Archive of SID
DOI: 10.22059/ijbse.2017.238331.664969 مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۴۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷ (ص۲۵۹-۲۴۹)

ارزیابی و مدل‌سازی جریان انرژی و اثرات زیست‌محیطی تولید کلوچه با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی

مجید خانعلی[1*]، اسداله اکرم[2]، مهدیه محمدنیا گالشکلامی[3]، هما حسین زاده بندبافها[4]

۱- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲-دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۴- دانشجوی دکتری گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱/ ۵/ ۱۳۹۶- تاریخ بازنگری: ۲/ ۹/ ۱۳۹۶- تاریخ تصویب: ۹/ ۱۰/ ۱۳۹۶)

چکیده

در این تحقیق، مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی تولید کلوچه در استان گیلان مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های لازم از طریق پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری از ۳۰ کارخانه تولید کلوچه جمع‌آوری شد. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار ۳۰/۵۰ مگاژول انرژی برای تولید هر کیلوگرم کلوچه مصرف شده است که بیشترین سهم انرژی مصرفی به گاز طبیعی با ۱۷/۰۹ مگاژول بر کیلوگرم اختصاص داشت. براساس نتایج ارزیابی چرخه زندگی، شاخص گرمایش جهانی برای تولید هر کیلوگرم کلوچه ۳/۷۳ $kg\ CO_{2\ eq.}$ تعیین گردید که در حدود ۵۱ درصد آن مربوط به احتراق گاز طبیعی جهت فرآیند پخت است. در نهایت، مدل‌سازی میزان عملکرد و اثرات زیست‌محیطی براساس دو مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی و سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی (انفیس) انجام شد. مقایسه نتایج نشان داد مدل انفیس چند لایه قادر است تا با دقت بیشتر و خطای کمتر عملکرد محصول را برآورد کند.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چرخه زندگی، شاخص‌های زیست‌محیطی، کلوچه، مدل‌سازی، مصرف انرژی.

مقدمه

با توجه به ارزش غذایی کیک و کلوچه از لحاظ تأمین انرژی و همچنین عمومیت مصرف آن در بین اقشار مختلف جامعه، این محصولات در فهرست مواد غذایی منتج از محصولات کشاورزی که به‌صورت مستقیم جهت مصارف غذایی به‌عنوان میان وعده کاربرد دارند، قرار دارند. صنایع تولید کیک و کلوچه همانند دیگر بخش‌های صنعتی برای پایداری در تولید و افزایش عملکرد، نیازمند استفاده از تجهیزات پیشرفته مصرف کننده منابع انرژی از جمله سوخت‌دیزل، گازطبیعی و الکتریسیته می‌باشند (Karakaya & Ozilgen, 2011). این در حالی است که امروزه جوامع بشری از آسیب‌های محیط‌زیست ناشی از تولید محصول و ارائه خدمات به دلیل استفاده بیش از حد از منابع انرژی که دارای اثرات سوء بر محیط زیست و دسترسی آینده به منابع طبیعی می‌باشد، آگاه است. از این‌رو کاربرد روشی جهت بررسی اثرات زیست‌محیطی محصول در طول چرخه تولید آن برای ارزیابی میزان اثرات زیست‌محیطی امری الزامی است (Mousazadeh *et al*., 2011).

از این‌رو مطالعات مختلفی با هدف بررسی و ارزیابی مصرف انرژی و آسیب‌های محیط‌زیست در تولید صنایع مرتبط با نان و شیرینی صورت گرفته است. به‌عنوان مثال در رابطه با مصرف انرژی در تولید نان‌های حجیم صنعتی و سنتی نشان داده شد که به‌ازای تولید هر کیلوگرم نان حجیم صنعتی ۴ مگاژول و به‌ازای تولید هر کیلوگرم نان حجیم سنتی ۶ مگاژول انرژی مصرف شده است (Braschkat *et al*., 2004). در بلژیک ارزیابی چرخه زندگی تولید نان‌های حجیم از ۲۰۰ سال گذشته تا امروز، کاهش شاخص‌های گرمایش جهانی و اکسیداسیون فتوشیمیایی حاصل از تولید نان را به دلیل استفاده بسیار زیاد از ذغال‌سنگ به‌عنوان منبع انرژی در سال‌های گذشته، نشان داده است (Geerken *et al*., 2006). در استکهلم سوئد مقایسه اثرات زیست‌محیطی تولید نان در دو مقیاس صنعتی و خانگی انجام

* نویسنده مسئول: khanali@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

شد که نتایج نشان داد گرمایش جهانی، نقصان لایه ازون، مسمویت انسان و اسیدی شدن در تولید صنعتی نان به‌طور غیر محسوسی مقادیر کمتری داشتند (Bimpeh *et al*., 2006). در تحقیقی در اتحادیه اروپا مصرف انرژی و ارزیابی زیست‌محیطی سامانه‌های تولید نان حجیم صنعتی مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق شاخص گرمایش جهانی به‌ازای مصرف انرژی در تولید نان حجیم برای تولید هر کیلوگرم نان برآورد شد. نتایج نشان داد، نان‌های گران قیمت‌تر دارای پایداری زیست‌محیطی بالاتری هستند. مرحله پخت نان برای بسیاری از نان‌های تولید شده در کشورهای مختلف، عامل اصلی در ایجاد آسیب‌های محیط‌زیست محسوب شده که مقدار آسیب ناشی از آن وابسته به اندازه و شکل نان است. همچنین نشان داده شد که در تولید نان‌های حجیم در کشورهای عضو اتحادیه اروپا بین ۹ تا ۳۲/۹ مگاژول انرژی برای تولید یک کیلوگرم نان حجیم مصرف شده است (Notarnicola *et al*., 2017).

از سوی دیگر با توجه به نگرانی‌ها درباره پایداری منابع انرژی، روش‌های مختلفی برای کنترل مصرف منابع انرژی ارائه شده است که مدل‌سازی انرژی مصرفی از جمله اصلی‌ترین روش‌های کنترل و کاهش مصرف انرژی است. از این‌رو مدل‌سازی عملکرد و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی تولید کیک و کلوچه براساس انرژی مصرفی با هدف کنترل و کاهش آن‌ها، امری ضروری به نظر می‌رسد. از بین مهم‌ترین روش‌های نوین مدل‌سازی که در تحقیقات مختلف استفاده شده است، می توان به شبکه‌های عصبی مصنوعی و سامانه‌های استنتاج فازی-عصبی تطبیقی اشاره کرد. با توجه به کاربرد گسترده این روش-ها جهت مدل‌سازی در علوم مختلف، در مطالعات مربوط به تولید نان و شیرینی نیز از این روش‌ها استفاده شده است که در ادامه برخی از آن‌ها ذکر شده است.

در مطالعه‌ای برای مدل‌سازی و پیش‌بینی مقدار هدایت - حرارتی در تولید انواع مختلف محصولات نانوایی و کیک از قبیل نان فرانسوی، کیک زرد و کیک فنجانی از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شده است. براساس نتایج به‌دست آمده، شبکه عصبی با ۲ لایه پنهان که هر یک شامل ۶ نرون بودند، به دلیل میانگین خطای مطلق کمتر از ۰/۰۲ و خطای استاندارد ۰/۰۰۳، به‌خوبی و با دقت بالا قادر به پیش‌بینی نرخ هدایت‌حرارتی در تولید انواع نان حجیم و کیک بوده است (sabalani *et al*., 2002). همچنین در مدل‌سازی هدایت‌حرارتی در تولید نان لواش سنتی ایران، مدل با ساختار ۱-۵-۳-۴ با توجه به ضریب تبیین بالا (۰/۹۸۸) به‌عنوان ساختار مناسب برای پیش‌بینی میزان هدایت-حرارتی در تولید نان ایرانی انتخاب شد (Omid *et al*., 2011).

هرچند به نظر می‌رسد عملکرد تولید کلوچه تابعی از مصرف انرژی ورودی (نهاده‌هایی مانند آرد، شکر و غیره) است، اما مدل‌سازی عملکرد محصول براساس میزان انرژی مصرفی با استفاده از روش‌های نوین مدل‌سازی، به‌طور غیرمستقیم متغیرهایی مانند عوامل فنی و مدیریتی (مانند روش پخت و نوع استفاده از نهاده‌هایی مانند نیروی کار و غیره) را در مدل‌سازی مدنظر قرار می‌دهد تا توانایی مدیران را در تصمیم‌گیری با نگاه ویژه به عوامل مختلف افزایش دهد. از این‌رو، با تهیه مدل‌هایی برای پیش‌بینی عملکرد محصول می‌توان برنامه‌ریزی‌های لازم را برای تأمین نیازها در صورت کمبود با توجه به عوامل فنی و مدیریتی و ذخیره نهاده‌ها در صورت مازاد بودن انجام داد. به‌عبارت دیگر، به‌دلیل ورودی محور بودن واحدهای تولید کننده کلوچه، مدل‌سازی عملکرد براساس مصرف نهاده‌ها و با توجه به عوامل فنی و مدیریتی از افزایش مصرف انرژی برای سطح مشخصی از عملکرد در واحدهای تولیدی می‌کاهد و منجر به افزایش کارایی واحدهای تولیدکننده می‌شود. همچنین با استفاده از مدل می‌توان برحسب میزان انرژی مصرفی، به راحتی عملکرد را پیش‌بینی کرد و از این طریق بهترین الگوی مصرف انرژی را از لحاظ بهره‌وری انرژی برآورد کرد.

از سوی دیگر همان‌طور که اشاره شد، با توجه به نگرانی-های روزافزون در رابطه با آسیب‌های محیط‌زیست مصرف انرژی، مدل‌سازی اثرات زیست‌محیطی مصرف انرژی براساس رویکرد ارزیابی چرخه زندگ ضروری به‌نظر می رسد. هر چند رویکرد پیشنهادی (ترکیب مدل‌سازی و ارزیابی چرخه زندگی) جایگزین یک ارزیابی چرخه زندگی کامل نمی‌شود، اما مدیران واحدهای تولیدکننده می‌توانند از این دستورالعمل برای بهبود تصمیم-گیری خود در مرحله طراحی و راه‌اندازی واحدهای تولیدکننده به منظور انتخاب بهترین ترکیب و نوع نهاده‌ها برای تولید پاک تر استفاده کنند. به‌عبارت بهتر با استفاده از این روش، به سرعت آسیب‌های محیط‌زیست ناشی از تولید محصول را قبل از شروع به تولید آن برآورد شده و تخمینی مناسب از میزان آسیب‌های محیط‌زیست را برای مدیران و طراحان واحدهای تولید کننده ارائه می‌کند. همچنین این رویکرد، مقایسه بسیار سریع بار زیست‌محیطی واحدهای مختلف تولیدکننده را بدون ایجاد تأخیر در روند احداث واحد براساس نهاده‌های ورودی ممکن می‌سازد که سرعت در احداث و تغییر واحدهای تولیدکننده در ایجاد ایمنی و امنیت غذایی نقش کلیدی دارد (Khanali *et al*., 2017). بنابراین ترکیب ارزیابی چرخه زندگی و مدل‌سازی براساس انرژی مصرفی به عنوان رویکردی نوین، می-تواند علاوه‌بر مزایای ذکر شده در رابطه با مدل‌سازی بار زیست-

www.SID.ir

Archive of SID

محیطی تولید، راهی باشد برای رسیدن به تولید پایدار با توجه به درنظر گرفتن عوامل زیست‌محیطی و اقتصادی و انرژی (عملکرد) در تولید.

با وجود اهمیت مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی در تولید صنایع غذایی از جمله کیک و کلوچه، مشخص شد که هیچ‌گونه مطالعه‌ای در رابطه با ارزیابی جریان انرژی و ارزیابی زیست‌محیطی تولید صنعتی کلوچه در ایران انجام نشده است. از این رو در این تحقیق به ارزیابی جریان انرژی و همچنین ارزیابی زیست‌محیطی تولید کلوچه در استان گیلان با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده از ۳۰ واحد تولید-کننده کلوچه در شهرستان‌های مختلف استان، شامل اطلاعاتی مربوط به کارخانه، میزان مصرف نهاده‌های مختلف، تعداد کارگران شاغل در هر بخش، نوع و میزان مصرف ماشین‌های مختلف پرداخته شده است. از سوی دیگر با توجه به اهمیت مدل‌سازی عملکرد و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی بر کنترل و کاهش میزان انرژی مصرفی و با توجه به سطح ثابتی از عملکرد و همچنین افزایش بهره‌وری انرژی با پیش‌بینی بالاترین عملکرد براساس بهترین الگوی مصرف انرژی در واحدهای تولیدکننده، از روش‌های مدل‌سازی منطبق بر هوش مصنوعی برای پیش‌بینی میزان عملکرد و انتشار آلاینده‌های زیست-محیطی تولید کلوچه استفاده شد.

مواد و روش‌ها

مراحل پخت کلوچه

کلوچه نوعی نان شیرین است که از آرد گندم، شکر و روغن تهیه می‌شود. با اضافه کردن پودر نارگیل یا گردو به خمیر کلوچه، می‌توان کلوچه نارگیلی یا گردویی تهیه کرد. ترکیبات کلوچه‌های مختلف تفاوت زیادی باهم ندارند و فرآیند تولید در تمامی انواع کلوچه‌ها مشابه است. بدین ترتیب که ابتدا تمامی مواد اولیه کلوچه در میکسر ریخته شده و پس از مخلوط شدن وارد دستگاه کلوچه‌زنی شده و در نهایت در دستگاه کلوچه زنی، مغزی در داخل خمیر قرار داده می‌شود و کلوچه فرم نهایی خود را می‌گیرد. سپس عمل پخت در فر صورت می‌گیرد و پس از پخت کلوچه، عمل سرد کردن و بسته بندی صورت می‌گیرد.

جریان انرژی در تولید کلوچه

دربخش نخست این مطالعه، جریان انرژی در بخش‌های مختلف تولید و پخت کلوچه مورد بررسی قرارگرفته است. براساس اطلاعات حاصل از تولیدکنندگان کلوچه، نهاده‌های انرژی مورد استفاده در کارخانه تولید کلوچه در این مطالعه آرد، شکر، روغن، تخم مرغ، گردو، نارگیل، آب، الکتریسیته، گاز، نیروی کارگری و ماشین‌ها بودند. کلوچه نیز به‌عنوان ستانده انرژی کارخانه درنظر گرفته شد. برای تعیین میزان انرژی معادل هر یک از نهاده‌ها و ستانده از هم‌ارزهای انرژی متناظر با هر یک استفاده شد که هم ارزهای انرژی برای هر یک از نهاده‌ها و ستانده در جدول ۱ ارائه شده‌اند. انرژی معادل هر یک از نهاده‌ها، از ضرب میزان مصرف هر یک از آن‌ها در ضریب هم‌ارز انرژی ویژه آن نهاده طبق رابطه ۱ حاصل شده است.

$$E_{input} = I_{consumption} \times ec_{input} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن، E_{input} انرژی معادل نهاده‌های مصرفی برحسب مگاژول، $I_{consumption}$ میزان نهاده مصرفی (نیروی کارگری، سوخت دیزل، الکتریسیته و غیره) برحسب واحد آن و ec_{input} محتوای انرژی نهاده برحسب مگاژول بر واحد می‌باشد.

جدول ۱. محتوای انرژی‌های ورودی و خروجی در زنجیره تولید کلوچه

ورودی‌ها و خروجی سامانه تولید	واحد	هم‌ارز انرژی (مگاژول بر واحد)	منبع
۱- آرد	kg	۲۰/۵۶	(Abolshikhi, 2014)
۲- شکر	kg	۱۶/۱۹	(Namdari, 2015)
۳- روغن	kg	۳۶/۸	(Kitani, 1999)
۴- تخم مرغ	kg	۷/۲۸	(Baum *et al*., 2009)
۵-گردو	kg	۱/۹	Banaeian *et al*., 2010)(
۶-نارگیل	m^3	۱/۰۲	(Erdal *et al*., 2007)
۷- آب	m^3	۱/۰۲	(Erdal *et al*., 2007)
۸- الکتریسیته	kWh	۱۲	(Kitani, 1999)
۹- گاز طبیعی	m^3	۴۹/۵	(Kitani, 1999)
۱۰- ماشین‌ها	kg	۶۲/۷	(Canakci *et al*., 2005)
۱۱- نیروی انسانی			
- زن	h	۱/۵۷	(Kitani, 1999)
- مرد	h	۱/۹۶	(Kitani, 1999)

www.SID.ir

Archive of SID

یکی از مهم‌ترین اقدامات در فرآیند تحلیل انرژی، تعیین شاخص‌های انرژی است. با استفاده از این شاخص‌ها امکان مقایسه سامانه‌های مختلف از لحاظ تولید و مصرف انرژی فراهم می‌آید. با کمک این شاخص‌ها، دلایل احتمالی مصرف بالای انرژی در فرآیند و یا سامانه خاصی به‌راحتی کشف شده و به محقق در رفع اشکالات و مصرف صحیح انرژی یاری می‌رساند. بعضی از این شاخص‌ها که امکان شناخت جامع از وضعیت انرژی را فراهم می‌آورند شامل بهره‌وری انرژی و شدت انرژی می‌باشند که این شاخص‌ها به قرار زیر هستند (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2014):

$$EP = \frac{Y}{E_{in}} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$SE = \frac{E_{in}}{Y} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

که در آن، E_{in} انرژی ورودی ($MJ\ kg^{-1}$) و Y عملکرد محصول (kg) می‌باشد. همچنین EP بهره‌وری انرژی ($kg\ MJ^{-1}$) و SE شدت انرژی ($kg\ MJ^{-1}$) می‌باشند.

ارزیابی چرخه زندگی

ارزیابی چرخه زندگی یک تکنیک برای ارزیابی جنبه‌های زیست محیطی و اثرات بالقوه همراه با محصول، فرآیند یا خدمات است که از طریق چهار مرحله اصلی که در ادامه ذکر شده است، انجام می‌شود.

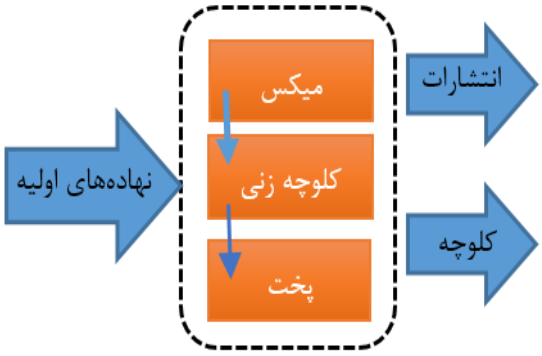
تعیین هدف و دامنه سامانه مورد مطالعه.

گردآوری یک فهرست موجودی از ورودی های انرژی و مواد و انتشار به محیط زیست.

ارزیابی اثرات بالقوه زیست‌محیطی همراه با ورودی های تعریف شده و انتشار به محیط زیست.

تفسیر نتایج برای کمک به تصمیم گیری (ISO, 2006).

هدف از این مطالعه ارزیابی زیست‌محیطی و تعیین مقدار آسیب هر بخش اثر در فرآیند تولید صنعتی کلوچه است. برای رسیدن به این هدف نیاز به تعیین واحد عملکردی و انجام بررسی‌ها براساس آن است . واحد عملکردی یک مفهوم کلیدی در مطالعات ارزیابی چرخه زندگی می‌باشد که مقایسه محصولات و خدمات مختلف را امکان‌پذیر می‌سازد (ISO, 2006). در این مطالعه، واحد عملکردی یک کیلوگرم کلوچه در نظر گرفته شده است. از دیگر اقدامات مهم و الزامی در مرحله تعیین هدف، انتخاب مرز سامانه است. در این مطالعه، دروازه کارخانه به‌عنوان ورودی مرز این سامانه درنظر گرفته شده است. یعنی کلیه ورودی‌ها و فرآیندهای مورد نظر برای تولید و تحویل آن‌ها درب کارخانه درنظر گرفته شده است و تا پایان پخت کلوچه ادامه دارد. مرز سامانه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. مرز سامانه تولید کلوچه

گردآوری داده‌ها برای فهرست موجودی در اجرای موفق ارزیابی چرخه زندگی همواره یک عامل بحرانی محسوب می‌شود. دستیابی به داده‌های معتبر موجب پیشرفت در مدیریت محیط‌زیست است (Curran *et al.*, 2005). داده‌های مود نیاز در این مطالعه به دوگروه تقسیم شدند. گروه اول اطلاعات مرتبط با میزان مصرف نهاده‌ها و گروه دوم اطلاعات مربوط به ساخت و حمل و نقل نهاده‌های مصرفی (فرآیندهای بالا دستی) است که اطلاعات مربوط به مقدار نهاده‌های مصرفی از کارشناسان کارخانه های مورد بررسی به بدست آمد. اما به دلیل نبود اطلاعات کافی در رابطه با فرآیندهای بالادستی از اطلاعات موجود در پایگاه داده اکواینونت استفاده شده است.

در این مطالعه، تجزیه و تحلیل اثرات بالقوه زیست‌محیطی براساس روش CML2 Baseline2000 انجام شده است که بر این اساس، ۱۰ بخش اثر با نام‌های تقلیل مواد غیرآلی، اسیدی شدن، اختناق دریاچه‌ای، گرمایش جهانی، نقصان لایه ازون، مسمومیت انسان‌ها، مسمومیت آب‌های سطحی، مسمومیت آب‌های آزاد، مسمومیت خاک و اکسیداسیون فتوشیمیایی در فرآیند تولید کلوچه مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

مدل‌سازی با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی

یکی از ابزارهای مهم تجزیه و تحلیل تولید و مصرف انرژی، استفاده از مدل‌سازی به‌منظور پیش‌بینی میزان انرژی تولیدی به‌ازای مصرف انرژی و بهینه‌سازی انرژی مصرفی است. به‌طور کلی مدل‌سازی یکی از ابزارهای مناسب برای تصمیم‌گیری و پیش‌بینی پدیده‌های محیط زیستی و طبیعی می‌باشد که اغلب به صورت مدل‌های مفهومی با روابط ریاضی بیان می‌شوند. فرآیندها و پدیده‌هایی که در سیستم‌های محیط زیستی وجود

www.SID.ir

Archive of SID

دارند و مهندسین با آن سر وکار دارند اغلب دارای دو خصوصیت عمده هستند: ۱- وابسته به متغیرهای زیاد هستند، ۲- روابط بسیار پیچیده‌ای بین اجزا وجود دارند که تحلیل آن را بسیار مشکل می‌نماید. این مشکلات همواره باعث خطا در دقت و صحت پیش‌بینی مدل‌های مرسوم می‌شود. راه حل این مشکلات در استفاده از روش‌های نوین مدل‌سازی از جمله مدل‌سازی با روش‌های مختلف هوش‌مصنوعی است که برای مدل‌سازی احتیاج به دانستن روابط پیچده بین اجزا ندارند (Hosseinzadeh-Bandbafha *et al*., 2017). در این تحقیق از دو روش مدل‌سازی با شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل‌سازی با سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی استفاده شده است.

شبکه‌های عصبی مصنوعی، به کمک فرآیند یادگیری و با استفاده از پردازشگرهایی به نام نرون تلاش می‌کند با شناخت روابط ذاتی بین داده‌ها، نگاشتی میان فضای ورودی (لایه ورودی) و فضای مطلوب (لایه خروجی) ارائه دهد. شبکه عصبی آموزش دیده می‌تواند برای پیش‌بینی خروجی‌های متناسب با مجموعه جدید داده‌ها به‌کار رود. با توجه به ساختار شبکه عصبی مصنوعی، ویژگی‌های عمده آن، سرعت بالای پردازش، توانایی یادگیری، توانایی تعمیم دانش پس از یادگیری، انعطاف-پذیری در برابر خطاهای ناخواسته و عدم ایجاد اختلال قابل توجه درصورت بروز اشکال در بخشی از اتصال‌ها به دلیل توزیع وزن‌های شبکه است (Khanna, 1990). به‌منظور پیش‌بینی جریان انرژی در فرآیند تولید کلوچه براساس شبکه‌های عصبی مصنوعی، از نرم‌افزار متلب استفاده شد. نهاده‌های آرد، شکر، روغن، تخم‌مرغ، گردو، نارگیل، آب، الکتریسیته، گازطبیعی، نیروی انسانی و ماشین‌ها به‌عنوان ورودی‌ها و عملکرد و بخش-های اثر مورد مطالعه به‌عنوان مقدار مورد انتظار در نظر گرفته شده‌اند. بر این اساس، ۶۰ درصد از داده‌ها به‌عنوان داده‌های آموزشی برای یادگیری شبکه، ۲۰ درصد از آن‌ها جهت آزمون توانایی شبکه آموزش دیده شده و ۲۰ درصد دیگر برای اعتبارسنجی و صحت شبکه آموزش دیده شده مدل انتخاب شده‌اند.

سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی نمونه‌ای از ترکیب شبکه‌های عصبی و سامانه‌های فازی به‌منظور ایجاد یک ابزار مدل‌سازی داده‌ای قوی می‌باشد. سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی (انفیس) مدلی است که مقادیر مناسبی داده به‌عنوان ورودی دریافت می‌کند و با توجه به مشخصات این داده‌ها، آن‌ها را بر توابع عضویت تعیین شده ورودی می‌نگارد. سپس با توجه به خروجی این توابع، مجموعه‌ای از قواعد اگر- آنگاه فازی ایجاد می‌نماید. این قواعد مجموعه‌ای از مشخصات خروجی‌ها را با توجه به توابع عضویت خروجی تعیین شده برای آن‌ها ارائه می-دهند (Rezaei *et al*., 2012 ،Ekici & Aksoy, 2011).

جهت مدل‌سازی میزان عملکرد کلوچه و همچنین میزان انتشارات زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی، با استفاده از روش‌های ذکر شده، میزان عملکرد و همچنین میزان انتشارات زیست‌محیطی (با استفاده از نرم‌افزار سیماپرو) برای هر ۳۰ واحد مورد بررسی جداگانه محاسبه شد و مدل‌سازی براساس انرژی مصرفی هر واحد با توجه به میزان عملکرد و همچنین میزان انتشارات زیست‌محیطی واحدها صورت پذیرفت.

برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی آموزش دیده شده و سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی و همچنین امکان مقایسه بین مدل‌های انتخاب شده با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی آموزش دیده شده و سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی از معیارهای ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شده است (Rahman & Bala, 2010):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i}^{n}(t_i - z_i)^2} \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i - z_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} t_i^2} \right) \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

که t_i و z_i به‌ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی عملکرد محصول برای کارخانه i ام می‌باشند.

نتایج و بحث

تحلیل انرژی

در جدول ۲ میزان مصرف نهاده‌ها برای تولید هر کیلوگرم کلوچه و معادل انرژی آن‌ها ذکر شده است. براساس نتایج، ۳۰/۵۰ مگاژول انرژی برای تولید هر کیلوگرم کلوچه مصرف شده است که گاز طبیعی با ۱۷/۰۹ مگاژول بر کیلوگرم بیشترین میزان از این انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است. آرد با معادل انرژی (۵/۰۳ MJ kg^{-1}) و شکر با معادل انرژی (MJ ۴/۲۰kg^{-1}) در جایگاه بعدی قرار دارند. در شکل ۲ سهم هر نهاده در انرژی ورودی تولید کلوچه نشان داده شده است. براساس شکل ۲، گاز طبیعی که برای تأمین انرژی پخت کلوچه از آن استفاده شده است، ۵۶ درصد انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است این در حالی است که نتایج دیگر تحقیقات نشان می‌دهد که این میزان بین ۵ تا ۶۵ درصد برای انواع مختلف نان‌های حجیم تولیدی در کشورهای عضو اتحادیه اروپا متغیر است (Notarnicola *et al*., 2017). همچنین آرد به‌عنوان

www.SID.ir

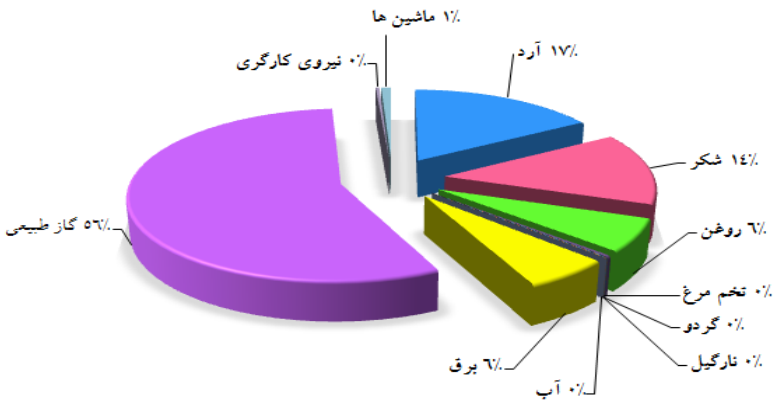
Archive of SID

ماده اولیه کلوچه، ۱۷ درصد انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است. در تحقیقی مشابه در تولید انواع کیک و نان شیرین این میزان بین ۵ تا ۸۰ درصد از کل انژری مصرفی بوده است (Notarnicola *et al*., 2017). دلیل این میزان تفاوت در درجه اول به تنوع دستور پخت (تنوع در نوع و میزان مواد تشکیل دهنده و همچنین زمان پخت) و در درجه دوم به نوع تجهیزات مصرفی به‌خصوص تجهیزات مرحله پخت بر می‌گردد. با این حال مصرف انرژی در شکل سوخت، مصرف بالایی را به خود اختصاص داده است که با توجه به ناپایداری منابع سوخت‌های فسیلی، کارخانه های تولید کلوچه بایستی در جهت کاهش این میزان انرژی مصرفی ناشی از گاز طبیعی اقدامات مؤثری انجام دهند. عدم استفاده از تجهیزات مستهلک می‌تواند بهترین گزینه برای کاهش مصرف سوخت در کوتاه مدت باشد در حالی که در برنامه‌های بلند مدت تغییر نوع سوخت فرهای پخت از سوخت-های فسیلی به سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر خصوصاً انرژی خورشید و استفاده از اجاق‌های خورشیدی با توجه به اقلیم ایران توصیه می‌گردد.

در سوئد میزان انرژی مصرفی برای تولید نان حجیم صنعتی با ترکیب اصلی آرد و شکر ۱۴ تا ۲۲ مگاژول برای هر کیلوگرم (Andersson & Olsson, 1999)، در دانمارک برای هر کیلوگرم نان حجیم صنعتی ۴ مگاژول (Braschkat *et al*., 2004) و در کشورهای عضو اتحادیه اروپا تجزیه و تحلیل جریان انرژی نشان داد که بین ۹ تا ۳۲/۹ مگاژول برای تولید هر کیلوگرم نان حجیم (Notarnicola *et al*., 2017) محاسبه شده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد مصرف انرزی در تولید کلوچه در ایران نسبت به مطالعات ذکر شده مقدار بالایی را نشان می-دهد که می‌توانند مرتبط با مصرف بالای سوخت به دلیل فرسودگی فرهای مورد استفاده باشد.

جدول ۲. انرژی نهاده و ستانده در تولید کلوچه در استان گیلان

عنوان (واحد)	میزان مصرفی برای تولید هر کیلوگرم کلوچه	انرژی معادل (مگاژول بر کیلوگرم)
نهاده‌ها		
آرد (kg)	۰/۲۴۴	۵/۰۳
شکر (kg)	۰/۲۴۸	۴/۲۰
روغن (kg)	۰/۰۳۶	۱/۹۰
تخم‌مرغ (kg)	۰/۰۱۳	۰/۰۹۷
گردو (kg)	۰/۰۰۸	۰/۰۱۵
نارگیل (kg)	۰/۰۰۶	۰/۰۱۲
آب (m^3)	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۱۸
الکتریسیته (kWh)	۰/۱۵	۱/۸
گازطبیعی(m^3)	۰/۳۴۵	۱۷/۰۹
نیروی انسانی(h)	/۰۵۳	۰/۰۹۷
ماشین‌ها (kg)	۰/۰۰۱	۰/۲۶۴
انرژی ورودی کل ($MJ\ kg^{-1}$)		۳۰/۵۰



شکل ۲. سهم نهاده‌های مختلف انرژی در تولید کلوچه در استان گیلان

www.SID.ir

Archive of SID

در جدول ۳ شاخص‌های انرژی برای تولید هر کیلوگرم کلوچه نشان داده شده است. براین اساس شدت انرژی ۳۱/۲۵ مگاژول بر کیلوگرم برآورد شدکه نشان می دهد برای تولید هر کیلوگرم کلوچه ۳۱/۲۵ مگاژول انرژی مصرف شده است که مقدار بالایی است که برای کاهش آن می‌بایست مصرف انرژی را تا حد ممکن کاهش داد و یا به‌ازای انرژی مصرف شده عملکرد را افزایش داد. با استفاده از مدل‌سازی می‌توان با استفاده از ترکیب مشخصی از نهاده‌ها (انرژی مصرفی) عملکرد را پیش-بینی نمود و بهترین نسبت را برای میزان انرژی بر میزان عملکرد برآورد کرد.

جدول ۳. شاخص‌های انرژی در تولید کلوچه در گیلان

عنوان	واحد	مقدار شاخص در تولید کلوچه
بهره‌وری انرژی	$kg\ MJ^{-1}$	۰/۰۳۲
شدت انرژی	$MJ\ kg^{-1}$	۳۱/۲۵

تحلیل شاخص‌های زیست‌محیطی

در جدول ۴ مقادیر واقعی شاخص‌های زیست‌محیطی محاسبه شده در تولید کلوچه به‌ازای یک کیلوگرم محصول تولیدی نشان داده شده است. این نتایج مربوط به انتشارات مستقیم (داخل کارخانه) و غیرمستقیم (فرآیندهای بالادستی) هستند. براساس نتایج، میزان گرمایش جهانی برای تولید هرکیلوگرم کلوچه، ۳/۷۳ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل محاسبه شده است. در تحقیقات دیگر در حوضه ارزیابی چرخه زندگی انواع محصولات مرتبط با نان و شیرینی، این میزان بین ۰/۶۲ تا ۰/۹ (Andersson & Ohlsson, 1999)، ۰/۴۱ تا ۰/۵۸ (Braschkat *et al.*, 2004)، ۰/۷۵ تا ۰/۸ (Espinoza-Orias *et al.*, 2011) و ۰/۶ تا ۱/۷ (Kulak *et al.*, 2015)، کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل برای هر کیلوگرم نان حجیم محاسبه شده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد تولید کلوچه در استان گیلان نسبت به دیگر نان‌های حجیم تولید شده در نقاط مختلف جهان منجر به تولید مقدار بیشتری دی‌اکسید کربن معادل شده است که ۵۱ درصد آن مربوط به انتشارات مستقیم ناشی از سوختن گازطبیعی و رهاسازی فاضلاب است. همچنین نتایج نشان می‌دهد انتشارات مستقیم کارخانه نقش اصلی را در بخش‌های اثر مسمومیت آب-های آزاد ونقصان لایه ازون به خود اختصاص داده است در حالی که در بخش‌های اثر تقلیل منابع غیر آلی و مسمومیت خاک نقش چندانی نداشته است.

جدول ۴. شاخص‌های زیست‌محیطی به ازای یک کیلوگرم کلوچه تولیدی

بخش اثر	واحد	خارج از کارخانه	داخل کارخانه	کل
تقلیل منابع غیرآلی	kg Sb eq.	۰/۰۰۸۱۸	۰	۰/۰۰۸۱۸
اسیدی شدن	kg SO_2 eq.	۰/۰۱۰۴۵	۰/۰۰۶۱۸	۰/۰۱۶۶۳
اختناق دریاچه‌ای	kg PO_4^{-2} eq.	۰/۰۰۲۱۸	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۲۴۳
گرمایش جهانی	kg CO_2 eq.	۱/۸۲	۱/۹۱	۳/۷۳
نقصان لایه ازون	kg CFC-11 eq.	۰/۰۰۰۰۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۱۲۴
مسمومیت انسان‌ها	kg 1,4-DCB eq.	۱/۸۶	۰/۱۶۷۸۷	۲/۰۲۷۸۷
مسمومیت آب‌های سطحی	kg 1,4-DCB eq.	۰/۲۱۵۴۹	۰/۰۴۳۵۶	۰/۲۵۹۰۵
مسمومیت آب‌های آزاد	kg 1,4-DCB eq.	۴۷/۲۸	۲۰۳/۸۵	۲۵۱/۱
مسمومیت خاک	kg 1,4-DCB eq.	۰/۰۹۳۹۴	۰/۰۰۰۳	۰/۰۹۴۲۴
اکسیداسیون فتوشیمیایی	kg C_2H_4 eq.	۰/۰۰۰۴۶	۰/۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۸۳

مدل‌سازی عملکرد کلوچه و اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

به‌منظور پیش‌بینی میزان عملکرد کلوچه (به‌عنوان انرژی خروجی) و میزان اثرات زیست‌محیطی بر حسب انرژی مصرفی توسط نهاده‌های مختلف از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده و نتایج نهایی در جدول ۵ ارائه شده است. شبکه-های استفاده شده در این تحقیق از نوع شبکه‌های عصبی مصنوعی چند لایه با روش یادگیری پس‌انتشار خطا بوده است. در صورت انتخاب ساختار مناسب، یعنی تعداد نرون‌ها، لایه‌های مخفی و توابع فعال‌سازی مناسب، این شبکه‌ها قادر هستند هر رابطه بین ورودی و خروجی را با دقت دلخواه تخمین بزنند. در این بخش، نهاده‌های انرژی شامل آرد، شکر، تخم‌مرغ، گردو، نارگیل، آب، الکتریسیته، گازطبیعی، نیروی کارگری (زن و مرد) و ماشین‌ها به‌عنوان ورودی‌های مدل و عملکرد تولید کلوچه و

www.SID.ir

Archive of SID

۱۰ بخش اثر مورد مطالعه در این پژوهش به‌عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شده‌اند. براساس نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی در تولید کلوچه، شبکه عصبی با ساختار ۱-۵-۲۵-۱۱ به‌عنوان بهترین ساختار تعیین شده است در حالی که در مدل-سازی اثرات زیست‌محیطی، ساختار شبکه منتخب به‌صورت ۱۰-۱۰-۱۰-۱۱ می‌باشد. میزان R^2 و RMSE برای خروجی‌های مختلف آزمون شبکه‌های عصبی منتخب بین ۰/۶۰ تا ۰/۹۵ و ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۳۵ به دست آمده است که نشان دهنده دقت بالا در مدل‌های منتخب است. در تحقیقی دیگر، در رابطه با مدل-سازی هدایت حرارتی در تولید نان تخت لواش سنتی ایران، R^2 ، MRE وMAE به‌ترتیب ۰/۹۸۸، ۰/۶۳۲۳ و ۰/۰۰۱۶۶ تعیین شدند.

جدول ۵. مدل‌سازی عملکرد و اثرات زیست‌محیطی تولید کلوچه توسط شبکه عصبی مصنوعی

عنوان	NH1*	NH2**	شاخص‌های آماری (آزمون)	
			R^2	RMSE
عملکرد کیک	۲۵	۵	۰/۹۵	۰/۰۰۴
تقلیل منابع غیر آلی	۱۰	۱۰	۰/۸۵	۰/۰۳۱
اسیدی شدن	۱۰	۱۰	۰/۸۸	۰/۰۱۴
اختناق دریاچه‌ای	۱۰	۱۰	۰/۸۹	۰/۰۱۴
گرمایش جهانی	۱۰	۱۰	۰/۸۸	۰/۰۲۵
نقصان لایه ازون	۱۰	۱۰	۰/۸۰	۰/۰۲۶
مسمومیت انسان‌ها	۱۰	۱۰	۰/۶۰	۰/۰۳۵
مسمومیت آب‌های سطحی	۱۰	۱۰	۰/۸۵	۰/۰۱۲
مسمومیت آب‌های آزاد	۱۰	۱۰	۰/۸۶	۰/۰۲۵
مسمومیت خاک	۱۰	۱۰	۰/۸۵	۰/۰۱۳
اکسیداسیون فتوشیمیایی	۱۰	۱۰	۰/۸۹	۰/۰۲۰

* تعداد نرون در لایه مخفی اول

** تعداد نرون در لایه مخفی دوم

مدل‌سازی عملکرد کلوچه و اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی با استفاده از سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی

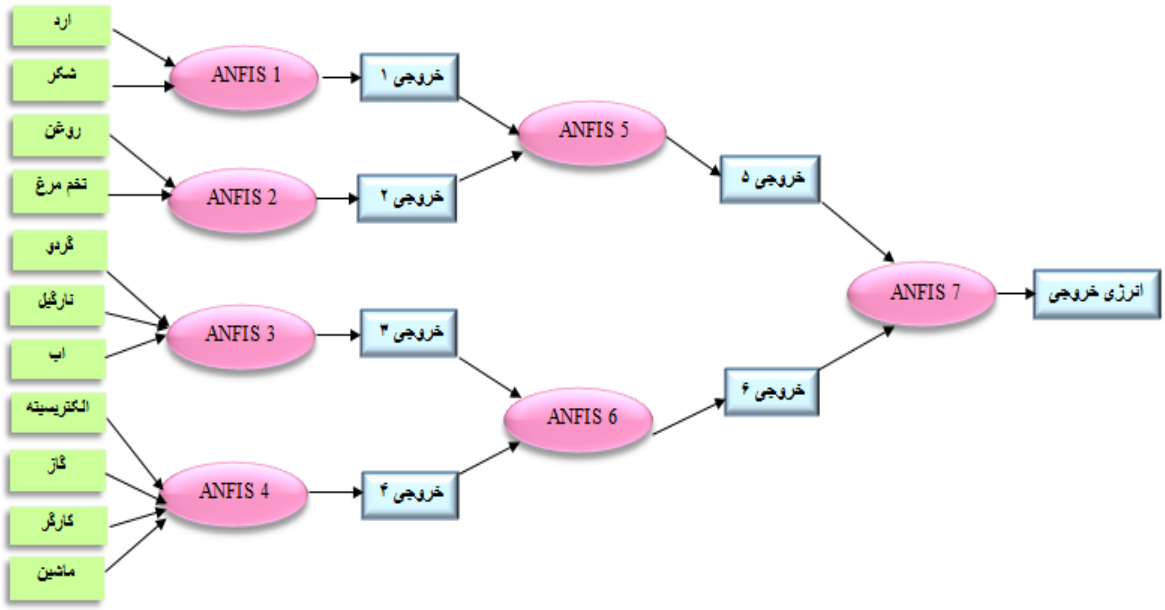
سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی از فرآیند آموزش شبکه-های عصبی به‌منظور تنظیم توابع عضویت و پارامترهای مربوط به مجموعه داده‌های ورودی استفاده می‌کند. الگوریتم آموزشی سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی از روش ترکیبی دوگانه که شامل روش‌های پس‌انتشار خطا و حداقل مربعات می‌باشد، استفاده می‌کند. در این پژوهش مدل‌سازی عملکرد محصول و اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی با در نظر گرفتن انرژی‌های به‌کار رفته در فرآیند تولید با استفاده از روش استنتاج فازی- عصبی تطبیقی، انجام شده است. پارامترهای ورودی در تدوین مدل‌سازی موردنظر در این تحقیق، انرژی‌های مورد استفاده در تولید کلوچه شامل انرژی نهاده‌های آرد، شکر، روغن، تخم‌مرغ، گردو، نارگیل، آب، الکتریسیته، گازطبیعی، نیروی کارگری و ماشین‌ها می‌باشد.

یکی از محدودیت‌ها در استفاده از سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی برای مدل‌سازی، تعداد پارامترهای ورودی می‌باشد. هنگامی که پارامترهای ورودی بیش از پنج باشند به علت افزایش زمان محاسبات و افزایش تعداد قوانین، معمولاً انجام محاسبات ناتمام باقی می‌ماند (Hosseinzadeh-Bandbafha *et al*., 2017). از این رو ۱۱ پارامتر ورودی برای مدل‌سازی در بهترین آرایش انفیس به چهار دسته تقسیم و هر گروه به عنوان ورودی‌ها برای مدل‌های انفیس ۱ تا ۴ انتخاب شده است. خروجی انفیس‌های ۱ تا ۴ به عنوان ورودی‌های مدل‌های انفیس شماره ۵ و ۶ انتخاب و خروجی مدل‌های انفیس شماره ۵ و ۶ به عنوان ورودی‌های مدل انفیس شماره ۷ و خروجی انفیس شماره ۷ به عنوان انرژی خروجی پیش‌بینی شده در نظر گرفته شده است. توزیع انرژی‌های ورودی برای بهترین مدل در شکل ۳ ارائه شده است. به‌منظور دستیابی به بهترین نتیجه، توابع عضویت گوناگونی از جمله خطی، مثلثی، گوسی، زنگوله‌ای و غیره مورد آزمایش قرار گرفتند و در نهایت بهترین نتایج با تابع عضویت زنگوله‌ای حاصل گردید. مشخصات و پارامترهای عملکرد مدل‌های انفیس یک تا هفت در جدول ۶ خلاصه شده است. میزان شاخص‌های R^2 و RMSE برای انفیس‌های مختلف بین ۰/۸۹ تا ۰/۹۹ و ۰/۲۰۶ تا ۱/۱۴۹ به دست آمده است که نشان دهنده دقت و صحت مطلوب در پیش بینی عملکرد کلوچه است. همچنین در جدول ۷ مشخصات سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی نهایی به عنوان بهترین ساختار برای پیش‌بینی شاخص‌های زیست‌محیطی نشان داده شده است. میزان R^2 بین ۰/۹۷۲ تا ۰/۹۹۹ به دست آمده است که نشان دهنده دقت بالا در پیش‌بینی میزان اثرات زیست-محیطی تولید کلوچه است.

براساس نتایج جدول ۵، ۶ و ۷، مدل‌سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی و سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی برای پیش‌بینی عملکرد کلوچه و اثرات زیست‌محیطی مرتبط با آن نشان داد که تکنیک سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی با بهره‌گیری از قوانین فازی قادر است با دقت بیشتر عملکرد کلوچه و میزان اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی را در تولید کلوچه پیش‌بینی کند. در تحقیقات مختلفی در زمینه تولید محصولات مختلف اعم از محصولات کشاورزی و دامداری این نتیجه به دست آمده است (Sefeedpari *et al*., 2016; Hosseinzadeh-Bandbafha *et al*., 2017).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. بهترین آرایش انفیس چند لایه برای پیش‌بینی عملکرد کلوچه

جدول ۶. مشخصات بهترین انفیس چند لایه برای پیش‌بینی عملکرد کلوچه

عنوان	نوع تابع عضویت		تعداد توابع عضویت	الگوریتم یادگیری	آزمون	
ورودی	ورودی	خروجی	اپوک		RMSE	R^2
انفیس ۱	زنگوله‌ای	خطی	۷۰۷	۱۰۰	هیبرید	۰/۸۴۴	۰/۹۶
انفیس ۲	زنگوله‌ای	خطی	۷۰۷	۱۰۰	هیبرید	۰/۵۰۵	۰/۹۷
انفیس ۳	زنگوله‌ای	خطی	۷۰۷	۱۰۰	هیبرید	۰/۴۸۷	۰/۹۷
انفیس ۴	زنگوله‌ای	خطی	۴۰۳۰۳	۱۰۰	هیبرید	۱/۱۴۹	۰/۸۹
انفیس ۵	زنگوله‌ای	خطی	۷۰۷	۱۰۰	هیبرید	۰/۲۸۶	۰/۹۹
انفیس ۶	زنگوله‌ای	خطی	۷۰۷	۱۰۰	هیبرید	۰/۲۳۸	۰/۹۹
انفیس ۷	زنگوله‌ای	خطی	۷۰۷	۱۰۰	هیبرید	۰/۲۰۶	۰/۹۹

جدول ۷. مشخصات بهترین انفیس چند لایه برای پیش‌بینی میزان انتشارات زیست‌محیطی تولید کلوچه

عنوان	نوع تابع عضویت		تعداد توابع عضویت	الگوریتم یادگیری	آزمون	
بخش اثر	ورودی	خروجی	اپوک		RMSE	R^2
تقلیل منابع غیر آلی	زنگوله‌ای	خطی	۶۰۵	۱۰۰	هیبرید	۰/۰۰۳	۰/۹۹۹
اسیدی شدن	زنگوله‌ای	خطی	۶۰۵	۱۰۰	هیبرید	۰/۰۷۵	۰/۹۹۹
اختناق دریاچه‌ای	زنگوله‌ای	خطی	۶۰۵	۱۰۰	هیبرید	۰/۰۱۴	۰/۹۹۹
گرمایش جهانی	زنگوله‌ای	خطی	۶۰۵	۱۰۰	هیبرید	۰/۰۲۴	۰/۹۹۹
نقصان لایه ازون	زنگوله‌ای	خطی	۶۰۵	۱۰۰	هیبرید	۰/۰۱۳	۰/۹۹۹
مسمومیت انسان‌ها	زنگوله‌ای	خطی	۶۰۵	۱۰۰	هیبرید	۰/۰۷۱	۰/۹۹۹
مسمومیت آب‌های سطحی	زنگوله‌ای	خطی	۶۰۵	۱۰۰	هیبرید	۴۵۷۹/۶۱	۰/۹۹۴
مسمومیت آب‌های آزاد	زنگوله‌ای	خطی	۶۰۵	۱۰۰	هیبرید	۰/۱۶۱	۰/۹۷۲
مسمومیت خاک	زنگوله‌ای	خطی	۶۰۵	۱۰۰	هیبرید	۰/۱۵۸	۰/۹۹۸
اکسیداسیون فتوشیمیایی	زنگوله‌ای	خطی	۶۰۵	۱۰۰	هیبرید	۰/۰۰۵	۰/۹۹۹

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف تحلیل و ارزیابی جریان انرژی و اثرات زیست‌محیطی تولید کلوچه در استان گیلان انجام شد. براساس نتایج برای تولید هر کیلوگرم کلوچه، ۳۰/۵۰ مگاژول انرژی مصرف شده است که ۵۶ درصد از آن به گازطبیعی تعلق داشت. با توجه به ناپایداری گازطبیعی و سایر نهاده‌های انرژی و برای پایداری در تولید کلوچه انجام مراحل کلان زیر بایستی مورد توجه تولیدکنندگان کلوچه قرار گیرد.

۱- شناسایی کامل فرآیند تولید کلوچه و تبدیل هرچه بیشتر مراحل تولید به روش‌های مکانیزه با در نظر گرفتن کارایی روش‌ها.

۲- تعیین شاخص‌های ارزیابی و مقایسه‌ای مورد نیاز روش‌های مختلف تولید و پخت کلوچه و انتخاب کاراترین روش از نظر کارایی در مصرف انرژی و کارایی زیست‌محیطی.

۳- انتخاب بهترین دستورالعمل پخت (نوع و مقدار مواد تولید کلوچه) از لحاظ مصرف انرژی و ارائه آن به تولیدکنندگان.

همچنین براساس ارزیابی چرخه زندگی تولید کلوچه، انتشارات مستقیم کارخانه ناشی از مصرف گازطبیعی و پساب کارخانه، سهم بالایی در دو بخش اثر نقصان لایه ازون و مسمومیت آب‌های آزاد داشته است. همچنین در حدود ۵۱ درصد از بخش اثر گرمایش جهانی مربوط به انتشارات مستقیم کارخانه و انتشار گازهای حاصل از سوختن گازطبیعی است. در نهایت برای پیش‌بینی میزان عملکرد و اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی در تولید کلوچه به منظور کنترل و کاهش مصرف انرژی، از روش‌های هوش مصنوعی استفاده شد. مدل‌سازی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی انجام شد که نتایج نشان داد که روش‌های مورد بررسی به دلیل سادگی و کم‌تر شدن زمان انجام محاسبات به خوبی می‌توانند مدل‌سازی را با دقت بالا انجام دهند. ضریب تبیین برای عملکرد پیش‌بینی شده کلوچه با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی مصنوعی برابر با ۰/۹۵ بود در حالی که مقدار حاصل شده از سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی برابر با ۰/۹۹ به دست آمده است. مقایسه شبکه‌های عصبی مصنوعی و سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی جهت پیش‌بینی عملکرد کلوچه و اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی در تولید کلوچه آشکار ساخت که مدل ارائه شده براساس سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی چند لایه قادر است تا با دقت بیشتر و خطای کمتر، عملکرد کلوچه و اثرات زیست-محیطی ناشی از مصرف انرژی را برآورد نماید.

REFERENCES

Abolshikhi, M. (2014). Study of life cycle of bread production - Case Study: Ray County, Tehran. M. Sc. Thesis. University of Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).

Andersson, K., & Ohlsson, T. (1999). Life cycle assessment of bread produced on different scales. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 4(1), 25-40.

Banaeian, N., Zangeneh, M., & Omid, M. (2010). Energy use efficiency for walnut producers using data envelopment analysis (DEA). *Australian Journal of Crop Science*, *4*(5), 359-362.

Baum, A. W., Patzek, T., Bender, M., Renich, S., & Jackson, W. (2009). The visible, sustainable farm: A comprehensive energy analysis of a Midwestern farm. *Critical reviews in plant sciences*, 28(4), 218-239.

Bimpeh, M., Djokoto, E., Doe, H., & Jequier, R. (2006). Life Cycle Assessment (LCA) of the Production of Homemade and Industrial Bread in Sweden. KTH, Life Cycle Assessment Course (1N1800).

Braschkat, J., Patyk, A., Quirin, M., & Reinhardt, G. A. (2004). Life cycle assessment of bread production-a comparison of eight different scenarios. Proceedings from the 4th International Conference, 6-8 Oct., Bygholm, Denmark. pp. 7-16.

Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., & Ozmerzi, A. (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya Region, Turkey. *Energy conversion and Management*, 46(4), 655-666.

Curran, M. A., Mann, M., & Norris, G. (2005). The international workshop on electricity data for life cycle inventories. *Journal of Cleaner Production*, 13(8), 853-862.

Ekici, B. B., & Aksoy, U. T. (2011). Prediction of building energy needs in early stage of design by using ANFIS. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5352-5358.

Erdal, G., Esengün, K., Erdal, H., & Gündüz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32(1), 35-41.

Espinoza-Orias, N., Stichnothe, H., & Azapagic, A. (2011). The carbon footprint of bread. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(4), 351-365.

Geerken, T.H., Scholliers, D., De Vooght, C., Spirinckx, V., Van Holderbeke, M., Vercalsteren, A. (2006). Analysis of the 4 Cases 1/5. Case Study: Bread, Sustainability Developments of Product Systems, 1800-2000. The Belgian Science Policy. pp. 29-43.

www.SID.ir

Archive of SID

Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Nabavi-Pelesaraei, A., & Shamshirband, S. (2017). Investigations of energy consumption and greenhouse gas emissions of fattening farms using artificial intelligence methods. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. http:// DOI: 1002/10/ep.12604.

ISO. (2006). Environmental Management- Life Cycle Assessment- Principles and Framework- ISO,14040. Geneva, Switzerland.

Karakaya, A., & Özilgen, M. (2011). Energy utilization and carbon dioxide emission in the fresh, paste, whole-peeled, diced, and juiced tomato production processes. *Energy*, *36*(8), 5101-5110.

Khanali, M., Mobli, H., & 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*, 1-17.

Khanna, T. (1990). Foundations of neural networks. Reading: Addison Wesley.

Kitani, O. (1999). CIGR handbook of agricultural engineering. Energy and biomass engineering, ASAE Publications, St Joseph, MI.

Kulak, M., Nemecek, T., Frossard, E., Chable, V., & Gaillard, G. (2015). Life cycle assessment of bread from several alternative food networks in Europe. *Journal of Cleaner Production*, 90, 104-113.

Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K., & Sharifi, A. (2011). Life-cycle assessment of a Solar Assist Plug-in Hybrid electric Tractor (SAPHT) in comparison with a conventional tractor. *Energy conversion and Management*, 52(3), 1700-1710.

Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, S., & Mobtaker, H. G. (2014). Optimization of energy required and greenhouse gas emissions analysis for orange producers using data envelopment analysis approach. *Journal of Cleaner Production*, 65, 311-317.

Namdari, M. (2015). Optimization of sugar beet production using colonial competition algorithm and life cycle assessment of sugar production. Ph. D. Thesis. University of Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).

Notarnicola, B., Tassielli, G., Renzulli, P. A., & Monforti, F. (2017). Energy flows and greenhouses gases of EU (European Union) national breads using an LCA (Life Cycle Assessment) approach. *Journal of Cleaner Production*, 140, 455-469.

Omid, M., Akram, A., & Golmohammadi, A. (2011). Modeling thermal conductivity of Iranian flat bread using artificial neural networks. *International journal of food properties*, 14(4), 708-720.

Rahman, M. M., & Bala, B. K. (2010). Modelling of jute production using artificial neural networks. *Biosystems Engineering*, 105(3), 350-356.

Rezaei, E., Karami, A., Yousefi, T., & Mahmoudinezhad, S. (2012). Modeling the free convection heat transfer in a partitioned cavity using ANFIS. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, *39*(3), 470-475.

Sablani, S. S., Baik, O. D., & Marcotte, M. (2002). Neural networks for predicting thermal conductivity of bakery products. *Journal of Food Engineering*, 52(3), 299-304.

Sefeedpari, P., Rafiee, S., Akram, A., Chau, K. W., & Pishgar-Komleh, S. H. (2016). Prophesying egg production based on energy consumption using multi-layered adaptive neural fuzzy inference system approach. *Computers and electronics in agriculture*, 131, 10-19.

www.SID.ir