

مقایسه اکسرژی گزینه‌های تولیدی در زنجیره تامین نان‌های سنتی

امیرعباس سامی نیا^{a*}، رحیم قاسمیه^b

^a دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران
^b دانشیار گروه مدیریت، دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۲۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۰۶

چکیده

مقدمه: روند افزایشی ضایعات مواد غذایی، یکی از چالش‌های جدی در اکثر کشورها به ویژه کشورهای در حال توسعه برای تامین نیازهای غذایی کافی جامعه است. در این تحقیق، عملکرد ترمودینامیکی دو زنجیره تولید نان‌های سنتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این دو زنجیره شامل زنجیره تولید نان تازه و زنجیره تولید نان با دو بار پخت (بدون ضایعات) می‌گردد.

مواد و روش‌ها: محاسبات براساس فرآوری ۱۰۰۰ کیلوگرم خمیر برای هر هشت زنجیره نان انجام می‌گیرد. نان‌های لواش، بربری، تافتون و سنگک تولید شده به ترتیب جرمی در حدود ۰/۱۴۵، ۰/۴۱۰، ۰/۲۲۰ و ۰/۵۰۰ کیلوگرم داشتند. به منظور مقایسه اکسرژی‌تیک برابر بین زنجیره‌های تولید نان، مقدار رطوبت در هر دو تکنولوژی برای تمام نان‌های لواش، بربری، تافتون و سنگک به ترتیب ۹/۵، ۳۴/۱، ۱۹/۹ و ۱۷/۸ درصد در نظر گرفته شد. از نرم افزار ees و e! sankey برای تحلیل استفاده شده است.

یافته‌ها: جریان‌های اکسرژی شیمیایی بسیار از اکسرژی فیزیکی مصرف شده در تمام زنجیره‌های بررسی شده نان بزرگتر است. در زنجیره تولید نان‌های سنتی از لحاظ کارایی اکسرژی بترتیب نان لواش به روش دوبار پخت با مقدار (۷۸/۵۲ درصد)، نان سنگک با مقدار (۷۶/۰۶ درصد)، نان بربری با مقدار (۷۰/۶۴ درصد) و نان سنگک تازه با مقدار (۷۰/۲۹ درصد) بهترین کارایی اکسرژی را داشتند. کمترین مجموع اکسرژی تلف شده و برگشت‌ناپذیر در ۱۰۰۰ کیلوگرم خمیر فرآوری شده بترتیب در نان لواش به روش دوبار پخت با مقدار (۲۹۱۰ مگاژول)، نان سنگک با مقدار (۳۲۸۸ مگاژول)، نان سنگک تازه با مقدار (۳۸۶۲ مگاژول) و نان تافتون دوبار پخت با مقدار (۳۹۲۱ مگاژول) مشاهده گردید. پایین‌ترین اتلاف اکسرژی ویژه و بهترین عملکرد ترمودینامیکی بترتیب در نان لواش دوبار پخت با مقدار (۳/۸۰)، نان سنگک با مقدار (۳/۹۱)، نان تافتون با مقدار (۵/۲۳) و نان بربری با مقدار (۵/۲۴) مشاهده شد. ترکیب تحلیل اکسرژی و بکارگیری آن در حوزه مدیریت زنجیره تامین و علوم مدیریت از جمله نوآوری‌های تحقیق حاضر می‌باشد.

نتیجه‌گیری: اکثر اتلاف اکسرژی (غیر ماده) در مراحل پخت کردن، سرد کردن و منجمد کردن رخ می‌دهد. بنابراین هرگونه پیشرفت در تولید نان سنتی می‌بایست در طراحی فرایندهای موثر ترمودینامیکی این سه مرحله و بکارگیری تکنولوژی‌های مناسب متمرکز گردد.

واژه‌های کلیدی: اکسرژی، زنجیره تامین نان، نان سنتی

مقدمه

نان غذای اصلی و پایه مردم بسیاری از کشورهای جهان را تشکیل داده و روزانه قسمت اعظم از انرژی، پروتئین، املاح معدنی و ویتامین‌های گروه B مورد نیاز آنها را تامین می‌نماید. در ایران نیز حدود ۴۰-۵۰ درصد پروتئین و کالری و حدود ۲-۳ گرم املاح معدنی و قسمت اعظم نمک طعام مورد نیاز روزانه از خوردن نان تامین می‌گردد. هدف اصلی پخت نان عبارت است از به دست آوردن محصولی از آرد که دارای حالت ظاهری جذاب، حجم مناسب، ماکول و قابلیت حجم زیاد داشته باشد، بعلاوه در مورد برخی از انواع نیز دارای تخلخل یکنواخت باشد (Azizi et al., 2011). غذا یک اسلحه استراتژیک و خود اتکایی غذایی یک سپر امنیتی است (Anooshe, 2003). زنجیره تامین مواد غذایی یکی از پیچیده‌ترین و بزرگ‌ترین بخش‌های صنعت جهان است. تضمین ایمنی و کیفیت مواد غذایی، همیشه در اولویت بوده است (Green, 2010). در حال حاضر ضایعات مواد غذایی به یکی از نکته‌های چالش برانگیز در سیاست‌های اقتصادی کشورها تبدیل شده است. این امر منجر به کاهش امنیت غذایی و رفاه اقتصادی در جهان شده است (Blair & Sobal, 2006). روند افزایشی ضایعات مواد غذایی، یکی از چالش‌های جدی در اکثر کشورها به ویژه کشورهای در حال توسعه برای تامین نیازهای غذایی کافی جامعه است (Sahraeian et al., 2014). علاوه بر این، بخش اعظمی از این انرژی مواد غذایی به همراه ضایعات به هدر می‌رود. این بخش شامل آن قسمت از انرژی است که جهت تولید، فرآوری و توزیع مواد غذایی ضایع شده صرف می‌شود (Blair & Sobal, 2006). اکسرژی به‌عنوان قسمتی از انرژی که به طور کامل قابل تبدیل به دیگر شکل‌های انرژی است. اما تعریف جدید اکسرژی به این صورت است: حداکثر کارمفیدی که باعث رسیدن سیستم به تعادل ترمودینامیکی با محیط از طریق فرایندهایی که این سیستم با محیط موردنظر انجام می‌دهد (Sciubba & Wall, 2007). بر خلاف انرژی، اکسرژی می‌تواند در اثر برگشت‌ناپذیری‌های موجود از قبیل اصطکاک، احتراق، آشفستگی اختلاط و غیره، تخریب شود. با تحلیل اکسرژی، می‌توان میزان دقیق تلفات کارایی انرژی، محل و علت آن را به نحو مطلوبی پیدا و مشخص کرد. برای مشخص کردن کارایی یک سیستم، نه

مقایسه اکسرژی گزینه‌های تولیدی در زنجیره تامین نان‌های سنتی

تنها فرایندهای داخل سیستم، بلکه ارتباط و انتقال انرژی بین سیستم و محیط بیرون آن به جهت افت پتانسیل کار بایستی مورد توجه قرار گیرد (Rosen, 2002). تجزیه اکسرژی روشی مناسب برای تجزیه مقدار مصرف انرژی است که مبتنی بر قانون اول و دوم ترمودینامیک است. از طریق چنین تجزیه‌ای بخش‌های ناکارآمد سامانه مشخص می‌شود و می‌توان با ارائه راه‌حل‌های مناسب بر این اتلاف و ناکارآمدی غلبه کرد. در حالی که این نتایج با استفاده از تجزیه انرژی به دست نمی‌آید (Sajedi et al., 2015). بطور کلی، اکسرژی شیمیایی جریان‌های ماده خیلی بزرگ‌تر از اکسرژی فیزیکی است (Bosch et al., 2012). دلیل استفاده از روش اکسرژی در فرایندهای شیمیایی نیز به این جهت است که به کمک آن می‌توان انواع انرژی مانند انرژی الکتریکی و انرژی مکانیکی را به یک مقیاس تبدیل کرد که قابل مقایسه با یکدیگر باشند و در مرحله بعدی بتوان بازده کلی واحد را مورد بررسی و محاسبه قرار داد (Reikert, 1974). برخلاف سایر شاخص‌های اندازه گیری این تحلیل تمام ورودی‌ها و خروجی‌ها را در یک معیار واحد (MJ) اندازه گیری می‌کند. لذا نتیجه گیری ساده‌تر انجام می‌شود. این تحلیل در بسیاری از مطالعات مرتبط با اثرات محیط زیست و زمینه‌های مختلف دیگر مانند رشته شیمی و اخیراً در صنایع غذایی کاربرد فراوان پیدا کرده است (Zisopoulos et al., 2015). در رابطه با تحلیل اکسرژی در مدیریت زنجیره تامین مواد غذایی در داخل هیچگونه پیشینه پژوهشی صورت نگرفته است. Saniea و Ghazi (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به اکسرژی شاخصی جدید در سنجش عملکرد تحقیقاتی به معرفی و مروری بر تاریخچه، تعاریف، کاربرد و اهمیت شاخص مورد نظر پرداخته شد. بررسی متون نشان داد که اکسرژی، شاخصی ترمودینامیکی که نشان‌دهنده حداکثر کار مفیدی می‌باشد که یک سیستم به منظور ایجاد تعادل انجام می‌دهد. با توجه به نقش اکسرژی در ارزیابی عملکرد تحقیقاتی افراد و سازمان‌ها و برتری آن نسبت به شاخص H، به دلیل در نظر گرفتن تمامی مقالات و تمامی استنادات، این شاخص می‌تواند نمود جدیدی از رتبه‌بندی را ارائه دهد. Ghasemi و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های دخیل در پایداری زنجیره تامین مواد غذایی، در قالب ابعاد زنجیره تامین پایدار (اقتصادی، اجتماعی، زیست

سنگک و تافتون) در ایران بعنوان یک بررسی موردی انتخاب شده است، زیرا در ایران گندم مهمترین محصول غذایی و زراعی است و بالاترین سطح زیر کشت را بین محصولات کشاورزی به خود اختصاص داده است. سهم سطح زیر کشت گندم از کل محصولات زراعی در سال‌های گذشته، به طور میانگین ۴۰ درصد بوده است (Anon, 2001). اگرچه جمعیت ایران یک درصد جمعیت جهان است، ولی در حدود ۲/۵ درصد گندم جهان را مصرف می‌کند. در حال حاضر حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد از نان تولیدی در سطح کشور به صورت ضایعات از چرخه مصرف انسانی خارج می‌شود، به عبارت دیگر حدود ۲ میلیون تن گندم که با سختی و مشقت زیادی به دست می‌آید، به آسانی تبدیل به ضایعات و دورریز می‌شود (Esfandiyari, 2012). عملکردهای ترمودینامیکی هر چهار نوع نان با دو نوع تکنولوژی پخت (هشت زنجیره نان) با استفاده از شاخص‌های اکسرژی مانند اتلاف اکسرژی کل (CEL^۱)، اتلاف اکسرژی ویژه (SEL^۲)، کارایی اکسرژی (n) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

- شرح کلی زنجیره تامین تولید نان

دو تکنولوژی تولید برای ارزیابی عملکرد ترمودینامیکی، روش تولید نان تازه با داشتن ضایعات در نقاط مختلف زنجیره و روش تولید زنجیره تولید نان با دو بار پخت (بدون ضایعات) در شکل ۱ نشان داده شده است. دستور پخت متفاوت چهار نوع نان سنتی ایران (لواش، بربری، سنگک و تافتون) و ترکیب شیمیایی مواد خام در جداول ۲ و ۳ آورده شده است. محاسبات براساس فرآوری ۱۰۰۰ کیلوگرم خمیر برای هر هشت زنجیره نان انجام می‌گیرد. نان‌های لواش، بربری، تافتون و سنگک تولید شده به ترتیب جرمی در حدود ۰/۱۴۵، ۰/۴۱۰، ۰/۲۲۰ و ۰/۵۰۰ کیلوگرم داشتند. برای اجرای یک مقایسه اکسرژتیک برابر بین زنجیره‌های تولید نان، مقدار رطوبت در هر دو تکنولوژی برای تمام نان‌های لواش، بربری، تافتون و سنگک به ترتیب ۹/۵، ۳۴/۱، ۱۹/۹ و ۱۷/۸ درصد در نظر گرفته شد. که در جدول ۴ آورده شده است. برای محاسبه میزان رطوبت محصولات نهایی، نان‌های لواش، بربری، تافتون و سنگک به ترتیب به میزان ۱۹، ۱۳، ۱۵ و ۸

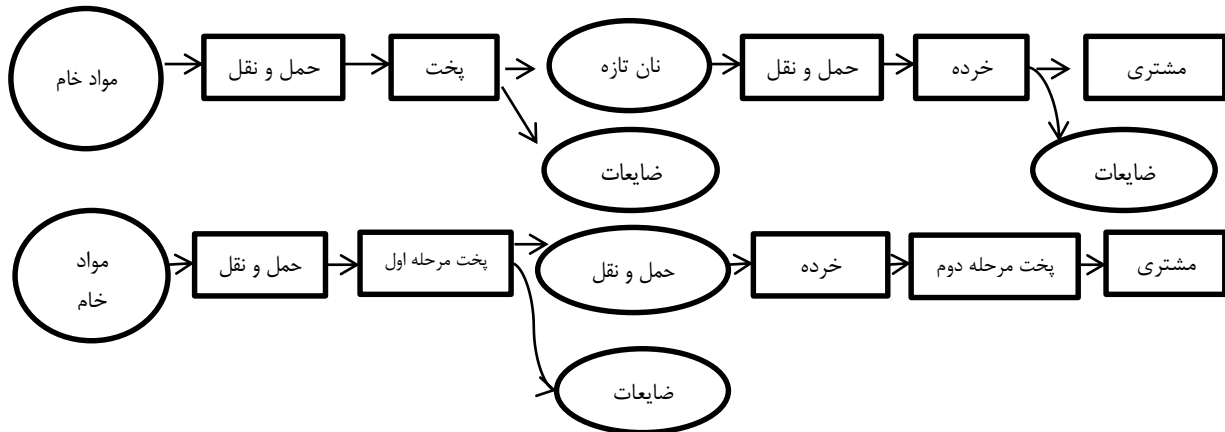
محیطی) در بخش کشاورزی و مرکبات پرداختند. نتایج پژوهش آنها حاکی از آن است که به ترتیب شاخص‌های بهره‌وری و تمرکز بازار، مصرف آب، مصرف انرژی، بازیافت زباله، حمل و نقل، حجم استخدام، کیفیت استخدام و تعادل در استخدام دارای بالاترین میزان اهمیت هستند. نتایج تحقیق Dincer و Ratlamwala (2012) بیانگر این موضوع است که تجزیه تحلیل انرژی به تنهایی برای تعیین اجرای هر سیستم کافی نیست و تجزیه تحلیل اکسرژی بایستی مد نظر گرفته شود تا طرح مناسب‌تری برای اجرای یک سیستم ارائه شود. نتایج پژوهش Nazghelichi و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که با افزایش اندازه قطعه‌های هویج، کاهش عمق و کاهش دما تلفات اکسرژی کاهش می‌یابد. بازده اکسرژی نیز در بالاترین دما کمترین عمق و بزرگترین اندازه قطعه‌های هویج بیشترین مقدار را داشته است. Varteparvar و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی به تحلیل اکسرژی خشک‌کن ترکیبی بستر سیال - ثابت پرداختند. نتایج نشان داد تلفات اکسرژی طبقه بالایی کمتر و بازدهی آن بیشتر از طبقه پایین می‌باشد. همچنین افزایش ضخامت طبقه پایین سبب افزایش تلفات و کاهش بازدهی اکسرژی طبقه بالا می‌شود در حالی که که افزایش ضخامت طبقه بالایی موجب کاهش تلفات و افزایش بازدهی طبقه پایین می‌شود (Banasik et al., 2017). در تحقیقی به تحلیل گزینه‌های تولید جایگزین برای کارایی زیست محیطی زنجیره تامین مواد غذایی با رویکرد بهینه‌سازی چند هدفه پرداخته شد. گزینه‌های تولید را با توجه به عملکرد اقتصادی و محیطی قبل از اینکه در زنجیره تامین مواد غذایی بکار گرفته شوند، مورد ارزیابی قرار دادند. با توسعه یک مدل ریاضی ارزیابی کمی از گزینه‌های تولید جایگزین برای جلوگیری از ضایعات در زنجیره تامین مواد غذایی یعنی پیشگیری، بازیافت و دفع مواد دور ریختنی به عمل آوردند (Jawad et al., 2017) در پژوهشی به بهبود پایداری زنجیره تامین با استفاده از تجزیه و تحلیل اکسرژی پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهند که جوامع می‌توانند از مزایای بهینه‌سازی اکسرژی استفاده بیشتری نمایند. در این مقاله، عملکرد ترمودینامیکی یک فرآیند تکنولوژی تولید نان تازه و تکنولوژی جلوگیری از تولید ضایعات نان را مورد بررسی قرار می‌دهیم. تولید چهار نوع نان سنتی ایران (لواش، بربری،

¹ Cumulative Exergy Losses ² Specific Exergy Losses

مقایسه اکسرژی گزینه‌های تولیدی در زنجیره تامین نان‌های سنتی

انرژی لازم برای تبخیر آب و تولید بخار را فراهم می‌نماید. فاصله انتقال مواد اولیه تا نانویی ۱۰۰ کیلومتر و انتقال محصول به خرده‌فروشی ۸۰ کیلومتر برای هر دو تکنولوژی در نظر گرفته می‌شود. فرضیات مربوط به حمل و نقل در جدول ۶ نشان داده شده است.

درصد آب اولیه اضافه شده در طول خمیر و هنگام پخت تبخیر می‌شود. همه نان‌ها چگالی خاص یکسانی در حدود ۰/۰۵ متر مکعب/کیلوگرم دارند. پارامترهای شبیه‌سازی فرایند اصلی در جدول ۵ آورده شده است. مصرف انرژی برای پخت نان در هر دو تکنولوژی بوسیله گاز طبیعی می‌باشد که



شکل ۱- زنجیره تامین روش تولید نان تازه بالا، زنجیره تامین روش تولید نان با روش دوبار پخت پایین

جدول ۱- وزن نان‌های تولیدی (Esfandiyari, 2012)

سنگک	تافتون	بربری	لواش	نوع نان
۰/۵۰۰	۰/۲۲۰	۰/۴۱۰	۰/۱۴۵	وزن (کیلوگرم)

جدول ۲- دستور تهیه خمیر و ترکیبات (Esfandiyari, 2012; Kaviani, 2011; Azizi, 2011)

مواد خام	خمیر نان تازه (%)				خمیر نان دو مرحله‌ای (%)		
	لواش	بربری	تافتون	سنگک	لواش	بربری	تافتون
نحوه تهیه خمیر							
آرد گندم	۶۱	۵۶	۵۹/۴	۵۱/۵	۵۵/۷	۵۲/۳	۵۶/۲
بلغور	-	-	-	-	-	-	-
خمیر مایه (مخمر)	۰/۶	۰/۷	۰/۷	۰/۵	۰/۵	۰/۶	۰/۵
نمک	۱/۰	۰/۹	۱/۰	۰/۹	۰/۹	۰/۸	۰/۹
بهبود دهنده نان	۰/۶	۰/۷	۰/۹	۰/۷	۰/۶	۰/۶	۰/۸
اب	۳۶/۸	۴۱/۷	۳۸	۴۶/۴	۳۱/۲	۳۵/۴	۳۰/۶
تخمیر شده	-	-	-	-	۱۱/۱	۱۰/۳	۱۱
ترکیبات							
ماده خشک	۵۳/۹	۵۹/۷	۵۲/۶	۵۴/۹	۵۲/۱	۵۷/۹	۵۰/۸
پروتیین	۸/۷	۸/۱	۸/۱	۸/۴	۸/۴	۷/۴	۷/۲
کربوهیدرات	۵۴/۱	۵۱/۲	۵۲/۸	۴۹/۵	۵۲/۷	۴۹/۷	۵۱/۴
ساده	۱/۰	۱/۱	۰/۹	۰/۹	۱/۰	۱/۱	۱/۰
مرکب	۵۳	۴۹/۸	۵۱/۷	۴۸/۱	۵۱/۶	۴۸/۵	۵۰/۳
فیبر	۰/۶	۰/۷	۰/۶	۰/۷۵	۰/۶	۰/۷	۰/۶
چربی	۰/۴	۰/۹	۰/۴	۰/۶	۰/۴	۰/۹	۰/۴
نمک	۱/۰	۰/۹	۱/۰	۰/۹	۱/۰	۰/۹	۱/۰
خاکستر	۰/۹	۰/۸۱	۰/۸۱	۱/۶	۰/۸	۰/۷	۰/۷
دی‌اکسید کربن	-	-	-	-	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
اتانول	-	-	-	-	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱

جدول ۳- ترکیبات عناصر تشکیل دهنده (Pylar, 1988; Reed & Nagodawithana, 1991; Sonneveld, 2013)

ترکیبات عناصر تشکیل دهنده	ماده خشک	پروتئین	کربوهیدرات			چربی	نمک	خاکستر
			ساده	مرکب	فیبر			
آرد گندم	۸۵	۱۲/۱	۱/۸	۶۹/۲	۰/۴	۱/۱	-	۰/۴
بلغور	۸۵	۱۰	۱/۸	۷۰/۴	۰/۴	۲	-	۰/۴
خمیر مایه	-	۶۰	-	۴۰	-	-	-	-
بهبود دهنده نان	۹۳	۶۰/۴	۸/۴	۸/۴	۰/۹	۰/۹	-	-

- فرآوری خمیر

آرد بعد از الک شدن در تغار ریخته شده پس از اضافه نمودن آب به مقدار کافی و سپس نمک، شکر و مخمر توسط همزن زده می‌شود. هدف از به کارگیری دستگاه‌های مخلوط کننده خمیر، آماده سازی خمیر در زمانی کوتاه است. مدت زمان و شدت ورز دادن خمیر در این دستگاه‌ها دو عامل مهم و مؤثر در فرآیند ورز دادن خمیر گندم به حساب می‌آید. بنابراین در مخلوط‌کنهای مدرن امروزی به این مسئله توجه شده است و با افزایش تعداد دور، تغییر دور و تغییر شکل بازوی متحرک در این دستگاه‌ها، قدرت ورز دادن خمیر افزایش پیدا کرده و مدت زمان بهینه ورز دادن خمیر به میزان قابل توجهی کاهش یافته است (Sofiabadi, 2011). مراحل فرآوری اولیه ترکیب، تخمیر، تقسیم و آماده‌سازی در هر هشت زنجیره تولید نان صنعتی مشترک می‌باشد. ابتدا، مواد خام بوسیله همزن معمولی به مدت ۱۰ دقیقه یا با دور تند به مدت ۳ دقیقه با هم مخلوط می‌شوند (Azizi, 2011). خمیر به مدت یک ساعت در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد در تخمیرکننده‌هایی با ظرفیت ۲۰۰ نان که هر یک ۶/۲ کیلو وات انرژی مصرف می‌کنند، تخمیر می‌شود. در طول تخمیر دو درصد شکر ساده به اتانول و دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شود. مصرف برق برای برش خمیر به تکه‌های مجزا ۰/۶ کیلو وات در هر ۱۰۰۰ تکه است (Bakery proofer, 2013) (هر تکه به ترتیب برای نان لواش، بربری، تافتون و سنگک ۰/۱۴۵، ۰/۴۱۰، ۰/۲۲۰ و ۰/۵۰۰ کیلوگرم می‌باشد). در پایان تخمیر در شرایط یکسان تا یک ساعت دیگر ادامه پیدا کرده و برق بیشتری مصرف می‌گردد.

- روش تولید نان تازه

در طی فرآیند پخت تغییرات متنوع و پیچیده‌ای در خمیر ایجاد می‌شود که در نهایت موجب به دست آمدن نان سبک با حالت اسفنجی، مطبوع و خوشمزه و قابل هضم از خمیر

می‌شود. پخت در یک اجاق پیوسته به ترتیب برای نان لواش، بربری، تافتون و سنگک در دمای ۳۳۰، ۲۳۰، ۳۲۰ و ۳۰۰ درجه و به مدت ۱/۵، ۱۰، ۲ و ۱۵ دقیقه انجام می‌گیرد. فرض بر این است که اتانول و دی‌اکسید کربن حاصل از فعالیت مخمر در طول پخت نان حذف می‌شوند. انرژی لازم برای پخت نان، لواش، بربری، تافتون و سنگک، به ترتیب برای تبخیر آب ۱۷، ۱۳، ۱۷ و ۱۵ درصد می‌باشد. که از این میزان به ترتیب ۱۱، ۱۰، ۱۱ و ۶ درصد انرژی برای تبدیل خمیر به پوسته نان، لواش، بربری، تافتون و سنگک استفاده می‌گردد (Azizi, 2011). توزیع انرژی در اجاق بصورت ۲۵ درصد انرژی صرف پخت محصول، ۱۵ درصد برای تولید بخار برای شکل‌گیری رویه نان و ۶۰ درصد نیز اتلاف گرمایی می‌باشد (Anon, 2010). اجاق با گاز طبیعی که مقدار گرمای پایین آن ۵۴ مگاژول/کیلوگرم است گرم می‌شود. جریان بخار در دمای ۱۲۳/۳ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲۲۰ کیلوپاسکال بوسیله یک کوره گازی معمولی با کارایی انرژی ۷۰ درصد ایجاد می‌شود (Therkelsen et al., 2017). در نتیجه نان لواش، بربری، تافتون و سنگک پخته شده به ترتیب مدت ۱۰، ۱۵، ۱۵ و ۱۵ دقیقه سرد می‌شود تا دمای نان به ۴۰ درجه سانتی‌گراد برسد (Azizi, 2011). فرآیند سرد کردن بوسیله سه پنکه (هر کدام ۴۰۰ وات) برای هر ۴۰ کیلوگرم نان صورت می‌گیرد (Anon, 2011). در طول خنک کردن، ۰/۰۲۸ کیلوگرم آب در هر یک کیلوگرم نان از بین می‌رود (Wiggins & Cauvain, 2007). با توجه به وابستگی میزان کاهش رطوبت به شرایط عملیاتی (دما، ضخامت نان و ...) و فقدان اطلاعات علمی در این خصوص در ایران فعلاً مقدار کاهش به تبعیت از پژوهش‌گران خارجی ۰/۰۲۸ کیلوگرم آب به ازاء هر کیلوگرم نان در نظر گرفته شده است. نان‌های سرد شده بسته بندی و به خرده‌فروشی انتقال داده می‌شود، میزان مصرف برق برای این مرحله ۲/۸ کیلو وات است (DXDZ-350 Horizontal flow packing)

مقایسه اکسرژی گزینه‌های تولیدی در زنجیره تامین نان‌های سنتی

(machine, 2013). و در پایان نان به مشتریان فروخته می‌شود، در خرده فروشی به میزان ۱۱/۲ درصد نان به صورت ضایعات درمی‌آید (Blonk, 2006).

جدول ۴ - ترکیبات نهایی نان بعد از پخت (Kaviani, 2011)

ترکیبات	لواش	بربری	تافتون	سنگک
ماده خشک	۹۰/۵	۶۵/۹	۸۰/۱	۷۲/۲
پروتیین	۱۰/۵	۱۰	۱۰/۵	۱۱
کربوهیدرات	۶۲	۵۶/۸	۶۰/۴	۵۵/۱
ساده	۱/۲	۱/۱	۱/۲	۱/۱
مرکب	۶۰/۵	۵۵/۳	۵۹/۱	۵۳/۷
فیبر	۰/۲۶	۰/۹	۰/۳	۰/۶۶
چربی	۰/۵	۰/۶	۰/۵	۰/۴
نمک	۱/۱	۱/۰	۱/۱	۱/۰
خاکستر	۲/۵۵	۱/۸۵	۱/۳۹	۱/۳۴

جدول ۵ - پارامترهای شبیه سازی (Azizi, 2011)

قسمت انجام کار	زمان (دقیقه)	دما (سانتی‌گراد)	برق (مگاژول / کیلوگرم)	ضایعات مواد (%)
مخلوط کردن				
معمولی	۱۰	۲۰	۰/۰۱۵	۰/۵
تند	۳	۲۰	۰/۰۴۰	۰/۵
تخمیر اولیه				
لواش	۹۰	۲۸	۰/۱۳۳	۰/۸۳
بربری	۱۲۰	۲۸	۰/۲۲۲	۰/۳۰
تافتون	۹۰	۲۸	۰/۱۳۹	۰/۴۰
سنگک	۵۰	۲۸	۰/۲۸۰	۰/۷۰
تقسیم کردن				
آماده کردن (تخمیر ثانویه)			۰/۰۰۲	-
لواش	۳۰	۲۰	۰/۰۸	-
بربری	۳۴	۲۲	۰/۰۸۲	-
تافتون	۳۰	۲۵	۰/۰۶۵	-
سنگک	-	-	-	۴۰
تولید نان تازه				
پخت				
لواش	۱،۵	۳۳۰	۰/۳۲	۰/۵
بربری	۱۰	۲۳۰	۰/۶۴۳	۰/۵
تافتون	۲	۳۳۰	۰/۴۷۱	۰/۵
سنگک	۱۵	۳۰۰	۰/۹۴۱	۰/۵
سرد کردن				
لواش	۱۰	۴۰	۰/۱۶۲	-
بربری	۱۵	۴۰	۰/۲۲۹	-
تافتون	۱۵	۴۰	۰/۲۲۱	-
سنگک	۱۵	۴۰	۰/۲۳۷	-

ادامه جدول ۵

قسمت انجام کار	زمان (دقیقه)	دما (سانتی‌گراد)	برق (مگاژول / کیلوگرم)	ضایعات مواد (%)
بسته‌بندی				
لواش	۳۰	-	۰/۰۰۷	-
بربری	۲۰	-	۰/۰۰۵	-
تافتون	۲۵	-	۰/۰۰۶	-
سنگک	۲۰	-	۰/۰۰۵	-
خرده فروشی	-	-	-	۱۱/۵
پخت برای بار اول در روش دوم				
لواش	۱/۵	۱۶۰	۰/۱۶۵	۰/۵
بربری	۱۰	۱۶۰	۰/۵۸۳	۰/۵
تافتون	۲	۱۶۰	۰/۲۳۶	۰/۵
سنگک	۱۵	۱۶۰	۰/۸۵۳	۰/۵
منجمد کردن				
لواش	۱۰	-۴۰	۰/۳۷۵	-
بربری	۲۰	-۴۰	۰/۷۶۱	-
تافتون	۱۰	-۴۰	۰/۴۴۱	-
سنگک	۱۵	-۴۰	۰/۷۳۵	-
پخت برای بار دوم در خرده فروشی				
لواش	۱۰	۲۲۰	۰/۸۸۹	-
بربری	۱۰	۲۲۰	۰/۹۰۷	-
تافتون	۱۰	۲۲۰	۰/۸۹۱	-
سنگک	۱۰	۲۲۰	۰/۹۰۹	-
بسته بندی در خرده فروشی				
لواش	-	-	۰/۰۰۱	-
بربری	-	-	۰/۰۰۱	-
تافتون	-	-	۰/۰۰۱	-
سنگک	-	-	۰/۰۰۱	-

- روش تولید نان دوبار پخت

در این روش پخت نان لواش، بربری، تافتون و سنگک در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در مدت زمان ۱/۵، ۱۰، ۲ و ۱۵ دقیقه در یک اجاق پیوسته که با گاز طبیعی کار می‌کند، انجام می‌گیرد. فرض بر این است که اتانول و دی-اکسید کربن حاصل از فعالیت مخمر در طول پخت نان حذف می‌شوند. انرژی لازم برای پخت نان، لواش، بربری، تافتون و سنگک، به ترتیب برای تبخیر آب ۱۰، ۱۴، ۱۲ و ۵ درصد می‌باشد. که از این میزان به ترتیب ۵، ۶ و ۴ درصد انرژی برای تبدیل خمیر به پوسته نان، لواش، بربری، تافتون و سنگک استفاده می‌گردد. شرایط لازم برای توزیع گرما و تولید بخار با شیوه تولید نان تازه یکسان است. در نتیجه، نان

لواش، بربری، تافتون و سنگک در دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد بترتیب در مدت زمان ۱۰، ۲۰، ۱۰ و ۱۵ دقیقه منجمد می‌گردد (Azizi, 2011). انرژی لازم با روش مشابه برای سرد کردن محاسبه می‌گردد. با این فرض که وقتی ۷۰ درصد آب منجمد می‌شود جرم نان به دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد می‌رسد و ۳ درصد آب آن از بین می‌رود (Hamdami et al., 2007). در نهایت نان‌های منجمد بسته‌بندی و در کامیون‌های یخچال‌دار به خرده فروشی ارسال می‌گردد. میزان مصرف انرژی در فرایند بسته‌بندی ۱/۵ کیلو وات می‌باشد (Rentian, 2013). در پایان نان لواش، بربری، تافتون و سنگک به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد پخته می‌شوند، که در این فرایند به ترتیب ۴، ۶ و ۴ درصد آب نان‌ها از بین می‌رود، سپس به

بابت رساندن سیستم به حالت تعادل با محیط بدست می‌آید و به صورت رابطه (۶) می‌باشد:

$$EX = EX_k + EX_p + EX_{ph} + EX_{ch} \quad (۶)$$

که در اکثر فرایندها از اکسرژی جنبشی (EX_k) و پتانسیل (EX_p) صرف‌نظر می‌گردد. بنابراین اکسرژی کل از مجموع اکسرژی فیزیکی، شیمیایی و مخلوط کردن بدست می‌آید (Kotas, 1995).

$$EX = EX_{ph} + EX_{ch} + EX_{mix} \quad (۷)$$

اکسرژی فیزیکی شامل اکسرژی گرمایی، فشار و الکتریکی می‌گردد. برای محاسبه آن از رابطه ۸ استفاده گردید: (Zisopoulos et al., 2015).

$$EX_{i,physical} = EX_{i,thermal} + EX_{i,presure} + EX_{i,electrical} \quad (۸)$$

برای محاسبه اکسرژی گرمایی از رابطه ۹ استفاده شد که در آن m_i جرم کلی جریان i و $C_{p,i}$ ظرفیت گرمایی می‌باشند: (Zisopoulos et al., 2015).

$$EX_{i,thermal} = m_i c_{p,i} \left[(T_i - T_0) - T_0 \ln \left(\frac{T_i}{T_0} \right) \right] \quad (۹)$$

برای محاسبه اکسرژی فشار از رابطه ۱۰ استفاده گردید که در آن R ثابت جهانی گاز (J/mol/K) و P_i فشار جریان گازی (کیلوپاسکال) می‌باشد:

$$EX_{i,presure} = m_i \frac{RT_0}{0.018} \ln \left(\frac{P_i}{P_0} \right) \quad (۱۰)$$

برای محاسبه اکسرژی شیمیایی از رابطه ۱۱ استفاده شد که در آن $b_{o,j}$ اکسرژی شیمیایی خاص مولفه j در جریان i و X_i کسر جرمی می‌باشد: (Zisopoulos et al., 2015).

$$EX_{i,chemical} = m_i \sum (b_{o,j} x_j) \quad (۱۱)$$

برای محاسبه اکسرژی مخلوط کردن از رابطه ۸ استفاده گردید که در آن N_i تعداد کل مول‌های جریان i که از مقادیر میانگین وزن مولکولی و a_j فعالیت مولفه j است که با کسر مولی این مولفه در ترکیب کلی متناسب می‌باشد: (Zisopoulos et al., 2015).

$$EX_{mix} = N_i R T_0 \sum (x_j \ln(a_j)) \quad (۱۲)$$

مشتری فروخته می‌شود. با این روش، خرده‌فروش بر اساس تقاضا نان پخت می‌کند و ضایعات وجود ندارد.

جدول ۶ - فرضیات مرتبط با حمل و نقل (Koroneos & Tassou et al., 2009; McKinnon, 2012; Nanaki, 2008)

ظرفیت (تن)	£
نوع سوخت	گازوئیل
حجم (مترمکعب)	۱۸
میزان پایین گرما (مگاژول/ مترمکعب)	۴۲/۶
شاخص کیفیت اکسرژی	۱/۰۷
بهره وری سوخت (لیتر/کیلومتر)	۰/۳۳
سوخت برای خنک کردن توسط یخچال (لیتر/ساعت)	۳
متوسط سرعت (کیلومتر/ساعت)	۶۰

- طراحی فرایند

جریان‌های ورودی و خروجی در هر فرایند در جدول ۷ نشان داده شده است. جرم، مقدار انرژی و اکسرژی برای هر جریان محاسبه شده است، سپس از این داده‌ها برای ساخت نمودارهای جرم و اکسرژی با استفاده از نرم‌افزار Sankey 4.5 استفاده گردیده است. رابطه توازن جرم عبارتست از: (Zisopoulos et al., 2015):

$$\sum m_{i,in} = \sum m_{i,out} \quad (۱)$$

$$m_{ij} = m_i x_j \quad (۲)$$

که m_i گردش کلی جرم برحسب کیلوگرم، m_{ij} و x_j به ترتیب مقدار کلی جرم مولفه j و کسر جرمی در جریان i می‌باشند. در توازن انرژی فرض بر این است تنها شکل‌های مربوط به انرژی، گردش انرژی الکتریکی و گرمایی می‌باشند (Zisopoulos et al., 2015).

$$\sum Q_{i,in} + \sum E_i = \sum Q_{i,out} + Q_{losses} \quad (۳)$$

$$Q_i = m_i c_{p,i} (T_i - T_0) \quad (۴)$$

$$c_{p,i} = \sum (c_{p,j} x_j) \quad (۵)$$

تحلیل اکسرژی، ترکیب قانون‌های اول و دوم ترمودینامیک می‌باشد. اکسرژی ماکزیمم کاری است که از

تامین برای فرآوری مقادیر خاصی از مواد خام می‌باشد.

$$SEL = \frac{CEL}{M_{breadsold}} \quad (15)$$

(اتلاف اکسرژی ویژه)

شاخص اتلاف اکسرژی ویژه (مگاژول/کیلوگرم) که اکسرژی تلف شده برای تولید ۱ کیلوگرم محصول نهایی آماده به مصرف را نشان می‌دهد.

$$n = \frac{\sum EX_{i,out}}{\sum EX_{i,in}} \times 100 \quad (16)$$

(درصد بازدهی کلی اکسرژی)

کارایی اکسرژی (n) درصدی که نشان می‌دهد گردش‌های اکسرژی چگونه در طول زنجیره تامین حفظ می‌شوند. در ادامه برای محاسبه اکسرژی به یک سری اطلاعات پایه و مفروضات نیازمندیم. در این پژوهش فرض بر این است که دی‌اکسید کربن و اتانول حاصل از فعالیت نان فعالیت مخمر در طول پخت حذف می‌شوند. محیط مرجع روی $T_0 = 293$ درجه کلوین و $P_0 = 101$ کیلوپاسکال و مقدار رطوبت $W_0 = 0.008$ کیلوگرم آب در هر کیلوگرم هوا تنظیم شده است که با رطوبت نسبی ۵۶٪ متناظر است.

در طول فرایند برگشت‌ناپذیر اکسرژی از بین می‌رود. برای محاسبه اکسرژی از بین رفته از رابطه ۱۳ استفاده شد: (Zisopoulos et al., 2015).

$$EX_{destroyed} = EX_{i,in} - EX_{i,out} - EX_{i,wasted} \quad (13)$$

(اکسرژی از بین رفته)

در اینجا منظور از اکسرژی از بین رفته^۱، مقدار اکسرژی ای است که در طول فرآیند برای همیشه نابود می‌شود و از بین می‌رود. در حالیکه منظور از اکسرژی تلف شده^۲، جمع کل مقدار اکسرژی ای است که در محیط ضایع می‌شود و از بعد نظری قابل استفاده مجدد است.

و در پایان شاخص‌های لازم برای تحلیل اکسرژی بصورت روابط ۱۴، ۱۵ و ۱۶ محاسبه می‌گردد (Zisopoulos et al., 2015).

$$CEL = EX_{destroyed} + EX_{i,wasted} \quad (14)$$

(اتلاف اکسرژی فزاینده)

شاخص اتلاف اکسرژی فزاینده مجموع کل اکسرژی تلف شده و برگشت‌ناپذیری تولید شده در طول کل زنجیره

جدول ۷ - تشریح جریان برای آنالیز گردش جرم

فرایند	جریان ورودی	جریان خروجی
مخلوط کردن	آرد سفید	
	بلغور	
	آب	خمیر
	مایه خمیر	
	بهبود دهنده	
تخمیر	نمک	خمیر تخمیر شده
	خمیر	خمیر تخمیر شده
تقسیم کردن	خمیر تخمیر شده	خمیر تخمیر شده
	خمیر تخمیر شده	خمیر تخمیر شده
آماده کردن (تخمیر دوم)	خمیر تخمیر شده	خمیر تخمیر شده
	خمیر تخمیر شده	نان پخت شده
پخت	خمیر تخمیر شده	نان پخته شده با حرارت کم
	خمیر تخمیر شده	نان سرد شده
پخت بار اول	خمیر تخمیر شده	نان منجمد کردن
	نان پخت شده	نان منجمد شده با حرارت کم
سرد کردن	نان پخت شده	نان بسته بندی شده
	نان پخت شده با حرارت کم	نان بسته بندی شده
منجمد کردن	نان بسته بندی شده	نان بسته بندی شده
	نان بسته بندی شده	نان بسته بندی شده
بسته بندی در نانواپی	نان بسته بندی شده	نان بسته بندی شده
	نان بسته بندی شده	نان بسته بندی شده
بسته بندی در خرده فروشی	نان بسته بندی شده	نان بسته بندی شده
	نان بسته بندی شده	نان بسته بندی شده
پخت در خرده فروشی	نان بسته بندی شده	نان بسته بندی شده
	نان بسته بندی شده	نان بسته بندی شده

¹ Destroyed Exergy

² Watsed Exergy

مقایسه اکسرژی گزینه‌های تولیدی در زنجیره تامین نان‌های سنتی

جدول ۸ - ظرفیت گرمایی (c_p)، اکسرژی ویژه شیمیایی (b_0) و جرم مولکولی (N_i) (Szargut, 1989; Goesaert et al., 2005)

ترکیبات	c_p (کیلوژول / کیلوگرم / کلونین)	b_0 (مگاژول / کیلوگرم)	N_i (کیلوگرم / مول)
آب (l)	۴/۱۸	۰/۰۵	۰/۰۱۸
آب (g)	۱/۸۴	۰/۵۳	۰/۰۱۸
پروتئین	۱/۷۱	۲۲/۶۱	۸۰۰۰
کربوهیدرات ساده	۱/۵۵	۱۶/۷۰	۰/۱۸۰
کربوهیدرات مرکب	۱/۵۵	۱۷/۶۴	۴۸/۶۰۰
فیبر	۱/۵۵	۱۳/۸۰	۲۲۰۰۰
چربی	۱/۹۳	۴۳/۰۹	۰/۲۸۰
نمک	۰/۸۴	۰/۲۴	۰/۰۵۸
خاکستر	۰/۸۸	۰/۰۲	۰/۰۳۵
دی‌اکسیدکربن	۰/۹۲	۰/۲۴	۰/۰۴۴
اتانول (g)	۲/۴۴	۳۰/۱۴	۰/۰۴۶
دانسیته پلی‌اتیلن	۲/۱۰	۴۸/۴۸	-
مقاوا	۱/۳۴	۱۶/۸۳	-

یافته

جدول ۹ - میزان محصول و اکسرژی شیمیایی خاص برای هر دو زنجیره تامین و هر چهار نوع نان سنتی

زنجیره تامین نان تازه				زنجیره تامین نان با روش دوبار پخت				نوع نان
لواش	بربری	تافتون	سنگک	لواش	بربری	تافتون	سنگک	
۶۹۸	۷۴۳	۷۱۲	۸۳۴	۶۹۸	۷۴۳	۷۵۰	۸۴۰	محصول در ۱۰۰۰ کیلوگرم
۴۸۱۴	۱۸۱۲	۳۲۳۶	۱۶۶۸	۴۸۱۴	۱۸۱۲	۳۴۰۹	۱۶۸۰	تعداد نان در ۱۰۰۰ کیلوگرم
۱۳/۲	۱۱/۳	۱۲/۱	۱۲/۲	۱۳/۲	۱۱/۳	۱۲/۱	۱۲/۲	اکسرژی شیمیایی خاص

۱۰۲

جدول ۱۰ - اکسرژی محاسبه شده برای هر دو زنجیره تامین و هر چهار نوع نان سنتی

زنجیره تامین نان تازه				زنجیره تامین نان با روش دوبار پخت				نوع نان
لواش	بربری	تافتون	سنگک	لواش	بربری	تافتون	سنگک	
۴۸۷۳	۴۷۴۲	۴۵۹۰	۳۸۶۲	۴۸۷۳	۴۷۴۲	۳۹۲۱	۳۲۸۸	CEL
۶/۹۸	۶/۳۸	۶/۴۵	۴/۶۳	۶/۹۸	۶/۳۸	۵/۲۳	۳/۹۱	SEL
۶۳/۱۲	۶۳/۵۴	۶۴/۵۴	۷۰/۲۹	۶۳/۱۲	۶۳/۵۴	۷۰/۲۴	۷۶/۰۶	n(%)

هشت مورد زنجیره تامین دارند عبارتند از: مخلوط آرد و مواد اولیه (در حدود ۱۰۴۸۲ تا ۱۱۷۵۲ مگاژول) و گاز طبیعی (از ۸۶۵ تا ۱۶۵۴ مگاژول) و دیزل (از ۵۵۰ تا ۵۶۲ مگاژول). اکسرژی نان‌ها بر اساس دستورالعمل و روش‌های بکار رفته در زنجیره تامین آنها با هم متفاوت است، و نشان دهنده میزان بازدهی مواد می‌باشد. اکسرژی شیمیایی خاص برای تمام نان‌های تولید شده در جدول ۱ نشان داده شده است. نان لواش با بالاترین اکسرژی شیمیایی خاص (۱۳/۲) نسبت به سه نان دیگر در دو روش پخت می‌باشد، که علت آن

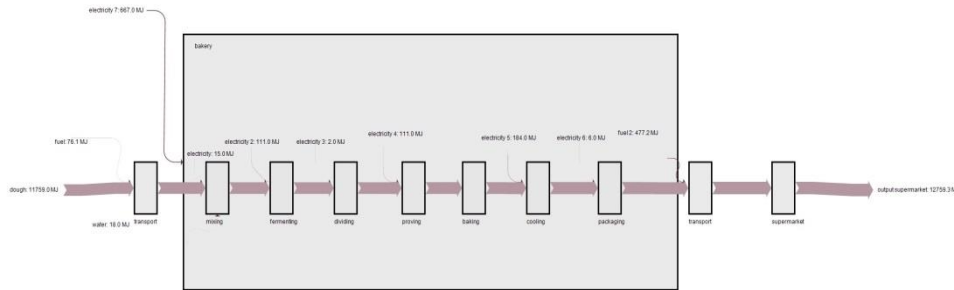
نتایج مقایسه اکسرژی در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است اکسرژی شیمیایی چربان عالی ماده برتری محسوس نسبت به اکسرژی فیزیکی (برق) دارند. وقتی اکسرژی شیمیایی از نمودارها حذف می‌شود، می‌توان نقاطی که اکسرژی فیزیکی از بین رفته را مشخص کرد، این نقاط بیشتر در فرایندهای پخت، سرد شدن و انجماد قرار دارند. ورودی‌هایی که بالاترین مقدار اکسرژی شیمیایی برای فرآوری ۱۰۰۰ کیلوگرم خمیر از هر

بحث

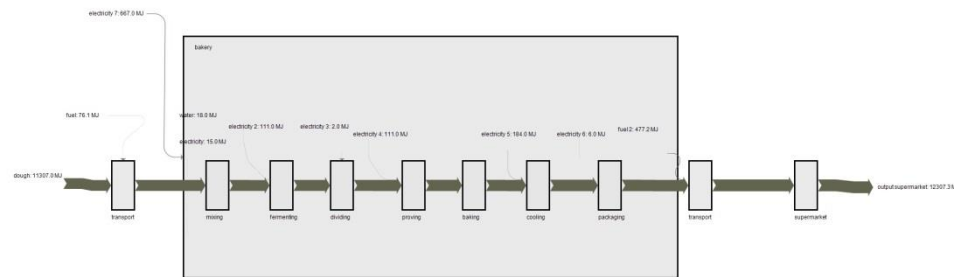
این زنجیره تامین بالاترین بازدهی مواد را دارد، پس می توان فرض کرد که هیچ اتلاف نانی در این زنجیره اتفاق نمی افتد (پخت بر اساس تقاضا)، علت دیگر اینکه مقدار تبخیر آب نان سنگگ نسبت به نان های دیگر کمتر است.

مقدار ماده خشک و پروتئین بالاتر است. زنجیره تامین نان صنعتی سنگگ با روش دوبارپخت بالاترین بازده اکسرژی شیمیایی را دارد زیرا بالاترین بازدهی مواد (۸۴۰۰ گرم) و اکسرژی شیمیایی خاص (۱۲/۲) را دارا می باشد. از آنجایی که

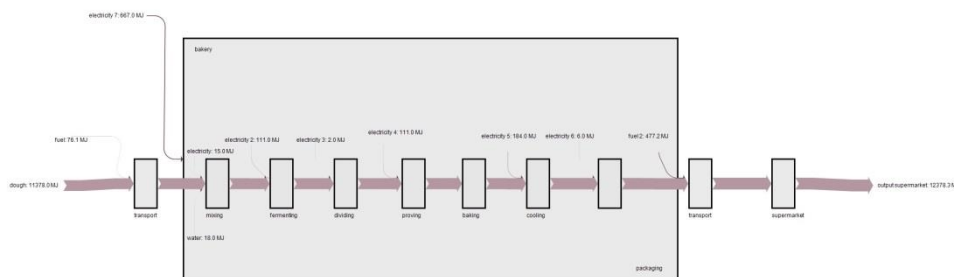
lavash fb



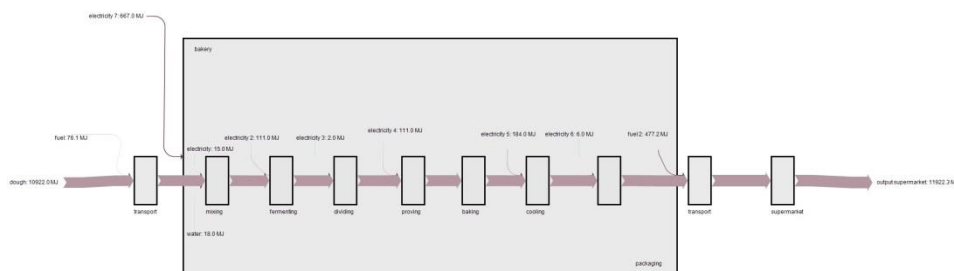
barbari fb



taftun fb



sangak fb



شکل ۲- نمودار سانکی (نحوه مصرف اکسرژی) چهار نوع نان سنتی به روش تولید نان تازه

- water
- electricity
- electricity 2
- electricity 3
- electricity 4
- electricity 5
- electricity 6
- electricity 7
- fuel 2
- fuel
- dough
- fuel
- output transport
- output mixing
- output fermenting
- output dividing
- output proofing
- output baking
- output cooling
- output packaging
- output transport2
- output supermarket

- water
- electricity
- electricity 2
- electricity 3
- electricity 4
- electricity 5
- electricity 6
- electricity 7
- fuel 2
- fuel
- dough
- fuel
- output transport
- output mixing
- output fermenting
- output dividing
- output proofing
- output baking
- output cooling
- output packaging
- output transport2
- output supermarket
- electricity 7

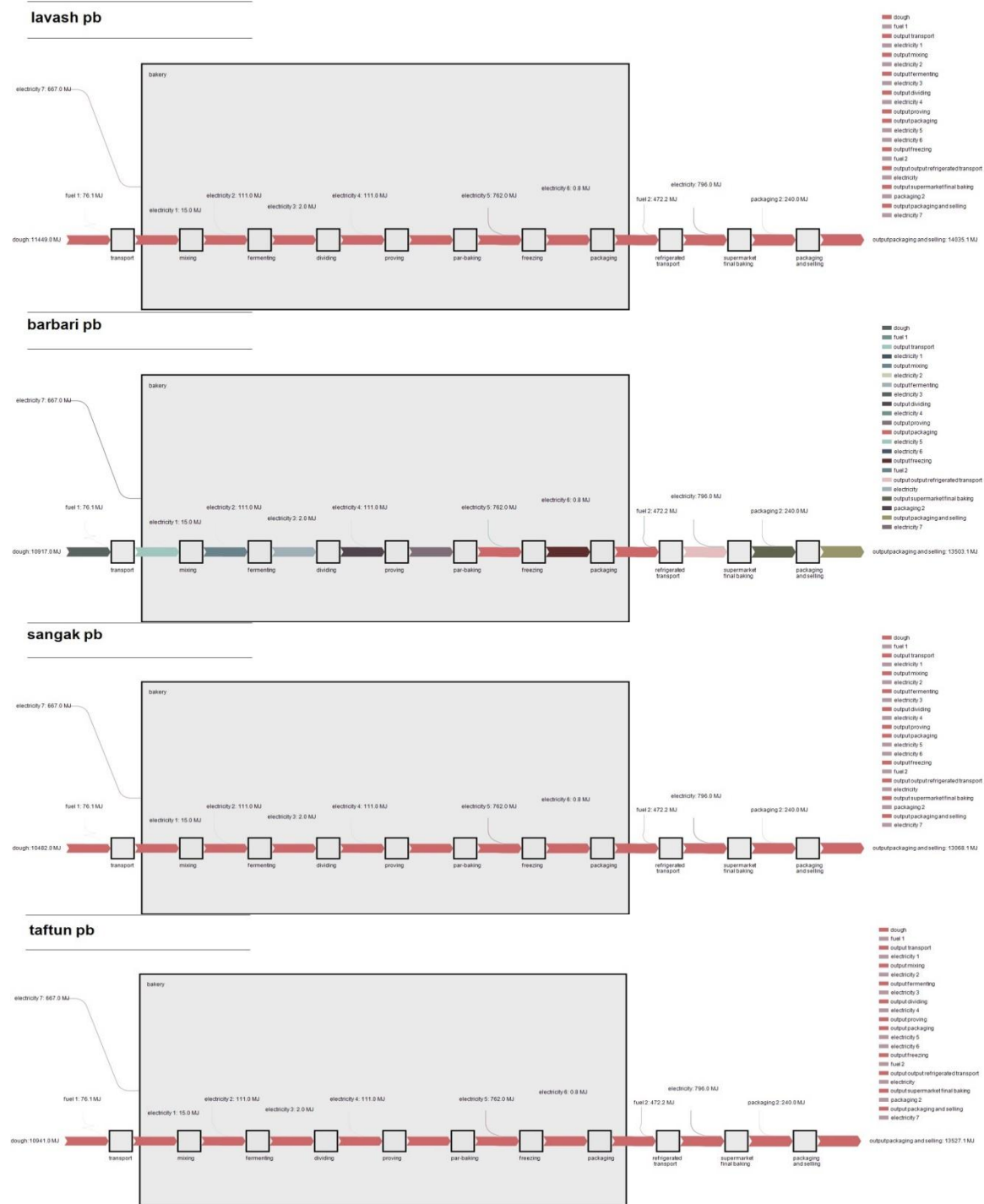
- water
- electricity
- electricity 2
- electricity 3
- electricity 4
- electricity 5
- electricity 6
- electricity 7
- fuel 2
- fuel
- dough
- fuel
- output transport
- output mixing
- output fermenting
- output dividing
- output proofing
- output baking
- output cooling
- output packaging
- output transport2
- output supermarket

- water
- electricity
- electricity 2
- electricity 3
- electricity 4
- electricity 5
- electricity 6
- electricity 7
- fuel 2
- fuel
- dough
- fuel
- output transport
- output mixing
- output fermenting
- output dividing
- output proofing
- output baking
- output cooling
- output packaging
- output transport2
- output supermarket

مقایسه اکسرژی گزینه‌های تولیدی در زنجیره تامین نان‌های سنتی

پس از آن زنجیره تولید نان بربری تازه (مگاژول ۴۷۴۲ در ۱۰۰۰ کیلوگرم نان فرآوری شده) قرار دارد. CEL در زنجیره تولید نان بربری دوبار پخت (مگاژول ۴۰۳۷ در ۱۰۰۰ کیلوگرم خمیر فرآوری شده) تقریباً به اندازه زنجیره تولید نان تافتون با روش دوبار پخت (مگاژول ۳۹۲۱ در ۱۰۰۰ کیلوگرم خمیر فرآوری شده) است.

کمترین بازدهی مواد مربوط به زنجیره تامین نان لواش با روش پخت نان تازه است زیرا تبخیر آب بیشتری نسبت به نان‌های دیگر دارد. شاخص‌های اکسرژی محاسبه و در جدول ۱۰ نشان داده شده است. بالاترین CEL در زنجیره تولید نان لواش تازه (مگاژول ۴۸۷۳ در ۱۰۰۰ کیلوگرم خمیر فرآوری شده) رخ می‌دهد که علت آن اتلاف نان می‌باشد.



شکل ۳- نمودار سانکی (نحوه مصرف اکسرژی) چهار نوع نان سنتی به روش تولید نان دو بار پخت

بیشترین مقدار اتلاف اکسرژی فیزیکی (مربوط به غیر ماده) در مراحل پخت، سرد کردن و انجماد رخ می‌دهد. بنابراین هرگونه ارتقاء و بهینه‌سازی باید بر روی این گزینه‌ها متمرکز گردد. زیرا تولید نان در طول زمان همواره بهینه‌سازی شده است در نتیجه این پژوهش نیاز به طراحی فرایندهای موثرتر ترمودینامیکی جدید را مطرح می‌سازد.

منابع

Anon. (2001). Supportive and executive policies needed to increase wheat yield and production. Deputy Minister of Planning and Economy of the Ministry of Agriculture, Institute for Agricultural Planning and Economics Research, 9, 36 [In Persian].

Anon. (2013). Sonneveld, Bread improver. Sonplus bruin; <http://www.sonneveld.com>.

Anon. (2014). Sonneveld, Brown bun recipe. (2014). <http://www.sonneveld.com/nl/recepten>.

Anooshe, M. (2003). Causes of bread waste and ways to prevent it. *Khormoosh Monthly Journal*, 35 [In Persian].

Azizi, M. H., Mohamadi, M. & Kadivar, M. (2011). Investigating the production capacity of various traditional breads by mass industrial production. Iran State Trading Company (Grain Research Center), National project number: 88003 [In Persian].

Banasik, A., Argyris Kanellopoulos, G. D. H., Claassen Jacqueline. M., Bloemhof-Ruwaard, G. A. & Van der Vorst, J. (2017). Assessing alternative production options for eco-efficient food supply chains using multi-objective optimization. *Sustainable Supply Chain Design and MGT*, 250, 341-362.

Blair, D. & Sobal, J. (2006). Luxus consumption: Wasting food resources through overeating. *Agriculture and Human Values*, 23, 63-74.

Blonk, H. (2006). Sustainable bread production: phase analysis work document from Bakker Wiltink Bakery Gouda. The Netherlands: Blonk Milieu Advies.

Bosch, P., Modarresi, A. & Friedl, A. (2012). Comparison of combined ethanol and biogas polygeneration facilities using exergy analysis. *Applied Thermal Engineering*, 37, 19-29.

Dincer, I. & Ratlamwala, T. A. H. (2012). Importance of exergy for analysis, improvement, design, and assessment. *Journal Recommendation Service*, 2(3), 335-349.

Esfandiari, J. (2012). Designing a system for managing and modernizing the bread industry in the traditional way. Iranian State Trading Company [In Persian].

زیرا در روش دوبار پخت به فرایندهای بیشتری (انجماد، حمل یخچالی و پخت در خرده‌فروشی) نیاز دارد که مقدار اکسرژی فیزیکی (برق) مانند اکسرژی شیمیایی مصرف می‌نماید. در این حال روش دوبار پخت پایین‌ترین SEL را برای هر چهار نوع نان تولید شده (۳/۸ نان لواش، ۵/۲۴ نان بربری، ۵/۲۳ نان تافتون و ۳/۹ نان سنگک) نشان می‌دهد زیرا مقدار نان ارایه شده به مصرف‌کننده در مقایسه با روش تولید نان تازه بیشتر است. SEL در روش دو بار پخت (۵/۲۳ نان بربری) تقریباً به اندازه SEL در روش دوبار پخت (۵/۲۴ نان تافتون) می‌باشد. زیرا مقادیر CEL آنها تقریباً یکسان بوده و مقدار نان ارایه شده به مصرف‌کننده نیز بسیار پایین است. زنجیره تامین نان لواش دوبار پخت با مقدار ۷۸/۵ بالاترین کارایی اگرژی فیزیکی در بین هشت زنجیره‌تامین‌دارا می‌باشد، زیرا این زنجیره در مقایسه با دیگر زنجیره‌ها بالاترین اکسرژی خروجی را دارد. زنجیره تامین نان لواش تازه به دلیل ضایعات نان، پایین‌ترین کارایی اگرژی فیزیکی با مقدار ۶۳/۱۲ درصد را دارد. کارایی اگرژی فیزیکی سایر زنجیره‌های تامین در جدول ۱۰ آورده شده است. این نتایج به روشنی نشان می‌دهد که اولین اولویت در طراحی زنجیره تامین مواد غذایی باید بگونه‌ای باشد که از اتلاف مواد در طول زنجیره تولید و تبدیل آن به جریان ضایعاتی کم‌ارزش جلوگیری گردد. بنابراین اکسرژی فیزیکی را فقط بعد از به حداقل رساندن ضایعات تولید می‌توان بهینه‌سازی کرد.

نتیجه‌گیری

عملکرد اگرژی فیزیکی دو روش تولید نان سنتی با هشت زنجیره تامین با استفاده از سه شاخص اتلاف اکسرژی کل (CEL)، اتلاف اکسرژی ویژه (SEL)، کارایی اکسرژی (n) مقایسه شد. این تحقیق اهمیت استفاده از مواد بدون ضایعات و کیفیت بالا برای بدست آوردن کارایی بالای اگرژی فیزیکی را نشان داد، همچنین این واقعیت که اکسرژی‌های شیمیایی بسیار بزرگ‌تر از اکسرژی‌های فیزیکی هستند را بیان نمود. زنجیره تامین نان سنتی لواش با روش دوبار پخت بهترین عملکرد ترمودینامیکی را داراست زیرا این زنجیره مطلوب‌ترین مقادیر را با بالاترین میزان کارایی اکسرژی (n) به مقدار ۷۸/۵۲ درصد، کمترین میزان اتلاف اکسرژی ویژه (SEL) به مقدار ۳/۸ و اتلاف اکسرژی کل (CEL) بسیار پایین به میزان ۲۹۱۰ دارد. در هر هشت زنجیره تامین نان

- Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K. & Delcour, J. A. (2005). Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science Technology*, 16(1-3), 12-30.
- Ghasemi, A., Raiatpishe, M. A., Haddadi, A. & Raiatpishe, S. (2017). Identification and prioritization of indicators in food supply chain sustainability, in the form of sustainable supply chain dimensions in agriculture and citrus. 9(4), 369-382 [In Persian].
- Green, D. P. (2010). Sustainable Food Supply Chains. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 19 (2) , 55-56.
- Hamdami, N., Pham, Q. T., Le-Bail, A. & Monteau, J. Y. (2007). Two-stage freezing of part baked breads - application and optimization. *Journal of Food Engineering*, 82(4), 418-26 [In Persian].
- Jawad, H., Jaber, M. Y. & Nuwayhid, R. Y. (2017). Improving supply chain sustainability using exergy analysis. *European Journal of Operational Research*, doi: 10.1016/j.ejor. 10.007.
- Kaviani, M. (2011). Designing a system to acquaint people with different types of bread. Iran State Trading Company (Grain Research Center). National project number: 1389/15/2009 and b. [In Persian].
- Koroneos, C. J. & Nanaki, E. A. (2008). Energy and exergy utilization assessment of the Greek transport sector. *Resour Conservation Recycl*, 52, 700-706.
- Kotas, T. J. (1995). The exergy method of thermal plant analysis. (FL): Krieger Publishing Company.
- McKinnon, A. (2012). The role of road transport in a green transport system. In: Conference on the role of road transport in a green transport system, Brussels.
- Nazghelichi, T., Kianmehr, M. K. & Aghbashlo, M. (2010). Thermodynamic Analysis of Fluidized Bed Drying of Carrot Cubes. *Energy*, 35(1), 4679.
- Pylar, E. J. (1988). *Baking science & technology*. 3rd ed. Kansas City: Sosland Publishing.
- Reed, G. & Nagodawithana, T. W. (1991). *Yeast technology*. 2nd ed. Van Nostrand Reinhold.
- Rentian, W. (2013). Automatic 20e30 cases Carton box Erector. *Packaging Technology Co., Ltd*.
- Reikert, L. (1974). The Efficiency of Energy-Utilization in Chemical Processes. *Chemical Engineering Science*, 29, 1613.
- Rosen, M. A. (2002). Clarifying thermodynamic efficiencies and losses via exergy. *Exergy, an International Journal*, 2, 3-5.
- Sahraeian, B., Mazaheri Tehrani, M., Taghipour, F. & Soleimani, M. (2014). The effect of mixing wheat flour with rice bran and soybean flour on physicochemical and sensory propertise of baguettes. *Iranian Journal of Nutrition Science and Food Technology*, 8(3).
- Sajedi, S. N. & Masoumi, M. E. & Movagharnjad, K. (2015). Exergetic Improvement and Environmental Impact Assessment of Crude Oil Distillation Unit of Shazand-Arak Oil Refinery. *International Journal of Exergy*, 16(4), 464-480.
- Saniea, N. & Ghazi, M. (2015). Exergy a new indicator in measuring research performance: a literature review. *Journal of the School of Paramedical Sciences, Tehran University of Medical Sciences*. Issue 9, PP 17-28. [In Persian].
- SoofiAbadi, G. (2011). Comparative study of effective process indicators in the production of manual and mechanized types of bread. *Aftab Publication* [In Persian].
- Szargut, J. (1989). Chemical exergies of the elements. *Applied Energy*, 32, 169-285.
- Sciubba, E. & Wall, G. (2007). A brief commented history of exergy from the beginnings to 2004. *Thermodynamics*, 10(4), 187-192.
- Tassou, S. A., De-Lille, G. & Ge, Y. T. (2009). Food transport refrigeration e approaches to reduce energy consumption and environmental impacts of road transport. *Applied Thermal Engineering*, 29(8-9), 1467-1477.
- Therkelsen, P., Masanet, E. & Worrell, E. (2014). Energy efficiency opportunities in the U.S. commercial baking industry. *Journal of Food Engineering*, 130, 14-22.
- Varteparvar, V., Kianmehr, M. H., Arabhosseini, A. & Hasanbeigi, S. R. (2013). Exegetic analysis of combined dry-liquid-dryer dryer. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 32 (2), 47-55 [In Persian].
- Wiggins, C. & Cauvain, S. (2007). *Proving, baking and cooling*. Springer US: Technology of Breadmaking, 141-173.
- Zisopoulos F. K., Moejes, S. N., Rossier-Miranda, F. J., Goot, A. J. & Boom, R. M. (2015). Exergetic comparison of food waste valorization in industrial bread production. *Energy*, 1-10.

Exergetic Comparison of Manufacturing Options in the Traditional Bread Supply Chain

A. Saminia^{a*}, R. Ghasemiyeh^b

^a Ph. D. Student in Industrial Management, Faculty of Human Sciences, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.

^b Associate Professor of Production and Operation Management, Department of Management, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Received: 26 April 2019

Accepted: 19 January 2020

Abstract

Introduction. The increasing trend of food waste is one of the serious challenges in most countries, especially developing countries, to meet the sufficient food needs of society. In this study, the thermodynamic performance of two traditional bread production chains is examined. These two chains contain the fresh bread production and the double-baked bread production chain (without waste).

Materials and Methods: The calculations are based on the processing of 1000 kg of dough for all eight bread chains. Lavash, Barbari, Tafton and Sangak breads produced had a mass of about 0.145, 0.410, 0.220 and 0.500 kg, respectively. In order to make an exergetic comparison between the bread production chains, the moisture content in both technologies for all Lavash, Barbari, Tafton and Sangak breads were 9.5, 34.1, 19.9 and 17.8 percent, respectively. Data analysis was done using two software “ees” and “e! Sankey”.

Results: The chemical exergy flows were found to be much larger than the physical exergy consumed in all the bread chains studied. In the traditional bread production chain, lavash bread, baked twice, with the amount of 78.52%, Sangak with the amount of 76.06%, Barbari with the amount of 70.64% and fresh Sangak bread with the amount of 70.29% had the best exergy performance. The lowest total lost and irreversible exergy were found in 1000 kg of processed dough in the following breads: double-baked Lavash with the amount of (2910 megajoules), Sangak bread with the amount of (3288 megajoules), fresh Sangak bread with the amount of (3862 megajoules). And Tafton bread double-baked (3921 megajoules). Lowest specific exergy loss and best thermodynamic performance was observed in double-baked Lavash bread (3.80), Sangak bread (3.91), Tafton bread (5.23) and Barbary bread (5.24), respectively. Combining exergy analysis and its application in the field of supply chain management and management sciences are among the innovations of the present study.

Conclusion: Most of the energy loss (non-material) occurs during the cooking, cooling, and freezing stages. Therefore, any progress in the production of traditional bread should be focused on the design of effective thermodynamic processes of these three stages and the use of appropriate technologies.

Keywords: Exergy, Supply Chain Bread, Traditional Bread.

* Corresponding Author: Amir54.sami@gmail.com