Comparison of Single and Dual Media Filters Efficiency in Direct Filtration

Torabian, A. (Ph.D), Assist. Prof., Kafi, H. (Msc.), Student, Faculty of Environment, University of Tehran

Abstract

In recent years, according to water shortage, non-optimal of energy and high cost of water treatment, usage of dual media filters (DMF) and direct filtration have paied more attention. On the other hand, filtration is known as heart of water treatment plant (WTP) and takes about 20% of total capital cost of WTP, Therefore, optimal design in the economical scope is very important.

This research tries to evaluate direct filtration through DMF (Anthracite Coal and Sand) and single media filter (SMF) and applied this method for raw water with low turbidity (below
15-20NTU) for the first time in Iran with natural water (taken from reservoir of Karaj Dam) in Kan WTP (Tehran No. Two water treatment plant).

In the first experiment direct filtration was carried out in pilot scale by injection of 1 ppm $FeCl_3$ and 2 ppm lime into the raw water with a turbidity of 8.3-15.5NTU. Runing time and average effluent turbidity were 32 hr, 1.31 NTU for SMF and 48hr, 1.11 NTU for DMF respectively.

The second experiment carried out with 2.2ppm lime (Without $FeCl_3$) led to run time and average effluent turbidity of 37.5 , 2.15NTU for SMF and 58.3hr , 2.06NTU for DMF respectively.

Pilot results indicated direct filtration with DMF in conjunction with low amount of coagulants can be used for the seasons of years in which the turbidity of raw water is less than 15-20 NTU.

مقایسه کارایی صافی‌های تک لایه و دو لایه در فیلتراسیون مستقیم

علی ترابیان* حمید کافی بجستانی**

(دریافت ۸۰/٤/۱۲ پذیرش ۸۰/۱۰/۱۵)

چکیده

در سال‌های اخیر با توجه به کمبود آب، عدم استفاده بهینه از انرژی و هزینه بالای تصفیه آب، استفاده از صافی‌های دو لایه و فیلتراسیون مستقیم اهمیت بیشتری یافته است. از سوی دیگر، صافی به عنوان قلب تصفیه‌خانه بوده و حدود ۲۰ ٪ هزینه کل احداث تصفیه‌خانه را شامل می‌گردد. لذا طراحی بهینه این واحد از جنبه اقتصادی حایز اهمیت است.

این تحقیق فیلتراسیون مستقیم را از طریق صافی دو لایه (زغال آنتراسیت+ ماسه) و صافی تک لایه (ماسه) مورد بررسی قرار داده و این روش را برای کدورت‌های کم (زیر ۱۵ تا ۲۰NTU) برای اولین بار در ایران با آب طبیعی (آب سد کرج) در تصفیه‌خانه کن (تصفیه‌خانه شماره ۲ تهران) ارزیابی کرده است.

در آزمایش اول با تزریق ۱ppm کلرورفریک و ۲ppm آهک برای کدورت آب خام (۸/۳ تا ۱۵/۵NTU)، فیلتراسیون مستقیم در مقیاس پایلوتی انجام گرفت. زمان عملکرد و متوسط کدورت خروجی تک لایه به ترتیب ۳۲ ساعت و ۱/۳۱NTU، در دو لایه ٤۸ ساعت و ۱/۱۱NTU برآورد شد. در آزمایش دوم فقط با تزریق ۲/۲ppm آهک (بدون کلرورفریک) زمان کارکرد و متوسط کدورت خروجی در تک لایه به ترتیب ۳۷/۵ ساعت و ۲/۱۵NTU و در دو لایه به ترتیب ۵۸/۳ ساعت و ۲/۰٦NTU نتیجه شد.

بنابراین نتایج پایلوتی گویای این حقیقت است که فیلتراسیون مستقیم در ایران، در فصولی از سال که کدورت آب خام ورودی پایین (۱۵ تا ۲۰NTU) باشد، با مقدار کم مواد منعقد کننده و با استفاده از صافی‌های دو لایه قابل استفاده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی : تصفیه آب، فیلتراسیون، فیلتراسیون مستقیم، صافی تک لایه، صافی دو لایه.

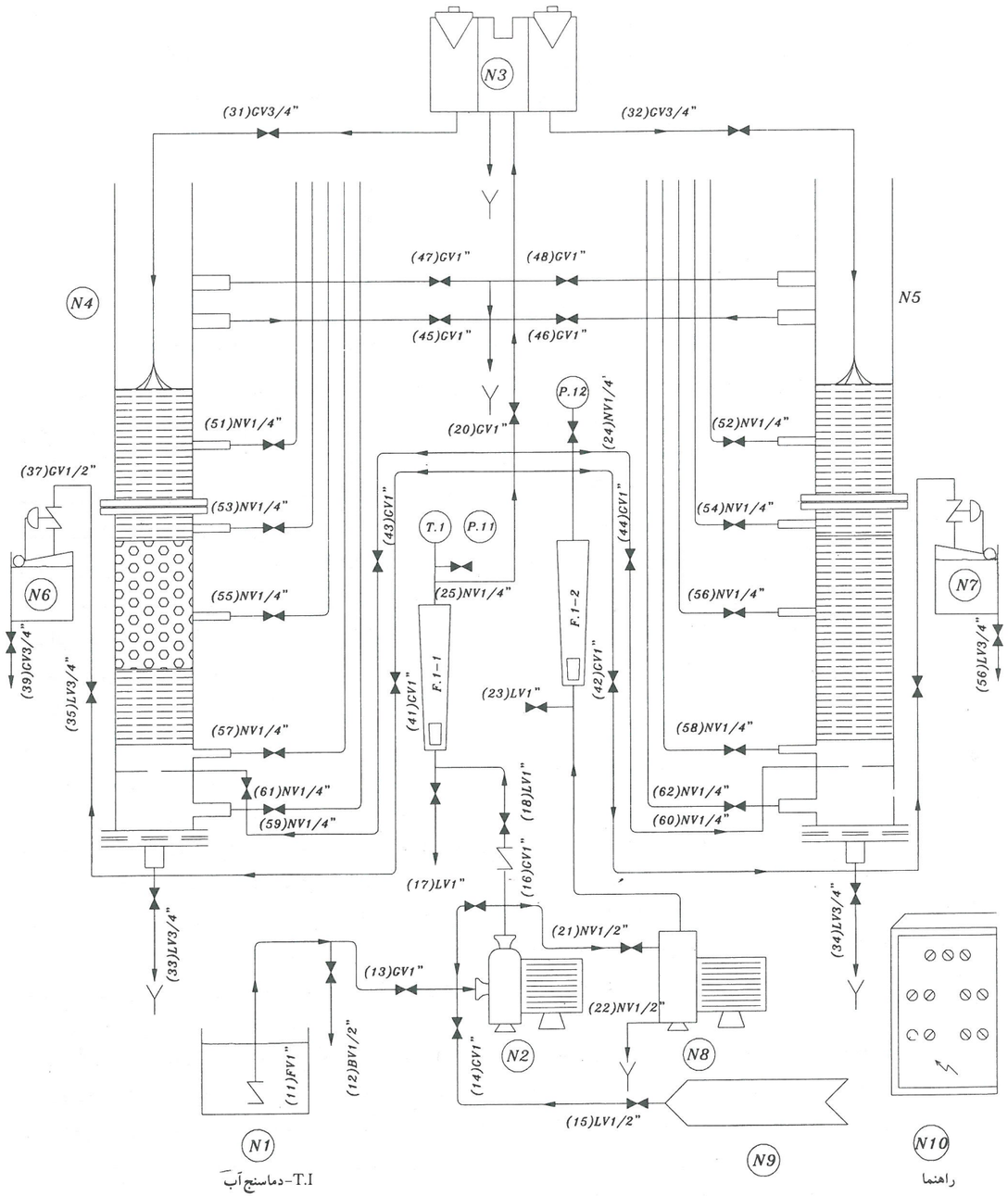
مقدمه

فیلتراسیون یکی از فرایندهای اصلی تصفیه آب می‌باشد. به طوری که دست‌یابی به آب آشامیدنی با کیفیت مطلوب بدون استفاده از آن بسیار مشکل است. با توجه به کمبود آب و عدم استفاده بهینه از انرژی و هزینه بالای تصفیه آب، استفاده از صافی‌های دو لایه و فیلتراسیون مستقیم اهمیت بیشتری پیدا کرده است. این صافی‌ها، صاف کردن مستقیم آب را با کدورت کم بدون عمل ته‌نشینی ممکن می‌سازند [۸]. در صافی‌های تک لایه پس از عمل شست و شو بستر به لایه‌هایی تقسیم شده که اگر از سطح بستر به سمت کف بستر حرکت کنیم اندازه مؤثر دانه‌ها درشت‌تر می‌گردد. لذا ذرات معلقی که در لایه‌های بالایی حذف نگردند از لایه‌های پایینی نیز عبور کرده و کارایی سیستم نزول می‌کند. اما در صورتی که گرادیان هیدرولیکی صافی را بتوان معکوس کرد (صافی دو لایه و سه لایه)، این وضع را می‌توان تخفیف داد.

ماسه سیلیسی به علت دوام زیاد و قیمت اندک همیشه به عنوان یک لایه از بستر صافی دو لایه مطرح بوده است. برای لایه دوم می‌توان از دانه‌های ریز با چگالی بیشتر از ماسه در پایین، و یا دانه‌های درشت‌تر با چگالی کمتر در بالای ماسه استفاده کرد. در اکثر موارد برای این لایه از زغال آنتراسیت استفاده می‌شود [۱]. زغال آنتراسیت در صنعت به عنوان سوخت به کار برده می‌شود [۲].

* استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

** دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط زیست دانشگاه تهران.



راهنما

N_1 - کانال آب زلال پولسانور

N_2 - الکتروپمپ تزریق (شستشو)

N_3 - جعبه تقسیم جریان (قابل تنظیم)

N_4 - ستون صافی ۱

N_5 - ستون صافی ۲

N_6 - جعبه کنترل شناور ۱

N_7 - جعبه کنترل شناور ۲

N_8 - دمنده هوای شستشو

N_9 - منبع آب شستشو

N_{10} - تابلو برق

F_{11} - اندازه گیر جریان آب تغذیه/شستشو

F_{12} - اندازه گیر جریان هوای شستشو

T.I - دماسنج آب

$P.I_1$ - فشارسنج آب تغذیه (شستشو)

$P.I_2$ - فشارسنج هوای شستشو

$P.I_3$ - فشارسنج ستون صافی ۱

$P.I_4$ - فشارسنج ستون صافی ۲

راهنمای نوع شیرها

F.V شیر یکطرفه

G.V شیر کشویی

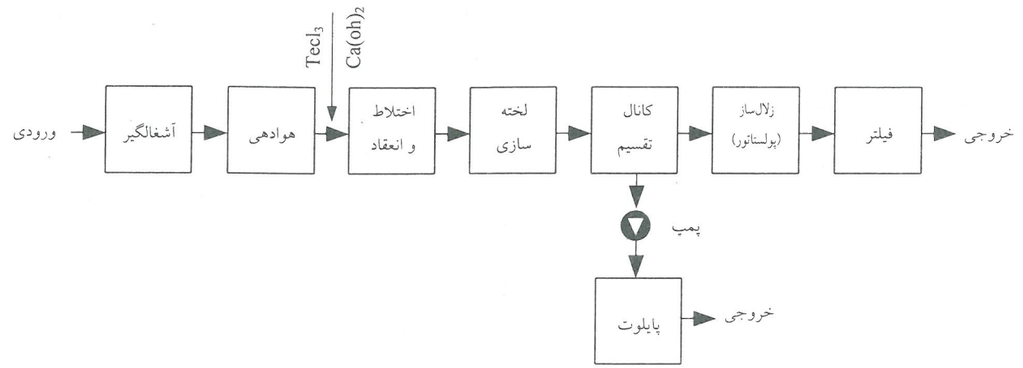
L.V شیر قطع و وصل کروی

C.V شیر کنترل

N.V شیر سوزنی

B.V شیر توپی

شکل ۱- نمودار جریانی پایلوت فیلتر [۵].



شکل ۲- نمودار جریانی فرایند تصفیه در روش فیلتراسیون مستقیم و تصفیه‌خانه اب کن.

در سال ۱۸۸٤ اولین تصفیه‌خانه با روش فیلتراسیون مستقیم[1] توسط هیات[2] در ایالت متحده طراحی و راه‌اندازی گردید [۱۰]. در فیلتراسیون مستقیم، آب بعد از طی عملیات انعقاد و لخته‌سازی مستقیماً وارد صافی شده و عمل ته‌نشینی در جان صافی اتفاق می‌افتد. کدورت آب ورودی به این سیستم نباید بیش از NTU۱۵ باشد [۱۰].

به علت فرایند ارتوکینتیک و جریان قالبی[3] حاکم در صافی، سرعت برخورد ذرات زیاد بوده و سرعت لخته‌سازی تابع درجه یک از تعداد ذرات معلق موجود است. بنابراین، نیاز به مقدار کمتری از مواد منعقد کننده برای رسیدن به راندمان غالب وجود دارد، و با حذف حوضچه‌های ته‌نشینی، زمین کمتری مورد نیاز بوده، هزینه‌های اجرایی و بهره‌برداری سیستم کاهش می‌یابد. هم‌چنین، به علت مصرف کمتر مواد منعقد کننده، میزان لجن تولیدی کمتر شده و جداسازی و خشک کردن آن با هزینه کمتری امکان‌پذیر خواهد بود [۳ و ٦].

در فیلتراسیون مستقیم نسبت به فیلتراسیون در خط[4]، طول زمان عملکرد صافی بیشتر بوده و کیفیت خروجی با استفاده از صافی دو لایه بهبود می‌یابد [۱۱].

یه[5] در یک تحقیق نشان می‌دهد که در فیلتراسیون مستقیم امکان از کارافتادن صافی قبل از موعد نیز وجود دارد [۹]. معایب اصلی که فیلتراسیون مستقیم را تحت‌الشعاع قرار می‌دهند، محدودیت سیستم در پذیرش کدورت و رنگ آب خام ورودی و احتیاج به پیش تصفیه مناسب با تغییرات فعلی کیفیت آب خام، و هم‌چنین عملکرد کوتاه‌تر نسبت به صافی‌های تند ماسه‌ای متعارف می‌باشد[٤ و ۷].

روش تحقیق

به منظور ارزیابی روش فیلتراسیون مستقیم در تصفیه‌خانه آب شماره دو تهران (کن) از پایلوتی که دیاگرام جریان آن در شکل ۱ نشان داده شده است استفاده شد، و پایلوت در محوطه تصفیه‌خانه نصب گردید. در این روش آب ورودی به تصفیه‌خانه کن که از سد کرج تأمین می‌شد، بعد از عبور از مرحله آشغال‌گیری و هوادهی وارد حوضچه‌های اختلاط و لخته‌سازی می‌گردید.

در حوضچه اختلاط، آب آهک با غلظت ۲ تا ppm۲/۲ و کلرورفریک ($Fecl_3$) با غلظت صفر تا یک میلی‌گرم بر لیتر تزریق شده و توسط یک همزن با سرعت ۱۱۰ دور در دقیقه عمل اختلاط و انعقاد صورت می‌گرفت.

در حوضچه لخته‌سازی، عمل چسبیدن لخته‌های کوچک و تشکیل لخته‌های درشت‌تر انجام می‌پذیرفت، و لذا آب بعد از عبور از این دو حوضچه با طی زمان ماند ۳۰ دقیقه وارد کانال تقسیم می‌گردید (شکل ۲).سپس آب از طریق یک شیر یک‌طرفه عمودی توسط پمپی با قدرت ۰/۳۸ کیلووات وحداکثر دبی ٤٥ لیتر بر دقیقه مکیده شده و پس از طی اختلاف ارتفاع شش متری (بین محل شیر و پمپ) به داخل پایلوت هدایت می‌شد.

به علت ایجاد ارتفاع لازم توسط پمپ، آب از دبی‌سنج F_1-۱، فشارسنج P_1-۱ و دماسنج T_1 گذشته و وارد جعبه مقسم N_3 می‌گردید. در این جعبه آب توسط دو سرریز مثلثی به دو قسمت تقسیم شده و به ستون‌های شیشه‌ای N_4 و N_5 هدایت می‌شد. این ستون‌ها از ورقه‌های شفاف به ضخامت ٤ میلی‌متر، قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲/٤ متر ساخته شده بود.

[1] Direct Filter
[2] Hyat
[3] Plug Flow
[4] Inline Filtration
[5] Yeh

ستون N_6 که به عنوان صافی‌های شاهد[1] شناخته می‌شد، حاوی 5cm شن درشت دانه (E.S:٥-٦mm)، ۳۰cm ماسه (U.C:۱/٤ و E.S:۱/۲mm) و ٤٥cm زغال آنتراسیت (U.C:۱/۲ و E.S:۱/۷mm) بود.

آب زلال شده بعد از عبور از صافی‌های شاهد و آزمایش به حوضچه‌های شناوری N_6 و N_7 وارد می‌شد. در این حوضچه جعبه‌ای شکل، شناورهایی نصب شده بود که سطح آب را در صافی‌ها، همانند صافی‌های تصفیه‌خانه به ارتفاع ٦۰cm بالای ماسه، ثابت نگه می‌داشتند. آب بعد از خروج از این دو جعبه به خارج از پایلوت هدایت می‌شد. برای شست و شوی صافی‌ها، یک کمپرسور هوا با قدرت ۱/۵ کیلووات روتامتر هوا در نظر گرفته شده و شیر فلکه‌های آب و هوای مربوطه تعبیه شده بود. اما به علت شکستگی روتامتر هوا (F_1-۲)، در این تحقیق فقط از آب برای شست و شوی صافی‌ها استفاده گردید. آب لازم برای شست و شو از آب شرب تصفیه‌خانه تأمین می‌شد و پساب شست و شو که حاوی زایدات گرفته شده توسط صافی بود، از دو سرریز، که در ارتفاع ۲/۱۵ و ۲/۰۵ متر در بالای بستر تعبیه شده بودند، به چاه فاضلاب هدایت می‌شد. مقایسه در بار سطحی ٦مترمکعب بر مترمربع در ساعت، به روش سطح و دبی ثابت انجام می‌گرفت. در فاصله زمانی هر دو ساعت یک‌بار توسط شیرهای سماوری که در ارتفاعات ۲۰، ٤٥ و ۹٥ سانتی‌متری از کف استوانه صافی نصب شده بود، برداشت‌ها انجام می‌شد و به وسیله دستگاه کدورت‌سنج هک[2] مقدار کدورت، و توسط شیلنگ‌های تراز نصب شده مقدار افت فشار اندازه‌گیری و در فرم‌های مربوطه ثبت می‌گردید.

نتایج تحقیق

آزمایش اول در فصل زمستان در بهمن‌ماه صورت گرفت و درجه حرارت آب بین ٦ تا ۱٤ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. برای ایجاد انعقاد، مقدار آهک تزریقی 2ppm و مقدار کلرور فریک 1ppm و دور موتور همزن ۱۱۰rmp بود. هم‌چنین، زمان لازم برای انعقاد ٥ ثانیه برآورد گردید.

[1] Index
[2] HACK

همزمان با اندازه‌گیری کدورت و افت فشار صافی تک لایه و دو لایه پایلوت، کدورت و افت فشار صافی ۲۲ تصفیه‌خانه کن که هم‌زمان با صافی پایلوت شروع به کار کرده بود، اندازه‌گیری شد. نهایتاً، خلاصه نتایج به دست آمده در جدول ۱ ثبت شد و منحنی‌های ۳ و ٤ با توجه به جدول ترسیم گردید.

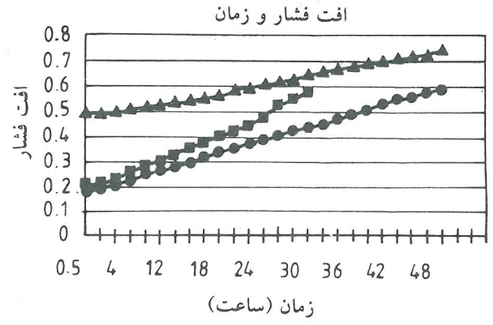
طبق منحنی‌های به دست آمده (شکل‌های ۳ و ٤)، مشاهده می‌شود که زمان کارکرد صافی دو لایه ٤۸ ساعت و زمان کارکرد صافی تک لایه پایلوت ۳۲ ساعت است. هم‌چنین، با توجه به کدورت آب خام ورودی بین ۸/۳ تا NTU۱٥/٥ کدورت خروجی از صافی دو لایه بین ٦ تا NTU۰/۲۳ و کدورت خروجی از تک لایه پایلوت بین ۰/۳ تا NTU٥/۳ متغیر می‌باشد. افت فشار ایجاد شده در صافی تک لایه ۰/۲ تا ۰/٥۸ متر، در صافی دو لایه ۰/۱۷ تا ۰/٥۹ متر و در صافی کن بین ۰/٤۹ تا ۰/۷٥ متر برآورد شده است.

پس از گرفتگی صافی‌ها، شست و شوی معکوس آنها فقط با آب دبی ۷/٥ لیتر بر دقیقه در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت شست و شوی سطحی ۲٥/۸ متر بر ساعت به مدت ۳۰ دقیقه برای صافی تک لایه و دو لایه صورت گرفت. در طول عمل شست و شو حجم مواد فیلتری به میزان ۸٪ در تک لایه و ۲٤٪ در دو لایه انبساط پیدا کرد. در نهایت، کدورت آب خروجی شست و شو در صافی تک لایه NTU۱/۱ و در صافی دو لایه NTU۱/٥ رسید و میزان آب مصرفی برای شست و شو به ۲۲٥ لیتر بالغ گردید. هم‌چنین، میزان آب تلف شده در شست و شوی معکوس تک لایه ٦/٦٪ و در دو لایه ٤/٥٪ محاسبه شد.

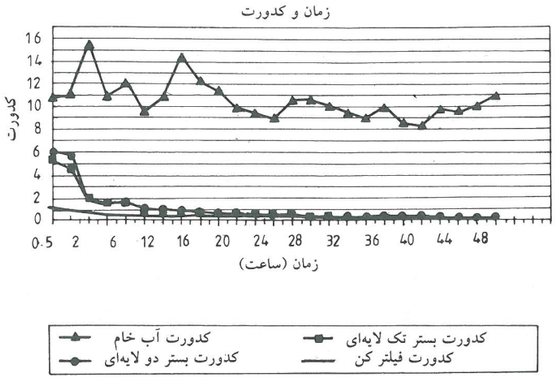
در آزمایش دوم فقط از آهک به میزان ppm۲/۲ استفاده شد و بقیه شرایط مانند آزمایش قبل بود. سرانجام، نتایج آزمایش در جدول ۲ خلاصه گردید و منحنی‌های افت فشار و کدورت نسبت به زمان، با توجه به جدول ترسیم شد. طبق منحنی‌های رسم شده در شکل‌های ٥ و ٦، زمان کارکرد صافی تک لایه ۳۷/٥ و صافی دو لایه ٥۸/۳ ساعت بود. حداقل افت فشار در تک لایه و دو لایه

جدول ۱- جدول نسبت نتایج آزمایش اول در فیلتراسیون مستقیم.

صافی تصفیه‌خانه کن	صافی دو لایه	صافی تک لایه	تصفیه‌خانه کن	صافی دو لایه	صافی تک لایه	آب خام	زمان
کدورت NTU	کدورت NTU	کدورت NTU	کدورت NTU	کدورت NTU	کدورت NTU	کدورت NTU	(h)
۰/۴۹	۰/۱۷	۰/۲۰۵	۱/۱	۶	۵/۳	۱۰/۷	۰/۵
۰/۴۹	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۹	۵/۵	۴/۵	۱۱	۱
۰/۵	۰/۲	۰/۲۳	۰/۶۵	۱/۸۵	۱/۹	۱۵/۵	۲
۰/۵۱	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۴۵	۱/۵۹	۱/۵۲	۱۰/۷	۴
۰/۵۲	۰/۲۵	۰/۲۹	۰/۴۳	۱/۶	۱/۵	۱۲	۶
۰/۵۳	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۴۲	۱/۱	۰/۹۵	۹/۵	۱۰
۰/۵۴	۰/۲۸	۰/۳۳	۰/۴۶	۱/۱	۰/۹۳	۱۰/۹	۱۲
۰/۵۵	۰/۳	۰/۳۶	۰/۴۳	۰/۹۳	۰/۸۷	۱۴/۵	۱۴
۰/۵۶	۰/۳۳	۰/۳۸	۰/۴۹	۰/۸۵	۰/۷۵	۱۲/۳	۱۶
۰/۵۷	۰/۳۵	۰/۴۱	۰/۴	۰/۸۳	۰/۶۸	۱۱/۵	۱۸
۰/۵۹	۰/۳۶	۰/۴۳	۰/۳۹	۰/۷۸	۰/۶۳	۱۰	۲۰
۰/۶	۰/۳۸	۰/۴۵	۰/۳۷	۰/۵۹	۰/۵۹	۹/۵	۲۲
۰/۶۱	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۳۶	۰/۵۵	۰/۵	۹	۲۴
۰/۶۲	۰/۴۱	۰/۵۳	۰/۳۵	۰/۶۳	۰/۶۵	۱۰/۷	۲۶
۰/۶۳	۰/۴۳	۰/۵۵	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳	۱۰/۷	۲۸
۰/۶۵	۰/۴۴	۰/۵۸	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۳۵	۱۰/۱	۳۰
۰/۶۶	۰/۴۵		۰/۲۹	۰/۴۲	۰/۳۲	۹/۵	۳۲
۰/۶۷	۰/۴۷		۰/۲۵	۰/۳۵		۹	۳۴
۰/۶۸	۰/۴۹		۰/۲۴	۰/۴۹		۱۰	۳۶
۰/۶۹	۰/۵۱		۰/۲	۰/۳۹		۸/۵	۳۸
۰/۷	۰/۵۳		۰/۱۹	۰/۴۶		۸/۳	۴۰
۰/۷۱	۰/۵۵		۰/۱۸	۰/۳۲		۹/۷	۴۲
۰/۷۲	۰/۵۶		۰/۲۴	۰/۲۵		۹/۵	۴۴
۰/۷۳	۰/۵۸		۰/۱۹	۰/۲۳		۱۰	۴۶
۰/۷۵	۰/۵۹		۰/۱۸	۰/۲۵		۱۰/۹	۴۸



شکل ۳- مقایسه رفتار افت فشار در فیلترهای پایلوت (تک لایه و دو لایه) و فیلتر کن.



شکل ٤- کدورت‌های خروجی از فیلترهای پایلوت (تک لایه و دو لایه) و فیلتر کن.

و صافی کن به ترتیب ۰/۲، ۰/۱۷ و ۰/۵۲ متر، و حداکثر افت فشار به ترتیب ۰/۵۹، ۰/۵۸ و ۰/۹٤ متر برآورد شده است. هم‌چنین، حداقل مقدار کدورت خروجی در صافی تک لایه و دو لایه به ترتیب ۱/٦۸ و NTU۱/٦۳ بود، و حداکثر مقدار آن در هر دو صافی NTU٦/۳ تجاوز نکرد.

سرانجام، پس از اتمام عملکرد صافی شست و شوی معکوس آنها در دمای ٦ درجه سانتی‌گراد با دبی ۷/۵ لیتر بر دقیقه و بار شست و شوی ۲۵/۸ متر بر ساعت به مدت ۳۵ دقیقه برای صافی تک لایه و دو لایه صورت گرفت. در نهایت، کدورت خروجی در هر دو صافی در پایان شست و شو به NTU۱/۱ رسید، و لذا میزان آب مصرفی به ۲٦۲/۵ لیتر بالغ گشت. هم‌چنین، میزان آب تلف شده با توجه به زمان کارکرد صافی‌ها، در صافی تک لایه ٦/٦٪ و در صافی دو لایه ٤/٦٪ برآورد شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج مطالعات پایلوتی و آزمایشگاهی در بار سطحی ٦ متر بر ساعت و با توجه به آزمایش‌های انجام شده، زمان کارکرد صافی دو لایه تقریباً ۱/۵ برابر صافی تک لایه است. بنابراین، می‌توان با استفاده از صافی دو لایه، زمان عملکرد صافی را افزایش داد و با کاهش تعداد شست و شوی معکوس در مصرف آب صرفه‌جویی نمود، که ضرورت بازنگری این موضوع در کشور ایران حایز اهمیت است.

در مقایسه آزمایش اول و دوم مشاهده می‌شود، در صورت عدم استفاده از کلرورفریک و به کارگیری ۲/۲ppm آهک، زمان کارکرد صافی دو لایه ۱۰/۳ ساعت و صافی تک لایه ۵/۵ ساعت افزایش می‌یابد، و با مصرف مقدار کمی کلرورفریک (۱ppm)، کدورت‌های خروجی از صافی‌ها قابل قبول بوده و زیر حد استاندارد می‌باشد. بنابراین، می‌توان با کاهش مقدار کلرور فریک، هزینه ناشی از خرید آن را کاهش داد.

لازم به ذکر است، در زمان انجام این تحقیق، کدورت آب ورودی به صافی بین ۸/۳ تا NTU۱۵/۵ متغیر بود، و به نظر می‌رسد برای کدورت در این محدوده فیلتراسیون مستقیم نسبت به فیلتراسیون معمولی از کارایی خوبی برخوردار می‌باشد.

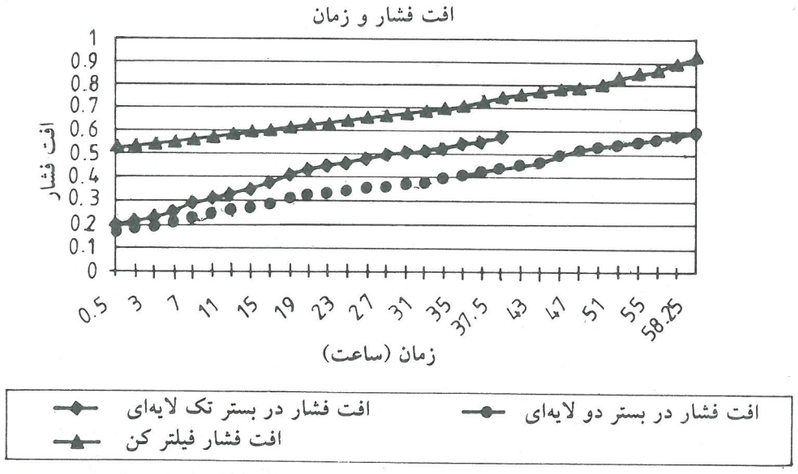
از آن‌جا که به علت حذف حوض ته‌نشینی در فیلتراسیون مستقیم، می‌توان مساحت زمین مورد نیاز تصفیه‌خانه را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش داد، لذا این سیستم در شهرهای بزرگ و پرجمعیت، که ارزش زمین خیلی زیاد است، می‌تواند از جاذبه زیادی برخوردار گردد.

بنا بر آزمایش دوم، با حذف کلرور فریک از سیستم انعقاد، می‌توان کدورت خروجی را به زیر NTU۲ کاهش داد. بنابراین، با فرض این که آب خروجی از لحاظ باکتریولوژی مشکل‌زا نباشد و مشکل افزایش pH به طریقه‌ای جبران شود، می‌توان از سیستم آهک خالی بدون ماده منعقد کننده دیگر بهره جست.

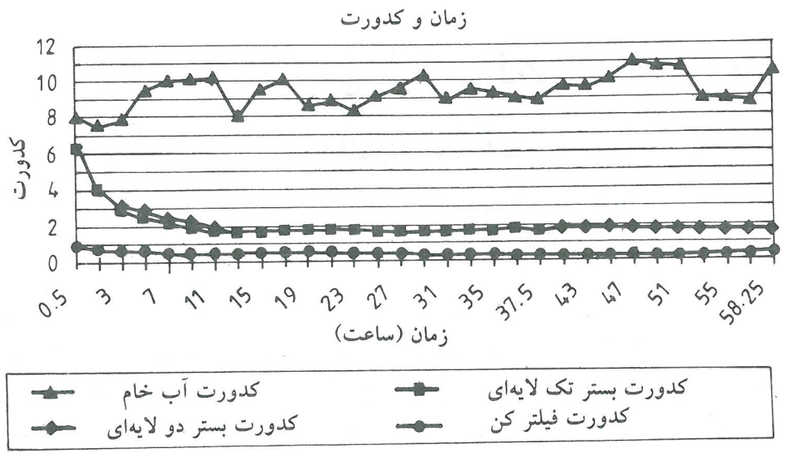
در ضمن، با استفاده از فیلتراسیون مستقیم، مصرف برق تصفیه‌خانه کاهش می‌یابد، و در صورت استفاده از یک سیستم فیلتراسیون درشت‌دانه برای ایجاد عمل انعقاد و لخته‌سازی، می‌توان در تمام فصول سال از فیلتراسیون مستقیم استفاده نمود.

جدول ۲- جدول ثبت نتایج آزمایش دوم در فیلتراسیون مستقیم.

صافی تصفیه‌خانه کن	صافی دو لایه	صافی تک لایه	تصفیه‌خانه کن	صافی دو لایه	صافی تک لایه	آب خام	زمان
کدورت NTU	کدورت NTU	کدورت NTU	کدورت NTU	کدورت NTU	کدورت NTU	کدورت NTU	(h)
۰/۵۲	۰/۱۷	۰/۲	۰/۸۵	٦/۳	٦/۳	۸	۰/۵
۰/۵۳	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/٦۷	٤	۳/۹	۷/۵	۱
۰/۵٤	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/٦۳	۳/۱	۲/۹	۷/۸	۳
۰/۵۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/٦۲	۲/۹	۲/۵	۹/۵	۵
۰/۵٦	۰/۲۳	۰/۲۹	۰/۵	۲/۵	۲/۳	۱۰	۷
۰/۵۷	۰/۲٤	۰/۳۱	۰/٤۳	۲/۳	۱/۹	۱۰/۱	٦
۰/۵۸	۰/۲٦	۰/۳۳	۰/٤٦	۲	۱/۷	۱۰/۲	۱۱
۰/۵۹	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/٤۹	۱/٦۹	۱/٦۹	۸	۱۳
۰/٦	۰/۲۸	۰/۳۷	۰/۵	۱/۷	۱/۷	۹/۵	۱۵
۰/٦۱	۰/۳۱	۰/٤۱	۰/۵۳	۱/۷۵	۱/۷۵	۱۰	۱۷
۰/٦۲	۰/۳۲	۰/٤۳	۰/٤۹	۱/۷	۱/۷۳	۸/۵	۱۹
۰/٦۳	۰/۳۳	۰/٤۵	۰/٤۵	۱/۷۳	۱/۷۲	۸/۸	۲۱
۰/٦٤	۰/۳٤	۰/٤٦	۰/۳۹	۱/۷۵	۱/٦۹	۸/۳	۲۳
۰/٦۵	۰/۳۵	۰/٤۸	۰/۳٦	۱/٦۵	۱/۵۹	۹	۲۵
۰/٦۷	۰/۳٦	۰/۵	۰/۳۸	۱/٦۳	۱/٦۵	۹/۵	۲۷
۰/٦۸	۰/۳۷	۰/۵۱	۰/۲۹	۱/٦۳	۱/٦۳	۱۰/۳	۲۹
۰/٦۹	۰/۳۸	۰/۵۲	۰/۲۸	۱/٦۵	۱/۷	۸/۹	۳۱
۰/۷	۰/٤	۰/۵۳	۰/۲۷	۱/٦۸	۱/۷۱	۹/۵	۳۳
۰/۷۱	۰/٤۱	۰/۵۵	۰/۲۸	۱/٦۹	۱/٦۹	۹/۳	۳۵
۰/۷۳	۰/٤۳	۰/۵٦	۰/۲۵	۱/۷۳	۱/۷۵	۹	۳۷
۰/۷۵	۰/٤٤	۰/۵۸	۰/۲۳	۱/٦۹	۱/٦۸	۸/۹	۳۷/۵
۰/۷٦	۰/٤۵		۰/۲۱	۱/۷۵		۹/۷	٤۱
۰/۷۷	۰/٤٦		۰/۲	۱/۷٦		۹/۵	٤۳
۰/۷۸	۰/٤۹		۰/۱۹	۱/۸		۱۰	٤۵
۰/۷۹	۰/۵۱		۰/۱۸	۱/۷۳		۱۰/۹	٤۷
۰/۸	۰/۵۳		۰/۱۸	۱/۷۲		۱۰/۷	٤۹
۰/۸۳	۰/۵٤		۰/۱۹	۱/۷۱		۱۰/۷	۵۱
۰/۸۵	۰/۵۵		۰/۲۵	۱/۷		۸/۹	۵۳
۰/۸٦	۰/۵٦		۰/۲۳	۱/٦۹		۸/۹	۵۵
۰/۸۹	۰/۵۸		۰/۲۹	۱/٦۸		۸/۷	۵۷
۰/۹۳	۰/۵۹		۰/۳	۱/٦۵		۱۰/۵	۵۸/۲۵



شکل ۵- مقایسه رفتار افت فشار در فیلترهای پایلوت (تک لایه و دو لایه) و فیلتر کن.



شکل ٦- مقایسه کدورت‌های خروجی از فیلترهای پایلوت (تک لایه و دو لایه) و فیلتر کن.

منابع و مراجع

۱- جمالی‌فر، م.ر.، ۱۳۷۵، " بررسی کارایی فیلتر تک لایه و دو لایه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

۲- سهرابی، ف.، " سنگ‌شناسی"، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

۳- فاضلی، م.، ۱۳۷۵، " ارزیابی عملکرد فیلتراسیون مستقیم در تصفیه آب‌های سطحی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

٤- کافی بجستانی، ح.، ۱۳۷۹، " مقایسه کارایی فیلترهای تک لایه و دو لایه در فیلتراسیون مستقیم"، سمینار کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

۵- وائقی، س.، ۱۳۷۸، " مقایسه عملی فیلتر تک لایه و دو لایه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

6- Baumann, R. (1984), "*History of Deep-Bed Filtration*", AWWA Proceeding.

7- Cleasby, g. (1981), "*Water Quality and Treatment* ", *A Hand Book of Water.*

8- Huisman, L. (1986), "*Rapid Filtration* ", IHE, Delft.

9- Huisman, L. (1986), "*Sedimentation and Filtration*", IHE, Delft.

10- Kawamura, S. (1991), "*Integrated Design of Water Treatment Facilities*".

11- Monscvitz, J.T. et al. (1987), "*Some Practical Experiments in Direct Filtration*", J.AWWA, 70, No.(10).