کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
دانشگاه تهران، تهران
۲۶ و ۲۷ بهمن‌ماه ۱۳۹۵

1274P-NWWCE

مقایسه و بررسی کارایی فیلتر تک‌بستری ماسه سیلیسی و فیلتر دولایه آنتراسیت– گارنت در حذف کدورت از آب رودخانه کارون بزرگ– تصفیه‌خانه ملی راه اهواز

حمیدرضا افسری راد[۱]، هادی معاضد[۲]، نعمت اله جعفرزاده حقیقی فرد[۳]
۱-کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز
۲-استاد دانشگاه شهید چمران اهواز
۳-استاد دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز

Hamidreza_afsarirad@yahoo.com

خلاصه

نیاز روزافزون جوامع به آب سالم در کنار کاهش منابع آب شیرین، ضرورت تصفیه هرچه بهتر آب‌های خام را مشخص کرده است. یکی از مراحل اصلی در تصفیه آب‌های سطحی، فیلتراسیون است. فیلترهای دولایه که از موادی مانند آنتراسیت و گارنت در بستر آن‌ها استفاده شده است، جایگزین مناسبی برای فیلترهای تک‌بستر هستند. از جمله معایب فیلترهای تک‌بستر پدیده دانه‌بندی معکوس در آن‌هاست که بهره‌برداری از واحدهای فیلتراسیون را در تصفیه‌خانه با مشکل مواجه کرده است. در این پژوهش به بررسی و مقایسه کارایی فیلترهای دولایه آنتراسیت- گارنت و فیلتر تک‌بستر ماسه سیلیسی در تصفیه‌خانه ملی راه اهواز و بر روی رودخانه کارون بزرگ پرداخته شد. در بار سطحی ۱۲۰ مترمکعب بر مترمربع در روز کدورت خروجی از فیلتر دولایه NTU ۰/۵۰ و کدورت خروجی از فیلتر تک‌بستر NTU ۰/۶۹ بود. در بار سطحی ۲۴۰ مترمکعب بر مترمربع در روز کدورت خروجی از فیلتر دولایه NTU ۰/۶۱ و از فیلتر تک‌بستر NTU ۰/۸۳ بود. نتایج نشان داد که فیلتر دولایه راندمان بالاتری در حذف کدورت از آب دارد. علاوه بر آن با افزایش بار سطحی راندمان حذف کدورت در هر دو فیلتر کاهش یافته است.

کلمات کلیدی: فیلتراسیون- ماسه سیلیسی- آنتراسیت- گارنت- کدورت- بار سطحی

۱. مقدمه

در کنار بحران کاهش منابع آب آشامیدنی قابل‌دسترسی، آلودگی این منابع به دلیل فعالیت‌های گوناگون انسان‌ها روزبه‌روز افزایش چشم‌گیری پیدا می‌کند. انواع مواد آلی خطرناک، فلزات سنگین، باکتری‌ها و ویروس‌ها در آب‌های سطحی و زیرزمینی یافت می‌شود. این مواد اثرات خطرناکی بر سلامت انسان‌ها در کوتاه‌مدت و درازمدت دارند. [۱، ۲ و ۳]

در کشور ایران روش‌های کلی تصفیه آب‌های سطحی شامل آشغال‌گیری[۱]، دانه‌گیری، انعقاد[۲] و لخته‌سازی[۳]، ته‌نشینی[۴] ثانویه، فیلتراسیون[۵] و گندزدایی[۶] است. در حین انجام این روش‌ها از مکانیسم‌های شیمیایی، فیزیکی و گاهی بیولوژیکی برای تهیه آبی که معیارهای بهداشتی و استانداردهای سلامتی را دارا باشد، استفاده می‌شود. [۴ و ۵]

[1] Scrapping
[2] Coagolation
[3] Flocculation
[4] Sedimentation
[5] Filtration
[6] Disinfection

پس از این‌که آب از حوضچه‌های ته‌نشینی ثانویه گذشت و قبل از آن‌که به مرحله گندزدایی وارد شود، از صافی‌هایی که ممکن است از مصالح و مواد دانه‌ای ماسه‌ای، شنی، آنتراسیتی، گارنتی و مانند این‌ها درست شده باشند، عبور داده می‌شود. هدف از این مرحله از تصفیه که فیلتراسیون نامیده می‌شود، کاهش کدورت آب تا حد مجاز می‌باشد. در این مرحله آبی که هنوز دارای مقدار زیادی کدورت است، با عبور از روزنه‌های بین مصالح بستر، مواد جامد معلق ریزتر خود را که در مراحل قبلی از آن جدا نشده بودند، از دست می‌دهد.[۶]

متداول‌ترین فرایند مورد استفاده در حذف بیشتر مواد کلوییدی فیلتراسیون است. فیلتراسیون یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تصفیه آب است. در واقع فیلتراسیون مکانیزم تصفیه خود طبیعت است. در طبیعت آب ضمن عبور آرام از میان تشکیلات سنگی و شنی متخلل درون خاک، تمیز و تصفیه می‌شود. [۶ و ۷]

در بسیاری از پژوهش‌های انجام شده بر روی فیلتراسیون نتایج نشان‌دهنده برتری فیلترهای دولایه نسبت به فیلترهای تک‌بستری است. با این وجود بررسی و مقایسه کارایی این دو نوع فیلتر بر تصفیه آب رود کارون بزرگ ضروری بود. کیفیت متفاوت آب رودخانه کارون در طول سال، راندمان و عملکرد متغیر کلاریفایرهای تصفیه‌خانه و کیفیت گوناگون مواد بستر موجود در کشور از دلایل این ضرورت است. این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه کارایی فیلتر تک‌بستری ماسه‌سیلیسی و فیلتر دولایه آنتراسیت- گارنت در حذف کدورت از آب، انجام شده است.

از سال‌های گذشته تاکنون پژوهش‌های فراوانی در تمام دنیا بر روی روش‌های استفاده از فیلترها در واحدهای فیلتراسیون آب انجام گرفته است. بیشتر کارهای قبلی بر روی جنس مواد بستر و تعداد لایه‌ها متمرکز شده است. تعدادی از این پژوهش‌ها در ادامه آورده شده است.

چاوان[1] و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی آزمایشگاهی حذف دو مرحله‌ای به منظور حذف رنگ و کدورت از آب سطحی به کمک پیش تصفیه و فیلتراسیون پرداختند. نتایج نشان‌دهنده راندمان حذف ۹۵٪ برای این روش بود.[۸]

محمد[2] و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی اثرات حذف بیولوژیکی با استفاده از فیلتر چندبستری بیولوژیکی در مقیاس آزمایشگاهی پرداختند. نتایج نشان داد که کربن فعال نقش موثری در حذف بیولوژیکی ایفا می‌کند. همچنین حداکثر حذف برای COD و BOD به ترتیب برابر ۸۹/۹٪ و ۸۸/۹٪ بوده است.[۹]

نور[3] و همکاران (۲۰۱۱) اقدام به ارزیابی عناصر کاربردی بیولوژیکی و غیربیولوژیکی به منظور حذف کریپتوسپوریدیوم به وسیله فیلتراسیون از آب کردند. آن‌ها مهره‌های پلی‌استرن‌لاتکس[4] با اندازه دو تا سه میکرون را به‌عنوان عنصر غیربیولوژیکی و باسیلوس‌سابتیلیس[5] را به‌عنوان عنصر بیولوژیکی برای حذف کریپتوسپوریدیوم با توجه به معیارهای EPA پیشنهاد دادند.[۱۰]

موسویان و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی کارآیی فیلتراسیون چند بستره درحذف کیست‌های ژیاردیا لامبلیا در تصفیه‌خانه آب پرداختند. تحلیل فرایندهای فیزیکی فیلتراسیون نشان داد که فیلترهای شن، گارنت و آنتراسیت در حذف کیست‌ها نسبت به فیلترهای دو بستری موثرترند و می‌توانند بازده بالاتری از حذف ژیاردیا را داشته باشند.[۱۱]

امینی‌راد و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی افزایش راندمان مخزن ته‌نشینی با استفاده از فیلترهای دانه‌درشت شنی جهت حذف کدورت آب پرداختند. نتایج نشان داد که درصد حذف کدورت در ته‌نشینی ساده ۷۶٪ ولی با استفاده از فیلتر دانه‌درشت (رافینگ فیلتر) این مقدار به ۹۸٪ رسیده است.[۱۲]

عبدالهیان و دستنایی (۱۳۸۷) به بررسی عملکرد فیلترهای درشت‌دانه افقی در تصفیه آب‌های سطحی در رودخانه زاینده‌رود پرداختند. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش سرعت فیلتراسیون راندمان حذف مواد معلق و کدورت وآلودگی میکروبی کاهش می‌یابد. به همین دلیل باید سطح مورد نیاز را براساس آب مورد نیاز طوری طراحی کردکه سرعت فیلتراسیون در محدوده ۱/۵- ۰/۷۵ متر در ساعت قرار گیرد.[۱۳]

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در تصفیه‌خانه شماره یک شهر اهواز (تصفیه‌خانه ملی راه) و بر روی آب رودخانه کارون بزرگ صورت گرفته است. تصفیه‌خانه شماره یک اهواز در دهه چهل شمسی ساخته شده است. برای رسیدن به اهداف مورد نظر از یک مدل آزمایشگاهی (پایلوت شبیه‌سازی فیلتراسیون) استفاده

[1] Chavan
[2] Mohammed
[3] Nur
[4] Polystyrene Latex
[5] Bacillus subtilis

شد. آزمایش سنجش کدورت بر روی خروجی فیلتر تک بستر ماسه‌ای و فیلتر دو بستر آنتراسیت- گارنت صورت گرفت. بهره‌برداری از پایلوت در دو بار سطحی ۱۲۰ و ۲۴۰ مترمکعب بر مترمربع در روز بوده است. دلیل راهبری پایلوت با دو بار سطحی ۱۲۰ و ۲۴۰ مترمکعب بر مترمربع در روز، اعمال شرایط کم‌بار و پربار در بهره‌برداری است. در این پژوهش از مواد ماسه‌سیلیسی در فیلتر تک‌بستری و مواد آنتراسیت و گارنت در فیلتر دولایه استفاده شد. اندازه ذرات و ضریب یکنواختی هر یک در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱): ویژگی‌های مواد ماسه‌سیلیسی، آنتراسیت و گارنت در فیلتر تک‌بستر و دولایه از پژوهش

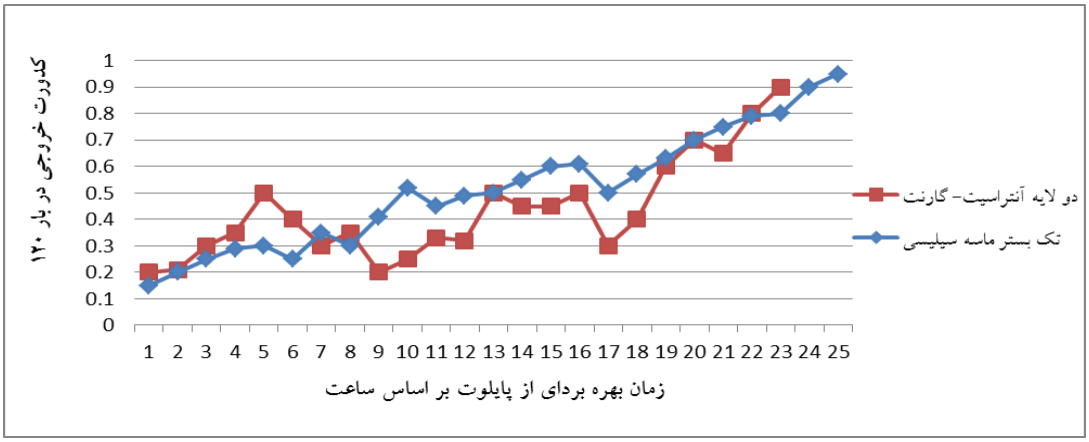
نوع فیلتر	مواد بستر	پارامتر	بازه عددی مقدار
تک‌بستر	ماسه سیلیس	اندازه موثر(mm)	۰/۶
		ضریب یکنواختی	۱/۳
دولایه	آنتراسیت	اندازه موثر(mm)	۰/۷
		ضریب یکنواختی	۱/۴
	گارنت	اندازه موثر(mm)	۰/۷
		ضریب یکنواختی	۱/۷

پس از ریختن مواد در فیلترهای پایلوت، با برقراری جریان آب رد شده از کلاریفایر در بسترها، اقدام به نمونه‌برداری از آب ورودی و خروجی هر دو فیلتر شد. پایلوت به مدت دو هفته در هر بار سطحی مورد بهره‌برداری قرار گرفت. نمونه‌برداری در فاصله‌های زمانی یک ساعت از شروع کار پایلوت انجام شد. در هر بار نمونه‌برداری یک برداشت از ورودی به فیلترها، یک برداشت از خروجی مربوط به فیلتر تک‌بستری و یک برداشت مربوط به خروجی فیلتر دوبستری انجام شد. نمونه‌ها بلافاصله تحت آزمایش کدورت‌سنجی قرار گرفتند. در پایان نمودارهای مربوط به اندازه‌گیری کدورت ترسیم شد.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. نتایج مربوط به بخش اول پژوهش (بار سطحی ۱۲۰ مترمکعب بر مترمربع در روز)

بخش اول از پژوهش مربوط به مقایسه فیلتر تک‌بستری ماسه‌سیلیسی و فیلتر دولایه آنتراسیت گارنت در بار سطحی ۱۲۰ مترمکعب بر مترمربع در روز است. نتایج مربوط به اندازه‌گیری کدورت بر اساس NTU در شکل (۱) آمده است.



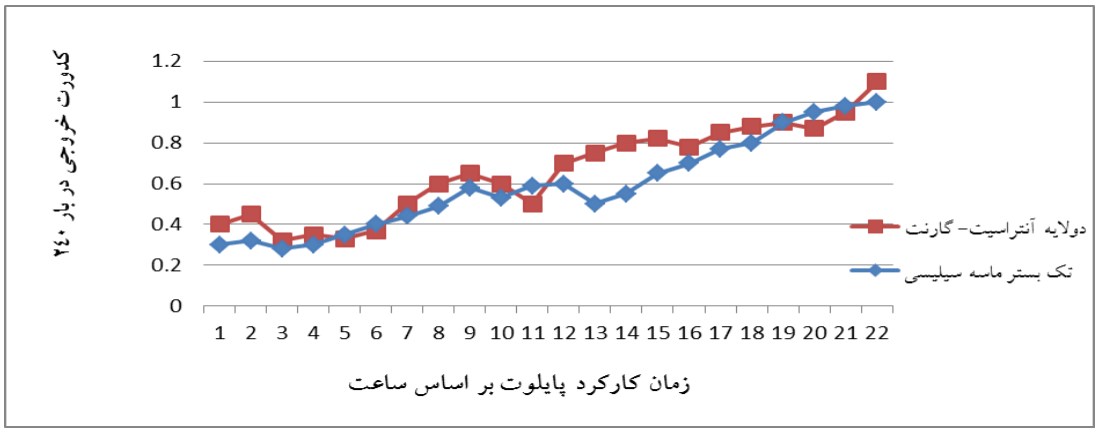
شکل (۱): نمودار کدورت خروجی از فیلتر تک‌بستر ماسه‌سیلیسی و فیلتر دولایه آنتراسیت گارنت در بار سطحی ۱۲۰ مترمکعب بر مترمربع در روز

همان‌گونه که دیده می‌شود دو فیلتر با توجه به اندازه ذرات به‌کار رفته و از نظر حد استاندارد آب آشامیدنی که NTU ۱ است، تفاوت زیادی نسبت به هم نداشته‌اند. اگرچه فیلتر دولایه آنتراسیت- گارنت در تعداد نقاط بیشتری کدورت خروجی کوچک‌تری داشته است. از طرف دیگر دیده می‌شود که در چند ساعت ابتدای بهره‌برداری از پایلوت، کدورت به دست آمده از فیلتر تک‌لایه ماسه‌سیلیسی، نسبت به کدورت به دست آمده از فیلتر دولایه آنتراسیت- گارنت کوچک‌تر است. دلیل این موضوع توانایی بسیار بالای فیلتر ماسه‌ای در حذف کدورت به‌وسیله منافذ بسیار ریز است. در نمودارها دیده می‌شود که مدتی پس از کارکرد پایلوت، راندمان حذف کدورت در فیلتر آنتراسیت- گارنت بالاتر رفته است. دلیل این موضوع نیز گیرافتادن ذرات سازنده کدورت در بین منافذ بستر دولایه و ایجاد پدیده خود پالایی توسط این ذرات است.

لازم به ذکر است در این مقایسه از اندازه ذراتی کوچک‌تر برای ماسه استفاده شده است. بنابراین می‌توان پیش‌بینی کرد در صورت استفاده از ذرات ریزتر آنتراسیت و گارنت، فیلتر دولایه راندمان حذف کدورت بیشتری از تک‌بستر نسبت به حالت آزمایش شده به دست دهد. دلیل استفاده از ذرات ریز ماسه پیدا کردن بیشترین راندمان حذف کدورت توسط این ذرات بود. اگرچه استفاده از ذرات ماسه سیلیسی با خلوص و کیفیت بالا نیز از محدودیت‌های این استفاده بوده است.

۳-۲. نتایج مربوط به بخش دوم پژوهش (بار سطحی ۲۴۰ مترمکعب بر مترمربع در روز)

بخش دوم از پژوهش مربوط به مقایسه فیلتر تک‌بستری ماسه‌سیلیسی و فیلتر دولایه آنتراسیت- گارنت در بار سطحی ۲۴۰ مترمکعب بر مترمربع در روز است. نتایج مربوط به اندازه‌گیری کدورت در شکل (۲) آمده است.



شکل (۲): نمودار کدورت خروجی از فیلتر تک‌بستر ماسه‌سیلیسی و فیلتر دولایه آنتراسیت گارنت در بار سطحی ۲۴۰ مترمکعب بر مترمربع در روز

همان‌گونه که دیده می‌شود دو فیلتر با توجه به اندازه ذرات به کار رفته و از نظر حد استاندارد آب آشامیدنی که NTU ۱ است، برتری خاصی نسبت به هم نداشته‌اند. اگرچه کمترین کدورت به دست آمده از فیلتر تک‌لایه ماسه‌سیلیسی، نسبت به کمترین کدورت به‌دست آمده از فیلتر دولایه آنتراسیت- گارنت کوچک‌تر است. همچنین فیلتر ماسه‌ای در نقاط بیشتری راندمان حذف کدورت بالاتری داشته است. از طرفی شیب نمودار کدورت خروجی که نشان دهنده سرعت کاهش راندمان حذف است، در فیلتر دولایه آنتراسیت- گارنت عدد کمتری است. به عبارت دیگر راندمان حذف کدورت در فیلتر دولایه آنتراسیت- گارنت، در بازه‌های زمانی کوچک‌تر بهره‌برداری از پایلوت، تغییرات کمتری داشته است. یکی از دلایل این موضوع رهاشدگی مواد کدورت‌زای گیر افتاده در بین ذرات ماسه تحت تاثیر نیروی برشی آب است. از آن‌جا که بخش عمده و اصلی ذرات کدورت-ساز در فیلتر دولایه در منافذ سطح ویژه آنتراسیت به دام می‌افتند، بسیار اندک تحت تاثیر نیروی برشی جریان آب قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است که تغییرات کمتر در راندمان حذف کدورت، تنظیم عملیات قبل و پس از مرحله فیلتراسیون مانند افزودن مواد منعقدکننده و کلرزنی را آسان‌تر می‌سازد.

در این مقایسه نیز چون از اندازه ذراتی کوچک‌تر برای ماسه استفاده شده است بنابراین می‌توان پیش‌بینی کرد در صورت استفاده از ذرات ریزتر آنتراسیت و گارنت، فیلتر دولایه راندمان حذف کدورت بیشتری نسبت به تک‌بستر به دست دهد.

در مقایسه با بار سطحی ۱۲۰ مترمکعب بر مترمربع در روز اعداد مربوط به کدورت‌های خروجی در هر دو فیلتر مقدار بیشتری دارند که این موضوع باید با تحلیل آماری بررسی گردد. این موضوع با توجه به این‌که شرایط پربار بر پایلوت وارد شده است و با توجه به توانایی مشخص ذرات بستر قابل پیش‌بینی بود. بار سطحی بالاتر علاوه بر این‌که بار آلودگی بالاتری به فیلترها وارد می‌کند، فرصت کمتری نیز به ذرات بستر برای انجام فرایند فیلتراسیون می‌دهد.

۳-۳. بررسی و تحلیل نتایج پژوهش با نرم افزار آماری spss

۳-۳-۱. بررسی راندمان حذف کدورت در بخش اول از پژوهش (بار سطحی ۱۲۰ مترمکعب بر مترمربع در روز) با آزمون تی مستقل

با توجه به جدول (۲) مشخص است که در بخش اول از پژوهش بین کدورت خروجی از فیلتر تک‌بستر و فیلتر دولایه تفاوت معنی‌دار وجود دارد. بنابراین نتیجه گرفته می‌شود که فیلتر دولایه آنتراسیت- گارنت توانایی بالاتری در حذف کدورت از آب دارد. به‌عبارت دیگر راندمان حذف کدورت در فیلتر دولایه نسبت به فیلتر تک‌بستر در شرایط اعمال بار سطحی ۱۲۰ مترمکعب بر مترمربع در روز بیشتر است.

جدول (۲): بررسی راندمان حذف کدورت در بخش اول از پژوهش (بار سطحی ۱۲۰ مترمکعب بر مترمربع در روز) با آزمون تی مستقل

راندمان حذف کدورت	تعداد	میانگین	سطح معنی‌داری
فیلتر تک‌بستری ماسه سیلیسی	۲۵	۰/۶۹۰۸	۰/۰۰۲
فیلتر دولایه آنتراسیت- گارنت	۲۵	۰/۵۰۱۶	

۳-۳-۲. بررسی راندمان حذف کدورت در بخش دوم از پژوهش (بار سطحی ۲۴۰ مترمکعب بر مترمربع در روز) با آزمون تی مستقل

با توجه به جدول (۳) مشخص است که در بخش دوم از پژوهش بین کدورت خروجی از فیلتر تک‌بستر و فیلتر دولایه تفاوت معنی‌دار وجود دارد. بنابراین نتیجه گرفته می‌شود که فیلتر دولایه آنتراسیت- گارنت توانایی بالاتری در حذف کدورت از آب دارد. به‌عبارت دیگر راندمان حذف کدورت در فیلتر دولایه نسبت به فیلتر تک‌بستر در شرایط اعمال بار سطحی ۲۴۰ مترمکعب بر مترمربع در روز بیشتر است.

جدول (۳): بررسی راندمان حذف کدورت در بخش دوم از پژوهش (بار سطحی ۲٤۰ مترمکعب بر مترمربع در روز) با آزمون تی مستقل

راندمان حذف کدورت	تعداد	میانگین	سطح معنی‌داری
فیلتر تک‌بستری ماسه سیلیسی	۲۵	۰/۸۳۷۶	۰/۰۰۴
فیلتر دولایه آنتراسیت- گارنت	۲۵	۰/۶۱۵۱	

۳-۳-۳. بررسی راندمان حذف کدورت در فیلتر تک‌بستری از پژوهش (بار سطحی ۱۲۰ و ۲۴۰ مترمکعب بر مترمربع در روز) با آزمون همبستگی

بر اساس داده‌های جدول (۴) دیده می‌شود که میزان کدورت خروجی در فیلتر تک‌بستر ماسه‌سیلیسی در پژوهش، تحت تاثیر تغییر در میزان بار سطحی قرار دارد. به‌عبارتی بین افزایش بار سطحی از ۱۲۰ مترمکعب بر مترمربع در روز به ۲۴۰ مترمکعب بر مترمربع در روز با اطمینان ۹۶/۵ درصد حدود ۳۰ درصد همبستگی مثبت پایینی وجود دارد. به‌عبارتی با افزایش بار سطحی میزان کدورت خروجی از فیلتر تک‌بستری افزایش یافته و راندمان حذف کدورت کاهش می‌یابد.

جدول (٤): بررسی راندمان حذف کدورت در فیلتر تک‌بستری از پژوهش (بار سطحی ۱۲۰ و ۲٤۰ مترمکعب بر مترمربع در روز) با آزمون همبستگی

	بار سطحی ۱۲۰	بار سطحی ۲۴۰
تعداد	۲۵	۲۵
سطح معنی‌داری	-	۰,۰۳۵
ضریب پیرسون در بار سطحی ۱۲۰	۱	۰/۲۹۹

۳-۳-۴. بررسی راندمان حذف کدورت در فیلتر دولایه از پژوهش (بار سطحی ۱۲۰ و ۲۴۰ مترمکعب بر مترمربع در روز) با آزمون همبستگی

بر اساس داده‌های جدول (۵) دیده می‌شود که میزان کدورت خروجی در فیلتر دولایه آنتراسیت- گارنت در پژوهش، تحت تاثیر تغییر در میزان بار سطحی قرار دارد. به‌عبارتی بین افزایش بار سطحی از ۱۲۰ مترمکعب بر مترمربع در روز به ۲۴۰ مترمکعب بر مترمربع در روز با اطمینان ۹۹/۱ درصد حدود ۳۷ درصد همبستگی مثبت و نسبتا پایینی وجود دارد. به‌عبارتی با افزایش بار سطحی میزان کدورت خروجی از فیلتر دولایه افزایش یافته و راندمان حذف کدورت کاهش می‌یابد.

جدول (٥): بررسی راندمان حذف کدورت در فیلتر دولایه از پژوهش (بار سطحی ۱۲۰ و ۲٤۰ مترمکعب بر مترمربع در روز) با آزمون همبستگی

	بار سطحی ۱۲۰	بار سطحی ۲۴۰
تعداد	۲۵	۲۵
سطح معنی‌داری	-	۰,۰۰۹
ضریب پیرسون در بار سطحی ۱۲۰	۱	۰/۳۶۸

۴.نتیجه گیری

در بار سطحی ۱۲۰ مترمکعب بر مترمربع در روز کدورت خروجی از فیلتر دولایه ۰/۵۰ و کدورت خروجی از فیلتر تک‌بستر ۰/۶۹ بود. در بار سطحی ۲۴۰ مترمکعب بر مترمربع در روز کدورت خروجی از فیلتر دولایه ۰/۶۱ و از فیلتر تک‌بستر ۰/۸۳ بود. نتایج نشان داد که فیلتر دولایه راندمان بالاتری در حذف کدورت از آب دارد. علاوه بر آن با افزایش بار سطحی راندمان حذف کدورت در هر دو فیلتر کاهش یافته است. با توجه به نتایج به دست آمده از اجرای پژوهش استفاده از فیلترهای دولایه برای رسیدن به فیلتراسیون کاراتر و بهتر مشخص شده است. منظور از فیلتراسیون کاراتر، زمان بهره‌برداری

بیشتر از سیستم فیلتراسیون به همراه افت فشار کمتر و همچنین مصرف آب کمتر به دلیل تعداد دفعات پس‌شویی کمتر است. این موضوع به‌ویژه در شهرهایی مانند اهواز که به دلیل افزایش جمعیت نیاز است تا یک تصفیه‌خانه به مقدار بیشتر از طراحی عمل تصفیه را انجام دهد، کارگشا است.

۵.مراجع

(۱) بانژاد، ح.، دانشی، ن.، پیرتاج همدانی، ر.، قاسمی، ع و مکاری، م.، ۱۳۸۶. بررسی اثر فیلتراسیون تند شنی در کاهش مس و روی موجود در آب در حضور غلظتهای متفاوت فسفات. دهمین همایش ملی بهداشت محیط.، همدان.

(2) Adin, A., and S. Hatukai. 1991. Optimization of multilayer filter beds filtration and separation (Elsevier), 25(1): 33-36.

(3) Mitrouli, S.T., Karabelas, A.J. and S.G. Yiantsios. 2009. New granular materials for dual media filtration of sea water: pilot testing, J Seperation and Purification technology, 65: 147-155.

(4) دلبازی، ن. احمدی مقدم، م. تکدستان، ا و جعفرزاده حقیقی‌فرد. ۱۳۹۰. مقایسه کارایی صافی یک‌لایه با بستر ماسه و صافی دولایه با بسترهای لیکا و آنتراسیت در حذف مواد آلی و کدورت. مجله سلامت و محیط.۴(۳): ۳۱۲-۳۰۱.

(5) منزوی، م. ۱۳۹۲. آبرسانی شهری. موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران. چاپ سیزدهم. ۱۶۹ -۱۶۰.

(6) قسیم، موتلی، زو. ۱۳۹۲. مهندسی آب (برنامه‌ریزی، طراحی، بهره‌برداری). ترجمه موسوی، غ. انتشارات حفیظ. ج دوم. ۲۰ -۱.

(7) معمارزاده، م.، مصطفوی، ح.، ۱۳۹۰. بررسی آماری ضرورت تعویض بستر صافی های فاز اول تصفیه خانه آب اصفهان با استفاده از تغییرات اندازه موثر و ضریب یکنواختی.

(8) Chavan, Prithviraj., Soltis, Michael., Warren, John., Heavener, Mia. 2013. Two-step Removal of DBP Precursors from Challenging Saxman (AK) Surface Water Using MIEX® Pretreatment followed by Filtration. ISCORD 2013: Planning for Sustainable Cold Regions © ASCE 2013.

(9) Mohammed, I., Basheer, Al-Ubaidy., Dheyaa Wajid Abbood., 2012. Biological Removal Efficiency of Multimedia Biological Filter. Journal of Environmental Science and Engineering A 1 (2012) 750-759.

(10) Nur, Muhammad., Rajib, Sinha., Radha, Krishnan., Craig L. Patterson. 2011. Use of Biological and Non-biological Surrogates for Evaluating Cryptosporidium Removal by Filtration., World Environmental and Water Resources Congress 2011.

(11) موسویان، ز.، رستگاری، ع.، عابدی، س.، ۱۳۹۳. بررسی کارآیی فیلتراسیون چند بستره درحذف کیست‌های ژیاردیا لامبلیا در تصفیه‌خانه آب اصفهان. فصلنامه علمی پژوهشی زیست شناسی میکرو ارگانیسم‌ها. سال سوم شماره نهم صفحه ۹۸-۸۹.

(12) امینی راد، ح. عموئیان، ع و رسولیان، م. ۱۳۹۰. افزایش راندمان مخزن ته‌نشینی با استفاده از فیلترهای دانه‌درشت افقی جهت حذف کدورت آب. پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست. تهران. ایران.

(13) عبدالهیان، م.، جعفری دستنایی، ع.، ۱۳۸۷. بررسی عملکرد فیلترهای درشت‌دانه افقی در تصفیه آب‌های سطحی. یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط. دانشگاه علوم پزشکی زاهدان.