

# کارایی صافی درشت دانه با جریان افقی (HRF) در کاهش کلیفرم پساب خروجی لاگون هوادهی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر قم

رامین نبی‌زاده<sup>۱</sup> کاظم ندافی<sup>۲</sup> فروغ واعظی<sup>۲</sup> محمد خزایی<sup>۳</sup> مرتضی صفدری<sup>۴</sup>

(دریافت ۸۶/۲۷ پذیرش ۸۶/۲۵)

## چکیده

صافیهای درشت دانه با جریان افقی در نرخهای فیلتراسیون کمتر از ۱/۵ متر بر ساعت توانایی قابل قبولی در کاهش جامدات معلق و بار میکروبی منابع آب سطحی، بدون استفاده از مواد منعقد کننده دارند و از گزینه‌های مطرح پیش تصفیه قبل از صافی شنی کند محسوب می‌شوند. در محل ایستگاه پمپاژ پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر قم یک واحد پایلوت صافی درشت دانه با جریان افقی نصب گردید. طراحی این صافی با اقتباس از نمونه‌های مورد استفاده از این نوع در پیش تصفیه آبهای سطحی انجام گرفت. صافی مزبور به صورت استوانه‌ای به شعاع قاعده ۰/۲۵ متر و طول ۴ متر همراه با سه لایه ساخته شد. عملیات نمونه‌برداری در سه نرخ فیلتراسیون ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ساعت انجام شد و شامل برداشت همزمان روزانه از ورودی و خروجی صافی به منظور انجام آزمایش‌های تعیین کل کلیفرم و کلیفرم مدفوعی بود. تحلیل آماری آنالیز کوواریانس داده‌های جمع‌آوری شده نشان می‌دهد که نرخ فیلتراسیون دارای تأثیر معنی‌داری بر مقادیر خروجی کل کلیفرم و کلیفرم مدفوعی است. در حالت عملکرد بهینه صافی، میانگین حذف کل کلیفرم‌ها در هر سه نرخ فیلتراسیون بیش از ۹۰ درصد گزارش شد.

**واژه‌های کلیدی:** کل کلیفرم‌ها، کلیفرم‌های مدفوعی، تصفیه فاضلاب، صافی درشت دانه، لاگون هوادهی.

## Efficiency of Horizontal Roughing Filter (HRF) in Coliform Removal from Aerated Lagoon Effluent

Ramin Nabizadeh<sup>1</sup> Kazem Nadafi<sup>2</sup> Foroogh Vaezi<sup>2</sup>  
Mohammad Khazaei<sup>3</sup> Morteza Safdari<sup>4</sup>

(Received Sep. 18, 2007 Accepted Jan. 15, 2008)

### Abstract

Horizontal roughing filters (HRF) can properly remove suspended solids and microorganisms from surface waters if they operate at filtration rates below 1.5 m/h. These filters are common raw water pre-treatment before slow sand filters. This study was conducted by installing an HRF pilot system on effluent pumping station city of Qom wastewater treatment plant based on the aerated lagoon process. The pilot was a horizontal cylindrical column consisting of three compartments filled with river gravel of various sizes. Grab samples were simultaneously taken from inlet and outlet of the HRF at three filtration rates: 0.5, 1, and 1.5 m/h. Total and fecal coliforms were tested according to standard methods for water and wastewater tests. Results indicated that filtration rate had a significant effect on the amounts of total and fecal coliforms in HRF effluent. For the HRF steady-state operation, average total coliform removal efficiency for all filtration rates was higher than 87 percent.

**Keywords:** Total Coliform, Fecal Coliform, Wastewater Treatment, Horizontal Roughing Filter, Aerated Lagoon.

1. Assistant Prof., Department of Health, Tehran University of Medical Sciences, rnabizadeh@tums.ac.ir
2. Associate Prof., Department of Health, Tehran University of Medical Sciences
3. M.Sc. in Environmental Health Engineering, Qom University of Medical Sciences
4. Environmental Health Expert, School of Environmental Health, Qom University of Medical Sciences

- ۱- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، rnabizadeh@tums.ac.ir
- ۲- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تهران
- ۳- کارشناس ارشد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی قم
- ۴- کارشناس گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی قم

به تدریج با کاهش قطر منافذ، جدا می‌شوند. این موضوع همچنین باعث می‌شود تا افزایش افت فشار در فواصل زمانی طولانی‌تری به وقوع بپیوندد [۹].

این صافیها به علت وجود مواد فیلتری درشت دانه در محفظه اول دارای ظرفیت بالای تجمع سیلت و مواد رسوبی بوده و طول آنها دارای محدودیت نمی‌باشد [۷ و ۱۰].

اما به طور معمول، طول کلی آن بین ۵ تا ۹ متر، عرض آنها حدود ۲ تا ۵ متر و ارتفاع در حدود ۱/۵ متر می‌باشد [۶ و ۱۱]. صافیهای درشت دانه افقی با نرخ فیلتراسیون کمتر از یک متر بر ساعت، کارآیی حذف کدورت و مواد معلق ۷۰ تا ۹۰ درصد را موجب می‌شوند [۶].

انستیتوی تکنولوژی و محیط زیست فدرال سوئیس و انجمن آب و بهداشت کشورهای در حال توسعه در سالهای ۱۹۸۲ تا ۱۹۸۶ و ۱۹۹۷ تا ۱۹۹۸ و همچنین اتحادیه توسعه سوئیس در سال ۱۹۸۶ مطالعات دامنه‌داری را در مورد صافیهای درشت دانه و کارایی آنها به عنوان واحد پیش تصفیه آبهای سطحی برای تأمین آب قابل اطمینان صافی شنی گند انجام دادند. مؤسسه IHG و دانشگاههای فنی دلفت<sup>۴</sup> هلند و نیوهامپشایر<sup>۵</sup> آمریکا در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ در خصوص عملکرد صافیهای درشت دانه فعالیت کردند [۹].

وجلین<sup>۶</sup> و همکاران طی رشته مطالعاتی از سال ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۸ و سالهای ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷ در کشورهای هلند، سوئیس و آفریقای جنوبی، معیارهای طراحی صافی درشت دانه، به ویژه با جریان افقی را تدوین نموده و تئوری، عملکرد و نحوه راهبری آنها را مورد بررسی قرار دادند. از جمله اینکه صافی درشت دانه افقی قادر است کل کلیفرم‌ها را تا ۲ واحد لگاریتم و کدورت را بیش از ۹۰ درصد حذف نماید. نتایج این تحقیقات متعاقباً توسط سازمان بهداشت جهانی به عنوان معیارهای طراحی این صافیها پذیرفته شد [۶].

سرومیلی در سال ۱۳۸۴ کارایی صافی درشت دانه با جریان افقی را در بهبود کیفیت پساب جهت مصارف شهری غیر شرب مورد بررسی قرار داد. در نرخ فیلتراسیون ۲/۵ متر بر ساعت حذف کدورت، TSS، COD و کل کلیفرم به ترتیب ۶۳، ۲۲، ۳۷ و ۱۳ درصد گزارش شد [۸].

اجرای اولین مراحل شبکه فاضلاب شهر قم در سال ۱۳۶۸ آغاز و در سال ۱۳۷۸ طرح فوری- اضطراری فاضلاب، شامل شبکه جمع‌آوری و تصفیه‌خانه به پایان رسید. طول شبکه جمع‌آوری فاضلاب در حدود ۳۹۰ کیلومتر است که ظرفیت دریافت از

سیستم‌های تصفیه فاضلاب توسط لاگون، کارایی چندانی در کاهش غلظت جامدات معلق پساب ندارند. لاگون‌های هوادهی نوعی از سیستم‌های هوازی رشد معلق می‌باشند که با استفاده از هوادهی مصنوعی در یک حوضچه و فراهم نمودن شرایط رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها، تبدیل مواد زائد صورت می‌گیرد. دو نوع لاگون هوادهی وجود دارد:

۱) لاگون هوادهی که اکسیژن محلول و جامدات معلق درون حوضچه به طور یکنواخت توزیع می‌شود (CMAL)<sup>۱</sup>.

۲) لاگون هوازی- بی‌هوازی یا هوازی- اختیاری که اکسیژن در لایه بالایی سیال حوضچه تأمین می‌شود اما فقط بخشی از جامدات حوضچه در حالت معلق قرار دارد و مابقی ته‌نشین می‌شوند (PMAL)<sup>۲</sup>.

این فرایندها از نظر استفاده از زمین، ماشین‌آلات و تجهیزات، اجرا و بهره‌برداری و شوک‌پذیری بین واحدهای ساده مثل برکه‌های اختیاری و واحدهای کارآمد و فشرده‌تر مانند لجن فعال که از بازگشت لجن استفاده می‌کنند قرار می‌گیرند [۱ و ۲]. به منظور افزایش کیفیت پساب خروجی از لاگون‌ها، روشهایی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به فیلترهای شنی متناوب و فیلترهای سنگریزه‌ای اشاره نمود [۳].

صافیهای درشت دانه با جریان افقی (HRF)<sup>۳</sup> به صافیهایی اطلاق می‌شود که اندازه مؤثر دانه بستر آنها بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر باشد [۴]. در مقایسه با حوضهای ته‌نشینی، صافیهای درشت دانه کارآیی بالاتری در حذف جامدات دارند [۵]. صافیهای درشت دانه به عنوان مرحله پیش تصفیه جهت کاهش غلظت مواد جامد، میکروارگانیسم‌ها و مواد آلی به کار می‌روند، بستر شن و قلوه سنگ با هدف تأمین منطقه پایدار دارای جریان آرام به کار می‌رود [۶]. مواد معلق حین عبور جریان از میان بستر، روی سطوح جمع می‌شوند. برای حذف لجن تولید شده می‌توان از نیروی برشی جریان آب استفاده کرد. بستر صافی درشت دانه از مواد نسبتاً درشت با اندازه حدود ۴ تا ۲۵ میلی‌متر تشکیل می‌شود [۶، ۷ و ۸]. صافیهای درشت دانه به صورت چندلایه (معمولاً سه لایه) طراحی می‌شوند. اندازه دانه‌های صافی در ابتدای مسیر جریان، درشت و در انتهای مسیر ریزتر است. این نوع لایه‌بندی موجب افزایش ظرفیت جذب می‌شود. زیرا به جای انباشت جامدات جدا شده از جریان ورودی در ابتدای بستر، به علت وجود منافذ بزرگ‌تر در اولین لایه، این جامدات وارد اعماق بستر شده و

<sup>4</sup> Delft

<sup>5</sup> New Hampshire

<sup>6</sup> Wegelin

<sup>1</sup> Completed Mixed Aerated Lagoon

<sup>2</sup> Partial Mixed Aerated Lagoon

<sup>3</sup> Horizontal Roughening Filter

شکل بسته شد و سپس جوشکاری و عملیات نشت یابی روی آن صورت گرفت. برای جداسازی لایه‌های بستر از چهار دیواره مشبک (از جنس ورق گالوانیزه) استفاده شد.

با استفاده از مته تراشکاری، سوراخهایی به قطر ۴ میلی‌متر و تراکم ۴ سوراخ بر سانتی‌متر مربع در این چهار قطعه ورق ایجاد شد. سپس این دیواره‌ها با فواصل ۱/۶ و ۱/۳ متر از ابتدای صافی به بدنه جوش شدند. فاصله زهکشها در محفظه اول، دوم و سوم به ترتیب ۴، ۳۰ و ۲۰ سانتی‌متر بود. زهکشها عبارت بودند از بوشنهایی به قطر یک اینچ که به کف صافی جوش شده بودند. روی این زهکشها، دریچه‌های مشبک با سوراخهایی به قطر ۵ میلی‌متر و تراکم ۷ سوراخ بر سانتی‌متر مربع نصب شد.

در سومین زهکش هر محفظه یک پیزومتر جهت تعیین شیب هیدرولیکی جریان نصب شد. خروجی صافی از طریق یک لوله خرطومی به قطر یک اینچ به زهکش کف اتاق پمپاژ هدایت شد. شکل ۱ طرحی از پایلوت مورد استفاده در مطالعه را نشان می‌دهد. شست‌وشوی بستر صافی به صورت هیدرولیکی انجام شد. در این روش، شیر خروجی صافی بسته شده و اجازه داده می‌شد تا محفظه‌های صافی کاملاً از پساب پر شود. سپس دریچه‌های زهکش تعبیه شده در کف صافی به طور همزمان باز می‌شد. در نتیجه این کار نیروی برش هیدرولیکی باعث کنده شدن رسوبات از سطوح بسترها و خروج آنها از زهکشهای کف می‌گردید. راهبرد شست‌وشوی بستر صافی بر اساس تغییر افت فشار استوار بود. در ابتدای راه‌اندازی صافی، سطح پساب در ناحیه ورودی در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از سطح بستر قرار داشت. به تدریج با تجمع رسوبات در بستر، ارتفاع پساب در ناحیه ورودی افزایش می‌یافت تا آنجا که با بستر صافی هم سطح می‌شد. در این زمان عملیات شست‌وشوی بستر انجام می‌شد.

۴۰۰۰۰ مشترک را دارد اما در عمل حدود ۱۳۰۰۰ مشترک به شبکه متصل‌اند. تصفیه‌خانه فاضلاب شهر قم از فرایند لاگون هوادهی PMAL استفاده می‌کند و دارای ظرفیت اسمی ۲۸۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد که در زمان مطالعه دارای دبی ورودی حدود ۱۰۰ لیتر بر ثانیه بود که فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه از نوع شهری است. در زمان مطالعه متوسط COD ورودی ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و مقادیر TSS حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود.

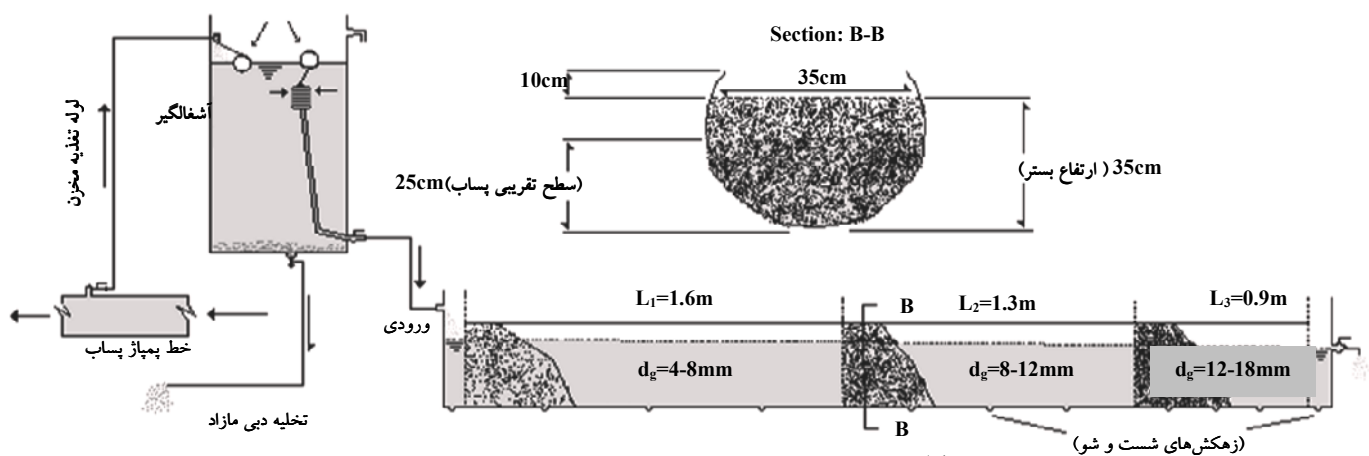
## ۲- مواد و روشها

راه‌اندازی سیستم از مهر ماه ۱۳۸۵ شروع شد. اجرای این پروژه حدود یازده ماه به طول انجامید و در شهریور ماه ۱۳۸۶ خاتمه یافت. طراحی و ساخت پایلوت حدود سه ماه به طول انجامید. پس از ساخت، پایلوت به تصفیه‌خانه فاضلاب قم انتقال داده شد و در آنجا عملیات نصب، تجهیز و راه‌اندازی<sup>۱</sup> سیستم با استفاده از پساب خروجی تصفیه‌خانه آغاز گردید. دوره نمونه‌برداری در سه نرخ فیلتراسیون از ۲۶ دیماه ۸۵ تا پایان اردیبهشت ۸۶ (مجموعاً ۱۳۴ روز) به طول انجامید.

### ۲-۱- ساخت و نصب پایلوت

پایلوت مورد استفاده در این پژوهش از نوع صافی درشت دانه با جریان افقی بود. این سیستم با توجه به رهنمودهای وولین که مورد پذیرش WHO است طراحی و ساخته شد [۶ و ۱۱]. دو قطعه ورق مورد نیاز در ساخت این پایلوت از جنس آهن غیر گالوانیزه به ضخامت ۳ میلی‌متر و به ابعاد ۲ در ۱/۵ متر بود. ورقها پس از عملیات نورد به شکل استوانه ناقص درآمده و در جهت طول به یکدیگر جوش شدند. ابتدا و انتهای آنها نیز با دو قطعه ورق دایره‌ای

<sup>۱</sup> Start Up



شکل ۱- شمایی از پایلوت استفاده شده در این مطالعه

بر اساس دستورالعمل E 9221 مندرج در کتاب روشهای استاندارد انجام شد. برای ارزیابی یکسانی و یکنواختی مقادیر ورودی و خروجی کل کلیفرم و کلیفرم‌های مدفوعی در سه نرخ ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ساعت، از آنالیز واریانس یک طرفه<sup>۱</sup> استفاده شد.

### ۳- نتایج

به دلیل نوسانات مقادیر ثبت شده در ابتدای نرخ فیلتراسیون ۰/۵ متر بر ساعت که به علت تخلیه غیر مجاز روغن سوخته توسط تانکرها به ورودی تصفیه‌خانه (روزهای هشتم و نهم در نرخ فیلتراسیون ۰/۵ متر بر ساعت) و ورود آن به پایلوت بود، ۱۷ داده پایانی این نرخ مورد بررسی قرار می‌گیرد. گستره این مقادیر در جدولهای ۱ و ۲ آمده است.

<sup>۱</sup> ANOVA

لازم به ذکر است که علت ممانعت از ایجاد جریان پساب در سطح بستر، اجتناب از ایجاد اتصال کوتاه بین ناحیه ورودی و خروجی و نیز جلوگیری از رشد جلبک بود. در پایان دوره‌های نمونه برداری نیز به منظور آماده سازی بستر برای نرخ فیلتراسیون بعدی عملیات شست و شو انجام می‌شد.

### ۲-۲- نمونه برداری و آزمایش‌ها

نمونه‌های مورد نظر در این بررسی از طریق برداشت روزانه و همزمان نمونه از ورودی و خروجی صافی به دست آمده است. نمونه‌های برداشت شده برای سنجش به آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قم منتقل شد.

عملیات نمونه برداری و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه با رعایت رهنمودهای کتاب روشهای استاندارد انجام شد. آزمایش کل کلیفرم بر اساس دستورالعمل B 9221 و آزمایش کلیفرم‌های مدفوعی

جدول ۱- میانگین، انحراف معیار و دامنه تغییرات کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های مدفوعی در ۱۲۶ نمونه ورودی به سیستم HRF

آزمایش	نرخ فیلتراسیون (m/h)	فراوانی	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
کل کلیفرم‌ها (MPN/100ml)*10 <sup>4</sup>	۰/۵	۱۷	۳۶۲	۳۸۶	۷	۱۶۰۰
	۱	۲۱	۴۰۵	۲۴۰	۷۹	۹۲۰
کلیفرم‌های مدفوعی (MPN/100ml)*10 <sup>4</sup>	۱/۵	۲۶	۴۹۰	۳۵۲	۱۴۰	۱۶۰۰
	۰/۵	۱۷	۱۸۶	۲۱۶	۵	۹۲۰
	۱	۲۱	۱۸۹	۱۰۷	۲۶	۵۴۰
	۱/۵	۲۶	۲۳۲	۱۸۵	۷۰	۹۲۰
	۱/۵	۲۶	۲۳۲	۱۸۵	۷۰	۹۲۰

جدول ۲- میانگین، انحراف معیار و دامنه تغییرات کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های مدفوعی در ۱۲۶ نمونه خروجی از سیستم HRF

آزمایش	نرخ فیلتراسیون (m/h)	فراوانی	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	کارایی حذف (درصد)
کل کلیفرم‌ها (MPN/100ml)*10 <sup>4</sup>	۰/۵	۱۷	۱۶	۱۷	۰/۱۶	۷۰	۹۶
	۱	۲۱	۵۱	۵۹	۸	۲۸۰	۸۷
کلیفرم‌های مدفوعی (MPN/100ml)*10 <sup>4</sup>	۱/۵	۲۶	۳۵	۲۷	۴	۱۱۰	۹۳
	۰/۵	۱۷	۹	۱۰	۲۳	۹۲۰	۹۵
	۱	۲۱	۱۸	۱۱	۰/۱۲	۵۴۰	۹۰
	۱/۵	۲۶	۲۲	۱۵	۰/۱۲	۹۲۰	۹۰

#### ۴- بحث

فاصله زمانی، یک بار افت کارایی مشاهده شد که ناشی از ورود روغن سوخته به تصفیه‌خانه بود (شکل ۳). داده‌های خروجی HRF در ۲۱ روز ابتدایی نرخ فیلتراسیون ۰/۵ متر بر ساعت صرف نظر از افت کارایی روز چهاردهم، نشان دهنده افزایش معنی‌دار کارایی حذف در طول این مدت است ( $P=0/017$ ). پس از این مدت، مقادیر خروجی تغییرات قابل ملاحظه‌ای نداشته و می‌توان سیستم را دارای عملکرد پایدار فرض نمود ( $P=0/074$ ).

مقایسه کلیفرم‌های مدفوعی خروجی در سه نرخ فیلتراسیون با استفاده از آنالیز کوواریانس و در نظر گرفتن داده‌های کلیفرم‌های مدفوعی ورودی به عنوان هم متغیر نشان دهنده افزایش معنی‌دار داده‌های خروجی با افزایش نرخ فیلتراسیون است ( $P=0/003$ ). میزان تأثیر مقادیر کلیفرم ورودی در این آزمون حدود ۱۴ درصد ارزیابی شده است ( $R^2=0/14$ ).

وجلین، حذف کل کلیفرم توسط HRF را در حالت عملکرد بهینه صافی، ۹۰ تا ۹۹ درصد گزارش داده است. در این مطالعه با توجه به شکل ۲، در حالت عملکرد بهینه در هر سه نرخ فیلتراسیون، میانگین حذف بیشتر از ۱ واحد لگاریتم به دست آمد که با یافته‌های وجلین مطابقت دارد. با توجه به جدول ۳ و شکل ۴ میانگین هندسی کل کلیفرم‌ها در پساب خروجی از HRF در هر سه نرخ فیلتراسیون فراتر از حدود استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران و رهنمودهای EPA می‌باشد [۱۲ و ۱۳]. بررسی‌های آماری توسط آزمون تی<sup>۳</sup> نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین کل کلیفرم‌های خروجی از HRF و استاندارد سازمان

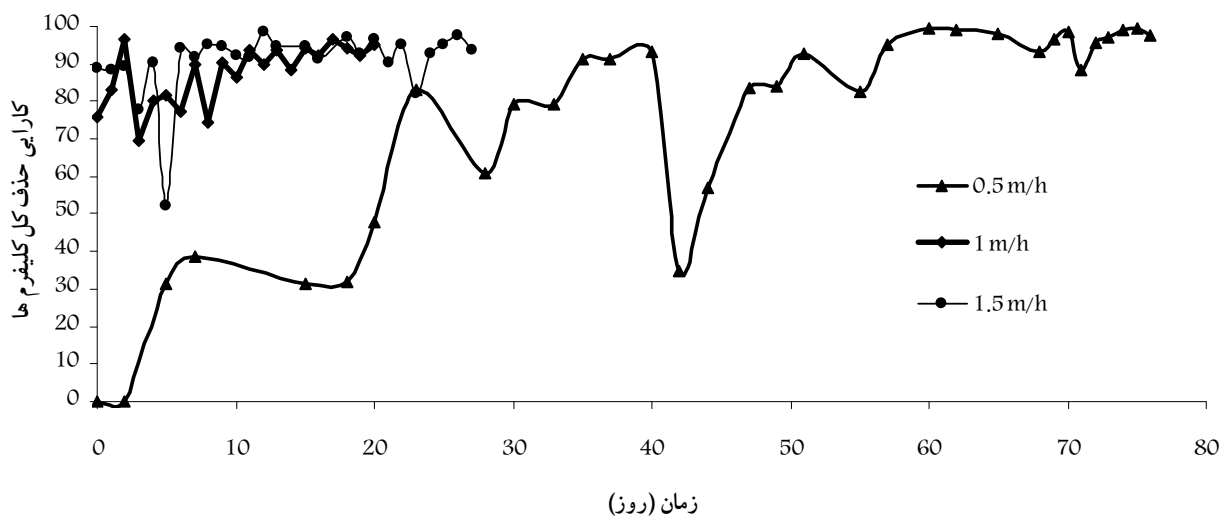
با توجه به شکل ۲، نرخ فیلتراسیون ۰/۵ متر بر ساعت که شروع کار صافی است با مقادیر حذف کمتر از ۰/۵ واحد لگاریتم آغاز شد و به تدریج در روزهای بعد، مقادیر حذف افزایش یافت، به طوری که پس از گذشت ۲۲ روز از شروع عملیات، به ۲/۳ واحد لگاریتم رسید. به جز نوساناتی که در ۲۱ روز ابتدایی فیلتراسیون مشهود بود، مقادیر کل کلیفرم‌های خروجی، از اواسط این دوره تغییرات قابل توجهی نداشت. دو نرخ فیلتراسیون ۱ و ۱/۵ متر بر ساعت با حذف حدود ۰/۵ تا ۱ واحد لگاریتم آغاز شد که قابل توجه بود. بعد از ۱۰ روز اول نمونه‌برداری، با صرف نظر از ۱۹ روز آغازین نرخ فیلتراسیون ۰/۵ متر بر ساعت، مقادیر ثبت شده نوسانات چندانی نداشت و صافی در هر سه نرخ، کارایی حذف ۶۰ تا ۸۵ درصد را نشان داد.

مقایسه کل کلیفرم خروجی در سه نرخ فیلتراسیون با استفاده از آنالیز کوواریانس<sup>۱</sup> و در نظر گرفتن داده‌های کل کلیفرم ورودی به عنوان هم متغیر<sup>۲</sup> نشان دهنده افزایش معنی‌دار داده‌های خروجی با افزایش نرخ فیلتراسیون است ( $P=0/025$ ).

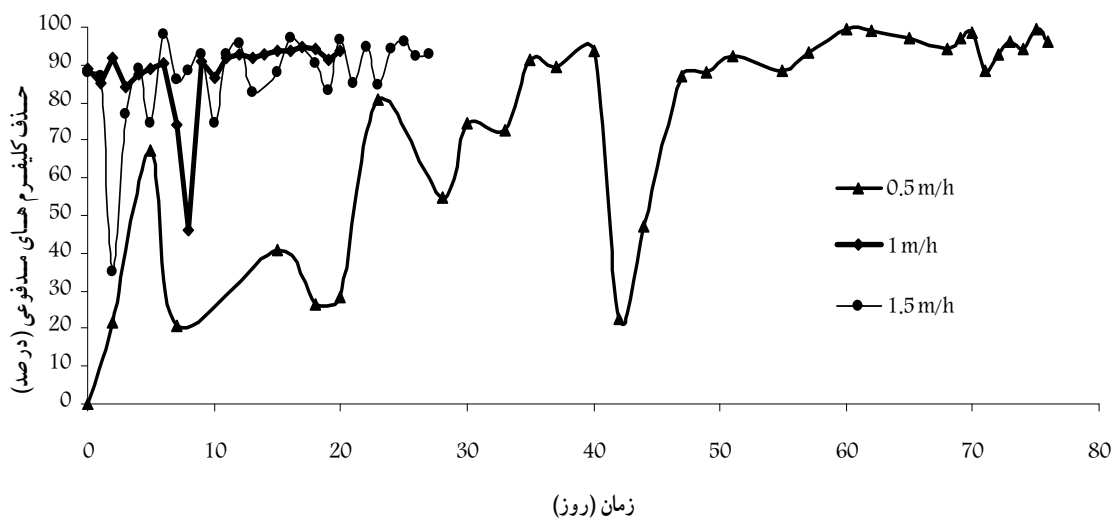
مطالعه عملکرد HRF در حذف کلیفرم‌های مدفوعی در سه نرخ فیلتراسیون ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ساعت انجام شد. نتایج بررسی کارایی حذف کلیفرم‌های مدفوعی در نرخ فیلتراسیون ۰/۵ متر بر ساعت نشان داد که در ۷ روز ابتدایی فیلتراسیون، کارایی حذف کمتر از ۰/۵ واحد لگاریتم بود که با گذشت زمان و پس از سه هفته، این کارایی به بیش از ۲ واحد لگاریتم رسید. البته در این

<sup>3</sup> T-test

<sup>1</sup> ANCOVA  
<sup>2</sup> Covariate



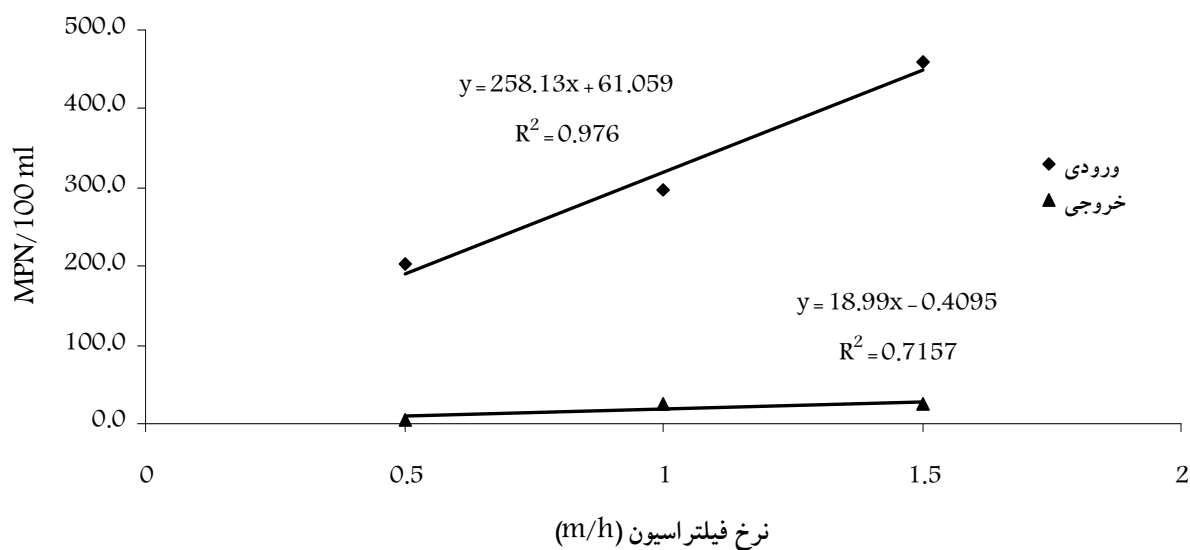
شکل ۲- تغییرات کارایی حذف کل کلیفرم در سه نرخ فیلتراسیون



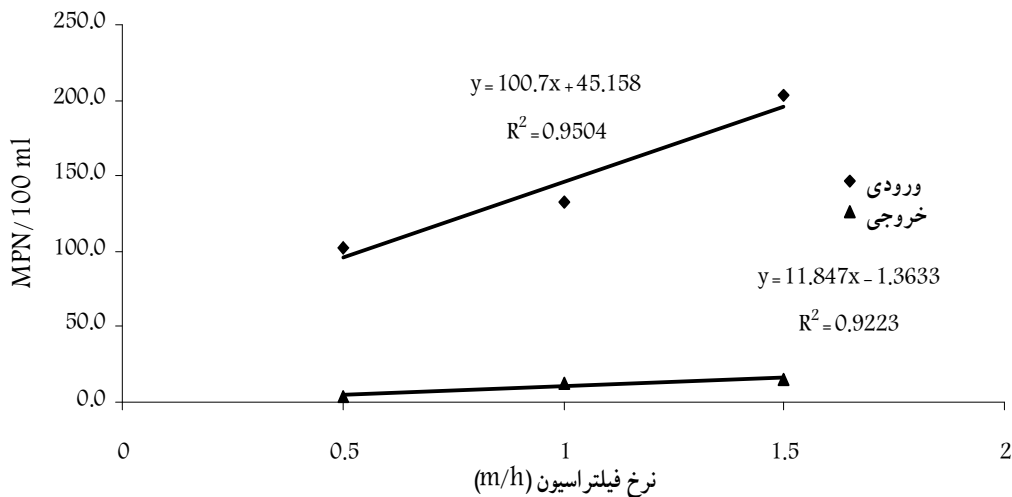
شکل ۳- تغییرات کارایی حذف کلیفرم های مدفوعی در سه نرخ فیلتراسیون

جدول ۳- استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست برای دفع فاضلاب و استفاده مجدد [۱۲]

آلاینده	تخلیه به آبهای سطحی	تخلیه به چاه جذب	مصارف آبیاری کشاورزی
TSS	۴۰ (لحظه ای ۶۰)	-	۱۰۰
pH	۸/۵ تا ۶/۵	۹ تا ۵	۸/۵ تا ۶
کدورت (NTU)	۵۰	-	۵۰
کل کلیفرم (MPN)	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
کلیفرم مدفوعی (MPN)	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
COD (mg/L)	۶۰ (لحظه ای ۱۰۰)	۶۰ (لحظه ای ۱۰۰)	۲۰۰



شکل ۴- مقایسه میانگین های کل کلیفرم ورودی و خروجی HRF در نرخهای مختلف فیلتراسیون



شکل ۵- مقایسه میانگین‌های کلیفرم‌های مدفوعی ورودی و خروجی HRF در نرخهای فیلتراسیون مختلف

انجام عمل گندزدایی متعاقب آن در نظر گرفته شود. به دلیل بار میکروبی زیاد در پساب خروجی لاگون‌های هوادهی در مقایسه با آبهای سطحی، با وجود اینکه HRF در عملکرد بهینه، حدود ۹۰ درصد جمعیت میکروبی را کاهش می‌دهد اما قادر به احراز شرایط استاندارد میکروبی پساب نیست. در واقع عملکرد اصلی HRF کاهش جامدات معلق پساب و تولید ورودی مناسب برای واحد گندزدایی است.

اگرچه عملکرد مطلوب HRF به نرخهای فیلتراسیون کمتر از ۱/۵ متر بر ساعت محدود می‌شود و این صافیها هنوز دارای سیستم شست‌وشوی کارآمدی نیستند، اما مزایای قابل توجهی چون عدم محدودیت در طول به دلیل ساختار افقی، عدم نیاز به وسائل و تجهیزات پیچیده و گرانتقیمت، راهبری آسان و بهره‌مندی از مصالح محلی دارند. به نظر می‌رسد با توجه به صرفه اقتصادی، این سیستم‌ها گزینه مناسبی در بهبود کیفیت پساب سیستم‌های تصفیه کوچک باشند. پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده، سیستم صافی درشت دانه با جریان افقی با تزریق پیوسته گندزدا در ورودی آن مورد بررسی قرار گیرد.

#### ۶- قدردانی

این تحقیق در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد و با حمایت مالی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران به انجام رسید. لذا بدین وسیله از زحمات همه مسئولان محترم حوزه پژوهشی تشکر می‌گردد. ضمناً از ریاست محترم دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قم و مسئولان و کارمندان شرکت آب و فاضلاب شهری قم نیز تقدیر و تشکر می‌شود.

حفاظت محیط زیست به منظور تخلیه به آبهای سطحی و آبیاری کشاورزی وجود دارد ( $P < 0.001$ ). بنابراین به کارگیری مستقیم آن برای مصارف شهری و کشاورزی توصیه نمی‌شود، مگر اینکه مرحله گندزدایی متعاقب آن در نظر گرفته شود.

با توجه به شکلهای ۳ و ۵، در این مطالعه در حالت عملکرد بهینه، میانگین حذف ۰/۷ تا ۲ واحد لگاریتم صفر برای کلیفرم‌های مدفوعی در هر سه نرخ فیلتراسیون، به دست آمد که با یافته‌های وجلین مطابقت دارد. با توجه به جدول ۳ و شکل ۵، میانگین هندسی کل کلیفرم‌ها در پساب خروجی از HRF در هر سه نرخ فیلتراسیون فراتر از حدود استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست و رهنمودهای EPA می‌باشد [۱۲ و ۱۳].

بررسی‌های آماری توسط آزمون تی نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین کلیفرم‌های مدفوعی خروجی از HRF و استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران به منظور تخلیه به آبهای سطحی و آبیاری کشاورزی وجود دارد ( $P < 0.001$ ). بنابراین به کارگیری مستقیم آن برای مصارف شهری و کشاورزی توصیه نمی‌شود، مگر اینکه مرحله گندزدایی متعاقب آن در نظر گرفته شود.

#### ۵- نتیجه گیری

با توجه به اینکه پساب خروجی سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی با شرایط راهبری ضعیف، خصوصاً لاگون‌های هوادهی، حاوی مقادیر بیش از حد مواد آلی، جامدات معلق و کدورت می‌باشد، لذا استفاده از سیستم HRF عملکرد خوبی در تولید پساب با شرایط مناسب خواهد داشت. البته این امر در صورتی است که تمهیدات لازم برای

- ۱- واعظی، ف. (۱۳۷۶). "انتخاب روش مناسب تصفیه و دفع فاضلابهای صنعتی." نشریه شماره ۲۱۵۷، انتشارات علمی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران.
- 2- Karia, G. L., and Christian, R. A. (2004). *Wastewater treatment*, Prentice Hall, New Delhi.
- 3- Crites, R., and Tchobanoglous, J. (1998). *Small and decentralized wastewater management systems*, 2<sup>nd</sup> Ed., McGraw-Hill, New York.
- ۴- احمدی مقدم، م. (۱۳۸۲). "بررسی راهکارهای مواجهه با کدورت‌های فصلی در تصفیه‌خانه‌های آب." پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.
- 5- Crittenden, J. C., Rhodes, R., Hand, D. W., How, K. J., and Tchobanoglous, G. (2005). *Water treatment, principles and design*, 2<sup>nd</sup> Ed., John Wiley and Sons, New York.
- 6- Wegelin, M. (1996). *Surface water treatment by roughing filtration: a design construction and operation manual*, SANDEC, Report No:02/96.
- ۷- عظیمی، ع. ا.، و زمانزاده، م. (۱۳۸۲). "تصفیه آبهای سطحی در کشورهای در حال توسعه، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۸- سرومیلی، م. (۱۳۸۴). "بهبود کیفیت فاضلاب تصفیه شده برای مصارف شهری غیر شرب با استفاده از فیلتراسیون درشت دانه با جریان افقی." پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.
- 9- Collins, M. R. (1991). "Evaluating modifications to slow sand filters." *J. AWWA.*, 83(9), 62-70.
- ۱۰- طباطبایی فرد، ن. (۱۳۸۰). "بررسی کارایی صافیهای درشت دانه در حذف کدورت و تخم انگل از آبهای سطحی." پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.
- 11- Wegelin, M. (2001). *Information and training for low-cost water supply and sanitation, Participants' note*. UNDP-world bank water and sanitation program, Report No. 4,5.
- ۱۲- قانعیان، م. ت.، مصداقی نیا، ع. و احرامپوش، م. ح. (۱۳۸۰). "مبانی استفاده مجدد از فاضلاب، کلیات، روشها، استانداردها و مخاطرات بهداشتی، انتشارات طب گستر.
- 13- United States Environmental Protection Agency. (1992). *Guideline for water reuse, Technology transfer manual*, EPA, Office of research and development, 625/R-92/004., Washington, D.C.