

Optimization of Chemical Pre-Treatment Using Lime and Aluminum Sulfate Coagulants to Enhance Starch Factory Wastewater Treatment Plant

Ehsan Houshyar

* Ehsan Houshyar, Department of Biosystems Engineering, Faculty of agriculture, Jahrom University, Jahrom, Iran. (Corresponding Author) Houshyar.e@gmail.com

Abstract

Background and Purpose: Due to the high pollutant load and high volume of wastewater from starch production factories, the objective of the present study was to evaluate the efficiency of hydrated lime and aluminum sulfate to decrease contaminants of starch wastewater to successful wastewater treatment in the main wastewater treatments plants.

Materials and Methods: The investigation was conducted during 2022 and 2023 over 16 months to improve the operational effectiveness of the wastewater treatment plant at a starch manufacturing factory in Fars province. The optimum dosage of two coagulants, i.e. lime and aluminum sulfate, were tested. Various pollutants were under study, such as chemical oxygen demand and biological oxygen demand, etc. The statistical analysis was conducted in SPSS 22 using Duncan analysis ($\alpha = 0.01$).

Results: The effectiveness of removing pollutants was improved while lime and aluminum sulfate rose from 20 mg/L to 40-60 mg/L. The removal efficiency of pollutants was almost constant and enhanced lower than 10% while coagulants were applied higher than 60 mg/L. The optimum lime and aluminum sulfate dosage was 40 mg/L and 20 mg/L, respectively. Following the application of coagulants, there was a notable reduction in the levels of pollutants and organic loading rate by 65% which led to an enhancement in the performance of the wastewater treatment plant.

Conclusion: The coagulation and sedimentation with lime and aluminum sulfate can be utilized for successful starch wastewater treatment. These materials are cost-effective and easily accessible which justifies them as a desirable option for factories seeking wastewater treatment solutions.

Keywords: Environment, Pollution, Starch Factory Wastewater, Industrial Wastewater, Coagulation and Flocculation, Chemical Oxygen Demand

Open Access Policy: This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Received: 2023/05/25

Accepted: 2023/10/22

Doi:10.22038/jreh.2024.24889

► **Citation:** Houshyar E. Optimization of Chemical Pre-Treatment Using Lime and Aluminum Sulfate Coagulants to Enhance Starch Factory Wastewater Treatment Plant. *Journal of Research in Environmental Health*. 10(2):24-35.

بهینه‌سازی سیستم پیش تصفیه‌شیمیایی با منعقدکننده‌های آهک و سولفات آلومینیوم جهت افزایش کارایی تصفیه‌خانه کارخانه نشاسته‌سازی

احسان هوشیار

* دانشیار گروه مهندسی مکانیک
بیوسیستم، دانشکده کشاورزی،
دانشگاه جهرم، جهرم، ایران.
(نویسنده مسئول)
Houshyar.e@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به بالا بودن بار آلاینده‌گی پساب تولیدشده در کارخانه‌ی نشاسته‌سازی و حجم زیاد آن، هدف پژوهش حاضر بررسی کارایی دو منعقدکننده‌ی آهک و سولفات آلومینیوم در کاهش بار آلاینده‌گی پساب نشاسته‌سازی و کمک به تصفیه‌خانه در تصفیه‌ی موفق این پساب می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش جهت افزایش کارایی تصفیه‌خانه‌ی کارخانه‌ی نشاسته‌سازی در فارس در سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در مدت ۱۶ ماه انجام شد. در این مطالعه غلظت بهینه برای دو ماده‌ی منعقدکننده شامل آهک و سولفات آلومینیوم به صورت جداگانه و ترکیبی مورد بررسی قرار گرفت. فاکتورهای آلاینده مانند اکسیژن‌خواهی شیمیایی، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی و غیره مورد بررسی قرار گرفت. برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS /۲۲ آزمون دانکن استفاده شد (۰/۰۱/α=).

یافته‌ها: با افزایش مصرف آهک و سولفات آلومینیوم از ۲۰ میلی گرم در لیتر به سمت ۴۰-۶۰ میلی گرم در لیتر بازده حذف آلاینده‌ها نیز افزایش می‌یابد. تقریباً بازده کاهش تمام آلاینده‌ها در دوزهای بیشتر از ۶۰ میلی گرم در لیتر ثابت بوده و در بسیاری از آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد بود. داده‌های بدست آمده نشان داد که این دو ماده اثر ترکیبی خوبی با دوز مصرف ۴۰ میلی گرم در لیتر آهک و ۲۰ میلی گرم در لیتر سولفات آلومینیوم داشتند. پس از به کارگیری مواد منعقدکننده سطح آلودگی و بارگذاری مواد آلی تا ۶۵٪ کاهش یافت و به همین نسبت کارایی تصفیه‌خانه نیز بالاتر رفت.

نتیجه‌گیری: می‌توان از فرآیند انعقاد و ته‌نشینی به کمک آهک و سولفات آلومینیوم به منظور تصفیه‌ی پساب کارخانه نشاسته‌سازی به خوبی استفاده کرد. این مواد ارزان و در دسترس بوده و کارخانه‌ها راغب به استفاده از آن‌ها می‌باشند.

کلیدواژه‌ها: محیط زیست، آلودگی، پساب کارخانه‌ی نشاسته، فاضلاب صنعتی، انعقاد و لخته‌سازی، اکسیژن‌خواهی شیمیایی

◀ **استناد:** هوشیار ا. بهینه‌سازی سیستم پیش تصفیه‌شیمیایی با منعقدکننده‌های آهک و سولفات آلومینیوم جهت افزایش کارایی تصفیه‌خانه کارخانه نشاسته‌سازی. *فصلنامه‌ی پژوهش در بهداشت محیط*. تابستان ۱۴۰۳؛ ۱۰(۲): ۲۴-۳۵.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰
نوع مقاله: پژوهشی

مقدمه

با افزایش روزافزون جمعیت و افزایش مصرف آب در زندگی روزمره، در بخش کشاورزی و در صنایع مختلف زیادتیر شده و به تناسب آن تولید انواع پساب‌ها نیز افزایش یافته است. با افزایش چشمگیر حجم پساب‌ها روش‌های پیش‌تصفیه و تصفیه‌ی پساب‌ها نیز بسیار متنوع شده است. انواع روش‌های بیولوژیکی (هوازی، بی‌هوازی و مختلط) در کنار انواع روش‌های فیزیکی و شیمیایی جزو روش‌های تصفیه‌ی پساب‌ها محسوب می‌شوند (۱). پساب حاصل از فرآوری آرد و تولید نشاسته یکی از پساب‌های گروه صنایع غذایی محسوب شده و مقدار اکسیژن‌خواهی شیمیایی آن (COD)^۱ به ۳۰۰۰۰ میلی گرم در لیتر هم می‌رسد (۲). این پساب دارای خاصیت اسیدی بوده و حاوی کربوهیدرات می‌باشد (۳). حجم پساب تولیدی زیاد بوده و به حدود ۲۰ تا ۶۰ مترمکعب به‌ازای هر تن محصول می‌رسد (۴). انعقاد و لخته‌سازی یکی از روش‌های پیش‌تصفیه است که با استفاده از آن ذرات ریز غیر قابل ته‌نشینی به هم چسبیده و با تشکیل لخته‌های بزرگتر قابلیت ته‌نشینی و جمع‌آوری می‌یابند (۵-۶). در فرآیند انعقاد از مواد منعقدکننده‌ی مختلفی می‌توان استفاده کرد و یافتن بهترین مواد و مقدار مصرف آن برای هر نوع پساب متفاوت بوده و نیازمند آزمایشات عملی می‌باشد (۷). در تحقیقی از مواد مختلف منعقدکننده و از جمله بنتونیت و زئولیت در پساب نشاسته استفاده شد و حدود ۶۰٪ از COD با دوز مصرفی ۲۰ گرم در لیتر از مواد منعقدکننده حذف گردید (۸). جهت حذف کدورت از آب شرب سد در پژوهشی با ۰/۲ میلی گرم در لیتر سولفات آلومینیوم ۹۷٪ از کدورت حذف گردید (۹). در پژوهش دیگری اثبات شد که می‌توان با سولفات آلومینیوم مقدار مس محلول در پساب را تا ۷۵٪ کاهش داد (۱۰). در پژوهشی در تصفیه‌خانه‌ی آب اهواز مشخص شد که پلی‌آلومینیوم کلراید می‌تواند بالای ۸۰٪ از کلیفرم کل و مدفوعی را حذف کند (۱۱). در مطالعه‌ی دیگری گزارش شده که در دوز بهینه با ۲۵ میلی گرم در لیتر پلی‌آلومینیوم کلراید به همراه ۵ میلی لیتر لجن برگشتی

می‌توان بالای ۹۰٪ از کدورت پساب پتروشیمی بندر امام خمینی را حذف نمود (۱۲). گزارش شده که تا ۸۰٪ از پساب‌ها به‌خوبی تصفیه نشده و در محیط‌زیست رها می‌شوند (۱۳). یکی از بزرگ‌ترین مشکلات موجود در کارخانه‌های تولیدی، فضای کم جهت احداث یا توسعه‌ی تصفیه‌خانه‌ها می‌باشد و بنابراین بایستی به‌دنبال راهکارهای فیزیکی یا شیمیایی مختلفی باشیم تا علاوه بر کارایی مطلوب، دارای هزینه پایینی باشد تا کارخانه‌ها در عمل راغب به استفاده از آن‌ها باشند. با توجه به همین عامل دو ماده‌ی منعقدکننده‌ی نسبتاً ارزان شامل آهک هیدراته و سولفات آلومینیوم انتخاب شده و در این پژوهش کارایی آن‌ها در کاهش سطح آلودگی‌های پساب نشاسته‌سازی بررسی گردید. علاوه بر انجام آزمایشات در مقیاس آزمایشگاهی، بهترین نتیجه در شرایط واقعی تصفیه‌خانه نیز بکار گرفته شد تا کارایی مواد اثبات گردد.

روش کار

این پژوهش جهت افزایش کارایی تصفیه‌خانه‌ی کارخانه‌ی نشاسته‌سازی فارس گلوکزین در شهرستان مرودشت، استان فارس در سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در مدت ۱۶ ماه انجام شد. انجام آزمایشات اولیه در آزمایشگاه تا حصول بهترین نتیجه ۶ ماه و اعمال بهترین نتیجه در تصفیه‌خانه‌ی اصلی کارخانه در مدت ۱۰ ماه (اول اردیبهشت تا پایان بهمن‌ماه) صورت پذیرفت. در مطالعات آزمایشگاهی غلظت بهینه برای دو ماده‌ی منعقدکننده شامل آهک و سولفات آلومینیوم به‌صورت جداگانه و همچنین به‌صورت ترکیبی در محدوده ۲۰-۱۰۰ میلی گرم در لیتر مورد بررسی قرار گرفت و بهترین غلظت به‌دست آمده در شرایط واقعی تصفیه‌خانه بکار گرفته شد. در شرایط آزمایشگاهی از ظرف یک لیتری و دور همزن ۱۵۰ دور در دقیقه به مدت ۶ دقیقه هم‌زنی استفاده شد و با توجه به شرایط واقعی موجود در تصفیه‌خانه ۸ ساعت جهت ته‌نشینی در نظر گرفته شد.

^۱ Chemical Oxygen Demand



شکل ۱. نمای واقعی مکانیزم پاشش پودر منعقدکننده (سمت چپ) و چهار حوضچه‌ی ته‌نشینی اولیه (سمت راست) در تصفیه‌خانه‌ی کارخانه‌ی تولید نشاسته



شکل ۲. نمای واقعی چهار حوضچه‌ی هواده‌ی در تصفیه‌خانه‌ی کارخانه‌ی تولید نشاسته

یافته‌ها

اثر مواد منعقدکننده در کاهش آلاینده‌های پساب تولید نشاسته

در این تحقیق فرآیند انعقاد و ته‌نشین‌سازی آلودگی‌های پساب کارخانه نشاسته‌سازی قبل از ورود به برکه‌های هواده‌ی با استفاده از آهک و سولفات آلومینیوم به‌صورت جداگانه و ترکیبی بررسی گردید. نتایج حاصل از آزمایشات مقادیر مختلف مواد آزمایشی در محدوده ۲۰-۱۰۰ میلی گرم در لیتر در نمودارهای ۱ تا ۳ نشان داده شده است.

داده‌های بدست‌آمده نشان می‌دهد با افزایش مصرف آهک و سولفات آلومینیوم (نمودار ۱ و ۲) از ۲۰ میلی گرم در لیتر به سمت ۴۰-۶۰ میلی گرم در لیتر بازده حذف آلاینده‌ها نیز افزایش می‌یابد. نمودارها نشان می‌دهند که تقریباً بازده کاهش تمام آلاینده‌ها در دوزهای بیشتر از ۶۰ میلی گرم در لیتر ثابت بوده و در بسیاری از آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد بوده است. مثلاً با افزایش مصرف سولفات آلومینیوم از ۶۰ میلی گرم در لیتر به سمت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، بازده کاهش COD، BOD و غیره کمتر از ۵ درصد افزایش داشته است و در محدوده‌ی ثابتی بوده است. با

حجم پساب تولیدی کارخانه ۴۵۰ مترمکعب در ۲۴ ساعت می‌باشد (حدود ۱۹ مترمکعب در ساعت). پساب خام در ابتدا وارد یک مخزن استوانه‌ای استیل با حجم حدود ۲۰۰۰ لیتر و مجهز به همزن می‌شود و در کنار مخزن مکانیزمی جهت پاشش پودر منعقدکننده با دوز مورد نظر قرار گرفت (شکل ۱).

در ورودی تصفیه‌خانه چهار حوضچه‌ی استوانه‌ای با عمق ۵ متر و قطر ۳ متر آماده شد که پساب خروجی از مخزن همزن‌دار وارد آن‌ها می‌شود (شکل ۱). حجم هر حوضچه ته‌نشینی ۳۵ مترمکعب بوده و با توجه به حجم پساب تولیدی روزانه، زمان ماند پساب جهت ته‌نشینی در هر حوضچه ۲ ساعت و زمان ماند کلی ۸ ساعت بود. اثر مواد در کاهش فاکتورهای آلاینده پس از ۸ ساعت ته‌نشینی بررسی شد.

سپس اثر پساب خام بعد از اعمال مواد منعقدکننده در شرایط واقعی تصفیه‌خانه در مدت ۱۰ ماه بر کارایی چهار برکه هوازی موجود در تصفیه‌خانه با زمان ماند حدود ۳۰ ساعت و زمان هواده‌ی مفید حدود ۲۱ ساعت در هر کدام ارزیابی گردید. حوضچه‌های هواده‌ی به‌صورت مخروطی بوده و حجم هر کدام حدود ۵۶۵ مترمکعب بوده و در آن‌ها از هواده‌ی سطحی استفاده می‌شود (شکل ۲). اثر مواد منعقدکننده بر COD، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD^۱)، مواد معلق کل (TSS^۲)، نیتروژن کدجال کل (TKN^۳)، فسفر کل (TP^۴) و کدورت ارزیابی شد. مقدار تغییرات اسیدیته (pH^۵) اندازه‌گیری نشد و با توجه به نیاز کارخانه در کاهش آلاینده‌های مهم تصمیم بر آن بود که در ابتدا تمرکز بر کاهش این آلاینده‌ها باشد و پس از تصفیه در صورت نیاز با افزودن مقداری کربنات کلسیم یا هیدروکسید سدیم pH پساب خروجی مطابق استاندارد محیط‌زیست (محدوده ۶-۸) تنظیم شود. با توجه به تعداد نمونه‌ها و کمبود وقت در آزمایش مقدار آلاینده‌ها در پساب، از آزمایشگاه معتمد سازمان محیط‌زیست جهت اندازه‌گیری کمک گرفته شد و جهت تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS/۲۲ و آزمون دانکن استفاده شد ($\alpha = 0/01$).

^۴ Total Phosphorous

^۵ Potential of Hydrogen

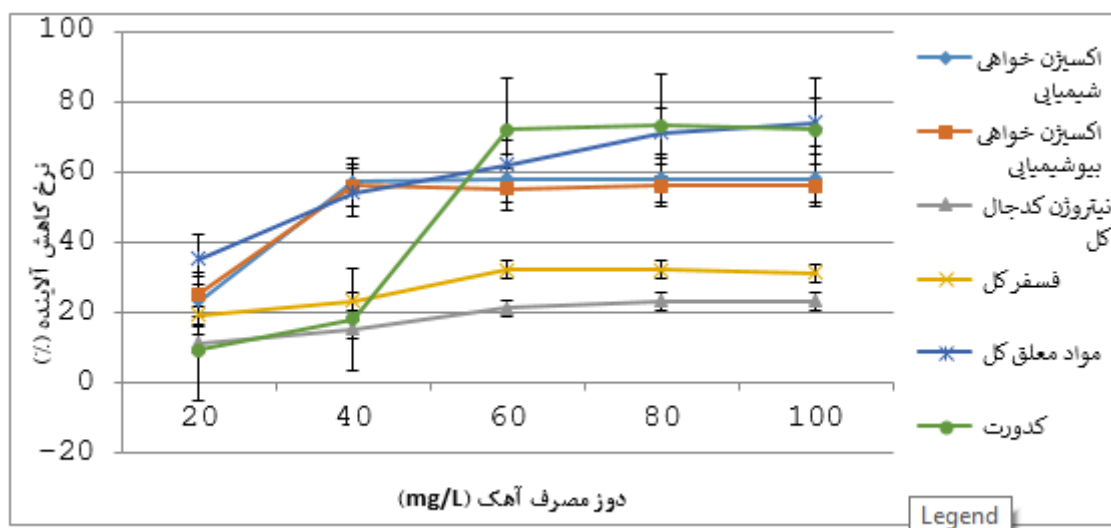
^۱ Biological Oxygen Demand

^۲ Total Suspended Solids

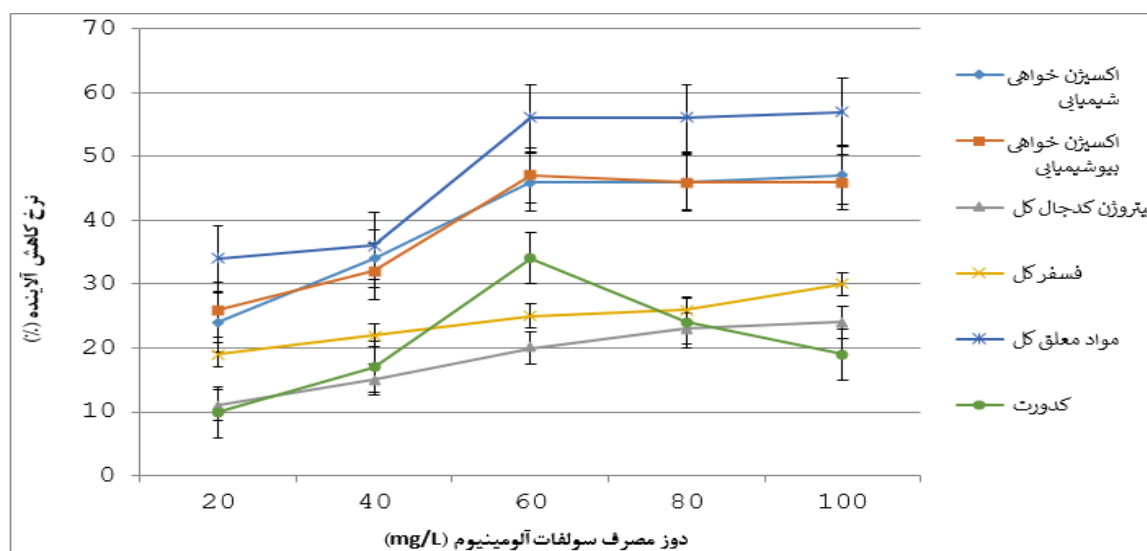
^۳ Total Kjeldahl Nitrogen

بوده و حداکثر کاهش به میزان ۲۰ درصد می‌باشد. بازده استفاده از آهک در رابطه با کاهش کدورت، COD و BOD و TSS بیشتر از سولفات آلومینیوم می‌باشد و در محدوده ۵۵ تا ۷۵ درصد کاهش آلاینده‌گی قرار دارد.

توجه به این که این پساب، دارای مواد جامد معلق بالایی می‌باشد، با کاربرد منعقدکننده آهک حدود ۷۵ درصد و سولفات آلومینیوم حدود ۶۷ درصد از آن ته‌نشین شده است. در مصرف مواد منعقدکننده، کاهش در TKN و TP کمتر از بقیه‌ی آلاینده‌ها



نمودار ۱: اثر مقادیر مختلف آهک بر بازده حذف آلاینده‌ها



نمودار ۲: اثر مقادیر مختلف سولفات آلومینیوم بر بازده حذف آلاینده‌ها

مشاهدات پژوهش حاضر نشان داد که در استفاده از آهک نسبت به سولفات آلومینیوم فلوک‌های بزرگتر و پایدارتری در ته‌نشینی تشکیل می‌شود که مشابه نتایجی در رابطه با تصفیه‌ی شیرابه‌ی زباله می‌باشد (۱۴). نتایج یک پژوهش نشان داد که کارایی سولفات آلومینیوم در حذف COD از شیرابه‌ی زباله بهتر از پلی آلومینیوم کلراید بوده است. به‌صورتی که با مصرف ۲/۵ گرم در لیتر پلی آلومینیوم کلراید مقدار COD تا ۶۲٪ و با مصرف ۱ گرم در لیتر سولفات آلومینیوم مقدار COD تا ۶۰٪ کاهش یافته است (۱۴). در استفاده از برخی مواد در پژوهش حاضر نکات قابل توجهی رخ داده است. به‌طور مثال در استفاده از سولفات آلومینیوم (نمودار ۲) افزایش دوز مصرف، اثر منفی بر کاهش برخی آلاینده‌ها مانند BOD، COD و کدورت داشته است. به نظر می‌رسد با کاهش اثر بر ته‌نشینی مقدار کدورت افزایش یافته و در پی آن نیز بازده کاهش بقیه آلاینده‌ها نیز کاهش یافته است. در مطالعه‌ی علیزاده و همکاران نیز نتایج مشابهی گزارش شده است (۱۵). به‌صورتی که با افزایش دوز سولفات آلومینیوم تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بازده حذف آلاینده‌ها افزایش یافته است و بیشتر از آن تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بازده حذف COD

و BOD ثابت بوده و بازده حذف نیترات نیز کاهش یافته است. در پژوهشی حدود ۷۹٪ از کدورت آب‌های سطحی با ۰/۱ گرم در لیتر سولفات آلومینیوم حذف گردید (۱۶). در مطالعه‌ای بر روی حذف کدورت آب اثبات شده که کارایی پلی آلومینیوم کلراید بیشتر از سولفات آلومینیوم می‌باشد و سرعت ته‌نشینی نیز بیشتر است (۱۷). نتایج آنالیز آماری و مقایسات دانکن نشان می‌دهد که بین برخی دوزهای مصرفی تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود دارد (جدول ۱). به‌طور مثال در رابطه با آهک بین مصرف ۲۰ میلی‌گرم در لیتر و بقیه گروه‌ها تفاوت معنی‌دار وجود دارد و از ۴۰ میلی‌گرم در لیتر به بالاتر در یک گروه قرار گرفته و تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است. در رابطه با سولفات آلومینیوم دوز ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر در دو گروه آماری و دوزهای بالاتر نیز در یک گروه قرار گرفته‌اند. با توجه به اهمیت کاهش در مقدار COD و BOD یکی از ملاک‌های انتخاب دوز مناسب مصرفی می‌تواند اثر دوز مصرفی در کاهش این دو گزینه آلاینده باشد. بنابراین اگر هدف استفاده از یکی از مواد منعقدکننده به‌تنهایی در کاهش مقدار COD و BOD باشد، دوز مناسب مصرف آهک و سولفات آلومینیوم به‌ترتیب ۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

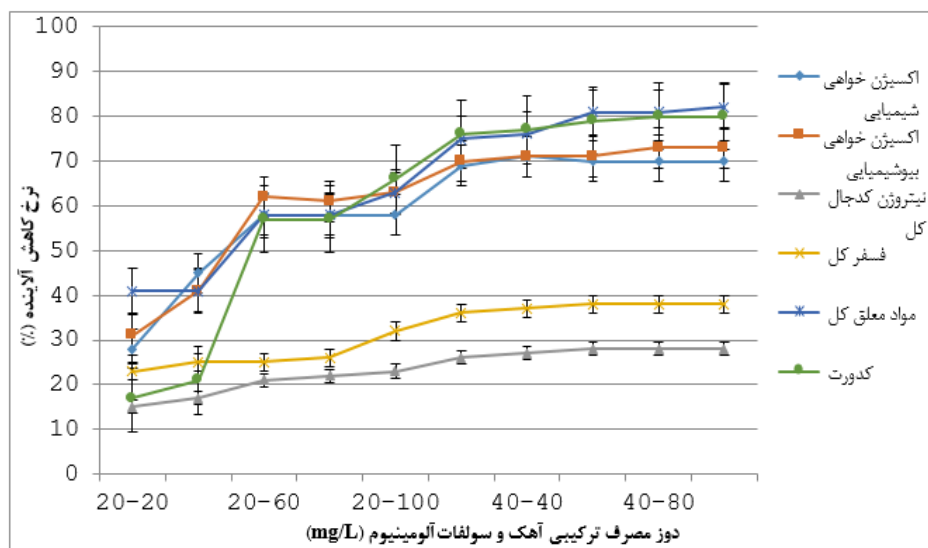
جدول ۱. نتایج مقایسه دانکن در تعیین تفاوت معنی‌دار بین دوزهای مختلف مصرف آهک و سولفات آلومینیوم در سطح ۰/۰۱

نوع منعقدکننده	دوز مصرف (میلی‌گرم بر لیتر)	۲۰	۴۰	۶۰	۸۰	۱۰۰
آهک	متغیر آلاینده	درصد حذف آلاینده	درصد حذف آلاینده	درصد حذف آلاینده	درصد حذف آلاینده	درصد حذف آلاینده
	COD	۲۳/۱۵ ^a	۵۸/۵۰ ^b	۵۸/۴۵ ^b	۵۸/۳۳ ^b	۵۸/۲۰ ^b
	BOD	۲۵/۳۶ ^a	۵۸/۲۵ ^b	۵۷/۴۲ ^b	۵۷/۲۵ ^b	۵۷/۴۵ ^b
	TKN	۱۱/۰۵ ^a	۱۵/۵۶ ^b	۲۱/۳۰ ^c	۲۳/۴۵ ^c	۲۳/۱۴ ^c
	TP	۱۹/۵۰ ^a	۲۳/۱۲ ^b	۳۲/۴۰ ^c	۳۲/۴۷ ^c	۳۱/۲۰ ^c
	TDS	۳۵/۷۵ ^a	۵۴/۵۰ ^b	۶۲/۱۰ ^c	۷۱/۲۵ ^d	۷۴/۱۵ ^d
سولفات آلومینیوم	Turbidity	۹/۳۲ ^a	۱۸/۵۰ ^b	۷۲/۴۵ ^c	۷۳/۲۵ ^c	۷۳/۵۰ ^c
	COD	۲۴/۵۵ ^a	۳۴/۲۵ ^b	۴۶/۳۰ ^c	۴۶/۲۳ ^c	۴۷/۵۰ ^c
	BOD	۲۶/۳۱ ^a	۳۲/۱۵ ^b	۴۷/۲۲ ^c	۴۶/۴۵ ^c	۴۶/۱۵ ^c
	TKN	۱۱/۶۵ ^a	۱۵/۳۲ ^b	۲۰/۸۶ ^c	۲۳/۱۴ ^c	۲۴/۳۵ ^d
	TP	۱۹/۵۵ ^a	۲۲/۱۲ ^b	۲۵/۶۹ ^c	۲۶/۱۷ ^c	۳۰/۷۵ ^c
	TDS	۳۴/۱۶ ^a	۳۶/۲۵ ^b	۵۶/۴۴ ^c	۵۶/۷۸ ^c	۵۷/۳۵ ^c
	Turbidity	۱۰/۴۸ ^a	۱۷/۶۷ ^b	۳۴/۲۵ ^c	۴۴/۱۸ ^c	۴۹/۲۲ ^c

نمودار ۲ نشان می‌دهد که با مصرف ۴۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیوم به‌تنهایی بازده حذف COD بیشتر از ۳۵٪ نشده است. پس از انجام تمامی حالت‌های آزمایش به این نتیجه رسیدیم که در افزایش دوز مواد و افزایش بازده نتیجه ملموس و معنی‌داری به‌دست نمی‌آید. به‌صورتی که با افزایش دوز از ۲۰ میلی‌گرم در لیتر و ۴۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بازده کاهش تمام موارد آلاینده شامل COD، BOD و غیره تنها به‌میزان حداکثر ۸٪ افزایش یافت. به این ترتیب بهترین مقدار ترکیبی آهک و سولفات آلومینیوم می‌تواند دوز ۴۰ میلی‌گرم در لیتر آهک و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیوم در نظر گرفته شود (نمودار ۳). با این ترکیب و در زمان ماند حدود ۸ ساعت در عمل نیز بهترین نتیجه حاصل شد. داده‌های خروجی از حوضچه ته‌نشینی مربوط به قسمت انعقاد تصفیه‌خانه (شکل ۱) نشان داد که کاهش COD و BOD و TSS و کدورت بترتیب به ۶۵٪، ۷۱٪، ۷۷٪ و ۷۷٪ رسیده است. بازده کاهش TKN و TP نیز به حدود ۲۸٪ و ۳۸٪ رسید.

اثر ترکیبی مواد منعقدکننده در کاهش آلاینده‌های پساب
بخشی از ترکیب دوتایی آهک (دوز ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر) و سولفات آلومینیوم (دوز ۲۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در نمودار ۳ نشان داده شده است. در دوزهای بالاتر افزایش چندانی (کمتر از ۱۰٪) در بازده حذف آلاینده‌ها مشاهده نشد و به‌همین سبب در نمودار نشان داده نشده است.

داده‌های بدست‌آمده در نمودار ۳ نشان می‌دهد که این دو ماده اثر ترکیبی خوبی داشته و بازده حذف برخی آلاینده‌ها نسبت به مصرف جداگانه مواد افزایش داشته است. مثلاً بازده حذف COD که حداکثر حدود ۵۸٪ بوده در زمان استفاده‌ی ترکیبی مواد به ۶۵٪ رسیده است. همچنین اثر ترکیبی سبب شده که با دوز مصرف پایین‌تر اثر سولفات آلومینیوم بیشتر شود. مثلاً با دوز مصرف ۴۰ میلی‌گرم در لیتر آهک و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیوم بازده حذف COD به حدود ۶۵٪ رسیده است. در صورتی که



نمودار ۳. اثر ترکیبی آهک و سولفات آلومینیوم بر بازده حذف آلاینده‌ها

اثر منعقدکننده بر کارایی تصفیه‌خانه

به‌کارگیری مود منعقدکننده و در حالت عادی کارکرد، کارایی کلی تصفیه‌خانه در حذف اکسیژن‌خواهی شیمیایی پس از ۸۴ ساعت

جدول ۲ کارایی تصفیه‌خانه قبل و بعد از استفاده از مواد منعقدکننده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است قبل از

هوادهی به ۷۶٪ رسیده است و سطح COD از حدود ۱۴۳۶۲ میلی گرم در لیتر به ۳۴۲۱ میلی گرم در لیتر رسیده است که با استاندارد مورد نیاز محیط زیست فاصله بسیاری دارد. با توجه به حجم پساب ورودی تغییری در میزان زمان های هوادهی نسبت به زمان قبل از بکارگیری مواد منعقدکننده داده نشد و سیستم هوادهی ۷۵٪ از زمان را روشن بوده و کار می کردند. در واقع میزان هوادهی ۴۲ و ۸۴ ساعت به صورت زمان ماند هیدرولیکی (HRT)^۱ خالص ذکر شده است. زمان ماند لجن (SRT)^۲ حدود ۱۵ روز در نظر گرفته شد و با توجه به حجم آلودگی و تغییر رنگ لجن

زمان ماند بالاتر امکان پذیر نبود. داده های حوضچه های هوازی تصفیه خانه نشان می دهد که درصد بالایی از آلودگی پس از ۴۲ ساعت هوادهی حذف شده است و با این حال به خاطر سطح بالای آلودگی ها به استاندارد محیط زیست نرسیده است و بنابراین ۸۴ ساعت هوادهی برای دستیابی به استانداردهای زیست محیطی مورد نیاز است. کمترین سطح حذف آلودگی ها مربوط به نیتروژن و فسفر می باشد. با توجه به این که پساب خروجی جهت کشاورزی به کار می رود این دو پارامتر محدودیت ندارد.

جدول ۲. پارامترهای آلاینده قبل و بعد از استفاده از مواد منعقد کننده

پارامتر آلاینده	پساب خام قبل از استفاده از مواد منعقدکننده	خروجی تصفیه خانه قبل از استفاده از مواد	پارامتر آلاینده بعد از استفاده از مواد	خروجی تصفیه خانه بعد از استفاده از مواد	خروجی تصفیه خانه بعد از استفاده از مواد	استاندارد مورد نیاز جهت کشاورزی
اکسیژن خواهی شیمیایی (میلی گرم بر لیتر)	۱۴۳۶۲/۴±۹۳/۴	۳۴۲۱/۳±۳۵/۵	۵۰۲۶/۵±۵۱/۴	۴۴۵/۵±۳۳/۶	۱۹۱/۶±۱۴/۵	۲۰۰
بازده حذف (%)	---	۷۶٪	۶۵٪	۹۷٪	۹۸/۶٪	---
اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (میلی گرم بر لیتر)	۸۶۵۴/۳±۵۶/۵	۲۹۱۲/۲±۲۴/۵	۲۵۱۰/۱±۱۲/۵	۲۳۱/۵±۱۲/۸	۹۳/۴±۵/۵	۱۰۰
بازده حذف (%)	---	۶۶٪	۷۱٪	۹۷/۳٪	۹۸/۹٪	---
مواد معلق کل (میلی گرم بر لیتر)	۱۹۳۵/۶±۳۴/۴	۲۳۴/۵±۱۲/۳	۴۴۵/۱۸±۲۴/۶	۲۲۱/۵±۱۹/۸	۶۷/۴±۵/۸	۱۰۰
بازده حذف (%)	---	۸۸٪	۷۷٪	۸۸/۶٪	۹۶/۵٪	---
نیتروژن کدجال کل (میلی گرم بر لیتر)	۶۳/۵±۲/۴	۲۶/۲±۷/۵	۴۵/۷±۲/۵	۳۹/۵±۲/۸	۳۱/۸±۲/۵	بدون محدودیت
بازده حذف (%)	---	۵۹٪	۲۸٪	۳۷/۸٪	۵۰٪	---
فسفر کل (میلی گرم بر لیتر)	۲۱/۴±۲/۱	۷/۵±۲/۳	۱۳/۳±۱/۲	۱۰/۵±۱/۷	۸/۵±۱/۲	بدون محدودیت
بازده حذف (%)	---	۶۵٪	۳۸٪	۵۰/۹٪	۶۰/۳٪	---
کدورت (NTU)	۴۴۶/۲±۱۴/۳	۷۱/۵±۱۲/۱	۱۰۲/۶±۱/۴	۷۶/۵±۱۴/۵	۴۳/۷±۵/۲	۵۰
بازده حذف (%)	---	۸۴٪	۷۷٪	۸۲/۹٪	۹۰/۲٪	---

² Sludge Retention Time

¹ Hydraulic Retention Time

برآورد هزینه‌های منعقدکننده و سود حاصل از مواد

ته‌نشین‌شده

ته‌نشین شده، تولید لجن و آلودگی زیست‌محیطی نخواهد داشت. محاسبات نشان می‌دهد با توجه به حجم فرار مواد در پساب کارخانه، فروش مواد ته‌نشین‌شده و گرفته شده از پساب، علاوه بر تصفیه پساب و حفظ محیط‌زیست می‌تواند سودآوری خوبی نیز برای کارخانه به‌همراه داشته باشد. البته هزینه نیروی انسانی، هزینه خشک‌کردن مواد در خشک‌کن‌ها و هزینه تعمیر و نگهداری و استهلاک دستگاه‌ها در نظر گرفته نشده است

در کارخانجات تولیدی اقتصادی بودن تصفیه‌ی پساب در انتخاب روش پیشنهادهی بسیار تعیین‌کننده می‌باشد. جدول ۳ مقدار هزینه و سود حاصل از فروش مواد ته‌نشین‌شده به‌ازای هر متر مکعب پساب کارخانه نشاسته‌سازی را نشان می‌دهد. در حال حاضر مواد ته‌نشین‌شده حاوی مقدار زیادی نشاسته و گلوتن می‌باشد که با سبوس جداشده از آرد در خط تولید، مخلوط شده و جهت خوراک دام به دامداران منطقه فروخته می‌شود و بنابراین در عمل مواد

جدول ۳. برآورد هزینه و سود حاصل از مصرف مواد منعقدکننده در تصفیه پساب نشاسته

ماده منعقدکننده	دوز مصرفی (گرم بر مترمکعب)	قیمت واحد مواد منعقدکننده (ریال بر کیلوگرم)	هزینه تصفیه هر مترمکعب پساب (ریال)	جمع هزینه مواد منعقدکننده در هر مترمکعب پساب (ریال)	مقدار مواد ته‌نشین شده در هر مترمکعب پساب (کیلوگرم)	سود فروش مواد ته‌نشین‌شده در هر مترمکعب (ریال)	سود خالص (ریال)
آهک هیدراته	۴۰	۵۰۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰۰	۰/۵	۲۵۰۰۰	۲۰۰۰۰
سولفات آلومینیوم	۲۰	۱۵۰۰۰۰	۳۰۰۰				

بحث

با توجه به این‌که پس از بکارگیری مواد منعقدکننده سطح آلودگی کاهش یافته، کارایی تصفیه‌خانه نیز بالاتر رفته است. مثلاً در رابطه با کاهش COD پس از ۴۲ و ۸۴ ساعت هوادهی به‌ترتیب مقدار ۹۷٪ و ۹۸/۶٪ از آن کاهش یافته و خروجی تصفیه‌خانه به استاندارد زیست‌محیطی رسیده است. با توجه به اثر مواد منعقدکننده در کاهش آلودگی‌ها و از جمله سطح COD افزایش کارایی تصفیه‌خانه قابل پیش‌بینی بود. با توجه به حجم هر حوضچه هوادهی که ۵۶۵ مترمکعب می‌باشد، حجم کلی هوادهی به ۲۲۶۰ مترمکعب می‌رسد. با سطح COD برابر با ۱۴۳۶۲ میلی‌گرم در لیتر و حجم پساب روزانه که ۴۵۰ مترمکعب، میزان بارگذاری مواد آلی در سیستم هوادهی قبل از بکارگیری مواد منعقدکننده حدود ۳ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. با استفاده از مواد منعقدکننده و کاهش سطح COD تا حدود ۵۰۲۶ میلی‌گرم بر لیتر میزان بارگذاری مواد آلی در سیستم هوادهی به ۱/۱ کیلوگرم بر مترمکعب رسیده و به‌صورت چشمگیری در افزایش کارایی

همان‌طور که در بخش قبل بحث شد ترکیب مواد منعقدکننده سبب کاهش آلاینده‌های مختلف گردید و از جمله میزان COD را تا ۷۵٪ کاهش داد. اگر هدف استفاده از یکی از مواد منعقدکننده به‌تنهایی در کاهش مقدار COD و BOD باشد، دوز مناسب مصرف آهک و سولفات آلومینیوم به‌ترتیب ۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. بهترین راه عملیاتی ترکیب استفاده از آهک و سولفات آلومینیوم با دوز ۴۰ میلی‌گرم در لیتر آهک و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیوم می‌باشد. بسیاری تحقیقات گذشته اثرات ترکیبی موفق‌تری را گزارش کرده‌اند. به‌عنوان مثال در پژوهشی ترکیب نشاسته کازاوا با سولفات آلومینیوم عملکرد و دوز مصرف سولفات آلومینیوم را تا ۵۰ درصد بهبود داد که بسیار چشمگیر است (۱۸). در تحقیق دیگری گزارش شده که با ترکیب ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر آهک و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیدروکسید سدیم و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیوم و حذف موفق هیدروکسیدمنیزیم تا ۶۰٪ از رنگ و کربن آلی کل از پساب حذف شده است (۱۹).

همواره در محدوده‌ی استاندارد محیط‌زیست قرار داشته باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده ترکیب استفاده از آهک هیدراته و سولفات آلومینیوم در ته‌نشینی آلاینده‌های پساب کارخانه نشاسته‌سازی موثرتر از استفاده‌ی جداگانه از مواد می‌باشد. بهترین ترکیب استفاده از هر دو مواد ۴۰ میلی‌گرم در لیتر آهک و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیوم بدست آمد. این دو ماده از ارزان‌ترین مواد منعقدکننده در بازار می‌باشد و با توجه به اقبال کارخانه‌ها انتخاب گردیدند. با این حال پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده مواد دیگری از جمله نانوذرات مختلف (۲۳) نیز بررسی شوند و در صورت نیاز در کارخانه‌ها با پساب‌های آلوده‌تر بکار گرفته شوند. اگرچه فرهنگ تصفیه‌ی پساب هنوز در سطح صنایع کشور جای خود را به‌خوبی باز نکرده و صنایع به دید اجبار به این موضوع می‌پردازند. در صورت یافتن بهترین و اقتصادی‌ترین روش‌های تصفیه و رساندن پساب‌ها به استاندارد مورد نیاز جهت کاربری کشاورزی می‌توان قسمتی از هزینه‌های تصفیه‌خانه را جبران نموده و به‌علاوه مصرف آب چاه‌ها جهت کشاورزی را کاهش داد.

تشکر و قدردانی: از ریاست کارخانه‌ی نشاسته‌سازی فارس گلوکزین در فارس و مدیریت تولید کارخانه که در انجام این مطالعه همراهی و کمک بی‌دریغ نمودند تشکر و قدردانی می‌شود.

تعارض منافع: پژوهش حاضر دارای تعارض منافع نمی‌باشد.

حمایت مالی: از حمایت مالی کارخانه‌ی نشاسته‌سازی فارس گلوکزین در فارس در انجام و اتمام این پژوهش کمال قدردانی را داریم.

ملاحظات اخلاقی: تاکید می‌شود تمامی نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی و عدم داده‌سازی یا تحریف داده‌ها در این مقاله رعایت شده است. همچنین هرگونه تضاد منافع مؤثر بر مقاله رد می‌شود.

تصفیه‌خانه موثر بوده است. در پژوهشی، حذف ۹۴٪ از COD در پساب نشاسته‌سازی در مقادیر ۲۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و زمان ماند هیدرولیکی ۲۴ ساعت به‌دست آمد (۲۰) که نشان می‌دهد نتایج پژوهش حاضر در عمل بسیار خوب بوده است. برخی تحقیقات در تصفیه‌ی پساب کاغذسازی به‌مقدار ۱ گرم بر لیتر سولفات آلومینیوم و پلی‌آلومینیوم کلراید رسیده‌اند که نسبت به پژوهش حاضر مقدار زیادی است (۲۱). اگرچه خصوصیات پساب کاغذسازی با نشاسته‌سازی متفاوت می‌باشد، اما دوز بالا از مواد گرانتی مانند پلی‌آلومینیوم کلراید را به‌صورت عملی به‌سختی می‌توان عملیاتی نمود.

یکی از پارامترهای مهم مورد اندازه‌گیری در تصفیه‌خانه‌ها که باید به استاندارد برسد مقدار اسیدیته می‌باشد. با توجه به تاکید کارخانه‌ی نشاسته‌سازی، تمرکز بر تصفیه پساب و کاهش آلاینده‌های ذکر شده بود و تصمیم بر آن بود که در صورت نیاز مقدار pH با افزودن مواد اضافی در مراحل نهایی تنظیم شود. مقدار pH پساب خام کارخانه نشاسته‌سازی قبل از تصفیه، اسیدی بوده و در محدوده ۳/۵-۴/۵ می‌باشد. افزودن ترکیب آهک و آلومینیوم با مقداری که نتیجه گرفته شد (۴۰ میلی‌گرم در لیتر آهک و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیوم) سبب افزایش کمی تا حداکثر ۰/۵۷ در pH گردید که اثر مثبتی در حذف آلاینده‌ها دارد، زیرا حذف آلاینده‌ها در محدوده pH قلیایی احتمالاً به‌علت واکنش با یون‌های هیدروکسید که تشکیل فلوک‌های هیدروکسید را می‌دهند، بهبود می‌یابد (۲۲). مقدار pH پس از هواده‌ی و تصفیه‌ی نهایی به محدوده ۶/۲-۶/۵ رسید که مطابق استاندارد محیط‌زیست بوده و نیاز به تنظیم pH مرتفع گردید (محدوده‌ی ۶-۸). یکی از نکات موردتوجه در زمان ۱۰ ماهه‌ی داده‌برداری در شرایط واقعی این بود که پارامترهای ورودی به تصفیه‌خانه و نسبت BOD/COD نوسان کمتر از ۵٪ داشت. به‌همین علت تنش کمتری به تصفیه‌خانه وارد شده و داده‌های خروجی تصفیه‌خانه نوسانی در همین حدود داشت که سبب می‌شد داده‌های خروجی

References

1. Saffari M. Optimization of nickel removal from aqueous solutions by physical-modified biochar. Iran J Health Environ 2023; 16(3): 445-58. (Persian)
2. Tong Y. The development process and prospect of China's corn starch and starch sugar industry technology. Food Ferment Ind 2019; 45: 294-98.
3. Li H, Zeng X, Shi W, Zhang H, Huang S, Zhou R, Qin X. Recovery and purification of potato proteins from potato starch wastewater by hollow fiber separation membrane integrated process, Innov. Food Sci Emerg Technol 2020; 63: 102380. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102380>
4. Assadi A, Movahedyan H, Parvaresh A. Feasibility of an Anaerobic Baffled Reactor (ABR) In Treating Starch Industry Wastewater. J Water Wastewater 2007; 61: 77-85. (Persian)
5. Bouchareb R, Bilici Z, Dizge N. Potato processing wastewater treatment using a combined process of chemical coagulation and membrane filtration, CLEAN- Soil, Air, Water 2021; 49: 2100017. <https://doi.org/10.1002/clen.202100017>
6. Ebadi M, Asareh A, Jalilzadeh Yengejeh R. Investigation of electro coagulation process for Phosphate, Sulfate, Nitrate removal from Sugar Cane. Environ Res 2021; 12(23): 207-17. (Persian)
7. Houshyar E, Bacenetti J. Development of a full-scale wastewater treatment plant for licorice root processing factories: A hybrid biodegradation-lime-alum-ozonation process. Sci Total Environ 2023; 893: 164688. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164688> PMID:37315598
8. Zhang Y, Li M, Zhang G, Liu W, Xu J, Tian Y, Wang Y, Xie X, Peng Z, Li A, Zhang R, Wu D, Xie X. Efficient treatment of the starch wastewater by enhanced flocculation-coagulation of environmentally benign materials. Sep Purif Technol 2023; 307: 122788. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122788>
9. Zemmouri H, Drouiche M, Sayeh A, Lounici H, Mameri N. Coagulation Flocculation Test of Keddara's Water Dam Using Chitosan and Sulfate Aluminium. Procedia Eng 2012; 32: 254-60. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1202>
10. Lee A, Kim K, New Approach to Remove Heavy Metals from Wastewater by the Coagulation of Alginate-Rhamnolipid Solution with Aluminum Sulfate. Water 2020; 12(12): 3406. <https://doi.org/10.3390/w12123406>
11. Takdstan A, Shirzadi S, Orooji N, Jalilzadeh R. Investigation of efficiency of polyferric sulfate (PFS) coagulant compared to poly aluminium chlorohydrate (PAC) in Ahvaz water treatment. Alborz university medical journal 2015; 4(4): 266-77. (Persian) <https://doi.org/10.18869/acadpub.aums.4.4.266>
12. Kahvaei S, Takdastan A, Jalilzadeh Yengejeh R. Evaluating the Efficiency of Clarifier Returned Sludge with Poly-aluminum Chloride Coagulant (PAC) for Improving the Removal of Turbidity, COD and PVC. J Health Sci Surveillance Syst 2021; 9(4): 298-304.
13. Owodunni AA, Ismail S. Revolutionary technique for sustainable plant-based green coagulants in industrial wastewater treatment-A review. J Water Process Eng 2021; 42: 102096. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102096>
14. Samadi MT, Saghi MH, Shirzad M, Rahimi S, Hasanvand J. Comparison of Different Coagulants Efficiency for Treatment of Hamedan Landfills Leachate Site. Iran J Health Environ 2010; 3(1): 75-82. (Persian)
15. Alizadeh M, Rahimi S, Kord Mostafapoor F, Bazrafshan E, Hoseinzadeh E, Taghavi M. Optimal Condition of Coagulation Process Using Poly Aluminium Chloride in Dairy Wastewater Treatment. J Sabzevar Uni Med Sci 2016; 23(1): 48-57. (Persian)
16. Saritha V, Karnena MK, Dwarapureddi BK. Exploring natural coagulants as impending alternatives towards sustainable water clarification-A comparative studies of natural coagulants with alum. J. Water Process Eng 2019; 32: 100982. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100982>
17. Banihashemi A, Alavi Moghaddam MR, Maknoun R, Nikazar, M. Lab-scale Study of Water Turbidity Removal Using Aluminum Inorganic Polymer. J Water and Wastewater 2008; 19(2): 82-86. (Persian)
18. Asharuddin SM, Othman N, Mohd Zin NS, Tajarudin HA, Din MF, Kumar V. Performance assessment of cassava peel starch and alum as

dual coagulant for turbidity removal in dam water. *Int J Integr Eng* 2018; 10(4): 185-92. <https://doi.org/10.30880/ijie.2018.10.04.029>

19. Ghernaout D, Simoussa A, Alghamdi A, Ghernaout B, Elboughdiri N, Mahjoubi A, Aichouni M, El-Wakil AE. Combining Lime Softening with Alum Coagulation for Hard Ghrib Dam Water Conventional Treatment. *Int J Adv Appl Sci* 2018; 5(5): 61-70. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2018.05.008>

20. Rajasimman M, Karthikeyan C. Aerobic digestion of starch wastewater in a fluidized bed bioreactor with low density biomass support. *J Hazard Mater* 2007; 143: 82-86. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.08.071> PMID:17030411

21. Seify A, Peyravi M, Ahmadi H, Esfahanian M. The Evaluation of the Performance of Polymeric Coagulants and Flocculants on the Characteristics of Paper Mill Effluent. *Iran J Res Environ Health* 2022; 7(4): 343-353. (Persian)

22. Chu W. Dye removal from textile dye wastewater using recycled alum sludge. *Water Res* 2001; 35(13): 3147-52.

23. Mohamadbeigy K, Hassani AH, Rahmati SH, Javid AH. Investigation of Effective Parameters on Starch Adsorption from Aqueous Solutions by Iron-Chitosan Nanoparticles. *J Env Sci Tech* 2023; 25(4): 91-102. (Persian)