تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره سوم، زمستان ۱۴۰۲، ص ۷۷۴-۷۶۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی کارایی انرژی و بهره‌وری بوم‌شناختی بوم‌نظام‌های زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی در شهرستان بروجرد، استان لرستان

لیلا رحیمی[۱]، خسرو عزیزی[۲*]، داریوش گودرزی[۲]، ماشاالله دانشور[۲]، سعید حیدری[۲]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

* مسئول مکاتبه: azizi.kh@lu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ /۰۶/۰۷ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.349325.1252**

چکیده

هدف از این تحقیق ارزیابی، مقایسه سیر انرژی، مدیریت منابع بویژه آب و افزایش کارایی زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی می‌باشد. این مطالعه در سال زراعی ۱۳۹۷ در شهرستان بروجرد در استان لرستان انجام شد. تعداد نمونه‌ها با فرمول کوکران تعیین شد و بر این اساس ۱۳۰ و ۶۰ مزرعه به ترتیب برای کشت گندم آبی و سیب‌زمینی انتخاب شد. داده‌ها در این تحقیق از طریق پرسش‌نامه جمع‌آوری شدند. مقدار کل انرژی ورودی در سیب‌زمینی ۹۲۶۴۵/۷۳ و در گندم آبی ۴۵۲۱۵/۳۳ مگاژول در هکتار بود. نظام زراعی سیب‌زمینی، از نظر شاخص‌های الکتریسیته، سوخت فسیلی، کودهای شیمیایی و آب مورد نیاز، بیشترین مقدار انرژی مصرفی را به خود اختصاص داد. سهم مصرف انرژی‌های تجدید ناپذیر و غیر مستقیم از کل انرژی‌های ورودی در هر دو بوم‌نظام زراعی بالا بود، بویژه کشت سیب‌زمینی وابستگی بیشتری به این انرژی‌های ورودی نشان داد و این می‌تواند بیانگر ناپایداری بوم‌نظام زراعی سیب‌زمینی نسبت به گندم آبی باشد. مقدار شاخص انرژی خالص در نظام زراعی سیب‌زمینی ۹۲۶۸۲/۲۷ کیلوگرم در مگاژول بیشتر از گندم آبی ۶۴۸۶۵/۲۴ کیلوگرم در مگاژول است که این به پتانسیل بوم‌شناختی تولید این گیاه مربوط می‌باشد. با توجه به کارایی مصرف انرژی بیشتر گندم آبی ۲/۴۳ در مقایسه با کشت سیب‌زمینی ۲ که نشان دهنده کارآمدی بیشتر نظام زراعی گندم آبی در تبدیل انرژی‌های ورودی به انرژی موجود در عملکرد است و می‌توان کشت گندم آبی در منطقه بروجرد را که از پایداری بیشتری برخوردار است، به کشاورزان منطقه توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، بهره‌وری انرژی، پایداری سیستم‌های کشاورزی، ستانده‌ها

مقدمه

محدودیت زمین‌های زراعی، افزایش جمعیت، تغییر در زیرساخت‌ها و تمایل به استانداردهای بالای زندگی، عواملی هستند که مصرف انرژی در بخش کشاورزی را افزایش داده‌اند. استفاده مؤثر از انرژی در کشاورزی، یکی از مهم‌ترین نیازهای توسعه پایدار در کشاورزی است (Mohammadi *et al.*, 2011).

پایداری یکی از مولفه‌های اصلی تولید محصولات کشاورزی است که امنیت غذایی از منابع تولیدی برای نسل‌های حال و آینده را به دنبال دارد (Shebani *et al.*, 2017; Rezaei *et al.*, 2019). کشاورزی مصرف‌کننده هر دو نوع منابع محیطی و اقتصادی می‌باشد. افزایش مصرف ورودی‌های انرژی، به ویژه انرژی تجدیدناپذیر، در کشاورزی موجب اثرات محیطی مختلف از جمله آلودگی آب‌های زیرزمینی، کاهش تنوع زیستی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده‌است (Kazemi *et al.*, 2015).

مصرف کارامد انرژی در کشاورزی، یکی از عوامل مهم برای رسیدن به کشاورزی پایدار است، زیرا نه‌تنها موجب صرفه‌جویی اقتصادی شده، بلکه در حفظ انرژی‌های تجدیدناپذیر مانند سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی هوا نیز مؤثر است (Pahlavan *et al.*, 2012; Dastan *et al.*, 2015; Yasari *et al.*, 2018).

در مقایسه کارآیی مصرف انرژی گندم و آفتابگردان در ترکیه (مطالعه موردی در منطقه تراکیا) نتایج نشان داد که از نظر شاخص‌های انرژی ورودی، کارآیی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص تولیدی نسبت به کشت آفتابگردان برتری داشت (Unakitan and Aydin, 2018).

در تحقیقی در مقایسه شاخص‌های کارآیی فنی و اقتصادی مصرف آب در تولید گندم و زعفران در شهرستان قائنات نشان داده‌شد که از نظر شاخص‌های کارآیی مصرف آب، کشت زعفران

بر گندم برتری دارد (Yaqobi *et al.*, 2015). در مقایسه نظام کشت سیب‌زمینی و چغندرقند در استان اصفهان میزان کارایی انرژی (نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی) در نظام تولید سیب‌زمینی ۱/۴۲ و در نظام تولید چغندرقند ۹/۱۱ محاسبه شد (Zahedi *et al.*, 2015). در مقایسه دو نظام زراعی کشت پاییزه و بهاره سیب‌زمینی در استان گلستان نشان داده‌شد که نظام زراعی پاییزه دارای کارایی و پایداری بیشتری از کشت بهاره بود. در هر دو نظام زراعی، سهم انرژی‌های غیرمستقیم، تجدیدناپذیر بکار برده شده در دو بوم‌نظام، بیشتر از انرژی‌های مستقیم، تجدیدپذیر بود (Shahhossini *et al.*, 2020).

در بررسی شاخص‌های انرژی کاربردی در دو سیستم کشت جو آبی و جو دیم، کل انرژی ورودی برای جو آبی معادل ۱۹۳۰۸/۹۶مگاژول در هکتار و در جو دیم برابر ۷۸۶۷/۸۲ مگاژول در هکتار بود. راندمان انرژی به ترتیب ۳/۵ و۳/۹۶ مگاژول در هکتار برای جو آبی و جو دیم محاسبه شد (Azizi and Heidari, 2013).

گندم در اکثر مناطق لرستان بویژه بروجرد، پاییزه کشت می‌شود و اواخر بهار برداشت می‌گردد و بخش اعظمی از آب مورد نیاز گندم از طریق ریزش‌های جوی تأمین می‌شود و اگر قرار باشد در قطعه زمینی، سیب‌زمینی کشت گردد چون تاریخ کشت سیب‌زمینی در بروجرد از اواسط اردیبهشت تا اواخر خرداد می‌باشد در این صورت امکان کشت گندم آبی، در آن سال زراعی مقدور نیست و عملاً برای کشت سیب‌زمینی، زمین کشاورز در آن سال باید بصورت آیش باقی بماند. از طرفی چون منطقه دارای پاییز و زمستان سرد می‌باشد، امکان کشت گیاهی که بتوان قبل از شروع کشت سیب‌زمینی در بهار برداشت شود وجود ندارد. در سال‌های اخیر به دلیل درآمد بالای سیب‌زمینی نسبت به گندم آبی و استقبال کشاورزان مهاجر باعث افزایش سطح زیر کشت سیب‌زمینی و کاهش رغبت کشاورزان به کشت گیاه استراتژیک گندم آبی در منطقه شده است و شرایط بنحوی شده‌است که سازمان جهاد کشاورزی استان کشت سیب‌زمینی بهاره و تابستانه را که عملاً دارای هم‌پوشانی دوره رشد هستند و آب‌بر می‌باشند را ممنوع کرده است.

هم‌چنین به دلیل اینکه در استان لرستان و نیز شهرستان بروجرد پراکنش بارش‌ها عمدتاً در پاییز و زمستان می‌باشد؛ بنابراین تغییر الگوی کشت و یا ترغیب کشاورزان به کشت گندم آبی بجای سیب‌زمینی در واقع مدیریت مصرف آب می‌باشد. هم‌چنین علاوه بر توجه به مدیریت مصرف آب، وابستگی دو سیستم کشت به نهاده‌های برون و درون دو بوم‌نظام زراعی می‌تولند بیانگر وضعیت کارایی و بهره‌وری انرژی در تولید این محصولات، و مقایسه شاخص‌های کارآیی اکولوژیکی انرژی در بوم‌نظام‌های گندم آبی و سیب‌زمینی باشد.

این تحقیق با اهداف بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی، کاهش وابستگی دو سیستم کشت به نهاده‌های برون و درون دو بوم‌نظام زراعی، مدیریت مصرف آب، با این دیدگاه که در کشت پاییزه گندم آبی بخش اعظمی از آب مورد نیاز گیاه از طریق بارش در طی فصل‌های پاییز و زمستان تأمین می‌گردد و در مقابل کشت سیب‌زمینی در بهار بطور کامل برای تأمین آب، به آب‌های سطحی و یا زیر زمینی وابسته است انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۷ در شهرستان بروجرد در موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه، ۱دقیقه عرض شمالی، ۴۸درجه و ۴دقیقه طول شرقی انجام شد. محل آزمایش دارای اقلیم سردسیری، میانگین بارندگی سالانه ۴۵۳ میلی‌متر، دمای سالانه ۱۴/۶ درجه سانتی‌گراد و ارتفاع از سطح دریا ۱۹۱۰ متر می‌باشد. برای تعیین تعداد پرسش‌نامه از فرمول کوکران (Cochran, 2003) استفاده شد.

$$n = \frac{\frac{z^2 pq}{d^2}}{1+\frac{1}{N}(\frac{z^2 pq}{d^2}-1)} \qquad (۱)$$

که در آن n: حجم نمونه، Ncحجم جامعه آماری، Z: مقدار ضریب اطمینان (۱/۹۶)، p: نسبتی از جمعیت دارای صفتی معین (۰/۵) ، q نسبتی از جمعیت فاقد صفتی معین (۰/۵) و d: دقت احتمالی مطلوب بود. تعداد پرسش‌نامه برای گندم آبی ۱۳۰ و برای سیب‌زمینی ۶۰ مزرعه در نظر گرفته شد. انتخاب تعداد کشاورزان با روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌ای انجام شد. جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از پرسش‌نامه تهیه شده، شامل اطلاعات مربوط به کلیه فعالیت‌های زراعی از قبیل آماده‌سازی زمین، میزان بذر مصرفی، میزان آب آبیاری، کودهای مصرفی، سموم شیمیایی، نیروی انسانی مورد نیاز و غیره از طریق مصاحبه چهره به چهره با کشاورزان که سیب‌زمینی و گندم کشت می‌کنند انجام شد.

عملیات زراعی در کشت نیمه مکانیزه گندم آبی از اوایل

مهر تا اواسط آبان به شرح زیر انجام می‌شود:

۱- عملیات شـــخم نســـبتاً عمیق، ۲- دیســـک زدن برای خردکردن کلوخه‌ها و نرم کردن بستر بذر، ۳. کشت با دستگاه خطی‌کار که بصورت هم‌زمان بذر و کود را بصورت ردیفی کشت می‌نماید، ۴. مرزبندی، ۵. عملیات داشـــت در گندم معمولاً مصـــرف علف‌کش و برحســـب وجود آفت یا بیماری آفت‌کش و قارچ‌کش می‌باشد، ۶. برداشت در اواخر خرداد تا اواسط تیرماه انجام می‌گردد.

عملیات زراعی کشت نیمه مکانیزه سیب‌زمینی از اواسط اردیبهشت تا اواخر خرداد شامل مراحل زیر است:

۱- شـــخم نســـبتاً عمیق، ۲- اســـتفاده از کولتیواتور یا کلوخ‌شکن و در صورت عدم وجود کلوخ‌شکن استفاده از دیسک برای نرم کردن بستر کاشت، ۳. کودپاشی اعم از کود آلی و کود شـیمیایی پایه، ۴. دیسـک‌زدن برای مخلوط نمودن کود دامی و شیمیایی پایه با خاک، ۵. استفاده از دستگاه کارنده سیب‌زمینی، ۶. مصرف علف‌کش و یا زدن فارور برای مبارزه با علف‌های هرز، ۷. مصرف حشره‌کش یا قارچ‌کش بر حسب ضرورت، ۸. استفاده از دستگاه سرزن سیب‌زمینی، ۹. استفاده از دستگاه برداشت سیب‌زمینی.

درستی آمار و اطلاعات مربوط به سطح زیرکشت، عملکرد در واحد ســـطح، میزان تولید و تعداد زارعین محصـــولات مورد مطـالعـه از طریق منـابع موجود در مرکز جهـاد کشـــاورزی شهرستان بروجرد کنترل شد. اطلاعات اولیه انرژی‌های مصرفی (نهاده) و انرژی تولیدی (ســـتاده) و تمام محاســـبات مربوط به شاخص‌های مورد بررسی با نرم‌افزار EXCEL محاسبه شد.

تحلیل انرژی

به منظور محاســبه معادل انرژی ورودی‌ها و خروجی در دو نظام زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی، ابتدا مهم‌ترین ورودی‌ها و خروجی‌ها و معادل انرژی آن‌ها در دو نظام تعیین شدند (جداول ۱ و ۲). ســپس معادل هر انرژی ورودی و هم‌چنین خروجی، با ضرب مقدار خام آن در ضریب تبدیل انرژی مربوطه، معادل‌های انرژی برای ورودی‌ها و خروجی‌های مورد استفاده در تولید دو سیستم زراعی سیب‌زمینی و گندم آبی محاسبه گردید.

در این تحقیق، مهم‌ترین شاخص‌های انرژی شامل کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه، انرژی خالص، انرژی ورودی کل و انرژی خروجی کل برای ارزیابی کارایی دو بوم‌نظام زراعی برآورد و مورد مقایسـه قرار گرفتند BenayanAval *et al.*, 2010; Ghorbani *et al*., 2011)

تحلیل انرژی: شـــاخص‌های انرژی با اســـتفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{کارایی مصرف انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی (مگاژول در هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار}} \quad (۲)$$

$$\text{بهره وری} = \frac{\text{خروجی گیاه زراعی (کیلوگرم در هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار}} \quad (۳)$$

$$\text{انرژی ویژه} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}}{\text{خروجی گیاه زراعی (کیلوگرم در هکتار}} \quad (۴)$$

$$\text{انرژی خالص} = \text{انرژی خروجی (مگاژول در هکتار)} - \text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)} \quad (۵)$$

در دو بوم‌نظام زراعی گندم آبی و ســـیب‌زمینی توزیع انواع انرژی در منطقه مورد مطالعه برای ارزیابی تعیین شـدند. دسـته اول انرژی مستقیم شامل، سوخت فسیلی، نیروی الکتریسیته و نیروی انسانی، انرژی غیرمستقیم شامل کودهای آلی، آب آبیاری کودهای شیمیایی، بذر، ماشـــین‌آلات، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها دســـته‌بندی شـــدند و در تقســـیم‌بندی دیگر نهاده‌های ورودی دسته دوم به انرژی تجدیدپذیر، شامل نیروی انسانی، کودآلی، بذر و انرژی تجدیدناپذیر، شامل ماشین‌آلات، سوخت فسیلی، کودهای شـیمیایی، آفت‌کش‌ها، الکتریسـیته و آب آبیاری (آب زیرزمینی) طبقه‌بندی شدند.

جدول ۱- مقادیر ورودی‌ها و خروجی‌های دو بوم‌نظام زراعی گندم آبی و سیبزمینی در محل انجام آزمایش

Table 1- Values of inputs and outputs in the ecosystem of irrigated wheat and potato cropping systems at the experimental site

متغییر Variable	واحد Unit	نظام زراعی سیب‌زمینی Potato agroecosystem	نظام زراعی گندم آبی Irrigated wheat agroecosystem
بذر Seed	Kg ha^{-1}	4570.83	238
نیروی انسانی Manpower	hour	398.4	74
ماشین‌آلات Machinery	hour	21.33	10.33
سوخت فسیلی Fossil Fuels	Liter	218.34	161.34
نیتروژن Nitrogen	Kg ha^{-1}	212.50	136.66
فسفر Phosphorus	Kg. ha^{-1}	250.00	71.00
پتاس Potash	Kg ha^{-1}	10500.00	-
کود دامی Manure	kilowatt hours	2215.00	1321.33
الکتریسیته Electricity	Kg ha^{-1}	3.97	2.01
علفکش Herbicide	Kg ha^{-1}	0.78	0.53
قارچ‌کش Fungicides	Kg ha^{-1}	1.11	0.68
حشره‌کش Insecticide	Kg ha^{-1}	1.88	۰
ریزمغذی‌ها Micronutrients	m3	11478.38	3214.03
آب آبیاری Irrigation water			
t خروجی Outpu	Kg ha^{-1}	51480.00	4349.76
عملکرد بذر Seed yield	Kg ha^{-1}	-	4988
عملکرد کاه Straw yield			
l عملکرد کل Yield total	Kg ha^{-1}	51480	9337.76

جدول ۲- معادل‌های انرژی برای ورودی‌ها و خروجی‌های بوم‌نظام‌های زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی در محل انجام آزمایش

Table 2- Energy equations for inputs and outputs in irrigated wheat and potato agricultural ecosystems at the experimental site

خروجی/ ورودی **Input / Output**	واحد **Unit**	معادل انرژی سیب‌زمینی **Energy equivalent Potato ($MJ.ha^{-1}$)**	معادل انرژی گندم آبی **Energy equivalent Irrigated Wheat ($MJ.ha^{-1}$)**	منابع **Source**
بذر Seed	Kg	3.60	15.7	Tipi *et al.*, 2009 ; Zangeneh *et al.*, 2010
نیروی انسانی Manpower	hour	1.96	1.96	Ozkan *et al.*, 2007
ماشین‌آلات Machinery	hour	142.7	142.7	Zahedi *et al.*, 2014
سوخت فسیلی Fossil Fuels	Liter	56.31	56.31	Zahedi *et al.*, 2014 ; Singh *et al.*, 2007
نیتروژن Nitrogen	Kg	66.14	60.06	Akcaoz *et al.*, 2009
فسفر Phosphorus	Kg	12.44	37	Akcaoz *et al.*, 2009
پتاس Potash	Kg	11.15	6.7	Akcaoz *et al.*, 2009 ; Rajabi *et al.*, 2011
کود دامی Manure	Kg	0.3	-	Soltani *et al.*, 2014
الکتریسیته Electricity	kilowatt hours	12.1	12.1	Singh *et al.*, 2007 ; Kaltsas *et al.*, 2007
علفکش Herbicide	Kg	238	278	Ozkan *et al.*, 2007 ; Tzilivakis *et al.*, 2005
قارچ‌کش Fungicides	Kg	92	99	Tzilivakis *et al.*, 2005
حشره‌کش Insecticide	Kg	199	237	Tzilivakis *et al.*, 2005 ; Ozkan *et al.*, 2007
ریزمغذی‌ها Micronutrients	Kg	120	-	Esengun *et al.*, 2007
آب آبیاری Irrigation water	m^3	1.02	1.02	Zahedi *et al.*, 2014
خروجی Outpu	t		14.7	Tipi *et al.*, 2009 ; Singh *et al.*, 2007
عملکرد بذر Seed yield	Kg	3.6	14.7	Tabatabaeefar *et al.*, 2009 ; Zangeneh *et al.*, 2010
عملکرد کاه Straw yield			9.25	
عملکرد کل Yield total	l			Tabatabaeefar *et al.*, 2009 ; Zangeneh *et al.*, 2010

نتایج و بحث

ارزیابی و تجزیه و تحلیل انرژی ورودی و خروجی

مقادیر انرژی مهم‌ترین ورودی‌ها و خروجی‌ها دو نظام زراعی در جدول ۳ نشان داده شده است کل انرژی ورودی در کشت گندم آبی ۴۵۲۱۵/۳۳ مگاژول در هکتار و در کشت سیب‌زمینی ۹۲۶۴۵/۷۳ مگاژول در هکتار می‌باشد. ارزیابی الگوی مصرف انرژی نشان داد، نظام زراعی سیب‌زمینی، از نظر شاخص‌های الکتریسیته، سوخت فسیلی، کودهای شیمیایی و آب آبیاری بیشترین مقدار انرژی مصرفی را داشت که به دلیل برقی بودن پمپ‌های چاه آب، کاهش شدید سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش سطح ایستابی آب چاه‌های منطقه و نبود رودخانه و سنتی بودن مسیر جوی‌های انتقال آب، میزان مصرف الکتریسته بالا بود. میزان مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر و غیر مستقیم از کل انرژی‌های ورودی در هر دو بوم‌نظام زراعی بالا بود، بویژه

کشت سیب‌زمینی وابستگی بیشتری به این انرژی‌های ورودی داشت و این می‌تواند بیانگر یکی از دلایل ناپایداری بوم‌نظام زراعی سیب‌زمینی نسبت به گندم آبی باشد. سهم ورودی بذر در کشت سیب‌زمینی نشان‌دهنده بالا بودن مصرف انرژی این ورودی در تولید محصول سیب‌زمینی در شرایط مختلف تولید است. از طرفی مصرف بیشتر آب نیز بیانگر نیاز آبی بیشتر سیب‌زمینی نسبت به گندم می‌باشد. باید از منابع موجود، بویژه آب و استفاده صحیح و کارآمد از روش‌های به‌زراعی نظیر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی کشاورزان منطقه را به کشت گندم نسبت به سیب‌زمینی ترغیب نمود. میزان کل انرژی مصرفی در مزارع سیب‌زمینی استان همدان با احتساب متوسط ۲۸ تن عملکرد غده در هکتار برابر با ۹۲۲۹۶ مگاژول در هکتار برآورد شد، کود نیتروژن (۳۹ درصد)، سوخت فسیلی (۲۱ درصد)، بذر (۱۴/۹ درصد)، کود دامی(۶/۴ درصد) بیشترین سهم را در انرژی‌های ورودی داشتند (Rajabi *et al.*, 2012). در هر دو نظام زراعی می توان با خاک‌ورزی حفاظتی و نیز استفاده از کودهای آلی مدیریت دو نظام زراعی را در جهت کاهش وابستگی به نهاده‌های برون مزرعه‌ای بهبود بخشید. کشت سیب‌زمینی به دلیل مصرف بالای آب حدود ۱۱۶۰۹/۲۹ مترمکعب در هکتار باعث ناپایداری تولید در منطقه در سال‌های آتی خواهد شد در بوم‌نظام گندم آبی با توجه به کشت پاییزه و تأمین بخشی از نیاز آبی گیاه از طریق ریزش‌های جوی میزان آب مصرفی آن در قیاس با کشت سیب‌زمینی که بهاره بوده و حدود ۱۲ بار آبیاری می‌شود و بخشی از دوره رشد گیاه در فصل گرما می‌باشد سبب شده که آب مصرفی بوم‌نظام سیب‌زمینی بیشتر شد. استفاده از منابع انرژی جایگزین و یا تجدیدشونده به منظور کاهش وابستگی به انرژی سوخت‌های فسیلی نیز پیشنهاد می‌شود (Ghaderzadeh and Pirmohamediani, 2019). کشت سیب‌زمینی برای تولید نیاز بیشتری به منابع و نهاده‌های ورودی دارد و این خود یک عامل کاهنده پایداری سیستم تولید است زیرا استفاده زیاد از منابع و نهاده‌های برون مزرعه‌ای به معنی افزایش انرژی ورودی به سیستم و کاهش راندمان انرژی است که با تعادل بیلان انرژی در تضاد است و یکی از ملاک‌های اصلی ارزیابی وابستگی سیستم به منابع و نهاده‌های انرژی درونی و بیرونی برای نظام تولید است.

شاخص‌های انرژی

انرژی خروجی کل که نشان‌دهنده انرژی معادل در دو بوم‌نظام زراعی است، در کشت گندم آبی، با احتساب عملکرد دانه و کاه و کشت سیب‌زمینی به ترتیب معادل ۱۱۰۰۸۰/۷۵ و ۱۸۵۳۲۸ مگاژول در هکتار بود (جداول ۳ و ۴). انرژی خروجی (عملکرد کل) در بوم‌نظام زراعی سیب‌زمینی بیشتر از گندم بود. بیشتر بودن انرژی خروجی سیب‌زمینی به بوم‌شناسی تولید گیاه زراعی سیب‌زمینی مربوط می‌گردد. در ارزیابی و پایداری دو نظام کشت پاییزه و بهاره سیب‌زمینی در استان گلستان نشان داده شد که مدیریت انرژی باید به عنوان یک عامل اساسی در خصوص مصرف کارآمد و پایدار انرژی در نظر گرفته شود (Shahhossini *et al.*, 2021). در این تحقیق انرژی خروجی سیب‌زمینی بیشتر از گندم است. اما به دلیل مصرف زیاد انرژی ورودی و وابستگی نظام تولید سیب‌زمینی به استفاده بیشتر از انرژی‌های کمکی، می‌توان نتیجه گرفت پایداری تولید آن کمتر از بوم‌نظام زراعی گندم است (Aynehband, 2015).

کارآیی مصرف انرژی نظام زراعی گندم آبی معادل ۲/۴۳ و در سیب‌زمینی برابر ۲ کیلوگرم بر مگاژول می‌باشد. همچنین میزان بهره‌وری انرژی در دو نظام زراعی سیب‌زمینی و گندم آبی به ترتیب معادل ۰/۵۵ و ۰/۲ کیلوگرم بر مگاژول می‌باشد (جدول ۴). شاخص بهره‌وری انرژی بیانگر این است که به ازای هر واحد انرژی ورودی مصرفی، میزان ۰/۵۵ و ۰/۲ کیلوگرم انرژی خروجی به عنوان محصول در دو بوم‌نظام سیب‌زمینی و گندم آبی تولید شده‌است. عکس این شاخص، شاخص انرژی ویژه می‌باشد که در این تحقیق برای نظام‌های زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی به ترتیب برابر ۴/۸۴ و ۱/۷۵ مگاژول می‌باشد (جدول ۴). بر اساس این شاخص، مصرف انرژی به ازای هر واحد محصول در بوم‌نظام سیب‌زمینی وضعیت بهتری داشته است. همچنین انرژی خالص تولیدی که نشان‌دهنده اتلاف کمتر انرژی است، در گندم آبی معادل ۶۴۸۶۵/۲۴ و در سیب‌زمینی ۹۲۶۸۲/۲۷ مگاژول در هکتار است (جدول ۴) که نشان‌دهنده استفاده بهتر از انرژی در نظام زراعی سیب‌زمینی است. افزایش عملکرد یا انرژی خروجی در سیب‌زمینی به دلیل خصوصیات اکولوژی تولید این گیاه سبب برتری این دو شاخص در کشت سیب‌زمینی در مقایسه با گندم آبی است. بطور کلی افزایش انرژی خروجی نسبت به انرژی ورودی موجب افزایش این

شـــاخص می‌گردد. بهبود مدیریت زراعی نظیر کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس توصیه کودی و وضعیت حاصلخیزی پایدار خاک، توجه به بازده مصرف آب و استفاده از محصولات زراعی با نیاز آبی کمتر موجب صـــرفه‌جویی و حفظ بیشـــتر انرژی و در نتیجه افزایش کارآیی مصـــرف انرژی گردیده و مقدار شـــاخص انرژی خالص را بهبود می‌بخشد.

جدول ۳- ورودی و خروجی انرژی در دو بوم‌نظام زراعی سیب‌زمینی و گندم آبی در محل انجام آزمایش

Table 3- Input and output of energy in two ecosystems of potato and irrigated wheat at the experimental site

خروجی / ورودی Input / Output	معادل انرژی گندم آبی Energy equivalent Irrigated Wheat ($MJ.ha^{-1}$)	معادل انرژی سیب‌زمینی Energy equivalent Potato ($MJ.ha^{-1}$)	درصد کل انرژِی مصرفی Percentage of total energy consumption		مقایسه درصد کل انرژی ورودی و خروجی دو اکوسیستم نسبت به یکدیگر Comparing the percentage of total energy input and output of two ecosystems relative to each other	
ورودی Input			سیب‌زمینی Potato	گندم Wheat	سیب‌زمینی Potato	**گندم Wheat**
بذر Seed	3736.6	16454.98	18.29	8.26	77.29	**22.70**
نیروی انسانی Manpower	145.04	774.84	0.86	0.32	81.28	**18.71**
ماشین‌آلات Machinery	1358.5	2964.36	2.96	3.00	54.17	**45.82**
سوخت فسیلی Fossil Fuels	9090.61	12295.52	13.67	20.10	26.06	**73.93**
نیتروژن Nitrogen	8282	14054.75	15.62	18.31	69.40	**30.60**
فسفر Phosphorus	2627	2857	2.07	5.80	28.97	**71.03**
پتاس Potash	-	3150	2.27	-	100.00	-
کود دامی Manure	15988.13	26801.50	29.80	35.36	59.65	**40.34**
الکتریسیته Electricity	578.78	856.32	0.25	1.28	39.91	**60.08**
علفکش Herbicide	49.51	116.53	0.12	0.10	57.51	**42.48**
قارچ‌کش Fungicides	146.16	221.40	0.24	0.32	51.47	**45.83**
حشره‌کش Insecticide	-	220	0.244	-	100.00	-
ریزمغذی‌ها Micronutrients	3213	11878.71	13.20	7.10	72.95	**27.04**
آب آبیاری Irrigation water						
خروجی Output	110080.57	185328.00	100.00	100.00	59.39	**40.60**

جدول ۴- شاخص‌های انرژی در دو بوم‌نظام زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی در محل انجام آزمایش

Table 4- Energy indicators in production in two ecosystems of irrigated wheat and potato farming systems at the experimental site

نوع شاخص Index type	سیب‌زمینی Potato	گندم آبی Irrigated Wheat
ورودی Input ($MJ.ha^{-1}$)	92645.73	45215.33
خروجی Out put	185328	110080.57
کارآیی عملکرد Yield efficiency ($Kg.MJ^{-1}$)	2.00	2.43
کارآیی انرژی Energy efficiency ($Kg.MJ^{-1}$)	0.55	0.20
انرژی خالص Pure energy ($Kg.MJ^{-1}$)	92682.27	64865.24
انرژی ویژه Special energy ($Kg.MJ^{-1}$)	1.79	4.84

توزیع انرژی بصورت مستقیم، غیر مستقیم، قابل تجدید و غیرقابل تجدید در جدول ۵ نشان داده‌شده‌است. همان‌طوری‌که در جدول مشاهده می‌گردد در هر دو نظام زراعی میزان انرژی مستقیم نسبت به غیر مستقیم و نیز مقدار انرژی تجدیدناپذیر نسبت به تجدیدپذیر بیشتر می‌باشد. در ارزیابی توزیع انرژی درکشت پاییزه و بهاره سیب‌زمینی در استان گلستان نتایج نشان داد که سهم انرژی‌های غیر مستقیم، تجدیدناپذیر در نظام‌های زراعی پاییزه و بهاره سیب‌زمینی به ترتیب بیشتر از انرژی‌های مستقیم و تجدیدپذیر بود (Shahhossini *et al.*, 2020). تحقیقات بر روی سیب‌زمینی در استان همدان نشان داد که ۶۰ درصد انرژی مستقیم، ۴۰ درصد انرژی غیر مستقیم، ۸۰ درصد انرژی تجدیدناپذیر و ۲۰ درصد انرژی تجدیدپذیر می‌باشند (Zangeneh *et al.*, 2010). در چندین مطالعه دیگر نیز نشان داده‌شده‌است که سهم انرژی غیر مستقیم و انرژی غیر قابل تجدید به ترتیب بالاتر از انرژی‌های مستقیم و تجدیدپذیر می باشد (Kizilaslan, 2009; Zahedi *et al.*, 2015) میزان انرژی‌های، مستقیم، غیر مستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در دو بوم‌نظام زراعی سیب‌زمینی و گندم آبی نشان داده شده است، همان‌طوری‌که ملاحظه می‌گردد میزان انرژی‌های غیر مستقیم و تجدیدپذیر در کشت سیب‌زمینی بیشتر از گندم آبی است (جدول ۵). علت بیشتر شدن انرژی تجدیدپذیر در سیب زمینی مربوط به نهاده‌ی بذر مصرفی در این سیستم کشت است، هم‌چنین چون استفاده از آب‌های سطحی و زیرزمینی جز انرژی‌های غیر مستقیم می‌باشند در این شاخص نیز سیستم کشت سیب‌زمینی نسبت به گندم آبی برتری داشته است. چون برای تأمین آب با توجه به فصل کشت کاملاً وابسته به منابع آبی ذکر شده است. بر اساس مقایسه درصد کل انرژی ورودی در نظام کشت سیب‌زمینی طبق جدول ۳ سهم میزان مصرف بذر ۷۷/۲۹ درصد و در کشت گندم آبی ۲۲/۷۰ درصد بود. میزان مصرف کود شیمیایی بویژه نیتروژنه به عنوان یک شاخص ناپایداری و از نوع انرژی غیر مستقیم در نظام زراعی سیب‌زمینی ۶۹/۴ درصد از کل انرژی مصرفی را در مقایسه با میزان مصرف نیتروژن در کشت گندم که به میزان ۳۰/۶ درصد می‌باشد به خود اختصاص داد. برای رسیدن به پایداری در نظام‌های تولید باید تعادل بین انرژی ورودی و خروجی را در نظر داشت زیرا طبق رابطه کارایی انرژی مقدار این شاخص با انرژی ورودی رابطه عکس دارد هر چه انرژی ورودی افزایش پیدا کند کارایی انرژی کاهش می‌یابد، نباید به قصد درآمد بالا از نظام‌های تولید، بیشتر از ظرفیت آن‌ها استفاده کرد. کاربرد بیش از حد نهاده‌های غیر تجدیدناپذیر مانند مصرف بیش از حد کودهای نیتروژنه، سموم شیمیایی و مصرف بی‌رویه آب آبیاری به روش‌های سنتی، ممکن است منجر به تولید بالا در کوتاه‌مدت گردد ولی باید توجه داشت که استفاده صحیح و کارآمد از منابع باعث افزایش پایداری تولید می‌شود.

جدول۵ - مقایسه مجموع انرژی‌مصرفی به صورت مستقیم، غیر مستقیم، قابل تجدید و غیر قابل تجدید در دو نظام زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی در محل انجام آزمایش

Table 5 - Comparison of total energy consumption directly, indirectly, renewable and non-renewable in two cropping systems of irrigated wheat and potato at the experimental site

درصد کل انرژی مصرفی Percentage of total energy consumption		مصرف انرژی Energy consumption ($MJ.ha^{-1}$)	
انرژی مصرفی Energy consumption	سیب‌زمینی Potato	گندم آبی Irrigated Wheat	سیب‌زمینی Potato	گندم آبی Irrigated Wheat
انرژی مستقیم[1] Direct energy	43.13	62.89	39962.86	**28436.78**
انرژی غیرمستقیم[2] Indirect energy	56.96	37.10	52773.87	**16778.55**
انرژی تجدیدپذیر[3] Renewable energy	21.99	15.69	20379.82	**7094.64**
انرژی تجدیدناپذیر[4] Non-renewable energy	77.76	84.30	72045.91	**38120.69**
انرژی ورودی کل Total input energy			92645.73	**45215.33**

۱. انرژی مستقیم شامل: سوخت، برق و نیروی انسانی، ۲. انرژی غیرمستقیم شامل آب آبیاری (استخراج از چاه)، کودهای آلی، کودهای شیمیایی، بذر، ماشین آلات، آفت کش ها، حشره کش ها و علف کش ها، ۳. انرژی های تجدید پذیر شامل: کودهای آلی. ، بذر، نیروی انسانی، ۴. انرژی های تجدید ناپذیر شامل: کودهای شیمیایی، آب آبیاری (استخراج از چاه)، آفت کش ها، ماشین آلات، برق، سموم شیمیایی

1. Direct energy including: fuel, electricity and human power, 2. Indirect energy including irrigation water (extraction from wells), organic fertilizers, chemical fertilizers, seeds, machinery, pesticides, insecticides and herbicides, 3. Renewable energy including: fertilizers organic, seed, human power, 4. non-renewable energy including: chemical fertilizers, irrigation water (extraction from wells), pesticides, machinery, electricity, chemical poisons

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق مصرف انرژی به ازای هر واحد محصول برای نظام‌های زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی به ترتیب برابر ۴/۸۴ و ۱/۷۵ مگاژول می‌باشد. انرژی خالص تولیدی که نشان‌دهنده اتلاف کمتر انرژی است در گندم آبی معادل ۶۴۸۶۵/۲۴ و در سیب‌زمینی ۹۲۶۸۲/۲۷ مگاژول در هکتار است که نشان‌دهنده استفاده بهتر از انرژی در نظام زراعی سیب‌زمینی است. افزایش عملکرد یا انرژی خروجی در سیب‌زمینی به دلیل خصوصیات بوم‌شناختی تولید این گیاه سبب برتری این شاخص در کشت سیب‌زمینی در مقایسه با گندم آبی شده‌است. بطور کلی افزایش انرژی خروجی نسبت به انرژی ورودی موجب افزایش این شاخص می‌گردد. مقایسه درصد کل انرژی ورودی در دو نظام زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی نشان داد که در نظام کشت سیب‌زمینی در مقایسه با کشت گندم آبی بخش اعظمی از میزان انرژی ورودی به میزان مصرف بذر و کود شیمیایی بویژه نیتروژنه و آب مربوط می‌باشد. به دلیل مصرف زیاد انرژی ورودی و وابستگی نظام تولید سیب‌زمینی به استفاده بیشتر از انرژی‌های کمکی، پایداری تولید آن کمتر از بوم‌نظام زراعی گندم است که بیانگر این مهم می‌باشد در هر دو نظام زراعی میزان انرژی‌های مصرفی غیر مستقیم نسبت به مستقیم و نیز مقدار انرژی‌های تجدیدناپذیر نسبت به تجدیدپذیر بیشتر می‌باشد. هر چند میزان انرژی مصرفی غیر مستقیم و تجدیدناپذیر در کشت سیب‌زمینی بیشتر از کشت گندم آبی است بنابراین تولید کنونی‌سیب‌زمینی به لحاظ مصرف انرژی، پایدار نیست زیرا درصد بسیار بالایی از نهاده‌های مصرفی در تولید سیب‌زمینی جزء انرژی‌های غیر قابل تجدید هستند. نسبت بالای کاربرد انرژی‌های غیر قابل تجدید در کشاورزی سبب اثرات منفی روی پایداری تولید خواهد شد. از طرفی یکی از ایرادات اصلی توسعه کشت سیب‌زمینی در منطقه این است که کشاورز در استفاده و بهره‌برداری از زمین خود در دو فصل پاییز و زمستان تا اواسط اردیبهشت که تاریخ کشت سیب‌زمینی می‌باشد، نمی‌تواند استفاده نماید و این دقیقاً کارآمدی کشت گندم آبی را نسبت به سیب‌زمینی نشان می‌دهد، بنابراین کشت پاییزه گندم آبی نسبت به کشت سیب‌زمینی بهاره و تابستانه که دارای نیاز آبی بالا و هزینه بیشتر است، کاربردی‌تر است.

سپاس‌گزاری انجام گردید. بابت این همکاری سپاس‌گزاری می‌شود.

این تحقیق با حمایت معاونت پژوهشـــی دانشـــگاه لرســـتان

References

Akcaoz, H., Ozcatalbas, O. and Kizilay, H. 2009. Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. *Journal of Food Agriculture and Environment*, *7*, pp.475-480.

Aynehband, A. 2015. Ecology Agricultural Systems (new edition) Shahid Chamran University Press Ahvaz- Iran, 661, pp.42-46. [In Persian].

Azizi, K. and Heidari, S. 2013. Comparative study on energy balance and economical indices in irrigated and dry land barley production systems. *Journal Environmental Science and Technology*, *10*, pp.1019c028. **doi.org/10.1007/s13762-012-0157-0**

Banaeian, N., Omid, M. and Ahmadi, H. 2010. Energy and economic analysis of greenhouse strawberry production in Tehran province of Iran. *Energy Conversion and Management*, *52*(2), pp.1020-1025. [In Persian]. **doi: 10.1016/j.enconman.2010.08.030**

Cochran, J. 2003. Patterns of sustainable agriculture adoption/non-adoption in Panama a thesis submitted to McGill University. *McGill University, Montreal, Canada*, pp.1-114.

Dastan, S., Noormohamadi, G., Madani, H. and Soltani, A. 2015. Analysis of energy indices in rice production systems in the Neka region. *Environmental Sciences, 13*(1), pp.53-66. [In Persian].

Esengun, K., Erdal, G., Gunduz, O. and Erdal, H. 2007. An economic analysis and energy use in stake-tomato production in Tokat province of Turkey. *Renewable Energy, 32*, pp.1873-1881. **doi: 10.1016/j.renene.2006.07.005**

Ghaderzadeh, H. and Pirmohamediani, Z. 2019. Investigation of energy efficiency in potato production in Hamadan province. *Journal of Agricultural Economics Research, 11*(2), pp.167-202. [In Persian].

Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M., Sanjani, S., Anvarkhah, S. and Aghel, H. 2011. A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat productionsystems. *Applied Energy, 88*, pp.283-288. **doi: 10.1016/j.apenergy.2010.04.028**

Kaltsas, A., Mamolos, A., Tsatsarelis, C., Nanos, G. and Kalburtji, K. 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture Ecosystem and Environment, 122*(2), pp.243-251. **doi: 10.1016/j.agee.2007.01.017**

Kazemi, H., Shahbyki, M. and Baghbani, S. 2015. Energy analysis for faba bean production: A case study in Golestan province, Iran. *Sustainable Production and Consumption, 3*, pp.15-20. **doi: 10.1016/j.spc.2015.07.004**

Kizilaslan, H. 2009. Input- output energy analysis of cherries production in Tokat province of Turkey. *Applied Energy, 86*(7-8), pp.1354-1358 **doi: 10.1016/j.apenergy.2008.07.009**

Mohammadi, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Mousavi Avval, S.H. and Rafiee, H. 2011. Energy efficiency improvement and input cost saving in kiwifruit production using Data Envelopment Analysis approach.

Renewable Energy, *36*(9), pp.2573-2579. **doi: 10.1016/j.renene.2010.10.036**

Ozkan, B., Fert, C. and Karadeniz, C.F. 2007. Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production. *Energy*, *32*, pp.1500-1504. **doi: 10.1016/j.energy.2006.09.010**

Pahlavan, R., Omid, M. and Akram, A. 2012. The relationship between energy inputs and crop yield in greenhouse basil production. *Journal of Agricultural Sciences and Technology*, *14*, pp.1243-1253. **dor: 20.1001.1.16807073.2012.14.6.5.5**

Rajabi Hamedani, S., Shabani, Z. and Rafiee, S. 2011. Energy inputs and crop yield relationship in potato production in Hamadan province of Iran. *Energy*, *36*, pp.2367-2371. **doi: 10.1016/j.energy.2011.01.013**

Rajabi, M.H., Soltani, A., Zeynali, E. and Soltani, E. 2012. Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. *Journal of Plant Production Research*, *19*(3), pp.143-171. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.23222050.1391.19.3.9.9**

Rezaei, P., Naderi, M.K., Karimi, S. and Shanazi, K. 2019. Environmental sustainability assessment of farming system using ecological footprint analysis (case study: potato and cucumber cultivation in Sofalgaran district of Bahar County). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29*(2), pp.53-66. [In Persian].

Shahhoseini, H.R., Ramrodi, M. and Kazemi, H. 2020. Evaluating and comparing the sustainability of autumn and spring potato agroecosystems using energy analysis (case study: Golestan province). *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production, 30*(4), pp.265-279. [In Persian]. **doi: 10.22034/saps.2020.12316**

Shahhoseini, H.R., Ramrodi, M. and Kazemi, H. 2021. Economic analysis and evaluating the sustainability of potato production based on greenhouse gas emissions (case study: Golestan Province). *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production, 31*(3), pp.295-311. [In Persian]. **doi: 10.22034/saps.2021.39789.2488**

Sheibani, S., Ghanbari, A., Asghari Pourchaman, M.R. and Abolpour, B. 2017. Determining the optimal water use efficiency in wheat production sustainability. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 27*(2), pp.1-18. [In Persian].

Singh, H., Singh, A.K., Kushwaha, H.L. and Singh, A. 2007. Energy consumption pattern of wheat production in India. *Energy*, *32*, pp.1848-1854.

Soltani, A., Maleki, M.H.M. and Zeinali, E. 2014. Optimal crop management can reduce energy use and greenhouse gases emissions in rainfed canola production. *International Journal of Plant Production, 8*(4), pp.587-604. [In Persian]. **doi: 10.22069/ijpp.2014.1726**

Tabatabaeefar, A., Emamzadeh, H., Ghasemi Varnamkhasti, M., Rahimizadeh, R. and Karimi, M. 2009. Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy*, *34*, pp.41-45. **doi: 10.1016/j.energy.2008.09.023**

Tipi, T., Cetin, B. and Vardar, A. 2009. An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, *7*(2), pp.352-356.

Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A. and Jaggard, K. 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emission in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems*, *85*(2), pp.101-119. **doi: 10.1016/j.agsy.2004.07.015**

Unakitan, G. and Aydin, B. 2018. A comparison of energy use efficiency and economic analysis of wheat and sunflower production in Turkey: a case study in Thrace Region. *Energy*, *149*, pp.279-285. **doi: 10.1016/j.energy.2018.02.033**

Yaqoubi, F., Jami Al-Ahmadi, M., Bakshi, M.R. and Sayari Zahan, M.H. 2015. Comparison of technical and economic efficiency indicators of water consumption in wheat and saffron production in Qaenat city. *Saffron Agronomy & Technology*, *3*(4), pp.225-236. [In Persian].

Yasari, E., Dastan, S. and Yadi, R. 2018. Evaluation of CO2 emission caused by energy consumption of local rice cultivars in Mazandaran province. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *28*(4), pp.191-206. [In Persian].

Zahedi, M. and Eshghizadeh, H.R. 2014. Energy use efficiency and economical analysis in cotton production system in an arid region: A case study for Isfahan province, Iran. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *4*, pp.43-52.

Zahedi, M., Eshghizadeh, H.R. and Mondani, F. 2015. Energy efficiency and productivity in potato and sugar beet production systems in Isfahan province. *Journal of Crop Production and Processing*, *17*(5), pp.181-191. [In Persian]. **doi: 10.18869/acadpub.jcpp.5.17.181**

Zangeneh, M., Omid, M. and Akram, A. 2010. A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. *Energy*, *35*, pp.2927-2933. **doi: 10.1016/j.energy.2010.03.024**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 3, Winter 2023, P. 761-774

Evaluation of energy efficiency and ecological productivity of wheat and potato agroecosystem ecosystems in Borujerd city, Lorestan province

Leila Rahimi[1], Khosro Azizi[*2], Dariush Goodarzi[2], Mashallah Daneshvar[2], Saeed Heidari[2]

[1] MSc Graduate of Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran
[2] Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran
[*]Corresponding Author: azizi.kh@lu.ac.ir

Received: 28 June 2022 Accepted: 29 August 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.349325.1252**

Abstract

Introduction: This study was carried out to assess and compare to energy, management of resources, especially water and increase the efficiency of irrigated wheat and potato.With the increase in population and the limitations of production resources in the future, it will be difficult to access energy sources in sufficient quantity. Efficient use of agricultural energy is one of the important factors in achieving sustainable agriculture. Sustainability is one of the main components of agricultural production that leads to food security and utilization of production resources for present and future generations. The efficiency and stability of crop systems vary according to the type of input energy management.The study was conducted to evaluate and compares the course of energy, the productivity of resources, especially water, and increases in the efficiency of irrigated wheat and potato agroecosystems.

Materials and Methods: At present, in most conventionally managed crop ecosystems, the share of indirect, non-renewable and commercial energy was higher than direct, renewable and non-commercial energy...This research was conducted in the crop years of 2017 in Borujerd city, Lorestan province, in the geographical location of 34° 1′ N latitude and 48° 4′ E longitude. The data used in this study are collected by questionnaire. The number of samples was determined by Cochran formula. Accordingly, 130 irrigated wheat farms and 60 potato farms were selecte by stratified random sampling method. In order to calculate the energy equivalent of inputs and outputs in the two canvases of irrigated wheat and potato crop system, first the most important inputs and outputs and their energy equivalent in the two canvases of the system were determined. Then, the equivalent of each input energy as well as output was calculated by multiplying its raw value by the corresponding energy conversion factor, the input energy input and the water flow rate in the two potato and irrigated wheat cropping systems .

Results and Discussion: The total amount of input energy were in potato (92645.73 MJ ha^{-1}) and in irrigated wheat (45215.33 MJ ha^{-1}). In terms of electricity, fossil fuel, chemical fertilizers and irrigation water, the potato agroecosystem had the highest amount of energy consumption. The consumption of non-renewable and indirect energy from the total input energy was high in both agroecosystems, especially potato cultivation showed more dependence on these input energies. This can indicated the instability of the potato agoecosystem compared to irrigated wheat. The amount of net energy index in the potato cropping system is higher than that of irrigated wheat, and indicates lower energy loss in potato cultivation. But because of the higher energy consumption efficiency in irrigated wheat compared to potato cultivation, this indicates the greater than of efficiency of the irrigated wheat farming system in converting input energy into available energy for yield.

Conclusion: Production systems should not be used for more than of their capacity in order to generate high revenue. As energy input increases, energy efficiency decreases Proper and efficient use of available resources increases the sustainability of production Therefore, conventional potato

production is not sustainable in terms of energy consumption, because a very high percentage of consumption inputs in the potato production are non-renewable energies.. The consumption of non-renewable and indirect energy from the total input energy was high in both agroecosystems. The amount of net energy index in the potato cropping system is higher than that of irrigated wheat, and indicates lower energy loss in potato cultivation. This can indicated the instability of the potato Therefore it is suggested the cultivation of irrigated wheat, which was more stable, to the farmers of the region.Therefore, autumn irrigated wheat cultivation is more practical than spring and summer potato cultivation, which has a high water requirement and higher cost.

Keywords: Energy efficiency, Fossil fuels, Out puts, Renewable and non-renewable energies, Sustainability of cultivation system