بازیابی پساب حاصل از شست وشوی فیلترهای تصفیه خانهٔ آب با روش شناورسازی با هوای محلول

محمدحسن محمودیان [۱] محمدمهدی امین [۲] محمدرضا شاهمنصوری [۳] محمد قاسمیان [۴]

(دریافت ۸۵/۱۱/۱۲ پذیرش ۸۶/۵/۳۰)

چکیده

مطالعات گذشته در حذف کدورت، به استفاده از مراحل انعقاد و لخته‌سازی منجر گردید. ولی امروزه استفاده از روشهای جدید در حال افزایش است. در این بررسی، با استفاده از یک دستگاه پایلوت شناورسازی با هوای محلول و به کمک آزمایش جار، میزان حذف کدورت، مواد قابل تجزیهٔ شیمیایی و عوامل باکتریایی در پساب حاصل از شست و شوی فیلترها، مورد مطالعه قرار گرفت. افزایش فشار در مخزن تحت فشار از ۳ تا ۵ اتمسفر و همچنین افزایش حجم سیکل برگشتی آب اشباع شده، از ۵ درصد به ۲۵ درصد باعث بهبود راندمان حذف کدورت و مواد قابل تجزیهٔ شیمیایی شد. با استفاده از مادهٔ منعقد کننده پلی‌آلومینیم کلراید، به همراه انعقاد و لخته‌سازی این سیستم قادر خواهد بود کدورتهای بیش از ۱۰۰۰NTU، مواد آلی قابل تجزیه شیمیایی، باکتری‌های هتروتروف و کلیفرم‌ها را در شرایط بهینه به ترتیب به میزان ۹۷، ۷۲ ، ۷۵ و ۹۹ درصد کاهش دهد. آنالیز آماری حاکی از آن است که حذف در فشار اشباع سازی بهینهٔ ۴ تا ۵ اتمسفر و نسبت سیکل برگشتی ۲۰ تا ۲۵ درصد ایجاد شده است. استفاده از جریان پیوسته (به دلیل حجم زیاد جریان و کاهش ابعاد سیستم) باعث کاهش هزینهٔ احداث می‌گردد. روشهای متداول ته‌نشینی می‌توانند کدورت و عوامل میکروبی را به ترتیب ۷۰ و ۶۵ درصد کاهش دهند. در حالی که این روش می‌تواند شاخص کدورت و عوامل میکروبی را به ترتیب تا میزان ۹۷ و ۷۲ درصد بهبودی بخشد. قابلیتهای فنی این روش برای بازیابی پساب حاصل از شست و شوی فیلترهای تصفیه‌خانه آب اصفهان تأیید می‌شود و پیشنهاد می‌گردد طراحی، ساخت و نصب یک دستگاه در مقیاس صنعتی در اولویتهای کاری مسئولان تصفیه‌خانه آب و شرکت آب و فاضلاب قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پساب فیلترها، شست‌وشوی معکوس، سیستم شناورسازی با هوای محلول.

Filter Backwash Water Treatment Using Dissolved Air Flotation Method

Mohammad hassan Mahmoudian [1] Mohammad mehdi Amin [2]
Mohammad reza Shahmansouri [3] Mohammad Ghasemian [4]

(Received Feb. 1, 2007 Accepted Aug. 21, 2007)

Abstract

Studies of turbidity removal in the past led to the development of coagulation and filtration processes. New processes are, nowadays, under development for improving upon impurity removal from water. In the present study, a DAF pilot plant and the jar test were used to investigate the optimum conditions for Turbidity, COD, HPC, and MPN removal. The goal of this study was to evaluate continuous inflow DAF performance on a pilot scale in improving the quality of spent filter backwash water in Isfahan Water Treatment Plant (WTP). The results showed that the continuous flow DAF using PACl as coagulant for removal of a turbidity level above 1000 NTU recorded efficiency levels of 97%, 72%, 75%, and 99% for COD, HPC, and MPN, respectively. Statistical analyses indicated that increasing saturation recycle rate led to improved removal of impurity and that the optimum saturation pressure was 4-5 atm for a recycle rate of 20-25 percent. It is concluded that the continuous flow DAF can be an efficient method for turbidity, COD, and bacterial removal from filter backwash water in Isfahan WTP. The turbidity and bacterial removal efficiencies in the coagulation method with sedimentation were reported to be up to 70 and 65 percent, while in this study, using DAF with PACl as coagulant, turbidity, COD, and bacterial removal efficiencies were as high as 97, 72 and 72 percent, respectively. A DAF system is, therefore, recommended for Isfahan WTP filter backwash water recovery and the designs and operation of this system should be a first concern for Isfahan WTP authorities.

Keywords: Filter Effluent, Backwashing, Dissolved Air Flotation.

۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قم.
fasele101@yahoo.com
۲- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
۳- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
۴- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست

1.Faculty Member, Environmental Health Dept., Ghom University of Medical Sciences, fasele101@yahoo.com
2.Assis. Prof. of Environmental Health, Isfahan University of Medical Sciences
3.Assoc. Prof. of Environmental Health, Isfahan University of Medical Sciences
4.Former Grad. Student of Environmental Health

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

از مهم‌ترین آلاینده‌های موجود در منابع آب سطحی، می‌توان به عوامل میکروبی (باکتری، پروتوزوئر، کرم، ویروس)، عوامل شیمیایی (مواد آلی، عناصر سمّی، مواد معدنی)، خواص ظاهری (کدورت، رنگ، بو و طعم) و مواد رادیواکتیو اشاره کرد. در خلال تصفیهٔ آب بسیاری از این آلاینده‌ها در بستر صافیها به دام می‌افتند. بهره‌برداری مناسب از صافیها، نیازمند عملیات شست‌وشوی معکوس است، که به طور متوسط و با توجه به کیفیت آب ورودی هر ۱۵ تا ۳۶ ساعت انجام می‌شود [۱]. حجم آب مورد نیاز در شست و شوی صافیها ۳ تا ۶ درصد از حجم آب ورودی به تصفیه‌خانه برآورد می‌شود که پساب حاصله عملاً از مدار تصفیه خارج می‌شود [۲]. از مشخصات این پساب می‌توان به کدورت ۱۵۰ تا NTU۲۵۰، مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی ۲ تا ۱۰میلی‌گرم در لیتر، مواد قابل تجزیه شیمیایی ۲۸ تا ۱۶۰میلی‌گرم در لیتر و pH حدود ۶/۷ تا ۷/۵ اشاره کرد [۳]. در فرآیندهای متداول تصفیه پساب حاصل از شست و شوی فیلترها، تنها به ذخیره‌سازی سادهٔ پساب، در لاگون‌ها اکتفا می‌گردد که پس از طی یک زمان ماند (ته‌نشینی ذرات)، به ابتدای تصفیه‌خانه برگشت داده می‌شود. در فرآیند ته‌نشینی، تنها مواد معلق کاهش می‌یابند و غلظت مواد محلول، ثابت می‌ماند. *ژیاردیا*[1] و *کریپتوسپوریدیوم*[2] از مهم‌ترین عوامل بیولوژیکی‌اند که در فرآیندهای متداول تصفیه پساب فیلترها کاهش چندانی نمی‌یابد. اطلاع از میزان آلودگی موجود در پساب فیلترها، نیاز به نوعی تصفیه را بیشتر نمایان می‌سازد. در این راستا مطالعاتی نیز در زمینه انواع روشهای اقتصادی تصفیه پساب فیلترها، به وسیله انجمن کارهای آبی امریکا[3]، در دست انجام است [۴]. بنا به توصیهٔ سازمان حفاظت محیط زیست امریکا[4]، جهت ممانعت از آلودگی منابع پذیرنده، نبایست پساب فیلترها را به طور مستقیم به این منابع تخلیه کرد [۱]. در حال حاضر حدود ۸۲ تصفیه‌خانهٔ آب در سطح کشور وجود دارد، که این تصفیه‌خانه‌ها مجموعاً حجمی بالغ بر ۶۹۸۶ میلیون مترمکعب آب را در سال تصفیه می‌نمایند. در صورتی که تنها ۲ درصد از این مقدار، صرف شست و شوی معکوس صافیها شود، سالیانه حدود ۱۳۹ میلیون مترمکعب آب، صرف شست‌وشوی صافیها می‌گردد. در صورتی که سرانه مصرف در ایران، به طور میانگین ۱۸۰ لیتر در نظر گرفته شود، این مقدار آب، معادل با آب مصرفی جمعیتی برابر با دو میلیون و یک صد هزار نفر خواهد بود، که به طور روزانه و با غلظت آلایندگی شدید دور ریز می‌شود [۴-۷]. هدف از این بررسی، بهبود کیفیت پساب فیلترها، و یا تصفیه این پساب تا حدی است، که بتوان آن را مجدداً به چرخهٔ آب ورودی به تصفیه‌خانه برگشت داد. یکی از روشهای نوین مورد استفاده در تصفیه پسابهای حاصل از فرآیندهای ته‌نشینی و شست‌وشوی معکوس فیلترهای تصفیه‌خانه‌های آب، روش شناورسازی با هوای محلول است. در این مطالعه عملکرد شناورسازی بر حذف عواملی چون کدورت، مواد قابل تجزیه شیمیایی، باکتری‌های هتروترف و کلیفرم‌ها از پساب ناشی از شست‌وشوی معکوس فیلترهای تصفیه خانه آب بابا شیخ‌علی اصفهان مورد بررسی قرار گرفته است.

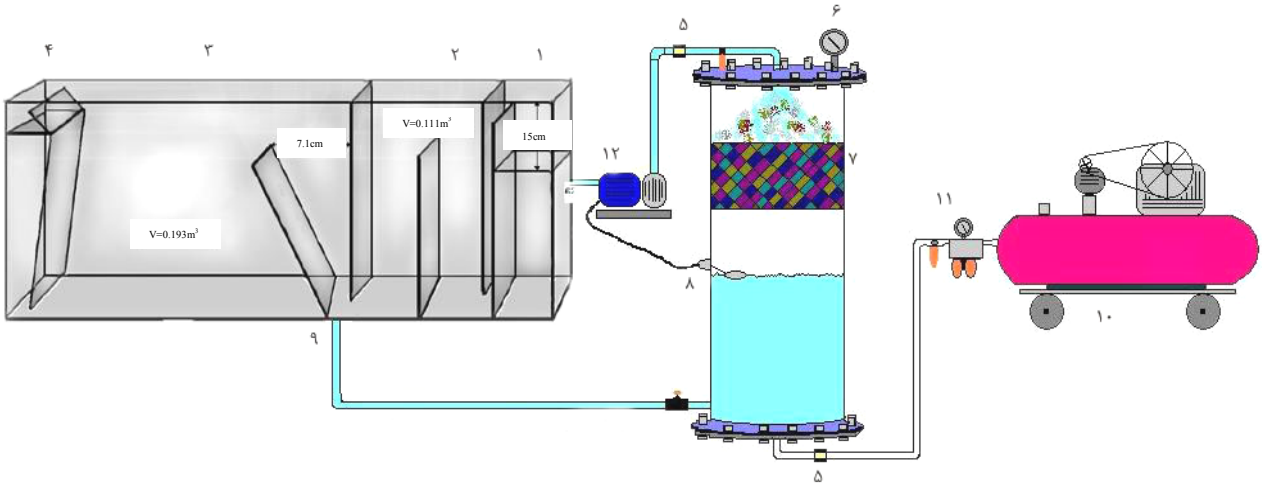
۲- مواد و روشها

در این مطالعه یک دستگاه پایلوت سیستم شناورسازی با هوای محلول شامل، یک مخزن تحت فشار، یک کمپرسور تأمین کننده هوای فشرده، یک مرحله اختلاط سریع به ابعاد (۱۵×۱۵×۲۰سانتی‌متر)، حجم ۱۰ لیتر و زمان ماند هیدرولیکی یک دقیقه، دو مرحله اختلاط آرام هر کدام به ابعاد (۶۲×۳۵×۲۶سانتی‌متر)، حجم ۱۱۱ لیتر و زمان ماند هیدرولیکی حدود ۱۱ دقیقه و یک مخزن شناورسازی به ابعاد (۶۲×۳۵×۹۶سانتی‌متر)، حجم ۱۹۳ لیتر و زمان ماند هیدرولیکی ۱۷-۱۲ دقیقه (باتوجه به نسبت جریان برگشتی) مورد استفاده قرار گرفت. جریان پساب فیلترها به صورت پیوسته به راکتور وارد شده و پس از طی مراحل، اختلاط سریع و اختلاط آرام، وارد مرحله شناورسازی می‌گردد. مخزن تحت فشار از جنس فولاد با ورقی به ضخامت ۶۰ میلی‌متر و به ارتفاع ۱۷۰ سانتی‌متر، وظیفه تأمین جریان اشباع‌سازی شده را دارد که جهت بهبود راندمان اشباع‌سازی آب با هوا، در ارتفاع ۱۳۰ سانتی‌متری کف مخزن، لایه‌ای از بستر (مدیا)، به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر تعبیه گردیده است. دیگر متعلقات این مخزن شامل یک پمپ با هد ۷۰ متر، شیر کنترل فشار، فشارسنج و دیگر شیرآلات است. ورود آب اشباع‌سازی شده به مخزن شناورسازی، تولید حبابهای بسیار کوچکی می‌نماید. حبابهای تشکیل شده، حین صعود به سطح آب، به ذرات لخته متصل شده و به همراه خود، باعث شناور شدن لخته‌ها می گردند. کف روبی لخته‌های شناور شده، باعث انتقال آنها به مخزن جمع کننده لجن می‌شود. پساب تصفیه شده نیز از طریق یک کانال مجزا، به خارج منتقل می‌گردد. شمای پایلوت مورد استفاده به همراه کلیهٔ متعلقات آن در این مطالعه در شکل ۱ ارائه گردیده است.

پس از تعیین دُز و pH بهینهٔ ماده منعقد کننده توسط آزمون جار، دو متغیر عمده در انجام آزمایش‌ها یعنی تغییر فشار در مخزن

[1] *Giardia*
[2] *Cryptosporidium*
[3] Water Works Association
[4] Environmental Protection Agency

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱- جزئیات پایلوت شناورسازی با هوای محلول با جریان پیوستهٔ مورد استفاده در این مطالعه شامل:

۱- حوضچهٔ اختلاط تند ۲- دو واحد حوضچه اختلاط کند ۳- حوضچهٔ شناورسازی ۴- مخزن جمع آوری لجن ۵- شیر یک طرفه ۶- فشار سنج ۷- بستر تماس هوا با آب در مخزن تحت فشار ۸- شناور خودکار ۹- شیر سوزنی متصل به دیفیوزر ۱۰- کمپرسور هوا ۱۱- رگلاتور ۱۲- پمپ سانتریفیوژ

اشباع‌سازی و نسبت حجم آب اشباع شده برگشتی، به سیستم اعمال گردید. در این مطالعه از تغییرات فشاری ۳ تا ۵ اتمسفر (با تناوب ۰/۵ اتمسفر) در مخزن تحت فشار و تغییرات ۵ تا ۲۵درصد (با تناوب ۵ درصد) جریان سیکل برگشتی استفاده شد. به عنوان مثال در فشار ۳ اتمسفر مخزن تحت فشار، جریان اشباع برگشتی در نسبتهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵درصد به مخزن شناورسازی وارد گردید و پس از پایدار شدن فرآیند، به ازای هر حالت، سه نمونه از قسمت ورودی و سه نمونه از قسمت خروجی برداشته شد. بر روی هر نمونه به صورت جداگانه آزمایش‌های مورد نظر انجام گردید. تکرار هر آزمایش به تعداد دفعات ۳ مرتبه باعث کاهش خطاهای انسانی و یا خطای ناشی از فرآیند بهره‌برداری می‌گردد. به منظور افزایش صحت آزمایش‌ها، میانگین نتایج به دست آمده در هر آزمایش جایگزین نتیجهٔ کلی گردید.

۳- نتایج

پس از طی مراحل طراحی و ساخت پایلوت، بهره‌برداری از آن به مدت سه ماه، در تصفیه‌خانه آب باباشیخ‌علی اصفهان انجام گردید. پس از راه‌اندازی دستگاه و پایدار شدن مشخصات جریان، ۲۵ نمونه به صورت لحظه‌ای از قسمت ورودی و همچنین ۲۵ نمونه از قسمت خروجی برداشته شد. در این مطالعهٔ بهره‌برداری از راکتور شناورسازی با هوای محلول بر اساس، فشار مورد استفاده در تانک تحت فشار و نیز درصد برگشت پساب تصفیه شده، به ۵ دوره زمانی تقسیم‌بندی می‌گردد. به دلیل بهینه‌سازی مخزن تحت فشار (تعبیه بستر پلاستیکی جهت بهبود اشباع سازی) و مناسب بودن دمای محیط فرض بر آن است که میزان انحلال هوا در آب سیکل برگشتی مخزن تحت فشار و همچنین نسبت هوا به جامدات در حوضچه شناورسازی در بهینه‌ترین حالت قرار دارد. این تحقیق تنها به جنبه فیزیکی (اتصال هوا به ذرات) و شیمیایی پرداخته و جنبه‌های میکروبی تحقیق را مد نظر قرار نمی‌دهد. از این رو میزان اکسیژن محلول اهمیت نمی‌یابد و تنها کل میزان هوای محلول برای ایجاد حداکثر حباب مورد توجه است. استانداردهای موجود در پایش فرآیندهای تصفیه آب، بر اساس تعیین میزان کدورت استوار است.

در این مطالعه، از ماده پلی آلومینیم کلراید[1] که به تازگی در تصفیه‌خانه آب اصفهان جایگزین آلوم شده است، به عنوان مادهٔ منعقد کننده استفاده شد. از مزایای این ماده می‌توان به عدم تأثیرپذیری آن از دما در حین لخته‌سازی اشاره کرد. میزان دوز مادهٔ منعقد کننده، با استفاده از آزمون جار تعیین گردید [۱]. بر این اساس و طبق روش پیشنهادی کاوامورا[2]، مقدار یک لیتر از پساب حاصل از شست و شوی معکوس فیلترها را در ظروف دو لیتری جار ریخته و پس از افزودن غلظت‌های مشخصی از ماده منعقد

[1] Polyaluminum Chloride (PACl)
[2] Kawamura

Archive of SID
www.SID.ir

کننده، دستگاه جار در سرعت ۳۸۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه و سپس ۳۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه تنظیم گردید. با توجه به متغیر بودن کیفیت پساب، در روزهای مختلف، (ناشی از کیفیت آب ورودی به تصفیه‌خانه و تناوب شست و شوی صافی است) مقادیر دُز بهینه مادهٔ منعقد کننده در گسترهٔ ۷ تا ۱۶ میلی‌گرم در لیتر تعیین گردید. دُز بهینهٔ مواد منعقد کننده در شناورسازی با هوای محلول ۳۰ درصد کمتر از روشهای ته‌نشینی ثقلی است [۸]. در حین شست و شوی معکوس فیلترها، کیفیت پساب خروجی با گذشت زمان تغییر می‌کند. در ۵ دقیقه ابتدای شست و شوی معکوس بیشترین مقدار کدورت، خارج می‌گردد و در کدورتهای بیشتر، آهن و منگنز بیشتری وجود دارد [۵]. به منظور کاهش اثر نوسانات شدید کدورت، در حین شست و شوی فیلترها بر فرآیند، از یک مخزن متعادل کننده جریان استفاده شد. نوع جریان ورودی به دستگاه، از نوع پیوسته بوده که به داخل پایلوت وارد می‌شود.

به دلیل عدم نیاز به تشکیل لخته‌های بزرگ در شناورسازی، زمان لخته‌سازی این روش نسبت به روشهای ته‌نشینی کمتر است. برای شناورسازی لخته‌های نوک سوزنی مورد نیاز است و زمان لخته‌سازی۵ تا ۲۰ دقیقه در نظر گرفته می‌شود [۹]. نتایج کلی حاصل از آزمایش‌های انجام شده در این مطالعه در جدول ۱ ارائه گردیده است. در این جدول، هر خانه نشان دهندهٔ سه نوبت نمونه‌برداری، برای هر حالت آزمایش است که نتایج حاصله به صورت میانگین و دامنهٔ تغییرات آن به صورت انحراف معیار نشان داده شده است.

۴- بحث

در روش شناورسازی نمی‌توان به طور مستقیم نسبت هوا به جامدات را کنترل نمود، بدین منظور با اعمال تغییرات در میزان فشار، نسبت سیکل برگشتی، و یا ترکیبی از هر دو مورد ذکر شده، این نسبت را کنترل کرد. بهینه کردن این دو نسبت باعث کاهش هزینه بهره‌برداری و نگهداری می‌شود. همچنین زمان ماند هیدرولیکی ۵ تا ۱۵ دقیقه در شناورسازی در مقایسه با ۴ ساعت در حوضچهٔ ته‌نشینی، باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود[۱۰]. اشباع‌سازی با مخازن حاوی بستر، نسبت به مخازن غیر بستردار، کارآمدتر است[۶]. مقدار معمول هوای اشباع، برای حذف مؤثر آبهای حاوی ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر جامدات معلق کافی است. در صورتی که غلظت جامدات بیش از مقادیر ذکر شده باشد، باید با توجه به مقادیر کدورت، مقدار حباب افزایش یابد[۱۱]. نتایج حاصل از حذف کدورت در روش شناورسازی با هوای محلول در شکل ۲ نشان می‌دهد که، تأثیر تغییر فشار در حذف کدورت، کمتر از تأثیر سیکل برگشت آب تحت فشار به مخزن شناورسازی بوده، و با افزایش سیکل‌های برگشت آب اشباع سازی شده (تا میزان ۲۵ درصد) افزایش حذف کدورت مشاهده می‌گردد. با این وجود، تأثیر تغییرات فشار، از ۳/۵ تا ۵ اتمسفر در حذف کدورت اندک است. می‌توان چنین استنباط نمود، که راندمان شناورسازی با هوای محلول مستقل از مقدار کدورت ورودی به پایلوت بوده و این فرآیند قادر است، کدورت را تا مقدار مشخصی کاهش دهد. همچنین با افزایش فشار و افزایش سیکل برگشت تا ۲۵ درصد، حذف کدورت افزایش می‌یابد. این میزان حذف کدورت در فشار ۳ اتمسفر و سیکل برگشت ۵ درصد، حداقل و به میزان ۸۱ درصد و در فشار ۵ اتمسفر و سیکل برگشت ۲۵ درصد، حداکثر مقدار و به میزان۹۷/۷درصد است. افزایش بیش از ۲۵ درصد آب اشباع شدهٔ برگشتی باعث کاهش راندمان آب خروجی می‌شود، که دلیل آن را می‌توان در افزایش سرعت جریان آب و شکستگی لخته‌ها و کاهش میزان شناوری لخته‌ها جست وجو کرد [۱۲]. شکل ۲ یافته‌های مربوط به حذف کدورت را در این مطالعه نشان می‌دهد.

همان گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، حداقل میزان حذف مواد آلی در سیکل برگشتی ۵ درصد، به میزان۴۲درصد و حداکثر آن در سیکل برگشتی ۲۵ درصد و به میزان ۷۱/۸درصد رخ داده است. در خلال تشکیل لخته، به جز کلوئیدها، دیگر مواد معلق و در مقادیر کمتر، مواد محلول موجود در آب، در درون لخته محبوس شده و به همراه لخته حذف می‌شوند. در این میان مواد آلی قابل تجزیهٔ شیمیایی نیز حذف می‌شوند [۱۳]. اختلاف چندانی در عملکرد سیکل برگشتی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد در حذف مواد آلی قابل تجزیه شیمیایی وجود ندارد. دلیل آن را می‌توان به علت وجود مواد آلی قابل تجزیه شیمیایی به صورت محلول نسبت به مواد آلی معلق نسبت داد. سیستم شناورسازی با هوای محلول قادر به کاهش مطلوب بسیاری از مواد موجود در آب است. در این میان، مواد معلق به اندازه قابل توجهی کاهش می‌یابند و مواد محلول، در مقایسه با مواد معلق، کاهش چشم‌گیری ندارند [۱۴].

در روش شناورسازی با هوای محلول بیشتر، حذف موادی با چگالی کمتر و یا نزدیک به چگالی آب، مد نظر قرار می‌گیرد. اغلب مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی و مواد قابل تجزیه شیمیایی چگالی کمتری از آب داشته و لذا تغییرات مطلوبی در حذف آنها دیده می‌شود. در این رابطه می‌توان به عملکرد بسیار مطلوب شناورسازی با هوای محلول در حذف *کریپتوسپوریدیوم* و *ژیاردیا* تا ۹۹/۹ درصد اشاره کرد [۱۵].

با توجه به شکل ۴، کمترین درصد حذف باکتری‌های هتروتروف، در سیکل برگشتی ۵ درصد، به میزان ۱۰درصد و بیشترین میزان حذف، در سیکل برگشتی ۲۵ درصد، به میزان ۷۳/۸ درصد مشاهده می‌شود. در سیستم شناورسازی با هوای

Archive of SID
www.SID.ir

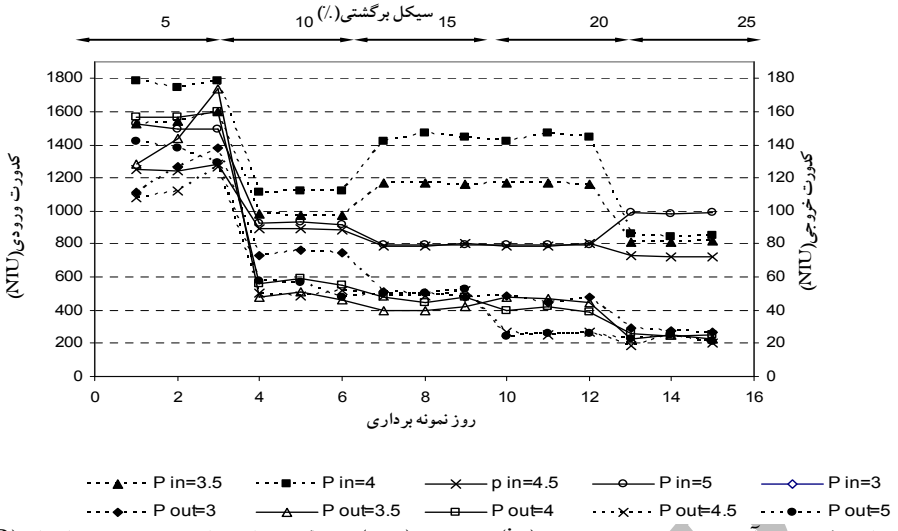
جدول ۱- نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده در ورودی و خروجی سیستم شناورسازی با هوای محلول با جریان پیوسته (انحراف معیار± میانگین)

نسبت برگشت	فشار(atm)	pH	کدورت (NTU)		COD(mg/L)		HPC*		MPN (N/100mL)			
									TC**		FC***	
		ورودی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی
	۳	۸±۰/۰۵	۱۴۳۱±۲۰	۱۲۵ ±۱۳	۱۳۶ ± ۱۰	۶۵ ±۳	۳۶۶ ± ۲۰	۲۲۶ ± ۲۸	۳۸۵ ±۶۱۹	۱۵۴±۲۵۶	۱/۸ ± ۱	۰
	۳/۵	۸±۰/۰۱	۱۵۵۷ ±۳۸	۱۴۸ ±۲	۱۷۳ ± ۳۸	۷۵ ± ۳	۲۲۰ ± ۲۶	۲۵۰ ± ۲۰	۳۳ ± ۷۴	۴/۸±۲	۱/۷±۱.۱	۰
٪۵	۴	۸±۰/۰۲	۱۷۷۳ ±۲۴	۱۵۸ ±۲	۱۸۷ ± ۹	۷۵ ± ۲.۵	۲۹۲ ± ۲۲	۲۹۶ ± ۲۵	۱۴۱ ± ۷۳	۶/۷±۲/۸	۶ ± ۸	۱/۲±۲
	۴/۵	۷/۹±۰/۰۴	۱۲۵۷ ±۲۱	۱۱۵ ± ۱۰	۱۵۰ ± ۳۰	۶۹ ± ۱	۴۲۰ ± ۲۰	۳۱۳ ± ۱۵	۲/۷ ± ۷۰	۶/۹± ۳/۷	۱۰ ±۱۱	۰
	۵	۸ ± ۰	۱۵۰۴ ± ۷	۱۳۶ ± ۷	۱۵۷ ± ۶	۷۴ ± ۱	۳۶۷ ± ۲۳	۲۴۰ ± ۱۷	۱۸۱ ± ۷۷	۸/۵ ± ۲	۴/۵±۴/۵	۱/۲±۲
	۳	۸±۰/۰۶	۱۱۶۹ ± ۰	۷۷ ± ۴	۱۳۱ ± ۳	۵۶ ± ۲	۳۴۷ ± ۳۰	۲۶۷ ± ۱۱	۳۵ ± ۱۰	۶ ± ۲	۲/۴ ± ۲	۰
	۳/۵	۸±۰/۰۶	۹۷۷ ± ۷	۴۸ ± ۲	۲۰۸ ± ۹	۶۷ ± ۲/۶	۳۲۳ ± ۳۰	۱۴۳ ± ۲۱	۳۵ ± ۱۰	۱۱ ± ۳	۳/۴±۰/۳	۰
٪۱۰	۴	۸±۰/۰۶	۱۱۱۷ ± ۴	۵۶ ± ۲	۲۶۵ ± ۲۲	۷۳ ± ۴	۳۶۳ ± ۲۵	۲۷۳ ± ۱۵	۱۱۲ ± ۳۳	۱۴ ± ۵	۴/۸± ۲	۱±۱/۷
	۴/۵	۸ ± ۰	۸۹۰ ± ۳.۵	۵۰ ±۱	۱۸۳ ± ۳	۶۵ ± ۳	۳۸۳ ± ۶	۲۸۷ ± ۱۱	۲۳۰ ± ۱۷	۲۳ ± ۱۰	۷/۸ ± ۱	۱/۲±۲
	۵	۸±۰/۰۶	۹۲۷ ± ۵.۵	۵۴ ± ۵	۱۵۳ ± ۴	۶۴ ± ۲	۳۵۰ ± ۱۰	۲۶۷ ± ۲۰	۳۱۷ ± ۲۲	۸/۵ ± ۲	۲/۴± ۲	۰
	۳	۸ ± ۰	۱۱۴۶ ± ۹	۵۰ ±۱	۱۱۴ ±۰/۵	۴۸ ± ۳/۲	۴۴۷ ± ۶	۱۱۷ ± ۱۵	۷۱ ± ۲۲	۶/۶ ± ۲/۷	۲/۲±۱/۹	۰
	۳/۵	۷/۹ ± ۰	۱۱۶۷ ± ۴	۴۰ ±۱	۱۱۷ ±۰/۶	۴۱ ± ۱	۳۷۰ ± ۱۰	۱۶۳ ± ۲۵	۷۸ ±۱۰/۴	۳/۶±۳/۶	۲/۴ ±۲	۰
٪۱۵	۴	۷/۹ ± ۰	۱۴۴۴ ± ۵	۴۷ ± ۲	۱۴۴ ±۳/۵	۴۹ ± ۴	۳۴۰ ± ۱۰	۱۶۰ ± ۲۶	۲۳ ± ۹/۷	۳/۶ ± /۶	۲/۴ ± ۲	۰
	۴/۵	۸±۰/۰۶	۷۹۲ ± ۹	۵۰ ± ۲	۸۰ ± ۲	۳۰ ± ۱/۵	۳۸۰ ± ۱۰	۱۶۳ ± ۶	۱۶۸ ±۸/۳	۶ ± ۴/۳	۰	۰
	۵	۸±۰/۰۶	۷۹۶ ± ۲	۵۱ ± ۲	۱۰۰ ±۷/۵	۴۵ ± ۲	۲۹۰ ± ۱۰	۱۳۳ ±۱۵۰	۱۴۷ ±۵/۴	۳/۴±۰/۴	۱/۲ ± ۲	۰
	۳	۸ ± ۰	۱۱۴۷ ±۳	۴۷ ± ۲	۱۵۶ ± ۳	۴۹ ± ۲	۳۶۷ ± ۳۰	۱۱۷ ± ۶	۱۵ ± ۶	۱/۲ ± ۲	۳/۲±۰/۳۲	۰
	۳/۵	۷/۹±۰/۰۶	۱۱۶۷ ± ۴	۴۷ ± ۱/۵	۲۱۸ ± ۳	۴۹ ± ۲	۳۵۰ ± ۲۶	۱۱۳ ± ۱۵	۲۶ ± ۱/۱	۳/۶ ± ۳/۶	۲/۴ ± ۲	۰
٪۲۰	۴	۸±۰/۰۶	۱۴۴۵ ± ۵	۴۰ ± ۱/۵	۱۴۴ ±۲/۵	۴۰ ± ۱/۵	۳۴۳ ± ۲۵	۹۷ ± ۱۱	۳۸ ± ۸	۱/۲ ± ۲	۱/۲± ۲	۰
	۴/۵	۷/۸±۰/۰۶	۷۹۲ ± ۹	۲۶ ± ۱	۸۱ ± ۲	۲۶ ± ۱	۲۹۷ ± ۳۰	۹۷ ± ۱۱	۳۵ ± ۱۶	۳/۶ ± ۳/۶	۳/۶±۳/۶	۰
	۵	۷/۸ ± ۰	۷۹۶ ± ۲	۲۵ ± ۱	۸۱ ±۴	۲۵ ± ۱	۲۵۷ ± ۲۱	۹۳ ± ۶	۱۴/۴± ۵/۴	۳/۲ ± ۱/۹	۰	۰
	۳	۷/۹± ۰	۷۶۹ ± ۱۴	۲۸ ± ۱	۷۷ ±۲	۳۰ ± ۲	۳۹۳ ± ۲۳	۱۰۷ ± ۱۵	۵۲ ± ۲۰	۴/۶ ± ۲/۳	۰	۰
	۳/۵	۷/۸±۰/۰۶	۸۱۳ ± ۴	۲۴ ± ۱	۱۸۶ ± ۶	۴۵ ± ۱	۳۶۷ ± ۲۵	۹۷ ± ۱۵	۳۲ ±۱۱/۶	۳/۶ ±۳/۶	۰	۰
٪۲۵	۴	۷/۹ ± ۰	۸۵۳ ± ۵	۲۵ ± ۱	۱۸۱ ± ۶	۴۱ ±۳	۳۷۷ ± ۶	۱۰۰ ± ۱۷	۱۳/۷ ±۲/۳	۶ ± ۲	۱/۲ ± ۲	۰
	۴/۵	۷/۸±۰/۰۶	۷۲۶ ±۵/۶	۲۱ ± ۳	۱۸۶ ±۴	۴۰ ±۲	۳۱۳ ± ۶۸	۸۷ ± ۶	۱۵/۳± ۴/۵	۳/۶	۰	۰
	۵	۷/۹±۰/۰۶	۹۸۸ ± ۴	۳۳ ±۲	۹۷ ±۳	۲۹ ± ۲	۳۶۷ ± ۳۲	۱۰۷ ± ۶	۲۲/۳± ۷	۶ ± ۲	۰	۰

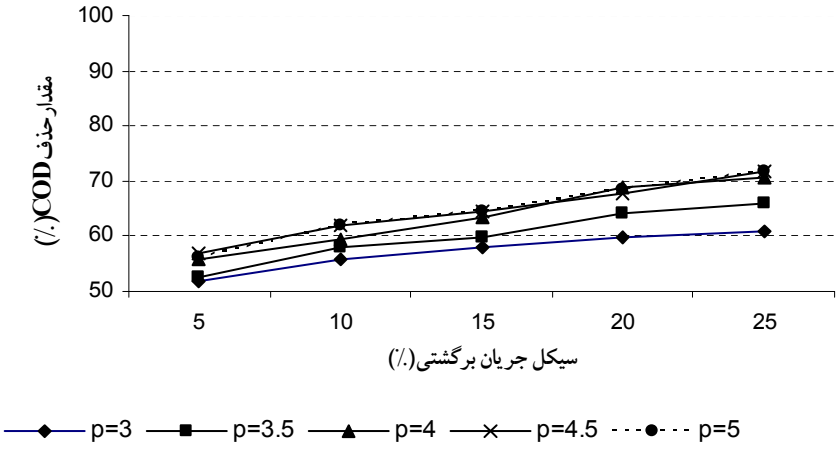
*Heterotrophic Plate Count **کل کلیفرم ***کلیفرم مدفوعی

Archive of SID

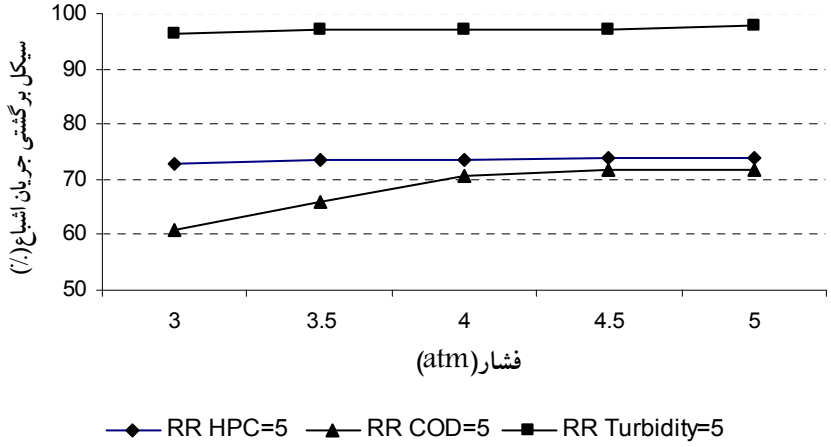
www.SID.ir



شکل ۲- مقایسه کدورت آب شست و شوی ورودی(in) وخروجی(out) در راکتور با جریان پیوسته در فشارهای(P ،اتمسفر) بهره‌برداری مختلف بر حسب روزهای نمونه‌برداری



شکل ۳- میانگین راندمان حذف مواد آلی قابل تجزیه شیمیایی (بر حسب COD)در فشارهای مورد مطالعه (P ،اتمسفر) در برابر نسبت برگشت‌های مختلف جریان اشباع



شکل ۴- مقایسه میزان حذف بهینه مواد آلی قابل تجزیه شیمیایی، کدورت و باکتری‌های هتروتروف (برحسب درصد)، در برابر فشارهای اشباع‌سازی مورد مطالعه

www.SID.ir

محلول با افزایش حذف کدورت، مقدار حذف باکتری‌های هتروتروف نیز افزایش می‌یابد. فشارهای بالاتر به دلیل تولید حباب- ذره‌های کوچکتر، باعث افزایش میزان حذف باکتری‌ها می‌شود. از آنجایی که اندازهٔ اکثر باکتری‌ها در محدوده مناسب جهت حذف از طریق شناورسازی به صورت منفرد نمی‌باشد، تولید لخته و حذف باکتری‌ها به همراه لخته ضروری است. لخته‌های مناسب برای حذف با روش شناورسازی با هوای محلول با جریان پیوسته، شامل لخته‌های نوک سوزنی با قطر ۱۰ تا ۳۰ میکرون است[۱۶].

در روش شناورسازی با هوای محلول بایستی از تشکیل لخته‌های کوچکتر از ۱ میکرون اجتناب نمود، چون ذرات با این اندازه در روش شناورسازی با هوای محلول، کمتر حذف می‌شوند. در این مطالعه، باکتری‌های کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی در حداقل مقدار خود به ترتیب ۶۷/۲ و ۵۰/۷ درصد و در حداکثر مقدار به ترتیب ۹۹/۷ و ۹۹/۹ درصد نسبت به پساب ورودی حذف گردید. با وجود این، فرآیند شناورسازی قابل مقایسه با فرآیندهای گندزدایی در حذف عوامل میکروبی نیست. دلیل راندمان بسیار عالی حذف عوامل کلیفرمی در روش شناورسازی با هوای محلول، اندک بودن کلیفرم‌ها در آب ورودی به پایلوت عنوان گردیده است. اندک بودن عوامل میکروبی در پساب فیلترها، به دلیل گندزدایی آب ورودی به تصفیه‌خانه آب اصفهان با ازن است.

۵- نتیجه‌گیری

سیستم شناورسازی با هوای محلول قادر است، کدورت بالای NTU ۱۰۰۰، مواد آلی قابل تجزیه شیمیایی (COD) و باکتری‌های هتروتروف را در شرایط بهینه به ترتیب، به میزان ۹۷/۷، ۷۱/۸ و ۷۳/۸ درصد از پساب حاصل از شست و شوی فیلترهای تصفیه‌خانه آب اصفهان حذف نماید.

شرایط بهینه در بهره‌برداری از سیستم شناورسازی با هوای محلول جهت تصفیه پساب شست و شوی فیلترهای تصفیه‌خانه آب اصفهان، در فشار ۴ اتمسفر و میزان برگشت ۲۰ درصد جریان آب اشباع شده به دست آمد.

شرایط بهینه در بهره‌برداری از سیستم شناورسازی با هوای محلول جهت تصفیه پساب شست و شوی فیلترهای تصفیه‌خانه آب اصفهان، از فشار ۴ اتمسفر و میزان برگشت ۲۰ درصد جریان آب اشباع به دست آمد.

شرایط بهره‌برداری بهینه برای حذف کدورت در فشار ۴/۵ تا ۵ اتمسفر و میزان برگشت ۲۰ تا ۲۵ درصد، برای حذف مواد آلی قابل تجزیه شیمیایی(COD)، در فشار ۴/۵ اتمسفر و میزان سیکل برگشتی آب اشباع ۲۵ درصد و برای حذف باکتری‌های هتروتروف، در فشار ۴ تا ۵ اتمسفر و میزان جریان سیکل برگشتی آب اشباع ۲۵ درصد به دست آمد.

۶- مراجع

1-Kawamura, S. (2000). *Integrated design and operation of water treatment facilities*, John Willey and Sons. Inc.

2- Huben, H. N. (1995). *Water treatment*, 2nd Ed., American Water Works Association.

3- Valade, M. T., Edzwald, J. k., Tobiason, J. E., Dahlquist, J., Hedberg, T., and Amato, T. (1995). "Particle removal by flotation and filtration: Pretreatment effects." *J.AWWA.,* 91(9), 35-47.

4- Eades, A., and Bates, B. J. (2001) "Treatment of spent filter backwash water using dissolved air flotation." *J.Water Science and Technology,* 43 (8), 59- 66.

5-<http://www.epa.gov/ogwdw/mdbp/pdf/filterbackwash/fbrr _techguidance.pdf.> (Feb, 5, 2005).

6- Schofield, T. (2001). "Dissolved air flotation in drinking water production." *J.Water science and technology*, 43 (8), 9-18.

7-Web Pages and On-line Material: http://www.moe.org.ir

8-HDR Engineering. (2001). Handbook of public water system, 2nd Ed., John Willey, USA.

9- Edzwald, J. K., Tobiason, J. E., Amato, T., and Maggi, L. (1999). "Integrating high–rate DAF technology into plant design." *J.AWWA*. 91 (12), 41-53.

10- Malley, J. P., and Edzwald, J. K. (1991). "Laboratory comparison of DAF with conventional treatment." *J.AWWA,* 83 (9), 56-61.

11- Kiura, H. J. (2001). "Development of dissolved air flotation technology from the first generation to the newest (Third) one (DAF) in turbulent flow condition." *J.Water Science and Technology*, 1,.43, (8)., 1-7.

12- Edzwald J. K., Walsh, J. P., Kaminski, G. S., and Dunn, H., (1992). "Flocculation and air requirements for dissolved air flotation." *J. AWWA,* 84 (3), 92-99.

13- Lundh, M., Jonsson, L., and Dahlquist, J. (2002). "The Influence of contact zone configuration on the flow structure in a dissolved air flotation pilot plant." *J.Water Research,* 36., 1582-1595.

14- Peavy, S. H., Rowe, R. D. (1985) *Environmental engineering,* McGraw – Hill Publications.

15- Menge, J. G., Haarohoff, J., and Konig, E. (2001) "Occurrence and removal of giardia and cryptosporidium at the goreangab reclamation plant." *J.Water Science and Technology*, 1 (1), 97-106.

16- Edzwald, J. K., Walsh, J.P., Kaminski, G. S., and Dunn, H. (1992). "Flocculation and air requirements for dissolved air flotation." *J.AWWA. March*, 92 – 100.

Archive of SID

www.SID.ir