



ارزیابی اثرات زیست محیطی چرخه حیات خامه در صنایع لبنی (مطالعه موردی: کارخانه پگاه لرستان)

سحر رباطی نمکی^{۱*}، قربانعلی دزواره^۲

۱- کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه مهربرز. sagol.robati.n9398@gmail.com

۲- استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه مهربرز. gh.dezvareh@mehralborz.ac.ir

خلاصه

با توجه به افزایش نگرانی‌ها در مورد اثرات زیست‌محیطی صنایع غذایی، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید محصولات لبنی به ویژه خامه، اهمیت ویژه‌ای یافته است. تولید خامه به عنوان یکی از فرآورده‌های لبنی پرمصرف، می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر محیط زیست داشته باشد. هدف از این پژوهش، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید خامه در مرز سیستم کارخانه، با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات است. داده‌های مورد نیاز از طریق مصاحبه حضوری با پرسنل و داده‌برداری مستقیم در محیط کارخانه شیر پگاه لرستان جمع‌آوری شده است. محاسبات اثرات زیست‌محیطی خامه با استفاده از نرم‌افزار سیماپرو و روش CML-IA baseline V3.05/world2000 انجام گرفت. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که در فرآیند تولید خامه، شیر خام و برق مصرفی بالاترین میزان آلاینده‌گی را در بیشتر دسته‌های اثر دارند. خامه ۲۰۰ گرمی ۳۰٪ چربی با تفاوت ناچیزی نسبت به خامه ۲۰۰ گرمی ۲۵٪ چربی در اغلب دسته‌های اثر بیشترین آلاینده‌گی را دارد که علت آن مصرف بیشتر برق و گاز در فرآیند تولید است. همچنین در چهار دسته اثر شامل کاهش عوامل غیر زنده، کاهش عوامل غیر زنده (سوخت فسیلی)، پتانسیل گرمایش جهانی و تخلیه لایه اوزن به دلیل تولید پساب بیشتر توسط خامه ۲۰۰ گرمی ۲۵٪ چربی، این نوع خامه آلاینده‌گی زیست‌محیطی بیشتری را ایجاد می‌کند. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده ضرورت توجه به بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و کاهش مصرف انرژی در تولید محصولات لبنی است. پیشنهاد می‌شود که محققان و تولیدکنندگان با تمرکز بر فناوری‌های نوین و روش‌های پایدار، به کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی کمک کنند. همچنین، تحقیقات آینده می‌توانند به بررسی تأثیرات زیست‌محیطی سایر محصولات لبنی و مقایسه آنها بپردازند تا راهکارهای موثرتری برای کاهش آلاینده‌گی ارائه شود.

کلمات کلیدی: اثرات زیست محیطی، ارزیابی چرخه حیات (LCA)، تولید خامه، محصولات لبنی، گرمایش جهانی.



۱. مقدمه

تاریخچه و پیشینه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در صنایع غذایی به ویژه صنایع لبنی، به دهه‌ها قبل برمی‌گردد. از زمان‌های دور، انسان‌ها به تولید و مصرف محصولات لبنی مانند شیر و خامه پرداخته‌اند. این محصولات نه تنها منبع مهمی از پروتئین و کلسیم برای تغذیه انسان‌ها محسوب می‌شوند، بلکه نقش بسزایی در فرهنگ‌ها و سنت‌های مختلف ایفا کرده‌اند. با این حال، با افزایش جمعیت و تغییرات در الگوهای مصرف، صنعت لبنیات با چالش‌های جدی‌تری مواجه شده است. از یک سو، تقاضا برای محصولات لبنی افزایش یافته و از سوی دیگر، آثار منفی تولید این محصولات بر محیط زیست به طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. در دهه‌های اخیر، مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید محصولات غذایی انجام شده است. [۱] این مطالعات به ویژه بر روی تأثیرات ناشی از تولید، بسته‌بندی و توزیع محصولات لبنی متمرکز بوده‌اند. یکی از روش‌های رایج برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، روش ارزیابی چرخه حیات است که به تحلیل تمامی مراحل زندگی یک محصول از استخراج مواد اولیه تا دفع آن می‌پردازد. این روش به محققان این امکان را می‌دهد که نقاط قوت و ضعف در فرآیندهای تولید را شناسایی کرده و راهکارهایی برای کاهش اثرات منفی ارائه دهند. [۲]

با توجه به رشد روزافزون جمعیت و افزایش تقاضا برای محصولات غذایی، صنایع غذایی به ویژه صنایع لبنی با چالش‌های جدی در زمینه حفظ تعادل بین تولید و حفاظت از محیط زیست مواجه شده‌اند. تولید محصولات لبنی، به ویژه خامه، به عنوان یکی از فرآورده‌های پر مصرف، نه تنها نیازهای تغذیه‌ای جامعه را تأمین می‌کند، بلکه به دلیل فرآیندهای پیچیده تولید، تأثیرات قابل توجهی بر محیط زیست دارد. این تأثیرات شامل مصرف بالای منابع طبیعی، تولید گازهای گلخانه‌ای، آلودگی آب و خاک و ایجاد پساب‌های صنعتی است که همگی می‌توانند به کاهش کیفیت محیط زیست و تهدید سلامت عمومی منجر شوند. [۳] با توجه به این مسائل، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید خامه به عنوان یک مرحله کلیدی در زنجیره تأمین محصولات لبنی، اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. یکی از چالش‌های اصلی در صنعت لبنیات، بالا بودن مصرف انرژی و منابع طبیعی در فرآیند تولید است. به طور خاص، در فرآیند تولید خامه، مصرف شیر خام و برق به عنوان دو عامل کلیدی در ایجاد آلودگی شناخته شده‌اند. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت توجه به بهینه‌سازی فرآیندها و کاهش مصرف انرژی در تولید محصولات لبنی است. همچنین، تفاوت‌های موجود بین انواع مختلف خامه‌ها از نظر درصد چربی و تأثیرات زیست‌محیطی آن‌ها، نیازمند بررسی‌های دقیق‌تر و ارائه راهکارهایی برای کاهش آلودگی است. [۴]

اهمیت و ضرورت ارزیابی اثرات زیست‌محیطی چرخه حیات شیر در صنایع لبنی، به ویژه در شرایط کنونی که تغییرات اقلیمی و آلودگی‌های زیست‌محیطی به یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های جهانی تبدیل شده‌اند، به وضوح محسوس است. صنایع غذایی، به ویژه صنایع لبنی، نقش مهمی در تأمین نیازهای غذایی جامعه دارند، اما این تولیدات می‌توانند اثرات قابل توجهی بر محیط زیست داشته باشند. با افزایش جمعیت و تقاضا برای محصولات لبنی، نیاز به بررسی دقیق‌تر اثرات زیست‌محیطی این محصولات بیش از پیش احساس می‌شود. تولید شیر و فرآورده‌های آن، از جمله خامه، شامل مراحل مختلفی است که هر یک می‌توانند به طرق مختلف به محیط زیست آسیب بزنند. [۵] بنابراین، بررسی و ارزیابی این مراحل با استفاده از روش‌های علمی و معتبر مانند ارزیابی چرخه حیات می‌تواند به شناسایی نقاط ضعف و قوت در فرآیندهای تولید کمک کند و زمینه‌ساز بهبودهای لازم باشد. علاوه بر این، توجه به اثرات زیست‌محیطی تولید محصولات لبنی می‌تواند به کاهش مصرف منابع طبیعی و انرژی در این صنعت منجر شود. با توجه به اینکه تولید شیر خام و فرآورده‌های لبنی نیازمند مصرف بالای آب و انرژی است، ارزیابی دقیق این مصرف‌ها می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری کمک کند. همچنین، با توجه به تأثیرات منفی ناشی از تولید گازهای گلخانه‌ای و آلودگی‌های ناشی از پساب‌های صنعتی، توجه به بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و کاهش آلودگی‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این امر نه تنها به حفظ محیط زیست کمک می‌کند، بلکه



می‌تواند باعث ارتقاء کیفیت محصولات و افزایش رضایت مصرف‌کنندگان نیز شود. [۶]

از سوی دیگر، با توجه به اینکه صنایع لبنی یکی از بخش‌های کلیدی اقتصاد کشورها محسوب می‌شوند، توجه به اثرات زیست‌محیطی این صنعت می‌تواند به سیاست‌گذاران و مدیران کمک کند تا تصمیمات بهتری در زمینه مدیریت منابع و توسعه پایدار اتخاذ کنند. ایجاد تعادل بین تولید محصولات لبنی و حفظ محیط زیست، نیازمند همکاری نزدیک بین محققان، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان است. در نهایت، این تحقیق می‌تواند به عنوان یک الگو برای سایر صنایع غذایی عمل کند و زمینه‌ساز تحقیقات آینده در حوزه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی محصولات مختلف باشد. بنابراین، اهمیت و ضرورت این موضوع نه تنها در سطح ملی بلکه در سطح جهانی نیز قابل توجه است و می‌تواند به عنوان یک محور اصلی در برنامه‌ریزی‌های توسعه پایدار قرار گیرد. در سال‌های گذشته، مطالعات زیادی درباره بررسی اثرات زیست‌محیطی سیستم‌های مختلف تولیدی انجام شده است که در ادامه به بررسی برخی از آن‌ها، پرداخته می‌شود. [۷]

سلوا کاملیا و همکاران (۲۰۱۲)، در این مقاله به بررسی تأثیرات فعالیت‌های انسانی بر تغییرات اقلیمی می‌پردازد. نویسندگان ابتدا به افزایش گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی و کشاورزی صنعتی اشاره می‌کند. او توضیح می‌دهد که این گازها باعث افزایش دما و تغییر الگوهای آب و هوایی می‌شود. مقاله به اثرات منفی این تغییرات، از جمله سیلابها، خشکسالی‌ها و تأثیرات بر تنوع زیستی، می‌پردازد. همچنین، نویسندگان به نقش سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر و مدیریت پایدار منابع طبیعی به عنوان راهکارهایی برای کاهش این تأثیرات اشاره می‌کند. در پایان، تأکید می‌شود که تلاش‌های جهانی همراه با تغییر رفتار فردی برای مقابله با بحران اقلیمی ضروری است. [۸] حمزه سلطانی و همکاران (۲۰۱۵)، به بررسی تأثیرات زیست‌محیطی تولید شیر در ایران می‌پردازد. در این مقاله از روش ارزیابی چرخه حیات برای تحلیل مراحل مختلف تولید شیر، از جمله پرورش دام، تغذیه، دوشیدن و پردازش استفاده شده است. هدف اصلی این تحقیق، شناسایی نقاط ضعف و قوت در فرآیند تولید شیر و ارائه راهکارهایی برای بهبود عملکرد محیطی این صنعت است. نتایج نشان می‌دهد که بخش‌های خاصی از زنجیره تامین شیر، مانند تغذیه و مدیریت پسماند، بیشترین تأثیرات منفی را بر محیط زیست دارند. همچنین، مقاله به اهمیت استفاده از تکنولوژی‌های نوین و بهینه‌سازی فرآیندها برای کاهش اثرات زیست‌محیطی اشاره می‌کند. در نهایت پیشنهاداتی برای سیاست‌گذاران و تولیدکنندگان در راستای بهبود پایداری صنعت شیر ارائه شده است. این تحقیق می‌تواند به عنوان یک ابزار مفید برای تصمیم‌گیری‌های بهتر در حوزه کشاورزی و دامداری مورد استفاده قرار گیرد. [۹]

والتریل فیلهو و همکاران (۲۰۲۲)، به بررسی تعاملات پیچیده بین غذا و تغییرات آب و هوایی می‌پردازد و اهمیت اساسی این موضوع را در تامین امنیت غذایی جهان نشان می‌دهد. نویسندگان به چگونگی تأثیر تغییرات آب و هوایی مانند افزایش دمای جهانی، تغییرات در الگوی بارش، و وقوع بلایای طبیعی بر تولید محصولات کشاورزی می‌پردازد. او همچنین به تأثیرات احتمالی تغییرات آب و هوا بر کیفیت غذا و ارزش تغذیه‌ای آن اشاره دارد. در ادامه، مقاله تأکید دارد که برای مقابله با این چالش‌ها نیاز به راهبردهای سازگاری در بخش کشاورزی و سیاست‌گذاری‌های جامع و کارآمد وجود دارد. همچنین به نقش فناوری‌های نوین و بهبود سیستم‌های مدیریتی در افزایش تاب‌آوری سامانه‌های غذایی می‌پردازد و خواستار همکاری بین‌المللی برای تحقیق و انتقال دانش در این زمینه است. مقاله بر اهمیت ادغام مسائل زیست‌محیطی و اقتصادی جهت توسعه پایدار و تضمین امنیت غذایی تأکید دارد. [۱۰] در اوایل سال ۲۰۲۵ پژوهشی با عنوان پایداری زیست‌محیطی در تولید لبنیات: ارزیابی مقایسه‌ای چرخه حیات پنیر خام شیر خام از طریق روش‌های مرسوم و مبتنی بر ازن توسط ونیسا و همکاران صورت گرفت. هدف این تحقیق ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی فناوری ازن در فرآیند رسیدن به پنیر و مقایسه آن با روش‌های سنتی بود. برای این منظور، از روش ارزیابی چرخه زندگی استفاده شد و سه واحد عملکردی مورد بررسی قرار



گرفت. نتایج نشان داد که با وجود افزایش جزئی در برخی تأثیرات زیست‌محیطی برای سیستم نوآورانه، درمان با ازن باعث افزایش عمر مفید پنیر به میزان ۲۱ روز و کاهش ۲۵ درصدی تأثیرات کلی در هر واحد عمر نسبت به سیستم سنتی می‌شود. همچنین، با وجود افزایش ۳۲.۱ درصدی در سرمایه‌گذاری فناوری، اتوماسیون منجر به صرفه‌جویی‌های عملیاتی قابل توجهی شده و عملکرد اقتصادی و زیست‌محیطی را بهبود می‌بخشد. به طور کلی، یافته‌ها نشان می‌دهند که انرژی مورد نیاز برای شرایط حرارتی همچنان عامل اصلی در اثرات زیست‌محیطی هر دو سیستم است و فناوری ازن به عنوان یک راه‌حل پایدار برای تولید پنیرهای شیر خام معرفی می‌شود. [۱۱]

نوآوری این تحقیق در چندین جنبه کلیدی قابل توجه است که آن را از سایر مطالعات مشابه متمایز می‌کند. نخستین نوآوری این پژوهش، تمرکز خاص بر ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید خامه در کارخانه پگاه لرستان است. در حالی که بسیاری از تحقیقات پیشین به بررسی کلی اثرات زیست‌محیطی صنایع لبنی پرداخته‌اند، این مطالعه به طور خاص بر یکی از محصولات پر مصرف و مهم این صنعت تمرکز کرده و با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات به تحلیل دقیق و عمیق اثرات زیست‌محیطی آن پرداخته است. این رویکرد به پژوهشگران و تولیدکنندگان امکان می‌دهد تا به شناخت بهتری از نقاط ضعف و قوت فرآیندهای تولید دست یابند و بر اساس آن تصمیمات بهتری اتخاذ کنند. دومین نوآوری این تحقیق، استفاده از داده‌های واقعی و مستند جمع‌آوری شده از طریق مصاحبه حضوری با پرسنل و داده‌برداری مستقیم در محیط کارخانه است. این روش به پژوهشگران اجازه می‌دهد تا به اطلاعات دقیق‌تری دست یابند که می‌تواند به عنوان یک مبنای قوی برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرد. در مقایسه با بسیاری از مطالعات دیگر که معمولاً به استفاده از داده‌های ثانویه و تخمین‌های نظری بسنده می‌کنند، این تحقیق با ارائه داده‌های واقعی و میدانی، اعتبار و دقت نتایج خود را به طرز قابل توجهی افزایش داده است. این پژوهش در تحلیل مقایسه‌ای بین دو نوع خامه با درصد چربی متفاوت نهفته است. این مطالعه نشان می‌دهد که چگونه تغییرات کوچک در ترکیب محصول می‌تواند تأثیرات زیست‌محیطی قابل توجهی را به همراه داشته باشد. این نوع تحلیل در ادبیات موجود کمتر مورد توجه قرار گرفته و می‌تواند به تولیدکنندگان کمک کند تا با انتخاب‌های هوشمندانه‌تر در طراحی محصولات خود، اثرات منفی زیست‌محیطی را کاهش دهند. به ویژه، نتایج نشان‌دهنده این است که خامه با درصد چربی بالاتر، به دلیل مصرف بیشتر انرژی در فرآیند تولید، آلاینده‌گی بیشتری دارد، که این نکته می‌تواند راهگشای سیاست‌های تولید پایدارتر باشد. در نهایت، این پژوهش به بررسی و شناسایی چهار دسته اثر زیست‌محیطی خاص پرداخته است که در تولید خامه وجود دارند. این دسته‌بندی دقیق و هدفمند می‌تواند به عنوان یک الگو برای مطالعات آینده در زمینه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی سایر محصولات لبنی نیز مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اینکه بسیاری از تحقیقات پیشین تنها به بررسی کلی اثرات زیست‌محیطی پرداخته‌اند، این تحقیق با ارائه تحلیلی جامع و دقیق از اثرات مختلف، گامی مهم در راستای ارتقاء دانش موجود در این حوزه محسوب می‌شود. بنابراین، نوآوری‌های مطرح شده در این پژوهش می‌توانند به عنوان مبنای جدیدی برای تحقیقات آینده و توسعه فناوری‌های پایدار در صنایع لبنی مورد استفاده قرار گیرند.



۲. روش تحقیق

این پژوهش به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی چرخه حیات خامه در صنایع لبنی، با تمرکز بر تولید خامه در کارخانه پگاه لرستان پرداخته است. با توجه به اهمیت روزافزون مسائل زیست‌محیطی و تأثیرات منفی تولیدات غذایی بر محیط زیست، استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات به عنوان یک ابزار جامع برای تحلیل و بررسی این تأثیرات ضروری به نظر می‌رسد. روش تحقیق این پژوهش شامل: تعیین هدف و دامنه کاربرد، تعیین مرزسیستم، واحد عملکردی، تجزیه و تحلیل سیاهه، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی که در ادامه هر کدام مورد بررسی قرار خواهند گرفت. [۱۲] در این پژوهش، برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی چرخه حیات خامه در صنایع لبنی و تولید خامه در کارخانه پگاه لرستان، از استانداردهای بین‌المللی ایزو ۱۴۰۴۰ و ایزو ۱۴۰۴۴ بهره‌گیری شده است. این استانداردها چارچوبی معتبر و جامع برای انجام ارزیابی چرخه حیات فراهم می‌کنند و شامل مراحل مختلفی از جمله تعیین هدف و دامنه، تحلیل سیاهه، ارزیابی اثرات و تفسیر نتایج می‌باشند. با رعایت این استانداردها، اعتبار روش تحقیق افزایش یافته و امکان مقایسه نتایج با سایر مطالعات مشابه در سطح جهانی فراهم می‌شود. همچنین، استفاده از این استانداردها به تضمین دقت و قابلیت اعتماد داده‌های جمع‌آوری شده کمک کرده و به تصمیم‌گیری‌های آگاهانه در راستای کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی فرآیندهای تولیدی منجر می‌شود. [۱۳]

۲.۱. تعیین هدف و دامنه کاربرد

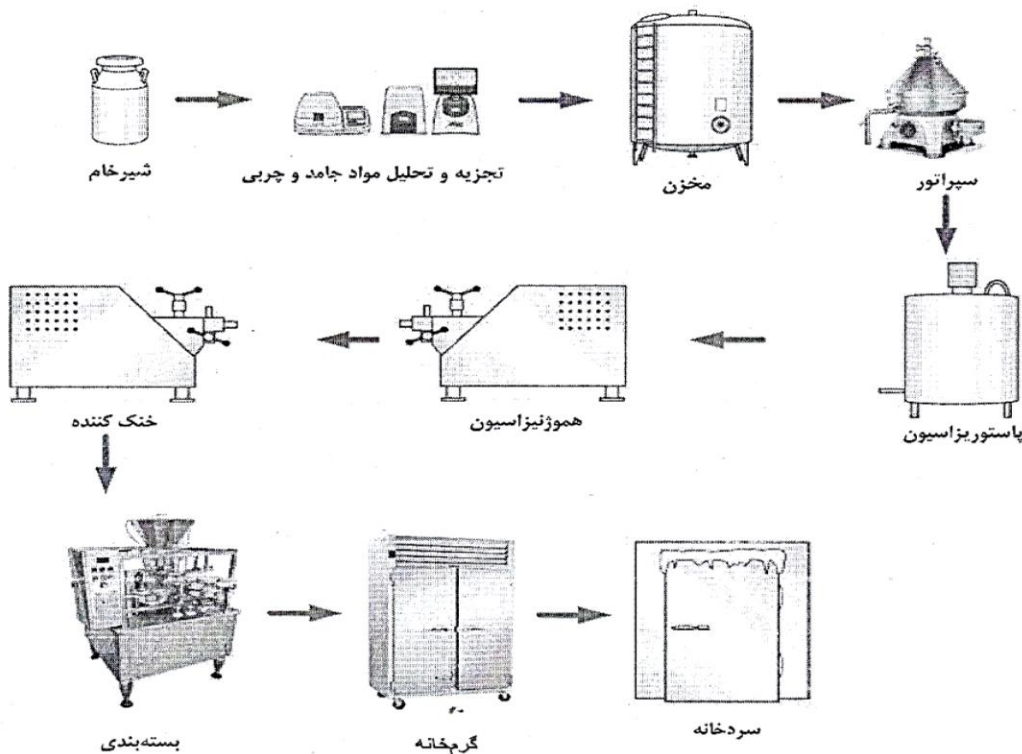
هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید خامه در صنایع لبنی، به‌ویژه در کارخانه پگاه لرستان، با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات است. با توجه به اینکه تولید محصولات لبنی به عنوان یکی از منابع اصلی تأمین پروتئین و چربی در رژیم غذایی مردم شناخته می‌شود، بررسی اثرات زیست‌محیطی این محصولات به ویژه خامه که یکی از پرمصرف‌ترین فرآورده‌های لبنی است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این پژوهش به دنبال شناسایی و تحلیل آلاینده‌های اصلی و منابع مصرف انرژی در فرآیند تولید خامه می‌باشد تا بتواند راهکارهایی برای بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی ارائه دهد. دامنه کاربرد این تحقیق شامل تمامی مراحل تولید خامه از تأمین شیر خام تا فرآوری، بسته‌بندی و توزیع می‌باشد. در این راستا، تمامی ورودی‌ها و خروجی‌های مرتبط با فرآیند تولید در نظر گرفته شده‌اند. [۱۴]

۲.۲. واحد عملکردی

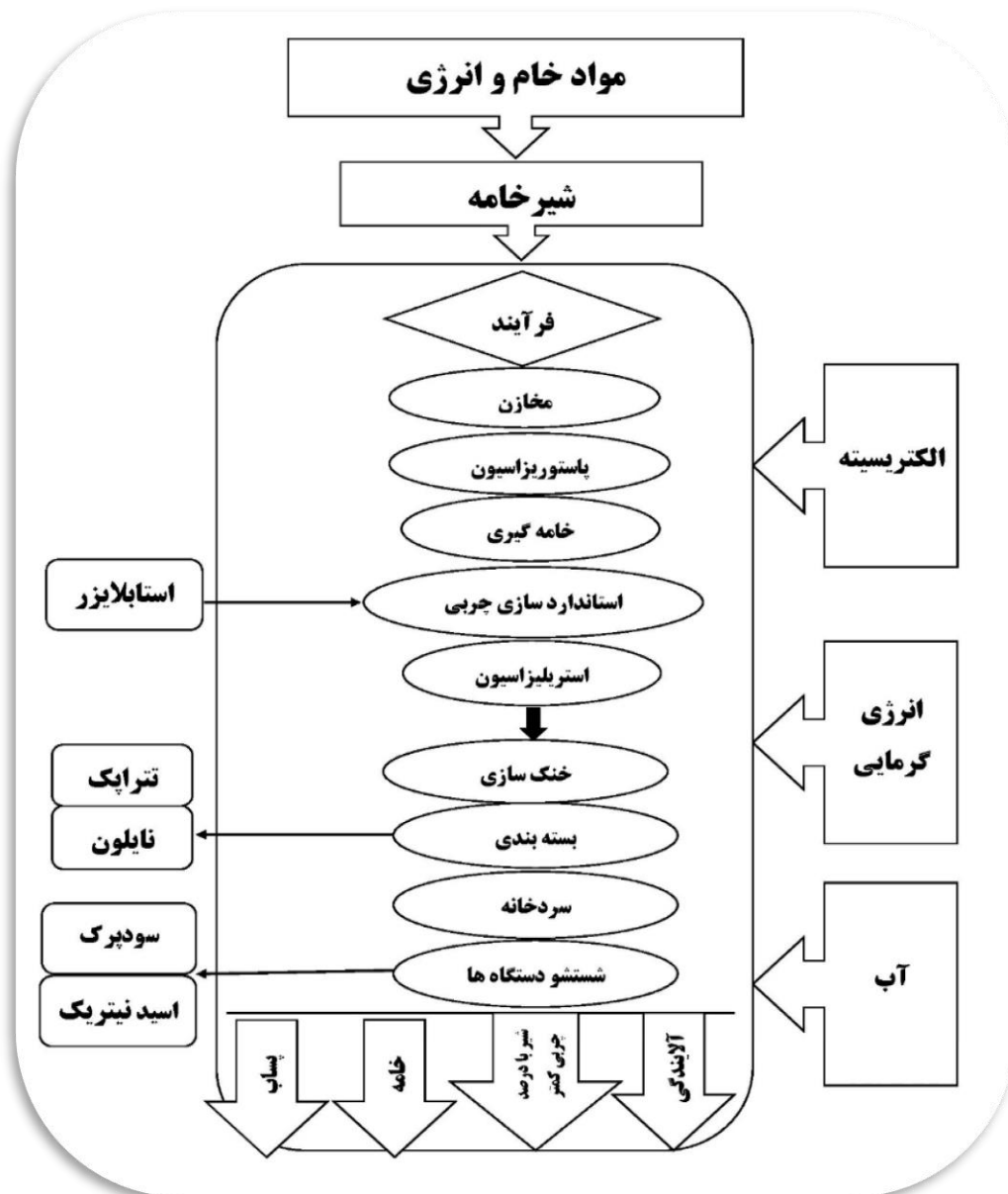
در این تحقیق، دو واحد عملکردی انتخاب شده خامه ۲۰۰ گرمی با ۲۵ درصد چربی و خامه ۲۰۰ گرمی با ۳۰ درصد چربی. این دو نوع خامه به عنوان معیاری استاندارد برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید خامه در کارخانه پگاه لرستان مورد استفاده قرار می‌گیرد. این انتخاب به محققان این امکان را می‌دهد که تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از فرآیند تولید خامه را به طور دقیق و قابل مقایسه تحلیل کنند. با توجه به اینکه خامه یکی از محصولات لبنی پرمصرف و محبوب در بازار است، استفاده از یک کیلوگرم خامه به عنوان واحد عملکردی، نقش مهمی در شفاف سازی اثرات محیطی تولید این محصول ایفا می‌کند. انتخاب یک کیلوگرم خامه به عنوان واحد عملکردی، امکان مقایسه بین انواع مختلف خامه با درصد چربی‌های متفاوت را فراهم می‌آورد. این مقایسه به تولیدکنندگان و محققان کمک می‌کند تا درک بهتری از تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از انتخاب نوع خاصی از خامه داشته باشند و بتوانند تصمیمات بهینه‌تری در زمینه کاهش آلاینده‌گی اتخاذ کنند. همچنین، این انتخاب معیار مناسبی برای ارزیابی مصرف منابع مختلف مانند شیر خام، برق و گاز در فرآیند تولید است.

۲.۳. تعیین مرز سیستم

در فرآیند تولید خامه، مرز سیستم به وضوح شامل ورودی‌ها، مراحل پردازش و خروجی‌ها می‌باشد. ورودی‌های اصلی این سیستم عبارتند از: مواد اولیه که شامل شیر خام است، مواد پاک‌کننده دستگاه‌ها که عمدتاً شامل اسید نیتریک و سودپرک می‌باشد، انرژی مصرفی که شامل الکتریسیته و گاز طبیعی مورد نیاز در بویلرها است، و همچنین مواد بسته‌بندی که به صورت پاکت‌های تتراپک مورد استفاده قرار می‌گیرند. مراحل پردازش شامل استفاده از دستگاه‌های تخصصی برای تبدیل شیر خام به خامه است. خروجی‌های این فرآیند شامل خامه، شیر و پساپ (ماده باقی‌مانده پس از جداسازی چربی) می‌باشد. به علاوه، شکل ۱ نمایانگر خط تولید خامه در کارخانه است و شکل ۲ مرز سیستم فرآیند تولید خامه را در محدوده کارخانه به تصویر می‌کشد، که این مرز به تحلیل جامع‌تر اثرات زیست‌محیطی و کارایی فرآیند کمک می‌کند. [۱۵]



شکل ۱: خط تولید خامه در کارخانه



شکل ۲: مرز سیستم فرآیند تولید خامه در محدوده کارخانه



۲.۴ تجزیه و تحلیل سیاهه

در این تحقیق، تجزیه و تحلیل سیاهه‌نویسی چرخه حیات از گهواره تا دروازه به منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید خامه در کارخانه پگاه لرستان انجام شده است. این فرآیند شامل چندین مرحله کلیدی است که از تأمین شیر خام آغاز می‌شود و تا توزیع نهایی محصول ادامه دارد. در هر یک از این مراحل، داده‌های مربوط به مصرف منابع، تولید آلاینده‌ها و اثرات زیست‌محیطی جمع‌آوری و تحلیل گردید. در مرحله اول، تأمین شیر خام به عنوان یکی از اصلی‌ترین ورودی‌های تولید خامه مورد بررسی قرار گرفت. مرحله بعدی فرآوری شیر خام است که شامل پاستوریزه کردن، هموژنیزه کردن و جداسازی چربی برای تولید خامه می‌باشد. جدول ۱ ورودی و خروجی تولید دو نوع خامه براساس ۱ تن شیر را نشان می‌دهد.

جدول ۱- ارزیابی ورودی و خروجی دو نوع خامه براساس ۱ تن شیر خام ورودی در کارخانه شیر پگاه لرستان

نوع ستاده یا نهاده	واحد	پاکت ۲۰۰ گرمی ۲۵٪ چربی	پاکت ۲۰۰ گرمی ۳۰٪ چربی
ورودی‌ها			
شیر خام	kg	۱۰۰۰	۱۰۰۰
آب	M ³	۴	۴
استابلایزر	kg	۴	۴
اسید نیتریک	kg	۳/۵	۳/۵
سودپرک	kg	۳/۵	۳/۵
الکتریسیته	kwh	۵۸	۶۰
گاز (انرژی گرمایی)	M ³	۴/۷	۴/۹
پاکت (تتراپک)	kg	۴/۲	۳/۵
خروجی‌ها			
خامه	kg	۱۲۰	۱۰۰
شیرکم چرب	lit	۸۰۰	۸۵۰
پساب	kg	۸۰	۵۰

۲.۵ ارزیابی اثرات چرخه حیات

تجزیه و تحلیل چرخه عمر یکی از مراحل کلیدی در ارزیابی چرخه عمر می‌باشد که بر ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی یک محصول یا فرآیند تمرکز دارد. در این مطالعه، اثرات زیست‌محیطی تولید محصولات لبنی دو نوع خامه در محدوده کارخانه پگاه لرستان مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی ۹ دسته اثر شامل، کاهش عوامل غیرزنده، کاهش عوامل غیرزنده (سوخت‌های فسیلی)، پتانسیل گرمایش جهانی، تخلیه لایه اوزن، سمیت انسانی، سمیت آبزیان دریایی، اکسیداسیون

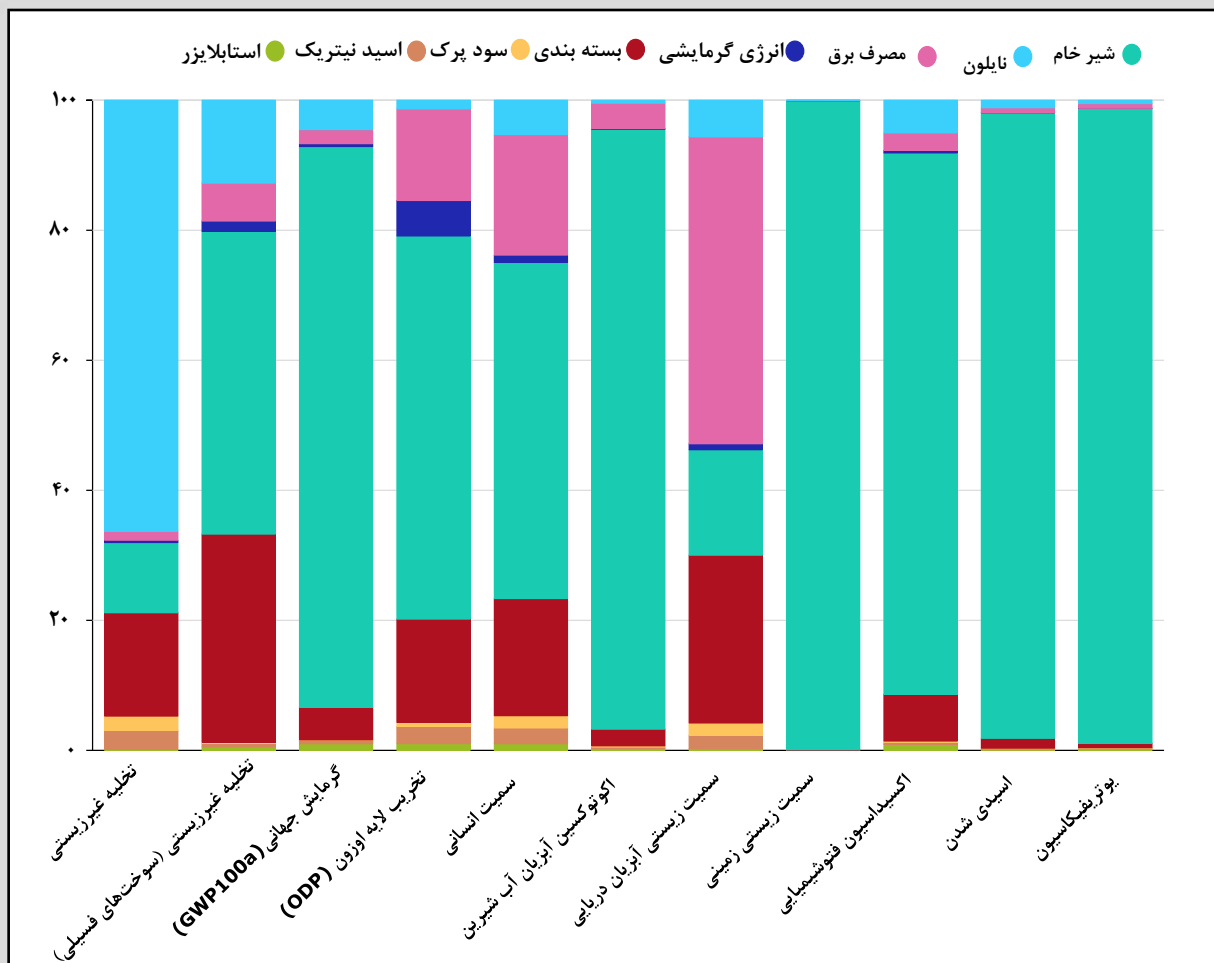


فتوشیمیایی، اسیدی شدن و اوتریفیکاسیون با استفاده از روش CML-IA baseline V3.051 word 2000 در بسته نرم افزاری سیمپرو صورت میگیرد. لازم به ذکر است که ارزیابی انجام شده در این تحقیق به صورت گهواره تا دروازه صورت گرفته است، که به معنای بررسی تمام مراحل تولید از استخراج مواد اولیه تا خروج محصول نهایی از کارخانه است. [۱۶]

۳. بحث و پردازش داده ها

۳.۱. سهم نسبی اثرات خامه ۲۰۰ گرمی ۲۵٪ چربی

سهم نسبی هر ارزیابی به درصد برای هر دسته اثر در طی فرآیند تولید خامه ۲۰۰ گرمی ۲۵٪ چربی در محدوده کارخانه در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین درصد ارزیابی در هر دسته در ۲ جدول آورده شده است. یافته ها نشان می دهد که عوامل مختلفی در ایجاد آلودگی و اثرات زیست محیطی نقش دارند. به ویژه، شیر خام به عنوان ماده اولیه اصلی، بالاترین میزان آلاینده‌گی را در اکثر دسته های اثر دارد. این موضوع می تواند به دلایل متعددی نسبت داده شود؛ از جمله مصرف بالای انرژی در فرآیندهای جمع آوری، حمل و نقل و پردازش شیر، که همگی منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌ها می شوند. [۱۷] علاوه بر این، بسته بندی، به خصوص بسته بندی های نایلونی، به عنوان یکی از عوامل اصلی آلودگی شناخته شده است. در دسته اثر کاهش عوامل غیر زنده، بسته بندی ثانویه با ۶۶.۳٪ بالاترین آلاینده‌گی را دارد. این امر به دلیل استفاده از مواد پلاستیکی و فرآیندهای تولید و بازیافت ناپایدار این مواد است که به آلودگی محیط زیست و افزایش زباله های پلاستیکی منجر می شود. در دسته اثر سمیت آبزیان دریایی، الکتریسیته با ۴۷.۲۲٪ بالاترین سهم را دارد. این موضوع نشان دهنده تأثیرات منفی تولید برق بر روی اکوسیستم های آبی است، زیرا بسیاری از منابع انرژی مورد استفاده برای تولید برق، مانند سوخت های فسیلی، باعث آلودگی آب و تخریب زیستگاه های دریایی می شوند. [۱۸] در نهایت، با توجه به این تحلیل ها، می توان نتیجه گرفت که شیر خام به عنوان یک ماده اولیه با بالاترین آلاینده‌گی در تمامی دسته های اثر دیگر نیز تأثیر بسزایی دارد. این امر می تواند ناشی از چرخه تولید آن باشد که شامل دامداری، تغذیه دام، و فرآیندهای مرتبط با جمع آوری و پردازش شیر است. بنابراین، به منظور کاهش اثرات منفی زیست محیطی در تولید خامه، نیاز به بازنگری در روش های تولید، بسته بندی و مصرف انرژی داریم تا بتوانیم به سمت یک سیستم پایدارتر حرکت کنیم. نتایج حاصل از پژوهش برای تولید خامه ۲۰۰ گرمی ۲۵٪ چربی، نشان می دهد که شیر خام، انرژی الکتریکی مصرفی و سپاب بالاترین درصد آلاینده‌گی را در اکثر دسته های اثر به خود اختصاص داده اند. [۱۹]



شکل ۳- سهم نسبی هر ممیزی به درصد برای هر دسته اثر برای خامه ۲۰۰ گرمی ۲۵٪ چربی

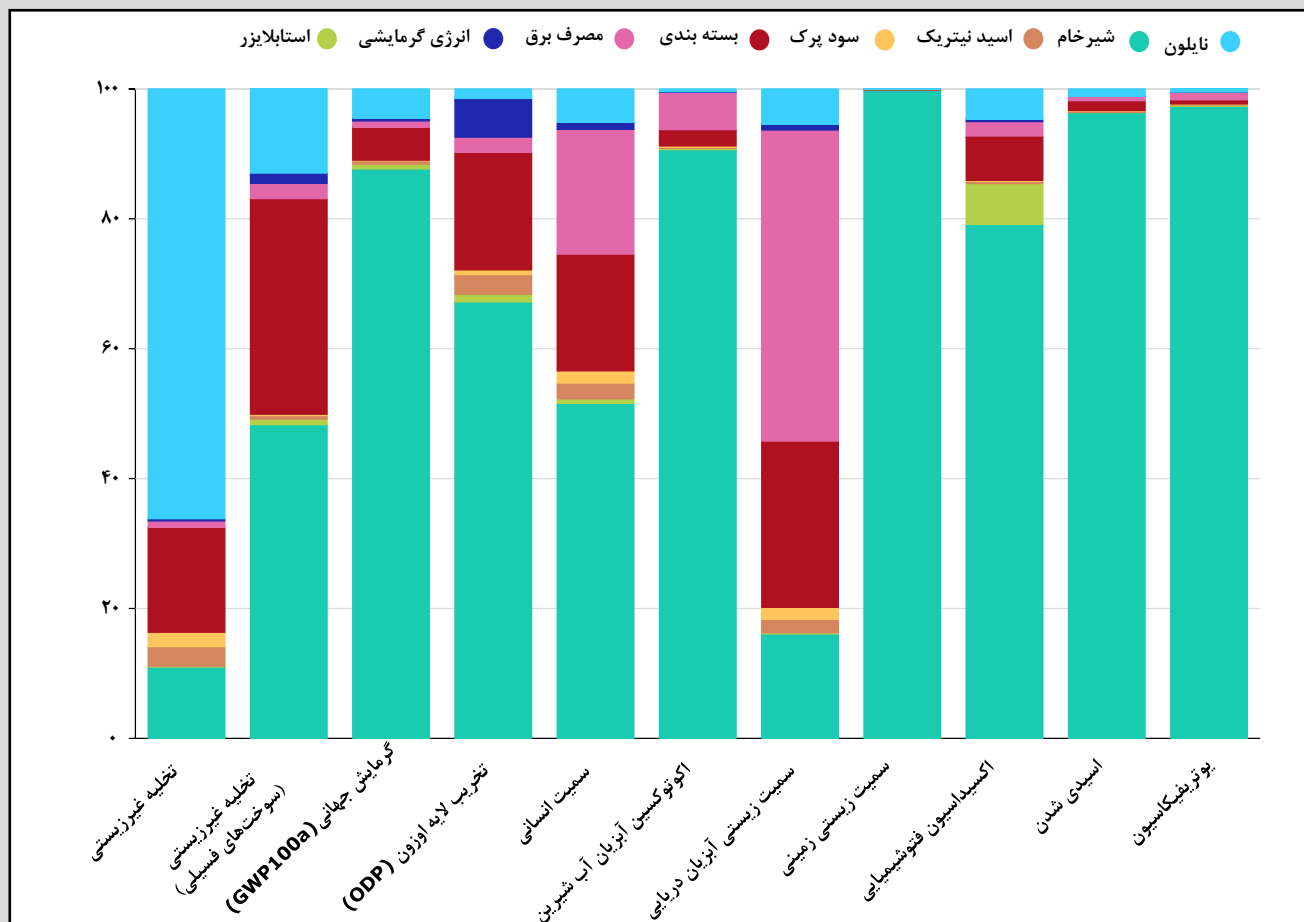
جدول ۲- سهم نسبی هر ارزیابی به درصد برای هر دسته اثر برای خامه ۲۰۰ گرمی ۲۵٪ چربی

دسته اثرات	استابلازر	اسید نیتریک	نایلون	سود پرک	پاکت تتراپک	شیر خام	انرژی گرمایی	برق مصرفی
AD	0.1438	2.9628	66.3054	2.1777	15.8943	10.8008	0.3507	1.3644
AD (fossil fuels)	0.5508	0.5239	12.7291	0.1932	32.0083	46.563	1.5925	5.8391
GWP	1.031	0.51	4.5082	0.0808	4.9934	86.2733	0.4461	2.1571
OLD	1.04	2.6525	1.312	0.6337	15.8734	58.9374	5.4552	14.0958
HT	1.0302	2.4285	5.2589	1.8864	18.0133	51.7034	1.1303	18.549
FE	0.3196	0.2059	0.4484	0.1837	2.5557	92.2864	0.1087	3.8916
ME	0.2483	2.0745	5.6068	1.9039	25.8024	16.2249	0.9175	47.2216
TE	0.0354	0.0044	0.0112	0.0038	0.0556	99.8055	0.0034	0.0807
PO	0.9299	0.3209	5.0078	0.1962	7.1727	83.291	0.3953	2.6862
AC	0.1206	0.1606	1.1418	0.0607	1.5194	96.2356	0.0331	0.7282
EP	0.2586	0.1344	0.4999	0.0387	0.6414	97.679	0.016	0.7319



۳.۲. سهم نسبی خامه ۲۰۰ گرمی ۳۰٪ چربی

سهم نسبی هر ارزیابی به درصد برای هر دسته اثر در طی فرآیند تولید خامه ۲۰۰ گرمی ۳۰٪ چربی در محدوده کارخانه در شکل ۴ نشان داده شده است همچنین درصد هر ارزیابی در هر دسته در جدول ۳ آورده شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تأثیرات زیست‌محیطی خامه ۲۰۰ گرمی با ۲۵٪ چربی مشابه خامه ۳۰٪ چربی است، اما با تفاوت‌هایی در آلاینده‌گی ناشی از بسته‌بندی و مصرف انرژی. شیر خام و بسته‌بندی به‌عنوان دو عامل اصلی آلودگی شناسایی شده‌اند. در این میان، بسته‌بندی نایلونی و پاکت، به دلیل حجم بیشتر مورد نیاز برای خامه با چربی کمتر، منجر به افزایش آلاینده‌گی در خامه ۲۵٪ چربی (۶۶.۳٪) نسبت به خامه ۳۰٪ چربی (۶۶.۱٪) می‌شود. این افزایش در آلاینده‌گی ناشی از نیاز به مواد بسته‌بندی بیشتر برای حفظ کیفیت و ماندگاری خامه با درصد چربی پایین‌تر است. با این حال، فرآیند تولید خامه با درصد چربی بالاتر، به انرژی و برق بیشتری نیاز دارد. این امر به دلیل پیچیدگی‌های فرآیندهایی نظیر جداسازی چربی، تصفیه و پاستوریزاسیون است که برای تولید خامه ۳۰٪ چربی الزامی است. به همین دلیل، در دسته سمیت آبیان دریایی، میزان آلاینده‌گی ناشی از مصرف برق برای خامه ۳۰٪ چربی (۴۷.۸٪) اندکی بیشتر از خامه ۲۵٪ چربی (۴۷.۲٪) است. این نکته نشان‌دهنده آن است که هرچند بسته‌بندی خامه ۲۵٪ چربی بیشتر است، اما فرآیندهای تولید آن به دلیل نیاز به انرژی کمتر، اثر کمتری بر روی محیط زیست دارد. تحلیل‌های عددی نشان می‌دهد که در مجموع، اگرچه بسته‌بندی و شیر خام به‌عنوان عوامل اصلی آلودگی در هر دو نوع خامه شناخته می‌شوند، اما تفاوت در درصد چربی و فرآیندهای تولید می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر روی آلاینده‌گی کل داشته باشد. [۲۰] به‌طور خاص، افزایش درصد چربی در تولید خامه موجب مصرف بیشتر انرژی می‌شود که این خود به تخریب‌های زیست‌محیطی منجر می‌شود. این تخریب‌ها شامل افزایش گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید برق و همچنین آلودگی آب ناشی از تخلیه فاضلاب‌های صنعتی مرتبط با فرآیندهای تولید است. [۲۱] در نهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که برای کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی در تولید خامه‌ها، نیاز به بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و بسته‌بندی وجود دارد. این امر می‌تواند شامل استفاده از مواد بسته‌بندی پایدارتر، کاهش مصرف انرژی و بهبود کارایی در فرآیندهای تولید باشد تا بتوان به سمت یک سیستم پایدارتر حرکت کرد. نتایج این پژوهش بیانگر این است که تأثیرات این محصول هم مشابه محصول قبلی یعنی خامه ۲۰۰ گرمی ۲۵٪ چربی می‌باشد. شیر خام، الکتریسیته بالاترین درصد آلاینده‌گی را دارند. فقط به دلیل مصرف بیشتر برق و گاز برای خامه ۲۰۰ گرمی ۳۰٪ چربی، نسبت به خامه ۲۵٪ چربی، مقدار نتیجه برای هر دسته اثر به تناسب بیشتر است. [۲۲]



شکل ۴- سهم نسبی هر ارزیابی به درصد برای هر دسته اثر برای خامه ۲۰۰ گرمی ۳۰٪ چربی

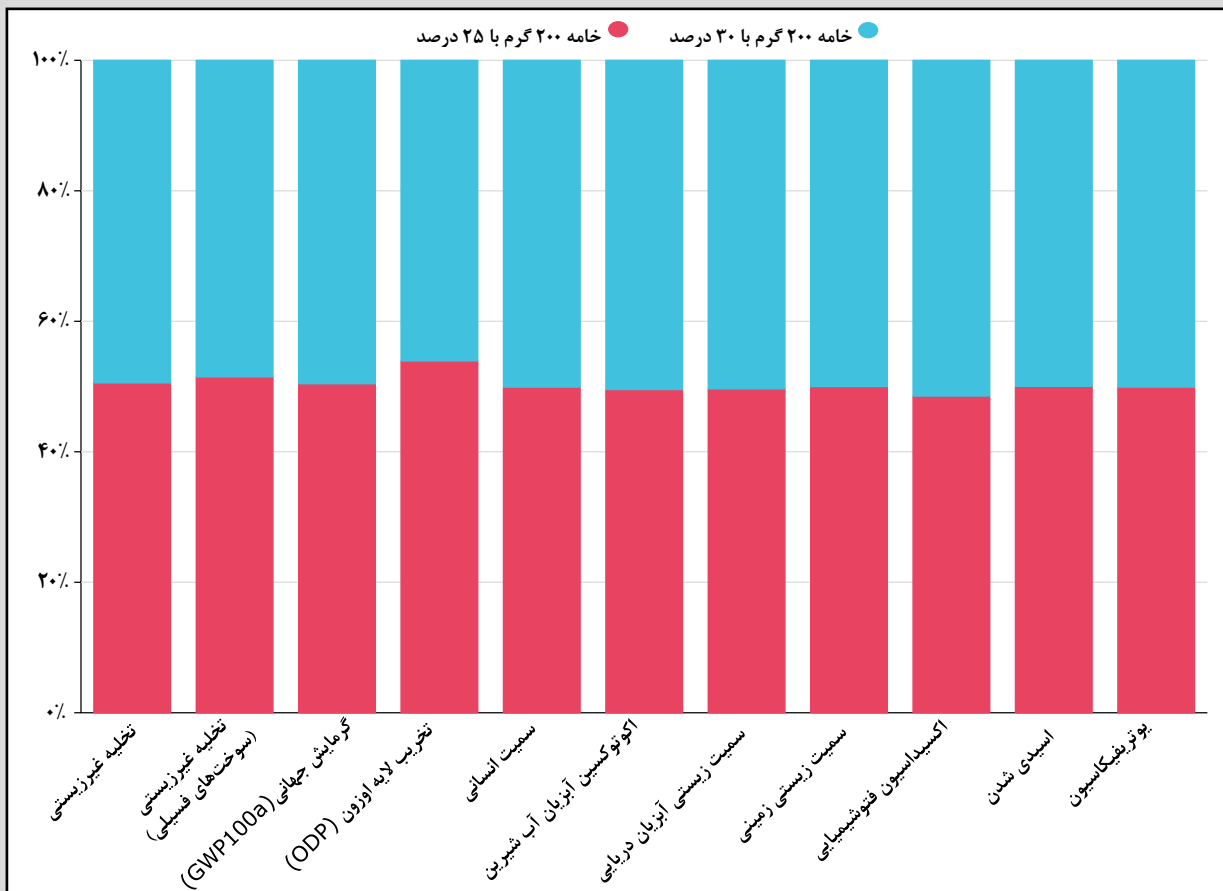
جدول ۳- سهم نسبی هر ارزیابی درصد برای هر دسته اثر برای خامه ۲۰۰ گرمی ۳۰٪ چرب

انرژی گرمایی	برق مصرفی	پاکت تتراپک	سود پرک	نایلون	اسید نیتریک	استابلایزر	شیر خام	دسته اثرات
0.3418	0.984	16.1579	2.2138	66.1797	3.0119	0.1309	10.98	AD
1.5833	2.3475	33.199	0.2004	12.9626	0.5434	0.8688	48.295	AD (fossil fuels)
0.4346	0.9683	5.0746	0.0821	4.4982	0.5184	0.7473	87.6765	GWP
5.9628	2.3325	18.1008	0.7226	1.4689	3.0247	1.1798	67.2079	OLD
1.081	19.2094	17.9736	1.8822	5.1519	2.4232	0.689	51.5896	HT
0.1023	5.7388	2.51	0.1804	0.4324	0.2022	0.1977	90.6361	FE
0.8714	47.893	25.566	1.8865	5.4544	2.0555	0.197	16.0763	ME
0.0033	0.0735	0.0556	0.0038	0.011	0.0044	0.0225	99.8259	TE
0.36	2.2279	6.8147	0.1864	4.6713	0.3049	6.3019	79.133	PO
0.0318	0.6649	1.5212	0.0607	1.1224	0.1608	0.0895	96.3487	AC
0.0152	1.1734	0.6391	0.0386	0.489	0.1339	0.184	97.3266	EP



۳.۳. مقایسه طبقات اثر دو مدل خامه

در شکل ۵ و جدول ۴ مقایسه اثرات زیست محیطی دو نوع خامه ارائه شده است. نتایج حاصله از این پژوهش نشان می‌دهد که مقایسه دو مدل خامه ۲۰۰ گرمی با چربی‌های ۲۵ و ۳۰ درصد، به رغم شباهت‌های اولیه در مصرف انرژی، تأثیرات متفاوتی بر روی اثرات زیست محیطی دارد. داده‌های اولیه نشان می‌دهند که خامه ۳۰ درصد چربی، به ترتیب ۶۰ کیلووات ساعت برق و ۴۰۹ متر مکعب گاز مصرف می‌کند، در حالی که خامه ۲۵ درصد چربی به ترتیب ۵۸ کیلووات ساعت برق و ۴۰۷ متر مکعب گاز را به خود اختصاص می‌دهد. این تفاوت‌های جزئی در مصرف انرژی می‌تواند به دلیل تفاوت در فرآیند تولید و ترکیب مواد اولیه باشد. در چهار دسته اثر، شامل کاهش عوامل غیر زنده، کاهش عوامل غیر زنده (سوخت فسیلی)، پتانسیل گرمایش جهانی و تخلیه لایه ازن، خامه ۲۵ درصد چربی آلایندگی بیشتری نسبت به خامه ۳۰ درصد چربی دارد. این امر می‌تواند به دلیل وجود ترکیبات شیمیایی متفاوت در فرآیند تولید این دو نوع خامه باشد که باعث افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و در نتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای در خامه ۲۵ درصد چربی می‌شود. در مقابل، خامه ۳۰ درصد چربی ممکن است با استفاده از فرآورده‌های بهینه‌تری تولید شده باشد که منجر به کاهش آلایندگی‌ها در این دسته‌ها شده است. در سایر دسته‌های اثر، خامه ۳۰ درصد چربی آلایندگی بیشتری را نشان می‌دهد. این امر می‌تواند به دلیل غلظت بالاتر چربی و مواد مغذی در این نوع خامه باشد که ممکن است نیاز به فرآورده‌های تولید پیچیده‌تری داشته باشد و در نتیجه باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌ها شود. [۲۳] به عنوان مثال، تولید چربی‌های بالاتر ممکن است نیازمند انرژی بیشتری باشد که خود منجر به افزایش آلایندگی در دیگر دسته‌ها می‌شود. پایین‌ترین آلایندگی خامه ۳۰ درصد چربی مربوط به دسته اثر تخلیه لایه ازن با ۸۵.۴ درصد آلایندگی است. این نشان‌دهنده آن است که فرآورده‌های تولید این نوع خامه به گونه‌ای طراحی شده‌اند که تأثیر کمتری بر روی تخریب لایه ازن دارند. [۲۴] همچنین، کمترین آلایندگی برای خامه ۲۵ درصد چربی در دسته اثر اکسیداسیون فتوشیمیایی با ۹۴.۳ درصد مشاهده شده است. این امر می‌تواند ناشی از ترکیب مواد اولیه و فرآورده‌های تولید باشد که باعث کاهش تولید آلاینده‌های فرار می‌شود. در نهایت، در دسته اثر اسیدی شدن، آلایندگی هر دو مدل خامه کاملاً یکسان است. این نشان‌دهنده آن است که هر دو نوع خامه تحت تأثیر یک سری فرآورده‌های مشابه قرار دارند که منجر به تولید مقادیر یکسانی از آلاینده‌ها در این دسته شده است. [۲۵] به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان‌دهنده آن است که انتخاب نوع چربی در تولید خامه می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر روی آلایندگی‌های زیست محیطی داشته باشد. این نکته اهمیت زیادی دارد زیرا با توجه به افزایش تقاضا برای محصولات لبنی و نیاز به حفظ محیط زیست، توجه به فرآورده‌های تولید و انتخاب مواد اولیه مناسب می‌تواند به کاهش اثرات منفی بر روی محیط زیست کمک کند. [۲۶]



شکل ۵- مقایسه اثرات زیست محیطی دو نوع خامه

جدول ۴- مقایسه اثرات زیست محیطی دو نوع خامه

دسته اثرات	خامه ۲۰۰ گرم با ۲۵ درصد چربی	خامه ۲۰۰ گرم با ۳۰ درصد چربی
AD	100	97.8021
AD (fossil fuels)	100	94.2615
GWP	100	98.3314
OLD	100	85.4483
HT	99.5989	100
FE	98.154	100
ME	98.5779	100
TE	100	99.9797
PO	94.3062	100
AC	100	99.9009
EP	99.6261	100



۴. نتیجه گیری

این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید خامه در کارخانه پگاه لرستان، با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات انجام شد. در این مطالعه، داده‌های مورد نیاز از طریق مصاحبه حضوری با پرسنل و داده‌برداری مستقیم در محیط کارخانه جمع‌آوری گردید و محاسبات اثرات زیست‌محیطی با استفاده از نرم‌افزار سیمپرو و روش CML-IA baseline V3.05/world2000 انجام شد. نتایج حاصل از ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در فرآیند تولید خامه ۲۰۰ گرمی با ۲۵٪ چربی نشان می‌دهد که عوامل مختلفی در ایجاد آلودگی و اثرات منفی بر محیط زیست نقش دارند. به‌ویژه، شیر خام به عنوان ماده اولیه اصلی، بالاترین میزان آلاینده‌گی را در اکثر دسته‌های اثر به خود اختصاص داده است. این موضوع به دلایل متعددی از جمله مصرف بالای انرژی در فرآیندهای جمع‌آوری، حمل و نقل و پردازش شیر مربوط می‌شود که منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌ها می‌گردد. در واقع، شیر خام به تنهایی سهم بالایی از آلاینده‌گی را در تمامی دسته‌های اثر دارد. علاوه بر شیر خام، بسته‌بندی نیز به عنوان یکی از عوامل کلیدی آلودگی شناخته می‌شود. در دسته اثر کاهش عوامل غیر زنده، بسته‌بندی ثانویه با ۶۶.۳٪ بالاترین آلاینده‌گی را دارد. این امر ناشی از استفاده گسترده از مواد پلاستیکی و فرآیندهای تولید و بازیافت ناپایدار این مواد است که به آلودگی محیط زیست و افزایش زباله‌های پلاستیکی منجر می‌شود. در دسته اثر سمیت آبزیان دریایی، الکتریسیته با ۴۷.۲۲٪ بالاترین سهم را دارد، که نشان‌دهنده تأثیرات منفی تولید برق بر روی اکوسیستم‌های آبی است. بسیاری از منابع انرژی مورد استفاده برای تولید برق، مانند سوخت‌های فسیلی، باعث آلودگی آب و تخریب زیستگاه‌های دریایی می‌شوند. همچنین، این پژوهش نشان می‌دهد که تأثیرات زیست‌محیطی خامه ۲۰۰ گرمی با ۲۵٪ چربی و خامه ۳۰٪ چربی به‌طور کلی مشابه است، اما با تفاوت‌هایی در آلاینده‌گی ناشی از بسته‌بندی و مصرف انرژی. در هر دو نوع خامه، شیر خام و بسته‌بندی به‌عنوان دو عامل اصلی آلودگی شناسایی شده‌اند. به‌ویژه، بسته‌بندی نایلونی و پاکت در خامه ۲۵٪ چربی با ۶۶.۳٪ آلاینده‌گی، نسبت به خامه ۳۰٪ چربی که ۶۶.۱٪ آلاینده‌گی دارد، بیشتر است. این افزایش در آلاینده‌گی ناشی از نیاز به مواد بسته‌بندی بیشتر برای حفظ کیفیت و ماندگاری خامه با درصد چربی پایین‌تر است. از سوی دیگر، فرآیند تولید خامه با درصد چربی بالاتر به انرژی و برق بیشتری نیاز دارد. این موضوع به دلیل پیچیدگی‌های فرآیندهایی نظیر جداسازی چربی، تصفیه و پاستوریزاسیون است که برای تولید خامه ۳۰٪ چربی الزامی است. در دسته سمیت آبزیان دریایی، میزان آلاینده‌گی ناشی از مصرف برق برای خامه ۳۰٪ چربی با ۴۷.۸٪ اندکی بیشتر از خامه ۲۵٪ چربی با ۴۷.۲٪ است. این نکته نشان‌دهنده آن است که هرچند بسته‌بندی خامه ۲۵٪ چربی بیشتر است، اما فرآیندهای تولید آن به دلیل نیاز به انرژی کمتر، اثر کمتری بر روی محیط زیست دارد. به‌طور خاص، خامه ۳۰٪ چربی با مصرف ۶۰ کیلووات ساعت برق و ۴.۹ متر مکعب گاز، در مقایسه با خامه ۲۵٪ چربی که به ترتیب ۵۸ کیلووات ساعت برق و ۴.۷ متر مکعب گاز مصرف می‌کند، دارای آلاینده‌گی کمتری در برخی از دسته‌های اثر است. علاوه بر این، در دسته‌های اثر دیگر، خامه ۳۰٪ چربی به دلیل غلظت بالاتر چربی و مواد مغذی، آلاینده‌گی بیشتری را نشان می‌دهد. این امر ممکن است ناشی از نیاز به فرآیندهای تولید پیچیده‌تر باشد که خود منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌ها می‌شود. در نهایت، این پژوهش تأکید می‌کند که برای کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی در تولید خامه‌ها، نیاز به بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و بسته‌بندی وجود دارد. این امر می‌تواند شامل استفاده از مواد بسته‌بندی پایدارتر، کاهش مصرف انرژی و بهبود کارایی در فرآیندهای تولید باشد تا بتوان به سمت یک سیستم پایدارتر حرکت کرد. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان‌دهنده اهمیت توجه به عوامل مختلف در کاهش آلاینده‌گی و حفظ محیط زیست در صنعت تولید لبنیات است. با توجه به نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که محققان در آینده به بررسی و توسعه فناوری‌های نوین در فرآیند تولید محصولات لبنی بپردازند، به‌ویژه با تمرکز بر کاهش مصرف انرژی و بهینه‌سازی منابع. همچنین، تحقیقات می‌توانند به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی سایر



فرآورده‌های لبنی، مانند ماست و پنیر، پردازند تا یک دیدگاه جامع‌تر از تأثیرات این صنایع بر محیط زیست ارائه دهند. علاوه بر این، پیشنهاد می‌شود که محققان به بررسی روش‌های پایدار و دوستدار محیط زیست، از جمله استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و مدیریت بهینه پساب‌ها، توجه ویژه‌ای داشته باشند. این اقدامات می‌تواند به کاهش آلاینده‌گی و بهبود پایداری در صنعت لبنی کمک کند و در نهایت به حفظ محیط زیست منجر شود.

مراجع

1. Baker, Fern T., and Stephen Axon. "Towards an Application of the Life Cycle Assessment Framework for GHG Emissions of the Dairy System: A Literature Review." Land 14.6 (2025): 1207.
2. Flores-Siguenza, P., Lopez-Sanchez, V., Mosquera-Gutierrez, J., Llivisaca-Villazhañay, J., Moscoso-Martínez, M., & Guamán, R. (2025). Fuzzy Optimization and Life Cycle Assessment for Sustainable Supply Chain Design: Applications in the Dairy Industry. Sustainability, 17(12), 5634.
3. Hemachandra, S., Hadjikakou, M., & Pettigrew, S. (2024). A scoping review of food packaging life cycle assessments that account for packaging-related food waste. The International Journal of Life Cycle Assessment, 29(10), 1899-1915.
4. Singaravadelan, A., Sachin, P. B., Harikumar, S., Vijayakumar, P., Vindhya, M. V., Farhana, F. B., ... & Mathew, J. (2023). Life cycle assessment of greenhouse gas emission from the dairy production system. Tropical Animal Health and Production, 55(5), 320.
5. Ferdouse, J., Silva, B. Q., Baune, M. C., Terjung, N., & Smetana, S. (2024). Life cycle assessment of hemp-based milk alternative production in Lower Saxony, Germany, based on a material flow analysis of a pilot scale. The International Journal of Life Cycle Assessment, 29(4), 652-668.
6. Ghinea, C., & Leahu, A. (2023). Life cycle assessment of sheep cheese production in a small dairy factory from Romanian rural area. Environmental Science and Pollution Research, 30(3), 6986-7004.
7. Gonzalez-Quintero, R., Barahona-Rosales, R., Arango, J., Bolívar-Vergara, D. M., Gómez, M., Chirinda, N., & Sánchez-Pinzón, M. S. (2025). Environmental assessment and mitigation strategies for dairy cattle farms in Colombia: Greenhouse gas emissions, non-renewable energy use, and land use. Livestock Science, 291, 105625.
8. Slave, C., & Man, C. (2012). The contribution of human activities to climate changes. In Agrarian economy and rural development-Realities and perspectives for Romania. 3rd Edition of the International Symposium, October 2012, Bucharest (pp. 292-295). Bucharest: The Research Institute for Agricultural Economy and Rural Development (ICEADR).
9. Soltanali, H., Emadi, B., Rohani, A., Khojastehpour, M., & Nikkhah, A. (2015). Life cycle assessment modeling of milk production in Iran. Information Processing in Agriculture, 2(2), 101-108.
10. Leal Filho, W., Setti, A. F. F., Azeiteiro, U. M., Lokupitiya, E., Donkor, F. K., Etim, N. N., ... & Djekic, I. (2022). An overview of the interactions between food production and climate change. Science of the Total Environment, 838, 156438.
11. Eramo, V., di Cristofaro, M., & Botondi, R. (2025). Environmental sustainability in dairy production: a comparative Life Cycle Assessment of Conventional and Ozone-based



ripening for 'Toma Piemontese' raw milk cheese. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 117667.

12. Kumar, M., Choubey, V. K., Deepak, A., Gedam, V. V., & Raut, R. D. (2021). Life cycle assessment (LCA) of dairy processing industry: A case study of North India. *Journal of Cleaner Production*, 326, 129331.

13. Herron, J., O'Brien, D., & Shalloo, L. (2022). Life cycle assessment of pasture-based dairy production systems: Current and future performance. *Journal of Dairy Science*, 105(7), 5849-5869.

14. Mancilla-Leytón, J. M., Morales-Jerrett, E., Delgado-Pertinez, M., & Mena, Y. (2021). Fat-and protein-corrected milk formulation to be used in the life-cycle assessment of Mediterranean dairy goat systems. *Livestock Science*, 253, 104697.

15. Borghesi, G., Stefanini, R., & Vignali, G. (2022). Life cycle assessment of packaged organic dairy product: A comparison of different methods for the environmental assessment of alternative scenarios. *Journal of Food Engineering*, 318, 110902.

16. Üçtuğ, F. G. (2019). The environmental life cycle assessment of dairy products. *Food Engineering Reviews*, 11(2), 104-121.

17. Sun, X., Liu, Y., Li, Y., Chai, S., Zhang, H., Liu, Y., ... & Wei, Y. (2023). Environmental sustainability analysis of dairy bedding regeneration system based on emergy evaluation and life cycle assessment methods. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(4), 9048-9059.

18. Wang, L., Setoguchi, A., Oishi, K., Sonoda, Y., Kumagai, H., Irbis, C., ... & Hirooka, H. (2019). Life cycle assessment of 36 dairy farms with by-product feeding in Southwestern China. *Science of the Total Environment*, 696, 133985.

19. Drews, J., Czycholl, I., & Krieter, J. (2020). A life cycle assessment study of dairy farms in northern Germany: the influence of performance parameters on environmental efficiency. *Journal of Environmental Management*, 273, 111127.

20. Famiglietti, J., Guerci, M., Proserpio, C., Ravaglia, P., & Motta, M. (2019). Development and testing of the product environmental footprint milk tool: a comprehensive LCA tool for dairy products. *Science of the Total Environment*, 648, 1614-1626.

21. Winans, K. S., Macadam-Somer, I., Kendall, A., Geyer, R., & Marvinney, E. (2020). Life cycle assessment of California unsweetened almond milk. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(3), 577-587.

22. Jungbluth, N., Keller, R., & Meili, C. (2018). Life cycle assessment of a detailed dairy processing model and recommendations for the allocation to single products. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(9), 1806-1813.

23. Paramesh, V., Parajuli, R., Chakurkar, E. B., Sreekanth, G. B., Kumar, H. C., Gokuldas, P. P., ... & Ravisankar, N. (2019). Sustainability, energy budgeting, and life cycle assessment of crop-dairy-fish-poultry mixed farming system for coastal lowlands under humid tropic condition of India. *Energy*, 188, 116101.

24. Berton, M., Bovolenta, S., Corazzin, M., Gallo, L., Pinterits, S., Ramanzin, M., ... & Sturaro, E. (2021). Environmental impacts of milk production and processing in the Eastern Alps: A "cradle-to-dairy gate" LCA approach. *Journal of cleaner production*, 303, 127056.

25. Finnegan, W., & Goggins, J. (2021). Environmental impact of the dairy industry. In *Environmental Impact of Agro-Food Industry and Food Consumption* (pp. 129-146). Academic Press.



26. Maciel, A. M., Otenio, M. H., de Paula, V. R., Benhami, V. M. L., Piekarski, C. M., da Rocha, C. M., & Barros, N. O. (2022). Life cycle assessment of milk production system in Brazil: Environmental impact reduction linked with anaerobic treatment of dairy manure. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 54, 102883.