

کارایی صافی های ماسه ای کند با جریان افقی در تصفیه آب

حمیدرضا خسروجردی^۱، عبدالله رشیدی مهرآبادی^۲

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران-آب وفاضلاب، دانشگاه صنعت آب و برق(شهید عباسپور)

۲- استادیار دانشکده مهندسی آب دانشگاه صنعت آب و برق(شهیدعباسپور)

hr_khosrogerdi@yahoo.com

خلاصه

استفاده از صافی های کند در فرآیند تصفیه آب از جمله کارآمدترین روشها برای حذف کدروت (از آبهای با کدورت پائین) و حذف عوامل بیماریزای بیولوژیکی و مواد آلی می باشد. دومشکل اساسی در کاربرد این فرآیند برای اجتماعات بزرگ شامل محدود بودن نرخ تصفیه و در نتیجه نیاز به سطح زیاد برای ساخت و استقرار فرآیند و نیز مشکلات بهره برداری مربوط به عدم تناسب سیستمهای شستشوی دستی و نیز صعوبت انجام آن به سبب سطح زیاد صافی است. . در این تحقیق سعی شده است با تبدیل صافی از جریان عمودی به افقی و با استفاده از لایه های نازکتر صافی، سطح مورد نیاز برای استفاده از این سیستم کاهش یابد. همچنین به دنبال کاهش سطح، امکان شستشوی معکوس صافی با کمک هواده های بسیار کوچک و با هزینه ای بسیار کمتر فراهم شده است و بدین ترتیب مشکلات مربوط به بهره برداری از این نوع صافی ها کاهش یافته است.

کلمات کلیدی: تصفیه آب، فیلتراسیون، صافی ماسه ای کند، بهره برداری، گندزدایی

مقدمه

صافی ماسه ای کند یک روش مؤثر در تصفیه آب است که از آن در طی ۱۵۰ سال گذشته استفاده شده است. از این روش در اسکاتلند برای نخستین بار و بعدها در اروپا استفاده شد. کارایی این روش در تصفیه آب در خلال همه گیری وبا در سال ۱۸۹۲ در هامبورگ آلمان مورد تأیید قرار گرفت [۱]. تحقیقات و مشاهدات پس از آن نشان داد که صافی ماسه ای کند بطور مؤثری می تواند کدورت، کلیفرمها، کیستهای ژیا ردیا و فلزات سنگین را از آب حذف نماید [۲]. براساس گزارشات سازمان بهداشت جهانی، فیلتراسیون بوسیله صافی ماسه ای کند به سبب سادگی اجرا و بهره برداری و قیمت ارزان و قابلیت اعتماد، همچنان به عنوان بهترین گزینه برای تصفیه منابع آب بسیاری از اجتماعات مطرح می باشد [۳].

هدف از انجام این تحقیق بررسی امکان ساخت صافی های ماسه ای کندی است که جریان آب در آنها -برخلاف صافی های متعارف- افقی باشد تاکنون تحقیقات زیادی در خصوص استفاده و راندمان صافی های کند صورت گرفته است و تعداد زیادی صافی در ایران و جهان به کار گرفته شده است، لیکن همه موارد مربوط به صافی های با جریان عمودی می باشد و استفاده از صافی های کند با جریان افقی اصولاً یک طرح ابتکاری و نو می باشد که تاکنون مورد هیچ مطالعه ای قرار نگرفته است.

فرضیه اصلی در این تحقیق آن است که به سبب نوع مکانیزمهای تصفیه در یک صافی ماسه ای کند، تغییر جهت جریان آب در بستر صافی به شرط ثابت بودن دیگر پارامترها، بر روی راندمان تصفیه صافی تأثیر قابل توجهی ندارد. و از این رو می توان از نتایج دیگر تحقیقات انجام شده بر روی توان تصفیه صافی ماسه ای کند، استفاده نمود.

صافی ماسه ای کند در ابتدا بیشتر با هدف حذف کدورت و عوامل بیماریزا به کار می رفت. اما تحقیقات بعدی نشان دادند که این روش تصفیه می تواند عوامل آلاینده دیگر آب را نیز با راندمان قابل توجه حذف نماید. به عبارت دیگر نتایج تحقیقات مؤید آن بود که از صافی ماسه ای کند می توان در تصفیه پیشرفته آب نیز استفاده کرد.

کارایی صافی ماسه ای کند در تصفیه آب

- پارامترهای فیزیکی

اگرچه مشاهدات مکرر نشان داده است که صافی ماسه ای کند می تواند کدورت آبهای با کدورت بالا را نیز مورد تصفیه قرار دهد، اما به منظور جلوگیری از گرفتگی سریع صافی توصیه شده است که کدورت آب خام ورودی به صافی کمتر از ۲۰ NTU باشد [۴]. در چنین شرایطی آزمایشات نشان داده است که راندمان حذف کدورت در صافی بیش از ۹۰ درصد است که در اغلب اوقات مقدار کدورت به کمتر از ۱ NTU می رسد [۳]. استفاده از صافی ماسه ای کند در حذف کدورت های پایین و رنگ نیز مؤثر واقع شده است. در جدول ۱ نتایج عملکرد سه تصفیه خانه در حال کار در خصوص کدورت و رنگ آمده است.

جدول ۱- راندمان حذف کدورت و رنگ در سه تصفیه خانه در حال کار [۳].

نام تصفیه خانه						پارامتر
اسپرینگ فیلد ^۱		وست هاتفورد ^۲		نیو هیون ^۳		
ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	
۰/۰۹	۰/۶۴	۰/۲۵	۰/۵	۰/۳	۱/۵	کدورت (NTU)
۹	۱۶	۳	۱۳	۶	۱۵	رنگ (CU)

* ^۱ Springfield, ^۲ West Hartford, ^۳ New Haven

البته صافی ماسه ای کند معمولاً رنگهای آلی را که به راحتی تجزیه زیستی نمی شوند، حذف نمی کند. چراکه در ساخت این نوع رنگها یکی از نکات مهم، مقاومت آنها در برابر تجزیه است. به همین دلایل راندمان حذف رنگ در صافی ماسه ای کند در یک بازه گسترده و معمولاً بین ۱۰۰-۳۰٪ بدست می آید [۴]. نتایج یک تحقیق نشان داده است که بیش از نیمی توانسته است راندمان حذف رنگ را از ۲۰٪ به ۷۴٪ افزایش دهد [۱].

- آهن و منگنز و فلزات سنگین

آهن و منگنز در یک صافی ماسه ای کند با راندمانی بیش از ۶۷٪ قابلیت حذف دارد. همچنین فلزات سنگین در اکثر موارد با کاهش ۹۰٪ مواجه خواهند بود [۴]. بطوریکه فلزات سنگین شامل Zn, Cu, Cd, Pb با راندمانی بین ۹۹-۹۵٪ در صافی ماسه کند قابل حذف هستند. نیز راندمان حذف As در حدود ۴۷٪ است [۲].

- عوامل بیماریزا و میکروارگانیسم ها

توان تصفیه بالای صافی ماسه ای کند در حذف عوامل بیماریزا و باکتریها و ویروسها در واقع یکی از برترین مزایای این روش تصفیه می باشد. چراکه در این فرآیند تصفیه نیاز به استفاده از هیچ گونه ماده شیمیایی نظیر ترکیبات کلر وجود ندارد. این مسئله علاوه بر اینکه هزینه های بهره برداری ناشی از خرید مواد شیمیایی را کاهش داده و نیز بهره برداری را ساده تر می نماید، باعث می شود که مشکلات ناشی از تولید مواد جانبی فرآیند ضد عفونی کردن نیز به شدت کاهش یابد.

صافی ماسه ای کند می تواند کلیفرمهای مدفوعی را بین ۹۰-۱۰۰٪ و در اکثر موارد بیش از ۹۹٪ کاهش دهد. این روش باعث زدایش تقریباً کامل ویروسها نیز می گردد [۴]. در جدول ۲ می توان کارایی صافی ماسه ای کند در حذف میکروارگانیسم ها را مشاهده نمود.

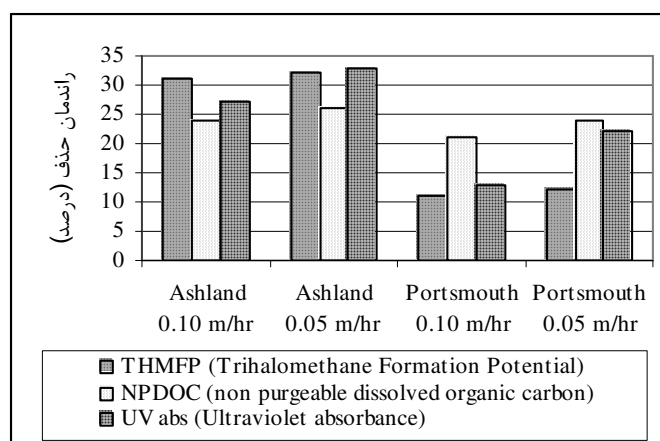
جدول ۲- کارایی صافی ماسه ای کند در حذف میکروارگانسیم ها [۱]

مرجع	نام میکروارگانسیم	نرخ فیلتراسیون (m/h)	دما (° C)	درصد حذف
Poynter and Slade(1997)	<i>Poliovirus</i>	0.2	16 to 18	99.997 ave.
Poynter and Slade(1997)	<i>Poliovirus</i>	0.4	16 to 18	99.865 ave.
Poynter and Slade(1997)	<i>Poliovirus</i>	0.5	5 to 8	98.25 ave.
Bellamy et. Al. (1985b)	<i>Total coliform bacteria</i>	0.12	17	97 ave.
Bellamy et. Al. (1985a)	<i>Giardia</i>	0.4	5 to 15	99.981 ave.
Bellamy et. Al. (1985b)	<i>Giardia</i>	0.12	17	>99.93 to >99.99
Bellamy et. Al. (1985b)	<i>Giardia</i>	0.12	5	>99.92 to >99.99
Pyper (1985)	<i>Giardia</i>	0.08	0.5 to 0.75	99.36 to 99.91
Pyper (1985)	<i>Giardia</i>	0.08	7.5 to 21	99.98 to 99.99
Ghosh et. al. (1989)	<i>Giardia</i>	0.3	4.5 to 16.5	>99.99
Ghosh et. al. (1989)	<i>Giardia</i>	0.4	4.5 to 16.5	99.83 to 99.99
Ghosh et. al. (1989)	<i>Cryptosporidium oocysts</i>	0.15 to 0.40	4.5 to 16.5	>99.99
Hell et. al. (1994)	<i>Cryptosporidium oocysts</i>	0.2	Not stated	99.8 to 99.99
EES and TWU* (1996)	<i>Cryptosporidium oocysts</i>	0.29	12 to 14	>99.99

* Economic and Engineering Services, Inc. and Thames Water Utilities. 1996. Salem slow sand filtration pilot study microbiological challenge test results

- پارامترهای بیولوژیکی

چنانکه پیشتر گفته شد یکی از مهمترین مزایای صافی ماسه ای کند توان حذف آلاینده های بیولوژیکی از آب است. تحقیقات متعدد ثابت کرده است که صافی ماسه ای کند قادر به حذف آلاینده های بیولوژیکی است که عموماً توسط روشهای متعارف تصفیه، قابل حذف نیستند. این روش مقدار BOD_5 را بین ۸۳/۴-۷۶/۵٪ و مقدار COD را بین ۴۰/۴-۳۳/۴٪ کاهش می دهد [۱۱]. DOC (مقدار کربن آلی محلول) یکی دیگر از پارامترهای مهم در آلودگی آب است که بخشی از آن بصورت قابل تجزیه زیستی (Biodegradable) می باشد. یک صافی ماسه ای کند قادر است این بخش از DOC را تا ۵۰٪ و کل مقدار DOC را بین ۲۵-۱۵٪ حذف نماید. با استفاده از این روش می توان مقدار مواد اولیه در تولید THM را بین ۳۰-۲۰٪ کاهش داد [۲]. شکل ۲ کارایی این روش را در حذف THMFP و NPDOC و UV abs. را براساس دو تحقیق انجام گرفته در Portsmouth و Ashland نشان می دهد.

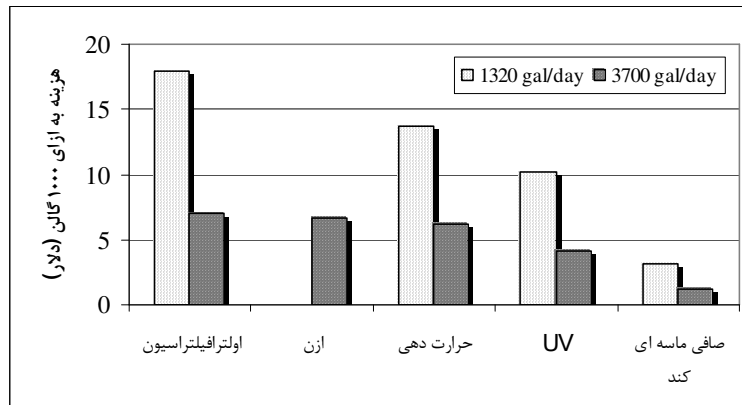


شکل ۲- عملکرد صافی ماسه ای کند در کاهش UV abs و NPDOC و THMFP [۳]

این روش مقدار TOC (کل کربن آلی) آب را بین ۱۹-۱۵٪ کاهش دهد [۳]. البته در کنار صافی ماسه ای کند می توان فرآیندهای دیگری را قرارداد و به این ترتیب راندمان تصفیه را بالا برد. چنانکه کاربرد توام از زنی و صافی ماسه ای کند قادر است که مقدار TOC را به طور متوسط ۲۸٪ کاهش داده و غلظت آن را در پساب خروجی به ۴-۳ میلیگرم بر لیتر برساند [۷]. حذف نیترات یکی دیگر از توانایی های صافی ماسه ای کند است به طوری که در نرخهای فیلتراسیون کمتر از ۰.۱ متر بر ساعت، این نوع صافی قادر است که نیترات را با متوسط راندمان ۹۴٪ حذف نماید [۸].

هزینه های پایین در صافی ماسه ای کند

سادگی سیستم این نوع صافی و در دسترس بودن مواد مورد نیاز برای راه اندازی آن باعث شده است که هزینه اجرا و بهره برداری از این نوع سیستم به خصوص برای مقاصد گند زدایی در سطح پایینی قرار داشته باشد. سیستم های دیگر گندزدایی یا مانند UV و ازن نیاز به سرمایه گذاری زیادی دارند و یا مانند سیستم حرارتی دارای هزینه های جاری زیاد مربوط به انرژی و تعمیر و نگهداری می باشند [۹]. در شکل ۳ می توان یک مقایسه اقتصادی بین سیستم های مختلف گندزدایی را مشاهده نمود.



شکل ۳- مقایسه اقتصادی بین روشهای مختلف گندزدایی [۹]

معایب صافی ماسه ای کند

همچون دیگر روشهای تصفیه و گندزدایی آب، این روش نیز معایبی را با خود به همراه دارد. این معایب دربرخی از موارد موجب شده است که علی رغم کارایی بالای صافی ماسه ای کند، از آن استفاده نشود. مهمترین معایب یک صافی ماسه ای کند عبارتند از:

- نیاز به سطح زمین بسیار زیاد به سبب پایین بودن نرخ فیلتراسیون
- نیاز به مقادیر قابل توجهی ماسه دانه بندی شده مناسب برای بستر صافی به علت مشکلات مربوط به مسائل شستشوی مصالح ماسه ای بستر صافی

نرخ بهینه فیلتراسیون در این نوع صافی ها بین $0.1-0.2 \text{ m/hr}$ می باشد [۱]، [۴]، [۵]. از این رو مقدار زمین مورد نیاز جهت استقرار صافی بسیار زیاد می باشد. این مسئله به خصوص در اجتماعات بزرگ حائز اهمیت است. چراکه از طرفی مقدار دبی آبی که باید تصفیه شود زیاد است و از طرف دیگر عموماً قیمت زمین در این مناطق بالاست. هزینه بسیار بالای خرید زمین سبب شده است که تاکنون از این سیستم در اجتماعات بزرگ و شهرها به ندرت استفاده شود. هم اکنون در بیشتر شهرها از صافی ماسه ای تنها استفاده می شود که دارای نرخ فیلتراسیون در حدود 10 m/hr می باشد [۱۰].

اگرچه می دانیم که سهم بسیار زیادی از توان تصفیه یک صافی ماسه ای کند مربوط به لایه چند سانتیمتری (لایه کثیف) روی بستر می باشد، اما عمق بستر این صافی ها معمولاً در حدود ۱ متر می باشد. این امر ناشی از گرفتگی لایه کثیف و افزایش شدید افت در بستر صافی است.

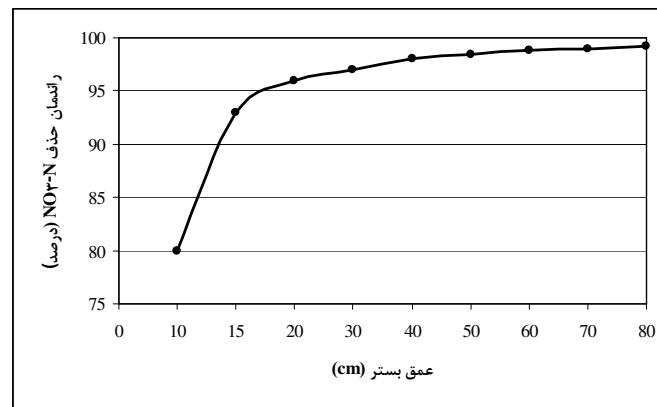
به دلیل عدم امکان شستشوی مصالح ماسه ای در محل صافی، لازم است که برای بازگردانی ظرفیت فیلتراسیون صافی، یک لایه ۲-۱ سانتیمتری از روی آن برداشته شود. به عبارت دیگر برای به حداقل رساندن دفعات از کارافتادن طولانی مدت صافی، ضخامت بستر صافی را طوری در نظر می گیرند که در چندین نوبت بتوان با برداشتن یک لایه از روی صافی، آن را برای راه اندازی مجدد، سریعاً آماده کرد.

بنابراین ضخامت حدود ۱ متری صافی به همراه سطح زیاد آن، نیاز فراوانی به مصالح ماسه ای دانه بندی شده مناسب بوجود می آورد. این مسئله به خصوص در مواردی که در فواصل نزدیک مصالح ماسه ای مناسب در دسترس نیست، مشکل ساز است. یکی دیگر از پیامدهای منفی ضخامت زیاد بستر صافی آن است که به دلیل بالابودن حجم مصالح بستر عملاً امکان شستشوی معکوس آنها وجود ندارد. چراکه در این صورت ما نیازمند به پمپهای آب و هوای بسیار بزرگ و قوی هستیم که استفاده از آنها نه به لحاظ اقتصادی و نه به لحاظ ملاحظات بهره برداری توجیه پذیر نیست.

صافی ماسه ای کند با جریان افقی

تقریباً تمامی توان تصفیه یک صافی ماسه ای کند به لایه کثیف (شموتزدک) مربوط می شود. در واقع علت گرفتگی سریع این لایه نسبت به لایه های زیرین، مجموعه عملیاتی حذف موادی است که در آن صورت می گیرد. پس از شروع به کار یک صافی ماسه ای کند مواد معلق آلی و معدنی، باکتریها، کیستها و ... طی مکانیزمهای مختلف مانند غربالگری و ته نشینی و بیولوژیکی از آب جدا شده و در لایه کثیف (شموتزدک) تجمع می یابند. تجمع این مواد کم کم باعث گرفتگی منافذ بین مصالح بستر شده و مقدار افت فشار را افزایش می دهد تا آنجا که برای امکان ادامه کار صافی نیاز به برداشتن آن لایه از روی صافی وجود دارد [۵].

ضخامت لایه برداشت شونده از روی صافی معمولاً بین ۲-۱ سانتیمتر می باشد [۱]، [۴]. اگرچه لایه های با عمق بیشتر نیز در فرآیند تصفیه نقش دارند اما با افزایش عمق، مقدار تأثیر آنها بشدت کاهش می یابد. به عنوان نمونه شکل ۴ اثر عمق بستر صافی را در حذف $\text{NO}_3\text{-N}$ نشان می دهد.

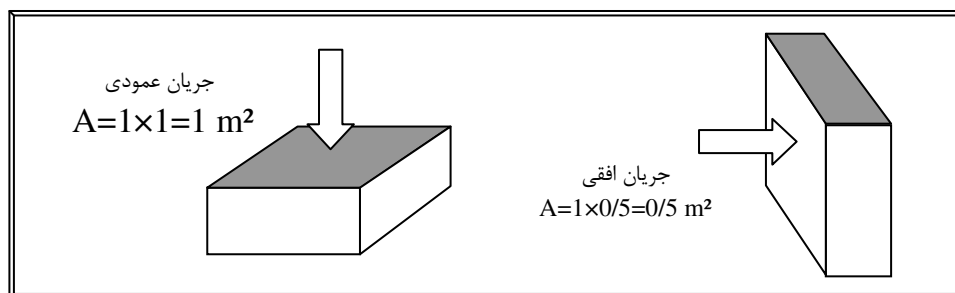


شکل ۴- اثر عمق بستر صافی در حذف $\text{NO}_3\text{-N}$ [۸]

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می گردد، در ۵۰ سانتیمتر روی صافی حدود ۹۸/۵٪ فرآیند تصفیه صورت می گیرد. وضعیت حذف دیگر مواد و آلایندها نیز تقریباً مشابه است. از این رو حداقل عمقی که در آن صافی می تواند تمام کارایی خود را داشته باشد، بین ۶۰-۵۰ سانتیمتر در نظر گرفته می شود [۴]، [۵].

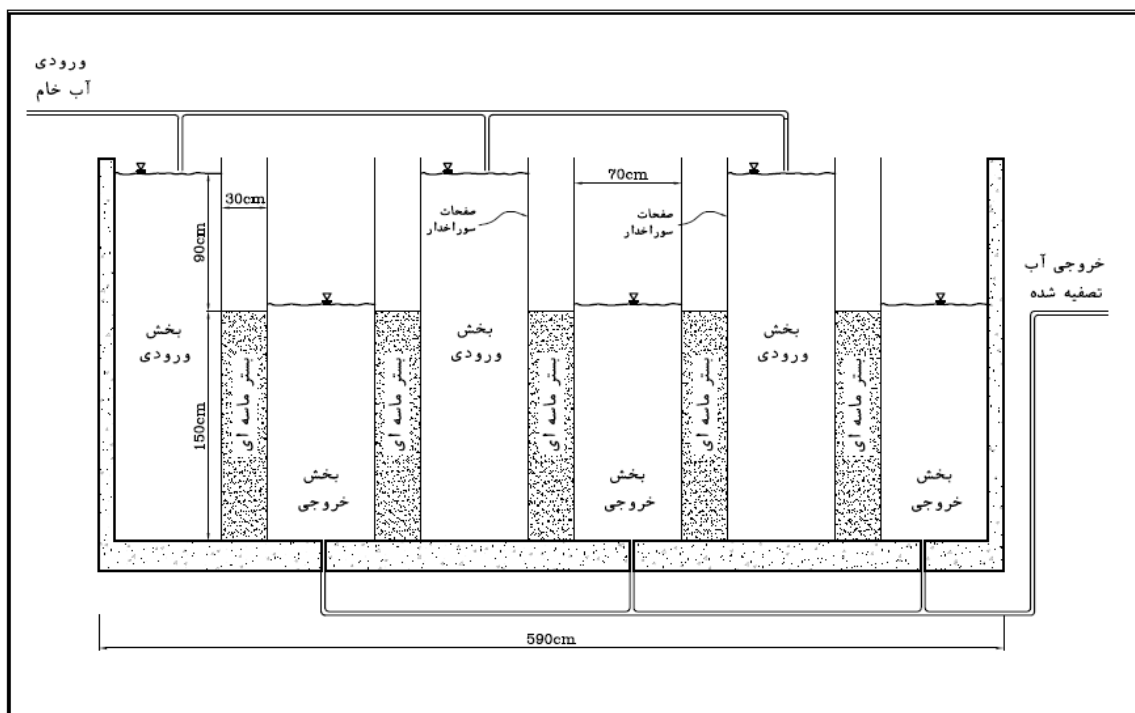
طرح کلی، اجزاء و مکانیزم عملکرد

فرض کنیم که برای تصفیه آبی با استفاده از صافی ماسه ای کند متعارف (با جریان عمودی) ما به ۱ مترمربع زمین نیازمندیم (یعنی فضایی به مساحت یک مترمربع و عمق ۵۰ سانتیمتر). حال اگر ما این صافی را ۹۰ درجه چرخش داده و جریان آب را از حالت عمودی به حالت افقی تبدیل نماییم، همان صافی فضایی به مساحت ۰/۵ مترمربع را اشغال خواهد کرد. به عبارت دیگر مساحت زمین لازم برای صافی ۵۰ درصد کاهش خواهد یافت. شکل ۵ شمای ساده ای از مفهوم مطالب مذکور را نمایش می دهد. به علاوه مواردی وجود دارد که ضخامتهای کمتر صافی نیز می تواند ما را به راندمان مورد نظر برساند. بنابراین در چنین مواردی می توان ضخامت صافی را به ۴۰ یا ۲۰ و حتی کمتر از آن کاهش داد که در آن صورت کاهش سطح زمین مورد نیاز صافی نسبت به حالت با جریان عمودی به ترتیب ۶۰ و ۸۰ درصد خواهد بود.



شکل ۵- اثر تغییر جهت جریان در سطح زمین مورد نیاز صافی

البته درحالتیکه جریان آب افقی شود، به منظور امکان دسترسی به بستر صافی مقداری فضا لازم است که باید در دو جهت بستر تعبیه گردد. از سوی دیگر با قراردادن دو یا چند صافی در کنار یکدیگر می توان فضاهای لازم برای دسترسی را بین صافی ها تقسیم نمود. همچنین برای در نظر گرفتن سهولت بهره برداری و نگهداری از صافی، ارتفاع بستر ماسه ای نباید از حدود ۱/۵ متر بیشتر باشد تا این ارتفاع به علاوه ارتفاع حدود ۱ متری تیغه آب روی بستر از ۲/۵ متر تجاوز ننماید. با در نظر گرفتن موارد فوق در شکل ۶ شمای کلی نمونه وار یک صافی ماسه ای کند با جریان افقی آمده است.



شکل ۶- شمای کلی یک واحد فیلتر ماسه ای کند با جریان افقی

چنانکه در شکل ۶ ملاحظه می گردد، به ازای ایجاد ۷/۵ مترمربع صافی، حدود ۵/۹ مترمربع زمین مورد نیاز می باشد و این به معنای ۰/۲۱٪ کاهش زمین مورد نیاز می باشد. البته به ازای ضخامتهای مختلف بستر ماسه ای و تعداد صافی مقادیر کاهش سطح مورد نیاز بدست آمده متفاوت است. جدول ۳ مقادیر کاهش سطح اشغالی صافی را برای ضخامتهای مختلف صافی نشان می دهد. داده های این جدول نشان میدهد که در صورت استفاده از سیستم صافی با جریان افقی سطح زمین مورد نیاز به طور متوسط ۰/۲۲٪ کاهش می یابد. همچنین به دنبال کاهش ضخامت بستر ماسه ای مقدار ماسه مورد نیاز بستر برای ضخامتهای ۰/۵، ۰/۴، ۰/۳، ۰/۲، ۰/۱ به ترتیب ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد کاهش خواهد یافت و به جهت این کاهش قابل توجه در مقدار مصالح بستر امکان شستشوی مصالح صافی با استفاده از سیستم شستشوی معکوس فراهم می گردد.

جدول ۳- درصد کاهش سطح زمین مورد نیاز برای ساخت صافی کند در صورت استفاده از جریان افقی

تعداد صافی	ضخامت بستر ماسه ای (m)				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
3	27	20	13	7	0
5	35	28	21	15	8
7	38	31	25	18	11
10	41	34	27	21	14

نتیجه گیری

صافی های ماسه ای کند دارای دو مشکل اساسی می باشند. اول اینکه سطح زمین مورد نیاز برای آنها زیاد است و دوم اینکه به سبب بالا بودن حجم و وزن مصالح بستر صافی، امکان استفاده از سیستم شستشوی معکوس برای آماده سازی مصالح بستر عملاً وجود ندارد. اما با تغییر جهت جریان آب در صافی از حالت عمودی به حالت افقی این امکان فراهم می شود که سطح مورد نیاز برای ساخت صافی حداکثر ۰/۴۱٪ و به طور متوسط ۰/۲۲٪ کاهش یابد. دیگر مزیت بوجود آمده آن است که با انجام این تغییر می توان مقدار ماسه لازم برای مصالح بستر را تا ۰/۹۰٪ و به طور متوسط ۰/۷۰٪ کمتر نمود. به سبب این کاهش قابل ملاحظه در مقدار مصالح بستر، شرایط لازم برای استفاده از سیستم شستشوی معکوس صافی فراهم می گردد.

سیستم شستشوی معکوس صافی خود می تواند نقش چشمگیری در ایجاد سهولت در بهره برداری و نگهداری از صافی داشته باشد. چراکه بدین ترتیب تعداد دفعات لازم برای خارج کردن و جایگزینی مصالح بستر را به حداقل ممکن می رساند. از این رو استفاده از صافی ماسه ای کند با جریان افقی باعث رفع دو مشکل اساسی صافی های کند شده و از آنها می توان در موارد بیشتری جهت تصفیه آب استفاده نمود.

مراجع

- [1] Gary S. Logsdon, Roger Kohne, Solomon Abel, Shawn LaBonde "Slow sand filtration for small water systems" J. Environ. Eng. September 2002, Sci 1: 339-348
- [2] Collins, M. R.; 1998. "Assessing Slow Sand Filtration and Proven Modifications." In Small Systems Water Treatment Technologies: state of the Art Workshop. NEWWA Joint Regional Operations Conference and Exhibition. Marlborough, Massachusetts.
- [3] Collins M. R., Eighmy T. Taylor, Fenstermacher James M., Spanos Stergios K.; "Modifications to the Slow Sand Filtration Process for Improved Removals of Trihalomethane Precursors" American Water Works Association Research Report, Denver, May 1989
- [4] Visscher J. T., Paramasivan R., Raman A., Heijnen H. A.; "Slow Sand Filtration for community water supply planning, design, construction, operation and maintenance" International Reference center for Community Water Supply and Sanitation, 1987 x Technical paper series No. 24, 149 p, 68 fig. , 31 tab.,
- [5] Khosrowpanah Shahram, Heitz Leroy; "slow sand filter conceptual design for the federated states of Micronesia(FSM)" water and environmental research institute of the western pacific Technical Report No. 101, September 2003
- [6] U.S. Environmental Protection Agency. 1990. "Technologies for upgrading existing or designing new drinking water treatment facilities". EPA/625/4-89/023. Office of Drinking Water, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio
- [7] Yordanov, R.V., Lamb, A.J., Melvin, M.A.L., and Littlejohn, J. 1996. "Biomass characteristics of slow sand filters receiving ozonated water. In advanced in slow sand alternatives biological filtration.", Edited by N. Graham and R. Collins. John Wiley & Sons, New York. pp. 108-118
- [8] Sukru Aslan, Hatice Cakici, "Biological denitrification of drinking water in a slow sand filter", Journal of Hazardous Materials, 2007, 148 , 253-258
- [9] Wohanka Walter, "Slow filtration – a Practical Way for Removing Plant Pathogens from Irrigation Water" State Research Institute, 1995, Von-Lade-Str. 1, D-65366 Geisenheim, Germany,
- [۱۰] آشفته جلال، "طراحی آبرسانی شهری"، انتشارات فنی حسینیان، تهران، چاپ اول (با ویرایش جدید)، ۱۳۸۵
- [11] Nakhla G., Farooq S., " Simultaneous nitrification-denitrification in slow sand filer", Journal of Hazardous Materials, 2003, B96 , 291-303