پژوهشـــــی

توسعه روشهای شستشو در فیلترهای درشت دانه با جریان افقی مستقیم (DHRF)

مهندس مجتبی فاضلی *

دکتر علی ترابیان **

چکیده

فیلترهای درشت افقی (HRF) در دهه‌های نیمه دوم قرن بیستم به عنوان پیش تصفیه مناسب برای تأمین شرایط کیفی آب ورودی فیلترهای کند ماسه‌ای و در برخی موارد برای حذف آهن و منگنز دو ظرفیتی از آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته است. عملکـرد این نوع فیلترها با تزریق مقادیر محدود مواد منعقدکننده و اختلاط سریع در دو دهه اخیر توسعه قابل توجهی داشته است کـه بـه آن فیلتراسیون مستقیم درشت افقی (DHRF) گفته می‌شود. این نوع فیلترها با توجه به استفاده از مواد طبیعی برای فیلتراسـیون، عـدم استفاده از قطعات متحرک مکانیکی و سادگی احداث و بهره‌برداری، واحدهای مناسبی بـرای تصفیـه آب ارزان قیمـت بـرای منـاطق محروم و کم جمعیت شناخته شده‌اند. بزرگترین مشکل موجود در راه بهره‌برداری وسیع از این نوع فیلترها ضعف روشهای شستشـوی متعارف در آنها می‌باشد.

اهداف کلی این تحقیق عبارتند از:

۱- بررسی تأثیر تعبیه محفظه‌های تجمع رسوبات در کف فیلتر در جلوگیری از توسعه افت فشار در فیلـتر و بـهبود راندمـان شستشوی فیلتر با توجه به افزایش تدریجی سرعت جریان و تنش برشی آب شستشو در عبور از مجاری تخلخل بین مواد پرکننده محفظه‌های قیفی شکل زیرین.

۲- بررسی تأثیر تزریق پالسی هوا در طول عملیات شستشوی هیدرولیکی فیلترهای درشت دانه افقـی مسـتقیم بـر راندمـان تخلیه رسوبات و بازیابی فیلتر.

نتایج آزمایشات انجام شده در این تحقیق در مقایسه با نتایج ارائه شده توسط محققین دیگر نشان می‌دهد کـه بـا تعبیـه یـک ناحیـه تجمع رسوبات در کف فیلتر، اولاً توسعه افت فشار در طول دوره بهره‌برداری بین دو شستشو بسیار ناچیز می‌شـود و ثانیـاً شستشـوی هیدرولیکی مواد فیلتری و نگهدارنده با راندمان بهتری صورت می‌پذیرد. بـه طـوری کـه در طـول آزمایشـات پـایلوتی بـا دوره‌هـای بهره‌برداری یک هفته‌ای و نرخ فیلتراسیون تا ۵/۶ مترمکعب بر مترمربع در ساعت هیچگاه افت فشار در طول فیلتر بـه بیـش از سـه سانتی‌متر نرسید. همچنین ضریب گرفتگی فیلتر در شستشوی بـا فواصـل زمـانی، نـرخ فیلتراسـیون و کـدورت ورودی مختلـف (در محدوده‌های مجاز تغییرات) نهایتاً به کمتر از دو درصد وزنی مواد فیلتری محدود می‌گردد. همچنین نتایج بررسی تأثیر هوادهی پالسی بر روی راندمان تخلیه رسوبات نشان می‌دهد که در اثر این عمل نرخ درصد تجمعی رسوبات در جان فیلتر ۱۸ تا ۲۴ درصـد کـاهش می‌یابد. لیکن با توجه به فلسفه استفاده از این نوع فیلترها و به دلیل مصرف انرژی و نیاز به راهبری بیشتر توصیه نشده است.

کلمات کلیدی:

تصفیه آب، فیلتراسیون درشت افقی، فیلتراسیون مستقیم، شستشوی هیدرولیکی، تخلیه رسوبات.

تاریخ دریافت:۸۱/۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۸۱/۱۰/۴

* عضو هیئت علمی دانشکده صنعت آب و برق و دانشجوی دوره دکتری مهندسی محیط‌زیست دانشگاه تهران.

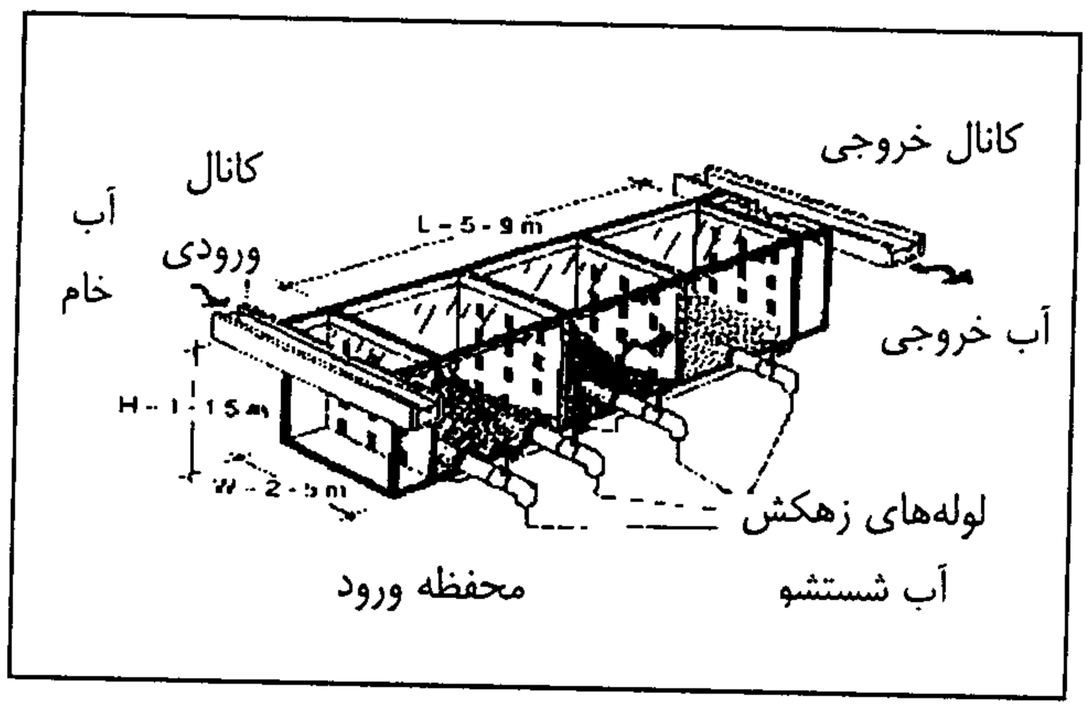
** دانشیار دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران.

سرآغاز

نرخ بالای رشد جمعیت شهری در ایران از یک سو با افزایش سطح بهداشت عمومی و کاهش مرگ و میر در مقابل تغییرات اندک در نرخ تولید مثل و از سوی دیگر با نرخ مهاجرت وسیع جمعیت روبرو است. یکی از عوامل اصلی مهاجرت روستائیان عدم دسترسی به آب بهداشتی و بروز بیماریهای ناشی از مصرف آب آلوده است. توسعه روشهای تصفیه ساده و ارزان قیمت، از جمله فیلتراسیون درشت دانه با جریان افقی ساده و مستقیم در کشور می‌تواند تا حد زیادی راهگشای حل مشکل دسترسی به آب بهداشتی باشد.

فیلتر درشت دانه در اصطلاح به صافی‌هایی گفته می‌شود که اندازه مؤثر مواد آنها از دو میلی‌متر بزرگتر باشد. این فیلترها شامل چند محفظه متوالی هستند که به ترتیب با دانه‌های فیلتری با قطر مؤثر ۲۰- ۲۵ میلی‌متر در محفظه اول تا قطر مؤثر ۲-۴ میلی‌متر در محفظه آخر پر می‌شوند. ابتدا این صافی‌ها برای تصفیه فیزیکی آب، بدون استفاده از مواد منعقدکننده طراحی شده بودند و تجهیزات مکانیکی و الکتریکی به کار رفته در آنها قابل اغماض بود. بر این اساس از این فیلترها به عنوان پیش‌تصفیه برای صافی‌های کند ماسه‌ای و گاهی همراه با یک مرحله هوادهی برای حذف آهن و منگنز محلول استفاده می‌شد (Wegelin and Boller, 1987). امروزه استفاده از نوع ساده این صافی‌ها با توجه به سادگی ساخت و بهره‌برداری در بسیاری از کشورهای در حال توسعه مرسوم شده است (Wegelin et al., 1996).

در دهه ۱۹۹۰ برخی از پژوهشگران درصدد برآمدند تا با تغییراتی در روش بهره‌برداری از این صافی‌ها، با استفاده از مواد منعقدکننده، یک مرحله اختلاط سریع قبل از فیلترهای درشت دانه با جریان افقی (برای افزایش راندمان حذف کدورت)، بهبود شرایط شستشوی هیدرولیکی و در نهایت افزایش نرخ جریان و طول عمر مفید مواد فیلتری گام بردارند. از آن جمله می‌توان به Ahsan وAlaerts (1991) اشاره نمود در حالی که بسیاری دیگر همچون Wegelin ادامه فعالیتهای خود را بر روی تدوین و تدقیق مبانی فیلترهای ساده از این نوع متمرکز کرده‌اند. فیلترهای افقی بدون تزریق مواد منعقدکننده فیلترهای درشت دانه افقی (HRF)[1] و زمانی‌که از مواد منعقدکننده استفاده شود فیلترهای درشت دانه افقی مستقیم (DHRF)[2] نامیده می‌شود. طرح شماتیک یک نمونه از فیلترهای درشت دانه افقی با زهکشهای زیرین متعارف در شکل شماره (۱) مشاهده می‌شود.

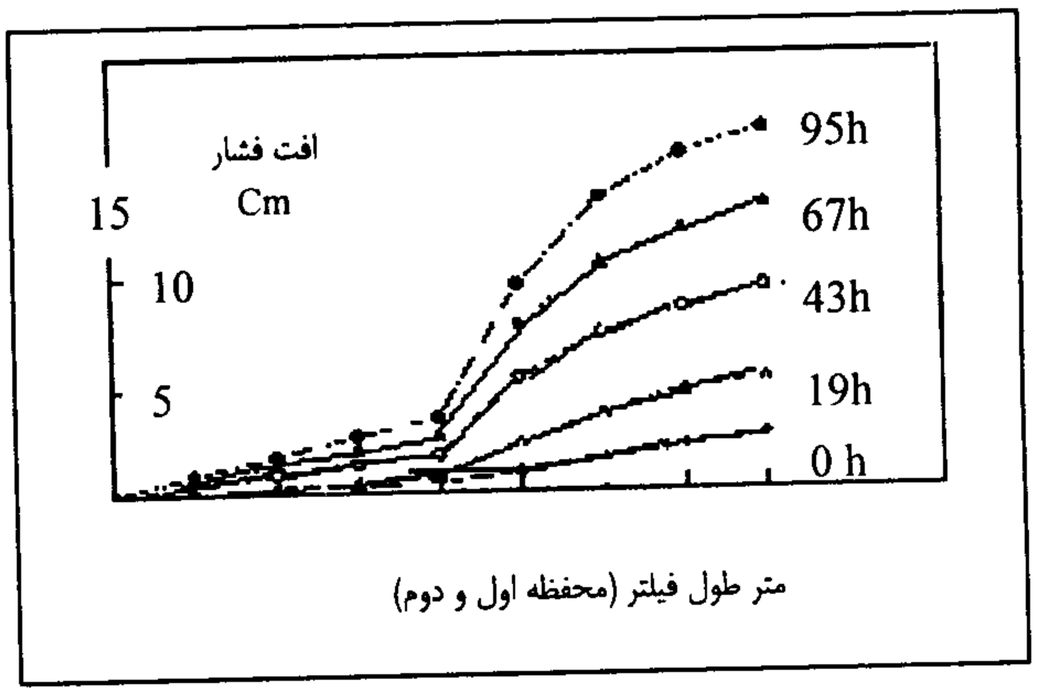


شکل شماره (۱): طرح شماتیک یک نمونه از فیلترهای درشت دانه افقی (Ahsan et al., 1995)

بررسی نحوه ته‌نشینی مواد معلق در فیلترهای درشت دانه افقی توسط پژوهشگران متعددی از جمله Wilson و دیگران در سال ۱۹۸۰ و Wegelin در سال ۱۹۸۷ انجام و مشخص گردید که اصلی‌ترین فرایند حذف در محفظه اول این فیلترها ته‌نشینی می‌باشد. با توسعه فیلترهای درشت دانه افقی با تزریق مواد منعقدکننده به فیلترهای مستقیم از این نوع و مطالعات انجام شده بر روی نوع ته‌نشینی معلوم شد که با تبدیل ته‌نشینی ساده به ته‌نشینی نوع دوم راندمان حذف در این محفظه به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد (Alaerts and Ahsan, 1991). همچنین معلوم گردید که نرخ لخته‌سازی در محیط متخلخل نیز بسیار بالاتر از مخازن متعارف می‌باشد (Graham, 1986 وWillson, 1980).

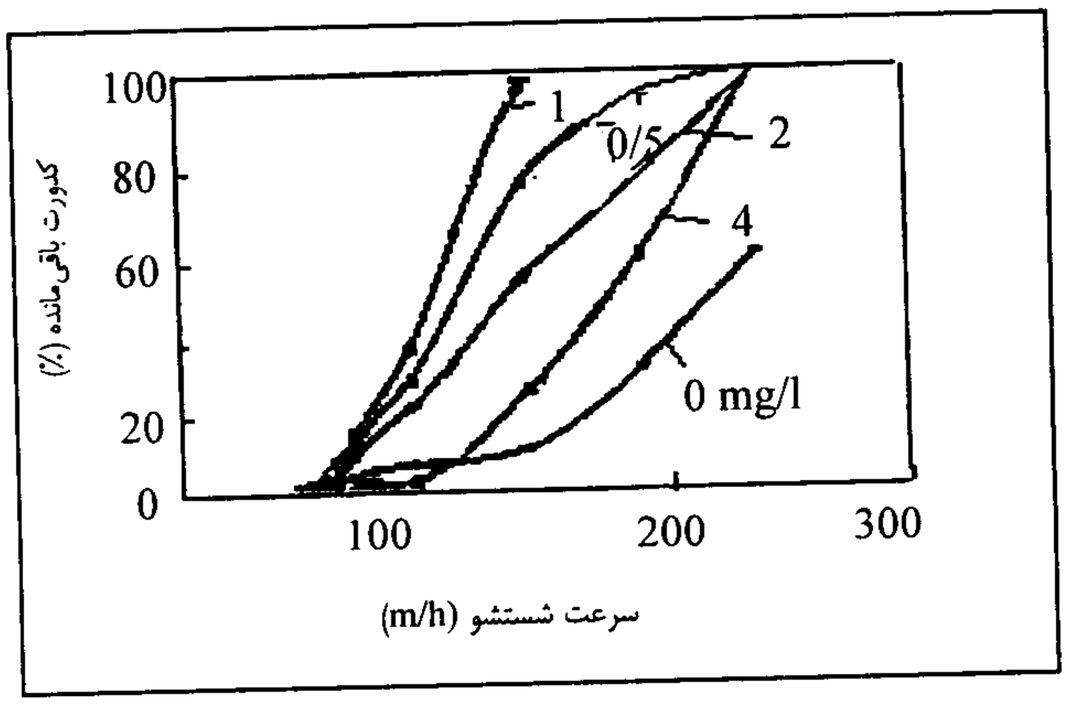
مواد رسوب کرده بر روی دانه‌های فیلتری به تدریج ضخیم‌تر شده و تشکیل گنبدهای رسوبی می‌دهد و با افزایش میزان تجمع پایداری رسوبات گنبدی شکل کاهش یافته و در اثر تنش برشی اعمال شده توسط جریان افقی متعارف، از بین مواد

فیلتری تخریب شده و به لایه‌های زیرین فیلتر واریز می‌کند. افت فشار در محفظه اول فیلترهای درشت دانه افقی قابل اغماض است ولی در محفظه‌های دوم و سوم دارای شیب بیشتری است. به طوری که در شکل شماره (۲) ملاحظه می‌گردد توسعه افت فشار در محفظه با قطر دانه‌های فیلتری چهار میلی‌متری به گونه‌ای اتفاق می‌افتد که در طول ۹۵ ساعت بیش از ۱۵ سانتیمتر افت فشار به وجود می‌آید (Ahsan et al., 1995).



شکل شماره (۲): بررسی افت فشار در فیلتر درشت افقی مستقیم با کدورت ورودی NTU۲۰۰ و دوز مواد منعقدکننده یک میلی‌گرم در لیتر آلومینیوم، نرخ فیلتراسیون ۵ متر در ساعت، در دو محفظه ۴ متری با قطر مواد هشت و چهار میلیمتری (Ahsan et al., 1995)

در فیلترهای درشت دانه افقی برای کاهش اثرات افت فشار و کنترل پیشروی جبهه گرفتگی از شستشوی هیدرولیکی با استفاده از نیروی هیدروستاتیکی آب استفاده می‌شود. به طوریکه با ایجاد جریان با سرعت و تنش برشی زیاد از بین لایه‌های زیرین مواد تجمع‌یافته در این نواحی از فیلتر خارج می‌گردد (Wegelin and Boller, 1987). مسئله بسیار مهم در راندمان شستشو و بازسازی فیلتر از یک سو عمر رسوبات تجمع‌یافته و از سوی دیگر نوع رسوبات است. به طوریکه با کاهش عمر رسوبات ضریب چسبندگی آن کمتر شده و برای شستشو نیاز به تنش برشی کمتری خواهد بود و رسوبات لخته شده با استفاده از مواد منعقدکننده راحت‌تر از رسوبات ساده شسته می‌شوند. آزمایشات انجام شده توسط Ahsan و همکارانش در سال ۱۹۹۵ نشان می‌دهد که با تزریق یک میلی‌گرم در لیتر آلوم بر حسب آلومینیوم، با عمر یک هفته‌ای نیاز به سرعت جریان شستشو به میزان ۱۰۰ متر در ساعت برای شستشوی کامل دارند. در صورتیکه سرعت شستشوی بیش از ۲۵۰ متر در ساعت مواد رسوبی بدون تزریق مواد منعقدکننده را با راندمان نزدیک به ۶۰ درصد در همان عمر رسوب تخلیه می‌نماید (شکل شماره ۳).



شکل شماره (۳): تأثیر میزان مواد منعقدکننده بر روی میزان تخلیه رسوبات فیلتر در سرعت جریان شستشوی مختلف (Ahsan et al., 1995)

چنانچه ملاحظه می‌شود در فیلترهای درشت‌دانه افقی ساده و در فیلترهای مستقیم (با تزریق مواد منعقدکننده) با عمر رسوبات زیاد علیرغم شستشوی ادواری مقادیری از رسوبات در بین مواد فیلتری باقی‌مانده و به ترتیب باعث گرفتگی فیلتر می‌شود.

نیاز به تعویض مواد فیلتری در دوره‌های کوتاه کمتر از یک سال برای فیلتر ساده (Wegelin and Boller, 1987) و بیش از یک سال برای فیلتر مستقیم (Ahsan et al., 1995)، به علت ضعف روشهای متعارف شستشوی هیدرولیکی و گرفتگی تدریجی و کاهش راندمان تصفیه باعث تعویض مواد فیلتری بعد از هر گرفتگی می‌شود. این مسئله موجب نیاز این سیستمها به نیروی کارگری زیاد در این مقاطع شده و لاجرم استفاده از این فیلترها را منحصر به مناطق روستایی و محروم می‌نماید.

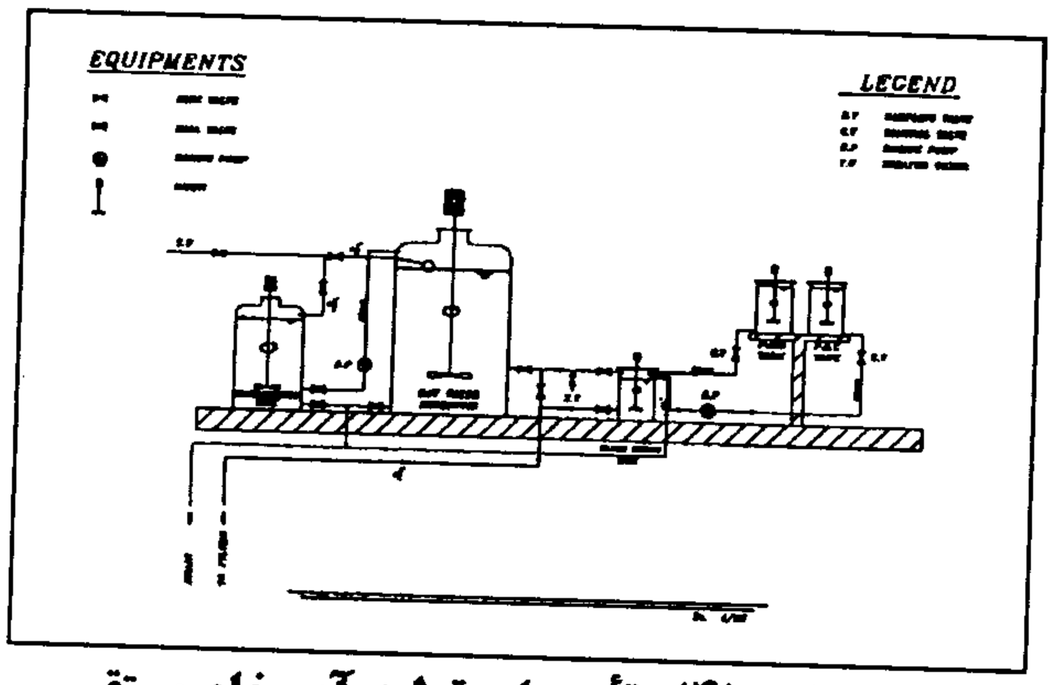
دراین تحقیق سعی شده است با انجام تغییراتی در ساختمان کف فیلتر و تعبیه محفظه‌های قیفی شکل در زیر جعبه فیلتری

بخش تجمع رسوبات را از فیلتر جدا کرده و خروج پیوسته مـواد رسوبی از فیلتر محقق گردد و از سـوی دیـگر بـا انتخـاب دوره شستشوی کمتر از یک هفته، راندمـان تخلیـه رسـوبات از ایـن محفظه‌ها که سرعت جریان شستشو در آنها بـه علـت کـاهش تدریجی سطح مقطع جریان از بالا به پائین افزایش می‌یابد، بـا راندمان بسیار بالاتری صورت پذیرد.

مواد و روش‌ها

برای مطالعه بر روی مبانی طراحی فیلترهای درشـت‌دانه افقی مستقیم (DHRF) و روشهای توسعه عملکرد آن از جمله بهبود شرایط شستشو و بازیافت مواد فیلتری اقدام به طراحی و ساخت تجهیزات آزمایشی به شرح زیر شده است.

- تجهیزات تولید آب خـام بـرای مشابه‌سـازی کیفیـت آب طراحی شده که شامل یک دستگاه مخزن ۱۰۰۰ لیـتری مجهز به وسایل کنترل سطح، تخلیه زیریـن، بـهمزن بـا دور ثابت و یک دستگاه مخزن ۱۸۰ لیتری بـرای تولیـد مخلوط آلاینده‌های غلیظ مجـهز بـه همـزن دور ثـابت، تخلیه زیرین و پمپ تزریق قابل کنترل بـا حداکـثر دبـی ۶۰ لیتر در ساعت است. این تجهیزات در ایـوان مشـرف به آزمایشگاه نصب گردیده‌اند به طـوری کـه سـطح آب خام در ارتفاع ۳/۲+ متر از کف آزمایشگاه ثابت می‌باشـد. حداکثر دبی تولیـدی ایـن تجـهیزات ۲۰ لیـتر در دقیقـه است.
- تجهیزات اختلاط سریع و تزریق مواد منعقدکننـده نـیز در ایوان ذکر شده، نصب گردیده و شامل یک مخزن به ابعاد ۲۵×۲۰×۲۰ سانتیمتر مجهز به همزن دور متغـیر و محـور به طول ۵۰ سانتیمتر و سه پره همزن که در ارتفاعـات ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتیمتری کف مخزن نصب شـده‌اند، می‌باشـد که قادر به تولید گرادیان سرعت حداکثر ۱۱۰۰ (بر ثانیـه) بوده و با زمان مـاند ۳۰ تـا ۱۲۰ ثانیـه بسـته بـه مـیزان جریان، تنظیم شده اند. حداکثر سطح آب در ایـن مخـزن ۳/۲+ متر از کف آزمایشگاه می‌باشد. دو دستگاه مخزن به حجم مفید ۱۰ لیتر مجهز به همزن دور ثابت نیز برای تزریق مواد منعقدکننده و سایر افزودنیهای مورد نیـاز بـا ارتفـاع آب ۲/۹۵+ تا ۳/۱+ متر از کف آزمایشگاه نصب گردیده‌اند. طرح تأسیسات نصب شده در ایوان بالا در شکل شماره (۴) نشـان داده شده است.

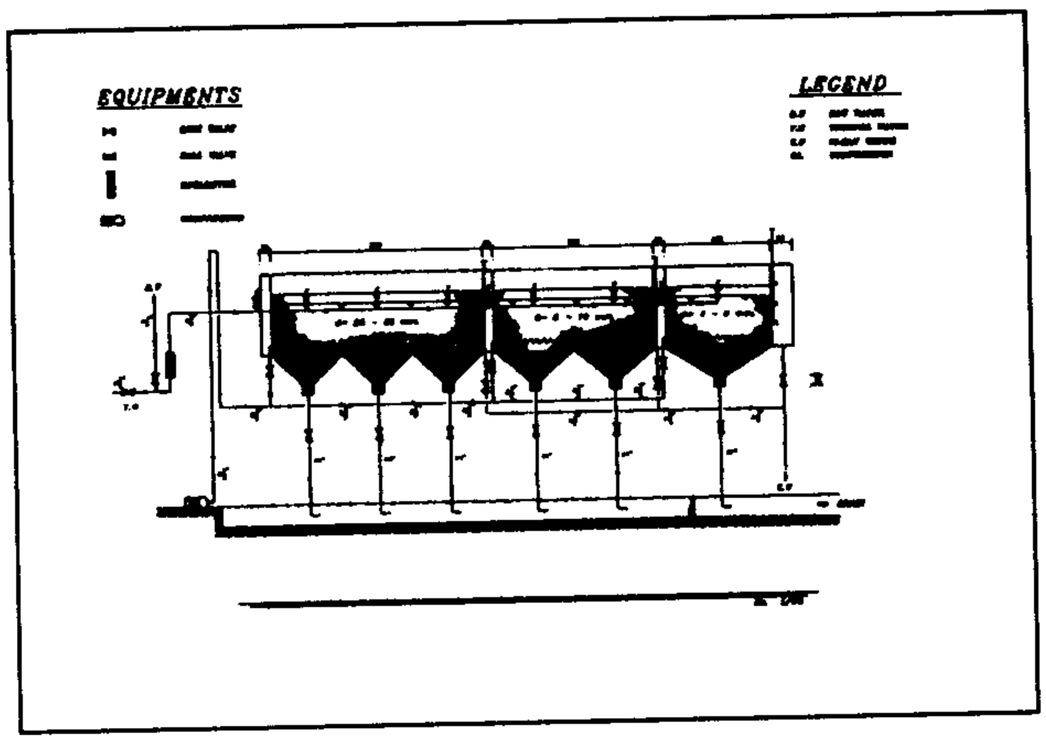


شکل شماره (۴): تأسیسات تولید آب خام مستقر در ایوان بالا

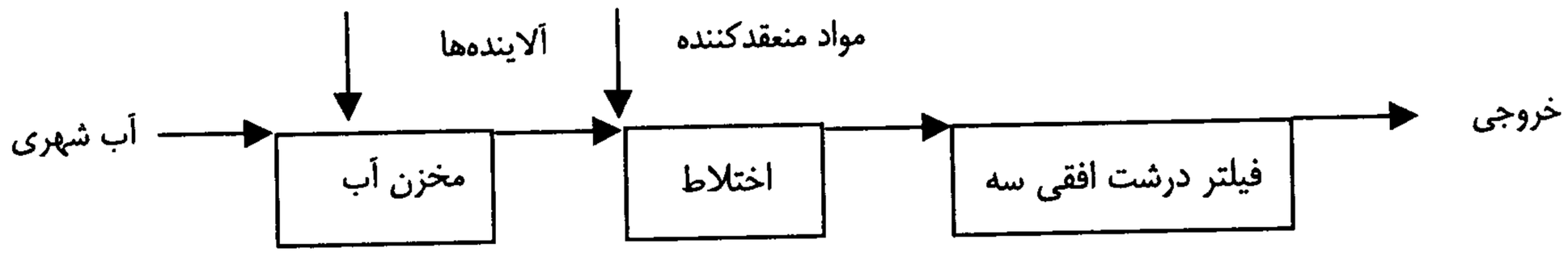
- تجـهیزات فیلـتر درشـت‌دانه شـامل یـک جعبـه بـه ابعـاد ۴/۷۵×۰/۴۰×۰/۷۰ متر می‌شود که دارای کف و دیواره پشـتی گالوانیزه و دیواره جلویی پلکسی می‌باشـد. ایـن جعبـه توسـط صفحات مشبک فلزی به سه محفظه به طولـهای ۱/۸، ۱/۵ و یک متری تقسیم شـده اسـت و در فواصـل محفظـه‌ها بـرای ایجـاد امکـان اسـتفاده مجـزا در آزمایشـهای مختلـف و نمونه‌برداری و قرائت ارتفاع آب محفظه‌های جداکننده به طول ۱۰ سانتیمتر تعبیه شده است. بخش ورودی فیلتر به طـول ۱۰ و بخش خروجی آن به طول ۱۵ سانتی‌متر می‌باشـد. سـرریز خروجی فیلتر مجهز به لبه متحرک است. کف فیلـتر جعبـه‌ای به شکل هرم معکوس ناقص (هاپر) به عنـوان بخـش تجمـع لجن و ازدیاد سرعت جریان شستشو تعبیه گردیـده اسـت. بـه طوریکه محفظه اول دارای ۳ هاپـر بـه طـول ۶۰ سـانتیمتر و ارتفاع ۲۵ سـانتیمتر و جعبـه خروجـی ۱۰×۱۰×۱۰ سـانتیمتر، محفظه دوم دارای ۲ هاپر به طول ۷۵ سانتیمتر و محفظه سوم دارای یک هاپر به طول ۱۰۰ سانتیمتر و ارتفاع ۲۵ سانتیمتر و

جعبه خروجی همانند محفظه اول می‌باشند. ایـن تجـهیزات همچنین شامل لوله‌های مستقل توزیع هـوا در ارتفـاع روی هاپرهای زیرین متصل بـه یـک دسـتگاه کمپرسـور اسـت. لولـه‌های ورودی و خروجـی و تخلیـه پسـاب شستشـو بـه گونه‌ای طراحی گردیده‌اند که انعطـاف‌پذیـری کـافی بـرای آزمایشات مختلـف، مجـزا و همزمـان در محفظـه‌ها وجـود داشته باشد. کف هـاپرهـای زیریـن ۱/۱۰+، محـل اتصـال لوله‌های خروج پساب ۱/۰۰+ وسطح خروجـی پسـاب از لولـه ۰/۰۰+ متر از کف آزمایشگاه می‌باشد.

طرح تجهیزات نصب شده در آزمایشگاه در شکل شـماره (۵) و فرایندهای تصفیه آزمایشی در شکل شماره (۶) نشان داده شده‌اند.



شکل شماره (۵): تأسیسات فیلتر درشت دانه افقی در آزمایشگاه مبنا



شکل شماره (۶): فرایندهای مورد استفاده در سیستم پایلوتی

- مواد مورد استفاده در تمام محفظه‌ها و هاپرهـا از مصـالح رودخانه‌ای تهیه شده و پس از شستشو و دانه‌بندی، تعیین وزن مخصوص و ضریب تخلخل مورد استفاده قرار گرفته است. قطر مواد فیلتری محفظه اول ۲۰ تا ۲۵ میلی‌متر بـه حجم ۰/۳۶ متر مکعـب و وزن ۵۲۰ کیلـوگرم و تخلخـل ۴۵/۵ درصد و مواد نگهدارنده این محفظه به قطـر ۳۰ تـا ۴۰ میلی‌متر با حجم ذخیره کـل ۳۴ لیـتر می‌باشـد. مـواد فیلتری محفظه دوم به قطر ۸ تـا ۱۳ میلی‌مـتر بـه حجـم ۰/۳ مـترمکعب، وزن ۴۳۰ کیلـوگرم و ضریـب تخلخـــل ۴۴/۳ درصد با مواد نگهدارنده به قطر ۲۰ تا ۲۵ میلی‌مـــتر مشـابه مـواد فیلـتری محفظـه اول اسـت. مـواد فیلـتری محفظه سوم به قطر ۴ تا ۶ میلیمتر، حجـم ۰/۲ مـترمکعب، وزن ۲۹۵ کیلوگرم و ضریـب تخلخـل ۴۳/۲ درصـد و مـواد نگهدارنده آن همانند محفظه دوم می‌باشد. حجم ذخیره مواد نگهدارنده محفظه دوم ۲۷ لیتر و محفظه سوم ۱۸ لیتر است.
- مواد مورد استفاده برای ایجاد کدورت، خاک رس می‌باشد که پس از عبور از الک شماره ۲۰۰ استاندارد ابتدا در یک ظـرف با آب مخلوط شده و پس از ته‌نشینی مـواد درشـت دانـه بـه داخل مخزن مخلوط غلیـظ ریختـه می‌شـود. قریـب بـه ۸۰ درصد مواد کدورت‌زا دارای قطر معادل یک تـا ۷۵ میکـرون، ۹/۵ درصد کوچکتر از یک میکرون و ۱۰/۴ درصد بزرگتـر از ۷۵ میکرون می‌باشد.

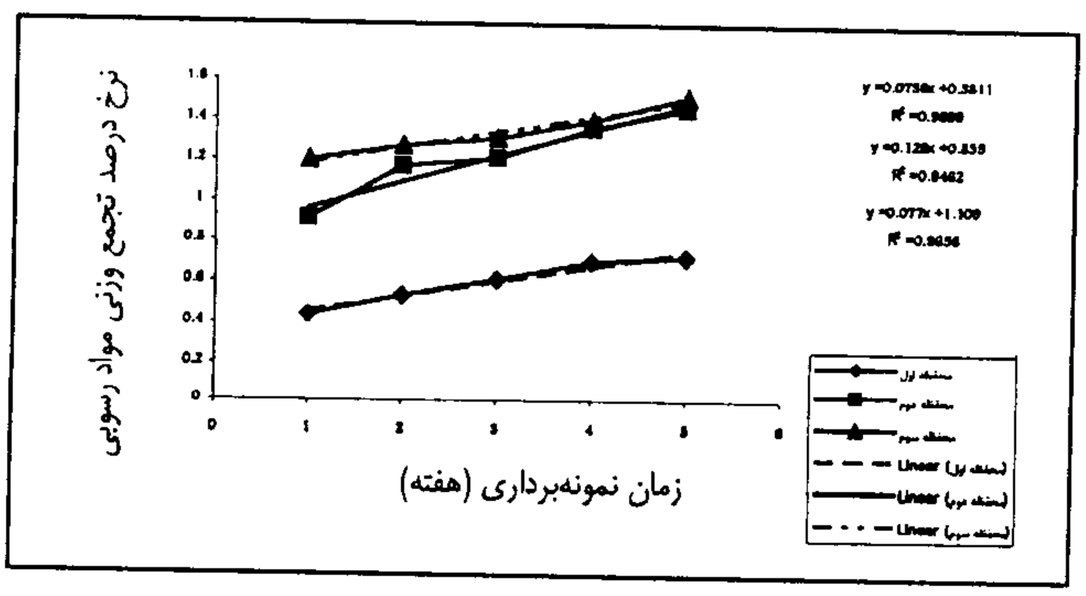
- در انجام مطالعات آزمایشی از کلرورفریک ۴۰ درصد که تا ۵ درصد و ۲/۵ درصد رقیق شده است، به عنوان ماده منعقدکننده استفاده شد و نرخ تزریق آن در آزمایشات مختلف بین یک تا هفت میلی‌گرم در لیتر (بر حسب آهن) متغیر بوده است.

آزمایشهای انجام شده و یافته‌ها

در آزمایشهای انجام شده تأثیر استقرار هاپرهای زیرین برای تجمع رسوبات، دوره شستشو، نرخ تزریق مواد منعقدکننده و تزریق هوا به همراه آب شستشو برای کمک به جداشدن مواد چسبیده به دانه‌های فیلتری مورد بررسی قرار گرفته است.

در آزمایشهای مرحله اول ابتدا با تغییر بار فیلتراسیون در مقادیر ۱/۴، ۲/۵، ۴/۵ و ۵/۶ متر در ساعت با کدورت ورودی ۳۰۰ تا ۳۵۰ واحد NTU و نرخ ثابت ۲ میلی‌گرم در لیتر کلرورفریک، توسعه افت فشار در طول فیلتر در دوره‌های شستشوی ۲۴ ساعته و هفت روزه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصله نشان می‌دهد که توسعه افت فشار در فیلتر به علت خروج پیوسته مواد رسوبی از بدنه اصلی فیلتر و تجمع آن در هاپرهای زیرین تابع خطی از زمان نبوده و درطول آزمایشها تغییرات جزئی داشته است که به هیچ وجه با مقادیر ذکر شده در منابع مرور شده قابل مقایسه نمی‌باشد. به طوری که افت فشار در بارهای مختلف فیلتراسیون به ترتیب ۱۰. ۱۷، ۲۵ و ۳۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شده و درطول آزمایشها تقریباً ثابت باقی مانده است.

تأثیر دوره شستشو در میزان چسبندگی مواد رسوبی به دانه‌های فیلتری و راندمان شستشوی مواد فیلتری در دوره‌های شستشوی ۲۴ ساعته و هفت روزه در مرحله دوم آزمایشها مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایشها نمونه‌برداری از مواد فیلتری در پایان هر هفت روز بهره‌برداری متوالی به مدت سه هفته با دوره‌های شستشوی ۲۴ ساعته، که با دو هفته با دوره شستشوی هفت روزه دنبال شد، صورت گرفت. نمونه‌های برداشت شده پس از خشک شدن در دمای ۸۰ درجه به مدت ۱۲ ساعت توزین و سپس به دقت شسته شده و مجدداً خشک و توزین گردیده و نرخ تجمع مواد رسوبی بر روی مواد فیلتری محاسبه شد. در تمام آزمایشها این مرحله کدورت ورودی ۲۰۰ تا ۲۵۰ NTU و نرخ تزریق آهن دو میلی‌گرم در لیتر ثابت نگه داشته شد. نتایج حاصل در شکل شماره (۷) نشان داده شده است و به گونه‌ای که مشاهده می‌گردد با تغییر دوره شستشو یک جهش محدود در نرخ تجمع جرمی مواد رسوبی اتفاق افتاده است ولی در هر دو حالت شیب منحنی تجمعی کاهنده بوده و این امر نشان‌دهنده پایداری مناسب مواد فیلتری در شرایط ساختمان کف فیلتر و دوره‌های شستشوی محدود به هفت روزه می‌باشد.

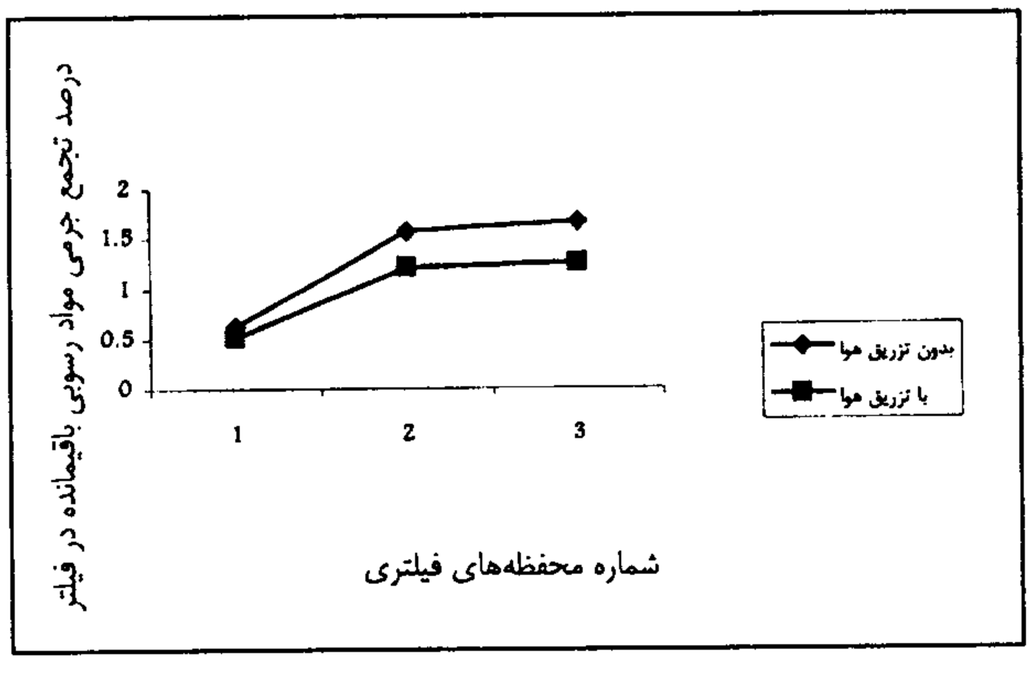


شکل شماره (۷): بررسی نرخ تجمع رسوبات باقی‌مانده بر روی مواد فیلتری محفظه‌های سه‌گانه پس از شستشوی روزانه (سه هفته اول) و هفتگی (دو هفته بعدی) در شرایط فیلتراسیون مستقیم با نرخ تزریق ۲ میلی‌گرم آهن درلیتر و نرخ جریان ۵/۶ متر در ساعت

در دوره سوم آزمایشها تأثیر تغییر نرخ تزریق مواد منعقدکننده در راندمان شستشو و حذف کدورت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشهای انجام شده با نرخ تزریق صفر تا هفت میلی‌گرم در لیتر آهن و با بارهای مختلف فیلتراسیون نشان می‌دهد که این عامل در شرایط تزریق و در دوره‌های شستشوی کمتر از هفت روز بر روی راندمان تصفیه تأثیر می‌گذارد ولی تأثیر معنی‌داری بر روند توسعه افت فشار و نرخ گرفتگی فیلتر با شرایط آزمایشی ندارد. در حالیکه در شرایط فیلتراسیون بدون تزریق مواد منعقدکننده به علت چسبندگی بیشتر مواد رسوبی دوره شستشو

نباید از یک هفته تجاوز نماید.

در مرحله چهارم از تزریق هوا برای کمک به کند شدن مواد رسوبی بر روی دانه‌های فیلتری استفاده شده است. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که تزریق هوای ممتد در طول فرایند شستشوی هیدرولیکی تأثیر چندانی بر راندمان شستشوندارد ولی تزریق پالسی هوا به تکرار در طول فرایند شستشو موجب۱۸ تا ۲۴ درصد کاهش جرمی مواد رسوبی روی دانه‌های فیلتری می‌گردد(شکل شماره ۸).



شکل شماره (۸): بررسی تأثیر تزریق هوا به صورت پالسی حین شستشوی هیدرولیکی برای فیلتراسیون مستقیم

در هر صورت با توجه به اثرات تعبیه سیستم هاپری زیرین و نیاز هوادهی به تجهیزات الکترومکانیکی و مصرف انرژی، استفاده از هوادهی برای فیلترها در شرایط آزمایشگاهی توصیه نمی‌شود.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

مجموعه نتایج حاصل از آزمایشهای آزمایشگاهی و مطالعات کتابخانه‌ای نشان می‌دهد که تزریق مقادیر محدود مواد منعقدکننده باعث افزایش قابل توجه راندمان شستشوی هیدرولیکی فیلترهای درشت افقی می‌شود. از سوی دیگر تعبیه هاپرهای زیرین که نقشی مشابه بخش تجمع لجن در حوضهای ته‌نشینی متعارف با جریان افقی دارد، از یک سو موجب خروج پیوسته مواد رسوبی از جان فیلتر و کاهش افت فشار در فیلتر می‌شود. به گونه‌ای که در طول دوره‌های یک هفته‌ای عملکرد فیلتراسیون به مدت ۱۶ هفته افت فشار محسوسی در فیلتر مشاهده نگردید. از سوی دیگر با تنگ‌تر شدن تدریجی سطح مقطع سرعت جریان شستشو از میان مجاری تخلخل و تنش برشی اعمال شده به رسوبات این بخش افزایش می‌یابد، که این امر باعث شستشوی قابل قبول دراین بخش می‌گردد.

اگر چه تزریق پالسی هوا در حین شستشوی هیدرولیکی باعث کاهش درصد وزنی رسوبات باقی‌مانده در فیلتر می‌گردد، لیکن با توجه به تأثیر عمده تغییرات انجام شده در ساختمان کف فیلتر و کاهش شیب منحنی تجمع رسوبات و همچنین مغایرت استفاده از آن با فلسفه وجودی فیلترهای درشت‌دانه افقی برای استفاده در مناطق محروم و کم جمعیت و به علت مصرف انرژی و هزینه‌های اضافی توصیه نمی‌گردد.

یادداشتها

1. Horizontal Roughing Filtration (HRF)
2. Direct Horizontal Roughing Filtration (DHRF)

منابع مورد استفاده

Ahsan, T. et al. 1995. Process Analysis and Operation of Direct Horizontal Roughing Filtration, TU. Delft.

Alaerts, T. G. and Ahsan, T. 1991. Direct Horizontal Roughing Filtration, An Improved Pretreatment Process for Highly Turbid Water. Karlsrohe Univ.

Graham, N. J. D. 1986. Orthokinetic flocculation in deep bed filtration. Water Resources. 2: 715-724.

Wegelin M. and Boller M. 1987. Particle removal by horizontal flow roughing filtration, J. of Water Supply Research and Technology Aqua, 80 to 90, RCWD/EAWAG.

Wegelin M. et al. 1996. Surface Water Treatment by Roughing Filters, A Design, Construction and Operation Manual, SANDEC Report No. 02/96.

Willson et al. 1980. Ortokinetic flocculation in deep bed granular water filtration, J. AWWA.