

مدل‌سازی و تحلیل حساسیت نهاده‌های انرژی برای تولید سیر در شهرستان لنگرود استان گیلان

اشکان نبوی پله سرایی^۱، رضا عبدی^۲، مرضیه صالحی^۳ و حسن قاسمی مبتکر^۴

چکیده

تعیین الگوی مصرف و ارایه مدل برای آن علاوه بر یافتن میزان نهاده و به دنبال آن انرژی مصرفی، زمینه‌ای برای بهینه‌سازی آن را نیز فراهم می‌کند، که در این پژوهش بررسی می‌شود. میزان کل انرژی ورودی و عملکرد سیر در واحد هکتار به ترتیب برابر با $36616/78$ مگاژول و $14636/53$ کیلوگرم به دست آمدند. با استفاده از تابع لگاریتمی کاب-داگلاس و با توجه به مقادیر ضریب تبیین و ضرایب بتا (β) معادله بین انرژی‌های ورودی و خروجی تعیین شد. بنا به نتایج، از میان ورودی‌ها، اثر انرژی‌های مربوط به نیروی کارگری، کود دامی و بذری برای مدل انرژی در سطح 1% معنی‌دار شد. مقادیر آزمون Durbin-Watson نیز برای مدل برابر با $2/138$ شد که نشان می‌دهد خودهمبستگی معنی‌داری در سطح احتمال 1% بین داده‌ها وجود ندارد. مقدار R^2 نیز برای مدل برابر با $0/99$ محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، انرژی، سیر، تابع کاب-داگلاس

ارجاع: اشکان نبوی پله سرایی، رضا عبدی، مرضیه صالحی و حسن قاسمی مبتکر. ۱۳۹۲. مدل‌سازی و تحلیل حساسیت نهاده‌های انرژی برای تولید سیر در شهرستان لنگرود استان گیلان. مجله پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۶۰-۵۳: (۲)۲.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۲- استادیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۴- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه تبریز.

* نویسنده مسئول: marzie.salehi@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۰۲

مقدمه

با افزایش جمعیت رو به رشد جهان، لزوم تهیه غذا به عنوان مهم‌ترین نیاز اولیه بشر مستلزم تولید بیش‌تر است. با توجه به کمبود زمین‌های قابل کشت، استفاده متراکم‌تر از زمین‌های موجود نیاز به روش‌های نوین تولید دارد. در این راستا مکانیزاسیون ابزاری است قدرتمند، تا بتوان به کمک آن، زمینه‌ای فراهم شود که شرایط بهتری برای رشد محصولات مختلف به وجود آید. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که با رشد مکانیزاسیون و استفاده از مواد شیمیایی در کشاورزی، نسبت انرژی به تدریج کاهش یافته است (بی‌نام، ۲۰۱۳). مقدار انرژی مصرفی در مراحل تولید و توزیع محصولات کشاورزی بسیار بالا است. استفاده مؤثر و کافی از انرژی برای بهبود تولید محصولات کشاورزی امری ضروری است. تولیدات کشاورزی و منابع تأمین غذا به طور مستقیم مرتبط با انرژی مصرفی هستند (استوت، ۱۹۹۰).

مدل رگرسیونی، یک روش ریاضی برای بیان معادله آماری بین دو متغیر است (فرشادفر، ۱۳۸۴). به مدل به دست آمده از تحلیل رگرسیون، تابع تولید گفته می‌شود. تابع تولید نشان دهنده معادله موجود بین منابع تولیدی مورد استفاده یک مؤسسه تولیدی و کالاها یا خدمات به دست آمده در یک زمان واحد است.

پژوهش‌هایی در سال‌های اخیر بر روی مدل‌سازی تولید بعضی از محصولات زراعی و گلخانه‌ای و باغی در ایران و دیگر کشورهای دارای شرایط نزدیک به ایران انجام شده است. در مطالعه مینز و سینگ (۲۰۰۵) بر روی تحلیل حساسیت انرژی‌های ورودی در تولید پنبه در ایالت پنجاب هند، تکنیک برنامه‌ریزی خطی به همراه یک تابع مدل‌سازی برای بهینه‌سازی ورودی‌های انرژی به کار گرفته شد. نتایج تحلیل حساسیت انرژی‌های ورودی نشان داد که افزایش ۱ مگا ژول انرژی سوخت دیزل (در عملیات خاک‌ورزی و وجین) و انرژی کود، به ترتیب باعث افزایش ۰/۰۸۷ و ۰/۰۲۸ کیلوگرم بر هکتار محصول پنبه می‌شود.

مبتکر و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی تحلیل حساسیت انرژی در تولید جو در استان همدان نشان دادند که تابع کاب-داگلاس بهترین برازش را بین انرژی‌های ورودی و محصولات به دست می‌دهد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر تمام انرژی‌های ورودی بجز انرژی بذر و آفت‌کش‌ها بر محصول جو معنی‌دار شد. سماواتیان و

همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای به مدل‌سازی نهاده‌های انرژی در تولید سیر استان همدان پرداختند. نتایج برازش تابع رگرسیونی کاب-داگلاس نشان داد که اثر انرژی‌های مربوط به تمامی نهاده‌ها (بجز کودهای شیمیایی و دامی) بر محصول سیر معنی‌دار است. همچنین انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم و تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر به ترتیب ۱۱۳۴۳، ۲۸۹۶۵، ۱۴۸۰۸ و ۲۵۴۹۹/۶۵ مگاژول بر هکتار محاسبه شد. تاکي و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدل رگرسیون خطی به مدل‌سازی و تحلیل حساسیت نهاده‌های انرژی در تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای پرداختند. نتایج رگرسیونی کاب-داگلاس بیانگر آن بود که اثر انرژی‌های نیروی کارگری، ماشین‌ها، آفت‌کش‌ها و الکتریسیته معنی‌دار بوده و همچنین مقدار آزمون Durbin-Watson برای مدل رگرسیونی برابر با ۱/۸۹ برآورد شد.

در این مطالعه مقدار نهاده‌های مختلف انرژی در تولید محصول سیر تعیین شده و سهم منابع مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر انرژی در تأمین انرژی ورودی مشخص شدند. همچنین روابط بین نهاده‌ها و انرژی خروجی تخمین زده شده و مدل ریاضی مناسب بین انرژی‌های ورودی و خروجی برازش داده شد. در نهایت با توجه به سیر بالای انرژی در تولید سیر راهکارهایی برای مدیریت بهتر و بهره‌وری بالاتر در مصرف انرژی ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

اطلاعات موردنیاز این پژوهش از طریق مراجعه حضوری و تکمیل ۶۰ پرسش‌نامه از سیرکاران روستاهای مختلف شهرستان لنگرود در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ جمع‌آوری شده است. قبل و هنگام تکمیل پرسش‌نامه با صاحب‌نظران منطقه مورد بررسی در اداره جهاد کشاورزی، مراکز خدمات کشاورزی و تعاونی‌های خدمات کشاورزی، مصاحبه‌هایی انجام شد و دیدگاه‌ها و نظرات آنان در مورد وضعیت و مسایل کشت سیر، شیوه ارزیابی خدمات، بازار و سایر مسایل سؤال شد. در این مطالعه از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شده و کشاورزان به طور تصادفی از بین روستاهای منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند. برای تعیین حجم نمونه از فرمول کوکران استفاده شده است (کیزیلاسلان، ۲۰۰۹):

(کیزیلاسلان، ۲۰۰۹). انرژی‌های مستقیم شامل انرژی سوخت‌های فسیلی (بنزین، گازوئیل، CNG و LPG، زغال سنگ و الکتریسیته) و همچنین نیروی کارگری است. انرژی‌های غیرمستقیم در تولید تجهیزات کشاورزی و سایر مصارف کشاورزی استفاده می‌شود. مصارف عمده انرژی غیرمستقیم برای کودها به ویژه کود نیتروژن است. سایر موارد مهم مصرف غیرمستقیم انرژی، ماشین‌های کشاورزی و آفت‌کش‌ها است (کیتانی، ۱۹۹۹). منابع انرژی علاوه بر مستقیم و غیرمستقیم، به منابع انرژی تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر نیز تقسیم می‌شوند. منابع تجدیدنپذیر انرژی شامل ماشین‌ها، سوخت، کودهای شیمیایی و سموم است. از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌توان نیروی کارگری، کودهای دامی و بذر را نام برد.

$$n = \frac{N(s \times t)^2}{(N-1)d^2 + (s \times t)^2} \quad (1)$$

که در آن N، اندازه جامعه آماری یا تعداد کشاورزان (سیر کاران)، t ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t استیودنت به دست می‌آید. S^2 ، برآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه که در این جا واریانس شاخص‌های انرژی در منطقه مورد مطالعه است، d دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) و n حجم نمونه است که در این پژوهش ۴۷ برآورد شد، اما برای اطمینان بیشتر از ۶۰ مورد نمونه‌گیری شد.

نهاده‌های تولید در کشاورزی از دو منبع انرژی استفاده می‌کنند: منابع انرژی مستقیم و منابع انرژی غیرمستقیم

جدول ۱- شدت انرژی نهاده‌های مصرفی در تولید سیر

مرجع	هم‌ارز انرژی (MJ/unit)	واحد	نهاده‌ها
			الف- نهاده
(مبتکر و همکاران، ۲۰۱۲)	۱/۹۶	h	۱- نیروی کارگری
(رفیعی و همکاران، ۲۰۱۰)	۶۲/۷۰	h	۲- ماشین‌ها
(نبوی پله سرائی و همکاران، ۱۳۹۲)	۵۶/۳۱	l	۳- سوخت
		kg	۴- کودهای شیمیایی
(موسوی اول و همکاران، ۲۰۱۱)	۶۶/۱۴		نیتروژن
(آناکیتان، ۲۰۱۰)	۱۲/۴۴		فسفر
(پهلوان و همکاران، ۲۰۱۱)	۱۱/۱۵		پتاسیم
(دمیرکان، ۲۰۰۶)	۰/۳	kg	۵- کوددامی
(کیتانی، ۱۹۹۹)	۱۲۰	kg	۶- سموم
(سماواتیان و همکاران، ۲۰۱۱)	۱/۶	kg	۷- بذر
			ب - ستانده
(سماواتیان و همکاران، ۲۰۱۱)	۱/۶	kg	سیر

$$ER = \frac{\text{Energy Output (MJ ha}^{-1}\text{)}}{\text{Energy Input (MJ ha}^{-1}\text{)}} \quad (2)$$

$$EP = \frac{\text{Garlic output (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Energy Input (MJ ha}^{-1}\text{)}} \quad (3)$$

$$NEG = \text{Energy Output (MJ ha}^{-1}\text{)} - \text{Energy Input (MJ ha}^{-1}\text{)} \quad (4)$$

$$EI = \frac{\text{Energy Input (MJ ha}^{-1}\text{)}}{Y \text{ (kg ha}^{-1}\text{)}} \quad (5)$$

که در آن، ER نسبت انرژی، EP بهره‌وری انرژی (kg/MJ)، E_{out} مقدار انرژی خروجی (MJ/ha)، Y عملکرد محصول (kg/ha)، E_{in} مقدار انرژی ورودی (MJ/ha)، EI شدت انرژی (MJ/kg) و NEG افزوده خالص انرژی (MJ/ha)

در این پژوهش برای تبدیل مقادیر مختلف نهاده به واحدهای انرژی از معادل‌های استاندارد انرژی استفاده شده، که در جدول ۱ به طور کامل تشریح شده است. لازم به ذکر است با توجه به اقلیم منطقه سیستم آبیاری نیز به صورت دیم بوده و فقط متکی به بارش باران است. همچنین بر اساس هم‌ارزهای انرژی نهاده و ستانده که در جدول ۱ آمده است، نسبت (کارایی) انرژی^۱ بهره‌وری انرژی^۲، افزوده خالص انرژی^۳ و انرژی ویژه^۴ به صورت زیر محاسبه می‌شود (مندل و همکاران، ۲۰۰۲):

- 1- Energy Ratio (Energy efficiency)
- 2- Energy Productivity
- 3- Net Energy
- 4- Specific Energy

هستند.

در این پژوهش برای به دست آوردن معادله‌ای مناسب که بتواند مدلی مناسب بین ورودی‌ها و خروجی (انرژی خروجی) برازش دهد، تابع تولید کاب-داگلاس استفاده شد. شکل تابع کاب-داگلاس به صورت معادله ۶ است:

$$Y = f(X) \exp(u) \quad (6)$$

تابع خطی کاب-داگلاس می‌تواند به صورت معادله ۷ نشان داده شود:

$$\ln Y_i = a + \sum_{j=1}^n \alpha_j \ln(X_{ij}) + e_i \quad (7)$$

$i = 1, 2, \dots, n$

در معادله ۷، Y_i مقدار خروجی تابع (انرژی خروجی) X_{ij} مقدار نهاده‌ها در فرآیند تولید، a مقدار ثابت، α_i ضرایب نهاده‌ها که با مدل تخمین زده شده و e_i مقدار خطای مدل است. همچنین انرژی مصرفی بر اساس نوع انرژی (مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) نیز مدل شده است، بنابراین با در نظر گرفتن این که محصول سیر تابعی از انرژی‌های ورودی است، می‌توان توابع کاب-داگلاس را برای اطلاعات این پژوهش به صورت معادلات (۸ - ۱۰) نشان داد:

$$\ln Y_i = a_0 + \alpha_1 \ln X_1 + \alpha_2 \ln X_2 + \alpha_3 \ln X_3 + \alpha_4 \ln X_4 + \alpha_5 \ln X_5 + \alpha_6 \ln X_6 + \alpha_7 \ln X_7 + e_i \quad (8)$$

$$\ln Y_i = \beta_1 \ln DE + \beta_2 \ln IDE + e_i \quad (9)$$

$$\ln Y_i = \gamma_1 \ln RE + \gamma_2 \ln NRE + e_i \quad (10)$$

در معادلات بالا، مقادیر $X_i (i=1, 2, \dots, n)$ نشان‌دهنده: نیروی کارگری (X_1)، ماشین‌ها (X_2)، سوخت (X_3)، کودهای شیمیایی (X_4)، کود دامی (X_5)، سموم (X_6)، بذر (X_7) و همچنین انرژی مستقیم (DE)، انرژی غیرمستقیم (IDE)، انرژی تجدیدپذیر (RE) و انرژی تجدیدناپذیر (NRE) بر حسب مگاژول بر هکتار هستند. در این پژوهش از شاخص نرخ بازگشت به مقیاس (RTS)، برای بررسی تغییرات نسبی در خروجی حاصل از تغییرات نسبی در ورودی‌ها (هنگامی که تمام ورودی‌ها با یک عامل ثابت افزایش پیدا می‌کنند)، استفاده شد. بنابراین مقدار RTS از مجموع ضرایب رگرسیونی توابع تولید کاب-داگلاس محاسبه شد (مبتکر و همکاران، ۲۰۱۰).

در آخرین گام این پژوهش روش تولید نهایی (MPP) بر پایه ضرایب به دست آمده از مدل رگرسیونی برای تحلیل حساسیت نهاده‌های انرژی در تولید سیر به کار گرفته شد.

مقدار MPP نشان می‌دهد با ثابت ماندن تمامی عوامل تولید و فقط با یک واحد تغییر در یکی از نهاده‌های انرژی، میزان خروجی به چه میزان تغییر می‌کند و با معادله ۱۱ محاسبه می‌شود (مانز و سینگ، ۲۰۰۵):

$$MPP_{xj} = \frac{GM(Y)}{GM(X_j)} \times \alpha_j \quad (11)$$

در معادله ۱۱، MPP_{xj} مقدار تولید نهایی به ازای نهاده j ام، α_j ضریب رگرسیون نهاده j ام، $GM(Y)$ میانگین هندسی خروجی (انرژی خروجی سیر) و $GM(X_j)$ میانگین هندسی هر نهاده انرژی در تولید سیر بر واحد هکتار است. تمام پژوهش‌ها و محاسبات این پژوهش با نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۰ و SPSS نسخه ۱۹ انجام شد.

نتایج و بحث

مقدار مصرف انرژی و منابع آن برای تولید سیر در جدول ۲ آمده است. با توجه به نتایج که در این جدول مشاهده می‌شود، میانگین عملکرد برای تولید سیر در استان گیلان ۱۴۶۳۶/۵۳ کیلوگرم بر هکتار است. همچنین بیش‌ترین مصرف انرژی نهاده در تولید سیر مربوط به کودهای شیمیایی (۴۵/۲۲٪) به ویژه نیتروژن (۳۷/۸۵٪) است. در پژوهشی که سماواتیان و همکاران (۲۰۱۱) بر روی انرژی مصرفی برای تولید سیر در همدان انجام دادند نیز کودهای شیمیایی با ۴۱/۷۲٪ بیش‌ترین مصرف انرژی را در بین نهاده‌ها داشت. سوخت (۱۶/۱۱٪) و بذر (۱۴/۱۹٪) مصرفی در جایگاه‌های بعدی مصرف انرژی نهاده در تولید سیر قرار دارند. بخش زیادی از مصرف سوخت مربوط به مصرف حمل و نقل و عملیات داشت است. دیگر موارد مصرف سوخت که درصد ناچیزی دارند، مربوط به سوخت مصرفی لازم برای عملیات کودپاشی با کودپاش‌های گریز از مرکز است. مقادیر مربوط به محاسبه کل انرژی ورودی، خروجی، شاخص‌های انرژی و انواع انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد مقدار کل انرژی ورودی ۳۶۶۱۶/۷۸ مقادیر مربوط به محاسبه کل انرژی ورودی، خروجی، شاخص‌های انرژی و انواع انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، مگاژول بر هکتار بوده، کارایی انرژی (بازده مصرف انرژی) برابر با ۰/۶۴ است که نشان از کارایی پایین انرژی مصرفی دارد.

مقادیر بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و افزوده خالص انرژی

متوسط سهم انرژی مستقیم از کل انرژی ورودی ۲۶/۰۳ درصد و برای انرژی غیرمستقیم ۷۳/۹۷ درصد است. انرژی تجدیدپذیر به طور متوسط ۲۴/۹۷ و انرژی تجدیدناپذیر ۷۵/۰۳ درصد از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است.

ارتباط بین انرژی‌های ورودی و انرژی خروجی در تولیدسیربا تابع کاب- داگلاس تخمین زده شد. در این تابع، انرژی خروجی به‌عنوان متغیر وابسته و انرژی‌های ورودی، شامل انرژی نیروی کارگری، ماشین‌ها، سوخت، کودهای شیمیایی، کود دامی، سموم و بذر، به عنوان متغیر مستقل وابسته در نظر گرفته شدند (جدول ۴).

به ترتیب برابر با ۱/۰۷ کیلوگرم بر مگاژول و ۰/۹۴ مگاژول بر کیلوگرم و ۱۳۱۹۸/۳۳- مگاژول بر هکتار برآورد شدند. منفی بودن افزوده خالص انرژی نشان دهنده آن است که تولید سیر در منطقه از نقطه نظر انرژی کارایی ندارد. در مطالعه‌ای که رویان و همکاران (۲۰۱۲) در مورد بررسی انرژی مصرفی در تولید هلو برای استان گلستان داشته‌اند، نیز افزوده خالص انرژی مقداری منفی برآورد شد. مقادیر انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر به ترتیب ۹۵۳۱/۲۶، ۲۷۰۸۵/۵۲، ۲۷۰۸۵/۵۲، ۹۱۴۱/۶۳ و ۲۷۴۷۵/۱۵ مگاژول بر هکتار به دست آمدند. سهم هر یک از انواع انرژی در تولید سیر در استان گیلان در شکل ۱ به نمایش گذاشته شده است. نتایج نشان می‌دهد

جدول ۲- میزان مصرف نهاده و انرژی نهاده‌های مصرفی برای تولید سیر

نهاده‌ها	میانگین میزان مصرف بر هکتار (واحد)	میزان انرژی مصرفی بر هکتار (MJ)	انحراف معیار	درصد انرژی مصرفی
الف- نهاده				
۱- نیروی کارگری(h)	۱۸۵۳/۷۶	۳۶۳۳/۳۸	۱۰۳۳/۹۷	۹/۹۲
۲- ماشین‌ها(h)	۲۹/۴۹	۱۸۴۹/۰۸	۷۹۱/۸۷	۵/۰۵
۳- سوخت(l)	۱۰۴/۷۴	۵۸۹۷/۸۹	۳۰۱۳/۸۶	۱۶/۱۱
۴- کودهای شیمیایی(kg)	۴۴۶/۵۵	۱۶۵۵۶/۸۴	۷۰۸۲/۵۶	۴۵/۲۲
نیتروژن	۲۰۹/۵۶	۱۳۸۶۰/۰۳	۷۰۸۲/۵۶	۳۷/۸۵
فسفر	۴۲/۰۸	۵۲۳/۵۳	۳۶۹/۶۸	۱/۴۳
پتاسیم	۱۹۴/۹۱	۲۱۷۳/۲۸	۱۳۷۴/۱۵	۵/۹۴
۵- کوددامی(kg)	۱۰۴۰/۷۱	۳۱۲/۲۱	۱۰۰/۶۰	۰/۸۵
۶- سموم(kg)	۲۶/۴۳	۳۱۷۱/۳۵	۱۵۸۸/۳۱	۸/۶۶
۷- بذر(kg)	۳۲۴۷/۵۲	۵۱۹۶/۰۴	۲۶۵۵/۲۱	۱۴/۱۹
ب- ستانده				
۱- سیر(kg)	۱۴۶۳۶/۵۳	۲۳۴۱۸/۴۵	۶۲۰۶/۵۱	

جدول ۳- شاخص‌های انرژی برای تولید سیر

مقادیر محاسبه شده	واحد	میانگین
انرژی ورودی	MJ/ha	۳۶۶۱۶/۷۸
انرژی خروجی	MJ/ha	۲۳۴۱۸/۴۵
کارایی (نسبت) انرژی	-	۰/۶۴
بهره‌وری انرژی	kg/MJ	۱/۰۷
انرژی ویژه	MJ/kg	۰/۹۴
افزوده خالص انرژی	MJ/ha	-۱۳۱۹۸/۳۳
انرژی مستقیم	MJ/ha	۹۵۳۱/۲۶
انرژی غیرمستقیم	MJ/ha	۲۷۰۸۵/۵۲
انرژی تجدیدپذیر	MJ/ha	۹۱۴۱/۶۳
انرژی تجدیدناپذیر	MJ/ha	۲۷۴۷۵/۱۵

جدول ۴- نتایج مدل پارامتری و تحلیل حساسیت انرژی مصرفی برای تولید سیر

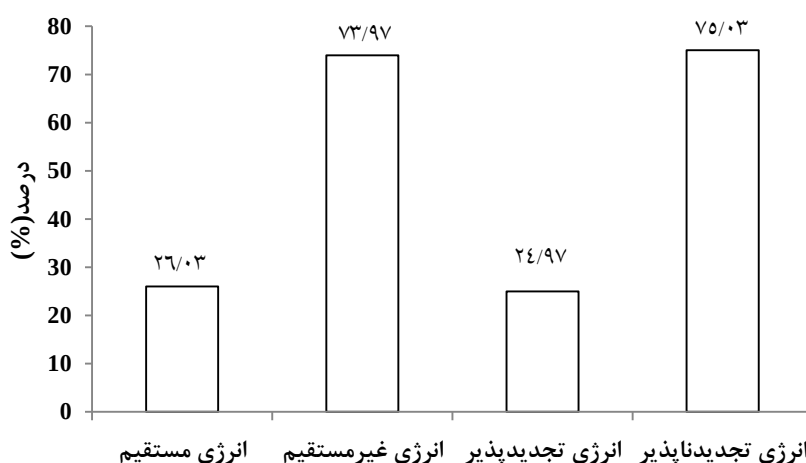
متغیرهای بیرونی	ضرایب	نسبت t	MPP
$\ln Y_i = \alpha_0 + \alpha_1 \ln X_1 + \alpha_2 \ln X_2 + \alpha_3 \ln X_3 + \alpha_4 \ln X_4 + \alpha_5 \ln X_5 + \alpha_6 \ln X_6 + \alpha_7 \ln X_7 + e_i$			
۱- نیروی کارگری	۱/۳۶۷	۸/۶۰۵*	۵/۵۱۶
۲- ماشین‌ها	-۰/۰۸۶	-۰/۷۹۲ ^{ns}	-۰/۷۷۲
۳- سوخت	۲/۱۹۴	۲/۲۳۱**	۶/۰۹۵
۴- کودهای شیمیایی	۰/۵۴۷	۱/۷۴۷***	۰/۵۴۰
۵- کود دامی	۰/۲۷۲	۲/۷۲۶*	۱۲/۹۳۲
۶- سموم	۰/۱۵۷	۱/۴۵۳ ^{ns}	۰/۹۰۱
۷- بذر	-۱/۰۱۳	-۲/۸۶۲*	-۳/۱۹۴
آزمون Durbin-Watson	۲/۱۳۸		
R ²	۰/۹۹		
بازگشت به مقیاس (RTS)	۳/۴۳۸		

* معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

^{ns} عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۱۰ درصد

** معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد

*** معنی‌داری در سطح احتمال ۱۰ درصد



شکل ۱- سهم هر یک از انواع انرژی مصرفی کل

انرژی کود دامی، عملکرد محصول ۱۲/۹۳۲ کیلوگرم بر هکتار افزایش می‌یابد.

در پژوهش مبتکر و همکاران (۲۰۱۰)، نیروی کارگری با ۷/۳۷ MPP، بیش‌ترین حساسیت را در بین نهاده‌های انرژی داشت. مقدار ضریب نرخ بازگشت به مقیاس برابر با ۳/۴۳۸ محاسبه شد که نشان دهنده افزایشی بودن نرخ بازگشت به مقیاس است.

نتایج مدل‌سازی بر اساس انواع انرژی نیز در جدول ۵ ارائه شده، اثر تمامی منابع مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در سطح ۱٪ معنی‌دار شدند، مقدار R² برای هر دو مدل ۰/۹۹ و نرخ بازگشت به مقیاس برای مدل

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که از میان انرژی‌های ورودی، انرژی نهاده نیروی کارگری، کود دامی و بذر در سطح ۱٪، سوخت در سطح ۵٪ و کودهای شیمیایی در سطح ۱۰٪ معنی‌دار است. همچنین مقدار آزمون Durbin-Watson برای متغیرهای مورد نظر ۲/۱۳۸ به دست آمد که نشان می‌دهد خودهمبستگی معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بین داده‌ها وجود ندارد. مقدار R² نیز برابر با ۰/۹۹ محاسبه شد. نتایج تحلیل حساسیت انرژی‌های ورودی در ستون آخر جدول ۴ نشان داده شده است. از میان انرژی‌های ورودی، کود دامی (۱۲/۹۳۲) بیش‌ترین مقدار MPP را دارد که نشان می‌دهد با ۱ مگاژول افزایش

خودهمبستگی بین داده‌ها است. انرژی‌های مستقیم و تجدیدپذیر نیز به ترتیب در دو مدل دارای بالاترین میزان درجه حساسیت بودند.

انرژی مستقیم- غیرمستقیم و انرژی تجدیدپذیر- تجدیدناپذیر به ترتیب ۱/۲۰۶ و ۱/۲۰۴ محاسبه شدند. همچنین مقادیر آزمون Durbin-Watson نیز به ترتیب برابر با ۲/۰۲۰ و ۲/۰۲۳ تخمین زده شدند که نشانگر عدم

جدول ۵- نتایج مدل پارامتری و تحلیل حساسیت انواع برای تولید سیر

متغیرهای بیرونی	ضرایب	نسبت t	MPP
$\ln Y_i = \beta_1 \ln DE + \beta_2 \ln IDE + e_i$			
۱- انرژی مستقیم	۲/۱۴۶	۷/۱۸۸ *	۳/۴۶۴
۲- انرژی غیرمستقیم	-۰/۹۴۰	-۳/۴۹۶ *	-۰/۵۶۱
آزمون Durbin-Watson	۲/۰۲۰		
R ²	۰/۹۹		
بازگشت به مقیاس (RTS)	۱/۲۰۶		
$\ln Y_i = \gamma_1 \ln RE + \gamma_2 \ln NRE + e_i$			
۱- انرژی تجدیدپذیر	۲/۰۵۶	۹/۱۴۲ *	۳/۴۲۰
۲- انرژی تجدیدناپذیر	-۰/۸۵۲	-۴/۲۲۴ *	-۰/۵۰۵
آزمون Durbin-Watson	۲/۰۲۳		
R ²	۰/۹۹		
بازگشت به مقیاس (RTS)	۱/۲۰۴		

* معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

۲/۱۳۸ شد. مقدار R² نیز برای مدل برابر با ۰/۹۹ محاسبه شد.

۳- نتایج تحلیل حساسیت ورودی‌های انرژی نشان می‌دهد که سوخت دیزل با مقدار MPP ۱۲/۹۳۲، حساس‌ترین نهاده در بین ورودی‌ها برای انرژی مصرفی است. مقدار RTS نیز برای مدل برابر با ۳/۴۳۸ محاسبه شد که چون مقدار آن بالاتر از یک بوده، نشان می‌دهد شاخص بازگشت به مقیاس برای انرژی افزایشی است، یا به عبارت دیگر به ازای افزایش نهاده‌ها میزان عملکرد نیز افزایش می‌یابد.

لذا برای بهبود کشت سیر پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

۱- تعیین مقدار مناسب کود (به خصوص اوره) برای کشت سیر و تشویق کشاورزان برای استفاده از کودهای آلی (حیوانی) و ارگانیک بیشتر با توجه به نتایج آزمایش‌های خاک و نظر کارشناسان کشاورزی منطقه.

۲- برگزاری کلاس‌های آموزشی و چاپ بروشور برای کشاورزان جهت اجرای روش‌های صحیح مصرف نهاده‌ها و استفاده از ماشین‌ها.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به دست آمده از این پژوهش که در استان گیلان انجام شد:

۱- انرژی کل ورودی برای تولید سیر ۳۶۶۱۶/۷۸ مگاژول بر هکتار است، که از بین نهاده‌ها کودهای شیمیایی و سوخت مصرفی به ترتیب با ۴۵/۲۲٪ و ۱۶/۱۱٪ بیش‌ترین مصرف را دارند. با توجه به مصرف بالای کودهای شیمیایی و لزوم حفظ حاصل‌خیزی خاک، توصیه می‌شود از کودهای دامی و کود سبز استفاده شود. انرژی خروجی باتوجه به متوسط عملکرد سیر (۱۴/۶۴ تن بر هکتار) ۲۳/۴۱۸ گیگاژول بر هکتار است.

۲- با استفاده از تابع کاب- داگلاس معادله بین انرژی‌های ورودی و انرژی خروجی محصول سیر تعیین شد. نتایج برازش برای انرژی‌های ورودی به عنوان متغیر مستقل و انرژی خروجی محصول به عنوان متغیر وابسته نشان داد که از میان نهاده‌های انرژی، انرژی‌های مربوط به نیروی کارگری، کود دامی و بذر برای مدل انرژی در سطح ۱٪ معنی‌دار شد. مقادیر آزمون Durbin-Watson برای مدل برابر با

- ۳- تخمین انرژی مصرفی در سنوات آینده با استفاده از شبکه‌های عصبی و منطق فازی
- ۴- بهینه‌سازی انرژی مصرفی در سیر به کمک روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک.

منابع

۱. فرشادفر ع. ۱۳۸۴. اصول و روش‌های پیشرفته آماری. انتشارات دانشگاه رازی. ۳۱۰ ص.
۲. نبوی پله‌سرائی ا. عبدی ر. رفیعی ش. و پیمان م. ۱۳۹۲. بررسی روند مصرف و تعیین شاخص‌های انرژی برای تولید پرتقال در استان گیلان (مطالعه موردی: شهرستان لنگرود). ششمین همایش یافته‌های پژوهشی کشاورزی، دانشگاه کردستان. ۱۲ ص.
3. Anonymus. 2013. What is efficient agriculture? Available at URL: <http://www.veganorganic.net/agri.htm>.
4. Stout BA. 1990. Handbook of energy for world agriculture. London: Elsevier Applied Science. 122 p.
5. Manes GS. and Singh S. 2005. Sustainability of cotton cultivation through optimal use of energy inputs in Punjab. International Environment Journal of Agriculture. 86(1):61-4.
6. Mobtaker HG. Keyhani A. Mohammadi A. Rafiee S. and Akram A. 2010. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production. Agriculture, Ecosystems and Environment. 137(3-4):367-72.
7. Samavatean N. Rafiee S. Mobli H. and Mohammadi A. 2011. An analysis of energy use and relation between energy inputs and yield, costs and income of garlic production in Iran. Renewable Energy. 36(6):1808-13.
8. Taki M. Abdi R. Akbarpour M. and Mobtaker H.G. 2013. Energy inputs-yield relationship and sensitivity analysis for tomato greenhouse production in Iran. Agric Eng Int: CIGR Journal. 15(1):59-67.
9. Kizilaslan H. 2009. Input-output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. Applied Energy. 86(7-8):1354-8.
10. Kitani O. 1999. Energy and biomass engineering. In: CIGR handbook of agricultural engineering. St. Joseph, MI: ASAE. 273 p.
11. Mobtaker HG. Akram A. and Keyhani A. 2012. Energy use and sensitivity analysis of energy inputs for alfalfa production in Iran. Energy for Sustainable Development. 16(1):84-9.
12. Rafiee S. Mousavi-Avval SH. and Mohammadi A. 2010. Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. Energy. 35(8):3301-6.
13. Mousavi-Avval SH. Rafiee S. Jafari A. and Mohammadi A. 2011. Optimization of energy consumption for soybean production using Data Envelopment Analysis (DEA) approach. Applied Energy. 88(11):3765-72.
14. Unakitan G. Hurma H. and Yilmaz F. 2010. An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. Energy. 35(9):3623-7.
15. Pahlavan R. Omid M. and Akram A. 2011. Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for greenhouse cucumber production. Journal of Agricultural Technology. 7(6):1509-21.
16. Demirican V. Ekinci K. and Keener H.M. Akbolat D. and Ekinci C. 2006. Energy and economic analysis of sweet cherry production in Turkey: A case study from Isparta province. Energy Conversion and Management. 47(13-14):1761-9.
17. Mandal KG. Saha KP. Gosh PL. Hati KM. and Bandyopadhyay KK. 2002. Bioenergy and economic analyses of soybean-based crop production systems in central India. Biomass Bioenergy. 23(5):337-45.
18. Royan M. Khojastehpour M. Emadi B. and Mobtaker HG. 2012. Investigation of energy inputs for peach production using sensitivity analysis in Iran. Energy Conversion and Management. 64(1):441-6.