اثر رقم و تراکم بذر جو بر بهره‌وری انرژی و مصرف آب در تولید علوفه سبز جو در شرایط آبکشت

صادق افضلی نیا[1*] و عبدالحمید کریمی[2]

۱. بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران (sja925@mail.usask.ca).

۲. بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران (ab_karimi2003@yahoo.com).

چکیده

شاخص‌های انرژی و بهره‌وری آب در تولید علوفه سبز جو در شرایط آبکشت تحت تأثیر ارقام و تراکم‌های مختلف بذر جو، بررسی شد. این تحقیق در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی با دو فاکتور، ۱۲ تیمار و ۱۲ تکرار انجام شد. چهار رقم جو محلی شامل ریحان، بهرخ، EC و فصیح به‌عنوان فاکتور اصلی و سه تراکم بذر شامل ۶۰۰، ۷۰۰ و ۸۰۰ گرم در هر سینی به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که ارقام جو و تراکم بذر بر ماده خشک تولیدی و بهره‌وری مصرف آب اثر معنی‌دار داشتند. نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی فقط تحت تأثیر معنی‌دار ارقام جو قرار گرفتند و هیچ کدام از فاکتورهای بررسی شده، تحت تأثیر اثر متقابل ارقام جو و تراکم بذر قرار نگرفتند. رقم بهرخ بیشترین مقدار ماده خشک تولیدی، بهره‌وری مصرف آب، راندمان انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی را به خود اختصاص داد، هرچند اختلاف این رقم با ارقام فصیح وEC معنی‌دار نبود. در بین تراکم‌های مختلف بذر، تراکم بذر ۸۰۰ گرم در سینی بیشترین مقدار ماده خشک تولیدی، بهره‌وری مصرف آب، راندمان انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی را داشت. بنابراین برای اقلیم نیمه‌خشک ایران، رقم بهرخ با تراکم بذر ۸۰۰ گرم در سینی برای تولید علوفه سبز جو در شرایط آبکشت توصیه می شود.

کلمات کلیدی: *آبکشت، بهره‌وری انرژی، تراکم بذر، علوفه جو*

*نویسنده مسئول: sja925@mail.usask.ca

اثر رقم و تراکم بذر جو بر بهره‌وری انرژی و مصرف آب در تولید علوفه سبز جو در شرایط آبکشت

مقدمه

با توجه به محدودیت منابع آب‌وخاک برای تولید علوفه و پیشرفت‌های نوین در تولید محصولات زراعی، استفاده از روش‌های جدید تولید علوفه می‌تواند راهکاری مناسب برای کاهش محدودیت‌های تولید علوفه باشد. کشت هیدروپونیک از روش‌هایی است که با استفاده از تکنیک‌های نوین کشت، محدودیت منابع آب‌وخاک را در تولید محصولات به میزان چشمگیر کاهش می‌دهد. سامانهٔ هیدروپونیک، روشی است پایدار در کاشت برخی محصولات که در آن آب و کود کمتری مصرف می‌شود، نیاز به فضای کمتری دارد و تولید در واحد سطح را افزایش می‌دهد، بنابراین، به دلیل مصرف مواد شیمیایی کمتر، خطرهای زیست‌محیطی کمتری نیز به دنبال دارد [۳].

سامانهٔ تولید محصولات در کشاورزی پایدار باید به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی شود تا علاوه بر منافع اقتصادی، ازنظر انرژی نیز دارای موازنه باشد. تراز انرژی در کشاورزی از تجزیه‌وتحلیل و مقایسهٔ مقدار انرژی‌های نهاده و ستانده به‌دست می‌آید. مقایسهٔ سه رقم جو (محلی، ACSAD176 و Rum) از نظر عملکرد علوفهٔ هیدروپونیک و کارآیی مصرف آب در اُردن نشان داد که رقم محلی نسبت به دو رقم دیگر عملکرد علوفه بالاتری دارد [۲]. این محققان همچنین گزارش کردند که در رقم جو محلی ۱/۴۸ مترمکعب آب به ازای هر تن علوفه مصرف شده است، در حالی که در دو رقم دیگر (ACSAD176 و Rum) مصرف آب به‌ترتیب ۱/۷۶ و ۱/۸۷ متر مکعب به ازای هر تن علوفه بوده است. مقایسهٔ عملکرد و کارآیی مصرف آب علوفهٔ هیدروپونیک محصولات مختلف (جو، گندم، ذرت، ارزن و یولاف) نشان داد که ذرت بیشترین عملکرد و ارزن بیشترین کارآیی مصرف آب را دارد [۱۱]. مقایسهٔ علوفهٔ هیدروپونیک جو، یونجه، لوبیای چشم بلبلی، گندم و سورگوم از نظر عملکرد و کارآیی مصرف آب نشان داد که جو و لوبیای چشم بلبلی بیشترین عملکرد ماده خشک و جو بیشترین کارآیی مصرف آب را دارد [۱]. مقایسهٔ عملکرد جو، یولاف، تریتیکاله و گندم در شرایط هیدروپونیک نشان داد که جو و یولاف بیشترین عملکرد علوفهٔ تر را دارند [۱۸].

مقایسهٔ مقدار تولید کاهو به روش هیدروپونیک و مرسوم در آمریکا نشان داد که در روش هدروپونیک، مقدار تولید در واحد سطح ۱۱ برابر و مقدار مصرف انرژی ۸۲ برابر مقدار آن در روش مرسوم و مصرف آب در این سامانه فقط ۸ درصد مقدار مصرف آب در روش مرسوم است [۴]. بر اساس نتایج تحقیقی در آمریکا، برای تولید یک کیلوگرم گوجه فرنگی در شرایط هیدروپونیک ۱/۱ مترمکعب آب (کارآیی مصرف آب ۰/۹۱ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب آب) و برای تولید همین مقدار از آن در شرایط مزرعه، ۶/۴ مترمکعب آب (کارآیی مصرف آب ۰/۱۶ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب آب) مورد نیاز است [۸].

مقایسهٔ انرژی ورودی، انرژی خروجی و بهره‌وری انرژی در تولید ذرت ارگانیک و معمولی در یونان نشان داد که انرژی ورودی (مصرفی) ذرت ارگانیک در مقایسه با ذرت معمولی کمتر و انرژی خروجی و بهره‌وری آن بیشتر است [۵]. شاخص‌های راندمان انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و افزودهٔ خالص انرژی برای تولید ذرت علوفه‌ای در تهران به ترتیب ۲/۲۷، ۰/۲۸ کیلوگرم بر مگاژول، ۳/۷۶ مگاژول بر کیلوگرم و ۷۹۴۵۲ مگاژول بر هکتار به‌دست آمده است [۱۳]. در

ایالت ویسکانسین آمریکا، انرژی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم ذرت دانه‌ای، ۱/۷ مگاژول محاسبه شده و کود اوره بیشترین سهم انرژی مصرفی را داشته است [۱۰]. در استان اردبیل مصرف انرژی برای تولید گندم ۳۸/۳۶ گیگاژول بر هکتار

برآورد شده که کود با ۳۸/۴۵ درصد، بیشترین سهم را در انرژی مصرفی داشته است. در این استان، نسبت انرژی برای تولید گندم ۳/۱۳ و بهره‌وری انرژی ۰/۱۶ کیلوگرم بر مگاژول برآورد شده است [۱۵]. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد عملکرد خیار، فلفل، توت‌فرنگی و گوجه فرنگی در گلخانه در اسپانیا، هلند و فلوریدا می‌تواند تا ده برابر عملکرد آن‌ها در مزرعه افزایش یابد؛ در فلوریدا، کارآیی مصرف آب این محصولات درکشت مزرعه‌ای به‌ترتیب ۳، ۳/۳، ۳/۲ و ۴ کیلوگرم و درکشت گلخانه‌ای به‌ترتیب ۲۸-۷، ۱۴-۷، ۱۱ و ۲۰-۸ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب آب برآورد شده است [۱۷].

با توجه به شرایط اقلیمی استان فارس و به‌خصوص شهرستان نی‌ریز که خشک و نیمه‌خشک است و با در نظر گرفتن کاهش بارندگی‌ها در سال‌های اخیر، به‌نظر می‌رسد تولید علوفه جو به روش هیدروپونیک (آبکشت) راهکاری است که می‌تواند نگرانی‌های مرتبط با کمبود علوفه را در این مناطق به میزانی چشمگیر کاهش دهد. از طرف دیگر، رقم و تراکم بذر جو دو عامل مهمی هستند که می‌توانند بهره‌وری انرژی و کارایی مصرف آب در تولید علوفه هیدروپونیک جو را تحت تأثیر قرار دهند. بنابراین، در این تحقیق اثر رقم و تراکم بذر جو بر شاخص‌های انرژی و بهره‌وری مصرف آب در تولید علوفه هیدروپونیک جو بررسی شد.

مواد و روش‌ها

اثر رقم و تراکم بذر بر ماده خشک، بهره‌وری مصرف آب، نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی علوفه هیدروپونیک جو بررسی شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور (فاکتوریل)، ۱۲ تیمار و ۱۲ تکرار اجرا شد. چهار رقم جو محلی شامل ریحان، بهرخ، EC و فصیح به‌عنوان فاکتور اصلی و سه تراکم بذر شامل ۶۰۰، ۷۰۰ و ۸۰۰ گرم در هر سینی (۳/۳۳، ۳/۸۹ و ۴/۴۴ کیلوگرم بر مترمربع) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. تحقیق در سال ۱۳۹۵ در گلخانه هیدروپونیک شرکت نوبر نی‌ریز در شهرستان نی‌ریز استان فارس انجام شد. این گلخانه شامل کابینی با چهارچوب فلزی و ابعاد ۷ ×۱۰ متر بود. این کابین دارای هفت قفسه بود که در هر قفسه ۱۲۰ سینی جای می‌گرفت. این سینی‌ها از جنس پلی‌اتیلن و دارای ابعاد ۳۰ × ۶۰ سانتیمتر بودند که برای کاشت بذر مورداستفاده قرار گرفتند. دمای داخل کابین با استفاده از سیستم گرمایشی-سرمایشی در دمای ۱۸-۲۰ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه‌داشته می‌شد. برای کنترل قارچ، بذر در محلول ۲ درصد هیپوکلرایت به مدت ۲۰ دقیقه خیسانده شد. بذرها سپس شسته شده و قبل از کاشت به مدت هشت ساعت در آب معمولی نگه‌داشته شدند. بذرها در سینی‌های پلی‌اتیلن کاشته شدند و هر دو ساعت به مدت دو دقیقه با استفاده از سیستم مه پاش آبیاری شدند. بعد از ۱۰ روز علوفه سبز به همراه ریشه‌های بذر برداشت شدند و عملکرد علوفه‌تر و خشک اندازه‌گیری شدند.

برای محاسبهٔ شاخص‌های انرژی، مجموع انرژی نهاده‌ها و مجموع انرژی ستاده‌های هر تیمار محاسبه شد و با استفاده از معادلات موجود، شاخص‌های انرژی تعیین شدند. برای محاسبهٔ انرژی‌های ورودی به سیستم، انرژی مربوط به بذرها، علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی نیتروژنی و فسفاته بر حسب کیلوگرم، از حاصل‌ضرب هم‌ارز انرژی آن نهاده‌ها (جدول ۱) در میزان استفاده از آن‌ها به‌دست آمد [۱۲، ۱۶]. مقدار سوخت مصرفی در هر تیمار در هم‌ارز انرژی سوخت ضرب و میزان انرژی سوخت مصرفی محاسبه شد. در سامانهٔ هیدروپونیک، منبع تأمین انرژی برق بود که میزان آن با کنتور

اندازه‌گیری شد. انرژی مربوط به ساخت تأسیسات و ماشین‌ها با واحد مگاژول بر هکتار بر اساس عمر اقتصادی ماشین یا تأسیسات، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، جرم ماشین یا تأسیسات و هم‌ارز انرژی و با استفاده از معادلهٔ زیر به‌دست آمد [۱۲]:

$$ME = \frac{M.E}{T.C_a} \quad (۱)$$

که در آن: ME انرژی مربوط به ساخت ماشین (MJ/ha)، T عمر اقتصادی ماشین (hr)، C_a ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ماشین (ha/hr)، M جرم ماشین (kg)، و E هم‌ارز انرژی (MJ/kg) است. آب مصرفی با استفاده کنتور حجمی اندازه‌گیری و انرژی مصرفی برای استحصال آب آبیاری در تیمارهای مختلف هم به‌صورت مستقیم و هم به‌صورت غیرمستقیم محاسبه شد. انرژی مستقیم، انرژی لازم برای بالا آوردن و تحت‌فشار قرار دادن آب مورد نیاز در هر هکتار است که از رابطهٔ زیر محاسبه شد [۹]:

$$DE = \frac{Q \times \rho \times g \times h}{\eta_1 \eta_2} \quad (۲)$$

که در آن: DE انرژی مستقیم استحصال آب (J/ha)، ρ چگالی آب (kg/m^3)، g شتاب جاذبه (m/s^2)، Q حجم آب مصرف شده برای تولید محصول در یک‌فصل زراعی (m^3/ha)، h هد دینامیکی چاه (m)، η_1 راندمان پمپ (٪)، و η_2 بازده کل تبدیل انرژی و توان (٪) است که برای پمپ دیزلی۲۵تا۳۰ درصد و برای پمپ برقی ۱۸تا۲۲ درصد در نظر گرفته می‌شود. انرژی غیرمستقیم شامل مواد خام، ساخت و انتقال کلیهٔ عواملی است که در آبیاری دخالت دارند؛ انرژی مصرف شده در این قسمت با توجه به طول عمر تأسیسات تعیین می‌شود. با توجه به اینکه محاسبه و تعیین انرژی غیرمستقیم مشکل است، درصدی (۲۰ درصد) از انرژی مستقیم به‌عنوان انرژی غیرمستقیم در نظر گرفته شد [۹].

انرژی کارگر مورد نیاز در تمام مراحل کشاورزی شامل آبیاری، وجین، هدایت تراکتور، برداشت، سمپاشی و مدیریت مزرعه در نظر گرفته شد. کل انرژی کارگر با در نظر گرفتن تعداد کارگر و انرژی مصرفی هر کارگر در یک روز تعیین گردید. به‌منظور محاسبهٔ انرژی خروجی، مقدار علوفه خشک تولیدشده در هم‌ارز انرژی ضرب شد. شاخص‌های نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدشده در واحد سطح و بهره‌وری انرژی با استفاده از رابطه‌های ۳ تا ۵ محاسبه شدند:

$$ER = \frac{OE}{IE} \quad (۳)$$

$$NEG = OE - IE \quad (۴)$$

$$EP = \frac{Y}{IE} \quad (۵)$$

که در این رابطه‌ها: ER نسبت انرژی، NEG انرژی خالص تولیدشده (MJ/ha)، EP بهره‌وری انرژی (kg/MJ)، IE انرژی ورودی (MJ/ha)، OE انرژی خروجی علوفهٔ سبز یا دانه و کاه (MJ/ha)، و Y عملکرد محصول (kg/ha) است. در این پژوهش، علاوه بر محاسبه شاخص‌های انرژی به‌عنوان معیار مقایسهٔ تیمارها، در هر تیمار سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی از کل انرژی مصرف شده نیز مشخص شد.

به‌منظور بررسی بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای مختلف، با داشتن حجم آب مصرفی و عملکرد محصول، با استفاده از رابطهٔ ۶، بهره‌وری مصرف آب در هر تیمار محاسبه شد:

$$WP = \frac{Y}{W} \quad (۶)$$

که در آن: WP بهره‌وری مصرف آب (kg/m^3)، Y عملکرد محصول (kg/ha)، و W مقدار آب مصرفی (m^3/ha) است. داده‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از نرم‌افزار تجزیه‌وتحلیل شد و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر رقم و تراکم بذر جو بر عملکرد ماده خشک علوفه هیدروپونیک جو نشان داد که هر دو عامل اثر معنی‌داری بر عملکرد ماده خشک علوفه هیدروپونیک جو داشتند (در سطح یک درصد)، در حالی که عملکرد ماده خشک تحت تأثیر معنی‌دار اثر متقابل رقم و تراکم بذر جو قرار نگرفت (جدول ۱). اثر معنی‌دار رقم بذر جو بر عملکرد ماده خشک علوفه هیدروپونیک جو توسط محققین دیگر نیز گزارش‌شده است [۲، ۷]. اثر معنی‌دار تراکم بذر بر عملکرد ماده خشک علوفه هیدروپونیک جو نیز توسط المرسی و همکاران [۶] گزارش شده است. همچنین رقم جو و تراکم بذر اثر معنی‌داری (در سطح یک درصد) بر بهره‌وری مصرف آب در تولید علوفه هیدروپونیک جو داشتند (جدول ۱). با توجه به اثر معنی‌دار رقم و تراکم بذر بر عملکرد ماده خشک علوفه هیدروپونیک جو، اثر معنی‌دار این عوامل بر بهره‌وری مصرف آب دور از انتظار نبود. اثر معنی‌دار رقم و تراکم بذر جو بر بهره‌وری مصرف آب در تحقیقات گذشته نیز گزارش شده است [۲، ۷].

جدول ۱- تجزیه واریانس عملکرد ماده خشک و بهره‌وری مصرف آب

منابع تغییر	مقدار F	
	عملکرد ماده خشک	بهره‌وری مصرف آب
رقم	۶۴/۶**	۸۲/۷**
تراکم بذر	۲۰/۲**	۲۵/۲**
رقم × تراکم بذر	۰/۹^{ns}	۱/۲^{ns}

**، * و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ و نبود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها هست.

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که رقم بهرخ بیشترین عملکرد ماده خشک را داشت (۴۳۰۹۶ کیلوگرم بر هکتار) و کمترین عملکرد ماده خشک (۲۳۹۶۵ کیلوگرم بر هکتار) مربوط به رقم ریحان بود (جدول ۲). تفاوت بین رقم بهرخ و ریحان از نظر آماری معنی‌دار بود ولی بین ماده خشک تولیدشده توسط بهرخ، فصیح و تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. این نتایج نشان داد که ریحان رقم مناسبی برای استفاده در سیستم هیدروپونیک برای تولید علوفه جو نیست. الکراکی و

الممانی [۲] گزارش نمودند که در اردن رقم جو محلی در مقایسه با ارقام ACSAD176 و Rum ماده خشک بیشتری تولید نمود. همچنین نتایج نشان داد که رقم ریحان که عملکرد ماده خشک کمی داشت، حداقل بهره‌وری مصرف آب را به خود اختصاص داد (۳۴/۶۲ کیلوگرم بر متر مکعب) و تفاوت معنی‌داری با دیگر ارقام داشت (جدول ۲). رقم بهرخ بیشترین بهره‌وری مصرف آب را در میان ارقام داشت (۶۳/۱۶ کیلوگرم بر متر مکعب)، هرچند تفاوت بین این رقم و ارقام فصیح وEC معنی‌دار نبود. الکراکی و الممانی [۲] حداکثر بهره‌وری مصرف آب (۸۱ کیلوگرم بر متر مکعب) را در شرایط هیدروپونیک برای یک رقم جو محلی در اردن گزارش کرده‌اند.

جدول ۲- میانگین ماده خشک تولیدی و بهره‌وری مصرف آب در ارقام مختلف جو

رقم جو	عملکرد ماده خشک (کیلوگرم بر هکتار)	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
بهرخ	۴۳۰۹۶a	۶۳/۱۶ a
EC	۴۲۵۱۶a	۶۲/۱۹ a
فصیح	۴۲۲۲۶a	۶۲/۱۰ a
ریحان	۲۳۹۶۵b	۳۴/۶۲ b

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین اعداد آن ستون هست.

تراکم‌های مختلف بذر نیز عملکرد ماده خشک متفاوتی داشتند به‌طوری‌که بیشترین عملکرد ماده خشک (۴۲۳۶۷ کیلوگرم بر هکتار) از تراکم بذر ۸۰۰ گرم بر سینی به دست آمد و کمترین مقدار عملکرد ماده خشک (۳۳۳۳۸کیلوگرم بر هکتار)مربوط به تراکم ۶۰۰ گرم بر سینی بود (جدول ۳). المرسی [۶] نیز بیان داشت که تراکم بذر اثر معنی‌داری بر مقدار تولید علوفه‌تر و خشک در شرایط هیدروپونیک دارد به‌طوری‌که با افزایش تراکم بذر، عملکرد علوفه نیز افزایش می یابد. همچنین، بهره‌وری مصرف آب با افزایش تراکم بذر افزایش یافت، به‌طوری‌که تراکم ۶۰۰ گرم بر سینی کمترین بهره‌وری مصرف آب (۴۸/۷۶ کیلوگرم بر متر مکعب) را داشت و بیشترین بهره‌وری مصرف آب (۶۲/۰۹ کیلوگرم بر متر مکعب) مربوط به تراکم بذر ۸۰۰ گرم بر سینی بود (جدول ۳). ازآنجایی‌که بهره‌وری مصرف آب در تولید علوفه مزرعه‌ای در ایران کمتر از یک کیلوگرم بر متر مکعب است، تولید بیش از ۶۳ کیلوگرم علوفه خشک جو با مصرف فقط یک متر مکعب آب در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک ایران مزیت مهمی برای سیستم کشت هیدروپونیک محسوب می شود.

جدول ۳- میانگین ماده خشک تولیدی و بهره‌وری مصرف آب در تراکم‌های مختلف بذر

تراکم بذر (گرم بر سینی)	عملکرد ماده خشک (کیلوگرم بر هکتار در سال)	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
۶۰۰	۳۳۳۳۸ c	۴۸/۷۶ c
۷۰۰	۳۸۱۴۷ b	۵۵/۷۰ b
۸۰۰	۴۲۳۶۷ a	۶۲/۰۹ a

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین اعداد آن ستون هست.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رقم بذر جو اثر معنی‌داری (در سطح یک درصد) بر نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی داشت، اما هیچ‌کدام از این فاکتورها تحت تأثیر معنی‌دار تراکم بذر قرار نگرفت (جدول ۴). همچنین اثر متقابل رقم و تراکم بذر بر نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی معنی‌دار نبود.

جدول ۴- تجزیه واریانس نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی

منابع تغییر	نسبت انرژی	انرژی خالص تولیدی	بهره‌وری انرژی
رقم	۷۴/۰۶**	۷۰/۶۱**	۷۴/۰۹**
تراکم بذر	۰/۱۳ ns	۰/۷۴ ns	۰/۱۴ ns
رقم × تراکم بذر	۱/۲۱ ns	۰/۹۸ ns	۱/۲۱ ns

** و ns به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ و نبود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها هست.

مقایسه میانگین ارقام مختلف بذر نشان داد که رقم بهرخ بیشترین نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی را به خود اختصاص داد و رقم ریحان کمترین مقدار نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی را داشت (جدول ۵). میانگین نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی در رقم‌های بهرخ، فصیح و EC باهم تفاوت معنی‌دار نداشتند اما میانگین این شاخص‌ها در ارقام فوق با میانگین آن‌ها در رقم ریحان اختلاف معنی‌دار داشتند. همچنین نسبت انرژی در تمام ارقام بررسی شده کمتر از یک بود که نشان می‌دهد انرژی مصرفی در فرایند تولید علوفه هیدروپونیک جو در تمام ارقام بیشتر از انرژی تولیدی بوده است. به همین دلیل انرژی خالص تولیدی در تمام ارقام منفی گزارش شده است که نشان‌دهنده تراز منفی انرژی در تولید علوفه هیدروپونیک جو می‌باشد.

جدول ۵- میانگین نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی در ارقام مختلف جو

رقم جو	نسبت انرژی	انرژی خالص تولیدی (مگاژول بر هکتار)	بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)
بهرخ	۰/۸۹a	-۹۴۵۴۷a	۰/۰۵۱a
EC	۰/۸۸a	-۱۰۶۶۴۴a	۰/۰۵۰a
فصیح	۰/۸۷a	-۱۰۹۶۹۳a	۰/۰۵۰a
ریحان	۰/۴۹b	-۴۲۷۸۰۲b	۰/۰۲۸b

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین اعداد آن ستون هست.

نسبت انرژی با افزایش تراکم بذر افزایش یافت به‌طوری‌که تراکم بذر ۶۰۰ گرم بر سینی کمترین نسبت انرژی (۰/۷۷) و تراکم بذر ۸۰۰ گرم بر سینی بیشترین نسبت انرژی (۰/۷۹) را داشت، هرچند اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها نبود (جدول ۶). نسبت انرژی در تمام تراکم‌های بررسی شده نیز کمتر از یک بود که نشان‌دهنده منفی بودن تراز انرژی در تولید علوفه هیدروپونیک جو با استفاده از تراکم‌های بررسی شده، می‌باشد. انرژی خالص تولیدی در تمام تراکم‌های بذر منفی بود یعنی

در فرایند تولید علوفه جو هیدروپونیک نه تنها انرژی به دست نمی‌آید بلکه مقداری انرژی نیز از دست می‌رود که هرچه تراکم بذر بیشتر باشد، مقدار انرژی ازدست‌رفته نیز بیشتر می شود. تراکم بذر همچنین اثر معنی‌داری بر بهره‌وری انرژی نداشت هرچند تراکم بذر ۸۰۰ گرم بر سینی بیشترین بهره‌وری انرژی (۰/۰۴۵ کیلوگرم بر مگاژول) را داشت و کمترین بهره‌وری انرژی (۰/۰۴۴ کیلوگرم بر مگاژول) مربوط به تراکم بذر ۶۰۰ گرم بر سینی بود (جدول ۶). به‌طورکلی بهره‌وری انرژی در تولید علوفه هیدروپونیک جو بسیار پایین بود که با افزایش راندمان انرژی نهاده‌های ورودی مثل الکتریسیته و بذر و همچنین افزایش عملکرد علوفه با مدیریت صحیح نور و دما، می‌توان بهره‌وری انرژی در این سامانه را بهبود بخشید.

جدول ۶- میانگین نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی در تراکم‌های مختلف بذر

تراکم بذر (گرم بر سینی)	نسبت انرژی	انرژی خالص تولیدی (مگاژول بر هکتار)	بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)
۶۰۰	۰/۷۷a	-۱۷۱۷۷۳a	۰/۰۴۴a
۷۰۰	۰/۷۹a	-۱۸۰۷۴۹a	۰/۰۴۵a
۸۰۰	۰/۷۹a	-۱۹۹۹۹۱a	۰/۰۴۵a

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین اعداد آن ستون هست.

نتایج این تحقیق نشان داد که از نظر شاخص‌های بررسی شده، بین ارقام بهرخ، فصیح و EC تفاوت معنی‌داری وجود ندارد بنابراین همه این ارقام در فرایند تولید علوفه هیدروپونیک جو قابل‌استفاده هستند، هرچند رقم بهرخ به دلیل عملکرد بهتر در اولویت قرار دارد. هرچند از نظر شاخص‌های انرژی بین تراکم بذر ۷۰۰ گرم بر سینی و ۸۰۰ گرم بر سینی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما تراکم بذر ۸۰۰ گرم بر سینی به دلیل عملکرد علوفه و بهره‌وری مصرف آب بالاتر، مناسب‌تر است. بنابراین، برای تولید علوفه هیدرپونیک جو در شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک ایران استفاده از هر یک از ارقام بهرخ، فصیح و EC با تراکم بذر ۸۰۰ گرم بر سینی توصیه می گردد. بر این اساس، انرژی مصرف شده در هر یک از نهاده ها و سهم آن از انرژی مصرفی کل، سهم انرژی مستقیم، انرژی غیر مستقیم، انرژی تجدید پذیر و انرژی تجدیدناپذیر در فرایند تولید علوفه هیدروپونیک جو با استفاده از رقم بهرخ با تراکم بذر ۸۰۰ گرم بر سینی در جدول ۷ ارائه گردید. بر اساس این نتایج، ۷۹/۱ درصد از کل انرژی مصرفی سهم بذر جو بود و الکتریسیته با ۱۲/۶۹ درصد در مکان دوم قرار داشت، بنابراین بیش از ۹۰ درصد از انرژی مصرفی در فرایند تولید علوفه هیدروپونیک جو سهم بذر و الکتریسیته می‌باشد. لذا برای کاهش سهم بذر از انرژی مصرفی، باید تحقیقات روی ارقامی متمرکز شود که با تراکم بذر پایین قادر به تولید علوفه سبز بالا باشند. از طرف دیگر، مصرف انرژی الکتریسیته با افزایش راندمان حرارتی و نوری سیستم قابل کاهش می‌باشد. در میان نهاده ها، آب و مواد شیمیایی کمترین سهم را از انرژی مصرفی داشتند. همچنین سهم انرژی مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر از کل انرژی مصرفی در فرایند تولید علوفه هیدروپونیک جو به ترتیب ۱۵/۱۲، ۸۴/۸۸، ۸۱/۵۳ و ۱۸/۴۷ درصد می‌باشد.

جدول ۷- انرژی مصرف شده در هر یک از نهاده ها و سهم هر نهاده از انرژی مصرفی در رقم بهرخ با تراکم بذر ۸۰۰ گرم بر سینی

نهاده	انرژی مصرف شده (مگاژول بر هکتار)	سهم از انرژی مصرفی (٪)
بذر	۷۴۲۰۰۰	۷۹/۱۰
الکتریسیته	۱۱۹۰۶۱	۱۲/۶۹

مواد شیمیایی	۱۳۳۶	۰/۱۴
تأسیسات و ماشین ها	۵۲۸۳۷	۵/۶۳
آب (برای آبیاری و تمیزکاری)	۶۲۰۱	۰/۶۶
کارگر	۱۶۵۹۳	۱/۷۷
انرژی مستقیم	۱۴۱۸۵۵	۱۵/۱۲
انرژی غیرمستقیم	۷۹۶۱۷۳	۸۴/۸۸
انرژی تجدیدپذیر	۷۶۴۷۹۴	۸۱/۵۳
انرژی تجدیدناپذیر	۱۷۳۲۳۴	۱۸/۴۷
انرژی کل	۹۳۸۰۲۸	۱۰۰

نتیجه گیری

در این تحقیق اثر رقم و تراکم بذر جو بر شاخص‌های انرژی و بهره‌وری مصرف آب علوفه هیدروپونیک جو بررسی شد. عملکرد ماده خشک، بهره‌وری مصرف آب، نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی تحت تأثیر معنی‌دار رقم جو و تراکم بذر قرار گرفتند. جو رقم ریحان کمترین عملکرد ماده خشک، بهره‌وری مصرف آب، نسبت انرژی، انرژی خالص و بهره‌وری انرژی را داشت، بنابراین این رقم مناسب استفاده در سیستم هیدروپونیک نمی‌باشد. بین ارقام بهرخ، EC و فصیح از نظر شاخص‌های بررسی شده اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و ین ارقام می‌توانند به‌عنوان بذر در سیستم تولید علوفه هیدرپونیک جو مورد استفاده قرار گیرند، هرچند رقم بهرخ به دلیل عملکرد بهتر، ارجح است. عملکرد ماده خشک علوفه، بهره‌وری مصرف آب، نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی با افزایش تراکم بذر از ۶۰۰ گرم بر سینی به ۸۰۰ گرم بر سینی افزایش یافت، هر چند بین تراکم‌های مختلف بذر از نظر شاخص‌های انرژی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بنابراین تراکم بذر ۸۰۰ گرم بر سینی (۴/۴۴ کیلوگرم بر مترمربع) برای تولید علوفه هیدروپونیک جو توصیه می شود.

تشکر و قدردانی

اعتبار مورد نیاز برای اجرای این تحقیق به‌طور کامل از طریق شرکت نوبر نی‌ریز تأمین شده است، بنابراین نویسندگان مقاله از حمایت‌های بی‌دریغ مسئولان این شرکت صمیمانه قدردانی می کنند.

منابع

1. Al-Karaki, G. N. and Al-Hashimi, M. 2012. Green fodder production and water use efficiency of some forage crops under hydroponic conditions. ISRNAgronomy. 1-5.
2. Al-karaki, G. N. and Al-Momani, N. 2011. Evaluation of some barley cultivars for green fodder production and water use efficiency under hydroponic conditions. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*. 7, 448-457.
3. AlShrouf, A. 2017. Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*. 27(1), 247-255.

4. Barbosa, G. L., Gadelha, F. D. A., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G. M. and Halden, R. U. 2015. Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 12, 6879-6891.
5. Bilalis, D., Kamariari, P. E., Karkanis, A., Efthimladou, A., Zorpas, A. and Kakabouk, I. 2013. Energy inputs, output and productivity in organic and conventional maize and tomato production, under Mediterranean conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca Journal*. 41(1),190-194.
6. El-Morsy, A.T., Abul-Soud, M. and Emam, M.S.A. 2013. Localized hydroponic green forage technology as a climate change adaptation under Egyptian conditions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 9(6): 341-350.
7. Emam, M.S.A. 2016. The Sprout Production and Water use Efficiency of some Barley Cultivars under Intensive Hydroponic System. Middle East Journal of Agriculture Research, 5(2): 161-170.
8. Giacomelli, G., Sabeh, N., Costa, P. and Jensen, M. 2005. Controlled environment agriculture program: a sustainable option. *Controlled Environment Agriculture Center*, University of Arizona.
9. Kitani, O., Jungbluth, T., Peart, R. M. and Ramdani, A. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineers, Energy and Biomass Engineering, vol. 5, *ASAE Publication*, MI.
10. Kraatz, S. 2008. Energy inputs for corn production in Wisconsin and Germany. ASABE Annual International Meeting, June 29 – July 2, Rhode, Island.
11. Lamnganbi, M. and Surve, U. 2017. Biomass yield and water productivity of different hydroponic fodder crops. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 6(5), 1297-1300.
12. Ovtit-Canavate, J. and Hernanz, J. L. 1999. Energy analysis and saving. In CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Energy and Biomass Engineering. Vol. 5, ASAE Publication, MI.
13. Pishgar Komleh, S. H., Keyhani, A., Rafiee, Sh. and Sefeedpary, P. 2011. Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated area levels in Tehran province of Iran. *Energy*. 36, 3335-3341.
14. Safa, M. and Tabatabaeefar, A. 2002. Energy consumption in wheat production in irrigated and dryland farming. In Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, November 28-30, Wuxi, China.
15. Shahin, S., Jafari, A., Mobli, H., Rafiee, S. and Karimi, M. 2008. Effect of farm size on energy ratio for wheat production: A case study from Ardabil province of Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 3(4), 604-608.
16. Singh, S. and Mittal, J. P. 1992. Energy in Production Agriculture. Mittal Publications, New Delhi.

17. Smither_Kopperi, M. L. and Cantllif, D. J. 2004. Protected agriculture as a methyl bromide alternative? Current really and future promise. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 117, 21-27.
18. Soder, K. J., Heins, B. J., Chester-Jones, H., Hafla, A. N. and Rubano, M. D. 2018. Evaluation of fodder production systems for organic dairy farms. The Professional Animal Scientist. 34(1), 75-83.
19. Yarmohammadi, M. 2005. Metods of sampling and their applications (translation). Statistics Center of Iran, Tehran.

Barley Cultivars and Seed Rates Effects on Energy and Water Productivity of Green Fodder Production under Hydroponic Condition

Sadegh Afzalinia[1*] and Abdolhamid Karimi[2]

1. Department of Agricultural Engineering Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran.
2. Department of Animal Science Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran.

Abstract

Green fodder availability for livestock is decreasing because of climate change impacts on crops productivity and scarcity of land and water resources; therefore, green fodder production in controlled conditions could be an alternative to ensure sustainable green forage production per unit area in short time and high quality. In this study, energy indices and water productivity of barley green fodder production under different barley cultivars and seed rates were evaluated in hydroponic condition. The research was conducted in the form of a completely randomized experimental design with two factors, 12 treatments, and 12 replications. Four local barley cultivars including Raihan, Behrokh, EC, and Fasih were selected as main factors, and three seed rates including 600, 700, and 800 g/tray were considered as subplots. Results showed that barley cultivar and seed rate had significant effect on fodder dry matter, water productivity, energy ratio, and energy productivity. Net energy gain was only affected by barley cultivars, and none of measured parameters was affected by interaction between barley cultivars and seed rates. Behrokh cultivar had the highest fodder dry matter, water productivity, energy efficiency (energy ratio), net energy gain, and energy productivity; however, there was no significant difference between Behrokh, EC, and Fasih cultivars for abovementioned parameters. Among the seed rates, 800 g/tray provided the highest fodder dry matter, water productivity, energy efficiency (energy ratio), and energy productivity. Therefore, Behrokh barley cultivar with seed rate of 800 g/tray was recommended for barley green fodder production in hydroponic systems in semi-arid climate condition of Iran.

Key words: Hydroponic, energy productivity, seed rate, barley fodder

*Corresponding author
E-mail: sja925@mail.usask.ca