرژی متناظر برای هر یک از نهاده‌ها و ستاده‌ها برای تعیین میزان انرژی معادل این پارامترها در سامانه تولید در جدول (۲) نشان داده شد. پس از این مرحله، توسط نرم-افزار اکسل، با ضرب کردن اعداد هم‌ارز انرژی در مقادیری که برای هر یک از نهاده‌های مصرفی در این مطالعه به‌دست آمد، مقدار انرژی موجود برای هر کدام از نهاده‌ها و ستاده‌ها تعیین شد.

[1]- Leaf Colour Chart for N application

جدول ۲- محتوای انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها در سامانه تولید برنج

عنوان (واحد)	هم‌ارز انرژی ($MJ\ unit^{-1}$)	منبع
نهاده‌ها		
نیروی کارگری (h)		
مرد	۱/۹۶	(سینگ و همکاران، ۱۹۹۴)
زن	۱/۵۴	(سینگ و همکاران، ۱۹۹۴)
ادوات و ماشین آلات (kg)*	۱۴۲/۷	(کالتساس و همکاران، ۲۰۰۷)
سوخت دیزل (l)	۳۸	(رجبی و همکاران،۱۳۹۱)
بذر (kg)	۱۴/۷	(ازکان و همکاران، ۲۰۰۴)
سموم شیمیایی (kg)		
علف‌کش‌ها	۲۸۷	(راتکه و همکاران، ۲۰۰۷)
قارچ‌کش‌ها	۱۹۶	(دایکه و همکاران، ۲۰۰۸)
حشره‌کش‌ها	۲۳۷	(راتکه و همکاران، ۲۰۰۷)
کودهای شیمیایی (kg)		
نیتروژن (N)	۶۰/۶	(گانداگمس، ۲۰۰۶)
فسفر (P_2O_5)	۱۱/۱	(گانداگمس، ۲۰۰۶)
پتاسیم (K_2O)	۶/۷	(گانداگمس، ۲۰۰۶)
ریزمغذی‌ها	۱۲۰	(کاناکچی و آکینچی، ۲۰۰۶)
الکتریسیته (kWh)	۱۲/۱	(ازکان و همکاران، ۲۰۰۴)
آبیاری (m^3)		
آبیاری تحت‌فشار	۱/۰۲	(آکاراوغلو، ۱۹۹۸)
آبیاری غرقابی	۰/۶۳	(گانداگمس، ۲۰۰۶)
ستاده‌ها		
کاه (kg)	۱۲/۵	(ازکان و همکاران، ۲۰۰۴)
شلتوک برنج (kg)	۱۴/۷	(ازکان و همکاران، ۲۰۰۴)

*این انرژی شامل ساخت، تعمیرات و نگهداری و حمل و نقل است

در کلیه مراحل عملیات زراعی (شامل تهیه بستر، کاشت، داشت و برداشت)، تعداد ساعات کار در مزرعه بر حسب ساعت در هکتار ثبت شد و سپس با توجه به ضریب تبدیل انرژی برای نیروی انسانی، کل انرژی ورودی نیروی انسانی بر حسب مگاژول در هکتار بر اساس رابطه (۱) به‌دست آمد (اردال و همکاران، ۲۰۰۷):

$$E_{1a}=EI_{1a}*T*N \qquad (1)$$

که در این رابطه:

E_{1a} انرژی کارگر در هکتار (MJ/ha) ، EI_{1a} شدت انرژی کارگر (MJ/h) ، T ساعت کار کارگر در روز که معادل هشت ساعت در نظر گرفته می‌شود (h/day) و N تعداد کارگر که معادل تعداد کارگر روزانه در تعداد روز کار کارگری است (day/ha).

انرژی به‌کار رفته در آبیاری شامل دو نوع انرژی مستقیم و غیرمستقیم است. انرژی مستقیم بیانگر انرژی صرف شده برای انتقال و توزیع آب است و دربرگیرنده انرژی سوخت به‌کار رفته برای پمپاژ آب است. برای محاسبه این انرژی به‌طور مستقیم اقدام به اندازه‌گیری نهاده انرژی ورودی (الکتریسیته) شد و سپس میزان مصرف انرژی در بخش آبیاری براساس میزان مصرف الکتریسیته در هر نوبت آبیاری محاسبه شد. انرژی غیرمستقیم نیز دربرگیرنده انرژی است که در ساخت پمپ، لوله، استخر، کانال‌های سیمانی و دیگر ادواتی است که در انتقال و توزیع آب در سطح مزرعه نقش دارند. این انرژی با توجه به میزان آب مصرف‌شده و به‌عنوان ضریبی از آن در مزارع در نظر گرفته می‌شود. بالطبع انرژی معادل در نظر گرفته‌شده برای سیستم‌های آبیاری تحت فشار با توجه به ادوات بیشتر به کار رفته در آن‌ها و فشار بیشتر آب، باید بیشتر در نظر گرفته شود (کیتانی، ۱۹۹۸). در این مطالعه،

با کمک رابطه (۲)، اقدام به محاسبه این انرژی شد (الماسی، ۱۳۸۰):

$$E_w = W_c * \alpha \quad (۲)$$

که در آن:

E_w انرژی غیرمستقیم آبیاری (MJ/ha) ، W_C میزان مصرف آب (m^3/ha) و α ضریب انرژی غیرمستقیم آبیاری است که در مزارع دارای سیستم آبیاری غرقابی برابر ۰/۶۳ (یالدیز و همکاران، ۱۹۹۳) و در مزارع دارای سیستم آبیاری تحت فشار (اعم از آبیاری قطره‌ای و بارانی) برابر ۱/۰۲ (آکاراوغلو، ۱۹۹۸) در نظر گرفته شد. برای برآورد مقدار مصرف انرژی در نهاده‌های مصرفی مثل کود، آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها، میزان انرژی هر گرم ماده مؤثره در ضرایب مربوطه و وزن مخصوص آن‌ها ضرب شدند. دیگر محاسبات انرژی مصرفی برای ورودی‌ها و خروجی‌های استفاده شده در تولید و عملیات زراعی برای هر یک از روش‌ها با استفاده از ضرایب به‌دست‌آمده از منابع مختلف انجام شد (جدول ۲).

با برآورد کل انرژی‌های ورودی و خروجی، شاخص‌های ارزیابی انرژی شامل نسبت یا کارآیی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص برای برنج با استفاده از معادلات تعریف‌شده زیر محاسبه شدند (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۳):

$$ER=EO/EI \quad (۳)$$

که در آن:

ER نسبت یا کارآیی انرژی (بدون واحد) ، EO مجموع انرژی خروجی از مزرعه (مگاژول در هکتار) و EI انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) است. شاخص نسبت یا کارایی انرژی تأثیر واحد انرژی نهاده در دست یابی به اهداف مصرف‌کننده را نشان می‌دهد. اهداف مصرف‌کننده می‌تواند غذا، زیست‌توده و یا بیوسوخت تولیدی باشد (کیتانی، ۱۹۹۸). در زراعت محصولات، انرژی این نسبت باید از یک بزرگ‌تر باشد؛ اما برای تولید محصولات صنعتی این نسبت معمولاً کوچک‌تر از یک است. کارآیی انرژی، عبارت از نسبت بین کل انرژی ورودی و انرژی محصولات خروجی (انرژی شلتوک و کاه و کلش) در یک فرآیند بوده و فاقد واحد است.

$$EP=GY/EI \quad (۴)$$

که در آن:

EP بهره‌وری انرژی (مگاژول بر کیلوگرم) ، GY عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و EI مجموع انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) است. بهره‌وری انرژی شاخصی از مقدار عملکرد محصول استحصالی (مقدار شلتوک) به ازای هر واحد انرژی ورودی است که بسته به نوع محصول کشاورزی، موقعیت و زمان، متفاوت است و می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی کارایی انرژی در سیستم‌های مختلف تولید آن محصول خاص باشد. برای بهبود این شاخص در یک فرآیند سه راه وجود دارد، بالا بردن مقدار تولید بر واحد سطح، کاهش سهم انرژی نهاده‌ها (کاهش مصرف آن‌ها) و اعمال مدیریت در جهت تلاش برای کاهش ضایعات.

$$SE=EI/GY \quad (۵)$$

که در آن:

SE انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم) ، EI مجموع انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) و GY عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) است. این شاخص عکس بهره‌وری انرژی است و بیان‌کننده انرژی صرف شده برای تولید هر واحد از محصول است.

$$NEY=EO-EI \quad (۶)$$

که در آن:

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

پتانسیل گرمایش جهانی (GWP[۱]) عبارت از مجموع گازهای گلخانه‌ای تولیدشده است که به‌صورت معادل دی‌اکسید کربن بیان می‌شود (IPCC، ۱۹۹۶). برای

۱- Global warming potential

محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی، در مرحله اول از نتایج محاسبه انرژی در قسمت قبل برای روش‌های مختلف آبیاری و کشت در هر یک از عملیات زراعی، استفاده شد. سپس با به‌کارگیری ضرایب تولید گازهای CO_2، N_2O و CH_4 به‌ترتیب معادل ۱، ۳۱۰ و ۲۱ کیلوگرم CO_2، کل گازهای گلخانه‌ای به‌صورت معادل CO_2 محاسبه شدند (NGAF، ۲۰۱۱).

مقدار GWP در چهار مقیاس محاسبه گردید (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۳):

۱- واحد سطح: مقدار GWP بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در واحد سطح (هکتار).

۲- واحد وزن: از تقسیم مقدار GWP بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بر مقدار تولید محصول برنج (شلتوک و کاه و کلش) بر حسب تن در هکتار، پتانسیل گرمای جهانی برای تولید هر تن محصول برنج یا به عبارتی معدل وزنی به‌دست آمد.

۳- واحد انرژی ورودی: از تقسیم مقدار GWP بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بر مقدار انرژی ورودی (گیگاژول در هکتار)، معادل گرمایشی جهانی بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 بر گیگاژول انرژی مصرفی محاسبه شد.

۴- واحد انرژی خروجی: از تقسیم مقدار GWP بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بر مقدار انرژی خروجی (گیگاژول در هکتار)، معادل گرمایشی جهانی بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 بر گیگاژول انرژی تولیدی محاسبه شد.

نتایج و بحث

نوع نهاده‌های مصرفی به همراه مقادیر میانگین مصرف هر یک از آن‌ها برای تولید برنج در سطح یک هکتار برای تیمارهای مختلف آبیاری و کشت، در جدول (۳) ارائه‌شده است. با توجه به نتایج، مقدار کودهای مصرفی در طول دوره کشت برای کشت نشایی و خشکه-بذری به‌ترتیب، ۲۶۰/۴ و ۲۷۰/۸ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن، ۱۵۶/۲۵ و ۲۰۸/۳ کیلوگرم در هکتار کود فسفر و ۲۰۸/۳ و ۱۹۷/۹ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم بود. نتایج مطالعات ماهاجان و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که نیاز به کود نیتروژن برای کشت مستقیم بذر برنج بیشتر از کشت نشایی برنج است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بیشترین و کمترین میزان آب مصرفی در سیستم‌های مختلف کشت به ترتیب برای سیستم غرقاب دائم و قطره-ای بود که کمترین حجم آب مصرفی مربوط به تیمار آبیاری قطره‌ای خشکه‌بذری (۶۳۸۸/۹ متر مکعب در هکتار) و بیشترین حجم آب مصرفی مربوط به آبیاری غرقاب دائم خشکه‌بذری (۱۲۷۸۴/۷ متر مکعب در هکتار) به دلیل دوره رشد طولانی‌تر بذر برنج در داخل مزرعه و تعداد دفعات بیشتر آبیاری و همچنین حجم زیاد آب مصرفی در سیستم غرقابی بود. برای سیستم‌های آبیاری غرقاب دائم و متناوب، روش کشت نشایی غیرگلخرابی به علت عدم مصرف آب برای گلخرابی زمین و همچنین کم بودن مدت زمان وجود نشا در مزرعه نسبت به خشکه‌بذری، میزان آب مصرفی کمتر از روش نشاگلخراب و خشکه‌بذری بود. نتایج ماهاجان و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که با افزایش مدت زمان وجود نشا در مزرعه، بهره‌وری آب آبیاری کاهش می‌یابد. طولانی بودن دوره رشد منجر به افزایش تعداد آبیاری و در نتیجه کاهش کارایی استفاده از آب آبیاری می‌شود.

برای سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای، به-دلیل راندمان بیشتر این سیستم‌ها، میزان آب مصرفی در طول دوره رشد کمتر از سیستم‌های غرقابی بود و برای سیستم کشت نشاگلخراب به‌علت مصرف آب برای گلخرابی، حجم آب مصرفی بیشتر است. چاهان و اوپنا (۲۰۱۲) گزارش کردند که گلخرابی در سیستم غرقابی برنج نشایی تا ۳۰ درصد از کل آب مورد نیاز برنج را مصرف می‌کند. همچنین، صرفه‌جویی در آب ورودی به میزان ۳۵-۵۷ درصد برای کشت مستقیم بذر برنج کاشته شده در خاک غیرگلخراب گزارش‌شده است (سینگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ شارما و همکاران، ۲۰۰۲). بوشان و

همکاران (۲۰۰۷) به بررسی کشت مستقیم بذر برنج و کشت نشا گلخراب در خاک لوم سیلتی پرداختند. آن‌ها برای هر دو روش استقرار، از قوانین زمان‌بندی آبیاری یکسان استفاده کردند. آبیاری برای دو هفته اول پس از کاشت بذر یا نشاکاری به‌صورت روزانه بود و به دنبال آن آبیاری پس از ایجاد ترک‌های مویین صورت می‌گرفت. با توجه به نتایج، ۲۰ درصد کاهش آب آبیاری برای کشت مستقیم بذر برنج در مقایسه با کشت نشایی در هر دو سال مشاهده شد. همچنین، نتایج جات و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که میزان ورودی آب (آبیاری به همراه بارندگی) در کشت مستقیم بذر برنج ۹ تا ۲۴ درصد کمتر از کشت نشایی برنج در خاک گلخراب شده است.

انرژی‌های ورودی و خروجی در تولید شلتوک برنج

مقدار میانگین و درصد انرژی مصرفی نهاده‌ها و تولید ستاده‌ها در تولید شلتوک برنج و همچنین به تفکیک تیمارهای مختلف تولید شلتوک برنج برای سطح یک هکتار در جداول (۴)، (۵) و (۶) ارائه شده است. بررسی انرژی ورودی سیستم‌های مختلف آبیاری نشان داد که میزان انرژی ورودی تیمار نشا گلخراب بیشتر از نشا غیرگلخراب و خشکه‌بذری بود که مربوط به مصرف بیشتر نهاده ادوات و ماشین‌آلات در مرحله آماده‌سازی زمین بود. بیشترین میزان انرژی ورودی مربوط به سیستم آبیاری قطره‌ای و برای کشت نشا گلخراب بود که مقدار آن ۳۶۳۶۶/۲ مگاژول در هکتار است. میزان کاربری ادوات و ماشین‌آلات و در نتیجه انرژی ناشی از آن در تیمار نشا گلخراب بیشتر از تیمارهای دیگر بود که دلیل آن مربوط به کار بیشتر ادوات برای آماده‌سازی زمین‌های گلخراب بود.

در بررسی انرژی ستاده تیمارها برای تولید برنج، نتایج نشان داد که در سطح یک هکتار، به‌طور متوسط میزان محصول خروجی و در نتیجه میزان انرژی خروجی برای تیمارهای نشایی بیشتر از تیمارهای خشکه-بذری بود. بیشترین میزان انرژی ستاده مربوط به سیستم نشا گلخراب قطره‌ای (۲۴۹۹۷۱/۱ مگاژول بر هکتار) بود. نتایج مطالعات یوان و پنگ (۲۰۱۷) روی کشت برنج به دو روش معمول کشاورزان و روش کم‌نهاده در چین نشان داد که انرژی ورودی، انرژی ستاه و عملکرد دانه برنج در روش معمول کشاورزان و روش کم‌نهاده به ترتیب ۳۴۵۴۴/۴ و ۲۵۴۴۱/۵ مگاژول بر هکتار، ۲۶۶۷۴۴/۹ و ۲۳۴۳۹۳ مگاژول در هکتار و ۹۱۷۱/۳ و ۸۴۴۹/۹ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین، مطالعات مانی و پاتل (۲۰۱۲) در هند نشان داد که میزان انرژی مصرفی در کشت شالیزار توسط کشاورزان دسته‌های کوچک، متوسط و بزرگ مزرعه به ترتیب ۳۲۴۱۷/۷، ۳۶۴۷۱/۶۱ و ۳۶۷۴۲/۸۵ مگاژول در هکتار و میزان انرژی ستاده به ترتیب ۱۷۳۱۲۰، ۱۶۷۲۹۰ و ۱۴۵۸۱۳ مگاژول در هکتار بوده است.

جدول ۳- مقدار میانگین مصرف نهاده‌ها در تولید شلتوک برنج در سطح هکتار برای تیمارهای مختلف آبیاری و کشت

تیمارها	آبیاری بارانی			آبیاری غرقاب دائم			آبیاری غرقاب متناوب			آبیاری قطره‌ای		
	خشکه بذری	نشا غیرگلخراب	نشا گلخراب	خشکه بذری	نشا غیرگلخراب	نشا گلخراب	خشکه بذری	نشا غیرگلخراب	نشا گلخراب	خشکه بذری	نشا غیرگلخراب	نشا گلخراب
نهاده‌ها												
نیروی کارگری (h)	۵۲۵/۳	۷۹۰/۱	۸۱۳/۶	۵۸۰/۷	۸۳۰/۲	۷۸۶/۷	۵۸۳/۶	۸۳۳/۹	۷۹۲/۸۳	۵۱۱/۷	۷۶۳/۳۴	۷۸۸/۹۲
ادوات و ماشین‌آلات (h)	۱۲۴/۴	۱۲۳/۲۴	۲۶۵/۰۲	۱۹۸/۲	۱۹۳/۲	۲۷۰/۰۱	۱۹۵/۷	۱۹۲/۱	۲۶۸/۷۶	۱۲۴/۲۴	۱۲۳/۱	۲۶۸
سوخت دیزل (l)	۱۲۳/۱	۱۱۲/۵۳	۱۳۸/۴	۱۳۶/۹	۱۲۶/۳	۱۳۸/۴۸	۱۳۶/۸	۱۲۶/۲	۱۳۸/۴۶	۱۲۳/۱	۱۱۲/۵۳	۱۳۸/۴۲
حمل و نقل (km)	۵	۴/۵	۵/۵	۵/۵	۵	۵/۵	۵/۵	۵	۵/۵	۵	۴/۵	۵/۵
بذر (kg)	۶۰	۱۰۰	۱۰۰	۶۰	۱۰۰	۱۰۰	۶۰	۱۰۰	۱۰۰	۶۰	۱۰۰	۱۰۰
سموم شیمیایی (kg)												
علف‌کش‌ها	۳/۵۸	۱/۱۴	۱/۱۴	۳/۵۸	۱/۱۴	۱/۱۴	۳/۵۸	۱/۱۴	۱/۱۴	۳/۵۸	۱/۱۴	۱/۱۴
قارچ‌کش‌ها	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲
حشره‌کش‌ها	۴/۴۹	۶۶/۹۹	۶۶/۹۹	۴/۴۹	۶۶/۹۹	۶۶/۹۹	۴/۴۹	۶۶/۹۹	۶۶/۹۹	۴/۴۹	۶۶/۹۹	۶۶/۹۹
کودهای شیمیایی (kg)												
نیتروژن (N)	۲۷۰/۸	۲۶۰/۴	۲۶۰/۴	۲۷۰/۸	۲۶۰/۴	۲۶۰/۴	۲۷۰/۸	۲۶۰/۴	۲۶۰/۴	۲۷۰/۸	۲۶۰/۴	۲۶۰/۴
فسفر (P_2O_5)	۲۰۸/۳	۱۵۶/۲۵	۱۵۶/۲۵	۲۰۸/۳	۱۵۶/۲۵	۱۵۶/۲۵	۲۰۸/۳	۱۵۶/۲۵	۱۵۶/۲۵	۲۰۸/۳	۱۵۶/۲۵	۱۵۶/۲۵
پتاسیم (K_2O)	۱۹۷/۹	۲۰۸/۳	۲۰۸/۳	۱۹۷/۹	۲۰۸/۳	۲۰۸/۳	۱۹۷/۹	۲۰۸/۳	۲۰۸/۳	۱۹۷/۹	۲۰۸/۳	۲۰۸/۳
ریزمغذی	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	–	–	–	–	–	–	–	–	–
آب آبیاری (m^3)	۷۲۲۹/۱۷	۷۴۵۸/۳	۹۸۵۴/۲	۱۲۷۸۴/۷	۱۱۹۳۷/۵	۱۲۴۷۲/۲	۱۰۹۵۸/۳	۱۰۳۰۵/۶	۱۱۵۶۲/۵	۶۳۸۸/۹	۶۷۱۵/۲۸	۹۱۷۳/۶

جدول ۴- مقدار میانگین و درصد انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها در تولید شلتوک برنج بر حسب مگاژول در هکتار برای تیمارهای مختلف آبیاری به روش خشکه‌بذری

نهاده‌ها	آبیاری بارانی		آبیاری غرقاب دائم		آبیاری غرقاب متناوب		آبیاری قطره‌ای	
	میانگین	درصد	میانگین	درصد	میانگین	درصد	میانگین	درصد
ورودی								
نیروی کارگری	۱۰۲۹/۶	۳/۷	۱۱۳۸/۱	۳/۶۲	۱۱۴۳/۹	۳/۸۲	۱۰۰۲/۹	۳/۵۱
ادوات و ماشین آلات	۱۹۳۱/۳	۶/۹۳	۳۵۱۰/۷	۱۱/۱۶	۳۵۰۴/۷	۱۱/۷۲	۱۹۳۱	۶/۷۵
سوخت دیزل	۴۶۷۷/۸	۱۶/۷۸	۵۲۰۲/۲	۱۶/۵۴	۵۱۹۹/۷	۱۷/۳۸	۴۶۷۸/۴	۱۶/۳۵
حمل و نقل	۲۲۴/۷	۰/۸۱	۲۴۶/۴	۰/۷۸	۲۴۶/۴	۰/۸۲	۲۲۴/۷	۰/۷۸
بذر	۸۸۲	۳/۱۶	۸۸۲	۲/۸	۸۸۲	۲/۹۵	۸۸۲	۳/۰۸
سموم شیمیایی								
علف‌کش‌ها	۴۶۷/۷	۱/۶۸	۴۶۷/۷	۱/۴۹	۴۶۷/۷	۱/۵۶	۴۶۷/۷	۱/۶۳
قارچ‌کش‌ها	۳۸/۷	۰/۱۴	۳۸/۷	۰/۱۲	۳۸/۷	۰/۱۳	۳۸/۷	۰/۱۴
حشره‌کش‌ها	۴۶۹/۹۱	۱/۶۹	۴۶۹/۹۱	۱/۴۹	۴۶۹/۹۱	۱/۵۷	۴۶۹/۹۱	۱/۶۴
کودهای شیمیایی								
نیتروژن (N)	۷۵۴۹/۷۵	۲۷/۰۹	۷۵۴۹/۷۵	۲۴	۷۵۴۹/۷۵	۲۵/۲۴	۷۵۴۹/۷۵	۲۶/۳۹
فسفر (P_2O_5)	۱۰۶۳/۷۵	۳/۸۲	۱۰۶۳/۷۵	۳/۳۸	۱۰۶۳/۷۵	۳/۵۶	۱۰۶۳/۷۵	۳/۷۲
پتاسیم (K_2O)	۶۳۶/۵	۲/۲۸	۶۳۶/۵	۲/۰۲	۶۳۶/۵	۲/۱۳	۶۳۶/۵	۲/۲۲
ریزمغذی	۱۳/۸	۰/۰۵	–	–	–	–	–	–
الکتریسیته	۱۵۱۲/۵	۵/۴۳	۲۱۹۳/۱	۶/۹۷	۱۸۰۲/۴	۶/۰۳	۳۱۴۶	۱۱
آب آبیاری	۷۳۷۳/۷	۲۶/۴۵	۸۰۵۴/۴	۲۵/۶۱	۶۹۰۳/۷	۲۳/۰۸	۶۵۱۶/۷	۲۲/۷۸
کل انرژی نهاده‌ها	۲۷۸۷۱/۸	۱۰۰	۳۱۴۵۳/۳	۱۰۰	۲۹۹۰۹/۱	۱۰۰	۲۸۶۰۷/۹	۱۰۰
ستاده‌ها								
کاه	۹۹۲۱۲/۹	۷۰/۵۴	۱۲۹۷۱۱/۲	۶۵/۳۲	۱۱۹۷۲۰/۸	۶۵/۸۲	۱۱۹۲۶۱/۳	۶۵/۹۶
شلتوک برنج	۴۱۴۴۳/۷	۲۹/۴۶	۶۸۸۵۹/۷	۳۴/۶۸	۶۲۱۷۳/۲	۳۴/۱۸	۶۱۵۵۶/۷	۳۴/۰۴
کل انرژی ستاده‌ها	۱۴۰۶۵۶/۶	۱۰۰	۱۹۸۵۷۰/۹	۱۰۰	۱۸۱۸۹۴	۱۰۰	۱۸۰۸۱۸	۱۰۰

جدول ۵- مقدار میانگین و درصد انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها در تولید شلتوک برنج بر حسب مگاژول در هکتار برای تیمارهای مختلف آبیاری به روش نشا غیرگلخراب

نهاده‌ها	آبیاری بارانی		آبیاری غرقاب دائم		آبیاری غرقاب متناوب		آبیاری قطره‌ای	
	میانگین	درصد	میانگین	درصد	میانگین	درصد	میانگین	درصد
ورودی								
نیروی کارگری	۱۵۴۸/۶	۵/۲۹	۱۶۲۷/۲	۵/۱۲	۱۶۳۴/۵	۵/۳۸	۱۴۹۶/۱	۵/۰۳
ادوات و ماشین آلات	۱۷۷۷/۹	۶/۰۷	۳۳۴۸/۱	۱۰/۵۳	۳۳۴۵/۵	۱۱/۰۱	۱۷۷۷/۵	۵/۹۸
سوخت دیزل	۴۲۷۶/۳	۱۴/۶	۴۷۹۹/۴	۱۵/۰۹	۴۷۹۶/۹	۱۵/۷۸	۴۲۷۶/۳	۱۴/۳۸
حمل و نقل	۲۰۰/۴	۰/۶۸	۲۲۲/۲	۰/۷	۲۲۲/۲	۰/۷۳	۲۰۰/۴	۰/۶۷
بذر	۱۴۷۰	۵/۰۲	۱۴۷۰	۴/۶۲	۱۴۷۰	۴/۸۴	۱۴۷۰	۴/۹۴
سموم شیمیایی								
علف‌کش‌ها	۱۳۰/۶	۰/۴۵	۱۳۰/۶	۰/۴۱	۱۳۰/۶	۰/۴۳	۱۳۰/۶	۰/۴۴
قارچ‌کش‌ها	۳۸/۷	۰/۱۳	۳۸/۷	۰/۱۲	۳۸/۷	۰/۱۳	۳۸/۷	۰/۱۳
حشره‌کش‌ها	۱۹۵۱/۲	۶/۶۶	۱۹۵۱/۲	۶/۱۳	۱۹۵۱/۲	۶/۴۲	۱۹۵۱/۲	۶/۵۶
کودهای شیمیایی								
نیتروژن (N)	۷۲۵۹/۴	۲۴/۷۹	۷۲۵۹/۴	۲۲/۸۲	۷۲۵۹/۴	۲۳/۸۸	۷۲۵۹/۴	۲۴/۴۲
فسفر (P_2O_5)	۷۹۷/۸	۲/۷۲	۷۹۷/۸	۲/۵۱	۷۹۷/۸	۲/۶۲	۷۹۷/۸	۲/۶۸
پتاسیم (K_2O)	۶۷۰	۲/۲۹	۶۷۰	۲/۱۱	۶۷۰	۲/۲	۶۷۰	۲/۲۵
ریزمغذی	۱۳/۸	۰/۰۵	–	–	–	–	–	–
الکتریسیته	۱۵۴۵/۶	۵/۲۸	۱۹۷۱/۳	۶/۲	۱۵۸۹/۸	۵/۲۳	۲۸۱۳/۲	۹/۴۶
آب آبیاری	۷۶۰۷/۵	۲۵/۹۷	۷۵۲۰/۶	۲۳/۶۴	۶۴۹۲/۵	۲۱/۳۶	۶۸۴۹/۶	۲۳/۰۴
کل انرژی نهاده‌ها	۲۹۲۸۷/۷	۱۰۰	۳۱۸۰۶/۴	۱۰۰	۳۰۳۹۹	۱۰۰	۲۹۷۳۰/۸	۱۰۰
ستاده‌ها								
کاه	۱۱۱۴۵۷/۵	۶۲/۵۹	۹۶۲۳۶/۲	۴۸/۲۵	۱۰۳۶۸۲/۵	۵۱/۵۵	۱۲۵۶۷۴/۲	۵۷/۴۸
شلتوک برنج	۶۶۶۰۵/۲	۳۷/۴۱	۱۰۳۲۲۱	۵۱/۷۵	۹۷۴۵۰/۲	۴۸/۴۵	۹۲۹۵۹/۴	۴۲/۵۲
کل انرژی ستاده‌ها	۱۷۸۰۶۲/۷	۱۰۰	۱۹۹۴۵۷/۲	۱۰۰	۲۰۱۱۳۲/۷	۱۰۰	۲۱۸۶۳۳/۵	۱۰۰

جدول ۶- مقدار میانگین و درصد انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها در تولید شلتوک برنج بر حسب مگاژول در هکتار برای تیمارهای مختلف آبیاری به روش نشا گلخراب

نهاده‌ها	آبیاری بارانی		آبیاری غرقاب دائم		آبیاری غرقاب متناوب		آبیاری قطره‌ای	
	میانگین	درصد	میانگین	درصد	میانگین	درصد	میانگین	درصد
ورودی								
نیروی کارگری	۱۵۹۴/۶	۴/۴۱	۱۵۴۲	۴/۵۲	۱۵۵۳/۹	۴/۶۸	۱۵۴۶/۳	۴/۲۵
ادوات و ماشین‌آلات	۵۰۶۳/۲	۱۴/۰۲	۵۰۷۵/۱	۱۴/۹	۵۰۷۲/۱	۱۵/۳	۵۰۷۰/۲	۱۳/۹۴
سوخت دیزل	۵۲۵۹/۲	۱۴/۵۶	۵۲۶۲/۴	۱۵/۴۴	۵۲۶۱/۷	۱۵/۹	۵۲۵۹/۸	۱۴/۴۶
حمل و نقل	۲۴۳/۹	۰/۶۷	۲۴۳/۹	۰/۷۱	۲۴۳/۹	۰/۷۳	۲۴۳/۹	۰/۶۷
بذر	۱۴۷۰	۴/۰۷	۱۴۷۰	۴/۳۱	۱۴۷۰	۴/۴۳	۱۴۷۰	۴/۰۴
سموم شیمیایی								
علف‌کش‌ها	۱۳۰/۶	۰/۳۶	۱۳۰/۶	۰/۳۸	۱۳۰/۶	۰/۳۹	۱۳۰/۶	۰/۳۶
قارچ‌کش‌ها	۳۸/۷	۰/۱۱	۳۸/۷	۰/۱۱	۳۸/۷	۰/۱۲	۳۸/۷	۰/۱۱
حشره‌کش‌ها	۱۹۵۱/۲	۵/۴	۱۹۵۱/۲	۵/۷۲	۱۹۵۱/۲	۵/۹	۱۹۵۱/۲	۵/۳۷
کودهای شیمیایی								
نیتروژن (N)	۷۲۵۹/۴	۲۰/۱	۷۲۵۹/۴	۲۱/۳	۷۲۵۹/۴	۲۱/۹	۷۲۵۹/۴	۱۹/۹۶
فسفر (P_2O_5)	۷۹۷/۸	۲/۲۱	۷۹۷/۸	۲/۳۴	۷۹۷/۸	۲/۴۱	۷۹۷/۸	۲/۱۹
پتاسیم (K_2O)	۶۷۰	۱/۸۵	۶۷۰	۱/۹۷	۶۷۰	۲/۰۲	۶۷۰	۱/۸۴
ریزمغذی	۱۳/۸	۰/۰۴	–	–	–	–	–	–
الکتریسیته	۱۵۷۷/۷	۴/۳۷	۱۷۸۹/۸	۵/۲۵	۱۴۳۶/۹	۴/۳۳	۲۵۷۱/۲	۷/۰۷
آب آبیاری	۱۰۰۵۱/۲	۲۷/۸۳	۷۸۵۷/۵	۲۳/۰۵	۷۲۸۴/۴	۲۱/۹۵	۹۳۵۷/۱	۲۵/۷۳
کل انرژی نهاده‌ها	۳۶۱۲۱/۳۵	۱۰۰	۳۴۰۸۸/۳	۱۰۰	۳۳۱۷۰/۵	۱۰۰	۳۶۳۶۶/۱۶	۱۰۰
ستاده‌ها								
کاه	۱۰۱۶۸۵/۸	۵۰/۱۱	۱۲۹۵۵۸/۳	۵۲/۲۶	۱۱۳۹۸۳/۷	۵۰/۸۸	۱۴۰۸۶۳/۸	۵۶/۳۵
شلتوک برنج	۱۰۱۲۵۵/۱	۴۹/۸۹	۱۱۸۳۵۵/۱	۴۷/۷۴	۱۱۰۰۶۲/۸	۴۹/۱۲	۱۰۹۱۰۷/۳	۴۳/۶۵
کل انرژی ستاده‌ها	۲۰۲۹۴۰/۹	۱۰۰	۲۴۷۹۱۳/۴	۱۰۰	۲۲۴۰۴۶/۵	۱۰۰	۲۴۹۹۷۱/۱	۱۰۰

با توجه به نتایج، بیشترین سهم انرژی مصرفی در سیستم‌های مختلف آبیاری و کشت متعلق به نهاده‌های آب آبیاری و کودهای شیمیایی بود. بیشترین میزان انرژی کودهای شیمیایی مربوط به کود نیتروژن به مقدار ۷۵۴۹/۷۵ و ۷۲۵۹/۴ مگاژول در هکتار به ترتیب برای کشت خشکه‌بذری و کشت نشایی بود. در مطالعه اسکندری چراتی و همکاران (۲۰۱۱) نیز مقدار انرژی کود نیتروژن در کشت برنج با ۶۹۶۹ مگاژول در هکتار بیشتر از کود فسفر (۲۸۶/۳ مگاژول در هکتار) و کود پتاسیم (۳۵۵ مگاژول در هکتار) بود. همچنین، در مطالعه منصوری و همکاران (۲۰۱۲) مقدار انرژی کود نیتروژن با ۱۱۵۱۴ مگاژول در هکتار بیشتر از کود فسفر (۱۰۱۴/۵ مگاژول در هکتار) و کود پتاسیم (۳۷۶/۵ مگاژول در هکتار) گزارش گردید. بوکاری و همکاران (۲۰۰۵) نیز بیان داشتند که انرژی ورودی در کشت برنج ۱۲۴۰۰ مگاژول در هکتار بوده که سهم عمده انرژی ورودی، مربوط به کودهای شیمیایی (۷۷۰۰ مگاژول در هکتار) بود. مطالعه چودری و همکاران (۲۰۱۷) در هند نیز نشان داد که نهاده آب آبیاری و کودهای شیمیایی درصد بیشتری از انرژی ورودی را در سیستم تولید برنج دارند. با توجه به مطالعات پیشگار و همکاران (۲۰۱۱) میزان مصرف انرژی در تولید برنج در گیلان ۳۹۳۳۳ مگاژول بر هکتار بود که ۴۶ درصد آن مربوط سوخت دیزل و ۳۶ درصد مربوط به کودهای شیمیایی بوده است. نتایج مطالعات واکیل و همکاران (۲۰۱۸) روی برنج در نیجریه نشان داد که کل انرژی مصرفی ۳۶۳۹۷/۸۵ مگاژول در هکتار بود که بیشترین سهم انرژی مصرفی مربوط به آب آبیاری (۴۸/۵۱ درصد) و سوخت (۲۳/۵۸ درصد) بود.

پس از نهاده‌های آب آبیاری و کودهای شیمیایی، انرژی مصرفی نهاده سوخت دیزل در سطح بالاتری نسبت به نهاه‌های دیگر قرار داشت. نهاده‌های ادوات و ماشین‌آلات، الکتریسیته، نیروی کارگری، بذر و سموم شیمیایی نیز در رده‌های بعدی مصرف‌کننده‌های انرژی در سیستم‌های آبیاری قرار گرفتند.

شاخص‌های کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و عملکرد انرژی خالص به تفکیک تولید

شلتوک برنج برای سیستم‌های مختلف آبیاری و کشت در جدول (۷) آورده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، کارایی انرژی برای سیستم‌های آبیاری تحت فشار در روش نشا غیرگلخراب و برای سیستم‌های آبیاری غرقابی در روش نشا گلخراب بیشتر بوده که بیشترین شاخص کارایی انرژی برای سیستم قطره‌ای با روش کشت نشا غیرگلخراب (۷/۳۵) به دست آمد. بهره‌وری انرژی برای سیستم‌های مختلف بین ۰/۲۴-۰/۱ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه شد که بیشترین بهره‌وری انرژی برای سیستم غرقاب دائم در روش کشت نشا گلخراب (۰/۲۴ کیلوگرم بر مگاژول) با توجه به عملکرد بیشتر این تیمار به دست آمد. با توجه به عملکرد کم تیمارهای خشکه-بذری، مقادیر انرژی ویژه این تیمارها بیشتر بود که بیشترین مقدار برای سیستم آبیاری بارانی (۱۰/۲ مگاژول بر کیلوگرم) و کم‌ترین مقدار برای سیستم غرقاب دائم (۴/۲۹ مگاژول بر کیلوگرم) بود. انرژی ویژه کمتر در روش کشت نشایی نسبت به روش کشت خشکه‌بذری نشان داد که انرژی استفاده شده برای تولید یک واحد دانه در روش نشایی کمتر از روش خشکه‌بذری است. خالص انرژی نیز که بیان‌کننده میزان خالص انرژی به‌دست آمده از تیمارها بود، در تیمارهای آبیاری بارانی نسبت به تیمارهای دیگر کمتر بود. نتایج مطالعات مانی و پاتل (۲۰۱۲) روی شاخص‌های انرژی مزارع کوچک، متوسط و بزرگ مقیاس برنج نشایی در هند نشان داد که مقادیر نسبت انرژی به ترتیب ۵/۳۶، ۴/۶۱ و ۳/۹۹، انرژی ویژه ۴/۵۵، ۵/۲۵ و ۶/۳۳ مگاژول بر کیلوگرم، بهره‌وری انرژی ۰/۲۲، ۰/۱۹ و ۰/۱۶ کیلوگرم بر مگاژول و انرژی خالص به ترتیب ۱۴۰۸۳۵/۲، ۱۳۰۹۹۴/۸ و ۱۰۹۲۸۲/۹ مگاژول بر هکتار بود. مطالعات واکیل و همکاران (۲۰۱۸) روی شاخص‌های انرژی برنج نشایی نشان داد که نسبت انرژی ۲/۴۷، انرژی ویژه ۳۱/۳۸ مگاژول بر کیلوگرم، بهره‌وری انرژی ۰/۱۴۷ کیلوگرم بر مگاژول، بهره‌وری آب ۰/۱۰۳ کیلوگرم بر متر مکعب و انرژی خالص ۵۳۵۹۸/۷۱ مگاژول در هکتار بوده است. همچنین، مطالعات بساوالینگایا و همکاران (۲۰۲۰) روی شاخص‌های انرژی در سیستم‌های کشت نشایی و بذر مستقیم برنج در هند نشان داد که بیشترین میزان کارایی انرژی (۷/۳)، بهره‌وری انرژی (۰/۳ کیلوگرم بر مگاژول) و سودآوری انرژی (۶/۳) به دلیل کاهش بیشتر ورودی انرژی تحت سیستم کشت مستقیم بذر برنج بود.

تجزیه واریانس شاخص‌های انرژی تولید برنج

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثرات تیمارهای مختلف بر شاخص‌های انرژی تولید برنج در جداول (۸) و (۹) نشان داده شدند. نتایج تجزیه واریانس روش آبیاری و کشت نشان داد که انرژی کل نهاده‌ها و ستاده‌ها از نظر روش آبیاری و روش کاشت در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌دار داشتند. نتایج تجزیه واریانس کارایی انرژی و بهره‌وری انرژی نشان داد که روش آبیاری و روش کاشت در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌دار داشتند اما اثر متقابل روش کاشت در آبیاری معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین روش آبیاری و کشت نشان داد که بیشترین انرژی کل نهاده به‌ترتیب برای روش آبیاری غرقاب دائم و روش کشت نشا گلخراب بود و مقادیر کارایی انرژی و بهره-وری انرژی در روش کشت نشا گلخراب و نشا غیرگلخراب و برای روش‌های آبیاری غرقاب دائم، غرقاب متناوب و قطره‌ای اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند.

پتانسیل گرمایش جهانی حاصل از تولید شلتوک برنج

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار منتشر شده به جو در واحد سطح، وزن، انرژی ورودی و انرژی خروجی ناشی از فعالیت‌های مختلف برای تیمارهای مختلف آبیاری و کشت در جدول (۱۰) نشان داده شد. با توجه به نتایج، برای تمام سیستم‌های آبیاری، کشت نشا گلخراب برنج به خاطر کاربرد بیشتر ماشین‌آلات برای آماده‌سازی زمین، بیشترین سهم را در GWP داشت. مقایسه مقادیر GWP

بر اساس واحد سطح (در هکتار) نشان می‌دهد که تولید یک هکتار برنج نشا گلخراب با سیستم قطره‌ای بیشترین سهم را (۲۲۱۷/۵۲ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) در GWP نسبت به سایر کشت‌های بررسی شده در این مطالعه داشت. دستان و همکاران (۱۳۹۵) با هدف تخمین ردپای کربن و گرمایش جهانی در نظام‌های تولید رایج، بهبودیافته و حفاظتی برنج بیان کردند که میانگین GWP در سه نظام کاشت برابر ۲۸۰۳/۲۵ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بوده است. نتایج مطالعات پاتاک و واسمن (۲۰۰۷) در هند نشان داد که پتانسیل گرمایش جهانی برای محصول برنج بین ۲۷۶۶-۴۰۵۴ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بوده است. همچنین، سونی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که برنج نشا گلخراب بیشترین میزان گازهای گلخانه‌ای (۱۱۱۲ کیلوگرم CO_2 در هکتار) را در مقایسه با دیگر محصولات تولید کرده است. نتایج مطالعات بساوالینگایا و همکاران (۲۰۲۰) روی انتشار گازهای گلخانه‌ای مزارع برنج در سیستم‌های تولیدی کشت نشایی و بذر مستقیم برنج در هند نشان داد که کاهش قابل توجهی در انتشار کل گازهای گلخانه‌ای در کشت خشکه‌بذری (۵۷۴/۱ کیلوگرم CO_2 در هکتار) در مقابل سیستم کشت نشایی (۳۹۵۴/۸ کیلوگرم CO_2 در هکتار) وجود دارد. با توجه به نتایج، بیشترین سهم در میزان GWP در کشت برنج مربوط به استفاده از کود نیتروژن، سوخت و ادوات بود. GWP حاصل از تولید، حمل‌ونقل و نگهداری ادوات و ماشین‌آلات در کشت نشا گلخراب برنج نسبت به روش نشا غیرگلخراب و خشکه-بذری بیشتر بود. پاتاک (۲۰۱۵) گزارش داد که در روش غرقاب دائم، کودهای نیتروژن و ماشین‌آلات موجب انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای مزارع نشا گلخراب می-شوند. همچنین، گلخرابی و غرقاب دائم مزارع نشا گلخراب برنج باعث افزایش انتشار متان می‌شود. در مقابل، شرایط کشت هوازی موجب کاهش انتشار متان می‌شود.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مقدار GWP در واحد سطح در روش کشت نشا غیرگلخراب و خشکه-بذری کمتر از روش کشت نشا گلخراب است. نتایج به‌دست‌آمده برای مقدار GWP در واحد وزن نشان می-دهد که برای سیستم‌های مختلف آبیاری (به‌جز روش آبیاری غرقاب دائم)، روش کشت نشا غیرگلخراب به ازای تولید هر تن عملکرد برنج، GWP کمتری داشته‌اند. نتایج GWP در واحد انرژی ورودی نشان می‌دهد که مقدار GWP در سیستم‌های مختلف آبیاری برای روش کشت نشا غیرگلخراب کمتر از روش‌های کشت نشا گلخراب و خشکه‌بذری است. همچنین، با توجه به مقادیر GWP در واحد انرژی خروجی، مقدار GWP برای سیستم‌های مختلف آبیاری (بجز روش آبیاری غرقاب دائم)، برای روش کشت نشا غیرگلخراب کمتر است.

تجزیه واریانس پتانسیل گرمایش جهانی برنج

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثرات تیمارهای مختلف بر پتانسیل گرمایش جهانی برنج در جداول (۱۱) و (۱۲) نشان داده شدند. بر اساس نتایج تجزیه واریانس GWP در واحد سطح، روش آبیاری در سطح ۵٪ و روش کاشت و اثر متقابل روش کاشت*آبیاری در سطح ۱٪ معنی‌دار شد. نتایج تجزیه واریانس GWP در واحد وزن و انرژی خروجی نشان داد که روش آبیاری، روش کاشت و اثر متقابل روش کاشت*آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار شد. همچنین، نتایج تجزیه واریانس GWP در واحد انرژی ورودی نشان داد که روش آبیاری و روش کاشت در سطح ۵٪ معنی‌دار شد اما اثر متقابل روش کاشت*آبیاری معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین روش کاشت نشان داد که کمترین مقدار GWP مربوط به روش کشت نشا غیرگلخراب بود و مقایسه میانگین روش آبیاری نشان داد که کمترین مقدار GWP در واحد وزن و انرژی خروجی برای سیستم قطره‌ای و در واحد سطح و انرژی ورودی برای سیستم بارانی به دست آمد.

جدول ۷- میانگین شاخص‌های کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)، انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم) و عملکرد انرژی خالص (مگاژول بر هکتار) برای شیوه‌های مختلف آبیاری و کشت

نهاده‌ها	آبیاری بارانی			آبیاری غرقاب دائم		آبیاری غرقاب متناوب			آبیاری قطره‌ای		
	خشکه بذری	نشا غیرگلخراب	نشا گلخراب	خشکه بذری	نشا غیرگلخراب	نشا گلخراب	خشکه بذری	نشا غیرگلخراب	نشا گلخراب	خشکه بذری	نشا غیرگلخراب	نشا گلخراب
کل انرژی نهاده‌ها	۲۷۸۷۱/۸	۲۹۲۸۷/۷	۳۶۱۲۱/۳۵	۳۱۴۵۳/۳	۳۱۸۰۶/۴	۳۴۰۸۸/۳	۲۹۹۰۹/۱	۳۰۳۹۹	۳۳۱۷۰/۵	۲۸۶۰۷/۹	۲۹۷۳۰/۸	۳۶۳۶۶/۲
کل انرژی ستاده‌ها	۱۴۰۶۵۶/۶	۱۷۸۰۶۲/۷	۲۰۲۹۴۰/۹	۱۹۸۵۷۰/۹	۱۹۹۴۵۷/۲	۲۴۷۹۱۳/۴	۱۸۱۸۹۴	۲۰۱۱۳۲/۷	۲۲۴۰۴۶/۶	۱۸۰۸۱۸	۲۱۸۶۳۳/۵	۲۴۹۹۷۱/۱
کارایی انرژی	۵/۰۵	۶/۰۸	۵/۶۲	۶/۳۱	۶/۲۷	۷/۲۷	۶/۰۸	۶/۶۲	۶/۷۶	۶/۳۲	۷/۳۵	۶/۸۷
بهره‌وری انرژی	۰/۱	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۱۴	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۲۱	۰/۲
انرژی ویژه	۱۰/۲	۶/۴۷	۵/۲۵	۶/۷۲	۴/۵۳	۴/۲۹	۷/۱۴	۴/۵۹	۴/۴۴	۶/۸۵	۴/۷	۴/۹۲
عملکرد انرژی خالص	۱۱۲۷۸۴/۸	۱۴۸۷۷۵	۱۶۶۸۱۹/۵	۱۶۷۱۱۷/۷	۱۶۷۶۵۰/۸	۲۱۳۸۲۵/۱	۱۵۱۹۸۴/۹	۱۷۰۷۳۳/۷	۱۹۰۸۷۶/۱	۱۵۲۲۱۰/۱	۱۸۸۹۰۲/۷	۲۱۳۶۰۴/۹

جدول ۸- تجزیه واریانس شاخص‌های انرژی تولید برنج در سطح هکتار

منابع تغییر	درجه آزادی	کل نهاده‌ها	کاه	شلتوک برنج	کل ستاده‌ها	کارایی انرژی	بهره‌وری انرژی	انرژی ویژه	انرژی خالص
تکرار	۲	۱۹۳۲۷^{ns}	۱۵۳۴۳۰۵۸۰۸**	۱۷۵۲۰۶۲۲^{ns}	۱۵۴۱۸۸۱۵۱۱*	۱/۰۸۳^{ns}	۰/۰۰۰۰۸^{ns}	۰/۵۱۷^{ns}	۱۵۳۰۶۳۲۸۴۴**
روش آبیاری	۳	۳۵۱۷۵۷۲**	۹۵۵۹۹۹۶۷۷**	۱۱۹۷۰۹۷۸۵۵**	۳۵۳۱۷۳۱۹۵۰**	۲/۷۷۴**	۰/۰۰۵۰۶**	۸/۷۰۴**	۳۳۸۵۷۰۸۲۰۱**
خطای اصلی	۶	۳۶۸۷۸	۱۴۶۶۴۵۸۲۳	۶۳۰۹۸۱۰۳	۲۹۶۲۳۸۷۹۵	۰/۸۱۷	۰/۰۰۰۳۸	۰/۵۴	۲۹۷۹۵۹۱۷۳
روش کاشت	۲	۱۰۴۳۸۹۶۵۵**	۴۶۰۹۷۹۵۰۴^{ns}	۸۰۰۲۲۰۴۰۱۴**	۹۳۸۳۴۹۶۲۱۳**	۱/۷۸۳**	۰/۰۲۱۹**	۳۲/۳۹۶**	۷۵۹۵۴۷۱۸۴۴**
روش کاشت*آبیاری	۶	۷۴۰۲۴۶۰**	۴۴۹۲۱۷۸۰۱*	۷۸۵۲۳۸۷۶^{ns}	۲۹۶۶۹۴۴۷۴^{ns}	۰/۳۹۱^{ns}	۰/۰۰۰۳۵^{ns}	۱/۳۹۷^{ns}	۲۷۶۵۳۳۸۲۶^{ns}
خطای فرعی	۱۶	۳۵۵۹۶	۱۲۸۷۷۵۶۹۵	۶۱۸۸۵۹۷۸	۲۵۳۹۸۰۵۱۰	۰/۲۶۵	۰/۰۰۰۲۶	۰/۵۰۵	۲۵۳۷۹۹۲۸۲
ضریب تغییرات	–	۰/۵۹	۹/۷	۹/۱	۷/۸	۲/۰۶	۰/۸	۱/۸	۹/۳

ns، * و** به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر روش آبیاری و روش کاشت بر شاخص‌های انرژی در تولید برنج

صفات		کل نهاده‌ها	کاه	شلتوک برنج	کل ستاده‌ها	کارایی انرژی	بهره‌وری انرژی	انرژی ویژه	انرژی خالص
روش کاشت	خشکه‌بذری	۲۹۴۶۰^{c}	۱۱۶۹۷۷^{b}	۵۸۵۰۸^{c}	۱۷۵۴۸۵^{c}	۵/۹۳^{b}	۰/۱۳۴^{b}	۷/۷۲^{a}	۱۴۶۰۲۴^{c}
	نشا غیرگلخراب	۳۰۲۹۹^{b}	۱۰۹۲۶۳^{ab}	۹۰۰۵۹^{b}	۱۹۹۳۲۲^{b}	۶/۵۸^{a}	۰/۲۰۱^{a}	۵/۰۷^{b}	۱۶۹۰۲۲^{b}
	نشا گلخراب	۳۴۹۳۶^{a}	۱۲۱۵۲۳^{a}	۱۰۹۶۹۵^{a}	۲۳۱۲۱۸^{a}	۶/۶۳^{a}	۰/۲۱۳^{a}	۴/۷۲^{b}	۱۹۶۲۸۱^{a}
روش آبیاری	بارانی	۳۱۰۹۳^{c}	۱۰۴۱۱۹^{c}	۶۹۷۶۸^{c}	۱۷۳۸۸۷^{b}	۵/۵۸^{b}	۰/۱۴۸^{b}	۷/۳^{a}	۱۴۲۷۹۳^{c}
	غرقاب دائم	۳۲۴۴۹^{a}	۱۱۸۵۰۲^{ab}	۹۶۸۱۲^{a}	۲۱۵۳۱۴^{a}	۶/۶۱^{a}	۰/۲۰۱^{a}	۵/۱۸^{b}	۱۸۲۸۶۵^{a}
	غرقاب متناوب	۳۱۱۵۰^{c}	۱۱۲۴۶۲^{bc}	۸۹۸۹۵^{ab}	۲۰۲۳۵۸^{a}	۶/۴۸^{a}	۰/۱۹۵^{a}	۵/۳۹^{b}	۱۷۱۲۰۷^{a}
	قطره‌ای	۳۱۵۶۸^{b}	۱۲۸۶۰۰^{a}	۸۷۸۷۴^{b}	۲۱۶۴۷۴^{a}	۶/۸۴^{a}	۰/۱۸۷^{a}	۵/۴۹^{b}	۱۸۴۹۰۶^{a}

برای هر صفت، در هر ستون، اعدادی که با حروف یکسان نمایش داده شده‌اند اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD ندارند

جدول ۱۰- مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی به‌صورت کیلوگرم معادل CO_2 در واحد سطح، وزن، انرژی ورودی و انرژی خروجی ناشی از فعالیت‌های مختلف برای تیمارهای مختلف آبیاری و کشت

نهاده‌ها	آبیاری بارانی			آبیاری غرقاب دائم			آبیاری غرقاب متناوب			آبیاری قطره‌ای		
	خشکه بذری	نشا غیرگلخراب	نشا گلخراب	خشکه بذری	نشا غیرگلخراب	نشا گلخراب	خشکه بذری	نشا غیرگلخراب	نشا گلخراب	خشکه بذری	نشا غیرگلخراب	نشا گلخراب
نهاده‌های زراعی:												
نیتروژن (N)	۵۴۹/۷۳	۵۲۸/۵۸	۵۲۸/۵۸	۵۴۹/۷۳	۵۲۸/۵۸	۵۲۸/۵۸	۵۴۹/۷۳	۵۲۸/۵۸	۵۲۸/۵۸	۵۴۹/۷۳	۵۲۸/۵۸	۵۲۸/۵۸
فسفر (P_2O_5)	۸۷/۲۳	۶۵/۴۲	۶۵/۴۲	۸۷/۲۳	۶۵/۴۲	۶۵/۴۲	۸۷/۲۳	۶۵/۴۲	۶۵/۴۲	۸۷/۲۳	۶۵/۴۲	۶۵/۴۲
پتاسیم (K_2O)	۵۲/۱۹	۵۴/۹۴	۵۴/۹۴	۵۲/۱۹	۵۴/۹۴	۵۴/۹۴	۵۲/۱۹	۵۴/۹۴	۵۴/۹۴	۵۲/۱۹	۵۴/۹۴	۵۴/۹۴
آفت‌کش‌ها	۱۰۰/۳۷	۲۱۷/۹۹	۲۱۷/۹۹	۱۰۰/۳۷	۲۱۷/۹۹	۲۱۷/۹۹	۱۰۰/۳۷	۲۱۷/۹۹	۲۱۷/۹۹	۱۰۰/۳۷	۲۱۷/۹۹	۲۱۷/۹۹
تولید، حمل‌ونقل و نگهداری:												
ادوات و ماشین‌آلات	۲۴۱/۵۹	۲۲۲/۴۱	۶۳۳/۳۸	۴۳۹/۱۷	۴۱۸/۸۳	۶۳۴/۸۷	۴۳۸/۴۲	۴۱۸/۵	۶۳۴/۴۹	۲۴۱/۵۶	۲۲۲/۳۶	۶۳۴/۲۵
حمل‌ونقل	۱۷/۵۳	۱۵/۶۳	۱۹/۰۲	۱۹/۲۲	۱۷/۳۳	۱۹/۰۲	۱۹/۲۲	۱۷/۳۳	۱۹/۰۲	۱۷/۵۳	۱۵/۶۳	۱۹/۰۲
سوخت:												
برای عملیات کشاورزی	۳۶۴/۸۷	۳۳۳/۵۵	۴۱۰/۲۲	۴۰۵/۷۷	۳۷۴/۳۵	۴۱۰/۴۷	۴۰۵/۵۸	۳۷۴/۱۶	۴۱۰/۴۱	۳۶۴/۹۱	۳۳۳/۵۵	۴۱۰/۲۶
برای آبیاری	۱۶۸/۸۵	۱۷۲/۵۵	۱۷۶/۱۴	۲۴۴/۸۳	۲۲۰/۰۷	۱۹۹/۸۱	۲۰۱/۲۲	۱۷۷/۴۸	۱۶۰/۴۱	۳۵۱/۲۲	۳۱۴/۰۶	۲۸۷/۰۵
GWP کل در واحد سطح	۱۵۸۲/۳۶	۱۶۱۱/۰۷	۲۱۰۵/۶۹	۱۸۹۸/۵۱	۱۸۹۷/۵۲	۲۱۳۱/۱	۱۸۵۳/۹۵	۱۸۵۴/۴	۲۰۹۱/۲۸	۱۷۶۴/۷۳	۱۷۵۲/۵۳	۲۲۱۷/۵۲
در واحد وزن	۱۴۷/۱۱	۱۱۹/۸	۱۴۰/۱۷	۱۲۶/۰۵	۱۲۸/۹	۱۱۵/۷۲	۱۳۴/۲۷	۱۲۴/۲۶	۱۲۵/۹۳	۱۲۸/۵۵	۱۰۷/۰۱	۱۱۸/۶۴
در واحد انرژی ورودی	۵۶/۷۷	۵۵/۰۱	۵۸/۲۹	۶۰/۳۶	۵۹/۶۶	۶۲/۵۲	۶۲	۶۱	۶۳/۰۵	۶۱/۷	۵۸/۹۵	۶۱
در واحد انرژی خروجی	۱۱/۲۵	۹/۰۵	۱۰/۳۸	۹/۵۶	۹/۵۱	۸/۶	۱۰/۱۹	۹/۲۲	۹/۳۳	۹/۷۶	۸/۰۲	۸/۸۷

* سوخت جهت تولید الکتریسیته یا مصرف برای پمپاژ آب

جدول ۱۱- تجزیه واریانس پتانسیل گرمایش جهانی برنج در سطح هکتار

منابع تغییر	درجه آزادی	GWP کل در واحد سطح	GWPکل در واحد وزن	GWP کل در واحد انرژی ورودی	GWP کل در واحد انرژی خروجی
تکرار	۲	۴۲۷۷۵^{ns}	۱۴۰/۱^{ns}	۱۲/۵^{ns}	۰/۸۱^{ns}
روش آبیاری	۳	۷۴۴۲۵*	۵۰۹/۳**	۸۸*	۳/۰۲**
خطای اصلی	۶	۶۹۶۶	۵۹/۱	۱۸/۴	۰/۲۵
روش کاشت	۲	۵۱۷۰۲۱**	۶۵۶/۹**	۳۵/۶*	۵/۳۱**
روش کاشت*آبیاری	۶	۳۱۲۷۵**	۱۸۹/۶**	۱/۳^{ns}	۰/۹۱**
خطای فرعی	۱۶	۵۴۹۶	۲۱	۱۰/۳	۰/۱۲
ضریب تغییرات	–	۶/۵	۳/۶	۶/۷	۳/۷

ns، * و** به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۱۲- مقایسه میانگین اثر روش آبیاری و روش کاشت بر پتانسیل گرمایش جهانی برنج

صفات		GWP کل در واحد سطح	GWP کل در واحد وزن	GWP کل در واحد انرژی ورودی	GWP کل در واحد انرژی خروجی
روش کاشت	خشکه‌بذری	۱۷۷۴^{b}	۱۳۴/۷^{a}	۶۰/۱^{a}	۱۰/۲^{a}
	نشا غیرگلخراب	۱۷۷۸^{b}	۱۲۰/۱^{c}	۵۸/۶^{a}	۸/۹^{c}
	نشا گلخراب	۲۱۳۶^{a}	۱۲۵/۱^{b}	۶۱/۲^{a}	۹/۲^{b}
روش آبیاری	بارانی	۱۷۶۶^{b}	۱۳۶^{a}	۵۶/۶^{b}	۱۰/۲^{a}
	غرقاب دائم	۱۹۷۵^{a}	۱۲۳/۹^{b}	۶۰/۸^{a}	۹/۲^{b}
	غرقاب موقت	۱۹۳۲^{a}	۱۲۸/۴^{b}	۶۲^{a}	۹/۶^{b}
	قطره‌ای	۱۹۱۱^{a}	۱۱۸/۲^{c}	۶۰/۵^{ab}	۸/۸^{c}

برای هر صفت، در هر ستون اعدادی که با حروف یکسان نمایش داده شده‌اند اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD ندارند

نتیجه‌گیری

این مطالعه، به ارزیابی ورودی و خروجی انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی برنج تحت تیمارهای کشت نشاگلخراب، نشا غیرگلخراب و خشکه‌بذری برای سیستم‌های آبیاری بارانی، غرقاب دائم، غرقاب متناوب و قطره‌ای پرداخت. میانگین ورودی و خروجی انرژی برآورد شده در هر هکتار برای سیستم‌های مختلف آبیاری، در تیمار نشا گلخراب بیشتر از تیمارهای دیگر بود. بیشترین میزان انرژی ورودی مربوط به سیستم آبیاری قطره‌ای و برای کشت نشا گلخراب (۳۶۳۶۶/۲ مگاژول در هکتار) بود. بیشترین سهم انرژی مصرفی در سیستم‌های مختلف آبیاری و کشت متعلق به نهاده آب آبیاری و کودهای شیمیایی بود. پس از این دو نهاده، انرژی مصرفی نهاده سوخت دیزل در سطح بیشتری نسبت به نهاده‌های دیگر قرار داشت. با توجه به نتایج، میزان انرژی خروجی برای کشت نشا گلخراب بیشتر از کشت‌های دیگر بود که بیشترین میزان انرژی خروجی مربوط به سیستم قطره‌ای و برای کشت نشا گلخراب، به میزان ۲۴۹۹۷۱/۱ مگاژول بر هکتار بود. شاخص کارایی انرژی برای سیستم‌های مختلف بین ۷/۳۵-۵/۰۵ کیلوگرم بر مگاژول بود. کارایی انرژی برای سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار در روش نشا غیرگلخراب و برای سیستم‌های آبیاری غرقابی در روش نشا گلخراب بیشتر بود. بهره‌وری انرژی برای سیستم‌های مختلف بین ۰/۲۴-۰/۱ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه شد که بیشترین بهره‌وری انرژی برای سیستم غرقاب دائم در روش کشت نشا گلخراب (۰/۲۴ کیلوگرم بر مگاژول) با توجه به عملکرد بیشتر این تیمار به‌دست آمد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین کارایی انرژی و بهره‌وری انرژی، تیمارهای نشا گلخراب و نشا غیرگلخراب اختلاف معنی-داری با هم نداشتند. با توجه به عملکرد کم تیمارهای خشکه‌بذری مقادیر انرژی ویژه این تیمارها بیشتر بود و بیشترین مقدار برای سیستم آبیاری بارانی (۱۰/۲ مگاژول بر کیلوگرم) و کم‌ترین مقدار برای سیستم غرقاب دائم (۴/۲۹ مگاژول بر کیلوگرم) بود. انرژی خالص نیز در

تیمارهای بارانی نسبت به تیمارهای دیگر کمتر بود. همچنین، طبق نتایج به‌دست‌آمده برای تمام سیستم‌های آبیاری، کشت نشا گلخراب برنج بیشترین سهم را در GWP داشت که بیشترین سهم در میزان GWP، مربوط به استفاده از کود نیتروژن، سوخت و ادوات و ماشین‌آلات بود. نتایج مقایسه میانگین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد سطح، وزن، انرژی ورودی و انرژی خروجی نشان داد که سیستم‌های نوین آبیاری با شیوه کشت نشا غیرگلخراب (با توجه به نهاده کمتر و عملکرد مشابه با کشت نشا گلخراب) می‌توانند روش مناسبی برای کشت برنج برای کاهش مصرف انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی آن باشند.

فهرست منابع

۱. الماسی، م. ۱۳۸۰. مدیریت انرژی در کشاورزی، درسنامه دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲. پیمان، م.، ر.، رومی، و م.، علی زاده. ۱۳۸۴. تعیین انرژی مصرفی در دو روش سنتی و مکانیزه برای تولید برنج (بررسی موردی در استان گیلان). تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۶(۲۲): ۶۷-۸۰.

۳. دستان، س.، ا.، سلطانی، ق.، نورمحمدی، ح.، مدنی، و ر.، یدی. ۱۳۹۵. تخمین ردپای کربن و پتانسیل گرمایش جهانی در نظام‌های تولید برنج. فصلنامه علوم محیطی، ۱۴(۱): ۲۸-۱۹.

۴. رجبی، م. ح.، ا.، سلطانی، ا.، زینلی، و ا.، سلطانی. ۱۳۹۱. ارزیابی مصرف انرژی در تولید گندم در گرگان. مجله پژوهش‌های تولیدات گیاهی، ۱۹(۳): ۱۷۲-۱۴۳.

۵. رضوی، س. ج.، و ا. ف.، میرلوحی. ۱۳۷۵. مطالعه شرایط کنونی تولید برنج در استان اصفهان. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۵۷ صفحه.

۶. رمضانی امیری، ه.، و م.، زیبایی. ۱۳۹۰. بررسی ارتباط میان انرژی نهاده‌های مصرفی و عملکرد محصولات گوجه، خیار، خربزه تحت شرایط کشت زیر پلاستیک در شهرستان فیروزآباد فارس. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۵(۱): ۵۸-۶۵.

۷. سجادیان، م.، ع.، علیپور جهانگیری، ج.، کامبوزیا، ز. م.، هری، و بهشتی م.، مارنانی. ۱۳۹۲. مقایسه کارآیی انرژی کشت بوم‌های برنج (*Oryza sativa* L.) در دو استان گیلان و کهگیلویه و بویر احمد. مجله کشاورزی بوم شناختی، ۳(۱): ۲۶-۱۷.

۸. کولائیان، ع.، و غلامی م.، سفیدکوهی. ۱۳۹۱. معرفی بهترین روش تعیین بارندگی مؤثر کشت برنج در شهرستان قائمشهر. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

9. Acaroglu, M. 1998. Energy from Biomass, and Applications. University of Selcuk, Graduate School of Natural and Applied Sciences. Textbook.

10. Basavalingaiah, K., Y. M., Ramesha, V., Paramesh, G. A., Rajanna, Sh., Lal Jat, S., Misra, Gaddi, H. C., Girisha, G. S., Yogesh, S., Raveesha, T. K., Roopa, K. S., Shashidhar, B., Kumar, D. O., El-Ansary, and H. O., Elansary. 2020. Energy Budgeting, Data Envelopment Analysis and Greenhouse Gas Emission from Rice Production System: A Case Study from Puddled Transplanted Rice and Direct-Seeded Rice System of Karnataka, India. Sustainability, 12, 6439, p.p 19.

11. Bhushan, L., J.K., Ladha, R.K., Gupta, S., Singh, A., Tirol-Padre, Y.S., Saharawat, M., Gathala, and H., Pathak. 2007. Saving of water and labor in a rice-wheat system with notillage and direct seeding technologies. *Agronomy Journal* 99: 1288-96.

12. Bockari-Gevao, S. M., W. I., Ismail, A., Yahya, and C. C., Wan. 2005. Energy consumption in lowland rice-based cropping system of Malaysia. Songklanakarin J. Sci. Technol. 27(4): 819-826.
13. Canakci, M., and I., Akinci. 2006. Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. Energy Conversion and Management, 31: 1243–1256.
14. Chaudhary, V., B., Gangwar, and D., Pandey. 2006. Auditing of energy use and output of different cropping systems in India. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript EE 05001 Vol. 8.
15. Chaudhary, V.P., K.K., Singh, G., Pratibha, R., Bhattacharyya, M., Shamim, I., Srinivas, and A., Patel, 2017. Energy conservation and greenhouse gas mitigation under different production systems in rice cultivation. Energy, 130, 307–317. [CrossRef]
16. Chauhan, B. S., and J., Opeña. 2012. Effect of tillage systems and herbicides on weed emergence, weed growth, and grain yield in dry-seeded rice systems. Field Crop Res, 137:56–69. Doi: 10.1016/j. fcr.2012.08.016
17. Dalgaard, T., N., Halberg, and J., Fenger. 2000. Fossil energy use and emissions of greenhouse gases- three scenarios for conversion to 100% organic farming in Denmark. In: van Lerland, E., A.Q. Lansink. and E. Schmieman. (Eds.), Proceedings of the International Conference on Sustainable Energy: New Challenges for Agriculture and Implications for Land Use, Wageningen, the Netherlands. Chapter, 7.2.1, 11 p.
18. Deike, S., B., Pallutt, and O., Christen. 2008. Investigation on the energy efficiency of organic and integrated farming with specific emphasis on pesticide use intensity. European Journal of Agronomy, 28, 461-470.
19. Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H., and O., Gunduz. 2007. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. Energy, 32: 35–41.
20. Eskandari cherati, F. A., H., Bahrami, and A., Asakereh. 2011. Energy survey of mechanized and traditional rice production system in Mazandaran province of Iran. African journal of Agriculture Reserch, 11: 2565-2570.
21. Gundogmus, E. 2006. Energy use on organic farming: A comparative analysis on organic versus conventional apricot production on small holding in Turkey. Energy Conversion and Management, 47, 335-351.
22. Hulsbergen, K. J., B., Feil, S., Biermann, G. W., Rathke, W. D., Kalk, and W., Diepenbrock. 2001. A method of energy balancing in crop production and its application in a long- term fertilizer trial. Agriculture, Ecosystems and Environment, 86(3): 303-321.
23. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Summary for policy makers. The Physical Science Basis, 7: 165-177.
24. Intergovermental panel on climate (IPCC).1996. Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.Cambridge University Press, UK.
25. Iqbal, T. 2007. Energy input and output for production of *Boro Rice* in Bangladesh. EJEAFChe, 6 (5): 2144-2149.
26. Islam, A. K. M. S., M. A., Rahman, R. I., Saker, M., Ahiduzzaman, and M. A., Baqui. 2001. Energy audit for rice production under power tillage and bullock farming systems in Bangladesh. Online J. of Biol. Sci., 1: 873-876.
27. Jat, M.L., M.K., Gathala, J.K., Ladha, Y.S., Saharawat, A.S., Jat, V., Kumar, A.S., Sharma, and R.K., Gupta. 2009. Evaluation of precision land leveling and double zero-till systems in the rice-wheat rotation: Water use, productivity, profitability and soil physical properties. *Soil Tillage Research* 105(1): 112-121.
28. Kaltsas, A. M., A. P., Mamolos, C. A., Tsatsarelisb, G. D., Nanosc, and K. L., Kalburtji. 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. Agriculture Ecosystems & Environment, 122 (2): 243-251.
29. Kitani, O. 1998. CIGR, Handbook of agricultural engineering volume 5, Energy and Biomass Engineering. ASAE publication. 5, p.330.
30. Mahajan, G., T.S., Baharaj, and J., Timsina. 2009. Yield and water productivity of rice as affected by time of transplanting in Punjab India. Agric Water Manage, 96: 525-32.

31. Mahajan, G., B.S., Chauhan, J., Timsina, P.P., Singh, and K., Singh. 2012. Crop performance and water- and nitrogen-use efficiencies in dry-seeded rice in response to irrigation and fertilizer amounts in northwest India. Field Crops Research, 134: 59–70.
32. Mani, I., and S. K., Patel. 2012. Energy Consumption Pattern in Production of Paddy Crop in Haryana State in India. Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America, 43(2): 39-42.
33. Mansoori, H., P., Rezvani Moghadam, and R. H., Moradi. 2012. Energy budget and economic analysis in conventional and organic rice production systems and organic scenarios in the transition period in Iran. Energy, 6: 341-350.
34. Mobtaker, H. G., A., Akram, A., Keyhani, and A., Mohammadi, 2011. Energy consumption in alfalfa production: A comparison between two irrigation systems in Iran. African Journal of Plant Science, 5(1): 47-51.
35. Singh, J. M. 2002. On Farm Energy Use Pattern in Different Cropping Systems in Haryana, India. MSc. thesis, International Institute of Management University of Flensburg, Germany.
36. National Greenhouse Accounts Factors. 2011. www.climatechange.gov.au, Commonwealth of Australia.
37. Ozkan, B., H., Akcaoz, and C., Fert. 2004. Energy input-output analysis in Turkish agriculture. Renewable Energy, 29(1): 39-51.
38. Pathak, H., and R., Wassmann. 2007. Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. Generation of technical coefficients. Agric. Syst, 94: 807-825.
39. Pathak, H. 2015. Greenhouse Gas Emission fromIndian Agriculture: Trends, Drivers and Mitigation Strategies. Proc. Indian Natl. Sci. Acad., 81, 1133–1149. [CrossRef]
40. Pishgar-Komleh, S. H., P., Sefeedpari, and S., Rafiee. 2011. Energy and economic analysis of rice production under different farm levels in Guilan province of Iran. Energy, 36: 5824-5831.
41. Rathke, G. W., B. J., Wienhold, W. W., Wilhelm, and W., Diepenbrock. 2007. Tillage and rotation effect on corn soybean energy balances in eastern Nebraska. Soil and Tillage Research, 6: 245-261.
42. Sharma, P. K., L., Bhushan, J. K., Ladha, R. K., Naresh, R. K., Gupta, B. V., Balasubramanian, and B. A. M., Bouman. 2002. Crop-water relations in rice-wheat cropping under different tillage systems and watermanagement practices in a marginally sodic, medium-textured soil. Water-wise rice production. International Rice Research Institute, Los Baños, 8: 223–235.
43. Singh, A. K., B. U., Choudhury, and B. A. M., Bouman. 2002. Effects of rice establishment methods on crop performance, water use, and mineral nitrogen. Water-wise rice production. International Rice Research Institute, Los Baños, 8: 237–246.
44. Singh, S., S., Singh, J. P., Mittal C. J. S., Pannu, and B. S., Bhangoo. 1994. Energy inputs and crop yield relationships for rice in Punjab. Energy, 19(10):1061-1065.
45. Smith, P., D., Martino, Z., Cai, D., Gwary, H., Janzen, P., Kumar, B., Mccarl, S., Ogle, F., O'Mar, C., Rice, B., Scholes, O., Sirotenko, M., Howden, T., McAllister, G., Pan, V., Romanenkov, U., Schneider, and S., Towprayoon. 2007. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment. 118, 6-28.
46. Soltani, A., M. H., Rajabi, E., Zeinali, and E., Soltani. 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. Energy, 50: 54-61.
47. Soni, P., C., Taewichit, and V. M., Salokhe. 2013. Energy consumption and CO 2 emissions in rainfed agricultural production systems of Northeast Thailand. Agric. Syst., 116, 25–36. [CrossRef]
48. Wakil, M., A., Ibrahim, A. S., Shehu Umar, and G., Bukar. 2018. Analysis of energy input-output of irrigated rice production in Jere Bowl Borno State, Nigeria. African Journal of Agricultural Research, 1661-1666.

49. Yaldiz, O., H. H., Ozturk, Y., Zeren, and A., Bascetincelik, 1993. Energy usage in production of field crops in Turkey. In: Vth international congress on mechanization and energy in agriculture. Izmir-Turkey, p. 527–36.
50. Yuan, S. and S., Peng. 2017. Input-output energy analysis of rice production in different crop management practices in central China. Elsevier, Energy, 141: 1124-1132.

Energy Flow and Global Warming Potential in Direct Seeded and Transplantation of Rice under Different Irrigation Systems

S. T. Hosseini, H. Sharifan[1], A. Kiani, N. M Abyar, and M. T Feyzbakhsh

PhD Student of Irrigation and Drainage, Department of Water and Soil,Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
tayyebeh.hosseini@gmail.com
Associate Professor, Department of water Engineering, faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. **h_sharifan@gau.ac.ir**
Professor of agricultural engineering department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and education Center, AREEO, Gorgan, Iran.
akiani71@yahoo.com
Assistant Professor at Socio-Economic Research Group of Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran.
abyarnm@yahoo.com
Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran. **Feyz_54@yahoo.com**

Received: August 2021, and Accepted: November 2021

Abstract

Energy efficiency is one of the most important factors for sustainable agriculture. This study explored the energy consumption and global warming potential for puddled transplanted (PTR), un-puddled transplanted, and direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.) (DSR) production systems under sprinkler, flood, and drip irrigation systems in Gorgan City fields, Golestan Province, Iran. According to the results, the average energy input and output for different irrigation systems in puddled transplanted treatment was higher than the other treatments, while the highest input and output energy was related to drip irrigation system (36366 and 249971 $MJ.h^{-1}$). The highest energy consumption in different irrigation and cultivation systems was related to water and nitrogen fertilizer. The results also showed that energy use efficiency for different systems ranged from 5.05 to 7.35 $kg.MJ^{-1}$. Energy use efficiency for pressurized irrigation systems was higher in puddled transplanted treatment and for flood irrigation systems was higher in un-puddled transplanted treatment. Also, the energy productivities of different treatments were between 0.1 to 0.24 $kg.MJ^{-1}$, while the mean energy efficiencies of PTR and un-puddled transplanted treatments did not differ significantly and were more than DSR treatment. The specific energy and net energy for different treatments ranged from 4.29 to 10.2 $MJkg^{-1}$ and 112784 to 213825 $MJ.ha^{-1}$, respectively. The puddled transplanted treatment had the highest GWP for all irrigation systems. The largest share of GWP in rice cultivation was related to the use of nitrogen fertilizers, fuels, and machinery. The results of mean comparison of GWP per unit area, weight, input energy, and output energy showed that modern pressurized irrigation systems with un-puddled transplanted cultivation method (due to less input and a yield similar to PTR) can be a suitable method for rice cultivation to reduce energy consumption and global warming potential.

Keywords: Energy productivity, Input-output energy, puddled transplanted rice

[1] - Corresponding author: Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.