

بهینه‌سازی عملیات شستشوی معکوس فیلترهای شنی به وسیله پروفایل‌های غلظت در طی زمان شستشو

محمد مهدی شادمان* و صائب احمدی

دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۱۷

چکیده

اهمیت صافی‌ها در سیستم آب‌های آشامیدنی به آن خاطر است که، می‌تواند درصد قابل توجهی از باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌های مولد بیماری را با کمترین هزینه حذف نماید. در این زمینه استفاده از فیلترهای شنی به منظور حذف کدورت آب متداول می‌باشد. شستشوی معکوس فیلترهای شنی، سبب از بین رفتن رسوبات شکل گرفته در بستر شنی می‌شوند. با توجه حجم آب مصرفی در شستشوی معکوس فیلترهای شنی (حدود ۳-۲٪ از حجم آب تصفیه شده)، بهینه‌سازی عملیات شستشوی معکوس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اندازه‌گیری کدورت پس از خروجی فیلتر در زمان انجام عملیات شستشوی معکوس می‌تواند ملاک مناسبی جهت بررسی مؤثر بودن عملیات شستشوی معکوس باشد. هدف از انجام این مطالعه، بهینه‌سازی عملیات شستشوی معکوس سه فیلتر شنی با بررسی نمودارهای کدورت بر حسب زمان در حین عملیات شستشوی معکوس فیلترها می‌باشد. در این مطالعه عملیات شستشوی معکوس سه فیلتر شنی با بستر ذرات شن از جنس کوارتز مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد با تغییر زمان هوادهی در عملیات شستشوی معکوس، می‌توان الگوی بهینه برای شستشوی فیلترها ارائه کرد.

کلمات کلیدی: فیلتر شنی، کدورت، شستشوی معکوس، بهینه‌سازی، آب آشامیدنی

مقدمه

گل و لای، رنگ، مواد آلی، پلانکتون، باکتری‌ها و ذرات حاصل از خوردگی باشند. صافی‌های امروزی معمولاً بستریایی از جنس ماسه یا گرانول هستند، هر چند در سال‌های اخیر تکنولوژی صافی‌ها تغییر اساسی یافته و از انواع گوی‌های پلیمری و رزین‌های مصنوعی و طبیعی جهت بستر صافی‌ها استفاده می‌گردد [۱].

صاف‌سازی یا فیلتراسیون آب عبارت است از جداسازی جامد-مایع که در آن سیال از داخل یک محیط شامل مواد متخلخل عبور می‌کند، تا مواد جامد معلق آن حذف گردند این ذرات معلق می‌توانند

*مسئول مکاتبات
m.shadman@modares.ac.ir

آدرس الکترونیکی

شنی تند^۱ می‌باشد. شستشوی معکوس فیلتر شنی توسط جریان معکوس آب انجام می‌گیرد، سبب از بین رفتن رسوبات شکل گرفته در بستر شنی می‌شوند. شستشو با هوا در هنگام شستشوی معکوس در بعضی موارد عملکردی حتی بهتر از شستشو با آب تنها داشته است و ضمناً صرفه‌جویی مناسبی در مقدار آب مصرفی دارد. در یک گزارش این مقدار صرفه‌جویی تا حد ۵۰۰ میلیون گالن آب در سال اعلام شده است [۵]. استفاده از هوا علاوه بر شستشوی مؤثرتر بستر، باعث کاهش آب مصرفی به میزان قابل توجه‌ای می‌شود، بعضی از درصدهای کاهش آب مصرفی به‌دست آمده توسط محققین بر اثر چشمگیر این روش صحه می‌گذارد.

رژیم‌های عمده که برای عملیات شستشوی معکوس انجام می‌شود، شامل موارد زیر می‌باشد: الف- شستشو با هوای تنها، قبل از شستشوی معکوس که باعث منبسط شدن بستر و خارج شدن راحت‌تر ذرات در مراحل بعدی می‌شود، این فرآیند جهت بسترهای دوگانه و چندگانه که دارای چندین نوع ذرات شن می‌باشند توصیه می‌گردد.

ب- شستشوی معکوس هم‌زمان با شستشوی بستر با هوا قبل از سرریزی آب، که این عمل بهتر است چند دقیقه قبل از سرریزی آب خاتمه یابد. در مورد بسترهای ماسه ریز و دو یا چند لایه این روش توصیه می‌شود.

ج- در طول سر ریز شدن آب شستشوی معکوس هم‌زمان با شستشوی آب و هوا، این فرآیند شامل شستشوی هوا و آب در خلال سرریزی آب هنگام شستشوی معکوس می‌باشد که بری صافی‌های تک لایه و بستر آنتراسیت توصیه می‌گردد [۶ و ۷].

در این مطالعه عملیات شستشوی معکوس سه فیلتر شنی تند با بستر ذرات شن از جنس کوارتز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. فیلترهای شنی مورد مطالعه نقلی می‌باشد.

صافی‌های شنی در بیشتر موارد با دیگر تکنولوژی‌های صاف‌سازی، مانند جذب با کربن فعال، رسوب دادن، ضدعفونی کردن و روش‌های بیولوژیکی به کار می‌رود که اغلب اوقات مرحله میانی تصفیه می‌باشد [۲].

اهمیت صافی‌ها در سیستم آب‌های آشامیدنی به آن خاطر است که، می‌تواند درصد قابل توجه‌ای از باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌های مولد بیماری را با کمترین هزینه حذف نماید. این امر در طبیعت نیز خودبه‌خود انجام می‌گیرد، بدین صورت که آب با عبور از لایه‌های متعدد خاک و شن زلال می‌گردد. در اثر عبور آب از خلل و فرج ذرات بستر، مواد معلق آب‌گیر افتاده و آب تقریباً عاری از مواد معلق، به‌دست می‌آید. جمع شدن ذرات معلق در خلل و فرج صافی، باعث افزایش افت فشار می‌گردد که اگر این افت فشار از حد معینی تجاوز نماید، باید صافی را شستشو داد. سرعت آب ورودی به فیلترها معمولاً $5 \text{ m}^3/\text{hr}$ و سرعت آب شستشوی فیلتر باید به اندازه‌ای باشد که مقدار انبساط بستر حدود ۵۰٪ باشد. این انبساط باعث میشود که ذرات شن و ماسه (یا ذغال) از هم جدا شده و ذرات معلق و گل و لای باقی‌مانده روی شن و ماسه همراه آب شستشوی خارج شود. انبساط کم بستر سبب می‌شود ذرات معلق در بستر باقی بماند و انبساط زیاد باعث هدر رفت ذرات در شستشوی معکوس می‌گردد [۱]. به منظور انجام عملیات بهینه شستشوی معکوس فیلترهای شنی، باید پارامترهای هیدرولیکی مانند ارتفاع انبساط بستر، دبی آب جهت انبساط مورد نظر و افت فشار بستر در ابتدای شروع عملیات شستشوی معکوس مورد بررسی قرار گیرند [۳]. در حالت کلی در یک صافی شنی با هر دوره فیلتراسیون رسوب و کلوخه‌هایی در داخل آن تشکیل می‌شوند؛ در نتیجه کیفیت و کارایی آن به تدریج کاسته می‌شود که این نقطه آغاز فرآیند شستشوی معکوس می‌باشد [۴]. شستشوی معکوس یک مرحله اساسی در فیلترهای

خروجی از فیلتر به مخزن ذخیره‌سازی آب زلال T.202 وارد می‌شود. هر سه فیلتر از نوع ثقلی، با رژیم فشار ثابت و به شکل مکعب مستطیل می‌باشند. ابعاد هر فیلتر شامل ۳ m عرض، ۱۸/۸ m طول و سطح $24/5 \text{ m}^2$ می‌باشد. دیگر مشخصات فیلتر در حالت عملکرد نرمال به‌صورت زیر است:

۱- آب به ارتفاع ۵۰ cm بر روی شن‌ها

۲- شن به ارتفاع ۸۵ cm

۳- بلوک سیمانی به ضخامت ۱۰ cm

۴- ضخامت خالی زیر بلوک ۷۰ cm

در حالت نرمال، ارتفاع آب ۵۰ cm می‌باشد. در این حالت سرعت عبور آب از فیلتر $5/4 \text{ m}^3/\text{hr}$ می‌باشد. جنس بستر از نوع کوارتز می‌باشد و دارای اندازه موثر $0/95 \text{ mm}$ است. شکل (۲)، شماتیک و ابعاد یکی از بسترهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

عملیات احیای فیلترهای شنی

اجرای عملیات احیای فیلترهای شنی مورد مطالعه به طور متوسط پس انجام یک دوره زمانی فیلتراسیون به مدت ۲۴ hr و با مشاهده چشمی توسط اپراتور انجام می‌شود. اما ملاک برای ارزیابی شستشوی فیلتر در تصفیه‌خانه مذکور، بازدید چشمی می‌باشد که در این حالت با بالا آمدن سطح آب در کانال فیلتر شنی، کم بودن شدت جریان آب خروجی فیلتر و کدورت مشاهده شده در سطح آب، نیاز به شستشوی فیلتر تعیین می‌گردد. شستشوی فیلترهای شنی به دو حالت دستی^۴ و اتوماتیک^۵ امکان‌پذیر می‌باشد. در حالت اتوماتیک، برنامه زمان‌بندی شده شستشوی معکوس فیلترهای مورد مطالعه به‌صورت زیر می‌باشد.

الف- باز شدن فیلتر^۶ به مدت ۲ min

در این مرحله سرعت آب به‌صورتی است که باعث می‌شود، بستر شنی به‌صورت سیال^۷ درآید.

فیلترهای ثقلی معمولاً در فشار محیط کار می‌کنند و معمولاً در کارخانجاتی که حجم زیادی از آب باید تصفیه شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. هم‌اکنون با توجه به تغییر شدت جریان آب خام و تغییر اندازه شن‌ها در اثر سایش یا رسوبات کربنات کلسیم، فرسودگی افشانک‌ها، نیاز به باز بینی و ارزیابی مجدد دارد.

روش‌های آزمایشی

عملیات فیلتراسیون

شکل (۱)، فیلترهای تصفیه خانه شیمیایی مورد مطالعه^۱ را نشان می‌دهد. آب خروجی از واحد زلال‌ساز^۲ به منظور زلال‌سازی و جداسدن ذرات معلق باقی‌مانده وارد سه فیلتر شنی (T.201A، T.201B و T.201C) می‌شود. آب ورودی به فیلترهای شنی دارای شدت جریان $195 \text{ m}^3/\text{hr}$ و به طور مساوی بین فیلترها توزیع می‌شود. جدول ۱ مشخصات آب ورودی و خروجی به‌عنوان نمونه در فصل تابستان فیلترهای شنی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در قسمت قبل اشاره گردید، کار اصلی فیلترهای شنی تصفیه فیزیکی و زلال نمودن آب خام ورودی به فیلتر می‌باشد. مواد کلوئیدی کدورت نمونه آب ورودی را تشکیل می‌دهند. کدورت یک خاصیت فیزیکی نمونه است که باعث می‌شود نور تابیده شده به نمونه متفرق و یا جذب شود ولی عبور نکند. برای اندازه‌گیری کدورت از دستگاه کدورت سنج استفاده می‌شود و معمولاً بر حسب NTU^۳ (معرف تفرق نور تابیده شده) گزارش می‌شود. کدورت آب خام ورودی از ۵ الی ۳۰ NTU گزارش شده است. باید به این نکته توجه کرد که عملکرد فیلتر در فصولی که دما بالاست بهتر از فصولی است که هوا سرد است و علتش این است که در دمای بالا تشکیل لخته‌ها سریع‌تر انجام شده و همچنین لخته‌ها سریع‌تر ته‌نشین می‌شوند. عملکرد فیلتر در فصولی که دما بالاست بهتر از فصولی است که هوا سرد است و علتش این است که در دمای بالا تشکیل لخته‌ها سریع‌تر انجام شده و هم‌چنین لخته‌ها سریع‌تر ته‌نشین می‌شوند. آب زلال

۱. فیلترهای شنی مربوط به تصفیه خانه شیمیایی ذوب آهن اصفهان می‌باشد.

2. Clarifier

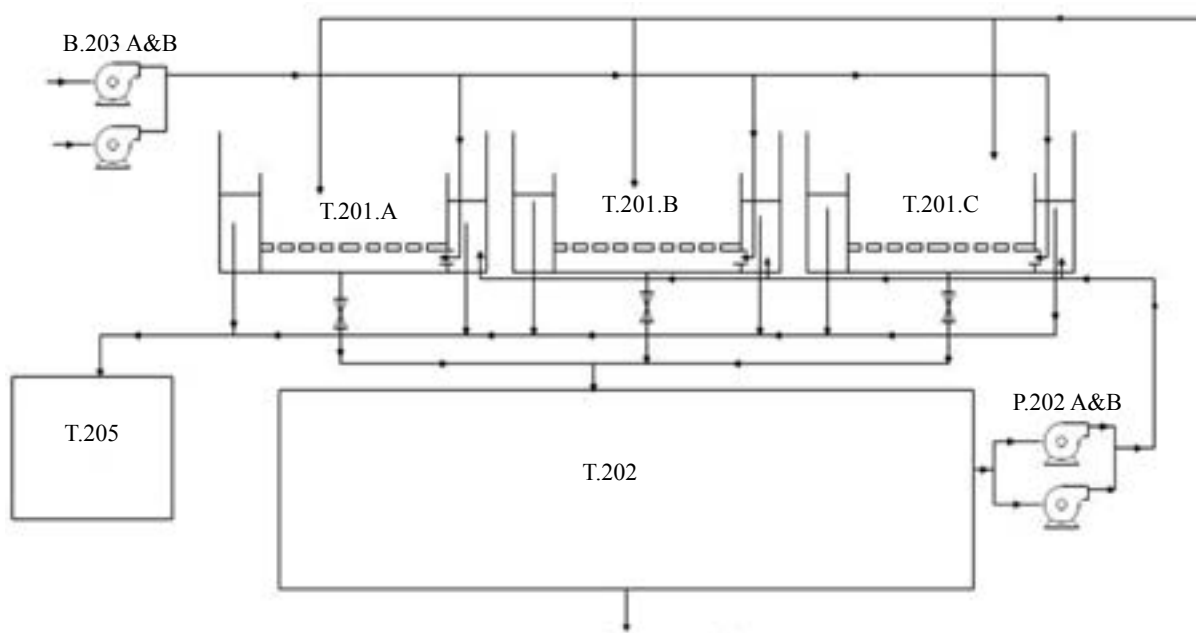
3. Nephelometric Turbidity Units

4. Manual

5. Automatically

6. Unclogging

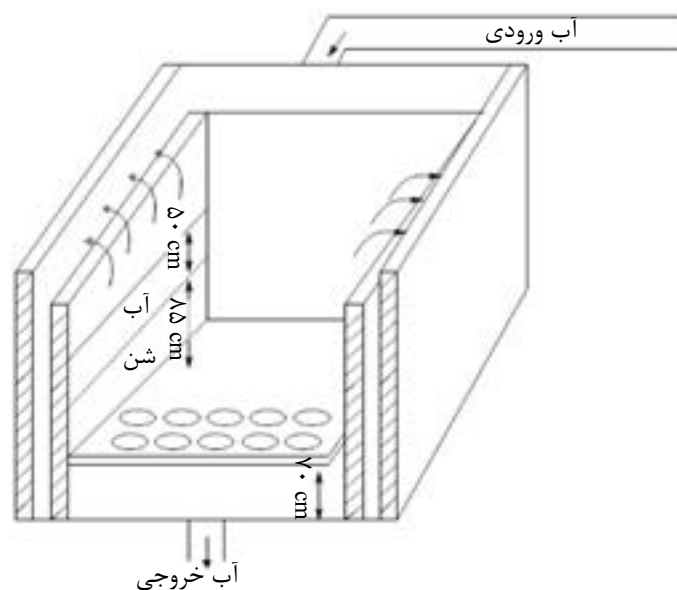
7. Fluidize



شکل ۱- فیلترهای تصفیه خانه شیمیایی مورد مطالعه
آب خروجی فیلتر شده

جدول ۱ خصوصیات آب ورودی به فیلتر شنی (بعد از زلال‌ساز) و آب خروجی از فیلتر شنی.

ورودی فیلتر	خروجی فیلتر	مشخصه
۱/۲-۲/۲۶	۱/۱-۲/۳	TA-TAC (°F)
۶/۶	۶/۱	TH (°F)
۸/۹۲	۸/۹۱	pH
۱۳۳/۱	۱۳۴/۵	TDS
۵۵	۳۳	NTU



شکل ۲ شماتیک و ابعاد یکی از بسترهای مورد مطالعه.
آب خروجی

می‌باشد که با بالا بردن ارتفاع بستر مشکل بزرگ بودن اندازه موثر ذرات شن و بالا رفتن کدورت آب فیلتر شده را حل نموده است. این نکته با توجه به بازده فیلتر نیز قابل بیان است. بازده فیلتر بستگی به ویژگی‌های بستر آن دارد. این ویژگی‌ها عبارتند از: تخلخل بستر فیلتر، نسبت ارتفاع بستر فیلتر به اندازه ذرات آن و شکل و خواص سطحی ذرات فیلتر. در تئوری‌های جدید، بازده حذف معلق در آب توسط فیلتر، از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$(1) \quad \log(-nL/d) = \frac{C_{in}}{C_{out}} \quad \text{که } n \text{ عدد ثابتی است } L \text{ ارتفاع بستر، } d \text{ قطر}$$

متوسط ذرات، C_{in} و C_{out} به ترتیب غلظت ذرات معلق در آب خروجی و غلظت ذرات معلق در آب ورودی به فیلتر است. بنابراین طبق رابطه بالا هرچه ذرات بستر فیلتر درشت‌تر باشند، ارتفاع بستر فیلتر باید بیشتر باشد تا همان بازده را داشته باشد و برعکس هر چه ذرات فیلتر ریزتر باشند، ارتفاع بستر فیلتر کمتر می‌تواند باشد [۹-۱۳].

بررسی نوع فیلترها

معمولاً زیر بستر فیلترهای شنی سنگریزه^۴ با قطر حدود ۴-۸ mm و به ارتفاع ۱۰ cm قرار می‌گیرد. وظیفه این گروال‌ها جلوگیری از خروج شن از زیر بستر، جلوگیری از گرفتگی و بسته شدن نازل‌ها و مهم‌ترین وظیفه گروال‌ها توزیع آب شستشوی معکوس و هوا از کف بستر به بالا می‌باشد [۹-۱۳]. البته باید توجه داشت در طی زمان رسوبات کربنات کلسیمی بر روی شن‌ها قرار گرفته و در حین شناور شدن بستر در عملیات شستشوی معکوس، ذرات با اندازه بیشتر در کف قرار گیرند. استفاده از بستر تک لایه اغلب مواقع سبب بسته شدن منافذ و فرار ذرات ریز از کف بستر می‌شود که در این مطالعه می‌توان با بزرگ گرفتن اندازه موثر ذرات شن و با توجه به اندازه منافذ افشانک‌ها، این مشکل را حل نمود.

در این حالت شیرهای خروجی بهره‌برداری بسته و شیر ورودی آب شستشو باز و یکی از پمپ‌های شستشو (P.202) نیز روشن می‌شود. شدت جریان آب شستشو در این مرحله $150 \text{ m}^3/\text{hr}$ می‌باشد.

ب- هوادهی^۱ به مدت ۱۰ min

که شامل هوادهی به همراه آب می‌باشد. شیر ورودی هوا باز و یکی از دمنده‌های هوا (B.203) روشن می‌شود. در ضمن کار مداوم پمپ آب شستشو و باز بودن شیر آب ورودی ادامه دارد.

ج- شستشوی نهایی^۲ به مدت ۱۲ min

در این وضعیت با بسته شدن شیر ورودی هوا دمنده هوا (B.203) متوقف می‌شود و با باز شدن شیر کنارگذر^۳، شدت جریان آب شستشو از $150 \text{ m}^3/\text{hr}$ به $500 \text{ m}^3/\text{hr}$ افزایش می‌یابد.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی ارتفاع بستر و اندازه موثر شن در فیلترهای مورد استفاده

ارتفاع بستر فیلترهای شنی در منابع، حدود ۶۰۰ تا ۷۰۰ mm و اندازه موثر ۰/۴۵ الی ۰/۵۵ توصیه شده است [۸]. جنس شن در فیلترهای مورد مطالعه از نوع کوارتز می‌باشد و دارای اندازه موثر ۰/۹۵ mm می‌باشد. ارتفاع بستر ۸۵۰ mm بوده که هم اندازه و هم ارتفاع بستر از اندازه‌های توصیه شده منابع بیشتر می‌باشد. تحلیلی که در این جا صورت گرفته این است که بزرگ بودن اندازه موثر، افت فشار را کمتر و احتیاج به شستشوی معکوس را کاهش می‌دهد و باعث صرفه‌جویی در میزان مصرفی آب شستشوی معکوس شده و از طرفی فیلتر مدت زمان بیشتری در سرویس خواهد بود. اگرچه بررسی‌های بیشتر نشان می‌دهد با بزرگ گرفتن اندازه موثر، مواد معلق به خوبی فیلتر نشده و وارد مرحله بعدی می‌شود، اما بررسی غلظت مواد معلق در خروجی نشان می‌دهد بزرگ بودن اندازه ذرات تا اندازه ۰/۹۵ mm تأثیری بر بازده فیلتر ندارد. از طرفی ارتفاع بستر فیلترها بیش از حدود توصیه شده

1. Air Blowing
2. Rinsing
3. Bypass
4. Gravel

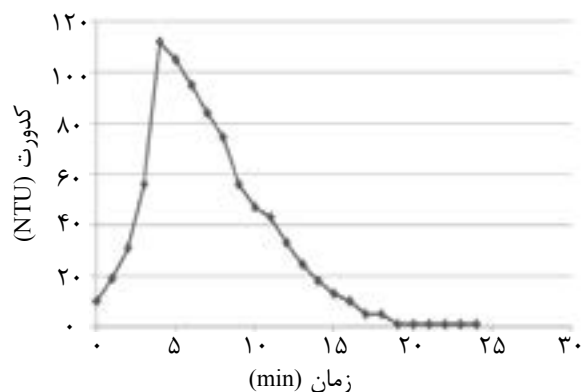
بررسی فرآیند شستشوی معکوس

فرآیند فیلتراسیون و فرآیند شستشوی معکوس در طی عملکرد یک فیلتر شنی تند به مقدار زیادی به هم وابسته هستند. عملیات شستشوی معکوس نامناسب بر دوره کارکرد یک فیلتر اثر می‌گذارد، به‌طورمشابه تغییر در شرایط فیلتراسیون می‌تواند بر رژیم شستشوی معکوس تاثیر بگذارد [۱۴]. اندازه‌گیری کدورت پس‌اب خروجی فیلتر در زمان انجام عملیات شستشوی معکوس می‌تواند ملاک مناسبی جهت بررسی موثر بودن عملیات شستشوی معکوس باشد. یکسان بودن افشانک‌های قرار گرفته در زیر فیلترها، سبب هوادهی و شستشوی یکنواخت فیلترهای شنی می‌شود که این سبب می‌شود نمونه‌گیری دقیق‌تر باشد. به علت مشابه بودن فیلترهای T.201A، T.201B، T.201C عملیات شستشوی معکوس فیلتر T.201A مورد بررسی قرار گرفت.

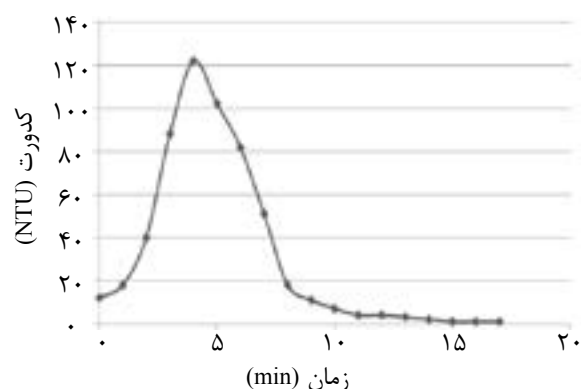
آزمایش‌های فیلتر T.201A

شکل ۳، نمودار کدورت بر حسب زمان شستشوی معکوس فیلتر T.201A، طبق برنامه زمان‌بندی شده حالت اتوماتیک شستشوی معکوس (باز شدن فیلتر: ۲ min، هوادهی: ۱۰ min و شستشوی نهایی: ۱۲ min) را نشان می‌دهد. هر چه قدر نمودار کدورت بر حسب زمان دارای ماکزیمم بیشتری و دامنه کمتری (زمان‌های کمتر برای عملیات شستشو معکوس) باشد شستشو به‌طور مؤثرتری صورت گرفته است. بر همین اساس در این مطالعه تفاضل کدورت ماکزیمم در طی عملیات شستشوی معکوس با کدورت در زمان شروع شستشوی معکوس ملاک شستشوی موثر قرار می‌گیرد. همچنین هرچه قدر مقدار آب کمتری در یک عملیات شستشوی معکوس مصرف شود، عملیات شستشوی معکوس از لحاظ اقتصادی مؤثرتر است. بنابراین برای بهینه‌سازی عملیات شستشوی معکوس در این مطالعه دو تابع هدف داریم؛ تابع اول، تفاضل کدورت ماکزیمم در طی عملیات شستشوی معکوس با کدورت در زمان شروع شستشوی معکوس و تابع دوم، مقدار آب مصرفی در طی عملیات

شستشوی معکوس که در این مطالعه با تغییر زمان هوادهی، تابع اول بیشینه و تابع دوم کمینه گردیده است. در مرحله اول شستشوی فیلتر (باز شدن فیلتر) که به مدت ۲ min می‌باشد، در این مرحله از احیای فیلتر هدف عمده باز شدن فیلتر، انبساط آن و در واقع شناور شدن آن است تا حذف کدورت. در مرحله دوم، فیلتر به مدت ۱۰ min هوادهی انجام می‌شود. در این مرحله نسبت به مرحله اول با افزایش زمان شستشو با آب با شدت جریان $150 \text{ m}^3/\text{hr}$ ، هوادهی نیز انجام می‌شود و نیروی دراگ ناشی از هوا و آب بر ذرات باعث می‌شود کار تمیز شدن ذرات به بهترین صورت، انجام گیرد و شیب تند ایجاد شده در رسیدن به ماکزیمم کدورت، نشان دهنده موثر بودن شستشو است. در مرحله نهایی (۱۲ min)، هدف حذف کدورت باقی‌مانده و در واقع به صفر رساندن کدورت موجود در بستر فیلترها می‌باشد که این کار با شدت جریان $500 \text{ m}^3/\text{hr}$ به مدت ۱۲ min انجام می‌شود و کدورت آب خروجی به ۱ NTU می‌رسد. در این مطالعه مشاهده NTU برابر یک در پس‌اب خروجی و ثابت ماندن آن به مدت ۳ min به‌عنوان معیاری در پایان عملیات شستشوی نهایی (توقف پمپ‌های شستشو) می‌باشد. با توجه به شدت جریان زیاد مرحله شستشوی نهایی ($500 \text{ m}^3/\text{hr}$) و شکل ۴ مشاهده می‌کنیم مدت زمان ۹ min برای شستشوی نهایی کافی می‌باشد و بنابراین ۳ min در آب با دبی $500 \text{ m}^3/\text{hr}$ صرفه‌جویی کرده‌ایم. مقایسه شکل ۳ و شکل ۴ نشان می‌دهد که در آزمایش اول و دوم فیلتر مشابه است، بنابر این عملکرد شستشو تفاوت معنی‌داری با روش فعلی نداشته است، اما چون در شستشوی فیلتر به روش آزمایش اول، مقدار آب مصرفی برای شستشو 130 m^3 و در شستشوی فیلتر به روش آزمایش دوم، مقدار آب مصرفی برای شستشو $118/33 \text{ m}^3$ می‌باشد، بنابراین حذف شدن مرحله باز شدن فیلتر معقول به نظر می‌رسد.



شکل ۳- ارزیابی کدورت فیلتر T.201A در حین شستشو به صورت نمودار، آزمایش اول (۲ min بازشدن فیلتر، ۱۰ min هوادهی و ۱۲ min شستشوی نهایی)



شکل ۴ کدورت فیلتر T.201A در حین شستشو به صورت نمودار، آزمایش دوم (صفر دقیقه بازشدن فیلتر، ۴ min هوادهی و ۱۳ min شستشوی نهایی)

شستشوی معکوس و همچنین الگوی زمان‌بندی شستشو دارد. در شکل (۵)، تفاضل کدورت ماکزیمم در طی عملیات شستشوی معکوس با کدورت در زمان شروع شستشوی معکوس (ΔNTU) برای آزمایش‌های مختلف فیلتر T.201A، رسم شده است. شکل (۵) نشان می‌دهد، در عملیات شستشو به طریق آزمایش هفتم (الف- بازشدن فیلتر ۰ min، ب- هوادهی ۹ min، ج- شستشوی نهایی ۸ min)، ماکزیمم میزان تفاضل کدورت مشاهده می‌شود که نشان دهنده الگوی بهینه شستشو می‌باشد.

بررسی میزان آب مصرفی عملیات شستشوی معکوس

در تصفیه خانه‌های معمولی حدود ۲-۳٪ از حجم آب تصفیه شده صرف شستشوی فیلترها می‌شود که به صورت پساب شستشوی فیلترها در می‌آید که به اختصار آن را پساب فیلتر می‌نامیم. پساب فیلترها معمولاً به صورت فاضلاب دفع می‌شود.

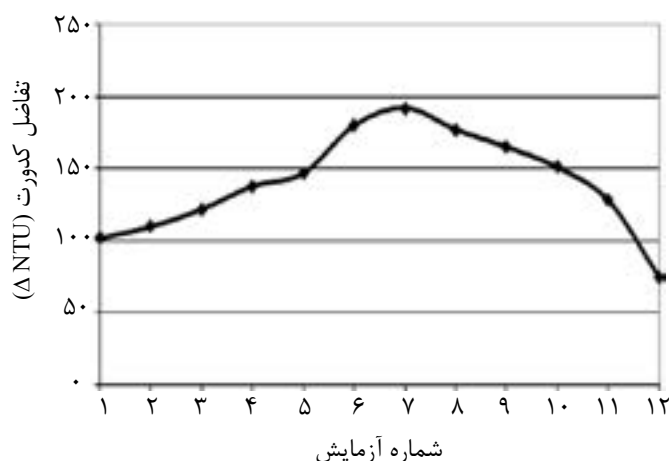
همچنین در آزمایش‌های بعدی زمان باز شدن فیلتر حذف شد. جدول (۲) آزمایش‌هایی را نشان می‌دهند که زمان زمان هوادهی تغییر کرده است. لازم به ذکر است در تمام آزمایشات، شستشوی نهایی تا رسیدن به کدورت ۱ و ثابت ماندن کدورت به مدت ۳ min ادامه پیدا کرده است. بنابراین در عملیات شستشوی معکوس پارامتر زمان شستشوی نهایی مستقل از پارامتر زمان هوادهی نیست و واقع با بهینه کردن تابع هدف بر حسب زمان هوادهی، تابع هدف بر حسب زمان شستشوی نهایی بهینه شده است.

بررسی موثر بودن عملیات شستشو فیلتر T.201A

با بررسی نمودار کدورت بر حسب زمان در آزمایش‌های مختلف فیلتر T.201A مشاهده می‌کنیم که ماکزیمم کدورت در حین عملیات شستشوی معکوس متفاوت می‌باشد. مقدار کدورت ماکزیمم ثبت شده بستگی به کدورت در زمان شروع عملیات

جدول ۲ زمان‌بندی آزمایش‌های فیلتر T.201A.

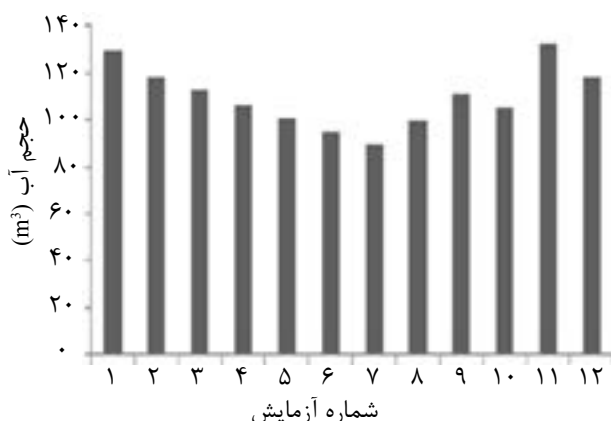
شماره آزمایش	زمان بازشدن فیلتر (min)	زمان هوادهی (min)	زمان شستشوی نهایی (min)
۱	۲	۱۰	۱۲
۲	۰	۴	۱۳
۳	۰	۵	۱۲
۴	۰	۶	۱۱
۵	۰	۷	۱۰
۶	۰	۸	۹
۷	۰	۹	۸
۸	۰	۱۰	۹
۹	۰	۱۱	۱۰
۱۰	۰	۱۲	۹
۱۱	۰	۱۳	۱۲
۱۲	۰	۱۴	۱۰



شکل ۵ تفاضل کدورت ماکزیمم در طی عملیات شستشوی معکوس با کدورت در زمان شروع شستشوی معکوس (ΔNTU) برای آزمایش‌های مختلف فیلتر T.201A.

مقدار پساب فیلتر بستگی به کیفیت آب خام، نوع تصفیه مقدماتی و نیز بازده فرآیندهای قبل از فیلتر دارد. مقدار پساب فیلتر معمولاً در ماه‌های گرم سال حدود ۲٪ آب تصفیه شده و در ماه‌های سرد سال حدود ۳٪ آب تصفیه شده است. در نتیجه از لحاظ اقتصادی مینیمم کردن میزان پساب فیلتر پارامتر اقتصادی مهمی باشد. در عملیات شستشوی معکوس فیلتر T.201A، شدت جریان آب برای مرحله بازشدن فیلتر و هوادهی 150 m^3 و برای

مرحله شستشوی نهایی برابر $500 \text{ m}^3/\text{hr}$ است. شکل (۶)، میزان آب مصرفی عملیات شستشوی معکوس در آزمایش‌های مختلف فیلتر T.201A نشان می‌دهد. طبق شکل ۶، الگوی زمان‌بندی شده آزمایش هفتم کمترین میزان آب مصرف شده را به دست می‌دهد، هم‌چنین از شکل ۵، نیز مشخص گردید که زمان هوادهی ۹ min بیشترین تاثیر را بر خروج مواد معلق بستر دارد.



شکل ۶ حجم آب مصرفی برای عملیات شستشوی معکوس فیلتر T.201A در آزمایش‌های مختلف.

برای فیلتر T.201A مشخص گردید که زمان باز شدن فیلتر نسبت به زمان هوادهی تاثیر قابل توجهی بر حذف کدورت ندارد و زمان هوادهی ۹ min بیشترین تاثیر را بر خروج مواد معلق بستر دارد. همچنین الگوی زمان‌بندی شده آزمایش هفتم کمترین میزان آب مصرف شده را به دست می‌دهد.

علائم و نشانه‌ها

m : متر

hr : ساعت

d : قطر متوسط ذرات (mm)

n : عدد ثابت معادله

L : ارتفاع بستر (m)

C_{out} : غلظت ذرات معلق در آب خروجی فیلتر ($gr\ mol/m^3$)

C_{in} : غلظت ذرات معلق در آب ورودی فیلتر ($gr\ mol/m^3$)

NTU : واحد کدورت

TDS : کل مواد جامد محلول

TA/TAC : قلیائیت کل بر حسب درجه فارنهایت ($^{\circ}F$)

نتیجه‌گیری

در این مطالعه عملیات شستشوی معکوس سه فیلتر شنی تند با بستر ذرات شن از جنس کوارتز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. فیلترهای شنی مورد مطالعه ثقلی می‌باشد. فیلترهای ثقلی معمولاً در فشار محیط کار می‌کنند و معمولاً در کارخانجاتی که حجم زیادی از آب باید تصفیه شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. اندازه‌گیری کدورت پساب خروجی فیلتر در زمان انجام عملیات شستشوی معکوس می‌تواند ملاک مناسبی جهت بررسی موثر بودن عملیات شستشوی معکوس باشد بر همین اساس در این مطالعه تفاضل کدورت ماکزیمم در طی عملیات شستشوی معکوس با کدورت در زمان شروع شستشوی معکوس ملاک شستشوی موثر قرار می‌گیرد. همچنین هرچه قدر مقدار آب کمتری در یک عملیات شستشوی معکوس مصرف شود، عملیات شستشوی معکوس از لحاظ اقتصادی موثرتر است. با بررسی نمودارهای کدورت بر حسب زمان

مراجع

- [1]. Eckenfelder W. W. Jr., "*Industrial Water Pollution Control*," 2nd ed., McGraw-Hill., 1989.
- [2]. Cheremisinoff N. P., "*Hand book of Water and Wastewater Treatment Technologies*," 2nd ed., Butterworth-Heinemann., 2002.
- [3]. Cornwell D. A. and Lee R. G., "*Waste stream recycling:its effect on water quality*," JAWWA., 1994.
- [4]. Ratnayaka Don D., Malcolm J. K. and Johnson M., "*Water Supply*," 6th ed., Elsevier, 2009.
- [5]. Cleasby J. L. and Logsdon G. S. "*Granular Bed and Precoat Filtration, Chapt.8 in Water Quality & Treatment*," 5th ed., AWWA & McGrawHill, 1999.
- [6]. Hall D. and Fitzpatrick C. S. B., "*Suspension concentration profiles during rapid gravity filter backwashing*," Chemical Engineering J., Vol. 80, pp. 197–201, 2000.
- [7]. Elbana M., Ramírez de Cartagena F. and Puig-Bargués J., "*Effectiveness of sand media filters for removing turbidity and recovering dissolved oxygen from a reclaimed effluent used for micro-irrigation*," Agricultural Water Management Journal, Vol. 111, pp. 27-33, 2012.
- [8]. Cornwell D. A., "*Landfilling of Water Treatment*," AWWARF., 1992.
- [9]. Norman P. A., Backwash Instability in Rapid sand filters. M.Sc Dissertation, University of NewSouth Wales, Australia, 1970.
- [10]. Hudson H. E., "*Water Clarification Processes*," 2nd ed., Van Nostrand Reinhold, 1981.
- [11]. Kawamura S., "*Desing and Operation of high-rate Filter*," JAWWA5, Vol. 67, No. 10, pp. 535-544, 1975.
- [12]. Graham N. J. D., "*Slow sand Filtration*," Ellis Horwood, 1st ed, 1988.
- [13]. Monk R. D. G., "*Desing options for water Filtration*," J. AWWA, Vol. 79, No. 9, pp 93-106, 1987.
- [14]. Weber W. J., "*Physicochemical Processes*," 1st ed, Wiley-Interscience, 1972.