نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 3، پاییز 1398، ص 876-859

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.3, Fall 2019, p. 859-876

مقایسه راندمان انرژی تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در روش‌های مختلف آبیاری در منطقه جلگه رخ تربت حیدریه

وحید کریمی[1]، رضا صدرآبادی حقیقی[2*]، امیر بهزاد بذرگر[3] و محسن درگاهی[1]

تاریخ دریافت: 96/12/11
تاریخ پذیرش: 97/03/22

کریمی، و.، صدرآبادی حقیقی، ر.، بذرگر، ا.ب.، و درگاهی، م. 1398. مقایسه راندمان انرژی تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در روش‌های مختلف آبیاری در منطقه جلگه رخ تربت حیدریه. بوم‌شناسی کشاورزی، 11 (3): 876-859.

چکیده

به‌منظور ارزیابی و مقایسه کارایی مصرف انرژی در تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) براساس روش‌های آبیاری نشتی و تحت فشار مطالعه‌ای در سطح 11 مزرعه منطقه جلگه رخ شهرستان تربت حیدریه در سال 93-1392 اجرا شد. مقایسه با استفاده از طرح کاملاً تصادفی نامتعادل انجام شد که در آن نوع سیستم آبیاری به‌عنوان تیمار و مزارعی که با هر سیستم آبیاری مطابقت داشت، به‌عنوان تکرار در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج تحقیق بیش‌ترین مقدار مصرفی انرژی برای نیروی کارگری مربوط به آبیاری نشتی بود. بیش‌ترین میانگین سوخت فسیلی انرژی‌های مصرفی مربوط به روش آبیاری نشتی و پس از آن به‌ترتیب آبیاری‌های بارانی و قطره‌ای بود. میزان مصرف الکتریسیته در روش آبیاری قطره‌ای بیش‌ترین مقدار را نسبت به دو روش دیگر داشت. بیش‌ترین انرژی مصرفی کودهای نیتروژنه مربوط به روش آبیاری نشتی بود. میزان انرژی مصرفی کودهای فسفره در آبیاری قطره‌ای کم‌ترین مقدار و انرژی استفاده از کودهای پتاسه در سیستم آبیاری قطره‌ای بالاترین بود. انرژی مصرفی ناشی از مصرف علف‌کش‌ها در روش قطره‌ای بیش‌ترین و آبیاری نشتی در رده بعدی قرار گرفت. انرژی مصرفی ماشین‌آلات در روش آبیاری بارانی بیش‌ترین بود. در روش اخیر انرژی مصرفی ماشین‌آلات تقریباً نیمی از سهم انرژی مصرفی ورودی‌های کل بود. میزان انرژی مصرفی غیرمستقیم برای سیستم آبیاری قطره‌ای 6868 مگاژول بر هکتار و در آبیاری بارانی 2756 مگاژول بر هکتار بود. انرژی ناشی از بذر مصرفی در روش آبیاری قطره‌ای بالاترین و در آبیاری بارانی کم‌ترین مقدار بود. میزان کل انرژی‌های ورودی و خروجی در روش آبیاری بارانی بیش‌ترین مقدار (106674/24 و 162000 مگاژول بر هکتار) بود و پس از آن روش‌های آبیاری قطره‌ای (97807/82 و 151000 مگاژول بر هکتار) و آبیاری نشتی (92539/61 و 139000 مگاژول بر هکتار) در رده‌های بعد قرار گرفتند. بازده انرژی روش آبیاری قطره‌ای 1/6 بیش‌تر از سایر روش‌های آبیاری بود. میزان بهره‌وری انرژی از نظر مقدار در آبیاری قطره‌ای و نشتی بیش‌ترین 0/44 و در آبیاری بارانی 0/41 کم‌ترین بود. انرژی خالص در آبیاری بارانی بیش‌ترین (18/ 53392 مگاژول بر هکتار) و در آبیاری نشتی (46660/38 مگاژول بر هکتار) کم‌ترین میزان بود. میزان بهره‌وری انرژی از نظر مقدار در آبیاری قطره‌ای و نشتی (0/44 و 0/43) بیش‌ترین و در آبیاری بارانی کم‌ترین (0/41) بود. میزان انرژی ویژه در آبیاری نشتی (2/36) بیش‌تر از سایر روش‌ها و در آبیاری قطره‌ای کم‌ترین (2/32) بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، آبیاری قطره‌ای، آبیاری نشتی، انرژی غیرمستقیم، انرژی ویژه

مقدمه

با توجه به نیاز روزافزون انرژی در جهان امروز، قیمت بالا و

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد کشاورزی اکولوژیک واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی
2- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی
3- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کاشمر، دانشگاه آزاد اسلامی
(*- نویسنده مسئول: (Email: rsadrabadi@mshdiau.ac.ir
Doi:10.22067/jag.v11i3.7137

محدودیت منابع انرژی و نیز اثرات استفاده نامتعارف و بیش از حد از انرژی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و نیز تسریع در روند گرم شدن کره زمین، امروزه مقوله انرژی در تمام زیر ساخت‌های اقتصاد اعم از صنعت، خدمات و کشاورزی به یکی از مهم‌ترین مباحث فراروی محققان و دانشمندان تبدیل شده است. در این میان بخش کشاورزی به‌عنوان تولیدکننده و مصرف‌کننده انرژی از اهمیت خاصی برخوردار است (Faraji, 2005). زمین‌های زراعی اکوسیستم‌هایی هستند که انرژی به آن‌ها به‌صورت کمکی وارد می‌شود (Hasanzadeh & Mazaheri, 1991). جریان انرژی یکی از مباحث مهم بوم‌شناسی کشاورزی است و در این ارتباط در نقاط مختلف جهان نسبت انرژی خروجی و ورودی در اکوسیستم‌های مختلف کشاورزی، محاسبه شده است (Gillard, 1993). کشاورزی شدیداً به انرژی، به‌خصوص سوخت‌های فسیلی وابسته است. مصرف انرژی فسیلی در کشاورزی، ستانده‌ی انرژی را افزایش می‌دهد. هم‌چنین در اکوسیستم‌های زراعی، ضریب بازچرخش مواد بسیار ناچیز و اندک است، زیرا با برداشت محصول زراعی، کلیه عناصر معدنی از آن نظام خارج شده و بقایای گیاهی نیز معمولاً به‌صورت علوفه به مصرف می‌رسند. به این ترتیب باروری این اکوسیستم تنها با اتکا به مصرف کودهای آلی و شیمیایی امکان‌پذیر می‌باشد (Pimental et al., 1983). مقدار انرژی که در سیستم‌های مختلف تولید زراعی مصرف می‌شود، نه فقط به نوع آن محصول بلکه به نوع مواد به‌کار گرفته شده در تولید آن محصول نیز بستگی دارد. به‌گونه‌ای که نحوه رفتار سیستم‌های مختلف زراعی در به‌کارگیری نهاده‌ها و منابع انرژی متفاوت بوده و در هر سیستم تولیدی کارایی انرژی حاصله متفاوت است؛ به‌نحوی که می‌تواند منجر به ناپایداری کشاورزی گردد. اگر افزایش مصرف انرژی در بخش کشاورزی ادامه پیدا کند، تنها شانس تولیدکنندگان برای افزایش محصول کل، استفاده از نهاده بیش‌تر به‌جای گسترش زمین‌های قابل‌کشت خواهد بود. لذا مصرف انرژی در کشاورزی به‌صورت یک مسئله درآمده است. یکی از روش‌های بسیار مفید در تحلیل و ارزیابی پایداری کشاورزی، استفاده از انرژی به‌عنوان ابزار محاسبه می‌باشد (Cecconc & Giovanardi, 2002). کارایی مصرف انرژی[1] در کشاورزی باعث می‌شود که مشکلات محیطی به حداقل رسیده، از نابودی منابع جلوگیری شود و کشاورزی پایدار را به‌عنوان یک سیستم تولیدی اقتصادی تقویت کند. بنابراین مصرف انرژی یکی از شاخص‌های کلیدی برای توسعه بیش‌تر روش‌های کشاورزی پایدار است (Kizilaslan, 2009). از آن‌جا که مطالعات اندکی به بررسی میزان مصرف انرژی در تولید سیب‌زمینی در کشور پرداخته است، هدف از این مطالعه تعیین میزان انرژی ورودی و خروجی و نیز تعیین میزان کارایی و بهره‌وری انرژی در تولید سیب‌زمینی می‌باشد. کوچکی و حسینی (Koocheki & Hossieni, 1994) راندمان زراعت سیب‌زمینی در مزارع نیشابور را 0/7 محاسبه نموده‌اند. به‌عبارت دیگر، به‌ازای هر واحد انرژی مصرفی حدود 0/7 واحد انرژی خروجی در این سیستم وجود دارد. لازم به ذکر است که عدد 0/7 براساس درصد هر کدام از مواد تشکیل‌دهنده غده سیب‌زمینی با احتساب عملکرد غده 16000 کیلوگرم در هکتار به‌دست آمده است. پژوهشگران فوق راندمان انرژی زراعت سیب‌زمینی در مزارع مشهد را 0/75 و با احتساب عملکرد غده 20000 کیلوگرم در هکتار محاسبه نموده‌اند. پیمتال و همکاران (Pirmental et al., 1983) با بررسی کارایی انرژی نظام کشت ارگانیک و متداول در محصولات ذرت، گندم، سیب‌زمینی گزارش کردند که کارایی انرژی نظام ارگانیک محصولات ذرت و گندم 29 الی 70 درصد نسبت به نظام متداول افزایش دارد و برعکس در سیب‌زمینی کارایی انرژی نظام متداول بین 70 الی 93 درصد بیش‌تر از نظام ارگانیک می‌باشد. هم‌چنین ایزدخواه و همکاران (Izadkhah et al., 2010) ارزیابی و مقایسه کارایی انرژی دو نظام کشت متداول و مکانیزه در مزارع سیب‌زمینی استان آذربایجان شرقی گزارش کردند که میزان کل انرژی عوامل و نهاده‌های به‌کار برده شده در سیستم کشت متداول برابر 60783/24 مگاژول در هکتار 44/43٪ انرژی مستقیم، 55/57% غیرمستقیم، 46/96٪ انرژی قابل تجدید و 53/03٪ انرژی غیرقابل تجدید و میزان انرژی خروجی 148268/12 مگا ژول در هکتار و در سیستم کشت مکانیزه میزان کل انرژی عوامل و نهاده‌های به‌کار برده شده 52635/73 مگاژول در هکتار (54/17٪ انرژی مستقیم، 45/83% انرژی غیرمستقیم، 39/01٪ انرژی قابل تجدید و 60/94 انرژی غیرقابل تجدید) و میزان انرژی خروجی آن 232992/76 مگاژول در هکتار است. میزان کارایی انرژی (نسبت ستاده به نهاده) در روش کشت متداول 2/44 و در روش کشت مکانیزه برابر 4/43 محاسبه گردید. هم‌چنین مقدار انرژی خالص تولیدی، انرژی ویژه و بهره‌وری انرژی سیب‌زمینی در روش کشت مکانیزه در هر هکتار به‌ترتیب برابر 180357/03 مگاژول کیلوگرم و 1/04 کیلوگرم مگاژول و در روش

1- Energy use efficiency

کشت متداول به‌ترتیب 87484/88 مگاژول، 1/74 مگاژول کیلوگرم و 0/58 کیلوگرم مگاژول در هکتار محاسبه شد. داده‌ها نشان دادند که بیش‌ترین انرژی مصرفی در روش کشت متداول به‌ترتیب آبیاری 24/9%، کود نیتروژن 22/36 %، بذر سیب‌زمینی 19/72٪ و بیش‌ترین انرژی مصرفی در روش کشت مکانیزه به‌ترتیب کود نیتروژن و ماشین‌آلات کشاورزی بود. که این می‌تواند ناشی از شرایط آب‌وهوایی، توپوگرافی زمین و حتی مسائل خاص به فرهنگ منطقه باشد. پیمنتال و همکاران (Pimental et al., 1983) با بررسی کارایی انرژی نظام ارگانیک و متداول در محصولات ذرت، گندم و سیب‌زمینی گزارش کردند که کارایی نظام ارگانیک محصولات ذرت و گندم 70-29 درصد نسبت به نظام متداول افزایش دارد و برعکس در سیب‌زمینی کارایی انرژی نظام متداول بین 93-70 درصد بیش‌تر از نظام ارگانیک می‌باشد. بالانس انرژی در تولید سیب‌زمینی توسط محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2008) در استان اردبیل انجام شد. آن‌ها بیش‌ترین مصرف انرژی را با 32/6 درصد مربوط به کود نیتروژن دانستند و پس از آن مصرف سوخت‌های فسیلی با 15/8 درصد بیش‌ترین سهم مصرف انرژی را در هکتار داشت. هم‌چنین آب‌آبیاری و بذر مصرفی در رده‌های بعدی بودند. مصرف کل انرژی در هکتار برابر 81624 مگاژول بود و عملکرد سیب‌زمینی برابر 28453 کیلوگرم در هکتار معادل 102432 مگاژول انرژی بود، بنابراین، کارایی مصرف انرژی، 1/25 به‌دست آمد. این مطالعه به‌منظور ارزیابی کارایی مصرف انرژی در سه سیستم آبیاری در سطح 11 مزرعه شهرستان تربت حیدریه منطقه جلگه رخ در سال 93-1392 اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور برآورد میزان انرژی‌های ورودی و خروجی در مزارع تولید سیب‌زمینی، 11 مزرعه در منطقه جلگه رخ از توابع شهرستان تربت حیدریه واقع در استان خراسان رضوی به وسعت 1022 کیلومتر مربع در عرض جغرافیایی 35 درجه و 19 دقیقه تا 35 درجه و 38 دقیقه و در طول جغرافیایی 57 درجه و 58 دقیقه تا 59 درجه انتخاب و اطلاعات مربوط به نهاده‌های ورودی و عملکرد سیب‌زمینی مربوط به سال زراعی 93-1392 در قالب پرسشنامه‌هایی از کشاورزان مربوطه استخراج گردید. آب‌وهوای منطقه دارای تابستان‌های معتدل و زمستان‌های تقریباً سرد است. کمینه و بیشینه دمای هوا به‌ترتیب منفی 22 و مثبت 35 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میزان بارندگی به‌طور متوسط 285 میلی‌متر گزارش شده است.

مقایسه با استفاده از طرح کاملاً تصادفی نامتعادل انجام شد که در آن، نوع سیستم آبیاری به‌کار برده شده در مزارع به‌عنوان تیمار و تکرار آزمایش نیز شامل مزارعی که با هر سیستم آبیاری مطابقت داشت، در نظر گرفته شد. روش‌های آبیاری شامل: آبیاری بارانی (دو تکرار)، آبیاری قطره‌ای (شش تکرار) و آبیاری نشتی (سه تکرار) بود. داده‌ها از طریق مصاحبه شخصی (چهره به چهره) با کشاورزان و یادداشت‌برداری از عملیات مختلف زراعی و تکمیل پرسشنامه جمع‌آوری شد.

مشخصات عمومی مزارع مورد بررسی در جدول 1 و اطلاعات مربوطه به نوع نهاده‌های ورودی و معادل‌های انرژی برای هر گروه از نهاده‌ها در جدول 2 نشان داده شده است.

معمولاً انرژی مصرفی در کشاورزی به چهار گروه انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم‌بندی می‌شوند (Kazemi et al., 2015). در این مطالعه انرژی مستقیم شامل نیروی انسانی، سوخت مصرفی، ماشین‌آلات و آب‌آبیاری در نظر گرفته شد. درحالی‌که انرژی غیرمستقیم شامل بذر، کودهای شیمیایی و ماشین‌آلات مورد استفاده در تولید سیب‌زمینی است. انرژی تجدیدپذیر شامل نیروی انسانی، بذر، کود دامی و انرژی‌های تجدیدناپذیر شامل سوخت، کود، آفت کش‌ها و ماشین‌آلات کشاورزی بود. با برآورد کل انرژی ورودی و خروجی، شاخص‌های ارزیابی انرژی از قبیل نسبت یا کارآیی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه، عملکرد انرژی خالص برای هر مزرعه با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند.

جهت محاسبه شاخص‌های انرژی از معادلات زیر استفاده شد (Mohammadi et al., 2008; Mohammadi & Omidi, 2010)

کارایی مصرف انرژی[1]

$$ER = EO/EI$$

که در آن، RE: نسبت یا کارایی انرژی، عددی است بدون واحد، EO: مجموع انرژی خروجی از مزرعه (مگاژول در هکتار) و EI: انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) است.

بهره‌وری انرژی[2]

$$EP = GY/EI$$

که EP: بهره‌وری انرژی (مگاژول بر کیلوگرم)، GY: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و EI: مجموع انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) است.

1- Energy use efficiency
2- Energy productivity

انرژی ویژه[1] $SE= EI/GY$

که در آن، SE: انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم)، EI: مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) و GY: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) است.

عملکرد انرژی خالص[2] $NEY= EO – EI$

که در این معادله، 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.

در این تحقیق ورودی مواد شیمیایی که شامل علف‌کش، قارچ‌کش، کودهای شیمیایی و نوع آن، نیروی کار انسانی برای انجام هرکار و ساعت کارکرد نیروی انسانی، بذر، کود حیوانی، اطلاعات مربوط به ماشین‌آلات شامل نوع دقیق ماشین مورد استفاده به همراه اطلاعات مربوط به وزن و شرکت سازنده، تعداد دفعاتی که هر ماشین عملیات را انجام داده و مصرف سوخت هر ماشین به‌طور جداگانه برای هر عملیات و زمانی‌که آن ماشین برای انجام عملیات مورد نظر صرف کرده است تعیین گردید. اطلاعات مربوط به آبیاری شامل تعداد دفعات آبیاری و زمانی که برای آبیاری هر هکتار صرف شده بود، به همراه یک کپی از قبض برق هر مزرعه به‌منظور تعیین کیلووات ساعت برق مصرفی مزرعه در صورتی که از موتور برقی برای استخراج آب استفاده می‌شد جمع‌آوری گردید. در مورد پمپ‌ها با موتور دیزلی، انرژی مصرفی براساس گازووئیل مصرفی تعیین گردید. هم‌چنین مقدار خروجی که عملکرد غده سیب‌زمینی بود مشخص شد.

در مرحله بعد انرژی معادل مربوط به هر پارامتر، بر حسب مگاژول بر واحد، که از مقالات مشابه استخراج شده تعیین گردید. جدول 2 برای محاسبه مقدار انرژی مصرفی در انجام عملیات مختلف یا محتوای انرژی موجود در نهاده‌ها، از هم‌ارزها و فرمول‌های استخراج شده از منابع استفاده شد. کارایی انرژی سیستم‌های کشاورزی با محاسبه نسبت کل انرژی ورودی به خروجی به‌دست آمد. اطلاعات پایه مربوط به انرژی‌های ورودی و عملکرد غده سیب‌زمینی‌با نرم‌افزار SPSS آنالیز شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که به‌جز اثر بازده انرژی، بهره‌وری و انرژی ویژه، سایر پارامترهای مورد بررسی از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول 4).

نیروی انسانی

براساس نتایج تجزیه واریانس مصرف انرژی انسانی در روش‌های آبیاری تفاوت معنی‌داری داشت (جدول4). بیش‌ترین مقدار مصرف انرژی برای نیروی انسانی مربوط به آبیاری نشتی و پس از آن روش آبیاری قطره‌ای بالاترین مصرف انرژی نیروی انسانی را داشت. مصرف انرژی انسانی در آبیاری نشتی 1/95 برابر آبیاری بارانی بود. بالاتر بودن مصرف انرژی در روش نشتی به‌دلیل سنتی‌تر بودن روش و به‌کار بردن نیروی انسانی بیش‌تر جهت دهنه‌بندی و ریختن کاه‌وکلش در طی مسیر آبیاری بود. در روش آبیاری بارانی به‌دلیل مکانیزه بودن سیستم آبیاری مصرف انرژی برای نیروی انسانی کم‌ترین مقدار بود (جدول 5). در بررسی مزارع سیب‌زمینی در استان کردستان (دهگلان) میانگین معادل کل انرژی مصرفی آبیاری در روش سنتی نسبت به روش آبیاری مکانیزه 1/19 برابر بیش‌تر بود (Hossein Panahi & Kafi, 2012).

سوخت فسیلی

براساس نتایج تجزیه واریانس تفاوت مقدار مصرف انرژی سوخت فسیلی مورد استفاده بین روش‌های آبیاری معنی‌دار بود (جدول4). بیش‌ترین میانگین انرژی‌های مصرفی سوخت فسیلی مربوط به روش آبیاری نشتی و پس از آن به‌ترتیب آبیاری‌های بارانی و قطره‌ای بود (جدول5). مصرف انرژی سوخت در روش آبیاری نشتی نسبت به آبیاری قطره‌ای 1/34 برابر و نسبت به روش آبیاری بارانی 1/32 برابر بیش‌تر بود. مصرف بیش‌تر انرژی سوخت در روش آبیاری نشتی به‌دلیل استفاده بیش‌تر از ماشین‌آلات جهت عملیات داشت در مقایسه با روش‌های بارانی و قطره‌ای کم‌تر بود. نوع ادوات و ماشین‌آلات زراعی ارتباط مستقیمی با میزان مصرف سوخت در کل عملیات تولید دارد (Soltani et al., 2013). سهم انرژی مصرفی روش آبیاری نشتی (37/84درصد) نسبت به کل انرژی‌های مصرفی ورودی به‌ترتیب بالاتر از روش آبیاری بارانی (24/73) و قطره‌ای (26/68) بود (جدول 6).

1- Specific energy
2- Net energy

جدول1- مشخصات عمومی مزارع

Table 1- General specifications of farms

نهاده‌ها	مزرعه1 Farm1	مزرعه2 Farm2	مزرعه3 Farm3	مزرعه4 Farm4	مزرعه5 Farm5	مزرعه6 Farm6	مزرعه7 Farm7	مزرعه8 Farm8	مزرعه9 Farm9	مزرعه10 Farm10	مزرعه11 Farm11
تاریخ کاشت Planting date	2.27	3.1	3.1	2.1	3.1	2.3	3.1	3.13	2.1	2.1	3.1
روش آبیاری Irrigation method	بارانی Sprinkle	قطره‌ای Drip	قطره‌ای Drip	نشتی Leakage	نشتی Leakage	قطره‌ای Drip	قطره‌ای Drip	قطره‌ای Drip	قطره‌ای Drip	قطره‌ای Drip	بارانی Sprinkle
مدار آبیاری Irrigation period (day)	7	5	8	12	5	5	2.5	4.5	5	5	8
تاریخ برداشت Harvesting time	8.1	7.3	6.1	6.28	7.1	7.3	7.15	7.1	6.5	7.1	8.1

جدول 2- معادل‌های انرژی برای نهاده‌های ورودی و خروجی در تولید سیب‌زمینی در جلگه رخ

Table 2- Energy equivalent of inputs and outputs for potato production in Jolgehrookh

مشخصات Particulars	معادل انرژی Energy equivalent ($MJ.unit^{-1}$)	منبع Reference
ورودی‌ها Inputs		
نیروی انسانی Human labor (hr)	1.96	(Panahi et al., 2012)
ادوات و ماشین‌آلات Machinery (hr)	62.7	(Panahi et al., 2012)
سوخت دیزلی Diesel fuel (L)	56.31	(Panahi et al., 2012)
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers (kg)		
کود نیتروژن Nitrogen (N)	66.14	(Panahi et al., 2012)
کود فسفات Phosphate (P_2O_5)	12.44	(Panahi et al., 2012)
کود پتاسیم Potassium (K_2O)	11.15	(Panahi et al., 2012)
کود حیوانی Farmyard manure (kg)	0.30	(Panahi et al., 2012)
مواد شیمیایی Chemicals (kg)		(Izadkhah et al., 2010)
علف‌کش Herbicide	238	(Izadkhah et al., 2010)
قارچ‌کش Fungicide	92	(Izadkhah et al., 2010)
حشره‌کش Insecticide	199	(Izadkhah et al., 2010)
ریزمغذی‌ها Micronutrients (kg)	120	(Izadkhah et al., 2010)
الکتریسیته آب‌آبیاری Irrigation water Electricity ($kw.hr^{-1}$)	1.02	(Izadkhah et al., 2010)
بذر Seeds (potato) (kg)	3.6	(Izadkhah et al., 2010)
خروجی Output		
سیب‌زمینی Potato (kg)	3.6	(Panahi et al., 2012)

جدول 3- میانگین مصرف نهاده‌ها و خروجی در سیستم‌های آبیاری مختلف در مزارع سیب‌زمینی جلگه رخ

Table 3- Average inputs and output in different irrigation systems of potato fields in Jolgehrookh.

نهاده‌ها	آبیاری بارانی Sprinkle irrigation	آبیاری قطره‌ای Drip irrigation	آبیاری نشتی Leakage irrigation
نیروی انسانی Human labor (hr)	99	162.83	192
سوخت دیزلی Diesel fuel ($L.ha^{-1}$)	26380.96	26099.79	35018.27
الکتریسیته Electricity ($kw.hr^{-1}$)	3873.48	8482.6	4127
ادوات و ماشین‌آلات Machinery ($kw.hr^{-1}$)	48906	27835.89	20577
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers			
کود نیتروژن Nitrogen (N) ($kg.ha^{-1}$)	210	308.33	328.33
کود فسفات Phosphate (P_2O_5) ($kg.ha^{-1}$)	215	125	200
کود پتاسیم Potassium (K_2O) ($kg.ha^{-1}$)	51	150.83	50
کود روی Zinc ($ZnSO_4$) ($kg.ha^{-1}$)	13.6	4.1	2.78
کود حیوانی Farmyard manure ($kg.ha^{-1}$)	0	6000	0
علف‌کش Herbicide ($kg.ha^{-1}$)	0	0.77	0.52
قارچ‌کش Fungicide ($kg.ha^{-1}$)	4.5	6.5	4
حشره‌کش Insecticide ($kg.ha^{-1}$)	0	2.37	1.58
کنه کش Acaricide ($kg.ha^{-1}$)	0	1.2	2
دیسک Disk ($h.ha^{-1}$)	0	0.5	0.33
شخم Tillage ($h.ha^{-1}$)	1.5	2.17	1.67
لولر Leveler ($h.ha^{-1}$)	1.5	2.3	0.67
بذر Seeds (potato) ($kg.ha^{-1}$)	4255	4750	4750
خروجی **Output**			
سیب‌زمینی Potato ($kg.ha^{-1}$)	45200	42000	38600

جدول 4- تجزیه واریانس اثر روش‌های مختلف آبیاری بر اجزا و پارامترهای انرژی در تولید سیب زمینی

Table 4- Variance analysis of different irrigation methods on energy components and parameters in potato production system

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares: انرژی نیروی انسانی Energy of human labor	انرژی سوخت Energy of fuel	انرژی الکتریسیته Energy of electricity	انرژی کود نیتروژن Energy of nitrogen fertilizer
روش آبیاری Irrigation method	2	1321672.54*	856453212.28*	3741274.91*	8749599.51*
خطا Error	9	2481885.78	713245327.68	993225.4	4846991.14
ضریب تغییرات C.V (%)		22.65	25.36	307.34	28.56

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5 و یک درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد.

*, ** and ns: Significant at the 5% and 1% probability levels and not significant, respectively.

ادامه جدول 4- تجزیه واریانس اثر روش‌های مختلف آبیاری بر اجزا و پارامترهای انرژی در تولید سیب زمینی

Continued table 4- Variance analysis of different irrigation methods on energy components and parameters in potato production system

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares: انرژی کود فسفات Energy of phosphate fertilizer	انرژی کود پتاسیم Energy of potassium fertilizer	انرژی کود حیوانی Energy of farmyard manure	انرژی کود روی Energy of zinc fertilizer
روش آبیاری Irrigation method	2	3909.11*	3436.48*	1363181.85*	8.64*
خطا Error	9	66815.31	2142.14	3748750.1	1.44
ضریب تغییرات C.V (%)		23.42	29.42	12.34	15.25

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5 و یک درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد.

*, ** and ns: Significant at the 5% and 1% probability levels and not significant, respectively.

ادامه جدول 4- تجزیه واریانس اثر روش‌های مختلف آبیاری بر اجزا و پارامترهای انرژی در تولید سیب زمینی

Continued table 4- Variance analysis of different irrigation methods on energy components and parameters in potato production system

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares: انرژی سایر کودها Energy of other fertilizers	انرژی علف‌کش‌ها Energy of herbicides	انرژی حشره‌کش‌ها Energy of inseticides	انرژی قارچ‌کش‌ها Energy of fungicides	انرژی کنه‌کش‌ها Energy of acaricides
روش آبیاری Irrigation method	2	1175997.32*	24954.53*	16825.0*	75816.08*	19581.85*
خطا Error	9	292164.25	8137.21	111258.57	224254.65	5385.1
ضریب تغییرات C.V (%)		27.43	27.34	14.64	22.61	18.65

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5 و یک درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد.

*, ** and ns: Significant at the 5% and 1% probability levels and not significant, respectively.

ادامه جدول 4- تجزیه واریانس اثر روش‌های مختلف آبیاری بر اجزا و پارامترهای انرژی در تولید سیب زمینی

Continued table 4- Variance analysis of different irrigation methods on energy components and parameters in potato production system

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares			
		انرژی بذر Energy of Seed	انرژی ماشین‌آلات Energy of Machinery	انرژی ورودی Energy of Input	انرژی خروجی Energy of Output
روش آبیاری Irrigation method	2	2642756.77*	5812523415.5*	1959246285.5*	50934561241.8*
خطا Error	9	2227502.76	1981256421.81	34721565481.3	22821675421.2
ضریب تغییرات C.V (%)	3	21.35	24.26	32.15	24.64

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5 و یک درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد.

*, ** and ns: Significant at the 5% and 1% probability levels and not significant, respectively.

ادامه جدول 4- تجزیه واریانس اثر روش‌های مختلف آبیاری بر اجزا و پارامترهای انرژی در تولید سیب زمینی

Continued table 4- Variance analysis of different irrigation methods on energy components and parameters in potato production system

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares			
		بازده انرژی Energy use efficiency	انرژی خالص Net energy	بهره‌وری انرژی Energy productivity	انرژی ویژه Specific energy
روش آبیاری Irrigation method	2	0.005 ns	8638351562.5*	0.001 ns	6.89 ns
خطا Error	9	0.187	7161285964.24	0.015	4.04
ضریب تغییرات C.V (%)		25.36	14.21	26.78	23.24

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5 و یک درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد.

*, ** and ns: Significant at the 5% and 1% probability levels and not significant, respectively.

الکتریسیته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تفاوت مقدار مصرف الکتریسیته در بین روش‌های آبیاری معنی‌دار بود (جدول4). میزان مصرف الکتریسیته در روش آبیاری قطره‌ای بیش‌ترین مقدار را نسبت به دو روش دیگر داشت. پس از روش قطره‌ای، روش‌های نشتی و بارانی به‌ترتیب بیش‌ترین مقدار مصرف الکتریسیته را داشتند (جدول 5). سهم مصرف الکتریسیته از انرژی‌های کل ورودی نیز به‌ترتیب به روش آبیاری قطره‌ای، نشتی و بارانی اختصاص یافت. در روش آبیاری بارانی در منطقه جلگه رخ به‌دلیل قدیمی‌تر بودن طراحی سیستم آبیاری از سیستم توزیع و پمپاژ مستقیم از چاه استفاده شده است، درحالی‌که در روش‌های دیگر از ایستگاه پمپاژ مجدد برای افزایش دبی آب در طراحی‌های جدیدتر بهره گرفته شده است؛ لذا میزان مصرف الکتریسیته در سیستم آبیاری بارانی کم‌ترین و در دو سیستم دیگر بیش‌تر بود.

مصرف کودهای نیتروژنه، فسفره و پتاسه

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین مقادیر انرژی‌های مصرفی کودهای نیتروژنه، فسفره و پتاسه در روش‌های مختلف آبیاری بود (جدول4). بیش‌ترین انرژی‌مصرفی کودهای - نیتروژنه مربوط به‌روش آبیاری نشتی بود و روش‌های آبیاری قطره‌ای

و بارانی از این نظر در رده‌های بعدی قرارگرفتند (جدول 5). در روش آبیاری نشتی مقادیر مصرف کودهای نیتروژن به‌دلیل سنتی‌تر بودن روش کشت بالاتر است. در روش بارانی به‌دلیل مکانیزه بودن عملیات و توزیع کود توسط سیستم آبیاری کم‌ترین مصرف انرژی کودهای نیتروژن را داشت. به همین دلیل نیز سهم انرژی مصرفی برای کودهای نیتروژنه از کل انرژی‌های ورودی، در آبیاری نشتی بیش‌ترین درصد و آبیاری بارانی کم‌ترین مقدار بود. هم‌چنین در سیستم آبیاری قطره‌ای، به‌دلیل تعداد دفعات استفاده از کودهای نیتروژنه در داخل سیستم آبیاری، انرژی حاصل از مصرف کودهای نیتروژنه در رده دوم قرار گرفت. در بین کودهای مصرفی، بیش‌ترین مصرف انرژی مربوط به کودهای نیتروژنه بود. حسین‌پناهی و کافی (Hossein Panahi & Kafi, 2012) گزارش کردند که در میان مواد شیمیایی مصرفی کودهای شیمیایی بیش‌ترین میزان انرژی مصرفی را با اختصاص 40/85 درصد از کل انرژی‌های ورودی و در بین کودهای شیمیایی مصرفی، کود نیتروژن با اختصاص31 /36 از کل انرژی‌های ورودی، بیش‌ترین مصرف انرژی را داشتند. بازوبندی و همکاران (Bazobandi et al., 2013) در بررسی سیستم‌های مدیریتی کشت ذرت گزارش کردند که پس از آبیاری بیش‌ترین انرژی مصرفی مربوط به استفاده از کودها به‌خصوص کود نیتروژن است، به‌طوری که انرژی ورودی از طریق استفاده از کودها 15/59 درصد از انرژی‌های ورودی را تشکیل می‌دهد و سهم نیتروژن از این مقدار 4/38 درصد بود. میزان مصرف کودهای فسفره درآبیاری قطره‌ای کم‌ترین مقدار و در آبیاری بارانی و نشتی به‌ترتیب در رده‌های بعدی قرارداشت (جدول 5).

در منطقه جلگه رخ، در سیستم آبیاری قطره‌ای کم‌تر از کودهای فسفره استفاده می‌شود و بیش‌تر، سایر کودها در مخازن سیستم آبیاری قطره‌ای استفاده می‌گردد، امّا در روش‌های دیگر، کودهای فسفره به‌صورت قبل از کاشت و در مقادیر بیش‌تر استفاده می‌شود. انرژی استفاده از کودهای پتاسه در سیستم آبیاری قطره‌ای بالاترین و در دو سیستم آبیاری دیگر تقریباً در یک حد بود (جدول 5). در سیستم آبیاری قطره‌ای، مصرف کودهای محلول پتاسه در انتهای فصل کشت بسیار رایج می‌باشد و لذا مقدار مصرف آن تقریباً سه برابر دو روش دیگر است و این در حالی است که در سایر روش‌های آبیاری، در انتهای فصل رشد سیب‌زمینی امکان ورود به داخل کانوپی مزرعه جهت کود سرک پتاسیم وجود ندارد و لذا مصرف آن تنها به قبل از کشت محدود می‌شود. میزان انرژی مصرفی کود پتاسه نسبت به کودهای نیتروژنه و فسفره کم‌ترین مقدار بوده است. که این نتیجه با نتایج قهدریجانی و همکاران (Ghahridjani et al., 2009) و حسین پناهی و کافی (Hossein Panahi & Kafi, 2012) مطابقت دارد. نتایج نشان داد که الگوی کاهش مصرف پتاس در مزارع سنتی مشاهده شد که این امر به‌دلیل ناآگاهی کشاورزان از اثرات مفید کودهای پتاسیم جهت مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی و نیز افزایش خاصیت انباری سیب‌زمینی بوده است (Hossein Panahi & Kafi, 2012).

کودهای دامی، کود روی و سایر کودهای شیمیایی

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده معنی‌داری تفاوت مقادیر انرژی‌های مصرفی کودهای دامی، کود روی و سایر کودهای شیمیایی در روش‌های آبیاری مختلف بود (جدول 4). مصرف کودهای دامی در روش آبیاری قطره‌ای رایج بوده و در دو روش دیگر این کودها استفاده نشده است (جدول 5). انرژی مصرفی کود روی در روش قطره‌ای بیش‌ترین و پس از آن روش‌های بارانی و نشتی در رده‌های بعدی قرار گرفتند. مصرف سایر کودهای شیمیایی در روش بارانی بیش‌ترین بود و پس از آن روش قطره‌ای بالاترین میزان مصرف انرژی را داشت (جدول 5). حسین‌پناهی و کافی (Hossein Panahi & Kafi, 2012) گزارش کردند که مقدار انرژی مصرفی برای کود دامی کم‌ترین مقدار در بین انرژی‌های ورودی بود که این مسئله نشان‌دهنده عدم رواج یافتن فرهنگ مصرف کودهای دامی به‌جای شیمیایی بود. این محققین سهم کودهای دامی را 1/8 درصد از کل انرژی‌های مصرفی ورودی گزارش کردند. در آزمایش حاضر متأسفانه این سهم برای روش آبیاری بارانی و نشتی صفر و در آبیاری قطره‌ای 2/81 درصد از کل ورودی‌ها بود. در کانادا هوئپنر و همکاران (Hoeppner et al., 2005) نشان دادند که انرژی ورودی انرژی ورودی نظام‌های ارگانیک که عمدتاً از کودهای دامی استفاده می‌شود تقریباً 50 درصد کم‌تر از سیستم‌های رایج می‌باشد.

آفت‌کش‌ها

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده معنی‌داری تفاوت مقادیر انرژی‌های مصرفی آفت کش‌ها (علف‌کش، حشره‌کش، قارچ‌کش و کنه‌کش) در روش‌های آبیاری بود (جدول 4). انرژی مصرفی ناشی از

مصرف علف‌کش‌ها در روش قطره‌ای بیش‌ترین و آبیاری نشتی در رده بعدی قرار گرفت. در سیستم آبیاری بارانی از علف‌کش‌ها استفاده نشد (جدول 5). سهم انرژی مصرفی علف‌کش در روش‌های آبیاری قطره‌ای و نشتی از کل انرژی‌های ورودی به‌ترتیب 0/21 و 0/14 درصد بود. ایزد خواه و همکاران (Izadkhah et al., 2010) گزارش کردند که سهم انرژی ناشی از مصرف علف‌کش از کل انرژی‌های ورودی در روش کشت سنتی 1/18 و در روش مکانیزه 1/36 درصد بود. این مقادیر برای حشره‌کش‌ها به‌ترتیب 0/94 و 0/86 بود. در کشت‌های سنتی و رایج منطقه جلگه رخ و در روش‌های آبیاری مورد مطالعه سهم انرژی‌های آفت کش‌ها کم‌تر از مقادیر ذکر شده توسط این محققین بود که نشان‌دهنده فرهنگ مصرف پایین آفت کش‌ها در منطقه است.

انرژی مصرفی حشره‌کش‌ها در آبیاری قطره‌ای بیش‌ترین و پس از آن آبیاری نشتی و بارانی در رده‌های بعدی قرار داشتند (جدول 5). سهم انرژی مصرفی حشره‌کش‌ها از کل انرژی ورودی در سیستم آبیاری قطره‌ای بیش‌ترین بود و آبیاری‌های نشتی و بارانی در رتبه‌های بعد بودند. از نظر میزان مصرف قارچ‌کش‌ها آبیاری قطره‌ای بالاترین میزان مصرف انرژی را به خود اختصاص داد و دو روش آبیاری دیگر تقریباً مشابه یکدیگر میزان مصرف انرژی ناشی از قارچ‌کش‌ها را داشتند (جدول 5). امّا از کل انرژی‌های ورودی، سهم انرژی قارچ‌کش در آبیاری قطره‌ای بیش‌ترین و آبیاری بارانی کم‌ترین بود. مصرف کم‌تر قارچ‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها و هم‌چنین کنه‌کش‌ها در سیستم آبیارانی بارانی نسبت به دو سیستم دیگر به‌دلیل شستشوی مداوم خاک روی برگ‌ها در این سیستم است. نشست خاک در دو سیستم آبیاری نشتی و قطره‌ای عامل مهمی در گسترش قارچ‌ها و کنه‌ها است و نیاز به مصرف آفت‌کش‌ها را ضروری می‌سازد. هم‌چنین کشاورزان در اطراف مزارع آبیاری بارانی، برای کنترل سرعت باد اقدام به کشت گیاهانی نظیر ذرت می‌کنند که نقش گیاه تله و یا انحرافی را در مورد آفات و بیماری‌ها بازی می‌کند و مصرف قارچ‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها را کاهش می‌دهد. مصرف قارچ‌کش‌ها نیز در این منطقه سهم کم‌تری نسبت به نتایج ایزدخواه و همکاران (Izadkhah et al., 2010) داشت. قهدریجانی و همکاران (Ghahridjani et al., 2009) در بررسی کشت سیب‌زمینی در اصفهان گزارش کردند که انرژی ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها کم‌ترین مقدار را در بین انرژی‌های ورودی داشت.

ماشین‌آلات و بذر

براساس نتایج تجزیه واریانس بین مقادیر انرژی‌های مصرفی ماشین‌آلات و بذر در روش‌های مختلف آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول 4). انرژی مصرفی ماشین‌آلات در روش آبیاری بارانی بیش‌ترین و در روش‌های قطره‌ای و نشتی در رده‌های بعدی قرارگرفتند (جدول 5). در روش آبیاری بارانی انرژی مصرفی ماشین‌آلات در حدود نیمی از سهم انرژی مصرفی ورودی‌های کل بود (جدول 5). در روش نشتی به‌دلیل عدم استفاده از تجهیزات مکانیزه آبیاری، انرژی ماشین‌آلات کم‌ترین مقدار بوده و در روش‌های سنتی، ماشین‌آلات جهت خاک‌ورزی، برداشت و سیستم آبیاری استفاده شده است، لذا میزان انرژی بیش‌تری مصرف شده است. ارجمند و همکاران (Arjmand et al., 2004) در ارزیابی کشت سیب‌زمینی در آذربایجان شرقی گزارش کردند که انرژی بذر، ماشین‌آلات و سوخت بالاترین میزان را در انرژی‌های مصرفی کل به خود اختصاص دادند. انرژی ناشی از بذر مصرفی در روش آبیاری قطره‌ای بالاترین و در آبیاری بارانی کم‌ترین مقدار بود. سهم انرژی بذر مصرفی از کل انرژی‌های ورودی در آبیاری نشتی بیش‌ترین و در آبیاری بارانی کم‌ترین بود. انرژی ناشی از ساخت ماشین‌آلات آبیاری قطره‌ای 6868 مگاژول برهکتار و در آبیاری بارانی 2756 مگاژول بر هکتار بود.

کل انرژی‌های ورودی و خروجی

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار مقادیر کل انرژی‌های ورودی و خروجی بین روش‌های آبیاری بود (جدول4). میزان کل انرژی‌های ورودی و خروجی در روش آبیاری بارانی بیش‌ترین مقدار و پس از آن روش‌های آبیاری قطره‌ای و نشتی در رده‌های بعد قرار گرفتند (جدول 7). افزایش میزان انرژی‌های ورودی در آبیاری بارانی به‌دلیل افزایش انرژی ناشی از مصرف ماشین‌آلات، انرژی‌های مصرفی ساخت دستگاه‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای و افزایش انرژی خروجی به‌علت بیش‌تر بودن عملکرد غده سیب‌زمینی در آبیاری بارانی و قطره‌ای نسبت به سایر روش‌ها بوده است.

کارایی مصرف انرژی

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بازده انرژی در روش‌های آبیاری بود (جدول 4). بازده انرژی روش آبیاری قطره‌ای

بیش‌تر از سایر روش‌های آبیاری بود و پس از آن کارایی روش نشتی و بارانی تقریباً مشابه بودند که به‌دلیل کم‌تر بودن انرژی‌های ورودی مصرفی در این روش نسبت به‌روش آبیاری بارانی و بیش‌تر بودن انرژی خروجی نسبت به روش آبیاری نشتی است (جدول 7). براساس گزارش ایزدخواه و همکاران (Izadkhah et al., 2010) میزان کارایی در کشت سیب‌زمینی متداول 2/44 و در کشت مکانیزه 4/43 بود. در روش آبیاری بارانی علی‌رغم عملکرد غده بالاتر نسبت به سایر روش‌های مورد بررسی، از کارایی مصرف انرژی کم‌تری برخوردار بود زیرا انرژی‌های ورودی مصرفی آن بیش‌تر از سایر روش‌ها بود. کوچکی و حسینی (Koocheki & Hossieni, 1994) کارایی انرژی را برای تولید چند محصول کشاورزی در استان خراسان رضوی برآورد کردند. بر مبنای محاسبات آن‌ها کارایی انرژی تولید سیب‌زمینی در مشهد و نیشابور، به‌ترتیب 0/75 و 0/7 بوده است. حاج سید هادی (Haj Seyed Hadi, 2006) نسبت انرژی را برای سیب‌زمینی 0/98 برآورد کرد.

انرژی خالص

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده معنی‌داری مقادیر انرژی خالص بین روش‌های آبیاری بود (جدول 4). انرژی خالص در آبیاری بارانی بیش‌ترین و در آبیاری نشتی کم‌ترین میزان بود. ایزد خواه و همکاران (Izadkhah et al., 2010) انرژی خالص را در کشت سنتی سیب زمینی 87484/88 مگاژول بر هکتار و در کشت مکانیزه 180357/03 مگاژول برهکتار گزارش نمودند. دلیل افزایش انرژی خالص در سیستم مکانیزه افزایش عملکرد محصول نسبت به روش سنتی و نیز کاهش انرژی‌های مصرفی ورودی در سیستم مکانیزه بود. در آزمایش حاضر انرژی‌های مصرفی ورودی در سیستم آبیاری بارانی بیش‌تر و عملکرد محصول نیز بالاتر بود. در سیستم آبیاری قطره‌ای انرژی‌های مصرفی ورودی و عملکرد غده بالاتر از سیستم نشتی بود و به این دلیل انرژی خالص نیز در آبیاری قطره‌ای بیش‌تر از نشتی بود.

بهره‌وری انرژی

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده عدم معنی‌داری مقادیر بهره‌وری انرژی بین روش‌های آبیاری معنی‌دار بود (جدول 4). میزان بهره‌وری انرژی از نظر مقدار در آبیاری قطره‌ای و نشتی بیش‌ترین و در آبیاری بارانی کم‌ترین بود (جدول 7). ایزدخواه و همکاران (Izadkhah et al., 2010) بهره‌وری انرژی در مزارع سیب‌زمینی با روش کشت متداول 0/58 و در کشت مکانیزه 1/04 گزارش کردند. در سیستم آبیاری بارانی میانگین عملکرد غده سیب‌زمینی 45 تن در هکتار بود در حالی که این مقدار در آبیاری نشتی 38 تن در هکتار بود، امّا بهره‌وری انرژی در این دو سیستم آبیاری برابر بود که دلیل آن افزایش انرژی‌های مصرفی ورودی در سیستم آبیاری بارانی نسبت به آبیاری نشتی بود. به عبارتی دیگر افزایش عملکرد غده در سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای به‌نسبت سیستم آبیاری نشتی به‌نسبت افزایش انرژی‌های ورودی‌های مصرفی در آن‌ها جبران‌کننده بهره‌وری انرژی نبود و در رابطه بهره‌وری انرژی (تقسیم عملکرد به انرژی‌های ورودی) عدد مخرج کسر (انرژی‌های ورودی) در آبیاری بارانی و قطره‌ای بیش‌تر بود، اگرچه در مجموع بهره‌وری در هر سیستم آبیاری اختلاف معنی‌دار نداشت.

بنابر گزارش ایزدخواه و همکاران (Izadkhah et al., 2010)، افزایش بهره‌وری انرژی در سیستم‌های مکانیزه بیش‌تر از سیستم‌های سنتی است، چرا که افزایش عملکرد ناشی از بهبود عملیات و نیز کاهش مصرف انرژی‌های اضافی ناشی از آبیاری و سایر عملیات می‌باشد. این نتیجه با نتیجه به‌دست آمده از آبیاری بارانی متفاوت بود چرا که در این سیستم در مزارع جلگه رخ استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی بیش‌تر استفاده شده و نیز فرسوده بودن و تعداد دفعات استفاده از ماشین‌آلات نیز دلیل افزایش انرژی‌های مصرفی سیستم آبیاری بارانی بود. عملکرد کم‌تر غده سیب‌زمینی در سیستم آبیاری نشتی نسبت به آبیاری بارانی و قطره‌ای و نیز کاهش انرژی‌های مصرفی ورودی در سیستم قطره‌ای نسبت به آبیاری بارانی و آبیاری نشتی نسبت به قطره‌ای سبب شد که بهره‌وری انرژی در سیستم‌های آبیاری‌های بارانی و قطره‌ای و نشتی اختلاف معنی‌دار نداشته باشد. بهره‌وری انرژی در مورد محصولات مختلف گوجه‌فرنگی، پنبه و چغندرقند به ترتیب 1، 0/06 و 1/53 گزارش شد (Esengun et al., 2007; Erdal et al., 2007).

انرژی ویژه

با وجود اینکه نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده عدم معنی‌داری مقادیر انرژی ویژه بین روش‌های آبیاری بود (جدول 4)، امّا میزان انرژی ویژه در آبیاری نشتی بیش‌تر از سایر روش‌ها و در آبیاری

قطره‌ای کم‌ترین بود (جدول 7). ایزدخواه و همکاران(Izadkhah et al., 2010) انرژی ویژه در مزارع سیب‌زمینی متداول و مکانیزه را به‌ترتیب 1/74 و 0/96 مگاژول در کیلوگرم گزارش کردند که از مقادیر به‌دست آمده در آزمایش حاضر بسیار کم‌تر بود (جدول 7). انرژی ویژه بیش‌تر در آبیاری نشتی ناشی از عملکرد کم‌تر آن نسبت به دو روش دیگر بود. کاناکی و همکاران (Canakci et al., 2005)، انرژی ویژه برای گندم، پنبه، ذرت، کنجد، گوجه‌فرنگی و هندوانه را به ترتیب 5/25، 11/24، 3/88، 16/21، 1/14، 0/98 و 0/97 گزارش کردند.

سهم انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم

سهم انرژی‌های مستقیم از کل انرژی‌ها در آبیاری نشتی بیش‌ترین و در آبیاری بارانی کم‌ترین بود (جدول 6). در آبیاری نشتی انرژی ناشی از سوخت مقدار زیادی از انرژی‌های مستقیم را تشکیل داد که نسبت به بقیه روش‌ها بیش‌تر بود. سهم انرژی‌های غیرمستقیم در روش‌های آبیاری بارانی بیش‌ترین مقدار بود که پس از آن روش‌های آبیاری قطره‌ای و نشتی در رده‌های بعدی قرارگرفتند (جدول 6).

جدول 6- سهم انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم در سیستم‌های آبیاری بارانی، قطره‌ای و نشتی

Table 6- Contribution of direct and indirect energies in different irrigation methods.

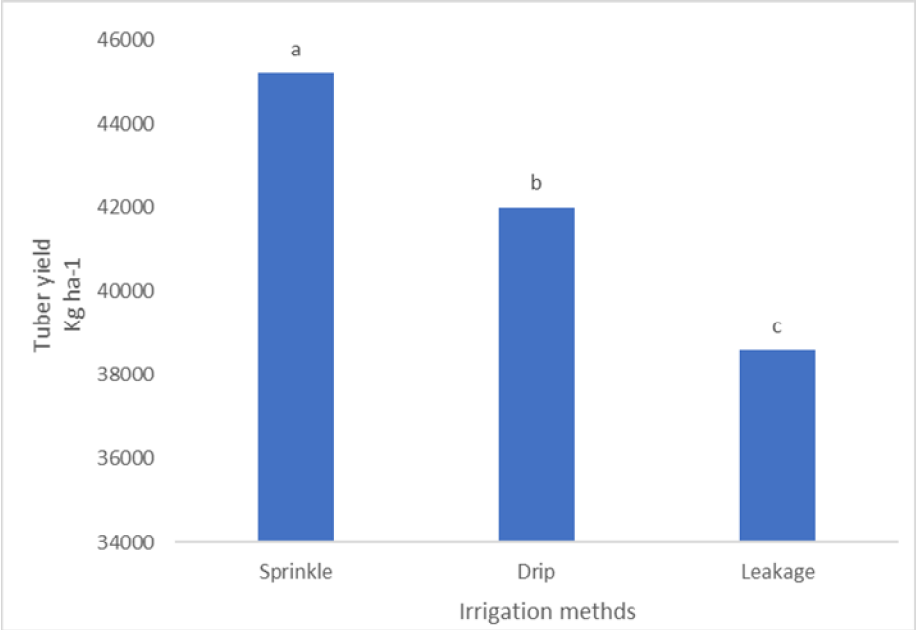
انرژی مستقیم Direct energy	آبیاری بارانی Sprinkle irrigation	آبیاری قطره‌ای Drip irrigation	آبیاری نشتی Leakage irrigation
نیروی انسانی Human labor	1.44	3.61	3.25
الکتریسیته Electricity	3.6	8.67	6.17
سوخت دیزلی Diesel fuel	24.73	27.68	37.84
انرژی مستقیم از کل Direct energy of total	29.77	39.96	47.26
انرژی غیرمستقیم **Indirect energy**			
ادوات و ماشین‌آلات Machinery	42.88	28.52	22.73
کود Fertilizer	11.17	12.75	10.8
آفتکش ها Pesticide	1.84	1.29	1.72
بذر Seed	14.34	17.48	17.49
انرژی غیرمستقیم از کل **Indirect energy of total**	70.23	60.04	52.74

دلیل بالا بودن انرژی‌های غیرمستقیم در آبیاری بارانی مربوط به انرژی ماشین‌آلات (6868 مگاژول بر هکتار)، انرژی ساخت تأسیسات بارانی(2756 مگاژول برهکتار) و پس از آن در آبیاری قطره‌ای انرژی ساخت ماشین‌آلات نسبت به سایر روش‌ها بود. کوچکی و حسینی (Koocheki & Hossieni, 1994) بیان داشتند که در یک سیستم کشاورزی رایج در حدود یک‌سوم انرژی ورودی به شکل مستقیم و دو سوم آن به شکل غیرمستقیم می‌باشد. این یافته‌ها با نتایج تحقیق حاضر در مورد روش آبیاری بارانی و تا حدودی آبیاری قطره‌ای مطابقت داشت، امّا با روش آبیاری نشتی در تناقض بود، زیرا در این مطالعه سهم انرژی‌های مستقیم در روش آبیاری نشتی 47 درصد از انرژی‌های ورودی بود. ایزد خواه و همکاران (Izadkhah et al., 2010) نشان دادند که نسبت انرژی‌های غیرمستقیم نسبت به مستقیم بیش‌تر بود. آن‌ها گزارش کردند که در کشت سیب‌زمینی رایج سهم انرژی‌های مستقیم 44/43 درصد و سهم انرژی‌های غیرمستقیم

55/57 درصد بود که این مقادیر در کشت مکانیزه به‌ترتیب 54/17 و 45/83 درصد بود.

عملکرد غده

مقایسه میانگین عملکرد غده سیب‌زمینی در روش‌های آبیاری مورد بررسی در آبیاری بارانی بیش‌ترین و در آبیاری نشتی کم‌ترین بود (شکل1). در روش آبیاری بارانی توزیع بهتر آب قابل دسترس گیاه انجام می‌شود و هم‌چنین دمای هوای کانوپی کاهش می‌یابد زیرا در شرایطی که در ماه‌های تیر و مرداد بالا بودن دمای هوا باعث کاهش تولید محصول می‌شود آبیاری بارانی از دمای کانوپی کاسته و باعث دوام برگ، افزایش فتوسنتز و عملکرد می‌شود.



شکل1- عملکرد غده سیب‌زمینی در سیستم‌های مختلف آبیاری

میانگین‌هایی که با حروف متفاوت نشان داده شده‌اند بر اساس آزمون LSD دارای اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد نیستند.

Fig. 1- Potato tuber yield in different irrigation systems

Mean fallowed by the same letters in each row, are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

پس از این روش، آبیاری قطره‌ای به‌دلیل افزایش آب قابل دسترس به ریشه‌های در حال رشد بیش‌ترین عملکرد غده را تولید نمود. ایزد خواه و همکاران (1389) در بررسی سیستم کشت سنتی و مکانیزه، عملکرد غده را به‌ترتیب 35 و 55 تن در هکتار گزارش کرد که دلیل بیش‌تر بودن عملکرد سیب‌زمینی در سیستم مکانیزه بهبود شرایط آبیاری و کوددهی گزارش شد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این آزمایش با وجود این‌که عملکرد غده سیب‌زمینی در سیستم‌های آبیاری مکانیزه بارانی و قطره‌ای بیش‌تر از سیستم آبیاری نشتی بود، امّا از آن‌جا که مجموع انرژی‌های ورودی مصرفی دو سیستم مکانیزه به‌دلیل انرژی مصرفی بیش‌تر ساخت تأسیسات و ماشین‌آلات بالاتر بود شاخص‌های انرژی شامل کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی و انرژی ویژه در این سه روش با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. البته از نظر صرفه‌جویی در مصرف آب و بهره‌وری از آن، کارایی برای سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای بالاتر خواهد بود.

جدول 5- مقایسه میانگین مقادیر معادل انرژی مصرفی در روش‌های مختلف آبیاری (مگاژول در هکتار) درمزارع سیب زمینی جلگه‌رخ

Table 5- Mean Comparison of consumption in different irrigation methods ($MJ.ha^{-1}$) of potato field in Jolgehrookh

	آبیاری بارانی Sprinkle irrigation		آبیاری قطره‌ای Drip irrigation		آبیاری نشتی Leakage irrigation	
نهاده‌ها Inputs	انرژی در هکتار Total energy equivalent ($MJ.ha^{-1}$)	درصد از کل انرژی Percentage of the total energy input (%)	انرژی در هکتار Total energy equivalent ($MJ.ha^{-1}$)	درصد از کل انرژی Percentage of the total energy input (%)	انرژی در هکتار Total energy equivalent ($MJ.ha^{-1}$)	درصد از کل انرژی Percentage of the total energy input (%)
نیروی انسانی Human labor	1539.59^{c*}	1.44	2553.22^{b}	3.61	3010.56^{a}	3.25
سوخت دیزلی Diesel fuel	26380.96^{b}	24.73	26099.79^{b}	27.68	35018.26^{a}	37.84
الکتریسیته Electricity	3843.58^{c}	3.6	5725.91^{a}	8.67	4209.53^{b}	6.17
ادوات و ماشین‌آلات Machinery	48906.1^{a}	42.88	23374.5^{b}	28.52	20577^{ab}	22.23
کود نیتروژن Nitrogen (N)	5569.39^{c}	5.22	8595.1^{b}	8.78	9152.61^{a}	9.89
کود فسفات Phosphate (P_2O_5)	444.5^{a}	0.41	277.66^{b}	0.29	444.33^{a}	0.48
کود پتاسیم Potassium (K_2O)	26^{b}	0.02	76^{a}	0.09	25.66^{b}	0.02
کود روی Zinc Fertilizer($ZnSO_4$)	4^{b}	0.003	4.29^{a}	0.42	1^{b}	0.001
سایر کودهای شیمیایی Other fertilizers	1630.09^{a}	1.52	501^{b}	0.51	333.98^{c}	0.36
کود حیوانی Farmyard manure	0^{b}	0	3000.81^{a}	3.06	0^{b}	0
علف‌کش Herbicide	0^{c}	0	182.63^{a}	0.19	123.3^{b}	0.13
قارچ‌کش Fungicide	369.12^{b}	0.34	604.28^{a}	0.61	368.06^{b}	0.39
حشره‌کش Insecticide	1.5^{c}	0.01	472.7^{a}	0.48	315.08^{ab}	0.34
بذر Seeds (potato)	15303.32^{ab}	14.34	17100	17.48	16200	17.5

*در هر ردیف میانگین‌هایی که با حروف متفاوت نشان داده شده‌اند بر اساس آزمون LSD دارای اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد نیستند.

*Mean fallowed by the same letters in each row, are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

جدول 7- روابط بین انرژی‌های ورودی و خروجی در تولید سیب‌زمینی در روش‌های مختلف آبیاری

Table 7- Energy input-output relations in potato production in different irrigation methods

عنوان Items	آبیاری بارانی Sprinkle irrigation	آبیاری قطره‌ای Drip irrigation	آبیاری نشتی Leakage irrigation
انرژی ورودی Energy input ($MJ.kg^{-1}$)	106674.24^{a*}	97807.82^{ab}	92539.61^{b}
انرژی خروجی Energy output ($MJ.kg^{-1}$)	162000^{a}	151000^{b}	139000^{c}
کارایی انرژی Energy use efficiency	1.53^{a}	1.6^{a}	1.54^{a}
بهره‌وری انرژی Energy productivity ($kg.MJ^{-1}$)	0.41^{a}	0.44^{a}	0.43^{a}
انرژی ویژه Specific energy ($MJ.kg^{-1}$)	2.36^{a}	2.32^{a}	2.4^{a}
انرژی خالص Net energy ($MJ.ha^{-1}$)	55186.5^{a}	53392.18^{a}	46660.38^{b}

*در هر ردیف میانگین‌هایی که با حروف متفاوت نشان داده شده‌اند بر اساس آزمون LSD دارای اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد نیستند.

*Mean fallowed by the same letters in each row, are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

منابع

Arjmand, A., and Hasanzadeh Ghourtapeh, A. 2004. Evaluation of energy consumption in potato cultivation case study, Eastern Azarbayejan. 8th Agronomy and plant Breeding Conference. Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. p. 26-34. (In Persian with English Summery)

Bazobandi, A., Bakhtiari, S., and Barzegar, B. 2013. Evaluation of energy efficiency in nutrition systems in Forage corn growth in Neishabour City. 1st National Congress on Sustainable Environment and Development, Arak, Iran. (In Persian with English Summery)

Canakci, M., Topakci, M., Akinc, I., and Ozmerzi, A. 2005. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya region, Turkey. Energy Conversion and Management 46:6 55–66.

Cecconc, C., and Giovanardi, R. 2002. Energy balance of four systems in north eastern Italy. Italian Journal of Agronomy 6: 73-78.

Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H. and Gunduz, O. 2007. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. Energy 32:35–41.

Esengun, K., Gunduz, O., and Erdal, G. 2007. Input–output energy analysis in dry apricot production of Turkey. Energy Conversion and Management 48:592–598.

Faraji, Y. 2005. Reviewing the current status of energy and energy indicators in agriculture in Abbas plain and providing appropriate development strategies. Master's thesis on Agricultural Mechanization. Faculty of Agriculture, Tabriz University. (In Persian with English Summery)

Ghahridjani, M., Kayhani, A.R., Tabatabayefar, A., and Omid, M. 2009. Investigation and determination of anger rate for potato production at different levels of cultivation in west of Isfahan. Journal of Agricultural and Natural Resources 16(1): 193-183. (In Persian with English Summery)

Gillard, C.L. 1993. A comparison of high input low input and organic cash cropping system. M.Sc. Thesis. University of Guelph. Guelph Ont.

Haj Seyed Hadi, M.R. 2006. Energy efficiency and ecological sustainability in conventional and integrated potato production system.www.actapress.comPaperInfo.AspxPaperID=23135.

Hasanzadeh Ghourtapeh, A., and Mazaheri, D. 1991. Estimation of energy balance in three wheat, potato and rice fields in Falavarjan region of Isfahan. Fourth Iranian Congress of Agriculture and Plant Nutrition. Isfahan University of Technology, Isfahan. Pp. 309-310. (In Persian)

Hoeppner, J., Hentz, M., McConkey, B., Zentner, R., and Nagy, C. 2005. Energy use and efficiency in two Canadian

organic and conventional crop production systems. Renewable Agriculture and Food Systems 21: 60-67.

Hossein Panahi, F., and Kafi, M. 2012. Evaluation of energy budeget and productivity of potato farm of Kurdistan province, case study; dehgolanplain. Journal of Agroecology 4(2): 169-159. (In Persian with English Summery)

Izadkhah, M., Tajbakhsh, M., and Hassanzadeh, A. 2010. Evaluation of energy efficiency of conventional and mechanized farming system on potato production in East Azarbyjan province. Iranian Journal of Field Crops Research 8(2): 284-297. (In Persian with English Summary)

Kazemi, H., Kamkar, B., Lakzaei, S., Badsar, M., and Shahbyki, M. 2015. Energy flow analysis for rice production in different geographical regions of Iran. Energy 84: 390-396.

Kizilaslan, H. 2009. Input–output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. Applied Energy 86: 1354–1358.

Koocheki, A., and Hoseini, M. 1994. Energy Performance in Agricultural Eco-systems. Ferdowsi University of Mashahd Press, Mashhad, Iran. P. 65-72. (In Persian)

Mohammadi, A., and Omid, M. 2010. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. Applied Energy 87: 191-196.

Mohammadi, A., Tabatabaeefar, A., ShahinRafiee, S., and Keyhani, A. 2008. Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. Energy Conversion and Management 49:3566–3570.

Pimentel, D., Berardi, G., and Fast, S. 1983 Energy efficiency of farming systems: Organic and conventional Agriculture. Agriculture, Ecosystem and Environment 9: 359-372.

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

Zahedi, M., Mondani, F., and Eshghizadeh, H.R. 2015. Analyzing the energy balances of double-cropped cereals in an arid region. Energy Report 1: 49-43.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.3, Fall 2019, p. 859-876

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 3، پاییز 1398، ص 876-859

Energy Efficiency Comparison of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Production in Different Irrigation Methods in Jolgeh Rokh Torbat Heidarieh Region

V. Karimi[1], R. Sadrabadi Haghighi[2*], A.B. Bazregar[3] and M. Dargahi[1]

Submitted: 02-03-2018
Accepted: 12-06-2018

Karimi, V., Sadrabadi Haghighi, R., Bazregar, A.B., and Dargahi, M. 2019. Energy efficiency comparison of potato (*Solanum tuberosum* L.) production in different irrigation methods in Jolgeh Rokh Torbat Heidarieh region. Journal of Agroecology. 11(3): 859-876.

Introduction

Energy flow is one of the most important issues in agroecology. The amount of energy that is consumed in different agroecosystems not only depends on the type of crop but also on the material and methods that is used in its production. Potato plants are one of the most important crops that is produced in Torbat Heidarieh region, Khorasan Razavi Province of Iran. Different irrigation methods influence the energy consumption and production. Thus, the aim of this study is to compare energy efficiency of potato with different irrigation methods.

Material and Methods

In order to evaluate and compare the efficiency of energy consumption in potato production based furrow, sprinkle and drip irrigation methods, a study was carried out at 11 fields in the Jolgeh Rokh Torbat Heidarieh region in 2013- 2014 . The comparison was performed using a completel randomized, unbalanced design. In which the type of irrigation system was considered as the treatment and fields that were matched to each irrigation system as a replication. The studied traits included the amount of input and output energy, the equivalent energy of all inputs, and energy use efficiency, net energy, energy production and specific energy.

Result and Discussion

The largest amount of energy consumed by the human labor was due to furrow irrigation. The highest average of fossil fuel consumption was due to furrow irrigation method followed by sprinkle and drip irrigation. The amount of electricity consumed in the drip irrigation method had the highest amount compared to the other two methods. The most energy consumed by nitrogen fertilizers was related to furrow irrigation method, and the methods of irrigation of droplets and sprinklers in this regard were ranked in the following order, respectively. The amount of energy consumed by phosphorus fertilizers in irrigation was the least amount of droplets. This amount was in sprinkler irrigation and furrow irrigation respectively, although there was no significant difference between the two methods. The energy of using potassium fertilizers in the highest irrigation system was similar to the other irrigation systems. The energy consumption of herbicides was highest in drip methods and furrow irrigation was in the next category. Energy consumption of machinery was highest in sprinkler irrigation method. In the recent method, energy consumption of machinery was about half of the energy consumption of the total inputs. Indirect energy consumption for drip irrigation system was 6868 $MJ.ha^{-1}$ and in sprinkle irrigation 2756 $MJ.ha^{-1}$. Energy produced by seed was highest in drip irrigation method and the lowest in sprinkle irrigation. The total amount of input and output energy in sprinkler irrigation method was the highest (106674.24 and 162000 $MJ.ha^{-1}$), followed by drip irrigation (97807.82 and 151000 $MJ.ha^{-1}$) and furrow irrigation (92539.61 and 139000 $MJ.ha^{-1}$) were placed in the following categories. The energy use efficiency of the drip irrigation method 1.6 was more than other irrigation methods. Production energy in terms of amount of

1- MSc Graduated Agroecology Student, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran
2- Professor, Agronomy and Plant Breeding Department, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran
3-Assistant professor, Agronomy and Plant Breeding Department, Kashmar Branch, Islamic Azad University, Kashmar, Iran
(*-Corresponding Author Email: rsadrabadi@mshdiau.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v11i3.71190

drip and furrow irrigation was the highest 0.44 and in sprinkle irrigation 0.41. Net energy was the highest in sprinkler irrigation (53392.18 $MJ.ha^{-1}$) and the lowest in furrow irrigation (46660.38 $MJ.ha^{-1}$). Production energy was highest in drip and furrow irrigation (0.44 and 0.43) and lowest in sprinkle irrigation (0.41). The specific energy in furrow irrigation (2.36) was higher than the other methods and in the drip irrigation with the lowest (2.32).

Conclusion

According to the results of the present research, in spite of higher yield of potatoes under sprinkle and drip irrigation systems, there were not significant differences among the energy indices; energy efficiency, energy productivity, and special energy; of three systems. This was due to more total input energy in the sprinkle and drip systems. Because the machinery and installations energy input in furrow irrigation system were lower than two other systems.

Keywords: Drip irrigation, Furrow irrigation, Indirect energy, Special energy, Sprinkle irrigation