

مدل سازی مصرف انرژی و شاخص های زیست محیطی تولید برگ چای با استفاده از مدل های رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی

مجید خانعلی^{۱*}، حسین مبلی^۱، حسن قاسمی مبتکر^۲ و مهرناز شرافت^۱

تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۸ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۲۸

۱- گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبه: khanali@ut.ac.ir

چکیده

در این پژوهش، مدل سازی انرژی مصرفی و انتشار آلاینده های زیست محیطی در تولید چای در استان گیلان با استفاده از مدل های رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. داده های مورد نیاز مربوط به بخش کشاورزی و صنعتی تولید چای با استفاده از تکمیل پرسش نامه در مزارع چای شهرستان های استان گیلان، بایگانی اسناد جهاد کشاورزی، موسسه تحقیقات چای، بازدید از کارخانه های تولید چای و مصاحبه با کارشناسان مربوطه به دست آمد. نتایج نشان دادند که کل انرژی ورودی و خروجی در تولید برگ سبز چای به ترتیب برابر با ۳۴۳۴۳/۵۱ و ۱۰۹۹۶/۴۵ مگاژول بر هکتار می باشد. همچنین کل انرژی ورودی برای تولید یک تن چای خشک برابر با ۶۴۸۸۵/۲۳ مگاژول به دست آمد. نتایج ارزیابی چرخه زندگی در مزارع چای نشان داد که در بخش های اثر تقلیل مواد غیر آلی، اسیدی شدن، اختناق دریاچه ای و گرمایش جهانی، بیشترین تأثیر مربوط به نهاده های کود نیتروژن می باشد. بررسی ارزیابی چرخه زندگی در کارخانه های فرآوری چای نیز نمایانگر آن بود که بیشترین میزان آلاینده های در بخش های اثر تقلیل مواد غیر آلی، نقصان لایه اوزون، مسمومیت انسان ها، پتانسیل گرمایش جهانی مربوط به نهاده برگ سبز چای و در بخش های اثر مسمومیت های آب های سطحی و خاک مربوط به کاغذ روکش دار بوده است. نتایج مدل سازی انرژی و انتشار آلاینده های زیست محیطی در تولید برگ سبز چای نشان دادند که با وجود دقت مناسب مدل های رگرسیونی، شبکه های عصبی مصنوعی می توانند با دقت بالاتری میزان انرژی خروجی و انتشار آلاینده های زیست محیطی در تولید برگ سبز چای را پیش بینی نمایند.

واژه های کلیدی: چای، انرژی مصرفی، ارزیابی چرخه زندگی، مدل سازی

۱- مقدمه

توسعه و کارایی کشاورزی بسیار با اهمیت است. ارزیابی جریان های مختلف انرژی دخیل در تولیدات کشاورزی اساس تحلیل انرژی را تشکیل می دهد. اهداف تحلیل های انرژی، کاهش نهاده های انرژی و جایگزینی منابع انرژی تجدیدپذیر در فرآیند کشاورزی و حتی- المقذور کاهش هزینه های تولید و روش های تولید دوستدار طبیعت به عنوان قسمتی از یک سیستم مدیریت بهینه می باشند (نبوی پله- سرایی و همکاران، ۱۳۹۲).

یکی از روش های بررسی یک سیستم، مدل سازی آن بر اساس ورودی ها و خروجی های آن می باشد. مفهوم مدل سازی از رویکرد سیستم به این معنی است که هر سیستم را می توان توسط رابطه ریاضی بین پارامترهای ورودی و خروجی سیستم تعریف کرد. به بیان دیگر مدل رگرسیونی، یک روش ریاضی برای بیان رابطه آماری بین دو متغیر است. استفاده از مدل های پیش گو فهم دقیقی از سیستم را

انرژی نقش مهم و محوری در توسعه و پیشرفت ملت ها ایفا می کند و در طول سال های متوالی ثابت شده که میزان در دسترس بودن انرژی، به عنوان یک عنصر محوری در توسعه هر کشور مطرح می باشد. مسائل توسعه پایدار که در ارتباط با تولید و توزیع انرژی می باشد یکی از موضوعات مهم مورد بحث است. دلیل این امر استفاده وسیع از سوخت های فسیلی و هسته ای برای تولید انرژی در سراسر دنیا می باشد که اثرات منفی این منابع برای محیط زیست و انسان تأیید گردیده است (اجی و همکاران، ۲۰۱۰). برای تولید محصولات کشاورزی که از نظر غذایی و صنعتی مورد نیاز انسان هستند مقادیر قابل توجهی از انرژی اعم از نیروی کار انسانی و دامی، شیمیایی و فسیلی مصرف می شود. از این جهت نقش انرژی در

شهرستان می‌باشد. حال آن‌که پژوهش حاضر نه تنها به بررسی انرژی و تمامی آلاینده‌های زیست‌محیطی هم در مزرعه و هم در کارخانه می‌پردازد، محدوده جغرافیایی آن نیز کل استان گیلان می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ نمونه‌گیری و جریان انرژی

این پژوهش در استان گیلان که به‌عنوان قطب تولید چای در کشور محسوب می‌شود صورت پذیرفت. برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفتند که از آن جمله می‌توان به تکمیل پرسش‌نامه، مصاحبه با کشاورزان، کارشناسان ادارات جهاد کشاورزی و سازمان چای و همچنین آمار و اطلاعات موجود در کتابخانه‌های سازمان جهاد کشاورزی و سازمان چای اشاره نمود. داده‌های مربوط به تولید نهاده‌های مصرفی نیز از پایگاه‌های داده موجود در نرم‌افزار تخصصی ارزیابی چرخه زندگی، سیمپرو به‌دست آمد. برای برآورد حجم نمونه از فرمول کوکران استفاده شد (کیزیل اسلان، ۲۰۰۹):

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

که در آن؛ n حجم نمونه، t برابر با $1/96$ ، N حجم جامعه، d دقت احتمالی مطلوب و s انحراف معیار جامعه می‌باشد. با توجه به رابطه (۱) حجم نمونه ۷۶ به‌دست آمد ولی برای افزایش دقت ۸۲ کشاورز مورد بررسی قرار گرفته شد. همچنین در استان گیلان ۲۰۰ کارخانه و کارگاه چاک خش‌کنی مشغول فعالیت هستند (خانعلی و همکاران، ۲۰۱۷) که با استفاده از رابطه کوکران ۱۳۲ واحد به‌عنوان نمونه انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت برای محاسبه هم‌ارز انرژی نهاده‌ها از ضرایب و هم‌ارزهای ذکر شده موجود در منابع استفاده گردید (جدول ۱).

۲-۲ ارزیابی چرخه زندگی

روند ارزیابی چرخه‌ی زندگی از چهار مرحله تعیین هدف و دامنه، تحلیل سیاهه، ارزیابی اثرات چرخه زندگی و تفسیر نتایج تشکیل شده است (جولیت و همکاران، ۲۰۱۶).

۲-۲-۱ تعیین هدف و دامنه

در مرحله تعیین هدف و دامنه، چگونگی (دامنه) و چرایی (هدف) یک مطالعه ارزیابی چرخه زندگی مورد بحث قرار می‌گیرند. در این مطالعه، دو سامانه با مرزهای مجزا مورد بررسی قرار گرفتند. سامانه اول مزارع چای بوده و دروازه مزرعه به‌عنوان مرز این سامانه می‌باشد. سامانه دوم مربوط به فرآوری است که در آن، خروجی سامانه اول (برگ سبز) به‌عنوان یکی از ورودی‌ها مورد استفاده قرار گرفت. همچنین واحد عملکردی سامانه‌ی اول بر پایه یک تن برگ

فراهم آورده و کنترل آن را به بهترین شکل ممکن فراهم می‌آورد (ستی و همکاران، ۲۰۱۳). شبکه‌های عصبی مصنوعی را می‌توان با اغماض، مدل‌های الکترونیکی از ساختار عصبی مغز انسان نامید. از این شبکه‌ها برای پیاده‌سازی توابع پیچیده در زمینه‌های مختلف از جمله تشخیص الگو، تشخیص هویت، طبقه‌بندی، پردازش صحبت و تصویر و سامانه‌های کنترلی استفاده می‌شود. شبکه عصبی آموزش- دیده می‌تواند برای پیش‌بینی خروجی‌های متناسب با مجموعه جدید داده‌ها به‌کار رود (سفیدپری، ۱۳۹۱).

تحقیقاتی در سالیان اخیر بر روی مدل‌سازی تولید بعضی از محصولات زراعی و باغی در ایران و دیگر کشورهای انجام شده است. قاسمی 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 به‌دست می‌دهد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر تمام انرژی‌های ورودی به‌جز انرژی بذر و آفت‌کش‌ها بر محصول جو معنی‌دار گردید.

تاکی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی مصرف انرژی و مدل‌سازی انرژی خروجی ذرت علوفه‌ای با استفاده از شبکه عصبی چندلایه پرداختند. طبق نتایج آنها شبکه عصبی ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی محصول ذرت علوفه‌ای در منطقه مورد مطالعه بود. همچنین ماشین‌ها با حدود ۳۹ درصد انرژی ورودی بالاترین سهم را در مصرف انرژی ذرت علوفه‌ای در ایران داشت. داسیلوا و همکاران (۲۰۱۴)، به بررسی اثرات زیست‌محیطی سناریوهای مختلف پرورش مرغ گوشتی فرانسوی و برزیلی با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی پرداختند. نتایج آنها نشان داد مقیاس تولید بر اثرات زیست‌محیطی تأثیر نمی‌گذارد، اما شدت تولید می‌تواند تأثیر داشته باشد. در پژوهشی دیگر، سهیلی فرد و صلواتیان (۲۰۱۵) به پیش-بینی عملکرد برگ سبز چای در شهرستان لاهیجان استان گیلان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداختند که نتایج حاکی از قدرت شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی عملکرد برگ سبز چای با ضریب تبیین ۰/۹۷ بودند.

پلوان و اوزیلگن (۲۰۱۷) به بررسی میزان انرژی و آگزرژی مصرفی و همچنین نشر گازهای گلخانه‌ای در فرآیند تولید چای در کشور ترکیه پرداختند و گزارش کردند که بیشترین مصرف انرژی و آگزرژی به‌ترتیب مربوط به خشک کردن، پلاس و بسته‌بندی می‌باشد. در مطالعه‌ای دیگر در کشور سریلانکا میزان انتشار گاز کربن دی‌اکسید در مراحل مختلف تولید چای مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بودند که بیشترین میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن مربوط به مرحله بسته‌بندی می‌باشد (ماناسینه و همکاران، ۲۰۱۷).

با بررسی مطالعات قبلی مشخص گردید که مطالعات قبلی بر روی محصول چای تنها بر روی انرژی و یا نشر کربن دی‌اکسید در روی مزرعه کار شده است و منطقه جغرافیایی آن محدود به یک

سبز چای بوده و واحد عملکردی سامانه دوم یک تن چای خشک تولیدی انتخاب شد.

جدول ۱- هم ارزهای انرژی نهاده ها و ستانده در زنجیره تولید چای

منبع	هم ارز انرژی (مگاژول بر واحد)	واحد	نهاده ها
الف - نهاده ها			
(Nabavi-Pelesaraei et al., 2016a)	۱/۹۶	ساعت	۱- نیروی کارگری
(Ghasemi Mobtaker et al., 2010)	۶۲/۷۰	ساعت	۲- ماشین ها و ادوات
(Kitani, 1999)	۴۷/۸	لیتر	۳- سوخت دیزل
		کیلوگرم	۴- کودهای شیمیایی
(Ozkan et al., 2004)	۷۸/۱		نیترژن (N)
(Mohammadi et al., 2008)	۱۷/۴		فسفر (P ₂ O ₅)
(Ghasemi Mobtaker et al., 2010)	۱۱/۹۳	کیلووات ساعت	۵- الکتریسیته
(Kitani, 1999)	۱۷/۹۱	کیلوگرم	۶- کاغذ روکش دار
(Kitani, 1999)	۱۷/۲۸	کیلوگرم	۷- کارتن بسته بندی
(Kitani, 1999)	۶۴/۵۳	کیلوگرم	۸- چسب
(Tabatabaefar et al., 2009)	۴/۵	تن در کیلومتر	۹- حمل و نقل
ب - ستانده			
(Soheili-Fard and Salvatian, 2015)	۰/۸	کیلوگرم	۱- برگ سبز چای

$$ICI_i = \sum_j R_j \times CF_{i,j} \quad (2)$$

که در آن ICI_i مقدار شاخص برای بخش اثر i به ازای واحد عملکردی، R_j میزان مصرف منبع j به ازای واحد عملکردی و $CF_{i,j}$ عامل توصیف برای تعیین نقش منبع j در بخش اثر i می باشد. در این مطالعه، ارزیابی اثرات بر اساس روش CML2 Baseline2000 انجام شد. با استفاده از این روش، ۱۰ بخش اثر با نام های تقلیل مواد غیر آلی، پتانسیل اسیدی شدن، پتانسیل اختناق دریاچه ای، پتانسیل گرمایش جهانی، نقصان لایه ازن، مسمومیت انسان ها، مسمومیت آب های سطحی، مسمومیت آب های آزاد، مسمومیت خاک و اکسیداسیون فتوشیمیایی مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۲-۴ تحلیل نتایج

چهارمین مرحله از ارزیابی چرخه زندگی یک محصول، تحلیل نتایج می باشد. در این مرحله تمام نتایج به منظور نتیجه گیری و ارائه راهکارها مورد بررسی قرار می گیرند.

۲-۳ مدل رگرسیونی

در این مطالعه، برای مدل سازی رگرسیونی از تابع لگاریتمی کاب- داگلاس استفاده شد. شکل عمومی این تابع به شکل رابطه (۳) می باشد (قاسمی مبتکر و همکاران، ۲۰۱۰):

$$Y = f(x) \exp(u) \quad (3)$$

که در آن $f(x)$ ، نهاده های تولیدی و u ، میزان مطلوبیت است. اگر از طرفین معادله ی بالا لگاریتم گرفته شود، به صورت یک معادله خطی درمی آید:

۲-۲-۲ تحلیل سیاهه

در این مرحله، منابع استفاده شده و انتشار آلاینده ها با توجه به واحد عملکردی و مرز سامانه تعیین می شوند. داده های مربوط به منابع استفاده شده در فرآیند تولید، همان داده های مربوط به تحلیل انرژی می باشد. آلودگی های ناشی از مراحل کشت چای شامل سه دسته انتشار به هوا، آب و خاک می باشد. استفاده از کودهای شیمیایی سبب انواع انتشار مستقیم می شود از جمله: انتشار آمونیاک به هوا، آبشویی نیترات به آب های زیرزمینی، انتشار دی نیترژن منواکسید به هوا و انتشار اکسیدهای نیترژن به هوا. استفاده از کود فسفر نیز موجب انتشار آلاینده هایی به خاک و آب می شود. در این مطالعه فرض شد که میزان فسفر آبشویی شده به صورت فسفات ۰/۲۲ کیلوگرم در هر هکتار است (یوسفی نژاد استاد کلایه، ۱۳۹۴). استفاده از سوخت دیزل باعث انتشار آلاینده هایی به هوا می شود. در این مطالعه از داده های سیاهه چرخه زندگی پایگاه داده اکواینونت استفاده شد. میزان انتشار آلاینده ها به ازای هر مگاژول استحصال انرژی از سوخت دیزل در جدول ۲ خلاصه شده است.

۲-۲-۳ ارزیابی اثرات چرخه زندگی

در این مرحله، داده های سیاهه، در عامل های توصیف (ضرایب تبدیل) مربوطه ضرب می شود تا شاخص های مربوط به بخش های اثر مختلف به دست آید. برای این کار از رابطه (۲) استفاده شد (برنتراب و همکاران، ۲۰۰۴):

اگر مجموع ضرایب کوچکتر از یک باشد یعنی بازده تابع نزولی است (نبوی پله سرائی و همکاران، ۱۳۹۲).

۲-۴ مدل سازی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

در این مطالعه به منظور پیش‌بینی جریان انرژی و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در تولید برگ سبز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، از نرم‌افزار MATLAB R2015a استفاده شد. به‌طور کلی دو ساختار مدلی مورد بررسی قرار گرفت؛ یکی پیش‌بینی عملکرد برگ سبز چای (انرژی خروجی) بر اساس نهاده‌های انرژی (شامل نیروی کارگری، ماشین‌ها، سوخت دیزل، کودهای نیتروژن و فسفر) و دیگری پیش‌بینی شاخص‌های زیست‌محیطی بر اساس نهاده‌های انرژی. در مدل اول میزان انرژی خروجی و در مدل دوم مقادیر عددی هر یک از شاخص‌ها به‌عنوان مقدار مورد انتظار به‌کار گرفته شدند. در شبکه‌های عصبی به‌طور کل داده‌های در دسترس به دو مجموعه آموزش و آزمون طبقه‌بندی می‌شوند. مجموعه آموزش توسط الگوریتم یادگیری برای تخمین وزن‌های شبکه استفاده می‌شود و مجموعه آزمون برای ارزیابی دقت پیش‌بینی شبکه آموزش دیده، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مطالعه، ۷۵ درصد از داده‌ها به‌عنوان داده‌های آموزش و ۲۵ درصد از آن‌ها جهت آزمون مدل در نظر گرفته شد. همچنین در این مطالعه از الگوریتم آموزش لونیبرگ-مارکواریت برای به‌هنگام سازی وزن‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد که از الگوریتم‌های پرکاربرد می‌باشد؛ چون آموزش شبکه را بسیار سریع انجام داده و سطح خطای موجود را حداقل می‌سازد (تاکلی و همکاران، ۲۰۱۲).

برای یافتن شبکه‌ای با ساختار مناسب به کمک الگوریتم‌های آموزش، از شاخص‌های آماری مختلفی نظیر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAPE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد (نبوی پله سرائی، ۲۰۱۶):

$$\ln Y_i = a + \sum_{j=1}^n a_j \ln(X_{ij}) + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

که در آن Y_i مقدار خروجی تابع (انرژی خروجی)، X_{ij} مقدار نهاده‌ها در فرآیند تولید، a مقدار ثابت، a_j ضرایب نهاده‌ها که با مدل تخمین زده می‌شود و e_i مقدار خطای مدل است. وقتی که هیچ نهاده‌ای مصرف نشود، میزان محصول نیز صفر است؛ در نتیجه معادله (۴) به‌صورت رابطه (۵) درمی‌آید (محمدی و امید، ۲۰۱۰):

$$\ln Y_i = \sum_{j=1}^n a_j \ln(X_{ij}) + e_i \quad (5)$$

با استفاده از معادله (۵) رابطه‌ی بین انرژی‌های ورودی و عملکرد و همچنین رابطه بین انرژی ورودی و شاخص‌های زیست‌محیطی تولید برگ سبز چای تخمین زده شد. بدین منظور از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. همچنین از روش تولید نهایی (MPP) برای تحلیل حساسیت نهاده‌ها بر روی عملکرد استفاده شد. تحلیل حساسیت به‌طور کلی تغییرات در عملکرد محصول به ازای یک واحد تغییر در هر یک از نهاده‌ها را نشان می‌دهد، به شرطی که سایر نهاده‌ها بدون تغییر فرض شوند. برای محاسبه تحلیل حساسیت هر یک از نهاده‌ها از رابطه (۶) استفاده شد (قاسمی مبتکر و همکاران، ۲۰۱۰).

$$MPP_{x_j} = \frac{GM(Y)}{GM(X_j)} \times a_j \quad (6)$$

که در آن، MPP_{x_j} مقدار تولید فیزیکی نهایی به ازای نهاده Z_j ، a_j ضریب رگرسیون نهاده Z_j ، $GM(Y)$ میانگین هندسی خروجی و $GM(X_j)$ میانگین هندسی هر نهاده انرژی در تولید برگ سبز چای بر واحد هکتار می‌باشد.

در تولید نرخ بازگشت به مقیاس، به میزان تغییرات در مقدار عملکرد محصول به ازای تغییر در نهاده‌ها؛ در حالتی که همه نهاده‌ها باهم و با یک مقدار ثابت تغییر کنند، اشاره دارد. در معادله کاب-داگلاس این فاکتور با مجموع ضرایب نهاده‌ها مشخص می‌شود. اگر مجموع ضرایب برابر با یک باشد، یعنی بازده تابع ثابت است، اگر مجموع ضرایب بزرگتر از یک باشد یعنی بازده تابع صعودی است و

جدول ۲- مقادیر انتشار به هوا مربوط به استحصال یک مگاژول انرژی از سوخت دیزل در پایگاه داده اکواینونت^۱

ماده منتشر شده	مقدار (گرم)	ماده منتشر شده	مقدار (گرم)
کربن دی‌اکسید	۷۴/۵	روی	$2/39 \times 10^{-5}$
گوگرد دی‌اکسید	$2/41 \times 10^{-2}$	بنزو پیرن	$7/16 \times 10^{-7}$
متان	$3/08 \times 10^{-2}$	آمونیاک	$4/77 \times 10^{-4}$
بنزن	$1/74 \times 10^{-4}$	سلنیوم	$2/39 \times 10^{-7}$
کادمیوم	$2/39 \times 10^{-7}$	هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای	$7/85 \times 10^{-5}$
کرومیوم	$1/19 \times 10^{-6}$	سایر هیدروکربن‌ها	$6/8 \times 10^{-2}$
مس	$4/06 \times 10^{-5}$	اکسیدهای نیتروژن	۱/۰۶
دی نیتروژن منواکسید	$2/86 \times 10^{-2}$	کربن منواکسید	$1/5 \times 10^{-1}$
نیکل	$1/67 \times 10^{-6}$	ذرات معلق با ابعاد کمتر از ۲/۵ میکرون	$1/07 \times 10^{-1}$

¹Ecoinvent database

نتیجه‌ی محاسبه‌ی شاخص‌های انرژی در جدول ۳ خلاصه‌شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود نسبت انرژی تولید برگ سبز چای در استان گیلان برابر با ۰/۳۲ به‌دست‌آمده است که نشان‌دهنده کارایی پایین مصرف انرژی می‌باشد. همچنین بهره‌وری انرژی ۰/۴۰ کیلوگرم بر مگاژول به‌دست آمد؛ این بدین معناست که به ازای هر مگاژول مصرف انرژی ۰/۴۰ کیلوگرم محصول تولید می‌شود. انرژی ویژه برابر با ۲/۵۰ مگاژول بر کیلوگرم است که نشان می‌دهد برای تولید هر کیلوگرم از محصول ۲/۵۰ مگاژول انرژی مصرف می‌شود. درنهایت، افزوده خالص انرژی ۲۳۳۴۷/۰۶- مگاژول بر هکتار (با عملکردی برابر با ۱۳۷۴۵/۵۶ کیلوگرم برگ سبز چای) به‌دست آمد که منفی بودن آن نشان‌دهنده این است که در این مطالعه انرژی از سامانه خارج شده است (یا به‌عبارت دیگر سامانه کشت چای یک سامانه تولید انرژی نیست). هر چند این میزان خروج انرژی از سامانه می‌تواند با مصرف بهینه انرژی در تولید برگ سبز چای و همچنین افزایش عملکرد چای به روش‌های مختلف کاهش یابد و منجر به افزایش نسبت انرژی گردد. در مطالعه‌ای، سهیلی فرد و صلواتیان (۲۰۱۵) نسبت انرژی در تولید چای را برابر با ۰/۱۸ تعیین نمودند. بررسی مطالعه حاضر و مطالعه سهیلی فرد و صلواتیان نشان داد که در مزارع مورد مطالعه در تحقیق حاضر، انرژی معادل نیروی انسانی مورد استفاده در حدود ۵۰ درصد کمتر بوده است. همچنین باغات چای مورد بررسی در آن مطالعه در حدود ۳۰۰۰ کیلوگرم عملکرد کمتری داشتند. بنابراین، نسب انرژی در مطالعه حاضر نسبت به مطالعه سهیلی فرد و صلواتیان مقدار بیشتری را نشان می‌دهد (سایر نهاده‌های انرژی در هر دو تحقیق اختلاف چندانی با هم نداشتند). در مطالعه‌ای دیگر در استان گیلان نسبت انرژی برای محصول چای ۰/۲۲ گزارش شد. در این مطالعه نیز میزان عملکرد باغات مورد مطالعه در حدود ۳۰۰۰ کیلوگرم کمتر از مطالعه حاضر بود که به‌معنی کاهش نسبت انرژی شده است (نیکنخواه و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج تحلیل انرژی مصرفی در کارخانه‌های تولید چای خشک نشان دادند کل انرژی مصرفی برای تولید یک تن چای خشک ۵۰۱۶۰/۴۶ مگاژول می‌باشد. همچنین میزان برگ سبز لازم برای تولید یک تن چای در حدود ۴۴۴۴ کیلوگرم می‌باشد. نتایج همچنین نشان دادند سوخت دیزل با حدود ۷۳ درصد بالاترین سهم در مصرف انرژی در کارخانه را به خود اختصاص داده است.

میزان انتشار در هر بخش اثر به ازای ده تن برگ سبز تولیدی محاسبه شد. یکی از مهم‌ترین بخش‌های اثر مورد بررسی در این مطالعه، پتانسیل گرمایش جهانی می‌باشد که در این مطالعه میزان آن به ازای هر ده تن محصول تولیدی، برابر با ۲۴۷۱/۰۱ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید برآورد شد. بررسی‌های انجام‌شده نیز نشان داد که بیش‌ترین تأثیر در این بخش مربوط به کود نیتروژن و ماشین‌ها به‌ترتیب با سهم حدود ۸۶ و ۱۲ درصد می‌باشد. در بخش‌های اثر تقلیل مواد غیر آلی، اسیدی شدن و اختناق دریاچه‌ای

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \right]^{0.5} \quad (7)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| \quad (8)$$

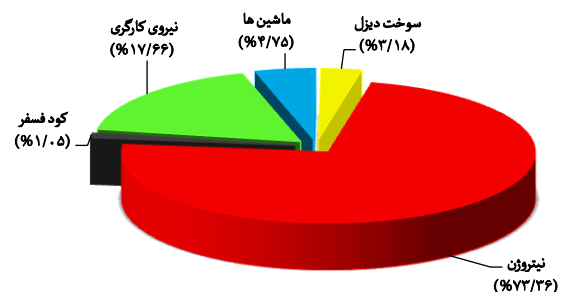
$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{ave})(P_i - P_{ave})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{ave}) \sum_{i=1}^n (P_i - P_{ave})}} \quad (9)$$

که در آن، n تعداد داده‌ها، O_i داده‌ی اندازه‌گیری‌شده، O_{ave} میانگین داده‌های اندازه‌گیری‌شده، P_i داده‌ی پیش‌بینی‌شده و P_{ave} میانگین داده‌های پیش‌بینی‌شده می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱ تحلیل انرژی و آلاینده‌های زیست‌محیطی در تولید چای

شکل ۱ سهم هر یک از نهاده‌ها از کل انرژی مصرفی در تولید برگ سبز چای در مزارع را نشان می‌دهد. کود نیتروژن با حدود ۷۳ درصد بیش‌ترین مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است و پس از آن، نیروی کارگری با حدود ۱۸ درصد در رده بعدی قرار دارد. مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی (به‌ویژه نیتروژن) از یک طرف و مکانیزه نبودن بسیاری از عملیات از جمله کودپاشی و برداشت دستی چای از طرف دیگر باعث این توزیع مصرف انرژی در تولید این محصول شده است. همچنین سایر نهاده‌ها از جمله ماشین‌ها، سوخت دیزل و کود فسفر سهم بسیار کمتری در انرژی مصرفی کل در کشت چای دارند. استفاده مناسب از کودهای شیمیایی (به‌خصوص کود نیتروژن) و یا جایگزینی آن با کودهای دامی می‌تواند باعث کاهش انرژی مورد نیاز برای انواع کود مصرفی شود. همچنین در صورت یکپارچه‌سازی اراضی استفاده از ماشین‌های برداشت چای نیز می‌تواند مقرون به‌صرفه (هم از لحاظ اقتصادی و هم از دیدگاه انرژی) باشد.



شکل ۱- سهم نهاده‌های مختلف از انرژی ورودی در تولید برگ سبز چای

استفاده قرار می‌گیرند بوده و بیش‌ترین تأثیر را در بخش‌های اثر مسمومیت آب‌های سطحی و مسمومیت خاک داشته است. در مطالعه-ای در کشور ترکیه میزان انرژی مصرفی و نشر گازهای گلخانه‌ای در فرآیند تولید چای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند میزان انرژی و انرژی مصرفی و همچنین دی اکسید کربن منتشر شده به ازای تولید یک تن چای خشک به ترتیب برابر با ۱۲۷۴۸، ۴۵۵۳۲ مگاژول و $1732 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}$ می‌باشد (پلوان و اوزیلگن، ۲۰۱۷).

۳-۲ مدل‌سازی رگرسیونی انرژی و شاخص‌های زیست‌محیطی در کشت چای

عملکرد محصول و شاخص‌های زیست‌محیطی کشت چای به‌صورت تابعی از انرژی‌های نیروی کارگری، ماشین‌ها، سوخت دیزل، نیتروژن و فسفر در نظر گرفته شد. همچنین وجود خودهمبستگی در مدل‌ها با بهره‌گیری از آزمون دوربین-واتسون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مدل‌سازی رگرسیونی و آزمون دوربین-واتسون برای جریان انرژی در تولید چای در جدول ۴ نمایش داده شده‌اند. مقدار شاخص دوربین-واتسون برای مدل برابر با ۱/۹۳ بود که نشان‌دهنده عدم وجود خودهمبستگی در سطح پنج درصد در مدل تخمینی می‌باشد. نرخ بازگشت به مقیاس برای مدل، مقدار ۱/۰۰ به‌دست آمد که نشان‌دهنده اثر مثبت افزایش نهاده‌ها در تولید برگ سبز چای می‌باشد.

استفاده از کود نیتروژن و ماشین‌ها بیش‌ترین تأثیر را در افزایش مقدار شاخص‌های به‌دست‌آمده داشت. همچنین در بخش‌های اثر نقصان لایه اوزون، مسمومیت انسان‌ها، مسمومیت آب‌های سطحی، مسمومیت آب‌های آزاد، مسمومیت خاک و اکسیداسیون فتوشیمیایی بیش‌ترین تأثیر مربوط به ماشین‌ها بود.

جدول ۳- شاخص‌های انرژی در تولید برگ سبز چای

شاخص انرژی	واحد	مقدار محاسبه‌شده
نسبت انرژی (ER)	-	۰/۳۲
بهره‌وری انرژی (EP)	کیلوگرم بر مگا ژول	۰/۴۰
انرژی ویژه (SE)	مگا ژول بر کیلوگرم	۲/۵۰
افزوده‌ی خالص انرژی (NEG)	مگا ژول بر هکتار	-۲۳۳۴۷/۰۶

در کارخانه‌های تولید چای خشک میزان پتانسیل گرمایش جهانی به ازای هر تن محصول تولیدی، برابر با ۲۱۱۸/۶۲ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید برآورد شد. همچنین نتایج نشان دادند که در بخش‌های اثر تقلیل مواد غیر آلی، نقصان لایه ازن مسمومیت انسان-ها، مسمومیت آب‌های آزاد و اکسیداسیون فتوشیمیایی سوخت دیزل، در بخش‌های اسیدی شدن، اختناق دریاچه‌ای، پتانسیل گرمایش جهانی بیش‌ترین میزان آلاینده‌ی مربوط به نهاده‌ی چای و همچنین کاغذ روکش‌دار که برای بسته‌بندی چای خشک مورد

جدول ۴- نتایج مدل رگرسیونی و تحلیل حساسیت انرژی مصرفی در تولید برگ چای

متغیرهای بیرونی	ضرایب	نسبت t	MPP
۱- نیروی کارگری	۰/۲۸	۳/۸۲**	۰/۷۸
۲- ماشین‌ها	۰/۰۷	۰/۴۹ ^{ns}	۱/۴۸
۳- سوخت دیزل	-۰/۰۰۴	-۰/۰۳ ^{ns}	-۰/۱۱
۴- کودهای شیمیایی	۰/۶۵	۱۰/۹۱**	۰/۴۰
آزمون دوربین-واتسون	۱/۹۳		
R ²	۰/۹۶		
نرخ بازگشت به مقیاس	۱/۰۰		

** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، ^{ns} عدم معنی‌داری، * معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد

استان گیلان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان دادند که از میان ورودی‌ها، اثر انرژی مربوط به نیروی کارگری، کود دامی و بذر در سطح یک درصد معنی‌دار است. همچنین مقدار R² برای مدل آن‌ها برابر با ۰/۹۹ به‌دست آمد.

نتایج مدل‌سازی رگرسیونی و آزمون دوربین-واتسون برای شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید برگ سبز چای مطابق مدل رگرسیونی انرژی مصرفی محاسبه شد و خلاصه نتایج ضرایب در جدول ۵ نمایش داده شده است. مقدار دوربین-واتسون برای مدل تقلیل مواد غیر آلی برابر با ۱/۶۰ محاسبه شد که نشان‌دهنده عدم

اثر نهاده‌های نیروی کارگری و کودهای شیمیایی در سطح پنج درصد و اثر نهاده‌های ماشین‌ها و سوخت دیزل معنی‌دار نشد. نتایج تحلیل حساسیت نشان دادند که ماشین‌ها با میزان تولید نهایی ۱/۴۸ بالاترین میزان حساسیت بر عملکرد چای را داشتند؛ بدان معنی که با افزایش یک مگا ژول انرژی ماشین‌ها، عملکرد محصول به میزان ۱/۴۸ کیلوگرم افزایش پیدا می‌کند. الکتروسیته با مقدار تولید نهایی ۰/۷۸ بعد از ماشین‌ها بیشترین میزان حساسیت بر عملکرد چای را داشت. پیش از این، نبوی پله سرانی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از تابع کاب داگلاس به مدل‌سازی نهاده‌های انرژی در تولید سیر در

به‌طور کلی نتایج مدل‌سازی رگرسیونی انرژی و شاخص‌های زیست محیطی در تولید برگ سبز چای نشان دادند که به‌استثنای شاخص‌های پتانسیل اختناق دریاچه‌ای که مقدار R^2 در آن ۰/۶۱ می‌باشد، مقدار R^2 در همه مدل‌ها بیش‌تر از مقدار ۰/۸ بود که نشان از دقت بالای مدل‌های مورد نظر دارد.

۳-۳ مدل‌سازی انرژی و شاخص‌های زیست محیطی در تولید برگ سبز چای با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

در قسمت پایانی این مطالعه به‌منظور مدل‌سازی انرژی مصرفی در تولید برگ سبز چای از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. شبکه‌های استفاده‌شده در این تحقیق از نوع شبکه‌های عصبی مصنوعی چند لایه با روش یادگیری پس انتشار خطا بود. این شبکه‌ها قادر هستند هر رابطه بین ورودی و خروجی را با دقت دلخواه تخمین بزنند. به‌منظور دستیابی به بهترین ساختار شبکه عصبی مصنوعی، تعداد مختلفی از ساختارها با یک و دو لایه و با تعداد نورون‌های یک تا ۳۰ در لایه مخفی آموزش داده شده و آزمون و اعتبارسنجی شدند. نتایج مدل‌سازی انرژی مصرفی در تولید برگ سبز چای با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در جدول ۶ ارائه شده است.

وجود خودهمبستگی معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد. نرخ بازگشت به مقیاس برای این مدل ۰/۱۸ به‌دست آمد که نشان‌دهنده اثر مثبت افزایش نهاده‌ها در شاخص مورد نظر می‌باشد. همچنین اثر تمامی نهاده‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار شد.

نتایج مدل‌سازی شاخص اسیدی شدن نشان داد که مقدار دوربین-واتسون برابر با ۱/۵۷ بوده که نشان‌دهنده عدم وجود خودهمبستگی در سطح پنج درصد می‌باشد. نرخ بازگشت به مقیاس برای مدل، مقدار ۰/۱۷ به‌دست آمد که نشان‌دهنده اثر مثبت افزایش نهاده‌ها در مقدار شاخص مورد نظر است. در این مدل نیز اثر تمامی نهاده‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار شدند. نتایج مدل‌سازی شاخص پتانسیل اختناق دریاچه‌ای نشان دادند که مقدار دوربین-واتسون برای این مدل برابر با ۱/۵۲ است که حاکی از عدم وجود خودهمبستگی در سطح پنج درصد می‌باشد. نرخ بازگشت به مقیاس برای مدل، مقدار ۰/۴۷ به‌دست آمد که با وجود پائین بودن مقدار آن نشان‌دهنده اثر مثبت افزایش نهاده‌ها در شاخص پتانسیل اختناق دریاچه‌ای می‌باشد. اثر نیروی کارگری و کودهای شیمیایی در سطح پنج درصد معنی‌دار و اثر ماشین‌ها و ادوات و سوخت دیزل در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج سایر مدل‌ها در جدول ۵ نشان داده شده‌اند.

جدول ۵- معادله‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی انرژی خروجی و شاخص‌های زیست محیطی در تولید برگ سبز چای

معادله‌ی رگرسیونی	خروجی مدل (Y_i)
$\ln Y_2 = -0.24 \ln x_1 + 0.23 \ln x_2 - 0.23 \ln x_3 + 0.42 \ln x_4$	۱- تقلیل مواد غیر آلی
$\ln Y_3 = -0.27 \ln x_1 + 0.25 \ln x_2 - 0.26 \ln x_3 + 0.45 \ln x_4$	۲- اسیدی شدن
$\ln Y_4 = -0.40 \ln x_1 + 0.22 \ln x_2 + 0.26 \ln x_3 + 0.39 \ln x_4$	۳- اختناق دریاچه‌ای
$\ln Y_5 = 0.11 \ln x_2 - 0.10 \ln x_3 + 0.81 \ln x_4$	۴- پتانسیل گرمایش جهانی
$\ln Y_6 = -0.23 \ln x_1 + 1.62 \ln x_3 + 0.16 \ln x_4$	۵- نقصان لایه ازن
$\ln Y_7 = 0.77 \ln x_2 - 0.30 \ln x_3 + 0.25 \ln x_4$	۶- مسمومیت انسان‌ها
$\ln Y_8 = -0.28 \ln x_1 + 0.91 \ln x_2 - 0.24 \ln x_3 - 0.12 \ln x_4$	۷- مسمومیت آب‌های سطحی
$\ln Y_9 = 0.92 \ln x_2 + 0.72 \ln x_3$	۸- مسمومیت آب‌های آزاد
$\ln Y_{10} = -0.37 \ln x_1 + 1.00 \ln x_2 - 0.26 \ln x_4$	۹- مسمومیت خاک
$\ln Y_{11} = -0.32 \ln x_1 + 0.56 \ln x_2 + 0.48 \ln x_3 + 0.11 \ln x_4$	۱۰- اکسیداسیون فتوشیمیایی

x_1 : نیروی کارگری، x_2 : ماشین‌ها و ادوات، x_3 : سوخت دیزل، x_4 : کودهای شیمیایی

همبستگی ۰/۹۸۴ (ضریب تبیین ۰/۹۶۸) به‌عنوان بهترین مدل برای تخمین عملکرد برگ سبز چای با استفاده از انرژی نهاده‌ها انتخاب گردید. شکل ۲ توزیع داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده توسط مدل را هم در داده‌های آموزش و هم در داده‌های آزمون نشان می‌دهد. پیش از این سهیلی فرد و صلواتیان (۲۰۱۵) از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌منظور مدل‌سازی مصرف انرژی در تولید چای در

براساس نتایج این مدل‌سازی، مدل با ساختار ۱-۹-۵ با ۵ ورودی، یک لایه مخفی با ۹ نورون و یک لایه خروجی با یک پارامتر خروجی به‌عنوان بهترین ساختار تعیین گردید. توابع محرک تانژانت سیگموئید در لایه‌های مخفی و تابع محرک خطی در لایه خروجی بهترین شبکه بکار گرفته شده بود. مدل مذکور با داشتن مقدار RMSE و MAPE به‌ترتیب برابر ۰/۱۴۲ و ۰/۰۰۵ و ضریب

تمامی شاخص‌های زیست‌محیطی نیز به‌عنوان خروجی‌های مدل در نظر گرفته شدند. به‌منظور دستیابی به بهترین ساختار شبکه عصبی، تعداد مختلفی از ساختارها با یک و دو لایه مخفی آموزش داده شده و آزمون و اعتبارسنجی شده‌اند. براساس نتایج این مدل‌سازی، مدل با ساختار ۱۰-۸-۵ با ۵ ورودی، یک لایه مخفی به‌ترتیب با ۸ نرون و یک لایه خروجی با ۱۰ پارامتر خروجی به‌عنوان بهترین ساختار تعیین گردید. عملکرد بهترین شبکه آموزش داده شده به همراه نتایج آزمون‌ها در جدول ۷ نشان داده شده‌اند. توابع محرک تانژانت سیگموئید در لایه‌های مخفی و توابع محرک خطی در لایه خروجی بهترین شبکه به‌کار گرفته شد.

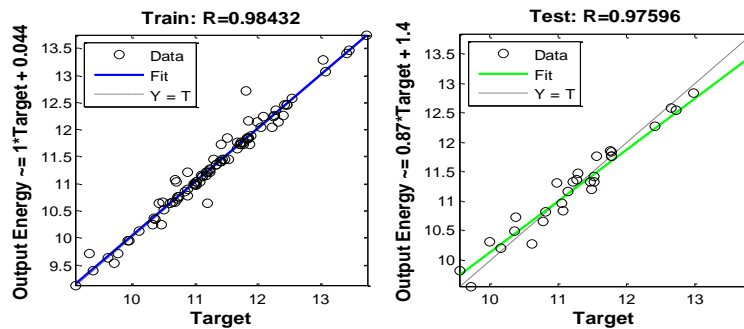
شهرستان لاهیجان بهره‌جسته بودند. نتایج آن‌ها نیز نشان دادند که ساختار مدل عصبی ۷-۱۳-۱۳-۷ با ضریب همبستگی ۰/۹۶۸ قادر به پیش‌بینی عملکرد چای بر اساس نهاده‌های انرژی در منطقه می‌باشد. در مطالعه‌های دیگر نبوی پله‌سرایبی و همکاران (۲۰۱۶b) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به پیش‌بینی عملکرد و نشر گازهای گلخانه‌ای در تولید محصول کیوی در استان گیلان پرداختند. نتایج نشان دادند شبکه‌ای با لایه ورودی شامل ۱۲ نرون، دو لایه پنهان هر کدام شامل ۹ نرون و لایه خروجی شامل ۲ نرون بهترین مدل می‌باشد.

در مدل‌سازی نهاده‌های شاخص‌های زیست‌محیطی تولید برگ سبز چای، نهاده‌های انرژی (شامل نیروی کارگری، ماشین‌ها و ادوات، سوخت دیزل، کود نیتروژن و کود فسفر) به‌عنوان ورودی‌های مدل و

جدول ۶- عملکرد شبکه عصبی برای مدل‌سازی انرژی مصرفی در تولید برگ سبز چای

عنوان			NH1*			آموزش			آزمون		
						MAPE	RMSE	R	MAPE	RMSE	R
عملکرد برگ سبز چای			۹			۰/۰۰۴	۰/۱۱۱	۰/۹۷۶	۰/۰۰۵	۰/۱۴۲	۰/۹۸۴

* تعداد نرون در لایه مخفی اول



شکل ۲- ضریب همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی انرژی خروجی در داده‌های آموزش (سمت چپ) و آزمون (سمت راست)

جدول ۷- عملکرد شبکه عصبی برای مدل‌سازی انرژی مصرفی در تولید برگ سبز چای

عنوان			آموزش			آزمون		
			MAPE	RMSE	R	MAPE	RMSE	R
۱- تقلیل مواد غیر آلی			۰/۱۵۱	۰/۱۸۵۴	۰/۱۸	۰/۱۸۷۲	۰/۰۷۶	۰/۰۱۰
۲- اسیدی شدن			۰/۰۹۷	۰/۹۶۲	۰/۰۰۵	۰/۹۴۳	۰/۰۹۳	۰/۰۱۵
۳- اختناق دریاچه‌ای			۰/۰۷۴	۰/۹۸۷	۰/۰۲۱	۰/۹۲۳	۰/۱۲۵	۰/۰۰۷
۴- پتانسیل گرمایش جهانی			۰/۱۲۸	۰/۹۸۵	۰/۰۰۶	۰/۸۹۲	۰/۰۹۸	۰/۰۰۸
۵- نقصان لایه ازن			۰/۱۳۳	۰/۹۵۷	۰/۰۱۷	۰/۸۷۹	۰/۱۱۴	۰/۰۱۷
۶- مسمومیت انسان‌ها			۰/۱۳۵	۰/۸۷۸	۰/۰۱۱	۰/۹۳۳	۰/۰۸۴	۰/۰۱۱
۷- مسمومیت آب‌های سطحی			۰/۱۴۱	۰/۹۱۹	۰/۰۱۴	۰/۸۵۲	۰/۰۹۶	۰/۰۱۹
۸- مسمومیت آب‌های آزاد			۰/۰۷۸	۰/۹۸۱	۰/۰۰۹	۰/۹۶۲	۰/۱۲۱	۰/۰۲۱
۹- مسمومیت خاک			۰/۱۲۰	۰/۸۲۳	۰/۰۱۶	۰/۷۷۳	۰/۱۰۳	۰/۰۰۳
۱۰- اکسیداسیون فتوشیمیایی			۰/۱۱۸	۰/۹۸۳	۰/۰۱۰	۰/۹۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۲۶

که در کشت این محصول بیش‌ترین بار زیست‌محیطی مربوط به نهاده کود نیتروژن و ماشین‌ها بوده و در کارخانه‌های تولید چای خشک بیش‌ترین بار زیست‌محیطی مربوط به استفاده از کاغذ روکش‌دار در بسته‌بندی چای می‌باشد. نتایج مدل‌سازی رگرسیونی برای انرژی خروجی و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در تولید برگ سبز چای نشان دادند که تمامی مدل‌ها می‌توانند با دقت مناسبی انرژی خروجی و شاخص‌های آلاینده‌های زیست‌محیطی را پیش‌بینی کنند. نتایج استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل‌سازی انرژی و آلاینده‌های زیست‌محیطی نشان دادند که این مدل‌ها می‌توانند با دقت بسیار بالایی مقادیر انرژی خروجی و شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید چای را پیش‌بینی کنند. ساختارهای ۱-۹-۵ و ۱۰-۸-۵ به ترتیب به‌عنوان بهترین ساختارهای پیش‌بینی انرژی خروجی و شاخص‌های آلاینده‌های زیست‌محیطی در کشت چای در استان گیلان معرفی شدند.

به‌طور کل نتایج مدل‌سازی شاخص‌های زیست‌محیطی نشان دادند که برای تمامی شاخص‌ها ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۷ و برای اکثریت آن‌ها بالاتر از ۰/۹ بود. همچنین مقادیر RMSE و MAPE هم برای تمامی شاخص‌ها مقادیر اندکی به خود اختصاص داده بودند که نشان‌دهنده قدرت مدل ارائه‌شده برای پیش‌بینی این شاخص‌ها توسط نهاده‌های مصرفی می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

این مطالعه جهت ارزیابی و مدل‌سازی انرژی و آلاینده‌های زیست‌محیطی تولید برگ سبز چای و چای خشک‌شده در استان گیلان انجام شد. تحلیل انرژی مصرفی در تولید چای خشک نشان داد که کل انرژی مصرفی برای تولید یک تن چای خشک برابر با ۶۴۸۸۵/۲۳ مگاژول می‌باشد که سوخت دیزل با مقدار ۷۲/۹۳ درصد بیش‌ترین سهم در انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است. ارزیابی آلاینده‌های زیست‌محیطی در کشت و فرآوری چای نشان داد

منابع

- سفیدپری پ. ۱۳۹۱. مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی در واحدهای پرورش گاو شیری و مرغ تخم‌گذار به کمک روش‌های بهینه‌سازی فازی، مطالعه موردی: شهرستان‌های ری و کرج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران
- نبوی پله سرائی الف.، عبدی ر.، صالحی م. و قاسمی مبتکر، ح. ۱۳۹۲. مدل‌سازی و تحلیل حساسیت نهاده‌های انرژی برای تولید سیر در استان گیلان. مجله پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲(۲): ۵۳-۶۰.
- نیکخواه الف.، عمادی ب.، شعبانیان ف. و کلکناری هانی ح. ۱۳۹۳. ارزیابی حساسیت انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید چای در استان گیلان. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. ۶(۳): ۶۲۲-۶۳۳.
- یوسفی نژاد استادکلایه، م. ۱۳۹۴. ارزیابی انرژی مصرفی و انتشار آلاینده‌های کارخانه‌های اصلی تولید سیگار در ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.
- Ajayi O. O. R., Fagbenl O., Katende J., Okeniyi J. O. and Omotosho O. A. 2010. **Wind Energy Potential for Power Generation of a Local Site in Gusau, Nigeria**. International Journal of Energy for a Clean Environment 11(1-4): 99-116.
- Brentrup F., Küsters J., Kuhlmann H. and Lammel J. 2004. **Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production**. European Journal of Agronomy 20: 247-264.
- Da Silva V., Van der P., Werf H. M., Soares S. R. and Corson M. S. 2014. **Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach**. Journal of Environmental Management 133: 222-231.
- Ghasemi Mobtaker H., Keyhani A., Mohammadi A., Rafiee S. and Akram A. 2010. **Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran**. Agriculture, Ecosystems & Environment 137: 367-372.
- Jolliet O., Saadé-Sbeih M., Shaked S., Jolliet A. and Crettaz P. 2016. **Environmental Life Cycle Assessment**. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.

- Khanali M., Mobli H. and Hosseinzadeh-Bandbafha H. 2017. **Modeling of yield and environmental impact categories in tea processing units based on artificial neural networks**. Environmental Science and Pollution Research 24(34): 26324–26340.
- Kitani O. 1999. **CIGR handbook of agricultural engineering**. ASAE publication.
- Kizilaslan H. 2009. **Input–output energy analysis of cherries production in Tokat province of Turkey**. Applied Energy 86: 1354–1358.
- Mohammadi A. and Omid M. 2010. **Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran**. Applied Energy 87: 191–196.
- Mohammadi A., Tabatabaeefar A., Shahin S., Rafiee S. and Keyhani A. 2008. **Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province**. Energy Conversion and Management 49: 3566–3570.
- Munasinghe M., Deraniyagala Y., Dassanayake N. and Karunarathna H. 2017. **Economic, social and environmental impacts and overall sustainability of the tea sector in Sri Lanka**. Sustainable Production and Consumption 12: 155–169.
- Nabavi-Pelesaraei A., Abdi R., Rafiee S., Shamshirband S. and Yousfinejad-Ostadkelayeh M. 2016a. **Resource management in cropping systems using artificial intelligence techniques – a case study of orange orchards in north of Iran**. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 30(1):413–427.
- Nabavi-Pelesaraei A., Rafiee S., Hosseinzadeh-Bandbafha H. and Shamshirband S. 2016b. **Modeling energy consumption and greenhouse gas emissions for kiwifruit production using artificial neural networks**. Journal of Cleaner Production 133: 924–931.
- Ozkan B., Akcaoz H. and Fert C. 2004. **Energy input–output analysis in Turkish agriculture**. Renewable Energy 29: 39–51.
- Pelvan E. and Özilgen M. 2017. **Assessment of energy and exergy efficiencies and renewability of black tea, instant tea and ice tea production and waste valorization processes**. Sustainable Production and Consumption 12: 59–77.
- Sethi V. P., Sumathy K., Lee C. and Pal D. S. 2013. **Thermal modeling aspects of solar greenhouse microclimate control: A review on heating technologies**. Solar Energy 96: 56–82.
- Soheili-Fard F. and Salvatian S. B. 2015. **Forecasting of tea yield based on energy inputs using artificial neural networks (A case study: Guilan province of Iran)**. Biological Forum 7(1): 1432–1438.
- Tabatabaeefar A., Emamzadeh H., Varnamkhasti M. G., Rahimizadeh R. and Karimi M. 2009. **Comparison of energy of tillage systems in wheat production**. Energy 34: 41–45.
- Taki, M., Mahmoudi A., Ghasemi Mobtaker H. and Rahbari H. 2012. **Energy consumption and modeling of output energy with multilayer feed–forward neural network for corn silage in Iran**. Agricultural Engineering International: CIGR Journal 14(4): 93–101.

Modeling of Energy Consumption and Environmental Indices of Production and Processing of Tea with Regression and Artificial Neural Network Models

M. Khanali^{1*}, H. Mobli¹, H. Ghasemi Mobtaker² and M. Sherafat¹

Received: 3 October 2017 Accepted: 17 February 2018

¹Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

²Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

*Corresponding author: khanali@ut.ac.ir

Abstract

In this research, modeling of energy consumption and environmental emissions for different process of tea production in Gilan province (Iran) were investigated using regression and artificial neural networks. Data related to agricultural and industrial activities of tea production chain were collected through questionnaire survey from tea farms of different counties in Guilan province. Also, the datatbank of agricultural organization, tea research institute and tea factories were collected. The results showed that the total energy input and output for green tea leaf production were 34343.51 and 10996.45 MJ/ha, respectively. Also, the total energy input for dry tea was obtained 64885.23 MJ/ton. The results of the life cycle assessment in tea farms revealed that the highest effect belonged to nitrogen in abiotic depletion, acidification, eutrophication and global warming potential impacts. The survey of life cycle assessment in the tea processing factories illustrated that diesel fuel had the highest share in abiotic depletion, ozone layer depletion, human toxicity, fresh water aquatic ecotoxicity and photochemical oxidation impact categories. In acidification, eutrophication, global warming potential impacts, green leaf input had the highest share. Moreover, the highest share of marine aquatic ecotoxicity and terrestrial ecotoxicity was belonged to coated paper. The results of energy and environmental emissions modeling for green tea leaf production showed that artificial neural networks can predict the outputs and inputs with more accuracy than regression technique.

Keywords: Tea, Energy consumption, Life cycle assessment, Modeling