نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۲، ص. ۱۲۱-۱۱۳

Journal of Agroecology
Vol. 5, No. 2, Summer 2013, p. 113-121

بررسی بهره‌وری مصرف آب و انرژی در بوم‌نظام‌های فاریاب استان کرمانشاه

محمد یوسفی[1]* و عبدالمجید مهدوی دامغانی[2]

تاریخ دریافت: **۱۳۹۰/۰۳/۰۲**

تاریخ پذیرش: **۱۳۹۰/۰۸/۲۰**

چکیده

استفاده کارآمد از نهاده‌ها و منابع انرژی در کشاورزی یکی از اصول مهم و تأثیر گذار برای توسعهٔ پایدار در کشاورزی است. بدین منظور، کارایی مصرف آب و انرژی در سیستم‌های فاریاب تولید محصولات اصلی استان کرمانشاه شامل گندم، ذرت و یونجه مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های مورد نیاز برای این مطالعه با تکمیل پرسشنامه و در قالب مصاحبه چهره در چهره با ۱۸۰ کشاورز در سطح استان کرمانشاه بصورت تصادفی در تابستان ۱۳۸۹ جمع‌آوری شد. نتایج این مطالعه نشان داد که بهره‌وری مصرف آب در بوم‌نظام‌های تولید یونجه، ذرت و گندم در این استان به ترتیب ۲/۰۶، ۱/۰۵ و ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود. همچنین کارایی مصرف انرژی برای این بوم‌نظام‌ها ۴/۲۹، ۲/۰۸ و ۳/۷۸ بود. بر این اساس شاخص بهره‌وری آب-انرژی در بوم‌نظام‌های گندم، ذرت و یونجه به ترتیب ۰/۰۸، ۰/۰۶ و ۰/۱۳ گرم بر متر مکعب بر کیلووات ساعت بود. نتایج نشان داد که در بوم‌نظام‌های کشاورزی مدیریت انرژی به منظور استفاده کارآمد و پایدار از انرژی و در نهایت کاهش ردپای محیطی امری مهم و تأثیرگذار است.

واژه‌های کلیدی: بوم‌نظام کشاورزی، توسعه پایدار، ردپای محیطی، منابع انرژی

مقدمه

امروزه مصرف انرژی در بخش کشاورزی به دلیل رشد جمعیت و تهیه مواد غذایی کافی برای این جمعیت در حال رشد افزایش یافته است. محدودیت منابع انرژی و اثرات سوء مصرف منابع انرژی تجدیدناپذیر همچون سوخت‌های فسیلی بر روی محیط زیست و سلامت انسان به دلیل استفاده نادرست از انرژی امری مسلم است که مطالعه الگوی مصرف انرژی و نهاده‌های انرژی‌بر را در بوم‌نظام‌ها ضروری ساخته است (Samavatean et al., 2010). همچنین استفاده کارآمد از منابع انرژی یکی از مهمترین اصول برای توسعهٔ پایدار در کشاورزی است که منجر به کاهش چالش‌های زیست محیطی، جلوگیری از تخریب منابع طبیعی و سودمندی اقتصادی در بوم‌نظام‌های پایدار تولید محصولات زراعی خواهد شد (Rafiee et al., 2010). ارزیابی کارایی مصرف نهاده‌ها در بوم‌نظام‌های کشاورزی در طراحی بوم‌نظام‌های پایدار و سازگار با محیط نقش بسزایی دارد. یکی از مهمترین چالش های بخش کشاورزی عدم استفاده بهینه از منابع انرژی از جمله آب می‌باشد که منجر به کاهش بهره وری استفاده از این منابع خواهد شد (Khan et al., 2009). آب یکی از منابع کلیدی و تأثیرگذار در تولید محصولات زراعی است که در حال حاضر نیز با توجه به تغییرات جهانی اقلیم و کاهش نزولات جوی، اصلاح الگوی مصرف و استفاده بهینه از آب در کشاورزی باید بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد.

آب مورد نیاز برای آبیاری و انرژی مصرفی برای پمپاژ و انتقال آن به درون مزرعه یکی از نهاده‌های اساسی و انرژی بر در بوم‌نظام‌های فاریاب تولید محصولات زراعی است که حجم بالایی از انرژی مصرفی در این بوم‌نظام‌ها را به خود اختصاص می‌دهد.

عملیات آبیاری خود نیز یکی از منابع اصلی مصرف انرژی در کشاورزی است (MousaviAvval et al., 2010). تا آنجا که در برخی مطالعات انجام گرفته نزدیک به ۰/۷۶ انرژی ورودی به سیستم‌های تولید یونجه مربوط به انرژی الکتریسیته مورد نیاز برای پمپاژ آب بود (Mobtaker et al., 2010). استفاده موثر از آب و انرژی و محافظت از منابع طبیعی منجر به افزایش تولید محصولات زراعی، بهره‌وری آب و تداوم تولید محصولات زراعی خواهد شد.

بدین منظور، مطالعه‌ای در سطح استان کرمانشاه در بوم‌نظام‌های فاریاب گندم، ذرت و یونجه که اصلی ترین محصولات فاریاب در این استان هستند به منظور بررسی وضعیت جریان انرژی ورودی و خروجی، بهره‌وری مصرف آب، بهره‌وری مصرف انرژی و سایر

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی
(*- نویسنده مسئول: (Email: m.y126@yahoo.com

شاخص‌های مهم از جمله بهره‌وری مصرف آب- انرژی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در استان کرمانشاه و در بین بوم‌نظام‌های فاریاب گندم، ذرت و یونجه در این استان در تابستان ۱۳۸۹ انجام شد. استان کرمانشاه از مهمترین مناطق تولید محصولات کشاورزی است که در غرب ایران (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۶ دقیقه شرقی) واقع شده است. خصوصیات آب و هوایی این منطقه مطالعاتی بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی در بازه زمانی ۸۹-۱۳۶۹ دارای میانگین بارندگی سالانه ۴۰۳ میلی‌متر می باشد. نیمی از این مقدار در زمستان و مابقی آن‌در بهار و پاییز نزول می‌یابد. داده‌های لازم برای این مطالعه در سطح استان کرمانشاه و از شهرستان‌های کنگاور، صحنه، بیستون، هرسین، روانسر و اسلام‌آباد غرب با تکمیل پرسشنامه به‌صورت کاملا تصادفی و با استفاده از روش مصاحبه چهره به چهره[1] با ۱۸۰ کشاورز جمع‌آوری شدند.

کل نهاده‌های ورودی و خروجی بوم‌نظام‌های فاریاب گندم، ذرت و یونجه محاسبه و برآورد و سپس به انرژی معادل خود تبدیل شد. انرژی ورودی به سیستم‌های تولید گندم را می‌توان به دو بخش انرژی مستقیم و غیرمستقیم تقسیم کرد (Alam et al., 2005). انرژی ورودی مستقیم در بوم‌نظام‌های فاریاب شامل نیروی کار انسانی، سوخت مصرفی، الکتریسیته و آب آبیاری است؛ در حالی که انرژی غیرمستقیم شامل انرژی مصرفی در تولید کودهای شیمیایی و آلی، آفت‌کش‌ها، ماشین‌آلات و بذر می‌باشد. انرژی خروجی در این بوم‌نظام‌ها شامل عملکرد دانه، علوفه تولیدی و کاه و کلش حاصله است.

انرژی را می‌توان بر اساس انرژی تجدیدپذیر و غیرقابل تجدید نیز تقسیم کرد (Mohammadi et al., 2010) که بر این اساس انرژی ورودی قابل تجدید شامل نیروی انسانی، بذر، آب آبیاری و کودهای آلی و انرژی ورودی تجدید ناپذیر شامل سوخت‌های فسیلی، الکتریسیته، ماشین‌آلات، کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها است. کل نهاده‌های ورودی و خروجی در این بوم‌نظام‌ها اندازه گیری و به معادل انرژی خود تبدیل شدند که در جدول ۱ ارائه شده است. در این مطالعه برای مقادیر انرژی ورودی و خروجی واحد مگاژول (MJ) در نظر گرفته شد که رایج‌ترین واحد در مطالعات آنالیز انرژی در سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی است و مقدارآن برابر 10^6 ژول است.

انرژی مورد نیاز در بخش آبیاری عمده‌ترین بخش از مصرف انرژی را در بوم‌نظام‌های فاریاب تشکیل می‌دهد که شامل آب مصرفی و نیروی الکتریسیتهٔ برای پمپاژ آن در این سیستم‌ها می‌باشد که توسط الکتروموتورهای پمپاژ آب مصرف می‌شود. مقدار آب مصرفی در هر کدام از بوم‌نظام‌های فاریاب با توجه به سه فاکتور اصلی یعنی دبی آب خروجی، طول آبیاری و تعداد آبیاری در هر کدام از این سه بوم‌نظام محاسبه شد. با مشخص بودن دبی آب خروجی منابع آبی که بر حسب لیتر بر ثانیه می‌باشد و تبدیل آن به متر مکعب و برآورد آن برای کل مدت آبیاری (تعداد آبیاری× طول هر بار آبیاری) حجم آب مصرفی در هر بوم‌نظام برآورد شد و برای محاسبه مقدار انرژی آن در معادل انرژی هر متر مکعب آب یعنی ۰/۶۳ مگاژول(Esengun et al., 2007) ضرب شد و برای محاسبه نیروی الکتریسیتهٔ مصرفی از معادلهٔ (۱) استفاده شد (Baal & Hussein, 1992):

معادله (۱) $E = p \times t \times c$

که در این معادله، E: نیروی الکتریسیتهٔ مصرفی، p: قدرت الکتروموتور، t: مدت زمان کار الکتروموتور و c: معادل انرژی است. انرژی معادل کودهای شیمیایی باتوجه به منابع مختلف تعیین و برای کودهای نیتروژنه، فسفاته و پتاسه به ترتیب ۶۶/۱۴، ۱۲/۴۴ و ۱۱/۱۵ مگاژول بر کیلوگرم تعیین شد (Erdal et al., 2007).

برای محاسبه شاخص کارایی انرژی و بهره‌وری آن از معادله‌های (۲) و (۳) استفاده شد (Demircan et al., 2006):

معادله (۲) $EUE = \text{انرژی ورودی} / \text{انرژی خروجی}$

معادله (۳) $EP = \text{انرژی ورودی} / \text{عملکرد دانه}$

که در این معادله‌ها، EUE[2]: معرف کارایی انرژی سیستم می‌باشد و بدون واحد است؛ چون انرژی ورودی و خروجی در صورت و مخرج کسر هر دو هم واحد هستند، EP[3]: معرف بهره‌وری انرژی است که واحد آن کیلوگرم بر مگاژول است و واحد عملکرد نیز کیلوگرم در هکتار می‌باشد.

کارایی مصرف آب در این بوم‌نظام‌ها از نسبت بین عملکرد اقتصادی بر حسب کیلوگرم و آب مصرفی بر حسب متر مکعب به‌دست آمد. برای محاسبه دیگر شاخص‌های انرژی یعنی نسبت انرژی آب و بهره‌وری آب- انرژی از معادله‌های (۴) و (۵) استفاده شد (Khan et al., 2009).

در معادله انرژی ورودی به ازای آب آبیاری بر حسب مگاژول (MJ)، آب مصرفی بر حسب متر مکعب (m^3)، انرژی ورودی بر حسب مگاژول(MJ)، عملکرد دانه برحسب گرم (g) و در نهایت، واحد شاخص نسبت انرژی آب و بهره‌وری آب- انرژی به ترتیب بر حسب درصد و گرم بر مترمکعب بر مگاژول ($g.m^{-3}\times kWh$) می‌باشد.

1- Face to Face Interviews

2- Energy Use Efficiency

3- Energy Productivity

معادله (۴) $$\text{Water Energy Ratio}(\%) = \frac{\text{کل انرژی ورودی}}{\text{انرژی ورودی به ازای آب آبیاری}}$$

معادله (۵) $$\text{Water and Energy Productivity} = \frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{آب مصرفی} \times \text{انرژی مصرفی}}$$

جدول ۱- معادل‌های انرژی‌های ورودی و خروجی در بوم‌نظام‌های کشاورزی

Table 1- Energy equivalent in crop production agroecosystems

نوع نهاده یا ستاده Types of input and output	واحد (در هکتار) Unit (in ha)	معادل انرژی Energy equivalent	منبع Reference
الف: انرژی‌های ورودی **A. Input energy**			
۱- نیروی انسانی 1. Human labor	h	1.96	[Mohammadi & Omid, 2010]
۲- ماشین آلات 2. Machinery	h	62.7	[Samavatean et al., 2010]
۳- سوخت فسیلی 3. Diesel fuel	L	51.33	[Samavatean et al., 2010]
۴- کودهای شیمیایی 4. Chemical fertilizer	kg		
الف) نیتروژن (a) Nitrogen		66.14	[Erdal et al., 2007]
ب) فسفات (b) Phosphate (P_2O_5)		12.44	[Erdal et al., 2007]
ج) پتاسیم (c) Potassium (K_2O)		11.15	[Erdal et al., 2007]
۵- کودهای حیوانی 5. Animal manure	kg	0.30	[Esengun et al., 2007]
۶- آفت‌کش‌ها 6. Pesticides	kg	120	[Demircan et al., 2006]
۷- نیروی الکتریسیته 7. Electricity	kWh	3.6	[Rafiee et al., 2010]
۸- آب آبیاری 8.Water for irrigation	m^3	0.63	[Hatirli et al., 2005]
۹- بذر غلات 9. Cereal grain	kg	14.7	[Ozkan et al., 2004]
۱۰- بذر یونجه 10. Alfalfa seed	kg	6.9	[Hoeppner et al., 2005]
ب: انرژی خروجی **B. Output energy**			
۱- دانه غلات 1. Cereal grain	kg	14.7	[Ozkan et al., 2004]
۲- کاه وکلش غلات 2. Cereal straw	kg	12.5	[Ozkan et al., 2004]
۳- علوفه یونجه 3. Alfalfa forage	kg	17.77	[Hoeppner et al., 2005]

در این بررسی چون واحد آنالیز انرژی مگاژول می‌باشد. برای محاسبه شاخص بهره‌وری آب- انرژی باید مقدار انرژی ورودی بر حسب کیلووات ساعت بیان شود. برای تبدیل مقدار انرژی برحسب مگاژول به کیلو وات ساعت باید عدد حاصل را بر ۳/۶ تقسیم نمود (1 kWh=3.6 MJ) (Ahmad & Khan, 2009).

نتایج و بحث

آنالیز انرژی ورودی و خروجی در بوم‌نظام‌های فاریاب

کل نهاده‌های ورودی در بوم‌نظام‌های فاریاب گندم، ذرت و یونجه در استان کرمانشاه محاسبه و برآورد شد که نتایج آن در جدول

۲ ارائه شده است. در بوم‌نظام‌های فاریاب گندم، ذرت و یونجه به ترتیب تعداد ساعات استفاده از نیروی کار انسانی ۹۰/۵، ۲۶۸/۲ و ۳۱۶/۹۲ ساعت در هر هکتار بود که در مراحل مختلف از جمله کاشت، داشت و برداشت به‌کار گرفته می‌شد. در اکوسیستم‌های تولید یونجه به‌دلیل برداشت چند چین در سال و تعداد آبیاری حجم استفاده از نیروی کار انسانی بیشتر از دو بوم‌نظام دیگر بود. علاوه بر این، در بوم‌نظام‌های گندم، ذرت و یونجه به ترتیب ۷۷/۵، ۱۲۷/۴ و ۱۴۰/۹ ساعت در هر هکتار از نیروی ماشین‌آلات استفاده شد که علاوه بر به‌کارگیری این نیرو به ازای آن در بوم‌نظام‌های گندم، ذرت و یونجه به ترتیب ۱۴۴/۲۶، ۱۹۳/۹۷ و ۳۸۰/۳۷ لیتر گازوئیل نیز مصرف شد. در این بوم‌نظام‌ها مقادیر مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم خالص از منابع کودی رایج از جمله اوره، نیترات آمونیوم، دی آمونیوم سولفات، سوپر فسفات تریپل و نیترات پتاسیم و همچنین کودهای دامی محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۲ قابل مشاهده است. علاوه بر این، مقدار کل آب مصرفی با توجه به میانگین دبی آب خروجی منابع آبی و تعداد و طول دورهای آبیای برای گندم، ذرت و یونجه ۵۸۵۰ ، ۸۶۶۹/۲ و ۶۵۶۳/۷ متر مکعب در هر هکتار بود. میانگین نیروی الکتریسیته لازم برای پمپاژ این آب با توجه به قدرت الکتروموتورهای استفاده شده و همچنین مدت زمان کار آنها در بوم‌نظام‌ها گندم ۲۸۹۹، ذرت ۸۶۶۹/۲ و در یونجه ۶۵۶۳/۷ کیلووات ساعت برای هر هکتار بود.

جدول ۲- مقادیر نهاده‌های ورودی و خروجی (در هکتار) در بوم‌نظام‌های فاریاب کندم، ذرت و یونجه

Table 2- Amounts of energy inputs and outputs (per hectare) in wheat, corn and alfalfa production systems

نوع نهاده یا ستاده Types of input and output	مقدار به ازای واحد سطح (هکتار) Quantity per unit area (ha)		
	گندم آبی Irrigated wheat	ذرت Corn	یونجه Alfalfa
الف: انرژی‌های ورودی **A. Input energy**			
نیروی انسانی (ساعت) 1. Human labor (hr)	90.5	268.2	316.92
ماشین آلات (ساعت) 2. Machinery (hr)	77.75	127.4	140.9
سوخت فسیلی (لیتر) 3. Diesel fuel (l)	144.26	193.97	380.37
کودهای شیمیایی (کیلوگرم) 4. Chemical fertilizer (kg)			
الف) نیتروژن (a) Nitrogen	123.43	279.04	92
ب) فسفات (P_2O_5) (b) Phosphate (P_2O_5)	70.17	88.82	57.5
ج) پتاسیم (K_2O) (c) Potassium (K_2O)	23	46	138
۵- کودهای حیوانی (کیلوگرم) 5. Animal manure (kg)	5000	5000	0
۶- آفت‌کش‌ها (کیلوگرم) 6. Pesticides (kg)	2.4	2.7	1.5
۷- نیروی الکتریسیته (کیلووات ساعت) 7. Electricity (kWh)	2899	4906	3368.5
۸- آب آبیاری (مترمکعب) 8.Water for irrigation (m^3)	5850	8669.2	6563.7
۹- بذر غلات 9. Cereal grain	250	24.59	48.07
ب: ستاده‌ها **B. Output**			
۱- دانه غلات (کیلوگرم) 1. Cereal grain (kg)	5304.52	9180	0
۲- کاه وکلش غلات یا علوفه یونجه (کیلوگرم) 2. Cereal straw or alfalfa forage (kg)	6483.3	0	13510

در مقابل نهاده‌های ورودی در این بوم‌نظام‌ها به ترتیب ۵۳۰۴/۵۲ و ۶۴۸۳/۳ کیلوگرم دانه و کاه وکلش در بوم‌نظام‌های گندم آبی، ۹۱۸۰ کیلوگرم دانه در بوم‌نظام‌های ذرت و ۱۳۵۱۰ کیلوگرم در هکتار علوفه خشک در بوم‌نظام‌های یونجه برای هر سال تولید شد که منابع تولید انرژی در این بوم‌نظام‌ها می‌باشند.

جدول ۳- انرژی معادل نهاده‌های ورودی و خروجی در بوم‌نظام‌های فاریاب گندم، ذرت و یونجه

Table 3- Energy equivalents of input and output in irrigated wheat, corn and alfalfa agroecosystems

نوع نهاده یا ستاده Types of input and output	گندم آبی Irrigated wheat		ذرت Corn		یونجه Alfalfa	
	مقدار به ازای واحد سطح (هکتار) Quantity per unit area (ha)	%	مقدار به ازای واحد سطح (هکتار) Quantity per unit area (ha)	%	مقدار به ازای واحد سطح (هکتار) Quantity per unit area (ha)	%
الف: انرژی‌های ورودی **A. Input energy**						
نیروی انسانی (ساعت) 1. Human labor (hr)	177.38	0.42	525.67	0.81	621.16	1.11
ماشین آلات (ساعت) 2. Machinery (hr)	4874.92	11.59	7987.98	12.32	8834.43	15.78
سوخت فسیلی (لیتر) 3. Diesel fuel (L)	8123.28	19.32	10922.45	16.85	21418.63	38.28
کودهای شیمیایی (کیلوگرم) 4. Chemical fertilizer (kg)						
الف) نیتروژن (a) Nitrogen	8163	19.41	18455.70	28.48	6084.83	10.87
ب) فسفات (P_2O_5) (b) Phosphate (P_2O_5)	872.91	2.08	1104.92	1.70	721.62	1.29
ج) پتاسیم (K_2O) (c) Potassium (K_2O)	256.45	0.61	512.9	0.79	1578.72	2.82
۵- کودهای حیوانی (کیلوگرم) 5. Animal manure (kg)	1500	3.57	1500	2.31	0	0
۶- آفت‌کش‌ها (کیلوگرم) 6. Pesticides (kg)	288	0.68	324	0.50	180	0.33
۷- نیروی الکتریسیته (کیلووات ساعت) 7. Electricity (kWh)	10436.4	24.82	17661.6	27.25	12053.34	21.54
۸- آب آبیاری (مترمکعب) 8.Water for irrigation (m^3)	3685.5	8.76	5461.60	8.43	4135.13	7.39
۹- بذر غلات 9. Cereal grain	3675	8.74	361.47	0.56	331.68	0.59
نهاده‌ها کل انرژی **Total Input Energy**	**42052.8**	**100**	**64818.29**	**100**	**55959.59**	**100**
ستاده‌ها انرژی **B. Output Energy**						
۱- دانه غلات (کیلوگرم) 1. Cereal grain (kg)	77976.45	49.04	134946	100	0	0
۲- کاه وکلش غلات یا علوفه یونجه (کیلوگرم) 2. Cereal straw or alfalfa forage (kg)	81041.25	50.96	0	0	240072.07	100
ستاده‌ها کل انرژی **Total Output Energy**	159017.7	100		100		100

کل نهاده‌ها و ستاده‌ها در بوم‌نظام‌های فاریاب گندم، ذرت و یونجه در استان کرمانشاه به معادل انرژی خود تبدیل شدند که نتایج آن در جدول ۳ قابل مشاهده است. نتایج نشان دادند که کل انرژی ورودی در بوم‌نظام‌های فاریاب تولید گندم ۴۲۰۵۲/۸ مگازول در هکتار بود که از این مقدار بیشترین سهم به ترتیب مربوط به نیروی الکتریسیته (۲۸/۸۲)، کود نیتروژن (۱۹/۴۱) و سوخت مصرفی توسط ماشین‌آلات (۱۹/۳۲) بود. در بوم‌نظام‌های ذرت کل انرژی ورودی ۶۴۸۱۸/۲۹ مگاژول در هکتار بود که کود نیتروژن، نیروی الکتریسیته و سوخت مصرفی در ماشین‌آلات به ترتیب با ۲۸/۴۸، ۲۷/۲۵ و ۱۶/۸۵ درصد بیشترین سهم را داشتند. این مقدار در بوم‌نظام‌های تولید یونجه ۵۵۹۵۹/۵۹ مگاژول در هکتار برای هر سال بود. در این بوم‌نظام‌ها بیشترین سهم از انرژی ورودی به ترتیب مربوط به سوخت مصرفی (۳۸/۲۸)، نیروی الکتریسیته (۲۱/۵۴) و نیروی ماشین‌آلات به‌کار رفته (۱۵/۷۸) در این بوم‌نظام‌ها بود.

به‌طور خلاصه در بوم‌نظام‌های فاریاب مطالعه شده بیشترین سهم از انرژی ورودی مربوط به نیروی الکتریسیته لازم برای پمپاژ آب، سوخت‌های فسیلی مصرف شده در ماشین‌آلات برای انجام عملیات زراعی، کود نیتروژن و نیروی ماشین‌آلات بود. در بوم‌نظام‌های تولید یونجه به‌دلیل نیاز کمتر گیاه یونجه به کود نیتروژن سهم انرژی ورودی به ازای این نهاده نسبت به دو بوم‌نظام دیگر کمتر بود، ولی در مقابل به دلیل حجم بالای عملیات زراعی شامل آماده‌سازی زمین، تعداد آبیاری و برداشت چین چین این محصول زراعی استفاده از ماشین‌آلات و سوخت مصرفی توسط آنها بیش از نیمی از انرژی ورودی (۵۴ درصد) را به خود اختصاص داد.

در ترکیه، گزارش شد که سهم کودهای شیمیایی و سوخت از انرژی ورودی سیستم‌های تولید گندم به ترتیب ۵۴/۱ و ۱۷/۴درصد بود (Canakci et al., 2005). در مطالعه دیگری در ایران، رابطه بین انرژی ورودی و عملکرد کیوی مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد که کل انرژی ورودی در این سیستم‌ها ۳۰۲۸۵/۶۲ مگاژول است که ۴۷ درصد آن مربوط به کودهای شیمیایی و آلی می‌بود (Mohammadi et al., 2010). در مطالعه انرژی در بوم‌نظام‌های تولید یونجه در همدان بیش از ۰/۷۶ انرژی ورودی مربوط به نیروی الکتریسیته مصرفی برای پمپاژ آب بود (Mobtaker et al., 2010).

امروزه به‌دلیل استفاده نادرست از منابع آبی و افت سفره‌های آب زیرزمینی آب باید از عمق بیشتری پمپاژ شود که این خود با صرف انرژی بیشتری همراه است. این انرژی در مزارع یا از طریق نیروی الکتریسیته (چاه‌های برقی) و یا از طریق مصرف گازئیل (چاه‌های دیزلی) تأمین می‌شود؛ اما آنچه که مسلم است اینست که این نوع استفاده ناکارآمد و بی‌رویه و دیگر فاکتورهای چون خشکسالی و تغییراقلیم به این مشکل شدت بخشیده و حجم استفاده از انرژی را از این طریق افزایش داده است.

کل انرژی خروجی در بوم‌نظام‌های فاریاب گندم ۱۵۹۰۱۷/۷ مگاژول در هکتار بود که از این مقدار ۴۹ درصد آن از طریق تولید دانه و ۵۱ درصد آن با تولید بقایا یا کاه‌وکلش (که به‌منظور تأمین علوفه برای بخش دامداری استفاده می‌شد) حاصل می‌شد. این مقدار در بوم‌نظام‌های تولید ذرت ۱۳۴۹۴۶ مگاژول در هکتار بود که از طریق تولید ۹۱۸۰ کیلوگرم دانه حاصل می‌شد. در بوم‌نظام‌های تولید یونجه کل انرژی خروجی ۲۴۰۰۷۲/۷ مگاژول در هکتار بود که با تولید ۱۳۵۱۰ کیلوگرم علوفه خشک در هکتار به ازای هر سال تولید می‌شد.

شاخص‌های انرژی و آب در بوم‌نظام‌های فاریاب

در این مطالعه شاخص‌های همچون کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، بهره‌وری مصرف آب،نسبت انرژی آب و بهره‌وری آب– انرژی در بوم‌نظام‌های فاریاب مطالعه شد که نتایج آن در جدول ۴ قابل مشاهده است. کارایی مصرف انرژی در بوم‌نظام‌های فاریاب گندم، ذرت و یونجه به ترتیب ۳/۷۸، ۲/۰۸ و ۴/۲۹ بود. این شاخص معرف تعادل انرژی در سیستم تولیدی و نحوهٔ مصرف انرژی می‌باشد و هر اندازه حجم انرژی ورودی به سیستم افزایش یابد این شاخص کاهش می‌یابد. هر چند کاهش عملکرد به دلایل مختلف نیز موجب کاهش این شاخص خواهد شد. این شاخص در بوم‌نظام‌های تولید یونجه نسبت به دو بوم‌نظام دیگر بیشتر می‌باشد و با توجه به اینکه حجم انرژی ورودی در این بوم‌نظام‌ها کم نیست دلیل اصلی آن عملکرد بیشتر این محصول زراعی است. چون یونجه گیاهی علوفه‌ای است و هدف از کشت آن برداشت کل زیست‌توده گیاهی است بنابراین نسبت به دو بوم‌نظام دیگر انرژی خروجی بالایی دارد و کارایی انرژی آن نیز بیشتر است. مقدار این شاخص در گیاهان و در سیستم‌های مختلف تولید محصولات زراعی متفاوت است. به عنوان مثال، کارایی مصرف انرژی در تولید خیار گلخانه‌ای ۰/۶۴ (Mohammadi & Omid, 2010)، در تولید جو ۲/۸۶ (Gasemei Mobtaker et al., 2010)، ۲۵/۷۵ در تولید چغندرقند (Erdal et al., 2007) و ۲/۸ برای گندم (Canakci et al., 2005) در ترکیه گزارش شده است.

دیگر شاخص مهم که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت شاخص بهره‌وری مصرف آب بود که مقدار آن در بوم‌نظام‌های تولید گندم، ذرت و یونجه به ترتیب ۰/۹، ۱/۰۵ و۲/۰۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود. این شاخص تحت تأثیر دو فاکتور اصلی یعنی مقدار آب ورودی و مقدار عملکرد اقتصادی محصول زراعی است. در بین سه محصول زراعی در تولید ذرت نسبت به دو محصول دیگر آب بیشتری مصرف می‌شود که دلایلی چند می‌توان باعث این امر باشند از جمله اینکه ذرت گیاهی بهاره است و اوج نیاز آبی آن با گرمای تابستان همراه می‌باشد که این امر نیاز به آبیاری را افزایش می‌دهد. همچنین این گیاه جزء گیاهان چهار کربنه است که نیاز آبی آن از دو گیاه دیگر بیشتر است.

جدول ٤- شاخص‌های انرژی و آب در بوم‌نظام‌های فاریاب گندم،ذرت و یونجه

Table 4- Energy and water indicators in irrigated wheat, corn and alfalfa agroecosystems

شاخص Index	واحد Unit	گندم Wheat	ذرت Corn	یونجه Alfalfa
عملکرد دانه Grain yield	kg	5304.52	9180	0
عملکرد کاه و کلش Straw yield	kg	6483.3	0	0
عملکرد علوفه Alfalfa forage yield	kg	0	0	13510
آب مصرفی Consumed water	m^3	5850	8669.2	6563.7
انرژی ورودی Input energy	$MJ.ha^{-1}$	42052.8	64818.29	55959.59
انرژی ورودی Input energy	$kwh.ha^{-1}$	11681.34	18005.08	15544.33
انرژی خروجی Output energy	$MJ.ha^{-1}$	159017.7	134946	240072.07
کارایی مصرف انرژی Energy use efficiency	$MJ.MJ^{-1}$	3.78	2.08	4.29
بهره‌وری مصرف آب Water productivity	$kg.m^3$	0.9	1.05	2.06
بهره وری انرژی Energy productivity	$kg .MJ^{-1}$	0.13	0.14	0.24
نسبت انرژی آب Water energy ratio	%	0.34	0.36	0.29
بهره‌وری آب انرژی Water-Energy productivity	$g.m^{-3}\times kwh$	0.08	0.06	0.13

از طرف دیگر، هدف از کاشت ذرت در بوم‌نظام‌های مورد مطالعه برداشت دانه می‌باشد که نسبت به علوفه خشک تولید شده دریونجه مقدار عملکرد کمتری دارد. بنابراین، مقدار شاخص بهره‌وری در ذرت در مقایسه با یونجه کمتر می‌باشد.

در این مطالعه همچنین بهره‌وری انرژی نیز محاسبه شد که مقدار آن بر حسب کیلوگرم بر مگاژول بیان می‌شود. مقدار این شاخص در اکوسیتم‌های تولید گندم، ذرت و یونجه به‌ترتیب ۰/۱۳ ، ۰/۱۴ و ۰/۲۴ کیلوگرم بر مگاژول بود. مقدار این شاخص در بوم‌نظام‌های تولید یونجه بیشتر از دیگر بوم‌نظام‌ها بود که نشان‌دهندهٔ این مطلب است که در بوم‌نظام های تولید یونجه در مقایسه با گندم و ذرت به ازای هر مگاژول انرژی ورودی، عملکرد بیشتری حاصل می‌شود. این مقدار برای گندم در ترکیه ۰/۲۶ (Adnan et al., 2009)، برای چغندر ۱/۵۳ (Esengun et al., 2007)، و برای تولید خیار در ایران ۰/۸۰ (Mohammadi and Omid, 2010) گزارش شد. می‌توان با توجه به مقدار این عدد به سرعت در مورد کارآمد بودن سیستم تصمیم گرفت، چون هر اندازه مقدار آن بالاتر باشد به معنای عملکرد بیشتر و انرژی ورودی کمتر است.

نسبت انرژی آب دیگر شاخص مهمی بود که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. این شاخص نشان‌دهنده مقدار انرژی ورودی به ازای آب آبیاری و نیروی لازم برای پمپاژ آن نسبت به کل انرژی ورودی به بوم‌نظام‌های تولید است که بر حسب درصد بیان می‌شود. مقدار این شاخص در بوم‌نظام‌های فاریاب تولید گندم ۳۴ درصد، در بوم‌نظام‌هی تولید ذرت ۳۶ درصد و در بوم‌نظام‌های تولید یونجه ۲۹ درصد بود. به‌طور میانگین، در بوم‌نظام‌های مورد مطالعه بیش از ۳۰ درصد از انرژی ورودی مربوط به انرژی آب بود.

دیگر شاخص مهم در بررسی جریان انرژی در بوم‌نظام‌های زراعی شاخص بهره‌برداری آب- انرژی می‌باشد که از طریق تقسیم عملکرد دانه (عملکرد اقتصادی) بر مقدار آب مصرفی در انرژی ورودی آن به‌دست می‌آید. واحد این شاخص گرم بر مترمکعب در کیلووات ساعت می‌باشد. مقدار این شاخص در بوم‌نظام‌های تولید گندم، ذرت و یونجه به ترتیب ۰/۰۸، ۰/۰۶ و ۰/۱۳ گرم بر مترمکعب‌در کیلووات ساعت بود. این شاخص مقدار تولید عملکرد به ازای مقدار آب و انرژی مصرف شده را نشان می‌دهد. مقدار کم این

شاخص ممکن است اثرات بالای ردپای‌محیطی[1] را نشان دهد (Khan et al., 2009). مقدار این شاخص در بوم‌نظام‌های تولید گندم، برنج و جو به ترتیب برابر با ۰/۵۶، ۰/۰۸ و ۱/۵۰ گرم بر متر مکعب در کیلووات ساعت گزارش شد (Khan et al., 2009). مقدار این شاخص در بوم‌نظام‌های دیم به مراتب بیشتر از بوم‌نظام‌های فاریاب است به دلیل اینکه هم حجم انرژی ورودی و هم مقدار آب مصرفی کم است. بنابراین، در بین سه بوم‌نظام مورد بررسی بوم‌نظام‌های تولید یونجه از لحاظ این شاخص کارآمدتر هستند و همچنین از لحاظ مصرف انرژی نیز کارآمدتر هستند. هر اندازه در سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی حجم انرژی ورودی و آب مصرفی کمتر باشد و در مقابل انرژی خروجی بیشتر باشد سیستم‌ها از لحاظ مصرف انرژی کارآمدتر هستند و کمترین اثرات سوء را برمحیط زیست دارند.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار انرژی مصرفی و حجم مصرف انرژی در بوم‌نظام‌های تولید ذرت بیشتر از بوم‌نظام‌های تولید یونجه و گندم بود. در مقابل مقدار انرژی تولیدی و حجم تولید انرژی در بوم‌نظام‌های تولید یونجه بیش از دو بوم‌نظام دیگر بود. بر این اساس بیشترین کارایی مصرف انرژی مربوط به بوم‌نظام‌های تولید یونجه و کمترین کارایی مربوط به بوم‌نظام‌های تولید ذرت بود. از لحاظ بهره‌وری انرژی و مصرف آب نیز بوم‌نظام‌های تولید یونجه کارآمدتر بودند. در بوم‌نظام‌های فاریاب این استان به‌طور میانگین بیش از ۳۰ درصد از انرژی ورودی مربوط به انرژی آب (آب مصرفی و نیروی الکتریسیته لازم برای پمپاژ آن) بود. مقدار شاخص بهره‌وری آب- انرژی در بوم‌نظام‌های تولید یونجه بیش از سه برابر دو بوم‌نظام دیگر بود که این موضوع حاکی از کارآمد بودن مصرف نهاده‌های انرژی و آب در این بوم‌نظام نسبت به دیگر بوم‌نظام‌های استان کرمانشاه است. در بوم‌نظام‌های فاریاب می‌توان با اجرای مدیریت زراعی درست از جمله تعیین بهترین تاریخ کاشت به منظور همزمانی بیشتر نیاز آبی گیاه زراعی و بارندگی‌های به منظور کاهش تعدادآبیاری‌ها، رعایت تناوب زراعی به‌منظور تأمین حاصلخیزی خاک و کنترل شیوع آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز به منظور کاهش مصرف کود و دیگر نهاده‌های شیمیایی، استفاده از ماشین‌آلات چندکاره به منظور صرفه جویی در سوخت و استهلاک کمتر ماشین‌آلات، استفاده از کودهای آلی و همچنین استفاده از سیستم‌های آبیاری کارآمد در کاهش وابستگی سیستم‌های تولید به انرژی‌های ورودی تجدید ناپذیر موثر واقع شد. با مدیریت صحیح و کارآمد مصرف نهاده‌ها از جمله منابع آبی علاوه بر حفظ منابع، می‌توان به تولید مطلوب دست یافت و از اثرات سوء مصرف بیش از حد منابع انرژی از جمله سوخت‌های فسیلی و سایر نهادهای شیمیایی بر محیط زیست جلوگیری به عمل آورد و با کاهش ردپای محیطی پایداری بوم‌نظام‌های تولید را تضمین نمود.

1- Environmental Footprint

منابع

1- Adnan, C., Altınta, G., and Erdal, G. 2009. Energy consumption patterns and economic analysis of irrigated wheat and rainfed wheat production: Case study for Tokat region. Turkey Journal of Food, Agriculture and Environment 7 (3 and 4): 639-6 44.

2- Ahmad, A., and Khan, S. 2009. On comparison of water and energy productivities in pressurized irrigation systems. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July. 2776-2782.

3- Alam, M.S., Alam, M.R. and Islam, K.K. 2005. Energy Flow in Agriculture: Bangladesh. American Journal of Environmental Sciences 1(3): 213–220.

4- Bala, B.K., and Hussain, M.D. 1992. Energy Use Pattern for Crop Production in Bangladesh 9(1): 23-25.

5- Canakci, M., Topakci, M., Akinci, 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: 655–660.

6- Demircan, V., Ekinci, K., Keener, H.M., Akbolat, D., and Ekinci, C. 2006. Energy and economic analysis of sweet cherry production in Turkey: A case study from Isparta province. Energy Conversion and Management 47: 1761-1769.

7- 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.

8- 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.

9- Hatirli, S.A., Ozkan, B., and Fert, K. 2005. An econometric analysis of energy input/output in Turkish agriculture, Renewable and Sustainable Energy Reviews 9: 608-23.

10- Hoeppner, J.W., Entz, M.H., McConkey, B.G., Zentner, R.P., and Nagy, C.N. 2005. Energy use and efficiency in two Canadian organic and conventional crop production systems. Renewable Agriculture and Food Systems 21(1): 60–67.

11- Khan, S., Khan, M.A., Hanjra, M.A., and Mu, J. 2009. Pathways to reduce the environmental footprints of water and energy input in food production. Food Policy 34: 141-149.

12- Mobtaker, HG., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S., and Akram, A. 2010. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. Agric Ecosyst Environ 137(3-4): 367-372.

13- 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.

14- Mohammad, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., and Rafiee, H. 2010. Energy inputs– yield relationship and cost analysis of kiwifruit production in Iran. Renewable Energy 35: 1071–1075.

15- Mousavi-Avval, S., Rafiee, H., and Jafari, S. 2010. A comparative study on water and energy indicators for irrigated and rain-fed canola production systems in Iran. Journal of sustainable energy and environment 1: 197-201.

16- Ozkan, B., Kuklu, A., and Akcaoz, H. 2004. An input–output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. Biomass Bioenerg 26: 89–95.

17- Rafiee, S., Mousavi avval, S.H., and Mohammadi, A. 2010. Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. Energy 35(8): 3301-3306.

18- Samavatean, N., Rafiee, S., Mobil, H., and Mohammadi, A. 2010. An analysis of energy use and relation between energy inputs and yield, costs and income of garlic production in Iran. Renewable Energy (In press). doi:10.1016/j.renene 2010.11.020.