Archive of SID

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 12، شماره 1، بهار 1399، ص 142-127

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.1, Spring 2020, p. 127-142

ارزیابی کارآیی مصرف منابع و وضعیت پایداری در دو بوم‌نظام زراعی سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) با استفاده از تحلیل امرژی (مطالعه موردی: شهرستان گرگان)

حمیدرضا شاه حسینی[1]، محمود رمرودی[2*] و حسین کاظمی[3]

تاریخ دریافت: 1398/03/18
تاریخ پذیرش: 1398/05/07

شاه حسینی، ح.ر.، رمرودی، م. و کاظمی، ح. 1399. ارزیابی کارآیی مصرف منابع و پایداری دو بوم‌نظام زراعی سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) با استفاده از تحلیل امرژی (مطالعه موردی: شهرستان گرگان). بوم‌شناسی کشاورزی، 12 (1): 142-127.

چکیده

فشردگی بوم‌نظام‌های کشاورزی و محدودیت منابع محیطی، ضرورت تعیین کارآیی مصرف منابع در راستای دستیابی به اصول پایداری، از لحاظ مصرف منابع محیطی و اقتصادی را در نظام‌های کشاورزی ایجاب کرده است. تحلیل امرژی، به‌عنوان ابزار مناسبی برای این منظور، در بوم‌نظام‌های مختلف استفاده می‌شود. این پژوهش با هدف ارزیابی و مقایسه کارآیی مصرف منابع و پایداری بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) با استفاده از تحلیل امرژی در شهرستان گرگان در سال زراعی 97- 1396 انجام شد. به این منظور، تعداد 100 پرسش‌نامه برای سیب‌زمینی‌کاران پاییزه و 60 پرسش‌نامه برای سیب‌زمینی‌کاران بهاره تکمیل شد. پس از تعیین مرزهای مکانی و زمانی و تقسیم‌بندی منابع به چهار گروه محیطی تجدیدپذیر، محیطی تجدیدناپذیر، بازاری (خریداری شده) تجدیدپذیر و بازاری تجدیدناپذیر، شاخص‌های امرژی در دو بوم‌نظام، محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد ورودی امرژی کل برای بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره سیب‌زمینی به‌ترتیب $1/71\times10^{16}$ و $1/76\times10^{16}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود. در بوم‌نظام پاییزه وابستگی به ورودی‌های خریداری شده بیشتر از ورودی‌های محیطی بود، درحالی‌که در بوم‌نظام بهاره، این مورد عکس بود. بیشترین سهم از ورودی امرژی کل در هر دو بوم‌نظام پاییزه و بهاره مربوط به مصرف آب زیرزمینی به‌ترتیب 23/92 و 45/28 درصد بود. در بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره سیب‌زمینی به‌ترتیب، شاخص ضریب تبدیل $1/50\times10^{5}$ و $2/54\times10^{5}$ امژول خورشیدی بر ژول، تجدیدپذیری امرژی 22/85 و 12/78 درصد، نسبت عملکرد امرژی 1/44 و 2/06، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی 2/29 و 0/94، نسبت بارگذاری محیطی 29/10 و 30/02 و شاخص پایداری امرژی 0/05 و 0/07 بود. اختلاف بین بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره از نظر تمام شاخص‌های امرژی معنی‌دار شد. علی‌رغم سهم بالاتر ورودی‌های محیطی نسبت به بازاری در بوم‌نظام بهاره، مصرف زیاد آب زیرزمینی، به‌عنوان یک ورودی تجدیدناپذیر، موجب تشدید فشار محیطی در این بوم‌نظام گردید. استفاده از روش‌های نوین آبیاری، موجب بهبود مصرف آب و در نتیجه کاهش فشار محیطی در بوم‌نظام بهاره خواهد شد. عملکرد، سودمندی و کارآیی تولید، تجدیدپذیری و پایداری محیطی بوم‌نظام پاییزه به‌طور معنی‌داری از بهاره بیشتر بود. پایداری اقتصادی بوم‌نظام پاییزه کمی از بوم‌نظام بهاره کمتر بود که عمدتاً به‌خاطر مصرف نامعقول ورودی‌های بازاری از قبیل بذر و سوخت‌های فسیلی بود. مدیریت و کاربرد بهینه این ورودی‌ها موجب افزایش پایداری اقتصادی در بوم‌نظام پاییزه خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، پایداری اقتصادی، فشار محیطی، کارآیی تولید

مقدمه

فشرده‌سازی در کشاورزی به‌منظور تأمین غذا برای جمعیت در حال رشد، توأم با محدود شدن زمین‌های قابل کشت و افزایش استانداردهای زندگی، اثرات منفی مختلفی بر محیط از جمله تخریب

1 و 2- به‌ترتیب، دانشجوی دکتری اگرواکولوژی و دانشیار گروه زراعت دانشگاه زابل، ایران.
3- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email:mramroudi42@uoz.ac.ir)

Doi:10.22067/jag.v12i1.81189

www.SID.ir

Archive of SID

زمین و آلودگی آب‌های زیرزمینی، تغییر اقلیم و کاهش تنوع زیستی داشته است (Foley et al., 2011). بنابراین، نظام‌های کشاورزی که از یک طرف، فراهم‌کننده غذای کافی و از طرف دیگر، حفاظت‌کننده کیفیت محیط باشند، به‌عنوان نمونه‌ای از پایداری در کشاورزی، مورد توجه هستند (Kumaraswamy, 2012). کشاورزی مصرف‌کننده هر دو نوع منابع محیطی و اقتصادی می‌باشد. بنابراین، باید سهم هر دو منبع، در ارزیابی پایداری بوم‌نظام‌ها در نظر گرفته شود (Campbell, 1998).

امرژی، هر نوع انرژی قابل استفاده است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم برای تولید یک محصول یا ارائه یک خدمت مصرف شده و واحد آن امژول است (Odum, 1996). توانایی انجام کار در فرم-های مختلف انرژی، یکسان نیست و از آن‌جایی‌که بیوسفر، مشتق شده از انرژی خورشید می‌باشد، امرژی خورشیدی به‌عنوان مقیاس اصلی در اغلب ارزیابی‌های امرژی به‌کار رفته و واحد آن امژول خورشیدی می‌باشد (Brown & Ulgiati, 2004). تحلیل امرژی با ارزیابی هر دو جنبه اقتصادی و محیطی پایداری، امکان مدیریت تلفیقی آن‌ها را فراهم کرده و قادر به ارزیابی هر دو کیفیت و کمیت جریان‌های ماده و انرژی در یک نظام تلفیقی می‌باشد (Brown & Ulgiati, 2004). تحلیل امرژی، شاخص‌های ارزیابی زیادی دارد که بینش دقیق‌تری در خصوص میزان تجدیدپذیری منابع و سهم منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و ورودی‌های محیطی و بازاری از امرژی کل پیش‌برنده یک نظام، فراهم کرده و برای ارزیابی رفتار نظام‌های تولید به‌کار می‌رود. کارآیی، تجدیدپذیری، فشار محیطی و در نهایت، پایداری یک نظام را می‌توان به‌دقت با استفاده از شاخص‌های امرژی از نظر محیطی و اقتصادی ارزیابی کرد (Brown & Ulgiati, 2004; Odum, 2000).

تحلیل امرژی در مناطق مختلف مانند شهرستان‌ها، جنگل‌ها، دریاها، علف‌زارها و نظام‌های تولید محصول قابل انجام است (Zhai et al., 2017). برای مثال، ارزیابی پایداری بوم‌نظام‌های زراعی گندم و ذرت در جهرم با استفاده از تحلیل امرژی نشان داد پایداری گندم نسبت به ذرت در این منطقه بیشتر است که دلیل اصلی آن فشار کمتر گندم نسبت به ذرت بر محیط، به‌دلیل وابستگی بیشتر به ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر می‌باشد (Houshyar et al., 2018). ارزیابی تولید متداول ذرت علوفه‌ای و مقایسه آن با تولید متداول گندم در دانمارک نشان داد، تولید متداول ذرت علوفه‌ای از پایداری اقتصادی و محیطی بیشتری برخوردار است (Ghaley et al., 2018). هدف از این پژوهش، ارزیابی امرژی دو بوم‌نظام زراعی پاییزه و بهاره سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) به‌منظور تعیین و مقایسه میزان کارآیی و پایداری این دو بوم‌نظام و ارائه پیشنهاداتی برای مدیریت بهینه و پایدار نظام تولید این محصول مهم در منطقه مورد مطالعه، به‌عنوان یکی از قطب‌های تولید محصولات زراعی در ایران بود.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه و جمع‌آوری داده‌ها: این پژوهش در سال زراعی 97- 1396 در شهرستان گرگان، مرکز استان گلستان، انجام شد. جمع‌آوری داده‌ها از طریق پرسش‌نامه و مصاحبه چهره‌به‌چهره با کشاورزان و مدیران مزارع انجام گرفت. برای تعیین تعداد پرسش‌نامه از رابطه کوکران (معادله 1) استفاده شد (Cochran, 2003).

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

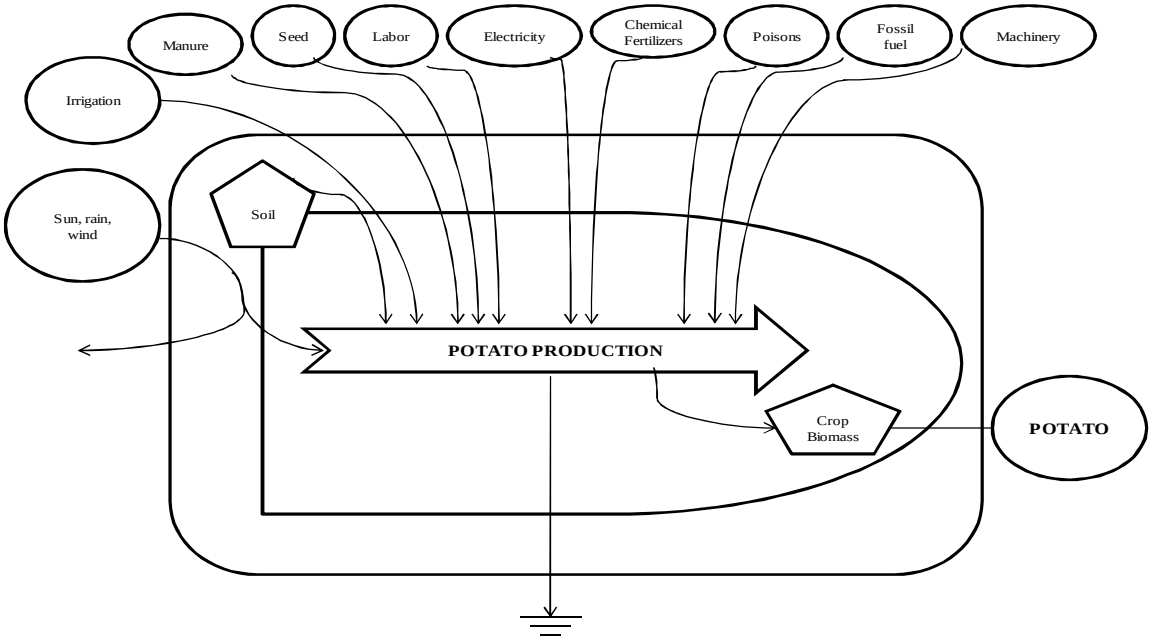
معادله (1)

که در آن، n: حجم نمونه، N: حجم جامعه آماری، z: مقدار خطای معیار ضریب اطمینان قابل قبول (1/96)، p: نسبتی از جمعیت دارای صفتی معین (0/5)، q: نسبتی از جمعیت فاقد صفتی معین (0/5) و d: دقت احتمالی مطلوب بود. تعداد پرسش‌نامه برای سیب‌زمینی‌کاران پاییزه، 100 و برای سیب‌زمینی‌کاران بهاره، 60 در نظر گرفته شد. انتخاب کشاورزان با روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌ای انجام شد.

تحلیل امرژی: اولین مرحله در ارزیابی امرژی، ترسیم دیاگرام امرژی به‌منظور تعیین مرزهای مکانی و زمانی و تعیین مهم‌ترین ورودی‌های نظام و جریان‌های ماده، انرژی و جریان اقتصادی در آن (شکل 1) است (Odum, 1996; Odum, 2000). این عمل، ورودی‌ها به نظام را به محیطی یا غیرمحیطی، بازاری یا غیربازاری و تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر تقسیم می‌کند (Odum, 2000).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 1- دیاگرام جریان امرژی بوم‌نظام‌های زراعی سیب‌زمینی در شهرستان گرگان
Fig. 1- Emergy flow diagram of potato agricultural ecosystems in Gorgan County

برای محاسبه شاخص‌های امرژی، تمام ورودی‌ها به چهار گروه ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر (R)، ورودی‌های محیطی که به‌طور بالقوه تجدیدپذیر هستند، امّا به‌دلیل زمان بسیار زیاد در تجدید آن‌ها به‌عنوان ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر در نظر گرفته می‌شوند (N_0)، ورودی‌های بازاری تجدیدپذیر (F_R) و ورودی‌های بازاری تجدیدناپذیر (F_N) تقسیم می‌شوند (Asgharipour et al., 2019). اطلاعات مربوط به فرآیندهای تولید درون مزرعه مانند عملیات آبیاری، زراعی و مکانیکی توسط پرسش‌نامه جمع‌آوری گردید. اطلاعات مربوط به میزان فرسایش و ماده آلی خاک از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان و اطلاعات مربوط به ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر شامل نور خورشید، باران و باد، از اداره کل هواشناسی استان گلستان جمع‌آوری شد (جدول 1).

جدول 1- میانگین بلندمدت سالانه متغیرهای اقلیمی و خاکی در شهرستان گرگان
Table 1- Average climatic and edaphic variables over a long run in Gorgan County

متغیر Item	واحد Unit	میانگین بلندمدت سالانه Long-term annual average
تشعشع خورشیدی Solar isolation	$J.m^{-2}$	1.74×10^{7}
بارندگی Rainfall	mm	500
سرعت باد Wind speed	$m.s^{-1}$	6.24
میزان فرسایش خاک Soil erosion rate	$kg.ha^{-1}$	15000
ماده آلی خاک Soil organic matter	%	1.7

www.SID.ir

Archive of SID

جریان امرژی منابع تجدیدپذیر برای تمام مزارع در این تحقیق، یکسان در نظر گرفته شد. محاسبه مقدار ورودی کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها، بر اساس مقدار ماده مؤثره آن‌ها انجام شد (Jafari et al., 2018). اطلاعات مربوط به وزن ماشین‌آلات و سوخت و روغن مصرفی آن‌ها از دفترچه راهنما استخراج و میانگین عمر مفید ماشین‌آلات در ایران 10 سال در نظر گرفته شد (Houshyar et al., 2018). هم‌چنین بر اساس مصاحبه‌های انجام شده با کشاورزان، مساحت کاربرد سالانه ماشین‌آلات 1000 هکتار در نظر گرفته شد. برای محاسبه ورودی ماشین‌آلات، مجموع وزن ماشین‌آلات مورد استفاده بر مساحت کاربرد سالانه آن‌ها و سپس بر عمر مفید آن‌ها تقسیم گردید (Houshyar et al., 2018). ضریب تجدیدپذیری نیز برای تمام ورودی‌ها تعیین شد. برای مثال، ضریب تجدیدپذیری 0/10 برای نیروی کارگری نشان‌دهنده این است که 90 درصد از نیروی کارگری از منابع تجدیدناپذیر نتیجه شده و به‌عنوان F_N ثبت می‌گردد و 10 درصد از منابع تجدیدپذیر بوده که به‌عنوان F_R در نظر گرفته می‌شود. این ضریب برای کود دامی و الکتریسیته در ایران به‌ترتیب 0/80 و 0/02 است (Jafari et al., 2018). مقدار ضریب تجدید-پذیری برای بذر سیب‌زمینی، بر اساس شرایط تولید آن در ایران محاسبه شد که 0/37 بود. تمام محاسبات مربوط به تعیین میزان امرژی و شاخص‌های آن، توسط نرم‌افزار Excel 2007 انجام شد. برای محاسبه میزان امرژی خورشیدی ورودی‌ها و خروجی در نظام تولید سیب‌زمینی، پس از تعیین مهم‌ترین ورودی‌ها و خروجی، ابتدا مقدار خام آن‌ها در هرکدام از 160 مزرعه بر حسب واحد جرم (گرم) یا واحد انرژی (ژول)، در هکتار در سال تعیین شد. ضریب تبدیل برای محاسبه محتوای انرژی سوخت فسیلی 56/31 (Houshyar et al., 2018)، نیروی کارگری 1/96 (Zangeneh et al., 2010)، الکتریسیته 3/60 (Kazemi et al., 2018) و سیب‌زمینی 3/60 (Zangeneh et al., 2010) بود. برای محاسبه ورودی‌های محیطی نور خورشید، باد، باران، فرسایش خاک و آب زیرزمینی بر حسب واحد ژول، به‌ترتیب از معادله‌های 2 تا 6 استفاده شد.

معادله (2)

$$\text{Solar energy} = (10000\ m^2.ha^{-1}) \times (\text{isolation}) \times (1\text{-albedo})$$

که در آن، میزان آلبدو برای سیب‌زمینی 0/22 بود (Ghaley et al., 2018).

معادله (3)

$$\text{Wind energy} = (10000\ m^2.ha^{-1}) \times (\text{density of wind}) \times (\text{drag coefficient}) \times (\text{wind speed})^3 \times (\text{time})$$

که در آن، چگالی باد 1/3 کیلوگرم بر مترمکعب، ثابت درگ 0/001 و زمان $3/15\times10^7$ ثانیه بود (Ghaley et al., 2018).

معادله (4)

$$\text{Rain energy} = (10000\ m^2.ha^{-1}) \times (\text{rainfall}) \times (\text{density}) \times (\text{gibbs free energy})$$

که در آن، چگالی باران 1000 کیلوگرم بر مترمکعب و انرژی آزاد گیبس 4940 ژول بر کیلوگرم بود (Houshyar et al., 2018).

معادله (5)

$$\text{Energy of soil erosion} = (\text{soil loss}) \times (\%\text{organic matter}) \times (\text{organic matter energy}) \times (\text{conversion})$$

که در آن، انرژی ماده آلی 5400 کیلوکالری بر کیلوگرم و عامل تبدیل 4186 ژول بر کیلوکالری بود (Houshyar et al., 2018).

معادله (6)

$$\text{Groundwater} = (\text{average quantity}) \times (\text{density}) \times (\text{gibbs free energy})$$

که در آن، چگالی آب 1000 کیلوگرم بر مترمکعب و انرژی آزاد گیبس 4940 ژول بر کیلوگرم بود (Houshyar et al., 2018).

امرژی خورشیدی هر ورودی با ضرب مقدار خام آن در ضریب تبدیل امرژی خورشیدی مربوطه محاسبه شد (Odum, 2000). لازم به ذکر است ضرایب تبدیل از مطالعاتی انتخاب شدند که بیشترین شباهت با این تحقیق را داشته باشند. تحلیل امرژی در این تحقیق بر اساس ضریب سیاره‌ای $12/1\times10^{24}$ امژول خورشیدی در سال انجام شد و ضرایب تبدیل نیز بر این اساس تعیین گردید (Brown et al., 2016). مقدار ورودی امرژی کل نیز برای هر مزرعه با جمع مقادیر امرژی تمام ورودی‌ها در آن مزرعه محاسبه شد. هم‌چنین، ورودی امرژی و خروجی امرژی برای دو بوم‌نظام زراعی پاییزه و بهاره، به‌ترتیب با میانگین‌گیری از تمام 100 و 60 مزرعه پاییزه و بهاره محاسبه شد. در این تحقیق، مهم‌ترین شاخص‌های امرژی برای ارزیابی کارآیی و پایداری (جدول 2)، در هر یک از مزارع پاییزه و بهاره محاسبه و سپس دو بوم‌نظام زراعی پاییزه و بهاره به‌وسیله آزمون t با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 مورد مقایسه قرار گرفتند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 2- معادلات و خصوصیات شاخص‌های امرژی برای ارزیابی بوم‌نظام‌های زراعی سیب‌زمینی

Table 2- Specifications and formula of emergy-based indices for evaluation of potato farming ecosystems

شاخص Index	فرمول Formula	خصوصیات Specifications	منبع Reference
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs	R	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع محلی رایگان Renewable flows from free local resources	Asgharipour et al. (2019)
ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs	N_0	جریان‌های بالقوه تجدیدپذیر از منابع محلی رایگان که به‌عنوان تجدیدناپذیر در نظر گرفته می‌شوند Local potentially renewable flows from free local resources that is being used in a nonrenewable	Asgharipour et al. (2019)
ورودی‌های بازاری تجدیدپذیر Renewable purchased inputs	F_R	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع بازاری Renewable flows from purchased resources	Asgharipour et al. (2019)
ورودی‌های بازاری تجدیدناپذیر Non-renewable purchased inputs	F_N	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع بازاری Non-renewable flows from purchased resources	Asgharipour et al. (2019)
ورودی امرژی کل Total emergy input	$U=R+N_0+F_R+F_N$	کل منابع امرژی مورد نیاز برای حمایت از نظام تولید Total emergy resources required to support the production system	Asgharipour et al. (2019)
خروجی امرژی کل Total emergy output	$Y= R+N_0+F_R+F_N$	امرژی کل تولیدات نظام Total emergy of system products	Asgharipour et al. (2019)
ضریب تبدیل Transformity	$Tr = \frac{U}{AE}$	مقدار امرژی برای تولید یک واحد خروجی بر حسب ژول است. AE انرژی قابل استفاده محصول است Amount of emergy required to produce an output unit in joules. AE is the accessible energy of the product	Brown & Ulgiati (2004)
تجدیدپذیری امرژی Emergy renewability	$\%R = \frac{R+FR}{U} \times 100$	درصد امرژی تجدیدپذیر استفاده شده توسط نظام Percentage of the renewable energy used by the system	Odum (2000)
نسبت عملکرد امرژی Emergy yield ratio	$EYR = \frac{Y}{FR+FN}$	مقیاس استفاده از منابع محیطی با سرمایه‌گذاری در منابع اقتصادی Ability of a process to use renewable and nonrenewable environmental resources with economic resources as a capital	Odum (2000)
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی Emergy investment ratio	$EIR = \frac{FR+FN}{R+N0}$	مقیاس شدت سرمایه‌گذاری اقتصادی و کاربرد منابع محیطی Indicates the intensity of economic investment and its matching to the free renewable and nonrenewable resources of the environment	Asgharipour et al. (2019)
نسبت بارگذاری محیطی Environmental loading ratio	$ELR = \frac{N0-FR+FN}{R}$	فشار محیطی ایجاد شده توسط یک نظام Environmental pressure produced by a process	Lu et al. (2014)
شاخص پایداری امرژی Emergy sustainability index	$ESI = \frac{EYR}{ELR}$	مقیاسی از پایداری نظام Measure of the sustainability of the system	Lu et al. (2014)

نتایج و بحث

ساختار امرژی ورودی: مقادیر امرژی مهم‌ترین ورودی‌های بازاری و جریان‌های منابع محیطی و سهم هر یک از آن‌ها از ورودی امرژی کل در تولید پاییزه و بهاره سیب‌زمینی به‌ترتیب در جداول 3 و 4 نشان داده شده‌اند.

تمام ورودی‌ها در این جدول‌ها از طریق ضرب شدن در ضریب-های تبدیل خورشیدی، به امرژی خورشیدی تبدیل شده‌اند. ورودی امرژی کل یا همان امرژی کل حمایت‌کننده بوم‌نظام‌های زراعی سیب‌زمینی برای مزارع پاییزه و بهاره به‌ترتیب $1/71\times10^{16}$ (جدول 3) و $1/76\times10^{16}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال (جدول 4) بود که نشان می‌دهد امرژی کل حمایت‌کننده تولید در شرایط کشت بهاره 3/42 درصد بیشتر از کشت پاییزه بوده و دلیل اصلی آن مصرف بیشتر ورودی امرژی آب زیرزمینی در بوم‌نظام بهاره است. این مقدار برای بوم‌نظام تولید سیب‌زمینی در چین $1/52\times10^{16}$ امژول خورشیدی در هکتار بود (Zhai et al., 2017).

ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر (R): این ورودی‌ها شامل نور خورشید، باران و باد بودند. سهم این ورودی‌ها از ورودی امرژی کل در دو بوم‌نظام پاییزه و بهاره سیب‌زمینی کم و تقریباً برابر بود (به‌ترتیب جداول 3 و 4) که نشان‌دهنده وابستگی پایین تولید سیب-زمینی به منابع محیطی تجدیدپذیر در هر دو شرایط کشت پاییزه و بهاره است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 3- منابع طبیعی و اقتصادی، تجدیدپذیری، ضریب تبدیل و امرژی خورشیدی سیب‌زمینی پاییزه

Table 3- Natural and economic flow, renewabilities, transformities and solar emergy for autumn potato

متغیر Item	واحد Unit	جریان یک‌ساله خام Raw annual flow	ضریب تجدیدپذیری Renewability factor	ضریب تبدیل خورشیدی Solar transformity (sej unit^{-1})	امرژی خورشیدی Solar emergy (sej ha^{-1} yr^{-1})	امرژی خورشیدی Solar emergy (%)	منابع ضریب تبدیل References for transformity
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs							
نور خورشید Sunlight	J	1.36E+11	1	1	1.36E+11	0	Odum (1996)
باران Rainfall	J	2.47E+10	1	2.30E+04	5.68E+14	3.32	Odum (1996)
باد Wind	J	9.95E+10	1	1.86E+03	1.85E+14	0	Odum (1996)
جمع Subtotal					5.68E+14	3.32	
ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs							
شدت فرسایش خاک Soil erosion	J	5.76E+09	0	9.42E+04	5.43E+14	3.18	Ghaley et al. (2018)
آب زیرزمینی Ground water	J	2.13E+10	0	1.92E+05	4.09E+15	23.92	Cuadra & Rydberg (2006)
جمع Subtotal					4.63E+15	27.10	
ورودی‌های بازاری Purchased inputs							
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	g	2.03E+05	0	4.84E+09	9.83E+14	5.75	Ghisellini et al. (2014)
کود فسفر Phosphorus fertilizer	g	1.26E+05	0	4.97E+09	6.26E+14	3.66	Ghisellini et al. (2014)
کود پتاس Potash fertilizer	g	8.47E+04	0	1.40E+09	1.19E+14	0.80	Ghisellini et al. (2014)
کود گوگرد Sulphur fertilizer	g	4.11E+04	0	6.94E+07	2.85E+12	0.02	Martin et al. (2006)
کود دامی Manure fertilizer	g	1.30E+07	0.80	1.62E+08	2.11E+15	12.34	Ghaley et al. (2018)
علف‌کش Herbicide	g	1.02E+03	0	1.13E+10	1.15E+13	0.07	Bastianoni et al. (2001)
حشره‌کش Insecticide	g	2.12E+02	0	1.13E+10	2.40E+12	0.02	Bastianoni et al. (2001)
قارچ‌کش Fungicide	g	8.69E+02	0	1.13E+10	9.82E+12	0.06	Bastianoni et al. (2001)
ماشین‌آلات Machinery	g	1.29E+03	0	1.01E+10	1.30E+13	0.08	Campbell et al. (2005)
بذر Seed	g	4.31E+06	0.37	9.20E+08	3.97E+15	23.22	Zhai et al. (2017)
سوخت فسیلی و روغن Fossil fuel and lubricant	J	1.86E+10	0	8.48E+04	1.58E+15	9.24	Brandt-Wiliams (2002)
نیروی کارگری Human labour	J	7.30E+08	0.10	2.22E+06	1.62E+15	9.47	Lu et al. (2009)
الکتریسیته Electricity	J	2.29E+09	0.02	3.62E+05	8.29E+14	4.85	Odum (1996)
جمع Subtotal					1.19E+16	69.58	
جمع کل Total					1.71E+16	100.00	
عملکرد غده Tuber yield	J	1.14E+11		1.50E+05	1.71E+16		Calculated

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 4- منابع طبیعی و اقتصادی، تجدیدپذیری، ضریب تبدیل و امرژی خورشیدی سیب‌زمینی بهاره

Table 4- Natural and economic flow, renewabilities, transformities and solar emergy for spring potato

متغیر Item	واحد Unit	جریان یک‌ساله خام Raw annual flow	ضریب تجدیدپذیری Renewability factor	ضریب تبدیل خورشیدی Solar transformity (sej unit^{-1})	امرژی خورشیدی Solar emergy (sej ha^{-1} yr^{-1})	امرژی خورشیدی Solar emergy (%)	منابع ضریب تبدیل References for transformity
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs							
نور خورشید Sunlight	J	1.36E+11	1	1	1.36E+11	0.00	Odum (1996)
باران Rainfall	J	2.47E+10	1	2.30E+04	5.68E+14	3.23	Odum (1996)
باد Wind	J	9.95E+10	1	1.86E+03	1.85E+14	0.00	Odum (1996)
جمع Subtotal					5.68E+14	3.23	
ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs							
شدت فرسایش خاک Soil erosion	J	5.76E+09	0	9.42E+04	5.43E+14	3.09	Ghaley et al. (2018)
آب زیرزمینی Groundwater	J	4.15E+10	0	1.92E+05	7.97E+15	45.28	Cuadra & Rydberg (2006)
جمع Subtotal					8.51E+15	48.37	
ورودی‌های بازاری Purchased inputs							
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	g	2.29E+05	0	4.84E+09	1.11E+15	6.31	Ghisellini et al. (2014)
کود فسفر Phosphorus fertilizer	g	1.10E+05	0	4.97E+09	5.47E+14	3.11	Ghisellini et al. (2014)
کود پتاس Potash fertilizer	g	7.41E+04	0	1.40E+09	1.04E+14	0.59	Ghisellini et al. (2014)
کود گوگرد Sulphur fertilizer	g	2.57E+04	0	6.94E+07	1.78E+12	0.01	Martin et al. (2006)
کود دامی Manure fertilizer	g	2.27E+06	0.80	1.62E+08	3.68E+14	2.09	Ghaley et al. (2018)
علف‌کش Herbicide	g	3.70E+02	0	1.13E+10	4.18E+12	0.03	Bastianoni et al. (2001)
حشره‌کش Insecticide	g	0.00	0	1.13E+10	0.00	0.00	Bastianoni et al. (2001)
قارچ‌کش Fungicide	g	0.00	0	1.13E+10	0.00	0.00	Bastianoni et al. (2001)
ماشین‌آلات Machinery	g	8.29E+02	0	1.01E+10	8.37E+12	0.05	Campbell et al. (2005)
بذر Seed	g	3.50E+06	0.37	9.20E+08	3.22E+15	18.15	Zhai et al. (2017)
سوخت فسیلی و روغن Fossil fuel and lubricant	J	1.39E+10	0	8.48E+04	1.18E+15	6.70	Brandt-Wiliams (2002)
نیروی کارگری Human labour	J	9.01E+08	0.10	2.22E+06	2.00E+15	11.36	Lu et al. (2009)
الکتریسیته Electricity	J	0.00	0.02	3.62E+05	0.00	0.00	Odum (1996)
جمع Subtotal					8.54E+15	48.40	
جمع کل Total					1.76E+16	100.00	
عملکرد غده Tuber yield	J	6.94E+10		2.54E+05	1.76E+16		Calculated

www.SID.ir

Archive of SID

در تحقیقی مشابه، میزان ورودی امرژی تجدیدپذیر محیطی برای نظام‌های زراعی سیب‌زمینی در فلوریدای آمریکا $1/49\times10^{15}$ امژول خورشیدی در هکتار به‌دست آمد (Brandt-Wiliams, 2002). باران بیشترین مقدار امرژی را بین ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر در هر دو بوم‌نظام پاییزه و بهاره داشت. به‌دلیل این‌که تمام منابع محیطی تجدیدپذیر در ژئوبیوسفر از یک منبع یکسان سرچشمه گرفته‌اند، برای اجتناب از دوباره‌کاری، بزرگ‌ترین ورودی امرژی محیطی تجدیدپذیر به‌عنوان ورودی محیطی تجدیدپذیر کل در نظر گرفته می‌شود (Odum, 2000) که در این‌جا باران بود. دلیل اصلی بیشتر بودن امرژی باران نسبت به نور خورشید و باد، زیاد بودن بارندگی و روزهای ابری در این شهرستان است.

ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر (N_0): این ورودی‌ها شامل فرسایش خاک و مصرف آب زیرزمینی بودند. سهم بالای این ورودی‌ها در بوم‌نظام بهاره نشان‌دهنده این موضوع است که هزینه-های محیطی تولید سیب‌زمینی بهاره در شهرستان گرگان بحرانی است. سهم فرسایش خاک از ورودی امرژی کل در بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره سیب‌زمینی تقریباً برابر بود که دلیل اصلی آن بارندگی زیاد در این شهرستان است. این سهم در پژوهشی با شرایط مشابه این تحقیق، برای تولید متداول ذرت علوفه‌ای در دانمارک 3/3 درصد محاسبه شد (Ghaley et al., 2018). بین تمام 18 ورودی امرژی محاسبه شده در این تحقیق، سهم آب زیرزمینی از ورودی امرژی کل در هر دو بوم‌نظام پاییزه و بهاره بیشترین بود که به‌دلیل نیاز آبی بالای این محصول و روش آبیاری سنتی در اغلب مزارع بود. با این وجود، بیشترین تفاوت بین دو بوم‌نظام از نظر مقدار امرژی ورودی، مربوط به آب زیرزمینی بود، به‌طوری‌که سهم آن در بوم‌نظام بهاره، حدود دو برابر بیشتر از بوم‌نظام پاییزه بود که به‌دلیل مصرف آب بیشتر در شرایط کشت بهاره به‌دلیل برخورد دوره رشد با فصل تابستان و بارندگی ناچیز در این فصل و هم‌چنین سنتی بودن آبیاری در تمام مزارع مورد مطالعه در شرایط کشت بهاره بود.

ورودی‌های بازاری تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر (F_R، F_N): اختلاف بین دو بوم‌نظام پاییزه و بهاره در مصرف ورودی‌های بازاری زیاد بود. بیشتر بودن ورودی‌های بازاری در بوم‌نظام پاییزه نشان‌دهنده بیشتر بودن هزینه اقتصادی تولید در آن، نسبت به بوم‌نظام بهاره است. سهم زیاد ورودی‌های بازاری که اغلب خارجی نیز هستند در بوم‌نظام زراعی پاییزه نشان‌دهنده این موضوع هست که این بوم‌نظام، نظام به‌شدت بازی است که به‌طور شدید تحت تأثیر ورودی‌های خریداری شده از بازار قرار دارد. میزان ورودی امرژی بازاری برای نظام زراعی سیب‌زمینی در فلوریدای آمریکا $1/03\times10^{16}$ امژول خورشیدی در هکتار محاسبه شد (Brandt-Wiliams, 2002). سهم ورودی‌های خریداری شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر از ورودی بازاری کل، به‌ترتیب در بوم‌نظام پاییزه 28/07 و 71/93 درصد و در بوم‌نظام بهاره 19/72 و 80/28 درصد بود که نشان می‌دهد منابع تجدیدناپذیر سهم بیشتری نسبت به منابع تجدیدپذیر در حمایت از ورودی‌های بازاری در هر دو بوم‌نظام داشتند. بنابراین، مدیریت ورودی‌های بازاری و استفاده بهینه از آن‌ها برای کنترل سهم منابع تجدیدناپذیر در تولید محصول و به حداقل رساندن مصرف این منابع ضروری است. با این حال، سهم منابع تجدیدپذیر در حمایت از ورودی‌های بازاری در بوم‌نظام پاییزه از بهاره بیشتر بود. دلیل اصلی بالاتر بودن تجدیدپذیری ورودی‌های بازاری در بوم‌نظام پاییزه نسبت به بهاره، سهم بسیار بیشتر ورودی کود دامی (ورودی با 80 درصد تجدیدپذیری) در بوم‌نظام پاییزه نسبت به بهاره است (جداول 3 و 4).

بذر، بیشترین سهم را بین تمام ورودی‌های بازاری در هر دو بوم‌نظام پاییزه و بهاره داشت که دلیل آن ارزش امرژی واحد بالا برای این ورودی بود. با این وجود، میزان امرژی خورشیدی بذر سیب‌زمینی در بوم‌نظام پاییزه، بیشتر از مقدار آن در بوم‌نظام بهاره بود که بر اساس اطلاعات پرسش‌نامه، دلیل آن استفاده از مقدار بذر بیشتر و بزرگ‌تر از مقدار توصیه شده برای کاشت در شرایط کشت پاییزه بود. این مقدار برای بوم‌نظام تولید سیب‌زمینی در چین $0/02\times10^{14}$ امژول خورشیدی در هکتار به‌دست آمد (Zhai et al., 2017). سهم سوخت‌های فسیلی نیز از ورودی امرژی کل در دو بوم‌نظام پاییزه و بهاره زیاد بود. دلیل اصلی زیاد بودن این سهم، دفعات زیاد خاک‌ورزی در اغلب مزارع بود. مهم‌ترین دلیل بیشتر بودن این سهم در بوم‌نظام پاییزه نسبت به بهاره، استفاده از موتورهای چاه برای آبیاری مزارع بود؛ درحالی‌که در بوم‌نظام بهاره به‌دلیل کوچک بودن مساحت مزارع و نزدیکی به چشمه‌ها، آبیاری از آب چشمه‌ها و بدون کاربرد موتور-های آبیاری بود. نسبت ماشین‌آلات و نیروی کارگری از ورودی امرژی کل در بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره، متفاوت بود. بالاتر بودن

www.SID.ir

Archive of SID

میزان امرژی ماشین‌آلات در بوم‌نظام پاییزه نسبت به بهاره و به‌طور عکس، بالاتر بودن میزان امرژی نیروی کارگری در بوم‌نظام بهاره نسبت به پاییزه به‌دلیل عدم استفاده از ماشین‌آلات برای کاشت و برداشت محصول و وجین دستی علف‌های هرز در اغلب مزارع بهاره بود. هم‌چنین اگرچه ماشین‌آلات در تمام عملیات‌های کشاورزی در اغلب مزارع پاییزه استفاده شدند، نیروی کارگری نیز برای انجام عملیات کشاورزی ضروری است. دلیل اصلی زیاد بودن سهم نیروی کارگری در هر دو بوم‌نظام، وابستگی زیاد عملیات جمع‌آوری محصول سیب‌زمینی به نیروی انسانی است.

سهم الکتریسیته از ورودی امرژی کل در بوم‌نظام پاییزه 4/85 درصد و در بوم‌نظام بهاره صفر بود که به‌دلیل عدم استفاده از موتور و پمپ برای آبیاری و سنتی بودن آبیاری در تمام مزارع بهاره بود. در بوم‌نظام‌های رایج مکانیزه، الکتریسیته‌ای که برای پمپ کردن آب مورد نیاز در این نظام‌ها مصرف می‌شود، بخش بزرگی از انرژی‌های مصرفی ورودی را به خود اختصاص می‌دهد. دلیل این امر را می‌توان کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی و در نتیجه، پمپ کردن آب از اعماق بیشتر دانست (Jafari, 2019). سهم ورودی‌های شیمیایی، شامل کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها از ورودی امرژی کل در بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره تقریباً برابر و به‌ترتیب 10/38 و 10/05 درصد بود. اگرچه سهم کودهای شیمیایی فسفر، پتاس و گوگرد در بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره، خیلی متفاوت نبود، امّا سهم کود نیتروژن در بوم‌نظام بهاره از پاییزه بیشتر بود که دلیل آن از یک طرف مصرف کود دامی بیشتر در بوم‌نظام پاییزه و از طرف دیگر، مصرف کود نیتروژن بالاتر در بوم‌نظام بهاره به‌دلیل آبیاری بیشتر و در نتیجه شستشوی بیشتر خاک در آن است.

ارزیابی و مقایسه شاخص‌های امرژی: شاخص‌های امرژی برای تعیین میزان کارآیی، تجدیدپذیری، فشار محیطی و پایداری نظام‌های تولید به‌کار می‌رود (Brown & Ulgiati, 2004). ارزیابی و مقایسه این شاخص‌ها بین بوم‌نظام‌ها (جدول 5) به شناسایی و کمّی‌سازی اثرات محیطی، اقتصادی و پایداری آن‌ها کمک کرده و نتایج آن در سطح محلی برای کشاورزان و تصمیم‌گیرندگان برای اتخاذ بهترین روش مدیریتی به‌منظور رسیدن به مصرف کارآمد منابع و پایداری در کشاورزی مفید است (Jafari et al., 2018).

عملکرد و ضریب تبدیل (Tr): عملکرد غده در بوم‌نظام زراعی بهاره سیب‌زمینی $1/93\times10^{4}$، ولی در بوم‌نظام پاییزه خیلی بیشتر از آن و $3/16\times10^{4}$ کیلوگرم در هکتار بود که نشان‌دهنده سودمندی و کارآیی بیشتر نظام تولید پاییزه در برگرداندن ورودی‌ها به بازگشت‌های اقتصادی است. هم‌چنین امرژی اختصاص‌یافته به عملکرد غده در نظام‌های تولید سیب‌زمینی در بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره به‌ترتیب $1/71\times10^{16}$ و $1/76\times10^{16}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود.

جدول 5- مقادیر شاخص‌های امرژی و سطوح معنی‌داری آن‌ها در مقایسه‌هاس بین بوم‌نظام‌های زراعی پاییزه و بهاره سیب‌زمینی

Table 5- The values of emergy indices and their significant level in comparisons between autumn and spring potato production systems

شاخص Index	واحد Unit	بوم‌نظام پاییزه Cool season ecosystem	بوم‌نظام بهاره Warm season ecosystem	Probability > |t|
ضریب تبدیل Transformity	$sej.j^{-1}$	1.50E+05	2.54E+05	**
تجدیدپذیری امرژی Renewability	%	22.85	12.78	**
نسبت عملکرد امرژی Emergy yield ratio	-	1.44	2.06	**
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی Emergy investment rario	-	2.29	0.94	**
نسبت بارگذاری محیطی Environmental loading ratio	-	29.10	30.02	*
شاخص پایداری امرژی Emergy sustainability index	-	0.05	0.07	**

*و **: به‌ترتیب، معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

*and**: Significant at 5 and 1% probability level, respectively

www.SID.ir

Archive of SID

ضریب تبدیل، به‌عنوان معیاری از کارآیی یک فرآیند تولید می‌باشد. پایین‌تر بودن این شاخص به‌معنی عملکرد و کارآیی بیشتر فرآیند تولید در رقابت محیطی و اقتصادی در بلندمدت است (Odum, 2000). مقدار این شاخص در بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره سیب‌زمینی به‌ترتیب $1/50\times10^5$ و $2/54\times10^5$ امژول خورشیدی بر ژول بود. نتایج آزمون t در خصوص شاخص ضریب تبدیل نشان داد که بین دو بوم‌نظام پاییزه و بهاره سیب‌زمینی در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول 5). ضریب تبدیل بزرگ‌تر در بوم‌نظام بهاره به‌دلیل مصرف بالاتر ورودی امرژی به‌ویژه آب زیرزمینی و در عین حال تولید پایین این بوم‌نظام است که نشان‌دهنده کارآیی کمتر آن در مقایسه با بوم‌نظام پاییزه می‌باشد. اگرچه مصرف امرژی در بوم‌نظام پاییزه کمتر از بوم‌نظام بهاره بود، تولید آن بسیار بیشتر بود. بنابراین کارآیی بوم‌نظام پاییزه در تبدیل امرژی ورودی به عملکرد از بوم‌نظام بهاره بیشتر است. به این معنی که در بوم‌نظام پاییزه به‌ازای هر واحد از محصول تولیدی، امرژی کمتری اختصاص یافته است. این شاخص برای نظام زراعی سیب‌زمینی در فلوریدای آمریکا $2/09\times10^5$ (Brandt-Wiliams, 2002)، بوم‌نظام تولید سیب‌زمینی در چین $0/84\times10^5$ (Zhai et al., 2017) و بوم‌نظام‌های زراعی گندم و ذرت در جهرم به‌ترتیب $4/05\times10^5$ و $4/23\times10^8$ امژول خورشیدی بر ژول (Houshyar et al, 2018) بود.

تجدیدپذیری امرژی (%R): این شاخص نشان‌دهنده میزان استفاده از منابع تجدیدپذیر برای فعالیت تولید و وابستگی به منابع تجدیدپذیر برای حمایت از یک نظام تولید می‌باشد (Odum, 2000). نسبت تجدیدپذیری امرژی در این تحقیق برای بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره سیب‌زمینی به‌ترتیب 22/85 و 12/78 درصد بود. به عبارت دیگر 77/15 درصد از ورودی امرژی کل در بوم‌نظام پاییزه و 87/22 درصد از ورودی امرژی کل در بوم‌نظام بهاره از منابع تجدیدناپذیر کسب شده است که عمدتاً مربوط به آب زیرزمینی می‌باشد. تجدیدپذیری بیشتر در بوم‌نظام پاییزه نسبت به بهاره به‌دلیل سهم بیشتر منابع تجدیدپذیر از ورودی‌های بازاری در بوم‌نظام پاییزه و وابستگی بیشتر به منابع تجدیدناپذیر (به‌ویژه آب زیرزمینی) در بوم‌نظام بهاره است. در نتیجه پایداری بوم‌نظام پاییزه در بلندمدت از بوم‌نظام بهاره بیشتر است (جدول 5). در مجموع، نظام‌های تولید با سهم بالاتری از ورودی‌های امرژی تجدیدپذیر نسبت به نظام‌های با مصرف زیاد ورودی‌های امرژی تجدیدناپذیر احتمالاً در رقابت‌های اقتصادی موفق‌تر و پایدارتر هستند (Asgharipour et al., 2019). زمانی‌که در یک نظام، مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر بر خلاف افزایش مصرف منابع تجدیدپذیر، کاهش یابد، آن نظام در رقابت اقتصادی در بلندمدت موفق‌تر است، زیرا منابع تجدیدناپذیر با گذشت زمان کمیاب‌تر می‌شوند (Brown & Ulgiati, 2004). نتایج آزمون t در خصوص شاخص تجدیدپذیری امرژی نشان داد که بین دو بوم‌نظام زراعی پاییزه و بهاره سیب‌زمینی در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول 5)، این شاخص برای بوم‌نظام تولید متداول ذرت علوفه‌ای در دانمارک 16 درصد گزارش شده است (Ghaley et al., 2018).

نسبت عملکرد امرژی (EYR): این شاخص برای بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره سیب‌زمینی به‌ترتیب 1/44 و 2/06 بود که نشان‌دهنده وابستگی زیاد تولید به ورودی‌های بازاری در بوم‌نظام پاییزه بود. در حقیقت، چنین نظام‌هایی بدون مصرف ورودی‌های محیطی می‌توانند به‌راحتی ورودی‌های خارجی را به محصول یا خدمت تبدیل کنند. این نظام‌های کشاورزی اساساً به‌جای یک فرآیند کشاورزی رایج به‌عنوان یک نظام صنعتی عمل می‌کنند. بر خلاف نظام‌های صنعتی، نظام‌های کشاورزی سنتی به‌راحتی قادر به استخراج منابع محیطی رایگان، امّا اغلب با کارآیی تولید پایین هستند (Asgharipour et al., 2019). مقدار بیشتر این شاخص، نشان‌دهنده بازگشت بیشتر امرژی به‌ازای هر واحد از ورودی‌های خریداری شده و مصرف کارآمدتر ورودی‌ها و در نتیجه کارآیی بیشتر نظام در مصرف امرژی به‌ازای هر واحد از ورودی‌های خریداری شده است (Ghaley et al., 2018).

کمترین مقدار برای این شاخص یک است که نشان‌دهنده سهم ناچیز منابع محیطی در نظام تولید و وابستگی کامل به منابع بازاری است (Asgharipour et al., 2019). نسبت عملکرد امرژی با تقسیم خروجی امرژی کل (رایگان و بازاری) بر امرژی ورودی بازاری محاسبه می‌شود. بنابراین، امرژی بالاتر از ورودی‌های رایگان موجب افزایش این شاخص می‌شود (Odum, 2000). این رابطه متقابل به‌ویژه در بوم‌نظام تولید سیب‌زمینی بهاره قابل مشاهده است؛ جایی‌که مقادیر بیشتر امرژی آب زیرزمینی (به‌عنوان یک ورودی رایگان قابل دسترس) موجب افزایش نسبت عملکرد امرژی در این بوم‌نظام شده

www.SID.ir

Archive of SID

است. مقدار بیشتر این شاخص در بوم‌نظام زراعی بهاره منعکس‌کننده استفاده بیشتر از منابع محیطی نسبت به منابع اقتصادی است. مقدار بیشتر این شاخص به‌معنی وابستگی بیشتر نظام به منابع محیطی در مقایسه با منابع بازاری است (Asgharipour et al., 2019). به عبارت دیگر، در بوم‌نظام بهاره وابستگی به منابع اقتصادی نسبت به منابع محیطی رایگان، پایین‌تر است و با وجود استفاده کمتر از منابع اقتصادی، کارآیی استفاده از این منابع بیشتر است. نتایج آزمون t در خصوص شاخص نسبت عملکرد امرژی نشان داد که بین دو بوم‌نظام زراعی پاییزه و بهاره سیب‌زمینی در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول 5). این شاخص برای بوم‌نظام زراعی سیب‌زمینی در فلوریدای آمریکا 1/24 (Brandt-Wiliams, 2002)، بوم‌نظام تولید سیب‌زمینی در چین 1/04 (Zhai et al., 2017) و بوم‌نظام تولید متداول ذرت علوفه‌ای در دانمارک 1/24 (Ghaley et al., 2018) گزارش شده است.

نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR): این شاخص برای بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره سیب‌زمینی به‌ترتیب 2/29 و 0/94 بود (جدول 5). نسبت سرمایه‌گذاری امرژی بیان‌کننده شدت سرمایه‌گذاری و توسعه اقتصادی و میزان دسترسی به منابع رایگان فراهم شده از محیط محلی و میزان وابستگی نظام کشاورزی به محیط است (Odum, 2000). بنابراین، بیشتر بودن این شاخص در بوم‌نظام پاییزه به‌دلیل سرمایه‌گذاری اقتصادی بیشتر ورودی‌های اقتصادی در آن و نشان‌دهنده سطح بالای توسعه اقتصادی بوم‌نظام پاییزه می‌باشد. مصرف بیشتر ورودی‌های بازاری از جمله بذر، کود دامی و سوخت فسیلی در بوم‌نظام پاییزه و مصرف بیشتر آب زیرزمینی به‌عنوان یک ورودی محیطی در بوم‌نظام بهاره موجب بیشتر شدن این شاخص در بوم‌نظام پاییزه نسبت به بهاره شد. مقدار کمتر نسبت سرمایه‌گذاری امرژی نشان‌دهنده وابستگی بیشتر نظام به منابع محیطی و هزینه‌های اقتصادی کمتر و بیان‌کننده وابستگی بیشتر خروجی نظام به منابع محیطی می‌باشد (Odum, 2000). بنابراین کارآیی اقتصادی بوم‌نظام بهاره از پاییزه بیشتر است. نتایج آزمون t در خصوص شاخص نسبت سرمایه‌گذاری امرژی نشان داد که بین دو بوم‌نظام زراعی پاییزه و بهاره سیب‌زمینی در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول 5). این شاخص برای بوم‌نظام‌های تولید یولاف و گندم در چین به‌ترتیب 2/94 و 1/30 بود (Zhai et al., 2017).

نسبت بارگذاری محیطی (ELR): این شاخص برای بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره سیب‌زمینی به‌ترتیب 29/10 و 30/02 محاسبه شد (جدول 5). نسبت بارگذاری محیطی نشان‌دهنده فشار وارد شده بر محیط توسط ورودی‌های بازاری و تجدیدناپذیر محیطی است و مقادیر بیشتر این شاخص به‌معنی فشار محیطی شدیدتر بر بوم‌نظام‌های محلی به‌سبب کاربرد این منابع است (Lu et al., 2014). بنابراین، مقدار کمتر این شاخص در بوم‌نظام پاییزه، نشان‌دهنده فشار محیطی کمتر در این بوم‌نظام بوده و بوم‌نظام پاییزه سیب‌زمینی بیشتر از بوم‌نظام بهاره در شهرستان گرگان، دوست‌دار محیط بوده و از لحاظ محیطی پایدارتر است. اگر چه وابستگی به منابع محیطی در بوم‌نظام بهاره از پاییزه بیشتر بود، امّا مصرف امرژی بیشتر در واحد سطح و وابستگی بیشتر این بوم‌نظام به نهاده‌های محیطی تجدیدناپذیر به‌ویژه آب زیرزمینی، موجب افزایش فشار محیطی و در نتیجه نسبت بارگذاری محیطی بیشتر در این بوم‌نظام در مقایسه با بوم‌نظام پاییزه شد. سنتی بودن روش‌های آبیاری در مزارع سیب‌زمینی بهاره نیز موجب مصرف و هدررفت بالای این ورودی تجدیدناپذیر گردید. با توجه به نیاز آبی بالای سیب‌زمینی از یک سو و کمبود آب در بخش کشاورزی در شهرستان گرگان از سویی دیگر، این درصد بالا از مصرف آب بسیار ناپایدار است. استفاده از روش‌های نوین آبیاری نه تنها موجب کاهش و مصرف بهینه آب زیرزمینی به‌عنوان یک منبع حیاتی تجدیدناپذیر محیطی (N_0) می‌شود، بلکه موجب کاهش فشار محیطی و افزایش پایداری محیطی بوم‌نظام‌های بهاره خواهد شد. کاربرد سامانه‌های نوین آبیاری، علاوه‌بر کاهش مصرف آب زیرزمینی (به‌عنوان یک ورودی محیطی تجدیدناپذیر)، موجب کاهش ساعات کار نیروی کارگری (به‌عنوان ورودی اقتصادی) و در نتیجه کاهش امرژی ورودی شده و کارآیی و شاخص‌های پایداری را افزایش می‌دهد (Houshyar et al., 2018). نتایج آزمون t در خصوص شاخص نسبت بارگذاری محیطی نشان داد که بین دو بوم‌نظام زراعی پاییزه و بهاره سیب‌زمینی در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول 5). این شاخص برای بوم‌نظام تولید سیب‌زمینی در چین 31 گزارش شده است (Zhai et al., 2017).

شاخص پایداری امرژی (ESI): این شاخص برای بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره سیب‌زمینی به‌ترتیب 0/05 و 0/07 بود. ESI، یک شاخص مرکب است و مزایای به‌دست آمده در یک نظام در یک واحد سطح از ناحیه را اندازه‌گیری می‌کند. به عبارت دیگر، این شاخص،

www.SID.ir

Archive of SID

مزایای نظام در رابطه با هزینه‌های آن را ارزیابی می‌کند. بنابراین شاخص پایداری امرژی به بررسی جنبه اقتصادی پایداری نیز می‌پردازد. کمترین و بیشترین مقدار برای این شاخص به‌ترتیب صفر و بی‌نهایت است و مقدار بالاتر این شاخص نشان‌دهنده پایداری بیشتر نظام بوده و مطلوب‌تر است (Asgharipour et al., 2019). مقدار بیشتر این شاخص در بوم‌نظام بهاره در مقایسه با پاییزه نشان می‌دهد که مزایای نظام نسبت به هزینه آن و در نتیجه پایداری اقتصادی در بوم‌نظام بهاره از پاییزه بیشتر است. مهم‌ترین دلیل کمتر بودن این شاخص در بوم‌نظام پاییزه نسبت به بهاره، مصرف بسیار بیشتر ورودی‌های اقتصادی در بوم‌نظام پاییزه می‌باشد. اگرچه مصرف کارآمد انرژی، یکی از ضروریات اصلی برای کشاورزی پایدار است (Jafari, 2019)، امّا اطلاعات پرسش‌نامه نشان‌دهنده استفاده غیرمعقول برخی ورودی‌های بازاری توسط کشاورزان در مزارع پاییزه بود که موجب کاهش شاخص پایداری امرژی در این بوم‌نظام گردید. دفعات زیاد خاک‌ورزی و فرسوده بودن ماشین‌آلات کشاورزی و موتورهای گازوئیلی چاه در اغلب مزارع پاییزه موجب افزایش و ناکارآمدی مصرف سوخت‌های فسیلی شد. هم‌چنین مصرف زیاد بذر (بالاتر از مقدار و اندازه توصیه شده برای کاشت) نیز در افزایش این شاخص در بوم‌نظام پاییزه مؤثر بود.

کاهش دفعات و شدت عملیات خاک‌ورزی (استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی) و نوسازی ماشین‌آلات کشاورزی و موتورهای فرسوده چاه، در کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و در نتیجه افزایش شاخص پایداری امرژی در بوم‌نظام پاییزه مؤثر است. استفاده از بذرهای مناسب (اندازه و مقدار توصیه شده) برای کاشت نیز، راهکار دیگری برای کاهش مصرف ورودی‌های بازاری و در نتیجه افزایش پایداری اقتصادی در بوم‌نظام پاییزه است. افزایش ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر و کاهش ورودی‌های تجدیدناپذیر و بازاری، شاخص پایداری امرژی را بهبود می‌دهد (Asgharipour et al., 2019). تحلیل امرژی نظام کشت انگور یاقوتی در سیستان نشان داد که بهینه‌سازی مصرف ورودی‌های اقتصادی موجب افزایش پایداری اقتصادی در این نظام تولید خواهد شد (Kohkan et al., 2017). نتایج آزمون t در خصوص شاخص پایداری امرژی نشان داد که بین دو بوم‌نظام زراعی پاییزه و بهاره سیب‌زمینی در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول 5). این شاخص برای بوم‌نظام تولید سیب‌زمینی در چین 0/03 (Zhai et al., 2017)، بوم‌نظام زراعی سیب‌زمینی در فلوریدای آمریکا 0/16 (Brandt-Wiliams, 2002) و بوم‌نظام تولید متداول ذرت علوفه‌ای در دانمارک 0/24 (Ghaley et al., 2018) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی امرژی برای دو بوم‌نظام‌زراعی پاییزه و بهاره سیب‌زمینی در شهرستان گرگان نشان داد که این دو بوم‌نظام از لحاظ کارآیی، تجدیدپذیری، فشار محیطی و پایداری اقتصادی اختلاف معنی‌داری دارند. ارزیابی شاخص ضریب تبدیل نشان داد، بوم‌نظام پاییزه، به‌دلیل ورود امرژی کمتر و در عین‌حال، عملکرد بسیار بیشتر، از سودمندی و کارآیی تولید بیشتری نسبت به بوم‌نظام بهاره برخوردار است. ارزیابی شاخص‌های اقتصادی نسبت عملکرد امرژی و نسبت سرمایه‌گذاری امرژی نشان داد، سطح توسعه اقتصادی در بوم‌نظام پاییزه از بهاره بیشتر است. با این وجود، کارآیی استفاده از منابع اقتصادی در بوم‌نظام بهاره بیشتر است. ارزیابی شاخص تجدیدپذیری امرژی نشان داد که وابستگی بوم‌نظام پاییزه به منابع تجدیدپذیر، بیشتر از بوم‌نظام بهاره بوده و بنابراین، پایداری بوم‌نظام پاییزه در بلندمدت بیشتر است. ارزیابی شاخص نسبت بارگذاری محیطی نشان داد، اگرچه وابستگی محیطی در بوم‌نظام بهاره از پاییزه بیشتر بود، سهم زیاد ورودی آب زیرزمینی (به‌عنوان یک ورودی محیطی تجدید-ناپذیر)، موجب افزایش فشار محیطی و کاهش پایداری محیطی در بوم‌نظام بهاره، نسبت به بوم‌نظام پاییزه شد. استفاده از روش‌های نوین آبیاری مانند آبیاری تحت فشار، موجب کاهش مصرف آب زیرزمینی و در نتیجه، کاهش فشار محیطی در بوم‌نظام بهاره خواهد شد.

ارزیابی شاخص پایداری امرژی نشان داد، پایداری اقتصادی بوم‌نظام پاییزه، کمی از بوم‌نظام بهاره کمتر است که دلیل آن وابستگی بیشتر بوم‌نظام پاییزه به ورودی‌های اقتصادی به‌ویژه بذر و سوخت فسیلی، به‌دلیل استفاده نامعقول از آن‌ها است. بهینه‌سازی مصرف این ورودی‌ها از طریق کاربرد بذرهای مناسب (اندازه و مقدار توصیه شده)، استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و نوسازی ماشین‌آلات کشاورزی و موتورهای گازوئیلی چاه، موجب کاهش مصرف این نهاده‌ها و در نتیجه، ورودی امرژی اقتصادی کمتر به بوم‌نظام و افزایش پایداری اقتصادی خواهد شد. بنابراین، آموزش، تشویق و حمایت مالی کشاورزان (پرداخت وام) برای نوسازی ماشین-آلات کشاورزی، موتورهای فرسوده چاه و خرید تجهیزات نوین

www.SID.ir

Archive of SID

آبیاری، در افزایش پایداری محیطی و اقتصادی مؤثر است. به‌عنوان نتیجه نهایی، بوم‌نظام پاییزه از لحاظ عملکرد، سودمندی و کارآیی تولید، تجدیدپذیری و پایداری محیطی از بوم‌نظام بهاره مطلوب‌تر است و فقط کمی از لحاظ پایداری اقتصادی، پایین‌تر است که با بهبود مدیریت مصرف ورودی‌های اقتصادی، می‌توان این شاخص را نیز افزایش داد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت مالی در چاپ مقاله که از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه زابل به شماره 10/96/2371/پ تامین شده، سپاسگزاری می گردد.

References

Asgharipour, M.R., Shahgholi, H., Campbell, D.E., Khamari, I., and Ghadiri, A., 2019. Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. Environmental Monitoring and Assessment 191(2): 1-21.

Bastianoni, S., Marchettini, N., Panzieri, M., and Tiezzi, E., 2001. Sustainability assessment of a farm in the Chianti area (Italy). Journal of Cleaner Production 9: 365-373.

Brandt-Williams, S.L., 2002. Handbook of Emergy Evaluation: Folio #4 Emergy of Florida Agriculture. Center for Environmental Policy, Univercity of Florida, Gainesville, FL, USA.

Brown, M.T., Campbell, D.E., De Vilbiss, C., and Ulgiati, S., 2016. The geobiosphere emergy baseline: a synthesis. Ecological Modelling 339: 92-95.

Brown, M.T., and Ulgiati, S., 2004. Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. Ecological Modelling 178: 201-213.

Campbell, D.E., 1998. Emergy analysis of human carrying capacity and regional sustainability: an example using the state of Maine. Environmental Monitoring and Assessment 51: 531-569.

Campbell, D.E., Brandt-Williams, S.L., and Meisch, M.E.A., 2005. Environmental accounting using Emergy: Evaluation of the state of West Virginia. EPA/600/R-02/011. USEPA, Office of Research and Development, Washigton, DC, p. 116.

Cochran, J., 2003. Patterns of sustainable agriculture adoption/non-adoption in Panama. A Thesis submitted to MS.c., Gill University. McGill University, Montreal, Canad, p. 1-114.

Cuadra, M., and Rydberg, T., 2006. Emergy evaluation on the production, processing and export of coffee in Nicaragua. Ecological Modelling 196: 421-433.

Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Muller, N.D., O'Connel, C., Ray, D.K., West, P.C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockstrom, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., and Zaks, D.P.M., 2011. Solutions for a cultivated planet. Nature 478: 337-342.

Ghaley, B.B., Kehli, N., and Mentler, A., 2018. Emergy synthesis of conventional fodder maize (*Zea mays* L.) production in Denmark. Ecological Indicators 87: 144-151.

Ghisellini, P., Zucaro, A., Viglia, S., and Ulgiati, S., 2014. Monitoring and evaluating the sustainability of Italian agricultural system. An emergy decomposition analysis. Ecological Modelling 271: 132-148.

Houshyar, E., Wu, X.F., and Chen, G.Q., 2018. Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: an emergy analysis. Journal of Cleaner Production 172: 2246-2255.

Jafari, M., 2019. Analysis of pistachio and date agroecosystems of Nehbandan using integrated evaluation of energy, economy, emergy and water footprint. Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, Univercity of Zabol, Iran. (In Persian with English Summary)

Jafari, M., Asgharipour, M.R., Ramroudi, M., Galavi, M., and Hadarbadi, G., 2018. Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. Journal of Cleaner Production 193: 642-651.

Kazemi, H., Shokrgozar, M., Kamkar, B., and Soltani, A., 2018. Analysis of cotton production by energy indicators in two different climatic regions. Journal of Cleaner Production 190: 729-736.

Kohkan, S.A., Ghanbari, A., Asgharipour, M.R., and Fakheri, B.A., 2017. Emergy evaluation of Yaghuti grape of Sistan. Journal Arid Biome 7(2): 73-84. (In Persian with English Sumarry)

www.SID.ir

Archive of SID

Kumaraswamy, S., 2012. Sustainability issues in agro-ecology: Socio-ecological perspective. Agricultural Sciences 3(2): 153-169.

Lu, H., Yuan, Y., Campbell, D.E., Qin, P., and Cui, L., 2014. Integated water quality, emergy and economic evaluation of three bioremediation treatment systems for eutrophic water. Ecological Engineering 69: 244-254.

Lu, H.F., Kang, W.L., Campbell, D.E., Ren, H., Tand, Y.W., Fengd, R.X., Luo, J.T., and Chen, F.P., 2009. Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. Ecological Engineering 35: 1743-1757.

Martin, J.F., Diemont, S.A.W., Powell, E., Stanton, M., and Levy-Tacher, S., 2006. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. Agriculture, Ecosystems and Environment 115: 128-140.

Odum, H.T., 1996. Environmental accounting: Emergy and Environmental Decision Making. John Wiley and Sons, New York. USA.

Odum, H.T., 2000. Handbook of Emergy Evaluation. A Compendium of Data for Emergy Computation Folio #2 Emergy global processes. Center of Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, pp. 39.

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: 2927-2933.

Zhai, X., Huang, D., Tang, S., Li, S., Guo, J., Yang, Y., Liu, H., Li, J., and Wang, K., 2017. The emergy of metabolism in different ecosystems under the same environmental conditions in the agro-pastoral ecotone of northern China. Ecological Indicators 74: 198-204.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.1, Spring 2020, p. 127-142

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 12، شماره 1، بهار 1399، ص 142-127

Evaluating the Resources Use Efficiency and Sustainability Indices for Two Potato Production Systems using Emergy Analysis (Case Study: Gorgan county)

H.R. Shahhoseini[1], M. Ramroudi[2*] and H. Kazemi[3]

Submitted: 08-06-2019
Accepted: 29-07-2019

Shahhoseini, H.R., Ramroudi, M., and Kazemi, H., 2020. Evaluating the resources use efficiency and sustainability indices for two potato production systems using emergy analysis (Case study: Gorgan county). Journal of Agroecology 12(1):127-142.

Introduction

Agricultural intensification has had negative effects on the environment. The sustainability in the agricultural systems that provides sufficient food on the one hand and maintains the quality of the environment on the other hand, is very important. In assessing the sustainability of agricultural systems, the contribution of both environmental and economic resources must be taken into account. Emergy analysis has many indices in which the efficiency, renewability, environmental burden, and sustainability of a system can be assessed in terms of environmental and economic. The purpose of this study was to evaluate and compare the resource use efficiency and sustainability indices for two autumn and spring potato systems and provide suggestions for optimum and sustainable management of the crop.

Materials and Methods

In this study, two production systems of potato were evaluated using emergy sustainability indices in Gorgan County, Iran during the period of 2017-2018. To this end, 100 and 60 farms were selected for autumn and spring potato, respectively. To analyze the production systems, the spatial and temporal boundaries of the system were defined and resources were divided into four categories: renewable environmental sources (R), nonrenewable environmental resources (N_0), purchased renewable resources (F_R), purchased nonrenewable resources (F_N). Emergy flow for each item was multiplied by their transformities in joules and grams**.** In this study, emergy indices were calculated and compared by t-test between warm and cool production systems.

Results and Discussion

Total emergy inputs for the autumn and spring potato production were estimated as 1.71E+16 and 1.76E+16 sej ha^{-1} $year^{-1}$, respectively. In autumn potato production, dependence on purchased inputs was higher than environmental inputs, while in spring potato production, the dependence of environmental inputs was higher than purchased inputs. Groundwater emergy was the largest emergy inputs of the total in both autumn and spring potato production systems with a share of 23.92% and 45.28%, respectively. In autumn and spring potato production system, transformities were 1.50E+05 and 2.54E+05 sej j^{-1}; emergy renewabilities were 22.85% and 12.78%; emergy yield ratios were 1.44 and 2.06; emergy investment ratios were 2.29 and 0.94; environmental loading ratios were 29.10 and 30.02; and emergy sustainability indices were 0.05 and 0.07, respectively. There is a significant difference between the emergy indices of the autumn and spring potato production systems. Despite the higher contribution of environmental resources in the spring potato production system, the high consumption of groundwater as a non-renewable input led to an increase in environmental burden. The use of new irrigation methods will improve water consumption and, as a result, reduce environmental pressure on ecosystems. The autumn production system was more favorable in terms of yield and resources use efficiency, renewability and environmental sustainability than the spring production system. The economic sustainability of the autumn potato production system was slightly lower than that of the spring potato production system, largely due to the unreasonable use of purchased inputs such as seed and fossil fuels. Optimum management of inputs such as seed and fossil fuels will increase economic sustainability in the autumn potato production system. The optimization

1 and 2- Ph.D. Student of Agroecology and Associated Professor, Department of Agronomy, University of Zabol, Iran, respctively.
3- Associated Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
(*-Corresponding author: mramroudi42@uoz.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i1.81189

www.SID.ir

Archive of SID

of economic inputs will increase economic sustainability in production systems (Kohkan et al., 2017).

Conclusion

Two autumn and spring potato production systems in Gorgan had significant differences in terms of resources use efficiency, input renewability, environmental burden and ecological sustainability. The autumn potato production system was more favorable in terms of resources use efficiency and environmental sustainability. The economic sustainability of the autumn potato production system was slightly lower than that of the spring potato production system. Optimizing inputs through the use of appropriate seeds (size and recommended amount), the use of soil tillage and modernization of machinery and diesel engines of the well will increase the economic sustainability of the autumn ecosystem.

Keywords: Economic sustainability, Environmental burden, Groundwater, Productivity

www.SID.ir