



امکان سنجی طرح تصفیه و بازچرخانی آب حاصل از کندناس محصولات کارخانجات فراورده های پودری لبنی

سید حسام حمیدی^{۱*}، مهدی علی پور^۲، احسان یزدان پناه^۳، آرمان محمودیان^۴، سید مسعود محمدی^۵، مهدی قدرت^۶

۱- کارشناس مسئول فنی و کنترل کیفیت شرکت شیر پاستوریزه پگاه فارس - کارشناس رسمی اداره کل استاندارد استان فارس

فارس hessaamhamidi@gmail.com

۲- مدیر عامل و عضو هیات مدیره شرکت شیر پاستوریزه پگاه فارس

۳- مدیر تاسیسات شرکت شیر پاستوریزه پگاه فارس

۴- مدیر تحقیق و توسعه شرکت شیر پاستوریزه پگاه فارس

۵- معاون تولید شرکت شیر پاستوریزه پگاه فارس

۶- مدیر کیفیت شرکت شیر پاستوریزه پگاه فارس

خلاصه

آب کندناس و آب پنیر به عنوان جریان های جانبی قابل بازیافت در صنایع لبنیات مطرح اند. آب کندناس معمولاً حاوی بخار آب و مواد حل شده مانند لاکتوز، املاح و پروتئین های سطحی است که ممکن است به عنوان آب ورودی در تغلیظ یا به عنوان جریان بازیافتی استفاده شود. تغلیظ به دلیل صرفه جویی در مصرف آب و انرژی و کاهش پساب، جایگاه مهمی دارد. بررسی اینکه آیا آب کندناس[†] می تواند بدون اثر منفی بر کارایی و کیفیت فرایند استفاده شود، عوامل فنی، اقتصادی و ایمنی را در بر می گیرد. این پژوهش با همکاری شرکت شیر پاستوریزه پگاه فارس با هدف امکان تصفیه و بازچرخانی بخشی از آب جدا شده از شیر در فرایند تغلیظ انجام شده است.

کلمات کلیدی: آب پنیر، تصفیه، کندناس، تغلیظ، پسماند، صرفه جویی، پودری، منابع، بهره وری

[†] Whay water

مقدمه

در دنیای امروز، تأمین و حفظ منابع آبی یکی از اساسی‌ترین چالش‌هایی است که صنایع مختلف، به‌ویژه صنایع غذایی و لبنی با آن مواجه هستند. با افزایش جمعیت و گسترش فعالیت‌های صنعتی، میزان مصرف آب به طرز قابل توجهی افزایش یافته و از سوی دیگر، بحران کم‌آبی و محدودیت‌های منابع طبیعی، ضرورت اتخاذ راهکارهای هوشمندانه برای مدیریت مصرف آب را دوچندان کرده است. یکی از مهم‌ترین روش‌های بهینه‌سازی مصرف آب در صنایع، بازچرخانی و تصفیه پساب‌های تولیدی است که نه تنها موجب کاهش نیاز به منابع آب جدید می‌شود، بلکه تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از دفع آب آلوده را نیز به حداقل می‌رساند. در کارخانجات صنایع غذایی خصوصاً صنایع لبنیات روزانه حجم قابل توجهی آب کندانس حاصل از تبخیر* محصول تولید می‌کنند. این آب، با وجود دارا بودن مشخصات فیزیکی و شیمیایی مطلوب، به دلیل برخی محدودیت‌های اجرایی و نبود سیستم بازچرخانی مناسب، تاکنون به‌عنوان پساب صنعتی دورریز شده و وارد سیستم تصفیه فاضلاب گردیده است. با توجه به کیفیت این آب و نزدیکی مشخصات آن به آب استاندارد مورد استفاده در فرآیندهای تولید، اجرای یک سیستم تصفیه و بازچرخانی می‌تواند نقش کلیدی در بهینه‌سازی مصرف منابع آبی ایفا کند. در کشورهای پیشرفته با بکارگیری روش‌های فنی و مدیریتی مناسب و استفاده مجدد از آب بازگردش شده به آن دست یافته‌اند. استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده با رعایت شرایط و ضوابط لازم، روشی برای کاهش حجم آب تازه مصرفی است. کارخانه فراورده‌ای پودری، واحد صنعتی‌ای است که وظیفه تولید، خشک‌سازی و بسته‌بندی مواد پودری با ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی مشخص را بر عهده دارد. این کارخانه معمولاً ترکیبی از فرآیندهای تولیدی، واحدهای تغلیظ و خشک‌سازی و همچنین سیستم‌های کنترل کیفیت، ایمنی و تأمین انرژی را در یک واحد یکپارچه جای می‌دهد تا محصول نهایی با تکرارپذیری بالا، قابلیت حمل آسان و عمر سلامت مناسب به بازار عرضه شود. در فرایند تغلیظ مقداری از آب شیر در فرایند انتقال جرم از شیر جدا شده و پس از سرد شدن تبدیل به آب کندانس می‌شود. در حال حاضر در بسیاری از کارخانجات صنعتی مشابه آب کندانس، که در واقع بخشی از آب شیر است، به جای اینکه دوباره استفاده شود، دور ریخته می‌شود. یعنی سالانه حجم زیادی آب هدر می‌رود، در حالی که این آب کیفیت خوبی دارد و می‌تواند در کارخانه دوباره به کار گرفته شود. علاوه بر هدررفت آب، هزینه‌های خرید آب جدید، مصرف نمک و انرژی برای تصفیه، فشار زیادی روی کارخانه می‌آورد.

هدف طرح :

هدف اصلی امکان سنجی تصفیه و بازچرخانی بخشی از آب جدا شده از شیر در فرایند تغلیظ کارخانه فراورده های پودری شرکت شیر پاستوریزه پگاه فارس و چالش های مرتبط با آن میباشد و کیفیت آب مورد استفاده مجدد بستگی به منشأ آن و کاربرد مورد نظر دارد. با اجرای این روش، پیش بینی میگردد در کمتر از یک سال تمام هزینه های سرمایه گذاری را جبران کرده و علاوه بر صرفه جویی مالی، از هدررفت آب جلوگیری شود و کارخانه میتواند از منابع خود به صورت پایدار و هوشمندانه استفاده کند. از همه مهمتر شرکت پگاه فارس آمادگی دارد که در راستای حل مشکلات ناشی از کمبود آب در کشور دانش فنی این پروژه رو در اختیار دیگر شرکتهای لبنی دارای واحد اسپری درایر بگذارد تا بتوان با راه اندازی این واحدها به مشکل ناترازی آب در کشور کمک کرد. در واقع این پروژه یک راه حل ابتکاری برای کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری در صنعت لبنیات است.

* Evaporation

آب مورد استفاده مجدد باید کمینه ویژگی‌های میکروبیولوژیکی آب آشامیدنی را دارا باشد. آزمون‌های باکتریولوژیکی مناسب برای ارزیابی و تایید نمونه آب در نظر گرفته شود. این آزمون‌ها شامل شمارش کلی باکتری‌ها، کل کلیفرم‌ها، اشرشیاکلی، استافیلوکوکوس اورئوس کواگولاز مثبت، لیستریا مونو سایتوزنز و گونه‌های لژیونلا می‌باشد. همچنین جهت تعیین میزان اکسیژن مورد نیاز واکنش‌های شیمیایی ممکن است آزمون‌های مربوط و یا مشابه آن انجام شود. جمع آوری و ذخیره سازی آب در روزهای مختلف، باید به گونه‌ای باشد، که افزایش بار آلودگی میکروبی جلوگیری شود. به منظور جلوگیری از افزایش بار آلودگی میکروبی برای جمع آوری و ذخیره سازی آب در روزهای مختلف، باید درجه حرارت آن را با استفاده از وسایل خودکار در دمای کمینه ۶۳ درجه سلسیوس یا بالاتر حفظ نمود. استفاده مجدد از آب باز یافتی جهت افزودن به فرآورده‌های لبنی ممکن است باعث ایجاد خطر آلودگی متقابل با باکتریوفاژها شود.

کیفیت شیمیایی آب متناسب با نوع مصرف تعیین می‌گردد. برای مثال: در صورتی که آب برای شستشو و گندزدایی مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرد، مواد موجود در آن نباید در حدی باشد که روی کارایی ترکیبات گندزدا اثر گذارد. آب باز یافتی از فرآورده‌های لبنی مانند آب حاصل از تبرید فرآورده، تبخیر و فرا تصفیه آب پنیر و پنیر حاوی املاح و نمک‌هایی است که از نظر شیمیایی با ویژگی‌های آب آشامیدنی مطابقت ندارد این املاح و نمک‌ها (مانند کلسیم، سدیم، کلر و کربنات‌ها) مخاطرات ایمنی در فرآورده نهائی ایجاد نمی‌کند و بنابراین چنین آب‌هایی می‌تواند به طریقی که برای فرآیند محصول نهائی مناسب باشد، مجدداً مورد استفاده قرار گیرد.

آب مورد استفاده مجدد باید به طریقی آماده سازی شود، که کیفیت فیزیکی آن اثرات سوئی برای ایمنی ماده غذایی نداشته باشد. کیفیت فیزیکی متناسب با نوع مصرف تعیین می‌گردد. در مواردی که آب در محصول مورد استفاده قرار گیرد و یا احتمال تماس با آن وجود دارد، ضروری است که کیفیت و ایمنی آن مطابق با ویژگی‌های آب آشامیدنی و یا بالاتر از آن باشد.

کیفیت حسی آب متناسب با نوع مصرف تعیین می‌گردد. در مواردی وجود مواد فرار ایجاد کننده بو های نامطبوع قیر قابل قبول است.

متخصصان کارخانه بررسی کردند که آیا این آب کندانس می‌تواند به شکل ایمن و بهداشتی دوباره مصرف شود. آزمایش‌ها نشان دادند که این آب از نظر سختی و املاح مناسب است، اما به طور خلاصه یکی از مشکلات مهم احتمال آلوده بودن به میکروب‌ها و مواد آلی باشد، که باعث بوی نامطبوع و رشد میکروارگانیسم‌ها می‌شود .

مزایای معمول گزارش شده:

- کاهش مصرف آب تازه و صرفه‌جویی در منابع آب
- کاهش هزینه‌های مرتبط با تصفیه و پمپینگ آب تازه در برخی خطوط تغلیظ.
- امکان بازیابی برخی ترکیبات ارزشمند مانند لاکتوز یا یون‌های مفید با فرآیندهای ویژه.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

استفاده از آب‌های بازیافتی در فرایندهای تغلیظ لبنیات به عنوان رویکردی برای کاهش مصرف آب تازه و بهبود پایداری فرایند مطرح است. در این چارچوب، آب جداشده از شیر و آب پنیر به عنوان جریان‌های جانبی با پتانسیل استفاده دوباره بررسی می‌شوند. رویکردهای بهداشتی و ایمنی در کدکس با توجه به ضرورت حفظ ایمنی غذایی، به ویژه در فرایندهای لبنیاتی، برای هدایت تصمیم‌گیری‌های فناوری ارائه می‌شود. سند (CX/FH 00/8: 2000 Codex draft guidelines for the hygienic reuse of processing water in food plants) چارچوبی را برای ارزیابی پذیرش استفاده از آب‌های فرایندی در خطوط تولید ارائه می‌کند و با تأکید بر کنترل آلودگی‌های میکروبی، پیش‌تصفیه مناسب و بررسی‌های ایمنی، به عنوان مرجع استاندارد در این حوزه به کار می‌رود.

چارچوب استاندارد Codex

Codex Alimentarius، در منظومه‌ای بین‌المللی از اصول ایمنی مواد غذایی، به موضوع بازچرخانی و استفاده مجدد آب فرایندی در صنایع غذایی توجه دارد. گزارش CX/FH 00/8 به صورت پیش‌نویس وضعیت‌های بهداشتی و روش‌های کنترل را برای استفاده از آب‌های فرایندی در کارخانه‌های غذایی تشریح می‌کند. این سند تأکید می‌کند که هرگونه استفاده از آب‌های فرایندی باید از طریق پیش‌تصفیه، کنترل کیفیت آب ورودی و ارزیابی‌های ایمنی و بهداشت انجام شود تا خطرات میکروبی، شیمیایی و فیزیکی کاهش یابد و محصول نهایی از منظر ایمنی حفظ شود.

مطالعات تجربی و تجربیات عملی

تحقیقات پیشین در زمینه استفاده از آب‌های برگرفته از فرایندهای لبنیاتی نشان می‌دهد که جایگزینی بخشی از آب ورودی تغلیظ با آب‌های بازیافتی می‌تواند به کاهش مصرف آب تازه و هزینه‌های انرژی کمک کند، اما به شدت به پیش‌تصفیه مناسب، کنترل رطوبت و هندسه خطوط وابسته است. به عنوان مثال، مطالعات کاربردی در برج‌های تغلیظ با ورودی‌های ثانویه نشان می‌دهد که وجود املاح مشخص، پروتئین‌های محلول و کاهش بار میکروبی در آب ورودی می‌تواند بسته به طراحی سیستم فیلتراسیون و نوع تغلیظ به بهبود یا کاهش کارایی منجر شود (برای مثال مواردی که در مرور Codex و مطالعات مرتبط آمده است). نگرانی اصلی شامل رسوب، کریستالیزاسیون لاکتوز، رشد میکروبی در طول فرایندهای طولانی، و تداخل با کارایی سیستم‌های غشایی است. این مسائل به پیش‌تصفیه مناسب (فیلتراسیون، UF/NF)، کنترل‌های بهداشتی و نظارت مستمر کیفی-زیستی نیاز دارد.

ملاحظات ایمنی

جلوگیری از ورود آلودگی‌های میکروبی و شیمیایی به فرایند تغلیظ و محصول، رعایت استانداردهای HACCP و ISO 22000، و تطابق با الزامات Codex در زمینه بهداشت آب ورودی.

برای ارزیابی امکان‌پذیری، مطالعات عملی باید با طراحی مقایسه‌ای انجام شود. مسیر A با آب تازه در برابر مسیر B با استفاده از آب کندانس یا whey water، تحت شرایط تغلیظ مشخص، و با اندازه‌گیری شاخص‌های کلیدی مانند بازده تغلیظ، مصرف انرژی، کیفیت محصول و شاخص‌های ایمنی. همچنین باید پیش‌بینی‌های پایداری با مدل‌سازی پمپاژ و انتقال جرم در خطوط تغلیظ لحاظ شود.

برای شروع طرح، ابتدا روش‌های مختلفی برای ضدعفونی و تصفیه آب بررسی شد. برخی روش‌ها مثل اشعه UV، پرکلرین و برومید سولفور مشکلاتی داشتند و مناسب نبودند. در نهایت، روش گندزدایی با ازن انتخاب شد، که یک روش بسیار مؤثر و ایمن برای از بین بردن آلودگی‌ها است.

چگونگی اجرا

برای اطمینان از عملکرد سیستم تصفیه، ابتدا یک نمونه آزمایشی (پایلوت) ساخته شد. پس از بررسی و رفع ایرادات، کارخانه یک سیستم کامل تصفیه و بازچرخانی آب با مخازن، سیستم شست و شو در محل (CIP) و کنترل هوشمند نصب می‌کند. نتایج مورد انتظار شامل کاهش مصرف آب کارخانه به میزان ۱۰۰ مترمکعب در روز، کاهش مصرف نمک و انرژی، بهبود راندمان تولید و کاهش هزینه‌ها و کاهش اثرات زیست‌محیطی و آلودگی می‌باشد.

چالش‌ها و محدودیت‌ها پیش از اجرای طرح

- حضور املاح و مواد آلی در آب کندانس یا whey water که می‌تواند منجر به رسوب، کریستالی شدن لاکتوز یا گرفتگی غشاها شود.
- پتانسیل رشد میکروارگانیسم‌ها در طول فرایندهای طولانی یا شرایط دمایی مناسب.
- نیاز به پیش‌تصفیه (فیلتراسیون، اولترافیلتراسیون، کلریزاسیون یا UV) برای جلوگیری از آلودگی و بهبود کارایی سیستم تغلیظ.
- اثرات تغییرات هیدرولیک و دینامیک سیالات بر عملکرد واحدهای تغلیظ.
- HACCP و استانداردهای سلامت مواد غذایی/ لبنیات (مثلاً ISO 22000، FSSC 22000) برای مطمئن شدن از عدم ورود آلودگی‌ها به محصول نهایی، استانداردهای آب و پساب.
- لزوم رعایت الزامات مرتبط با بازیافت آب و پایداری منابع آب و ارزیابی تطبیقی با استانداردهای محلی برای پساب لبنیات و تصفیه‌های پساب.

در فرآیند تولید شیرخشک، تبخیر آب موجود در شیر منجر به تولید بخار می‌شود. این بخار پس از سرد شدن، به صورت کندانس جمع‌آوری شده و به دلیل نبود مکانیزم بازچرخانی مناسب، دورریز می‌گردد. با توجه به کیفیت فیزیکی و شیمیایی مطلوب این آب، نیاز به طراحی روشی برای استفاده مجدد از آن به عنوان آب نرم احساس شد.

مشکلات و موانع استفاده از آب کندانس :

- عدم وجود سیستم تصفیه و گندزدایی مناسب
- رشد میکروارگانیسم‌های فعال که موجب ایجاد بو در آب می‌شد
- عدم استفاده از انرژی حرارتی موجود در آب کندانس برای بهینه‌سازی مصرف انرژی
- دفع بی‌رویه نمک ناشی از فرآیند سختی‌گیری و تأثیرات زیست‌محیطی آن

انتخاب روش تصفیه و بازچرخانی آب کندانس:

با توجه به حساسیت بالای فرآیند تصفیه و خطر ایجاد آلودگی میکروبی، ابتدا نمونه‌های مختلف آب از نظر پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و میکروبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که آب کندانس از نظر املاح و سختی مناسب است و امکان استفاده مجدد از آن وجود دارد، اما به دلیل رشد میکروارگانیسم‌ها و ترکیبات آلی فرار حاصل از فرآیند تبخیر شیر، بو نامطلوبی در آن ایجاد شده بود .

برای حل این مسئله، روش‌های مختلف گندزدایی آب بررسی شدند و پس از مطالعات گسترده، روش اکسیداسیون پیشرفته با ازن به‌عنوان بهترین راهکار برای تصفیه آب کندانس انتخاب شد. این روش علاوه بر داشتن تأثیر قوی در حذف میکروارگانیسم‌ها، در صنایع لبنی انگلستان نیز به‌عنوان یک فناوری موفق مورد استفاده قرار گرفته است .

روشهای مورد ارزیابی بشرح ذیل می باشد:

جدول اروش های گندزدایی و تصفیه

ردیف	روش	اثربخشی میکروبی	حذف ترکیبات آلی	ایمنی صنعتی	تطابق با استانداردها	نتیجه
۱	UV	محدود	ناکافی	متوسط	مشروط	رد شد
۲	پرکلرین	مناسب	تولید ترکیبات سرطان‌زا	ضعیف	مغایر	رد شد
۳	برومید سولفور	بالا	نامشخص	بسیار خطرناک	ممنوع	رد شد
۴	ازن	بسیار بالا	کامل	ایمن	کاملاً منطبق	انتخاب شد

دلایل رد روش‌های جایگزین تصفیه آب کندانس

در فرآیند انتخاب فناوری مناسب برای تصفیه و بازچرخانی آب کندانس حاصل از تولید شیرخشک، چهار روش گندزدایی مورد بررسی قرار گرفت. هدف، دستیابی به روشی بود که ضمن حذف مؤثر آلودگی‌های میکروبی و ترکیبات آلی فرار، با الزامات بهداشتی، زیست‌محیطی، ایمنی صنعتی و استانداردهای تولید مواد غذایی کاملاً تطابق داشته باشد. در ادامه، دلایل رد سه روش جایگزین به صورت مستند و طبقه‌بندی شده ارائه می‌گردد:

۱. اشعه فرابنفش (UV)

از محدودیت‌های عملکردی اشعه UV میتوان به این موضوع اشاره کرد که این اشعه عمدتاً بر ساختار ژنتیکی میکروارگانیسم‌ها اثر می‌گذارد و توانایی حذف ترکیبات آلی فرار را ندارد؛ در حالی که بو و طعم نامطلوب آب کندانس ناشی از همین ترکیبات است. اثربخشی UV در حذف باکتری‌های مقاوم، اسپورها و قارچ‌ها محدود است و در شرایط صنعتی با بار میکروبی بالا، عملکرد آن کاهش می‌یابد. در خصوص عدم پایداری گندزدایی مشاهده شده است که UV هیچ باقی‌مانده ضدعفونی‌کننده در آب باقی نمی‌گذارد؛ بنابراین در صورت آلودگی مجدد، هیچ محافظتی وجود ندارد. در آزمایش‌های انجام‌شده، رشد مجدد میکروارگانیسم‌ها پس از ۴۸ ساعت مشاهده شد. محدودیت صنعتی UV این است که در مقیاس صنعتی نیاز به پیش‌تصفیه کامل برای حذف ذرات معلق و کدورت دارد زیرا UV در آب‌های نیمه‌شفاف اثربخشی خود را از دست می‌دهد. ضمناً این فناوری حساسیت بالایی نسبت به نوسانات دبی، دما و کیفیت آب ورودی دارد. در استانداردهای GMP و HACCP، استفاده از UV به تنهایی برای گندزدایی آب فرآیندی توصیه نمی‌شود مگر با کنترل‌های چندلایه

میتوان به این نتیجه رسید که به دلیل اثربخشی ناکافی در حذف ترکیبات آلی، عدم پایداری میکروبی، و محدودیت‌های اجرایی، این روش رد می‌گردد.

۲. پرکلرین (هیپوکلریت سدیم)

خطرات شیمیایی: کلر در واکنش با ترکیبات آلی موجود در آب کندانس می‌تواند منجر به تشکیل تری‌هالومتان‌ها (THMs) و هالواستیک اسیدها شود که سرطان‌زا بوده و در استانداردهای بین‌المللی محدود شده‌اند (EPA، WHO، ISIRI). باقی‌مانده کلر در آب می‌تواند طعم و بوی نامطلوب ایجاد کند و در فرآیندهای لبنیاتی اختلال ایجاد کند. (1053).

آسیب به تجهیزات: کلر موجب خوردگی شدید در تجهیزات استیل، شیرآلات، مبدل‌های حرارتی و پمپ‌ها به‌ویژه در دماهای بالا و pH پایین می‌شود؛ ضمناً افزایش هزینه‌های نگهداری، تعویض قطعات و کاهش عمر تجهیزات را باعث می‌شود.

مغایرت با الزامات ایمنی و تولید خوب: در فرآیندهای تولید مواد غذایی، استفاده از کلر با دوز بالا ممنوع است مگر در مراحل غیرتماسی. در استانداردهای GMP، استفاده از مواد گندزدا با باقی‌مانده شیمیایی بالا توصیه نمی‌شود.

ناپایداری فرآیند: دوز کلر باید به صورت لحظه‌ای تنظیم شود؛ در غیر این صورت یا اثربخشی کاهش می‌یابد یا خطر تولید ترکیبات جانبی افزایش می‌یابد

لذا به دلیل خطرات زیست‌محیطی، تولید ترکیبات سرطان‌زا، آسیب به تجهیزات و مغایرت با استانداردهای غذایی، این روش رد شد.

۳. برومید سولفور

برومید سولفور یک ماده بسیار سمی است که در تماس با پوست، استنشاق یا بلع می‌تواند آسیب‌های جدی به سلامت انسان وارد کند و در محیط‌های تولید مواد غذایی، استفاده از مواد با سمیت بالا ممنوع یا به‌شدت محدود شده است. در بسیاری از کشورها، استفاده از ترکیبات بروم‌دار در صنایع غذایی ممنوع است (ISIRI, EFSA, FDA) و در استانداردهای ملی ایران نیز استفاده از این ماده در فرآورده‌های مرتبط با تولید خوراکی توصیه نمی‌شود.

استفاده از این روش پیچیدگی‌های اجرایی خاص خود را دارد. تنظیم دوز، زمان تماس، و شرایط عملیاتی برای جلوگیری از تولید ترکیبات جانبی ناخواسته نیازمند تجهیزات پیشرفته و مانیتورینگ مستمر است. لازم به ذکر است در شرایط عملیاتی کارخانه، اجرای این روش مقرون‌به‌صرفه و ایمن نیست.

این ماده بسیار واکنش‌پذیر و ناپایدار است و در حضور ترکیبات آلی، برومید سولفور می‌تواند ترکیبات سمی و ناپایدار تولید کند که دفع آن‌ها نیازمند تصفیه ثانویه است.

در نتیجه به دلیل خطرات ایمنی، پیچیدگی اجرایی، سمیت بالا و مغایرت با الزامات قانونی، این روش رد شد.

دلایل انتخاب فناوری ازن به‌عنوان راهکار تصفیه آب‌کندانس

در فرآیند طراحی سیستم تصفیه و بازچرخانی آب‌کندانس حاصل از تولید شیرخشک، انتخاب روش گندزدایی و حذف ترکیبات آلی فرار از اهمیت حیاتی برخوردار بود.

ناکافی بودن اشعه یو وی در حذف ترکیبات آلی و مغایرت با الزامات بو و پایداری، تولید ترکیبات سرطان‌زا (THMs)، باقی‌مانده شیمیایی، مغایرت با الزامات بو و طعم در پی استفاده از پرکلرین، سمیت بالا برومید سولفور و تولید ترکیبات جانبی خطرناک و مغایرت با الزامات ایمنی و سلامت باعث شد تا با توجه به حساسیت بالای صنعت لبنیات، الزامات بهداشتی، مخاطرات زیست‌محیطی و نیاز به پایداری فرآیند، فناوری ازن به‌عنوان راهکار نهایی انتخاب گردید. در ادامه، دلایل علمی، فنی و اجرایی این انتخاب به‌صورت مستند ارائه می‌گردد:

۱. قدرت اکسیدکنندگی بالا و اثربخشی در حذف آلاینده‌ها

ازن یکی از قوی‌ترین اکسیدکننده‌های شناخته‌شده است که توانایی تخریب سریع ترکیبات آلی فرار و نابودی ساختار سلولی میکروارگانیسم‌ها را دارد. در آزمون‌های انجام‌شده، کاهش COD و TOC به میزان بیش از ۸۰٪ و حذف کامل بار میکروبی، کلیفرم‌ها، کپک و مخمر مشاهده شد. این ویژگی موجب حذف مؤثر بوهای نامطبوع و افزایش زمان ماندگاری آب تصفیه‌شده می‌گردد.

۲. عدم تولید ترکیبات جانبی مضر و تطابق با استانداردهای بهداشتی

برخلاف کلر و سایر مواد شیمیایی، ازن در واکنش با ترکیبات آلی، هیچ ترکیب سرطان‌زا مانند تری‌هالومتان‌ها (THMs) تولید نمی‌کند. ازن پس از انجام واکنش، به صورت طبیعی تجزیه شده و هیچ باقی‌مانده شیمیایی خطرناک در آب باقی نمی‌گذارد. این ویژگی موجب تطابق کامل با استانداردهای ISIRI 1053، WHO، EPA و الزامات GMP و HACCP در صنایع غذایی می‌شود.

۳. اثربخشی در حذف میکروارگانیسم‌های مقاوم و بایوفیل‌ها

ازن قادر است با نفوذ به دیواره سلولی باکتری‌ها، ویروس‌ها و قارچ‌ها، ساختار ژنتیکی آن‌ها را تخریب کند. در مقایسه با UV و کلر، ازن در حذف اسپورها، باکتری‌های مقاوم و قارچ‌های مخاطره‌آمیز عملکرد بهتری دارد. همچنین، ازن در جلوگیری از تشکیل بایوفیل‌ها در مخازن و خطوط انتقال آب مؤثر است، که در آزمون‌های پایش دوره‌ای در شرکت پگاه فارس در حال بررسی و ثبت می‌باشد.

۴. سرعت بالا، پایداری فرآیند و کاهش نیاز به مواد شیمیایی

واکنش‌های ازن با آلاینده‌ها در کسری از ثانیه انجام می‌شود و نیازی به زمان تماس طولانی ندارد. در آزمون‌های پایداری، عدم رشد مجدد میکروارگانیسم‌ها پس از ۷۲ ساعت نگهداری نمونه‌ها در دمای محیط تأیید شد. این ویژگی موجب کاهش نیاز به افزودنی‌های شیمیایی، کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش ایمنی فرآیند می‌شود.

۵. تطابق با الزامات زیست‌محیطی و صنعتی

ازن در محل تولید می‌شود (با دستگاه ازن‌ساز) و نیازی به حمل و نگهداری مواد شیمیایی خطرناک ندارد. مصرف انرژی آن در مقایسه با روش‌های حرارتی و شیمیایی پایین‌تر است. در استانداردهای ISO 14001 و ISO 50001، استفاده از فناوری‌های بدون باقی‌مانده شیمیایی و با مصرف انرژی بهینه توصیه شده است.

۶. قابلیت توسعه و تعمیم در صنعت لبنیات

این پروژه برای نخستین بار در صنعت لبنیات ایران اجرا شده و نتایج آن در مقیاس نیمه‌صنعتی موفقیت‌آمیز بوده است. با اجرای این فناوری در سایر کارخانه‌های دارای واحد اسپری درایر، می‌توان بخش قابل توجهی از آب مصرفی را از طریق چرخه بازچرخانی بازیابی کرد. این اقدام موجب کاهش وابستگی به منابع آب تازه، کاهش هزینه‌های عملیاتی و ارتقاء شاخص‌های زیست‌محیطی صنعت لبنیات خواهد شد.

۷. مستندات تجربی پروژه

- حذف کامل بو و طعم نامطبوع آب کندانس
 - کاهش COD از ۱۲۰ به کمتر از ۲۰ mg/L
 - کاهش بار میکروبی از 10^5 CFU/mL به صفر
 - عدم باقی‌مانده ازن در آب خروجی (کمتر از ۰.۰۵ mg/L)
- این نتایج در چرخه‌های متوالی تا سه بار تکرار شد و پایداری فرآیند تأیید گردید.

اجرای پروژه و ساخت پایلوت آزمایشی

با توجه به اینکه این پروژه برای نخستین بار در صنعت لبنیات ایران اجرا می‌شد، ابتدا یک پایلوت آزمایشی طراحی شد تا عملکرد سیستم تصفیه مورد بررسی قرار گیرد. در این مرحله، ایرادات و مشکلات احتمالی سیستم شناسایی شده و پس از رفع ایرادات و اصلاحات لازم، طراحی نهایی انجام شد.

ویژگی‌های سیستم اصلی :

- مخازن تصفیه و ذخیره‌سازی آب
- سیستم CIP برای شستشو و ضدعفونی دوره‌ای
- سیستم کنترل هوشمند فرآیند بدون نیاز به اپراتور

بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها

یکی از مزایای مهم این پروژه، مدیریت انرژی و بهینه‌سازی فرآیندهای تولید بود. در جریان اجرای این طرح، دمای آب کندانس برای تبادل حرارتی و افزایش دمای محصول ورودی به اواپراتور مورد استفاده قرار گرفت. این تبادل حرارتی موجب افزایش ظرفیت تولید و کاهش مصرف بخار شد. همچنین، آب تصفیه‌شده پس از عملیات به واحد برودت منتقل شد، که به دلیل دمای پایین‌تر نسبت به آب قبلی، موجب افزایش راندمان کندانسورها و کاهش مصرف برق واحد برودت می‌شود.

چالشهای طرح:

۱- کنترل کیفیت آب کندانس و پایش دقیق ترکیبات موجود

در فرآیند تولید شیرخشک، بخش زیادی از آب شیر تبخیر شده و تبدیل به بخار می‌شود. این بخار پس از سرد شدن به صورت کندانس جمع‌آوری می‌شود. با وجود اینکه این آب کیفیت قابل قبولی دارد، اما ممکن است حاوی ترکیبات آلی فرار و میکروارگانیسم‌های فعال باشد که می‌تواند باعث تغییر بو و رشد باکتری‌ها شود که راه حل شامل موارد ذیل می‌باشد.

- بررسی پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و میکروبی به صورت دوره‌ای و ثبت نتایج در یک پایگاه داده
 - سنجش متغیرهایی مانند pH، سختی، TDS، COD و بار میکروبی برای اطمینان از کیفیت آب
 - اجرای سیستم مانیتورینگ پیوسته جهت پایش تغییرات کیفیت آب در مراحل مختلف تولید
- از آنجا که ترکیب آب کندانس بسته به نوع شیر و روش تولید متفاوت است، نیاز به تنظیمات متغیر در سیستم تصفیه وجود داشت.

۲- انتخاب روش مناسب گندزدایی و حذف بو

بوی نامطبوع ناشی از ترکیبات آلی فرار و رشد میکروارگانیسم‌ها در آب کندانس، امکان استفاده از آن را محدود می‌کند. در این راستا بررسی روش‌های مختلف از جمله اشعه UV، پرکلرین، برومید سولفور و ازن و رد گزینه‌های نامناسب در دستور کار قرار گرفت برای مثال اشعه UV تأثیر محدودی دارد و نمی‌تواند ترکیبات آلی فرار را حذف کند و پرکلرین به دلیل ماندگاری بالای کلر در آب می‌تواند به تجهیزات آسیب برساند و ریسک ایجاد ترکیبات مضر وجود دارد. برومید سولفور نیز به دلیل سمی بودن برای سیستم حذف شد. در نهایت فناوری اکسیداسیون پیشرفته با ازن به دلیل قدرت بالا در حذف آلاینده‌های آلی و میکروبی انتخاب شد ولی از طرفی تنظیم دقیق میزان ازن و زمان تماس آن با آب، برای جلوگیری از تولید ترکیبات جانبی ناخواسته، نیاز به آزمایش‌های متعدد داشت.

۳- طراحی سیستم تصفیه و پایلوت آزمایشی

پیش از اجرای سیستم اصلی، لازم بود تأثیر فرآیندهای تصفیه بررسی شود تا خطرات احتمالی حذف و عملکرد سیستم بهینه شود که مراحل به شرح ذیل می‌باشد:

- طراحی یک پایلوت آزمایشی برای بررسی رفتار آب کندانس در شرایط مختلف
 - بررسی عملکرد مخازن تصفیه، سیستم گندزدایی و سیستم کنترلی
 - اصلاح سیستم قبل از اجرای نهایی جهت جلوگیری از خطاهای عملیاتی
- نکته مهم سایزگیری صحیح مخازن تصفیه و مدت زمان تماس آب با مواد ضدعفونی کننده، برای دستیابی به بهترین بازدهی بدون ایجاد هزینه‌های اضافی می‌باشد.

۴. استفاده بهینه از انرژی حرارتی آب کندانس

آب کندانس دمای بالایی دارد (۵۵ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد)، که می‌تواند برای پیش‌گرم کردن شیر ورودی به دستگاه تبخیر مورد استفاده قرار گیرد لذا طراحی مبدل حرارتی برای انتقال انرژی از آب کندانس به شیر خام ورودی و تنظیم میزان جریان آب برای جلوگیری از افت فشار و کنترل انرژی مصرفی در دستور کار قرار گرفت. این اقدام موجب کاهش میزان مصرف بخار در فرآیند تبخیر با استفاده از انرژی بازیافتی می‌گردد. لازم به ذکر است کنترل دقیق میزان انتقال حرارت برای جلوگیری از کاهش راندمان تبخیر و تضمین پایداری فرآیند لازم الاجرا می‌باشد.

۵. هماهنگی با استانداردهای صنعتی و زیست‌محیطی

بازچرخانی آب در فرآیند تولید نیاز به مطابقت با استانداردهای بهداشتی و زیست‌محیطی دارد. همچنین، سیستم باید با مقررات مصرف انرژی و مدیریت پایدار منابع مطابقت داشته باشد (ISO 14001 - ISO 14046 - ISO 14015 - ISO 50001 - ISO 20400) لذا طراحی سیستم تصفیه مطابق الزامات شیوه‌های تولید خوب، نظارت بر نحوه دفع پساب‌های ناشی از تصفیه برای جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست و طراحی سیستم تصفیه به گونه‌ای که هم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد و هم تأثیرات زیست‌محیطی را کاهش دهد در دستور کار قرار گرفت.

۶. کنترل هزینه‌ها و بازگشت سرمایه

هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه پروژه بالا بود و نیاز به تحلیل دقیق سودآوری پروژه وجود داشت که شامل موارد ذیل بود.

- محاسبه دقیق هزینه‌های اولیه شامل تجهیزات، سیستم‌های کنترلی و اجرای تصفیه
- تحلیل میزان صرفه‌جویی حاصل از کاهش مصرف آب، انرژی و نمک
- پیش‌بینی مدت زمان بازگشت سرمایه و ارائه گزارش‌های مالی دقیق

اطمینان از توجیه اقتصادی پروژه در مقایسه با سایر روش‌های کاهش مصرف آب و انرژی نیز در کنار سایر تحلیل‌ها قرار گرفت.

۷. کاهش اثرات زیست‌محیطی و افزایش بهره‌وری منابع

اجرای این طرح نه تنها باعث کاهش مصرف آب و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی شده، بلکه از دفع بی‌رویه نمک ناشی از سختی‌گیری جلوگیری کرده است و این اقدام به عنوان یک مدل جدید برای سایر صنایع لبنی می‌تواند به کار گرفته شود و تأثیرات گسترده‌ای در مدیریت پایدار منابع آبی در کشور داشته باشد.

[illegible]

جدول 4 نتیجه آزمون های افکت های اوپراتور

IMEN KIA SANAT Co.
Engineering & Laboratory Services



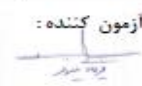
ایمن کیا صنعت
مهندسی و آزمایشگاهی (مسئولیت محدود)

گزارش آزمون

نام واحد / شخص : شیر پاستوریزه پگاه فارس	
شماره نمونه : -	شماره آزمایشگاه : M-04/1113
مشخصات نمونه: آب کندانس افکت ۲-۳ واحد تغلیظ	تاریخ نمونه برداری: -
کارخانه فرآورده های پودری	تاریخ وصول : ۱۴۰۴/۰۸/۱۸
آدرس : -	تاریخ آزمایش : ۱۴۰۴/۰۸/۱۸
گدیستی : -	تاریخ گزارش : ۱۴۰۴/۰۸/۲۵
تلفن : ۰۹۱۷۳۲۰۸۸۷۴	
نوع نمونه : آب	نمونه بردار : متقاضی

نتایج آزمون

ردیف	فاکتور	واحد	مقدار	روش انجام آزمون
۱	COD	-	12	اسپکتروفتومتر - فتومتری
۲	BOD	-	7	BOD - دستگاہی



*نتایج صرفاً جهت اطلاع کارفرما بوده و ارزش دیگری ندارد .
*نتایج تنها بر روی نمونه دریافتی صادق می باشد .

لطفاً دقت نمائید:

- ۱- کد آزمایشگاه یا شماره برگه مخدوش نباشد .
- ۲- از نظر آزمایشگاه اصل برگه دارای اعتبار می باشد و هیچگونه رقتوش یا کپی این برگه دارای اعتبار نمی باشد .
- ۳- حداکثر به مدت ۱۰ روز پس از صدور جواب آزمون قابل اعتراض می باشد و بعد از آن آزمایشگاه هیچگونه مسئولیتی در قبال پاسخ ندارد .
- ۴- ND=Not Detected به منزله عدم مشاهده ماده مورد نظر می باشد .
- ۵- در صورتی که نمونه برداری توسط کارشناس آزمایشگاه انجام گیرد نتایج قابل ارائه به سازمان حفاظت محیط زیست می باشد و نمونه در طرح پایش خوداظهاری قابل ارائه به محیط زیست نمی باشد .



وب سایت
Website

Email Address: info@iks.co.ir
Web Address: WWW.IKS.CO.IR
+98(21) 92009077 +98(917) 9004215
IRAN.Fars-Shiraz-Shiraz Big Industrial City - Sanat Square
North Sanat Boulevard - IMEN KIA SANAT building



پست الکترونیک: lab@iks.co.ir
آدرس وبگاه: WWW.IKS.CO.IR
۰۲۱۹۲۰۰۹۰۷۷ ۰۹۱۷۹۰۰۴۲۱۵
ایران - فارس - شیراز شهرک صنعتی بزرگ شیراز - میدان صنعت
خیابان صنعت شمالی - ساختمان ایمن کیا صنعت کد پستی: ۷۱۸۵۱۹۰۰۳۸

۲. طراحی و اجرای آزمایش‌های گندزدایی با ازن در مقیاس آزمایشگاهی

پس از دریافت نتایج آزمایشگاهی، مرحله سالم‌سازی آب با استفاده از ازن در حجم‌های کوچک (۴ لیتر) آغاز شد. ازن‌زنی به صورت دستی و با زمان‌های متغیر (۱۰ تا ۶۰ ثانیه) انجام شد تا اثربخشی فرآیند و زمان ماندگاری آب بررسی شود. بطری‌های آزمایش‌شده در چندین مرحله مورد پایش قرار گرفتند تا پایداری کیفیت آب پس از گندزدایی ارزیابی شود. در شرایط بدون گندزدایی، آب کندانس پس از ۴ ساعت دچار بوی شدید و رشد میکروبی می‌شد. پس از ازن‌زنی با دوز و زمان مناسب، زمان ماندگاری آب بدون بو و رشد میکروبی تا ۴ روز افزایش یافت. این نتایج در چندین تکرار آزمایشگاهی تأیید شد و به عنوان مبنای طراحی فاز بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

۳. تحلیل نتایج و طراحی پایلوت نیمه صنعتی بر اساس داده‌های آزمایشگاهی

پس از اثبات اثربخشی ازن در مقیاس آزمایشگاهی، فرآیند به حجم‌های بالاتر توسعه یافت. ابتدا حجم ۱ تن آب کندانس با استفاده از دفیوزر طراحی شده برای تزریق ازن مورد آزمایش قرار گرفت. سپس سیستم نیمه صنعتی برای تصفیه روزانه حدود ۱۰ تن آب اجرا شد که نتایج آن نیز رضایت‌بخش بود. (لازم به ذکر است حجم آب استحصال به این روش ۱۰۰ تن در روز می باشد که در حال حاضر و پس از گذراندن فاز آزمایشگاهی در حال ورود به فاز نیمه صنعتی و به صورت ۱۰ تن در روز در حال پیگیری و انجام آزمایشات مربوطه می باشد)

اقدامات فنی انجام شده:

- طراحی دفیوزر اختصاصی برای تزریق یکنواخت ازن در حجم بالا
- تنظیم دوز ازن بر اساس نتایج آزمایشگاهی (1.2 mg/L)
- طراحی زمان تماس بهینه (۸ دقیقه) و دمای عملیاتی (۳۰-۳۵ درجه سانتی‌گراد)
- پایش کیفیت آب خروجی با آزمون‌های COD، TVC، TOC و بو
- تغییر مسیر لوله کشی و انجام لوله کشی های جدید
- ساخت ژنراتورهای مولد گاز ازن
- برنامه ریزی و اتوماسیون ژنراتورهای ازن جهت تنظیم میزان ازن مورد نیاز بر اساس بار آلی آب
- نصب سنسور جهت تعیین بار آلی آب
- اتوماسیون پمپ آب ارسال آب تصفیه بر اساس فشار مورد نیاز
- نصب مبدل حرارتی جهت کاهش دمای آب و اثر گذاری بیشتر ازن

اقدامات فنی پیشبینی شده

- متصل شدن به سیستم آب نرم شرکت و استفاده در تمامی دستگاههای نیازمند آب نرم
- افزایش کارایی سیستم کندانسور واحد برودت به دلیل استفاده از آب نرم و سرد شده
- افزایش ظرفیت سیستم اواپراتور واحد خشک کن به دلیل پیش گرم کردن شیر توسط آب کندانس
- کاهش مصرف انرژی در زمینه بخار (در سیستم اواپراتور واحد خشک کن)
- کاهش مصرف آب و نمک (جهت کاهش مصرف آب نرم شده توسط سختی گیرهای رزینی)
- کاهش مصرف انرژی برق (به دلیل استفاده از آب نرم و خنک در کندانسورهای برودت)

۴. مستندسازی رسمی و تطابق با استانداردها

تمامی مراحل آزمایشگاهی و نیمه صنعتی پروژه مستندسازی شده و در قالب گزارشهای فنی، جداول نتایج، نمودارهای تحلیلی و تصاویر فرایندها ثبت گردیده است. نتایج حاصل از آزمایشگاه قابل استناد و به صورت رسمی قابل ارائه است. فرآیند تصفیه با ازن با استانداردهای ISIRI 1053 - آب مصرفی در صنایع غذایی ، ISO 6222 ، ISO 9308 ، ISO 6060 ، ISO 8245 آزمونهای میکروبی و شیمیایی و الزامات GMP و HACCP در صنایع لبنی مطابقت دارد. در این پروژه از دستگاههای ازن ساز موجود در سایر سالنها به منظور تستهای آزمایشگاهی استفاده گردید تا در صورت موفقیت کامل اعلام و سفارشات لازم در این زمینه صورت پذیرد.

جدول ۶ پیچیدگی های فنی پروژه

ردیف	بخشهای گلوگاهی دارای پیچیدگی فنی	شرح پیچیدگی ها و چالشهای فنی	راهکارهای پیشنهادی
۱	مصرف بالای آب جهت سختی گیر های رزینی	جهت تصفیه سختی گیرهای رزینی نیازمند شستشوی مجدد و مکرر می باشد که مصرف آب بالایی دارد	استفاده از آب نرم تولید شده در اواپراتور واحد خشک کن
۲	استفاده از نمک جهت تصفیه سختی گیر های رزینی	در تصفیه سختی گیر های رزینی نیازمند یک مرحله شستشوی با آب نمک می باشد که استفاده مکرر از آب نمک مشکلات زیست محیطی زیادی را در بر دارد	تصفیه و بهبود آب نرم تولید شده در واحد اواپراتور شیر خشک و استفاده مجدد از این آب
۳	هزینه بالای دستگاههای ازن ساز	خرید دستگاههای ازن ساز هزینه بالا و کارایی کمی داشته و هزینه سرویس و نگهداری بالایی به دلیل انحصاری بودن دستگاهها دارد	ساخت ژنراتور های ازن ساز به صورت ساده و داخلی و سرویس و نگهداری آنها توسط افراد شاغل در شرکت

۴	مصرف بالا آب و راندمان کم در کندانسورهای برودت	استفاده از آب با سختی بسیار پایین و دمای کم	استفاده از آب نرم اواپراتور شیر خشک به دلیل عاری بودن از هرگونه سختی و دمای پایین اب به دلیل تبادل حرارتی با شیر ۴ درجه سانتیگراد
۵	مصرف بالای آب جهت شستشو و CIP	آب مورد نیاز جهت شستشو فقط اسپری درایر بالغ بر ۹۰ مترمکعب در روز می باشد	استفاده عمده آب مصرفی سیستم شستشو از این آب استحصال شده
۶	پیچیدگی سیستمهای آبرسانی	وجود دو منبع تولید آب نرم و دائمی نبودن آب نرم تولید شده توسط اواپراتور شیر خشک	استفاده از فشارهای متفاوت جهت اب نرم تولید شده توسط سختی گیرهای رزینی و اواپراتور شیر خشک

جدول 7 نتایج آزمایشگاهی انجام شده

آزمون								عنوان نمونه
وضعیت حسی	شمار ش اسپور cfu/ml	شمارش کلی باریکروبی cfu/ml	مخمر cfu/ml	کپک cfu/ml	استافیلوکوکوس اورئوس ml	اشرشیاکلی ml	کلیفرم cfu/ml	
بوی نامطلوب	۹۲۰۰	TNTC غیر قابل شمارش	۳۰۰	۱۰	منفی	مثبت	۱۶۸۰	کندانس آب خروجی قبل از
بوی نامطلوب	۴۰۰۰	۱۸۰۰۰	۱۷۰	۱	منفی	مثبت	۱۱۲۰	کندانس آب خروجی بعد
بدون بو و طعم	۵۸۰	۲۶۰۰	۱۰	۰	منفی	منفی	۰	کندانس آب خروجی بعد
بدون بو و طعم	۲۱۰	۹۳۰	۰	۰	منفی	منفی	۰	کندانس آب خروجی بعد

بدون بو و طعم	نامطلوب	•	•	•	•	منفی	منفی	•	آب خروجی کندانس بعد از
---------------	---------	---	---	---	---	------	------	---	---------------------------

از آنجا که آب ضدعفونی شده بایستی جهت CIP تجهیزات تولید محصول قرار گیرد، با توجه به تاثیر کیفیت میکروبی این آب مصرفی بر ویژگیهای محصولات لبنی تولید شده؛ کلیه شاخص های میکروبی موثر در روشهای مختلف ضدعفونی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. لذا با توجه به نتایج جدول فوق؛ کفایت و اثربخشی عملیات ضدعفونی با ازن به مراتب بالاتر و موثرتر از سایر روشها محرز گردید. بنابراین بررسی سایر روشها از دستور کار خارج شده و جهت ارزیابی های تکمیلی فرایند سالم سازی آب صرفا بر روش ضدعفونی با ازن متمرکز گردید که نتایج میکروبی و شیمیایی توسط آزمایشگاه آگرو دیته پگاه فارس (مرجع و همکار سازمان استاندارد) طبق جدول ذیل حاصل گردید.

جدول 8 نتایج آزمایشگاه همکار

عنوان نمونه	pH	سختی Ppm	COD mg/l	BOD mg/l	طعم و بو	کلیفرم cfu/ml	ml اشریشیاکلی	میکروارگانیزم ها شمارش ۳۶C در	میکروارگانیزم ها شمارش ۴۴C در cfu/ml	شمارش اسپور cfu/ml
آب خروجی کندانس قبل از عملیات ضدعفونی ازن	۶.۷	۳۸	۴۰۰۰	۲۱۵۰	بوی نامطلوب	۲۷۰۰	مثبت	۱۸۰۰۰	۶۴۰۰	۴۱۰۰
آب خروجی کندانس بعد از عملیات ضدعفونی ازن	۶.۷	۳۸	۱۸	۸	بدون طعم و بوی نامطلوب	۰	منفی	۰	۰	۰

نتایج :

این پروژه می‌تواند چندین خروجی قابل توجه داشته باشد که شامل منافع مالی، بهبود بهره‌وری، مزایای زیست‌محیطی، و ارتقای سطح فناوری کارخانه است. بیایید این خروجی‌ها را دسته‌بندی کنیم:

۱. صرفه‌جویی مالی و افزایش بازده اقتصادی

سالانه ۳۶,۰۰۰ مترمکعب آب نرم که قبلاً دورریز می‌شد ولی با انجام طرح تصفیه‌شده و مجدداً به چرخه تولید بازمی‌گردد. فرآیند سختی‌گیری که قبلاً نیاز به مصرف نمک داشت، پس از انجام پروژه با استفاده از آب کندانس تصفیه‌شده بهینه شده و مصرف نمک کاهش پیدا کرده است. بهبود عملکرد اواپراتورها باعث شده نیاز به بخار کمتر شود و در نتیجه مصرف گاز کاهش یابد. استفاده از آب خنک‌شده باعث افزایش راندمان واحد برودتی شده و مصرف برق را نیز کاهش می‌دهد.

۲. بهبود عملکرد عملیاتی و کاهش هزینه‌های نگهداری

با کاهش دورریز آب و نمک، نیروی انسانی مورد نیاز در این واحدها کاهش پیدا کرده و هزینه‌های نگهداری پایین می‌آید. بازیابی انرژی از آب کندانس باعث شده ظرفیت تولید افزایش یابد، به‌ویژه در واحد شیرخشک، که ظرفیت خط ۵۰۰ کیلوگرم در ساعت افزایش می‌یابد. استفاده از آب خنک‌شده، راندمان کندانسورها را ۱۰٪ افزایش داده که باعث کاهش مصرف برق و بهینه‌سازی کل سیستم می‌گردد .

۳. مزایای زیست‌محیطی و کاهش آلاینده‌ها

کاهش مصرف روزانه ۱۰۰,۰۰۰ لیتر آب ، معادل مصرف روزانه ۱۰۰ خانوار، موجب کاهش برداشت از منابع زیرزمینی می‌گردد. حذف نمک دورریز ناشی از فرآیند سختی‌گیری موجب کاهش آلودگی محیط‌زیست گردیده و کاهش بار فاضلاب صنعتی، بهبود استانداردهای زیست‌محیطی کارخانه را به همراه دارد.

۴. ارتقای سطح فناوری و ایجاد مدل اجرایی برای سایر کارخانه‌ها

این پروژه نه تنها تصفیه، بازیافت و گندزدایی آب را انجام می‌دهد، بلکه با سیستم پایش هوشمند، کنترل کیفیت آب را بدون نیاز به اپراتور تضمین می‌کند و قابلیت توسعه در سایر کارخانه‌های لبنی ایران که دارای واحد اسپری درایر می باشد را دارد.

توسعه پایدار و مدیریت انرژی :

پروژه با استاندارد ISO50001 مدیریت انرژی تطابق دارد و راهی برای افزایش بهره‌وری بدون مصرف اضافی منابع ایجاد کرده است .

بازگشت سرمایه در کمتر از ۱۱ ماه: هزینه‌های اولیه پروژه از طریق صرفه‌جویی‌های حاصل جبران می‌شود. افزایش ارزش‌گذاری فناوری: قابلیت فروش فناوری به سایر کارخانه‌های صنایع لبنی موجب تبدیل پروژه به یک راهکار اقتصادی پایدار می‌شود. امکان توسعه و تجاری‌سازی فناوری موجب جذب سرمایه برای گسترش سیستم تصفیه در صنایع دیگر خواهد شد. کاهش مصرف آب معادل نیاز روزانه ۱۰۰ خانوار: این موضوع در مناطقی که با بحران کم‌آبی مواجه هستند، اهمیت زیادی دارد. کاهش آلودگی زیست‌محیطی: کاهش دفع نمک و تصفیه فاضلاب موجب کاهش اثرات مخرب بر طبیعت می‌شود.

بحث و جمع بندی

این پروژه نشان داده است که با ترکیب فناوری‌های تصفیه، مدیریت انرژی امکان ایجاد یک چرخه پایدار و مقرون به صرفه در مصرف آب و انرژی وجود دارد. نوآوری‌های به کاررفته در این سیستم نه تنها در ایران، بلکه در سطح بین‌المللی نیز می‌تواند به عنوان یک الگوی موفق معرفی شود.

با توجه به ماهیت حساس پروژه تصفیه و بازچرخانی آب کندانس در صنعت لبنیات، لازم است تأکید شود که ارزیابی کیفیت میکروبی آب تنها در یک نقطه زمانی کفایت نمی‌کند. برخی از عوامل میکروبی مانند تشکیل بیوفیلم‌ها، رشد تأخیری میکروارگانیسم‌ها و تغییرات ناشی از شرایط نگهداری، ممکن است در بازه‌های زمانی مختلف بروز کرده و بر کیفیت نهایی آب تأثیرگذار باشند. از این رو، شرکت پگاه فارس فرآیند پایش میکروبی را به صورت مدون، مرحله‌ای و مستمر در دستور کار قرار داده است.

پروژه حاضر نه تنها دارای فاز آزمایشگاهی کامل و مستند بوده، بلکه فرآیند پایش میکروبی آن به صورت مرحله‌ای و علمی در حال انجام است. نوآوری‌های فناورانه، اثربخشی اثبات شده، و ظرفیت توسعه پذیری این طرح، آن را به عنوان یک مدل موفق در مدیریت منابع آبی در صنعت لبنیات معرفی می‌کند. مستندات فنی، آزمایشگاهی و اجرایی پروژه در حال آماده بررسی کارخانه‌های صنایع لبنی که به مشکل مصرف بالای آب از طریق سازی می‌باشد. پیدا کردن مشتری‌های بالقوه مشخص کردن مزایای این فناوری برای آنها، مثل کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری و ... می‌تواند موجبات برخورد دارندو تجاری سازی و سود آوری را به همراه داشته باشد.

با وجود چالش‌ها، پروژه تصفیه و بازچرخانی آب کندانس در شرکت شیر پاستوریزه پگاه فارس اجرا شد. پس از اصلاحات و آزمایش‌های انجام شده، سیستم نهایی توانست مصرف آب را به میزان ۱۰۰ مترمکعب در روز کاهش دهد، مصرف انرژی را بهینه کند و تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از دفع پساب‌ها را کاهش دهد. همچنین، فناوری پیاده‌سازی شده قابلیت توسعه و اجرا در سایر کارخانه‌های لبنی را دارد.

این پروژه یک نمونه از تلفیق فناوری‌های نوین تصفیه آب، مدیریت انرژی و بهینه‌سازی مصرف منابع در صنعت لبنیات است. نوآوری این پروژه در چندین جنبه کلیدی دیده می‌شود که آن را از روش‌های سنتی تصفیه و مدیریت آب متمایز می‌کند.

این فناوری نه تنها مصرف آب را کاهش داده، بلکه فرآیند سختی‌گیری را بهینه کرده و هزینه‌ها را پایین آورده است. تلفیق فناوری تصفیه با مدیریت انرژی که یکی از مهم‌ترین جنبه‌های نوآورانه این پروژه می‌باشد شامل استفاده هم‌زمان از حرارت آب کندانس برای پیش گرم کردن محصول ورودی و کاهش مصرف بخار است.

این کار باعث افزایش ظرفیت تولید، کاهش مصرف انرژی و بهبود عملکرد سیستم‌های برودتی گردید.

در حالی که بسیاری از صنایع از روش‌های متداول مانند کلرزنی یا فیلترهای فیزیکی استفاده می‌کنند، این پروژه از ازن بهره برده که تأثیر بسیار بالایی در حذف آلاینده‌های آلی و میکروبی دارد.



این پروژه تنها شامل تصفیه آب نیست، بلکه یک سیستم خودکار و هوشمند برای نظارت و کنترل فرآیند بازچرخانی ایجاد کرده است و نه تنها کیفیت آب را به صورت دائمی پایش می کند بلکه بهینه سازی مصرف انرژی و مواد شیمیایی را نیز تضمین می کند .

۱۱. قدردانی

در این قسمت صمیمانه از همه همکاران عزیز در واحدهای فنی، تولید و کیفیت قدردانی می کنم. سپاس از هیات مدیره و تمامی پرسنل کوشای شرکت پگاه فارس که با مشارکت، صبر و روحیه کار تیمی، فضای کاری مثبتی ایجاد کرده اند و با همکاری موجب کسب موفقیت های سازمان گردیده اند.

مراجع

1. WHO/FAO. Guidelines on water quality for the food industry.
2. P J WILLIAMS, P A ANDERSON, Operational cost savings in dairy plant water usage , 2006
3. Hülya Ölmez , sustainable food processing ,chapter17 : Water Consumption, Reuse and Reduction Strategies in Food Processing , 2013
4. Meneses YE, Flores RA. Feasibility, safety, and economic implications of whey-recovered water in cleaning-in-place systems: a case study on water conservation for the dairy industry. J Dairy Sci. 2016;
5. Abdallh MN, Abdelhalim WS, Abdelhalim HS. Industrial wastewater treatment of food industry using best techniques. Int J Eng Sci Invent,2016 .
6. Alkaya E, Demirer GN. Water recycling and reuse in soft drink/beverage industry: a case study for sustainable industrial water manage-ment in Turkey. Resour Conserv Recycl. 2015;
7. PHA / EFSA. Risk assessment of reusing-process water in ready-to-eat foods.
8. McGrail, P., et al. Implementation of water reuse strategies in dairy processing and beverage plants: case studies. Journal of Water Process Engineering.
9. García, A., et al. Integrated water management and reuse in fruit juice and beer production: design and performance metrics. Food and Bioprocess Technology.
10. Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. McGraw-Hill Education. Atluri, S.N. and Shen, S. (2002), "The Meshless Local Petrov-Galerkin (MLPG) Method", Tech Science Press, USA.
11. Safe and hygienic water treatment in food factories. European Hygienic Engineering Group, Guideline Document No. 28, www.ehedg.org
12. Codex Alimentarius (Anon 2001) Proposed draft guidelines for the hygienic reuse of processing water in food plants. Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Codex Committee on Food Hygiene, 34th session, Bangkok, Thailand 8-13 October 2001