

مقایسه مصرف انرژی روش‌های القائی و معمول کارخانه‌ای در پاستوریزاسیون شیر قبل و بعد از هدفمندی یارانه‌ها

سیمین حق نظری^۱، سپهر مرادی^۲، مصطفی معماریان^۳ و مرادپاشا اسکندری نسب^۴

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۵

^۱ استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

^۳ استادیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

^۴ دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

*مسئول مکاتبه: Email: haghazari.simin@znu.ac.ir

چکیده

سیستم حرارتی معمول پاستوریزاسیون، به دلیل کندی انتقال حرارت به شیر، با اتلاف انرژی همراه بوده و گاهی نیز در شیرهای بسیار آلوده، اجباراً با افزایش درجه حرارت برای کفایت پاستوریزاسیون، تشکیل سنگ شیر را موجب می‌شود. این اتفاق، تأثیر منفی در طعم و رنگ و ارزش غذایی شیر تولیدی، مشکل عدم انتقال حرارت کافی به شیر و در نتیجه مغایرت ویژگی‌های بهداشتی شیر با استاندارد مربوطه، ورود مواد مضر سمی ناشی از سوختگی مواد شیر و بالاخره مصرف بیشتر انرژی را نیز به دنبال خواهد داشت. در حالی که در روش القایی، جریان الکترومغناطیس حاصله، به دلیل سرعت انتقال حرارت، فاقد معایب پاستوریزاسیون معمولی شیر است. در این پژوهش، شیر پاستوریزه شده در دستگاه مولد جریان القائی با شدت انتقال الکتریسیته ۱۶۰۰ وات با زمان نگهداری ۳۰ ثانیه، دمای ۸۴ درجه سانتی‌گراد و قطر سطح اتکا ۲۳ سانتی‌متر (بهترین شرایط نمونه منتخب از پروژه تحقیقی)، از نظر مصرف انرژی با شیر پاستوریزه شده به روش معمول در شرایط مشابه و هزینه‌های مربوطه قبل و بعد از طرح هدفمندی یارانه‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تلفات انرژی در دو روش پاستوریزاسیون معمول کارخانه و القائی به ترتیب ۴۶/۱۵ درصد و ۳۲ درصد و صرفه‌جویی در هزینه ریالی انرژی با استفاده از روش القائی نسبت به روش پاستوریزاسیون معمول کارخانه در طول سال، قبل و بعد از هدفمندی یارانه‌ها به ترتیب ۶۷٪ و ۸۲/۹٪ می‌باشد. که از نظر میزان مصرف انرژی و هزینه‌های مربوطه، روش القائی در مقایسه با روش معمول کارخانه ارجحیت دارد.

واژگان کلیدی: الکترومغناطیس، انرژی، پاستوریزاسیون شیر، تکنولوژی القائی

مقدمه

صنایعی موفق‌تر خواهند بود که در این رقابت، با تحقیقات و مطالعات، موفق به یافتن و پس از آن بکار بردن راه‌های جلوگیری از اتلاف انرژی شوند. تلاش

در عرصه رقابت جهانی در راستای مصرف کمتر یا بهینه و تولید هر چه بیشتر انرژی، کشورها، جوامع و

متخصصین و دانشمندان در جهت اختراع، ابداع و تولید وسایل و تجهیزات کارآمد نیز جبهه دیگری است که برای مبارزه با اتلاف انرژی گشوده شده است (راهنماهای فنی مدیریت انرژی. ۱۳۸۹)

در حال حاضر فرآیند آماده‌سازی شیر برای خطوط تولید شیر پاستوریزه، عملاً به دلیل کارکرد طولانی مدت تجهیزات و دستگاه‌های مختلف، هزینه‌های سربار بالایی را داراست. امروزه با توجه به وقوع برخی تغییرات ساختاری در عرصه‌های مختلف اقتصادی و سیاسی در سطح بین‌المللی، موضوع امنیت انرژی و اصلاح زیرساخت‌های مرتبط با تولید، توزیع و مصرف انرژی، به عنوان یکی از مسائل کاملاً استراتژیک و مهم به ویژه در میان کشورهای در حال توسعه مطرح می‌باشد و مبتنی بر همین رویکرد موضوع بهینه‌سازی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی از مهم‌ترین چالش‌ها و دغدغه‌های مطرح در سطوح مختلف مدیریتی و ملی می‌باشد. در صنعت فرآوری شیر، بخش فرآیند و آماده‌سازی شیر خام و تبدیل آن به شیر پاستوریزه از بخش‌های مهم و کلیدی به شمار می‌آید.

میزان انرژی مصرفی در کارخانه‌های شیر، به نوع محصول تولید شده بستگی دارد. به عنوان مثال در کارخانه‌هایی که فقط به فرآوری شیر می‌پردازند نسبت به کارخانه‌هایی که محصولات تغلیظ شده را فرآوری می‌کنند، انرژی بسیار کمتری مصرف می‌شود. میزان مصرف انرژی به مساحت کارخانه، قدیمی یا پیشرفته بودن تجهیزات، بهره‌وری و همچنین به سطح خودکار بودن فرآیند تولید در کارخانه نیز بستگی دارد (فرهنگی ۱۳۸۳).

بررسی مصارف ویژه انرژی در صنعت شیر (پاستوریزاسیون به روش کلاسیک)

مصرف انرژی ویژه فسیلی و مصرف انرژی ویژه الکتریکی در صنعت شیر و فراورده‌های آن را می‌توان برای کل کارخانه و یا برای تک‌تک فراورده‌ها، تعریف نمود. مصرف ویژه انرژی فسیلی در کشورهای پیشرفته جهان که بیشترین میزان تولید فراورده‌های لبنی را دارند، نظیر استرالیا و کانادا، در حدود ۰/۶ گیگا ژول

به ازای یک تن شیر ورودی به کارخانه می‌باشد. از آنجائی که اکثر انرژی فسیلی مصرفی در این کارخانه‌ها به صورت بخار مصرف می‌شود، در صورت کارکرد مناسب و بهینه سیستم تولید و توزیع بخار، می‌توان این شاخص را بر اساس میزان مصرف بخار نیز بیان نمود. مقدار این شاخص در کشورهای پیشرفته در حدود ۰/۴۲ تن بخار به ازای یک تن شیر ورودی به کارخانه می‌باشد. با بررسی کارخانه‌های مختلف صنعت شیر در ایران، ملاحظه می‌شود که شاخص مصرف ویژه فسیلی بسیار بیشتر از شاخص جهانی بوده و در اکثر موارد بیشتر از ۲ برابر می‌باشد و فقط در بعضی از کارخانه‌های مدرن و جدید این شاخص نزدیک شاخص-های جهانی است. مصرف ویژه انرژی فسیلی در ۵ کارخانه تولید شیر در ایران، به‌عنوان مثال، ۰/۶ GJ/ton، ۱/۶۹ GJ/ton، ۱/۳۳ GJ/ton، ۱/۶۹ GJ/ton می‌باشد (فرهنگی. ۱۳۸۳). در بعضی موارد با برآورد و اندازه‌گیری میزان بخار مصرفی در پروسه، ملاحظه شده است که شاخص بخار مصرفی پروسه نسبت به شیر ورودی و در حد شاخص استاندارد می‌باشد، ولی شاخص مصرف انرژی فسیلی کارخانه (سوخت ورودی) نسبت به شیر ورودی، ۲ برابر استاندارد است. این بدان معنی است که پروسه تولید شیر و فرآورده‌های آن در نقطه بهینه و عملکرد مناسب خودکار می‌کند ولی سیستم تولید بخار و انرژی حرارتی کارخانه دارای راندمان بسیار پایینی است و انرژی فسیلی در آن هدر می‌رود. شاخص مصرف ویژه انرژی الکتریکی در کشورهای پیشرفته جهان، در حدود ۵۲ کیلووات ساعت به ازای یک تن شیر ورودی می‌باشد. در ایران این شاخص در اکثر کارخانه‌ها، شیری که مورد بررسی قرار گرفته‌اند، در حد ۲ یا بیش از ۲ برابر مقدار فوق است. با توجه به اینکه بیشترین درصد مصرف انرژی الکتریکی در کارخانه‌ها شیر را دستگاه‌های تبرید و پمپ‌ها مصرف می‌کنند، در یک نگاه کلی، بالا بودن شاخص مصرف انرژی الکتریکی در صنعت شیر ایران را می‌توان ناشی از عملکرد نامناسب و راندمان پائین سیستم تبرید و پمپ‌ها دانست (فرهنگی. ۱۳۸۳). با اندازه‌گیری‌های انرژی الکتریکی بر روی واحدهای اصلی

انرژی حرارت القایی

حرارت القایی به عنوان فرآیندی که در آن جریان‌های الکتریکی از غذا یا مواد دیگر می‌گذرند، تعریف شده است. این حرارت دهی به شکل تولید انرژی داخلی در ماده روی می‌دهد (سودیر ۲۰۰۰).

در حرارت القایی، سیم‌پیچ‌های الکتریکی نزدیک غذا قرار دارند که بخش‌های الکترومغناطیسی نوسانی را به وجود می‌آورند و امواج الکترومغناطیس را از میان غذا عبور می‌دهند. چنین شرایطی می‌تواند از طریق مواد غذایی سیال به‌عنوان سیم‌پیچ ثانویه به وجود آید. تحقیقات درباره حرارت القایی محدود است. دستگاه حرارتی الکترومغناطیس مطمئن و کم‌هزینه می‌باشد و قادر است حرارت را به طور یکنواخت به ماده منتقل کند.

برآورد انرژی پاستوریزاسیون معمول کارخانه در حال حاضر به طور میانگین روزانه حدود ۸۰ تن شیر جهت آماده‌سازی برای ارسال به خط تولید شیر پاستوریزه، وارد کارخانه پگاه زنجان می‌گردد. در پاستوریزاسیون معمول کارخانه، که شیر توسط سوخت فسیلی (گاز) و حرارت مستقیم پاستوریزه می‌گردد، معایب و مشکلاتی به شرح زیر موجود است که هدف از انجام این تحقیق، ابداع روش القایی جهت پاستوریزاسیون شیر هست که قادر به رفع عیوب زیر می‌باشد.

الف- هزینه‌ی بالای تولید و اقتصادی نبودن آن،

ب- استفاده از مواد شیمیایی هنگام شستشوی خط تولید جهت از بین بردن سنگ شیر تولیدی،

ج- افزایش دمای پاستوریزاسیون (به علت وجود سنگ شیر) و کاهش کیفیت آن از نظر اتلاف مواد مغذی

مواد و روش‌ها

مواد و تجهیزات مورد استفاده: شیر خام و شیر پاستوریزه شاهد تهیه شده از کارخانه پگاه زنجان، قرص‌های فسفاتاز قلیایی برای بررسی کفایت پاستوریزاسیون، مواد و وسایل کشت آزمایشگاهی، کتری‌های آهنی برای پاستوریزاسیون شیر خام، ترمومتر

تولید شیر و فرآورده‌های آن و همچنین واحدهای جانبی مختلف از جمله واحد تولید بخار، هوای فشرده، آب سرد، سردخانه‌ها و دستگاه‌های تبرید و با در نظر گرفتن درصد میزان مصرف برودت، بخار، هوای فشرده، آب و... در هر واحد اصلی، می‌توان میزان مصرف انرژی الکتریکی هر بخش از تولید را به دست آورد. از تقسیم مقدار مصرف انرژی الکتریکی هر واحد بر میزان تولید آن واحد لبنی، مصرف ویژه انرژی الکتریکی هر محصول لبنی محاسبه می‌گردد.

در سال‌های اخیر استفاده از انرژی تابشی مادون قرمز، به عنوان یکی از جایگزین‌های مناسب برای روش‌های فسیلی در پاستوریزاسیون مایعات غذایی از جمله شیر مورد تحقیق قرار گرفته است (حق نظری، ۲۰۱۴). اگرچه نتایج عمل پاستوریزاسیون با روش القایی از نظر میزان کاهش بار میکروبی و سرعت انهدام میکروب‌های پاتوژن نسبت به روش کلاسیک کارخانه‌ای ارجحیت قابل ملاحظه‌ای دارد. به طوری که کاهش بار میکروبی در روش منتخب القایی و روش کلاسیک کارخانه‌ای به ترتیب ۹۹/۵٪ و ۹۸/۲۳٪ را نشان می‌دهد؛ یعنی علاوه بر سرعت پاستوریزاسیون بالاتر در روش القایی نسبت به روش کارخانه‌ای کلاسیک، محصول از سلامت بالاتری نیز برخوردار است (حق نظری و همکاران ۱۳۹۳).

در مورد میزان مصرف ویژه انرژی فسیلی هر محصول نیز می‌توان مانند مورد بالا اقدام کرد. یعنی با توجه به میزان مصرف سوخت جهت تولید بخار و همچنین با برآورد میزان بخار مصرفی در هر واحد تولید، میزان مصرف انرژی فسیلی برای هر محصول به دست می‌آید. این مقادیر می‌توانند هم بر اساس واحد انرژی تقسیم بر تناژ محصول لبنی باشد. همچنین می‌تواند بر اساس واحد انرژی تقسیم بر تناژ معادل شیر ورودی هر محصول باشد. ضرایب تبدیل میزان شیر ورودی به محصولات لبنی مختلف، در اکثر کارخانه‌ها با فرآیند مشابه، تقریباً در یک حد و نزدیک هم می‌باشد (فرهنگی ۱۳۸۳).

یخ)، دمایش از ۳۵ به ۶ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد (جدول ۱).

جدول ۱- تغییرات دمایی و صرف انرژی در روش معمول کارخانه

فرآیند	
تبدیل دمایی	اختلاف دما
$C^{\circ} 84 \rightarrow C^{\circ} 60$	$+24^{\circ}C$
افزایش دمای شیر	
توسط آب داغ	
$C^{\circ} 35 \rightarrow C^{\circ} 60$	$-29^{\circ}C$
خنک کاری شیر	
توسط آب یخ	

نتایج و بحث

میزان انرژی حرارتی و برودتی (ورودی و مصرفی) در روش پاستوریزاسیون معمول کارخانه برای پروسه آماده‌سازی شیر جهت خط تولید شیر پاستوریزه، با احتساب ۳۳۰ روز کاری در طول سال، در زیر آورده شده است.

دستگاه‌ها: دستگاه‌های تولید حرارت معمولی و حرارت القاییدر فرآیند پاستوریزاسیون، افزایش یا کاهش دمای موردنیاز به دو طریق بازیافت از حرارت شیر در حال فرآیند و همچنین تبادل با منبع انرژی رسانی شامل آب داغ (بخار آب داغ) و آب یخ تأمین می‌گردد. به این علت که شیر در خط لوله پاستوریزاسیون گردش می‌کند، شیر خام در زمان ورود به پاستوریزاتور از طریق تماس با لوله‌های حامل شیرهای پاستوریزه با دمای ۸۴ درجه سانتی‌گراد، دمای آن از ۶ درجه سانتی‌گراد به حدود ۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و در ادامه، در دستگاه‌های پاستوریزاتور معمول کارخانه، حامل انرژی موردنیاز جهت افزایش دمای شیر که سبب افزایش دما از ۶۰ به ۸۴ درجه سانتی‌گراد می‌شود (بخار آب) می‌باشد که گرمای خود را با واسطه آب داغ به محصول منتقل می‌نماید و متقابلاً شیر پاستوریزه شده‌ای که دمای بالا دارد، جهت سرمایش، توسط تماس با لوله‌های شیر خام سرد دمای شیر را از ۸۴ درجه سانتی‌گراد به ۳۵ درجه سانتی‌گراد می‌رساند و در ادامه توسط (آب

۱- انرژی ورودی حرارتی پاستوریزاسیون معمول کارخانه فاصله گذاشته شود

(میزان گاز مصرفی برای تولید \times میزان انرژی تولید شده توسط یک مترمکعب گاز) = انرژی ورودی معمول کارخانه (حرارتی) E
به ازای ۱ تن آب برای تبادل حرارتی ۱ تن شیر) $1 \text{ GJ/ton} = 0.4 \text{ GJ/m}^3 \times 25 \text{ m}^3/\text{ton}$ = انرژی ورودی معمول کارخانه (حرارتی) E بخار
به ازای ۸۰ تن 80 GJ/ton شبانه‌روز در $80 \text{ تن} \times 1 =$ انرژی ورودی معمول کارخانه (حرارتی) E
به ازای ۲۶۴۰۰ تن شیر در سال 26400 GJ در سال (۳۳۰ روز) $26400 \text{ تن} \times 1 =$ انرژی ورودی معمول کارخانه (حرارتی) E

۲- انرژی مصرفی حرارتی پاستوریزاسیون معمول کارخانه

$Q = mc\Delta\theta$, $Q = 1000 \text{ Lit} \times 4200 \times (6 - 100) \div 10^9 = 0.394 \text{ GJ/ton}$ = انرژی مصرفی افزایش دمای آب (حرارتی) E
 $Q = mc\Delta\theta$, $Q = 0.5 \text{ Lit} \times 4200 \times (84 - 60) = 50400 \text{ J}$ = انرژی مصرفی افزایش دمای شیر (حرارتی) E
به ازای یک تن شیر $0.1 \text{ GJ/ton} = 50400 \times 2 \times 1000 \div 10^9$
در شبانه‌روز $39/52 \text{ GJ/ton} = 0.494 \times 80 = Q$, $0.1 + 0.394 =$ کل مصرفی حرارتی E
در سال $13041 \text{ GJ/ton} = 0.494 \times 26400 = Q$

۳- انرژی ورودی برودتی پاستوریزاسیون معمول کارخانه

زمان تبادل حرارتی آب با یخچال (ایجاد آب یخ) \times توان ورودی یخچال P = انرژی ورودی یخچال (برودتی) E
 $70200 = 0.9 \times 60 \times 13000$ وات = انرژی ورودی یخچال (برودتی) E
 $0.140 \text{ GJ/ton} = 72000 \times 2 \times 1000 \div 10^9 =$ انرژی ورودی یخچال (برودتی) E
در شبانه‌روز $11/2 \text{ GJ/ton} = 0.140 \times 80 =$ انرژی ورودی یخچال (برودتی) E
در سال $3696/1 \text{ GJ/ton} = 0.140 \times 26400 =$ انرژی ورودی یخچال (برودتی) E

۴- انرژی مصرفی بروندی پاستوریزاسیون معمول کارخانه

$$E = mc\Delta\theta, Q = 0.5 \text{ Lit} \times 4200 \times (6 - 35) = 50400 \text{ J}$$

$$Q = 50400 \times 2 \times 1000 \div 10^9 = 0.12 \text{ GJ/ton}$$

$$Q = 0.12 \times 80 = 9.6 \text{ GJ/ton}$$
 در شبانه‌روز

$$Q = 0.12 \times 26400 = 3168 \text{ GJ/ton}$$
 در سال

۵- راندمان انرژی پاستوریزاسیون معمول کارخانه

$$E_{\text{کل}} + E_{\text{کل ورودی حرارتی}}/E_{\text{کل مصرفی بروندی}} + E_{\text{کل مصرفی حرارتی}} = 100 \times E_{\text{کل ورودی}}/E_{\text{کل مصرفی}} = \text{راندمان انرژی معمول کارخانه}$$

$$0.12/80 + 0.12/26400 + 0.12/9.6 = 0.494 + 0.12/80 + 0.12/9.6 = 53\%/85$$

۶- تلفات انرژی پاستوریزاسیون معمول کارخانه

$$46\%/15 = 100\% - 53\%/85 = \text{تلفات انرژی معمول کارخانه}, 100\% - \text{درصد راندمان انرژی معمول کارخانه} = \text{تلفات انرژی معمول کارخانه}$$

هزینه انرژی حرارتی و بروندی پاستوریزاسیون معمول کارخانه (قبل و بعد از هدفمندی یارانه‌ها)

۱- هزینه انرژی حرارتی پاستوریزاسیون معمول کارخانه (قبل از هدفمندی یارانه)

میزان گاز مصرفی و بهای معادل آن برای تأمین انرژی حرارتی موردنیاز جهت پاستوریزاسیون ۸۰ تن شیر در شبانه‌روز و طول سال در جدول شماره ۲ ارائه شده است. (قیمت هر مترمکعب گاز = ۱۳۰ ریال):

$$C = C_{\text{میزان گاز مصرفی برای تولید بخار آب}} \times \text{هزینه انرژی حرارتی پاستوریزاسیون معمول کارخانه} \times \text{قیمت یک مترمکعب گاز}$$

$$C = 130 \text{ ریال} \times 25 = 3250$$
 هزینه انرژی حرارتی پاستوریزاسیون معمول کارخانه ۱ تن شیر

$$C = 130 \text{ ریال} \times 2000 = 26000$$
 هزینه انرژی حرارتی ۸۰ تن شیر

$$C = 130 \text{ ریال} \times 66000 = 8580000$$
 هزینه انرژی حرارتی ۲۶۴۰۰ تن شیر در سال

۲- هزینه انرژی بروندی پاستوریزاسیون معمول کارخانه (قبل از هدفمندی یارانه)

میزان برق مصرفی و بهای معادل آن برای تأمین انرژی بروندی موردنیاز جهت پاستوریزاسیون ۸۰ تن شیر در شبانه‌روز و در طول سال در زیر ارائه شده است. (قیمت هر کیلووات ساعت برق = ۱۶۰ ریال)

$$C = C_{\text{میزان انرژی الکتریکی ورودی برای تولید آب یخ}} \times \text{قیمت یک کیلووات ساعت انرژی الکتریکی}$$

$$C = 160 \text{ ریال} \times 30 \text{ kWh} = 4800$$
 هزینه کارکرد ۱ ساعت یخچال

$$C = 160 \text{ ریال} \times 30 \text{ kWh} \times 12 = 57600$$
 هزینه کارکرد شبانه‌روز یخچال

$$C = 160 \text{ ریال} \times 30 \text{ kWh} \times 3960 = 19008000$$
 هزینه کارکرد سالانه یخچال

$$C = \text{هزینه انرژی بروندی} + C_{\text{هزینه انرژی حرارتی}} = \text{هزینه انرژی پاستوریزاسیون معمول کارخانه}$$

$$C = 8580000 + 19008000 = 10488000$$
 هزینه کل انرژی پاستوریزاسیون معمول کارخانه در سال

۳- هزینه انرژی حرارتی پاستوریزاسیون معمول کارخانه (بعد از هدفمندی یارانه)

میزان گاز مصرفی و بهای معادل آن برای تأمین انرژی حرارتی موردنیاز جهت پاستوریزاسیون ۸۰ تن شیر در شبانه‌روز و در طول سال در زیر ارائه شده است. (قیمت هر مترمکعب گاز = ۷۰۰ ریال)

$$C = C_{\text{میزان گاز مصرفی برای تولید بخار آب}} \times \text{هزینه انرژی حرارتی پاستوریزاسیون معمول کارخانه} \times \text{قیمت یک مترمکعب گاز}$$

$$C = 700 \text{ ریال} \times 25 = 17500$$
 هزینه انرژی حرارتی پاستوریزاسیون معمول کارخانه ۱ تن شیر

$$C = 700 \text{ ریال} \times 2000 = 1400000$$
 هزینه انرژی حرارتی پاستوریزاسیون معمول کارخانه ۸۰ تن شیر در شبانه‌روز

ریال هزینه انرژی حرارتی ۲۶۴۰۰ تن شیر در سال $۴۶۲۰۰۰۰۰ = ۶۶۰۰۰۰ \times \text{مترمکعب گاز مصرفی} \times \text{ریال } C = ۷۰۰$

۴- هزینه انرژی برودتی پاستوریزاسیون معمول کارخانه (بعد از هدفمندسازی یارانه)
میزان برق مصرفی و بهای معادل آن برای تأمین انرژی برودتی موردنیاز جهت پاستوریزاسیون ۸۰ تن شیر در شبانه‌روز و در طول سال در زیر ارائه شده است. (قیمت هر کیلووات ساعت برق = ۴۰۰ ریال)

میزان انرژی الکتریکی ورودی برای تولید آب یخ (kwh) \times قیمت یک کیلووات ساعت انرژی الکتریکی $C = C$

ریال هزینه کارکرد ۱ ساعت یخچال $۱۲۰۰۰ = ۳۰ \text{ kwh} \times ۴۰۰ \text{ ریال } C =$

ریال هزینه کارکرد شبانه‌روز یخچال $۱۴۴۰۰۰ = ۱۲ \text{ ساعت کارکرد یخچال در شبانه‌روز} \times ۳۰ \text{ kwh} \times ۴۰۰ \text{ ریال } C =$

ریال هزینه کارکرد سالانه یخچال $۴۷۵۲۰۰۰ = ۳۹۶۰ \text{ ساعت کارکرد یخچال در سال} \times ۳۰ \text{ kwh} \times ۴۰۰ \text{ ریال } C =$

هزینه انرژی برودتی $C +$ هزینه انرژی حرارتی $C =$ هزینه انرژی پاستوریزاسیون معمول کارخانه C

ریال کل هزینه انرژی پاستوریزاسیون معمول کارخانه در سال $۵۰۹۵۲۰۰۰ = ۴۷۵۲۰۰۰ + ۴۶۲۰۰۰۰۰ = C$

هزینه انرژی حرارتی و برودتی پاستوریزاسیون به

روش القائی (قبل و بعد از هدفمندسازی یارانه‌ها)

شیر در روش القائی توسط حرارت القائی حاصل از امواج الکترومغناطیس پاستوریزه می‌شود.

الف- در روش پاستوریزاسیون القائی فقط از انرژی الکتریکی استفاده می‌شود

تغییرات دمایی که در طول پاستوریزاسیون به روش القائی به وجود می‌آید طبق جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۲- تغییرات دمایی و صرف انرژی در روش القائی

فرآیند	اختلاف	تبدیل دمایی
افزایش دمای شیر توسط امواج الکترومغناطیس	$C + ۲۴^{\circ}$	$C ۸۴^{\circ}$
خنک کاری شیر توسط آب یخ	$C - ۲۹^{\circ}$	$C ۶۰^{\circ} \rightarrow ۳۵^{\circ}$

میزان انرژی حرارتی و برودتی (ورودی و مصرفی) در روش پاستوریزاسیون القائی برای پروسه آماده‌سازی شیر جهت خط تولید شیر پاستوریزه در تیمار منتخب ($۳\alpha * ۳\beta * ۴۳ * ۷۲$) با احتساب ۳۳۰ روز کاری در زیر ارائه شده است.

۴۳ سانتی‌گراد)، $۷۱ = ۱۵$ ، $۷۱ = ۲۰$ ، $۷۲ = ۳۰$ و $۷۳ = ۳۰$ ثانیه، شیر پاستوریزه شده در دستگاه مولد جریان القائی با شدت انتقال الکتریسیته ۱۶۰۰ وات با زمان نگهداری ۳۰ ثانیه، دمای ۸۴ درجه سانتی‌گراد و قطر سطح اتکا یا سطح انتقال حرارتی ۲۳ سانتیمتر

۱ - $۳\alpha * ۳\beta * ۴۳ * ۷۲$: قطر سطح اتکا، $i = ۱۲ = ۲\alpha = ۱۷$ ، ۱α و $۳\alpha = ۲۳$ سانتیمتر قطر، $\beta j =$ الکترومغناطیس، $z = ۳۵۰ = ۱\beta$ و $۲\beta = ۱۰۰۰$ و $۳\beta = ۱۶۰۰$ وات، $k = ۴k$ دما، $k = ۷۲ = ۱$ ، $۷۵ = ۲$ و $۸۴ = ۳$

۱- انرژی ورودی حرارتی پاستوریزاسیون القائی

$$E_{\text{انرژی ورودی القائی (حرارتی)}} = W = p \times t \times \text{توان ورودی دستگاه القائی}$$

تکرار اول تیمار مورد آزمون:

$$E_{\text{انرژی ورودی القائی (حرارتی)}} = W = p \times t$$

$$W = 160.0 \times 1/0.4 \times 99840 = 60 \text{ J} \quad W = 99840 \times 2 \times 1000 \div 10^9 = 0.199 \text{ GJ/ton}$$

$$E_{\text{انرژی ورودی القائی (حرارتی)}} = 0.199 \times 80 = 15.92 \text{ GJ/ton}$$
 در شبانه‌روز

$$E_{\text{انرژی ورودی القائی (حرارتی)}} = 0.199 \times 26400 = 5253/6 \text{ GJ/ton}$$
 در سال

تکرار دوم تیمار مورد آزمون:

$$E_{\text{انرژی ورودی القائی (حرارتی)}} = W = p \times t$$

$$W = 160.0 \times 0.97 \times 93120 = 60 \text{ J} \quad W = 93120 \times 2 \times 1000 \div 10^9 = 0.186 \text{ GJ/ton}$$

$$E_{\text{انرژی ورودی القائی (حرارتی)}} = 0.186 \times 80 = 14.88 \text{ GJ/ton}$$
 در شبانه‌روز

$$E_{\text{انرژی ورودی القائی (حرارتی)}} = 0.186 \times 26400 = 4910/4 \text{ GJ/ton}$$
 در سال

تکرار سوم تیمار مورد آزمون:

$$E_{\text{انرژی ورودی القائی (حرارتی)}} = W = p \times t$$

$$W = 160.0 \times 2/75 \times 26400 = 60 \text{ J} \quad W = 26400 \times 2 \times 1000 \div 10^9 = 0.528 \text{ GJ/ton}$$

$$E_{\text{انرژی ورودی القائی (حرارتی)}} = 0.528 \times 80 = 42.24 \text{ GJ/ton}$$
 در شبانه‌روز

$$E_{\text{انرژی ورودی القائی (حرارتی)}} = 0.528 \times 26400 = 13939/2 \text{ GJ/ton}$$
 در سال

۲- انرژی مصرفی حرارتی پاستوریزاسیون القائی

در این روش مرحله تولید بخار آب حذف گردیده است.

$$E_{\text{انرژی مصرفی حرارتی (برودتی)}} = Q = mc\Delta\theta, \quad Q = 0.5 \times 4200 \times (84 - 60) = 50400 \text{ J}$$

$$Q = 50400 \times 2 \times 1000 \div 10^9 = 0.1 \text{ GJ/ton}$$
 حرارتی

$$Q = 0.1 \times 80 = 8 \text{ GJ/ton}$$
 در شبانه‌روز

$$Q = 0.1 \times 26400 = 2640 \text{ GJ/ton}$$
 در سال

۳- انرژی ورودی برودتی پاستوریزاسیون القائی

$$E_{\text{انرژی ورودی برودتی (برودتی)}} = P \times t \times \text{توان ورودی یخچال}$$

$$E_{\text{انرژی ورودی برودتی (برودتی)}} = 1300 \times 0.9 \times 60 = 70200 \text{ وات}$$

$$E_{\text{انرژی ورودی برودتی (برودتی)}} = 72000 \times 2 \times 1000 \div 10^9 = 0.14 \text{ GJ/ton}$$

$$E_{\text{انرژی ورودی برودتی (برودتی)}} = 0.14 \times 80 = 11.2 \text{ GJ/ton}$$
 در شبانه‌روز

$$E_{\text{انرژی ورودی برودتی (برودتی)}} = 0.14 \times 26400 = 3696/8 \text{ GJ/ton}$$
 در سال

۴- انرژی مصرفی برودتی پاستوریزاسیون القائی

$$E_{\text{انرژی مصرفی برودتی (برودتی)}} = Q = mc\Delta\theta$$

$$Q = 0.5 \text{ Lit} \times 4200 \times (6 - 35) = 60900 \text{ J}$$

$$Q = 50400 \times 2 \times 1000 \div 10^9 = 0.12 \text{ GJ/ton}$$

$$Q = 0.12 \times 80 = 9.6 \text{ GJ/ton}$$
 در شبانه‌روز

$$Q = 0.12 \times 26400 = 3168 \text{ GJ/ton در سال}$$

۵- راندمان انرژی پاستوریزاسیون القائی

$$\text{کل ورودی } E + \text{کل ورودی حرارتی } E / \text{کل مصرفی برودتی } E + \text{کل مصرفی حرارتی } E = 100 \times \text{کل ورودی } E / \text{کل مصرفی } E = \text{راندمان انرژی القائی} \times 100$$

تکرار اول تیمار مورد آزمون:

$$\text{راندمان انرژی القائی} = 0.1 + 0.12 / 0.1 + 140 / 199 \times 100 = 65\%$$

تکرار دوم تیمار مورد آزمون:

$$\text{راندمان انرژی القائی} = 0.1 + 0.12 / 0.1 + 140 / 186 \times 100 = 68\%$$

تکرار سوم تیمار مورد آزمون:

$$\text{راندمان انرژی القائی} = 0.1 + 0.12 / 0.1 + 140 / 262 \times 100 = 54\%$$

۶- تلفات انرژی پاستوریزاسیون القائی

تکرار اول تیمار مورد آزمون:

$$\text{تلفات انرژی القائی} = 100\% - 65\% = 35\%$$

تکرار دوم تیمار مورد آزمون:

$$\text{تلفات انرژی القائی} = 100\% - 68\% = 32\%$$

تکرار سوم تیمار مورد آزمون:

$$\text{تلفات انرژی القائی} = 100\% - 54\% = 46\%$$

۷- هزینه انرژی حرارتی و برودتی پاستوریزاسیون القائی (قبل و بعد از هدفمندسازی یارانه)

۷-۱- هزینه انرژی حرارتی پاستوریزاسیون القائی (قبل از هدفمندسازی یارانه)

میزان برق مصرفی و بهای معادل آن برای تأمین انرژی حرارتی موردنیاز جهت پاستوریزاسیون ۸۰ تن شیر در شبانه‌روز و در طول سال در زیر ارائه شده است. (قیمت هر کیلووات ساعت برق مصرفی = ۱۶۰ ریال)

$$\text{میزان انرژی الکتریکی ورودی القائی (kwh)} \times \text{قیمت یک کیلووات ساعت برق } C = \text{هزینه انرژی حرارتی القائی } C$$

$$C = 160 \times 25 \text{ kwh} = 4000 \text{ ریال}$$

$$C = 160 \times 25 \text{ kwh} \times 12 \text{ ساعت کارکرد دستگاه القائی در شبانه‌روز} = 48000 \text{ ریال}$$

$$C = 160 \times 25 \text{ kwh} \times 3960 \text{ ساعت کارکرد دستگاه القائی در سال} = 1584000 \text{ ریال}$$

۷-۲- هزینه انرژی برودتی پاستوریزاسیون القائی (قبل از هدفمندسازی یارانه)

میزان برق مصرفی و بهای معادل آن برای تأمین انرژی برودتی موردنیاز جهت پاستوریزاسیون ۸۰ تن شیر در شبانه‌روز و در طول سال در زیر ارائه شده است. (قیمت هر کیلووات ساعت برق مصرفی = ۱۶۰ ریال).

$$\text{میزان انرژی الکتریکی ورودی برای تولید آب یخ (kwh)} \times \text{قیمت یک کیلووات ساعت انرژی الکتریکی } C = C$$

$$C = 160 \times 30 \text{ kwh} = 4800 \text{ ریال}$$

$$C = 160 \times 30 \text{ kwh} \times 12 \text{ ساعت کارکرد یخچال در شبانه‌روز} = 57600 \text{ ریال}$$

$$C = 160 \times 30 \text{ kwh} \times 3960 \text{ ساعت کارکرد یخچال در سال} = 1900800 \text{ ریال}$$

$$\text{هزینه انرژی برودتی } C + \text{هزینه انرژی حرارتی } C = \text{هزینه انرژی پاستوریزاسیون القائی } C$$

ریال کل هزینه انرژی پاستوریزاسیون القائی در سال $C = 15840000 + 19008000 = 34848000$

۳-۷- هزینه انرژی حرارتی پاستوریزاسیون القائی (بعد از هدفمندی یارانه)

میزان برق مصرفی و بهای معادل آن برای تأمین انرژی حرارتی موردنیاز جهت پاستوریزاسیون ۸۰ تن شیر در شبانه‌روز و در طول سال در زیر ارائه شده است. (قیمت هر کیلووات ساعت برق مصرفی = ۴۰۰ ریال)

میزان انرژی الکتریکی ورودی القائی (kwh) \times قیمت یک کیلووات ساعت برق $C =$ هزینه انرژی حرارتی القائی

هزینه کارکرد ۱ ساعت دستگاه القائی ریال $10000 = 400 \times 25 \text{ kwh}$ ریال $C =$

هزینه کارکرد شبانه‌روز دستگاه القائی ریال $12000 = 12 \times$ ساعت کارکرد دستگاه القائی در شبانه‌روز $\times 400 \times 25 \text{ kwh}$ ریال $C =$

هزینه کارکرد سالانه یخچال ریال $3960000 = 3960 \times$ ساعت کارکرد دستگاه القائی در سال $\times 400 \times 25 \text{ kwh}$ ریال $C =$

۴-۷- هزینه انرژی برودتی پاستوریزاسیون القائی (بعد از هدفمندی یارانه)

میزان برق مصرفی و بهای معادل آن برای تأمین انرژی برودتی موردنیاز جهت پاستوریزاسیون ۸۰ تن شیر در شبانه‌روز و در طول سال در زیر ارائه شده است. (قیمت هر کیلووات ساعت برق = ۴۰۰ ریال)

میزان انرژی الکتریکی ورودی برای تولید آب یخ (kwh) \times قیمت یک کیلووات ساعت انرژی الکتریکی $C =$

هزینه کارکرد ۱ ساعت یخچال ریال $12000 = 400 \times 30 \text{ kwh}$ ریال $C =$

هزینه کارکرد شبانه‌روز یخچال ریال $144000 = 12 \times$ ساعت کارکرد یخچال در شبانه‌روز $\times 400 \times 30 \text{ kwh}$ ریال $C =$

هزینه کارکرد سالانه یخچال ریال $4752000 = 3960 \times$ ساعت کارکرد یخچال در سال $\times 400 \times 30 \text{ kwh}$ ریال $C =$

هزینه انرژی برودتی $C +$ هزینه انرژی حرارتی $C =$ هزینه انرژی پاستوریزاسیون معمول کارخانه

کل هزینه انرژی پاستوریزاسیون معمول کارخانه در سال $8712000 = 3960000 + 4752000$ ریال $C =$

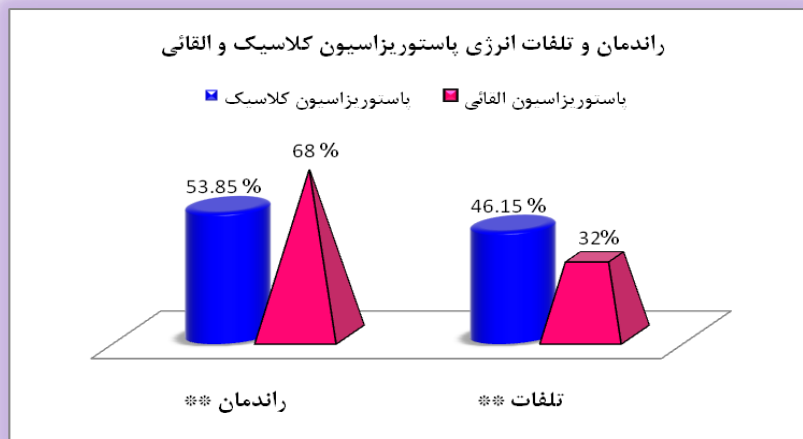
۸- مقایسه میزان انرژی، راندمان، تلفات و هزینه انرژی در پاستوریزاسیون القائی و معمول کارخانه (قبل از هدفمندی یارانه)

با توجه به جدول ۳ پاستوریزاسیون القائی نسبت به پاستوریزاسیون معمول کارخانه دارای راندمان انرژی بالاتر و تلفات انرژی کمتری می‌باشد (شکل ۲) و علل اصلی آن عبارت‌اند از:

الف- حذف مرحله بخار آب
ب- نوع انرژی مورد استفاده در روش القائی
ج- کوتاه‌تر بودن زمان پاستوریزاسیون نسبت به روش معمول کارخانه

جدول ۳- برآورد انرژی ورودی، مصرفی، راندمان و تلفات انرژی در دو روش پاستوریزاسیون معمول کارخانه و القائی

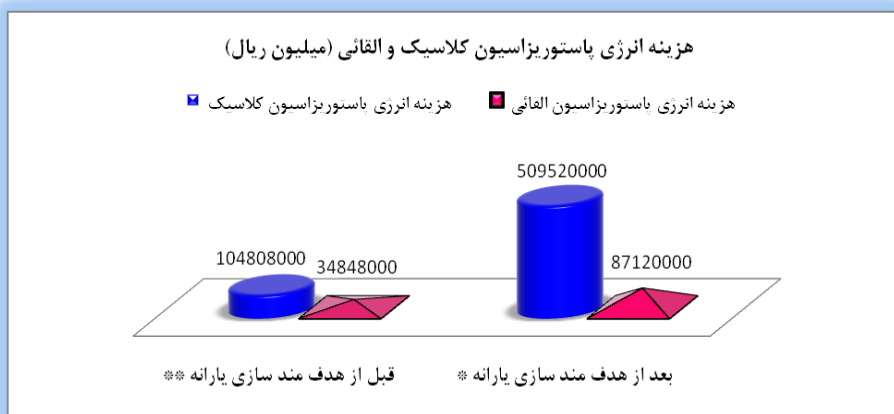
تلفات	راندمان	میزان انرژی مصرفی برای تن شیر در سال برحسب گیگا ژول بر تن	میزان انرژی ورودی برای هر تن شیر در سال بر حسب گیگا ژول بر تن	تبدیل دمایی	
%	%				
**	**	۱۳۰۴۱	۲۶۴۰۰	$0.60 C \rightarrow 0.84 C$	پاستوریزاسیون معمول کارخانه
$46/15^a$	$53/85^a$	۳۱۶۸	۳۶۹۶	$0.35 C \rightarrow 0.6 C$	
		۲۶۴۰	۴۹۱۰/۴	$0.60 C \rightarrow 0.84 C$	پاستوریزاسیون القائی
33^b	68^b	۳۱۶۸	۳۶۹۶	$0.35 C \rightarrow 0.6 C$	$\alpha = \beta \gamma_1 \gamma_2$



شکل ۲ - راندمان و تلفات انرژی پاستوریزاسیون کلاسیک و القائی

هدفمندی یارانه) بود و علت اصلی آن حذف بخش‌هایی از تلفات انرژی و نوع انرژی مورد استفاده در روش القائی بود (شکل ۳).

با توجه به نتایج جداول ۴ و ۵، هزینه انرژی پاستوریزاسیون القائی نسبت به پاستوریزاسیون معمول کارخانه بسیار پائین تر (قبل و بعد از



شکل ۳ - هزینه انرژی پاستوریزاسیون کلاسیک و القائی (قبل و بعد از هدفمندسازی یارانه)

جدول ۴ - برآورد هزینه انرژی پاستوریزاسیون معمول کارخانه و القائی (قبل از هدفمندسازی یارانه)

پاستوریزاسیون معمول کارخانه	میزان گاز مصرفی (انرژی حرارتی برای ۸۰ تن شیر در سال) (m ³)	هزینه انرژی حرارتی در سال (ریال)	میزان برق مصرفی (انرژی برودتی برای ۸۰ تن شیر در سال) (kwh)	هزینه انرژی برودتی در سال (ریال)
۶۶۰۰۰۰	۸۵۸۰۰۰۰۰	۱۱۸۸۰۰	۱۹۰۰۸۰۰۰	۱۹۰۰۸۰۰۰
پاستوریزاسیون القائی	میزان برق مصرفی (انرژی حرارتی برای ۸۰ تن شیر در سال) (kwh)	هزینه انرژی حرارتی در سال (ریال)	میزان برق مصرفی (انرژی برودتی برای ۸۰ تن شیر در سال) (kwh)	هزینه انرژی برودتی در سال (ریال)
۲ * γ _۳ * β _۳ * α	۹۹۰۰۰	۱۵۸۴۰۰۰۰	۱۱۸۸۰۰	۱۹۰۰۸۰۰۰
جمع هزینه انرژی پاستوریزاسیون معمول کارخانه				

۱۰۴۸۰۸۰۰۰^b

جمع هزینه انرژی پاستوریزاسیون القائی

میزان کاهش هزینه ریالی موردنیاز در طول سال بین دو روش معمول کارخانه و القائی (قبل از هدفمندی یارانه) در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۵- برآورد هزینه انرژی پاستوریزاسیون معمول کارخانه و القائی (بعد از هدفمندی یارانه)

پاستوریزاسیون معمول کارخانه	میزان گاز مصرفی (انرژی حرارتی) برای ۸۰ تن شیر در سال (m ³)	هزینه انرژی حرارتی در سال (ریال)	میزان برق مصرفی (انرژی برودتی) برای ۸۰ تن شیر در سال (kwh)	هزینه انرژی برودتی در سال (ریال)
۶۶۰۰۰۰	۴۶۲۰۰۰۰۰	۱۱۸۸۰۰	۴۷۵۲۰۰۰۰	
پاستوریزاسیون القائی	میزان برق مصرفی (انرژی حرارتی) برای ۸۰ تن شیر در سال (kwh)	هزینه انرژی حرارتی در سال (ریال)	میزان برق مصرفی (انرژی برودتی) برای ۸۰ تن شیر در سال (kwh)	هزینه انرژی برودتی در سال (ریال)
$\alpha * \beta * \gamma * \delta$	۹۹۰۰۰	۳۹۶۰۰۰۰	۱۱۸۸۰۰	۴۷۵۲۰۰۰۰
جمع هزینه انرژی پاستوریزاسیون معمول کارخانه *				
۵۰۹۵۲۰۰۰ ^b				
جمع هزینه انرژی پاستوریزاسیون القائی				
۸۷۱۲۰۰۰۰ ^a				

جدول ۶- میزان و درصد کاهش هزینه ریالی در طول سال بین دو روش معمول کارخانه و القائی (قبل از هدفمندی یارانه)

میزان هزینه ریالی در طول سال معمول کارخانه	میزان کاهش در طول سال	درصد کاهش
۱۰۴۸۰۸۰۰۰ ریال	۳۴۸۴۸۰۰۰ ریال	۶۷٪

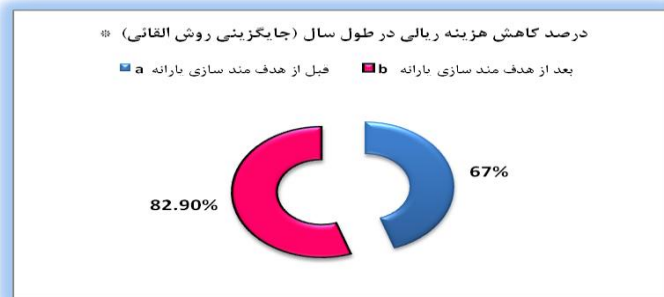
میزان کاهش هزینه ریالی موردنیاز در طول سال بین دو روش معمول کارخانه و القائی (بعد از هدفمندی یارانه) در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- میزان و درصد هزینه ریالی در طول سال برای دو روش معمول کارخانه و القائی (بعد از هدفمندی یارانه)

نمونه معمول کارخانه	نمونه القائی	میزان کاهش هزینه در طول سال	درصد کاهش هزینه
۵۰۹۵۲۰۰۰۰ ریال	۸۷۱۲۰۰۰۰ ریال	۴۲۲۴۰۰۰۰۰ ریال	۸۲٪/۹

روش القائی نسبت به روش معمول کارخانه می‌باشد (شکل ۴).

با توجه به نتایج جداول ۶ و ۷، کاهش هزینه ریالی در روش القائی (قبل و بعد از هدفمندی یارانه) مشاهده گردید، که این نتایج نشان دهنده به صرفه‌تر و اقتصادی‌تر بودن



شکل ۴- درصد کاهش هزینه ریالی در طول سال (جایگزینی روش القائی)

۹- ارزش فعلی هزینه‌های انرژی (NPV)

۹-۱ ارزش فعلی هزینه‌های انرژی پاستوریزاسیون به روش معمول کارخانه

$$NPV = C_0 + \frac{C_1}{1+r} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+r)^n}$$

C = هزینه سالانه، r = نرخ بهره بانکی (نرخ بازگشت سرمایه)

$$NPV_{\text{معمول کارخانه}} = ۸۱۷۷۴۰۰۰ + \frac{۶۵۲۶۱۷۷}{۷} + \frac{۴۹۱۴۲۳}{۸۶} + \frac{۳۹۵۹۲}{۵} + ۳۱۵۵ + \frac{۱۱۳۶}{۳} = ۸۸۸۳۵۴۸۵۹-۲/۴$$

۹-۲ ارزش فعلی هزینه‌های انرژی پاستوریزاسیون به روش القائی (شکل ۵)

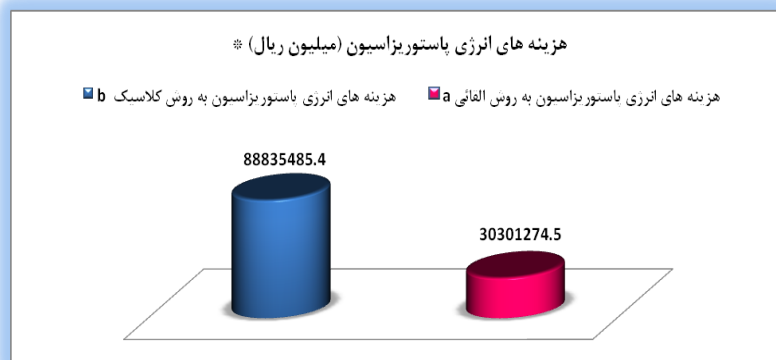
$$NPV = C_0 + \frac{C_1}{1+r} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+r)^n}$$

C = هزینه سالانه، r = نرخ بهره بانکی (نرخ بازگشت سرمایه)

$$NPV_{\text{القائی}} = ۲۸۰۱۴۰۰۰ + ۲۱۰۵۴۰۰ + \frac{۱۶۷۳۰۸}{۶} + \frac{۱۳۳۲۲}{۶} + ۱۰۴۹ + \frac{۱۹۴}{۳} = ۳۰۳۰۱۲۷۴/۵$$

NPV معمول کارخانه > NPV القائی

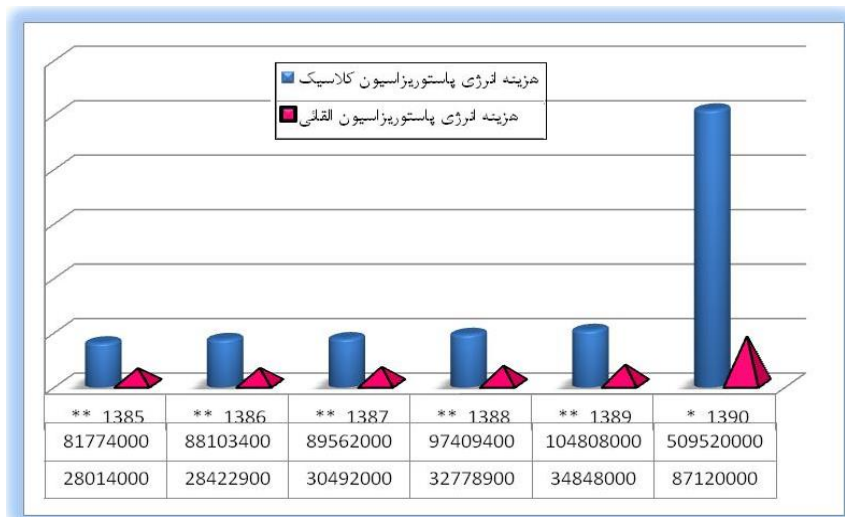
$$۸۸۸۳۵۴۸۵/۴ \text{ معمول کارخانه} > ۳۰۳۰۱۲۷۴/۵ \text{ القائی}$$



شکل ۵- مقایسه هزینه‌های انرژی پاستوریزاسیون

می‌باشد. ضمناً مقایسه هزینه‌های انرژی ۵ سال گذشته ۲ روش پاستوریزاسیون در زیر آمده است (شکل ۶).

هزینه‌های پاستوریزاسیون القایی کمتر از روش معمول کارخانه بوده و از این نظر روش القایی در ارجحیت



شکل ۶- مقایسه هزینه‌های انرژی ۵ سال گذشته ۲ روش پاستوریزاسیون

روش حرارتی دمای بالا در زمان کم^۹ از نظر میزان مصرف انرژی برای فرآوری آب سیب، در شکل ۷ مقایسه کرده است. به این منظور ایشان روش‌های اعمال انرژی را در سه سطح مقداری به کار بردند و میزان انهدام اشرفیاشیا کولی را در آب سیب فرآیند شده بررسی نمودند. نتیجه مقایسه به‌کارگیری انرژی‌های مختلف در شکل زیر مشاهده می‌شود.

در نمودار شماره ۶، مقایسه هزینه‌های انرژی در طی ۵ سال بین سال‌های ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۸۹ نشان داد که هزینه انرژی پاستوریزاسیون کلاسیک به تدریج افزایش یافته است ولی با هدفمندی یارانه‌ها که با آزاد شدن نرخ سوخت همراه شده است، هزینه انرژی کارخانه لبنیات به شدت افزایش یافته است، ولی این افزایش در روش القایی پاستوریزاسیون در سال ۱۳۹۰ با محاسبه قیمت برق با مصرف کم روش القایی، با افزایش قیمت شدید همراه نمی‌باشد.

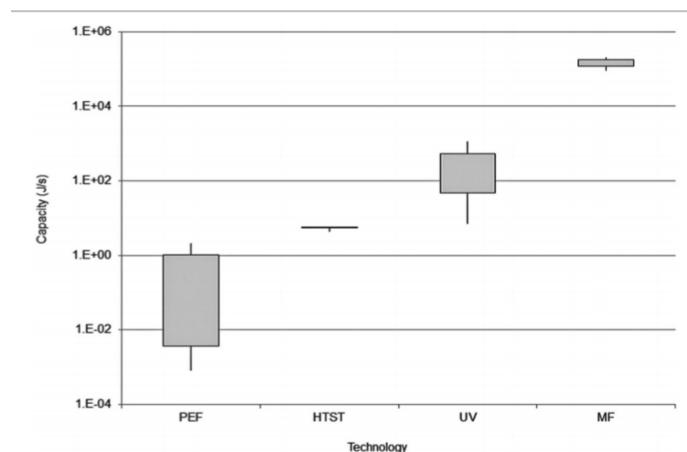
جایگزینی تکنولوژی‌های دیگر نیز با روش‌های حرارتی معمول، توسط دانشمندانی نظیر گونزالس و همکاران در سال ۲۰۱۵ برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، مورد بررسی قرار گرفت که مؤثر بودن انواعی از روش‌ها را در صرفه‌جویی انرژی به اثبات رسانده است. این محقق روش‌های فرایند فشار بالا؛ فیلتراسیون غشایی^۲، روش پالس الکتریکی -^۳ و روش تابش اشعه ماوراءبنفش^۴ را با

۲ High-pressure processing

۳ Membrane filtration

۴ Pulsed electric fields

۵ Ultraviolet radiation



شکل ۷- مقایسه روش‌های فرایند^۱ فشار بالا، فیلتراسیون غشایی (MF)، روش پالس الکتریکی (PEF) و روش تابش اشعه ماوراءبنفش (UV) با روش حرارتی دمای بالا در زمان کم (HTST)، از نظر میزان مصرف انرژی برای فرآوری آب سیب (گونزالس و همکاران ۲۰۱۵).

^۱ - HPP, high-pressure processing; MF: microfiltration; PEF: pulsed electric fields; UF, ultrafiltration; UV, ultraviolet light.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، شیر پاستوریزه شده در دستگاه مولد جریان القایی با شدت انتقال الکتریسیته ۱۶۰۰ وات با زمان نگهداری ۳۰ ثانیه، دمای ۸۴ درجه سانتی‌گراد و قطر سطح اتکای حرارتی ۲۳ سانتیمتر (بهترین شرایط نمونه منتخب از پروژه تحقیقی نویسنده)، از نظر مصرف انرژی با شیر پاستوریزه شده به روش معمول در شرایط مشابه و هزینه‌های مربوطه قبل و بعد از طرح هدفمندی یارانه‌ها مقایسه شد و نتایج حاصل نشان داد که تلفات انرژی در دو روش پاستوریزاسیون معمول کارخانه و القایی به ترتیب ۴۶/۱۵ درصد و ۳۲ درصد بود- و درصد کاهش هزینه ریالی انرژی با استفاده از روش القایی نسبت به روش پاستوریزاسیون معمول کارخانه در طول سال، قبل و بعد از هدفمندی یارانه‌ها به ترتیب ۶۷٪ و ۸۲/۹٪ می‌باشد. که از نظر میزان مصرف انرژی و هزینه‌های مربوطه، روش القایی در مقایسه با روش معمول کارخانه ارجحیت دارد و با توجه به گران‌تر شدن هزینه‌های گاز، برق به عنوان جایگزین برای روش معمول کارخانه پیشنهاد می‌شود. ضمناً نتایج محاسبه هزینه انرژی‌های مصرفی بعد از هدفمندی یارانه‌ها نسبت به قبل از هدفمندی، به شدت بالا رفته

گونزالس و همکاران (۲۰۱۵) نتیجه گرفتند که مصرف انرژی در روش‌های فیلتراسیون غشایی و تشعشع ماوراءبنفش از سه روش دیگر کمتر بوده است و کارایی میزان مصرف انرژی در هر نوع نیز بستگی به تکنولوژی به‌کاررفته در آن داشته و قابل بهبود است. روش فرایند فشار بالا در این شکل به دلیل تفاوت ماهیتی با انرژی‌های دیگر (انرژی ساکن) حذف شده است. مصرف انرژی در سیستم غیر مداوم فرآوری شیر و فرآورده‌ها، توسط پرابهاکار و همکارانش در سال ۲۰۱۵، بررسی شد. این محققین با محاسبه انرژی در فرایندهای مختلف کارخانه به این نتیجه رسیدند که تکنولوژی‌های غیر مداوم و همچنین ماشین‌آلات قدیمی قادر به حفظ مناسب انرژی نیستند و بایستی به دستگاه‌های فرآوری جدیدتری، ارتقاء یابند.

با اینکه در ارزیابی انرژی القایی با انرژی روش‌های کلاسیک به طور مقایسه‌ای تا به حال گزارشی دیده نشده است. در این پژوهش این نتیجه حاصل شد که روش جدید القایی جهت پاستوریزاسیون شیر از نظر مصرف انرژی باصرفه‌تر از روش کلاسیک مداوم دمای بالا و زمان کوتاه بوده است

است. ولی این میزان در روش القایی، افزایش چندانی را نشان نمی‌دهد.

منابع مورد استفاده

- حق نظری س، عظیمی م، درگاهی ج. ۱۳۹۳. پاستوریزاسیون شیر به روش القایی و تأثیر آن بر کیفیت میکروبیولوژیکی شیر. پژوهش‌های صنایع غذایی (دانش کشاورزی)، دوره ۲۴، شماره ۴، از صفحه ۵۹۹ تا صفحه ۶۱۲.
- دفتر بهینه‌سازی مصرف انرژی، ۱۳۸۹. راهنمای فنی مدیریت انرژی. کنترل‌ها و صرفه‌جویی انرژی، جلد ۳. وزارت نیرو، معاونت انرژی وزارت نیرو.
- فرهنگی ز، ۱۳۸۳. بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنعت شیر، سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سبا). ۹۴ صفحه.
- Ardehali MM, Smith TF, 1997. Evaluation of HVAC system operational strategies for commercial buildings. *Energy Conversion and Management* 38, 3: 225–236.
- Bokalders V, Kristoferson L, A, 1986. *Renewable Energy Technologies, Their Application in Developing Countries*. Pergamon Press, Oxford, U.K.
- Duffie JA, Beckman, WA, 1980. *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley and Sons, London, U.K.
- Farla J, Blok K, Schipper L, 1997. Energy, Efficiency developments in the pulp and paper industry: A cross-country comparison using physical production data. *Energy Policy* 25: 7–9, Pages 745–758.
- Evans A, Strezov V, Evans T.J, 2009. Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, Issue 5, Pages 1082–1088.
- Gonzalez O.R, Buckow R, Koutchma T, Balasubramania V.M, 2015. Energy Requirements for Alternative Food Processing Technologies. Principles, Assumptions, and Evaluation of Efficiency. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Volume 14: 5. 536–554.
- Hagh Nazari S, 2014. Impact of using infrared irradiation energy in food processing. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*. 32, 2: 1387-1396.
- Hunt V D, 1981. *Wind Power*. Van Nostrand, New York, U.S.A.
- Sudhir K. Sastry, Barach T. 2000. Ohmic and Inductive Heating. *Journal of Food Science* 65, No. 4.

Comparison of energy consumption by Induction heating and usual factory methods for milk pasteurization before and after targeted subsidies

S Hagh Nazari^{1*}, S Moradi², M Memarian³, M P Eskandari Nasab⁴

Received: January 2, 2018

Accepted: April 25, 2018

¹Assistant Professor, Food Science and Technology Department, Agriculture Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran

²MSc Student, Animal Science Department, Agriculture Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran

³Assistant Professor, Food Science and Technology Department, Agriculture Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran

⁴Associate Professor, Animal Science Department, Agriculture Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Abstract

The Conventional heat pasteurization systems, due to the slowness of heat transfer to the milk, are associated with energy losses. Sometimes by increasing the temperature for the adequate pasteurization of the highly contaminated milk, it is associated with formation of the milk stone; lack of adequate heat transfer to the milk would be inconsistent with the relevant standard of health characteristics. Also, with increasing the temperature of the pasteurization, the burnt layer of milk would be thicker together with the negative impact on flavor, color and nutritional value of milk and also addition of the toxic substances to the milk. The increase in temperature will follow the more energy consumption. The other side the increase in the temperature will follow the more energy consumption. While in the induction method, the resulting electromagnetic flow has no disadvantages of conventional pasteurization of milk due to the heat transfer rate.

In this study, the pasteurized milk by induction current in the device with 1600 watt of electricity transmission and 30 seconds storage time in 84 ° C and the diameter of the supporting surface of heat transfer: 23 cm (the best conditions of selected sample) was compared to the conventional method in a similar situation in terms of energy consumption and the costs were determined before and after targeted subsidies. The results showed that energy losses in both conventional and induced pasteurization methods were 46.15% and 32% respectively, and the percentage of saving energy consumption by using the induction method compared to the usual pasteurization method during the year before and after targeted subsidies, were 67% and 82.9% respectively. So, the energy consumption of induced pasteurization of milk is preferable to conventional method.

Keywords: Electromagnetic, Energy, Induction technology, Milk pasteurization