فصلنامه علوم محیطی،دوره هفدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸

۱۰۳-۱۲۴

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

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

گروه مهندسی ماشین‌های 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 گالشکلامی و ه. حسین زاده بندبافها. ۱۳۹۸. بهینه سازی انرژی مصرفی و کاهش انتشارات محیط زیستی در تولید کیک با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک. .فصلنامه علوم محیطی.۱۷(۲): ۱۲۴-۱۰۳.

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 بهینه‌سازی مصرف انرژی و در نتیجه کاهش انتشار آلاینده‌های محیط زیستی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی میزان مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها و در نهایت بهینه سازی مصرف انرژی با استفاده از روش‌های مرسوم بهینه سازی از جمله تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک با هدف کاهش انتشارات محیط زیستی در صنعت تولید کیک در استان گیلان بود.

مواد و روش‌ها: با استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها، 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 سنجه گرمایش جهانی، الگوی بهینه مصرف انرژی در دیگر واحدهای تولید کیک بیان شد.

نتایج و بحث: نتایج این پژوهش نشان داد که میزان ۲۶۰۵۳۲/۲۵ مگاژول انرژی برای تولید روزانه ۴۱۵۷/۱۴ کیلوگرم کیک مصرف شده است. بیشترین سهم انرژی مصرفی به گاز طبیعی با ۱۲۸۵۸۲/۱ مگاژول اختصاص داشت. همچنین سنجه گرمایش جهانی برای تولید هر تن کیک ۱۳۰۹۹/۴۹ kg CO_2 eq. تعیین شد. بر اساس نتایج تحلیل پوششی داده‌ها، از مجموع ۲۱ واحد تولیدی کیک، ۱۷ واحد براساس مدل بازگشت به مقیاس متغیر کارا شناخته شدند. براساس نتایج مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها، میزان کل انرژی موردنیاز در حالت مصرف بهینه نهاده‌ها، درصد صرفه‌جویی انرژی و کاهش سنجه گرمایش جهانی بترتیب برابر ۲۵۴۹۲۹/۲۸ مگاژول در روز، ۲/۱۵ درصد و ۵۵۰/۱۸ kg CO_2 eq. به ازای تولید یک تن کیک تعیین شدند. همچنین الگوی مصرف انرژی بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک چند هدفه منجر به کاهش ۳۶/۳۰ 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 ۱۰۰۳۸/۴۴ kg CO_2 eq. تعیین شد.

نتیجه‌گیری: بهینه‌سازی چند هدفه با الگوریتم ژنتیک در مقایسه با بهینه سازی با تحلیل پوششی داده‌ها، منجر به کاهش بیشتر انرژی مصرفی، گرمایش جهانی، هزینه‌های 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 بویژه 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 ٪ سرمایه گذاری و ۹/۶۴ ٪ از 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 سرمایه گذاری 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 زیان باری بر محیط زیست وارد می‌سازد. براساس قانون پایداری انرژی، انرژی ضمن برهم کنش می‌تواند از شکلی به شکل دیگر تبدیل شود ولی 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 هم زمان 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 عامل‌های کلیدی بمنظور الگوی صحیح مصرف انرژی و همچنین کاهش اثرهای گلخانه‌ای است. بهینه سازی در یک سولینه، 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 بهینه سازی، شناسایی روشی که بالاترین عملکرد را برای حل مسئله مورد بررسی داشته باشد، ضروری است. بنابراین روش‌های مختلفی برای بهینه سازی 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 داده محور برای ارزیابی عملکرد یک مجموعه از موجودیت‌های مشابه به نام واحدهای تصمیم گیری است که ورودی چند گانه 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 (Qaseri *et al*., 2007). از این رو روش‌های مختلفی بیان

شده است تا از بروز این مشکل‌ها جلوگیری کند. از جمله این روش‌ها، استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌یابی است. الگوریتم ژنتیک، شاخه‌ای از الگوریتم‌های تکاملی بهینه‌یابی است که بر اساس ساختار ژن‌ها، کروموزوم‌ها و الهام از تکامل طبیعی در یافتن راه حل‌های بهینه در مسئله‌های بهینه‌سازی تلاش می‌کند. الگوریتم ژنتیک اجازه می‌دهد تا جمعیتی متشکل از تعداد زیادی افراد که تحت قوانین انتخاب ویژه‌ای تشکیل شده‌اند، در فرآیند تکامل، تابع برازش را بهینه نمایند. در دهه اخیر، الگوریتم‌های ژنتیک بطور گسترده‌ای در حوزه وسیعی از مسئله‌های علوم، بازرگانی و مهندسی بعنوان ابزارهای جستجو و بهینه‌یابی استفاده شده‌اند. دلیل عمده موفقیت این الگوریتم‌ها، قابلیت کاربرد وسیع آن‌ها، استفاده آسان و چشم انداز عمومی آن‌ها 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 نان‌های صنعتی و مواد غذایی مشابه با آن، تحقیق‌های مختلفی صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده است. در تحقیقی در رابطه با ارزیابی جریان انرژی در تولید نان حجیم صنعتی، برشکات و همکاران نشان دادند که ۴ مگاژول انرژی برای تولید هر کیلوگرم نان حجیم صنعتی مصرف شده است (Braschkat *et al*., 2004) همچنین در تحقیقی دیگر برای تولید هر کیلوگرم نان حجیم صنعتی، میزان انرژی تجدید ناپذیر مصرفی بین ۶ تا ۲۱/۵ 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 ۹ تا ۳۲/۹ مگاژول تغییر می‌کند (Notarnicola *et al*., 2017). همچنین خانعلی و همکاران در سال ۲۰۱۹ نشان دادند که برای تولید هر تن کلوچه در کارخانه‌های کلوچه پزی استان گیلان مقدار ۳۰۵۳۳/۶۶ 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 نان‌های حجیم در بلژیک، کاهش سنجه‌های پتانسیل گرمایش جهانی و اکسیداسیون فتوشیمیایی را بدلیل جایگزینی زغال سنگ بعنوان منبع انرژی با دیگر سوخت‌های فسیلی نشان داد (Geerken *et al*., 2006). در تحقیقی دیگر مقایسه اثرهای محیط زیستی تولید نان در دو مقیاس صنعتی و خانگی در استکلهم سوئد، نشان داد که تولید صنعتی نان‌های حجیم نسبت به تولید سنتی منجر به بهبود در پتانسیل گرمایش جهانی، نقصان لایه ازون، مسمویت انسان و اسیدی شدن شده‌اند (Bimpeh *et al*., 2006). همچنین در بررسی چرخه زندگی تولید نان حجیم صنعتی در کشور ایتالیا، تولید مواد اولیه، انبارداری و حمل‌ونقل سهمی مابین ۴۴ تا ۱۰۰ درصد شاخص‌های پتانسیل گرمایش جهانی، اسیدی شدن و مسمومیت آب‌های سطحی و آزاد را به خود اختصاص داده‌اند (Maupu *et al*., 2012). همچنین نتایج یک تحقیق در تولید نان‌های حجیم در کشورهای عضو اتحادیه اروپا نشان داد مرحله پخت نان برای بسیاری از نان‌های 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 نان‌های گران قیمت‌تر دارای پایداری محیط زیستی بالاتری هستند (Notarnicola *et al*., 2017). در تحقیقی دیگر، سنجه گرمایش جهانی برای تولید هر تن کلوچه ۳۷۳۲ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل برآورد شد (Khanali *et al*., 2019). با توجه به اهمیت بهینه سازی مصرف انرژی در تولید نان و فرآورده‌های مشابه، در تحقیقی در آمریکا بهینه سازی مصرف انرژی محصول‌های تجاری نانوایی مانند نان، رولت، کیک منجمد، کیک، شیرینی، بیسکویت و کراکر صورت گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که یک سولینه مدیریت قوی انرژی با شناسایی اقدام‌هایی برای افزایش کارایی در مصرف انرژی سبب خواهد شد که قیمت تمام شده محصول‌ها کاهش یابد (Therkelsen *et al*., 2014). در تحقیقی دیگر در پاسخ به افزایش هزینه‌های انرژی در صنایع تولید نان‌های شیرین، یک چارچوب بهینه سازی چند هدفه برای طرح اجاق پخت بیان شد و شناسایی ترکیب بهینه ویژگی‌های طراحی مانند یکنواختی درجه حرارت در اجاق پخت مورد بررسی قرار گرفت (Khatir *et al*., 2015). همچنین در تحقیق دیگردر رابطه با تولید کلوچه نشان داده شده است که بهینه سازی مصرف انرژی با استفاده از

الگوی بیان شده توسط تحلیل پوششی داده‌ها 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 منبع‌های مرتبط نشان داد با وجود گستردگی تحقیق‌ها در زمینه ی انرژی مصرفی در ایران، هیچ مطالعه‌ای 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 می‌شود، شناسایی فرصت‌ها و محدودیت‌ها 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 هزینه‌های تولیدی ضروری بنظر می‌رسد. بنابراین هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی جریان انرژی و اثرهای محیط زیستی ناشی از مصرف انرژی و بهینه‌سازی 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 داده‌ها 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 روش‌ها

نمونه برداری و جمع آوری اطلاعات

این مطالعه در سال ۱۳۹۵در شهرستان‌های لاهیجان، لنگرود و رودسر بعنوان قطب‌های 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 داده‌های مربوط به کارخانه شامل تعداد و نوع دستگاه‌ها تجهیزهای آماده‌سازی و پخت و پز، نوع و توان مصرفی دستگاه‌ها و تجهیزهای موجود در کارخانه، نوع و تجهیزهای و توان مصرفی سیستم گرمایشی، روشنایی و تهویه کارخانه، میزان مصرف نهاده‌های مختلف شامل آرد، شکر، روغن، تخم مرغ و آب، تعداد و ساعت کار کارگران شاغل در بخش‌های مختلف بود. این اطلاعات توسط تکمیل پرسش نامه توسط مدیران و کارکنان واحدهای تولید کیک به‌دست آمد. پایایی یکی از ویژگی‌های ابزار اندازه‌گیری (پرسش نامه یا مصاحبه) است. مفهوم یاد شده با این امر سروکار دارد که ابزار اندازه‌گیری در شرایط یکسان تا چه اندازه نتایج یکسانی به‌دست می‌دهد. در این تحقیق از آماره ضریب آلفای کرونباخ بدین منظور استفاده شد؛ این روش برای محاسبه هماهنگی درونی ابزار اندازه‌گیری از جمله پرسش نامه‌ها یا آزمون هایی که ویژگی‌های مختلف را اندازه‌گیری می‌کند بکار می‌رود. در این گونه ابزارها، پاسخ هر سوال می‌تواند مقادیر عددی مختلف را اختیار کند. برای محاسبه ضریب آلفای کرونباخ ابتدا باید واریانس نمره‌های هر زیر مجموعه سوال‌های پرسش نامه (یا زیر آزمون) و واریانس کل را محاسبه کرد. سپس با استفاده از رابطه (۱) مقدار ضریب آلفا را محاسبه کرد.

$$a = \frac{k}{k-1}\left(1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2}\right) \qquad (۱)$$

که در آن k تعداد سوالات یا گویه‌های پرسش‌نامه 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 می‌شود چنانچه ضریب آلفای کرونباخ بیش از ۰/۷ محاسبه گردد، پایایی پرسش نامه مطلوب ارزیابی می‌شود. بدون آگاهی از اعتبار ابزار اندازه‌گیری نمی‌توان به‌دقت حاصل از آن اطمینان داشت. ابزار اندازه‌گیری ممکن است برای اندازه‌گیری یک ویژگی دارای اعتبار باشد، در حالی که برای سنجش همان ویژگی بر روی جامعه دیگر از هیچ‌گونه اعتباری برخوردار نباشد. روایی پرسش نامه‌ها نیز با استفاده از نتایج و تجربه حاصل از پیش آزمون و همچنین نظرهای کارشناسان به‌دست آمد. ضمن این که از مرحله اولیه طراحی پرسش نامه سعی شد که پرسش‌ها به ساده‌ترین 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 نهادها موردبررسی قرارگرفته است. هم ارز انرژی به ضرایبی اطلاق می‌شود که میزان محتوای انرژی نهاده‌ها یا ستانده‌ها را بیان می‌کنند که در جریان فرآیند تولید به

سولینه تولیدی واردشده یا از آن خارج می‌گردند (Nabavi-Pelesaraei *et al*., 2019). آرد، شکر، روغن، تخم مرغ، آب، الکتریسیته، گازطبیعی، 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 ارزهای انرژی متناظر با هر یک استفاده شد که هم ارزهای انرژی برای هر یک از نهاده‌ها و ستانده در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. انرژی معادل هر یک از نهاده‌ها، از ضرب میزان مصرف هر یک از آن‌ها در ضریب هم ارز 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. کارآیی انرژی حاصل نسبت انرژی تولیدی به انرژی مصرفی بوده و از رابطه زیر برآورد شد.

ارزیابی چرخه زندگی

ارزیابی چرخه زندگی روشی است که در آن کلیه اثر های محیط زیستی مرتبط با یک محصول در کل چرخه زندگی آن ارزیابی

جدول ۱- محتوای انرژی‌های ورودی‌ها و خروجی در زنجیره تولید کیک

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

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

می‌شود (ISO, 2006). بعبارت بهتر این روش یک روش ابداعی است که بمنظور 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 سولینه، 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 سولینه، 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 بمنظور نتیجه‌گیری و بیان راه کارها مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

واحد کارکردی در این مطالعه یک‌تن محصول خروجی (کیک) در نظر گرفته شد و مرز سولینه 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 جمع آوری 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 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[1] موجود در نرم افزار سیماپرو[2] 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 سیماپرو و براساس روش CML2 Baseline 2000 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 درنهایت 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 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 می‌شود (Cooper *et al*., 2007). در ادامه رابطه مربوط به تعیین کارایی فنی نشان داده شده است:

$$\begin{aligned} &Max\ \ \theta = \sum_r u_r y_{rj} \\ &\sum_i v_i x_{ij} = 1 \\ &\text{for } j = 1,2,3,\ldots,n \sum_r u_r y_{rj} - \sum_i v_i x_{ij} \le 0 \\ &\text{for } j = 1,2,3,\ldots,s \text{ and } v_s \ge \\ &0 \text{ for } j = 1,2,3,\ldots,m\ u_r \ge 0 \end{aligned} \quad (۲)$$

که در آن θ کارایی فنی، u وزن خروجی‌ها، y خروجی‌ها، v وزن ورودی‌ها، x ورودی‌ها، n تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده، s تعداد خروجی‌ها و m تعداد نهاده‌ها می‌باشد. همچنین برای محاسبه‌ی کارایی فنی خالص از مدل برنامه‌ریزی خطی زیر استفاده شده است:

$$\begin{aligned} &Max\ \ z = uy_i - u_i \\ &Subjected\ \ to\ \ vx_i = 1 \\ &-vX + uY - u_o e \le 0 \\ &v_s \ge 0,\ u_r \ge 0 \text{ and } u_o\ \ free\ \ in\ \ sign \end{aligned} \quad (۳)$$

در نهایت کارایی مقیاس از تقسیم کارایی فنی بر کارایی فنی خالص محاسبه شد (Nabavi-Pelesaraei *et al*., 2019). در این مطالعه، کارایی واحدهای تصمیم گیرنده (کارخانه‌های تولید کیک) توسط نرم‌افزار EMS 1.3 تحلیل گردید و کارخانه‌ها از نظر کارایی مصرف انرژی مورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس واحدهای کارا و ناکارا در مصرف انرژی تعیین شده و در نهایت میزان مصرف نهاده‌ها در حالت کارایی صد در صد واحدهای تصمیم گیرنده بررسی شد. الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی چند هدفه بهینه‌یابی عبارت است از یافتن یک یا چند جواب قابل‌قبول که مربوط به مقادیر بحرانی یک یا چند تابع هدف باشند. هنگامی که یک مسئله بهینه‌یابی شامل بیش از یک تابع هدف است، عمل یافتن یک یا چند جواب بهینه، بهینه‌یابی چند هدفه نامیده می‌شود (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 می‌کند تا راه حل‌های جدید و بهبود یافته ایجاد نماید (Mirjalili, 2019).

اولین و مهم‌ترین نقطه قوت این الگوریتم آن است که موازی بوده و تصمیم‌های آن تصادفی است و از آن جایی که چندین نقطه شروع دارد، در یک لحظه می‌تواند فضای مسئله را از چند جهت مختلف جستجو کند و بر اساس نظریه، همه راه حل‌های ممکن به روی مسئله باز است. به همین سبب، الگوریتم‌های ژنتیک برای حل مسئله‌های غیرخطی که فضای راه حل بزرگی دارند، بسیار مفید است.. از سوی دیگر، الگوریتم ژنتیک برخلاف دیگر تکنیک‌های بهینه سازی غیرخطی، هر نسل ایجاد شده را حفظ نموده و به دنبال ایجاد نسل‌های بهتر می‌گردد (Konak *et al*., 2006).

بنا بر دلایل بیان شده، استفاده از الگوریتم ژنتیک در تحقیق حاضر، بمنظور بهینه‌یابی همزمان دو تابع (بیش از یک تابع) عملکرد و سنجه‌های محیط زیستی، راه حلی منطقی تلقی می‌شود. دراین بخش از مطالعه، دو هدف افزایش عملکرد تولید کیک و کاهش آلاینده‌های محیط زیستی بررسی شده‌اند. از آن جایی که از میان سنجه‌های محیط زیستی محاسبه شده، گرمایش جهانی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد، بنابراین دو تابع هدف f(۱) برای بیشینه کردن عملکرد تولید کیک و f(۲) 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 SPSS، معادلات رگرسیون خطی (۴ و۵) مشخص شدند.

(۴)

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

$$f(2) = \alpha 2 + \gamma_1 X_1 + \gamma_2 X_2 + \gamma_3 X_3 + \gamma_4 X_4 + \gamma_5 X_5 + \gamma_6 X_6 + \gamma_7 X_7 + \gamma_8 X_8 + \gamma_9 X_9 + \gamma_{10} X_{10} + \gamma_{11} X_{11} \quad (۵)$$

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، 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 تابع هدف اول (عملکرد بیشینه) در یک منفی ضرب شده است. محدودیت‌های این مسئله نیز بصورت زیر تعریف شده‌اند.

$$lb=[Min_{x_1}; Min_{x_2}; Min_{x_3}; \ldots; Min_{x_{11}}] \quad (۶)$$

$$ub=[Max_{x_1}; Max_{x_2}; Max_{x_3}; \ldots; Max_{x_{11}}] \quad (۷)$$

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 اطمینان برای پوشش کل جامعه استفاده شد. در پایان نیز مقایسه‌ای بین عملکرد بهینه سازی با دو 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 ۴۱۵۷/۱۴ کیلوگرم کیک، انرژی مصرفی برابر ۲۵/۲۶۰۵۳۲ مگاژول می‌باشد. از میان نهاده‌های مصرفی گاز طبیعی با ۱۲۸۵۸۲/۱ 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 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 ۶۲۶۷۱/۰۳ مگاژول برتن (۶۲/۶۷ مگاژول بر کیلوگرم) است. این مقدار مصرف انرژی در تولید کیک در مقایسه با مطالعات مشابه بسیار بالاست. برای نمونه 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 ۳۲/۹ مگاژول بر کیلوگرم (Notarnicola *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، بیان گر ضرورت کاهش مصرف انرژی در تولید کیک در استان گیلان می‌باشد که از طریق استفاده از ماشین‌های جدید، مدیریت منابع انسانی و استفاده بهینه از نهاده‌ها امکان پذیر خواهد بود. براساس نتایج، گاز طبیعی که برای تأمین انرژی پخت کیک از آن استفاده می‌شود، ۵۰ درصد انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است . نتایج دیگر تحقیق‌ها نشان می‌دهد که این میزان بین ۵ تا ۶۵ درصد برای انواع مختلف نان‌های 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 بعنوان ماده اولیه کیک، ۱۳ درصد انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است. در تحقیق‌های دیگر این میزان بین ۵ تا ۸۰ درصد برای انواع نان‌های 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 تجهیزهای مصرفی بویژه تجهیزهای مرحله پخت بر می‌گردد. با این حال مصرف انرژی در شکل سوخت مقدار به نسبت بالایی را به خود اختصاص داده است که با توجه به ناپایداری سوخت‌های فسیلی باید در کاهش مصرف آن کوشید.

تحلیل سنجه‌های محیط زیستی در تولید کیک

در جدول شماره ۳ مقادیر سنجه‌های محیط زیستی تولید یک تن کیک در کارخانه‌های استان گیلان نشان داده شده است. براساس این نتایج میزان گرمایش جهانی برای تولید هر تن کیک $kg\ CO_2$ eq.۱۳۰۹۹/۴۹ محاسبه شده است (۱۳/۰۹۹ کیلوگرم دی اکسید 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 دی‌اکسیدکربن معادل در بازه‌های ۰/۶۲ تا ۰/۹ (Andersson and Ohlsson, 1999)، ۰/۴۱ تا ۰/۵۸ (Braschkat *et al*., 2004)، ۰/۷۵ تا ۰/۸ (Espinoza-Orias *et al*., 2011)، ۰/۵ تا ۶/۶ (Notarnicola *et al*., 2015)، ۰/۶ تا ۱/۷ (Kulak *et al*., 2015) ۷۳/۳ (Khanali *et al*., 2019) گزارش شده است. این مطلب نشان دهنده استفاده بیش از حد انرژی 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 سولینه موردنظر، میزان انتشار آلاینده‌ها را در مرز سولینه کاهش خواهد داد.

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

نتایج مدل‌های بازگشت به مقیاس ثابت و متغیر در شکل شماره ۱ نشان داده شده است. بر این اساس از مجموع ۲۱ واحد تولید کیک، ۱۷ واحد از نظر کارایی فنی خالص کارا شناخته شده‌اند در حالی که تنها ۶ واحد از نظر فنی کارا بودند. دلیل این اختلاف، نامناسب بودن مقیاس در ۱۱ واحدی است

جدول ۲- انرژی نهاده و ستانده در تولید کیک

Table 2. Input and output energy in cake production

درصد Percent	انرژی معادل ($MJ\ day^{-1}$) Equivalent energy	مقدار مصرف و تولید در روز Consumption and production per day	عنوان (واحد) Title (Unit)
			نهاده‌ها 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) Electricity
49.35	128582.1	2597.619	گازطبیعی (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 Total input energy ($MJ\ day^{-1}$)
			ستانده Output
100	74827.5	4157.14	کیک (kg) Cake
100	74827.5		انرژی خروجی کل Total output energy ($MJ\ day^{-1}$)

که از نظر کارایی فنی خالص کارا بودند. در نتیجه این واحدها کارایی مقیاس کم‌تر از ۱ دارند. پس اولین گام برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در واحدهای تولید کیک در استان گیلان، رعایت مقیاس صحیح است و رعایت اصول مدیریتی درجایگاه بعدی قرار دارد. این نتیجه در حالی به‌دست 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 شده‌اند 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 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 می‌دهد. با توجه به مقادیر مربوط به انحراف معیار، پراکندگی کارایی فنی نسبت به کارایی فنی خالص زیادتر است که استفاده نکردن از روش‌های صحیح تولید و عدم تخصیص بهینه منبع‌ها (رعایت نکردن مقیاس)، دلیل‌های اصلی این اختلاف می‌باشند. در حالی که از نظر کارایی فنی این میزان برای کارخانه‌های تولید کننده کلوچه ۰/۹۱ برآورد شده است (Khanali *et al*., 2019) که نشان می‌دهد در مقایسه با تحقیق حاضر، واحدهای تولید کننده کلوچه از مقیاس بهتری برای تولید بهره برده‌اند.

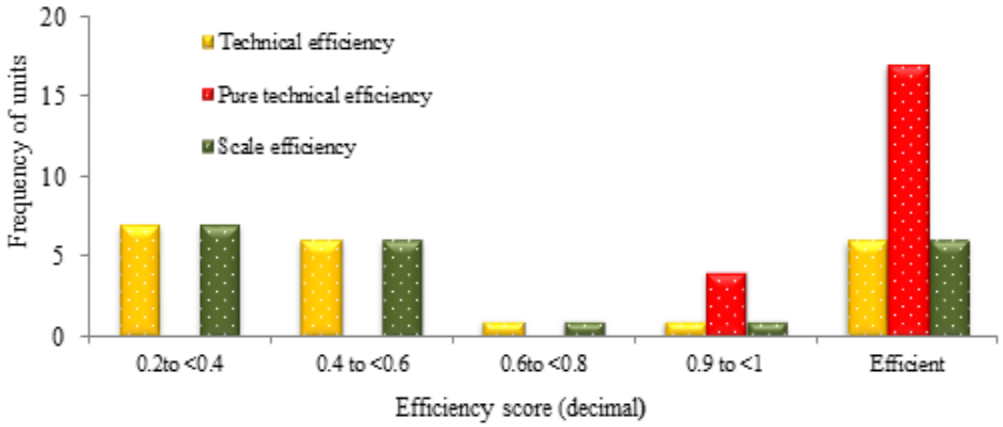
روش تحلیل پوششی داده‌ها، واحدهای کارا را شناسایی کرده و

جدول ۳- شاخص‌های زیست محیطی به‌ازای تولید یک تن کیک

Table 3. Environmental impacts per ton of cake

بخش اثر Impact category	واحد Unit	کل Total	خارج از کارخانه Outside the factory	داخل کارخانه Inside the factory
تقلیل منبع‌های غیر آلی Abiotic depletion	kg Sb_{eq}	44.55	44.55	0
اسیدی شدن Acidification	kg $SO_{2\ eq}$	69.06	63.15	5.91
اختناق دریاچه‌ای Eutrophication	kg $PO_4^{-2}{}_{eq}$	11.58	11.34	0.24
گرمایش جهانی Global warming	kg $CO_{2\ eq}$	13099.49	11305.55	1793.94
نقصان لایه اوزون Ozone layer depletion	kg CFC-11 $_{eq}$	0.0002	0.0001	0.0001
مسمومیت انسان‌ها Human toxicity	kg 1,4-DCB $_{eq}$	4240.12	4079.60	160.52
مسمومیت آب‌های سطحی Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DCB $_{eq}$	807.86	766.21	41.65
مسمومیت آب‌های آزاد Marine aquatic eco-toxicity	kg 1,4-DCB $_{eq}$	342971.08	148050.21	194920.87
مسمومیت خاک Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB $_{eq}$	824.03	823.74	0.29
اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxi-dation	kg $C_2H_{4\ eq}$	3.11	2.67	0.35

میزان مصرف انرژی توسط این واحدها را بعنوان الگوی مصرف بهینه انرژی معرفی می‌کند (Hosseinzadeh-Bandbafha *et al.*, 2017). در 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 بهینه سازی مصرف انرژی در واحدهای تولید کننده نان و شیرینی، کارایی در مصرف انرژی



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

سبب کاهش 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 داده شده است. بر اساس نتایج با مصرف بهینه انرژی، سنجه

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

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

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 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 CO_2 eq. در گرمایش جهانی برای تولید هر تن کیک خواهد شد. بعبارتی، با کاهش در مصرف انرژی به ازای تولید هر کیلوگرم کیک، در حدود نیم کیلوگرم از تولید دی اکسید کربن معادل جلوگیری می‌شود. این در حالی است که مصرف بهینه انرژی در کارخانه‌های تولید کلوچه منجر به کاهش ۱۹۰/۳۷۳۹ kg CO_2 eq. در گرمایش جهانی برای تولید هر تن کلوچه خواهد شد. بعبارت دیگر، با کاهش مصرف انرژی به ازای تولید هر کیلوگرم کلوچه، از انتشار ۲۰۰ گرم دی اکسید کربن معادل جلوگیری خواهد شد (Khanali *et al*., 2019).

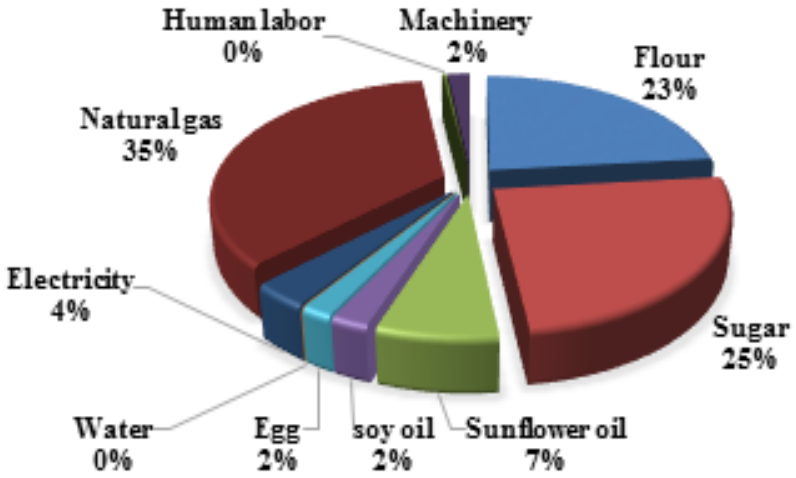
بهینه یابی عملکرد و سنجه محیط زیستی گرمایش جهانی در تولید کیک به کمک الگوریتم ژنتیک

با توجه به موارد بیان شده بمنظور بهینه‌یابی چندهدفه توسط الگوریتم ژنتیک ابتدا توابع هدف برای تولید کیک تعریف و همزمان با آن، بر اساس کمترین و بیشترین میزان مصرف هر یک از نهاده‌ها، قیدهای لازم تعیین شدند. شکل کلی توابع هدف و قیدهای هر نهاده بصورت زیر تعیین

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

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



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

شدند:

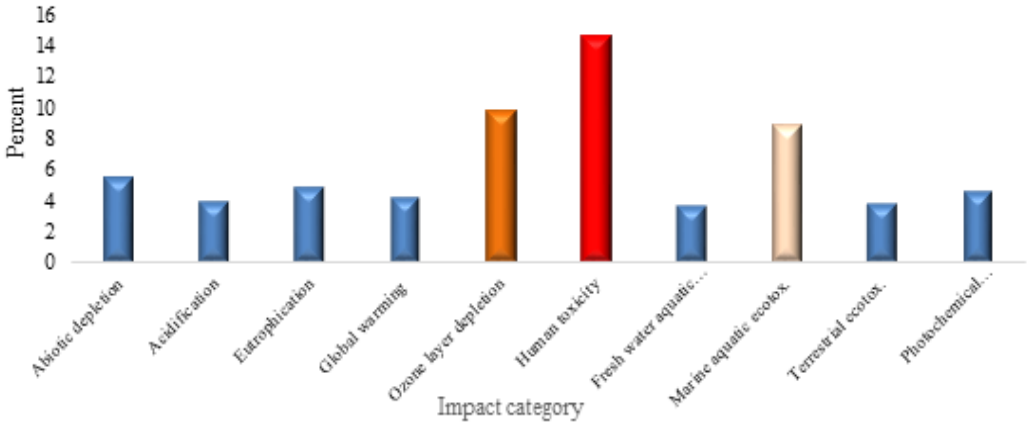
$$f(1)= (-1) \times(0.026\ X_1 +0.045 \times X_2 + 0.080 \times X_3 + 0.109 \times X_4 + 0.036 \times X_5 +1193.218 \times X_6 + 0.338 \times X_7 - 0.016 \times X_8+ 14.813 \times X_9 - 8.013 \times X_{10}+ 1.918 \times X_{11}) \quad (۸)$$

$$f(2)= 12778 \times X_1 -0.857 \times X_2 - 19.89 \times X_3 + 65.854 \times X_4 + 2.179 \times X_5 +30056.54 \times X_6 - 27.312 \times X_7 - 106.469 \times X_8 - 16.305 \times X_9+ 49.088 \times X_{10}- 9.676 \times X_4 \quad (۹)$$

$$lb=[20560;50700;5483;1840;728;1.53; 9600;99000;470.4; 94.2; 2257.2] \quad (۱۰)$$

$$ub=[51400;84500;10929;16442;2184;2.43;15600;143550;799.68;301.44;3511.2] \quad (۱۱)$$

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 افقی در این نمودار نشان دهنده مقدار عملکرد (تابع هدف اول) و محور عمودی نشان دهنده سنجه گرمایش جهانی (تابع هدف دوم) می‌باشد. اعضای جبهه بهینه-پارتو نسل آخر اجرای الگوریتم در نمودار با ستاره نشان داده شده‌اند. بمنظور دستیابی به مجموعه جواب‌های 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 در



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

جدول ۶- مقادیر سنجه‌های محیط زیستی بهینه بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌ها
Table 6- Amount of environmental indicators based on the data envelopment analysis

بخش اثر Impact category	واحد Unit	انتشار برحسب مصرف بهینه انرژی Emissions in terms of optimal energy use	کاهش در انتشار Reduction in emissions
تقلیل منابع غیر آلی Abiotic depletion	kg Sb_{eq}	41.97	2.58
اسیدی شدن Acidification	kg $SO_{2\ eq}$	66.37	2.69
اختناق دریاچه‌ای Eutrophication	kg $PO_4^{-2}{}_{eq}$	11.001	0.579
گرمایش جهانی Global warming	kg $CO_{2\ eq}$	12549.31	550.18
نقصان لایه اوزون Ozone layer depletion	kg CFC-11 $_{eq}$	0.00018	0.00002
مسمومیت انسان‌ها Human toxicity	kg 1,4-DCB $_{eq}$	3637.22	602.09
مسمومیت آب‌های سطحی Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DCB $_{eq}$	776.36	31.5
مسمومیت آب‌های آزاد Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DCB $_{eq}$	310388.83	32582.25
مسمومیت خاک Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB $_{eq}$	791.07	32.96
اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxidation	kg $C_2H_{4\ eq}$	2.96	0.15

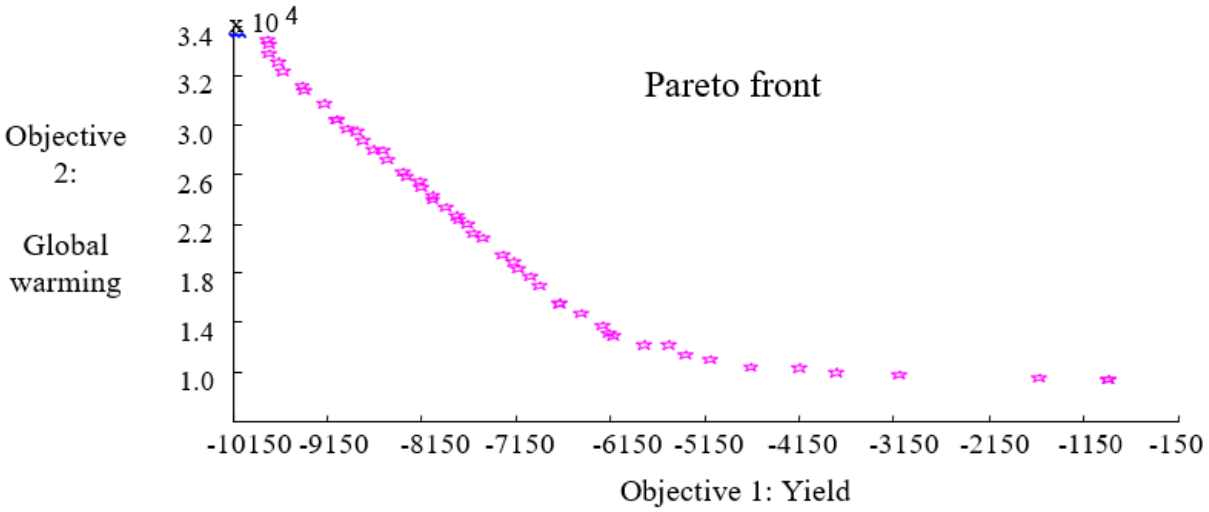
حالت ایده‌آل در جدول شماره ۷ نشان داده شده است.

براساس نتایج جدول شماره ۷، الگوی مصرف انرژی بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک منجر به کاهش ۳۶/۳۰ درصدی در مصرف انرژی شده است. براساس نتایج، بیشترین درصد صرفه جویی در انرژی مربوط به کاهش در نیروی کارگری (۳۷/ ۶۱٪) و به دنبال آن گاز طبیعی (۳۴/ ۴۵٪) و تخم مرغ (۵۳/ ۴۲٪) بوده‌اند. همچنین نتایج بهینه سازی چندهدفه، میزان گرمایش جهانی را برای تولید کیک را برابر kg CO_2 eq. ۱۰۰۳۸/۴۴ نشان داد. هر چند مقایسه این مقدار با میزان گرمایش جهانی در تولید کیک و نان‌های حجیم برای تولید هر کیلوگرم کیک، میزان بالایی را نشان می‌دهد ولی نسبت به مصرف انرژی در حالت متداول پیروی از الگوی مصرف بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک حدود ۳ کیلوگرم دی اکسیدکربن 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. براساس نتایج، بیشترین درصد صرفه جویی در انرژی مربوط به کاهش در مصرف گردو (۴۴/ ۶۹٪) و به دنبال آن آب (۶۲/ ۴۵٪) و تخم مرغ (۵۲/ ۴۵٪) بوده‌اند. همچنین نتایج بهینه سازی چندهدفه، میزان گرمایش جهانی را برای تولید کلوچه برابر kg CO_2 eq. ۲۹۲۳/۷۴ نشان داد (Khanali *et al*., 2019).

بر این اساس می‌توان گفت برای کاهش بیشتر این بخش اثر باید الگوی بهینه‌ای برای مصرف انرژی فرآیندهای بالادستی (تولید مواد اولیه) ارائه شود تا با الگوگیری از آن، از انتشار مقدار زیادی دی اکسیدکربن معادل با توجه به پیامدهای محیط زیستی آن جلوگیری شود.

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

در پایان مقایسه‌ای بین الگوی مصرف انرژی بیان شده توسط



شکل ۴- جبهه بهینه- پارتو در بخش تصمیم‌گیری کلان در شرایط ایده آل برای تولید کیک

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

جدول ۷- مقادیر مصرف بهینه و ذخیره شده انرژی در تولید کیک با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه

Table 5. Optimal and stored energy consumption in cake production by multi-objective genetic

درصد ذخیره شده Saved percentage (%)	انرژی ذخیره شده Saved energy (MJ day^{-1})	مصرف بهینه Optimal consumption (MJ day^{-1})	نهاده‌ها Inputs
37.92	12956.1	21212.66	آرد Flour
25.36	17243.81	50758.57	شکر Sugar
10.33	779.64	6766.57	روغن آفتابگردان Sunflower oil
37.39	1376	2304	روغن سویا Soy oil
42.53	670.91	906.42	تخم مرغ Egg
2.04	0.04	1.92	آب Water
19.85	2654.2	10717.23	الکتریسیته Electricity
45.34	58303.55	70278.59	گاز طبیعی Natural gas
61.37	470.02	295.86	نیروی کارگری Human labor
4.11	125.89	2710.54	ماشین ها Machinery
36.30	94580.2	165952.36	کل انرژی ورودی Total input energy

الگوریتم ژنتیک چند هدفه و تحلیل پوششی داده‌ها انجام شد که نتایج آن در جدول شماره ۸ برای هر نهاده به تفکیک گفته شده است. بر این اساس، میزان انرژی مصرفی کل بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک چند هدفه، به مقدار ۳۴/۹۰ درصد کم‌تر از انرژی کل مصرفی بیان شده توسط روش تحلیل پوششی داده‌ها 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

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

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

درصد کم‌تر از انرژی کل مصرفی بیان شده توسط روش تحلیل پوششی داده‌ها است (Khanali *et al*., 2019). بیشترین درصد تفاوت بین نهاده‌های ورودی مربوط به نیروی کارگری است که الگوی بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک میزان آن را ۶۰/۴۱ درصد کم‌تر از الگوی مطرح شده توسط روش تحلیل پوششی داده‌ها نشان می‌دهد. در رابطه با دیگر نهادهای مصرفی به جز آب، الگوی مصرفی توسط الگوریتم ژنتیک در مقایسه با روش تحلیل پوششی داده‌ها، کاهشی در محدوده ۴۴/۴۹ درصدی برای گاز طبیعی تا ۰/۹۲ درصدی برای ماشین‌ها را نشان می‌دهد.

در نهایت می‌توان گفت بهینه سازی چند هدفه با الگوریتم ژنتیک نسبت به بهینه سازی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها نتایج بهتری را نشان می‌دهد. دلیل این امر آن است که روش تحلیل پوششی داده‌ها در واقع بهینه سازی را بر اساس واحدهای تصمیم‌گیری بهینه (واحدهای کارا) در منطقه انجام می‌دهد و بعبارتی گزینشی بین واحدهای کارا و ناکارا را انجام می‌دهد و برای این کار تنها یک هدف (کاهش مصرف انرژی ورودی) را مد نظر قرار می‌دهد که این خود گام بزرگی در جهت حرکت به سمت کاهش مصرف انرژی است، در حالی که الگوی بیان شده توسط الگوریتم ژنتیک چند هدفه با در نظر گرفتن هدف‌های تعریف شده الگویی برای مصرف انرژی ارائه می‌دهد که خارج از چارچوب محلی و منطقه‌ای برای واحدهای تولید کننده کیک است. بنابراین بایستی ابتدا مصرف انرژی را به سمت نهاده‌های معرفی شده توسط تحلیل پوششی

داده‌ها سوق داد و سپس به سمت الگوریتم ژنتیک چندهدفه حرکت کرد، که ملزم به مدیریت قوی و استفاده از روش و تجهیزهای نوین در تولید کیک در استان گیلان است. برای شروع تغییر در سیستم، اجاق‌های پخت از لحاظ میزان مصرف 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 تجدید پذیر، 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 ۱۴ /۱۲۸۵۸۲ مگاژول، بیشترین سهم از انرژی مصرفی را داشته است. بدلیل رو به اتمام بودن منبع‌های گاز طبیعی و همچنین اثرهای 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 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.

پی نوشت‌ها

[1] EcoInvent
[2] SimaPro

منابع

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 Sinuany-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.

Anonymous, 2014. Results of the survey design from industrial workshops of 10-49 employees. National Statistics Organization. Available online at: https://www.amar.org.ir.

Baum, A.W., Patzek, T., Bender, M., Renich, S. and Jackson, W., 2009. The visible, sustainable farm: A compre-

hensive 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), Sweden.

Braschkat, J., Patyk, A., Quirin, M. and Reinhardt, G.A., 2004. Life cycle assessment of bread production-a comparison of eight different scenarios. Proceedings from the 4th International Conference, October 6th -8th, Bygholm, Denmark. pp. 9-17.

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 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.

Guinée, J. and Heijungs, R., 2017. Introduction to life cycle assessment. In Sustainable Supply Chains. Springer, Cham.

Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Safarzadeh, D., Ahmadi, E., Nabavi-Pelesaraei, 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. British Standards Institution, London.

Karakaya, A. and Özilgen, M., 2011. Energy utilization and carbon dioxide emission in the fresh, paste, wholepeeled, 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. 20(72), 143-162. (In Persian with English abstract).

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, American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, Michigan, USA.

Konak, A., Coit, D.W. and Smith, A.E., 2006. Multi-ob-

jective 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. 6th-7th November. Lille, France.

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

Nabavi-Pelesaraei, 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-Uresti, 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.

Qaseri, K., Mehrno, 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 banking 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. 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.

Environmental Sciences Vol.17/ No.2 / Summer 2019

103-124

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): 103-124.

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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 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.