



بهینه سازی انرژی مصرفی و کاهش انتشارات محیط زیستی در تولید کیک با استفاده از تحلیل پوششی داده ها و الگوریتم ژنتیک

اسداله اکرم*، مجید خانعلی، مهدیه محمدنیا گالشکلای و هما حسین زاده بندبافها

گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۴

اکرم، ا.، م. خانعلی، م. محمدنیا گالشکلای و ه. حسین زاده بندبافها. ۱۳۹۸. بهینه سازی انرژی مصرفی و کاهش انتشارات محیط زیستی در تولید کیک با استفاده از تحلیل پوششی داده ها و الگوریتم ژنتیک. فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۲): ۱۰۲-۱۲۲.

سابقه و هدف: توسعه پایدار ایجاب می کند که تأمین انرژی مورد نیاز بصورت پایدار، با هزینه ای قابل قبول و با کمترین اثرهای منفی اجتماعی و محیط زیستی صورت گیرد. بنابراین بهینه سازی مصرف انرژی و در نتیجه کاهش انتشار آلاینده های محیط زیستی از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. هدف از این پژوهش بررسی میزان مصرف انرژی و انتشار آلاینده ها و در نهایت بهینه سازی مصرف انرژی با استفاده از روش های مرسوم بهینه سازی از جمله تحلیل پوششی داده ها و الگوریتم ژنتیک با هدف کاهش انتشارات محیط زیستی در صنعت تولید کیک در استان گیلان بود.

مواد و روش ها: با استفاده از مدل های تحلیل پوششی داده ها، واحدهای کارا و ناکارا در مصرف انرژی شناسایی شدند. براساس الگوی مصرف انرژی واحدهای کارا، الگوی مصرف بهینه انرژی برای دیگر واحدها بیان شد و ارزیابی محیط زیستی براساس الگوی بهینه انجام شد. در نهایت، با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و با در نظر گرفتن دو تابع هدف بمنظور افزایش عملکرد و کاهش شاخص گرمایش جهانی، الگوی بهینه مصرف انرژی در دیگر واحدهای تولید کیک بیان شد.

نتایج و بحث: نتایج این پژوهش نشان داد که میزان $260532/25$ مگاژول انرژی برای تولید روزانه $4157/14$ کیلوگرم کیک مصرف شده است. بیشترین سهم انرژی مصرفی به گاز طبیعی با $128582/1$ مگاژول اختصاص داشت. همچنین سنجه گرمایش جهانی برای تولید هر تن کیک $13099/49$ kg CO₂ eq تعیین شد. بر اساس نتایج تحلیل پوششی داده ها، از مجموع ۲۱ واحد تولیدی کیک، ۱۷ واحد براساس مدل بازگشت به مقیاس متغیر کارا شناخته شدند. براساس نتایج مدل های تحلیل پوششی داده ها، میزان کل انرژی مورد نیاز در حالت مصرف بهینه نهاده ها، درصد صرفه جویی انرژی و کاهش سنجه گرمایش جهانی بترتیب برابر $254929/28$ مگاژول در روز، $2/15$ درصد و $550/18$ kg CO₂ eq به ازای تولید یک تن کیک تعیین شدند. همچنین الگوی مصرف انرژی بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک چند هدفه منجر به کاهش $36/30$ درصدی در مصرف انرژی شد که بیشترین درصد صرفه جویی در انرژی مربوط به نیروی کارگری بود. بر اساس نتایج بهینه سازی چند هدفه، میزان گرمایش جهانی به ازای تولید یک تن کیک برابر $10038/44$ kg CO₂ eq تعیین شد.

نتیجه گیری: بهینه سازی چند هدفه با الگوریتم ژنتیک در مقایسه با بهینه سازی با تحلیل پوششی داده ها، منجر به کاهش بیشتر انرژی مصرفی، گرمایش جهانی، هزینه های تولید و بارهای محیط زیستی و همچنین افزایش بیشتر درآمد شد. بنابراین استفاده از روش الگوریتم

*Corresponding Author: Email Address. aakram@ut.ac.ir

ژنتیک، راه را برای رسیدن به توسعه پایدار در صنعت تولید کیک و باقی ماندن در عرصه رقابت با دیگر صنایع غذایی هموار خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، انرژی، تحلیل پوششی داده‌ها، کیک، گرمایش جهانی.

مقدمه

صنایع تبدیلی کشاورزی، محل هم افزایی صنعت و کشاورزی است. این صنعت نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی، اشتغال زایی، عمران و توسعه منطقه‌ها به ویژه منطقه‌های روستایی دارد. این موضوع سبب توزیع بهتر درآمد و رفاه و در نتیجه برقراری عدالت اجتماعی خواهد شد. از این رو، توسعه صنایع تبدیلی کشاورزی یکی از محورهای اولویت دار زنجیره تولید محصول‌های کشاورزی می‌باشد. بر اساس نتایج طرح آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی که توسط مرکز آمار ایران منتشر شده است، صنایع غذایی ۱۸/۳ درصد از تعداد کل صنایع کشور را شامل می‌شود. افزون بر آن ۱۵/۱٪ اشتغال، ۸/۹۳٪ سرمایه‌گذاری و ۹/۶۴٪ ارزش افزوده صنعت، متعلق به این بخش می‌باشد (Anonymous, 2014). با توجه به سرمایه‌گذاری‌های وسیع صورت گرفته در صنایع تبدیلی کشاورزی و غذایی در کشور در دهه گذشته بویژه توسط بخش خصوصی و همچنین با نگاهی به مزیت‌های کشور به لحاظ تأمین نیازهای داخلی و صدور تولیدها به دیگر کشورها، می‌توان صنایع تولید نان‌های شیرین و کیک را یکی از گروه‌های عمده صنایع غذایی دانست که در سال‌های اخیر از رشد بسیار خوبی در سرمایه‌گذاری تولید و صادرات برخوردار بوده است. همانند دیگر بخش‌های صنعتی، صنایع تولید کیک و نان‌های شیرین برای افزایش عملکرد تولیدی، نیازمند استفاده از تجهیزات پیشرفته وابسته به مصرف انرژی‌هایی از قبیل سوخت دیزل، گاز طبیعی و الکتریسیته هستند (Karakaya and Ozilgen, 2011). طبیعی است منبع‌های انرژی که امروزه در این بخش مصرف می‌شوند، محدود می‌باشند که این محدودیت موجب ناپایداری انرژی بخصوص انرژی‌های فسیلی خواهد شد و در نتیجه چالش مهمی در پایداری تولید مواد غذایی بوجود خواهد آمد. بنابراین، بحث کارایی مصرف انرژی در تولید محصول‌های غذایی اهمیت می‌یابد. از سوی دیگر افزون بر هدر رفتن انرژی و سرمایه، ناکارایی در مصرف انرژی

اثرهای زیان‌باری بر محیط زیست وارد می‌سازد. براساس قانون پایداری انرژی، انرژی ضمن برهم کنش می‌تواند از شکلی به شکل دیگر تبدیل شود اما میزان آن همواره ثابت است. بنابراین هرچه بازده و کارایی انرژی از مقدار بیشینه کم‌تر گردد، مقدار انرژی بیشتری از چرخه تولید خارج شده و بطور معمول به شکل انرژی گرمایی وارد محیط خواهد شد. در نهایت این تجمع انرژی در محیط، پدیده گرم شدن زمین را رقم خواهد زد (Vares *et al.*, 2019). بنابراین توجه هم‌زمان به کاهش مصرف انرژی، افزایش تولید و جلوگیری از روند رو به رشد گرمایش زمین مهم‌ترین عامل برای رسیدن به موفقیت در صنایع غذایی است. بر این اساس، استفاده از روش‌های نوین برای بیان الگوهای بهینه، یکی از عوامل کلیدی بمنظور الگوی صحیح مصرف انرژی و همچنین کاهش اثرهای گلخانه‌ای است. بهینه‌سازی در یک سامانه، فرآیندی است که در طی آن، با تغییر میزان ورودی یا خروجی می‌توان به بیشترین میزان سود یا کمترین میزان زیان دست یافت (Pérez-Uresti *et al.*, 2019). در مسئله‌های بهینه‌سازی، شناسایی روشی که بالاترین عملکرد را برای حل مسئله مورد بررسی داشته باشد، ضروری است. بنابراین روش‌های مختلفی برای بهینه‌سازی بیان شده است. در سال ۱۹۷۹ محققان الگویی را بیان کردند که توانایی اندازه‌گیری کارایی با چندین ورودی و خروجی را داشت. این الگو، تحلیل پوششی داده‌ها نام گرفت که یک رویکرد داده‌محور برای ارزیابی عملکرد یک مجموعه از موجودیت‌های مشابه به نام واحدهای تصمیم‌گیری است که ورودی چندگانه را به خروجی‌های چندگانه تبدیل می‌کند (Charnes *et al.*, 1979). مانند دیگر روش‌ها، تحلیل پوششی داده‌ها نیز دارای عیب‌هایی است که در برخی زمان‌ها منجر به نتایج نامناسب می‌شود. از عیب‌های این روش می‌توان به در نظر نگرفتن اختلالات تصادفی و عامل‌های محیطی و همچنین حساسیت نتایج تحلیل پوششی داده‌ها نسبت به پراکندگی داده‌ها اشاره نمود

در بلژیک، کاهش سنجه های پتانسیل گرمایش جهانی و اکسیداسیون فتوشیمیایی را بدلیل جایگزینی زغال سنگ بعنوان منبع انرژی با دیگر سوخت های فسیلی نشان داد (Geerken *et al.*, 2006). در تحقیقی دیگر مقایسه اثر های محیط زیستی تولید نان در دو مقیاس صنعتی و خانگی در استکلهم سوئد، نشان داد که تولید صنعتی نان های حجیم نسبت به تولید سنتی منجر به بهبود در پتانسیل گرمایش جهانی، نقصان لایه اوزن، مسمومیت انسان و اسیدی شدن شده اند (Bimpeh *et al.*, 2006). همچنین در بررسی چرخه زندگی تولید نان حجیم صنعتی در کشور ایتالیا، تولید مواد اولیه، انبارداری و حمل و نقل سهمی مابین 44 تا 100 درصد شاخص های پتانسیل گرمایش جهانی، اسیدی شدن و مسمومیت آب های سطحی و آزاد را به خود اختصاص داده اند (Maupu *et al.*, 2012). همچنین نتایج یک تحقیق در تولید نان های حجیم در کشورهای عضو اتحادیه اروپا نشان داد مرحله پخت نان برای بسیاری از نان های تولید شده در کشورهای مختلف، نقطه داغ محیط زیستی محسوب شده که مقدار آن وابسته به اندازه و شکل نان است که بر این اساس نان های گران قیمت تر دارای پایداری محیط زیستی بالاتری هستند (Notarnicola *et al.*, 2017). در تحقیقی دیگر، سنجه گرمایش جهانی برای تولید هر تن کلوچه 3732 کیلوگرم کربن دی اکسید معادل برآورد شد (Khanali *et al.*, 2019). با توجه به اهمیت بهینه سازی مصرف انرژی در تولید نان و فرآورده های مشابه، در تحقیقی در آمریکا بهینه سازی مصرف انرژی محصول های تجاری نانوائی مانند نان، رولت، کیک منجمد، کیک، شیرینی، بیسکویت و کراکر صورت گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که یک سامانه مدیریت قوی انرژی با شناسایی اقدام هایی برای افزایش کارایی در مصرف انرژی سبب خواهد شد که قیمت تمام شده محصول ها کاهش یابد (Therkelsen *et al.*, 2014). در تحقیقی دیگر در پاسخ به افزایش هزینه های انرژی در صنایع تولید نان های شیرین، یک چارچوب بهینه سازی چند هدفه برای طرح اجاق پخت بیان شد و شناسایی ترکیب بهینه ویژگی های طراحی مانند یکنواختی درجه حرارت در اجاق پخت مورد بررسی قرار گرفت (Khatir *et al.*, 2015). همچنین در تحقیق دیگر در رابطه با تولید کلوچه

(Qasari *et al.*, 2007). از این رو روش های مختلفی بیان شده است تا از بروز این مشکل ها جلوگیری کند. از جمله این روش ها، استفاده از الگوریتم های بهینه یابی است. الگوریتم ژنتیک، شاخه ای از الگوریتم های تکاملی بهینه یابی است که بر اساس ساختار ژن ها، کروموزوم ها و الهام از تکامل طبیعی در یافتن راه حل های بهینه در مسئله های بهینه سازی تلاش می کند. الگوریتم ژنتیک اجازه می دهد تا جمعیتی متشکل از تعداد زیادی افراد که تحت قوانین انتخاب ویژه ای تشکیل شده اند، در فرآیند تکامل، تابع برازش را بهینه نمایند. در دهه اخیر، الگوریتم های ژنتیک بطور گسترده ای در حوزه وسیعی از مسئله های علوم، بازرگانی و مهندسی بعنوان ابزارهای جستجو و بهینه یابی استفاده شده اند. دلیل عمده موفقیت این الگوریتم ها، قابلیت کاربرد وسیع آن ها، استفاده آسان و چشم انداز عمومی آن ها است (Shamshirband *et al.*, 2015). با توجه به اهمیت انرژی و پیامدهای محیط زیستی ناشی از مصرف انرژی در صنایع غذایی وابسته به کشاورزی از جمله نان های صنعتی و مواد غذایی مشابه با آن، تحقیق های مختلفی صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آن ها اشاره شده است. در تحقیقی در رابطه با ارزیابی جریان انرژی در تولید نان حجیم صنعتی، برشکات و همکاران نشان دادند که 4 مگاژول انرژی برای تولید هر کیلوگرم نان حجیم صنعتی مصرف شده است (Bra- *et al.*, 2004) همچنین در تحقیقی دیگر برای تولید هر کیلوگرم نان حجیم صنعتی، میزان انرژی تجدید ناپذیر مصرفی بین 6 تا 21/5 مگاژول برآورد شده است (Kulak *et al.*, 2015). همچنین در کشورهای عضو اتحادیه اروپا تجزیه و تحلیل جریان انرژی نشان داد که انرژی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم نان حجیم در بازه 9 تا 32/9 مگاژول تغییر می کند (Notarnicola *et al.*, 2017). همچنین خانعلی و همکاران در سال 2019 نشان دادند که برای تولید هر تن کلوچه در کارخانه های کلوچه پزی استان گیلان مقدار 30533/66 مگاژول انرژی مصرف شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که گاز طبیعی بیشترین سهم انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است (Khanali *et al.*, 2019). همچنین در رابطه با ارزیابی چرخه زندگی نان های حجیم

تعداد و ساعت کار کارگران شاغل در بخش های مختلف بود. این اطلاعات توسط تکمیل پرسش نامه توسط مدیران و کارکنان واحدهای تولید کیک به دست آمد. پایایی یکی از ویژگی های ابزار اندازه گیری (پرسش نامه یا مصاحبه) است. مفهوم یاد شده با این امر سروکار دارد که ابزار اندازه گیری در شرایط یکسان تا چه اندازه نتایج یکسانی به دست می دهد. در این تحقیق از آماره ضریب آلفای کرونباخ بدین منظور استفاده شد؛ این روش برای محاسبه هماهنگی درونی ابزار اندازه گیری از جمله پرسش نامه ها یا آزمون هایی که ویژگی های مختلف را اندازه گیری می کند بکار می رود. در این گونه ابزارها، پاسخ هر سوال می تواند مقادیر عددی مختلف را اختیار کند. برای محاسبه ضریب آلفای کرونباخ ابتدا باید واریانس نمره های هر زیر مجموعه سوال های پرسش نامه (یا زیر آزمون) و واریانس کل را محاسبه کرد. سپس با استفاده از رابطه (۱) مقدار ضریب آلفا را محاسبه کرد.

$$a = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right) \quad (1)$$

که در آن k تعداد سوالات یا گویه های پرسش نامه یا آزمون، S^2 واریانس زیر آزمون k ام و سیگمای S^2 واریانس کل آزمون است. در این مطالعه با استفاده از نرم افزار SPSS آزمون پایایی انجام شد. یادآوری می شود چنانچه ضریب آلفای کرونباخ بیش از ۰/۷ محاسبه گردد، پایایی پرسش نامه مطلوب ارزیابی می شود. بدون آگاهی از اعتبار ابزار اندازه گیری نمی توان به دقت حاصل از آن اطمینان داشت. ابزار اندازه گیری ممکن است برای اندازه گیری یک ویژگی دارای اعتبار باشد، در حالی که برای سنجش همان ویژگی بر روی جامعه دیگر از هیچ گونه اعتباری برخوردار نباشد. روایی پرسش نامه ها نیز با استفاده از نتایج و تجربه حاصل از پیش آزمون و همچنین نظر های کارشناسان به دست آمد. ضمن این که از مرحله اولیه طراحی پرسش نامه سعی شد که پرسش ها به ساده ترین روش ممکن انتخاب شود.

تجزیه و تحلیل انرژی در تولید کیک

در این پژوهش جریان انرژی در تولید کیک با استفاده از هم ارزهای انرژی نهاده ها مورد بررسی قرار گرفته

نشان داده شده است که بهینه سازی مصرف انرژی با استفاده از الگوی بیان شده توسط تحلیل پوششی داده ها منجر به کاهش ۱/۰۲ درصدی انرژی مصرفی خواهد شد در حالی که با استفاده از الگوی مطرح شده توسط الگوریتم ژنتیک چند-هدفه این کاهش به ۲۱/۶۲ درصد رسیده است (Khanali et al., 2019). مرور منبع های مرتبط نشان داد با وجود گستردگی تحقیق ها در زمینه ی انرژی مصرفی در ایران، هیچ مطالعه ای در رابطه با بهینه سازی انرژی صنایع تولید کیک از دیدگاه افزایش بهره وری انرژی و کاهش پیامدهای محیط زیستی ناشی از آن در ایران صورت نگرفته است. از آن جا که این محصول بعنوان یک تولید استراتژیک در منطقه گیلان محسوب می شود، شناسایی فرصت ها و محدودیت ها در رابطه با جریان مصرف انرژی و پیامدهای محیط زیستی ناشی از آن و به دنبال آن بهینه سازی مصرف انرژی برای افزایش درآمد و کاهش هزینه های تولیدی ضروری بنظر می رسد. بنابراین هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی جریان انرژی و اثر های محیط زیستی ناشی از مصرف انرژی و بهینه سازی مصرف انرژی مصرفی با هدف افزایش بهره وری انرژی و کاهش گرمایش جهانی ناشی از آن است. برای رسیدن به این هدف، بهینه سازی مصرف انرژی بر اساس دو روش مرسوم بهینه سازی تحلیل پوششی داده ها و الگوریتم ژنتیک مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت و در نهایت الگوی مصرف انرژی بهینه در تولید کیک در استان گیلان بیان شد.

مواد و روش ها

نمونه برداری و جمع آوری اطلاعات

این مطالعه در سال ۱۳۹۵ در شهرستان های لاهیجان، لنگرود و رودسر بعنوان قطب های تولیدی کیک استان گیلان انجام شده است. در این تحقیق اطلاعات ۲۱ کارخانه تولید کیک (کل واحدهای صنعتی تولید کیک در استان گیلان) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. اطلاعات جمع آوری شده شامل داده های مربوط به کارخانه شامل تعداد و نوع دستگاه ها تجهیز های آماده سازی و پخت و یز، نوع و توان مصرفی دستگاه ها و تجهیز های موجود در کارخانه، نوع و تجهیز های و توان مصرفی سیستم گرمایشی، روشنایی و تهویه کارخانه، میزان مصرف نهاده های مختلف شامل آرد، شکر، روغن، تخم مرغ و آب،

استفاده شد که هم ارزشهای انرژی برای هر یک از نهاده‌ها و ستانده در جدول ۱ نشان داده شده اند. انرژی معادل هر یک از نهاده‌ها، از ضرب میزان مصرف هر یک از آن‌ها در ضریب هم ارزش انرژی ویژه آن نهاده حاصل شده است. مجموع انرژی تولیدی در مزرعه توسط دانه و کاه گندم (گیگاژول در هکتار) و IE مجموع انرژی مصرفی در فرآیند تولید محصول گندم (گیگاژول در هکتار) است. کارایی انرژی حاصل نسبت انرژی تولیدی به انرژی مصرفی بوده و از رابطه زیر برآورد شد.

است. هم ارزش انرژی به ضریبی اطلاق می شود که میزان محتوای انرژی نهاده‌ها یا ستانده‌ها را بیان می‌کنند که در جریان فرآیند تولید به سامانه تولیدی وارد شده یا از آن خارج می گردند (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2019). آرد، شکر، روغن، تخم مرغ، آب، الکتریسیته، گاز طبیعی، نیروی کارگری و ماشین‌های صنایع غذایی بعنوان نهاده‌های ورودی و کیک نیز بعنوان ستانده کارخانه در نظر گرفته شده است برای تعیین میزان انرژی معادل هر یک از نهاده‌ها و ستانده از هم ارزشهای انرژی متناظر با هر یک

جدول ۱- محتوای انرژیهای ورودی ها و خروجی در زنجیره تولید کیک

Table 1. Energy content of inputs and output in the cake production chain

منبع Reference	هم‌ارز انرژی (مگاژول بر واحد) (Equivalent energy (MJ Unit ⁻¹	واحد Unit	ورودی‌ها و خروجی سامانه تولید Inputs and output of the production system
(Abolshikhi, 2014)	20.56	kg	آرد Flour
(Namdari, 2015)	16.19	kg	شکر Sugar
(Kitani, 1999)	36.8	kg	روغن Oil
(Baum <i>et al.</i> , 2009)	7.28	kg	تخم‌مرغ Egg
(Erdal <i>et al.</i> , 2007)	1.02	m ³	آب Water
(Kitani, 1999)	12	kWh	الکتریسیته Electricity
(Kitani, 1999)	49.5	m ³	گاز طبیعی Natural gas
Canakci <i>et al.</i> , (2005)	62.7	kg	ماشین‌ها Machinery
			نیروی انسانی Human labor
(Kitani, 1999)	1.57	h	- زن Woman
(Kitani, 1999)	1.96	h	- مرد Man
محاسبه شده	17.78	kg	کیک Cake

ارزیابی چرخه زندگی

و نقل نهاده‌های مصرفی (فرآیندهای بالادستی) است. اطلاعات مربوط به میزان نهاده‌های مصرفی از کارشناسان کارخانه‌های مورد بررسی حاصل شد. ولی بدلیل نبود اطلاعات کافی در رابطه با فرآیندهای بالادستی از اطلاعات موجود در پایگاه داده اکواینونت ۱ موجود در نرم افزار سیمپرو ۲ استفاده شد. بخش‌های اثر مورد بررسی در این مطالعه شامل ۱۰ بخش اثر با نام‌های تقلیل مواد غیر آلی، اسیدی شدن، اختناق دریاچه‌ای، گرمایش جهانی، نقصان لایه اوزون، مسمومیت انسان‌ها، مسمومیت آب‌های سطحی، مسمومیت آب‌های آزاد، مسمومیت خاک و اکسیداسیون فتوشیمیایی بودند که با استفاده از نرم افزار سیمپرو و براساس روش CML2 Base-line2000 و رویکرد گهواره تا دروازه، محاسبه و برآورد شدند.

تحلیل پوششی داده‌ها

بمنظور ارزیابی عملکرد و اندازه‌گیری کارایی فنی واحدهای تولیدی روش‌های مختلفی وجود دارد که به دوگروه روش‌های پارامتری و غیرپارامتری تقسیم می‌شوند. در روش‌های پارامتری با استفاده از روش‌های مختلف آماری و اقتصادسنجی، تابع تولید مشخصی تخمین زده می‌شود سپس با به کارگیری این تابع، نسبت به تعیین کارایی اقدام می‌گردد. گروه دوم روش‌های غیر پارامتری هستند که مهم‌ترین ویژگی آن‌ها نیاز نداشتن به شکل خاصی از تابع ریاضی است. از مهم‌ترین روش‌های غیر پارامتری، روش تحلیل پوششی داده‌ها را می‌توان نام برد (Valaei et al., 2019). این روش یکی از ابزارهای قدرتمند مدیریتی است که قادر است مدیریت را در جهت نیل به هدف‌های عالی سازمان و در جهت استفاده بهینه از منبع‌ها و تخصیص آن‌ها و در نهایت کسب سودآوری بیشتر، یاری رساند. مهم‌ترین دلیل موفقیت این روش بعنوان یک ابزار کمی، غیر پارامتری بودن آن است. در این روش هر یک از واحدها در مقایسه با دیگر واحدها بررسی می‌شود و به همین دلیل امتیاز کارایی یک واحد یک امتیاز نسبی است (Adler et al., 2002). در این مطالعه جامع‌ترین مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها که مدل بازگشت به مقیاس ثابت (CCR) و مدل بازگشت به مقیاس متغیر (BCC) هستند، برای محاسبه کارایی استفاده

ارزیابی چرخه زندگی روشی است که در آن کلیه اثرهای محیط زیستی مرتبط با یک محصول در کل چرخه زندگی آن ارزیابی میشود (ISO, 2006). بعبارت بهتر این روش یک روش ابداعی است که به منظور گردآوری و ارزیابی ورودی‌ها، خروجی‌ها و اثرهای محیط زیستی بالقوه یک فرآیند تولید یا خدماتی در طول چرخه زندگی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. بطوری‌که در این روش تمام مرحله‌های فرآیند موردنظر شامل استخراج منبع‌ها، قطعه‌های تولیدی و ساخت آن‌ها، مدیریت تولید و مدیریت پسماند (دورریز، بازیافتی یا دفع نهایی) مورد بررسی قرار می‌گیرد (Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2018). هر پروژه ارزیابی چرخه زندگی دارای چهار مرحله الزامی است:

۱- تعریف هدف و دامنه: در این مرحله چهارچوب کلی کار که شامل واحدهای کارکردی (جریان‌های مرجع)، مرزهای سامانه، تخصیص منبع‌ها و انتخاب بخش‌های اثر است، مشخص می‌شود.

۲- تحلیل سیاهه: در این مرحله، منبع‌های استفاده‌شده و انتشار آلاینده‌ها در کل یا بخشی از دوره زندگی محصول با توجه به مرزهای سامانه، در نظر گرفته می‌شود.

۳- ارزیابی تأثیرهای چرخه زندگی: در این مرحله، انتشار آلاینده‌های مهم در بخش‌های اثرگذار محاسبه و بیان می‌شود.

۴- تحلیل و تفسیر نتایج: در این قسمت تمام نتایج به‌منظور نتیجه‌گیری و بیان راه کارها مورد تحلیل قرار می‌گیرد. واحد کارکردی در این مطالعه یک تن محصول خروجی (کیک) در نظر گرفته شد و مرز سامانه از ورود مواد اولیه به کارخانه تا پایان مرحله پخت کیک گسترش یافت. از آن جا که جمع‌آوری داده‌ها برای مرحله تحلیل سیاهه در اجرای موفق ارزیابی چرخه زندگی همواره یک عامل بحرانی محسوب می‌شود و دستیابی به داده‌های معتبر موجب پیشرفت در مدیریت محیط‌زیست می‌باشد (Guinée and Heijungs, 2017)، نیاز به جمع‌آوری اطلاعات دقیق وجود دارد. اطلاعات مورد نیاز در این مطالعه به دوگروه تقسیم شد. گروه اول اطلاعات مرتبط با میزان مصرف نهاده‌ها و گروه دوم اطلاعات مربوط به مراحل ساخت و حمل

رابطه مربوط به تعیین کارایی فنی نشان داده شده است: که در آن θ کارایی فنی، u وزن خروجی ها، y خروجی ها، v وزن ورودی ها، x ورودی ها، n تعداد واحدهای تصمیم گیرنده، s تعداد

شده است که از مدل بازگشت به مقیاس متغیر برای محاسبه کارایی فنی خالص و مدل بازگشت به مقیاس ثابت برای محاسبه کارایی فنی استفاده می شود (Cooper et al., 2007). در ادامه

$$\begin{aligned} \text{Max } \theta &= \sum_r u_r y_{rj} \\ \sum_i v_i x_{ij} &= 1 \\ \sum_r u_r y_{rj} - \sum_i v_i x_{ij} &\leq 0 \text{ for } j = 1, 2, 3, \dots, n \\ u_r &\geq 0 \text{ for } j = 1, 2, 3, \dots, s \text{ and } v_s \geq 0 \text{ for } j = 1, 2, 3, \dots, m \end{aligned} \quad (2)$$

در نهایت کارایی مقیاس از تقسیم کارایی فنی بر کارایی فنی خالص محاسبه شد (Nabavi-Pelesaraei et al., 2019).

خروجی ها و m تعداد نهاده ها می باشد. همچنین برای محاسبه کارایی فنی خالص از مدل برنامه ریزی خطی زیر استفاده شده است:

$$\begin{aligned} \text{Max } z &= u y_i - u_i \\ \text{Subjected to } &v x_i = 1 \\ &-vX + uY - u_o e \leq 0 \\ &v_i \geq 0, u_r \geq 0 \text{ and } u_o \text{ free in sign} \end{aligned} \quad (3)$$

(Mirjalili, 2019). اولین و مهم ترین نقطه قوت این الگوریتم آن است که موازی بوده و تصمیم های آن تصادفی است و از آن جایی که چندین نقطه شروع دارد، در یک لحظه می تواند فضای مسئله را از چند جهت مختلف جستجو کند و بر اساس نظریه، همه راه حل های ممکن به روی مسئله باز است. به همین سبب، الگوریتم های ژنتیک برای حل مسئله های غیرخطی که فضای راه حل بزرگی دارند، بسیار مفید است. از سوی دیگر، الگوریتم ژنتیک برخلاف دیگر تکنیک های بهینه سازی غیرخطی، هر نسل ایجاد شده را حفظ نموده و به دنبال ایجاد نسل های بهتر می گردد (Konak et al., 2006). بنا بر دلایل بیان شده، استفاده از الگوریتم ژنتیک در تحقیق حاضر، بمنظور بهینه یابی همزمان دو تابع (بیش از یک تابع) عملکرد و سنجه های محیط زیستی، راه حلی منطقی تلقی می شود. در این بخش از مطالعه، دو هدف افزایش عملکرد تولید کیک و کاهش آلاینده های محیط زیستی بررسی شده اند. از آن جایی که از میان سنجه های محیط زیستی محاسبه شده، گرمایش جهانی بیشتر مورد توجه قرار

در این مطالعه، کارایی واحدهای تصمیم گیرنده (کارخانه های تولید کیک) توسط نرم افزار EMS 1.3 تحلیل گردید و کارخانه ها از نظر کارایی مصرف انرژی مورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس واحدهای کارا و ناکارا در مصرف انرژی تعیین شده و در نهایت میزان مصرف نهاده ها در حالت کارایی صد در صد واحدهای تصمیم گیرنده بررسی شد. الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی چند هدفه بهینه یابی عبارت است از یافتن یک یا چند جواب قابل قبول که مربوط به مقادیر بحرانی یک یا چند تابع هدف باشند. هنگامی که یک مسئله بهینه یابی شامل بیش از یک تابع هدف است، عمل یافتن یک یا چند جواب بهینه، بهینه یابی چند هدفه نامیده می شود (Shamshirband et al., 2015). الگوریتم ژنتیک، بخشی از روند محاسبات تکاملی است که با هوش مصنوعی گسترش پیدا کرده است. این الگوریتم با تقلید از فرآیندهای مشاهده شده در تکامل طبیعی اختراع شده است و بطور مؤثری از دانش قدیمی موجود در یک جمعیت استفاده می کند تا راه حل های جدید و بهبود یافته ایجاد نماید

SPSS، معادلات رگرسیون خطی (۴ و ۵) مشخص شدند. که در آن‌ها X_i نهاده‌های انرژی، β_i و γ_i ضرایب رگرسیون و α_i مقدار ثابت معادله می‌باشند. متغیرهای X_1 تا X_{11} به ترتیب عبارتند از: آرد، شکر، روغن آفتابگردان، روغن سویا، تخم مرغ،

می‌گیرد، بنابراین دو تابع هدف $f(1)$ برای بیشینه کردن عملکرد تولید کیک و $f(2)$ برای کمینه کردن میزان سنجه گرمایش جهانی در فرآیند تولید تعریف شده است. پس از مشخص کردن توابع هدف، مقدار مصرف نهاده‌ها توسط توابع هدف تعیین گشت و به کمک نرم افزار

$$f(1) = (-1) \times (\alpha_1 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \beta_9 X_9 + \beta_{10} X_{10} + \beta_{11} X_{11}) \quad (4)$$

$$f(2) = \alpha_2 + \gamma_1 X_1 + \gamma_2 X_2 + \gamma_3 X_3 + \gamma_4 X_4 + \gamma_5 X_5 + \gamma_6 X_6 + \gamma_7 X_7 + \gamma_8 X_8 + \gamma_9 X_9 + \gamma_{10} X_{10} + \gamma_{11} X_{11} \quad (5)$$

تابع هدف اول (عملکرد بیشینه) در یک منفی ضرب شده است. محدودیت‌های این مسئله نیز به صورت زیر تعریف شده‌اند. lb ، حدود پایین و ub حدود بالای نهاده‌های مصرفی می‌باشد که بدلیل نبود استانداردهای توصیه شده، از مقادیر بیشینه و کمینه نهاده‌ها در بین واحدهای مورد مطالعه با یک فاصله

آب، الکتریسیته، گاز طبیعی، نیروی کارگری مرد، نیروی کارگری زن و ماشین‌ها. محاسبات این بخش با استفاده از نرم افزار (MATLAB (R2012a) انجام شد. از آن جایی که این نرم افزار بطور پیش فرض اقدام به کمینه‌سازی توابع می‌کند، برای بیشینه‌سازی نیاز به ضرب عامل منفی در تابع است. بنابراین

$$lb = [Min_{x_1}; Min_{x_2}; Min_{x_3}; \dots; Min_{x_{11}}] \quad (6)$$

$$ub = [Max_{x_1}; Max_{x_2}; Max_{x_3}; \dots; Max_{x_{11}}] \quad (7)$$

در رتبه‌های بعدی مصرف انرژی قرار دارند و با توجه به این که ماده اولیه تولید کیک هستند تا جایی که امکان کاهش آن‌ها وجود دارد و مشکلی در پخت کیک به وجود نمی‌آید، می‌توان مصرف آن‌ها را به حد بهینه رساند. بر اساس نتایج مندرج در جدول شماره ۲، انرژی مصرفی برای تولید کیک برابر $62671/03$ مگاژول برتن ($62/67$ مگاژول بر کیلوگرم) است. این مقدار مصرف انرژی در تولید کیک در مقایسه با مطالعات مشابه بسیار بالاست. برای مثال در سوئد این رقم برای تولید نان حجیم صنعتی با ترکیب اصلی آرد و شکر ۱۴ تا ۲۲ مگاژول بر کیلوگرم (Andersson and Olsson, 1991)، در دانمارک برای نان حجیم صنعتی ۴ مگاژول بر کیلوگرم (Braschkat et al., 2004)، در یک مطالعه دامنه تغییر میانگین کل انرژی مصرفی نان حجیم در کشورهای عضو اتحادیه اروپا در بازه‌ی ۹ تا $32/9$ مگاژول بر کیلوگرم (No-tamicola et al., 2017) و در تولید کلوچه در گیلان در حدود ۳۰ مگاژول (Khanali et al., 2019) بیان شده است. مقدار بالای مصرف انرژی در تولید کیک در این مطالعه،

اطمینان برای پوشش کل جامعه استفاده شد. در پایان نیز مقایسه‌ای بین عملکرد بهینه‌سازی با روش تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک چند هدفه انجام شد تا بهترین الگوی مصرف انرژی برای تولید کیک در گیلان بیان شود.

نتایج و بحث

تحلیل جریان انرژی در تولید کیک

میزان مصرف نهاده‌ها برای تولید روزانه کیک و معادل انرژی آن‌ها در جدول شماره ۲ بیان شده است. بر اساس نتایج، به ازای تولید روزانه $4157/14$ کیلوگرم کیک، انرژی مصرفی برابر $25/260.532$ مگاژول می‌باشد. از میان نهاده‌های مصرفی گاز طبیعی با $128582/1$ مگاژول در روز بیشترین میزان انرژی صرف شده را به خود اختصاص داده است. می‌توان گفت نسبت دیگر نهاده‌ها، مصرف انرژی در شکل سوخت در حدود نیمی از میزان انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است. بنابراین با توجه به پایدار نبودن گاز طبیعی، یافتن میزان بهینه این نهاده برای پایداری تولید ضروری است. شکر و آرد

این میزان بین ۵ تا ۸۰ درصد برای انواع نان های حجیم (Notarnicola *et al.*, 2017) و ۱۶ درصد برای پخت کلوچه (Khanali *et al.*, 2019) برآورد شده است. 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 تجهیز های مصرفی بویژه تجهیز های مرحله پخت بر می گردد. با این حال مصرف انرژی در شکل سوخت مقدار به نسبت بالایی را به خود اختصاص داده است که با توجه به ناپایداری سوخت های فسیلی باید در کاهش مصرف آن کوشید.

تحلیل سنجه های محیط زیستی در تولید کیک

در جدول شماره ۳ مقادیر سنجه های محیط زیستی تولید یک

بیان گر ضرورت کاهش مصرف انرژی در تولید کیک در استان گیلان می باشد که از طریق استفاده از ماشین های جدید، مدیریت منابع انسانی و استفاده بهینه از نهاده ها امکان پذیر خواهد بود. براساس نتایج، گاز طبیعی که برای تأمین انرژی پخت کیک از آن استفاده می شود، ۵۰ درصد انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است. نتایج دیگر تحقیق ها نشان می دهد که این میزان بین ۵ تا ۶۵ درصد برای انواع مختلف نان های حجیم تولیدی در کشورهای عضو اتحادیه اروپا (Notarnicola *et al.*, 2017) و ۵۵ درصد برای تولید کلوچه در گیلان (Khanali *et al.*, 2019) متغیر است. همچنین آرد به عنوان ماده اولیه کیک، ۱۳ درصد انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است. در تحقیق های دیگر

جدول ۲- انرژی نهاد و ستانده در تولید کیک

Table 2. Input and output energy in cake production

درصد	انرژی معادل (MJ day ⁻¹)	مقدار مصرف و تولید در روز	عنوان (واحد)
Percent	Equivalent energy	Consumption and production per day	(Title (Unit
			نهاده ها Inputs
13.11	34168.76	51661.90	آرد (kg) Flour
26.10	68002.38	4023.81	شکر (kg) Sugar
4.31	11226.21	153.57	روغن (kg) Oil
0.61	1577.33	216.666	تخم مرغ (kg) Egg
0	1.962	1.923	آب (m ³) Water
5.13	13371.43	1114.28	الکتریسیته (kWh) Elec-tricity
49.35	128582.1	2597.619	گاز طبیعی (m ³) Natural gas
0.29	765.88	415.42	نیروی انسانی (h) Human labor
1.1	2836.42	11.30	ماشینها (kg) Machinery
100	260532.5		انرژی ورودی کل (MJ) (day ⁻¹)
			Total input energy
			ستانده Output
100	74827.5	4157.14	کیک (kg) Cake
100	74827.5		انرژی خروجی کل (MJ day ⁻¹) Total) output energy

در تولید کیک در این مطالعه است. هر چند درصد بالایی از این میزان انتشار مربوط به فرآیندهای بالادستی است و برای کاهش میزان گرمایش جهانی، باید مصرف انرژی را در فرآیند تولید نهاده‌ها کاهش داد ولی در کارخانه تولید کیک با مصرف بهینه مواد اولیه می‌توان تا حدودی کاهش انتشارات ناشی از فرآیندهای بالادستی را موجب شد. بعبارت دیگر، مصرف کم‌تر نهاده‌ها در مرز سامانه موردنظر، میزان انتشار آلاینده‌ها را در مرز سامانه کاهش خواهد داد.

تعیین کارایی و بهینه‌سازی انرژی مصرفی تولید کیک با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها

نتایج مدل‌های بازگشت به مقیاس ثابت و متغیر در شکل

تن کیک در کارخانه‌های استان گیلان نشان داده شده است. براساس این نتایج میزان گرمایش جهانی برای تولید هر تن کیک $13099.49 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$ محاسبه شده است (۱۳/۰۹۹ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل برای تولید هر کیلوگرم کیک) که در مقایسه با مطالعات مشابه مقدار بسیار بالاتری را نشان داده است. میزان این سنجه در مقاله‌های مختلف بر حسب کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل در بازه‌های ۰/۶۲ تا ۰/۹۰ (An-Braschkat, ۰/۴۱ تا ۰/۵۸ dersson and Ohlsson, 1999), ۰/۷۵ تا ۰/۸۰ (Espinoza-Orias *et al.*, 2011), ۰/۵ تا ۰/۶ (Notarnicola *et al.*, 2015) ۱/۷ تا ۳/۷۳ (Khanali *et al.*, 2019) گزارش شده است. این مطلب نشان دهنده استفاده بیش از حد انرژی

جدول ۳- شاخص‌های زیست محیطی به ازای تولید یک تن کیک

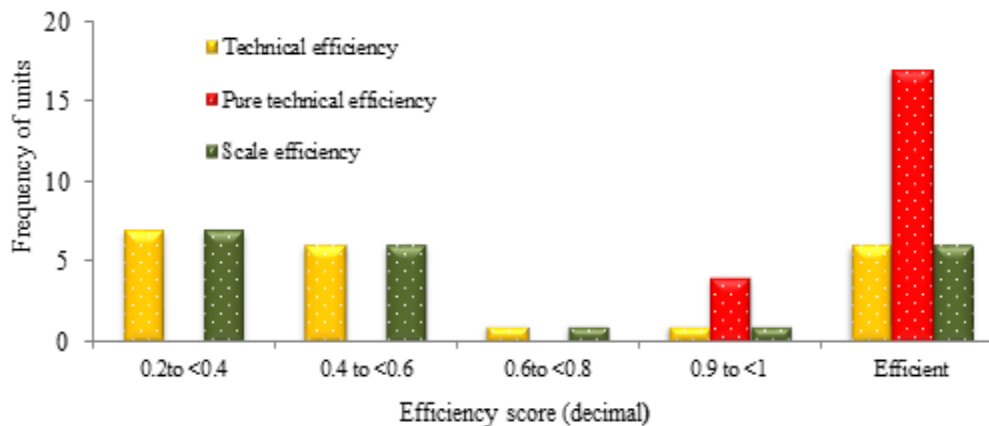
Table 3. Environmental impacts per ton of cake

داخل کارخانه Inside the factory	خارج از کارخانه Outside the factory	کل Total	واحد Unit	بخش اثر Impact category
0	44.55	44.55	kg Sb _{eq}	تقلیل منبع‌های غیر آلی Abiotic depletion
5.91	63.15	69.06	kg SO ₂ _{eq}	اسیدی شدن Acidification
0.24	11.34	11.58	kg PO ₄ ⁻² _{eq}	اختناق دریاچه‌ای Eutrophication
1793.94	11305.55	13099.49	kg CO ₂ _{eq}	گرمایش جهانی Global warming
0.0001	0.0001	0.0002	kg CFC-11 _{eq}	نقصان لایه اوزون Ozone layer depletion
160.52	4079.60	4240.12	kg 1,4-DCB _{eq}	مسمومیت انسانها Human toxicity
41.65	766.21	807.86	kg 1,4-DCB _{eq}	مسمومیت آبهای سطحی Fresh water aquatic ecotoxicity
194920.87	148050.21	342971.08	kg 1,4-DCB _{eq}	مسمومیت آبهای آزاد Marine aquatic ecotoxicity
0.29	823.74	824.03	kg 1,4-DCB _{eq}	مسمومیت خاک Terrestrial ecotoxicity
0.35	2.67	3.11	kg C ₂ H ₄ _{eq}	اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxidation

در جایگاه بعدی قرار دارد. این نتیجه در حالی به دست آمد که در تحقیقی دیگر در رابطه با مطالعه کارایی انرژی در تولید کلوچه، از مجموع ۳۰ واحد تولید کلوچه، ۲۷ واحد از نظر کارایی فنی خالص کارا شناخته شده اند و ۱۱ واحد از نظر فنی کارا بودند (Khanali et al., 2019).

در جدول شماره ۴ مقادیر میانگین، انحراف معیار، کمترین و بیشترین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس واحدهای تولید کیک نشان داده شده است. کارایی فنی خالص

شماره ۱ نشان داده شده است. بر این اساس از مجموع ۲۱ واحد تولید کیک، ۱۷ واحد از نظر کارایی فنی خالص کارا شناخته شده اند در حالی که تنها ۶ واحد از نظر فنی کارا بودند. دلیل این اختلاف، نامناسب بودن مقیاس در ۱۱ واحدی است که از نظر کارایی فنی خالص کارا بودند. در نتیجه این واحدها کارایی مقیاس کم تر از ۱ دارند. پس اولین گام برای بهینه سازی مصرف انرژی در واحدهای تولید کیک در استان گیلان، رعایت مقیاس صحیح است و رعایت اصول مدیریتی



شکل ۱- فراوانی واحدها از نظر امتیاز کارایی در مصرف انرژی کیک
 Fig. 1- Frequency of units in terms of efficiency score in energy use of cake

برای کارخانه های تولید کننده کلوچه ۰/۹۱ برآورد شده است (Khanali et al., 2019) که نشان می دهد در مقایسه با تحقیق حاضر، واحدهای تولید کننده کلوچه از مقیاس بهتری برای تولید بهره برده اند.

روش تحلیل پوششی داده ها، واحدهای کارا را شناسایی کرده و میزان مصرف انرژی توسط این واحدها را به عنوان الگوی مصرف بهینه انرژی معرفی می کند (Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2017).

با نمره میانگین ۰/۹۹ بیشترین میزان را به خود اختصاص داده است در حالی که از نظر کارایی فنی و مقیاس این میزان مقدار پایین ۰/۵۹ را نشان می دهد. با توجه به مقادیر مربوط به انحراف معیار، پراکندگی کارایی فنی نسبت به کارایی فنی خالص زیادتر است که استفاده نکردن از روش های صحیح تولید و عدم تخصیص بهینه منبع ها (رعایت نکردن مقیاس)، دلیل های اصلی این اختلاف می باشند. در حالی که از نظر کارایی فنی این میزان

جدول ۴- مقادیر انواع کارایی واحدهای تولید کیک
 Table 4- Efficiency amount of cake production units

حداکثر Maximum	حداقل Minimum	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Average	عنوان Title
1	0.20	0.31	0.59	کارایی فنی Technical efficiency
1	0.95	0.02	0.99	کارایی فنی خالص Pure technical efficiency
1	0.2	0.31	0.59	کارایی مقیاس Scale efficiency

۱/۰۲ درصدی انرژی در تولید هر تن کلوچه شده است که تخم مرغ با ۵/۴۸ درصد بیشترین میزان ذخیره انرژی را در حالت بهینه به خود اختصاص داده است در حالی که کمترین میزان ذخیره انرژی مربوط به مصرف الکتریسته و گاز طبیعی با ۰/۶۱ درصد بوده است (Khanali et al., 2019).

در شکل شماره ۲ سهم هریک از نهاده‌ها در ذخیره‌سازی انرژی ورودی در تولید کیک نشان داده شده است. همان طور که نتایج نشان می‌دهد از کل ۵۶۰۳/۲۶ (MJ day⁻¹) انرژی ذخیره شده، ۳۵ درصد مربوط به صرفه جویی در مصرف گاز طبیعی و ۲۵ درصد مربوط به کاهش مصرف شکر بوده است.

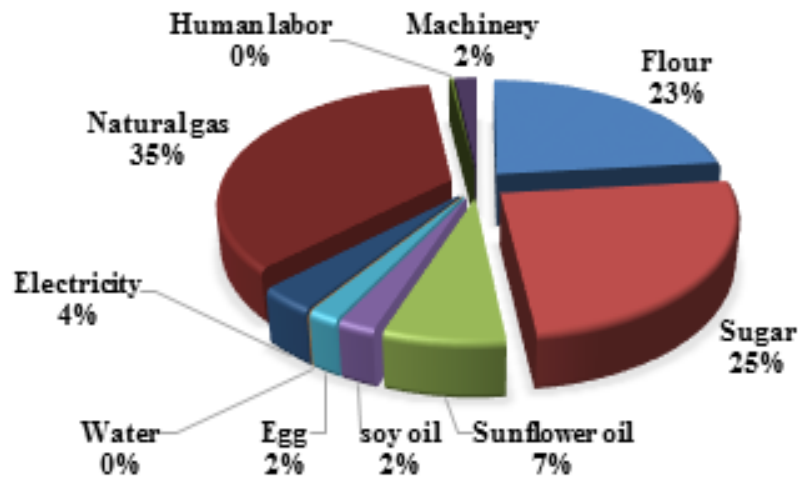
در شکل شماره ۳ درصد کاهش سنجه‌های محیط زیستی مورد مطالعه نسبت به حالت معمول بر اساس مصرف بهینه انرژی توسط تحلیل پوششی داده‌ها در تولید یک تن کیک نشان

جدول شماره ۵ افزون بر مقادیر انرژی بهینه، مقادیر انرژی قابل ذخیره و درصد انرژی ذخیره شده از هر نهاده نسبت به مصرف اولیه آن در تولید کیک نیز بیان شده است. براساس جدول شماره ۵، میزان کل انرژی مورد نیاز در حالت مصرف بهینه نهاده‌ها برابر ۲۵۴۹۲۹/۲۸ (MJ day⁻¹) تعیین شد که این میزان مصرف انرژی موجب کاهش ۵۶۰۳/۲۶ (MJ day⁻¹) در انرژی مصرفی در تولید کیک است. این میزان صرفه جویی در مصرف انرژی سبب کاهش ۲/۱۵ درصدی انرژی مصرفی روزانه در تولید کیک شده است. بر اساس نتایج، تخم مرغ با ۶/۴۱ درصد بیشترین مقدار ذخیره انرژی را در حالت بهینه به خود اختصاص داده است در حالی که کمترین میزان ذخیره انرژی مربوط به مصرف الکتریسته بوده است. در تحقیق دیگر در رابطه با بهینه‌سازی مصرف انرژی در واحدهای تولید کننده نان و شیرینی، کارایی در مصرف انرژی سبب کاهش

جدول ۵- میزان مصرف بهینه و ذخیره شده انرژی در تولید کیک با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها

Table 5- Optimal and stored energy consumption in cake production by data envelopment analysis

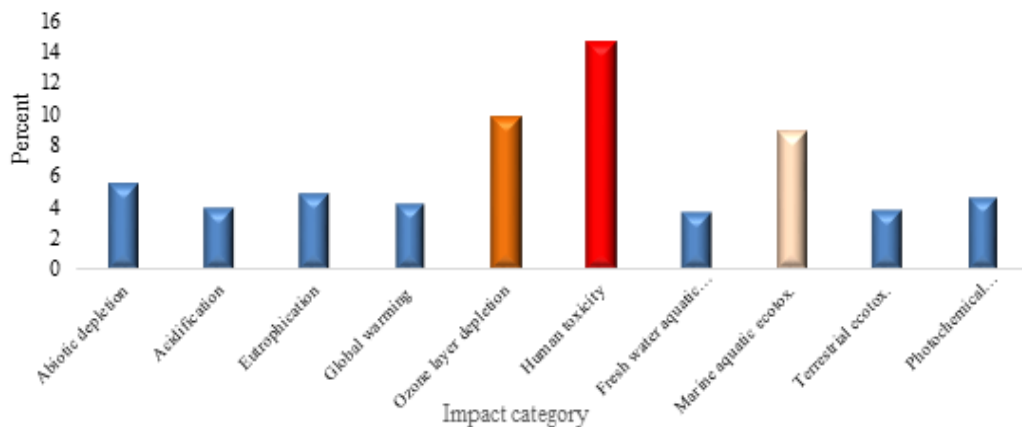
درصد ذخیره شده Saved percentage (%)	انرژی ذخیره شده Saved energy (MJ day ⁻¹)	مصرف بهینه Optimal consumption (MJ day ⁻¹)	نهادها Inputs
3.82	1305.68	32863.08	آرد Flour
2.05	1349.49	66607.89	شکر Sugar
5.26	396.78	7149.43	روغن آفتابگردان Sunflower oil
3.35	123.42	3556.58	روغن سویا soy oil
6.41	101.15	1476.18	تخم مرغ Egg
2.68	0.05	1.91	آب Water
1.41	187.94	13183.89	الکتریسته Electricity
1.54	1974.72	126607.42	گاز طبیعی Natural gas
2.40	18.41	747.47	نیروی کارگری Human labor
3.55	100.60	2735.83	ماشینها Machinery
2.15	5603.26	254929.28	کل انرژی ورودی Total input energy



شکل ۲- سهم نهاده‌های مختلف در ذخیره سازی انرژی در تولید کیک با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها
 Fig. 2- The contribution of different inputs in energy storage in cake production by data envelopment analysis

کاهش در بخش‌های اثر، در جدول شماره ۶ میزان انتشار برای هر بخش اثر در حالت مصرف بهینه انرژی بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌ها نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد با مصرف بهینه انرژی در کارخانه‌های تولید کیک منجر به کاهش ۵۵۰/۱۸ kg CO₂ eq در گرمایش جهانی برای تولید هر تن کیک خواهد شد. به عبارتی، با کاهش در مصرف انرژی به ازای

داده شده است. بر اساس نتایج با مصرف بهینه انرژی، سنجه مسمومیت انسان با حدود ۱۴ درصد کاهش، بیشترین درصد کاهش را به خود اختصاص داده است و بعد از آن سنجه نقصان لایه اوزون و مسمومیت آب‌های آزاد در رتبه‌های بعدی قرار دارند. سنجه مسمومیت آب‌های سطحی نیز کمترین درصد کاهش را به خود اختصاص داده است. با توجه به این میزان



شکل ۳- درصد کاهش سنجه‌های محیط زیستی بر اساس الگوی مصرف روش تحلیل پوششی داده‌ها
 Fig. 3- Percentage reduction of environmental indicators based on consumption pattern of data envelopment analysis

کلوچه، از انتشار ۲۰۰ گرم دی‌اکسید کربن معادل جلوگیری خواهد شد (Khanali et al., 2019).

بهینه یابی عملکرد و سنجه محیط زیستی گرمایش جهانی در تولید کیک به کمک الگوریتم ژنتیک با توجه به موارد بیان شده بمنظور بهینه یابی چندهدفه

تولید هر کیلوگرم کیک، در حدود نیم کیلوگرم از تولید دی‌اکسید کربن معادل جلوگیری می‌شود. این در حالی است که مصرف بهینه انرژی در کارخانه‌های تولید کلوچه منجر به کاهش ۱۹۰۳۷۳۹ kg CO₂ eq در گرمایش جهانی برای تولید هر تن کلوچه خواهد شد. به عبارت دیگر، با کاهش مصرف انرژی به ازای تولید هر کیلوگرم

شکل جدول ۶- مقادیر سنجه های محیط زیستی بهینه بر اساس روش تحلیل پوششی داده ها
Table 6- Amount of environmental indicators based on the data envelopment analysis

کاهش در انتشار Reduction in emissions	انتشار بر حسب مصرف بهینه انرژی Emissions in terms of optimal energy use	واحد Unit	بخش اثر Impact category
2.58	41.97	kg Sb _{eq}	تقلیل منابع غیر آلی Abiotic depletion
2.69	66.37	kg SO ₂ eq	اسیدی شدن Acidification
0.579	11.001	kg PO ₄ ⁻² eq	اختناق دریاچه‌های Eutrophication
550.18	12549.31	kg CO ₂ eq	گرمایش جهانی Global warming
0.00002	0.00018	kg CFC-11 eq	نقصان لایه اوزون Ozone layer depletion
602.09	3637.22	kg 1,4-DCB eq	مسمومیت انسانها Human toxicity
31.5	776.36	kg 1,4-DCB eq	مسمومیت آبهای سطحی Fresh water aquatic ecotoxicity
32582.25	310388.83	kg 1,4-DCB eq	مسمومیت آبهای آزاد Marine aquatic ecotoxicity
32.96	791.07	kg 1,4-DCB eq	مسمومیت خاک Terrestrial ecotoxicity
0.15	2.96	kg C ₂ H ₄ eq	اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxidation

توسط الگوریتم ژنتیک ابتدا توابع هدف برای تولید کیک تعیین شدند:

تعریف و همزمان با آن، بر اساس کمترین و بیشترین میزان مصرف هر یک از نهاده ها، قید های لازم تعیین شدند. شکل کلی توابع هدف و قید های هر نهاده بصورت زیر

توزیع جبهه بهینه-پارتو حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک در نرم افزار MATLAB در شرایط ایده آل، برای تصمیم-گیری کلان در تولید کیک در شکل شماره ۴ آمده است. محور

$$f(1) = (-1) \times (0.026 X_1 + 0.045 \times X_2 + 0.080 \times X_3 + 0.109 \times X_4 + 0.036 \times X_5 + 1193.218 \times X_6 + 0.338 \times X_7 - 0.016 \times X_8 + 14.813 \times X_9 - 8.013 \times X_{10} + 1.918 \times X_{11}) \quad (8)$$

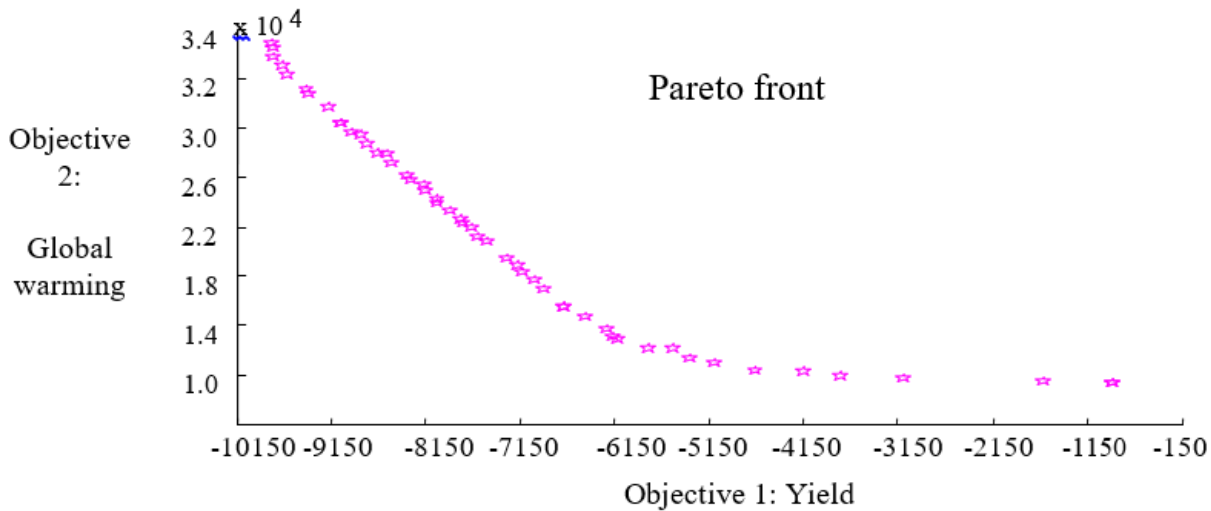
$$f(2) = 12778 \times X_1 - 0.857 \times X_2 - 19.89 \times X_3 + 65.854 \times X_4 + 2.179 \times X_5 + 30056.54 \times X_6 - 27.312 \times X_7 - 106.469 \times X_8 - 16.305 \times X_9 + 49.088 \times X_{10} - 9.676 \times X_4 \quad (9)$$

$$lb = [20560; 50700; 5483; 1840; 728; 1.53; 9600; 99000; 470.4; 94.2; 2257.2] \quad (10)$$

$$ub = [51400; 84500; 10929; 16442; 2184; 2.43; 15600; 143550; 799.68; 301.44; 3511.2] \quad (11)$$

افقی در این نمودار نشان دهنده مقدار عملکرد (تابع هدف اول) و محور عمودی نشان دهنده سنجه گرمایش جهانی (تابع هدف دوم) می باشد. اعضای جبهه بهینه-پارتو نسل آخر اجرای الگوریتم در نمودار با ستاره نشان داده شده اند. بمنظور دستیابی به مجموعه جواب های بهینه واقعی، ۵۰ مجموعه

جواب بهینه انتخاب شدند که کمابیش در محدوده میانی جبهه پارتو قرار دارند. میزان انرژی مصرفی برای هر سری از نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک بطور جداگانه محاسبه و ترکیبی که کمترین میزان انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است، بعنوان ترکیب بهینه انتخاب گردید. میزان بهینه انرژی مصرفی



شکل ۴- جبهه بهینه- پار تو در بخش تصمیم گیری کلان در شرایط ایده ال برای تولید کیک

Fig. 4- Optimal-Pareto in decision-making sector in ideal conditions for the production of cake

(تولید مواد اولیه) ارائه شود تا با الگو گیری از آن، از انتشار مقدار زیادی دی اکسید کربن معادل با توجه به پیامد های محیط زیستی آن جلوگیری شود.

مقایسه بین الگوی مصرف انرژی بیان شده توسط تحلیل پوششی داده ها و الگوریتم ژنتیک چند هدفه

در پایان مقایسه ای بین الگوی مصرف انرژی بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک چند هدفه و تحلیل پوششی داده ها انجام شد که نتایج آن در جدول شماره ۸ برای هر نهاد به تفکیک گفته شده است. بر این اساس، میزان انرژی مصرفی کل بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک چند هدفه، به مقدار ۳۴/۹۰ درصد کم تر از انرژی کل مصرفی بیان شده توسط روش تحلیل پوششی داده ها است. در تحقیق مشابه، خانعلی و همکاران در سال ۲۰۱۹ نشان دادند در تولید کلوچه، میزان انرژی مصرفی کل مطرح شده توسط الگوریتم ژنتیک چند هدفه، به مقدار ۲۰/۸۱ درصد کم تر از انرژی کل مصرفی بیان شده توسط روش تحلیل پوششی داده ها است (Khanali et al., 2019). بیشترین درصد تفاوت بین نهاد های ورودی مربوط به نیروی کارگری است که الگوی بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک میزان آن را ۴۱/۶۰ درصد کم تر از الگوی مطرح شده توسط روش تحلیل پوششی داده ها نشان می دهد. در رابطه با دیگر نهاد های مصرفی به جز آب، الگوی مصرفی توسط الگوریتم ژنتیک در مقایسه با روش تحلیل پوششی داده ها، کاهش در محدوده ۴۹/۴۴

در حالت ایده آل در جدول شماره ۷ نشان داده شده است. بر اساس نتایج جدول شماره ۷، الگوی مصرف انرژی بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک منجر به کاهش ۳۶/۳۰ درصدی در مصرف انرژی شده است. بر اساس نتایج، بیشترین درصد صرفه جویی در انرژی مربوط به کاهش در نیروی کارگری (۶۱/۳۷) و به دنبال آن گاز طبیعی (۴۵/۳۴) و تخم مرغ (۴۲/۵۳) بوده اند. همچنین نتایج بهینه سازی چند هدفه، میزان گرمایش جهانی را برای تولید کیک را برابر ۱۰۰۳۸/۴۴ kg CO₂ eq نشان داد. هر چند مقایسه این مقدار با میزان گرمایش جهانی در تولید کیک و نان های حجیم برای تولید هر کیلوگرم کیک، میزان بالایی را نشان می دهد ولی نسبت به مصرف انرژی در حالت متداول پیروی از الگوی مصرف بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک حدود ۳ کیلوگرم دی اکسید کربن معادل کمتری تولید کرده است. در تحقیقی مشابه الگوی مصرف انرژی بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک برای تولید کلوچه منجر به کاهش ۲۱/۶۲ درصدی در مصرف انرژی شده است. بر اساس نتایج، بیشترین درصد صرفه جویی در انرژی مربوط به کاهش در مصرف گردو (۶۹/۴۴) و به دنبال آن آب (۴۵/۶۲) و تخم مرغ (۴۵/۵۲) بوده اند. همچنین نتایج بهینه سازی چند هدفه، میزان گرمایش جهانی را برای تولید کلوچه برابر ۲۹۲۳/۷۴ kg CO₂ eq نشان داد (Khanali et al., 2019).

بر این اساس می توان گفت برای کاهش بیشتر این بخش اثر باید الگوی بهینه ای برای مصرف انرژی فرآیندهای بالادستی

جدول ۸- مقایسه الگوی مصرف انرژی بر اساس روش های الگوریتم ژنتیک و تحلیل پوششی داده ها در تولید کیک
 Table 8- Comparison of energy use pattern based on genetic algorithm and data envelopment analysis in cake production

درصد تفاوت Percentage difference (A-B/B)	تحلیل پوششی داده ها Data envelopment analysis	الگوریتم ژنتیک Genetic algorithm	میزان واقعی مصرف Amount of actual consumption (MJ day ⁻¹)	نهاده ها Inputs
	انرژی بهینه (B) Optimum energy (MJ day ⁻¹)	انرژی بهینه (A) Optimum energy (MJ day ⁻¹)		
-35.45	32863.08	21212.66	34168.76	آرد Flour
-23.79	66607.89	50758.57	68002.38	شکر Sugar
-5.36	7149.43	6766.57	11226.21	روغن آفتابگردان Sunflower oil
-35.22	3556.58	2304	1577.33	روغن سویا Soy oil
-38.60	1476.18	906.42	1.962	تخم مرغ Egg
0.52	1.91	1.92	13371.43	آب Water
-18.71	13183.89	10717.23	128582.1	الکتریسیته Electricity
-44.49	126607.42	70278.59	765.88	گاز طبیعی Natural gas
-60.41	747.47	295.86	2836.42	نیروی کارگری Human labor
-0.92	2735.83	2710.54	260532.5	ماشین ها Machinery
-34.90	254929.28	165952.36	34168.76	کل انرژی ورودی Total input energy

جهت حرکت به سمت کاهش مصرف انرژی است، در حالی که الگوی بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک چند هدفه با در نظر گرفتن هدف های تعریف شده الگویی برای مصرف انرژی ارائه می دهد که خارج از چارچوب محلی و منطقه ای برای واحدهای تولید کننده کیک است. بنابراین بایستی ابتدا مصرف انرژی را به سمت نهاده های معرفی شده توسط تحلیل پوششی داده ها سوق داد و سپس به سمت الگوریتم ژنتیک چندهدفه حرکت کرد، که ملزم به مدیریت قوی و استفاده از روش و تجهیز های نوین در تولید کیک در استان گیلان است. برای شروع تغییر در سیستم، اجاق های پخت از لحاظ میزان مصرف

درصدی برای گاز طبیعی تا ۹۲/۰ درصدی برای ماشین ها را نشان می دهد.

در نهایت می توان گفت بهینه سازی چند هدفه با الگوریتم ژنتیک نسبت به بهینه سازی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده ها نتایج بهتری را نشان می دهد. دلیل این امر آن است که روش تحلیل پوششی داده ها در واقع بهینه سازی را بر اساس واحدهای تصمیم گیری بهینه (واحدهای کارا) در منطقه انجام می دهد و عبارتی گزینشی بین واحدهای کارا و ناکارا را انجام می دهد و برای این کار تنها یک هدف (کاهش مصرف انرژی ورودی) را مد نظر قرار می دهد که این خود گام بزرگی در

الگوی بیان شده توسط تحلیل پوششی داده‌ها شده است در حالی که با استفاده از الگوی مطرح شده توسط الگوریتم ژنتیک چند هدفه این کاهش بترتیب برای مصرف کل انرژی و گاز طبیعی برابر ۳۶/۳۰ و ۴۵/۳۴ درصد بوده است. نتایج مقایسه الگوی مصرف بیان شده توسط تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک نشان داد که با استفاده از الگوی مصرف بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک نسبت به روش تحلیل پوششی داده‌ها، ۳۴/۹۰ درصد کمتر انرژی مصرف می‌شود که نشان دهنده برتری این الگوی مصرف است که این امر بدلیل چند هدفه بودن الگوی بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک است. پتانسیل بالای کاهش مصرف انرژی بر اساس بهینه‌سازی چند هدفه نه تنها سبب کاهش انرژی مصرفی و سنجه گرمایش جهانی خواهد شد، بلکه موجب به کارایی رسیدن واحدهای تولیدی، افزایش عملکرد، افزایش سودآوری، کاهش مستقیم و غیر مستقیم هزینه‌ها و همچنین کاهش هزینه‌های محیط زیستی خواهد شد و راه را برای رقابت پایدار با دیگر صنایع غذایی مشابه در داخل و خارج از کشور هموار خواهد نمود.

پی‌نوشت‌ها

¹EcoInvent

²SimaPro

Abolshikhi, M., 2014. Study of life cycle of bread production - Case Study: Ray County, Tehran. MS.c. Thesis. University of Tehran, Tehran, Iran.

Adler, N., Friedman, L. and Simuany-Stern, Z., 2002. Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. European Journal of Operational Research. 140(2), 249-265.

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

سوخت (به دلیل پتانسیل بالای کاهش مصرف گاز طبیعی توسط الگوی مصرف انرژی بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک) و تغییر نوع سوخت مصرفی آن‌ها از گاز طبیعی به سوخت‌های تجدیدپذیر، تغییر در دستورالعمل پخت کیک و تغییر در مقدار مصرف نهاده‌ها تا حد امکان و در ادامه مکانیزه کردن خط تولید فرآیند تولید کیک به لحاظ جلوگیری از هدر رفت انرژی و مواد اولیه تولید کیک، برای کاهش انرژی مصرفی ضروری بنظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف بهینه‌سازی انرژی مصرفی در تولید کیک در استان گیلان و با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک چند هدفه انجام شد. براساس نتایج، برای تولید روزانه کیک در استان گیلان، ۲۶۰۵۳۲/۵۲ مگاژول انرژی مصرف شده است که این میزان انرژی، منجر به تولید روزانه ۷۴۸۲۸/۵ مگاژول انرژی معادل کیک تولیدی شده است. گاز طبیعی با مصرف روزانه ۱۲۸۵۸۲ / ۱۴ مگاژول، بیشترین سهم از انرژی مصرفی را داشته است. بدلیل رو به اتمام بودن منبع های گاز طبیعی و همچنین اثر های نامطلوب سوختن این ماده بر روی محیط زیست، بهینه سازی مصرف آن ضروری است. نتایج نشان داد بهینه سازی مصرف انرژی منجر به کاهش ۲/۱۵ و ۱/۵۴ درصدی مصرف انرژی کل و گاز طبیعی با استفاده از

منابع

Anonymous, 2014. Results of the survey design from industrial workshops of 10-49 employees. National Statistics Organization. (In Persian with English abstract). <https://www.amar.org.ir>

Baum, A.W., Patzek, T., Bender, M., Renich, S. and 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. and 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. and Reinhardt, G.A., 2004. Life cycle assessment of bread production-a comparison of eight different scenarios. DIAS report, 293 p.
- Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I. and 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.
- Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E., 1979. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*. 3(4), 338-339.
- Cooper, W.W., Ruiz, J.L. and Sirvent, I., 2007. Choosing weights from alternative optimal solutions of dual multiplier models in DEA. *European Journal of Operational Research*. 180(1), 443-458.
- Erdal, G., Esengün, K., Erdal, H. and 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. and 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. and Vercauteren, A., 2006. Analysis of the 4 Cases 1/5. Case Study: Bread, Sustainability Developments of Product Systems, 1800-2000. *The Belgian Science Policy*. 29-43.
- Guinée, J., and Heijungs, R., 2017. Introduction to life cycle assessment. In *Sustainable Supply Chains* (pp. 15-41). Springer, Cham.
- Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Safarzadeh, D., Ahmadi, E., Nabavi-Pelesaraci, A. and Hosseinzadeh-Bandbafha, E., 2017. Applying data envelopment analysis to evaluation of energy efficiency and decreasing of greenhouse gas emissions of fattening farms. *Energy*. 120, 652-662.
- Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Khanali, M., and Demirbas, A., 2018. A comprehensive review on the environmental impacts of diesel/biodiesel additives. *Energy Conversion and Management*, 174, 579-614.
- ISO, 2006. Environmental Management- Life Cycle Assessment- Principles and Framework- ISO 14040.
- Karakaya, A. and 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., Mohammadnia Galeshklamei, M., Akram, A., and Hosseinzadeh-Bandbafha, H., 2019. Optimization of energy consumption and reduction of environmental emissions in cookie production using data envelopment analysis and genetic algorithm techniques. *Agricultural Mechanization and Systems Research*. (In Persian with English abstract). <https://dx.doi.org/10.22092/erams.2018.115061.1215>.
- Khatir, Z., Taherkhani, A. R., Paton, J., Thompson, H., Kapur, N. and Toropov, V., 2015. Energy thermal management in commercial bread-baking using a multi-objective optimisation framework. *Applied Thermal Engineering*. 80, 141-149.
- Kitani, O., 1999. CIGR handbook of agricultural engineering. *Energy and biomass engineering*, ASAE Publications, St Joseph, MI. 351 p.
- Konak, A., Coit, D. W. and Smith, A. E., 2006. Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial. *Reliability Engineering & System Safety*. 91(9), 992-1007.
- Kulak, M., Nemecek, T., Frossard, E., Chable, V. and Gaillard, G., 2015. Life cycle assessment of bread from several alternative food networks in Europe. *Journal of Cleaner Production*. 90, 104-113.

Maupu, P., Berthoud, A., Négri, O., Leguereau, B., Gely, B. and Poupart, A., 2012. traceability of environmental information all along the cereal industry: from the wheat field to the bakery. in proceedings 2nd LCA conference. 6-7 November. Lille France.

Mirjalili, S., 2019. Genetic Algorithm. In *Evolutionary Algorithms and Neural Networks* (pp. 43-55). Springer, Cham.

Nabavi-Pelesarai, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., and Chau, K. W., 2019. Assessment of optimized pattern in milling factories of rice production based on energy, environmental and economic objectives. *Energy*, 169, 1259-1273.

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, Tehran, Iran.

Notarnicola, B., Tassielli, G., Renzulli, P.A. and 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.

Pérez-Urešti, S. I., Ponce-Ortega, J. M., and Jiménez-Gutiérrez, A., 2019. A multi-objective optimization approach for sustainable water management for places with over-exploited water resources. *Computers & Chemical Engineering*, 121, 158-173.

Qasari, K., Mehmo, H. and Jafari, A., 2007. Introduction to Fuzzy Data Envelopment Analysis. Islamic Azad University, Qazvin Branch. Iran. (In Persian with English abstract).

Shamshirband, S., Khoshnevisan, B., Yousefi, M., Bolandnazar, E., Anuar, N.B., Wahab, A. W. A., and Khan, S. U. R., 2015. A multi-objective evolutionary algorithm for energy management of agricultural systems—a case study in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 457-465.

Therkelsen, P., Masanet, E. and Worrell, E., 2014. Energy efficiency opportunities in the US commercial baking industry. *Journal of Food Engineering*. 130, 14-22.

Valaei, N., Rezaei, S., Ho, R. C., and Okumus, F., 2019. Beyond Structural Equation Modelling in Tourism Research: Fuzzy Set/Qualitative Comparative Analysis (fs/QCA) and Data Envelopment Analysis (DEA). In *Quantitative Tourism Research in Asia* (pp. 297-309). Springer, Singapore.

Vares, S., Häkkinen, T., Ketomäki, J., Shemeikka, J., and Jung, N., 2019. Impact of renewable energy technologies on the embodied and operational GHG emissions of a nearly zero energy building. *Journal of Building Engineering*, 22, 439-450.





Optimization of energy consumption and reduction of environmental emissions in cake production using data envelopment analysis and genetic algorithm

Asadollah Akram*, Majid Khanali, Mahdieh Mohammadnia Galeshklamei and Homa Hosseinzadeh-Bandbafha

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 2017.07.14 Accepted: 2019.05.25

Akram, A., Khanali, M., Mohammadnia Galeshklamei, M. and Hosseinzadeh-Bandbafha, H., 2019. Optimization of energy consumption and reduction of environmental emissions in cake production using data envelopment analysis and genetic algorithm. *Environmental Sciences*. 17(2): 102-122.

Introduction: Sustainable development necessitates the supply of energy resources in a sustainable manner, with a reasonable cost and with minimum negative social and environmental impacts. Thus the optimization of energy consumption, and as a result, the reduction of environmental emissions is of particular importance. The purpose of this study was to assess the amounts of consumed energy and pollutant emissions, optimization of energy consumption, and reduction in environmental emissions in the cake production industry in Guilan Province using data envelopment analysis (DEA) and genetic algorithm (GA).

Material and methods: The efficient and inefficient units considering energy consumption were identified using DEA models. The optimal energy consumption pattern based on efficient units was presented for other cake production units, and the environmental assessment was performed based on the optimal pattern. Finally, using the multi-objective genetic algorithm (MOGA) and considering two objective functions aiming at increasing the yield and reducing the global warming (GW) index, the optimal energy consumption pattern in cake production units was presented.

Results and discussion: The results of this study showed that 260532.25 MJ of energy was consumed for a daily production of 4157.14 kg of cake. The highest share of energy consumption was allocated to natural gas with 128582.1 MJ. Also, GW index was calculated 13099.49 kg CO₂ eq. per ton of produced cake. According to DEA results, from a total of 21 cake production units, 17 units were recognized efficient based on variable returns to scale model. Based on DEA results, the total energy consumption for optimum consumption of inputs, the energy saving percentage, and the reduction of GW index were determined 254929.28 MJ day⁻¹, 2.15%, and 550.18 kg CO₂ eq. per ton of produced cake, respectively. Also, the energy use pattern proposed by the MOGA resulted in 36.3% reduction of energy consumption, in which the highest

*Corresponding Author: *Email Address*. aakram@ut.ac.ir

percentage of energy savings was associated with human labor. Based on the optimization results of MOGA, GW index for production of one ton of cake was calculated 10038.44 kg CO₂ eq.

Conclusion: MOGA optimization method in comparison to DEA, resulted in more reduction of energy consumption, GW index, production costs, and environmental burdens as well as higher income. Thus, the use of MOGA will pave the way for achieving sustainable development in cake production industry and staying in competition with other food industries.

Keywords: Genetic algorithm, Energy, Data envelopment analysis, Cake, Global warming.