

مدل‌سازی انرژی مصرفی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در روند تولید نیشکر در مزارع راتون با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (بررسی موردی کشت و صنعت دعبل خزایی استان خوزستان)

سپیده هارونی^{۱*}، محمد جواد شیخ داوودی^۲ و مصطفی کیانی ده‌کیانی^۳

چکیده

این بررسی برای تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی انرژی مصرفی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در روند تولید نیشکر در مزارع راتون در استان خوزستان بررسی شد. اطلاعات لازم برای انجام این مطالعه در سال ۱۳۹۴ به شکل ۱۱۳ پرسش‌نامه و بررسی حضوری از شرکت کشت و صنعت دعبل خزایی به دست آمد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد کل انرژی نهاده ۱۴۵۱۱۷/۷۹۷۸ مگاژول بر هکتار برآورد شد. بیشترین میزان مصرف نهاده با مقدار ۷۹۵۳۴/۳۹ مگاژول بر هکتار و سهم ۵۴ درصد به الکتریسیته تعلق داشت. همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ۱۷۸۲۳/۳۴۸۲ کیلوگرم کربن دی‌اکسید بر هکتار محاسبه شد. بهترین ساختار برای شبکه عصبی جهت عملکرد و انتشار گازهای گلخانه‌ای به ترتیب ۱-۱۹-۷-۶ و ۱-۵-۵ تخمین زده شد. مدل برای عملکرد محصول نیشکر و میزان نشر گازهای گلخانه‌ای در مزارع راتون به ترتیب دارای ضریب همبستگی خطا ۹۶ و ۹۹ درصد و میزان و میانگین مربعات خطا به ترتیب دارای مقادیر ۱۷۷۶۳۵۲۲ و ۵۲۸ بوده و بنابراین شبکه عصبی می‌تواند به خوبی عملکرد محصول نیشکر و میزان نشر گازهای گلخانه‌ای را در مزارع راتون پیش‌بینی و مدل‌سازی کند.

واژه‌های کلیدی: انرژی مصرفی، گازهای گلخانه‌ای، مزارع راتون، مدل‌سازی شبکه عصبی، نیشکر.

ارجاع: هارونی س. شیخ داوودی م. ج. و کیانی ده‌کیانی م. ۱۳۹۴. مدل‌سازی انرژی مصرفی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در روند تولید نیشکر در مزارع راتون با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (بررسی موردی کشت و صنعت دعبل خزایی استان خوزستان). نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۱۹-۱۱: (۲)۴.

۱- کارشناسی ارشد مکانیزاسیون، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

* نویسنده مسئول: sepide_haroni@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۲۶

مقدمه

در کشور ما از نظر افزایش روزافزون جمعیت و بالا رفتن مقدار شکر مصرفی، هم‌اکنون مقدار زیادی شکر از خارج وارد می‌شود. کشت نیشکر به‌عنوان محصولی استراتژیک با درصد شکر بالا و داشتن محصولات جانبی می‌تواند نقش عمده‌ای در رفع این نیاز و قطع وابستگی ایفا کند. مزارع پلنت مزارعی هستند که در اولین سال کشت برداشت محصول انجام می‌شود، و مزارعی که برداشت محصول سال‌های بعدی است، مزارع راتون نامیده می‌شوند (بی‌نام، ۱۳۹۲). بخش کشاورزی به‌عنوان مهم‌ترین تولیدکننده مواد غذایی فقط مصرف‌کننده انرژی است بلکه مهم‌ترین عرضه‌کننده انرژی به‌صورت زیست انرژی نیز محسوب می‌شود (زنکنه و همکاران، ۲۰۱۰). استفاده بهینه از منابع انرژی و بهبود بهره‌وری مصرف انرژی یک مسیر ممکن برای کاهش زیان‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف نهاده‌های انرژی در تولید مواد غذایی محسوب می‌شود که صرفه‌جویی مالی، حفظ منابع فسیلی و کاهش آلودگی هوا را به ارمغان می‌آورد. توجه به منابع طبیعی محدود و اثرات سوء استفاده نامناسب از منابع مختلف انرژی روی سلامتی انسان و محیط‌زیست، ضرورت بررسی الگوهای مصرف انرژی برای استفاده مؤثر از آن را در بخش کشاورزی حیاتی ساخته است (موسوی اول و همکاران، ۲۰۱۱). استفاده زیاد از نهاده‌های کشاورزی مانند انواع کودهای شیمیایی و سوخت‌های فسیلی سبب بروز تأثیرات زیست‌محیطی مخربی گشته است که از آن جمله می‌توان به افزایش گرمایش جهانی، کاهش تنوع زیستی، تنزل کیفیت خاک (به‌عنوان مثال فرسایش، فشردگی و یا کاهش مواد آلی خاک) و آلودگی آب‌ها، خاک و هوا اشاره کرد. سهم بخش زراعی در انتشار این گازها ۱۰ الی ۱۲ درصد کل گازهای منتشر شده را تشکیل می‌دهد (پیشگر و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین، درک درست از میزان گازهای گلخانه‌ای تولیدشده ناشی از مصرف نهاده‌های مختلف مانند سوخت مصرفی، کود و آفت‌کش‌ها آبیاری، امری ضروری محسوب می‌شود. از دیگر اثرات افزایش بازده انرژی می‌توان به کاهش هزینه‌های عملیاتی و همچنین هزینه‌های ناشی از تولید محصولات کشاورزی اشاره کرد. پیشرفت در افزایش بازده سامانه‌های کشاورزی، با بهره‌گیری از منابع انرژی کمتر در مقایسه با محصولات تولیدی، به کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند

(دالگارد و همکاران، ۲۰۰۱). تاکنون روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی انرژی مصرفی در کشاورزی استفاده شده است. یکی از روش‌های که توجه پژوهش‌گران را به خود جلب کرده است، شبکه‌های عصبی مصنوعی است (آیدین، ۲۰۱۴). شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) با الهام از شبکه‌های عصبی بیولوژیکی به پیش‌بینی، طبقه‌بندی، الگوسناسی، داده‌کاوی و مدل‌سازی فرایند می‌پردازد (از طرفی در بسیاری پژوهش‌های انجام‌شده، از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی میزان نشر گازهای گلخانه‌ای استفاده‌شده است (آنتاناسیجویس و همکاران، ۲۰۱۵). در این زمینه هرچند که شبکه‌های عصبی مصنوعی با مدل واقعی فاصله زیادی دارند، اما توانایی آن‌ها در کشف روابط غیرخطی میان داده‌های ورودی و خروجی در مقایسه با مدل‌های مرسوم، این مدل‌ها به تلاش محاسباتی کمی نیاز دارند (کارتالوپلس، ۱۹۹۶). با توجه به نقش مهم نیشکر برای تولید شکر در سبد غذایی خانواده‌های ایرانی، این محصول در اقتصاد کشور از نظر اشتغال‌زایی و سطح زیرکشت زیاد این محصولات در استان خوزستان و به‌ویژه شهرستان اهواز به‌عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی این استان و اهمیت مصرف انرژی در تولید شکر تمرکز این بررسی روی محصول نیشکر قرار گرفته است. هدف از این مقاله بررسی انرژی مصرفی و تحلیل شاخص‌های انرژی گیاه نیشکر و پیش‌بینی عملکرد گیاه نیشکر در مزارع راتون و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای براساس انرژی‌های ورودی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی است. بر این اساس چند مدل اجرا و صحت و دقت آن‌ها ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شهر اهواز، استان خوزستان انجام شد. اطلاعات مورد نیاز با استفاده از پرسش‌نامه و بررسی حضوری در کشت و صنعت دعبل خزایی در استان خوزستان شهرستان اهواز، در شکل ۱۱۴ پرسش‌نامه جمع‌آوری شد. جهت تکمیل آمار و اطلاعات مربوط تلاش شد در مراحل مختلف پژوهش، با کارشناسان شرکت کشت و صنعت، مصاحبه به عمل آید و نظرات آن‌ها نیز در نظر گرفته شود.

نهاده‌های مورد استفاده در تولید محصولات مورد بررسی عبارت بودند از نیروی کارگری، ماشین‌ها (هاروستر،

استفاده از ماشین در واحد سطح (h) و T عمر مفید ماشین (h) است.

انرژی برای آب آبیاری، هم به صورت مستقیم هم به صورت غیرمستقیم محاسبه می‌شود. در روش مستقیم، انرژی مستقیم برای بالا آوردن و تحت فشار قرار دادن آب مورد نیاز رابطه (۳) محاسبه می‌شود (کیتانی، ۱۹۹۹):

$$DE = \frac{\gamma ghQ}{\mu_1 \mu_2} \quad (3)$$

که در آن DE انرژی مستقیم آبیاری (ژول بر هکتار)؛ γ چگالی آب (1000 kg/m^3)؛ g شتاب گرانش زمین (m/s^2)؛ Q میزان کل آب مورد نیاز برای هر فصل زراعی بر حسب m^3/ha که در این پژوهش برای نمونه‌های مختلف متفاوت است؛ μ_1 بازدهی پمپ (برای پمپ‌های برقی به طور معمول بین ۰/۱۸ تا ۰/۲۲ در نظر گرفته می‌شود، در این پژوهش ۲۰ درصد در نظر گرفته شد)، μ_2 بازدهی وسیله تولید توان (الکترو موتور یا موتور دیزل) (۷۰ تا ۹۰ درصد در نظر گرفته می‌شود، در این پژوهش ۸۰ درصد در نظر گرفته شد)؛ h هد دینامیکی پمپ است (غدیریان‌فر و همکاران، ۱۳۹۲). انرژی غیرمستقیم آبیاری شامل انرژی تجهیزات مورد استفاده در عملیات پمپاژ آب، آبیاری و حفر چاه و به طور کلی شامل انرژی مواد خام مصرفی و همچنین ساخت و انتقال کلیه عواملی که در آبیاری دخالت دارند، است که با توجه به طول عمر سامانه محاسبه می‌شود و به طور معمول ۲۰ درصد انرژی مستقیم آبیاری مدنظر قرار می‌گیرد (کیتانی، ۱۹۹۹).

تراکتور و سایر ماشین‌های مزرعه‌ای، سوخت دیزل، آب آبیاری، الکتریسیته، کودهای شیمیایی (نیترژن، فسفات)، سموم شیمیایی (علف‌کش). از طرف دیگر ستاده شامل نیشکر است. برای تعیین میزان انرژی معادل نهاده‌ها و ستانده‌ها از ضریب‌های انرژی متناظر با هر یک استفاده شد. که در جدول ۱ ارائه شده‌اند. انرژی معادل نهاده و ستاده براساس فرمول (۱) به دست می‌آید (کیتانی، ۱۹۹۹):

$$E_{input} = I_{consumption} \times ec_{input} \quad (1)$$

که در آن، E_{input} انرژی معادل نهاده‌های مصرفی برحسب مگاژول، $I_{consumption}$ میزان نهاده مصرفی (نیروی انسانی، سوخت فسیلی، الکتریسیته و غیره) برحسب واحد آن و ec_{input} محتوای انرژی نهاده برحسب مگاژول بر واحد هست. انرژی مربوط به نهاده‌های ماشینی یکی از مهم‌ترین اقلام انرژی مصرفی در کل فرآیند موازنه انرژی تولیدات کشاورزی است. در محاسبه انرژی ماشین‌های کشاورزی چند مرحله مهم وجود دارد؛ انرژی استفاده شده در تهیه مواد خام، انرژی مورد نیاز در فرآیند تولید، انرژی مورد نیاز برای حمل و نقل ماشین تا رسیدن به دست مصرف‌کننده، انرژی مصرفی در تعمیر و نگهداری (کیتانی، ۱۹۹۹). برای محاسبه انرژی ماشین‌های استفاده شده از فرمول (۲) استفاده شد (هاتیرلی و همکاران ۲۰۰۵):

$$ME = \frac{G \times M_p \times t}{T} \quad (2)$$

که در آن ME انرژی ماشین در واحد سطح (MJ/ha)، G جرم ماشین (kg)، M_p انرژی ماشین (MJ/kg)، t زمان

جدول ۱- ضریب‌های استاندارد انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید نیشکر در مزارع راتون

عنوان	محتوای انرژی (مگاژول بر واحد)	واحد	منبع
نهاده			
نیروی کارگری	۱/۹۶	h	(رمدانی و همکاران، ۲۰۱۱)
ماشین‌ها			
تراکتور و ادوات خودگردان	۹-۱۰	kg	(کیتانی، ۱۹۹۹)
هاروستر	۸-۱۰	kg	(کیتانی، ۱۹۹۹)
سایر ماشین‌ها	۶-۱۰	kg	(کیتانی، ۱۹۹۹)
سوخت دیزل	۴۷/۸	L	(کیتانی، ۱۹۹۹)
سموم شیمیایی	۲۷۸/۸	kg	(کیتانی، ۱۹۹۹)
کود نیترژن	۷۸/۱	kg	(کیتانی، ۱۹۹۹)
آب آبیاری	۱	m^3	(اردال و همکاران، ۲۰۰۷)
الکتریسیته	۱۵/۲۸	kWh	(غدیریان‌فر و همکاران، ۱۳۹۲)
خروجی			
نیشکر	۱/۲	kg	(کیتانی، ۱۹۹۹)

شاخص‌های انرژی

در این قسمت از پژوهش شاخص‌های انرژی در سامانه‌های تولیدی مورد نظر، بررسی شد که یکی از مهم‌ترین اقدامات در فرایند تحلیل انرژی محسوب می‌شود. در این راستا از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود. بعضی از این شاخص‌ها که امکان شناخت جامع از وضعیت انرژی در کشاورزی را آماده می‌کنند، شامل نسبت انرژی^۱، بهره‌وری انرژی^۲، انرژی ویژه^۳ و افزوده خالص انرژی^۴ است. روابط محاسبه این شاخص‌ها به شرح زیر است:

$$EnergyRatio = \frac{OutputEnergy (MJha^{-1})}{InputEnergy (MJha^{-1})} \quad (3)$$

$$Energyproductivity = \frac{yield(kg ha^{-1})}{InputEnergy (MJha^{-1})} \quad (4)$$

$$Specific Energy = \frac{InputEnergy (MJha^{-1})}{yield (kg ha^{-1})} \quad (5)$$

$$Net Energy Gain = OutputEnergy - InputEnergy \quad (6)$$

نسبت انرژی بدون واحد است و مقدار انرژی به دست آمده به ازای هر واحد مصرف انرژی برای تولید را نشان می‌دهد. شدت انرژی بسته به نوع محصول کشاورزی، موقعیت و زمان، متفاوت است و می‌تواند به عنوان شاخصی برای ارزیابی کارایی مصرف انرژی در سامانه‌های مختلف تولید محصول مورد نظر باشد. شدت انرژی نشان دهنده مصرف انرژی برای تولید یک واحد از محصول است. بهره‌وری انرژی عکس شدت انرژی است و بیان کننده مقدار تولید محصول به ازای هر واحد انرژی مصرف شده است. واحد بهره‌وری انرژی کیلوگرم بر مگاژول است (رجایی فر و همکاران، ۲۰۱۴).

ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای

مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از نهاده‌های تولید محصولات کشاورزی براساس ضریب‌های موجود در منابع معتبر محاسبه می‌شود. میزان این گازها بر حسب نهاده‌های ورودی (سوخت دیزل، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، برق و آب آبیاری) با ضریب انتشار متناظر با آن‌ها، اندازه‌گیری می‌شود. انرژی مصرفی برای آب آبیاری به انرژی الکتریسیته تبدیل می‌شود و برای برآورد میزان این گازهای منتشر شده از آبیاری به عنوان یکی از

نهاده‌های تولید، ضرب مصرف برق با ضریب GHG، محاسبه می‌شود (خوشنویسان و همکاران، ۲۰۱۳). میزان نشر گازهای گلخانه‌ای برای هر یک از نهاده‌ها از طریق فرمول (۷) به دست می‌آید:

$$GHG_{emissions} = SI_{consumption} \times EC_{emissions} \quad (7)$$

که در آن $GHG_{emissions}$ میزان انتشار کیلوگرم گاز گلخانه‌ای منتشر شده برای نهاده در واحد هکتار، $SI_{consumption}$ مقدار هر نهاده در واحد هکتار با توجه به واحد مربوطه و $EC_{emissions}$ ضریب انتشار استاندارد که در جدول ۲ نشان داده شده است (خوشنویسان و همکاران، ۲۰۱۳). بیشتر از ۲۵-۳۰ درصد از بیوماس بالای سطح خاک گیاه نیشکر را برگ‌ها و سر نی‌ها تشکیل می‌دهند (که عموماً به آن تراش گفته می‌شود) که از نظر تولید شکر و ملاس نامطلوب است. سوزاندن نیشکر قبل از برداشت تراش را نابود می‌کند. بهره‌وری و سودآوری را در فرآیندهای برداشت افزایش می‌دهد (سندیو و همکاران، ۲۰۱۳). ریلوی و همکاران، ۲۰۰۰). از طرفی آلاینده‌های ناشی از سوزاندن شاخ و برگ نیشکر سبب انتشار آلاینده‌های زیادی از جمله کربن دی‌اکسید است. میزان انتشار این آلاینده ۱/۳۰۳ کیلوگرم به ازای هر یک کیلوگرم شاخ و برگ است (فرانچا و همکاران، ۲۰۱۲).

مدل سازی عملکرد به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی

در این قسمت برای پیش‌بینی میزان عملکرد محصول با توجه به انرژی مصرفی توسط نهاده‌های مختلف برای مزارع مورد بررسی از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. این شبکه‌ها قادر هستند هر رابطه بین ورودی و خروجی را با دقت دلخواه تخمین بزنند. در کاربرد این روش نیز از نرم‌افزار MATLAB 2013 بهره گرفته شده است. برای دستیابی به بهترین شبکه با بیشترین دقت و کمترین خطا ایجاد تغییراتی در شبکه اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. یکی از این تغییرات چیدمان شبکه^۵ یا به عبارتی تعداد لایه‌های مخفی به کار رفته در شبکه است. تغییر دیگر شامل نوع تابع فعال‌سازی یا محرک^۶ است. توابع محرک مختلفی برای یافتن حالت بهینه ارزیابی می‌شوند که عبارتند از:

1- Energy Ratio (ER)

2- Energy Productivity (EP)

3- Specific Energy (SE)

4- Net Energy Gain (NEG)

5- Topology

6- Levenberg- Marquardt

پراکندگی هستند؛ چون آموزش شبکه را بسیار سریع انجام داده و سطح خطای موجود را کم می‌کنند. برای یافتن شبکه‌ای با توپولوژی مناسب به کمک الگوریتم‌های آموزش، از معیارهای ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شده است (کیانی ده‌کیانی و همکاران، ۲۰۰۹).

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - A_i)^2}{\sum_{i=1}^n A_i^2} \right) \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - A_i)^2} \quad (13)$$

$$Y_j = \frac{1}{1 + \exp(-X_j)} \quad (8) \text{ تابع سیگموئید}^1$$

$$Y_j = \frac{2}{(1 + \exp(-2X_j))} - 1 \quad (9) \text{ تابع تانژانت}$$

$$Y_j = X_j \quad (10) \text{ تابع خطی هاپربولیک}^2$$

X_j مجموع ورودی‌های وزن دار هر یک از نرون‌های لایه نام است و از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$X_j = \sum_{i=1}^m W_{ij} \times Y_i + b_j \quad (11)$$

که برای شبکه‌های پس انتشار پیشرو و پیشخور، m تعداد نرون‌های لایه خروجی، W_{ij} وزن بین لایه i و j ، Y_i خروجی نرون i ام و b_j مقدار بایاس نرون لایه j ام است (رحمان و همکاران، ۲۰۱۰). در این پژوهش از الگوریتم‌های آموزش لونبرگ-مارکوارت^۳ (LM) برای به‌هنگام‌سازی وزن‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد که از الگوریتم‌های

جدول ۲- ضرایب استاندارد نشر گازهای گلخانه‌ای

عنوان	ضرایب استاندارد (کیلوگرم CO2 بر واحد)	واحد	منبع
ماشین‌ها	۰/۰۷۱	MJ	(دایریدسجاردینس، ۲۰۰۳)
سوخت دیزل	۲/۶۷	L	(کیتانی، ۱۹۹۹)
سموم شیمیایی	۶/۳	kg	(کیتانی، ۱۹۹۹)
کود نیتروژن	۱/۳	kg	(کیتانی، ۱۹۹۹)
الکتریسیته	۰/۶۰۸	kWh	(خوشنویسان و همکاران، ۲۰۱۳)
شاخ و برگ نیشکر	۱/۳۰۳	kg	(فرانچا و همکاران، ۲۰۱۲)

نتایج و بحث

تحلیل انرژی نهاده و ستاده

میزان مصرف انرژی نهاده‌ها و انرژی ستانده در جدول ۳ نمایش داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود به طور متوسط برای کشت یک هکتار نیشکر در منطقه مورد بررسی ۱۴۲۱۱۷/۷۶۸۶ مگاژول انرژی از منابع مختلف مصرف می‌شود. در مقابل متوسط انرژی ستانده در کشت این محصول ۸۷۰۹۶/۴۲ مگاژول در هکتار برآورد شد. جدول ۳ سهم هر یک از نهاده‌های انرژی در کشت یک هکتار نیشکر در منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد. الکتریسیته با سهم ۵۴ درصدی بیشترین میزان مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است. در این منطقه، بخش بسیار زیادی از نهاده الکتریسیته برای پمپاژ آب آبیاری استفاده می‌شود. پس از الکتریسیته، کودهای شیمیایی با مقادیر ۷۹۵۳۴/۳۹ و ۲۸۲۳۷/۵۶ مگاژول بر هکتار

بیشترین سهم را به خود اختصاص می‌دهند. همان‌گونه که انتظار می‌رود، در میان کودهای شیمیایی سهم کودهای نیتروژن (۱۶٪) در کل انرژی نهاده بیش از سایر کودهای مصرفی است. پیش از این سامی و همکاران در بررسی خود پیرامون مصرف انرژی در کشت نیشکر در ایران نشان دادند که در میان تمامی نهاده‌های مصرفی در کشت نیشکر الکتریسیته و کودهای شیمیایی بیشترین تأثیر را در کل انرژی نهاده‌ها به خود اختصاص داده‌اند (سامی و همکاران، ۲۰۱۴).

تحلیل شاخص‌های انرژی در تولید نیشکر در مزارع راتون

جدول ۴ شاخص‌های نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی در تولید نیشکر در مزارع راتون را نشان می‌دهد.

منفی شدن افزوده خالص انرژی بیانگر این موضوع است

1- Activation function

2- Logsig

3- Tansig

محصولات دیگر سهم الکتریسیته نسبت به سایر منابع در انتشار آلاینده‌گی بیشتر بوده است و نتایج به دست آمده با نتایج خوشنویسان و همکاران (۲۰۱۳) هماهنگی داشت.

جدول ۵- انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید نیشکر (مگاژول بر هکتار)

عنوان	میانگین (kg CO _{2eq} /ha)	درصد
ماشین‌ها	۱۱۰/۲۱۰	<۱
سوخت دیزل	۶۴۰/۳۲	۱
سموم شیمیایی	۴۳۹/۱۶	<۱
کود نیتروژن	۴۶۷/۱۱۴	۱
الکتریسیته	۱۶۱۶۶/۵۴	۳۳
شاخ و برگ نیشکر	۳۱۵۲۴/۰۶۷۱	۶۴

مدل سازی عملکرد نیشکر در مزارع راتون با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی مصنوعی

نهاده‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی عملکرد نیشکر در مزارع راتون شامل میزان انرژی نهاده‌های نیروی کارگری، تجهیزات و ماشین‌های زراعی، سوخت دیزل، الکتریسیته، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، آب آبیاری به‌عنوان ورودی‌های مدل و میزان عملکرد محصول نیز به‌عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شد. برای دستیابی به بهترین ساختار شبکه عصبی، تعداد مختلفی از ساختارها با یک و دو لایه مخفی آموزش داده شده و آزمون و اعتبارسنجی شده‌اند. میزان خطا و ضریب همبستگی برای داده‌های آموزش و تست سایر شبکه‌ها در جدول ۶ نشان داده شده است که از بین الگوریتم‌های آموزش مورد استفاده در این پژوهش، الگوریتم آموزش لونیگ مارکوارت به دلیل داشتن کمترین میزان RMSE و دقت بالاتر انتخاب شد.

بر اساس نتایج این مدل سازی، مدل با ساختار ۱-۱۹-۷-۶ با ۶ ورودی، دو لایه مخفی با ۷ نورون در لایه اول و ۱۹ نورون در لایه دوم و یک لایه خروجی با یک پارامتر خروجی به‌عنوان بهترین ساختار مشخص شد. توابع محرک تانژانت سیگموئید در لایه‌های مخفی و تابع محرک خطی در لایه خروجی بهترین شبکه به کار گرفته شده بود. ضریب همبستگی برای داده‌های آموزش و تست به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۹۹ و میانگین مربعات خطا به ترتیب ۱۷۷۶۳۵۲۲ و ۲۶۱۳۷۶۵۵ به‌عنوان بهترین مدل برای تخمین عملکرد نیشکر در مزارع راتون با استفاده از انرژی نهاده‌ها انتخاب شد. شکل ۱ ضریب همبستگی بین مقادیر

که باید در مزارع راتون از نظر نحوه مصرف نهاده‌ها دچار بازنگری شده و تا حد امکان مصرف نهاده‌های انرژی به ویژه الکتریسیته و کودهای ازته کاهش یابد. نتایج بالا با نتایج حاصل از بررسی‌های نتایج کریمی (۲۰۰۸) هماهنگی داشت. و در آن نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی به ترتیب برابر با ۰/۷۶، ۰/۶۳، ۱/۵۹ و ۳۵۸۰۰ - است.

جدول ۳- انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید نیشکر (مگاژول بر هکتار)

عنوان	مقدار (مگاژول)	درصد
نیروی کارگری	۵۴/۸۸	<۱
ماشین‌ها	۱۵۵۲/۲۶	۱
سوخت دیزل	۱۱۰۸۹/۰۶	۸
سموم شیمیایی	۸۷۴۲/۲۱	۹
کود نیتروژن	۲۸۲۳۷/۵۶	۱۹
آب آبیاری	۸۷۰۹۶/۴۲	۱۱
الکتریسیته	۷۹۵۳۴/۳۹	۵۴
ستانده		
نیشکر	۸۷۰۹۶/۴۲	

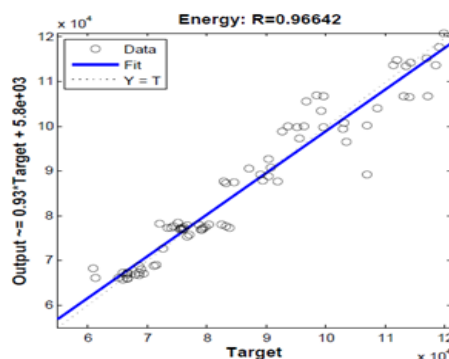
جدول ۴- شاخص‌های انرژی در تولید نیشکر در مزارع راتون

عنوان	واحد	مقدار
نسبت انرژی	-	۰/۶
بهره‌وری انرژی	kg/MJ	۰/۵
شدت انرژی	MJ/kg	۱/۹۹
افزوده خالص انرژی	MJ/ha	۵۸۰۲۱/۴

تحلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای در روند تولید نیشکر در مزارع راتون

نتایج مربوط به نشر گازهای گلخانه‌ای در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج بر آن است که میزان کل نشر گازهای گلخانه‌ای ۴۹۳۴۷/۴۲ کیلوگرم کربن دی اکسید بر هکتار بود. بیشترین مقدار نشر گازهای گلخانه‌ای، با سهم ۶۴ درصد مربوط به سوزاندن شاخ و برگ نیشکر قبل از برداشت بوده و پس از آن الکتریسیته با سهم ۳۳ درصد بیشترین میزان را به خود اختصاص داد. بدون در نظر گرفتن انتشار گازهای گلخانه‌ای که فقط مربوط به محصول نیشکر است در سایر بررسی‌های انجام شده روی

واقعی انرژی و مقادیر پیش‌بینی شده انرژی برای داده‌های آموزش و داده‌های تست نشان داده شده است.



شکل ۱- ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی انرژی و مقادیر پیش‌بینی شده داده‌های آموزش

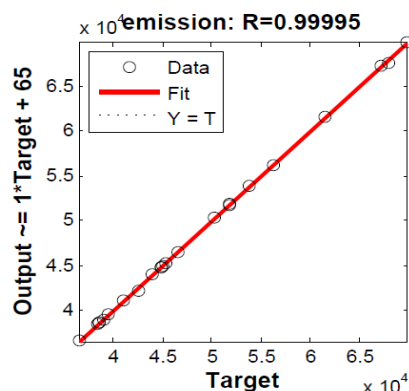
نهاده‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در روند تولید نیشکر در مزارع راتون شامل میزان انرژی نهاده‌های تجهیزات و ماشین‌های زراعی، سوخت دیزل، الکتریسیته، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی به‌عنوان ورودی‌های مدل و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز به‌عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که علاوه بر نهاده‌های نام برده میزان شاخ و برگ سوخته شده در عملیات قبل از برداشت نیشکر نیز به‌عنوان یک ورودی برای مدل‌سازی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفته شد. میزان خطا و ضریب همبستگی سایر شبکه‌ها در جدول ۷ نشان داده شده است از بین الگوریتم‌های آموزش مورد استفاده در این پژوهش، الگوریتم آموزش لونیبرگ مارکوآرت انتخاب شد.

جدول ۶- میزان خطا و ضریب همبستگی الگوریتم‌های آموزش داده شده برای مدل‌سازی انرژی

داده‌های تست		داده آموزش		نورون لایه دوم	نورون لایه اول	الگوریتم آموزش
R ²	RMSE	R ²	RMSE			
۹۵	۲۹۹۶۳۲۳۳	۹۵	۲۸۸۵۵۵۵۵	۵	۵	Levenberg Marquardt
۶۲	۲۹۳۷۲۵۲۳۶	۸۸	۵۵۹۳۸۵۵۳	۱۰	۵	Levenberg Marquardt
۷۵	۱۳۸۵۶۹۵۸۸	۹۵	۲۱۲۵۳۶۵۵	۱۵	۱۰	Levenberg Marquardt
۸۷	۲۴۷۴۶۳۲۵۱	۹۷	۱۴۷۲۵۴۳۲	۱۵	۱۲	Levenberg Marquardt
۹۵	۲۲۴۶۰۷۰۳	۹۵	۲۲۴۰۸۰۹۰	۱۶	۱۵	Levenberg Marquardt
۸۴	۱۱۰۷۰۳۸۹۶	۹۳	۵۹۵۴۸۰۰۹	۲۰	۱۵	Levenberg Marquardt
۹۵	۲۶۱۳۷۶۵۵	۹۶	۱۷۷۶۳۵۲۲	۱۹	۷	Levenberg Marquardt
۹۳	۴۹۶۵۲۵۶۰	۹۶	۱۸۵۹۶۵۳۳	۱۹	۷	Bayesian Regularization
۷۴	۱۳۴۸۶۷۹۳۲	۹۲	۳۴۵۸۴۳۲	۲۰	۷	BFGS Quasi-Newton
۹۳	۴۸۷۰۶۰۷۸	۹۴	۳۲۶۰۱۰۷۲	۱۵	۱۰	Resilient Backpropagation
۸۶	۶۳۲۵۱۲۳۲	۹۰	۵۳۶۲۱۳۲۲	۱۵	۱۰	One Step Secant
۹۳	۲۷۷۷۵۲۱۲	۹۵	۲۶۸۹۵۳۲۱	۱۵	۱۰	Fletcher-Powell Conjugate Gradient

جدول ۷- میزان خطا و ضریب همبستگی الگوریتم‌های آموزش داده شده برای مدل‌سازی گازهای گلخانه‌ای

داده‌های تست		داده آموزش		نورون لایه دوم	نورون لایه اول	الگوریتم آموزش
R ²	RMSE	R ²	RMSE			
۷۵	۳۵۴۲۵۵۰۷	۷۵	۳۷۰۱۱۳۱۲	۰	۵	One Step Secant
۹۷	۴۱۳۶۶۶۵	۹۹	۱۰۹۹۴۴۵	۰	۵	Resilient Backpropagation
۹۸	۱۶۷۵۸۰۹	۹۹	۱۱۹۳۶۳۷	۰	۵	BFGS Quasi-Newton
۹۹	۱۲۶۵	۹۹	۵۲۸	۰	۵	Levenberg Marquardt



شکل ۴- ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی گازهای گلخانه‌ای منتشر شده و مقادیر پیش‌بینی شده

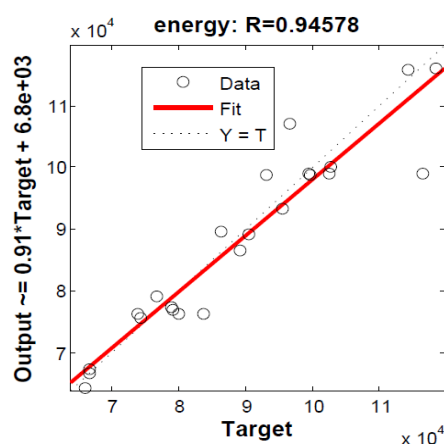
نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که برای کشت محصول نیشکر در مزارع راتون در شهرستان مورد بررسی در سال ۱۳۹۳ به طور متوسط $145117/7976$ مگاژول در هکتار انرژی از منابع مختلف مصرف می‌شود که در این میان سهم انرژی الکتریسته بیش از سایر نهادها است. منفی شدن افزوده خالص انرژی بیانگر این موضوع است که باید در مزارع راتون از نظر نحوه مصرف نهادها دچار بازنگری شده و تا حد امکان مصرف نهاده‌های انرژی به ویژه الکتریسته و کودهای ازته کاهش یابد. براساس نتایج مدل‌سازی انرژی بهترین مدل برای تخمین عملکرد نیشکر در مزارع راتون با ضریب همبستگی $0/96$ و میانگین مربعات خطا 17763522 و بهترین مدل برای تخمین میزان نشر گازهای گلخانه‌ای دارای ضریب همبستگی $0/99$ و میانگین مربعات خطا 528 است. از آنجا که بیشترین میزان نشر گازهای گلخانه‌ای مربوط به عملیات سوزاندن شاخ و برگ نیشکر قبل از برداشت است به کارگیری روش‌های جدید برداشت مانند برداشت سبز می‌توان میزان انتشار آلاینده‌های هوا را به نحو چشم‌گیری کاهش داد. کاهش مصرف برق و کودهای شیمیایی (به طور عمده نیتروژن) و آب برای آبیاری از راه‌های مهم مدیریت بهتر انرژی در تولید نیشکر در مزارع راتون منطقه مورد بررسی است. بدین منظور، با تجزیه و تحلیل پارامترهای خاک برای تعیین نیازهای خاک (کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در اثر مصرف بالای کود شیمیایی)، استفاده از پمپ‌های با زردی بالا و اصلاح سیستم آبیاری می‌توان مصرف انرژی و میزان نشر گازهای گلخانه‌ای را به صورت چشم‌گیری کاهش داد.

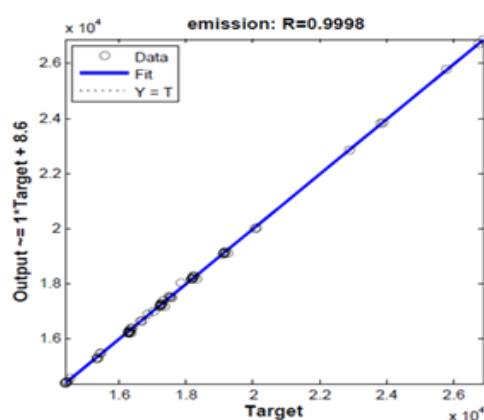
مدل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای در روند تولید

نیشکر با بهره‌گیری از شبکه عصبی مصنوعی

براساس نتایج این مدل‌سازی، مدل با ساختار ۵-۵-۵ با ورودی، یک لایه مخفی با ۵ نرون و یک لایه خروجی با یک پارامتر خروجی به عنوان بهترین ساختار مشخص شد. توابع محرک تانژانت سیگموئید در لایه‌های مخفی و تابع محرک خطی در لایه خروجی بهترین شبکه به کار گرفته شده بود. مدل مذکور با ضریب همبستگی برای داده‌های آموزش و تست به ترتیب $0/99$ و $0/99$ و میانگین مربعات خطا به ترتیب 528 و 1265 به عنوان بهترین مدل برای تخمین میزان نشر گازهای گلخانه‌ای انتخاب شد. شکل ۲ ضریب همبستگی مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده را برای داده‌های آموزش و تست را نشان می‌دهند.



شکل ۲- ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی انرژی و مقادیر پیش‌بینی شده داده‌های تست



شکل ۳- ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی گازهای گلخانه‌ای منتشر شده و مقادیر پیش‌بینی شده برای داده‌های آموزش

منابع

۱. بی‌نام. ۱۳۹۲. فناوری تولید نیشکر در ایران (جلد اول: مجموعه دستورالعمل‌های زراعی تولید محصول). ۳۳۲ ص.
۲. غدیریان‌فر م. کیهانی ع. و امید م. ۱۳۹۲. چرخه کامل انرژی در تولید اتانول از ملاس نیشکر در ایران. مجله مهندسی بیوسیستم ایران. ۴۴ (۲): ۱۳۵-۱۴۲.
3. Antanasijević D. V. Pocajt Ristić M. and A Perić-Grujić F. 2015. Modeling of energy consumption and related GHG (greenhouse gas) intensity and emissions in Europe using general regression neural networks. *Energy*. 84: 816-824.
4. Aydin G. 2014. Modeling of energy consumption based on economic and demographic factors: The case of Turkey with projections. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 35: 382-389.
5. Dalgaard T. Halberg N. and Porter J. R. 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 87: 51-65.
6. Dyer J. and Desjardins R. 2003. Simulated farm fieldwork, energy consumption and related greenhouse gas emissions in Canada. *Biosystems Engineering*. 85: 503-513.
7. França D. d. A. Longo K. M. Neto T. G. S. Santos J. C. Freitas S. R. Rudorff B. F. Cortez E. V. Anselmo E. and Carvalho J. A. 2012. Pre-harvest sugarcane burning: determination of emission factors through laboratory measurements. *Atmosphere*. 3: 164-180.
8. Hatirli S. A. Ozkan B. and Fert C. 2005. An econometric analysis of energy input-output in Turkish agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 9: 608-623.
9. Kartalopoulos S. V. 1996. Understanding neural networks and fuzzy logic, Basic concepts and applications. IEEE Press. 273 p.
10. Khan S. Khan M. A. Hanjra M. A. and Mu J. 2009. Pathways to reduce the environmental footprints of water and energy inputs in food production. *Food Policy*. 34: 141-149.
11. Khoshnevisan B. Rafiee S. Omid M. Yousefi M. and Movahedi M. 2013. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*. 52: 333-338.
12. Kiani M. K. D. Ghobadian B. Tavakoli T. Nikbakht A. and Najafi G. 2010. Application of artificial neural networks for the prediction of performance and exhaust emissions in SI engine using ethanol-gasoline blends. *Energy*. 35: 65-69.
13. Kitani O. Jungbluth T. Peart R. M. and Ramdani A. 1999. CIGR handbook of agricultural engineering, Volume 5: Energy and biomass engineering. American Society of Agricultural Engineers. 364 p.
14. Mousavi-Avval S. H. Rafiee S. Jafari A. and Mohammadi A. 2011. Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Energy*. 36: 2765-2772.
15. Ozkan B. Kurklu A. and Akcaoz H. 2004. An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. *Biomass and Bioenergy*. 26: 89-95.
16. Pishgar-Komleh S. H. and Ghahderijani M. Sefeedpari P. 2012. Energy consumption and CO₂ emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. *Journal of Cleaner Production*. 33: 183-191.
17. Rahman M. M. and Bala B. K. 2010. Modelling of jute production using artificial neural networks. *Biosystems Engineering*. 105: 350-356.
18. Rajaeifar M. A. Akram A. Ghobadian B. Rafiee S. and Heidari M. D. 2014. Energy-economic life cycle assessment (LCA) and greenhouse gas emissions analysis of olive oil production in Iran. *Energy*. 66: 139-149.
19. Ramedani Z. Rafiee S. and M. Heidari. 2011. An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms. *Energy*. 36: 6340-6344.
20. Rípoli T. C. C. Molina Jr W. F. and Rípoli M. L. C. 2000. Energy potential of sugar cane biomass in Brazil. *Scientia Agricola*. 57: 677-681
21. Sami M. Shiekhdavoodi M. J. Pazhohanniya M. and Pazhohanniya F. 2014. Environmental comprehensive assessment of agricultural systems at the farm level using fuzzy logic: A case study in cane farms in Iran. *Environmental Modelling and Software*. 58: 95-108.
22. Sandhu H. S. Gilbert R. A. Kingston G. Subiros J. F. Morgan K. Rice R. W. Baucum L. Shine Jr J. M. and Davis L. 2013. Effects of sugarcane harvest method on microclimate in Florida and Costa Rica. *Agricultural and Forest Meteorology*. 177: 101-109.
23. Zangeneh M. Omid M. and Akram A. 2010. A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. *Energy*. 35: 2927-2933.