

## ارزیابی و مدل سازی جریان انرژی و اثرات زیست محیطی تولید کلوچه با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی

مجید خانعلی<sup>۱\*</sup>، اسداله اکرم<sup>۲</sup>، مهدیه محمدنیا گالشکلومی<sup>۳</sup>، هما حسین زاده بندبافها<sup>۴</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع

طبیعی، دانشگاه تهران

۲- دانشیار گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع

طبیعی، دانشگاه تهران

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس

کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۴- دانشجوی دکتری گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و

منابع طبیعی، دانشگاه تهران

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

### چکیده

در این تحقیق، مصرف انرژی و انتشار آلاینده های زیست محیطی تولید کلوچه در استان گیلان مورد بررسی قرار گرفت. داده های لازم از طریق پرسش نامه و مصاحبه حضوری از ۳۰ کارخانه تولید کلوچه جمع آوری 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<sub>2</sub> eq تعیین گردید که در حدود ۵۱ درصد آن مربوط به احتراق گاز طبیعی جهت فرآیند پخت است. در نهایت، مدل سازی میزان عملکرد و اثرات زیست محیطی براساس دو مدل شبکه های 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.

**واژه های کلیدی:** ارزیابی چرخه زندگی، شاخص های زیست محیطی، کلوچه، مدل سازی، 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 به صورت مستقیم جهت مصارف غذایی به عنوان میان وعده کاربرد دارند، قرار دارند. صنایع تولید کیک و کلوچه همانند دیگر بخش های صنعتی برای پایداری در تولید و افزایش عملکرد، نیازمند استفاده از تجهیزات پیشرفته مصرف کننده منابع انرژی از جمله سوخت دیزل، گاز طبیعی و الکتریسیته می باشند (Karakaya & Ozilgen, 2011). این در حالی است که امروزه جوامع بشری از آسیب های محیط زیست 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 می باشد، آگاه است. از این رو کاربرد

روشی جهت بررسی اثرات زیست محیطی محصول در طول چرخه تولید آن برای ارزیابی میزان اثرات زیست محیطی امری الزامی است (Mousazadeh et al., 2011).

از این رو مطالعات مختلفی با هدف بررسی و ارزیابی مصرف انرژی و آسیب های محیط زیست در تولید صنایع مرتبط با نان و شیرینی صورت گرفته است. به عنوان مثال در رابطه با مصرف انرژی در تولید نان های حجیم صنعتی و سنتی نشان داده شد که به ازای تولید هر کیلوگرم نان حجیم صنعتی ۴ مگاژول و به ازای تولید هر کیلوگرم نان حجیم سنتی ۶ مگاژول انرژی مصرف شده است (Braschkat et al., 2004). در بلژیک ارزیابی چرخه زندگی تولید نان های حجیم از ۲۰۰ سال گذشته تا امروز، کاهش شاخص های گرمایش جهانی و اکسیداسیون فتوشیمیایی حاصل از تولید نان را به دلیل استفاده بسیار زیاد از ذغال سنگ به عنوان منبع انرژی در سال های گذشته، نشان داده است (Geerken et al., 2006). در استکهلم سوئد مقایسه اثرات زیست محیطی تولید نان در دو مقیاس صنعتی و خانگی انجام

شد که نتایج نشان داد گرمایش جهانی، نقصان لایه اوزون، مسمومیت انسان و اسیدی شدن در تولید صنعتی نان به طور غیر محسوسی مقادیر کمتری داشتند (Bimpeh *et al.*, 2006). در تحقیقی در اتحادیه اروپا مصرف انرژی و ارزیابی زیست محیطی سامانه های تولید نان حجیم صنعتی مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق شاخص گرمایش جهانی به ازای مصرف انرژی در تولید نان حجیم برای تولید هر کیلوگرم نان برآورد شد. نتایج نشان داد، نان های گران قیمت تر دارای پایداری زیست محیطی بالاتری هستند. مرحله پخت نان برای بسیاری از نان های تولید شده در کشورهای مختلف، عامل اصلی در ایجاد آسیب های محیط زیست محسوب شده که مقدار آسیب ناشی از آن وابسته به اندازه و شکل نان است. همچنین نشان داده شد که در تولید نان های 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 نگرانی ها درباره پایداری منابع انرژی، روش های مختلفی برای کنترل مصرف منابع انرژی ارائه شده است که مدل سازی انرژی مصرفی از جمله اصلی ترین روش های کنترل و کاهش مصرف انرژی است. از این رو مدل سازی عملکرد و انتشار آلاینده های زیست محیطی تولید کیک و کلوچه براساس انرژی مصرفی با هدف کنترل و کاهش آن ها، امری ضروری به نظر می رسد. از بین مهم ترین روش های نوین مدل سازی که در تحقیقات مختلف استفاده شده است، می توان به شبکه های عصبی مصنوعی و سامانه های استنتاج فازی-عصبی تطبیقی اشاره کرد. با توجه به کاربرد گسترده این روش ها جهت مدل سازی در علوم مختلف، در مطالعات مربوط به تولید نان و شیرینی نیز از این روش ها استفاده شده است که در ادامه برخی از آن ها ذکر شده است.

در مطالعه ای برای مدل سازی و پیش بینی مقدار هدایت حرارتی در تولید انواع مختلف محصولات نانوائی و کیک از قبیل نان فرانسوی، کیک زرد و کیک فنجانگی از شبکه های عصبی مصنوعی استفاده شده است. براساس نتایج به دست 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، به خوبی و با دقت بالا قادر به پیش بینی نرخ هدایت حرارتی در تولید انواع نان حجیم و کیک بوده است (sabalani *et al.*, 2002). همچنین در مدل سازی هدایت حرارتی در تولید نان لواش سنتی ایران، مدل با ساختار ۱-۳-۴ با توجه به ضریب تبیین بالا (۰/۹۸۸) به عنوان ساختار مناسب برای پیش بینی میزان هدایت حرارتی در تولید نان ایرانی انتخاب شد (Omid *et al.*, 2011).

هرچند به نظر می رسد عملکرد تولید کلوچه تابعی از مصرف انرژی ورودی (نهاده هایی مانند آرد، شکر و غیره) است، اما مدل سازی عملکرد محصول براساس میزان انرژی مصرفی با استفاده از روش های نوین مدل سازی، به طور غیرمستقیم متغیرهایی مانند عوامل فنی و مدیریتی (مانند روش پخت و نوع استفاده از نهاده هایی مانند نیروی کار و غیره) را در مدل سازی مدنظر قرار می دهد تا توانایی مدیران را در تصمیم گیری با نگاه ویژه به عوامل مختلف افزایش دهد. از این رو، با تهیه مدل هایی برای پیش بینی عملکرد محصول می توان برنامه ریزی های لازم را برای تأمین نیازها در صورت کمبود با توجه به عوامل فنی و مدیریتی و ذخیره نهاده ها در صورت مازاد بودن انجام داد. به عبارت دیگر، به دلیل ورودی محور بودن واحدهای تولید کننده کلوچه، مدل سازی عملکرد براساس مصرف نهاده ها و با توجه به عوامل فنی و مدیریتی از افزایش مصرف انرژی برای سطح مشخصی از عملکرد در واحدهای تولیدی می کاهد و منجر به افزایش کارایی واحدهای تولیدکننده می شود. همچنین با استفاده از مدل می توان برحسب میزان انرژی مصرفی، به راحتی عملکرد را پیش بینی کرد و از این طریق بهترین الگوی مصرف انرژی را از لحاظ بهره وری انرژی برآورد کرد.

از سوی دیگر همان طور که اشاره شد، با توجه به نگرانی های روزافزون در رابطه با آسیب های محیط زیست مصرف انرژی، مدل سازی اثرات زیست محیطی مصرف انرژی براساس رویکرد ارزیابی چرخه زندگی ضروری به نظر می رسد. هر چند رویکرد پیشنهادی (ترکیب مدل سازی و ارزیابی چرخه زندگی) جایگزین یک ارزیابی چرخه زندگی کامل نمی شود، اما مدیران واحدهای تولیدکننده می توانند از این دستورالعمل برای بهبود تصمیم گیری خود در مرحله طراحی و راه اندازی واحدهای تولیدکننده به منظور انتخاب بهترین ترکیب و نوع نهاده ها برای تولید پاک تر استفاده کنند. به عبارت بهتر با استفاده از این روش، به سرعت آسیب های محیط زیست ناشی از تولید محصول را قبل از شروع به تولید آن برآورد شده و تخمینی مناسب از میزان آسیب های محیط زیست را برای مدیران و طراحان واحدهای تولید کننده ارائه می کند. همچنین این رویکرد، مقایسه بسیار سریع بار زیست محیطی واحدهای مختلف تولیدکننده را بدون ایجاد تأخیر در روند احداث واحد براساس نهاده های ورودی ممکن می سازد 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 مدل سازی براساس انرژی مصرفی به عنوان رویکردی نوین، می تواند علاوه بر مزایای ذکر شده در رابطه با مدل سازی بار زیست-

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

در بخش نخست این مطالعه، جریان انرژی در بخش‌های مختلف تولید و پخت کلوچه مورد بررسی قرار گرفته 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 در نظر گرفته شد. برای تعیین میزان انرژی معادل هر یک از نهاده‌ها و ستانده از هم‌ارزهای انرژی متناظر با هر یک استفاده شد که هم‌ارزهای 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.

محیطی تولید، راهی باشد برای رسیدن به تولید پایدار با توجه به در نظر 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 یک 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

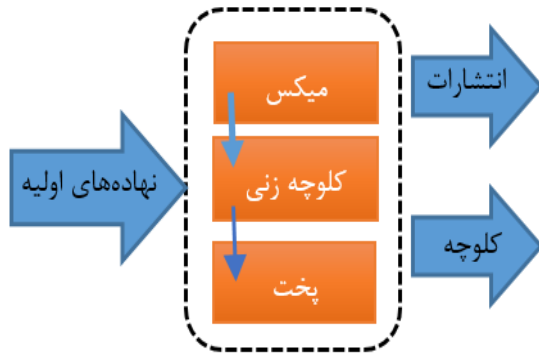
##### مراحل پخت کلوچه

کلوچه نوعی نان شیرین است که از آرد گندم، شکر و روغن تهیه می‌شود. با اضافه کردن پودر نارگیل یا گردو به خمیر

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 <sup>3</sup>	۱/۰۲	(Erdal et al., 2007)
۷- آب	m <sup>3</sup>	۱/۰۲	(Erdal et al., 2007)
۸- الکتریسیته	kWh	۱۲	(Kitani, 1999)
۹- گاز طبیعی	m <sup>3</sup>	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)

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 مورد نیاز در این مطالعه به دو گروه 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 کارخانه‌های 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 اوزون، 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

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):

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

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

که در آن،  $E_{in}$  انرژی ورودی ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ) و  $Y$  عملکرد محصول ( $\text{kg}$ ) می‌باشد. همچنین  $EP$  بهره‌وری انرژی ( $\text{kg MJ}^{-1}$ ) و  $SE$  شدت انرژی ( $\text{kg MJ}^{-1}$ ) 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 ورودی‌های انرژی و مواد و انتشار به محیط زیست.

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

تفسیر نتایج برای کمک به تصمیم‌گیری (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 در نظر گرفته شده است. یعنی کلیه ورودی‌ها و فرآیندهای مورد نظر برای تولید و تحویل آن‌ها در کارخانه در نظر گرفته شده است و تا پایان پخت

توجه به توابع عضویت خروجی تعیین شده برای آن‌ها ارائه می‌دهند (Rezaei et al., 2012, Ekici & Aksoy, 2011).

جهت مدل‌سازی میزان عملکرد کلوجه 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 سیمپرو) 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):

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

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

که  $t_i$  و  $z_i$  به ترتیب 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 کلوجه و معادل انرژی آن‌ها ذکر شده است. براساس نتایج، ۳۰/۵۰ مگاژول انرژی برای تولید هر کیلوگرم کلوجه 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 ( $5/03 \text{ MJ kg}^{-1}$ ) و شکر با معادل انرژی ( $4/20 \text{ MJ kg}^{-1}$ ) در جایگاه بعدی قرار دارند. در شکل ۲ سهم هر نهاده در انرژی ورودی تولید کلوجه نشان داده شده است. براساس شکل ۲، گاز طبیعی که برای تأمین انرژی پخت کلوجه 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

دارند و مهندسین با آن سر و کار 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 هوش مصنوعی است که برای مدل‌سازی احتیاج به دانستن روابط پیچیده 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 به کار 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 در صورت بروز اشکال در بخشی از اتصال‌ها به دلیل توزیع وزن‌های شبکه است (Khanna, 1990). به‌منظور پیش‌بینی جریان انرژی در فرآیند تولید کلوجه براساس شبکه‌های عصبی مصنوعی، از نرم‌افزار متلب استفاده شد. نهاده‌های آرد، شکر، روغن، تخم‌مرغ، گردو، نارگیل، آب، الکتروسیته، گاز طبیعی، 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

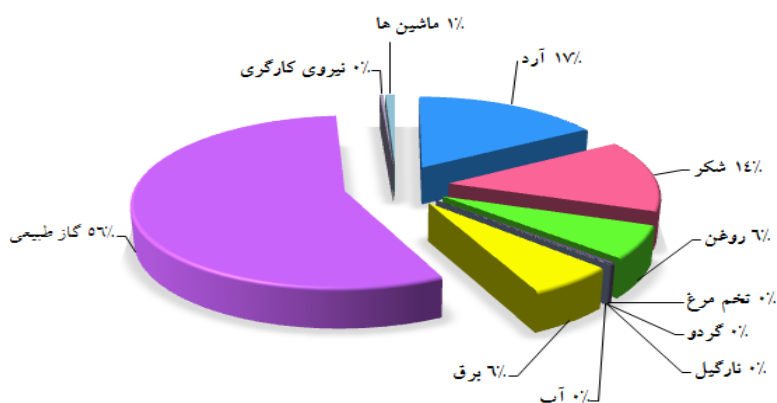
های فسیلی به سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر خصوصاً انرژی خورشید و استفاده از اجاق‌های خورشیدی با توجه به اقلیم ایران توصیه می‌گردد.

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 انرژی در تولید کلوچه در ایران نسبت به مطالعات ذکر شده مقدار بالایی را نشان می‌دهد که می‌تواند مرتبط با مصرف بالای سوخت به دلیل فرسودگی فرهای مورد استفاده باشد.

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 انرژی 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 به خصوص 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، کارخانه‌های 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-

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 <sup>3</sup> )	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۱۸
الکتریسیته (kWh)	۰/۱۵	۱/۸
گاز طبیعی (m <sup>3</sup> )	۰/۳۴۵	۱۷/۰۹
نیروی انسانی (h)	۰/۰۵۳	۰/۰۹۷
ماشین‌ها (kg)	۰/۰۰۱	۰/۲۶۴
انرژی ورودی کل (MJ kg <sup>-1</sup> )		۳۰/۵۰



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

داده شده است. این نتایج مربوط به انتشارات مستقیم (داخل کارخانه) و غیرمستقیم (فرآیندهای بالادستی) هستند. براساس نتایج، میزان گرمایش جهانی برای تولید هر کیلوگرم 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 (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 گاز طبیعی و رهاسازی فاضلاب است. همچنین نتایج نشان می‌دهد انتشارات مستقیم کارخانه نقش اصلی را در بخش‌های اثر مسمومیت آب-های آزاد و نقصان لایه اوزون به خود اختصاص داده است در حالی که در بخش‌های اثر تقلیل منابع غیر آلی و مسمومیت خاک نقش چندانی نداشته است.

در جدول ۳ شاخص‌های انرژی برای تولید هر کیلوگرم کلوچه نشان داده شده است. براین اساس شدت انرژی ۳۱/۲۵ مگاژول بر کیلوگرم برآورد شد که نشان می‌دهد 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 <sup>-1</sup>	۰/۰۳۲
شدت انرژی	MJ kg <sup>-1</sup>	۳۱/۲۵

#### تحلیل شاخص‌های زیست‌محیطی

در جدول ۴ مقادیر واقعی شاخص‌های زیست‌محیطی محاسبه شده در تولید کلوچه به‌ازای یک کیلوگرم محصول تولیدی نشان

جدول ۴. شاخص‌های زیست‌محیطی به‌ازای 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 <sub>2</sub> eq.	۰/۰۱۰۴۵	۰/۰۰۶۱۸	۰/۰۱۶۶۳
اختناق دریاچه‌ای	kg PO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> eq.	۰/۰۰۲۱۸	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۲۴۳
گرمایش جهانی	kg CO <sub>2</sub> eq.	۱/۸۲	۱/۹۱	۳/۷۳
نقصان لایه اوزون	kg CFC-11 eq.	۰/۰۰۰۰۰۰۲۴	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	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۹۴۲۴
اکسیداسیون فتوشیمیایی	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	۰/۰۰۰۰۴۶	۰/۰۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۰۸۳

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، الکتروسیته، گاز طبیعی، نیروی کارگری (زن و مرد) و ماشین‌ها به‌عنوان ورودی‌های مدل و عملکرد تولید کلوچه و

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. شبکه‌های استفاده شده در این تحقیق از نوع شبکه‌های عصبی

ورودی در تدوین مدل‌سازی موردنظر در این تحقیق، انرژی‌های مورد استفاده در تولید کلوچه شامل انرژی نهاده‌های آرد، شکر، روغن، تخم‌مرغ، گردو، نارگیل، آب، الکتروسیته، گاز طبیعی، 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 ۰/۱۴۹ به دست آمده است که نشان دهنده دقت و صحت مطلوب در پیش‌بینی 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).

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 ۱-۲۵-۱۱ به‌عنوان بهترین ساختار تعیین شده است در حالی که در مدل‌سازی اثرات زیست‌محیطی، ساختار شبکه منتخب به‌صورت ۱۰-۱۰-۱۰ می‌باشد. میزان  $R^2$  و RMSE برای خروجی‌های مختلف آزمون شبکه‌های عصبی منتخب بین ۰/۶۰ تا ۰/۹۵ و ۰/۰۴ تا ۰/۰۳۵ به دست آمده است که نشان دهنده دقت بالا در مدل‌های منتخب است. در تحقیقی دیگر، در رابطه با مدل‌سازی هدایت حرارتی در تولید نان تخت لواش سنتی ایران،  $R^2$ ، MRE و MAE به ترتیب ۰/۹۸۸، ۰/۶۳۲۳ و ۰/۰۱۶۶ تعیین شدند.

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

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

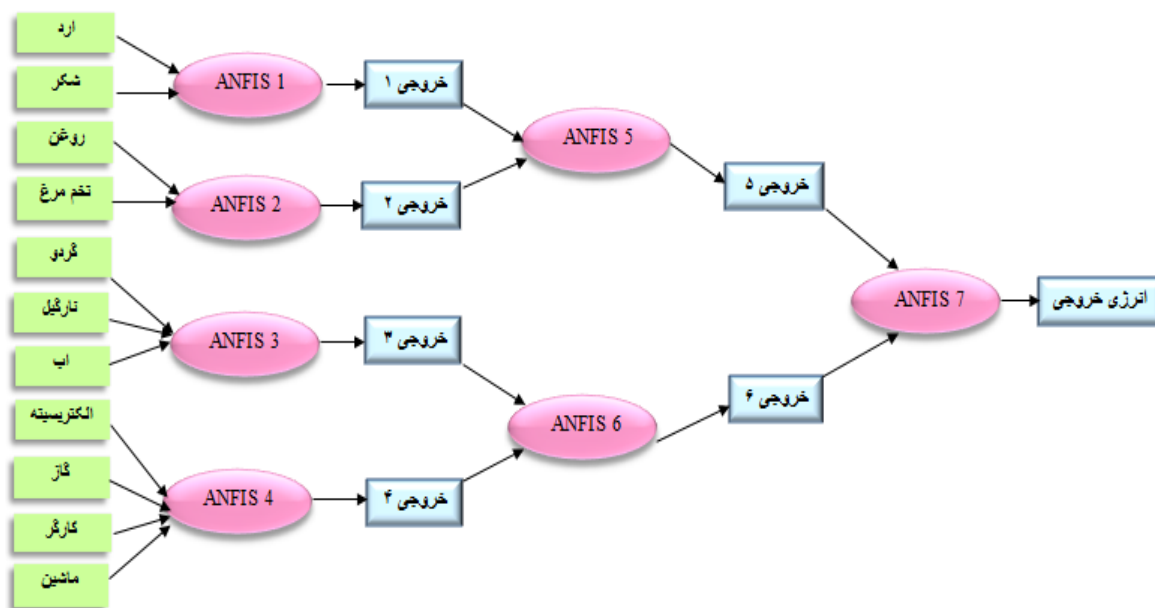
\* تعداد نرون در لایه مخفی اول

\*\* 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 شبکه‌های 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





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

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

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

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

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

## 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 گاز طبیعی تعلق داشت. با توجه به ناپایداری گاز طبیعی 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 گاز طبیعی و پساب کارخانه، سهم بالایی در دو بخش اثر نقصان لایه اوزون 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 گاز طبیعی 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., Vercauteren, 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.

- 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). Propheying egg production based on energy consumption using multi-layered adaptive neural fuzzy inference system approach. *Computers and electronics in agriculture*, 131, 10-19.