تأثیر اختلاط لایه فوقانی بستر فیلترهای ماسه‌ای کُند بر عملکرد آنها

بیژن باقری [۱] ایوب کریمی جشنی [۲]

(دریافت ۸۵/۱۱/۱۵ پذیرش ۸۶/۶/۲۱)

چکیده

بر اثر تجمع ذرات روی بستر فیلترهای ماسه‌ای کند، لایه‌ای با ضخامت کم معروف به "اشموتسدک" تشکیل می شود. این لایه که از لحاظ بیولوژیکی فعال است، نقش مهمی در حذف ذرات توسط فیلتر دارد و عامل عمده افزایش افت هد در حین بهره برداری است. پس از مدتی با متراکم شدن "اشموتسدک" روی سطح بستر، فیلتر مسدود شده و باید تمیز شود. از آنجا که هزینه بهره‌برداری از فیلترها به تناوب تمیزکاری بستگی دارد، بنابراین هرچه فاصله دو مرحله تمیزکاری بیشتر شود، هزینه‌ها کاهش می‌یابند. در این مطالعه تأثیر اختلاط بستر بر عملکرد فیلترها، به خصوص بر زمان کارکرد آنها، مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور دو دستگاه فیلتر از لوله پی- وی- سی به قطر ۲۴ و ارتفاع ۱۶۰ سانتی‌متر، محتوی ۶۰ سانتی‌متر ماسه با اندازه مؤثر ۰/۲ میلی‌متر و ضریب یکنواختی ۲/۳ ساخته شد. در طی ۱۴۹ روز کارکرد فیلتر، ۳۰ سانتی‌متر فوقانی فیلتر آزمایش، به طور یک روز در میان، بهم زده شد و عملکرد آن با فیلتر شاهد مقایسه گردید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با ایجاد اختلاط در بستر، افت هد به طور مؤثر کاهش یافته و مدت زمان کارکرد فیلتر بدون تأثیر منفی بر کیفیت آب خروجی به بیش از دو برابر افزایش پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: اشموتسدک، فیلتر ماسه ای کند، اختلاط بستر، افت هد، کدورت.

Effects of Bed Top Layer Mixing on Slow Sand Filter Performance

Bijan Bagheri [1] Ayoub Karimi Jashni [2]

(Received Feb. 4, 2007 Accepted Sep. 12, 2007)

Abstract

"Schmutzdecke" is developed by particle deposition of a few centimeters deep on the top of the sand layer in slow sand filters. It plays an important role in removal mechanisms and is responsible for the significant increase of head loss during operation. After several weeks of filter operation, the surface area of the bed becomes clogged due to deposition of suspended solids. Cleaning of the bed top is required when the final head loss occurs. Since the operation costs of slow sand filters depend on cleaning intervals, the operation cost decreases by increasing the time of filtration run. The objective of this study was to evaluate the effect of bed top layer mixing on filter performance. Two experimental pilots (one test and one control) were built from 240 mm PVC pipe 170 cm high. The sand media depth in each filter was 60 cm with a uniformity coefficient of 2.3 and effective size of 0.2 mm. During the 149 days, 30 cm of the top layer of the test filter bed was mixed every other day and filter performance was evaluated and compared with the unmixed control filter. This research indicated that the rate of head loss decreased with bed top layer mixing and that filtration run increased to more than two times the typical value without notable effects on effluent quality.

Keywords: Schmutzdecke, Slow Sand Filter, Bed Mixing, Head Loss, Turbidity.

۱- کارشناس ارشد عمران، مجتمع عالی آموزشی و پژوهشی فارس، bagheribijan@gmail.com
۲- استادیار بخش راه و ساختمان، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

1. M.Sc., Fars Higher Education and Research Complex, Shiraz, bagheribijan@gmail.com
2. Assist. Prof., Dept. of Civil Engineering, Shiraz University.

۱- مقدمه

انسان با آموختن از طبیعت سالهاست که از فیلتراسیون، به ویژه از فیلترهای ماسه‌ای کند، به عنوان یکی از روشهای تصفیه آب استفاده می‌کند. این فیلترها، همان گونه که از نام آنها پیداست، با آهنگی کند و حجم کم (۱۰۰ تا ۳۰۰ لیتر در ساعت در هر متر مربع از سطح فیلتر)، عمل فیلتراسیون را انجام می‌دهند. مدت زمان کارکرد فیلترهای ماسه‌ای کند نسبتاً طولانی بوده و تا چند ماه می‌توانند آب را، بدون نیاز به شست‌وشو، تصفیه کنند[۱].

ویژگی دیگر این فیلترها عملکرد زیست‌شناختی آنهاست. سرعت کم جریان در فیلترهای کند، باعث باقی ماندن ذرات جامد و میکروارگانیسم‌های موجود در آب بر سطح بستر و در نتیجه تشکیل "اشموتسدک"[1] به ضخامت حدود ۲سانتی‌متر می‌شود[۲]. علاوه بر این، برخی از این ذرات و موجودات، با نفوذ به درون بستر ماسه‌ای، اطراف دانه‌های ماسه را گرفته و با تشکیل لعاب نازکی که عملکرد زیست‌شناختی دارد، عمل تصفیه را بهبود می‌بخشند[۳].

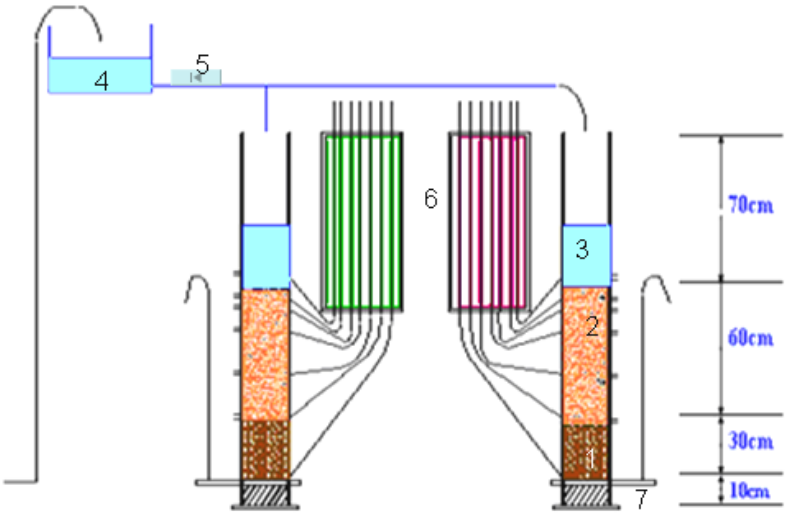
با تجمع ذرات و متراکم شدن لایه "اشموتسدک"، هد آب افت زیادی پیدا می‌کند و شرایطی به وجود می‌آید که فیلتر مسدود شده و لازم است بهره‌برداری از آن متوقف و تمیزکاری انجام شود. عملیات تمیزکاری با برداشتن[2] لایه بیولوژیکی تشکیل شده بر سطح فوقانی بستر و یا با شخم زدن[3] و سپس شستن آهستهٔ آن صورت می‌گیرد[۴]. بیشتر هزینه‌های زمان بهره‌برداری، مربوط به عملیات تمیزکاری است. از اینرو هرچه فاصله دو تمیزکاری طولانی‌تر شود، هزینه‌های بهره‌برداری کاهش می‌یابد[۵]. در این تحقیق با برهم زدن ۳۰ سانتی‌متر فوقانی بستر ماسه‌ای، اثرات آن بر پارامترهای عملکردی از جمله بر آهنگ تغییرات افت هد و زمان کارکرد فیلتر مورد بررسی قرار گرفت.

۲- روش تحقیق

دو دستگاه فیلتر مشابه و موازی، یکی به عنوان فیلتر شاهد و دیگری به عنوان فیلتر آزمایش، از لوله پی وی سی به قطر داخلی ۲۴ و ارتفاع ۱۶۰ سانتی‌متر (حاوی ۶۰ سانتی‌متر ماسه و ۳۰ سانتی‌متر شن) ساخته شدند. بستر فیلترها از ماسه پوشیده شد که قطر مؤثر آن ۰/۲ میلی‌متر و ضریب یکنواختی ۲/۳ آن بود. شن تحتانی نیز در سه لایه ۱۰ سانتی‌متری با قطر مؤثر از پایین به بالا به ترتیب ۱۰، ۶/۵ و ۲ میلی‌متر به عنوان زهکش و نگهدارنده ماسه عمل می‌کرد. همچنین اندازه ۷۰ سانتی‌متر برای تأمین ارتفاع آب روی بستر[4] در نظر گرفته شد و به منظور تعیین فشار آب، تعداد ۷ مانومتر در عمقهای مختلف هر فیلتر نصب گردید (شکل ۱).

با استفاده از محلول محتوی ذرات معلق، حاصل از حل کردن خاک رس معمولی و خاک کائولین در آب و ته‌نشین شدن آن، آب موجود در مخزن ۵۰۰ لیتری، آلوده می‌گردید. سپس این آب آلوده، به درون مخزنی با هد ثابت که در ارتفاع دو متری نصب شده بود، پمپ می‌شد. در آنجا مقداری مواد آلی و مغذی (ترکیبات نیتروژن و فسفر) به همراه فاضلاب و آب گرفته شده از رودخانه نیز به آن اضافه می‌گردید.

[1] Schmutzdecke
[2] Scraping
[3] Harrowing
[4] Supernatant



شکل ۱- شماتیک پایلوت‌ها (۱- شن تحتانی؛ ۲- ماسه؛ ۳- آب شناور روی بستر؛ ۴- مخزن آب با هد ثابت؛ ۵- سیستم تنظیم بار هیدرولیکی؛ ۶- مانومترها؛ ۷- سیستم زهکش و تخلیه)

با تنظیم شیرهای تعبیه شده در مخزن فوقانی، جریانی با مقدار متوسط ۱۳۰ لیتر در روز (با آهنگ فیلتراسیون ۰/۱۲ متر در ساعت) از ارتفاع ۷۰ سانتی‌متری بالای سطح ماسه وارد هر فیلتر شده و پس از عبور از آن، توسط سیستم زهکش (شن تحتانی و لوله‌ای با ۱۸۰ سوراخ ۳ میلی‌متری) از فیلتر خارج و از ارتفاع چند سانتی‌متری بالای سطح بستر، تخلیه می‌شد (شکل ۱). در طی ۱۴۹ روز بهره‌برداری از فیلترها، هر دو روز یک‌بار و به مدت یک دقیقه، ۳۰ سانتی‌متر فوقانی بستر فیلتر آزمایش بهم زده شد. بدین منظور از یک تیغه به ابعاد ۲۳ در ۳۰ سانتی‌متر استفاده می‌گردید. در این مدت، میزان کدورت[1] آب ورودی و خروجی هر فیلتر و بلندای آب در هر فیلتر، به طور روزانه اندازه‌گیری شد. شمارش باکتری‌های کلیفرم آب ورودی و خروجی هر فیلتر نیز، به روش تخمیر چند لوله‌ای[2]، به طور هفتگی انجام گردید.

۳- نتایج و بحث

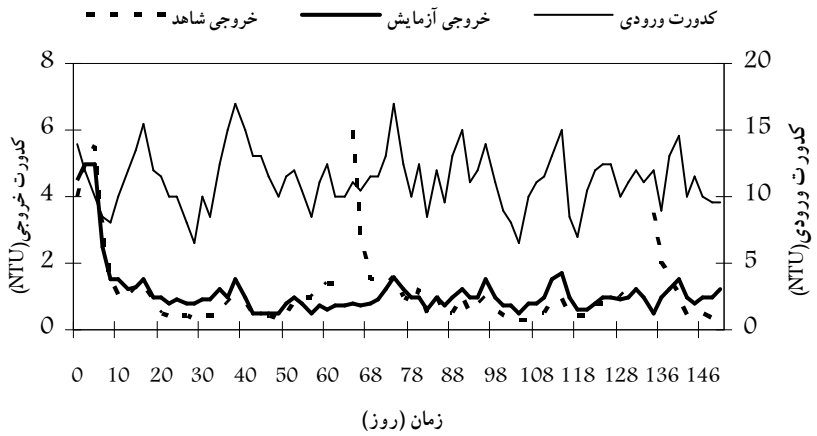
در شکل ۲، نمودار میزان کدورت آب ورودی و خروجی هر فیلتر، بر حسب زمان و برای دوره بهره‌برداری، رسم شده است. در ۶۲ روز اول (دوره اول کارکرد فیلتر شاهد)، آب با کدورت بین ۶/۵ تا ۱۷ NTU[3] وارد فیلترها شده و با کدورت بین ۰/۳ تا NTU ۱/۵ از فیلتر شاهد خارج شده است. کدورت آب خروجی از فیلتر آزمایش در زمان مشابه بین ۰/۵ تا NTU ۱/۶ اندازه‌گیری شده است. همچنین طی ۷۸ بار اندازه‌گیری، میانگین کدورت آب ورودی به هر دو فیلتر NTU ۱۱/۲۶ با انحراف معیار ۱/۱۲، میانگین کدورت آب خروجی از فیلتر شاهد NTU ۰/۷۵ با انحراف معیار ۱/۱۵ و میانگین کدورت آب خروجی از فیلتر آزمایش ۰/۷۵ با انحراف معیار ۱/۱۴ بوده است.

شکل ۳، نتایج شمارش باکتری‌های کلیفرم کلی را که به روش تخمیر چند لوله‌ای اندازه‌گیری شده‌اند، نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، آب با میانگین ۱۷۸ عدد باکتری در ۱۰۰ سی سی[4] به فیلترها وارد و با میانگین ۱۱ و ۹ به ترتیب از فیلترهای شاهد و آزمایش خارج شده است.

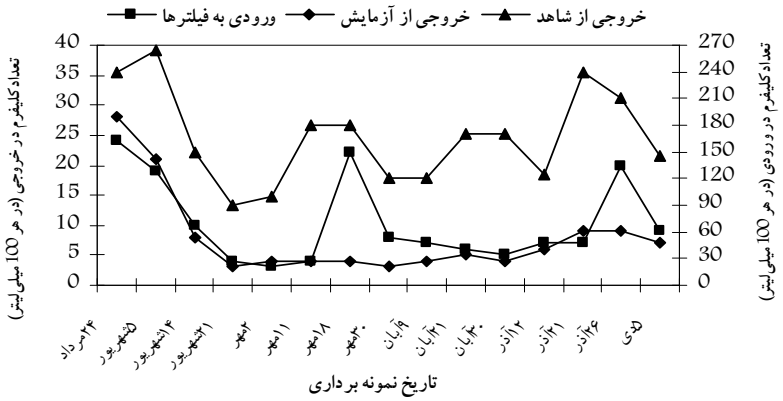
در شکل ۴، افت هد ایجاد شده در فیلترهای شاهد و آزمایش که طی ۱۴۹ روز بهره‌برداری از فیلترها اندازه‌گیری شد، بر حسب زمان رسم گردیده است. در دوره کارکرد اول فیلتر شاهد، پس از ۶۲ روز، افت هد در فیلتر شاهد از ۳ به ۷۰ سانتی‌متر (افت هد نهایی در نظر گرفته شده) افزایش پیدا کرد. در حالی که در فیلتر آزمایش از ۳ به ۱۵ سانتی‌متر رسید. با تمیز کردن فیلتر شاهد، عمل فیلتراسیون در آن با یک روز وقفه، مجدداً آغاز و کار فیلتر آزمایش نیز ادامه یافت. در دوره کارکرد دوم نیز پس از ۶۸ روز، افت هد در فیلتر شاهد از ۳ به ۷۰ سانتی‌متر و در فیلتر آزمایش از ۱۵/۵ به ۶۱ سانتی‌متر رسید.

با تمیزکاری مجدد فیلتر شاهد و شروع به کار آن و ادامه فیلتراسیون در فیلتر آزمایش، پس از ۱۵ روز افت هد در فیلتر آزمایش به ۷۰ سانتی‌متر رسید. در این زمان افت هد ایجاد شده در فیلتر شاهد ۱۱ سانتی‌متر قرائت گردید.

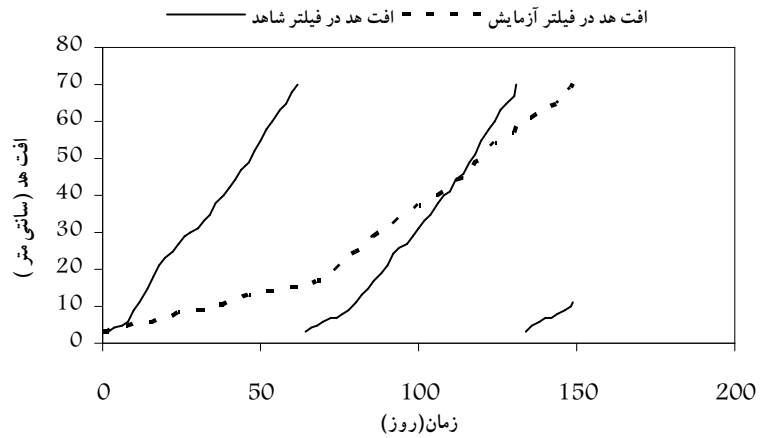
[1] Turbidity
[2] Multiple Tube Fermentation
[3] Nephelometric Turbidity Units
[4] MPN/100 mL



شکل ۲- نمودار مقایسه تغییرات کدورت



شکل ۳- نتایج آزمایش‌های شمارش باکتری‌های کلیفرم کلی



شکل ۴- نمودار افت هد در دوره کارکرد فیلترها

بدین ترتیب در مدت ۱۴۹ روز کارکرد، فیلتر آزمایش (که به طور یک روز در میان نیمی از بستر آن بهم زده می شد) به تمیزکاری نیاز نداشت. این در حالی است که دو بار نسبت به تمیزکاری فیلتر شاهد (با فیلتراسیون متعارف) اقدام گردید.

۴- نتیجه گیری

۱- ایجاد اختلاط در لایه فوقانی بستر، تأثیر قابل توجهی در کاهش آهنگ افت هد دارد.

۲- با کاهش آهنگ افت هد، مدت زمان کارکرد فیلتر افزایش یافته و نیاز به تمیزکاری کمتر می‌شود. در این تحقیق، زمان کارکرد فیلتر به حدود ۲/۵ برابر فیلتراسیون معمولی افزایش پیدا کرد.

۳- با افزایش مدت زمان کارکرد فیلتر و کاهش تعداد مراحل تمیزکاری، مدت از دور خارج کردن فیلتر نیز کاهش می‌یابد.

۴- برهم زدن لایه فوقانی بستر، بر راندمان فیلتر در حذف کدورت تأثیری ندارد و کدورت خروجی، با استفاده از عمق کافی برای بستر، در حدی قابل قبول، از نظر استانداردهای جهانی است.

۵- مراجع

1- American Water Works Association (2003). "A brief history of drinking water." <http://www.awwa.org/advocacy/pressroom/bhist-1. cfm> (Apr. 2, 2006).

2- Huisman, L., and Wood, W. E. (1974). *Slow sand filtration*, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

3- Bellamy, W. D., Hendricks, D. W., and Longsdon, G. S. (1985). "Slow sand filtration: Influences of selected process variables." *J. AWWA,* 77(12), 62-66.

4- Gray & Osborne Inc. (1995). "Evaluation of crushed recycled glass as a filtration medium in slow sand filtration." <http://www.cwc.org/glass/gl954rpt.pdf> (May 5, 2006).

5- Bellamy, W. D., Silverman, G. P., Hendricks, D. W., and Longsdon, G. S. (1985). "Removing giardia cysts with slow sand filtration." *J. AWWA,* 77(2), 53-60.