سال اول، شماره ۲، شهریور ۱۳۹۳، صفحات ۲۳ تا ۲۸
نشریه آب و توسعه پایدار

2014, Vol.1, No.2, Pages 23 to 28
Journal of Water and Sustainable Development

رویکرد جدید در کاهش طعم و بو از آب سدکارده با استفاده از سامانه‌ی ترکیبی فراصوت، سوپرهواده و جذب سطحی

مطالعه موردی: تصفیه‌خانه‌ی آب شماره‌ی ۱ مشهد

بابک مهرآوران[۱*]، کاظم اسماعیلی[۲]
۱- دانشجوی دکتری مهندسی آب سازه‌های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد، ناظر بهره‌برداری شبکه‌های فاضلاب شرکت آب و فاضلاب مشهد.
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.
*(نویسنده مسئول، E-Mail: Babak_Mehravaran@yahoo.com)
تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۵
تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۲۳

چکیده

ژئوسمین و دومتیل ایزوبورتئول[۱] عوامل رایج ایجاد بو در آب هستند. در تصفیه‌خانه‌های آب اغلب از فرآیندهای متعارف هوادهی، انعقاد، لخته‌سازی، کلرزنی یا ازن‌زنی و جذب سطحی به عنوان عوامل پیشگیرانه در کاهش بو استفاده می‌شود. ولی هریک از این فرآیندها به تنهایی قادر به حذف کامل بو نیستند. بوی ماهی، علف و لجن به شدت تابع رشد زیاد جلبک‌ها در ماه‌های گرم است. در تصفیه‌خانه‌ی شماره‌ی ۱ مشهد، ژئوسمین از عوامل عمده تولید بو می‌باشد که منبع آن عمدتاً در اثر ورود فاضلاب‌های شهری و روستایی، صنعتی، پساب‌های کشاورزی، حاصلخیزکننده‌ها، ورود مواد مغذی به آب سدکارده و به تبع آن رشد جلبک در فصل گرما است. این پژوهش به عنوان تنها سامانه ترکیبی علاوه بر توجیه فنی، نسبت به روش‌های متداول توجیه اقتصادی نیز داشته و با توجه به شرایط عملیاتی تصفیه‌خانه‌ی آب شماره‌ی ۱ مشهد، به عنوان تنها طرح قابل اجرا می‌باشد. در این تصفیه‌خانه روش ترکیبی حذف جلبک از طریق امواج فراصوت توسط سیستم مافوق صوت به همراه هوادهی عمقی انجام شده است. در هوادهی عمقی توسط سوپرهواده، آلاینده‌ها با فرآیند دو فازیِ آب و هوا و با جریان صعودی هوا حذف می‌شوند. سپس زلال‌سازی و تصفیه نهایی با کمک روش جذب سطحی و با نصب فیلترهای مرکب از زغال و کربن فعال در محل سرریز و خروجی پولساتورها انجام می‌شود. این فرآیند که برای اولین بار پیشنهاد می‌شود، می‌تواند تا ۹۵٪ آلودگی مربوط به ژئوسمین را در آب کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: هوادهی عمقی، جذب سطحی، ژئوسمین، فراصوت، تصفیه آب.

A New Approach to Reducing Water Odor and Taste in Kardeh Dam Using a hybrid ultrasonic, super aerator and absorption system

Case study: Mashhad Water Treatment Plant No. 1

B.Mehravaran [1*], K.Esmaili [2]
1- PhD student of Engineering Water Structures, Ferdowsi University of Mashhad, Supervisor of wastewater networks maintenance, Mashhad Water and Wastewater Co, Iran. 2-Associate Professor of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
* (Corresponding author Email: Babak_Mehravaran@yahoo.com)
Received: 27-10-2013
Accepted: 17-07-2014

Abstract

Geosmin and MIB are the common factors causing odor in the water. Water treatment plants usually employ the conventional processes such as aeration, coagulation, flocculation, chlorination or ozonation and adsorption as preventive measures to reduce water odor. But each of these processes alone cannot completely remove the smell. The smell of fish, grass and mud greatly depends on the excessive growth of algae in warm seasons. Geosmin is the major cause of water odor in Mashhad water treatment Plant No. 1, which is usually formed when rural, urban and industrial wastewater as well as agricultural effluents, fertilizers and nutrients enter Kardeh Dam and cause excessive growth of algae in hot seasons. As the only existing hybrid system, the present research is financially justifiable in addition to being technically feasible and considering the operational conditions of Mashhad Water Treatment Plant No.1, is the only executable plan. This hybrid water treatment plant employs an ultrasonic system and deep aeration to remove algae. In the deep aeration process using super aerators, pollutants are eliminated in a two-phase air and water process with ascending air currents. Clarifying and final purification is hen carried out with the help of the absorption method and combined charcoal and activated carbon filters installed at the spillway and pulsator outlets. This is the first time the process is proposed and it is able to provide up to 95% reduction in geosmin related pollutions.

Keywords: Deep aeration, Absorption, Geosmin, Ultrasonic, Water treatment.

مقدمه

افزایش مواد مغذی باعث رشد بیش از حد جلبک‌ها در منـابع آب، شکوفایی جلبک‌ها و در نهایت باعث پدیده غنی‌شدن و بروز پدیده گندیدگی در منابع آب (اتروفیکاسیون)[۲] می‌شود. به منظور کنترل جلبک‌ها در منابع آب و برکه‌ها، می‌تـوان از فن‌آوری‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی اسـتفاده کـرد. یکی ازمهمترین روش‌های کنترل فیزیکی جلبک‌ها، استفاده از صافی‌های مشبک ریز و تسـمه‌ای بـا پوشـش کاغـذی برای پوشش برکه‌ها و مخازن است. استفاده از این روش در سطح گسترده به دلیل محدودیت‌های موجود امکان‌پذیر نمی‌باشد. فرآینـدهای ترسیب شیمیائی، انعقـاد و لختـه‌سـازی، استفاده از سولفات مس، کلر و پرمنگنات پتاسیم، از مهمترین روش‌های شیمیایی کنترل جلبک‌ها هستند. همچنین می‌توان به جذب سطحی با زغال فعال اشاره نمود. در استفاده از روش‌های شیمیایی نیز محدودیت‌هایی وجود دارد؛ بعنوان مثال، استفاده از پرمنگنات پتاسیم به دلیل حلالیت کم، هزینه بالا و ایجاد تغییر رنگ محدودیت ایجاد می‌کند. اثر کلر نیز با قرارگرفتن در معرض خورشید از بین می‌رود. از مهمترین روش‌های بیولوژیکی نیز استفاده از ماهی‌های گیاه‌خوار و سایر بی‌مهرگان رایج است. در موارد استفاده از این روش‌ها گاهی مشاهده می‌شود که مرگ و میر ماهی‌ها باعث ایجاد نتایج معکوس می‌گردد و میزان بار آلی را به شدت افزایش می‌دهد. امروزه به دلیل وجود آلودگی‌های طبیعی و مصنوعی آب (در محل سدها و یا در مسیرهای انتقال آب به تصفیه‌خانه)، همواره کیفیت آب آشامیدنی رو به کاهش بوده و از طرفی افزایش تقاضا برای آب با کیفیت بالا، توجیه اقتصادی لازم را برای ایجاد فن‌آوری‌های مدرن و ارزان قیمت به منظور حذف جلبک‌های سمی از آب آشامیدنی فراهم کرده است. روش الکتروکواگولاسیون[۳] از جمله روش‌های جدید در ظرفیت‌های پائین می‌باشد. این فرآیند یک روش الکترولیزی است که در اثر ولتاژ بین الکترودهای آند و کاتد و برقراری جریان الکتریکی، کواگولانت در محل و از الکترودها تولید می‌شود. مرتضوی (۱۳۹۲) در پژوهشی کارایی فرآیند الکتروکواگولاسیون با الکترودهای میله‌ای آلومینیومی را در شرایط مختلف برای حذف جلبک‌های سمی سبز- آبی از آب مصرفی و آشامیدنی بررسی نموده است. سامانه ترکیبی پیشنهادی فراصوت سوپرهواده و جذب سطحی دارای دو گام اساسی است. با استفاده از این سامانه در گام اول توسط امواج فراصوت، جمعیت جلبک‌های سبز-آبی کاهش یافته، ضمن کاهش سموم آزاد شده از آنها، از میزان ذرات معلق، کدورت و بو و طعم آب کاسته می‌شود. در واقع در این مرحله منبع بو و سمیت ایجاد شده که ناشی از جلبک‌های سبز-آبی است، تضعیف می‌شود. سپس از فرآیند هوادهی با سوپر هواده استفاده شده تا متابولیت‌های منتشر شده به فاز هوا منتقل شود. این نوع هوادهی نیز به عنوان مکمل فرآیند قبلی در کاهش طعم و بوی آب می‌باشد. ترکیبات بودار آب اغلب به صورت ترکیبات فرار هستند. معمولاً جهت حذف ترکیبات بودار از سیستم‌های هوادهی استفاده می‌شود. برای افزایش راندمان سیستم هوادهی، اختلاط و زمان ماند دو عامل مهم هستند که باید در نظر گرفته شود. نقش هوادهی علاوه بر اکسیداسیون ترکیبات آلی بودار، شناورسازیِ ترکیبات کلوئیدی و لاشه‌های جلبک‌های مرده می‌باشد. از جمله دیفیوزرهای هوادهی عمقی که بصورت دو فازی عمل کرده و فرآیند دفع را بطور کامل انجام می‌دهد، سوپرهواده‌ها هستند. با توجه به تحقیقاتی که در دانشگاه Brown در سال ۲۰۰۷ انجام پذیرفته، برای حذف ژئوسمین فرآیند هوادهی عمقی پیشنهاد شده است؛ چرا که بهترین راندمان حذف، زمانی امکان‌پذیر است که ضریب انتقال جرم از فاز مایع به فاز گاز (هوا) توسط فرآیند دفع و به صورت دوفازی انجام پذیرد. این نظریه با عملکرد سوپرهواده انطباق کامل دارد. در نهایت با استفاده از فرآیند جذب سطحی توسط فیلترهای ثقلی زغال و کربن فعال در خروجی پولساتورها فرآیند حذف ژئوسمین با راندمان بالا انجام می‌پذیرد. در روش ارائه شده ضمن حفظ اکوسیستم طبیعی راندمان بالایی در حذف بو و طعم از آب تامین خواهد گردید.

خواص فیزیکی و شیمیائی ژئوسمین و دومتیل ایزوبورنئول

یکی از معضلات موجود در مورد کلرزنی آب در تصفیه‌خانه‌ها این است که کلر آلودگی میکروبی را حذف می‌کند؛ ولی در مورد حذف آلودگی شیمیایی موثر نمی‌باشد و موادآلی را اکسید می‌کند. از طرفی کلر باعث از بین رفتن غشای سلولی و آزادسازی ژئوسمین می‌گردد. در واقع ترکیبات تولیدی از جلبک‌های سبز - آبی مواد شیمیایی و آلی هستند که از فعالیت متابولیتی یا فرآیند دفعی جلبکی منشأ می‌گیرند. با بررسی‌های انجام شده در آزمایشگاه آب مشهد، دو نوع از متابولیت‌هایی که در تصفیه خانه آب شماره ۱ ایجاد بو می‌کنند، مشخص شده که در جدول (۱) ارائه شده است. میزان کاهش بار آلی رابطه مستقیم با کاهش مواد دفعی از جلبک‌ها دارد و افزایش متابولیت‌ها بطور فزآینده‌ای، میزان را افزایش می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات شیمیائی وفیزیکی ژئوسمین و دومتیل ایزوبورتئول(آزمایشگاه آب مشهد)

نشانه	فرمول شیمیایی	وزن مولکولی	نوع بو	میزان غلظت آستانه بو (ng/l)
ژئوسمین	$OH_{22}C_{12}$	۱۸۲	خاک و کپک	۱۰
دومتیل ایزوبورتئول	$H_{22}C_{11}O$	۱۶۸	تندخاك-فلفلي	۲۹

مواد و روش‌ها

سد کارده در کیلومتر۲۰ جاده مشهد به کلات بر روی رودخانه‌ی کارده قراردارد که توانایی ذخیره ۴۴ میلیون مترمکعب آب را دارد. آب این سد از طریق یک خط لوله به قطر ۸۰۰ میلی متر به تصفیه‌خانه آب شماره ۱ مشهد جهت تصفیه منتقل می‌شود. خصوصیات آب ورودی به تصفیه‌خانه به شرح جدول (۲) می‌باشد. مقادیر این جدول بصورت میانگین می‌باشد.

جدول ۲- مشخصات آب ورودی به تصفیه‌خانه شماره ۱ مشهد (نتایج آزمایشگاه آب مشهد)

پارامتراندازه‌گیری	واحد	مقدار میانگین
Turbidity	NTU	۲/۲۱
TSS	mg/l	۳/۴۹
pH	-	۷/۸۲
EC	µmohs/cm	۶۴۰

حذف جلبک توسط سیستم فراصوت

از دستگاه‌های ضد جلبک و خزه معمولاً برای موارد ذیل استفاده می‌شود: کشندگی جلبک و خزه، جلوگیری از رشد جلبک و خزه در سیستم‌های تصفیه آب و حوضچه‌های آرامش، جلوگیری از انسداد پمپ‌ها، آبفشان‌ها و لوله‌ها و از بین بردن باکتری‌های مضر و تخریب‌کننده (Shimizu، ۲۰۰۳). در شکل (۱) شماتیک نحوه بکارگیری سیستم فراصوت در حوضچه آرامش تصفیه‌خانه‌های آب ارائه گردیده است.

شکل ۱- نصب دستگاه فراصوت جهت حذف جلبک

بر اساس بررسی‌های انجام شده و بیشینه موجود که منطبق بر فرکانس‌های مناسب سیستم فراصوت برای حذف جلبک‌های سبز-آبی می‌باشد، که نمونه عینی و عملی آن در تصفیه‌خانه آب اهواز مورد استفاده قرارگرفته و عملکرد مناسبی داشته است، و نیز پیشنهاد نمایندگی شرکت سازنده LG سونیک، سیستم فراصوت با مشخصات ذیل برای تصفیه‌خانه آب شماره ۱ مطابق جدول (۳) پیشنهاد می‌گردد.

جدول ۳- مشخصات پیشنهادی سیستم فراصوت جهت نصب در تصفیه‌خانه‌ی آب شماره ۱ مشهد

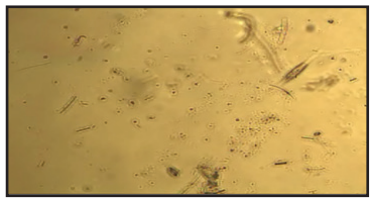
پارامتر	واحد	مقدار میانگین
توان	وات	۳۰۰
فرکانس	کیلو هرتز	۳۹
ابعاد جعبه کنترلی	میلیمتر	۲۴۰×۱۴۲×۱۴۹

حداقل مقدار اندازه‌گیری شده ژئوسمین در آب خام سد کارده ۰/۰۱ میکروگرم در لیتر است. این میزان در فصل گرم سال تا مقدار ۲/۰۵ میکروگرم در لیتر افزایش نشان می‌دهد که با استفاده از سیستم ترکیبی، عملاً ژئوسمین در آب خروجی از تصفیه‌خانه آب مشاهده نخواهد شد (آزمایشگاه آب مشهد). بررسی‌های مقدماتی در مورد بکارگیری روش پیشنهادی در مورد نمونه‌ای از آب رودخانه کارون جدول (۴) می‌تواند گویای مناسب بودن روش فوق برای رسیدن به هدف کاهش بو و طعم آب در تصفیه‌خانه مشهد باشد. مشاهدات میکروسکوپی نمونه‌ی حاوی جلبک‌های سبز - آبیِ زیر لامل و شمارش جمعیت کلروفیسه[۴] (که توسط محقق (نویسنده) با استفاده از میکروسکوپ الکترونیکی و از نمونه آب کارون انجام پذیرفته است) بیانگر آن می‌باشد که راندمان حذف جمعیت کلروفیسه بعد از استفاده از دستگاه فراصوت تا ٪۱۰۰ نیز امکان‌پذیر می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج حاصل از شمارش میکروسکوپ الکترونی در حذف و کاهش جمعیت کلروفیسه

شماره آزمون	نمونه قبل از التراسونیک	نمونه بعد از التراسونیک
۱	۵	۱
۲	۳	۰
۳	۶	۲
۴	۴	۱

شکل (۲) شماتیک جمعیت کلروفیسه را زیر لامل نشان می‌دهد.



شکل۲- شماتیک جمعیت کلروفیسه وسیانوفیسه زیر میکروسکوپ

ابعاد حوضچه‌ی ۶۰۰ تصفیه‌خانه‌ی شماره‌ی ۱ مشهد ۱۵×۱۰×۴ متر برای دبی عملیاتی ۲۰۰۰ مترمکعب بر ساعت می‌باشد. زمان ماند هیدرولیکی آن برابر ۰/۳ (۲۰۰۰÷۶۰۰) ساعت (معادل ۱۸ دقیقه)است. با توجه به اینکه برای عملکرد مناسب سیستم اولتراسونیک زمانی معادل ۱۵-۳۰ دقیقه لازم می‌باشد، با در نظر گرفتن حوضچه با ابعاد بالا امواج فراصوت فرصت کافی برای عملکرد مناسب خواهند داشت.

شرایط عملیاتی تصفیه‌خانه‌ی آب شماره‌ی ۱ مشهد

در جدول (۵) شرایط عملیاتی تصفیه‌خانه‌ی شماره‌ی ۱ مشهد و نیز میزان هوای مورد نیاز ارائه شده است. با توجه به دبی عملیاتی و میزان هوای مورد نیاز جهت اکسیداسیون بار آلی، به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$BOD_5 = 48000 \times 18 \times 10^{-3} = 864\ Kg/day$

حداقل هوای مورد نیاز برای عملیات پایش $= 864 Kg/day \times 45 m^3/BOD_5 Kg = 338880 m^3/day$

جدول۵- شرایط عملیاتی تصفیه‌خانه‌ی شماره‌ی ۱ مشهد

پارامتر اندازه‌گیری	واحد	مقدار
دبی عملیاتی	مترمکعب بر روز	۴۸۰۰۰
سطح هوادهی	متر مربع	۱۵۰
میزان سطح کلی هوادهی	متر مربع	۱۵۰
میزان حجم کلی هوادهی	متر مکعب	۶۰۰

مقادیر مقایسه شده بین غلظت‌های بحرانی آهن محلول و سختی در فرآیندهای دفع با مقادیر اندازه‌گیری شده، در جدول (۶) ارائه گردیده است. مقایسه مقادیر این جدول با نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی مربوط به آب سد کارده، نشان می‌دهد که استفاده از هوادهی عمقی توسط سیستم سوپرهواده در فرآیند دفع با راندمان بالایی موثرخواهد بود. مشکلات ناشی از وجود مقادیر بالاتر آهن و سختی آب امکان تشکیل رسوب بر روی سیستم سوپرهواده را افزایش می‌دهد؛ زیرا در چنین سیستم‌هایی که امکان مکش (سوپرهواده) در آن‌ها وجود دارد، به جرم و رسوب بسیار حساس می‌باشند. با توجه به مقادیر سختی و آهن موجود در آب سد کارده استفاده از فرآیند هوادهی برای فرآیند دفع موفقیت‌آمیز خواهدبود.

جدول۶- مقایسه مقادیر بحرانی آهن محلول و سختی در فرآیند دفع و مقادیر اندازه‌گیری شده (آزمایشگاه آب مشهد، ۱۳۸۷؛ Eylers و همکاران، ۱۹۹۷)

نوع تکنولوژی	غلظت آهن محلول بحرانی	غلظت آهن اندازه‌گیری شده	سختی کل بحرانی	سختی کل اندازه‌گیری شده
هوادهی حبابی	۵-۱۰≤	۰/۲	۱۰۰۰ ≤	۹۲۰

سوپرهواده

سوپرهواده نوعی روش هوادهی پیشرفته است که برخلاف پخش‌کننده‌های [۵] موجود در بازار که هوا توسط یک لوله استیل از پایین به داخل سیلندری دمیده می‌شود، هنگام حرکت به سمت بالا به صورت دو فازی آب زیادی را همراه خود حرکت می‌دهد. جریان دو فازی آب و هوا با سرعت بالا دور توربین ثابت حرکت دوار گرفته و در قسمت بالاتر با برخورد به زائده‌های تعبیه شده، حباب‌ها خرد و ریز می‌گردد. در واقع علت راندمان بالای انتقال اکسیژن علاوه بر ایجاد حباب‌های ریز، توربولانس شدید ایجاد شده است که باعث نازک شدن لایه مرزی روی حباب هوا می‌گردد (Byron و همکاران، ۲۰۰۲). در شکل (۳) ساختار سوپرهواده بصورت شماتیک ارائه شده است.

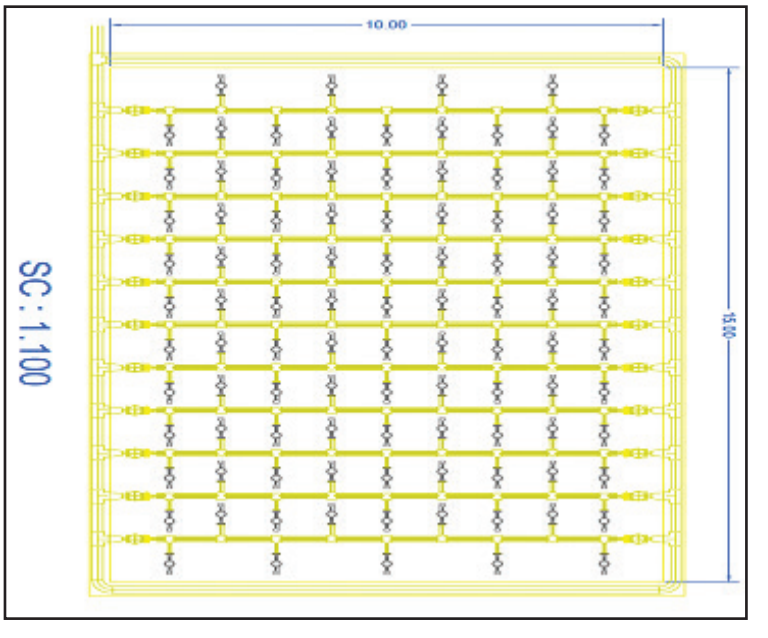
شکل ۳- شماتیک سوپر هواده

استفاده از سوپرهواده جهت فرآیند دفع در حذف ژئوسمین و دومتیل ایزوبورنئول

نحوه نصب و چیدمان سوپرهوادهها جهت استفاده در حوضچه آرامش تصفیهخانههای آب در شکل (۴) ارائه گردیده است.

شکل ۴– شماتیک سیستم هوادهی عمقی با سوپر هواده

با توجه به ابعاد حوضچه آرامش تصفیهخانهی آب شمارهی ۱ مشهد (۴×۱۰×۱۵)، بهترین نحوه چیدمان با بالاترین راندمان حذف، نصب تعداد ۹۹ سوپرهواده، بهصورت شکل (۵) است. همانطور که مشاهده میشود چیدمان ارائه شده با کمترین فضای از دست رفته هوادهی میباشد، زیرا نوع چیدمان میبایست بگونهای باشد که همپوشانی هوادهها در بهترین حالت ممکن امکانپذیر گشته و فرآیند اختلاط، راندمان بالاتری داشته باشد.



شکل ۵– نحوه چیدمان سوپرهواده در حوضچه آرامش تصفیهخانهی شمارهی ۱ مشهد

زلالسازی نهایی و جذب سطحی توسط کربن فعال

با توجه به تجربیات گذشته از جمله تصفیهخانه آب اهواز بهترین محل استفاده فیلتر کربن فعال و زغال در کانال خروجی و از محل سرریز پولساتورها با ارتفاع تقریبی ۲۰ سانتیمتر بالاتر از کف کانال خروجی و بصورت فیلتراسیون ثقلی میباشد. ترکیب زغال و کربن فعال با توجه به تجارب گذشته سایر تصفیهخانهها (ازجمله تصفیهخانه اهواز که با استفاده از زغال حتی مواد پارافینی و نفت را نیز حذف کردهاند) مناسب است؛ همچنین با توجه به قیمت پایین زغال از نظر اقتصادی نیز به صرفه است. درواقع عملیات جذب سطحی، توسط زغال و کربن فعال در محل سرریزها انجام میشود.

جمع‌بندی

استفاده از فن‌آوری فراصوت با راندمانی قابل قبول، جلبک‌ها را حذف نموده، منجر به کاهش جمعیت جلبک‌ها و در پی آن حذف طعم و بوی ناشی از آن‌ها بدون پیش‌کلرزنی خواهد شد؛ لذا می‌تواند در ارتقاء کیفیت آب شرب تصفیه‌خانه‌ی شماره‌ی ۱ مشهد بطور قابل ملاحظه‌ی ای موثر باشد. به استناد پژوهش‌های انجام شده در سطح بین‌المللی، سیستم فراصوت علاوه بر جلبک‌ها در حذف سایر میکروارگانیسم‌ها در فرکانس‌های بالاتر از ۳۹ KHZ نیز موثر بوده، قابلیت حذف میکروارگانیسم‌ها و باکتری‌ها را دارد. بررسی‌های انجام پذیرفته توسط محقق و به استناد یافته‌های مقالات و تحقیقات انجام شده توسط گروه آب دانشگاه Brown، استفاده از سیستم هوادهی با سوپر هواده به عنوان کارآمدترین و در عین حال کم‌هزینه‌ترین روش حذف ژئوسمین می‌باشد. با توجه به اینکه در سیستم سوپرهواده غشا وجود ندارد و مشکلات مربوط به افت فشار مطرح نمی‌باشد، فرآیند دفع بصورت مناسبی انجام می‌پذیرد. جهت کاهش هزینه‌ها در فرآیند جذب سطحی فیلتر از دو لایه استفاده می‌گردد. در لایه بالایی از زغال و در لایه پائینی از کربن اکتیو استفاده می‌شود. با توجه به تجربیات گذشته استفاده از زغال در رنگبری و نیز حتی ترکیبات پارافینی، ضمن اینکه زمان اشباع شدن لایه کربن فعال پائینی فیلتر جذب سطحی را افزایش می‌دهد، در هزینه تمام شده نیز نقش بسزایی ایفا می‌کند.

تقدیر و تشکر

نگارندگان برخود لازم می‌دانند از مدیریت محترم عامل شرکت آب و فاضلاب مشهد به خاطر همراهی در این پروژه تحقیقاتی که برای اولین بار در کشور انجام پذیرفته است کمال قدردانی را داشته باشند.

پی‌نوشت

1- Geosmin and MIB
2- Eutrophication
3- Electrocoagulation
4- chlorophyceae
5- diffuser

منابع

مرتضوی، م. ص. ۱۳۹۲. حذف جلبک‌های سبز – آبی به روش الکتروکواگولاسیون سد میناب. شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط. دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران.

نتایج آزمایشات آزمایشگاه مرجع آب و فاضلاب مشهد بر روی آب سد کارده به شماره نمونه‌های K۵۰۱ الی K۵۰۴ و گزارش مورخ ۱۳۸۶/۱۲/۲۳ و شماره نمونه‌های K۵۰۶ الی K۵۱۸ و گزارش مورخ ۱۳۸۷/۱۲/۲۶.

Brown University. 2007. Good Earth: Chemists show origin of soil scented Geosmin. science Daily, visited in http://www.sciencedaily.com/releases/2007070916143521/09/.htm.

Bird R. Stewart W. and Lightfoot E. 2001(second edition). Trasport phenomena. university of Wisconsin-Madison. ISBN 007392--471-X.

Eylers h. and kavanaugh M. 1997. Air stripping Application for MTBE Removal from Drinking Water, ,p.E. TT chapter2 Air strippingp. pages:30 -40.

Shimizu Y. 2003. The effect of the ultrasonic unit LG sonic ichthyoid blade in a strictly controlled environment Report. Kyoto university.