Archive of SID

تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۱/ شماره ۷۴/ بهار و تابستان ۱۳۹۹/ص ۱۳۴-۱۱۷

مقایسهٔ شاخص‌های انرژی و بهره‌وری مصرف آب در تولید علوفه به روش هیدروپونیک و معمولی

صادق افضلی‌نیا[1*]، عبدالحمید کریمی[2] و عبدالرسول شیروانیان[3]

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ استادیار بخش تحقیقات علوم دامی؛ و استادیار بخش تحقیقات اقتصادی-اجتماعی و ترویجی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۸/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۲/۲۳

چکیده

بروز خشکسالی در کشور، تأمین علوفهٔ مورد نیاز دامداری‌ها را با مشکل مواجه کرده است. در چنین شرایطی، تولید علوفهٔ هیدروپونیک راهکاری است که می‌تواند محدودیت منابع آب را در تولید علوفه کاهش دهد، هرچند پیش از به کارگیری گستردهٔ این روش، باید تمام جوانب آن بررسی شود. در این پژوهش، چهار تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو، ذرت علوفه‌ای، جو مزرعه‌ای آبی، و علوفه یونجه از نظر تولید مادهٔ خشک، بهره‌وری مصرف آب و شاخص‌های انرژی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ٤ تیمار و ۱۲ تکرار در شهرستان نی‌ریز با هم مقایسه شدند. نتایج تحقیق نشان داد که جو هیدروپونیک بیشترین مقدار مادهٔ خشک در واحد سطح (۱٦۰۵۰۵۲ کیلوگرم بر هکتار در سال) را تولید کرده است؛ کمترین مقدار مادهٔ خشک تولیدی (٦۲۳۵ کیلوگرم بر هکتار در سال) در کشت جو در مزرعه دیده شده است. علوفهٔ هیدروپونیک جو بیشترین بهره‌وری مصرف آب (٦۵/۳ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب آب) و یونجه کمترین مقدار (۰/٦٤ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب) را داشته است. مقایسهٔ تیمارها همچنین نشان داد که ذرت علوفه‌ای بیشترین نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی (۱/۸۸، ۱۲۵۸٤٤ مگاژول بر هکتار و ۰/۲۸۱ کیلوگرم بر مگاژول) را دارد و کمترین مقدار این شاخص‌ها (۰/٦۵، ۱۵۲۵۲٦٦۱- مگاژول بر هکتار و ۰/۰۳۷ کیلوگرم بر مگاژول) در تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو دیده شده است. بنابراین، استفاده از علوفهٔ هیدروپونیک جو راهکاری مناسب برای تأمین علوفهٔ دامداری‌ها در شرایط نیمه‌خشک است، به شرطی که با اصلاح این سامانهٔ تولید، انرژی مصرفی آن کاهش و بهره‌وری انرژی آن افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی

بهره‌وری انرژی، ذرت علوفه‌ای، شهرستان نی‌ریز، یونجه

مقدمه

یکی از مسائل اساسی در بخش کشاورزی کشور، محدودیت منابع آب و خاک است. در حال حاضر این محدودیت گلوگاه تولید محصولات زراعی از جمله تولید علوفه برای تغذیهٔ دام است. با توجه به این محدودیت و نیز پیشرفت‌های نوین در تولید محصولات زراعی، استفاده از روش‌های جدید تولید این محصولات می‌تواند راهکاری مناسب برای کاهش محدودیت‌ها و کم‌کردن تأثیر آنها بر فرآیند تولید علوفه باشد. از سوی دیگر، بخش قابل توجهی از جمعیت کشور به دامپروری اشتغال دارند و دامپروری به شیوهٔ زندگی آنها تبدیل شده است. بر این اساس، چنانچه بتوان مشکل تولید علوفه را با توجه به محدودیت‌های یادشده برطرف کرد، ضمن

*نگارنده مسئول: Email: sja925@mail.usask.ca

http://doi. 10.22092/erams.2019.124041.1290

www.SID.ir

Archive of SID

کمک به صنعت تولید گوشت کشور، یکی از عمده‌ترین و اساسی‌ترین دغدغه های واحدهای دامپروری نیز حل خواهد شد. کشت هیدروپونیک از روش‌هایی است که با استفاده از تکنیک‌های نوین کشت، محدودیت منابع آب و خاک 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 (AlShrouf, 2017). با توجه به جدید بودن این روش تولید علوفه، تحقیقات در مورد شاخص‌های انرژی و بهره‌وری مصرف آب آن نیز اندک است.

سامانهٔ تولید محصولات در کشاورزی پایدار باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود تا علاوه بر منافع اقتصادی، از نظر انرژی نیز دارای موازنه باشد. تراز انرژی در کشاورزی از تجزیه و تحلیل و مقایسهٔ مقدار انرژی‌های نهاده و ستانده به دست می‌آید (Nasirian *et al.*, 2006). 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 (Al-Karaki & Al-Momani, 2011). این محققان همچنین گزارش داده‌اند 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, Rum) مصرف آب به ترتیب ۱/۷۶ و ۱/۸۷ مترمکعب 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 (Lamnganbi & Surve, 2017). 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 (Al-Karaki & Al-Hashimi, 2012). مقایسهٔ عملکرد جو، یولاف، تریتیکاله و گندم در شرایط هیدروپونیک نشان داد که جو و یولاف بیشترین عملکرد علوفهٔ تر را دارند (Soder *et al.*, 2018). بررسی تولید علوفه در کشت بدون خاک (هیدروپونیک) در شرایط خشکسالی استان اصفهان نشان داد که تولید علوفهٔ سبز در این روش مزایایی دارد مانند: کاهش مصرف آب، استفاده از زمین‌های حاشیه‌ای، تولید پیوستهٔ علوفه در سال، کاهش زمان تولید، کاهش نیروی کار، کاهش هزینهٔ تولید، مناسب بودن ارزش غذایی، استفاده از علوفهٔ سبز برای تغذیهٔ تکمیلی، و تولید کاملاً طبیعی و سالم (Mollahosseini *et al.*, 2009). بررسی بازده تولید علوفهٔ هیدروپونیک از نظر تغذیهٔ دام نشان می‌دهد که تبدیل دانهٔ غلات به سبزینه باعث کاهش ارزش غذایی دانه می‌شود (Fazaeli *et al.*, 2013).

مقایسهٔ مقدار تولید کاهو به روش هیدروپونیک و مرسوم در آمریکا نشان داد که در روش هیدروپونیک، 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 (Barbosa *et al.*, 2015). بر اساس نتایج تحقیقی در آمریکا، برای تولید یک کیلوگرم گوجه فرنگی در شرایط هیدروپونیک ۱/۱ مترمکعب آب (کارآیی مصرف آب

www.SID.ir

Archive of SID

۰/۹۱ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب) و برای تولید همین مقدار از آن در شرایط مزرعه، ۶/۴ مترمکعب آب (کارآیی مصرف آب ۰/۱۶ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب) مورد نیاز است (Giacomelli *et al.*, 2005). ارزیابی مصرف انرژی در تولید خیار به دو روش کشت گلخانه‌ای خاکی و هیدروپونیک در استان آذربایجان غربی نشان داد که برای تولید هرکیلوگرم خیار در گلخانهٔ خاکی ۴۱ مگاژول و برای تولید آن در شرایط هیدروپونیک (آبکشت)، ۲۲ مگاژول انرژی لازم است (Pourtareverdi *et al.*, 2013).

بررسی انرژی مصرفی در تولید گندم آبی و دیم منطقهٔ ساوه نشان داد که نسبت انرژی در گندم آبی ۰/۶۷ تا ۱/۱۷ و در گندم دیم ۰/۹۹ است (Safa & Tabatabaeefar, 2002). این محققان بیشترین نهادهٔ مصرفی در گندم آبی را با آبیاری (۲۰/۹ گیگاژول بر هکتار) و در گندم دیم با کود شیمیایی (۵/۷ گیگاژول بر هکتار) مرتبط دانسته‌اند. بررسی انرژی مصرفی تولید نیشکر در کشت و صنعت خزائی خوزستان در سه سامانهٔ کاشت نشان داد که مصرف برق برای استحصال آب آبیاری بیشترین سهم را در انرژی ورودی به سامانه دارد (Nasirian *et al.*, 2006). نسبت انرژی در این تحقیق حدود ۵ تعیین شد که ۷۵ درصد از انرژی ورودی را نهاده‌های انرژی مستقیم و ۲۵ درصد را نهاده‌های غیرمستقیم تشکیل می‌دادند که به ترتیب سهم الکتریسیته در آبیاری، سوخت دیزل و کود نیتروژنی از همه بیشتر بود. بررسی نسبت انرژی گندم در مزارع تولید بذر در استان آذربایجان شرقی نشان داد که نسبت انرژی برای عملکرد بیولوژیکی (مجموع کاه و دانه) ۰/۷۸۸ و برای دانه و کاه به صورت مجزا به ترتیب ۰/۴۲۴ و ۰/۳۶۴ است (Valadiani *et al.*, 2005). این محققان می‌گویند بیشترین و کمترین مصرف انرژی به ترتیب مربوط به کود نیتروژنی به میزان ۲۹/۸۸ درصد و نیروی انسانی به میزان ۰/۳۹ درصد است.

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 (Bilalis *et al.*, 2013). 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 به دست آمده است (Pishgar-Komleh *et al.*, 2011). 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 (Kraatz, 2008). 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 (Shahin *et al.*, 2008). بررسی کارآیی مصرف آب در تولید سبزی و صیفی گلخانه‌ای کشور در استان‌های اصفهان، تهران، کرمان و یزد نشان داده است که میانگین کارآیی مصرف آب در تولید خیار، گوجه فرنگی، فلفل و توت فرنگی در گلخانه به ترتیب کمتر از ۱۰ کیلوگرم ، بین ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم ، بین ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم و بیش از ۳۰ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب است (Haidari *et al.*, 2007). نتایج تحقیقات نشان می دهد عملکرد خیار، فلفل، توت‌فرنگی و گوجه فرنگی در گلخانه در

www.SID.ir

Archive of SID

اسپانیا، هلند و فلوریدا می‌تواند تا ده برابر عملکرد آنها در مزرعه افزایش یابد؛ در فلوریدا، کارآیی مصرف آب این محصولات در کشت مزرعه‌ای به ترتیب ۳، ۳/۳، ۳/۲ و ۴ کیلوگرم و در کشت گلخانه‌ای به ترتیب ۲۸-۷، ۱۴-۷، ۱۱ و ۲۰-۸ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب برآورد شده است (Smither-Kopperi & Cantllif, 2004).

با توجه به شرایط اقلیمی استان فارس و به خصوص شهرستان نی‌ریز که خشک و نیمه‌خشک است و با در نظر گرفتن کاهش بارندگی‌ها در سال‌های اخیر، به نظر می‌رسد تولید علوفه به روش هیدروپونیک (آبکشت) راهکاری است که می‌تواند نگرانی‌های مرتبط با کمبود علوفه را در این مناطق به میزانی چشم‌گیر کاهش دهد. البته پیش از به کارگیری گستردهٔ این روش تولید علوفه، باید تمام جوانب آن بررسی شود. با توجه به محدود بودن تعداد تحقیقات در زمینهٔ کشت هیدروپونیک و به ویژه خلأ موجود در خصوص بررسی کشت هیدروپونیک از نظر شاخص‌های انرژی و کارآیی مصرف آب، این تحقیق با هدف مقایسهٔ تولید علوفهٔ هیدروپونیک جو با تولید علوفهٔ ذرت، جو و یونجه در مزرعه از نظر بهره‌وری مصرف آب و شاخص‌های انرژی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، چهار روش تولید علوفه شامل علوفهٔ هیدروپونیک جو، ذرت علوفه‌ای، جو مزرعه‌ای (تولید کاه و دانه) و یونجه در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تکرار در شهرستان نی‌ریز با هم مقایسه شدند. دلیل انتخاب این شهرستان، استقرار شرکت نوبر (تولیدکنندهٔ علوفهٔ هیدروپونیک جو) در شهرستان نی‌ریز است. وسعت این شهرستان ۱۰۶۵۰ کیلومتر مربع و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۶۰۵ متر است. کوشکک و ده‌چاه از بخش‌های مهم تولیدکنندهٔ محصولات کشاورزی در این شهرستان هستند. معیارهای مقایسه شامل مادهٔ خشک تولیدی، شاخص‌های انرژی (نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی، بهره‌وری انرژی و سهم نهاده‌ها از انرژی مصرفی)، و بهره‌وری مصرف آب بودند.

داده‌های لازم در مورد تیمارهای ذرت علوفه‌ای، جو مزرعه‌ای و علوفهٔ یونجه به روش پرسشنامه‌ای از کشاورزان شهرستان نی‌ریز جمع‌آوری و اطلاعات مربوط به سطح فعالیت تولیدی هر یک از محصولات نیز از جهاد کشاورزی شهرستان نی‌ریز اخذ شد. با استفاده از این اطلاعات، کوشکک به عنوان منطقهٔ عمدهٔ تولید جو و یونجه و ده‌چاه نیز به عنوان منطقهٔ تولید ذرت علوفه‌ای انتخاب شد. در مناطق تولید هر یک از محصولات مورد مطالعه، با استفاده از روش نمونه‌گیری سادهٔ کاملاً تصادفی، پرسشنامه‌ها تکمیل شدند. حجم نمونه‌ها با استفاده از فرمول کوکران (Yarmohammadi, 2005) برای جو، یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۵۹، ۳۳ و ۲۴ پرسشنامه تعیین و تکمیل شد. داده‌های تیمار علوفه هیدروپونیک جو نیز با اندازه‌گیری در گلخانهٔ تولید علوفهٔ جو هیدروپونیک شرکت نوبر نی‌ریز به دست آمد. با توجه به محدودیت تعداد تکرار در گلخانه برای علوفهٔ جو هیدروپونیک، در هر یک از محصولات جو، یونجه و ذرت علوفه‌ای از اطلاعات ۱۲ پرسشنامه برای مقایسه تیمارها استفاده شد. برای مقایسهٔ این روش‌ها از نظر شاخص‌های انرژی، انرژی نهاده‌های ورودی (انرژی مصرف شده) و انرژی ستاده یا خروجی (انرژی تولید شده) برای هر روش اندازه‌گیری و محاسبه شد و شاخص‌های نسبت

www.SID.ir

Archive of SID

انرژی، انرژی خالص تولید شده، بهره‌وری انرژی و سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی از کل انرژی مصرف شده تعیین گردید.

داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شدند و برای مقایسهٔ میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها و محاسبهٔ عوامل مختلف در این پژوهش به این شرح هستند:

- شاخص‌های انرژی

برای محاسبهٔ شاخص‌های انرژی، مجموع انرژی نهاده‌ها و مجموع انرژی ستاده‌های هر یک از روش‌های تولید علوفه اندازه‌گیری و محاسبه شد و با استفاده از معادلات موجود، شاخص‌های انرژی محاسبه شدند. برای محاسبهٔ انرژی‌های ورودی به سیستم، انرژی مربوط به بذرها، علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی نیتروژنی و فسفاته بر حسب کیلوگرم، از حاصل ضرب هم‌ارز انرژی آن نهاده‌ها (جدول ۱) در میزان استفاده از آنها به دست آمد (Shama *et al.*, 1989; Singh & Mittal, 1992; Ovtit-Canavate & Hernanz, 1999).

جدول ۱- هم‌ارز انرژی نهاده‌های مختلف

Table 1- Energy equivalent of different inputs

منبع Reference	هم‌ارز انرژی Energy equivalent		نهاده Input	منبع Reference	هم‌ارز انرژی Energy equivalent		نهاده Input
	واحد Unit	مقدار Value			واحد Unit	مقدار Value	
Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	133.0	ردیف‌کار Row crop planter	Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kWh*	12.0	برق Electricity
Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	133.0	کودپاش Fertilizer spreader	Kitani *et al.*, 1999	*MJ/L*	47.8	دیزل Diesel
Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	133.0	لولر Leveler	Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	138.0	تراکتور Tractor
Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	78.1	نیتروژن Nitrogen	Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	116.0	کمباین Combine
Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	17.4	فسفات Phosphate	Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	180.0	گاوآهن Plow
Kitani *et al.*, 1999	*MJ/L*	85.5	سموم Chemicals	Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	149.0	دیسک Disk harrow
Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	18.51	بذر جو Barley seed	Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	133.0	فاروئر Furrower
Shama *et al.*, 1989	*MJ/kg*	18.93	بذر ذرت Corn seed	Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	133.0	نهرکن Ditcher
Shama *et al.*, 1989	*MJ/kg*	18.8	بذر یونجه Alfalfa seed	Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	133.0	مرزبند Lister
Shama *et al.*, 1989	*MJ/kg*	18.1	کاه جو Barley straw	Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	129.0	سمپاش Spryer
Shama *et al.*, 1989	*MJ/kg*	18.8	علوفه یونجه Alfalfa forage	Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	116.0	بیلر Baler
Shama *et al.*, 1989	*MJ/kg*	18.55	ذرت علوفه ای Silage corn	Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	116.0	چاپر Chopper
Shama *et al.*, 1989	*MJ/kg*	17.42	علوفه هیدروپونیک جو Hydroponic barley fodder	Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	116.0	ریک Rake
Kaihani, 2006	*MJ/hr*	0.27	کارگر Labour	Kitani *et al.*, 1999	*MJ/kg*	116.0	موور Mower

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار سوخت مصرفی در هر تیمار در هم ارز 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 موثر، جرم ماشین یا تأسیسات و هم‌ارز انرژی و با استفاده از رابطهٔ ۱ به دست آمد (Ovtit-Canavate & Hernanz, 1999).

$$ME = \frac{M.E}{T.C_a} \qquad (۱)$$

که در آن،

ME= انرژی مربوط به ساخت ماشین (MJ/ha)؛ T = عمر اقتصادی ماشین (hr)؛ C_a= ظرفیت مزرعه‌ای موثر ماشین (ha/hr)؛ M= جرم ماشین (kg)؛ و E= هم‌ارز انرژی (MJ/kg). آب مصرفی با استفاده کنتور حجمی اندازه‌گیری و انرژی مصرفی برای استحصال آب آبیاری در تیمارهای مختلف هم به صورت مستقیم و هم به صورت غیرمستقیم محاسبه شد. انرژی مستقیم، انرژی لازم برای بالا آوردن و تحت فشار قرار دادن آب مورد نیاز در هر هکتار است که از رابطهٔ ۲ محاسبه شد (Kitani *et al.*, 1999).

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

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 یک فصل زراعی (m^3/ha)؛ h = هد دینامیکی چاه (m)؛ η_1= راندمان پمپ (٪)؛ و η_2= بازده کل تبدیل انرژی و توان (٪) که برای پمپ دیزلی ۲۵ تا ۳۰ درصد و برای پمپ برقی ۱۸تا ۲۲ 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 (حدود ۲۰ درصد) از انرژی مستقیم به‌عنوان انرژی غیرمستقیم در نظر گرفته شد (Kitani *et al.*, 1999).

انرژی کارگر مورد نیاز در تمام مراحل کشاورزی شامل آبیاری، وجین، هدایت تراکتور، برداشت، سمپاشی و مدیریت مزرعه در نظر گرفته شد. مصرف انرژی برای هر کارگر با در نظر گرفتن ۸ ساعت کار در روز، ۲/۱۴۶ مگاژول در روز (۰/۲۷ مگاژول در ساعت) در نظر گرفته شد (Kaihani, 2006). کل انرژی کارگر با در نظر گرفتن تعداد کارگرها تعیین گردید. انرژی خروجی بر اساس نوع تیمار شامل انرژی علوفه، دانه و کاه است. به منظور محاسبهٔ انرژی خروجی، مقدار علوفه، دانه و کاه تولید شده به ترتیب در هم ارز انرژی مربوط ضرب و معادل انرژی آنها محاسبه شد (Shama *et al.*, 1989). شاخص‌های نسبت انرژی، انرژی خالص تولید شده در واحد سطح و بهره‌وری انرژی با استفاده از رابطه‌های ۳ تا ۵ محاسبه شدند:

$$ER = \frac{OE}{IE} \qquad (۳)$$

$$NEG = OE - IE \qquad (۴)$$

$$EP = \frac{Y}{IE} \qquad (۵)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در آنها،
ER= نسبت انرژی؛ NEG= انرژی خالص تولید شده (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).
در این پژوهش، علاوه بر محاسبه شاخص‌های انرژی به عنوان معیار مقایسهٔ تیمارها، در هر تیمار سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی از کل انرژی مصرف شده نیز مشخص شد.

- بهره‌وری مصرف آب

به منظور 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:

$$WP = \frac{Y}{W} \qquad (۶)$$

که در آن،
WP= بهره‌وری مصرف آب (kg/m^3)؛ Y= عملکرد محصول (kg/ha)؛ و W= مقدار آب مصرفی (m^3/ha).

مقدار بذر مصرفی در کشت هیدروپونیک جو، در مقایسه با کشت خاکی (مزرعه‌ای)، بسیار زیاد است؛ در کشت مزرعه‌ای جو، مادهٔ خشک بذر مصرفی در هکتار کمتر از ۳ درصد مادهٔ خشک تولیدی در هکتار است (در ذرت علوفه‌ای و یونجه به دلیل مصرف بذر کمتر، این نسبت خیلی کمتر است). در کشت هیدروپونیک جو، مادهٔ خشک بذر مصرفی، معادل حدود ۸۰ درصد مادهٔ خشک تولید شده است. بنابراین نادیده گرفتن آب مصرف شده برای تولید بذر کشت شده در محاسبه بهره‌وری مصرف آب در کشت هیدروپونیک باعث می‌شود بهره‌وری محاسبه شده با خطای زیادی همراه باشد، در حالی که نادیده گرفتن آب مصرف شده برای تولید بذر کشت شده در کشت مزرعه‌ای، خطای بسیار ناچیزی را در نتیجه محاسبات ایجاد می‌کند. بنابراین، برای قضاوت دقیق‌تر در مورد بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای مختلف، بهره‌وری آب در دو حالت محاسبه گردید: با در نظر گرفتن آب مصرف شده برای تولید بذر کشت شده و بدون در نظر گرفتن آب مصرف شده برای تولید بذر کشت شده.

نتایج و بحث

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های مادهٔ خشک تولیدی (زیست توده) در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که از این نظر اختلاف معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) بین تیمارها وجود دارد (جدول ۲). با توجه به تراکم مختلف بذر کشت شده در هر تیمار و خصوصیات ذاتی متفاوت محصولات کشت شده در تیمارهای مختلف از نظر تولید زیست‌توده، تفاوت معنی‌دار بین تیمارها از نظر ماده خشک تولیدی قابل درک است.

جدول ۲- تجزیهٔ واریانس داده‌های مادهٔ خشک در واحد سطح در یک سال در تیمارهای مختلف

Table 2- Variance analysis of dry mater data in different treatments

منابع تغییر Variation sources	درجهٔ آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares	مقدار F F values
تیمار Treatment	3	7.6×10^{12}	634.9^{**}
خطا Error	44	1.2×10^{10}	

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

** Significant difference between treatments at $\alpha<0.01$.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج مقایسهٔ تیمارها از نظر میانگین مادهٔ خشک تولیدی در واحد سطح در یک سال زراعی نشان می‌دهد بین تمام تیمارهای این تحقیق اختلاف معنی‌دار وجود دارد و تیمارها در چهار گروه آماری متفاوت قرار می‌گیرند (جدول ۳). تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو دارای بیشترین مقدار مادهٔ خشک در واحد سطح در مدت یک سال است و کمترین مقدار مادهٔ خشک تولیدی در واحد سطح درکشت جو مزرعه دیده می‌شود. علوفهٔ هیدروپونیک جو طی یک سال زراعی، بیش از ۱۰۱ برابر ذرت علوفه‌ای (دومین تیمار از نظر تولید مادهٔ خشک) و بیش از ۲۵۷ برابر تیمار کشت جو در مزرعه (آخرین تیمار از نظر تولید مادهٔ خشک در واحد سطح)، مادهٔ خشک در واحد سطح تولید کرد که نکته‌ای است بااهمیت. از طرف دیگر، کشت جو به صورت هیدروپونیک در تمام فصل‌های سال امکان‌پذیر خواهد بود و می‌تواند علوفهٔ تازه تولید کند. مقدار متوسط مادهٔ خشک و رطوبت موجود در علوفهٔ جو هیدروپونیک به ترتیب ۱۲ و ۸۸ درصد است، از این رو پتانسیل این تیمار برای تولید علوفهٔ تر بیش از ۱۳۳۷۵ تن در هکتار در یک سال برآورد می‌شود. حداکثر تولید علوفهٔ هیدروپونیک جو در یک دوره برداشت در کشور اردن ۲۸۱ تن در هکتار گزارش شده است که برای یک سال (۳۶ دوره)، حدود ۱۰۱۱۶ تن در هکتار می‌شود (Al-Karaki & Al-Momani, 2011)، در حالی که در این تحقیق معلوم شده است که بیش از ۱۳۳۷۵ تن علوفهٔ هیدروپونیک جو در هر هکتار در یک سال می‌تواند به‌دست آید. بر اساس نتایج تحقیقات موجود، عملکرد محصولات گلخانه‌ای می‌تواند تا ۹ برابر عملکرد محصول در مزرعه افزایش یابد (Smither-Kopperi & Cantllif, 2004).

جدول ۳- مقایسهٔ تیمارهای مختلف از نظر میانگین مادهٔ خشک تولیدی در هکتار در یک سال

Table 3- Means comparison of treatments for dry mater per hectare per year

تیمار Treatment	میانگین مادهٔ خشک Average Dry Mater(kg/ha)/year
علوفهٔ هیدروپونیک جو Hydroponic barley fodder	1605052[a]
ذرت علوفه‌ای Silage corn	15810[b]
جو مزرعه‌ای (دانه و کاه) Barley forage (grain and straw)	6235[c]
علوفهٔ یونجه Alfalfa forage	11655[d]

اعداد دارای حروف مشترک، از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Averages with the same letters in column are no statistically different at $\alpha<0.01$.

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های بهره‌وری مصرف آب در دو حالت بدون در نظر گرفتن آب مصرفی برای بذر کشت شده و با در نظر گرفتن آب مصرف شده برای تولید بذر کشت شده در تیمارهای مختلف مشخص می‌کند که اختلاف بین تیمارها از نظر این عامل در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۴). هدر روی آب در سیستم کشت هیدروپونیک به حداقل می‌رسد و مادهٔ خشک تولیدی در تیمارهای مختلف متفاوت است، بنابراین تفاوت معنی‌دار بین تیمارها از نظر بهره‌وری مصرف آب توجیه‌پذیر خواهد بود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- تجزیهٔ واریانس داده‌های بهره‌وری مصرف آب

Table 4- Variance analysis of water productivity data

منابع تغییر Variation sources	درجهٔ آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات بدون در نظر گرفتن آب مصرفی بذر Mean squares without considering water consumed for seed	میانگین مربعات با در نظر گرفتن آب مصرفی بذر Mean squares with considering water consumed for seed
تیمار Treatment	3	124721.5**	0.77**
خطا Error	44	12.6	0.04

**اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

** Significant difference between treatments at $\alpha<0.01$.

نتایج مقایسهٔ میانگین تیمارها از نظر بهره‌وری مصرف آب (بدون در نظر گرفتن آب مصرفی برای بذر کشت شده) نشان می‌دهد که اختلاف تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو با تیمارهای دیگر معنی‌دار است، ولی اختلاف بین سه تیمار دیگر از نظر بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار نیست (جدول ۵). بهره‌وری مصرف آب در تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو با اختلاف بسیار زیاد نسبت به تیمارهای دیگر، بیشترین مقدار (۶۵/۳ کیلوگرم مادهٔ خشک به ازای مترمکعب آب مصرفی) را دارد و تیمار ذرت علوفه‌ای در رتبهٔ دوم است. دلیل بالا بودن بهره‌وری مصرف آب در تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو، تولید مادهٔ خشک در واحد سطح زیاد با مصرف آب کم در شرایط کنترل شدهٔ گلخانه‌ای است. از طرف دیگر، انتظار می‌رفت که ذرت علوفه‌ای نیز به دلیل تولید مادهٔ خشک در واحد سطح بالا، بهره‌وری مصرف آب آن مناسب باشد، اما قرار گرفتن دورهٔ رشد ذرت علوفه‌ای در فصل گرم تابستان و در نتیجه مصرف زیاد آب در این محصول، باعث کاهش بهره‌وری مصرف آب در ذرت علوفه‌ای شده است. یونجه نیز با ۰/۶۴ کیلوگرم ماده خشک به ازای هر مترمکعب آب، کمترین مقدار بهره‌وری مصرف آب را دارد. با اینکه بهره‌وری مصرف آب در ذرت علوفه‌ای تقریباً دو برابر بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای جو و یونجه است، اما اختلاف آنها معنی‌دار نیست؛ دلیل این موضوع بزرگ بودن عدد مربوط به بهره‌وری مصرف آب در تیمار علوفه هیدروپونیک جو است. محاسبهٔ بهره‌وری مصرف آب در کشت هیدروپونیک بدون در نظر گرفتن آب مصرف شده برای تولید بذر کشت شده، برای زمانی قابل استفاده است که بذر کشت شده از خارج از کشور وارد شده باشد (آب مجازی) یا حاصل کشت دیم باشد.

نتایج مقایسهٔ مصرف آب در کشت هیدروپونیک و مزرعه‌ای جو در اردن نشان داده است که در تولید علوفهٔ هیدروپونیک جو، ۱/۴۸ مترمکعب آب به ازای هر تن محصول مصرف شد، در حالی که مصرف آب در شرایط مزرعه ۸۳ مترمکعب به ازای هر تن محصول بود (Al-Karaki & Al-Momani, 2011). نتایج تحقیقی در آمریکا نشان داد که کارآیی مصرف آب در تولید هیدروپونیک گوجه‌فرنگی ۰/۹۱ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب است (۵/۸ برابر مقدار تولید مزرعه‌ای آن که ۰/۱۶ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب برآورد شده است (Giacomelli *et al.*, 2005). نتایج مقایسهٔ میانگین بهره‌وری مصرف آب (با در نظر گرفتن آب مصرف شده برای تولید بذر کشت شده) در تیمارهای مختلف نیز نشان می‌دهد که میانگین‌ها در سه گروه آماری مختلف قراردارند (جدول ۵).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- مقایسهٔ تیمارهای مختلف از نظر میانگین بهره‌وری مصرف آب

Table 5- Means comparison of treatments for water productivity

تیمار Treatment	میانگین بهره‌وری مصرف آب بدون در نظر گرفتن آب مصرفی بذر Average water productivity without considering water consumed for seed (kg/m^3)	میانگین بهره‌وری مصرف آب با در نظر گرفتن آب مصرفی بذر Average water productivity with considering water consumed for seed (kg/m^3)
علوفهٔ هیدروپونیک جو Hydroponic barley fodder	65.28^{a}	0.85^{b}
ذرت علوفه‌ای Silage corn	1.14^{b}	1.13^{a}
جو مزرعه‌ای (دانه و کاه) Barley forage (grain and straw)	0.65^{b}	0.59^{c}
علوفهٔ یونجه Alfalfa forage	0.64^{b}	0.61^{c}

اعداد دارای حروف مشترک، از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Averages with the same letters in column are no statistically different at $\alpha<0.01$.

در این شرایط، تیمار ذرت علوفه‌ای بیشترین مقدار بهره‌وری مصرف آب را دارد که اختلاف آن با هر سه تیمار دیگر معنی‌دار است. بعد از تیمار ذرت علوفه‌ای، تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو بیشترین بهره‌وری مصرف آب را دارد و با تیمارهای علوفه یونجه و جو مزرعه‌ای اختلافشان معنی‌دار است. کمترین مقدار بهره‌وری مصرف آب در تیمار جو مزرعه‌ای است که با تیمار علوفهٔ یونجه اختلاف معنی‌داری ندارد. بنابراین، مشاهده می‌شود که با دخیل کردن آب مصرف شده برای تولید بذر کشت شده در تمام تیمارها، بهره‌وری مصرف آب تیمار علوفه هیدروپونیک جو با کاهش شدید مواجه می شود و بهره‌وری مصرف آب در آن از ۶۵/۳ کیلوگرم به ۰/۸۵ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب کاهش می‌یابد، در حالی که کاهش بهره‌وری مصرف آب در سه تیمار دیگر ناچیز است. البته باید توجه داشت که با وجود وارد کردن آب مصرف شده برای تولید بذر کشت شده در محاسبهٔ بهره‌وری مصرف آب، هنوز بهره‌وری مصرف آب تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو با اختلاف معنی‌دار بیش‌تر از بهره‌وری مصرف آب تیمارهای جو مزرعه‌ای و علوفهٔ یونجه می‌باشد.

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های مربوط به انرژی مصرفی (ورودی) در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که اختلاف بین تیمارها از نظر انرژی مصرفی در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۶). با توجه به اینکه نهاده‌های مصرفی در تیمارهای مختلف و به خصوص در تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو متفاوت هستند، تفاوت معنی‌دار در انرژی مصرفی آنها قابل توجیه خواهد بود. نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها همچنین نشان می‌دهد که اختلاف تیمارها از نظر این فاکتور در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۶). با توجه به اینکه مقدار مادهٔ خشک تولیدی در تیمارهای مختلف به‌طور معنی‌داری متفاوت است، اختلاف معنی‌دار بین مقدار انرژی خروجی در تیمارهای مختلف دور از انتظار نیست.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶- تجزیهٔ واریانس داده‌های انرژی مصرفی (ورودی) و تولیدی (خروجی) در تیمارهای مختلف

Table 6- Variance analysis of input and output energy data in different treatments

منابع تغییر Variation sources	درجهٔ آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات انرژی مصرفی Mean squares of consumed energy	میانگین مربعات انرژی تولیدی Mean squares of produced energy
تیمار Treatment	3	$5.56\times10^{15**}$	$2.30\times10^{15**}$
خطا Error	44	2.27×10^{9}	2.60×10^{12}

**اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

** Significant difference between treatments at $\alpha<0.01$.

مقایسهٔ میانگین‌های مقدار انرژی مصرفی در تیمارهای مختلف، آنها را در سه گروه آماری مختلف قرار می‌دهد؛ تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو با بیشترین مقدار انرژی مصرفی در واحد سطح (۴۳۲۱۲۶۷۱ مگاژول بر هکتار در یک سال) حدود ۲۵۰ برابر تیمار علوفهٔ یونجه انرژی مصرف کرده است (علوفهٔ یونجه دومین تیمار از نظر مقدار مصرف انرژی است) (جدول ۷). مهم‌ترین دلیل بالا بودن مقدار مصرف انرژی در این تیمار، مصرف زیاد مقدار بذر (حدود ۳۸۹۰۰ کیلوگرم در هکتار) است که بیش از ۵۰ درصد انرژی مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد. تیمارهای ذرت علوفه‌ای و علوفهٔ یونجه از نظر مقدار انرژی مصرفی با هم اختلاف معنی‌دار ندارند و بعد از تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو، رتبهٔ دوم را از نظر مصرف انرژی دارند. کمترین مقدار انرژی مصرفی نیز به تیمار جو مزرعه‌ای اختصاص دارد که اختلاف آن با دو تیمار ذرت علوفه‌ای و علوفهٔ یونجه معنی‌دار است. بررسی مصرف انرژی در تولید خیار به دو روش کشت گلخانه‌ای خاکی و هیدروپونیک در استان آذربایجان غربی نشان داده است که برای تولید هرکیلوگرم خیار در گلخانه خاکی ۴۱ مگاژول و برای تولید همین مقدار در کشت هیدروپونیک۲۲ مگاژول انرژی مصرف می‌شود (Pourtareverdi *et al.*, 2013).

تیمارهای مختلف، از لحاظ میانگین مقدار انرژی خروجی در هکتار در یک سال (جدول ۷)، در چهار گروه آماری مختلف قرار گرفته‌اند و اختلاف بین هر چهار تیمار با هم معنی‌دار است. تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو بیشترین مقدار انرژی تولیدی را دارد که مقدار انرژی تولیدی آن تقریباً ۹۵ برابر مقدار انرژی تولیدی ذرت علوفه‌ای است که رتبهٔ دوم تولید انرژی را در بین تیمارها دارد. کمترین مقدار انرژی تولیدی نیز متعلق به تیمار جو مزرعه‌ای است که با تیمار علوفهٔ یونجه (رتبه سوم تولیدکنندهٔ انرژی)، اختلاف معنی‌دار دارد. یادآوری می‌شود که تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو که در هر هکتار حدود ۲۵۰ برابر تیمار علوفهٔ یونجه انرژی مصرف کرده بود، فقط حدود ۱۲۷ برابر این تیمار انرژی تولید کرده که نشان‌دهندهٔ راندمان پایین انرژی در این تیمار است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- مقایسهٔ تیمارهای مختلف از نظر میانگین مقدار انرژی مصرفی (ورودی) و تولیدی (خروجی)

Table 7- Means comparison of treatments for input and output energies

میانگین انرژی تولیدی Average produced energy (MJ/ha)/year	میانگین انرژی مصرفی Average consumed energy (MJ/ha)/year	تیمار Treatment
27960010 a	43212671 a	علوفهٔ هیدروپونیک جو Hydroponic barley fodder
293276 b	167432 b	ذرت علوفه‌ای Silage corn
113876 d	101510 c	جو مزرعه‌ای (دانه و کاه) Barley forage (grain and straw)
219301 c	173379 b	علوفهٔ یونجه Alfalfa forage

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک، از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Averages with the same letters in column are no statistically different at $\alpha<0.01$.

سهم انرژی نهاده‌های مصرفی از انرژی مصرف شده در تیمارهای مختلف (جدول ۸)، متفاوت است. در تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو، انرژی بذر کشت شده با ۵۴/۰۹ درصد بیشترین سهم را از انرژی مصرف شده در فرآیند تولید دارد (۶۲۹۴۵۰ مگاژول) و انرژی مصرفی برق (۳۵/۲۴ درصد) در مکان دوم است (۴۲۲۹۹۲ مگاژول). سهم انرژی دیگر نهاده‌های مصرفی از انرژی مصرف شده در این تیمار، هر یک کمتر از ۶ درصد است و کمترین مقدار (۰/۱۹ درصد) به انرژی کارگری اختصاص دارد. در دیگر تیمارها، انرژی صرف شده برای استحصال آب، بیشترین سهم را از انرژی کل مصرف شده، دارد. در تیمارهای ذرت علوفه‌ای و جو مزرعه‌ای، بعد از انرژی استحصال آب، انرژی کود و انرژی مواد شیمیایی بیشترین سهم را دارند، در حالی که در تیمار علوفهٔ یونجه، مقام دوم به انرژی سوخت تعلق دارد و کود و مواد شیمیایی مقام سوم را دارند. در تیمارهای ذرت علوفه‌ای و جو مزرعه‌ای، رتبه سوم از سهم انرژی مصرفی، به انرژی سوخت رسیده است. در تیمارهای ذرت علوفه‌ای، جو مزرعه‌ای و علوفهٔ یونجه دیده می‌شود که انرژی کارگری کمترین سهم را از انرژی مصرف شده در فرآیند تولید دارد. مشخص شدن سهم هر یک از عوامل و نهاده‌های مصرفی در انرژی مصرف شده در فرآیند تولید، نقش کلیدی در مدیریت مناسب مصرف انرژی در تولیدات کشاورزی دارد. با توجه به اینکه حدود ۹۰ درصد انرژی مصرفی در تولید علوفهٔ هیدروپونیک جو مربوط به بذر و برق مصرفی است، بنابراین مهم‌ترین راهکار برای افزایش راندمان و بهره‌وری انرژی در تولید علوفهٔ هیدروپونیک جو افزایش راندمان مصرف برق و کاهش مصرف بذر در این سامانه است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸- سهم انرژی نهاده‌های مصرفی از انرژی مصرف شده در تیمارهای مختلف

Table 8- Energy share of inputs from total consumed energy in different treatments

تیمار Treatment	استحصال آب Water supply (٪)	کود و مواد شیمیایی Fertilizers and chemicals (٪)	بذر Seed (٪)	سوخت Fuel (٪)	ماشین‌ها Machinery (٪)	کارگر Labour (٪)
علوفهٔ هیدروپونیک جو Hydroponic barley fodder	0.52 (5168 MJ)	5.57 (66810 MJ)	54.08 (629450 MJ)	35.24 (422992 MJ)	4.40 (52837 MJ)	0.19 (2279 MJ)
ذرت علوفه‌ای Silage corn	76.78 (128549 MJ)	15.78 (26428 MJ)	0.43 (724 MJ)	6.29 (10529 MJ)	0.71 (1181 MJ)	0.01 (21 MJ)
جو مزرعه‌ای (دانه و کاه) Barley forage (grain and straw)	71.44 (72519 MJ)	17.71 (17979 MJ)	4.95 (5025 MJ)	4.97 (5043 MJ)	0.92 (930 MJ)	0.01 (14 MJ)
علوفهٔ یونجه Alfalfa forage	89.74 (155587 MJ)	4.30 (7460 MJ)	0.09 (159 MJ)	4.41 (7648 MJ)	1.45 (2501 MJ)	0.01 (24 MJ)

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های نسبت (راندمان) انرژی و انرژی خالص تولیدی نشان می‌دهد که اختلاف تیمارها از این نظر در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۹). قابل پیش‌بینی است که اختلاف مقدار انرژی مصرفی و مقدار انرژی تولیدی در تیمارها به‌اختلاف مقدار انرژی خالص تولیدی بین تیمارها می‌انجامد.

جدول ۹- تجزیهٔ واریانس داده‌های نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی

Table 9- Variance analysis of energy ratio, net energy gain, and energy productivity data

منابع تغییر Variation sources	درجهٔ آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات نسبت انرژی Mean squares of energy ratio	میانگین مربعات انرژی خالص Mean squares of net energy	میانگین مربعات بهره‌وری انرژی Mean squares of energy productivity
تیمار Treatment	3	2.26 **	7.03×10^{14} **	0.143 **
خطا Error	44	0.25	3.6×10^{12}	0.003

**اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

** Significant difference between treatments at $\alpha<0.01$.

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های بهره‌وری انرژی در تیمارهای مختلف (جدول ۹) نشان می‌دهد تیمارها از این نظر نیز در سطح ۱ درصد با هم اختلاف معنی‌دار دارند. با توجه به اختلاف معنی‌دار تیمارها از نظر مادهٔ خشک تولیدی و انرژی مصرفی، معنی‌دار بود تا اختلاف تیمارها از نظر بهره‌وری انرژی، یعنی محصول تولید شده به ازای واحد انرژی مصرفی، منطقی است.

نتایج مقایسهٔ میانگین نسبت انرژی در تیمارهای مختلف (جدول ۱۰) نشان می‌دهد که تیمارها در دو گروه مختلف آماری قرار می‌گیرند و با هم اختلاف معنی‌دار دارند. نسبت انرژی در تمام

www.SID.ir

Archive of SID

تیمارهـا، بـه غیـر از تیمـار علوفـۀ هیـدروپونیک جـو، بزرگتـر از یـک اسـت کـه نشـان‌دهنـدۀ موازنـه مثبـت انـرژی در ایـن تیمارهاسـت بـه ایـن معنـی کـه در ایـن تیمارهـا، مقـدار انـرژی تولیـدی بـیش از مقـدارانرژی مصـرفی اسـت. بنـابراین، تولیـد علوفـۀ هیـدروپونیک جـو دارای موازنۀ انـرژی منفـی اسـت و مقـدار انـرژی مصـرفی آن بـیش از مقـدارانرژی تولیـدی اسـت. بیشـترین مقـدار نسـبت انـرژی در تیمـار ذرت علوفـه‌ای دیـده مـی‌شـود که با تیمـار علوفـۀ یونجـه (دومـین تیمـار از نظـر نسـبت انـرژی) اخـتلاف معنـی‌دار نـدارد، امـا بـا دو تیمـار جـو مزرعـه‌ای و علوفـۀ هیـدروپونیک جـو اخـتلاف معنـی‌دار دارد. کمتـرین نسـبت انـرژی (۰/۶۴۷) در تیمـار علوفـۀ هیـدروپونیک جـو اسـت کـه بـا دیگـر تیمارهـا اخـتلاف معنـی‌دار دارد. بهتـرین تیمـار از نظـر نسـبت انـرژی (ذرت علوفـه‌ای) ۷۵ درصـد بـیش از انـرژی مصـرفی، انرژی تولیـد نمـود، در حـالی کـه انـرژی تولیـدی علوفـه هیـدروپونیک جـو (آخـرین تیمـار از نظـر نسـبت انـرژی) حدود ۵۵ درصد کمتر از انرژی مصرفی آن است.

نتـایج مقایسـه میـانگین مقـدار انـرژی خـالص تولیدی در تیمارهـا نشـان مـی‌دهـد کـه تیمارهـا از نظـر این فـاکتور در چهـار گـروه آمـاری مختلـف قـرار دارنـد و تیمار ذرت علوفـه‌ای بـا بیشـترین انـرژی خـالص تولیـدی (۱۲۵۸۴۴ مگـاژول بـر هکتـار)، بـا دیگـر تیمارهـا اخـتلاف معنـی‌دار دارد (جـدول ۱۰). کمتـرین مقـدار انـرژی خـالص تولیـدی (۱۵۲۵۲۶۶۱- مگـاژول بـر هکتـار) بـه تیمـار علوفـۀ هیـدروپونیک جـو اختصـاص دارد کـه مقـدار آن منفـی اسـت یعنـی در ایـن تیمـار انـرژی مصـرف شـده بـیش از انـرژی تولیـد شـده اسـت. مقدار انرژی خـالص تولیـد شـده در تیمـار جـو مزرعـه‌ای هرچنـد مثبـت، امـا مقـدار آن نـاچیز اسـت؛ ایـن تیمـار فقـط حـدود ۱۶ درصـد بـیش از انـرژی مصـرفی، انـرژی تولید کرده است.

جدول ۱۰- مقایسۀ تیمارهای مختلف از نظر میانگین نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی

Table 10. Means comparison of treatments for energy ratio, net energy gain, and energy productivity

تیمار Treatment	میانگین نسبت انرژی Average energy ratio (without unit)	میانگین انرژی خالص تولیدی Average net energy gain (MJ/ha)	میانگین بهره‌وری انرژی Average energy productivity (kg/MJ)
علوفۀ هیدروپونیک جو Hydroponic barley fodder	0.647^{c}	-15252661^{d}	0.037^{c}
ذرت علوفه‌ای Silage corn	1.880^{a}	125844^{a}	0.281^{a}
جو مزرعه‌ای (دانه و کاه) Barley forage (grain and straw)	1.160^{b}	12366^{c}	0.074^{b}
علوفۀ یونجه Alfalfa forage	1.483^{ab}	45922^{b}	0.095^{b}

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک، از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Averages with the same letters in column are no statistically different at $\alpha<0.01$.

نتـایج مقایسـۀ میـانگین بهـره‌وری مصـرف انـرژی (جـدول ۱۰) نشـان مـی‌دهـد کـه تیمـار ذرت علوفـه‌ای بـا اخـتلاف زیـاد از تیمارهـای دیگـر، در یـک گـروه آمـاری قـرار دارد و دیگـر تیمارهـا نیـز در دو گـروه آمـاری هسـتند. ذرت علوفـه‌ای بـا بهـره‌وری مصـرف انـرژی ۰/۲۸۱ کیلـوگرم بـر مگـاژول، بهتـرین بهـره‌وری مصـرف انـرژی را در میـان تیمارهـا دارد و اخـتلاف آن بـا سه تیمار دیگـر معنـی‌دار اسـت. تیمارهـای علوفـۀ یونجـه و جـو مزرعـه‌ای بـه ترتیـب بـا بهـره‌وری انـرژی ۰/۰۹۵ و ۰/۰۷۴ کیلـوگرم بـر مگـاژول، در رتبـه دوم قـراردارنـد و

www.SID.ir

Archive of SID

اختلاف آنها با هم معنی‌دار نیست. تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو کمترین بهره‌وری انرژی (۰/۰۳۷ کیلوگرم بر مگاژول) را دارد که بهره‌وری پایینی است. نکتهٔ قابل توجه این است که بهره‌وری مصرف انرژی در هر چهار تیمار بررسی شده پایین و در همه تیمارها به غیر از ذرت علوفه‌ای، کمتر از ۱۰۰ گرم مادهٔ خشک به ازای یک مگاژول انرژی مصرفی است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تولید علوفهٔ هیدروپونیک جو، ذرت علوفه‌ای، جو مزرعه‌ای (تولید کاه و دانه) و علوفهٔ یونجه از نظر شاخص‌های انرژی و بهره‌وری مصرف آب در شهرستان نی‌ریز با هم مقایسه شدند. نتایج تحقیق در این چهار روش نشان داده است که علوفهٔ هیدروپونیک جو بالاترین مقدار علوفه در واحد سطح را تولید می‌کند. از این رو این شیوهٔ تولید، دارای بالاترین پتانسیل در راستای پاسخگویی به تقاضای مورد نیاز منطقه است.

بهره‌وری مصرف آب در تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو با اختلاف بسیار زیاد نسبت به تیمارهای دیگر، بیشترین مقدار را دارد (بدون در نظر گرفتن آب مصرف شده برای بذر کشت شده) و تیمار ذرت علوفه‌ای در رتبه دوم قرار دارد. مقایسه تیمارها از نظر شاخص‌های انرژی نشان داده است که تیمار ذرت علوفه‌ای بیشترین مقدار شاخص‌های نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی و بهره‌وری انرژی را دارد و کمترین مقدار این شاخص‌ها مربوط به تیمار علوفهٔ هیدروپونیک جو است. علوفهٔ هیدروپونیک جو به‌رغم تولید مادهٔ خشک زیاد (۱۶۰۵۰۵۲ کیلوگرم بر هکتار در سال) و بهره‌وری مناسب مصرف آب (۶۵/۳ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب آب)، بهره‌وری انرژی پایینی دارد (۰/۰۳۷ کیلوگرم بر مگاژول)، بنابراین باید راهکارهای افزایش بهره‌وری انرژی در این سامانهٔ تولید علوفه بررسی شود تا بتوان از مزایای مهم این سامانه استفاده کرد. با توجه به سهم بالای مصرف برق و بذر از کل انرژی مصرفی در این سامانهٔ تولید علوفه (حدود ۹۰ درصد)، به نظر می‌رسد باید تلاش‌ها بر کاهش مصرف بذر و افزایش راندمان مصرف برق در این سامانه متمرکز شود.

قدردانی

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

مراجع

Al-Karaki, G. N., & Al-Hashimi, M. (2012). Green fodder production and water use efficiency of some forage crops under hydroponic conditions. *ISRN Agronomy. 2012*, 1-5.

Al-karaki, G. N., & 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.

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.

www.SID.ir

Archive of SID

Barbosa, G. L., Gadelha, F. D. A., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G. M., & 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.

Bilalis, D., Kamariari, P. E., Karkanis, A., Efthimladou, A., Zorpas, A., & 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.

Fazaeli, H. (2013). Effeciency of hydroponic green fodder as animal feed. *Animal Science Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 103, 205-214. (in Persian)

Giacomelli, G., Sabeh, N., Costa, P., & Jensen, M. (2005). Controlled environment agriculture program: a sustainable option (Ph. D. Thesis) Controlled Environment Agriculture Center, University of Arizona.

Haidari, N., Khairabi, J., Alaee, M., Farshi, A. A., Kazemi, P., Vaziri, Zh., Entesari, M. R., Dehghani-Sanich, H., Sadatmiri, M. H., & Mirlotfi, M. (2007). Water Use Effeciency in Greenhouse Production. Iranian National Commetee on Irrigation and Drainage, Tehran, Iran. (in Persian)

Kaihani, A. (2006). *Perlimenary evaluation of human energy input agricultural mecanization projects. 4th National Congress on Agricultural Engineering and Mechanization*. Aug. 28-29, Tabriz, Iran. (in Persian)

Kitani, O., Jungbluth, T., Peart, R. M., & Ramdani, A. (1999). *CIGR Handbook of Agricultural Engineers, Energy and Biomass Engineering*. Vol. 5, ASAE Publication, MI.

Kraatz, S. (2008). *Energy inputs for corn production in Wisconsin and Germany. ASABE Annual International Meeting*, June 29-July 2. Rhode, Island.

Lamnganbi, M., & Surve, U. (2017). Biomass yield and water productivity of different hydroponic fodder crops. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *6*(5), 1297-1300.

Mollahosseini, H., Allame, R., & Esmaeelkhanian, S. (2009). *Forage production in hydroponic system in drought condition. 2nd National Confrence on Drought Effects and Its Management Solutions*. May 20-21, Isfahan, Iran. (in Persian)

Nasirian, N., Almasi, M., Minaee, S., & Bakhoda, H. (2006). *Evaluation of energy trend in sugarcane production in an Agro-industry unit in south Ahvaz. 4th Congress on Agricultural Engineering and Mechanization*. Aug. 29-30, Tabriz, Iran. (in Persian)

Ovtit-Canavate, J., & Hernanz, J. L. (1999). *Energy Analysis and Saving. In: O. Kitani (Ed.) CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Energy and Biomass Engineering*. Vol. V. ASAE Pub. MI.

Pishgar-Komleh, S. H., Keyhani, A., Rafiee, Sh., & 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.

Pourtareverdi, F., Almassi, M., & Bakhoda, H. (2013). *Energy and economic evaluation of hydroponic and conventional production of greenhouse cucumber. 8th National Congress on Agricultural Engineering and Mechanization*. Jan. 29-31, Mashhad, Iran. (in Persian)

Safa, M., & Tabatabaeefar, A. (2002). *Energy consumption in wheat production in irrigated and dryland farming. International Agricultural Engineering Conference*. Nov. 28-30, Wuxi, China.

Shahin, S., Jafari, A., Mobli, H., Rafiee, S., & 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.

www.SID.ir

Archive of SID

Shama, M., Saedi, H., Nikpour Tehrani, K., & Morvarid, A. (1989). Animal and Poultery Feeds and Methods of Their Storage (Principals of Animal and Poultery Feeds). 4th Ed. University of Tehran Publ. Tehran, Iran, (in Persian)

Singh, S., & Mittal, J. P. (1992). *Energy in Production Agriculture*. Mittal Pub. New Delhi.

Smither-Kopperi, M. L., & 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.

Soder, K. J., Heins, B. J., Chester-Jones, H., Hafla, A. N., & Rubano, M. D. (2018). Evaluation of fodder production systems for organic dairy farms. *The Professional Animal Scientist, 34*(1), 75-83.

Valadiani, A., Hassanzadeh-Ghoortappeh, A., & Valadiani, R. (2005). Evaluation of energy balance in rainfed wheat seed breeding farms of East Azarbayjan and its effect on environment. *Jounal of Agricultural Knowdlege*, *15*(2), 1-12. (in Persian)

Yarmohammadi, M. (2005). Metods of Sampling and Their Applications (Translation). Statistics Center of Iran, Tehran. (in Persian)

www.SID.ir

Arch SID
Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.21/No.74/Spring & Summer 2020/P:117-134

Comparing Energy Indices and Water Productivity of Forage Production in Hydroponic and Conventional Conditions

S. Afzalinia*, A. Karimi and A. Shirvanian

*Corresponding Author: Associate Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran. Email: sja925@mail.usask.ca.
Received: 7 November 2018; Accepted: 13 May 2019

Abstract

Recent drought phenomenon in Iran has limited feed supplying for livestock enterprises. In this situation, forage fodder production in hydroponic condition could be a reasonable solution to overcome the water resources limitations in forage production process; however, all aspects of this system should be investigated prior to using it. In this research, these four treatments of forage production: hydroponic barley forage, conventional corn forage, conventional irrigated barley, and conventional alfalfa forage, were compared from the point of view of water productivity and energy indices, in the form of a completely randomized experimental design with 12 replications in Niriz, Fars Province, south of Iran. Results showed that hydroponic barley forage and conventional method of producing barley had the maximum yield (1605052 kg/ha per year) and the minimum yield (6235 kg/ha per year) respectively. The highest water productivity (65.3 kg/m^3) and the lowest water productivity (0.64 kg/m^3) were obtained from hydroponic barley forage and the conventional method of producing alfalfa , respectively. Results also indicated that the conventional corn forage had the highest energy ratio, net energy gain, and energy productivity (1.88, 125844 MJ/ha, and 0.281 kg/MJ); the lowest amounts of energy indices (0.65, -15252661 MJ/ha, and 0.037 kg/MJ) belonged to the hydroponic barley forage. Conclusions showed that producing barley fodder in hydroponic condition could be a proper solution for supplying adequate forage for livestock in semi-arid climate condition of Niriz twonship, provided that some amendments could be made in this method of fodder producing system to reduce energy consumption and to enhance energy productivity.

Keywords: Alfalfa, Energy Productivity, Niriz Twoship, Silage Corn

www.SID.ir