مجله پژوهش‌های به زراعی
جلد۱۵ ، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲

مجله پژوهش‌های به‌زراعی

تجزیه و تحلیل بهره‌وری آب، انرژی و اقتصاد تولید علوفه ذرت و سورگوم در شرایط مختلف آبیاری

مسعود ترابی[۱*]، محسن حیدری سلطان‌آباد[۲]، روح‌اله دانشور راد[۳]، حسین حیدری شریف‌آباد[۴]، رضا عزیزی‌نژاد [۵]، حمیدرضا سالمی[۶]

۱- دانشیار بخش علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۲-دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۳- دانشجوی دکتری، گروه علوم زراعی و باغی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۴- استاد گروه گروه علوم زراعی و باغی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۵- استادیار گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی، دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۶- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۳

چکیده

پایداری در بخش کشاورزی از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد و تقاضای روزافزونی جهت اطلاعات در ابعاد اقتصادی، انرژی و زیست‌محیطی در نظام‌های کشاورزی، وجود دارد. از این رو، هدف این مطالعه مقایسه بهره‌وری آب، انرژی و هزینه‌های تولید علوفه ذرت و سورگوم و مقایسه اقتصادی کشت دو گیاه در منطقه خشک شمال غرب اصفهان بود. این آزمایش به طور جداگانه برای هر گیاه، به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در شاهین شهر اصفهان طی سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ انجام شد. کرت‌های اصلی شامل سه سطح آبیاری کامل، ۸۰ و ۶۰ ٪ آبیاری کامل و کرت‌های فرعی شامل دو رقم سورگوم اسپیدفید و پگاه و ذرت ۷۰۴ و ماکسیما بود. نتایج نشان داد که بیشترین انرژی ورودی مصرفی در تولید هر دو گیاه با میانگین ۱۴۱۳۰ مگاژول بر هکتار، مربوط به کود نیتروژن می‌باشد. همچنین، انرژی ورودی تولید ذرت بیشتر از سورگوم مشاهده شد. در بین رقم‌های مورد بررسی، رقم پگاه سورگوم بیشترین نسبت انرژی (۲۳ ٪)، بهره‌وری انرژی علوفه (۰/۳۸ کیلوگرم بر مگاژول) و بهره‌وری آب علوفه (۶/۴ کیلوگرم بر متر مکعب) را به خود اختصاص داد. نتایج همچنین، حکایت از افزایش هزینه‌های ثابت و متغیر تولید ذرت در مقایسه با سورگوم داشت. در مجموع، تولید سورگوم نسبت به ذرت در منطقه نیاز به مقدار آب و انرژی کمتر، هزینه تولید پایین‌تر همراه با تولید علوفه بیشتر و آسیب‌های زیست محیطی کمتری می‌باشد و رقم پگاه رقم مناسب‌تری جهت تولید علوفه درمنطقه معرفی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی اقتصادی، رقم پگاه، شدت انرژی، عملکرد علوفه، نسبت انرژی

* نویسنده مسئول (masoud.agro.ir@gmail.com)

مقدمه

امروزه امنیت غذایی جهان با چالش‌های فراوانی از جمله رشد سریع جمعیت و تغییرات قابل توجه آب و هوایی مواجه می‌باشد (Lesk *et al.*, 2016)، در این میان، منابع آبی به عنوان یک نهاده مهم و محدود در سراسر جهان، توسط این چالش‌ها، به شدت متأثر شده و در نتیجه، افزایش روزافزون مصرف سرانه آب به دلیل افزایش تقاضا برای آب در خانوارها، صنعت و کشاورزی (Xu *et al.*, 2020)، به وقوع پیوسته است (Fereres & Soriano 2005, Dirwai *et al.*, 2021). از آنجایی که بخش کشاورزی به عنوان مصرف کننده ۷۰ درصد آب شیرین جهان می‌باشد (Zhao *et al.*, 2020)، کمبود منابع آب، توسعه آبیاری را محدود کرده و منجر به ناپایداری کشاورزی در مناطق خشک و در عین حال، کاهش کیفیت آب آبیاری شده است (Mustafa *et al.*, 2021). امروزه، راهکارهایی جهت مقابله با کمبود آب در بخش کشاورزی توسعه یافته که روش کم آبیاری به عنوان یک راهکار اقتصادی و سودمند با هدف بیشترین استفاده از حجم آب مصرفی، گام مهمی در جهت تولید بیشتر و پایداری محصولات کشاورزی می‌باشد (Orimoloye *et al.*, 2021).

گردش انرژی نیز یکی از موارد مهم در اکولوژی کشاورزی بوده و در نقاط مختلف جهان تجزیه و تحلیل انرژی ورودی-خروجی در اکوسیستم‌های مختلف کشاورزی محاسبه می‌شود. چرا که انرژی مورد نیاز برای تولید محصولات کشاورزی جهت ارزیابی‌های اقتصادی و زیست محیطی گیاهان کشت شده در منطقه‌ای خاص، بسیار مهم می‌باشد. برای مثال، آبیاری به مقدار زیادی انرژی فسیلی جهت استخراج آب از زمین و انتقال آن به مزرعه نیاز دارد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که حدود ۱۵٪ از کل انرژی لازم جهت تولید گیاهان در هر سال، جهت پمپاژ آب به مزارع مصرف می‌شود (Manafi Dastjerdi & Lari 2017).

امروزه، رشد رو به افزایش جمعیت کره زمین و افزایش تقاضا برای فراهم سازی غذای کافی و مناسب، منجر به افزایش انرژی مصرفی در بخش کشاورزی و به تبع آن افزایش ناپایداری

نظام‌های تولید گیاهان شده است. ارزیابی اقتصادی تولیدات کشاورزی تنها بر اساس قیمت کالاها انجام می‌شود، در حالی که بررسی بر اساس مصرف انرژی می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی جهت بررسی کارایی انرژی و اثرات زیست محیطی نظام‌های تولید گیاهان در اختیار پژوهشگران قرار دهد (Hamedani *et al.*, 2011, Moghimi *et al.*, 2013).

تجزیه و تحلیل انرژی بر اساس شاخص‌هایی از قبیل نسبت انرژی ورودی به خروجی، سود خالص انرژی، شدت انرژی و بهره وری انرژی تعیین می‌شود (Maysami, 2014) و با بررسی آن‌ها می‌توان انرژی مراحل مختلف محصول را در مناطق تولید آن‌ها مورد ارزیابی قرار داد (Lorzadeh *et al.*, 2011). بررسی عوامل مؤثر بر انرژی ورودی جهت تولید محصولات کشاورزی منجر به بهینه سازی روش‌های مصرف انرژی خواهد شد. برای مثال، بهبود مصرف انرژی سوخت‌های فسیلی به عنوان یکی از مهم‌ترین انرژی‌های ورودی به نظام تولید، کاهش هزینه‌های اقتصادی و اثر منفی زیست محیطی از اهمیت بسیاری برخوردار می‌باشد (Alam *et al.*, 2005). انرژی خروجی که در واقع انرژی مصرف شده جهت تولید محصول می‌باشد نیز با استفاده از ضریب عملکرد در معادل انرژی هر واحد به دست می‌آید و با انرژی ورودی مقایسه می‌شود که منجر به بررسی کارامدی نظام تولید گیاهان می‌شود (Kazemi *et al.*, 2016).

از انقلاب سبز تا به امروز، مصرف عمومی انرژی در بخش کشاورزی جهان، همواره در حال افزایش بوده است. بنابر گزارش‌ها مصرف انرژی در بخش کشاورزی ایران حدود سه برابر بیشتر از میانگین جهانی می‌باشد. با توجه به مسائل و مشکلات موجود در بخش انرژی کشور، تنها راه حل منحصر به فرد و اصولی، ارتقای بهره‌وری در حوزه‌های مختلف انرژی است. در شرایط کنونی با توجه به عدم تمایل کشاورزان به حذف گیاه پرمحصول و سودآور ذرت دانه‌ای، اجرای طرح‌های پژوهشی در رابطه با مشکلات کشت ذرت در منطقه و یافتن جایگزینی مناسب برای کشاورزان می‌تواند اقدامی جهت دستیابی به مدیریت کم

آبیاری در راستای تعدیل پدیده خشکسالی منطقه، کاهش مصرف آب و حفظ کشاورزی موجود باشد (Rad *et al.*, 2021).

توجه به کمبود علوفه در کشور جهت تولید محصولات دامی، کشت گیاهان علوفه‌ای با پتانسیل تولید بالا و مصرف آب کمتر را ضروری ساخته است. گیاه سورگوم به خوبی با شرایط آب و هوایی مناطق خشک سازگاری داشته و علوفه آن به دلیل ۲۵-۲۰٪ ماده خشک و ۱۵-۱۰٪، بسته به رقم، پروتئین جزء علوفه با کیفیت محسوب می‌شود. با توجه به عملکرد بالای سورگوم در مناطق خشک و نیمه خشک در مقایسه با ذرت، لزوم ارزیابی کارایی آب و انرژی رقم‌های سازگار با شرایط اقلیمی ایران و مقایسه آن با ذرت علوفه ای ضرورت دارد. از این رو، هدف این مطالعه تجزیه و تحلیل انرژی ورودی-خروجی در تولید ذرت و سورگوم علوفه‌ای و مقایسه آن با یکدیگر در منطقه شاهین شهر اصفهان بود. به طوری که جریان انرژی و مزایای اقتصادی تولید سورگوم به عنوان جایگزینی برای ذرت ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر در شاهین شهر اصفهان (عرض جغرافیایی ۳۸/۵ تا ۵۰/۵ درجه، طول جغرافیایی ۴۵ تا ۳۲/۵ درجه و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۹۵ متر) انجام شد. برخی ویژگی‌های هواشناسی در دوره انجام این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به طور جداگانه برای هر گیاه طی سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری در سه سطح (۱۰۰ درصد آبیاری، ۸۰ درصد آبیاری کامل و ۶۰٪ آبیاری کامل) در کرت‌های اصلی و رقم‌های ذرت (۷۰۴ و ماکسیما) و سورگوم (اسپیدفید و پگاه) در کرت‌های فرعی بود. لازم به ذکر است که بذر رقم‌های ذرت و سورگوم از مرکز تحقیقات اصلاح بذر اصفهان تهیه شد.

تمامی کرت‌های آزمایشی به طور یکسان با کودهای فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم به ترتیب ۲۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کوددهی شدند. کود اوره نیز به صورت سرک

زمانی که بوته‌ها به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر رسیدند، با سامانه آبیاری به کرت‌ها اضافه شد. نیاز آبی گیاهان بر اساس مقادیر تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع (ET0) و ضریب گیاهی (KC) محاسبه شد (Allen *et al.*, 1998).

به منظور مدیریت آبیاری، وزن مخصوص ظاهری، رطوبت در ظرفیت مزرعه (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) خاک با نمونه-برداری از سطح خاک در آزمایشگاه به ترتیب ۲۵٪ و ۱۴٪ و ۱/۳۵ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد. مصرف آب نیز با استفاده از کنتورهایی که در مزرعه تعبیه شده بود، تعیین شد.

بهره‌وری آبیاری بر اساس ماده خشک یا خروجی (کیلوگرم) به آب مصرفی گیاه (متر مکعب) به دست آمد. کل انرژی مورد نیاز برای تولید دو گونه گیاهی مورد مطالعه در شش گروه اصلی شامل انرژی معادل ماشین آلات و مصرف سوخت فسیلی (Kitani 1999)، آبیاری (Acaroğlu & Aksoy 2005)، نیروی انسانی (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2016)، بذر (Ozkan *et al.*, 2004)، آفت‌کش‌ها و کود (Mousavi-Avval *et al.*, 2011) تقسیم بندی و محاسبه شد. انرژی ورودی مستقیم شامل نیروی کار انسانی، سوخت دیزل، آب برای آبیاری و برق مورد استفاده در تولید گیاه می‌باشد. در حالی که انرژی غیرمستقیم ورودی بذر، آفت‌کش‌ها، کودها و انرژی ماشین آلات را در بر می‌گیرد. انرژی‌های تجدیدپذیر شامل نیروی کار انسانی و بذر و انرژی‌های تجدید ناپذیر شامل گازوئیل، آفت‌کش‌ها، کودها، برق و ماشین آلات بود. در نهایت، شدت انرژی، بهره‌وری انرژی و نسبت انرژی با استفاده از روابط ۱ تا ۳ به دست آمد (Hatirli *et al.*, 2006).

جدول ۱- ویژگی‌های آب و هوایی دوره رشد گیاهان

سال	ماه‌های سال	دما (°C) کمینه	دما (°C) بیشینه	بارندگی (mm)
۱۴۰۰	فروردین	۶	۲۷	۲۰
	اردیبهشت	۶/۸	۳۰	۱۵
	خرداد	۸	۳۵	۱۳/۷
	تیر	۱۵	۴۰/۲	۰
	مرداد	۱۸	۴۱/۵	۰/۱
	شهریور	۱۵	۳۷	۰/۲
	جمع	۶۸/۸	۲۱۰/۷	۴۹
	میانگین	۱۱/۴۶	۳۵	-
۱۴۰۱	فروردین	۸	۲۸	۱۷
	اردیبهشت	۹/۶	۳۲	۱۴
	خرداد	۱۰/۴	۳۸/۶	۱۶/۸
	تیر	۱۹/۲	۴۱/۶	۸/۴
	مرداد	۲۱/۳	۴۲/۵	۰
	شهریور	۲۱	۴۱/۵	۰
	جمع	۸۴/۸	۲۲۴/۲	۵۶/۲
	میانگین	۱۵	۳۷/۳	-

رابطه۱ $$\text{شدت انرژی} = \frac{\text{کل انرژی مصرفی (مگاژول بر هکتار)}}{\text{عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)}}$$

رابطه۲ $$\text{نسبت انرژی} = \frac{\text{کل انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)}}$$

رابطه۳ $$\text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)}}$$

کل انرژی ورودی و خروجی در تولید ذرت و سورگوم با استفاده از پرسشنامه و تجزیه و تحلیل داده‌ها جمع‌آوری شد. سپس، اطلاعات اولیه در مورد نهاده‌های انرژی و عملکرد سورگوم و ذرت در نرم‌افزار اکسل وارد و به صورت شاخص‌های انرژی محاسبه شد. در واقع، تمامی ورودی‌ها و خروجی‌های انرژی کشت دو گیاه با استفاده از ضرایب تبدیل استاندارد به انرژی معادل تبدیل شد. در نهایت، در بخش آخر تحقیق، تحلیل اقتصادی تولید دو گیاه مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج، معادل‌های انرژی ثابت شامل، سوخت فسیلی، نیروی انسانی (راننده و کارگر)، بذر، کودها و آفت‌کش‌ها، مصرف سوخت‌های فسیلی، بذر و کودهای شیمیایی بیشترین اهمیت را از نظر اقتصادی در منطقه داشتند. بیشترین و کمترین انرژی مصرفی در بخش ماشین آلات برای گاوآهن و کودپاش شیمیایی، به ترتیب ۴۳۰۲ و ۱۶۷/۳ مگاژول بر هکتار، به دست آمد (جدول ۲). بیشترین انرژی مصرفی در بخش نیروی انسانی با میانگین ۱۵۸/۷ مگاژول بر هکتار برای چاپر حاصل شد، در حالی که کمترین مقدار، میانگین ۵/۸ مگاژول در هکتار، بدون تفاوت مربوط به استفاده از دیسک و لولر بود (جدول ۴). در کاربرد کودها و سموم نیز بیشترین انرژی مصرفی برای کود نیتروژنی، ۱۴۱۳۰ مگاژول در هکتار، و کمترین انرژی مصرفی در کاربرد کودهای پتاسیمی و تکمیلی بدون اختلاف، ۹۲/۸ مگاژول در هکتار، ثبت شد (جدول ۵). نتایج پژوهش‌های دیگر نشان دادند که در اکوسیستم‌های زراعی مقادیر فراوانی کود نیتروژن مصرف می‌شود و به همین دلیل بیشترین مصرف انرژی در بخش نهاده‌های ورودی مربوط به کاربرد این قبیل کودها می‌باشد (Gallego *et al.*, 2011). در پژوهشی با ارزیابی شکل‌های انرژی در تولید جو گزارش شد که بیشترین مصرف انرژی مربوط به انرژی غیر قابل تجدید سوخت‌های فسیلی می‌باشد (Ghasemi-Mobtaker *et al.*, 2020). انرژی معادل بذر مصرفی و آبیاری در تولید ذرت به طور معنی‌داری بیشتر از سورگوم بود. به دلیل سنگین‌تر بودن بذرهای ذرت در مقایسه با سورگوم، مصرف ۴۰ کیلوگرم بذر ذرت در مقابل ۱۰ کیلوگرم در هکتار برای سورگوم، انرژی معادل بذر مصرفی در ذرت ۶۰۴ و در سورگوم ۱۴۷ مگاژول بر هکتار محاسبه شد (جدول ۳). در طی فصل رشد، در ۱۸ تا ۲۰ بار آبیاری برای سه تیمار ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری کامل، در کشت ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۶۴۴۹، ۵۶۷۶ و ۴۵۵۰ متر مکعب در هکتار در سال ۱۴۰۰ و ۷۱۰۰، ۵۷۲۰ و ۴۷۱۰ متر مکعب در هکتار در سال ۱۴۰۱ و

برای کشت سورگوم ۵۰۳۸، ۴۲۲۵ و ۳۳۵۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برای سال اول و در سال دوم ۴۴۰۰، ۴۴۵ و ۳۲۲۵ کیلوگرم در هکتار آب مصرف شد (جدول ۶).

جدول ۲- اطلاعات انرژی مصرفی ماشین آلات طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۰

نوع ماشین	دقیقه کارکرد ماشین در هکتار	مصرف سوخت در هکتار	انرژی معادل سوخت در هکتار ($Mj.ha^{-1}$)
تراکتور	۱۰۵۰	-	-
گاوآهن	۳۶۰	۹۰	۴۳۰۲
چیزل	۹۰	۱۰/۵	۵۰۲
دیسک	۶۰	۷	۳۳۴/۶
لولر	۶۰	۷	۳۳۴/۶
کودپاش شیمیایی	۳۰	۳/۵	۱۶۷/۳
کودپاش دامی	۶۰	۷	۳۳۴/۶
ردیف‌کار بذر	۱۸۰	۲۱	۱۰۰۳/۸
سم‌پاش	۱۰۰	۱۱/۶	۵۵۷/۶
چاپر	۶۰	۲۰	۹۵۶
تریلر	۵۰	۵/۸	۲۷۸/۸
مجموع	-	-	۸۷۷۱/۳

جدول ۳- اطلاعات انرژی مصرفی بذر طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۰

مصرف بذر در هکتار	وزن (Kg)	انرژی معادل ($Mj.ha^{-1}$)
بذر ذرت	۴۰	۶۰۴
بذر سورگوم	۱۰	۱۴۷

در بررسی چند گیاه زراعی مشخص شد که بیشترین مقادیر مصرف انرژی مربوط به تولید ذرت می‌باشد. این موضوع می‌تواند به دلیل انرژی مورد نیاز برای پمپ آب، به علت نیاز بالای ذرت به آب باشد که منجر به افزایش انرژی ورودی و شدت انرژی و کاهش انرژی خروجی می‌شود (Jordan *et al.*, 2017, Javadi & Esfahani 2023). مطابق با نتایج به دست آمده، گزارش شد که نسبت انرژی ورودی به خروجی ذرت در مقایسه با

سورگوم در مدیریت‌های مختلف در غرب نبراسکا، در تمامی نظام‌های تولید، به جزء، تولید دانه که به طور کامل آبیاری شد، کاهش در انرژی ورودی را به دنبال داشت (Franzluebbers *et al.*, 1995). گزارش شده است که سورگوم نسبت به ذرت در مقابل شرایط مختلف آب و هوایی و محیطی سازگارتر بوده و قادر به تولید مناسب علوفه می‌باشد (Dalla Marta *et al.*, 2014).

جدول ۴- اطلاعات انرژی مصرفی نیروی انسانی طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۰

نوع عملیات	تعداد کارگر/راننده	کل کارکرد در دقیقه	انرژی معادل نیروی انسانی ($Mj.ha^{-1}$)
گاوآهن	۱	۴۸۰	۱۵/۶
چیزل	۱	۲۱۰	۶/۸
دیسک	۱	۱۸۰	۵/۸
لولر	۱	۱۸۰	۵/۸
کودپاش شیمیایی	۲	۹۹۰	۳۲/۳
کودپاش دامی	۱	۵۴۰	۱۷/۶
ردیف‌کار بذر	۱	۶۶۰	۲۱/۵
سم‌پاش	۱	۵۸۰	۱۹
چاپر	۱۰	۴۸۶۰	۱۵۸/۷
تریلر	۱	۵۳۰	۱۷/۳
مجموع	۲۰	۹۲۱۰	۳۰۱

جدول ۵- اطلاعات انرژی مصرفی کود و سموم طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۰

کود	مصرف در هکتار	انرژی معادل ($Mj.ha^{-1}$)
نیتروژنی	۳۰۰	۱۴۱۳۰
فسفره	۱۷۵	۲۷۶۵
پتاسیمی	۱۰۰	۹۲۸
کودهای تکمیلی	۱۰	۹۲/۸
دامی	۳۷۰۰۰	۱۱۱۰۰۰
مجموع		۱۹۰۱۵/۸
سموم	مصرف در هکتار	انرژی معادل ($Mj.ha^{-}$)
علف‌کش	۱	۲۳۸
مجموع		۲۳۸

نتایج تجزیه واریانس مرکب ویژگی‌های مرتبط با انرژی و بهره‌وری آب در جدول ۷ ارئه شده است. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی علوفه و بهره‌وری آب علوفه رقم‌های سورگوم بیشتر از رقم‌های ذرت می‌باشد. رقم پگاه سورگوم با میانگین ۲۳/۳٪ از بیشترین مقدار نسبت انرژی در میان رقم‌های مورد مطالعه برخوردار بود. رقم اسپیدفید ۱۷٪ انرژی کمتری در مقایسه با رقم پگاه به همراه داشت. در بین دو رقم ذرت نیز رقم ماکسیما با میانگین ۱۱/۳٪، بیشترین مقدار را نشان داد و رقم ۷۰۴ با میانگین ۱۰/۷ ٪ کمترین مقدار را شامل شد. رقم پگاه با میانگین ۰/۳۸ کیلوگرم بر مگاژول، حدود ۱/۵ برابر، بهره‌وری انرژی علوفه بیشتری در مقایسه با رقم ۷۰۴ ذرت ثبت کرد (جدول ۸).

جدول ۶- اطلاعات انرژی مصرفی آب آبیاری طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۰

سال	مقدار آب	۶۰ ٪	۸۰ ٪	۱۰۰ درصد	عمق چاه	راندمان اول	راندمان دوم
۱۴۰۰	ذرت	۴۵۵۰	۵۶۷۶	۶۶۴۹	۱۷۰	۰/۸	۰/۲۵
	سورگوم	۳۳۵۰	۴۲۵۰	۵۰۳۸	-	-	-
	انرژی معادل آب ذرت	۳۷۹۰۱/۵	۴۷۲۸۱	۵۵۳۸۶	-	-	-
	انرژی معادل آب سورگوم	۲۷۹۰۵/۵	۳۵۴۰۲/۵	۴۱۹۶۶/۵	-	-	-
	انرژی معادل آب ذرت+۲۰	۴۵۴۸۱/۸	۵۶۷۳۷/۲	۶۶۴۶۳/۴	-	-	-
	انرژی معادل آب سورگوم+۲۰	۳۳۴۸۶/۶	۴۲۴۸۳	۵۰۳۵۹/۸	-	-	-
۱۴۰۱	ذرت	۴۷۱۰	۵۷۲۰	۷۱۰۰	۹۰	۰/۸	۰/۲۵
	سورگوم	۳۲۲۵	۴۴۰۰	۳۲۲۵	-	-	-
	انرژی معادل آب ذرت	۲۰۷۷۱	۲۵۲۵۵/۲	۳۱۳۱۱	-	-	-
	انرژی معادل آب سورگوم	۱۵۵۴۵/۲	۱۹۴۰۴	۲۴۰۱۲/۴	-	-	-
	انرژی معادل آب ذرت+۲۰	۲۴۹۲۵/۳	۳۰۲۷۰/۲	۳۷۵۷۳/۲		-	-
	انرژی معادل آب سورگوم+۲۰	۱۸۶۴۵/۳	۲۳۳۲۸/۸	۲۸۸۱۵	-	-	-

بر اساس نتایج، شدت انرژی در رقم‌های ذرت بیشتر از رقم‌های سورگوم بود. به طوری که رقم ۷۰۴ ذرت با میانگین ۱/۷ مگاژول بر کیلوگرم بیشترین مقدار را به خود اختصاص

داد و رقم ماکسیما نزدیک به شش درصد شدت انرژی کمتری داشت. رقم پگاه با برخورداری از میانگین ۰/۷۳ مگاژول بر کیلوگرم، کمترین شدت انرژی را شامل شد که ۱۸٪ کمتر از رقم اسپیدفید بود. بیشترین بهره‌وری آب علوفه در رقم پگاه با میانگین ۶/۴ کیلوگرم بر متر مکعب و کمترین مقدار با میانگین ۲/۴ کیلوگرم بر متر مکعب در رقم ماکسیما مشاهده شد (جدول ۸).

بر اساس جدول ۹ در این پژوهش، هزینه‌های ثابت طرح برای سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۰ شامل هزینه سوخت، نیروی انسانی، بذر، کود و سموم و هزینه متغیر دو سال، هزینه آب مصرفی به دلیل پمپاژ آب از دو سطح متفاوت چاه، بود. مقدار عملکرد، آب مصرفی و ارزش علوفه تولیدی در تیمارهای مختلف نیز تعیین شد.

جدول ۷- تجزیه واریانس مرکب تیمارهای آزمایش بر ویژگی‌های مرتبط با انرژی در ذرت و سورگوم طی سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		نسبت انرژی	بهره‌وری انرژی علوفه	شدت انرژی	بهره‌وری آب علوفه
سال (Y)	۱	۳۸۶/۵**	۰/۰۵**	۱/۲**	۴/۸**
سال (تکرار)	۲	۱۲**	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۶**	۱/۲^{ns}
گیاه (P)	۱	۱۸۹۰/۶**	۰/۵۴**	۱۳**	۲۰۰/۹۶**
(Y×P)	۱	۱۳۳/۴**	۰/۰۱**	۰/۰۹**	۰/۰۱^{ns}
خطای اول	۲	۴۲/۴	۰/۰۱	۰/۱۹	۳/۵
آبیاری (I)	۲	۴۵/۴**	۰/۰۱**	۰/۵۲**	۱/۷^{ns}
Y×I	۲	۴/۷*	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۶**	۰/۴۸^{ns}
P×I	۲	۳/۵^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۳۴**	۵**
Y×I×P	۲	۵/۸*	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۸**	۰/۴۱^{ns}
خطای دوم	۲	۲/۸	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۱۸
رقم (V)	۱	۹۷/۳**	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۳۷**	۰/۰۰۲^{ns}
Y×V	۱	۱۳/۶**	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۳۲**	۱/۲۳^{ns}
P×V	۱	۵۱/۵**	۰/۰۲**	۰/۰۰۸^{ns}	۸**
Y×P×V	۱	۲/۸^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۱**	۰/۰۶^{ns}
I×V	۲	۲^{ns}	۰/۰۰۷*	۰/۰۰۳^{ns}	۱/۶۴^{ns}
Y×I×V	۲	۲^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۱۶^{ns}
P×I×V	۲	۲/۲^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۱/۷۲^{ns}
Y×P×I×V	۲	۱/۷^{ns}	۰/۰۰۰۶^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۶^{ns}
خطای سوم	۱۶	۱/۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۸	۰/۵
ضریب تغییرات (درصد)	-	۷	۱۴/۵	۷/۳	۷

ns، ** و * به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطح آماری ۱ درصد و ۵ درصد می‌باشند.

کل هزینه‌های ثابت کشت ذرت در سال ۱۴۰۰ برابر با ۹۲/۹۵۵/۰۰۰ ریال بود که با توجه به هزینه آبیاری در تیمار ۱۰۰ درصد، ۲۵۷/۷۵۱/۹۱۰ ریال سود خالص از تیمار مذکور حاصل شد. در تیمارهای تنش ۸۰ و ۶۰ ٪ آبیاری نیز مقدار سود خالص با توجه به هزینه آب مصرفی و علوفه خشک تولیدی به ترتیب برابر با ۱۳۶/۰۱۳/۴۰۰ و ۸۵/۱۲۹/۵۰۰ ریال بود. در حالی که هزینه‌های ثابت کشت ذرت در سال ۱۴۰۱، ۱۰۰/۳۶۵/۰۰۰ ریال محاسبه شد که مقدار سود خالص برای تیمارهای ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری به ترتیب ۲۵۵/۶۲۴/۰۰۰، ۱۹۱/۵۶۹/۸۰۰ و ۱۰۶/۹۹۳/۹۰۰ ریال به دست آمد (جدول‌های ۱۰ و ۱۱).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر سال، گیاه، رقم و تیمارهای آبیاری بر بهره‌وری آب و انرژی ذرت و سورگوم

شاخص‌های آب و انرژی	۱۴۰۰	۱۴۰۱	ذرت	سورگوم	۷۰۴	ماکسیما	اسپیدفید	پگاه	۱۰۰ ٪ آبیاری	۸۰ ٪ آبیاری	۶۰ ٪ آبیاری
نسبت انرژی (٪)	$13/8^{b}$	$18/5^{a}$	11^{b}	$21/3^{a}$	$10/7^{c}$	$11/3^{c}$	$19/3^{b}$	$23/3^{a}$	$17/6^{a}$	16^{b}	15^{c}
بهره‌وری انرژی علوفه ($Kg.mj^{-1}$)	$0/25^{b}$	$0/3^{a}$	$0/19^{b}$	$0/36^{a}$	$0/21^{b}$	$0/16^{c}$	$0/34^{a}$	$0/38^{a}$	$0/3^{a}$	$0/26^{b}$	$0/25^{b}$
شدت انرژی ($Mj.kg^{-1}$)	$1/37^{a}$	$1/1^{b}$	$1/6^{a}$	$0/81^{b}$	$1/7^{a}$	$1/6^{b}$	$0/89^{c}$	$0/73^{d}$	$1/08^{c}$	$1/2^{b}$	$1/3^{a}$
بهره‌وری آب علوفه ($Kg.m^{-3}$)	$4/7^{a}$	4^{b}	$2/7^{b}$	6^{a}	3^{c}	$2/4^{d}$	$5/7^{b}$	$6/4^{a}$	$4/4^{a}$	$4/2^{a}$	$4/6^{a}$

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند.

بر اساس نتایج، کل هزینه‌های ثابت سورگوم در سال ۱۴۰۰، برابر با ۸۸/۹۵۵/۰۰۰ ریال محاسبه شد که در تیمار ۱۰۰٪ آبیاری، سود خالصی برابر با ۲۰۰/۹۴۱/۴۲۰ ریال به دست آمد. مقدار سود خالص در تیمارهای تنش ۸۰ و ۶۰٪ آبیاری در همان سال به ترتیب ۱۵۵/۰۵۲/۵۰۰ و ۱۴۹/۳۲۱/۵۰۰ ریال بود. هزینه‌های سورگوم در سال دوم آزمایش، ۹۵/۳۶۵/۰۰۰ ریال بود که با توجه به هزینه آب مصرفی و مقدار علوفه تولیدی در

تیمارهای آبیاری شاهد و تنش ۸۰٪ و ۶۰٪ آبیاری کامل، به ترتیب ۳۴۶/۹۵۷/۵۵۰، ۲۷۳/۴۳۱/۰۰۰ و ۲۳۹/۰۸۷/۷۵۰ ریال سود خالص محاسبه شد (جدول‌های ۱۰ و ۱۱). همان گونه که مشاهده می‌شود، کل هزینه‌های کشت سورگوم و همچنین، هزینه آبیاری آن در هر دو سال در مقایسه با ذرت کمتر بود. افزون بر این، مقدار علوفه تولیدی سورگوم نیز در تیمارهای مختلف آبیاری در هر دو سال نسبت به ذرت افزایش نشان داد. در مجموع، اگرچه تنش خشکی در مقایسه با آبیاری طبیعی رشد هر دو گیاه را با کاهش مواجه ساخت، اما کشت سورگوم با توجه به کم‌آبی‌های گسترده در منطقه در مقایسه با ذرت از منفعت اقتصادی بیشتری برخوردار می‌باشد.

جدول ۹- هزینه‌های ثابت تولید ذرت و سورگوم طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۰

سال	هزینه	مجموع استفاده شده در هکتار	هزینه نهایی (ریال)
۱۴۰۰	سوخت ماشین آلات	۱۸۲/۵ لیتر	۷۳۰/۰۰۰
	نیروی انسانی (راننده)	۴۰/۵ ساعت	۶/۰۷۵/۰۰۰
	نیروی انسانی (کارگر)	۶۴ ساعت	۴/۰۰۰/۰۰۰
	بذر ذرت	۴۰ کیلوگرم	۴/۰۰۰/۰۰۰
	بذر سورگوم	۱۰ کیلوگرم	۵۰۰/۰۰۰
	کود اوره	۳۰۰ کیلوگرم	۳/۷۵۰/۰۰۰
	کود فسفات	۱۷۵ کیلوگرم	۱۵/۴۰۰/۰۰۰
	کود پتاسیم	۱۰۰ کیلوگرم	۱۰/۰۰۰/۰۰۰
	کودهای تکمیلی	۱۰ کیلوگرم	۲/۰۰۰/۰۰۰
	کود دامی	۳۷۰۰۰ کیلوگرم	۳۷/۰۰۰/۰۰۰
	حمل و نقل ذرت	-	۱۰/۰۰۰/۰۰۰
	حمل و نقل سورگوم	-	۹/۵۰۰/۰۰۰
کل هزینه‌ها	-	-	۱۰۲/۹۵۵/۰۰۰
۱۴۰۱	سوخت ماشین آلات	۱۸۲/۵ لیتر	۷۳۰/۰۰۰
	نیروی انسانی (راننده)	۴۰/۵ ساعت	۶/۸۵۵/۰۰۰
	نیروی انسانی (کارگر)	۶۴ ساعت	۵/۶۰۰/۰۰۰
	بذر ذرت	۴۰ کیلوگرم	۴/۰۰۰/۰۰۰
	بذر سورگوم	۱۰ کیلوگرم	۵۰۰/۰۰۰
	کود اوره	۳۰۰ کیلوگرم	۳/۷۵۰/۰۰۰
	کود فسفات	۱۷۵ کیلوگرم	۱۵/۴۰۰/۰۰۰
	کود پتاسیم	۱۰۰ کیلوگرم	۱۰/۰۰۰/۰۰۰
	کودهای تکمیلی	۱۰ کیلوگرم	۲/۰۰۰/۰۰۰
	کود دامی	۳۷۰۰۰ کیلوگرم	۳۷/۰۰۰/۰۰۰
	حمل و نقل ذرت	-	۱۵/۰۰۰/۰۰۰
	حمل و نقل سورگوم	-	۱۳/۵۰۰/۰۰۰
	کل هزینه‌ها	-	۱۱۴/۳۶۵/۰۰۰

جدول ۱۰- هزینه آبیاری تولید ذرت و سورگوم طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۰

تیمارهای آبیاری	ذرت			
	مقدار آب مصرف شده در سال ۱۴۰۰	هزینه (ریال) در سال ۱۴۰۰	مقدار آب مصرف شده در سال ۱۴۰۱	هزینه (ریال) در سال ۱۴۰۱
۱۰۰٪ آبیاری ($M.ha^{-1}$)	۶۴۴۹	۹/۰۹۳/۰۹۰	۷۱۰۰	۱۰/۰۱۱/۰۰۰
۸۰ ٪ آبیاری ($M.ha^{-1}$)	۵۶۷۶	۸/۰۳۱/۶۰۰	۵۷۲۰	۸/۰۶۵/۲۰۰
۶۰ ٪ آبیاری ($M.ha^{-1}$)	۴۵۵۰	۶/۴۱۵/۵۰۰	۴۷۱۰	۶/۶۴۱/۱۰۰
	سورگوم			
	مقدار آب مصرف شده در سال ۱۴۰۰	هزینه (ریال) در سال ۱۴۰۰	مقدار آب مصرف شده در سال ۱۴۰۱	هزینه (ریال) در سال ۱۴۰۱
٪ آبیاری ($M.ha^{-1}$)	۵۰۳۸	۷/۱۰۳/۵۸۰	۵۴۴۵	۷/۶۷۷/۴۵۰
۸۰ ٪ آبیاری ($M.ha^{-1}$)	۴۲۵۰	۵/۹۹۲/۵۰۰	۴۴۰۰	۶/۲۰۴/۰۰۰
۶۰ ٪ آبیاری ($M.ha^{-1}$)	۳۳۵۰	۴/۷۲۳/۵۰۰	۳۲۲۵	۴/۵۴۷/۲۵۰

جدول ۱۱- مقدار علوفه تولیدی ذرت و سورگوم و ارزش اقتصادی علوفه طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۰

تیمارهای آبیاری	ذرت			
	علوفه خشک ($Kg.ha^{-1}$) در سال ۱۴۰۰	ارزش علوفه (ریال) در سال ۱۴۰۰	علوفه خشک ($Kg.ha^{-1}$) در سال ۱۴۰۱	ارزش علوفه (ریال) در سال ۱۴۰۱
۱۰۰ ٪ آبیاری	۲۴۰۰۰	۳۶۰/۰۰۰/۰۰۰	۱۸۳۰۰	۳۶۶/۰۰۰/۰۰۰
۸۰ درصد آبیاری	۱۵۸۰۰	۲۳۷/۰۰۰/۰۰۰	۱۵۰۰۰	۳۰۰/۰۰۰/۰۰۰
۶۰ درصد آبیاری	۱۲۳۰۰	۱۸۴/۵۰۰/۰۰۰	۱۰۷۰۰	۲۱۴/۰۰۰/۰۰۰
	سورگوم			
	علوفه خشک ($Kg.ha^{-1}$) در سال ۱۴۰۰	ارزش علوفه (ریال) در سال ۱۴۰۰	علوفه خشک ($Kg.ha^{-1}$) در سال ۱۴۰۱	ارزش علوفه (ریال) در سال ۱۴۰۱
۱۰۰ ٪ آبیاری	۲۹۷۰۰	۲۹۷/۰۰۰/۰۰۰	۳۰۰۰۰	۴۵۰/۰۰۰/۰۰۰
۸۰ ٪ آبیاری	۲۵۰۰۰	۲۵۰/۰۰۰/۰۰۰	۲۵۰۰۰	۳۷۵/۰۰۰/۰۰۰
۶۰ ٪ آبیاری	۲۴۳۰۰	۲۴۳/۰۰۰/۰۰۰	۲۲۶۰۰	۳۳۹/۰۰۰/۰۰۰

نتیجه‌گیری

در مجموع، در این مطالعه مصرف انرژی‌های ورودی، به ویژه نهاده آب و بذر، در گیاه ذرت نسبت به سورگوم بالاتر و به تبع آن، بهره‌وری انرژی کمتر بود. بنابراین، نتایج به روشنی حاکی از عملکرد بالاتر و مصرف انرژی ورودی

کمتر در گیاه سورگوم داشت که این موضوع به دلیل مصرف کمتر آب در کشت سورگوم، ۲۷٪ کاهش مصرف آب، می‌باشد. بیشترین نسبت انرژی (۲۳٪)، بهره‌وری انرژی (۰/۳۸ کیلوگرم بر مگاژول) و بهره‌وری آب (۶/۴ کیلوگرم بر متر مکعب) در بین رقم‌های مورد مطالعه به رقم پگاه سورگوم اختصاص یافت. کل هزینه‌های ثابت کشت سورگوم در سال-های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۴/۵ و پنج درصد کمتر از ذرت بود. در نتیجه، از نظر اقتصادی کشت سورگوم، به ویژه رقم پگاه، به جهت تولید علوفه بیشتر و مصرف آب کمتر، نسبت به ذرت در منطقه دارای مزیت می‌باشد. با وجود شباهت‌های فراوانی که از نظر اکولوژیکی و تغذیه‌ای بین دو گیاه ذرت و سورگوم وجود دارد و با توجه به مزایایی فراوانی که سورگوم از نظر بهره‌وری آب و انرژی دارا می‌باشد، می‌تواند نقش مهمی در ایجاد اشتغال و مقابله با مشکل محدودیت منابع آبی در منطقه داشته باشد. گرایش کشاورزان به کشت سورگوم می‌تواند با ایجاد مشوق‌های دولتی منجر به ترویج کاشت توسط کشاورزان و مصرف آن توسط دامداران شود که صرفه‌جویی در منابع آبی، کاهش مصرف نهاده‌ها، افزایش بهره‌وری آب و انرژی و در نهایت، کاهش آلودگی محیط زیست را به دنبال دارد.

منابع

Acaroğlu, M. and A.S. Aksoy. 2005. The cultivation and energy balance of Miscanthus×giganteus production in Turkey. Biomass and bioenergy, 29 (1): 42-48.

Allen, R.G., L.S. PereiraRaes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome. 300 (9): 105-109.

Dalla Marta, A., M. Mancini, F. Orlando, F. Natali, L. Gapecchi, and S. Orlandini. 2014. Sweet sorghum for bioethanol production: crop responses to different water stress levels. Biomass bioenergy, 64: 211-219.

Dirwai, T.L., A. Senzanje, and T. Mabhaudhi. 2021. Calibration and evaluation of the FAO AquaCrop model for Canola (*Brassica napus*) under varied moistube irrigation regimes. Agriculture, 11(5): 410-415.

Fereres, E. and M.A. Soriano. 2007. Deficit irrigation for reducing

Environmental Science and Technology, 10: 1-11.

Jordan, R.A., A.C.S. Almeida, M.V.B.M. Queiroz, E.P. Gomes, and R.K.S. Rezende. 2017. Energy balance of irrigated and painfed sorghum production. Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering, 37(5): 907-917.

Kitani, O. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Volume V Energy and Biomass Engineering. Chapter 1 Natural Energy and Biomass. Part 1.3 Biomass Resources.

Manafi Dastjerdi, M. and A. Lari. 2017. Evaluation and comparison of energy indicators in wheat fields in the cities of Alborz province. Biosystem Engineering of Iran, 47 (4): 771-779.

Moghimi, M.R., B.M. Alasti, and M.A.H. Drafshi. 2013. Energy input-output and study on energy use efficiency for wheat production using DEA technique. International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS), 5(18): 2064-2070.

Mousavi-Avval, S.H., S. Rafiee, A. Jafari, and A. Mohammadi. 2011. Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach. Energy, 36 (5): 2765-2772.

Mustafa, M.A., T. Mabhaudhi, M.V. Avvari, and F. Massawe. 2021. Transition toward sustainable food systems: A holistic pathway toward sustainable development. In Food agricultural water use. Journal of experimental botany, 58(2): 147-159.

Franzluebbers, A.J. and C.A. Francis. 1995. Energy output: input ratio of maize and sorghum management systems in eastern Nebraska. Agriculture, ecosystems & environment, 53 (3): 271-278.

Ghasemi-Mobtaker, H., F. Mostashari-Rad, Z. Saber, K.W. Chau, and A. Nabavi-Pelesaraei. 2020. Application of photovoltaic system to modify energy use, environmental damages and cumulative exergy demand of two irrigation systems-A case study: Barley production of Iran. Renewable Energy, 160: 1316-1334.

Gallego, A., A. Hospido, M.T. Moreira, and G. Feijoo. 2011. Environmental assessment of dehydrated alfalfa production in Spain. Resources. conservation and recycling, 55 (11): 1005-1012.

Hamedani, S.R., Z. Shabani, and S. Rafiee. 2011. Energy inputs and crop yield relationship in potato production in Hamadan province of Iran. Energy, 36 (5): 2367-2371.

Hatirli, S.A., B. Ozkan, and C. Fert. 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. Renewable Energy, 31 (4): 427-438.

Javadi, H. and S.M.J. Esfahani. 2023. Energy Flow and Greenhouse Gases Emission of Crop Production Systems in South Khorasan Province. Journal of

disaster mitigation strategy. Natural Hazards, 105: 2735-2754.

Ozkan, B., H. Akcaoz, and C. Fert. 2004. Energy input–output analysis in Turkish agriculture. Renewable energy, 29 (1): 39-51.

Xu, J., Y. Zhou, Z. Xu, Z. Chen, and L. Duan. 2020. Combining physiological and metabolomic analysis to unravel the regulations of coronatine alleviating water stress in tobacco (*Nicotiana tabacum* L). Biomolecules, 10(1): 99-108.

Zhao, W., L. Liu, Q. Shen, J. Yang, X. Han, F. Tian, and J. Wu. 2020. Effects of water stress on photosynthesis, yield, and water use efficiency in winter wheat. Water, 12 (8): 21-27.

security and nutrition, pp. 33-56. Academic Press.

Nabavi-Pelesaraei, A., H. Hosseinzadeh-Bandbafha, P. Qasemi-Kordkheili, H. Kouchaki-Penchah, and F. Riahi-Dorcheh. 2016. Applying optimization techniques to improve of energy efficiency and GHG (greenhouse gas) emissions of wheat production. Energy, 103: 672-678.

Lesk, C., P. Rowhani, and N. Ramankutty. 2016. Influence of extreme weather disasters on global crop production. Nature, 529 (7584): 84-87.

Orimoloye, I.R., J.A. Belle, E.T. Olusola, Busayo, and O.O. Ololade. 2021. Spatial assessment of drought disasters, vulnerability, severity and water shortages: a potential drought

Analysis of water efficiency, energy and economics of corn and sorghum fodder production under different irrigation conditions

M. Torabi[1*], M. Heidarisoltanabadi[2], R, Daneshvar Rad[3], H. Heidari Sharifabad[4], R. Azizinejad[5], H. Salemi[6]

1. Research Associate Professor of Crop and Horticultural Science Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Isfahan, Iran.
2. Research Associate Professor of Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.
3. Ph.D Student, Department of Horticultural Science and Agronomy, Faculty of Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4. Professor of Department of Horticultural Science and Agronomy, Faculty of Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
5. Assistant Professor of department of Biotechnology and Plant breeding, Faculty of Agriculture, Water and Functional foods, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
6. Research Assistant Professor of Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.

Abstract

Sustainability in agricultural sector is very important and there is a growing demand for information on economic, energy and environmental dimensions in agricultural systems. Therefore, the aim of this study was to compare the water productivity, energy and production costs of corn and sorghum fodder and to compare the economic cultivation of two plants in the arid region of northwestern Isfahan. This experiment was conducted separately for each plant in the form of split plots in a randomized complete block design in three replications in Shahin Shahr, Isfahan during the years 2016 and 2017. The main plots included three levels of full irrigation, 80% and 60% full irrigation, and subplots included two varieties of sorghum, Speedfed and Pegah, and corn 704 and Maxima. The results showed that the highest input energy consumed in the production of both plants with an average of 14130 $Mj.ha^{-1}$ is related to nitrogen fertilizer. Among the investigated cultivars, the Pegah variety had the highest energy ratio (23%), fodder energy efficiency (0.38 $kg.MJ^{-1}$) and fodder water efficiency (6.4 $kg.m^{-3}$). The results also indicated an increase in the fixed and variable costs of corn production compared to sorghum. In general, compared to corn, sorghum production in the region requires less water and energy, lower production cost along with more fodder production and less environmental damage, and Pegah variety is introduced as a more suitable variety for fodder production in the region.

Keywords: Economic evaluation, Energy intensity, Energy ratio, Fodder yield, Pegah variety

* Corresponding author (masoud.agro.ir@gmail.com)