

Evaluation of Direct Filtration in Surface Water Treatment

*Torabian, A., Assist. Prof., Dept. of Environmental Engineering, University of Tehran.
Fazeli, M., Water Expert, Zanzan Water Organization*

ABSTRACT

Direct filtration has recently gained a lot of interests in developed countries. In this method, flocculation and sedimentation units are eliminated from the treatment process.

Advantages of direct filtration process in comparison with conventional treatment process are:

1) High rate of filtration, 2) Potential cost saving in construction up to 40 percent, 3) Maintenance and operation cost reduction up to 15 percent, 4) Less sludge production, and 5) Less land requirement.

In order to evaluate the performance, capabilities and limits of direct filtration with respect to influent raw water turbidity, a pilot plant study with and without pretreatment (horizontal roughing filtration) has been conducted for six months. The results of experiments indicate that direct filtration is a cost effective treatment method and water with turbidities below 20 NTU can be treated by using direct filtration. These studies also indicate that direct filtration by using a horizontal roughing filtration prior to direct filtration can treat a water with turbidity of more than 250 NTU.

فیلتراسیون مستقیم

و نحوه عملکرد آن در تصفیه آب

علی تراییان*

مجتبی فاضلی**

چکیده

فیلتراسیون مستقیم اخیراً در کشورهای پیشرفته مورد توجه قرار گرفته است. در این روش واحدهای مستقل ته نشینی و لخته سازی از فرایند تصفیه حذف می گردد. مزایای فیلتراسیون مستقیم در مقایسه با فرایند تصفیه معمول آب به علت میزان فیلتراسیون بالا، کاهش هزینه ساختمانی به میزان ۴۰ درصد، کاهش هزینه بهره برداری به میزان ۱۵ درصد، تولید لجن کمتر و زمین مورد نیاز کمتر می باشد.

به منظور ارزیابی عملکرد فیلتراسیون مستقیم و یافتن حدود قابل قبول کدورت آب ورودی مطالعات پایلوتی به مدت ۶ ماه با و بدون در نظر گرفتن مرحله پیش تصفیه (فیلتراسیون افقی درشت دانه) صورت گرفته است. نتایج این مطالعات نشان می دهد که روش فیلتراسیون مستقیم دارای جاذبه اقتصادی قابل توجهی برای تصفیه آبهای با کدورت کمتر از ۲۰ واحد NTU - ترجیحاً آب دریاچه پشت سدها - می باشد. همچنین، فیلتراسیون مستقیم با استفاده از فیلتر درشت دانه افقی قادر به تصفیه آب با کدورت بیش از ۲۵۰ NTU می باشد.

مقدمه

استفاده از فیلتراسیون به عنوان اولین روش تصفیه آب به سبک جدید برای جداسازی مواد معلق جامد از قرن شانزدهم در اروپا آغاز گردیده است. ساخت و بهره برداری از فیلترهای کند ماسه ای پس از سال ۱۸۲۹ که این نوع فیلترها توسط سیمپسون^۱ برای شرکت آب چلسی ساخته شد به طور وسیعی افزایش یافت. از اواسط قرن حاضر علیرغم رکودی که در استفاده از این نوع فیلترها با ورود فیلترهای تند ماسه ای به فرایند متعارف تصفیه آب به وجود آمده بود، فیلترهای کند با توجه به راندمان بسیار بالای آنها در حذف ویروسها و باکتریها تا میزان ۹۹/۹۹ درصد در ایالات متحده و اروپا مجدداً کاربرد فراوانی

یافت. ولی به علت قطر مؤثر مواد فیلتری کمتر از ۰/۵ میلیمتر، این روش نسبت به کدورت آب ورودی بسیار حساس است و نمی تواند برای آبهای با کدورت بیش از ۱۰ واحد NTU روش مناسبی باشد [۲، ۶، ۱۲ و ۱۳].

در دهه های اخیر فیلتراسیون مستقیم به دلیل هزینه های کمتر ساخت و بهره برداری، نیاز به زمین کمتر، نرخ فیلتراسیون بالاتر و حذف مراحل لخته سازی و ته نشینی در کشورهای پیشرفته بخصوص ایالات متحده آمریکا مورد تحقیق، طراحی

* استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

** کارشناس شرکت سهامی سازمان آب استان زنجان

و اجرا قرار گرفته است.

هدف از این مطالعات ارزیابی امکان استفاده از فیلتراسیون مستقیم و یافتن حدود قابل قبول کدورت آب ورودی است به طوری که بتوان در خروجی به استانداردهای کیفیت آب کشور دست یافت.

مطالعات کتابخانه‌ای

در فرایند معمول آب عموماً واحدهای اختلاط، انعقاد و ته‌نشینی قبل از فرایند فیلتراسیون قرار دارند در فیلتراسیون مستقیم آب واحدهای مستقل لخته‌سازی و ته‌نشینی حذف و این فرایندها در خود فیلتر به وقوع می‌پیوندند. در شکل ۱ تعدادی از روشهای معمول تصفیه آب نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می‌شود به جز مورد اول در بقیه موارد از فیلتراسیون به عنوان واحد اصلی تصفیه استفاده شده است. مقایسه عملکرد فیلتراسیون مستقیم و فرایند متعارف تصفیه آب در شکل ۲ نشان داده شده است و همان‌طور که مشاهده می‌گردد کیفیت آب خروجی دو روش، قابل مقایسه بوده و صرفاً زمان بهره‌برداری در فیلتراسیون مستقیم کوتاهتر می‌باشد. میزان لخته‌سازی در حالت‌های معمولی با بهم زدن مکانیکی یا هیدرولیکی تابع درجه دوم از تعداد ذرات معلق موجود در آب

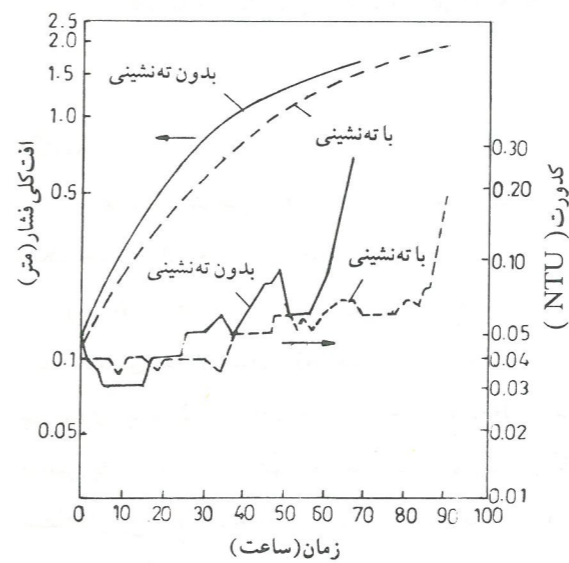
می‌باشد. لذا در آب‌هایی با کدورت و تعداد ذرات معلق کم میزان لخته‌سازی به صورت تصاعدی کاهش یافته و باید مقدار مواد منعقدکننده را افزایش داد در حالی که لخته‌سازی در میان تخلخل یک فیلتر شنی از نوع ارتوکینک بوده و نوع لخته‌سازی تابع درجه یک از تعداد ذرات معلق و در نتیجه نیاز به دوز کمتری از مواد منعقدکننده می‌باشد [۳، ۴ و ۱۴].

کالپ [۷] فیلتراسیون مستقیم را به عنوان روشی از تصفیه قلمداد کرده است که در آن مرحله فیلتراسیون به دنبال ته‌نشینی قرار نگرفته و از استفاده از حوضچه‌های مستقل لخته‌سازی قبل از فیلتراسیون اجتناب شده است. جریان عبور از فیلترهای ماسه‌ای را می‌توان در محدوده پلاگ^۱ ارزیابی نمود و در حالت پلاگ یا عبور از محیط متخلخل، نرخ لخته‌سازی تابع درجه اول از تعداد ذرات معلق در واحد حجم می‌باشد.

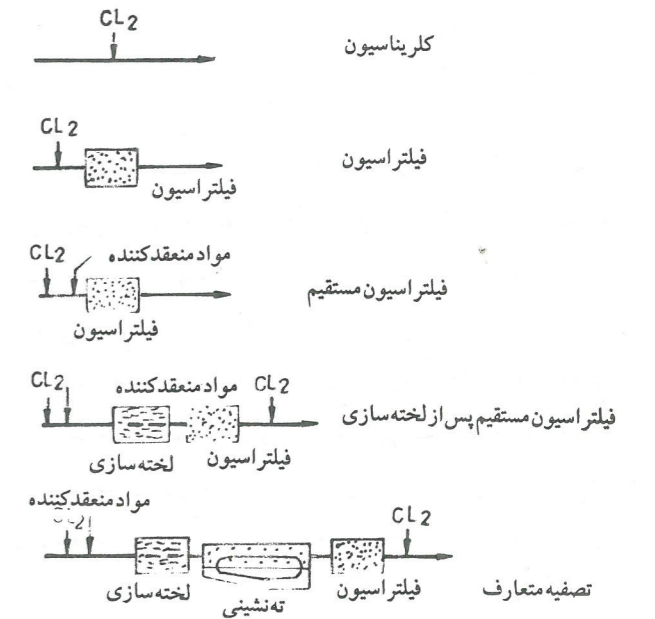
در مجموع می‌توان مزایا و معایب فیلتراسیون مستقیم را به صورت زیر خلاصه نمود [۱۱].

۱- به علت نرخ بالای لخته‌سازی مصرف مواد منعقدکننده در فیلتراسیون مستقیم به طور معنی‌داری کمتر از تصفیه متعارف است.

1- Plug Flow



شکل ۲- مقایسه عملکرد فیلتراسیون مستقیم با فرایند متعارف تصفیه آب [۱۴].



شکل ۱- فرایند نمونه برای تصفیه آب [۹].

۲- در فیلتراسیون مستقیم نیاز به تولید فلوکهای کوچک و وزین بوده و از تولید فلوکهای بزرگ با درصد آب بیشتر اجتناب می‌شود و در نتیجه با مصرف کمتر مواد حجم لجن تولید شده بسیار کمتر بوده و لجن از کیفیت بهتری برخوردار خواهد بود [۵].

۳- کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری به علت حذف سازه‌های بتونی و همچنین استفاده کمتر از تجهیزات مکانیکی و الکتریکی نیاز ارزی پروژه را کاهش خواهد داد [۷].

۴- مصرف کمتر انرژی و مواد شیمیایی و نیاز به نیروی متخصص کمتر، هزینه‌های جاری بهره‌برداری را کاهش خواهد داد [۶].

۵- در قبال مزایای فوق محدودیتهایی نیز در استفاده از فیلتراسیون مستقیم وجود دارد که مهمترین آنها حساسیت به کدورت آب خام ورودی است. همچنین مدت زمان کاری بین دو شستشو در این روش کمتر بوده و لذا آب مصرفی آن برای شستشوی معکوس فیلترها قدری بیشتر از روش متعارف می‌باشد. البته باید عنوان نمود که به علت وجود مواد شیمیایی کمتر و فلوکهای سنگین و ریز در پساب شستشو کیفیت آن بهتر بوده و می‌توان با انجام ته‌نشینی ساده قسمت اعظم آن را به ابتدای مسیر تصفیه هدایت نمود و از تلفات آب کاست [۱۵].

عوامل اصلی مؤثر در عملکرد فیلتراسیون مستقیم

عبارتنداز [۸ و ۱۰]:

- کدورت و رنگ آب خام ورودی،
- اندازه قطر مؤثر مواد معلق در آب خام و نوع آن،
- استفاده یا عدم استفاده از واحد لخته‌سازی مجزا قبل از فیلتراسیون،
- میزان تزریق مواد منعقدکننده و نوع آنها،
- مشخصات مواد پرکننده فیلتر از نظر قطر مؤثر، نوع، ضخامت و تعداد لایه‌های فیلتر و جهت جریان،
- قلیائیت و pH آب خام ورودی،
- میزان فیلتراسیون،
- کلریناسیون یا ازناسیون اولیه،
- درجه حرارت آب خام،
- استاندارد کیفیت آب خروجی.

به طور کلی اصلی‌ترین جاذبه فیلتراسیون مستقیم در حال حاضر صرفه‌جویی در هزینه‌های ثابت، جاری و ارزی آن در کشور ما می‌باشد و به طوری که در جدول ۱ دیده می‌شود در مقایسه‌ای که بین هزینه تصفیه واحد برای روشهای مختلف با ظرفیتهای متفاوت توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا صورت گرفته است، برای ظرفیتهای کوچک تا ۶۰ لیتر در ثانیه (ظرفیت متوسط ۲۶ هزار مترمکعب در روز) فیلترهای کند

جدول شماره ۱ - مقایسه هزینه‌های کلی فرایندهای تصفیه آب آشامیدنی در آمریکا (۱۹۸۷) برای آبهای سطحی [۹].

هزینه کلی تصفیه واحد (دلار بر هزار گالن)												
اندازه تصفیه‌خانه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
ظرفیت اسمی Mgd	۰/۰۲۶	۰/۰۶۸	۰/۱۶۶	۰/۵۰	۲/۵۰	۵/۰۵	۱۱/۵۹	۲۲/۶۶	۳۹/۶۸	۱۰۹/۹	۴۰۵	۱۲۷۵
ظرفیت متوسط Mgd	۰/۰۱۳	۰/۰۴۵	۰/۱۳۳	۰/۴۰	۱/۳۰	۳/۲۵	۶/۷۵	۱۱/۵۰	۲۰/۰۰	۵۵/۵	۲۰۵	۶۵۰
فرایند تصفیه												
۱	تصفیه کامل عمومی توسط سیستمهای پیش ساخته	۹۴۴/۵	۲۷۷/۴	۱۹۵/۱	۱۱۳/۴	۷۲/۸	۵۲/۴					
۲	سیستم عمومی تصفیه کامل					۱۰۴/۱	۷۰/۳	۵۸/۶	۶۱/۹	۵۳/۸	۳۲/۰	۳۱/۰
۳	سیستم تصفیه عمومی با فیلترهای با شستشوی اتوماتیک					۸۷/۹	۵۸/۳	۵۰/۸	۵۷/۶	۴۹/۴	۴۱/۵	
۴	فیلتراسیون مستقیم با استفاده از فیلترهای تحت فشار			۳۲۲/۷	۱۳۷/۲	۷۹/۱	۴۸/۸	۳۹/۲	۴۵/۸	۳۶/۹	۲۸/۲	
۵	فیلتراسیون مستقیم با استفاده از فیلترهای نقلی و فلوکولاسیون				۱۵۰/۲	۹۰/۵	۵۸/۴	۴۶/۸	۵۰/۵	۳۹/۸	۲۸/۶	۲۱/۳
۶	فیلتراسیون مستقیم با استفاده از فیلترهای نقلی و حوضچه تماس				۱۳۱/۲	۸۰/۹	۵۴/۷	۴۴/۲	۴۸/۰	۳۷/۵	۲۶/۳	۲۱/۴
۷	فیلتراسیون مستقیم با استفاده از فیلترهای افقی	۶۷۲/۹	۲۲۷/۲	۱۳۴/۷	۶۶/۶	۴۳/۱	۴۳/۱	۳۶/۱	۴۸/۱	۴۱/۷	۳۵/۴	
۸	فیلتراسیون کندشنی	۳۷۷/۸	۲۰۵/۱	۱۳۳/۴	۵۴/۷	۳۴/۳	۲۸/۷	۲۵/۳				
۹	سیستم اولترافیلتراسیون پیش ساخته	۴۵۵/۶	۲۲۶/۸	۱۷۹/۲	۱۳۸/۴							

- در این مقایسه هزینه کار با مواد شیمیایی خشک و تر در نظر گرفته نشده است.

- این مقایسه شامل پمپاژ آب خام و گندزدایی نمی‌شود.

ماسه‌ای و در ظرفیتهای بالاتر از آن فیلتراسیون مستقیم ارزان‌ترین روشهای مورد استفاده تا سال ۱۹۸۷ بوده است و هزینه واحد تصفیه آب با فیلتراسیون مستقیم از ۲۲ تا ۳۸ درصد در ظرفیتهای مختلف کمتر از روش تصفیه متعارف می‌باشد [۱۳].

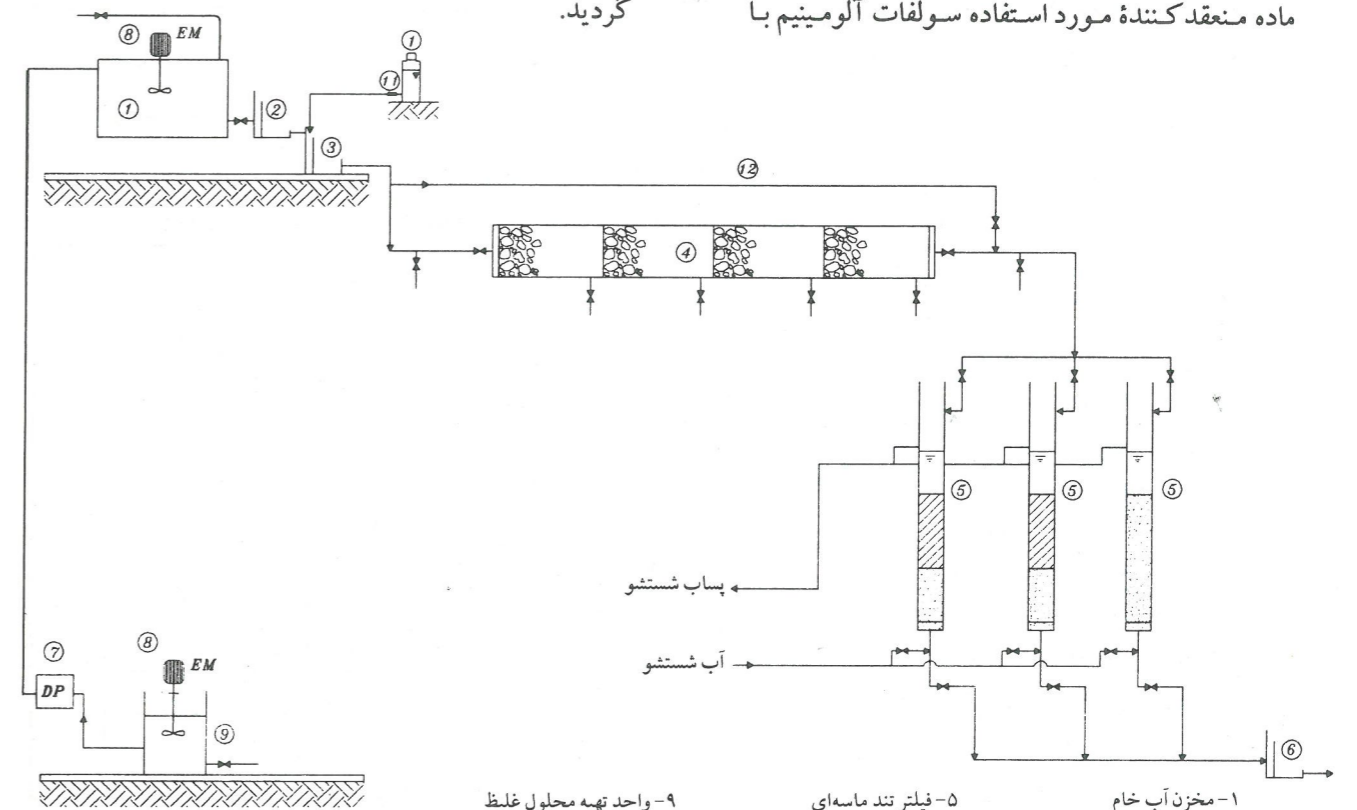
روش کار

به منظور بررسی راندمان فیلتراسیون مستقیم یک واحد پایلوتی همانند آنچه که در شکل ۳ دیده می‌شود در محل شرکت سهامی سازمان آب زنجان نصب و آزمایشات متعددی با و بدون استفاده از مرحله پیش تصفیه فیلتراسیون درشت افقی بر روی آن انجام شد.

برای تهیه آب خام با شرایط نزدیک به واقعیت از رسوبات رودخانه‌های قزل اوزن، تهم چای و سهرین استفاده گردید به طوری که ابتدا یک مخلوط غلیظ تهیه و توسط یک پمپ تزریق، ماده کدورت‌زا با دبی ثابت به تانکر آب خام که با آب شهری تغذیه می‌گردد تزریق و با کمک یک بهم زن، کیفیت آب خام در طول هر آزمایش ثابت نگه داشته شد [۲]. ماده منعقد کننده مورد استفاده سولفات آلومینیم با

۱۶ واحد آب تبلور بوده که به صورت محلول با غلظت ۳۴/۵ میلی مول سولفات یا ۰/۹۳ گرم یون آلومینیم در لیتر تهیه و با دوز مشخص برای هر آزمایش به سیستم اختلاط سریع تزریق گردید.

فیلتر مورد استفاده یک فیلتر یک لایه از ماسه با قطر مؤثر ۰/۵۵ میلی متر و به ضخامت ۹۰ سانتیمتر بوده است که در یک سیلندر شفاف به قطر ۲۰ سانتیمتر و بر روی مصالح درشت فیلتری ۶۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. میزان جریان از فیلتر با یک شیر در خروجی فیلتر و یک سرریز اندازه گیری و ثابت نگهداشته می‌شد (تعیین دقت اندازه گیری دبی توسط ظرف مدرج و کرونومتر صورت می‌پذیرفت). شستشوی معکوس فیلتر پس از هر بار گرفتگی به مدت ۲۰ دقیقه با آب صورت می‌گرفت و هر بار کدورت آب شستشو در نهایت به کمتر از ۱۶ واحد NTU می‌رسید. نمونه‌برداری از خروجی تانک آب خام (قبل از مرحله انعقاد) و در خروجی فیلتر انجام شده و کدورت آنها توسط دستگاه کدورت سنج اندازه گیری و ثبت گردید.

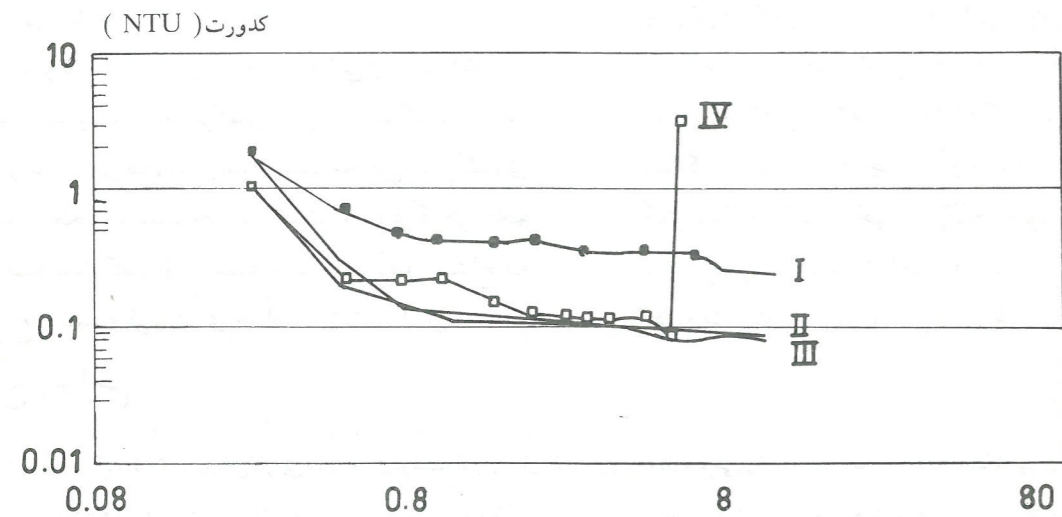


- ۱- مخزن آب خام
- ۲- واحد اندازه گیری
- ۳- واحد اختلاط سریع
- ۴- فیلتر درشت دانه افقی
- ۵- فیلتر تند ماسه‌ای
- ۶- واحد اندازه گیری خروجی
- ۷- پمپ تزریق
- ۸- بهم‌زن
- ۹- واحد تهیه محلول غلیظ
- ۱۰- محل استاندارد مواد منعقد کننده
- ۱۱- واحد تزریق مواد منعقد کننده
- ۱۲- لوله کنارگذر فیلتر درشت افقی

شکل ۳- طرح شماتیک پایلوت احداث شده [۲]

جدول شماره ۲- نتایج چهار آزمایش فیلتراسیون مستقیم.

شماره	آزمایش اول	آزمایش دوم	آزمایش سوم	آزمایش چهارم
۱	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰
۲	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵
۳	۱۶	۱۴/۵	۱۷	۱۵
۴	۵/۷	۵/۷	۵/۷	۵/۷
۵	-	۱۰	۱۰	۱۰
۶	۱۰	۱۴	۱۹	۴۴
۷	۱۱	>۱۲	>۱۲	۶
۸	۰/۲۵-۱/۶۴	۰/۱۰۸-۱/۸۶	۰/۱۰۸-۱/۲۸	۰/۱۰۸-۳/۱۶
۹	افت فشار	-	-	افت فشار
۱۰	۱۴/۵	-	-	۲۶/۵



شکل ۴- تغییرات آب خروجی نسبت به زمان در چهار حالت

از آزمایشات انجام شده چهار نمونه انتخاب شده که نتایج آنها در جدول ۲ نشان داده شده است. شکل ۴ نشانگر تغییرات کدورت آب خروجی از فیلتر در طول زمان کارکرد می‌باشد. چنانچه مشاهده می‌گردد در فیلتراسیون مستقیم با شرایط پایلوتی این تحقیق، می‌توان آب خام با کدورت کمتر از ۲۰ واحد NTU را تصفیه نمود و برای کدورت‌های بالاتر باید

تمهیدات دیگری همچون استفاده از فیلترهای چند لایه با جنسهای مختلف و ضخامتهای متفاوت، تغییر در نوع و میزان تزریق مواد منعقد کننده و غیره به کار گرفت. همچنین می‌توان برای تصفیه آبهای با کدورت‌های بالا، واحد پیش تصفیه مناسبی در نظر گرفت که در این زمینه فیلتراسیون درشت افقی در پایلوت ساخته شده مورد آزمایش قرار گرفته است [۱].

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

از این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که:

۱- روش فیلتراسیون مستقیم دارای جاذبه اقتصادی قابل توجهی برای تصفیه آبهایی با کدورت کمتر از ۲۰ واحد NTU و ترجیحاً آب دریاچه پشت سدها می‌باشد. چنانچه در آزمایش اول مشاهده گردید این سیستم بدون تزریق مواد منعقدکننده و با قطر مؤثر مواد فیلتری حدود ۰/۵۵ میلی‌متر و ضخامت ۹۰ سانتیمتر می‌تواند آب خام با کدورت ۱۰ واحد NTU را به مدت ۱۱ ساعت تصفیه نماید. نتایج حاصل از آزمایشات بعدی نشانگر آن است که با تزریق مواد منعقدکننده به میزان ۱۰ میلی‌گرم آلوم در لیتر می‌توان ظرفیت پذیرش همان فیلتر را تا ۲۰ واحد با زمان عملکرد قابل قبول برای تصفیه‌خانه‌های آب افزایش داد. همچنین با توجه به کدورت‌های خروجی می‌توان چنین استنباط نمود که با افزایش قطر مواد فیلتری می‌توان زمان بهره‌برداری را تا حدی افزایش داد.

۲- نظر به استفاده کمتر از مواد شیمیایی و منعقدکننده در فیلتراسیون مستقیم و تولید فلوکهای ریزتر و سنگین‌تر پساب حاصل از شستشوی فیلترها از نظر زیست محیطی خطر کمتری برای انسان و محیط زیست خواهد داشت. از سوی دیگر حجم لجن حاصله بسیار کمتر از روش‌های متعارف بوده و احتیاج به سیستم دفع و تصفیه کوچکتری خواهد داشت و لذا این سیستم

منابع و مراجع:

۱- رشیدی مهرآبادی، ۱۳۷۵، ارزیابی کارایی فیلتراسیون درشت‌دانه با جریان افقی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران.

۲- فاضلی، م.، ۱۳۷۵، ارزیابی نحوه عملکرد فیلتراسیون مستقیم در تصفیه آبهای سطحی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران

- 3- Akhavan Azari, M. (1993). " Effect of Coagulation on Headloss Development in Rapid Sand Filtration," IHE, The Netherlands.
- 4- Cleasby, J.L (1976). " Research Achievements: Existing and Expected, " J. AWWA, 68 : 6 : 272.
- 5- Collins, M.R., Amy, G. L., and Bryant, C.W. (1987). " Evaluation of Factors Affecting Performance of Direct Filtration " ASCE, J. Env. Eng., 113 (2) : 330 - 344.
- 6- Committee Report, (1980). " The Status of Direct Filtration, " J.AWWA, 72 (7): 405-411.
- 7- Culp, R.L. (1977). " Direct Filtration, " J. AWWA, 69 (7) : 375 - 378.
- 8- Daniel, C. et al (1993). " Particle Behavior in Deepbed Filtration " J.. AWWA, Vol. No. Paye.
- 9- EPA Report to Congress, (1988). " Comparative Health Effect Assessment of Drinking Water Treatment Technologies, ".
- 10- Foley, P.D. (1980). " Experience with Direct Filtration at Ontario Lake Huron Treatment Plant " , J. AWWA,
- 11- Graham, N.J.D. (1986). " Orthokinetic Flocculation in Rapid Filtration, " Water Research, 20 (6): 715-724.
- 12- Huisman, L. (1986). " Slow Sand Filtration," IHE, The Netherlands.
- 13- Huisman, L. (1986). " Rapid sand Filtration, " IHE, The Netherlands.
- 14- Monsciviz, J.T. et al. (1987). " Some Practical Experiments in Direct Filtration, " J. AWWA, 70(10): 584.
- 15- Yeh, H.H., and Huang, K.L. (1989). " Optimization of Pretreatment for Direct Filtration, ". J. AWWA, 73 : 4 : 21.