

The Effect of Substrate and Surface Load Change of Pressurized Sand Filters on Removal Improvement of Water Quality Parameters in Moallemkola-Sari Water Treatment Plant

SIMA DADASHZADEH¹, MOJTABA KHOSHRAVESH¹, MOHAMMAD GHOLAMI², MASOUD POURGHOLAM-AMIJI^{3*}

1. Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2. Rural Water and Wastewater Company of Khoozestan, Ahvaz, Iran.

3. Department of Irrigation & Reclamation Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: May. 4, 2019- Revised: Aug. 21, 2019- Accepted: Aug. 28, 2019)

ABSTRACT

The lack of water for humans and the environment is one of the serious problems of today's world. Drinking water in Sari city and its dependent villages are provided with groundwater. The poor quality of the outlet water after the pressurized sand filters in the Moallemkola water treatment plant led to investigate the effective factors on the efficiency of the above filters. The pressurized sand filters substrate was composed of three types of silica granulation. This research investigated the physical and chemical parameters of pressurized sand filters by choosing the type of granulation and the use of a single layer and double layer in the pressurized sand filters bed (silica, silica-anthracite, and leca-anthracite), as well as changing their surface load in seven steps. Samples were taken in all steps and from five points in the water treatment plant (inlet water, after aeration, at the beginning of the filter operation, at the end of filter function and after chlorination). The results showed that the best option is the simultaneous use of silica and anthracite in the filter bed, employing 1.5 times of surface load in the water treatment plant, along with the use of aeration and sedimentation units. The removal efficiency of turbidity, TDS, TSS, calcium, magnesium and iron parameters was obtained 85.41, 23.54, 56.94, 21.08, 32.28 and 89.47%, respectively. Therefore, the use of double layer of silica and anthracite will increase the quality of water, and it is recommended for areas with high turbidity.

Keywords: Turbidity, Anthracite, Calcium, Water Refinery, TDS and TSS.

* Corresponding Author's Email: Mpourgholam6@ut.ac.ir

اثر تغییر بستر و بار سطحی فیلترهای شنی تحت فشار بر بهبود حذف پارامترهای کیفی آب تصفیه‌خانه معلم کلا ساری

سیما داداش‌زاده^۱، مجتبی خوش‌روش^۲، محمد غلامی^۲، مسعود پورغلام آمیجی^{۳*}

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۲. اداره مطالعات و بررسی‌های فنی آبفا خوزستان، اهواز، ایران.

۳. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۱۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۵/۳۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۶/۶)

چکیده

کمبود آب برای انسان و محیط زیست از مشکلات جدی دنیای امروز به حساب می‌آید. آب آشامیدنی شهر ساری و روستاهای وابسته به آن از آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود. کیفیت نامطلوب آب خروجی بعد از فیلترهای شنی تحت فشار در تصفیه‌خانه معلم کلا ساری، باعث شد که در این پژوهش به بررسی عوامل موثر بر کارایی فیلترهای مذکور پرداخته شود. بستر فیلترهای شنی تحت فشار مزبور تنها از سه نوع دانه‌بندی سیلیس تشکیل شده است. در این پژوهش با انتخاب نوع دانه‌بندی و استفاده از بستر تک لایه و دولایه در بستر فیلترهای شنی تحت فشار (سیلیس، سیلیس-آنتراسیت و لیکا-آنتراسیت) همین‌طور با تغییر بار سطحی آن‌ها در هفت مرحله به بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مرتبط با فیلترهای شنی تحت فشار پرداخته شد. در تمامی مراحل در پنج نقطه از تصفیه‌خانه (نمونه‌گیری از آب خام، بعد از هوادهی، در ابتدای کارکرد فیلتر، در انتهای کارکرد فیلتر و بعد از کلرزنی) نمونه‌برداری صورت گرفت. نتایج نشان داد که بهترین گزینه، استفاده هم‌زمان از سیلیس و آنتراسیت در بستر فیلترها با ۱/۵ برابر بار سطحی به کار گرفته شده در تصفیه‌خانه به‌همراه استفاده از واحد هوادهی و ته‌نشینی است. راندمان حذف پارامترهای کدورت، TSS، TDS، کلسیم، منیزیم و آهن به ترتیب برابر ۸۵/۴۱٪، ۲۳/۵۴٪، ۵۶/۹۴٪، ۲۱/۰۸٪، ۳۲/۲۸٪ و ۸۹/۴۷٪ به دست آمد. بنابراین استفاده از بستر دولایه سیلیس و آنتراسیت باعث افزایش کیفیت آب خواهد شد و قابل توصیه برای مناطق دارای کدورت بالا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کدورت، آنتراسیت، کلسیم، تصفیه آب، TSS و TDS.

مقدمه

منظور مصارف مختلف آن خصوصاً برای آشامیدن و صنعتی از اهمیت زیادی برخوردار است (Kim et al., 2007). صافی‌های تحت فشار، به عنوان یکی از گزینه‌های فیلتراسیون، دارای مزایایی همچون سرعت بالای تصفیه، حجم اشغالی کمتر، هزینه پایین و افت حرارتی کم می‌باشند (Schweiker, 2001). بدنه این صافی‌ها معمولاً فلزی بوده و به صورت استوانه‌ای شکل و به دو صورت افقی و عمودی استفاده می‌شوند. مهم‌ترین تفاوت بین صافی‌های تحت فشار و ثقلی، فشار مورد نیاز برای راندن آب به میان لایه‌های صافی و گذر از آن و نیز تفاوت در نوع محفظه استفاده شده برای صافی‌ها است (Merganpour et al., 2015). Rezaei et al. (2014) کارایی تصفیه‌خانه آب شهر پارس آباد استان اردبیل را با اندازه‌گیری پارامترهای کل جامدات محلول، کدورت، فسفات و کلسیم طبق روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب ارزیابی نمودند. حداکثر راندمان حذف

منابع آبی مورد استفاده انسان، آب‌های سطحی و زیرزمینی هستند. آهن در آب‌های طبیعی بیشتر به صورت محلول و ترکیبات بی‌کربنات آهن، هیدرات آهن (دو ظرفیتی) و سولفات فرو دیده می‌شود (Asghari et al., 2018). بنابراین آب مصرفی برای شرب نیاز به تصفیه دارد. فرایندهایی که برای تصفیه آب مورد استفاده قرار می‌گیرند، بستگی به کیفیت منبع تامین آب دارند (Tajbakhshian et al., 2018).

استفاده از آب نیازمند تعیین ویژگی‌های شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی آن است. وجود برخی از املاح در آب جهت بهبود طعم، گوارایی و اثرات بهداشتی بر انسان ضروری است. از طرف دیگر مقادیر بیش از حد این مواد در آب می‌تواند اثرات بهداشتی نامطلوبی را بر انسان یا محیط زیست ایجاد نماید. بنابراین کاهش مواد مضر در آب‌های ورودی به تصفیه‌خانه آب به

(2014) نیز کارایی صافی یک لایه با بستر ماسه و صافی دولایه با بسترهای لیکا و آنتراسیت را در حذف پارامتر کدورت در شرایط مختلف بهره‌برداری بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان حذف کدورت توسط صافی یک لایه (ماسه)، صافی دو لایه (آنتراسیت و ماسه) و صافی دو لایه (لیکا و ماسه) به ترتیب ۶۹، ۸۰ و ۷۴ درصد بود. Ghahremani *et al.* (2012) به بررسی غلظت‌های آهن و منگنز در منابع آب شرب روستاهای شهرستان ساری پرداختند. آن‌ها از آب خام ورودی و خروجی تصفیه‌خانه‌ها و شیرهای آب مصرفی شبکه توزیع شهری طی شش مرحله نمونه‌برداری کردند. یافته‌ها نشان داد که غلظت آهن در ۱۰ مجتمع آبرسانی و مقادیر منگنز در ۱۴ مجتمع بیش از مقادیر استاندارد بود. بیشترین و کمترین غلظت آهن مربوط به مجتمع‌های آبرسانی ملک آباد و گرجی‌کلا (۱/۶۹ - ۰/۰۱) بود. همچنین بیشترین و کمترین غلظت منگنز به ترتیب در مجتمع‌های آبرسانی اسلام آباد و آبکسر (۰/۳۲ و ۰/۰۰۹) مشاهده شد که لزوم تصفیه این نوع آب‌ها برای مصارف شرب را نشان می‌دهد. آن‌ها نشان دادند در جاهایی که غلظت آهن بالا بود، غلظت منگنز نیز به همین شکل بود. به دلیل اینکه مخازن و لوله‌های آهنی تا حدودی باعث افزایش غلظت این پارامترها شدند و بایستی از روش هوادهی برای حذف آهن و منگنز استفاده شود.

در حال حاضر با توجه به وضعیت تصفیه‌خانه معلم کلا ساری علی‌رغم عملیات تصفیه اولیه، فیلترهای شنی تحت فشار به سرعت و در زمان کوتاهی دچار افت فشار می‌شوند و احتیاج به شستشو دارند. این پژوهش با تغییر در بستر فیلترهای شنی تحت فشار به بررسی عوامل موثر بر کارایی فیلترهای شنی تحت فشار جهت بالا بردن راندمان پارامترهای فیزیکی و شیمیایی به خصوص کاهش آهن محلول در آب و کدورت آب آشامیدنی و متعادل کردن سرعت فیلتراسیون می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

مشخصات تصفیه‌خانه

این پژوهش در تصفیه‌خانه آب آشامیدنی معلم کلا ساری انجام شد. چاهی به عمق ۱۰۰ متر در تصفیه‌خانه حفاری شده است که آب‌گیری از آن انجام می‌شود. آب آرسالی از ایستگاه پمپاژ، به طور مستقیم وارد مخزنی به حجم ۵۰۰ مترمکعب می‌شود. در این مخزن ذرات و مواد معلق به صورت ثقیل ته‌نشین شده و سپس کلر موردنیاز تزریق و مراحل منعقدسازی انجام می‌شود. در تصفیه‌خانه‌ی آب آشامیدنی از کلرزن‌های گازی استفاده می‌شود. آب پس از کلرزنی از فیلترهای تحت فشار عبور می‌کند و سپس زلال‌سازی شده و به مخزن آب پاک وارد می‌شود.

در طول هفت سال تصفیه‌خانه برای کدورت، کل جامدات محلول، فسفات و کلسیم به ترتیب برابر ۹۹/۸، ۶/۱، ۹۲/۶۷ و ۲۸/۴۵٪ به دست آمد. نتایج نشان داد که تصفیه‌خانه مذکور با داشتن واحد صافی شنی تند قادر به حذف کدورت با راندمان حذف بالای ۸۵٪ با حداکثر میزان ورودی در حدود ۷۰۰ NTU بوده اما تقریباً تاثیری در حذف کل جامدات محلول و کلسیم نداشته و تفاوت معناداری از نظر آماری بین نمونه‌های ورودی و خروجی مشاهده نشد. Memarzadeh *et al.* (2010) حذف کدورت را با استفاده از کانی گارنت در صافی سه لایه‌ای و دولایه‌ای مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که کارایی حذف کدورت به ترتیب برابر ۹۲/۴ و ۸۸/۸ درصد بود که نشان از برتری صافی سه لایه بود.

Shadman and Ahmadi (2016) عملکرد فیلترهای شنی تحت فشار با بستر ذرات شن از جنس کوارتز را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها بیان کردند که زمان هوادهی ۹ دقیقه بیشترین تاثیر را بر خروج مواد معلق بستر داشت. همچنین بررسی نمودارهای کدورت نشان داد که زمان باز شدن فیلتر نسبت به زمان هوادهی، تاثیر معنی‌داری بر حذف کدورت نداشت. Baraee *et al.* (2016) کارایی صافی‌های دولایه‌ای در بهبود آب در تصفیه‌خانه‌ی شهر آبادان را بررسی نمودند. این پژوهش با هدف بررسی عملکرد استفاده از GAC و آنتراسیت در صافی دولایه‌ای در حذف پارامترهای کدورت، آهن، منگنز، نیترات و آمونیوم در واحد فیلتراسیون انجام شد. نمونه‌ها در فصل تابستان از ورودی و خروجی پایلوت‌ها و واحد فیلتراسیون تصفیه‌خانه جمع‌آوری شدند و پارامترهای مذکور در هر نمونه طی سه بارگذاری کم، متوسط و زیاد مورد سنجش قرار گرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان حذف پارامترهای کدورت، آهن، منگنز، نیترات و آمونیوم به ترتیب برابر ۸۹/۷۹٪، ۵۰/۴۳٪، ۱۷/۶۷٪، ۳۵/۴۲٪ و ۳۳/۴۰٪ درصد بود. همچنین بهترین عملکرد فیلتر GAC-sand طی ۲۰ دقیقه بار سطحی ۳۵ لیتر در روز بود. Kazemi and Osloub (2015) با استفاده از صافی شنی تحت فشار، میزان حذف عوامل مزاحم مانند کدورت، آهن و منگنز را از آب آشامیدنی روستای لشکرک تنکابن در دو فصل تابستان و پاییز سال ۹۵ بررسی کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که میزان حذف آهن، منگنز و کدورت در فصل تابستان به ترتیب ۶۹، ۱۹ و ۳۳ درصد و در فصل پاییز ۶۲، ۲۰ و ۴۳ درصد با استفاده از صافی شنی تحت فشار بود. آن‌ها پیشنهاد کردند که با دقت در کلرزنی، تداوم در شست‌وشوی معکوس صافی‌ها و استفاده از صافی با بستر کربنی به عنوان روش تکمیلی بعد از صافی شنی تحت فشار، می‌تواند میزان بهره‌وری از سیستم و درصد حذف آهن، منگنز و کدورت از آب به میزان بالاتری افزایش یابد. Delbazi *et al.*

نحوه‌ی دانه‌بندی و ارتفاع آن‌ها از قسمت بالای فیلتر به پایین فیلتر به صورت جدول (۱) می‌باشد.

جدول ۱- دانه‌بندی و ضخامت لایه سیلیس مورد استفاده در مخزن تصفیه

ضخامت (cm)	قطر متوسط دانه‌های فیلتر (mm)
۳۰	۳-۱
۲۰	۵-۳
۳۰	۸-۵
۳	۱۲-۸

تصفیه‌خانه‌ی آب آشامیدنی معلم کلا دارای ۳ دستگاه فیلتر شنی از نوع تحت فشار می‌باشد. این فیلترها شامل یک مخزن فلزی استوانه‌ای شکل عمودی به قطر ۳ متر و ارتفاع ۱/۵ متر می‌باشند. این مخزن در قسمت بالا دارای یک لوله ورودی جهت ورود آب زلال به فیلتر و یک لوله‌ی خروجی در قسمت پایین جهت خروج آب فیلتر شده و شستشوی معکوس می‌باشد. درون مخزن نیز از سه بخش تشکیل شده است. قسمتی که آب جهت صافی‌سازی وارد می‌شود، قسمتی که مصالح بستر قرار دارند و قسمتی که آب صافی‌سازی شده جهت خروج ذخیره می‌شود (شکل ۱). بستر این‌گونه فیلترها از نوع سیلیس می‌باشد که



شکل ۱- شماتیک مخازن و مراحل تصفیه

۱/۵ متر شد و آب در طبقه آخر با کیفی از کف طبقه آخر به انتهای مخزن اول وارد شد تا آب در حین پر شدن منبع اول فرصت ته‌نشینی هم پیدا کند. سپس آب از بالای منبع اول وارد منبع دومی شد که تقریباً مواد معلق در آن بسیار کم می‌باشد. آب بعد از مخزن دوم به کمک پمپ با دبی معادل ۳۶ و ۵۴ مترمکعب بر ساعت وارد فیلترها شد.

بسترهای مورد استفاده

بسترهای مورد استفاده شامل سیلیس، سیلیس-لیکا و سیلیس-آنتراسیت بود. در مدل فیلتر شنی تحت فشار از سه دانه‌بندی سیلیس با مشخصات جدول (۲) استفاده شد.

جدول ۲- دانه‌بندی سیلیس استفاده شده در مدل فیلترهای شنی تحت فشار

دانه‌بندی (mm)	اندازه موثر (mm)	ضریب یکنواختی	ارتفاع (cm)
۰/۱-۵/۲	۰/۸۴	۱/۲	۳۰
۸-۵	۶/۷۳	۱/۳۵	۲۵
۱۲-۸	۸	۱/۳	۳۰

بخشی از فیلتر شنی تحت فشار به‌عنوان مدل در نظر گرفته شد. عملیات ساخت دو دستگاه نوع فیلتر شنی تحت فشار جهت تغییر در دانه‌بندی و استفاده از دانه‌های آنتراسیت، سیلیس و لیکا در این فیلترها در تصفیه‌خانه انجام شد. جهت ساخت هر یک از این مدل‌ها از لوله گالوانیزه شش اینچ به ارتفاع دو متر استفاده شد و جهت ورود و خروج آب به این مدل، از لوله ۲۰ میلی‌متری استفاده شد. از آب ورودی به فیلترهای تحت فشار تصفیه‌خانه نیز دو انشعاب جهت ورود به دو مدل فیلتر شنی تحت فشار در نظر گرفته شد. مصالح بستر فیلتر روی یک سه پایه فلزی که نگهدارنده صفحه بستر است و درون لوله شش اینچ قرار دارد نگه داشته شدند. صفحه بستر مدل به جای نازل از سوراخ‌های متعدد برخوردار می‌باشد و روی آن توسط نوعی اسفنج پوشانده شده است که مصالح بستر روی آن قرار می‌گیرند.

برای تهیه مخزن آب بعد از مرحله هواده‌ی و مخزن ته‌نشینی، دو منبع آب و بشکه با حجم موردنظر تهیه شد. سپس برای بخش هواده‌ی که در تصفیه‌خانه غیرفعال شده بود، شروع به ساخت بخش هواده‌ی به صورت آبخاری با چهار طبقه و ارتفاع

انجام شد. در پنج نقطه نمونه‌گیری انجام و آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی، و بیولوژیکی بر پنج نمونه صورت گرفت. در این مرحله فیلترها بعد از ۴۶ ساعت کارکرد دچار گرفتگی شدند و فشارسنج عدد ۰/۵ بار را نشان داد. میزان کلر مصرف شده ۰/۲۰ (کیلوگرم بر ساعت) بدست آمد. میزان کلر مصرف شده ۰/۴۰ (کیلوگرم بر ساعت) بدست آمد.

مرحله سوم

در این مرحله هم همانند مرحله یک و دو شرایط بستر تصفیه‌خانه به‌همراه بخش هوادهی ولی با افزایش بار سطحی فیلتراسیون، ۱/۵ برابر بار سطحی تصفیه‌خانه و در پنج نقطه نمونه‌برداری صورت گرفت که با نمادهای اختصاری A، B، C، D، و E مشخص شده‌اند. سپس آزمایش‌های لازم بر روی نمونه‌ها انجام شد. در این مرحله فیلترها بعد از ۴۲ ساعت کارکرد دچار گرفتگی شدند و فشارسنج عدد ۰/۵ بار را نشان داد. میزان کلر مصرف شده ۰/۴۳ (کیلوگرم بر ساعت) بدست آمد.

مرحله چهارم

در مرحله چهارم تغییراتی در ارتفاع لایه‌های مصالح بستر مدل فیلتر شنی تحت فشار صورت گرفت و ارتفاع کلی لایه‌ها و همین‌طور لایه‌های ریزدانه در مدل فیلتر شنی تحت فشار، بیشتر در نظر گرفته شد. تغییرات اعمال شده در لایه‌های بستر به‌صورت زیر می‌باشد:

آنتراسیت با دانه‌بندی ۱/۲-۰/۵ میلی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر.

لیکا با دانه‌بندی ۴-۲ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر.

لیکا با دانه‌بندی ۶-۴ میلی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر.

لیکا با دانه‌بندی ۸-۶ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر.

دانه‌بندی‌های درشت‌تر در قسمت زیرین و دانه‌های ریزتر در قسمت فوقانی بستر فیلتر شنی تحت فشار استفاده شد. بار سطحی نیز معادل $36 \text{ m}^3/\text{hr}$ در نظر گرفته شد و بعد از اعمال تغییرات در دانه‌بندی، از مکان‌های A، B، C، D، و E نمونه‌برداری صورت گرفت. سپس آزمایش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بر روی ۵ نمونه صورت گرفت و دبی آب ورودی به فیلتر و خروجی از فیلتر به‌همراه میزان کلر مصرف شده نیز کنترل شد. در این مرحله فیلترها بعد از ۵۶ ساعت کارکرد دچار گرفتگی شدند و فشارسنج عدد ۰/۵ بار را نشان داد. میزان کلر مصرف شده ۰/۲۵ (کیلوگرم بر ساعت) بدست آمد.

آنتراسیت مورد استفاده در این پژوهش دارای دانه‌بندی ۵/۲-۰/۱ میلی‌متر و اندازه موثر ۳/۳۶ و ضریب یکنواختی ۱/۲۰ با ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر بود. جدول (۳) دانه‌بندی لیکا مورد استفاده در مدل فیلترهای شنی تحت فشار را نشان می‌دهد.

جدول ۳- دانه‌بندی لیکا مورد استفاده در مدل فیلترهای شنی تحت فشار

دانه‌بندی (mm)	اندازه موثر (mm)	ضریب یکنواختی	ارتفاع (cm)
۵-۰/۲	۰/۶	۱/۵۵	۳۰
۴-۶	۵/۳۰	۱/۳۵	۲۵
۶-۸	۶/۳۵	۱/۳۵	۳۰

عوامل مورد بررسی شامل مکان نمونه‌گیری، مصالح بستر فیلترهای شنی و بار بستر بود. مکان نمونه‌گیری شامل آب خروجی از فیلتر در ابتدای کارکرد فیلتر (C)، آب خروجی از فیلتر در انتهای کارکرد فیلتر (D) و آب خروجی در انتهای کارکرد فیلتر بعد گندزدایی (E) بودند. مصالح بستر مورد استفاده شامل سیلیس، سیلیس-لیکا، سیلیس-آنتراسیت بود. بار بستر شامل ۳۶ و ۵۴ مترمکعب بر ساعت بود.

طراحی آزمایش و روش کار

در هفت مرحله زیر، مقادیر جامدات معلق (TSS)، کدورت، کل جامدات محلول (TDS)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg) و آهن (Fe) اندازه‌گیری شدند.

مرحله اول

در این مرحله بدون اعمال هیچ‌گونه تغییری در همان شرایط کنونی تصفیه‌خانه با بستر سیلیس، نمونه‌برداری صورت گرفت. از آب ورودی به تصفیه‌خانه (A)، آب ورودی به فیلتر بعد هوادهی (B)، آب خروجی در ابتدا کارکرد فیلتر (C) و آب خروجی در انتهای کارکرد فیلتر (D)، کارکرد فیلتر تا زمان شستشوی فیلتر می‌باشد، آب خروجی فیلتر بعد از کلرزنی (E) که به ترتیب با نمادهای اختصاری A، B، C، D و E مشخص شده‌اند. در این مرحله بار سطحی فیلترها معادل $36 \text{ m}^3/\text{hr}$ اعمال شد. سپس آزمایش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بر روی ۵ نمونه صورت گرفت. در این مرحله فیلترها بعد از ۴۰ ساعت کارکرد دچار گرفتگی شدند و فشارسنج عدد ۰/۵ بار را نشان داد. میزان کلر مصرف شده ۰/۵ (کیلوگرم بر ساعت) بدست آمد.

مرحله دوم

در این مرحله همانند مرحله اول ولی با اضافه شدن بخش هوادهی

مرحله پنجم

در این مرحله دانه‌بندی بستر مدل فیلتر شنی تحت فشار همانند مرحله ۴ در نظر گرفته شد ولی بار سطحی به میزان ۱/۵ برابر بار سطحی مرحله قبل (معادل ۳۶ مترمکعب بر ساعت در فیلترهای موجود در تصفیه‌خانه) در نظر گرفته شد. بعد از اعمال تغییرات در دانه‌بندی و بار سطحی، نمونه‌برداری‌ها صورت گرفت. سپس آزمایش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بر روی ۵ نمونه صورت گرفت و دبی آب ورودی و خروجی از فیلتر به‌همراه میزان کلر مصرف شده نیز کنترل شد. در این مرحله فیلترها بعد از ۴۷ ساعت کارکرد دچار گرفتگی شدند و فشارسنج عدد ۰/۵ بار را نشان داد. میزان کلر مصرف شده ۰/۲۵ (کیلوگرم بر ساعت) بدست آمد.

مرحله ششم

در این مرحله تغییراتی در ارتفاع لایه‌های مصالح بستر مدل فیلتر شنی تحت فشار (استفاده از سیلیس و آنتراسیت) صورت گرفت و ارتفاع کلی لایه‌ها و همین‌طور لایه‌های ریز دانه در مدل فیلتر شنی تحت فشار، بیشتر در نظر گرفته شد. تغییرات اعمال شده در لایه‌های بستر به‌صورت زیر می‌باشد:

آنتراسیت با دانه‌بندی ۱/۲-۰/۵ میلی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر.

سیلیس با دانه‌بندی ۴-۲ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر.
سیلیس با دانه‌بندی ۸-۵ میلی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر.
سیلیس با دانه‌بندی ۱۲-۸ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر.
دانه‌بندی‌های درشت‌تر در قسمت زیرین و دانه‌های ریزتر در قسمت فوقانی بستر فیلتر شنی تحت فشار استفاده شد. بار سطحی $36 \text{ m}^3/\text{hr}$ در فیلترهای موجود در تصفیه‌خانه اعمال شد. بعد از اعمال تغییرات در دانه‌بندی، از مکان‌های مذکور نمونه‌برداری صورت گرفت. سپس آزمایش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بر روی ۵ نمونه، صورت گرفت و دبی آب ورودی و خروجی از فیلتر به‌همراه میزان کلر مصرف شده نیز کنترل شد. در این مرحله فیلترها بعد از ۵۵ ساعت کارکرد دچار گرفتگی شدند و فشارسنج عدد ۰/۵ بار را نشان داد. میزان کلر مصرف شده ۰/۲۰ (کیلوگرم بر ساعت) بدست آمد.

مرحله هفتم

مرحله هفتم شامل تغییر در نوع و ارتفاع مصالح بستر (استفاده از سیلیس و آنتراسیت) و افزایش بار سطحی بود. در این مرحله تغییراتی در ارتفاع لایه‌های مصالح بستر مدل فیلتر شنی تحت فشار صورت گرفت و ارتفاع کلی لایه‌ها و همین‌طور لایه‌های ریز دانه در مدل فیلتر شنی تحت فشار، بیشتر در نظر گرفته شد.

تغییرات اعمال شده در لایه‌های بستر به‌صورت زیر می‌باشد:

آنتراسیت با دانه‌بندی ۱/۲-۰/۵ میلی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر.

سیلیس با دانه‌بندی ۴-۲ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر.
سیلیس با دانه‌بندی ۸-۵ میلی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر.
سیلیس با دانه‌بندی ۱۲-۸ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر.
دانه‌بندی‌های درشت‌تر در قسمت زیرین و دانه‌های ریزتر در قسمت فوقانی بستر فیلتر شنی تحت فشار استفاده شد. بار سطحی نیز ۱/۵ برابر در فیلترهای موجود در تصفیه‌خانه اعمال شد. بعد از اعمال تغییرات در دانه‌بندی، از مکان‌های A، B، C، D و E نمونه‌برداری صورت گرفت. سپس آزمایش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بر روی ۵ نمونه، صورت گرفت و دبی آب ورودی و خروجی از فیلتر به‌همراه میزان کلر مصرف شده نیز کنترل شد. در این مرحله فیلترها بعد از ۴۸ ساعت کارکرد دچار گرفتگی شدند و فشارسنج عدد ۰/۵ بار را نشان داد و میزان کلر مصرف شده ۰/۲۰ (کیلوگرم بر ساعت) بدست آمد (Fourouzesh et al., 2018).

طرح آزمایشی

آزمایش‌ها در قالب آزمایش‌های فاکتوریل و طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه آماری داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. در پایان نتایج به‌دست آمده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

جدول (۴) نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف مکان نمونه‌گیری، مصالح بستر و بار بستر را بر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب نشان می‌دهد. طبق جدول (۴) اثر مکان نمونه‌گیری بر TSS، TDS، Ca و Fe در سطح احتمال یک درصد و بر پارامتر Tu در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد ولی اثر معنی‌داری بر پارامتر منیزیم نداشت. اثر مصالح بستر نیز بر تمامی پارامترها (به غیر از منیزیم) در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد. نتایج این پژوهش با نتایج Sohrabi (2012) و Ashraf et al. (2018) همخوانی دارد. اثر متقابل مکان نمونه‌گیری و مصالح بستر بر پارامترهای TSS، TDS و Fe معنی‌دار شد ولی بر دیگر پارامترها معنی‌دار نشد (جدول ۴). اثر بار بستر بر هیچکدام از پارامترهای مورد بررسی معنی‌دار نشد. اثر متقابل مکان نمونه‌گیری و بار بستر بر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب معنی‌دار نشد. همچنین اثر متقابل مصالح بستر و بار بستر بر هیچکدام از پارامترهای مورد بررسی معنی‌دار نشد. اثر متقابل

سیلیس-آنتراسیت نسبت به بستر سیلیس نزدیک به ۷۰ درصد بود. Flores-Alsina *et al.* (2019) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. آن‌ها از طریق بارگذاری در تصفیه‌خانه باعث کاهش مقدار TSS شدند. Eisazadeh and Mahdavi (2004) در بررسی تاثیر کربن فعال بر کیفیت آب شرب بندرعباس با استفاده از بستر سیلیس-آنتراسیت نشان دادند که پارامترهای بو، طعم و کدورت به ترتیب ۱۰۰، ۱۰۰ و ۹۲ درصد کاهش یافتند. Alipour & Rezaei (2008) با کاربرد بستر سیلیس-آنتراسیت نشان دادند که درصد حذف مواد آلی ۷۹/۳۶ بود و در نهایت توانستند بو، طعم و کدورت آب را کاهش دهند.

جدول (۵) نشان می‌دهد که مقادیر پارامترهای کدورت و آهن برای بار بستر ۵۴ مترمکعب بر ساعت کمتر از بار بستر ۳۶ مترمکعب بر ساعت بود ولی این اختلاف معنی‌دار نبود.

مکان نمونه‌گیری، مصالح بستر و بار بستر نیز بر پارامترها معنی‌دار نشد.

نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد که بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در مکان‌های نمونه‌گیری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد وجود دارد (جدول ۵). به طوری که آب خروجی در انتهای کارکرد فیلتر بعد گندزدایی کمترین مقادیر را نسبت به مراحل آب خروجی از فیلتر در ابتدای کارکرد فیلتر و آب خروجی از فیلتر در انتهای کارکرد داشت. همچنین پارامترهای کدورت، سختی، کلسیم و آهن تیمارهای مختلف مصالح بستر اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشتند (جدول ۵). به طوری که بستر سیلیس-آنتراسیت بیشترین تاثیر را در میزان کاهش تمامی پارامترها به‌ویژه کاهش مقادیر کدورت و آهن داشت. بستر سیلیس کمترین تاثیر را در کاهش این پارامترها داشت. کاهش مقادیر کدورت و آهن در بستر

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر مکان نمونه‌گیری، مصالح بستر و بار بستر بر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب

میانگین مربعات						درجه آزادی	منبع تغییرات
Fe	Mg	Ca	TDS	Tu	TSS	(df)	
۰/۷۵**	۴۰۵/۶۳ ^{ns}	۲۳/۴۸**	۶۸۶/۱۹**	۱۰/۱۴*	۵۷۶/۰۸**	۲	مکان نمونه‌گیری
۴/۵۸**	۵۳۹/۲۲ ^{ns}	۱۷۴۴/۰۸**	۲۷۸۴/۱۲**	۴۲/۳۶**	۲۶۵۹/۳۲**	۲	مصالح بستر
۰/۹۸*	۴۸۵/۰۵ ^{ns}	۱/۰۳ ^{ns}	۲۵۴/۱۹**	۰/۴۲ ^{ns}	۹۷/۰۳**	۴	مکان نمونه‌گیری × مصالح بستر
۰/۰۹ ^{ns}	۴۳۹/۰۷ ^{ns}	۴/۲۱ ^{ns}	۱۳۶/۷۷ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۳۲/۷۵ ^{ns}	۱	بار بستر
۰/۰۰۳ ^{ns}	۴۵۱/۰۹ ^{ns}	۲/۱۶ ^{ns}	۴/۵۴ ^{ns}	۰/۵۹ ^{ns}	۱۰/۲۲ ^{ns}	۲	مکان نمونه‌گیری × بار بستر
۰/۰۰۸ ^{ns}	۵۰۵/۴۶ ^{ns}	۰/۲۳۹ ^{ns}	۱۰۰/۰۱ ^{ns}	۰/۷۸ ^{ns}	۹/۳۳ ^{ns}	۲	مصالح بستر × بار بستر
۰/۰۰۵ ^{ns}	۲۰۴/۰۸ ^{ns}	۰/۱۴۲ ^{ns}	۴۴/۱۵ ^{ns}	۰/۱۹ ^{ns}	۴/۰۲ ^{ns}	۴	مکان نمونه‌گیری × مصالح بستر × بار بستر
۰/۰۷	۶۱/۱۶	۳/۷۵	۱۱۲/۱۵	۰/۴۰	۳۶/۲۲	۳۶	خطا

**، * و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر مکان نمونه‌گیری، مصالح بستر و بار بستر بر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب

Fe	Mg	Ca	TDS	Tu	TSS	سطح	فاکتور
۰/۳۷ ^a	۲۲/۱۴ ^a	۸۲/۱۹ ^a	۴۷۱/۴۴ ^a	۴/۳۶ ^a	۱۴۲/۱۶ ^a	ابتدای کارکرد فیلتر	مکان نمونه-گیری
۰/۳۵ ^b	۲۶/۴۲ ^a	۸۰/۵۵ ^b	۴۵۷/۰۶ ^b	۲/۷۴ ^{ab}	۱۳۴/۲۳ ^b	انتهای کارکرد فیلتر	
۰/۳۳ ^c	۲۲/۰۳ ^a	۷۸/۶۰ ^c	۴۴۹/۷۴ ^c	۱/۳۹ ^b	۱۳۰/۴۹ ^c	انتهای کارکرد فیلتر بعد گندزدایی	
۰/۵۳ ^a	۲۴/۶۶ ^a	۹۲/۰۱ ^a	۵۰۳/۲۱ ^a	۴/۵۶ ^a	۱۷۵/۰۸ ^a	سیلیس	مصالح بستر
۰/۳۴ ^b	۲۴/۰۴ ^a	۷۹/۳۷ ^b	۴۵۴/۴۹ ^b	۲/۴۶ ^b	۱۳۶/۱۵ ^b	لیکا و آنتراسیت	
۰/۱۶ ^c	۲۲/۱۴ ^a	۷۰/۱۸ ^c	۴۲۱/۵۴ ^c	۱/۳۹ ^c	۹۵/۰۹ ^c	سیلیس و آنتراسیت	
۰/۳۷ ^a	۲۳/۶۴ ^a	۸۱/۰۵ ^a	۴۶۱/۴۶ ^a	۲/۳۷ ^a	۱۳۷/۰۲ ^a	۳۶ مترمکعب بر ساعت	بار بستر
۰/۳۵ ^a	۲۳/۱۸ ^a	۷۹/۱۸ ^a	۴۵۷/۹۱ ^a	۲/۳۳ ^a	۱۳۳/۲۵ ^a	۵۴ مترمکعب بر ساعت	

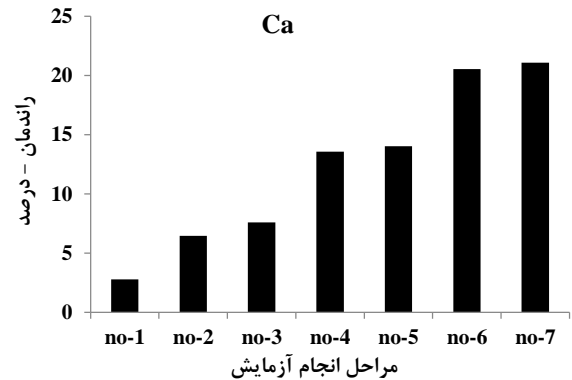
میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیست.

خروجی در ابتدای کارکرد فیلتر (C)، آب خروجی در انتهای کارکرد فیلتر (D) و آب خروجی فیلتر بعد از کلر زنی (E) بودند. با توجه به شکل (۲) مشخص است که کمترین مقدار کلسیم

شکل (۲) روند تغییرات مقادیر کلسیم در مراحل مختلف آزمایش را نشان می‌دهد. مکان‌های نمونه‌گیری شامل آب ورودی به تصفیه‌خانه (A)، آب ورودی به فیلتر بعد از هوادهی (B)، آب

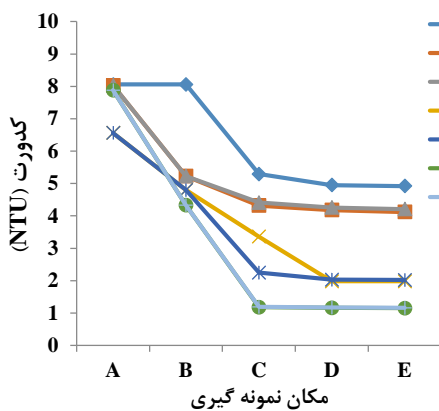
که مرحله ششم و هفتم با ترکیب بستر سیلیس-آنتراسیت تاثیر بیشتری در حذف کدورت و منیزیم نسبت به دو بستر دیگر مورد استفاده در آزمایش داشت. به طوری که بیشترین راندمان حذف منیزیم مربوط به مراحل ۶ و ۷ به ترتیب به میزان ۳۱/۸۹ و ۳۲/۲۸ درصد بود. همچنین بهترین راندمان حذف کدورت مربوط به مراحل ۶ و ۷ به میزان ۸۵/۲۸ و ۸۵/۴۱ درصد بود. نتایج این پژوهش با نتایج *Delbazi et al.* (2014) مطابقت دارد. آن‌ها صافی یک لایه با بستر ماسه و صافی دو لایه با بسترهای لیکا و آنتراسیت را مقایسه نمودند و نشان دادند که صافی چند لایه اثر بیشتری در کاهش کدورت آب نسبت به بستر تک لایه داشت و این اختلاف معنی دار بود. *Baraee et al.* (2016) با بکارگیری بستر کربن فعال-آنتراسیت نشان دادند که میزان کاهش پارامتر کدورت برابر ۸۹/۷۹ درصد بود و شرایط بهتری نسبت به بستر سیلیس-کربن فعال داشت. *Thompson et al.* (2018) با بررسی و مقایسه ستون‌های فیلتر کربن و ماسه نشان دادند که استفاده از ترکیب ۳۰ درصد ماسه و ۷۰ درصد کربن فعال بهترین حالت برای تصفیه آب می‌باشد.

مربوط به آب خروجی فیلتر بعد از کلرزنی و در شرایط استفاده از بستر سیلیس و آنتراسیت و بار سطحی ۳۶ و ۵۴ مترمکعب بر ساعت بوده است. به عبارتی بهترین راندمان حذف کلسیم مربوط به مراحل ۶ و ۷ به ترتیب به میزان ۲۰/۵۴ و ۲۱/۰۸ درصد می‌باشد.

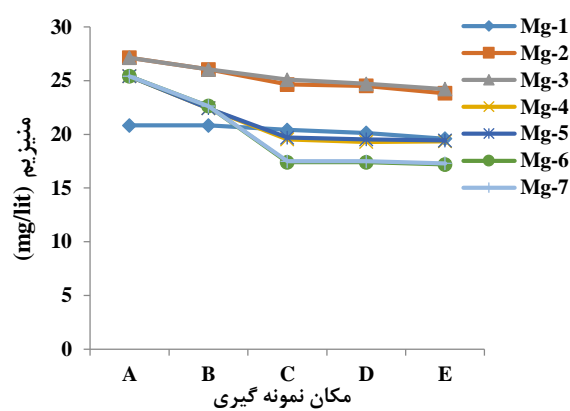


شکل ۲- راندمان حذف کلسیم در مکان‌های مختلف نمونه‌گیری و مراحل مختلف آزمایش

شکل (۳) روند تغییرات مقادیر کدورت و منیزیم در مراحل مختلف آزمایش را نشان می‌دهد. باتوجه به شکل مشاهده می‌شود



شکل ۳- روند تغییرات کدورت و منیزیم در مکان‌های مختلف نمونه‌گیری و مراحل مختلف آزمایش

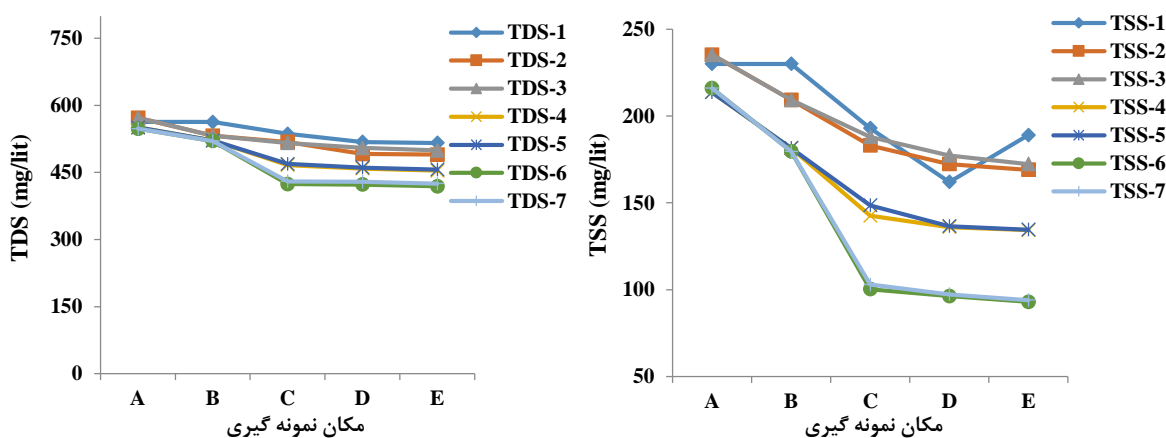


به مرحله ۶ به میزان ۲۳/۵۴ درصد می‌باشد. *Gholami et al.* (2010) کیفیت آب خروجی بعد از فیلترهای شنی تحت فشار در تصفیه‌خانه روستایی شهیدالماسی شبیان را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با انتخاب بهترین نوع و مقدار ماده منعقدکننده از بین سه ماده منعقدکننده و با تغییر در عمق و نوع دانه‌بندی بستر فیلترها و همین‌طور بار سطحی آن‌ها در قالب ۵ گزینه نشان دادند که بهترین گزینه استفاده هم‌زمان از پرلیت و آنتراسیت در بستر فیلترها با ۰/۶۶ بار سطحی بکارگرفته شده در تصفیه‌خانه می‌باشد. یکی از مشکلات اساسی که در تصفیه‌خانه‌ها وجود دارد،

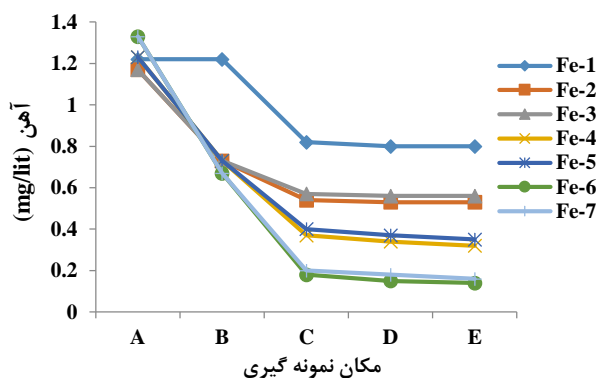
شکل (۴) روند تغییرات میزان کل جامدات محلول و معلق را در مراحل مختلف آزمایش نشان می‌دهد. طبق شکل (۴) بین مقادیر کل جامدات محلول و معلق بسترهای چند لایه سیلیس-آنتراسیت و بستر تک لایه سیلیس اختلاف زیادی وجود دارد. بیشترین و کمترین اثر کاهش میزان کل جامدات محلول و معلق به ترتیب مربوط به بستر سیلیس-آنتراسیت و بستر سیلیس می‌باشد. بهترین راندمان حذف TSS مربوط به مرحله ۷ به میزان ۵۶/۹۴ درصد می‌باشد. یعنی استفاده از بستر سیلیس و آنتراسیت در فیلترهای شنی تحت فشار با بار سطحی ۵۴ مترمکعب بر ساعت عملکرد بهتری را نشان داد. بهترین راندمان حذف TDS مربوط

هم‌زمان از سیلیس و آنتراسیت در بستر فیلترها (بار سطحی) معادل ۱/۵ برابر میزان فعلی می‌باشد. این میزان بار سطحی به‌همراه استفاده از واحد هواده‌ی و ته‌نشینی، ساعت آبرسانی به روستاهای تحت پوشش را تا ۱/۵ برابر افزایش می‌دهد. همچنین ساعت کارکرد فیلترهای شنی تحت فشار تا رسیدن به مرحله شست‌وشو با توجه به افزایش ۱/۵ برابری دبی آب، ۶۳ ساعت است که با توجه به تجربیات حاصل از بهره‌برداری فیلترهای شنی در تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی، میزان مطلوبی بوده و مشکلی در روند شست‌وشوی فیلترها ایجاد نمی‌کند.

بحث شست‌وشوی فیلترها با در نظر گرفتن عدم تداخل در بحث تصفیه و آبرسانی سیستم است. در حال حاضر با توجه به وضعیت تصفیه‌خانه معلم کلا ساری علی‌رغم عملیات تصفیه اولیه، فیلترهای شنی تحت فشار به سرعت و در زمان کوتاهی دچار افت فشار می‌شوند و احتیاج به شست‌وشو دارند. به‌طور کلی مشکل اصلی تصفیه‌خانه که مربوط به وجود آهن و کدورت بیش از حد بود، پس از پایان آزمایش‌ها به ترتیب راندمان کاهش ۸۹/۴۷ درصد و ۸۵/۲۸ درصد داشتند. در پایان، نتایج حاصل از بررسی و ارزیابی داده‌های آزمایش نشان داد که بهترین گزینه، استفاده



شکل ۴- روند تغییرات TDS و TSS در مکان‌های مختلف نمونه‌گیری و مراحل مختلف آزمایش



شکل ۵- روند تغییرات آهن در مکان‌های مختلف نمونه‌گیری و مراحل مختلف آزمایش

نتیجه‌گیری

تصفیه‌خانه آب آشامیدنی معلم کلا در نزدیکی ساحل رودخانه تجن جهت تامین آب شرب در سال ۱۳۸۶ به بهره‌برداری رسید. در این تصفیه‌خانه آب پس از انجام عملیات کلرزی و ته‌نشینی، وارد فیلترهای شنی تحت فشار شده و پس از آن وارد خطوط انتقال می‌شود. در این پژوهش عوامل موثر بر کارایی فیلترهای شنی تحت فشار با در نظر گرفتن سه نوع مصالح مختلف، دو با

شکل (۵) روند تغییرات پارامتر آهن را در مراحل مختلف آزمایش نشان می‌دهد. بهترین راندمان حذف آهن مربوط به مراحل ۶ و ۷ به ترتیب به میزان ۸۷/۹۷ و ۸۹/۴۷ درصد می‌باشد. به‌طوری که بستر دو لایه سیلیس-آنتراسیت در مرحله هفت کاهش معنی‌داری در مقدار آهن نسبت به بستر تک لایه سیلیس داشت. Babajejad et al. (2008) نشان دادند که بستر تک لایه سیلیس و بستر دو لایه سیلیس-آنتراسیت تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد برای کاهش مقدار آهن داشت. Emelko (2003) نشان داد که حذف آهن در صافی سه لایه نسبت به صافی دو یا تک لایه‌ای کارایی بیشتری دارد.

Sohrabi (2012) روش‌های هواده‌ی-فیلتراسیون با ازن دهی-فیلتراسیون (با غشای میکروفیلتر) و نیز تاثیر جنس غشا، اندازه حفرات و همچنین استفاده از کربن فعال را برای حذف آهن بررسی کردند. نتایج نشان داد که بازده حذف آهن برابر ۹۰ درصد به دست آمد. با کاهش قطر اسمی میکروفیلتر پروپیلن از ۱ میکرون به ۰/۲ میکرون، بازده حذف تغییر محسوس نکرده و تنها به‌طور میانگین حدود ۲ درصد افزایش یافت. استفاده از کربن فعال در داخل میکروفیلتر سرامیکی به قطر ۱ میکرون، بازده حذف آهن را به ۹۹ درصد رساند.

آبرسانی استفاده نمود. با استفاده از نتایج حاصل شده در تحقیق حاضر و نیز با توجه به ظرفیت فیلترهای موجود در تصفیه‌خانه، با تغییر در مصالح بستر فیلترها و استفاده هم‌زمان از واحد هوادهی می‌توان از بارسطحی (سیلیس و آنتراسیت) معادل ۱/۵ برابر میزان فعلی استفاده کرد که در این صورت ساعت آبرسانی به روستاهای پایین دست را تا ۱/۵ برابر افزایش می‌یابد. ساعت کارکرد فیلترهای شنی تحت فشار تا رسیدن به مرحله شست‌وشو با توجه به افزایش ۱/۵ برابری دبی آب، ۶۳ ساعت است که با توجه به تجربیات حاصل از بهره‌برداری فیلترهای شنی در تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی، میزان مطلوبی می‌باشد.

سطحی متفاوت در هفت مرحله مختلف مورد آزمایش و مقایسه قرار گرفتند. با توجه به نتایج راندمان حذف کدورت در مراحل مختلف آزمایش، بهترین راندمان حذف پارامترهای شیمیایی آب مربوط به شرایط استفاده از بستر سیلیس-آنتراسیت در فیلترهای شنی تحت فشار با بار سطحی ۵۴ مترمکعب بر ساعت بود. همچنین کمترین اثر کاهش مقادیر سختی، کدورت و آهن مربوط به بستر سیلیس بود. راندمان حذف برای پارامترهای کدورت، TSS، TDS، کلسیم، منیزیم و آهن به ترتیب برابر ۸۵/۴۱٪، ۲۳٪/۵۴، ۵۶٪/۹۴، ۲۱٪/۰۸، ۳۲٪/۲۸ و ۸۹٪/۴۷ به دست آمد. نتایج نشان داد که تغییر بار سطحی تفاوت معنی‌داری روی پارامترها نداشته و در نتیجه می‌توان از بار سطحی بیشتر برای

REFERENCES

- Asghari, F. B., Mohammadi, A. A., Dehghani, M. H., & Yousefi, M. (2018). Data on assessment of groundwater quality with application of ArcGIS in Zanjan, Iran. *Data in brief*, 18, 375.
- Ashraf, S. N., Rajapakse, J., Dawes, L. A., & Millar, G. J. (2018). Coagulants for removal of turbidity and dissolved species from coal seam gas associated water. *Journal of water process engineering*, 26, 187-199.
- Baraee, I., Borghei, S. M., Takdastan, A., Hasani, A. H. & Javid, A. H. (2016). Evaluate the performance of dual media filter to improve water quality in Abadan water refinery. *The Journal of Toloo-e-behdasht*, 15 (3), 130-143. (In Farsi)
- Delbazi, N., Ahmadi Moghadam, M., Takdastan, A. & Jaafarzade haghghi fard, N. (2014). Comparison of mono layer filter (sand) dual media filter (anthracite and leca) and performance in removal of organic matter and turbidity. *Journal of Health and Environment*, 4(3), 301-312. (In Farsi)
- Eisazadeh, H. and A. Mahdavi. (2004). The Effect of activated carbon on Bandar Abbas drinking water quality. *The First National Civil Engineering Congress*, 13 May, Sharif University of Technology (in Farsi)
- Emelko, M. B. (2003). Removal of viable and inactivated *Cryptosporidium* by dual-and tri-media filtration. *Water research*, 37(12), 2998-3008.
- Flores-Alsina, X., Feldman, H., Monje, V. T., Ramin, P., Kjellberg, K., Jeppsson, U., Batstone, D. J. & Gernaey, K. V. (2019). Evaluation of anaerobic digestion post-treatment options using an integrated model-based approach. *Water Research*. 156, 264-276.
- Fourozesh, M. (2018). Processes of water purification (membrane processes and filtration). 170 p. (In Farsi)
- Ghahremani, A., Maleki, A., Abuei-Mehrizi, A. & Taghavi, M. (2012). Evaluation of iron concentrations in drinking water resources in villages in sari. *15th National Conference on Environmental Health*, Guilan University of Medical Sciences, Rasht. (In Farsi)
- Gholami, M., Kashkoli, H. & Shafaei Bajestan, M. (2010). Effective factors on the use of pressure-filtered sand filters in drinking water refinery's in villages of Ahvaz. *4th Environmental Engineering Conference*, University of Tehran, Faculty of Environment. (In Farsi)
- Kim, S. J., Park, J. Y., Lee, Y. W., Hwang, K. W., & Lee, W. K. (2007). Seed crystallization with cavitation for enhanced removal of calcium in water. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 13(1), 79-83.
- Memarzadeh, M., Najafi, P. & Afuni, M. (2010). Efficiency of garnet mineral used in three-layer filters to remove turbidity and biological organisms in Isfahan water treatment plant. *Journal of Water and Wastewater*, 89(1), 76-83. (In Farsi)
- Merganpour, A. M., Nekuonam, G., Alipour Tomaj, O., Kor, Y., Safari, H., Karimi, K., & Kheirabadi, V. (2015). Efficiency of lead removal from drinking water using cationic resin Purolite. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 2(1), 41-45.
- Osloub, M. & Kazemi, K. (2015). Investigation of the effect of using pressure-sensitive sandy iron to remove manganese iron and turbidity from drinking water in Tonekabon Lashkarak village. *3th International Conference on Sustainable Development, Solutions and Challenges Focusing on Agriculture, Natural Resources and Tourism*. Tabriz. (In Farsi)
- Rezaei, M., Parastar, S., Rahmani, Z., Vosoghi, M. & Pooreshgh, Y. (2014). Evaluation of water treatment plant performance of Parsabad city in Ardabil province in removal of total dissolved solids, turbidity phosphate and calcium. *Journal of Environmental Health Engineering*, 1(2), 75-83. (In Farsi)
- Schweiker, M. (2001). Drinking water treatment

technologies for groundwater systems under the direct influence of surface water. *Commonwealth of Pennsylvania, Department of Environmental Protection*.

- Shadman, M. M. and S. Ahmadi. (2016). Optimization the operation of reverse washing of sand filters by concentration profiles during washing time. *Oil research*, 87, 167-176. (In Farsi)
- Sohrabi, K. (2012). *Investigation of removal of iron and manganese from underground waters of Mazandaran province using modern methods*. MS.c dissertation, University of Water and Power Industry (Shahid Abbaspour). Faculty of

Environment. (In Farsi)

- Tajbakhshian, M., Mahmudy Gharaie, M. h., Mahboubi, A., Mussavi Harami, R. & Ejlali, I. (2018). Qualitative assessment of wastewater of shahid hashemi nezhad gas refinery and adjacent water resources for agricultural use. *Iranian Journal of irrigation & drainage*, 12(4), 903-918. (In Farsi)
- Thompson, N. E., Onyebuchi, N. J., Theophilus, A., Jerry, U., & Chizoba, A. (2018). Laboratory Studies on the Treatment of Effluent from a Pulp and Paper Mill Using Activated Carbon and Sand Filter Media. *American Chemical Science Journal*, 12(1), 1-14.