

تحلیل و مقایسه انرژی دو سامانه هواکشت و معمولی

در تولید مینی تیوبر سیب زمینی

سیامک غریبی اصل***

* نگارنده مسئول: گروه کشاورزی، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران. تلفن: ۰۴۵)۳۳۲۴۳۱۹۶، پیام‌نگار:

siamakgharibi@gmail.com

** استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۳

چکیده

اردبیل نخستین استانی است که بذر مینی تیوبر به روش هواکشت تولید می‌کند که عاری از ویروس و عامل بیماری و دارای راندمان بالاست. در این راستا، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۵ در مجتمع گلخانه‌ای مهندس اردبیلی و به‌منظور تحلیل و مقایسه میزان انرژی مصرفی در دو سامانه هواکشت و معمولی در تولید مینی تیوبر سیب‌زمینی در این استان اجرا شد. نتایج این تحقیق علاوه بر تحلیل‌های فنی، از ضرورت‌های مهم در بررسی پروژه‌های کشاورزی در استان اردبیل و سایر مناطق کشور است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که راندمان انرژی (ER) در سیستم کشت ائروپونیک به‌مراتب بهتر و بیشتر از راندمان انرژی در سیستم کشت خاکی است. همچنین، مشابه این شرایط در شاخص کارایی انرژی (EP) نیز دیده می‌شود. مصرف انرژی ویژه بسیار بالایی در سیستم کشت خاکی نسبت به سیستم ائروپونیک مشاهده می‌شود که بیانگر عملکرد پایین این سیستم در تولید مینی تیوبر در قبال میزان انرژی مصرفی است. در شاخص انرژی خالص (NE) نیز متأسفانه در سیستم کشت خاکی، وضعیت مشابه سایر تولیدات گلخانه‌ای ایران است. ولی در سیستم ائروپونیک شاخص انرژی خالص مثبت و وضعیت آن نسبت به سیستم کشت خاکی مطلوب‌تر است. به‌طور کلی، سیستم ائروپونیک از لحاظ شاخص‌های انرژی سالیانه، دوره و غده مزیت و مطلوبیت بهتری دارد و می‌توان این سیستم را یکی از سیستم‌های کارا و بهینه، از لحاظ میزان مصرف انرژی برای تولید مینی تیوبر سیب‌زمینی، پیشنهاد داد.

واژه‌های کلیدی

سامانه کشت معمولی، سامانه هواکشت، شاخص‌های انرژی، مینی تیوبر سیب‌زمینی

مقدمه

در سطح وسیع کاملاً روشن است (Hassanpanah, 2011). بهینه‌سازی مصرف انرژی و به‌کارگیری کارآمدترین فناوری‌ها به‌منظور دستیابی به دستاوردی مشخص در بیشتر موارد منجر به کاهش مصرف انرژی می‌گردد (Mierzaei, 2010). تجزیه و تحلیل هزینه و سوددهی، مناسب‌ترین و رایج‌ترین روش ارزیابی پروژه‌های سرمایه‌گذاری از دیدگاه ملی است. بنابراین، تجزیه و

سیب‌زمینی در ایران از نظر اهمیت غذایی پس از گندم و برنج سومین محصول به‌شمار می‌رود. در بسیاری از محصولات کشاورزی، به‌ویژه سیب‌زمینی، بیماری‌های ویروسی سهم بالایی در کاهش عملکرد و کیفیت محصول دارند، از این‌رو اهمیت ایجاد گیاهچه‌های سالم و مینی تیوبرهای عاری از ویروس و ازدیاد و تکثیر سریع آنها

کشور را قادر می‌سازد تا بذر مورد نیاز خود را سریعاً، به مقادیر زیاد، قیمت مناسب و سلامت بالا تولید کند. اگر به‌ازای هر هکتار، ۴ تن بذر اختصاص یابد برای تامین بذر ۱۴۹ هزار هکتار سطح زیرکشت در کشور، سالانه به بیش از ۴۸۰ هزار تن بذر گواهی شده نیاز خواهد بود (Hassanpanah, 2011). برای تأمین پایدار این حجم بذر در سال، این تکنولوژی می‌تواند به لحاظ اقتصادی و تأمین امنیت غذایی کشور نقش بسزایی داشته باشد.

اقتصاد استان اردبیل عمدتاً بر محور کشاورزی است و در این فرآیند زراعت سیب‌زمینی نقش تعیین‌کننده‌ای در اقتصاد منطقه دارد و اساس تغییرات اقتصادی و حتی معیشتی مردم متأثر از تولید و عرضه این محصول استراتژیک است و به نوعی در جریان زندگی اقتصادی مردم دخالت دارد. در سال‌های اخیر با اجرای زیرپروژه‌های طرح افزایش تولید سیب‌زمینی و به‌کارگیری فارغ‌التحصیلان عضو سازمان نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی و حضور فیزیکی مؤثر آنها در مزارع سیب‌زمینی و نیز با اعمال روش‌های مختلف به‌زراعی، به دستاوردهای خوبی رسیده‌ایم. به‌رغم آنکه هنوز از پتانسیل واقعی منطقه فاصله زیادی وجود دارد، می‌توان با به‌کارگیری علوم و فنون جدید این فاصله را کوتاه نمود.

اردبیل نخستین استانی است که بذر مینی‌تیوبر را به روش هواکشت تولید می‌کند، بذری عاری از ویروس و عوامل بیماری‌زا که راندمان بالایی نیز دارد (Anon, 2009). بذر مینی‌تیوبر در استان اردبیل تاکنون از طریق سیستم خاکی تأمین می‌شد که در یک مترمربع فقط ۲۰۰ تا ۳۰۰ عدد بذر تولید می‌شد، اما با روش هواکشت می‌توان ۱۶۰۰ تا ۲۷۰۰ بذر مینی‌تیوبر تولید کرد (Anon, 2010). بنابراین، با توجه به اهمیت کمی و کیفی تولید مینی‌تیوبر سیب‌زمینی در استان اردبیل، ضرورت دارد برای تحلیل و مقایسه کارایی و بهینه‌سازی نهاده‌ها و

تحلیل هزینه و سودآوری ابزاری برای ارزیابی دقیق کمی و کیفی سود و زیان‌های اجتماعی پروژه با واحدهای پولی رایج است.

یکی از بهترین ملاک‌های ارزیابی پروژه‌های سرمایه‌گذاری، روش ارزش خالص جاری است. تکنیک کارا هزینه‌ها را برای تولید مقدار معینی از کالا به حداقل و تولید را با توجه به مقادیر مشخصی از عوامل آن به حداکثر می‌رساند (Garahbaghyan, 2007). کشت سیب‌زمینی در ایران در دو قرن پیش مرسوم گردیده و تدریجاً توسعه یافته است، به‌طوری‌که در اوائل دهه ۱۳۴۰ سطح زیرکشت این محصول ۳۳۰۰۰ هکتار بوده است. در طول سه دهه اخیر سیب‌زمینی جایگاه ویژه‌ای در الگوی تغذیه مردم کشور پیدا کرده و موجب توسعه سطح زیرکشت محصول تا حدود ۱۶۰۰۰۰ هکتار با متوسط عملکرد ۲۱/۵ تن غده در هکتار شده است (Anon, 2009).

روش رایج در کشور برای تولید مینی‌تیوبر سیب‌زمینی، کشت در بستر جامد است (Mayeli et al., 2003)؛ تولید ریزغده در داخل خاک روشی است با هزینه بالا و عملکرد پایین. اما اخیراً روشی جدید به نام سیستم هواکشت^۱ برای تولید ریزغده به‌کار گرفته شده است (Mohammadi & Omid, 2010). کشت ایروپونیک ویژگی‌های خاص دارد که آن را به‌عنوان روشی کارآمد در تولید محصولات گیاهی معرفی می‌نماید (Hassanpanah, 2011). به برخی از ویژگی‌ها می‌توان این‌گونه اشاره کرد: توان عملیاتی بالا با مصرف کمتر محلول غذایی، کنترل هرچه بیشتر محیط گیاهی، و بهبود شیوه تغذیه (Hassanpanah, 2010). آئروپونیک، در واقع فرآیندی از رشد گیاه در محیطی از مه، بدون استفاده از خاک یا هر بستر دیگری است. این روش جدید برای تولید بیشتر فرآورده‌های گیاهی و افزایش سرعت رشد گیاه است. این تکنولوژی (سیستم هواکشت)

عملکرد، به‌ویژه تحلیل انرژی سیستم‌های موجود در کشور و استان اردبیل صورت گیرد.

ساعت در روز کار می‌کند، بنابراین انرژی مصرفی روزانه هر اتوکلاو نیز به‌طور متوسط ۴۵ کیلووات ساعت خواهد بود. بنابراین، مصرف انرژی هر اتوکلاو در هر روز معادل ۵۴۰ مگاژول و برای دو دستگاه معادل ۱۰۸۰ مگاژول در روز برآورد گردید. هر دستگاه تصفیه‌کن آب با متوسط توان مصرفی، ۱۷ وات در ساعت برق مصرف می‌کند. مصرف روزانه این دستگاه معادل ۰/۴ کیلووات در روز خواهد شد که با لحاظ کردن ۱۲ مگاژول انرژی هر کیلووات-ساعت انرژی مصرفی دستگاه معادل ۴/۹۲ مگاژول در روز برآورد گردید. هر دستگاه آب‌مقطرگیر برای هر بار تقطیر به‌طور متوسط ۱۵ کیلووات ساعت مصرف می‌کند که با کارکرد متوسط روزانه ۵ ساعت مصرف روزانه معادل ۷۵ کیلووات ساعت خواهد شد. با لحاظ کردن ۱۲ مگاژول انرژی به‌ازای هر کیلووات ساعت، انرژی مصرفی هر دستگاه معادل ۹۰۰ مگاژول در روز برآورد گردید. متوسط توان مصرفی هات‌پلت ۱۲۰۰ وات است (Eismin, 2013) که با لحاظ کردن ۸ ساعت کار در روز و با توجه به محاسبات کیتانی هر هات‌پلت معادل ۱۱۵/۲ مگاژول در روز و برای دو دستگاه در مجموع ارزش انرژی معادل ۲۳۰/۴ مگاژول در روز به‌دست آمد.

در هر روز امکان کشت بافت حدود ۶۰۰ تا ۷۰۰ گیاهچه در اتاق استریل و کشت بافت گلخانه مورد مطالعه وجود دارد، بنابراین طی دو روز کاری تمامی کشت‌های یک دوره برای هر دو سیستم انجام می‌گیرد. به‌همین دلیل در برآوردها برای یک سال با لحاظ کردن ۳ دوره در سال، طی ۶ روز کاری کشت بافت در لوله‌های آزمایشگاهی به اتمام می‌رسد. جدول ۱ تجهیزات انرژی‌خواه در اتاق استریل و کشت بافت گیاهی را با ارزش انرژی آنها نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵ در مجتمع گلخانه‌ای به‌پرور سبلان اجرا شد.

انرژی‌های ورودی

انرژی ورودی مستقیم اتاق استریل و کشت بافت

هر یخچال معمولی و آزمایشگاهی با کارکرد ۲۴ ساعته در روز به‌طور متوسط معادل ۱۶-۲۲ کیلووات ساعت برق مصرف می‌کنند. بنابراین، با توجه به مارک و کاتالوگ‌های شرکت فاطرالکترونیک برای یخچال فریزر مصرف برق روزانه ۱۶ کیلووات ساعت و برای یخچال آزمایشگاهی ۲۲ کیلووات ساعت برآورد گردید، بدین‌سان میانگین انرژی مصرفی هر دو یخچال ۱۹ کیلووات ساعت منظور گردید. با احتساب معادل انرژی برق ۱۲ مگاژول انرژی هر کیلووات-ساعت (Kitani, 1999) و با توجه به میانگین تعداد ساعات مصرفی در روز، میانگین انرژی مصرفی برای یخچال آزمایشگاهی معادل ۲۶۴ مگاژول در روز و برای یخچال فریزر ۱۹۲ مگاژول در روز برآورد گردید. همچنین با توجه به اینکه توان مصرفی ترازوی آزمایشگاهی ۲۲۰ وات در ساعت است. با لحاظ کردن کارکرد روزانه ۵ تا ۱۲ ساعت در روز (میانگین ۸ ساعت در روز)، و با احتساب معادل انرژی هر کیلووات ساعت (۱۲ مگاژول بر کیلووات ساعت)، انرژی معادل ترازوها معادل ۲۱/۱۲ مگاژول در روز برآورد گردید. هر اتوکلاو بین ۵۰ تا ۹۰ کیلووات قدرت مصرفی دارد و به‌طور متوسط ۵ تا ۱۲

جدول ۱- مصرف سالیانه انرژی تجهیزات اتاق استریل و کشت بافت

تجهیزات	تعداد	مقدار انرژی (مگاژول بر ساعت)	ارزش (مگاژول بر سال)
یخچال آزمایشگاهی	۱	۲۶۴	۱۵۸۴
یخچال فریزر	۱	۱۹۲	۱۱۵۲
اتوکلاو ایستاده ۷۵ لیتری	۲	۱۰۸۰	۶۴۸۰
ترازوی حساس با دقت ۰/۰۱ گرم	۱	۲۱/۱۲	۱۲۶/۷۲
ترازوی حساس با دقت ۰/۰۰۱ گرم	۱	۲۱/۱۲	۱۲۶/۷۲
دستگاه صنعتی تصفیه‌کن	۱	۴/۹۲	۲۹/۵۲
دستگاه آب مقطرگیر	۱	۹۰۰	۵۴۰۰
هات پلت	۲	۲۳۰/۴	۱۳۸۲/۴
جمع کل		۲۷۱۳/۵۶	۱۶۲۸۲/۳۶

انرژی ورودی مستقیم اتاق رشد

به‌طور میانگین هر هود آزمایشگاهی روزانه با کارکرد ۲۴ ساعتی معادل ۱۱۵ kw-h برق مصرف می‌کند، بنابراین روزانه به‌طور میانگین معادل ۱۳۸۰ مگاژول انرژی مصرف خواهد نمود. همچنین هر کولر گازی برای فضای ۷۵ مترمکعب و در حالت بیشینه حدود ۲۰۰۰ وات-ساعت و در حالت کمینه حدود ۳۰۰ وات-ساعت برق مصرف می‌کند (Moghadari, 2015). به بیان دیگر، هر کولر گازی به‌طور میانگین حدود معادل ۱/۱۵ کیلووات ساعت برق مصرف می‌کند. بنابراین با احتساب ۱۲ ساعت کارکرد روزانه، برق مصرفی هر کولر گازی معادل ۱۳/۸ کیلووات ساعت خواهد بود، انرژی مصرفی هر کولر در یک روز کاری معادل ۱۶۵/۶ مگاژول خواهد شد که با ضرب کردن این معادل انرژی در تعداد کولرهای نصب شده در اتاق رشد،

انرژی مصرفی معادل ۶۶۲/۴ مگاژول برآورد گردید. هر لامپ مهتابی فلورسنت اسرام ۱۸ وات ساعت برق مصرف می‌کند، بنابراین با احتساب تعداد لامپ‌ها، برق مصرفی معادل ۴/۵۴ کیلووات ساعت خواهد بود که با لحاظ کردن انرژی معادل ۱۲ مگاژول بر کیلووات ساعت، انرژی مصرفی لامپ‌های اتاق رشد با احتساب ۲۴ ساعت روشنایی معادل ۱۳۰۶/۳۶ مگاژول بر روز خواهد شد. گیاهچه‌ها در ۴ تا ۵ هفته امکان انتقال به گلخانه مورد مطالعه را دارند بنابراین در هر دوره به‌طور میانگین ۳۰ روز مدت‌ماند گیاهچه‌ها در اتاق رشد است که با احتساب ۳ دوره رشد در سال، ۹۰ روز در سال اتاق رشد برای این سه دوره فعال خواهد بود. جدول ۲ تجهیزات انرژی خواه و معادل انرژی برآوردی آنها را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مصرف سالیانه انرژی تجهیزات اتاق رشد

تجهیزات	تعداد	مقدار انرژی (مگاژول بر روز)	ارزش (مگاژول بر سال)
هود لامینار	۴	۱۳۸۰	۱۲۴۲۰۰
مهتابی های اسرام	۲۵۲	۱۳۰۶/۳۶	۱۱۷۵۷۲/۴
کولر گازی	۴	۶۶۲/۴	۵۹۶۱۶
جمع کل		۳۳۴۸/۷۶	۳۰۱۳۸۸/۴

مصرفی مواد در اتاق کشت بافت و گلخانه هواکشت مقدار یا ارزش انرژی مواد شیمیایی مصرفی برآورد گردید. جدول ۳ مقدار مصرف مواد شیمیایی در اتاق استریل/کشت بافت و گلخانه ائرویدینامیک را با ارزش انرژی آنها و جدول ۴ مصرف سالیانه انرژی مواد شیمیایی در کشت هوایی را نشان می‌دهد.

$$\text{Mj/kg} = \text{Heat of Combustion (kj/mol)} \times \frac{1}{\text{Molar mass (g/mol)} \times 1000 \text{g/1kg} \div 1000 \text{kj/mj}} \quad (1)$$

انرژی ورودی غیرمستقیم اتاق استریل و کشت بافت برای محاسبه جرم مولی^۱ از نرم‌افزار محاسبه‌گر جرم‌مولی آنلاین استفاده شد. و همچنین برای برآورد ارزش حرارتی^۲ هر ماده مصرفی از نرم‌افزارهای محاسبه‌گر آنلاین و همچنین از جداول استاندارد آنتالپی عناصر استفاده شد. سپس بر اساس رابطه ۱ انرژی ویژه^۳ هر یک از عناصر مصرفی محاسبه شد. در نهایت با ضرب کردن ارزش حرارتی هر یک از مواد شیمیایی در مقدار

جدول ۳- مصرف سالیانه انرژی مواد شیمیایی در اتاق استریل و کشت بافت

مقدار انرژی ^۱ (مگاژول بر سال)	انرژی ویژه ^۲ (مگاژول بر کیلوگرم)	ارزش حرارتی ^۳ (کیلوژول بر مول)	جرم مولی ^۴ (گرم بر مول)	مقدار ^۵ (کیلوگرم)	نهادها ^۶
۴/۱۲	۴/۱۲	۳۳۰	۸۰/۰۴۳۴	۱	NH ₄ NO ₃
۱۹/۴۸	۴/۸۷	۴۹۲/۹	۱۰/۱/۱۰۳۲	۴	KNO ₃
۰/۰۱۵	۵۱/۳۰	۳۱۷۲/۵	۶۱/۸۳۳۰	۰/۰۰۰۳	H ₃ BO ₃
۰/۰۰۰۳	۱/۸۸	۳۱۲/۸۵	۱۶۵/۹۹۸	۰/۰۰۰۲	KL
۰/۰۰۱۲	۶/۰۷	۱۳۳۹	۲۱۸/۹۷۷۹	۰/۰۰۰۲	NaMoO ₄ ·2H ₂ O
۰/۰۰۰۱	۰/۹۰	۱۹۸	۲۱۹/۰۷۵۷	۰/۰۰۰۲	CaCl ₂ ·6H ₂ O
۲/۲۸	۰/۷۶	۱۱۱/۷	۱۴۷/۰۱۴۶	۳	CaCl ₂ ·2H ₂ O
۲۵/۹	۱۰/۳۶	۲۵۵۳/۱	۲۴۶/۴۷۴۶	۲/۵	MgSO ₄ ·7H ₂ O
۲۰/۳۵	۸/۱۴	۱۳۷۶/۵	۱۶۹/۰۱۵۹	۰/۵	MnSO ₄ ·H ₂ O
۱۶/۰۵	۱۰/۷۰	۳۰۷۷/۷۵	۲۸۷/۵۴۹۶	۱/۵	ZnSO ₄ ·7H ₂ O
۰/۰۰۱	۶/۷۴	۱۶۸۴/۳	۲۴۹/۶۸۵۰	۰/۰۰۰۲	CuSO ₄ ·5H ₂ O
۵/۲۲	۳/۴۸	۲۸۶	۸۲/۰۱۰۱۰	۱/۵	Na ₂ EDTA·2H ₂ O
۱۴/۲۶	۹/۵۱	۲۱۲۹/۲	۲۲۳/۹۶۸۷	۱/۵	FeSO ₄ ·4H ₂ O
۴/۷۱	۴۷/۱۴	۱۵۸۹/۹	۳۳/۲۶۸۵	۰/۰۱	C ₁₂ H ₁₈ C ₁₂ N ₄ O ₈ S
۲/۲۲	۲۲/۱۸	۲۷۳۰/۶۷	۱۲۳/۱۰۹۴	۰/۰۱	C ₆ NH ₅ O ₂
۰/۰۱۲	۱/۲۱	۲۰۵/۶۳	۱۶۹/۱۷۷۸	۰/۰۱	C ₈ H ₁₁ NO ₃
۰/۷۰۳	۷/۰۳	۵۲۷/۵	۷۵/۰۶۶۶	۰/۱	C ₂ H ₅ NO ₂
۰/۵۴	۱۰/۷۲	۱۹۳۱/۰۳	۱۸۰/۱۵۵۹	۰/۰۵	C ₆ H ₁₂ O ₆
۱۱/۷۳	۱۱/۷۳	۴۶۹/۱۵	۳۹/۹۹۷۱۱	۱	Na OH
۶/۵۰	۶/۵۰	۲۲۲۵/۴۷	۳۴۲/۲۹۶۵	۱	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁
۴/۵۸	۴/۵۸	۱۶۷/۲	۳۶/۴۶۰۹	۱	HCl
۷/۸	۰/۷۸	۲۶۲/۱۴	۳۳۶/۳۳۵۰	۱۰	C ₁₄ H ₂₄ O ₉
۱۴۸۷/۵	۲۹/۷۵	۱۳۷۰/۷	۴۶/۰۶۸۴	۵۰	C ₂ H ₆ O
۱۶۳۳/۹۷۲۶					جمع کل

- 1- Molar Mass
- 3- Specific Energy
- 5- Consumption
- 7- Heat of Combustion
- 9- Value

- 2- Heat of Combustion
- 4- Input
- 6- Molar Mass
- 8- Specific Energy

جدول ۴- مصرف سالیانه انرژی مواد شیمیایی در کشت هوایی

مقدار انرژی (مگاژول بر سال)	انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم)	ارزش حرارتی (کیلوژول بر مول)	جرم مولی (گرم بر مول)	مقدار (کیلوگرم)	نهادها
۰/۰۱۶۲	۰/۸۱	۲۴۸/۸	۳۰۶/۱۱۲۹	۲۰	Ca(NO ₃) ₄ H ₂ O
۰/۰۰۶۸	۰/۳۴	۳۴/۸۹	۱۰۱/۱۰۳۲	۲۰	KNO ₃
۹/۴۹	۹/۴۹	۱۲۹۲/۱	۱۳۶/۰۸۵۵	۱	KH ₂ PO ₄
۸/۲۵	۸/۲۵	۱۴۳۷/۷	۱۷۴/۲۵۹۲	۱	K ₂ SO ₄
۱۰/۳۶	۱۰/۳۶	۲۵۵۳/۱	۲۴۶/۴۷۴۶	۱	MgSO ₄ ·۷H ₂ O
۱۶/۶	۸/۳۰	۸۱۴	۹۸/۰۷۸۵	۲	H ₂ SO ₄
۰/۷۴	۱۴/۷۲	۸۲۲/۲	۵۵/۸۴۵۰	۰/۰۵	FeEDTA
۲۴/۴۸	۲۴/۴۸	۳۳۸۷/۷	۱۳۸/۳۸۲۹	۱	MnSO ₄ ·H ₂ O
۱۷/۶۹	۱۷/۶۹	۱۰۹۴/۱	۶۱/۸۳۳۰	۱	H ₃ BO ₃
۱۰/۷۰	۱۰/۷۰	۳۰۷۷/۷۵	۲۸۷/۵۴۹۶	۱	ZnSO ₄ ·۷H ₂ O
۰/۲۵	۵/۰۴	۱۲۱۹	۲۴۱/۹۶۷۷	۰/۰۵	Na ₂ MoO ₄ ·۲H ₂ O
۰/۳۱	۰/۳۱	۷۸/۲	۲۴۹/۶۸۵۰	۱	CuSO ₄ ·۵H ₂ O
۹۸/۸۹۳					جمع کل

شاخص انرژی ویژه^۴ = مجموع انرژی ورودی
(مگاژول/واحد)/عملکرد غده (۴)

شاخص انرژی خالص تولیدی^۵ = انرژی خروجی
(مگاژول/واحد) - انرژی ورودی (مگاژول/واحد) (۵)

شاخص‌های انرژی

به‌منظور برآورد شاخص‌های انرژی به‌صورت سالیانه، دوره و غده در هر دو سیستم کشت از چهار شاخص انرژی به‌صورت روابط ریاضی ۲ تا ۵ استفاده گردید (Khan & Singh, 1996; Mandal *et al.*, 2002; Khan *et al.*, 2004; Yilmaz *et al.*, 2005; Mohammadi, 2008).

نتایج و بحث

برآورد انرژی ورودی مستقیم و غیرمستقیم گلخانه

سیستم‌های کشت خاکی و هواکشت

در سیستم کشت خاکی، سطح کاری گلخانه ۴۰۰۰ مترمربع از ۴۱۲۰ مترمربع سطح کاری و در سیستم اثرودینامیک ۱۲۰ مترمربع از ۴۱۲۰ مترمربع سطح کل است که با استفاده از معادل انرژی‌های ورودی برای کشت گلخانه‌ای محصولات در ایران و تبدیل آن به سطح کاری

شاخص راندمان انرژی^۱ =

مجموع انرژی خروجی (مگاژول/واحد) /
مجموع انرژی ورودی (مگاژول/واحد) (۲)

شاخص بهره‌وری انرژی^۳ = عملکرد غده /
مجموع انرژی ورودی (مگاژول/واحد) (۳)

1- Energy Efficiency
3- Energy Productivity
5- Net Energy

۲- منظور از واحد (سالیانه/دوره/غده) می‌باشد.

4- Specific Energy
6- Pesticide

به نسبت ۱ به ۱۶ در نظر گرفته شد. حجم آب و آبیاری نیز به نسبت ۱:۳ به دلیل پاشش مستقیم به ریشه‌ها تقلیل می‌یابد (کاهش نیاز آبی از حدود ۳۷۱۶ لیتر به ۱۰۰۰ لیتر). بنابراین، انرژی مورد نیاز برای آب و آبیاری نیز به نسبت ۱ به ۳ کشت گلخانه‌ای معمولی در نظر گرفته شد و طبق جداول ۵ و ۶ برآورد گردید.

در هر دو سیستم گلخانه‌ای، معادل انرژی‌های ورودی مستقیم و غیرمستقیم به شرح جدول‌های ۵ و ۶ برآورد گردید (Mohammadi, 2008; Taki, 2012). در سیستم هواکشت کارگر تقریباً به ۱:۱۶ تقلیل می‌یابد و فقط یک کارگر برای کنترل کار و برداشت غده‌ها کافی است، بنابراین، هزینه کارگری در سیستم هواکشت

جدول ۵- مصرف انرژی سالیانه تولید مینی توپر سیبزمینی در سیستم کشت‌خاکی

تیپ انرژی	نهاده‌های اصلی	انرژی کل (مگاژول)	درصد انرژی
غیرمستقیم	سموم شیمیایی ^۱	۶۸۶/۲۴	۲
	تجهیزات و ماشین ^۲	۱۳۵۵/۶	۴
	کود ^۳	-	-
جمع انرژی غیرمستقیم		۲۰۴۱/۸۴	۶
مستقیم	کارگر ^۴	۴۵۵۹/۱۲	۱۴
	سوخت ^۵	۱۸۸۴۲/۷۶	۵۸
	الکتریسیته ^۶	۵۷۲۶/۴	۱۷/۵
	آب و آبیاری ^۷	۱۵۱۶/۱۲	۴/۵
	جمع انرژی مستقیم		۳۰۶۴۴/۴
جمع کل		۳۲۶۸۶/۲۴	۱۰۰

جدول ۶- مصرف انرژی سالیانه تولید مینی توپر سیبزمینی در سیستم هواکشت

تیپ انرژی	نهاده‌های اصلی	انرژی کل (مگاژول)	درصد انرژی
غیرمستقیم	سموم شیمیایی	۲۰/۵۸	۲/۵
	تجهیزات و ماشین	۴۰/۶۷	۵
	کود	-	-
جمع انرژی غیرمستقیم		۶۱/۲۵	۷/۵
مستقیم	کارگر	۸/۵۵	۱
	سوخت	۵۶۲/۲۸	۶۸/۵
	الکتریسیته	۱۷۱/۷۹	۲۱
	آب و آبیاری	۱۵/۱۶	۲
	جمع انرژی مستقیم		۷۵۷/۷۸
جمع کل		۸۱۹/۰۳	۱۰۰

1- Pesticide
3- Fertilizer
5- Diesel Fuel
7- Water for Irrigation

2- Machinery
4- Human Power
6- Electricity

انرژی‌های ورودی مستقیم و غیرمستقیم
 در کشت خاکی گلخانه مورد مطالعه سالانه ۳ بار برداشت مینی تیوبر که ۹۰ روزه است، حدود ۶۰۰۰ تا ۷۰۰۰ مینی تیوبر برداشت می‌شود و در کشت ائرو دینامیک حدود ۲۱۶۰۰۰ مینی تیوبر برداشت می‌گردد. بنابراین، به‌منظور تعیین انرژی ورودی مستقیم و غیرمستقیم اتاق استریل و اتاق کشت بافت، مجموع انرژی‌های مصرفی مستقیم و غیرمستقیم بر حسب سطح کاری هر دو سیستم هواکشت و کشت خاکی بر حسب سالیانه، دوره و غده محاسبه و در جدول ۷ برآورد گردید.

جدول ۷- انرژی ورودی برآوردی مستقیم و غیرمستقیم اتاق استریل/ کشت بافت در هر دو سیستم کشت معمولی و هواکشت به تفکیک (سالانه/دوره/غده)

درصد انرژی	مقدار انرژی (مگاژول)						تیپ انرژی
	غده		دوره		سالانه		
	معمولی	هواکشت	معمولی	هواکشت	معمولی	هواکشت	
۹۱	۰/۰۰۰۷	۰/۸۱	۱۵۸/۰۷	۵۲۶۹/۰۵	۴۷۴/۲۱	۱۵۸۰۷/۱۴	مستقیم
۹	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۸۱	۱۵/۸۶	۵۲۸/۷۹	۴۷/۵۹	۱۵۸۶/۳۸	غیر مستقیم
۱۰۰	۰/۰۰۰۷۷	۰/۸۹	۱۷۳/۹۳	۵۷۹۷/۸۴	۵۲۱/۸	۱۷۳۹۳/۵۲	جمع کل

مصرف سالیانه انرژی مستقیم اتاق رشد در جدول ۲ به‌صورت روزانه و سالیانه برآورد گردیده است که براساس برآوردهای این جدول و سطح کاری هر دو سیستم هواکشت و کشت خاکی میزان انرژی مصرفی مستقیم به‌صورت سالیانه، دوره و غده در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸- انرژی ورودی برآوردی مستقیم و غیرمستقیم اتاق رشد در هر دو سیستم کشت معمولی و هواکشت به تفکیک (سالانه/دوره/غده)

درصد انرژی	مقدار انرژی (مگاژول)						تیپ انرژی
	غده		دوره		سالانه		
	معمولی	هواکشت	معمولی	هواکشت	معمولی	هواکشت	
۰/۰۱۳	۱۵	۲۹۲۶/۱	۹۷۵۳۶/۷	۸۷۷۸/۳۰	۲۹۲۶۱۰/۱۰	مستقیم	
-	-	-	-	-	-	غیر مستقیم	
۰/۰۱۳	۱۵	۲۹۲۶/۱	۹۷۵۳۶/۷	۸۷۷۸/۳۰	۲۹۲۶۱۰/۱۰	جمع کل	

مصرف انرژی سالیانه مستقیم و غیرمستقیم سیستم کشت خاکی از جدول ۵ بر اساس سطح کاری کشت خاکی (۴۰۰۰ مترمربع) به صورت سالیانه، دوره و غده برآورد گردید. همچنین مصرف انرژی سالیانه مستقیم و غیرمستقیم کشت هوایی برای سطح کاری ۱۲۰ مترمربع به صورت سالیانه، دوره و غده برآورد گردید. خلاصه برآوردها در جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۹- انرژی ورودی برآوردی مستقیم و غیر مستقیم گلخانه در هر دو سیستم کشت معمولی و هواکشت به تفکیک (سالانه/دوره/غده)

درصد انرژی	مقدار انرژی (مگاژول)						تیپ انرژی
	غده		دوره		سالانه		
	معمولی	هواکشت	معمولی	هواکشت	معمولی	هواکشت	
۸۷	۰/۰۰۱۷	۱/۵۷	۲۵۲/۵۹	۱۰۲۱۴/۸	۷۵۷/۷۸	۳۰۶۴۴/۴	مستقیم
۱۳	۰/۰۰۰۲۵	۰/۱	۵۳/۳۸	۶۸۰/۶۱	۱۶۰/۱۴۳	۲۰۴۱/۸۴	غیر مستقیم
۱۰۰	۰/۰۰۱۹۵	۱/۶۷	۳۰۵/۹۷	۱۰۸۹۵/۴۱	۹۱۷/۹۲۳	۳۲۶۸۶/۲۴	جمع کل

میانگین عملکرد غده در هر دوره کشت خاکی معادل ۶۷۰/۳۲ کیلوگرم بر سال و در کشت ائرو دینامیک ۵۳۲۰/۰۸ کیلوگرم بر سال شده است که با ضرب کردن هر کیلوگرم عملکرد مینی تیوبر بر میانگین ارزش غذایی ۲/۸۰ مگاژول بر کیلوگرم، انرژی خروجی در کشت خاکی معادل ۱۸۷۶/۸۹۶ مگاژول بر کیلوگرم در سال و در کشت ائرو دینامیک معادل ۱۴۸۹۶/۲۲۴ مگاژول بر کیلوگرم در سال به دست می آید. شرح کامل عملکرد و معادل انرژی خروجی در جدول های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.

انرژی خروجی

در کشت خاکی گلخانه مورد مطالعه حدود ۶۰۰۰ تا ۷۰۰۰ مینی تیوبر برداشت می شود و در کشت ائرو دینامیک سالانه حدود ۲۱۶۰۰۰ مینی تیوبر برداشت می گردد که با احتساب انرژی معادل سیب زمینی که بین ۲/۴۰ - ۳/۲۰ مگاژول بر کیلوگرم (میانگین ۲/۸۰ مگاژول بر کیلوگرم) است (Green, 1978; Pimentel & Pimentel, 1996) و با لحاظ کردن میانگین وزنی مینی تیوبرها در بستر جامد که معادل ۳۱/۹۲ گرم و در بستر ائرو دینامیک ۸/۲۱ گرم است (Mayeli et al., 2003).

جدول ۱۰- مقدار محصول برآوردی سیستم کشت معمولی و هواکشت به تفکیک (سالانه/دوره/غده)

مقدار محصول (کیلوگرم)					
غده		دوره		سالانه	
معمولی	هواکشت	معمولی	هواکشت	معمولی	هواکشت
۰/۰۰۸۲	۰/۰۳۲	۱۷۷۴/۳۶	۲۲۳/۴۴	۵۳۲۰/۰۸	۶۷۰/۳۲

جدول ۱۱- انرژی خروجی برآوردی سیستم کشت معمولی و هواکشت به تفکیک (سالانه/دوره/غده)

مقدار انرژی (مگاژول)					
غده		دوره		سالانه	
هواکشت	معمولی	هواکشت	معمولی	هواکشت	معمولی
۰/۰۲۲۹۶	۰/۰۸۹۶	۴۹۶۵/۴۰۸	۶۲۵/۶۳۲	۱۴۸۹۶/۲۲۴	۱۸۷/۸۹۶

شاخص‌های انرژی
 به‌منظور برآورد شاخص‌های انرژی به‌صورت سالانه، استفاده گردید و خلاصه نتایج برآوردی شاخص‌های انرژی دوره و غده در هر دو سیستم کشت از چهار شاخص انرژی در جدول ۱۲ نشان داده شده است.

جدول ۱۲- شاخص‌های برآوردی در سیستم کشت معمولی و هواکشت به تفکیک (سالانه/دوره/غده)

محیط کشت	راندمان انرژی	کارایی انرژی	انرژی ویژه	انرژی خالص تولیدی
یکسال	۰/۰۰۰۵۵	۰/۰۰۱۹	۵۱۱/۲۳	-۳۴۲۵۰/۱۹۶
کشت معمولی	دوره	۰/۰۰۱۹	۵۱۱/۲۳	-۱۱۳۶۰۴/۳۲
هر غده	۰/۰۰۵۱	۰/۰۰۱۸	۵۴۸/۷۵	-۱۷/۴۷
یکسال	۱/۴۶	۰/۵۲	۱/۹۲	۴۶۷۸/۲۰
کشت هواکشت	دوره	۰/۵۲	۱/۹۲	۱۵۵۹/۴۱
هر غده	۱/۴۶	۰/۵۲	۱/۹۲	۰/۰۰۷۲

علیپور و همکاران (Alipour *et al.*, 2012) و لقمان‌پور زرینی (Loghmanpour-Zarini, 2013) مطابقت دارد. ولی در سیستم ائروپونیک شاخص انرژی خالص مثبت و وضعیت مطلوب‌تری نسبت به سیستم کشت خاکی دارد. در سیستم هواکشت دسترسی به ریشه امکان‌پذیر است، ریشه در هوا و بدون فشار مکانیکی رشد می‌کند، به‌خوبی تهویه و باعث افزایش محصول می‌شود (Gaeis & Allmen, 1997). در این سیستم به‌علت دسترسی آسان به ریشه می‌توان مینی‌تیوبرهای تولید شده را برداشت کرد. از این روش کاشت با موفقیت برای تولید مینی‌تیوبر سیب زمینی استفاده شده است (Nichols *et al.*, 2004; Nugaliyadde *et al.*, 2005a; Farran *et al.*, 2006; Hassanpanah, 2010). با توجه به بررسی‌هایی که در مورد سیستم‌های مختلف تولید بذر سیب‌زمینی شده است

با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول شاخص‌های انرژی می‌توان گفت که راندمان انرژی در سیستم کشت ائروپونیک به مراتب بهتر و بیشتر از راندمان انرژی در سیستم کشت خاکی است. مشابه این شرایط نیز در شاخص کارایی انرژی مشاهده شده است. مصرف انرژی ویژه بسیار بالایی در سیستم کشت خاکی، نسبت به سیستم ائروپونیک، مشاهده می‌شود که بیانگر عملکرد پایین این سیستم در تولید مینی‌تیوبر در قبال مصرف انرژی است که برای تولید اختصاص یافته است. در شاخص انرژی خالص نیز متأسفانه در سیستم کشت خاکی، وضعیت مشابه با وضعیت در سایر تولیدات گلخانه‌ای ایران است به‌طوری‌که نتایج به‌دست آمده از این شاخص با نتایج شاخص انرژی خالص تاکی (Taki, 2012)، قهدریجانی (Ghahderijani, 2013)،

به سیستم هواکشت بود. ایده‌آل‌ترین حالت مثبت سالیانه و دوره‌ای به روش تاپسیس از لحاظ شش شاخص اقتصادی-انرژی‌تیک، سیستم هواکشت به‌دست آمد و همچنین بر حسب غده نیز ایده‌آل‌ترین حالت مثبت از لحاظ شاخص‌های فوق سیستم معمولی به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که سیستم ائروپونیک از لحاظ شاخص‌های انرژی سالیانه، دوره و غده از مزیت و مطلوبیت بهتری برخوردار است. بنابراین این سیستم را می‌توان یکی از سیستم‌های کارا از لحاظ انرژی‌تیک برای تولید مینی‌تیوبر سیب‌زمینی پیشنهاد کرد.

می‌توان نتیجه گرفت که در میان آنها سیستم هواکشت به‌دلایل زیر بهترین روش است: نیاز آبی در این سیستم حدود ۱۰ درصد نیاز آبی گیاهان مشابه در کشاورزی معمولی است (Masengesho *et al.*, 2005)؛ سیستم‌های تولید هواکشت مینی‌تیوبر بسیار کارا و ارزان هستند؛ غده‌های زیاد با هزینه‌ای نسبتاً پایین تولید می‌شود (Nugaliyadde *et al.*, 2005b) و محصول سیستم هواکشت نسبت به محصول سایر سیستم‌ها ۱۰ برابر بیشتر است (Saeedi, 2010). شنوایی اصل (Shenavaei-Asl, 2015) در گزارش خود هزینه متغیر بر حسب غده را در سیستم معمولی حدود ۴۹ درصد بیشتر از هزینه متغیر در سیستم هواکشت برآورد کرد که دلیل آن پایین بودن عملکرد مینی‌تیوبر در سیستم معمولی نسبت

مراجع

- Alipour, A., Veisi, H., Darijani, F., Mirbagheri, B. and Behbahani, A. G. 2012. Study and determination of energy consumption to produce conventional rice of the Guilan province. *Res. Agr. Eng.* 58, 99-106.
- Anon. 2009. Introduction of potato cultivation via air cultivation. Agricultural Organization of Ardabil. Agricultural Organization Pub. Tehran. (in Persian)
- Anon. 2010. Development statistics of potato cultivation. Agricultural Research Station of Ardabil. Brushur. (in Persian)
- Eismin, R. 2013. Power Consumption in the Lab. Available at: www.greeningresearch.com
- Farran, I., Mingo-Castel, A. M. and Castel, A. M. 2006. Potato mini-tuber production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals. *Am. J. Potato Res.* 83(1): 47-53
- Gaeis, C. and Allmen, F. V. 1997. Balance of water and nutrients in tomatoes grown on soilless systems. *Agrarforschung.* 4(1): 125-129.
- Garahbaghyan, M. 2007. Economy of Growth and Development. Vol. 2. 3rd Ed., Nashr-e-Nei Pub. Tehran. (in Persian)
- Ghahderijani, M. 2013. Energy analysis and life cycle assessment of wheat production in Iran. *Afr. J. Agr. Res.* 8(18):1929-1939.
- Green, N. 1978. *Eating Oil: Energy Use in Food Production.* West View Press. Boulder Co.
- Hassanpanah, D. 2010. Study of production probability of mini-tuber in aero-ponic cultivation system and comparing it with normal cultivation system. *Danish-e-Novin Keshavarzi J.* 7(2): 1-10.

- Hassanpanah, D. 2011. Evaluation of the possibility of mini-tuber production in Aeroponic system and comparison with conventional system. *Mod. Sci. Sustain. Agr. J.* 7(2): 1-10. (in Persian)
- Khan, M. A. and Singh, G. 1996. Energy inputs and crop production in western Pakistan. *Energy.* 21, 45-53.
- Khan, M. A., Ahmad, S., Hussain, Z., Yasin, M., Aslam, M. and Majid, R. 2004. Efficiency of water and energy use for production of organic wheat. *J. Sci. Technol. Dev.* 24, 25-29.
- Kitani, A. 1999. *Energy and biomass engineering.* American Society of Agricultural Engineers.
- Loghmanpour-Zarini, R. 2013. A comparative study on energy use of greenhouse and open-field cucumber production systems in Iran. *Int. J. Agr. Crop Sci.* 5, 1437-1441.
- Mandal, K. G., Saha, K. P., Ghosh, P. K. and Hati, K. M., 2002. Bioenergy and economic analysis of 106 soybean-based crop production system in central India. *Biomass Bioenerg.* 23, 337-345.
- Masengesho, J., Nshimiyimana, J. C., Senkesha, N. P. and Sallah. Y. K. 2005. Performance of Irish potato varieties under Aeroponic conditions in Rwanda. *Rwanda J.* 28, 84-94.
- Mayeli, A., Beheshti, B., Bakhoda, H. and Najafi-Mirak, T. 2003. Comparison of growth traits of potato in two aero-ponic systems and cultivation in solid bed. *First National Electronic Agricultural Congress and Sustainable Natural Sources.* Mashhad, Ferdosi.
- Mierzaei, M. 2010. Energy management in agriculture. *Oil Gas Energy J.* 4(19): 124-137.
- Moghadari, R. 2015. Water cooler or gas cooler: which one is economical. *Digiator company.* 12-28.
- Mohammadi, A. 2008. Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. *Energ. Convers. Manage.* 49(12): 3566-3570.
- Mohammadi, A. and Omid, M., 2010. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Appl. Energy.* 87, 191-196.
- Nichols, M., Christie, B., Jegathees, A. and Gibson, J. 2004. Rapid high health seed potato production using aeroponics. Available at: <http://www.maximumyield.com>.
- Nugaliyadde, M. M., Desilva, H., Perera, D., Ariyaratna, A. and Sangakkare, U. R. 2005b. An aeroponic system for the production of pre-basic seeds of potato. *J. Annals Srilanka Department of Ariculture.* 7: p199-208.
- Pimentel, D. and Pimentel, M. 1996. *Food, Energy and Society.* University Press of Colorado.
- Saeedi, A. 2010. *Study Of Actual Seed Production Of Potato Via Air Cultivation System.* Research Project. Agricultural Company of Rooyan Technology. Tehran. (in Persian)
- Shenavaei-Asl, S. 2015. Analyzing and modeling the economical- energetic parameters through two aeroponic and ordinary models in producing minituber complex in potato cultivated in Ardebil the method Topsis. M. Sc. Thesis. Plant Breeding. Islamic Azad University. Ardabil Branch.

تحليل و مقایسه انرژی دو سامانه هواکشت و معمولی در ...

Taki, M. 2012. Energy consumption, input output relationship and cost analysis for greenhouse productions in Esfahan province of Iran. *Am. J. Exp. Agr.* 2(3): 485-501.

Yilmaz, I., Akcaoz, H. and Ozkan, B. 2005. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renew. Energ.* 30, 145-155.



Analysis and Comparison of Energy of Two Aeroponic and Ordinary Systems in Producing *Solanum Tuberosum* L. Mini-Tubers

S. Gharibi-Asl*

* Corresponding Author: Department of Agriculture, Ardebil Branch, Islamic Azad University, Ardebil, Iran.

Email: siamakgharibi@gmail.com

Received: 20 October 2016, Accepted: 11 February 2016

Solanum Tuberosum L. is considered as the fourth important crop of the world. Ardebil is the first province in producing mini-tubers by aeroponic technique, which is free from microbes and viruses and has high productivity ratio. In this regard, an experiment was conducted in Ardebili Greenhouse Complex in 2016 to analyze and compare the energy of aeroponics and ordinary systems in producing *Solanum Tuberosum* L. mini-tubers. Results showed that energy ration (ER) is relatively higher in aeroponics system than the one in ordinary system. Similarly the case is same for conditions of energy productivity (EP) index. The very high specific energy consumption was seen in cultivation under soil (ordinary) system as compared to aeroponics system, which indicates the lower efficiency of this system in producing mini-tubers. Unfortunately, the net energy (NE) index in soil (ordinary) system has similar conditions for all other Iran greenhouse products. However, the aeroponics system has positive net energy and therefor is more desirable than soil system. Generally, aeroponics system was found to be more advantage according to annual energy indexes, period, and mini-tuber. Therefore, this system can be suggested as one of stable systems based on energy to produce *Solanum Tuberosum* L. mini-tubers.

Keywords: Aeroponic Systems, Energy Index, Mini-Tubers, Ordinary Systems