Archive of SID

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره شانزدهم، شماره ویژه ۹۳

انتخاب منعقدکننده بهینه در تصفیه اولیه فاضلاب کارخانه نساجی مازندران با استفاده از جار تست و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

غلامرضا اسدالله فردی[1*]

assadollahfardi@yahoo.com

حسین زنگوئی[2]

مصطفی داوودی [3]

صابر مرادی‌نژاد[3]

تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۹ **تاریخ پذیرش:۹۳/۹/۱**

چکیده

زمینه و هدف: صنایع نساجی از جمله صنایعی است که فاضلاب آن شامل آلاینده‌های متعدد است. بنابراین روش‌های تصفیه متداول قادر به حذف کلیه آلاینده‌های آن نمی‌باشد. بدین منظور استفاده از منعقدکننده‌ها برای حذف مواد جامد معلق؛ به عنوان تصفیه اولیه روش مناسبی می‌باشد.

روش بررسی: در این مطالعه پس از پایش کیفیت پساب خروجی کارخانه نساجی مازندران که در حال حاضر بدون هیچ‌گونه تصفیه‌ای به رودخانه تخلیه می‌شود، با استفاده از جارتست و با بهره‌گیری از ترسیب‌کننده‌های آلوم، آهک، سولفات آهن، کلرید آهن و باریم کلراید، میزان حداکثر حذف کل مواد جامد معلق با تغییرات pH مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: علاوه بر نوع منعقده‌کننده پارامترهای متعددی همچون قیمت منعقدکننده‌ها، میزان حساسیت به تغییرات pH، میزان لجن تولیدی و عوارض جانبی بر انتخاب منعقدکننده بهینه موثر می‌باشند. از این رو برای دست‌یافتن به یک انتخاب بهینه از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. این تحلیل با استفاده از نرم‌افزار Expert choice و با درنظر گرفتن معیارهای تاثیرگذار در تصمیم‌گیری و همچنین با اعمال معدل هرکدام از این پارامترها با نظر کارشناسان مربوط به وسیله پرسشنامه‌های تکمیل‌شده صورت گرفت.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج جارتست و مطالعه تحلیل سلسله مراتبی حاکی از آن است که بهترین منعقدکننده جهت کاهش مواد جامد معلق در پساب کارخانه نساجی مازندران، آهک می‌باشد. آزمایش جارتست ۷۰٪ حذف رنگ و ۳۰٪ حذف COD را در صورت استفاده از آهک نتیجه داد.

واژه های کلیدی: نساجی مازندران، منعقدکننده‌ها، جارتست، تحلیل سلسله مراتبی.

۱- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران *(مسئول مکاتبات)

۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران – محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

ورود پساب کارخانه‌های ریسندگی و بافندگی بدون تصفیه مناسب به آب‌های سطحی باعث بروز معضلات زیست‌محیطی مانند کاهش اکسیژن محلول و همچنین رشد بی‌رویه جلبگ‌ها (به علت میزان بالای نیتریت و نیترات) می‌گردد. همچنین ورود این فاضلاب‌ها به شبکه جمع‌آوری فاضلاب و در نهایت به تصفیه‌خانه فاضلاب شهری نیز، باعث گرفتگی شبکه جمع‌آوری، اختلال در واحد ته‌نشینی، کاهش شدید اکسیژن محلول در حوض هوادهی، اختلال در کار میکروارگانیزم‌ها و حتی مرگ بعضی از آن‌ها و به طور کلی باعث بروز مشکلات فراوان در کار سیستم تصفیه می‌گردد. از این رو استفاده از روش‌های مختلف تصفیه جهت بهبود کیفیت پساب این کارخانجات ضروری می‌باشد (۱). یکی از مراحل تصفیه جهت حذف رنگ از آب فرآیند انعقاد می‌باشد. با توجه به گستردگی منعقدکننده‌های موجود، انتخاب بهینه نوع منعقدکننده، با درنظر گرفتن کلیه پارامترهای تاثیرگذار ضروری است. یکی از جامع‌ترین روش‌های طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[1]) است. این روش امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله داشته و به دلیل مقایسه زوجی قضاوت‌های مستقل، نسبت به تلاش‌هایی که تمامی تصمیمات و معیارها را به طور همزمان اولویت‌بندی می‌کند، ارجحیت دارد (۲و۳).

Jorgenson در سال ۱۹۷۴ با استفاده از ترسیب و تبادل یونی توانست ۶۵٪ رنگ و ۴۳٪ اکسیژن‌خواهی شیمیایی را از فاضلاب کارخانه نساجی در مرحله ترسیب حذف نماید (۴). Rinker و Stargent (۱۹۷۴) از ماده منعقدکننده آلوم با غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده نموده و موفق به حذف ۶۹ درصدی رنگ از فاضلاب نساجی شدند (۵). Murakami (۱۹۷۸) در ژاپن حذف رنگ از فاضلاب شهری را که با ۱۰٪ حجمی پساب رنگرزی نساجی مخلوط شده بود، مورد مطالعه قرار داد و به این نتیجه رسید که فرآیند تصفیه شیمیایی در حذف رنگ تاثیر چندانی ندارد، در حالی که تصفیه بیولوژیکی توأم با عبور فاضلاب تصفیه‌شده از روی کربن فعال در این رنگ‌بری مؤثرتر است. همچنین به این نتیجه رسید که تزریق ۱۰ میلی‌گرم در لیتر ازن نیز قادر به حذف ۷۰٪ رنگ است (۶). Damas و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از جارتست فاضلاب نساجی را قبل و بعد از استفاده از ازن، لخته‌سازی شمیایی نموده و نشان دادند استفاده از ازن با زمان کوتاه قبل از لخته‌سازی شمیایی باعث کاهش ۵۷ و ۹۵ درصدی اکسیژن خواهی شیمیایی و تیرگی می‌شود (۷). Bayramoglu و همکاران (۲۰۰۷) فاضلاب کارخانه نساجی را به وسیله انعقاد الکتریکی مورد بررسی قرار داده، سپس ارزیابی اقتصادی از این روش صورت دادند. الکترود آلومینیوم و آهن در این تحقیق به کار رفتند و نتایج نشان داد که هر دو الکترود در حذف اکسیژن‌خواهی شیمیایی و کدورت تقریبا به یک اندازه موثرند، ولی آهن به علت هزینه کم‌تر ترجیح داده می‌شود. همچنین pH مناسب برای آهن در حدود ۷ و برای آلومینیوم در حدود ۵ ارزیابی گردید (۸). Kumar و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از آلوم موفق به حذف ۶۷٪، اکسیژن خواهی شیمیایی و ۷۱٪ رنگ از فاضلاب رنگرزی کارخانه نساجی تحتِ pH=۸ و غلظت ۵ کیلوگرم بر مترمکعب شدند. آن‌ها همچنین توانستند با به‌کاربردن گرماکافت در انعقاد به حذف ۹۰ درصدی اکسیژن خواهی شیمیایی و ۹۵ درصدی رنگ از فاضلاب نساجی دست یابند (۹). Bidhendi و همکاران (۲۰۰۷) از کلرور فریک، آهک، سولفات آهن و کلرور منیزیم برای حذف رنگ استفاده نموده و میزان رنگ و اکسیژن‌خواهی شیمیایی و کل جامدات معلق، تیرگی و لجن را بررسی کرده و مقدار بهینه ماده شیمیایی را بدست آوردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که جز آهک، سایر منعقدکننده‌ها قادر به حذف رنگ و اکسیژن خواهی شیمیایی از فاضلاب نساجی می‌باشند (۱۰). Gohary و Tawfik (۲۰۰۹) با استفاده از لخته‌سازی شیمیایی حذف رنگ به وسیله کلرور منیزیم، آهک و سولفات آلومینییوم را مقایسه نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که آهک از سایر منعقدکننده‌ها موثرتر است. حداکثر حذف رنگ صددرصد و اکسیژن‌خواهی شیمیایی، ۵۰٪ حاصل شد (۱۱). همچنین Gohary و همکاران (۲۰۱۰) برای تصفیه اولیه فاضلاب نساجی از دو سیستم تصفیه شامل سیستم لخته‌سازی و ته‌نشینی و دومی از شناورسازی استفاده نمودند. آن‌ها از سه لخته‌ساز کلرور فریک، سولفات آلومینیوم و سولفات آهن استفاده نمودند که آهک به عنوان کمک لخته‌ساز استفاده شد. نتایج حاکی از این بود که سه نوع لخته‌ساز تقریبا شبیه به هم در حذف اکسیژن‌خواهی شیمیایی عمل نمودند (۱۲).

هدف از این مطالعه تعیین منعقدکننده بهینه جهت تصفیه اولیه فاضلاب کارخانه نساجی مازندران با استفاده از آزمایش جار و روش تحلیل سلسله‌مراتبی با در نظر گرفتن تمامی ویژگی‌های تاثیرگذار در انتخاب آن و در نهایت تعیین بهترین درصد حذف رنگ و اکسیژن-خواهی شیمیایی به وسیله ماده منعقدکننده انتخابی بوده است.

روش بررسی

معرفی منطقه مورد مطالعه

کارخانه نساجی مازندران واقع در شهرستان قائمشهر، در غرب رودخانه سیاه‌رود واقع شده است. ظرفیت تولید این کارخانه ۵ هزار متر پارچه و ۸۰۰ کیلوگرم پنبه هیدروفیل در روز می‌باشد. قسمت عمده آب این کارخانه از دو حلقه چاه عمیق که یکی از آن‌ها به طور دایم در حال کارکردن است، تامین می‌شود. به دلیل وجود سختی در

1- Analytical hierarchy process

www.SID.ir

Archive of SID

آب زیرزمینی، آب مصرفی در فرآیندهای سفیدگری، چاپ و رنگرزی از آب رودخانه تامین می‌گردد. شکل ۱ موقعیت این کارخانه در استان مازندران را نشان می‌دهد (۱۳).

در حال حاضر به علت عدم انجام تصفیه مناسب برروی پساب کارخانه ریسندگی مازندران این پساب به صورت خام وارد رودخانه سیاه‌رود شده و باعث بروز معضلات زیست محیطی متعددی می‌گردد.

شکل۱- موقعیت کارخانه نساجی مازندران (تصویر ماهواره‌ای)

دراین مطالعه نمونه‌برداری به صورت دستی و با استفاده از سطل با آستر داخلی لعابی که دارای حجم کافی بوده، انجام پذیرفته است. نمونه‌گیری هر ۵ روز یک بار و در فصول تابستان و زمستان صورت گرفته است. پس از نمونه‌برداری نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و تعدادی از ویژگی‌های کیفی آن با استفاده از روش استاندارد متدز (Standard methods) آزمایش شده است (۱۴). قابل ذکر است از بررسی میزان حذف فلزات سنگین به دلیل تمرکز مطالعه بر روی حذف رنگ و اکسیژن خواهی شیمیایی و همچنین محدویت‌های مالی و زمانی صرف نظر شده است.

در این مطالعه، آزمایش جار با مصرف ۵ ماده منعقدکننده مختلف و در pHهای گوناگون انجام گرفته است. در آزمایش‌های جار برای نمونه‌های فاضلاب، جهت رسم نمودارها از پارامتر کل جامدات معلق به جای معیار کدورت، استفاده شده است. معمولا ترکیب فاضلاب و مواد منعقدکننده، به مدت ۱ دقیقه با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه مخلوط شده و سپس به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۰ دور بر دقیقه لخته‌سازی انجام می‌پذیرد. پس از تشکیل لخته‌ها، به مدت ۳۰ دقیقه به آن‌ها اجازه ته‌نشینی داده شده و در نهایت اقدام به نمونه‌گیری و آنالیز نمونه‌ها می‌گردد. مواد منعقدکننده مورد آزمایش در این مطالعه، شامل آلوم، آهک، کلرور فریک، سولفات آهن و باریم‌کلراید می‌باشند (۱۵).

روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین روش‌های طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. این روش امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی فراهم نموده و امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها را دارد. همچنین این روش بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت‌ها و محاسبات را تسهیل نموده و میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد (۲).

روش تحلیل سلسله مراتبی اولین بار توسط ساعتی ارایه شد (۱۶). انتخاب این روش از یک سو به دلیل ویژگی‌های موضوع مورد بررسی و از سویی دیگر به علت مزایای این روش نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری بوده است. از جمله دلایل استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به جای روش‌های دیگر تصمیم‌گیری چند معیاره می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱- در این روش، معیارهای کمی و کیفی در تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد و تنها مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره است که می‌تواند سازگاری قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان را اندازه‌گیری نماید.

۲- مقایسه زوجی در این روش به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد وزن معیارها و یا رتبه گزینه‌ها را از ماتریس‌های مقایسه زوجی استخراج کنند و تعداد زیادی از معیارها می‌توانند در نظر گرفته شوند (۱۷).

۳- روش تحلیل سلسله مراتبی، مسایل پیچیده را با قرار دادن گزینه‌ها در ساختار سلسله مراتبی حل می‌کند. ساختار سلسله مراتبی که از طریق مقایسه زوجی قضاوت‌های مستقل ایجاد می‌گردد، نسبت تلاش‌هایی که تمامی تصمیمات و معیارها را به طور همزمان اولویت‌بندی می‌کند، ارجحیت دارد (۳).

روش تحلیل سلسله مراتبی معمولا شش گام زیر را شامل می‌شود (۱۸).

۱- تعریف غیر ساختاری مسئله و بیان شفاف اهداف و نتایج مورد انتظار

۲- ترکیب مسئله پیچیده به عناصر تصمیم‌گیری (بیان جزییات معیارها وگزینه‌ها)

۳- به کارگیری مقایسه‌های زوجی بین عناصر تصمیم‌گیری به منظور ایجاد ماتریس‌های مقایسه

۴- استفاده از روش بردار ویژه برای برآورد وزن‌های نسبی عناصر تصمیم‌گیری

www.SID.ir

Archive of SID

۵- محاسبه نرخ ناسازگاری ماتریس‌ها برای اطمینان از سازگاری قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان

۶- تجمیع عناصر تصمیم وزن‌دهی‌شده برای به‌دست آوردن رتبه‌بندی نهایی.

پس از ایجاد ساختار سلسله مراتبی اولویت عناصر در هر سطح تعیین می‌شود. مفاهیم مقیاس اندازه‌گیری در جدول ۱ ارایه شده است. این مقایسه‌ها، ماتریسی تشکیل می‌دهند که درایه‌های آن از مقایسه عنصر هر سطر با عناصر ستون‌ها به‌دست می‌آید. به عنوان مثال درایه a_{12} نشان می‌دهد عنصر اول چقدر نسبت به عنصر دوم اهمیت دارد (۱۹). یکی از مزیت‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام یافته برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارهاست. به عبارت دیگر تعیین این که در تشکیل ماتریس مقایسه دودویی معیارها، چقدر سازگاری در قضاوت-ها رعایت شده است. وقتی اهمیت معیارها نسبت به یک دیگر برآورد می‌شود، احتمال ناهماهنگی در قضاوت‌ها وجود دارد. یعنی اگر A_i از A_j مهم‌تر و A_j از A_k مهم‌تر باشد، قاعدتا باید A_i نیز از A_k مهم-تر باشد. اما با وجود همه کوشش‌ها، رجحان‌ها و احساس‌های مردم ممکن است ناهماهنگ و نامتعدی باشد. پس باید سنجه‌ای را یافت که میزان ناهماهنگی داوری‌ها را نمایان سازد (۲۰). مکانیزمی که ساعتی برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته است محاسبه ضریبی به نام ضریب ناسازگاری (IR) است. چنانچه مقدار این ضریب کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است و گرنه باید در قضاوت‌ها تجدد نظر شود (۲۱). پس از امتیازدهی معیارهای مدنظر توسط متخصصان و بهره‌برداران تصفیه‌خانه، میانگین‌گیری صورت گرفته است، که نتایج آن در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

از میان نرم‌افزارهای مورد استفاده در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌توان به Expert choice اشاره نمود (۲۲). این نرم‌افزار با دریافت داده‌های کیفی مانند آنچه در جدول ۲ مشاهده می‌شود و تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی بر روی آن‌ها بهترین گزینه را مشخص می‌نماید. نحوه کار با نرم‌افزار به این صورت است که ابتدا هدف از تحلیل را برای نرم‌افزار در قسمت مشخص شده تعریف نموده و سپس معیارهای تصمیم‌گیری که در این‌جا بازده، قیمت منعقدکننده‌ها، میزان حساسیت به تغییرات pH، میزان لجن تولیدی و عوارض جانبی می‌باشد، مشخص می‌گردد. منظور از عوارض جانبی، اثرات مخرب استفاده از این منعقدکننده‌ها در آب می‌باشد. به عنوان مثال استفاده از آلوم باعث ایجاد سختی کلسیمی و خوردگی تاسیسات می‌گردد. قدم بعدی مقایسه زوجی این معیارهاست. در این نرم‌افزار سه نوع مقایسه وجود دارد. ۱- اهمیت ۲- ارجحیت و ۳- درست-نمایی. در اینجا از مقایسه ارجحیت و به صورت عددی استفاده شده است. در این روش پنجره‌هایی برای مقایسه زوجی معیارهای مختلف با استفاده از جداول تکمیل شده توسط کارشناسان و بهره‌برداران، تکمیل گردید. با اتمام ساخت مدل به نتایج دلخواه به صورت گرافیکی و همچنین وزن و ترتیب اهمیت هر یک از معیارها دست خواهیم یافت (۲۳).

جدول ۱- مقیاس ساعتی برای اهمیت های نسبی جدول

۱	اهمیت برابر	دو معیار سهم برابر برای هدف دارند
۳	کم اهمیت	یکی کمی بیش‌تر از دیگری
۵	پراهمیت	یکی قوی تر از دیگری
۷	بسیار پر اهمیت	یکی قوی‌تر از دیگری و غلبه‌اش را در عمل نشان داده است.
۹	فوق العاده پر اهمیت	مطابق شواهد به طور قطع بسیار بیش‌تر از دیگری اهمیت دارد
۲و۴و۶و۸ معکوس	مقادیر بینابینی معکوس مقادیر فوق	زمانی‌که بین دو مقدار قضاوت سخت باشد. زمانی‌که بین دو مقدار ، معکوس تعاریف فوق برقرار باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- نمونه‌ای از جدول امتیازدهی در روش تحلیل سلسله مراتبی

معیارها	ارزان بودن	راندمان بالا	حساسیت کمتر به pH	تولید لجن کمتر	عوارض جانبی کمتر
ارزان بودن	۱	۱/۳	۳	۵	۳
راندمان بالا	-	۱	۷	۸	۶
حساسیت کمتر به **pH**	-	-	۱	۳	۳
تولید لجن کمتر	-	-	-	۱	۱
عوارض جانبی کمتر	-	-	-	-	۱

یافته‌ها

نتایج آزمایش‌های نمونه‌برداری که از تاریخ ۸۸/۱۰/۲۴ تا ۸۹/۶/۵ به طول انجامیده، در جدول ۳ ارایه شده است. با توجه به جدول ۳، میزان حداکثر اکسیژن‌خواهی زیست‌شیمیایی، اکسیژن‌خواهی شیمیایی، کل جامدات معلق، فسفر و نیتروژن به ترتیب ۴۳۰، ۱۱۵۸، ۳۱۰، ۱/۷۹ و ۱۵/۸ میلی‌گرم در لیتر بوده و میزان رنگ موجود در فاضلاب جهت طراحی تصفیه‌خانه، ۱۵۵ واحد رنگ منظور شده است. جدول ۴ نتایج حاصل از نمونه‌برداری در تاریخ ۸۸/۱۱/۱۴ از فاضلاب کارخانه نساجی مازندران را نشان می‌دهد.

جهت تعیین انتخاب بهترین ماده منعقدکننده، ابتدا با تغییر مقدار pH و اندازه‌گیری کل جامدات معلق، میزان بهینه pH مشخص شده (pH بهینه دارای بیشترین میزان حذف جامدات معلق می‌باشد)، سپس با تغییر غلظت ماده منعقدکننده در pH ثابت (pH بهینه)، میزان بهینه ماده منعقدکننده تعیین گردیده است (میزان بهینه ماده منعقدکننده دارای بیش‌ترین مقدار حذف جامدات معلق در pHثابت می‌باشد). در ادامه نتایج به طور جداگانه برای هر منعقدکننده بیان شده است.

جدول ۳- مشخصات کیفی فاضلاب کارخانه نساجی قائمشهر

تاریخ نمونه گیری	دمای متوسط هوا (درجه سانتی‌گراد)	دمای متوسط فاضلاب (درجه سانتی‌گراد)	pH	BOD_5 (mg/l)	COD (mg/l)	TSS (mg/l)	Color (TCU)	TP (mg/l)	TN (mg/l)
۸۸/۱۰/۲۴	-۴	۲	۸/۵	۴۱۰	۹۸۰	۲۷۲	۱۵۰	۱/۱	۱۰/۲
۸۸/۱۱/۱	-۲	۳	۸	۳۷۳	۷۵۰	۲۷۸	۱۵۵	۱/۳	۱۲
۸۸/۱۱/۱۴	۱	۵	۸/۵	۳۵۵	۱۰۰۰	۲۸۷	۱۴۰	۱	۱۰/۱
۸۸/۱۱/۲۰	-۱۱	۱	۸/۵	۴۲۵	۱۰۴۰	۲۸۲	۱۵۰	۱/۷۹	۱۲/۵
۸۸/۱۲/۷	۰	۶	۸	۴۲۰	۹۲۹	۲۸۱	۱۲۹	۱/۳۵	۱۲/۳
۸۹/۵/۱	۳۰	۳۲/۵	۸/۳۶	۳۸۰	۸۰۰	۲۶۲	۱۴۵	۱/۱۹	۱۴
۸۹/۵/۶	۲۵	۲۷	۸/۵۵	۳۶۰	۱۱۵۰	۲۵۳/۵	۱۴۰	۱/۰۵	۱۴/۳
۸۹/۵/۱۰	۲۴/۵	۲۶/۵	۹/۵	۴۳۰	۱۱۵۸	۲۹۸	۱۵۰	۱	۱۵
۸۹/۵/۱۵	۲۲/۵	۲۵	۹/۶	۳۷۰	۹۸۴	۳۱۰	۱۵۰	۱/۳	۱۵/۸
۸۹/۵/۲۰	۲۵/۶	۲۷	۹/۵	۳۶۰	۸۴۰	۲۳۵	۱۳۵	۱/۲۲	۱۵/۲
۸۹/۵/۲۵	۲۱/۵	۲۵/۵	۹/۵	۴۰۰	۹۹۲	۲۷۰	۱۳۵	۱/۱	۱۵/۵
۸۹/۶/۵	۱۷	۲۰	۸/۸	۳۷۰	۹۰۰	۲۱۳	۱۴۰	۱	۱۴/۱
میانگین	۴/۶۷	۹/۶۷	۸/۷۸	۳۸۷/۷۵	۹۶۰/۲۵	۲۷۰/۱۳	۱۴۳/۲۵	۱/۲	۱۳/۴۲
انحراف معیار	۱۴/۹۴۷	۱۱/۵۲۶	۰/۶	۲۷/۶	۱۲۵/۷۶	۲۶/۶۶	۷/۹۴	۰/۲۲	۱/۹۷

www.SID.ir

Archive of SID

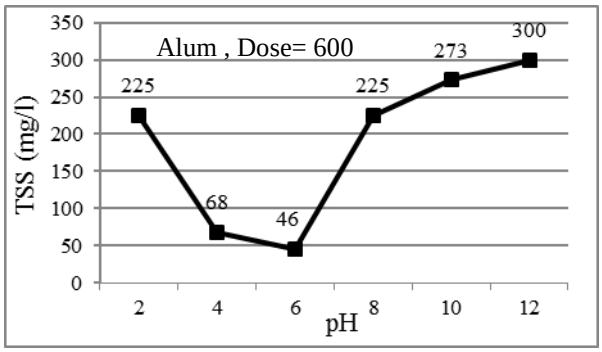
جدول ۴- مشخصات فاضلاب نمونه گیری شده

پارامتر	واحد	مقدار
اکسیژن خواهی زیست شیمیایی	mg/l	۳۵۵
اکسیژن خواهی شیمیایی	mg/l	۱۰۰۰
TSS	mg/l	۲۸۷
pH	-	۸/۵
رنگ	TCU	۱۴۰

استفاده از آلوم

تاثیر تغییر pH بر انعقاد در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر

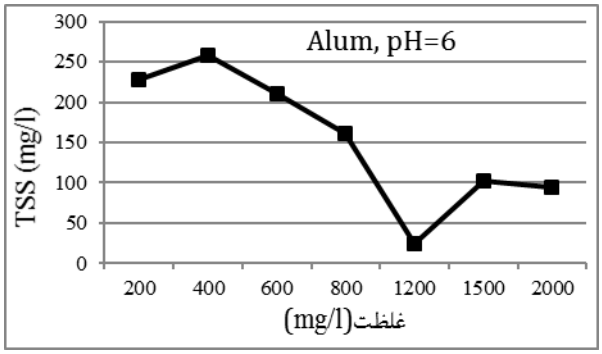
پس از انجام آزمایش جارتست به وسیله آلوم با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، در pHهای مختلف جامدات معلق موجود در نمونه فاضلاب اندازه گیری شده و در pH برابر ۶ کم‌ترین میزان جامدات معلق مشاهده گردیده است (شکل ۲).



شکل ۲- اثر تغییر pH بر کل جامدات معلق در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر آلوم

تاثیر تغییر غلظت آلوم بر انعقاد در pH=۶

پس از انجام آزمایش جارتست به وسیله آلوم در pH بهینه ۶ که از آزمایش قبل به‌دست آمد، به ازای غلظت‌های مختلف آلوم، جامدات معلق موجود در نمونه فاضلاب اندازه‌گیری گردید و مشاهده شد که در غلظت ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر آلوم، کم‌ترین میزان جامدات معلق به‌دست می‌آید (شکل ۳).



شکل ۳- اثر تغییر غلظت آلوم بر کل مواد جامد معلق در pH بهینه

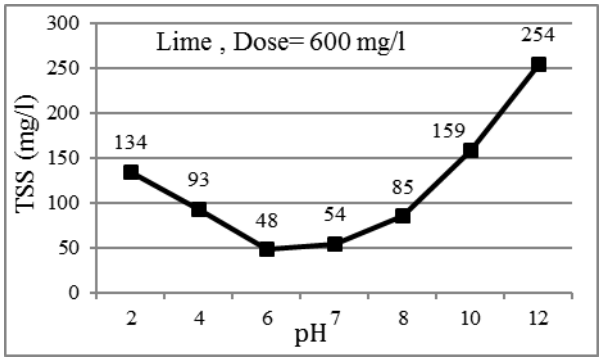
www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از آهک

تاثیر تغییر pH بر انعقاد در غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر

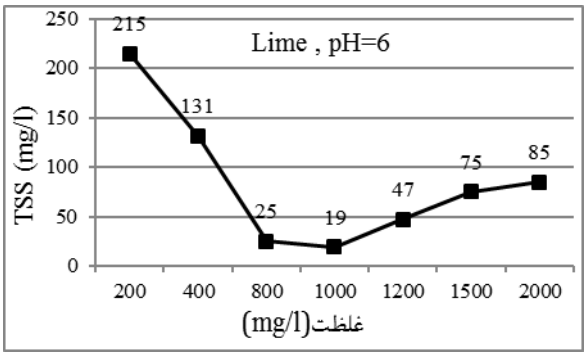
مشابه قبل با انجام آزمایش به‌وسیله آهک با غلظت ۶۰۰ میلی-گرم در لیتر ، مشاهده شد که در pH=۶ کم‌ترین میزان جامدات معلق به‌دست می‌آید. نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- اثر تغییر pH بر مواد جامد معلق در غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر آهک

تاثیر تغییر غلظت آهک بر انعقاد در pH=۶

به ازای غلظت های مختلف آهک، در pH=۶، جامدات معلق موجود در نمونه فاضلاب اندازه‌گیری گردید و مشاهده‌شد که در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر آهک، کم‌ترین میزان جامدات معلق به‌دست می‌آید (شکل ۵).



شکل ۵- اثر تغییر غلظت آهک بر کل مواد جامد معلق در pH بهینه

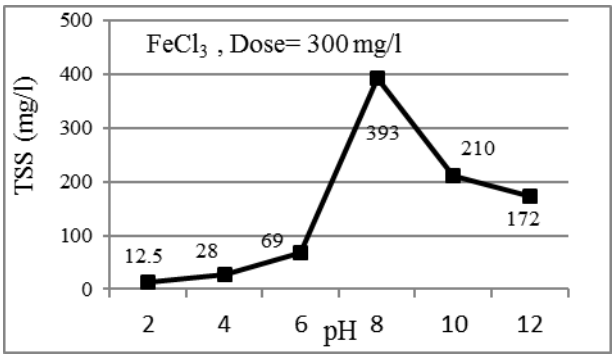
استفاده از کلرید آهن

تاثیر تغییر pH بر انعقاد در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر

پس از انجام آزمایش جارتست به وسیله کلرورفریک با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، جامدات معلق موجود در نمونه فاضلاب اندازه-گیری و مشاهده شد که در pHهای ۲ و ۴ کم‌ترین میزان جامدات معلق به‌دست می‌آید. نتایج در شکل ۶ که غلظت مواد معلق را بر حسب pH رسم شده نشان داده شده است.

www.SID.ir

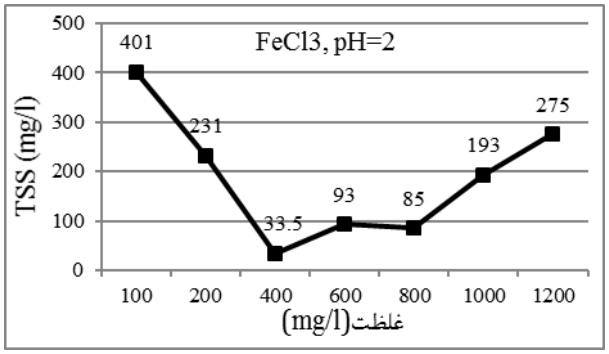
Archive of SID



شکل ۶- اثر تغییر pH بر مواد جامد معلق در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلرید آهن

تاثیر غلظت کلرید آهن بر انعقاد در pH=۲

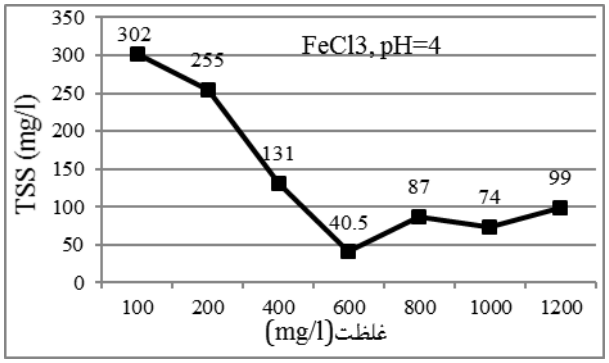
پس از انجام آزمایش جارتست بوسیله کلرورفریک در pH بهینه ۲ به ازای غلظت‌های مختلف کلرورفریک، جامدات معلق موجود در نمونه فاضلاب اندازه‌گیری شده و مشاهده شد که در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، میزان جامدات معلق برابر ۳۳/۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. نتایج در شکل ۷ مشاهده می‌شود.



شکل ۷- اثر تغییر غلظت کلرید آهن بر کل مواد جامد معلق در pH=۲

تاثیر غلظت کلرید آهن بر انعقاد در pH=۴

جامدات معلق موجود در نمونه فاضلاب در pH=۴ اندازه گیری گردیده که مقدار آن در غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر، حداقل بوده است (شکل ۸).



شکل ۸- اثر تغییر غلظت کلرید آهن بر کل مواد جامد معلق در pH=۴

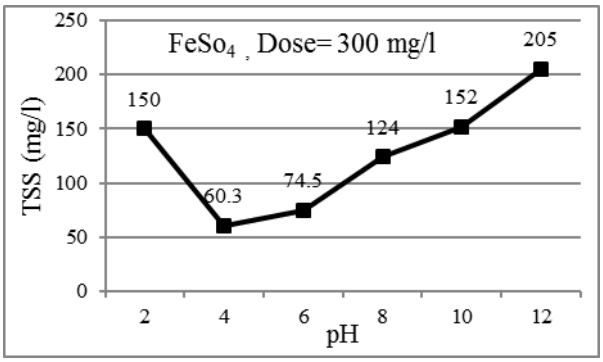
www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از سولفات آهن

تاثیر تغییر pH بر انعقاد در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر

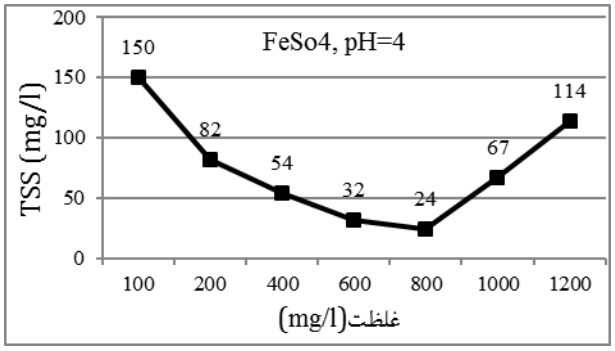
پس از انجام آزمایش جارتست به وسیله سولفات آهن با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، جامدات معلق موجود در نمونه فاضلاب اندازه‌گیری گردیده و مشاهده شد که در pH=۴ کم‌ترین میزان جامدات معلق به‌دست می‌آید (شکل ۹).



شکل ۹- اثر تغییر pH بر مواد جامد معلق در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات آهن

تاثیر غلظت سولفات آهن بر انعقاد در pH=۴

پس از انجام آزمایش جارتست به وسیله سولفات آهن در pH=۴، به ازای غلظت‌های مختلف سولفات آهن، جامدات معلق موجود در نمونه فاضلاب اندازه‌گیری گردید و مشاهده شد که در غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر، میزان جامدات معلق ۲۴ میلی‌گرم در لیتر به‌دست می‌آید که کم‌ترین میزان ممکن می‌باشد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- اثر تغییر غلظت سولفات آهن بر کل مواد جامد معلق در pH=۶

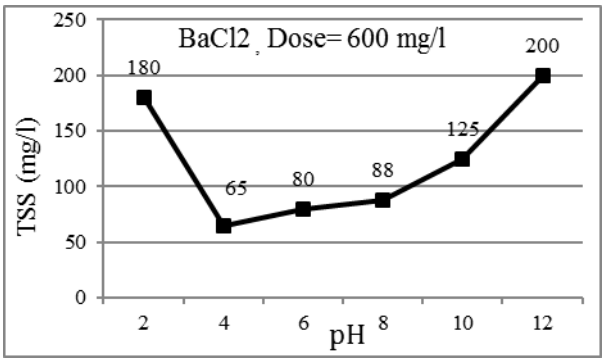
استفاده از باریم کلراید

تاثیر تغییر pH بر انعقاد در غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر

پس از انجام آزمایش جارتست به وسیله باریم کلراید با غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر، جامدات معلق موجود در نمونه فاضلاب اندازه‌گیری و مشاهده شد که در pH=۴ کم‌ترین میزان جامدات معلق به‌دست می‌آید. نتایج درشکل ۱۱ مشاهده می‌شود.

www.SID.ir

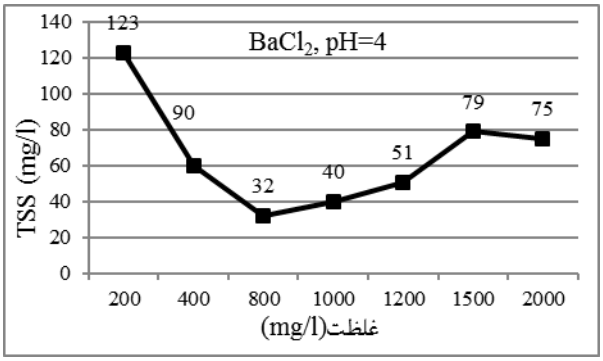
Archive of SID



شکل ۱۱- اثر تغییر pH بر مواد جامد معلق در غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر باریم کلراید

تاثیر غلظت باریم کلراید بر انعقاد در pH=۴

پس از انجام آزمایش جارتست به وسیله باریم کلراید در pH=۴، به ازای غلظت‌های مختلف باریم کلراید، جامدات معلق موجود در ۳۲ میلی‌گرم در لیتر به‌دست می‌آید که کم‌ترین مقدار می‌باشد (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- اثر تغییر غلظت باریم کلراید بر کل مواد جامد معلق در pH=۴

جدول ۵ خلاصه نتایج عمل انعقاد روی نمونه فاضلاب برای مواد منعقدکننده مورد نظر را نشان می‌دهد. میزان درصد کاهش جامدات معلق بر اساس جامدات معلق میانگین نمونه‌های اندازه‌گیری شده محاسبه شده است.

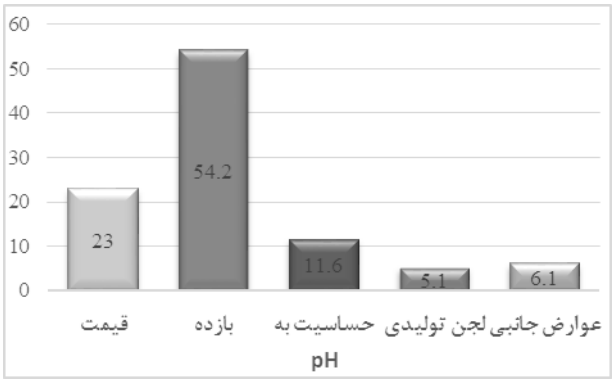
انتخاب منعقدکننده بهینه

پس از دست‌یافتن به نتایج آزمایشگاهی جهت انتخاب بهترین منعقدکننده، با لحاظ‌کردن عواملی از جمله بازده، قیمت منعقدکننده‌ها، میزان حساسیت به تغییرات pH، عوارض جانبی و میزان لجن تولیدی از سیستم تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. برای این منظور از نرم‌افزار Expert choice بهره گرفته شده‌است. نحوه کار این‌گونه است که میزان اهمیت هر یک از عوامل ذکرشده در بالا نسبت به یکدیگر با نظر کارشناسان فن تعیین و به نرم‌افزار داده‌شده‌است. در این مطالعه پرسشنامه‌های تدوین‌شده توسط پنج نفر از بهره‌برداران تصفیه‌خانه تکمیل گردیده و از این نظرات میانگین‌گیری شده و به اعدادی نزدیک با ناسازگاری کم‌تر گرد شد. شکل ۱۳ میزان اهمیت عوامل موثر در انتخاب منعقدکننده بهینه با نظر بهره‌برداران را نشان می‌دهد. در مرحله بعد باید امتیاز هر کدام از این عوامل را برای منعقدکننده‌های مورد استفاده تعیین نماییم. بدین صورت که امتیاز عوامل بازده و حساسیت به تغییرات pH با توجه به نتایج آزمایش‌ها، قیمت منعقدکننده‌ها با توجه به اطلاعات موجود در بازار و میزان مورد نیاز از هر کدام از منعقدکننده‌ها و عوارض جانبی و میزان لجن تولیدی با توجه به نظر کارشناسان و بهره‌برداران تصفیه-خانه تعیین می‌گردد.

نمونه فاضلاب اندازه‌گیری گردید و مشاهده شد که در غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر، میزان جامدات معلق

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۳- میزان اهمیت عوامل موثر در انتخاب منعقدکننده بهینه با نظر بهره‌برداران

به عنوان مثال جهت امتیازدهی منعقدکننده‌های مختلف با توجه به پارامتر اقتصادی‌بودن با استفاده از قیمت‌های بازار و میزان مورد استفاده از هرکدام از منعقدکننده‌ها با نظر بهره‌برداران به روشی که در شکل ۲ ملاحظه شد، به جدول ۶ دست یافته و از آن به عنوان ورودی نرم‌افزار استفاده شده‌است.

پس از وارد نمودن تمامی داده‌ها و انجام تحلیل سلسله‌مراتبی توسط نرم‌افزار، خروجی‌های مورد نظر قابل دسترسی خواهند بود. یکی از این خروجی‌ها پنجره مقایسه سربه‌سر منعقدکننده‌های مختلف می‌باشد. در این پنجره میزان برتری دو منعقدکننده نسبت به هم با توجه به عوامل ارزان‌بودن، بازده بالاتر، حساسیت کم‌تر نسبت به تغییرات pH، لجن تولیدی کم‌تر و عوارض جانبی کم‌تر نمایش داده‌شده‌است. شکل‌های ۱۴ تا ۲۰ نمونه‌هایی از پنجره مقایسه سربه‌سر منعقدکننده‌های مختلف را نسبت به عوامل تعیین‌شده نشان می‌دهد. به عنوان مثال در شکل ۱۴ که مقایسه سربه‌سر آلوم و آهک را نشان می‌دهد، مشاهده می‌گردد که از جنبه‌های بازده، اقتصادی‌بودن و تولید لجن کم‌تر، آهک برتری محسوسی نسبت به آلوم دارا می‌باشد.

شکل ۲۱ پنجره آنالیز نهایی به همراه مقدار عددی ناسازگاری را نشان می‌دهد. در این‌جا عددی ناسازگاری برابر ۰/۰۴ بوده که نمایانگر منطقی‌بودن داده‌های ورودی به نرم‌افزار می‌باشد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود نمودار میله‌ای شکل ۲۱ میزان اهمیت نسبی متغیرهای مختلف (در اینجا منعقدکننده‌ها)، را با بیان یک وزن برای هر کدام از آن‌ها نشان می‌دهد.

با توجه به این اولویت‌بندی عوامل مختلف موثر بر انتخاب منعقدکننده بهینه (شکل۱۳)، همان‌طور که در شکل ۲۱ مشاهده می‌شود، آهک با وزن ٪۴۶/۶، با در نظرگرفتن تمامی پارامترهای ذکرشده (ارزان بودن، بازده حذف مواد جامد معلق، میزان حساسیت به تغییرات pH، میزان لجن تولیدی کم‌تر و عوارض جانبی) به عنوان بهترین ماده منعقدکننده جهت تصفیه اولیه پساب کارخانه نساجی مازندران قابل انتخاب است.

پس از انجام آزمایش با منعقدکننده برتر (آهک)، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی و رنگ فاضلاب به ترتیب ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۴۲ واحد رنگ حاصل شده و در نتیجه میزان درصد حذف اکسیژن خواهی شیمیایی، ٪۳۵ و درصد حذف رنگ ٪۷۰ به‌دست آمد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، از یک‌سو به این دلیل که اکسیژن خواهی شیمیایی خروجی شرایط استاندارد محیط زیست را احراز نمی‌کند و از سوی دیگر وجود فلزات سنگین باعث کاهش حذف اکسیژن خواهی شیمیایی می‌گردد، از این روش تنها می‌توان به عنوان تصفیه اولیه کارخانه نساجی مازندران بهره برد. جدول ۷ مقایسه نتیجه این آزمایش‌ها با کارهای مشابه صورت گرفته توسط دیگرمحققان را نشان می‌دهد که بیانگر مطابقت نتایج این مطالعه با سایر کارهای انجام‌یافته در این زمینه در جهان می‌باشد. البته باید به این مسئله نیز واقف بود که مطالعات پیشین ممکن است به‌وسیله مواد منعقدکننده دیگری انجام گرفته باشد و از طرفی مواد اولیه مورد استفاده در کارخانه‌های نساجی مختلف، متفاوت می‌باشد. بنابراین این موارد امکان مقایسه منطقی نتایج را سلب می‌نماید. با توجه به استانداردهای سازمان محیط زیست مشاهده می‌گردد که میزان رنگ خروجی از حوض انعقاد و لخته‌سازی میزانی بسیار مطلوب بوده و در مورد اکسیژن خواهی شیمیایی نیز باید اذعان داشت با توجه به تغییر یافتن این پارامتر در سایر فرآیندهای تصفیه نمی‌توان اکسیژن خواهی شیمیایی خروجی از حوض انعقاد را ملاک ارزیابی قرار داد.

www.SID.ir

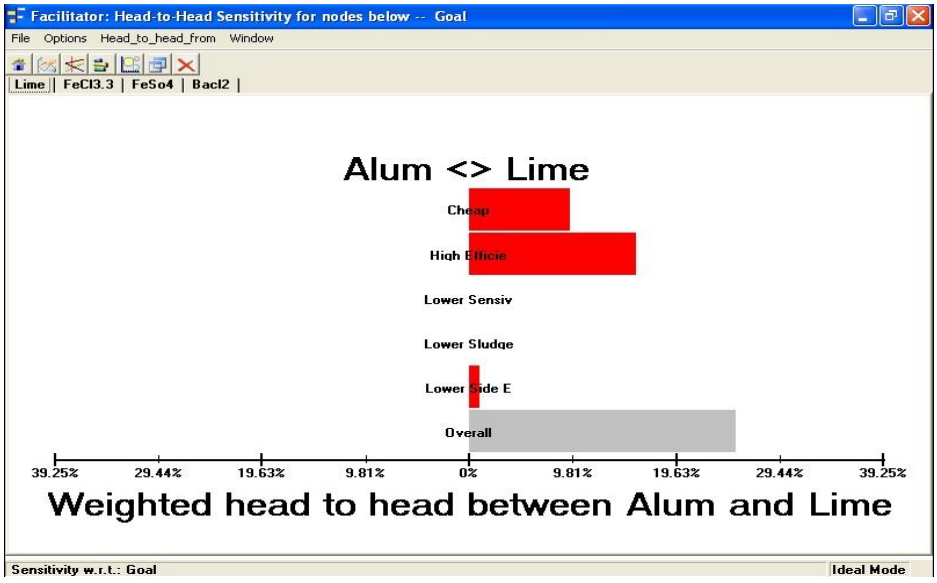
Archive of SID

جدول ۵- خلاصه نتایج عمل انعقاد برروی نمونه فاضلاب

نام ماده منعقد کننده	pH مناسب	مقدار بهینه (mg/l)	حداقل جامدات معلق بدست آمده (mg/l)	درصد کاهش جامدات معلق (٪)
آلوم	۶	۱۲۰۰	۲۴	۹۱
آهک	۶	۱۰۰۰	۱۹	۹۲/۹
$FeCl_3$ (کلرید آهن ۳)	۲	۴۰۰	۳۳/۵	۸۷/۵
$FeCl_3$ (کلرید آهن ۳)	۴	۶۰۰	۴۰/۵	۸۵
$FeSo_4$ (سولفات آهن ۲)	۴	۸۰۰	۲۴	۹۱/۱
$BaCl_2$ (باریم‌کلراید)	۴	۸۰۰	۳۲	۸۸/۱۴

جدول ۶- مقایسه زوجی اجزا بر اساس معیار ارزان بودن

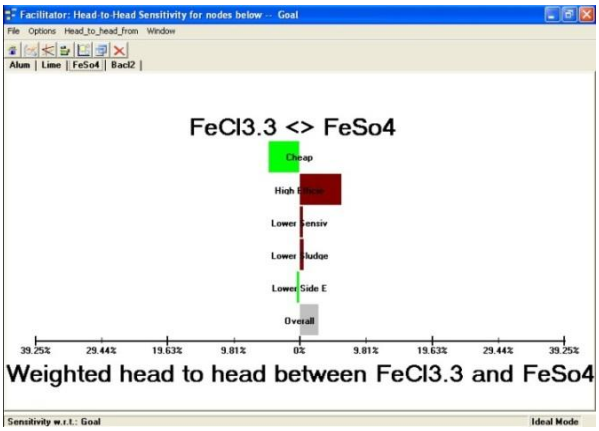
منعقدکننده	آلوم	آهک	کلرید آهن	سولفات آهن	باریم کلراید
آلوم	۱	۱/۵	۱/۳	۳	۱/۲
آهک	–	۱	۳	۹	۵
کلرید آهن	–	–	۱	۵	۳
سولفات آهن	–	–	–	۱	۱/۵
باریم کلراید	–	–	–	–	۱



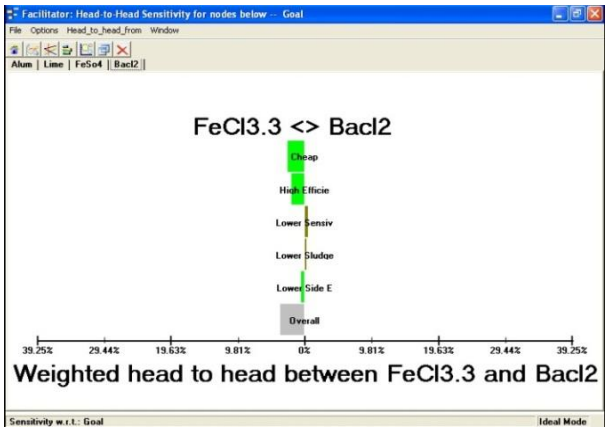
شکل ۱۴- پنجره مقایسه سربه‌سر آلوم وآهک

www.SID.ir

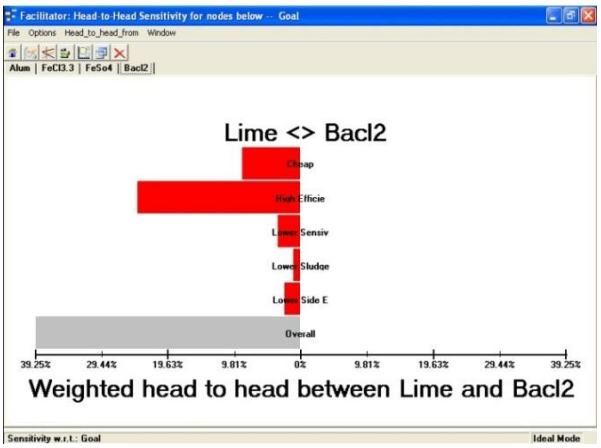
Archive of SID



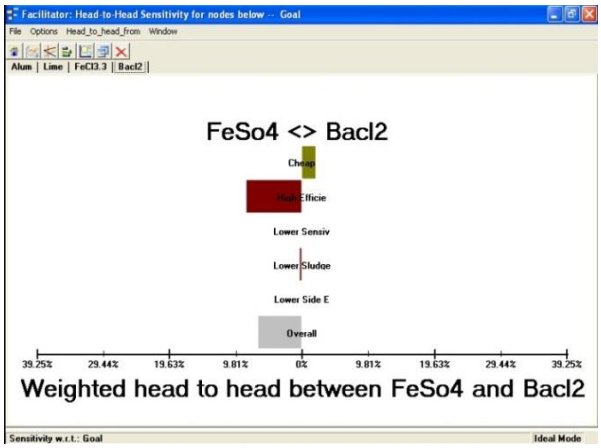
شکل ۱۵- پنجره مقایسه سربه‌سر کلریدآهن و سولفات‌آهن



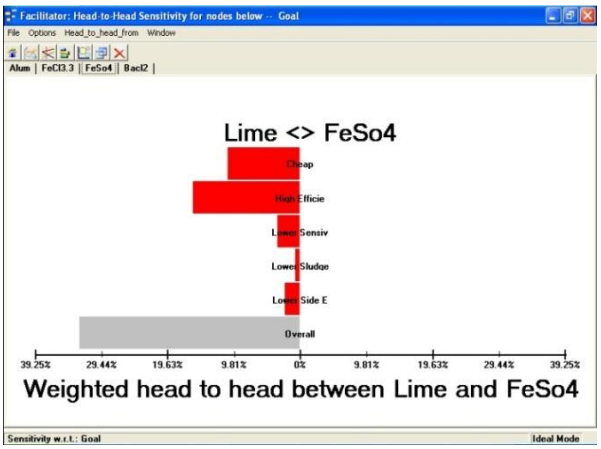
شکل ۱۶ - پنجره مقایسه سربه‌سر کلریدآهن وباریم‌کلراید



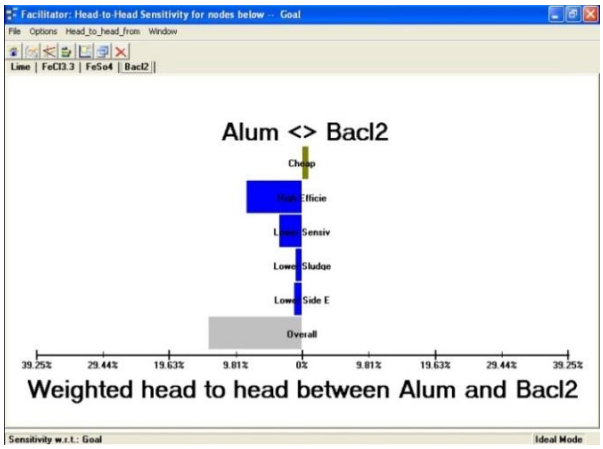
شکل ۱۷- پنجره مقایسه سربه‌سر آلوم و باریم‌کلراید



شکل۱۸- پنجره مقایسه سربه‌سر سولفات‌آهن و باریم‌کلراید



شکل۱۹- پنجره مقایسه سربه‌سر آلوم و سولفات‌آهن



شکل۲۰- پنجره مقایسه سربه‌سر آلوم و باریم‌کلراید

www.SID.ir

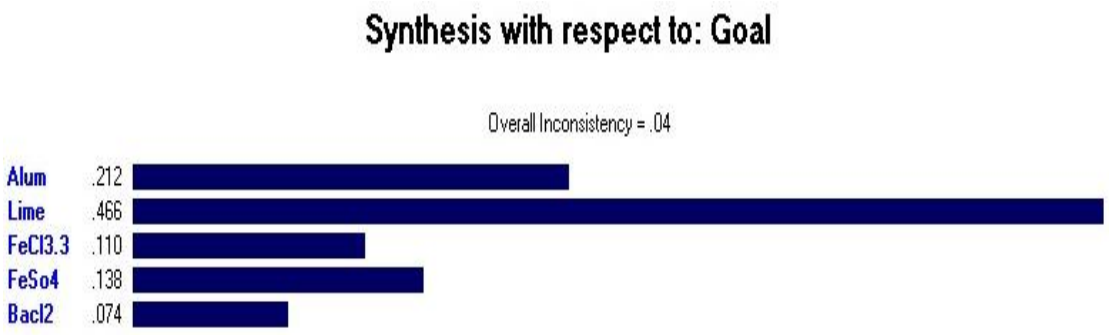
Archive of SID

جدول ۷- مقایسه نتایج انعقاد به وسیله آهک با تحقیقات صورت گرفته در جهان

درصد کاهش	پارامتر	غلظت مصرفی (mg/l)	ماده منعقد کننده	ملاحظات	مرجع
۳۵	اکسیژن خواهی شیمیایی	۱۰۰۰	آهک	دارای زمان ماند حوضچه انعقاد ۱ دقیقه و چرخش ۱۰۰ دور بر دقیقه و زمان ماند حوضچه لخته سازی ۱۵ دقیقه و چرخش ۳۰ دور بر دقیقه و زمان ماند ته نشینی ۳۰ دقیقه	**نتایج حاصل از این مطالعه**
۹۲/۹	مواد معلق				
۷۰	رنگ				
۷۶	اکسیژن خواهی شیمیایی	۱۰۰۰	پلی‌آلومینیوم کلراید		**(2013)Muhammad** (۲۱)
۹۵	مواد معلق				
۹۵	رنگ				
۳/۲ ± ۷۷/۵	اکسیژن خواهی شیمیایی	۷۰۰	آلوم		**(2010) Gohary**
۵۰	اکسیژن خواهی شیمیایی	۲۰۰	آهک		**(2009) Gohary**
۵۰	رنگ				
۶۶/۸۵	اکسیژن خواهی شیمیایی	۵۰۰۰	آلوم	نتیجه بهینه در pH =۸ به‌دست آمد	**Kumar (2007)**
۷۱/۴	رنگ				
۵۰-۶۰	رنگ	۱۵۰۰	الوم		**Seleuk (2005)**
۶۰	اکسیژن خواهی شیمیایی	۱۰۰۰	سولفات آهن و ازن		
۶۳	کدورت	۶۰	کلرید آهن	نتیجه بهینه در pH =۸/۵ به‌دست آمد	**مهدوی (۱۳۶۷)**
۸۳	کدورت	۱۲۰	آلوم	نتیجه بهینه در pH =۷ به‌دست آمد	**مهدوی (۱۳۶۷)**
۵۴-۶۹	اکسیژن خواهی شیمیایی	۵۰۰	آلوم		**(1976) Shelley**
۷۲-۸۷	رنگ	۱۰۰۰	آهک		
۶۹	رنگ	۸۰	آلوم و تبادل یونی		**Jorgenson (1974)**

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲۱- پنجره آنالیز نهایی

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از انجام آزمایش جار بر روی فاضلاب کارخانه نساجی مازندران، تحت شرایط مختلف pH و غلظت‌های متفاوت منعقدکننده‌های آلوم، آهک، کلرور فریک، سولفات آهن و باریم‌کلراید، میزان بازده هر یک از منعقدکننده‌ها برآورد گردید. سپس با استفاده از سیستم تحلیل سلسله‌مراتبی و با در نظرگرفتن معیارهای اقتصادی، راندمان، حساسیت به تغییرات pH، تولید لجن کمتر و عوارض جانبی، آهک به عنوان ماده منعقد کننده بهینه انتخاب گردید.

کارخانه نساجی مازندران به طور متوسط، روزانه ۳۵۰ متر مکعب فاضلاب تولید کرده (در یک شیفت کاری ۸ ساعته)، که سهم فاضلاب خروجی از فرآیندهای مختلف تولید تقریبا، ۲۵ متر مکعب در ساعت و سهم فاضلاب‌های بهداشتی و سطحی، در حدود ۱۴ متر مکعب در ساعت می‌باشد. نتایج پایش فاضلاب این کارخانه نشان داد که محدوده‌ی تغییرات اکسیژن‌خواهی شیمیایی، بین ۷۵۰ تا ۱۱۵۸ میلی‌گرم بر لیتر، اکسیژن‌خواهی زیست‌شیمیایی، ۴۳۳-۳۵۵ میلی‌گرم بر لیتر، کل جامدات معلق ۳۱۰-۲۱۳ میلی‌گرم بر لیتر و رنگ ۱۵۵-۱۲۹ (واحد رنگ) بوده است.

پس از انجام تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice، آهک به عنوان منعقدکننده بهینه، با در نظر گرفتن تمامی عوامل ذکر شده، انتخاب گردید.

بر اساس آزمایش‌های جار صورت‌گرفته، آهک در pH=۶ دارای بالاترین درصد حذف بوده و در این pH و غلظت بهینه‌ی ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، درصد حذف جامدات معلق به ٪۹۲/۲ رسیده است. با انتخاب آهک به عنوان منعقدکننده، میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی و رنگ فاضلاب به ترتیب ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۴۲ واحد رنگ کاهش یافته، که بیانگر ۳۵ درصد حذف اکسیژن‌خواهی شیمیایی و ۷۰ درصد حذف رنگ می‌باشد. این مقدار در مقایسه با سایر تحقیقات، مقداری قابل قبول می‌باشد.

منابع

۱. مهدوی، علی، ۱۳۶۷، بررسی کمی و کیفی فاضلاب کارخانه نساجی مازندران و ارائه راه حل تصفیه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکاه تربیت مدرس.

2. Hajkowicz, S., Young, M., Wheeler, S., MacDonald, D., and Young, D., 2000. Supporting decisions: Understanding natural resource management assessment techniques, CSIRO Land and Water.
3. Saaty, T.L., 1980. The analytic hierarchy process: Planning, Priority setting, resource allocation, 1st Ed., McGraw – Hill, New York.
4. Jorgenson, S.V., 1974. Recirculation of wastewater from the textile industry possible when combined precipitation and ion exchange treatment is used ,Vatten, pp. 394-396.
5. Rinker, T., Stargent, L., 1974. Activated sludge and alum coagulation treatment of textile wastewater, Proceeding 29th Purdue industrial wastewater conference, pp.456-471.
6. Murakami, K., 1978. Removal of color from municipal sewageContaining textile wastewater, Sixth US/Japan conference.
7. Damas, B.S., Iborra-Clar, M.I., Bes-Pia, A, Alcaina-Miranda, M.I., Menda-Roca, J.A., and Ibrra-Clar, A., 2005. Study of preozonation influence on the physical - chemical treatment of textile wastewater, Desalination, Vol. 182 ,pp. 267-274.
8. Bayramoglu, M., Eyvaz, M., and Kobya, M., 2007. Treatment of the textile wastewater by electrocoagulation Economical evaluation, Chemical

www.SID.ir

Archive of SID

Engineering Journal, Vol. 128, pp. 155-161.

9. Kumar, P.B., Prasad, I.M., Mishra, Shri Chand, 2007. Decolorization and COD reduction of dyeing wastewater from a cotton textile mill using thermolysis and coagulation, Journal of Hazardous Materials, Vol. 153, pp. 635–645.
10. Bidhendi, N.G., Torbian, A., Ehsani, H, Razmkhah, N., and Abbasi, M., 2007. "Evaluation of industrial dying wastewater treatment with coagulants", International journal of environmental research, Vol. 1(3), pp. 242-247.
11. Gohary, F., and Tawfik, A., 2009. "Decolorization and reduction of disperse and reactive dyes wastewater chemical - coagulation followed by sequential batch reactor (SBR) process", Desalinzation, Vol. 249, pp. 1159-1164.
12. Gohary, F., Tawfik, A., and Mahmoud,V, 2010. Comparative study between chemical coagulation/ precipitation versus coagulation/ dissolved air floatation for pretreatment of personal care products wastewater, Desalination, Vol. 252, pp. 106-112.

۱۳. داوودی، م.، ۱۳۸۹. استفاده از منعقدکننده‌ها در تصفیه اولیه فاضلاب کارخانه نساجی مازندران با استفاده از جارتست، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی.

14. APHA, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (18th ed.) American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution and Control Federation, Washington, D.C.
15. ASTM, 1995. Standard Practice for Coagulation–Flocculation Jar Test of Water E1-1994 R (1995). D 2035-80. Annual Book of ASTM Standards, vol. 11.02.
16. Saaty, T.L., 2000. Fundamentals of descision making and priority theory, 2nd Ed., PA: RWS pub., Pittsburgh. Journal, Vol. 128, pp. 155-161
17. Mahmoodzadeh, S., Shahrabi, J., Pariazar, M., and Zaeri, M.S., 2007. Project selection by using fuzzy AHP and TOPSIS technique, International J. of Human and Social Sciences, Vol. 30, pp. 333-338.
18. Lee, A.H.I., Chen, W.C., and Chang, C.J., 2008. A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan, Expert Systems with Applications, Vol. 34, pp. 96-107.

۱۹. توفیق، ف.، ۱۳۷۲، ارزشیابی چندمعیاری در طرح‌ریزی کالبدی، آبادی، شماره ۱۱، ۴۰-۴۳.

۲۰. زبردست، ا.، ۱۳۸۰، کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۱۰، ۱۳-۲۱.

21. Partovi, F.Y., 1994. Determining what to benchmark: An analytic hierchy process approach, Int. J. of Operations and Production Management, Vol. 14(6), pp. 25-39.

۲۲. نیکمردان، ع.، ۱۳۸۶، معرفی نرم‌افزار Expert choice11، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ اول.

23. Irfan, M., Butta, T., Imtiaza, N., Abbas, N., Ahmad Khan, A., Shafique, A., 2013. The removal of COD, TSS and colour of black liquor by coagulation–flocculation process at optimized pH, settling and dosing rate', Arabian Journal of Chemistry, In Press, Available online 23 August 2013.

www.SID.ir