The Efficency of Comparing Different Media Filtration in Water Treatment

A. Torabian, Assistant Professor, Department of Environmental Engineering
N. Razagi, Professor, Department of Environmental Engineering
H. Kafi bajestani, Msc., Student, Department of Environmental Engineering

Abstract

Nowadays dual – media and multi – media filters have been focused attention due to population increase, reduction in water resources, water born diseases and improper function of single medium filters. Unfortunately in Iran only single – medium filters are recommended for water treatment plants.

Although the advantages of dual and multi – media filters have been proved but they are still rarely used in water treatment plants throughout the country.

In this research, replacement of single – medium filters by dual and multi – media filters has been discussed and the best choice with regard the existing facilities in treatment palnts or in under construction plants has been chosen.

For this purpose a comparison between single – medium sand filters, dual – media (sand plus anthracite) and multi – media (sand plus anthracite plus garnet) filters in pilot plant scale with filter No. 22 in Kan water treatment plant (Tehran # 2 water treatment plant) in real scale has been done in November, December 1999 and January 2000. In this research, the turbidity and head loss have been measured every 2 hours day and night in three different surface loads of 6,11 [3], and dual and multimedia filters are predominant over single – medium sand filter and filtrer No. 22 in Kan water treatment plant in all done experiments.

مقایسه کارایی صافی‌های تک لایه، دو لایه و سه لایه در تصفیه آب

علی ترابیان* ناصر رازقی ** حمید کافی بجستانی***

چکیده

امروزه با افزایش جمعیت، کاهش سرانه و ذخیره منابع آبی و افزایش آلودگی‌های فیزیکی آب، ضرورت بازنگری فرایندهای تصفیه آب مسئله‌ای ملموس است. از طرفی دیگر با توجه به بار هیدرولیکی صافی‌های تک لایه و ضرورت افزایش تولید در تأسیسات موجود، استفاده از صافی‌های دو لایه و سه لایه اهمیت بیشتری یافته است. اما متأسفانه در ایران، تنها صافی تک لایه ماسه‌ای تند متعارف به عنوان انتخاب اول مطرح بوده و با وجود اثبات مزایای زیاد صافی‌های دو لایه و سه لایه، هنوز هم از این صافی‌ها بندرت، در تصفیه‌خانه‌های کشور استفاده می‌شود. لذا در این تحقیق سعی شد، امکان جایگزینی صافی‌های دو لایه و سه لایه را به جای انواع تک لایه بررسی نموده و امتیازات آن را شفاف‌تر نماید.

بنابراین مقایسه صافی‌های تک لایه ماسه‌ای، تک لایه آنتراسیتی، دو لایه (ماسه + آنتراسیت) و سه لایه (ماسه + آنتراسیت + گارنت) در مقیاس پایلوتی و صافی شماره ۲۲ تصفیه‌خانه کن در مقیاس واقعی در ماههای آبان، آذر و دی صورت گرفته و اندازه‌گیری‌های کدورت و افت فشار در هر دو ساعت یکبار در تمام مدت شبانه‌روز، در سه بار سطحی ٦، ۱۱ و ۱٦ متر بر ساعت انجام شد. طبق نتایج به دست آمده، برتری صافی تک لایه آنتراسیتی از جهت مصرف کمترین آب لازم برای شستشوی آن، صافی دو لایه به خاطر دارا بودن بالاترین زمان کارکرد و صافی سه لایه به علت بهترین کیفیت آب خروجی نسبت به صافی تک لایه ماسه و صافی شماره ۲۲ تصفیه‌خانه کن در تمامی آزمایش‌های انجام گرفته محرز گردید.

کلمات کلیدی: تصفیه آب، فیلتراسیون، صافی تک لایه، صافی دو لایه، صافی چند لایه، آنتراسیت و گارنت.

مقدمه

حدود ٤۰۰ سال است که بشر به رابطه بین بعضی بیماری‌ها و آب پی برده است. چنانچه در سال‌های ۱٦۲۷، ۱٦۸٦ و ۱۸۲۰ به ترتیب فرانسیس بیکن، کوماس پورتیوس و رابرت تام در مورد تصفیه آب اندیشه نموده‌اند [۲].

طبق سخنان " بیکر " قدیمی‌ترین گزارش مستند در باره فیلتراسیون آب شرب در هندوستان در حدود سال ۱۰۵۰ قبل از میلاد بوده است، در آن زمان عموماً از صافی‌های پارچه‌ای برای زلال‌سازی آب برای شرب استفاده می‌شده است [۱۰، ۹].

در دهه آخر ۱۸۹۰، دانشمندی بنام " فولر"[1] در " لوئیس وایلی[2] " و " کن تاکی[3] " به معیاری برای طراحی نوع جدید صافی‌های آمریکایی یا صافی‌های ماسه‌ای تند دست یافت. بنابراین برای اولین بار صافی ماسه‌ای تند جهت تأمین آب شهری در نیوجرسی آمریکا و پس از آن در سال ۱۸۹۵ در کشور سوئیس به کار برده شد [٤].

در تصفیه آب، فیلتراسیون یکی از فرآیندهای اصلی تصفیه آب‌های سطحی بوده، به طوری که دستیابی به آب آشامیدنی با کیفیت مطلوب بدون استفاده از آن بسیار

* استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران
** استاد دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران
*** دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران محیط زیست دانشگاه تهران

[1] Fuller
[2] Louies Ville
[3] Kentaeky

مشکل است. از سوی دیگر صافی به عنوان قلب تصفیه‌خانه گرانترین واحد تصفیه‌خانه بوده و حدود ۲۰٪ کل هزینه احداث تصفیه‌خانه را شامل می‌گردد، لذا طراحی بهینه این واحد از جنبه اقتصادی حائز اهمیت است [۳].

امروزه در دنیا، صافی‌های ماسه‌ای تند تک لایه، به دلیل ضعف کارایی، جای خود را به صافی‌های " دو لایه[1] " و " سه لایه[2] " داده‌اند. در صافی‌های تک لایه پس از شستشوی آن بستر به لایه‌هایی تقسیم می‌شود که لایه‌های بالایی، ماسه‌های ریزدانه و لایه‌های پایینی آن را ماسه‌های درشت دانه تشکیل می‌دهند. به طوری که لایه‌های بالایی مقاومت بیشتری نسبت به جریان آب نشان می‌دهند و در حالی که هنوز فضاهای خالی لایه‌های درشت دانه، قابلیت جذب ذرات معلق آب را داراست، با انسداد سریع لایه‌های بالایی و افزایش افت فشار، در نتیجه شرایط فشار منفی در صافی ایجاد می‌گردد [۱۱، ۹، ۷، ٦].

این مشکل در دانه‌بندی ذرات داخل بستر صافی ممکن است به راههای مختلف تصحیح شود. یکی از راهها، استفاده از بستر با ضریب یکنواختی پایین می‌باشد. ضریب یکنواختی پایین، دبی شستشو را کاهش داده و شستشو آسانتر انجام می‌گیرد. اما ضریب یکنواختی کمتر از ۱/۳ از لحاظ اقتصادی قابل قبول نیست [۷ و ۱].

راه حل دیگر، معکوس کردن جهت جریان آب است که نرخ تولید به ارتفاع بستر و چگالی دانه‌هابستگی دارد. هر چه دانه‌ها چگالتر باشد، میزان افت فشار مجاز افزایش می‌یابد که این مسئله با افزایش هزینه خرید مصالح بستر همراه است [۷].

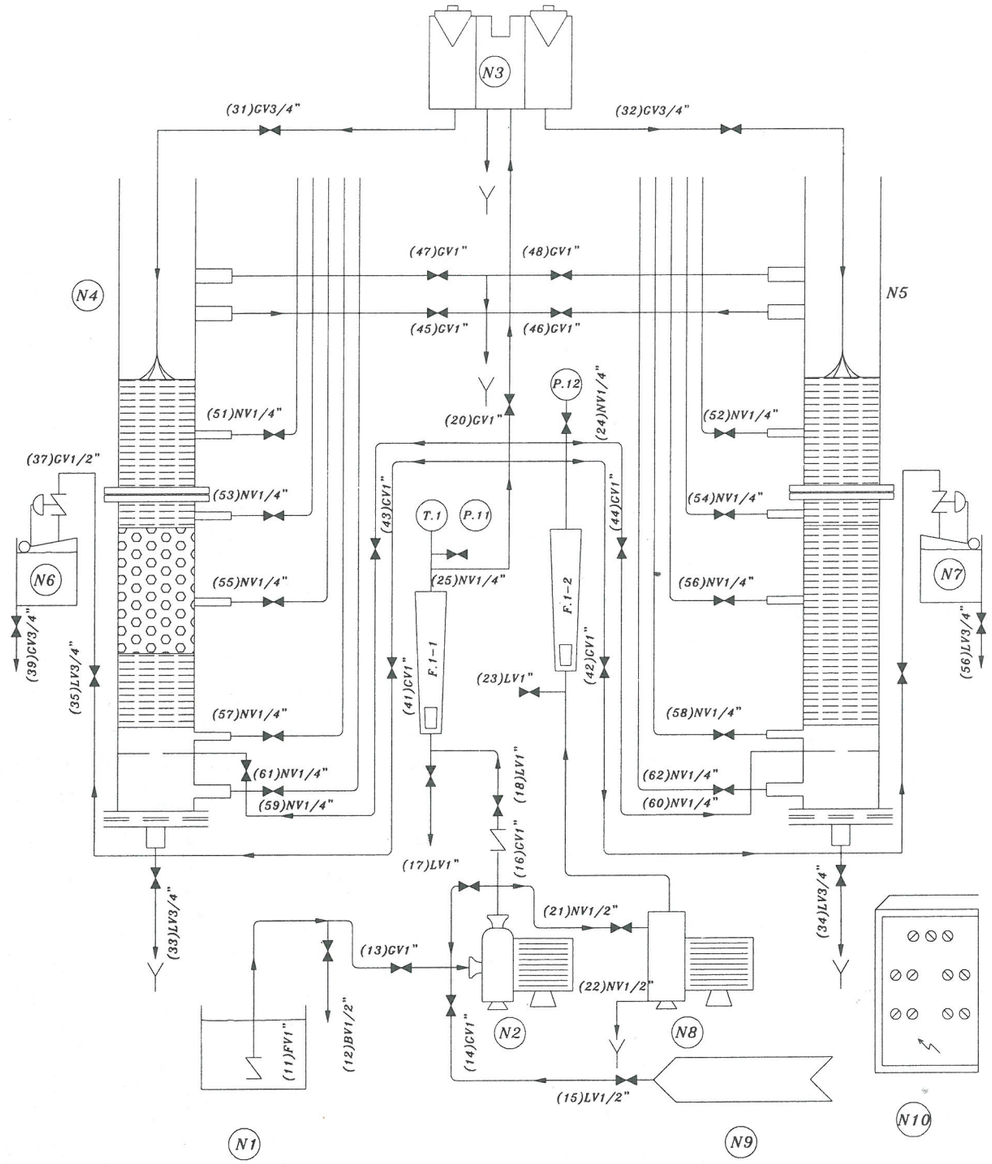
روش سوم جهت رفع مشکل فوق، استفاده از صافی‌های دو لایه و سه لایه را مطرح نموده است. در این نوع صافی‌ها، از بالا به پایین، اندازه دانه‌ها کوچکتر و وزن مخصوصشان افزایش می‌یابد. در نتیجه لایه‌های بالایی حالت قبل را نداشته و تجمع ذرات یکسان‌تر انجام می‌شود. لذا این امر سبب می‌شود که بعد از هر بار شستشوی صافی، تقریباً صافی حالت قبلی خود را حفظ کند. بدین طریق از کل عمق صافی، بهره‌برداری می‌شود و حجم زیادتری از مواد معلق در صافی به جا می‌ماند و در نتیجه حجم بیشتری از آب در بین دو شستشو تصفیه می‌شود [٦]. ماسه سیلیسی به علت دوام بسیار زیاد و قیمت نسبتاً" اندک، همیشه به عنوان یک لایه از بستر صافی دو لایه مطرح بوده است. برای لایه دوم می‌توان از مصالح ریزتر با چگالی بیشتر از ماسه در پایین و یا مصالح درشت‌تر با چگالی کمتر در بالای ماسه استفاده نمود. اما معمولاً"، استفاده از یک لایه با چگالی کمتر و دانه‌بندی درشت‌تر در روی لایه ماسه کاربرد بیشتری دارد. در اکثر موارد از زغال آنتراسیت برای لایه اول استفاده می‌شود. در صافی سه لایه به منظور نزدیکتر شدن به حالت ایده‌آل، لایه سومی را در زیر ماسه صافی دو لایه می‌افزایند که دارای دانه‌بندی ریزتر از ماسه و وزن مخصوص بزرگتر باشد. موادی که به عنوان لایه سوم به کار می‌روند عبارتنداز : گارنت، ایلمینیت و کراندوم که بیشتر از گارنت استفاده می‌شود [۱].

[1] Dual Media
[2] Multi Media (Trimedia)

روش تحقیق

در این تحقیق، برای مقایسه کارایی صافی‌های تک لایه، دو لایه و سه لایه در تصفیه متعارف آب از پایلوتی که دیاگرام جریان آن در نمودار شماره ۱ نشان داده استفاده شده است. و پایلوت در محوطه تصفیه‌خانه آب کن (تصفیه‌خانه شماره ۲ تهران) نصب گردیده است. در این روش آب از کانال خروجی آب زلال پولساتور شماره ۱ از طریق یک شیر یک طرفه عمودی توسط پمپی با قدرت ۰/۳۸ کیلووات و حداکثر دبی ٤۵ لیتر بر دقیقه مکیده شده و پس از طی اختلاف ارتفاع شش متر (بین مخل شیر و پمپ) به داخل پایلوت هدایت می‌گردد.

به علت ایجاد ارتفاع لازم توسط پمپ، آب از دبی سنج F۱-۱، فشار سنج P۱-۱ و دما سنج، T.I گذشته و وارد جعبه مقسم $N_۳$ می‌شد. در این جعبه توسط دو سرریز مثلثی با زاویه ۳۰°، آب به دو قسمت تقسیم شده و به ستون‌های شیشه‌ای $N_٤$ و $N_۵$ هدایت می‌شد. این ستون‌ها از ورقه‌های شفاف به ضخامت ٤ میلی‌متر، قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲/٤ متر (در دو قسمت ۱۲۰



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.I۱ - فشارسنج آب تغذیه (شستشو)
P.I۲ - فشارسنج هوای شستشو
P.I۳ - فشارسنج ستون صافی ۱
P.I۴ - 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

نمودار ۱- دیاگرام جریان

جدول ۱: مقایسه دانه‌بندی و جنس مواد به کار رفته در صافی‌های تحقیق

نوع صافی	نوع لایه	ارتفاع(cm)	اندازه مؤثر دانه‌ها (mm)	ضریب یکنواختی	نوع لایه زهکشی
صافی شاهد	تک لایه ماسه	۷۵	۱/۲	۱/٤	پنج سانتیمتر شن درشت دانه ٦mm-٥
صافی دو لایه	آنتراسیت	٤٥	۱/۷	۲	"
	ماسه	۳۰	۱/۲	۱/٤	"
صافی سه لایه	آنتراسیت	٤٥	۱/۷	۲	"
	ماسه	۲۲	۱/۲	۱/٤	"
	گارنت	۸	۰/۲٥	۱/٥	"
تک لایه آنتراسیتی	آنتراسیت	۷٥	۱/۷	۲	"

* جرم حجمی ماسه، آنتراسیت و گارنت به ترتیب برابر با ۲/٥۳، ۱/۷ و ۳/۹۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد.

سانتی‌متری ساخته شده و توسط پیچ و مهره دو سر فلنج‌دار به هم متصل شده‌اند)، ساخته شده بودند.

ستون $N_٤$ (ستون آزمایش)، به طور متناوب برای صافی دو لایه و سه لایه و تک لایه آنتراسیت و ستون $N_٥$ برای صافی شاهد مورد استفاده قرار گرفت. نوع مواد و دانه‌بندی به کار رفته در دو ستون شاهد و آزمایش در جدول ۱ آمده است.

آب زلال شده بعد از عبور از صافی‌های شاهد و صافی مورد تحقیق به حوضچه‌های شناوری $N_٦$، $N_۷$ وارد می‌شود. در این حوضچه جعبه‌ای شکل، شناورهایی نصب شده بود که سطح آب را در صافی‌ها، همانند صافی‌های تصفیه‌خانه به ارتفاع ٦۰ سانتی‌متر بالای ماسه، ثابت نگه می‌دارند. آب بعد از خروج از این دو جعبه به خارج از پایلوت هدایت می‌شد. برای شستشوی صافی‌ها، یک کمپرسور و یک روتامتر هوا در نظر گرفته شده و شیر فلکه آب و هوای مربوطه تعبیه شده بودند اما به علت شکستگی روتامتر هوا (F۱۲)، در این تحقیق فقط از آب برای شستشوی صافی‌ها استفاده گردید. آب لازم برای شستشو از آب شرب تصفیه‌خانه تأمین می‌شد و پساب شستشو که حاوی زائدات گرفته شده توسط صافی بوده، از دو سرریز که در ارتفاع ۲/۱٥ و ۲/۰٥ در بالای بستر تعبیه شده بودند به چاه فاضلاب هدایت می‌شد. مقایسه در بار سطحی شش متر بر ساعت بین دو ستون شاهد و آزمایش و صافی شماره ۲۲ تصفیه‌خانه کن و در بار سطحی ۱۱ و ۱٦ متر بر ساعت، فقط در مقیاس پایلوتی به روش " سطح ثابت [1] " و " نرخ ثابت [2] " انجام می‌گرفت. در فاصله زمانی هر دو ساعت یکبار در تمام مدت شبانه روز ، توسط شیرهای سماوری که در ارتفاعات ۲۰، ٤٥ و ۹٥ سانتیمتری از کف استوانه‌ای، صافی نصب شده بودند، برداشت‌ها انجام می‌شد و به وسیله دستگاه کدورت سنج " هک [3] " مقدار کدورت توسط شیلنگهای تراز نصب شده، مقدار افت فشار اندازه‌گیری و در فرم‌های مربوطه ثبت می‌گردید.

نتایج تحقیق

در آزمایش اول، مقایسه صافی تک لایه آنتراسیت و تک لایه ماسه در فصل پاییز در ماههای آبان و آذر صورت گرفت و درجه حرارت هوا بین ۱۲ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد متغیر بود.

اندازه‌گیری‌های تعیین کدورت ورودی و خروجی در سه صافی تک لایه ماسه، تک لایه آنتراسیت و صافی ۲۲ تصفیه‌خانه کن با دستگاه کدورت سنج هک و اندازه‌گیری افت فشار توسط لوله‌های پیزومتر در هر دو ساعت یکبار در بار سطحی شش متر بر ساعت انجام شد و سپس اندازه‌گیریها در بار سطحی ۱۱ و ۱٦ متر بر

[1] Constant Level
[2] Constant Rate
[3] Hack

ساعت برای دو صافی تک لایه ماسه و آنتراسیت، فقط در مقیاس پایلوتی تکرار گردید. نهایتاً خلاصه نتایج به دست آمده در جدول ۲ نشان داده شده است.

همان گونه که در جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود، در بار سطحی ٦ متر بر ساعت، زمان کارکرد صافی تک لایه ماسه، ٤٩ ساعت، صافی تک لایه آنتراسیت، ٦٧/٥ ساعت، در بار سطحی ١١ متر بر ساعت، زمان کارکرد صافی‌های ماسه‌ای و آنتراسیتی به ترتیب ١٦/٥ و ٢٤/٥ ساعت و در بار سطحی ١٦ متر بر ساعت، زمان کارکرد به ترتیب ٤ و ١١/٥ ساعت می‌باشد. همچنین متوسط کدورت آب خروجی از صافی تک لایه آنتراسیت، در بار سطحی ٦ متر بر ساعت (٠/١٤NTU)، کمتر از صافی تک لایه ماسه (٠/١٦NTU) و صافی تک لایه کن (٠/١٦NTU) بوده و بارهای سطحی ١١ و١٦ متر بر ساعت نیز در این روال ادامه دارد. لذا می‌توان گفت: صافی تک لایه آنتراسیت هم از لحاظ کدورت خروجی و هم از لحاظ زمان کارکرد نسبت به صافی تک لایه ماسه و صافی تک لایه کن برتری دارد.

پس از اتمام کار صافی‌ها، عمل شستشوی معکوس انجام گرفته و زمان لازم برای شستشو برای صافی تک لایه آنتراسیت و ماسه‌ای در سرعت شستشوی ١٤/٨ متر بر ساعت به ترتیب ٦٧ و ٤٣ دقیقه، در سرعت شستشوی ٢٠/٧ متر بر ساعت به ترتیب ٤٥ و ٣٠ دقیقه و در سرعت شستشوی ٢٦/٣متر بر ساعت به ترتیب ٣٧ و ٣٠ دقیقه برآوردگردید. بنابراین دیده می‌شود که صافی تک لایه آنتراسیت نسبت به تک لایه ماسه‌ای، زمان کمتری برای شستشو نیاز دارد و پرت آب ناشی از آن کمتر می‌باشد. در آزمایش دوم، مقایسه صافی تک لایه ماسه و صافی دو لایه در ماههای آذر و دی صورت گرفت و درجه حرارت هوا بین ٨ تا ١٤ درجه سانتیگراد متغیر بود. همانند آزمایش اول، اندازه‌گیریهای تعیین کدورت ورودی و خروجی و افت فشار در سه صافی تک لایه و دو لایه در مقیاس پایلوتی و صافی ٢٢ تصفیه‌خانه کن در مقیاس واقعی همانند قبل انجام گرفت و سپس اندازه‌گیریها در بار سطحی ١١ و ١٦ متر بر ساعت برای دو صافی تک لایه و دو لایه فقط در مقیاس پایلوتی تکرار گردید و خلاصه نتایج در جدول ٢ ثبت شد. در این آزمایش صافی دو لایه در بار سطحی ٦ متر بر ساعت با زمان کارکرد ٧٢ ساعت و کدورت‌خروجی ٠/١٤NTU در مقایسه با صافی تک لایه ماسه (٤٩/٢٥ ساعت و ٠/١٥NTU) و صافی شماره ٢٢ تصفیه‌خانه کن ٠/١٧NTU) بهترین شناخته شد. همچنین صافی دو لایه در بار سطحی ٦ متر بر ساعت با زمان کارکرد ٧٢ ساعت کدورت خروجی ٠/١٤NTU، در مقایسه با صافی تک لایه ماسه‌ای (٤٩/٢٥ ساعت و ٠/١٥NTU) و صافی شماره ٢٢ تصفیه‌خانه کن (٠/١٧NTU) بهترین شناخته شد همچنین صافی دو لایه در بار سطحی ١١ و ١٦ متر بر ساعت از لحاظ زمان کارکرد و کدورت خروجی نسبت به صافی تک لایه ماسه برتری خود را حفظ کرد.

بعد از اتمام کار صافی‌ها در هر بار سطحی، شستشوی صافی‌ها با آب شرب تصفیه‌خانه صورت گرفت. زمان لازم برای شستشو هر دو صافی برابر ٣٠ دقیقه در سرعت شستشوی ٣١/٢ متر بر ساعت برآورد گردید.

آزمایش سوم برای مقایسه صافی تک لایه و سه لایه در نیمه اول دیماه صورت گرفت که درجه حرارت هوا بین ٦ تا ١٢ درجه سانتیگراد تغییر می‌کرد. شبیه آزمایشهای اول و دوم، سنجش‌های کدورت ورودی و خروجی و افت فشار انجام گرفت و سرانجام خلاصه داده‌های حاصله از آزمایش سوم در جدول ٢ ثبت گردید.

در آزمایش سوم، زمان کارکرد و کدورت خروجی صافی سه لایه (٦٢/٥ ساعت و ٠/١٠NTU)، در بار سطحی ٦ متر بر ساعت، از زمان کارکرد و کدورت خروجی صافی تک لایه ماسه‌ای (٤٩/٥ ساعت و ٠/١٦NTU) و صافی شماره ٢٢ تصفیه‌خانه آب کن (٠/١٧NTU) بهتر بوده و این برتری در بارهای سطحی ١١ و ١٦ متر بر ساعت نیز حفظ می‌گردد. پس از اتمام کار صافی‌ها، عملیات شستشو برای هر دو صافی تک لایه و سه لایه در سرعت شستشوی ٢٩/٦ متر بر ساعت صورت گرفت. زمان لازم برای شستشو صافی تک لایه، ٢٠ تا ٢٥ دقیقه و برای صافی سه لایه، ٣٠ تا ٣٥ دقیقه برآورد گردید. لازم به ذکر است که در شستشوی تمام صافی‌های تک لایه، دو لایه و سه لایه کدورت پساب شستشوی صافی‌ها به زیر ١NTU رسیده است.

جدول ٢: خلاصه نتایج به دست آمده از مقایسه کارایی صافی‌های تک لایه، دو لایه و سه لایه

آزمایش اول (مقایسه صافی تک لایه ماسه‌ای و آنتراسیتی و کن)

بار سطحی (m/h)	نوع صافی	متوسط کدورت آب خام ورودی (NTU)	متوسط کدورت آب خروجی (NTU)	متوسط درصد حذف کدورت(٪)	حداقل افت فشار (متر)	حداکثر افت فشار(متر)	زمان کارکرد (ساعت)	حجم آب فیلتر شده (مترمکعب)
٦	تک لایه ماسه	١/٥٧	٠/١٦	٨٩	٠/١٥	٠/٦	٤٩	٥/٣٩
٦	تک لایه آنتراسیتی	١/٥٧	٠/١٤	٩٠	٠/٠٩	٠/٥	٦٧/٥	٧/٤٢٥
٦	کن	١/٥٧	٠/١٧	٨٨	٠/٤٥	١/١	–	–
١١	تک لایه ماسه	٠/٨٨	٠/١٧	٨٠	٠/٣٧	٠/٦	١٦/٥	١/٨١٥
١١	تک لایه آنتراسیتی	٠/٨٨	٠/١٥	٨١	٠/٢٠	٠/٥	٢٤/٥	٢/٦٩٥
١٦	تک لایه ماسه	١/٢٧	٠/٣٥	٧٧	٠/٤٧	٠/٦	٤	٠/٤٤
١٦	تک لایه آنتراسیتی	١/٢٧	٠/٢٢	٨٠	٠/٤٩	٠/٥	١١/٥	١/٦٥

آزمایش دوم (مقایسه صافی تک لایه ماسه‌ای و دو لایه و کن)

بار سطحی (m/h)	نوع صافی	متوسط کدورت آب خام ورودی (NTU)	متوسط کدورت آب خروجی (NTU)	متوسط درصد حذف کدورت(٪)	حداقل افت فشار (متر)	حداکثر افت فشار(متر)	زمان کارکرد (ساعت)	حجم آب فیلتر شده (مترمکعب)
٦	تک لایه ماسه	١/٠٦	٠/١٥	٨٦	٠/١٢	٠/٦	٤٩/٢٥	٥/٤١٧٥
٦	دو لایه	١/٠٦	٠/١٤	٨٧	٠/٠٧	٠/٥	٧٢	٧/٩٢
٦	کن	١/٠٦	٠/١٧	٨٣	٠/٥٣	١/٠٥	–	–
١١	تک لایه ماسه	١/٤٣	٠/٢٧	٧٩	٠/٣٩	٠/٦	١٦	١/٧٦
١١	دو لایه	١/٤٣	٠/٢٦	٨١	٠/٢٠	٠/٥	٢٦/٢٥	٢/٨٩
١٦	تک لایه ماسه	١/٦٧	٠/٣١	٨١	٠/٤٣	٠/٦	٤	٠/٤٤
١٦	دو لایه	١/٦٧	٠/٢٨	٨٣	٠/٣٠	٠/٥	١٤/٥	١/٥٩٥

آزمایش سوم (مقایسه صافی تک لایه ماسه‌ای و سه لایه و کن)

بار سطحی (m/h)	نوع صافی	متوسط کدورت آب خام ورودی (NTU)	متوسط کدورت آب خروجی (NTU)	متوسط درصد حذف کدورت(٪)	حداقل افت فشار (متر)	حداکثر افت فشار(متر)	زمان کارکرد (ساعت)	حجم آب فیلتر شده (مترمکعب)
٦	تک لایه ماسه	١/٠٨	٠/١٦	٨٤	٠/١٣	٠/٦	٤٩/٥	٥/٤٥
٦	سه لایه	١/٠٨	٠/١٠	٩٠	٠/١٦	٠/٥	٦٢/٥	٦/٨٨
٦	کن	١/٠٨	٠/١٧	٨٣	٠/٤٥	٠/٩٥	–	–
١١	تک لایه ماسه	١/١٢	٠/٢٢	٧٧	٠/٣٨	٠/٦	١٥/٥	١/٧٠٥
١١	سه لایه	١/١٢	٠/١٢	٨٨	٠/٢٩	٠/٥	١٩/٢٥	٢/١٢
١٦	تک لایه ماسه	١/٢٤	٠/٣٤	٧٥	٠/٤٠	٠/٦	٣/٧٥	٠/٤٢
١٦	سه لایه	١/٢٤	٠/١٦	٨٧	٠/٣٦	٠/٥	١٠/٢٥	١/١٣

بحث و جمع‌بندی

با توجه به نتایج حاصله از مطالعات پایلوتی، آزمایشگاهی در بارهای سطحی ٦، ١١ و ١٦ متر بر ساعت که در جدول ٢ نشان داده شده است، بحث و جمع‌بندی ذیل را می‌توان ارائه نمود :

١- با افزایش بار سطحی از ٦ به ١١ و ١٦ متر بر ساعت، زمان کارکرد صافی تک لایه ماسه‌ای به ترتیب ٦٦٪ و ٩١٪ و کیفیت خروجی آن ٦٪ و ١١٩٪ و زمان کارکرد صافی تک لایه آنتراسیتی به ترتیب ٦٤٪ و ٨٣٪ و کیفیت خروجی از صافی به ترتیب ٧٪ و ٥٧٪ کاهش پیدا می‌کند.

٢- زمان کارکرد صافی تک لایه آنتراسیتی در سه بار سطحی ٦، ١١ و ١٦ متر بر ساعت، به ترتیب ٣٧٪، ٤٨٪ و ١٨٧٪ بیشتر از زمان کارکرد صافی تک لایه ماسه‌ای بوده و کیفیت خروجی آن نیز در سه بار سطحی فوق به ترتیب ١٣٪، ١١٪ و ٣٧٪ مطلوبتر می‌باشد. همچنین در صورت استفاده از صافی تک لایه آنتراسیتی، زمان لازم برای شستشوی صافی ٣٦٪- ١٩٪ کاهش یافته و پرت ناشی از آن حداقل می‌گردد.

٣- برتری صافی دو لایه از لحاظ زمان کارکرد و کیفیت خروجی نسبت به صافی تک لایه در تمام مراحل و آزمایش‌های انجام شده مشخص می‌باشد. همچنین زمان کارکرد صافی دو لایه از تمام صافی‌های مورد آزمایش در این تحقیق بیشتر می‌باشد.

٤- برتری صافی سه لایه نیز، نسبت به تک لایه از جهت کیفیت خروجی و زمان کارکرد در تمامی آزمایش‌های مربوطه محرز است. همچنین در سه بار سطحی ٦، ١١ و ١٦ متر بر ساعت کدورت خروجی از سه لایه بین ٠/١ تا ٠/١٦NTU متغیر است. لذا با توجه به تأکید منابع در حذف ژیاردیا و کریپتوس پوریدیوم، احتمالاً" نقش مؤثری را ایفا می‌کند [٨].

٥- در نهایت می‌توان به طور خلاصه استنتاج نمود که در این تحقیق صافی تک لایه آنتراسیتی از جهت مصرف کمترین آب لازم برای شستشوی آن، صافی دو لایه به خاطر دارا بودن بالاترین زمان کارکرد و صافی سه لایه به علت بهترین کیفیت آب خروجی در سه بار سطحی ٦، ١١ و ١٦ متر بر ساعت بهترین نتایج را نشان می‌دهند. و لذا می‌توان گفت که از نظر فنی و اجرایی، تبدیل صافی‌های فعلی تصفیه‌خانه‌های آب کشور به انواع دو لایه و سه لایه بدون نگرانی قابل اجراست و لازم است به کمک مهندسین مشاور مسائل اقتصادی و بهره‌برداری آنها مورد مطالعه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

انجام این تحقیق، بدون حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران میسر نبود، بدین وسیله از مساعدت‌های به عمل آمده، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع و مراجع

١- جمالی‌فر، م.ر.، ١٣٧٥، " بررسی کارایی فیلتر تک لایه و دو لایه " ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

٢- رازقی، ن.، ١٣٧٥، " صافی‌ها در تصفیه آب آشامیدنی "، مجله آب و فاضلاب، شماره ١٧

٣- واثقی، س.، ١٣٧٨، " مقایسه علمی کارایی فیلتر تک لایه و دو لایه " پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

4- Baumann, (1988), " *Water Treatment Plant Design* ", Lowa State University, Ames Iowa, 50010.

5- Degremont, (1991), " *Water Treatment Hand Book, Sixth Edition, Volume1*, Lovoisie Publishing.

6- Howard, S. Peavy et al, (1985), " *Environment Engineering* " McGraw -- Hill Series in Water Rresources and Environmental Engineering.

7- Huisman, L., (1988), " *Rapid Filtration* ", IHE, Delft, Nether Lands. December.

8- Ongerth. J.E., (1995), " *Removing Cryptosporidium Using Multimedia Filters* J. AWWA, December.

9- Kawamura, S., (1991), " *Integrated Design of Water Treatment Faciliteis* ", John Willey & Sons.

10- Montgomery. J. M., (1987), " *Water Treatment Principle & Design* ", John Willey and Sons.

11- Reynolds. (1998). " *Unit Operation and Process in Environmental Engineering* ". P.W. S. Publisher.