www.rifst.ac.ir/jrifst.aspx
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹٤، جلد ٤، شماره ۱، صفحات ٦٤-٥۳

JRIFST

بهینه‌سازی دما و غلظت منعقدکننده‌ها در کاهش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی آب‌پنیر با روش آماری کسری از فاکتوریل کامل

فاطمه اردستانی*[1]، الهام سادات حسینی[2]

۱- استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر، قائم‌شهر
* نویسنده مسئول (f.ardestani@qaemshahriau.ac.ir)
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، شاهرود

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۰۷
تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۱/۲۸

واژه‌های کلیدی
آب‌پنیر
اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی
بار آلی پساب
روش تاگوچی
منعقدکننده

چکیده

آب‌پنیر یکی از عمده پساب‌های لبنی و غنی از ترکیبات آلی می‌باشد. این ترکیبات، اکسیژن محلول در آب را کاهش داده، اکوسیستم فعال آب را غیرفعال کرده و باعث از بین رفتن موجودات آبزی می‌گردند. فرمولاسیون ترکیبی بهینه‌ای از غلظت منعقد-کننده‌های پکتین، آلژینات‌سدیم، سولفات‌آلومینیوم و کلریدآهن و دمای لخته‌سازی به منظور کاهش شاخص اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی آب‌پنیر تعیین شد. طراحی آزمایش‌ها با روش آماری کسری از فاکتوریل کامل و نرم افزار Qualitek-4 و تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی با استفاده از روش تاگوچی انجام شد. شرایط بهینه با غلظت سولفات آلومینیوم، آلژینات سدیم، کلرید آهن و پکتین به ترتیب برابر با ۲، ۰/۰۲، ۱/۵ و ۱ گرم در لیتر و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد حاصل شد. درصد کاهش مورد انتظار در شاخص میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی تحت شرایط بهینه، ۳۳/۷۲۲ درصد تخمین زده شده است. موثرترین فاکتور در کاهش بار آلی آب‌پنیر، تغییرات دمای لخته‌سازی با سهم ۶۳ درصد بوده است. تغییر در غلظت سولفات آلومینیوم کمترین تاثیرگذاری (۱/۷ درصد) و تغییرات غلظت کلرید آهن نیز اثر ناچیزی در حد ۷ درصد داشته است. تغییرات غلظت آلژینات سدیم و پکتین به ترتیب ۱۸ و ۱۰ درصد در کاهش میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در آب‌پنیر مؤثر بوده‌اند.

مقدمه

توسعه صنایع و کارخانجات در دنیای امروز، بشر را با چالش عمده پساب‌های آلاینده محیط زیست مواجه نموده است. آلاینده‌های گوناگون به روش‌های مختلف، اثرات نامطلوبی در محیط زیست بر جا می-گذارند. برخی از این مواد دارای ترکیباتی هستند که با جذب اکسیژن، میزان اکسیژن محلول در آب را کاهش داده، اکوسیستم فعال و زنده آب را تبدیل به یک اکوسیستم مرده و غیرفعال کرده و باعث از بین رفتن موجودات آبزی می‌گردند. آب‌های سطحی، از حساس‌ترین اکوسیستم‌ها بوده و کمبود اکسیژن، به سرعت موجب به هم‌خوردن تعادل آن‌ها می‌گردد. این پدیده با ورود مواد آلی از طریق فاضلاب های شهری و صنعتی رخ می دهد. این مواد آلی با جذب اکسیژن موجب کاهش اکسیژن محلول در آب می-شوند. از جمله کارخانجاتی که دفع پساب‌های آن‌ها بدون تصفیه و یا بازیابی مواد مفید در سال‌های اخیر باعث به هم‌خوردن تعادل اکوسیستم شده، صنایع لبنیات و به ویژه صنایع تولید پنیر می‌باشد. در صنایع لبنی به ازای هر یک لیتر شیر، تا ۱۰ لیتر پساب تولید می‌شود (Balannec *et al*., 2005). آب‌پنیر در واقع یکی از عمده‌ترین پساب‌های صنایع لبنی بوده که غنی از ترکیبات آلی و نمکی از جمله لاکتوز، پروتئین، چربی و املاح معدنی می‌باشد (Ntuli *et al*., 2011). هر دو

Archive of SID
www.SID.ir

نوع آب پنیر شیرین و اسیدی، دارای ۵۰ درصد از ترکیبات اصلی شیر هستند (Jelen, 2011). مشکل آلایندگی این ماده، بالا بودن میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی[1] آن و تقریباً برابر با ۳۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است. اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی عبارتست از مقدار اکسیژن مورد نیاز جهت اکسیداسیون بیولوژیکی مواد آلی موجود در آب که به طور متوسط، اکسیژن مورد نیاز متناسب با مقدار مواد زاید آلی قابل تجزیه به صورت هوازی می‌باشد (Carvalho *et al*., 2013). برای کاهش بار آلی آب‌پنیر، روش‌های متعددی وجود دارد. یکی از روش‌های فیزیکوشیمیایی، استفاده از منعقدکننده‌ها است (Prazeres *et al*., 2012).

در رابطه با استفاده از منعقدکننده‌ها برای کاهش بار آلی آب‌پنیر تحقیقات زیادی انجام نشده است. البته برخی از محققین به بررسی اثرات منعقدکننده-های طبیعی و یا شیمیایی بر کاهش بار آلی این پساب صنعتی پرداخته‌اند. از جمله این تحقیقات می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: نتایج تحقیقی که در رابطه با استفاده از کیتوزان به عنوان ماده منعقد-کننده برای کاهش بار آلی آب‌پنیر نشان داده که کیتوزان به صورت ژل نسبت به فرم دانه‌ای دارای تاثیر بیشتری بر کاهش بار آلی آب‌پنیر می‌باشد. در این تحقیق، ۸۷ درصد کاهش در اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی آب‌پنیر حاصل شده است (Mukhopadhyay *et al*., 2003). نتایج برخی از تحقیقات انجام شده در زمینه تصفیه پساب‌های صنعتی نیز نشان داده که روش الکتروکواگولاسیون می‌تواند برای کاهش بار آلی و اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در پساب صنایع لبنی مناسب باشد (Qasim & Mane, 2013; Zodi *et al*., 2011). نتایج تحقیقی که در رابطه با استفاده از صمغ دانه لوبیای *Cassia obtusifolia* به عنوان یک ماده منعقدکننده طبیعی برای تصفیه پساب صنایع لبنی انجام شده نشان داده که کارایی این صمغ در حذف مواد جامد معلق و کاهش بار آلی پساب بیشتر از سولفات آلومینیوم بوده است (Yee Shark & Wu, 2014). کاربرد پلیمرهای زیستی به دلیل برخورداری از کارایی بالا در دزهای کم برای فلوکوله کردن ترکیبات آلی موجود در پساب‌ها و همچنین زیست-تخریب‌پذیر بودن این پلیمرها امروزه بسیار چشمگیر شده است (Lee *et al*., 2014). در یک تحقیق در سال ۲۰۱۴ از گلوتارآلدئید همراه با نانو ذرات کیتوزان به عنوان کواگوله کننده در حذف ترکیبات آلی از پساب‌ها استفاده شده است. این ماده کارایی بسیار خوبی را در پهاش ۳ و درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی‌گراد در حذف ترکیبات آلی از فازهای آبی نشان داده است (Zhou *et al*., 2014). نشاسته نیز یکی از پلیمرهای زیستی مورد توجه به عنوان منعقدکننده طبیعی بوده است. نتایج تحقیقی که در رابطه با استفاده از نشاسته برنج در حذف ترکیبات آلی از پساب‌ها انجام شد نشان داده که کارایی این ماده نسبت به سولفات آلومینیوم ۴۷٪ بیشتر بوده است و زمان فرایند لخته‌سازی نیز ۵۸٪ کمتر شده است (Teh *et al*., 2014). در برخی از پژوهش‌ها از کربن اکتیو به دست آمده از برخی گونه‌های جلبکی مانند *Ulva lactuca* و *Systoceira stricta* برای کاهش بار آلی پساب‌ها استفاده شده و کارایی این ترکیبات مورد تایید قرار گرفته است (Attouti *et al*., 2013).

در این تحقیق از یک سری منعقدکننده‌های طبیعی نظیر پکتین و همچنین منعقدکننده‌های سنتزی مانند آلژینات‌سدیم، سولفات‌آلومینیوم و کلریدآهن به منظور کاهش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در پساب کارخانجات پنیرسازی استفاده شده است. در ضمن، اثر دما بر عملکرد این ترکیبات منعقدکننده نیز مورد بررسی قرار گرفته است. طراحی آزمایش‌ها به منظور بررسی همزمان عملکرد این فاکتورها با استفاده از روش آماری کسری از فاکتوریل کامل و نرم افزار Qualitek-4 انجام شده است. تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی با استفاده از روش تاگوچی در نهایت به تعیین شرایط بهینه از لحاظ فاکتورهای مورد اشاره منجر شده است.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده

1-Biological Oxygen Demand (BOD)

Archive of SID

www.SID.ir

آب‌پنیر مورد استفاده در این تحقیق از کارخانه پگاه گلستان تهیه شد. مواد شیمیایی مورد استفاده در فرایند لخته‌سازی شامل سولفات آلومینیوم، آلژینات سدیم، کلرید آهن از شرکت مرک (MERCK) و پکتین از شرکت سیگما (SIGMA-ALDRICH) تهیه شدند. مواد مورد استفاده در اندازه‌گیری‌ها نیز شامل سولفات منیزیم، کلرید کلسیم، کلرید آهن، یدید قلیایی، تیوسولفات سدیم، یدور پتاسیم، نیتریت سدیم، معرف چسب نشاسته، بافر فسفات و اسید سولفوریک همگی از شرکت مرک تهیه شده است.

تعیین اکسیژن موردنیاز بیولوژیکی (BOD)

این فاکتور شاخصی از مقدار مواد آلی قابل اکسیدشدن موجود در آب است. اکسیژن مصرف شده جهت تجزیه کربن از طریق آزمایش استاندارد ۵ روزه تحت عنوان BOD5 اندازه‌گیری شد. برای انجام آنالیز BOD، از محلول‌های معرف بافر فسفات، سولفات منیزیم با غلظت ۲۲/۵ گرم در لیتر، کلرید کلسیم با غلظت ۲۷/۵ گرم در لیتر، کلرید آهن با غلظت ۰/۲۵ گرم در لیتر، یدید قلیایی (معرف وینکلر) و تیوسولفات سدیم ۰/۰۲۵ نرمال استفاده شد. برای تهیه معرف وینکلر، ابتدا ۱۵۰ گرم یدور پتاسیم در یک لیتر آب مقطر حل شد (محلول الف). سپس ۱۰ گرم NaN_3 در ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد (محلول ب). در نهایت محلول الف و ب با هم مخلوط شدند تا معرف وینکلر به دست آید.

فرایند لخته‌سازی

طراحی آرایه متعامد (جدول ۱) برای انجام آزمایشات لخته‌سازی با استفاده از نرم افزار Qualitek-4 با توجه به در نظر گرفتن پنج عامل متغیر دما و غلظت منعقدکننده‌ها شامل سولفات آلومینیوم، آلژینات سدیم، کلرید آهن و پکتین هرکدام در ۴ سطح مختلف (جدول ۲) انجام شد. برای انجام آزمایشات لخته‌سازی، ۱۶ بطری درب‌دار تهیه شد و در داخل هرکدام از آن‌ها مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌پنیر ریخته و در حین هم‌زدن، سولفات آلومینیم، آلژینات سدیم، کلرید آهن و پکتین طبق طرح تعیین شده اضافه گردید. سپس بطری‌ها به مدت ۵ ساعت، در انکوباتورهای مناسب با دمای تعیین شده (جدول ۱) نگهداری شدند. سپس محتویات بطری‌ها به صورت جداگانه از کاغذ صافی عبور داده شد و محلول‌های صاف شده جهت آزمون اندازه‌گیری اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی استفاده گردید.

اندازه‌گیری اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی

برای اندازه‌گیری میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی، ابتدا از نمونهٔ آب‌پنیر اولیه (به عنوان نمونه شاهد) و هرکدام از ۱۶ نمونهٔ صاف شده (تیمارهای آب‌پنیر با ترکیبات منعقدکننده طبق جدول ۱) ۱ میلی‌لیتر را برداشته و به آرامی به طوری که هیچ‌گونه حباب هوایی در ظرف تشکیل نشود از آب مقطر پر شدند. آب مقطر مورد استفاده در این روش باید اشباع از اکسیژن باشد. برای این منظور از پمپ اکسیژن به مدت حداقل ۵ ساعت قبل از اضافه کردن آب مقطر به نمونه‌های آب‌پنیر، استفاده شد تا آب مقطر از اکسیژن اشباع شود. سپس به ازای هر لیتر از آب مقطر، یک میلی‌لیتر از محلول‌های بافر فسفات (جهت حفظ pH)، سولفات منیزیم، کلرید کلسیم و کلرور آهن (جهت تقویت تغذیه میکروب‌ها) به آن اضافه گردید.

نکته: جهت پی بردن به بهترین حجم نمونهٔ مورد استفاده در آزمون، در ابتدا حجم‌های ۱، ۲، ۵ و ۱۰ میلی‌لیتر از نمونه‌ها مورد آزمون اندازه‌گیری میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی بعد از ۵ روز قرار گرفتند تا بهترین حجم نمونه بعد از گذشت ۵ روز انکوباتورگذاری به دست آید. با توجه به بار میکروبی بالای آب‌پنیر مورد استفاده، مشخص شد که بهترین حجم در این آزمایش، ۱ میلی‌لیتر می‌باشد. بطری‌ها در محفظه تاریک در داخل انکوباتور با دمای۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ روز نگهداری شدند. بطری دیگری جهت اندازه‌گیری اکسیژن محلول اولیه طبق آزمایش وینکلر استفاده گردید. در انتهای دوره انکوباسیون ۵ روزه، مقدار اکسیژن محلول در بطری انکوبه شده، اندازه‌گیری گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- سطوح هریک از فاکتورها در آزمایشات پیشنهادی نرم‌افزار برای بهینه‌سازی فرایند تصفیه آب‌پنیر

شماره آزمایش	سطوح فاکتورها				
	دما	سولفات آلومینیوم	آلژینات سدیم	غلظت کلرور آهن	غلظت پکتین
۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۲	۲	۲	۲
۳	۱	۳	۳	۳	۳
۴	۱	۴	۴	۴	۴
۵	۲	۱	۲	۳	۴
۶	۲	۲	۱	۴	۳
۷	۲	۳	۴	۱	۲
۸	۲	۴	۳	۲	۱
۹	۳	۱	۳	۴	۲
۱۰	۳	۲	۴	۳	۱
۱۱	۳	۳	۱	۲	۴
۱۲	۳	۴	۲	۱	۳
۱۳	۴	۱	۴	۲	۳
۱۴	۴	۲	۳	۱	۴
۱۵	۴	۳	۲	۴	۱
۱۶	۴	۴	۱	۳	۲

جدول ۲- فاکتورها و سطوح هریک از آنها در بررسی دما و غلظت منعقدکننده‌ها در فرایند تصفیه آب‌پنیر

فاکتور مورد بررسی	سطح			
	۱	۲	۳	۴
دما (درجه سانتی‌گراد)	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵
غلظت سولفات آلومینیوم (گرم در لیتر)	۰/۶	۱	۱/۵	۲
غلظت آلژینات سدیم (گرم در لیتر)	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴
غلظت کلریدآهن (گرم در لیتر)	۰/۴	۰/۸	۱/۵	۳
غلظت پکتین (گرم در لیتر)	۱	۲	۴	۶

جهت اندازه‌گیری میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی اولیه (روز اول) یک میلی‌لیتر از نمونهٔ آب-پنیر اولیه و یک میلی‌لیتر از هرکدام از ۱۶ نمونهٔ صاف شده (تیمارهای آب‌پنیر با ترکیبات منعقدکننده طبق جدول ۱) داخل بطری‌های ویژه آزمون ریخته شده، سپس به طوری که هیچ‌گونه فضای خالی در بالای ظرف نباشد از آب مقطر اشباع از اکسیژن پر شد، سپس اندازه‌گیری به روش وینکلر انجام گردید. برای انجام این آزمایش، سه معرف سولفات منگنز، یدید قلیایی و معرف چسب نشاسته استفاده گردید. معرف چسب نشاسته با حل‌کردن ۵ گرم پودر نشاسته در ۸۰۰ میلی‌لیتر آب جوش و سپس رساندن حجم آن به یک لیتر تهیه شد. در آزمون وینکلر، ابتدا ۲ میلی-لیتر محلول سولفات منگنز جهت تثبیت اکسیژن محلول به نمونه‌ها اضافه شد و سپس ۲ میلی‌لیتر محلول یدید قلیائی و معرف چسب نشاسته اضافه شد. با افزودن معرف‌ها، پس از ۲ دقیقه رسوبی به رنگ سفید مایل به قهوه‌ای تشکیل می‌گردد. پس از گذشت ۳ دقیقه با افزودن ۲ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ، محلول داخل بطری‌ها اسیدی گردید. با حل‌شدن رسوبات، شفافیت نمونه از بین رفته و ید آزاد شده به آرامی در نمونه پخش می‌گردد. قبل از برداشت قسمتی از نمونه جهت تیتراسیون، ید باید به طور یکنواخت در نمونه پخش شده باشد. در نهایت،

Archive of SID

www.SID.ir

تیتراسیون با استفاده از محلول تیوسولفات سدیم تا دستیابی به رنگ زرد حصیری انجام شد. تیتراسیون با تیوسولفات سدیم تا محو شدن رنگ آبی ادامه یافت. پس از ۵ روز انکوباتور گذاری، برای هریک از نمونه ها مطابق با روش وینکلر، میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی اندازه گیری شد. با استفاده از تفاوت مقدار اکسیژن حل شده در دو نمونه اولیه و نمونه انکوبه شده، با استفاده از رابطه ۱ مقدار اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی هریک از نمونه‌ها تخمین زده شد.

رابطه (۱)

$$BOD=\frac{D_1-D_2}{P}$$

a: حجم تیوسولفات سدیم مصرفی در نمونه بطری اولیه به میلی‌لیتر، b: حجم تیوسولفات سدیم مصرفی در نمونه بطری انکوبه شده به میلی‌لیتر، $D_1 = a \times 2 =$ اکسیژن محلول نمونه اولیه بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، $D_2 = b \times 2 =$ اکسیژن محلول نمونه انکوبه شده بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، P= کسر اعشاری نمونه مورد استفاده (در اینجا ۰/۰۰۱).

نتایج و بحث

بر اساس نتایج به دست آمده، میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در نمونهٔ آب‌پنیر اولیه برابر با ۸۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده است. در این تحقیق، هدف اصلی کاهش میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در نمونهٔ آب‌پنیر با استفاده از افزودن ترکیبات منعقد-کننده و همچنین کنترل فاکتور دمای منعقدسازی بوده است. نتایج مربوط به اندازه‌گیری میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در نمونه‌های تیمار شده با منعقدکننده‌ها (طبق جدول ۱) و درصد کاهش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در هریک از تیمارها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- میزان و درصد کاهش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در نمونه‌های آب‌پنیر تیمار شده با منعقدکننده‌ها طبق آزمایشات طراحی شده با نرم افزار Qualitek-4 (تکرار اول) در بهینه‌سازی فرایند تصفیه و کاهش بار آلی آب‌پنیر

شماره آزمایش	اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در نمونه بعد از تیمار	درصد کاهش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در نمونه
۱	۸۰۰۰	۵/۸۸
۲	۷۹۰۰	۷/۰۶
۳	۸۱۰۰	۴/۷۱
۴	۷۹۶۰	۶/۳۵
۵	۵۲۰۰	۳۸/۸۲
۶	۶۹۰۰	۱۸/۸۲
۷	۷۱۴۰	۱۶
۸	۶۷۰۰	۲۱/۱۸
۹	۸۱۰۰	۴/۷۱
۱۰	۶۷۶۰	۲۰/۴۷
۱۱	۷۰۴۰	۱۷/۱۸
۱۲	۷۲۲۰	۱۵/۰۶
۱۳	۷۵۲۰	۱۱/۵۳
۱۴	۷۶۸۰	۹/۶۵
۱۵	۶۹۶۰	۱۸/۱۲
۱۶	۷۳۸۰	۱۳/۱۸

آزمایشات مربوط به کاهش بار آلی آب‌پنیر در ۱۶ نمونه مورد بررسی و اندازه‌گیری درصد کاهش میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی نسبت به نمونه اولیه آب‌پنیر، دو بار تکرار گردید. در جدول ۴ نتایج نهایی این تکرارها و مقدار میانگین مورد استفاده در تجزیه و تحلیل‌های آماری ارایه شده است. متغیر خروجی یک کمیت فیزیکی قابل اندازه‌گیری است (در اینجا درصد کاهش میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی) که هر چه

Archive of SID

www.SID.ir

بزرگ‌تر باشد بهتر است. آنالیز در نظر گرفته شده در این تحقیق با استفاده از نسبت *S/N* بوده که با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شده است.

رابطه (۲) $(S/N)= - 10 \log(MSD)$

MSD میانگین مربع انحراف است و بر حسب نوع آنالیز مورد نظر به صورت رابطه ۳ تعریف شده است:

رابطه (۳) $$MSD = \frac{\sum_{i=1}^{n} (1 / y_i)^2}{n}$$

که در آن n تعداد کل تکرار یک آزمایش و y_i نتایج به دست آمده از هر آزمایش می‌باشد. برای به دست آوردن نسبت S/N ابتدا باید نتایج به دست آمده از تمامی ۱۶ آزمایش انجام شده که در چند سری تکرار گردیده را وارد برنامه نموده تا آنالیز S/N انجام (جدول ۴) و با توجه به نتایج آنالیز، شرایط بهینه محاسبه شود.

جدول ۴- درصد کاهش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در نمونه‌های آب‌پنیر تیمار شده با منعقدکننده‌ها طبق آزمایشات طراحی شده با نرم افزار Qualitek-4 (تکرار اول و دوم و میانگین) در بهینه‌سازی فرایند تصفیه و کاهش بار آلی آب‌پنیر

شماره آزمایش	درصد کاهش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در تکرار اول	درصد کاهش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در تکرار دوم	میانگین درصد کاهش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی	مقدار S/N محاسبه شده برای هر آزمایش
۱	۵/۸۸	۵/۹۰	۵/۸۹	۱۵/۴۰۲
۲	۷/۰۶	۷/۰۳	۷/۴۵۰	۱۶/۹۵۷
۳	۴/۷۱	۴/۷۳	۴/۷۲	۱۳/۴۷۸
۴	۶/۳۵	۶/۳۰	۶/۳۲۵	۱۶/۰۲۱
۵	۳۸/۸۲	۳۸/۸۵	۳۸/۸۳۵	۳۱/۷۸۴
۶	۱۸/۸۲	۱۸/۸۰	۱۸/۸۱	۲۵/۴۸۷
۷	۱۶	۱۶/۰۳	۱۶/۰۱۵	۲۴/۰۹
۸	۲۱/۱۸	۲۱/۱۵	۲۱/۱۶۵	۲۶/۵۱۲
۹	۴/۷۱	۴/۶۹	۴/۷۰	۱۳/۴۴۱
۱۰	۲۰/۴۷	۲۰/۵۰	۲۰/۴۸۵	۲۶/۲۸
۱۱	۱۷/۱۸	۱۷/۱۵	۱۷/۱۶۵	۲۴/۶۹۲
۱۲	۱۵/۰۶	۱۵/۰۹	۱۵/۰۷۵	۲۳/۵۶۵
۱۳	۱۱/۵۳	۱۱/۵۵	۱۱/۵۴	۲۱/۲۴۴
۱۴	۹/۶۵	۹/۶۰	۹/۶۲۵	۱۹/۶۶۷
۱۵	۱۸/۱۲	۱۸/۱۵	۱۸/۱۳۵	۱۷/۲۵
۱۶	۱۳/۱۸	۱۳/۱۵	۱۳/۱۶۵	۲۲/۳۸۸

میانگین نسبت S/N سطوح مختلف مورد بررسی از هریک از فاکتورهای موثر بر کاهش میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در نمودارهای شکل ۱ ارائه شده است. اولین نمودار از سمت چپ مربوط به تاثیر فاکتور دما بر کاهش بار آلی آب‌پنیر در فرایند تصفیه به روش لخته‌سازی است. همان گونه که از روی نمودار مشاهده می‌شود مقدار میانگین S/N آزمایشاتی که با استفاده از سطح ۱ فاکتور دما انجام شده‌اند برابر با ۱۵/۴۶۴ و همین میانگین برای سطح ۲ فاکتور دما برابر با ۲۶/۹۶۸ بوده است. به همین ترتیب میانگین نسبت S/N برای سطوح ۳ و ۴ فاکتور دما به ترتیب برابر با ۲۱/۹۸۲ و ۲۲/۱۱۷ می‌باشد. بنابراین در این نمودار، میانگین نسبت S/N در آزمایشات انجام شده

Archive of SID

www.SID.ir

در چهار سطح در نظر گرفته شده برای فاکتور دما نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که بیشترین درصد کاهش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در نمونهٔ آب‌پنیر با استفاده از سطح ۲ فاکتور دما (طبق جدول ۲ برابر با ۲۵ درجه سانتی‌گراد) حاصل گردیده است. همچنین با توجه به این نمودار مشخص می‌شود که با افزایش دما از سطح ۱ (۲۰ درجه سانتی‌گراد) به سطح ۲ (۲۵ درجه سانتی‌گراد)، درصد کاهش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در آب‌پنیر تیمار شده، ۷۴ درصد افزایش یافته در حالی که با افزایش دمای منعقدسازی از سطح ۲ به سطح ۳ (۳۰ درجه سانتی‌گراد) درصد کاهش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در آب‌پنیر تیمار شده، ۱۹ درصد کاهش یافته است. با افزایش دمای لخته‌سازی از سطح ۳ به سطح ۴ (۳۵ درجه سانتی‌گراد) تغییر قابل ملاحظه‌ای در درصد کاهش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در آب-پنیر تیمار شده مشاهده نشده است. درجه حرارت آب‌پنیر، نقش مهم و کلیدی در بازدهی فرایند انعقاد و لخته‌سازی دارد. اصولا با افزایش دما، این بازدهی افزایش می‌یابد. با کاهش دما و نزدیک شدن به صفر، مشکلات جدی در امر انعقاد به وجود می‌آید و میزان لخته‌شدن بسیار کاهش می‌یابد. به همین دلیل، مقدار مصرف منعقدکننده‌ها در تصفیه‌خانه‌ها در زمستان بیشتر از تابستان است. طبق نتایج حاصله در این تحقیق، دمای بهینه به منظور دستیابی به بیشترین میزان لخته‌سازی، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. افزایش بیشتر دما ممکن است با کاهش نیروهای بین مولکولی همراه بوده و راندمان منعقد-شدن ذرات را کاهش دهد. البته در تجزیه و تحلیل-های انجام شده جهت تعیین شرایط بهینه نهایی، تاثیرات متقابل هر پنج فاکتور مورد بررسی در نظر گرفته شده است. در حالی که در این نمودارها تاثیر هر فاکتور به صورت جداگانه و بدون توجه به اثرات متقابل سایر فاکتورها بر روی آن بیان شده است.

نمودارهای ارائه شده در شکل ۱ نشان می‌دهد که در مورد فاکتور غلظت سولفات آلومینیوم، بیشترین درصد کاهش در میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در نمونهٔ آب‌پنیر تیمارشده، با استفاده از سطح ۲ این فاکتور (۱ گرم در لیتر) حاصل گردیده است. همچنین با مشاهده این نمودار مشخص می‌شود که تفاوت قابل توجهی در کارایی سطوح ۲، ۳ و ۴ این فاکتور در کاهش بار آلی آب‌پنیر وجود ندارد. افزودن یک ماده منعقدکننده مانند سولفات آلومینیوم به آب‌پنیر موجب خنثی شدن بار ذرات کلوئیدی شده و این ذرات با نزدیک شدن به هم، ذرات درشت دانه و وزین‌تری را ایجاد می‌کنند. املاح سولفات آلومینیوم که به عنوان منعقدکننده وارد آب‌پنیر می‌شود، در اثر هیدرولیز به صورت یونی یا هیدروکسید یا هیدروکسیدهای باردار، در می‌آید. به وجود آمدن این مولکول باردار بزرگ با خنثی نمودن ذرات کلوئیدی و کاهش پتانسیل زتا (اختلاف پتانسیل بین فاز پخش شده و محیط اطراف آن) که عامل اصلی دافعه بین ذرات کلوئیدی می‌باشد، امکان لازم برای عمل نمودن نیروی واندروالسی را فراهم می‌نماید که موجب چسبیدن ذرات به یکدیگر می شود. بنابراین، عامل اصلی حذف بار ذرات کلوئیدی، یون‌های فلزی نیستند، بلکه محصولات حاصل از هیدرولیز آنها می-باشد. عمل انعقاد در نهایت، توسط عمل لخته‌سازی تکمیل شده و ذرات بزرگ‌تر شروع به ته‌نشینی می-کنند. سولفات آلومینیوم (آلوم یا زاج سفید) در آب پنیر، تبدیل به هیدروکسید آلومینیوم (مرکزی برای تجمع مواد کلوئیدی بدون بار) شده و سپس لخته‌های درشت‌تر را تولید می‌کند. تغییرات پ‌هاش به عنوان یکی از عوامل اصلی منعقد شدن ترکیبات آلی موجود در آب‌پنیر مطرح شده است. در مورد فاکتور غلظت آلژینات سدیم بهترین نتیجه در سطح ۲ و ضعیف‌ترین کارایی در سطح ۳ مشاهده شده است. آلژینات سدیم در واقع همان نمک آلژینیک اسید و یکی از ترکیبات گروه پلی‌ساکاریدها است. نقش اصلی پکتین در منعقدسازی پروتئین‌های آب‌پنیر می‌باشد. آب پنیر به طور معمول دارای ۶ تا ۶/۵ درصد مواد جامد شامل پروتئین، لاکتوز، چربی، مواد معدنی و ویتامین‌ها است. فقط در حدود ۲۵ درصد از نیتروژن موجود در آب‌پنیر، نیتروژن غیرپروتئینی است و ۷۵ درصد مابقی آن در ساختمان پروتئین‌های آب‌پنیر حضور دارند. یون‌های کلسیم، پتاسیم و سدیم نیز در آب‌پنیر به مقدار قابل توجهی وجود دارند (۶۰ درصد از خاکستر کل). کلرید آهن هم بهترین کارایی را در کاهش بار

Archive of SID

www.SID.ir

آلی آب‌پنیر در سطح ۳ خود (غلظت ۱/۵ گرم در لیتر) نشان داده است. مکانیسم عمل کلرید آهن در فرایند منعقدسازی نیز دقیقا مشابه با سولفات آلومینیوم است. کلرید آهن پس از افزوده شدن به آب‌پنیر، در اثر واکنش با بی‌کربنات کلسیم یا هیدروکسید کلسیم، ایجاد هیدروکسید آهن سه ظرفیتی می‌کند که مرکزی برای تجمع مواد کلوئیدی به شمار می‌رود. پکتین نیز در غلظت ۱ گرم در لیتر بهترین تاثیر کواگوله‌کنندگی را در لخته‌سازی ترکیبات آلی موجود در آب‌پنیر داشته است.

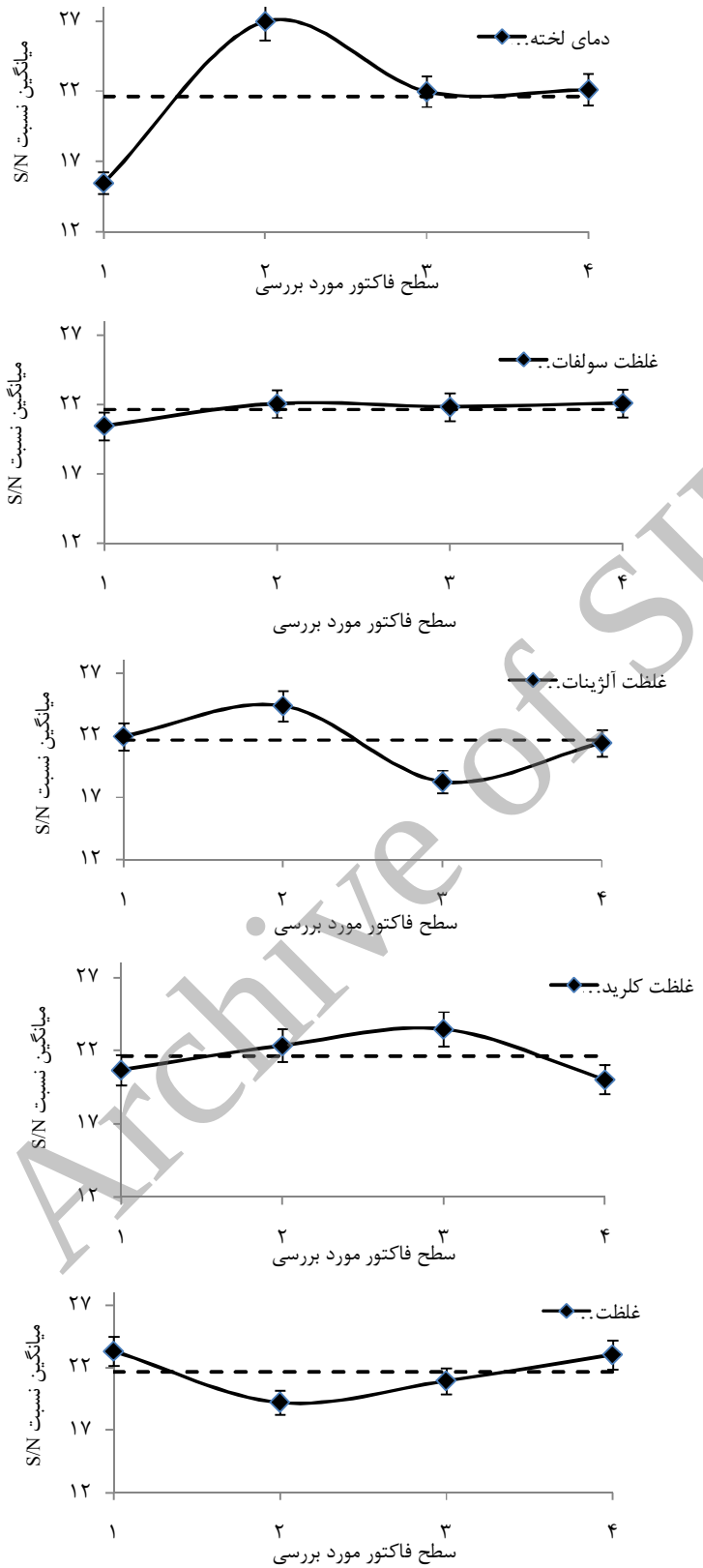
شرایط بهینه برای دستیابی به بالاترین راندمان کاهش بار آلی و در نتیجه، کاهش میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی آب‌پنیر در جدول ۵ ارائه شده است. تحت این شرایط درصد کاهش مورد انتظار در میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی برابر با ۳۳/۷۲۲ درصد محاسبه شده است. همچنین اطلاعات جدول ۵ نشان می‌دهد که موثرترین فاکتور در کاهش بار آلی آب‌پنیر، تغییرات دمای لخته‌سازی بوده است. سهم تغییرات فاکتور دما در تأثیرگذاری بر کاهش بار آلی آب‌پنیر در بین پنج فاکتور مورد بررسی در این تحقیق تقریبا ۶۳ درصد بوده است. تغییر در غلظت سولفات آلومینیوم کمترین تأثیرگذاری (۱/۷ درصد) را در کاهش بار آلی آب پنیر نشان داده است. همچنین تاثیر تغییرات غلظت کلرید آهن نیز در کاهش بار آلی آب پنیر بسیار کم و در حد ۷ درصد بوده است. اما تغییرات غلظت آلژینات سدیم و پکتین به ترتیب ۱۸ و ۱۰ درصد در کاهش میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در آب‌پنیر موثر بوده‌اند. از آنجا که آلژینات سدیم و پکتین هر دو دارای منشأ طبیعی می‌باشند از رسوب حاصل از فرایند نیز می‌توان به عنوان خوراک دام و طیور استفاده نمود.

جدول ۵- سطوح بهینه و درصد اثرگذاری هریک از فاکتورهای مورد بررسی در کاهش بار آلی آب‌پنیر در فرایند تصفیه با استفاده از منعقدکننده‌ها

فاکتور مورد بررسی	سطح بهینه	مقدار سطح بهینه	درصد اثرگذاری در کاهش بار آلی آب‌پنیر
دما (درجه سانتی‌گراد)	۲	۲۵	۶۲/۹۶۳
غلظت سولفات آلومینیوم (گرم در لیتر)	۴	۲	۱/۷۴۳
غلظت آلژینات سدیم (گرم در لیتر)	۲	۰/۰۲	۱۷/۸۵۲
غلظت کلریدآهن (گرم در لیتر)	۳	۱/۵	۶/۹۳۵
غلظت پکتین (گرم در لیتر)	۱	۱	۱۰/۵۰۵

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- نمودارهای میانگین نسبت S/N سطوح مختلف هریک از فاکتورهای موثر بر کاهش میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

این تحقیق اولین گزارش از کاربرد روش آماری کسری از فاکتوریل کامل و نرم افزار Qualitek-4 برای طراحی آزمایش‌ها و تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی به منظور تعیین شرایط بهینه از لحاظ فاکتورهای دمای لخته‌سازی و غلظت سولفات آلومینیوم، آلژینات سدیم، کلرید آهن و پکتین جهت دستیابی به بیشترین درصد کاهش در بار آلی آب‌پنیر و در نتیجه، کاهش میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی آن می‌باشد. تحت شرایط بهینه با استفاده از ترکیبی از منعقدکننده‌های طبیعی مانند پکتین و منعقدکننده‌های سنتزی مانند سولفات آلومینیوم، آلژینات سدیم و کلرید آهن و همچنین با کنترل دمای منعقدسازی می‌توان تا ۳۳ درصد شاخص میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی را کاهش داد. تغییرات دمای لخته‌سازی در کاهش شاخص مذکور بیشترین نقش را داشته و به عنوان مهم‌ترین فاکتور در بازدهی فرایند لخته‌سازی شناخته شد. اثر تغییرات غلظت آلژینات سدیم و پکتین نیز قابل توجه بوده است. مزیت اصلی این دو ماده نسبت به سایر منعقدکننده‌های مورد بررسی، در قابلیت مصرف خوراکی رسوب‌های حاصل از فرایند منعقدسازی به عنوان خوراک دام و طیور می‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله مراتب سپاس و تشکر خود را از معاونت‌های محترم پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر و دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود به جهت فراهم نمودن امکانات علمی و آزمایشگاهی در راستای اجرای این پروژه اعلام می‌نمایند.

منابع

1- Attouti, S., Bestani, B., Benderdouche, N., & Laurent, D. 2013. Application of *Ulva lactuca* and *Systoceira stricta* algae-based activated carbons to hazardous cationic dyes removal from industrial effluents. Water Research, 47 (10): 3375-3388.

2- Balannec, B., Vourch, M., Rabiller-Baudry, M., & Chaufer, B. 2005. Comparative study of different nanofiltration and reverse osmosis membranes for dairy effluent treatment by dead-end filtration. Separation and Purification Technology, 42: 195–200.

3- Carvalho, F., R. Prazeres, A., & Rivas, J. 2013. Cheese whey wastewater: characterization and treatment. Science Total Environment, 445: 385-396.

4- Jelen, P. 2011. Whey processing, Uutilization and products. Encyclopedia of Dairy Sciences, 2: 731-737.

5- Lee, C.S., Robinson, J., & Chong, M.F. 2014. A review on application of flocculants in wastewater treatment. Process Safety and Environmental Protection, 92 (6): 489-508.

6- Mukhopadhyay, R., Talukdar, D., Chatterjee, B.P., & Guha, A.K. 2003. Whey processing with chitosan and isolation of lactose. Process Biochemistry, 39 (3): 381-385.

7- Ntuli, F., Kuipa, K.P., & Muzenda, E. 2011. Designing of sampling programs for industrial effluent monitoring. Environmental Science and Pollution Research, 18: 479–484.

8- Qasim, W., & Mane, A.V. 2013. Characterization and treatment of selected food industrial effluents by coagulation and adsorption techniques. Water Resources and Industry, 4: 1-12.

9- R. Prazeres, A., Carvalho, F., & Rivas, J. 2012. Cheese whey management: a review. Journal of Environment Management, 110: 48-68.

10-Teh, C.Y., Wu, T.Y., & Juan, J.C. 2014. Optimization of agro-industrial wastewater treatment using unmodified rice starch as a natural coagulant. Industrial Crops and Products, 56: 17-26.

Archive of SID

www.SID.ir

11-Yee Shark, K.P., & Wu, T.Y. 2014. Coagulation–flocculation treatment of high-strength agro-industrial wastewater using natural *Cassia obtusifolia* seed gum: Treatment efficiencies and flocs characterization. Chemical Engineering Journal, 256: 293-305.

12-Zhou, Z., Lin, S., Yue, T., & Lee, T.C. 2014. Adsorption of food dyes from aqueous solution by glutaraldehyde cross-linked magnetic chitosan nanoparticles. Journal of Food Engineering, 126: 133-141.

13-Zodi, S., Louvet, J., Michon, C., Potier, O., Pons, M., Lapicque, F., & Leclerc, J. 2011. Electro-coagulation as a tertiary treatment for paper mill wastewater: Removal of non-biodegradable organic pollution and arsenic. Separation and Purification Technology, 81 (1): 62-68.

Archive of SID

www.SID.ir

Optimization of temperature and coagulators concentration to reduce biological oxygen demands in whey using fraction of full factorial statistical method

Fatemeh Ardestani [1], Elham Sadat Hosseini [2]

1- Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Islamic Azad University, Qaemshahr Branch, Qaemshahr, Iran

*Corresponding author (f.ardestani@qaemshahriau.ac.ir)

2- Graduated Student, Department of Chemical Engineering, Islamic Azad University, Shahrood Branch, Shahrood, Iran

Abstract

Whey is one of the major dairy wastes which is rich in organic compounds. These compounds reduce oxygen dissolved in water, inactivating the active water ecosystem and cause the loss of aquatics. An optimized composite formula of coagulator concentrations including Pectin, Sodium alginate, Aluminum sulfate and Iron chloride and coagulation temperature was determined to reduce biological oxygen demands in whey. Experiments designing was done using fraction of full factorial statistical method and Qualitek-4 software and Taguchi approach was applied for results analysis. Optimal conditions was obtained in Aluminum sulfate, Sodium alginate, Iron chloride and Pectin concentrations equal to 2, 0.02, 1.5 and 1 g L^{-1}, respectively and temperature as 25 degree centigrade. The expected reduced percentage in biological oxygen demands in optimal conditions was estimated as 33.722%. Coagulating temperature was recognized as the most effective factor to reduce organic load of whey with a contribution share equal to 63%. Aluminum sulfate concentration changes showed less effectiveness (1.7%) and Iron chloride concentration changes had a negligible impact as 7%. The changes of Sodium alginate and Pectin concentrations were effective as 18 and 10%, respectively in reducing the biological oxygen that is needed.

Keywords: Biological oxygen demands, Coagulator, Taguchi approach, Waste organic load, Whey

Archive of SID

www.SID.ir