سال چهارم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۶، صفحات ۳۱ تا ۳۶
نشریه آب و توسعه پایدار

2017, Vol.4, No.1, Pages 31 to 36
Journal of Water and Sustainable Development

بررسی پالایش آب‌های زیرزمینی از آلاینده‌های ویروسی با استفاده از ستون خاک رس در مدل آزمایشگاهی

مریم اسقائی[۱*]، امیرحسین خدایاری[۲]

۱- دانشیار گروه ویروس‌شناسی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران. ۲- دانش‌آموخته کارشناس‌ارشد، گروه مهندسی عمران خاک، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: maryam.esghaei@gmail.com)
تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۲۵
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۲۳

چکیده

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع اصلی آب آشامیدنی در ایران هستند و جلوگیری از آلودگی آنها نقش مهمی در سلامت و بهداشت عمومی دارد. این منابع بواسطه نشت فاضلاب‌ها همواره در معرض آلودگی با آلاینده‌های میکروبی به ویژه ویروس‌های بیماری‌زا قرار دارند. در سال‌های اخیر، مدلسازی صافی[۱]های جاذب ویروس به عنوان یک موضوع مورد علاقه محققین مطرح است. در این تحقیق روتاویروس[۲] به عنوان یک نمونه از ویروس‌های بیماری‌زا بررسی شد و عبور ویروس از خاک رس آمیخته با سه محلول قلیایی سدیم هیدروکسید، کربنات کلسیم و آلومینیوم هیدروکسید، جداگانه مورد مطالعه قرار گرفت. عیار ویروس با محاسبه آسیب‌دیدگی پنجاه درصد سلول‌ها اندازه‌گیری شد و هدایت الکتریکی و pH نیز برای تعیین پارامترهای جذب بررسی گردید. یافته‌ها نشان داد که استفاده از صافی‌های خاک در تابعی از زمان و شرایط شیمیایی بطور معنی‌داری سبب کاهش عیارسنجی[۳] ویروس‌ها می‌گردد. نگهداشت ویروس در pH قلیایی و قدرت یونی بالاتر مطلوب بوده و بیشترین حذف ویروس به ستون خاک رس-کربنات کلسیم نسبت داده شد. براساس نتایج این بررسی کاربرد صافی‌های خاک رسی- آهکی در بهسازی چاه‌های آب و حذف یا کاهش ویروس‌های بیماری‌زای موجود در فاضلاب مؤثر و قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، آلودگی‌های ویروسی، خاک رس، روتاویروس.

Study of Refinement of Groundwaters of Viral Contaminants Using Clay Column in a Laboratory Model

M. Esghaei[1*], A.h. Khodayari[2]

1- Associate Professor, Department of Virology, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. 2- M.Sc., Department of Civil, Islamic Azad university of Tabriz, Tabriz, Iran.

*(Corresponding Author Email: maryam.esghaei@gmail.com)
Received: 16-12-2015
Accepted: 12-04-2017

Abstract

Groundwater and aquifers are the major sources of drinking water in Iran. Water pollution prevention plays a key role in the public health. They have the potential to become contaminated with pathogenic microorganisms from wastewater and leaking sewage pipes. The transport of viruses in absorbent media as a filter has been a subject of great interest in recent years. We studied the transport of rotavirus, used as surrogate pathogenic viruses, through the clay mixed with three various alkaline solutions; Sodium hydroxide, calcium carbonate and aluminum hydroxide. TCID50 method (50% Tissue Culture Infective Dose) was used for Virus titration the electrical conductivity and pH parameters were also investigated. The experimental data were fitted with a transport model to determine the adsorption parameters. Using soil filters at a given time and under certain chemical conditions significantly reduced titration of viruses. At alkaline pH and higher ionic strength, rotavirus was retained significantly by attachment to the solid–water interfaces due to electrostatic interactions. A high initial removal can be ascribed to Calcareous clay column. To conclude, pH and ionic strength seem to be the major factors determining attachment of the virus to the soil grains. It is recommended to use Calcareous clay column to improve wells for reducing pathogenic viruses in water.

Keywords: Groundwater, Viral contaminants, Clay, Rotavirus.

DOI: 10.22067/jwsd.v4i1.52220

مقدمه

انتقال میکروارگانیسم‌های عامل بیماری‌زا[۴] به آب‌های زیرزمینی از مسائل بسیار مهم زیست‌محیطی است که می‌تواند در سطحی وسیع سبب شیوع بیماری شود (مهرآوران و اسماعیلی، ۱۳۹۳). امروزه استفاده از کودهای دامی و فاضلاب‌ها در زمین‌های کشاورزی به منظور افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی آن، افزایش یافته است ولی نکته حائز اهمیت این است که کاربرد نادرست آنها باعث آلودگی و کاهش کیفیت آب سطحی و زیرزمینی شده و در نتیجه سلامت عمومی و زیست‌محیطی را به خطر انداخته است (جوانی و همکاران، ۱۳۹۴). معمول‌ترین شکل بیماری وابسته به آب، بویژه آن شکلی که سبب آسیب بیشتری در مقیاس جهانی می‌گردد، شامل بیماری‌هایی است که با آب آلوده به ادرار و مدفوع انسانی، منتقل می‌شوند (Melnick و همکاران، ۱۹۸۷). از عمده‌ترین بیماری‌های این دسته حصبه، وبا، هپاتیت‌های مسری، اسهال ویروسی و غیره هستند (Kocwa-Haluch و Zalewska ، ۲۰۰۲) که بروز آنها بطور همزمان، بین افرادی که از یک منبع آب استفاده کرده‌اند، مشخص می‌شود (WHO، ۲۰۱۱). روتاویروس‌ها بعنوان یکی از عوامل بیماری‌زای مهم ایجادکننده بیماری‌های اسهالی بشمار می‌روند و جزء خانواده رئوویریده[۵] طبقه‌بندی می‌شوند (Bridger و Pocock، ۱۹۸۶). در کشورهای در حال توسعه، روتاویروس‌های موجود در میان ویروس‌های قابل انتقال از طریق آب عامل بیشترین تلفات شناخته‌شده‌ی حاصل از التهابات معده و روده هستند. سویه[۶]های متعددی از روتاویروس‌ها در جهان پراکنده‌اند و عامل اسهال‌های شدید حاصل از آب در کودکان و بزرگسالان به شمار می‌آیند. ویروس‌ها در آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی فاضلاب‌های تیمار شده، رسوبات فاضلاب و همچنین در آب‌های آشامیدنی شناسایی شده‌اند. لازم به ذکر است که میزان دفع روتاویروس‌ها از افراد بیمار بسیار زیاد است؛ هر چند که در زمان ورود به آب و فاضلاب بسیار رقیق می‌شوند و غلظت آن‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین حضور این ویروس‌ها در فاضلاب نشان‌دهنده قابل انتقال بودن این ویروس‌ها از طریق آب می‌باشد (عمویی و یحیی‌پور، ۱۳۸۵). برای پیش‌بینی دقیق انتقال آلاینده‌های ویروسی در خاک و تعیین خطر آلودگی منابع آب، مدل‌هایی لازم است که بتوانند وضعیت انتقال، نگهداشت و غیرفعال شدن این آلاینده‌ها را با تخمینی مناسب برآورد کنند. گام نخست در مدلسازی انتقال ویروس در خاک، شناسایی سازوکارها و فاکتورهای موثر بر جذب و انتقال آن در خاک است. در گام بعدی بایستی این سازوکارها و فاکتورها به صورت کمی بیان شوند. شایان ذکر است که ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاك و همچنین بار ویروس، بر جذب و انتقال آن در خاك موثرند (Torkzaban و همکاران، ۲۰۰۶).

اندازه عوامل بیماری‌زا نقش مهمی را در انتقال آنها در خاك بر عهده دارد. در بین انواع میکروارگانیسم‌های قابل انتقال در خاك مطالعه حرکت و چگونگی حرکت ویروس‌ها در خاك به دلیل اندازه کوچك‌تر آنها با مشکلات بیشتری همراه است (Doran و Zeiss، ۲۰۰۰) .از آنجا که در صنعت تصفیه آب و فاضلاب کاربرد صافی یا صافی‌های شنی - خاکی به عنوان اولین مرحله تصفیه متعارف بوده و در سامانه‌های تصفیه مورد استفاده قرار می‌گیرند، انگیزه ساخت ستون‌های شنی یا خاکی در حول محور چاه‌ها و سفره‌های آب زیرزمینی جهت جذب ناخالصی‌های معلق و آلاینده‌های میکربی همواره مد نظر محققین بوده است (قلی‌پور و علامتیان، ۱۳۹۴). از طرفی در این صافی‌ها با عبور مایع از درون بستر، مواد معلق و ذرات ریز در بین خلل و فرج بستر باقی می‌مانند و آب زلال خارج می‌گردد (Sobsey و همکاران، ۱۹۸۰). در ساختن صافی مهم‌ترین قسمت، انتخاب ماده جاذب است .در مطالعه حاضر این ماده جاذب بایستی برای حذف ویروس‌های بیماریزای موجود در فاضلاب واکنش‌پذیر باشد. این مطالعه به منظور طراحی مقدماتی مدل‌سازی صافی‌های شنی–خاکی برای حذف یا کاهش ویروس‌های بیماری‌زا از فاضلاب‌ها در قالب یک پروژه آزمایشگاهی انجام گرفته است.

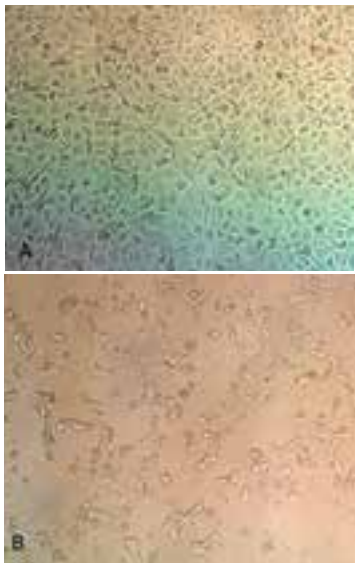
روش بررسی

• ویروس و سلول

از آنجا که طبق گزارشات مرکز کنترل و پیشگیری از بیماری‌های ایالات متحده (CDC)[۷] روتاویروس به عنوان شاخص آلودگی ویروسی آب چاه‌ها به شمار می‌آید، در این پژوهش، روتاویروس به عنوان مدل شاخص آلودگی‌های ویروسی آب مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از سویه SA11[۸] استفاده شد که از بانک ویروس موجود در دانشکده ویروس‌شناسی دانشگاه علوم پزشکی ایران انتخاب گردید. ویژگی برجسته این ویروس‌ها فاقد پوشش بودن و اندازه حدود ۸۰ الی ۱۰۰ نانومتری آنها می‌باشد (Fuchs، ۲۰۱۵). دودمان سلولی BSC-1 (بانک سلولی انستیتو پاستور، تهران، ایران) برای تکثیر روتاویروس استفاده گردید. به این ترتیب که ابتدا سلول‌ها را در محیط کشت DMEM[۹] حاوی ۱۰٪ سرم جنین گاوی پاساژ داده، پس از گذشت ۲۴ ساعت و پرشدن کامل سطح فلاسک، تک لایه سلولی مناسب برای تلقیح ویروس آماده گردید.

• تلقیح روتاویروس به سلول BSC-1 و تکثیر ویروس

سویه روتاویروس SA11 به کشت تک لایه سلول‌های BSC-1 تلقیح گردید، فلاسک در انکوباتور[10] ۳۷°C به مدت یک ساعت قرار داده شد تا مراحل اتصال ویروس انجام پذیرد و ۴۸ ساعت بعد، اثر آسیب سلولی (CPE)[11] روتاویروس ظاهر گردید.



شکل ۱ – رده سلولی BSC-1 قبل از تلقیح ویروس(A). آسیب سلولی ناشی از تکثیر روتاویروس(B).

• تهیه سوسپانسیون ویروس و سنجش عیار آن به روش TCID50[13]

بعد از تلقیح روتاویروس و مشاهده آسیب سلولی، با استفاده از یک پاروی سلولی[13] سلول‌ها را از فلاسک کشت سلول جدا کرده و در بافر محلول نمکی فسفات استریل سوسپانسه گردید. مقدار ویروس در واحد میلی‌لیتر که توان ایجاد اثرات مرگ سلولی را در ۵۰٪ از سلول‌های تلقیح شده داشته باشد، TCID50 می‌گویند که در این مطالعه با استفاده از روش تیتراسیون رید-مانچ (Reed و Muench، ۱۹۸۳) تعیین گردید. برای انجام دادن این تست از میکروپلیت‌های ۹۶ خانه‌ای استریل استفاده شد؛ به این ترتیب که در هر چاهک میکروپلیت، مقدار ۱۰۰ میکرولیتر سوسپانسیون (حاوی ۱۰ هزار سلول در محیط کشت DMEM و ۱۰٪ سرم گاوی) افزوده شد و پس از ۴۸ ساعت نگهداری در انکوباتور، تك لایه سلولی تشکیل شد. سپس هر چاهك با محیط تازه شستشو داده شد و از رقت‌های 10^{-4} تا 10^{-7} ویروس استفاده گردید؛ بطوری که برای هر رقت ویروسی ۴ چاهك در نظر گرفته شد. پس از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت در انکوباتور ۳۷°C علائم سیتوپاتوژنیك در چاهك‌ها بررسی و یادداشت شد. سپس با استفاده از فرمول تیتراسیون رید-مانچ تیتر ویروس محاسبه گردید.

• آماده‌کردن ستون‌های خاک رس به عنوان مدل صافی

ریشه لغوی رس در لاتین Clay می‌باشد. ذرات خاک رس معمولاً با اندازه کوچکتر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر تعریف می‌شوند. نمونه خاک استفاده شده در این آزمایش از نوعی رس به نام ایلیت یا مونت موریونیت (شرکت لیکا - ساوه، ایران) تهیه گردید. از آنجا که لازم است برای ساخت صافی، میزان مواد جاذب در سرتاسر صافی یکسان باشد، از لوله‌های پلی‌اتیلن به ارتفاع یکسان استفاده شد. این لوله‌های پلی‌اتیلن ۱۲ عدد به ارتفاع ۱۰ و قطر ۲ سانتی‌متر انتخاب شده بودند که هر کدام به ارتفاع ۱ سانتی‌متر با خاک رس پر شدند. سپس در انتهای هر لوله سه سوراخ با فواصل منظم و مساوی به منظور خروج یکنواخت زه آب ایجاد شد.

• اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی خاک

ابتدا مقدار ۲ گرم از نمونه خاک در یک بشر کوچک وزن شد، سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید و مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه به آرامی هم زده شد. سپس با استفاده از الکترودهای دستگاه pH متر میزان pH هر نمونه اندازه‌گیری گردید. از طرفی هدف از اندازه‌گیری EC تعیین مقدار یون‌های موجود در محلول خاك و اثرات نمك‌ها بر ساختار خاك می‌باشد. هدایت الکتریکی (EC)[14] خاک نماینده میزان املاح موجود در محلول خاک می‌باشد (Torkzaban و همکاران، ۲۰۰۶). هدایت الکتریکی توسط دستگاه هدایت‌سنج[15] بر حسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر (µS/cm) اندازه‌گیری شد. محلول سوسپانسیون تهیه شده در مرحله قبل صاف گشت و هدایت الکتریکی محلول شفاف اندازه‌گیری شد.

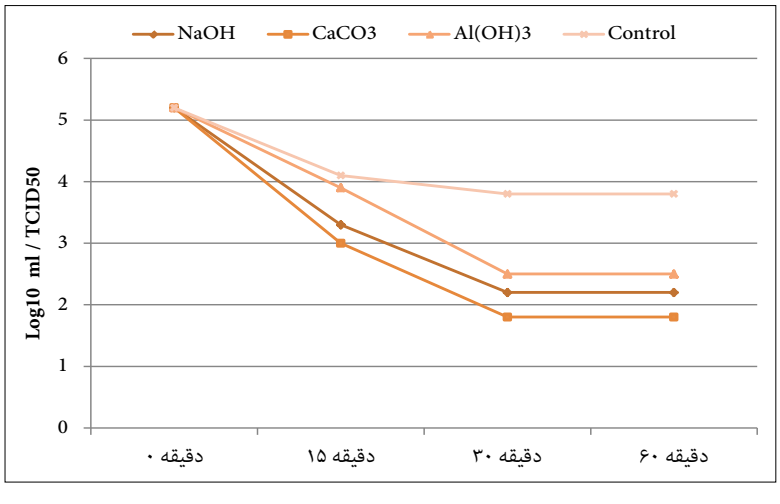
به هر کدام از لوله‌های پلی‌اتیلن حاوی خاک رس تهیه شده در مرحله قبل، بصورت دسته‌بندی ۳ تایی، ۳ میلی‌لیتر از محلول یک مولار مواد قلیایی سدیم هیدروکسید، کربنات کلسیم و آلومینیوم هیدروکسید اضافه گردید. کنترل نیز حاوی ستون خاک رس بدون هر گونه محلول قلیائی اضافی بود. یک روز پس از اضافه نمودن املاح قلیایی و خشک‌شدن سطح ستون‌های خاک، به میزان ۵ میلی‌لیتر از سوسپانسیون ویروسی با تیتر معین ۵/۲-۱۰ اضافه گردید. زه آب حاصل شده بعد از ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه در لوله‌های جداگانه جمع‌آوری شد. سپس هر لوله، جداگانه برای اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی و تیتر ویروس مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها

میانگین مقدار تیتر ویروس در سه ستون خاکی مورد نظر در جدول (۱) آمده است. نتایج این آزمایش نشان داد با افزایش مقدار قدرت یونی، تیتر ویروس کاهش و بنابراین مقدار جذب ویروس افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش جذب ویروس با افزایش درجه قلیائی بودن را می‌توان در بار مناسب این کانی برای جذب ویروس جستجو کرد. البته در فرآیند جذب، ابتدا تیتر ویروس در فاز مایع با گذر زمان کاهش یافت، اما پس از مدتی کوتاه به یک مقدار ثابت رسید. پس از محاسبه تیتر ویروس در زه‌آب‌های جمع‌آوری شده در زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه به روش تیتراسیون TCID50 مشاهده گردید پس از ۳۰ دقیقه، تغییرات ثابت شد، به عبارتی زمان رسیدن به تعادل ۳۰ دقیقه بدست آمد (شکل ۲).

جدول ۱- میانگین تغییرات تیتر ویروس پس از عبور از ستون‌های خاک

زه‌آب جمع‌آوری شده		تیتر اولیه	میانگین تیتر ویروس زه‌آب‌ها در زمان جمع‌آوری		
		ml / TCID50 Log10			
سری ستون‌های Triplicate	تیمار شده با محلول قلیایی	۰ دقیقه	۱۵دقیقه	۳۰ دقیقه	۶۰ دقیقه
شماره ۱	NaOH	۵/۲	۳/۳	۲/۲	۲/۲
شماره ۲	CaCO3	۵/۲	۳/۰	۱/۸	۱/۸
شماره ۳	Al(OH)3	۵/۲	۳/۵	۲/۵	۲/۵
کنترل	_	۵/۲	٤/۱	۳/۸	۳/۸



شکل ۲- تغییرات تیتر ویروس پس ازعبور از ستون‌های خاک در تابع زمان

کلیه عملیات آماری در نرم‌افزار SPSS ۱۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و سطح معنی‌داری آزمون‌ها P<۰/۰۵ در نظر گرفته شد. متغیر تیمار[۱۶] با محلول قلیایی به عنوان فاکتور بین گروهی و متغیر زمان به عنوان فاکتور داخل گروهی تعریف شدند.
آزمون Mauchly برابری واریانس‌ها را نشان داد و بنابراین با فرض واریانس‌های همسان از آنالیز Repeated measures استفاده کردیم. سپس آزمون‌های تعقیبی Post Hoc Tests و Tukey's HSD تمام تریتمان‌ها را با هم و با کنترل مقایسه نموده و خروجی آنالیزها تفاوت‌های معنی‌داری را در داخل هر گروه تریتمان شده و همچنین بین گروه‌ها نشان داد و معنی‌دار بودن این اختلاف در مورد ستون خاک رسی-آهکی (CaCO3) از سایر تریتمان‌ها بیشتر بود.

بحث و نتیجه‌گیری

ترکیبات قلیایی در خاک می‌تواند از طرق مختلف بر جذب و انتقال ویروس در آن تأثیرگذار باشد. رسوب نمک‌های قلیا در منافذ خاک باعث افزایش قدرت یونی و سبب افزایش جذب ویروس‌ها به ذرات خاک می‌شود. انتقال ویروس ضروری است (Torkzaban و همکاران، ۲۰۰۶). کانی‌های رس که دارای بار منفی بیشتری هستند توانایی کمتری برای جذب عوامل بیماری‌زا دارند (Schijven و Hassanizadeh، ۲۰۰۲). غلظت املاح با تأثیر بر فشرده شدن لایه‌های خاک سبب افزایش جذب سطحی عوامل بیماری‌زا به خصوص ویروس‌ها می‌شود (Fauriel وLalouiz، ۲۰۱۲). کاتیون‌های چند ظرفیتی هم به عنوان پلی بین ذره خاك و میکروارگانیسم‌ها عمل کرده و باعث کاهش حرکت عوامل بیماری‌زا در خاك می‌شوند (El-Senousy و همکاران، ۲۰۱۴). علاوه بر این کاتیون‌های چند ظرفیتی باعث گردآوری و تجمع ذرات میکروارگانیسم‌ها به یکدیگر شده و باعث محبوس شدن آنها در بین فضاهای خالی و ذرات خاك می‌گردند (Ragland و Coleman، ۱۹۶۰) .با توجه به مطالعات قبلی (Lin و Coleman، ۱۹۶۰) به عنوان مثال استفاده کلرید آلومینیوم به غلظت ۰/۱ میلی‌مول در زه آب باعث جلوگیری از نفوذ ویروس‌ها به عمق بیش از ۴۰ سانتی‌متری می‌شود (Schijven و Hassanizadeh، ۲۰۰۰). استفاده از فسفات‌های کلسیم و سولفات آهن نیز آثار مشابهی را به دنبال دارد. دانشمندان انتقال این ویروس‌ها را در ستون‌های شن که ذرات آن دارای پوشش اکسید آلومینیوم بودند، مطالعه کردند. نتایج Linو Coleman (۱۹۶۰) نشان داد که ۳۴ درصد ویروس‌های MS به شکل برگشت‌ناپذیر جذب یا غیرفعال شدند. اصولاً جذب پرتون باعث تغییر تعادل یونیزانسیون و در نتیجه تغییر pH خاک می‌گردد (Tufenkji، ۲۰۰۷). نتایج پژوهش ما نیز نشان داد که با افزایش مقدار کاتیون‌ها مقدار جذب افزایش می‌یابد. از آنجا که کاتیون دارای بار موافق برای جذب ویروس می‌باشد، لذا ویژگی جذب سریع و پالایش ویروس را می‌توان به کربنات کلسیم خاک‌های قلیایی مورد مطالعه نسبت داد.

هدف اصلی این پژوهش مطالعه کمی نقش ترکیبات قلیایی بر جذب ویروس‌ها در خاك و تعیین مدل برآوردکننده پالایش ویروس در صافی خاکی بود. نتایج آزمایش جذب ویروس با استفاده از تیتراسیون نشان داد که کاربرد صافی خاك باعث افزایش معنی‌دار جذب ویروس در زه آب خروجی می‌شود که در اینجا سازوکارهای احتمالی همچون جذب، رسوب و تبادل یونی زه آب حاصله مطرح است. در نهایت می‌توان گفت که کاربرد صافی‌های خاک رسی-آهکی در حذف یا کاهش ویروس‌های بیماری‌زای موجود در فاضلاب مؤثر و قابل توصیه می‌باشد. پیشنهاد می‌گردد جهت بهسازی دهانه چاه و محافظت چاه یا چشمه از ورود آب‌های سطحی آلوده، در مناطق نزدیک به فاضلاب‌های دفعی موجودات زنده، اطراف دیواره‌های چاه را با خاک رس کوبیده و تیمارشده با مواد قلیایی به ویژه آهک، به قطر چند میلی‌متر بپوشانند تا از نفوذ آلاینده‌های ویروسی به داخل آنها جلوگیری شود.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از کارکنان گروه ویروس‌شناسی در دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی ایران و گروه مهندسی عمران خاک در دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی تبریز به دلیل حمایت‌های علمی و آزمایشگاهی کمال امتنان را دارند.

پی‌نوشت

1- Filter
2- Rotavirus
3- Titration
4- Pathogen
5- Reoviridae
6- strains of viruses
7- Centers for Disease Control and Prevention
8- Simian Rotavirus
9- Dulbecco's Modified Eagle Medium
10- incubator
11- Cytopathic effect
12- 50% Tissue Culture Infective Dose
13- cell scraper
14- Electric Conductivity
15- Conductometer
16- treatment

منابع

مهرآوران، ب. و اسماعیلی، ک. ۱۳۹۳. رویکرد جدید در کاهش طعم و بو از آب سدکارده با استفاده از سامانه‌ی ترکیبی فراصوت، سوپرهواده و جذب سطحی (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه‌ی آب شماره‌ی ۱ مشهد). آب و توسعه پایدار، ۱(۲): ۲۳-۲۸.

قلی‌پور، ا. و علامتیان، ا .۱۳۹۴ .بررسی اثر تغییرات درجه حرارت و زبری کانال بر کیفیت فاضلاب تصفیه‌خانه پرکندآباد مشهد با استفاده از مدل‌سازی عددی. آب و توسعه پایدار، ۲(۱): ۵۱-۵۸.

جوانی، ح.ر.، لیاقت، ع.، حسن اقلی، ع.ر. و نادری درباغشاهی، م. ۱۳۹۴. استفاده از تصفیه زمینی در کاهش برخی از ترکیبات پساب شهری با استفاده از ستون خاک. پژوهش آب ایران، ۹(۲): ۱۳۷-۱۴۷.

عمویی، ع. و یحیی‌پور، یوسف. ۱۳۸۵. ترجمه: پاتوژن‌های فاضلاب. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی بابل.

Bridger J.C. and Pocock D.H. 1986 .Variation in virulence of bovine rotaviruses. Journal of hygiene, 96(2): 257-264.

Doran J.W. and Zeiss M.R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. Applied Soil Ecology, 15(1): 3-11.

El-Senousy W.M., Gamal A.O. and Melegy A.A. 2014. Survival of Adenovirus, Rotavirus, Hepatitis A Virus, Pathogenic Bacteria and Bacterial Indicators in Ground Water. World Applied Sciences Journa,l 29(3): 337-348.

Fauriel S., and Laloui L. 2012. A bio-chemo-hydro-mechanical model for microbially induced calcite precipitation in soils. Computers and Geotechnics, 46: 104-120.

Fuchs G.J. 2015. Re-CYCLing Rotavirus. Journal of pediatric gastroenterology and nutrition, 60(1): 1.

Kocwa-Haluch R and Zalewska B. 2002. Presence of human rotavirus in sewage and water. Polish J Environ Stud, 11: 751-755.

Lin C. and Coleman N.T. 1960 .The measurement of exchangeable aluminum in soils and clays. Soil Science Society of America Journal, 24(6): 444-446.

Melnick J.L., Gerba C.P. and Wallis C. 1978. Viruses in water. Bulletin of the World Health Organization, 56(4): 499.

Ragland J.L. and Coleman N.T. 1960. The hydrolysis of aluminum salts in clay and soil systems. Soil Science Society of America Journal, 24(6): 457-460.

Reed L.J. and Muench H. 1938 .A simple method of estimating fifty per cent endpoints. American journal of epidemiology, 27(3): 493-497.

Schijven J.F. and Hassanizadeh. S.M. 2002 .Virus removal by soil passage at field scale and groundwater protection of sandy aquifers. Water science and technology, 46)3): 123-130.

Schijven J.F. and Hassanizadeh S.M. 2000. Removal of viruses by soil passage: Overview of modeling, processes, and parameters. Critical reviews in environmental science and technology, 30(1): 49-127.

Sobsey M.D. Dean C.H., Knuckles M.E. and Wagner R.A. 1980 .Interactions and survival of enteric viruses in soil materials. Applied and Environmental Microbiology, 40(1): 92-101.

Torkzaban, S., Hassanizadeh S.M., Schijven J.F., de Bruin H.A.M., de Roda Husman A.M. 2006. Virus transport in saturated and unsaturated sand columns. Vadose Zone Journal, 5(3): 877-885.

Tufenkji N. 2007. Modeling microbial transport in porous media: Traditional approaches and recent developments. Advances in Water Resources, 30(6): 1455-1469.

WHO. 2011. Guidelines for drinking Water quality.