

Effect of Temperature and Pressure on Removal of Fluoride from Groundwater Using Nanofiltration

Mohammad Mahdi Emamjomeh¹,
Ali Safari Varyani²,
Mohammad Hossein Alijani³,
Yeganeh Haj Aziman⁴,
Kamran Tari⁵

¹ Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Social Determinant of Health Research Center, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

² Associate Professor, Department of Occupational Health, School of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

³ MSc in Environmental Engineering, Research Center of Qazvin Water and Wastewater Company, Qazvin, Iran

⁴ BSc in Environmental Health Engineering, School of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

⁵ PhD Student in Environmental Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

(Received April 9, 2017 Accepted July 24, 2017)

Abstract

Background and purpose: Fluoride is a major mineral pollutant in groundwater. Long-term exposure to high concentration of fluoride in drinking water causes dental fluorosis, skeletal and non-skeletal fluorosis. Therefore, highly efficient water treatment that could lower the concentration of fluoride in groundwater is a challenge. This study aimed at evaluating the efficiency of Nanofiltration and the effects of pressure and temperature on the removal of fluoride from groundwater.

Materials and methods: The study was conducted in laboratory scale by pilot plant using Nanofiltration membrane (FILMTEC-NF90-4040). Raw water fluoride concentration was between 1.50 and 2.17 mg/L and pressures and temperatures were 4 to 12 bars and 10 to 30°C, respectively. Fluoride ion concentration was measured by spectrophotometry using a standard SPADNS method.

Results: The lowest and highest efficiency rates in removal of fluoride were 30% and 70%, respectively. We also observed that increase in pressure and temperature increased efficiency and the membrane permeate flow rate. Fluoride concentrations in all water samples were less than standard levels.

Conclusion: Nanofiltration was found with favorable efficiency in removal of fluoride from groundwater. Operating pressure and temperature are amongst the parameters that affect the performance of the process and increase the efficiency of fluoride removal by Nanofiltration.

Keywords: Nanofiltration, fluoride, removal, groundwater

بررسی اثر پارامترهای فشار و دما بر حذف فلوراید از آب های زیر زمینی با استفاده از فرایند نانوفیلتراسیون

محمد مهدی امام جمعه^۱

علی صفری واریانی^۲

محمد حسین علیجانی^۳

یگانه حاج عظیمان^۴

کامران تاری^۵

چکیده

سابقه و هدف: فلوراید از آلاینده های معدنی مهم در آب های زیرزمینی می باشد که دریافت طولانی مدت غلظت های بیش از حداکثر مجاز آن باعث فلوروزیس دندان، اسکلتی و غیر اسکلتی می شود. از این رو، تصفیه آب با راندمان بسیار بالا برای پایین آوردن غلظت فلوراید در آب های زیرزمینی تا حد ایمن به عنوان یک چالش برای جامعه علمی شناخته شده است. این مطالعه نیز با هدف ارزیابی فرآیند نانوفیلتراسیون در حذف فلوراید از آب های زیر زمینی و اثر پارامترهای فشار و دما بر راندمان حذف انجام شد.

مواد و روش ها: این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از پایلوت نانوفیلتراسیون با استفاده از غشای FILMTEC-NF90-4040 جهت فلوروزدایی از آب های زیرزمینی صورت گرفت. غلظت فلوراید آب خام ورودی بین ۱/۵۰ تا ۲/۱۷ میلی گرم در لیتر و فشار و دماهای مورد بررسی به ترتیب از ۴ تا ۱۲ بار و ۱۰ تا ۳۰ درجه سانتی گراد بود. اندازه گیری یون فلوراید به وسیله اسپکتروفتومتری و با استفاده از روش استاندارد اسپادنز صورت پذیرفت.

یافته ها: نتایج به دست آمده نشان داد که کم ترین و بیش ترین راندمان در حذف فلوراید به ترتیب ۳۰ و ۷۰ درصد بود. هم چنین مشاهده شد که افزایش فشار و دما، راندمان و میزان دبی تراوش یافته از غشاء را افزایش می دهد. غلظت فلوراید نیز در تمامی نمونه های پساب تصفیه شده کم تر از حد استاندارد مجاز بود.

استنتاج: این پژوهش نشان داد که نانوفیلتراسیون دارای راندمان مطلوبی در حذف یون فلوراید از آب های زیرزمینی می باشد. هم چنین دما و فشار بهره برداری از پارامترهای اثرگذار بر عملکرد این فرآیند بود و افزایش مقادیر آن ها باعث افزایش بهره وری حذف یون فلوراید توسط نانوفیلتراسیون می شود.

واژه های کلیدی: نانوفیلتراسیون، فلوراید، حذف، آب های زیر زمینی

مقدمه

فلوراید، تنها عنصر شیمیایی در آب آشامیدنی است که می تواند بسته به غلظت، اثرات بهداشتی مختلفی داشته باشد. به طوری که در طول سه دهه گذشته، غلظت بالای فلوراید در آب آشامیدنی

فلوراید، تنها عنصر شیمیایی در آب آشامیدنی است که می تواند بسته به غلظت، اثرات بهداشتی مختلفی داشته باشد. به طوری که در طول سه دهه گذشته، غلظت بالای فلوراید در آب آشامیدنی

Email: kamerantari@yahoo.com

مؤلف مسئول: کامران تاری - همدان، دانشگاه علوم پزشکی همدان، دانشکده بهداشت

۱. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران

۳. کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، کمیته تحقیقات قزوین شرکت آب و فاضلاب استان قزوین، قزوین، ایران

۴. کارشناس بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران

۵. دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

© تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۰ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۶/۳/۱۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۵/۲

گرفته است. در سال های اخیر نیز تکنولوژی های غشایی مانند الکترو دیالیز، اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون با توجه به محدودیت های روش های متداول حذف فلوراید مانند هزینه بالا، ظرفیت محدود و روش های پیچیده و گران قیمت مربوط به احیاء و هم چنین عملکرد و قابلیت اطمینان عملیات های غشایی به عنوان فناوری های بالقوه و جدید برای حذف فلوراید از آب های آشامیدنی آلوده مورد بررسی قرار گرفته و شناسایی شده اند (۱۶).

در فناوری های غشایی، آب حاوی غلظت بالایی از آلاینده ها از طریق عبور از یک غشاء نیمه تراوا مورد تصفیه قرار می گیرد. آلاینده ها از آب حذف و در یک سمت غشاء جمع آوری می شوند، در حالی که آب تمیز از طریق نفوذ باز یافت می شود (۱۷). در میان فرایندهای غشایی، نانوفیلتراسیون به عنوان یکی از فناوری های موثر که می تواند تعدادی از آلاینده های دیگر را در اختلاف فشار نسبتا پایین و با استفاده از غشاهای ارزان قیمت از آب های زیر زمینی حذف کند، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. مزیت بزرگ این فن آوری نسبت به فرآیند اسمز معکوس، هزینه های عملیاتی پایین تر، کم هزینه بودن مواد غشاء و نیز حذف املاح با جریان سریع تری می باشد. انتخابی بودن حذف آلاینده ها در نانوفیلتراسیون نسبت به اسمز معکوس، یک مزیت خاص این فرآیند می باشد. هم چنین تفاوت و مزیت اصلی نانوفیلتراسیون نسبت به الکترو دیالیز نیز مشکل بازسازی رزین در الکترو دیالیز می باشد که بسیار گران قیمت است (۱۸). اما این فرآیند دارای عملکرد متوسطی در حذف یون های تک ظرفیتی از آب های آشامیدنی نسبت به فرآیندهای دیگر می باشد.

مطالعات مختلفی با هدف کاربرد غشای نانوفیلتراسیون در حذف آلاینده ها از آب های زیر زمینی انجام شده است. طی پژوهشی که توسط مرتضوی و همکاران در سال ۲۰۱۰ انجام شد، اثر پارامترهای مختلف در حذف کروم شش ظرفیتی از آب های زیر زمینی حاوی سولفات

پوسیدگی دندان در فقدان و غلظت های کم تر از ppm ۰/۵ فلوراید نیز وجود دارد (۱، ۲). بنابراین WHO با هدف تامین فلوراید کافی و جلوگیری از بیماری های ناشی از آن، غلظت مطلوب و حداکثر مجاز فلوراید را در آب آشامیدنی به ترتیب ۱ و ۱/۵ ppm پیشنهاد کرده است (۳). مطالعات مختلفی از وجود غلظت های بیش از حد مجاز فلوراید در آب های زیر زمینی گزارش شده است. به عنوان مثال می توان به مطالعه انجام شده توسط مصدافی نیا و همکاران در سال ۲۰۱۰ اشاره کرد که مشخص شد در برخی از نواحی کشور به خصوص استان بوشهر، قسمت هایی از استان هرمزگان، یزد، خراسان شمالی، رضوی، جنوبی و فارس، غلظت فلوراید بیش از ۱/۵ میلی گرم در لیتر است (۴). در مطالعه دیگری نیز توسط شیرازی و همکاران که در شهر زاهدان در سال ۱۳۸۹ انجام شد، نتایج نشان داد که غلظت فلوراید آب در حدود ۲/۴ میلی گرم در لیتر است (۵). این در حالی است که در بعضی مناطق با توجه به دمای محیط، غلظت بهینه فلوراید پایین تر از استاندارد قابل قبول گزارش شده است. پژوهش انجام شده توسط ززولی و علم قلیلو که با هدف بررسی کیفیت شیمیایی آب آشامیدنی خوی انجام شده است، نتایج نشان دهنده غلظت پایین فلوراید در چاه ها با توجه به دمای میانگین سالیانه می باشد (۶). مطالعات انجام شده در شهرهای همدان (۷)، قم (۸) و قائم شهر (۹) نیز پایین بودن غلظت فلوراید با توجه به دمای میانگین سالیانه را گزارش کرده اند.

از این رو تصفیه آب با راندمان بسیار بالا برای بهینه کردن غلظت فلوراید در آب های زیر زمینی تا حد ایمن به عنوان یک چالش برای جامعه علمی شناخته شده است.

فناوری های مختلفی مانند ترسیب (۱۰، ۱۱)، جذب سطحی (۱۲، ۱۳) جذب سطحی با استفاده از مواد زیستی طبیعی (۱۴) و تبادل یون (۱۵) برای جداسازی فلوراید از آب های زیر زمینی آلوده به خوبی مورد مطالعه قرار

مورد ارزیابی قرار گرفت (۱۹) که نتایج نشان داد که فرآیند نانوفیلتراسیون دارای عملکرد مطلوبی در حذف کروم شش ظرفیتی است و نوع الکترولیت، فشار بهره برداری و pH، بیشترین اثر را بر عملکرد حذف دارد. در تحقیق دیگری توسط ملکوتیان و همکارانش، حذف کلسیم و منیزیم از نمونه سنتتیک توسط نانوفیلتراسیون مورد بررسی قرار گرفت که بر اساس نتایج به دست آمده، فرایند نانوفیلتر می‌تواند به عنوان روشی موثر و مناسب برای حذف یون‌های مولد سختی (کلسیم و منیزیم) مورد استفاده قرار گیرد (۲۰). در مطالعه انجام شده توسط Chakraborty و همکاران، ارزیابی اقتصادی حذف فلوراید از آب‌های زیرزمینی آلوده با نانوفیلتراسیون با جریان متقاطع مورد پژوهش قرار گرفت و تجزیه و تحلیل اقتصادی داده‌ها نشان داد که سیستم فیلتراسیون غشایی می‌تواند به عنوان یک فرآیند مناسب با هزینه کم در تصفیه آب‌های زیرزمینی آلوده به فلوراید مورد توجه قرار بگیرد (۲۱).

با بررسی‌های انجام شده و با توجه به مطالعه‌ی که توسط عباس زاده با هدف بررسی درجات شیوع فلئوروزیس دندانی در بین دانش آموزان ۱۵-۱۲ ساله مدارس راهنمایی شهر محمودآباد قزوین (با توجه به معیار سازمان جهانی بهداشت) انجام شده بود، نتایج نشان دهنده‌ی شیوع فلئوروزیس به میزان بسیار بالا و حدود ۹۲/۱ درصد در میان دانش آموزان بوده است (۲۲). از سوی دیگر نیز با توجه به گزارش‌ها و اندازه‌گیری‌های شرکت آب و فاضلاب قزوین مبنی بر وجود غلظت‌های بالاتر از حد استاندارد فلئور در آب منطقه محمودآباد قزوین، این پژوهش کاربردی با هدف کاهش آلودگی آب منطقه، کاهش خطرات مواجهه با غلظت بالای فلوراید و هم‌چنین ارزیابی اثر پارامترهای فشار و دما در حذف فلوراید در غلظت‌های مختلف در دبی ثابت با استفاده از فرآیند نانوفیلتراسیون به عنوان یک روش نوین در حذف فلوراید طراحی شد.

لازم به ذکر است که تعیین غلظت بهینه فلوراید در آب آشامیدنی در هر منطقه می‌بایست با توجه به میانگین حداکثر درجه حرارت سالیانه و بررسی عوامل محیطی مانند ارتفاع از سطح دریا و الگوی تغذیه‌ی صورت گیرد تا بهترین شرایط حاصل گردد. بنابراین جهت رسیدن به این هدف، بررسی شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه با استفاده از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک شهر قزوین و آمارهای مربوطه انجام شد، و با توجه به استانداردهای پایه ارائه شده توسط Galagon و Vermillion که میزان دریافت روزانه آب را با توجه به شرایط مختلف تخمین می‌زند (۲۳)، غلظت بهینه فلوراید با توجه به فرمول ارائه شده محاسبه و میزان بهینه آن ۰/۸ تا ۰/۹ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. بنابراین با توجه به شرایط موجود (بالا بودن غلظت فلوراید نسبت به مقدار بهینه آن) و اطلاعات به دست آمده، این پژوهش کاربردی جهت رفع مشکل و بررسی کاربرد فرآیند نانوفیلتراسیون به عنوان یک فرآیند نوین در حذف فلوراید طراحی و انجام گرفت.

$$\text{Optimal fluoride concentration} = \frac{0.022}{0.0104 + 0.00042 \times \text{AMM}}^2$$

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از پایلوت نانوفیلتراسیون جهت فلورزدایی از آب‌های زیرزمینی صورت گرفت. طرح شماتیک و نمای پایلوت نانوفیلتراسیون در شکل‌های شماره ۱ و ۲ نشان داده شده است. در این طرح به ترتیب از یک پمپ کم فشار جهت تامین دبی اولیه سیستم، کارتریج فیلتر به عنوان میکروفیلتر، پمپ پرفشار جهت تامین فشار مورد نیاز آب خوراکی (خام) برای غلبه بر فشار اسمزی در انتها مخزنی^۱ که غشا در آن قرار خواهد گرفت، تعبیه شده است. هم‌چنین جریان آب خوراکی^۲ (خام) را به دو

¹ Vessel

² Feed Water

جریان آب تصفیه شده^۳ و آب غلیظ شده^۴ تقسیم می‌کند. مشخصات هر یک از اجزای اصلی پایلوت در جدول شماره ۱ آورده شده است. در این پروژه برای حذف فلوراید، از غشا نانوفیلتر (۴۰۴۰-۹۰ FILMTEC-NF) استفاده شد و اثر پارامترهای فشار و دما بر راندمان حذف فلوراید و هم‌چنین میزان دبی تراوش یافته از غشا نانوفیلتر در دما و فشارهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. برای انجام این پروژه نمونه برداری از سه چاه شماره ۳، ۴ و ۵ که منبع تامین آب شرب یکی از مناطق قزوین بوده و دارای غلظت‌های بالاتر از حد استاندارد فلوراید بود، انجام گردید. نمونه برداری از آب آشامیدنی توسط ظرف‌های بیست لیتری پلی اتیلن از سه چاه مورد نظر صورت گرفت.

راه اندازی و راهبری پایلوت نانوفیلتراسیون

در ابتدا آب مورد نظر جهت آزمایش در حجم لازم (معمولاً حداقل ۴۰ لیتر، جهت عدم هواکشی در پایلوت و همگن ماندن پساب یا آب) تهیه شد و در مخزن پایلوت تخلیه گردید. سپس به منظور جلوگیری از گرفتگی غشا ناشی از ذرات کلوئیدی موجود در پساب یا آب، میکروفیلترهای ۱۰، ۵ و ۱ میکرون در حوضینگ کارتریج فیلتر قرار داده شد تا بدین طریق ذرات کلوئیدی به مقدار بسیار زیادی حذف گردند. بدین ترتیب کدورت محلول به کم‌تر از ۱ NTU رسید. پس از قرار دادن میکروفیلترها، با بریدن و کار گذاشتن یک قطعه نانوفیلتر در مخزن تحت فشار پایلوت نانوفیلتراسیون، پایلوت آماده راهبری شد. به منظور راه‌اندازی پایلوت پس از کنترل تمام شیرهای موجود در مسیر جریان، پمپ کم فشار به مدت یک ربع الی نیم ساعت روشن گردید تا علاوه بر خارج شدن هوای محبوس در محفظه کارتریج فیلتر و مخزن تحت فشار، دستگاه و نانوفیلتر به یک حالت پایدار برسد. هم‌چنین

هم‌زمان با تنظیم سیستم کنترل دما در دمای مورد نظر جهت آزمایش، دمای آب به مقدار مورد نظر رسانده شد. پس از انجام مراحل فوق، پمپ پرفشار را روشن کرده و با استفاده از شیر تنظیم فشار که بر روی جریان غلیظ شده پس از مخزن تحت فشار نصب شده است، فشار مورد نیاز آزمایش تنظیم و ثابت نگه داشته شد. در این مرحله فشار دستگاه (فشار داخل مخزن تحت فشار) به تدریج تا فشار مورد نظر افزایش داده شد تا از وارد شدن شوک به نانوفیلتر جلوگیری گردد. پس از ثابت کردن فشار، به مدت یک تا ۱/۵ ساعت صبر گردید تا نانوفیلتر با این فشار سازگار گردد و میزان حذف و فلاکس عبوری از غشا به یک مقدار ثابت برسد. پس از طی این زمان، نمونه‌گیری آغاز شد. در تمام مراحل آزمایش، ظروف پلاستیکی تهیه شده برای جمع‌آوری آب، ابتدا با آب مقطر و سپس با آب تصفیه شده خروجی از نانوفیلتر در هر مرحله شستشو داده شد و سپس پساب یا آب تصفیه شده توسط غشا نانوفیلتر در آن‌ها جمع‌آوری گردید. در هر نمونه‌گیری، حجمی نزدیک به ۵۰ cc آب تصفیه شده به صورت متوالی در ۳ ظرف پلاستیکی جمع‌آوری شد تا مقدار یون فلوراید آب تصفیه شده اندازه‌گیری شود.

دستگاه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری

اندازه‌گیری یون فلوراید به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتری^۵ و با استفاده از روش اسپاندز^۶ صورت پذیرفت. برای محاسبه راندمان حذف پارامترهای مورد نظر توسط سیستم، پس از نمونه برداری از آب تصفیه شده داخل مخزن پایلوت، این پارامترها قرائت شد. بر این اساس راندمان حذف هر یک از پارامترها از رابطه زیر به دست آمد:

$$R\% = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100$$

^۵ spectrophotometry
^۶ SPADENS method

^۳ Permiet
^۴ Concentrate

یافته ها

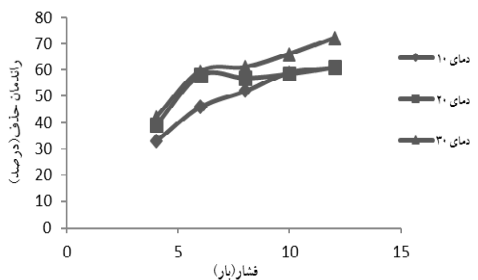
مشخصات آب خام تصفیه شده
ویژگی های آب خام مورد استفاده در جدول
شماره ۲ نشان داده شده است.

جدول شماره ۲: مشخصات آب خام ورودی

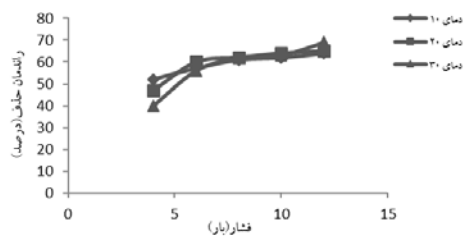
پارامتر	چاه شماره ۳	چاه شماره ۴	چاه شماره ۵
فلوراید (mg/L)	۱/۸۰	۱/۵۰	۲/۱۷۰
منیزیم (mg/L)	۵/۱۰	۶/۹۸	۶/۴۵
پتاسیم (mg/L)	۱/۲۱	۱/۲۸	۱/۴۳
کلسیم (mg/L)	۱۵/۱۰	۱۲/۳۴	۱۲/۶۳
سولفات (mg/L)	۴۷/۲۰	۸۶/۳۶	۱۱۴/۰۰
کلراید (mg/L)	۱۸/۷۰	۲۲/۵۳	۲۴/۵۴
سدیم (mg/L)	۱۰۳/۳۲	۱۵۶/۳۶	۱۶۲/۲۲
کل جامدات محلول (mg/L)	۲۹۳/۵	۴۱۷/۵	۱۷۰/۲

اثر فشار و دما بر راندمان حذف فلوراید

اثر فشار بر راندمان فرآیند نانوفیلتراسیون در حذف
فلوراید در دماهای مختلف در غلظت های مختلف
فلوراید به ترتیب در نمودارهای شماره ۱ تا ۳ نشان داده
شده است.



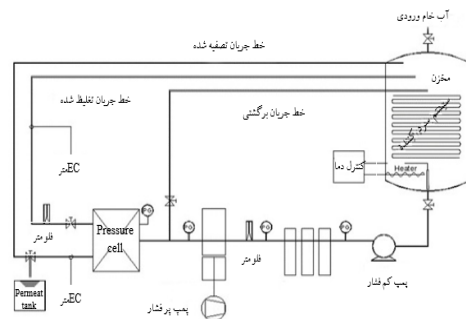
نمودار شماره ۱: راندمان حذف یون فلوراید با غلظت اولیه
۱/۸۰ میلی گرم در لیتر با روش نانوفیلتراسیون در دما و فشارهای
مختلف



که C1 و C2 به ترتیب غلظت هر یک از پارامترها
در آب تصفیه شده و آب گذرنده از پایلوت مورد نظر
بود. پس از انجام آزمایشات و جمع آوری داده ها نتایج
حاصل در نرم افزار Excel مورد آنالیز قرار گرفت.

جدول شماره ۱: مشخصات پایلوت نانوفیلتراسیون

مشخصات	تجهیزات پایلوت
مشخصات مخزن ۱۵۰ لیتر	تجهیزات پایلوت مخزن
دبی: ۵ تا ۱۵۰ lit/min	دبی ماگزیمم ۵۰ لیتر در دقیقه
فشار: ۸ تا ۵۰ متر	فشار ماگزیمم: ۵۵ متر
دور: ۲۹۰۰ RPM	توان: ۰/۵ کیلووات
دبی: ۱۱۰ lit/min	فشار ماگزیمم: ۱۱۰ متر
دور: ۱۴۳۰ RPM	توان: ۲/۲ کیلووات
دور: ۱۴۳۰ RPM	توان: ۲/۲ کیلووات
دو مرحله ای با میکروفیلترهای ۱ میکرون و کربن فعال	دو عدد صفحه ۶ سانتی متر از پشت، گیلیپسیه، ۶۰۰ بار
۱۸ لیتر در دقیقه (۵ گالن در دقیقه)	دو عدد صفحه ۶ سانتی متر از پشت، گیلیپسیه، ۱۰۰۰ بار
دو عدد صفحه ۶ سانتی متر از پشت، گیلیپسیه، ۱۰۰۰ بار	مساحت مفید
مساحت مفید	۱۳۸/۹ سانتی متر مربع
۹۸ میلی متر مربع ۱۴۴	Nanofiltration Element model NF90 (4040)
۱۳۸/۹ سانتی متر مربع	(damfoss): ماگزیمم محدود: ۳۵ بار
دقت اندازه گیری دما: ۰/۱ درجه	دقت اندازه گیری دما: ۰/۱ درجه
۵۰ تا ۱۵۰ درجه IC مدل	سنتی گراد
سنتی گراد	توان: ۳ کیلووات
توان: ۳ کیلووات	۱۵ متر لوله آلومینیومی کویل شده
۱۵ متر لوله آلومینیومی کویل شده	

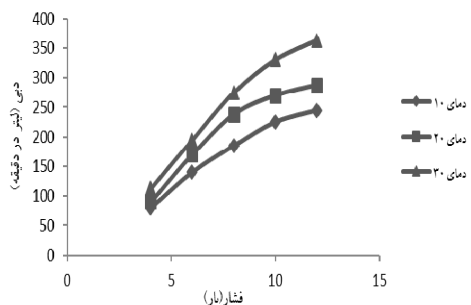


شکل شماره ۱: طرح شماتیک پایلوت نانوفیلتراسیون



شکل شماره ۲: نمایی از پایلوت نانوفیلتراسیون

نمودار شماره ۵: دبی تراوش یافته از غشا نانوفیلتراسیون با غلظت اولیه فلوراید ۱/۵۰ میلی گرم در لیتر در دما و فشارهای مختلف



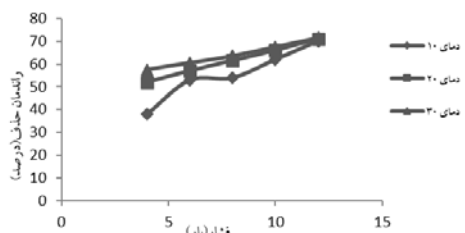
نمودار شماره ۶: دبی تراوش یافته از غشا نانوفیلتراسیون با غلظت اولیه فلوراید ۲/۱۷۰ میلی گرم در لیتر در دما و فشارهای مختلف

بحث

توجه به فرایند نانوفیلتراسیون نشان دهنده توانایی این فرآیند در حذف املاح و یون‌های موجود در آب می‌باشد. این توانایی برای حذف یون‌های دو ظرفیتی بسیار کارآمد است، اما نمی‌تواند یون‌های تک ظرفیتی را به طور کامل حذف نماید. یون فلوراید نیز به عنوان یکی از یون‌های تک ظرفیتی موجود در آب، توسط این فرایند قابل حذف است و می‌توان جهت کاهش مقدار یون فلوراید در آب آشامیدنی از آن استفاده کرد. در این پژوهش، کارایی کاربرد غشا نانوفیلتر مورد استفاده برای حذف یون فلوراید از آب‌های زیرزمینی به اثبات رساند که کاربرد این غشا امکان حصول استاندارد یون فلوراید در آب‌های آشامیدنی را فراهم می‌سازد، به طوری که غلظت فلوراید در آب تولیدی کم‌تر از حد مجاز بود و می‌توان گفت که فرآیند نانوفیلتراسیون یکی از فرآیندهای موثر در حذف فلوراید از آب‌های آشامیدنی است.

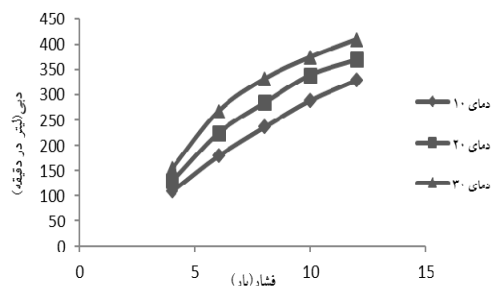
مطالعه انجام شده توسط Nasr و همکاران نیز که با کاربرد فرآیند نانوفیلتراسیون در حذف فلوراید از آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی در تونس انجام شده است،

نمودار شماره ۲: راندمان حذف یون فلوراید با غلظت اولیه ۱/۵۰ میلی گرم در لیتر با روش نانوفیلتراسیون در دما و فشارهای مختلف

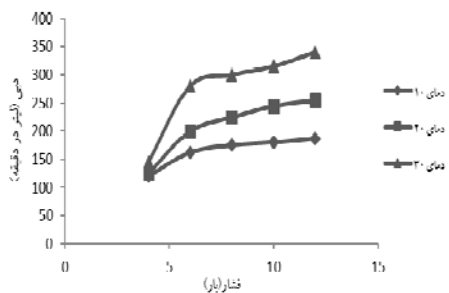


نمودار شماره ۳: راندمان حذف یون فلوراید با غلظت اولیه ۲/۱۷۰ میلی گرم در لیتر با روش نانوفیلتراسیون در دما و فشارهای مختلف

اثر فشار بر دبی تراوش یافته از غشای نانوفیلتراسیون
نمودارهای شماره ۴ تا ۶ نشان دهنده‌ی میزان دبی تراوش یافته از غشا نانوفیلتر در دما و فشارهای مختلف می‌باشد.



نمودار شماره ۴: دبی تراوش یافته از غشا نانوفیلتراسیون با غلظت اولیه فلوراید ۱/۸۰ میلی گرم در لیتر در دما و فشارهای مختلف



کارایی حذف فلوراید می شود که این موضوع می تواند ناشی از افزایش تراوایی غشا در دماهای بالاتر در هنگام ثابت بودن تقریبی گذردهی یون فلوراید باشد.

غلظت اولیه آلاینده نیز می تواند یکی از پارامترهای تاثیر گذار بر عملکرد این فرآیند باشد. نتایج به دست آمده نشان داد که افزایش غلظت اولیه فلوراید باعث کاهش راندمان حذف فلوراید و افزایش غلظت فلوراید در آب تصفیه شده می شود که اثبات کننده‌ی مکانیسم انتقال نفوذی فلوراید است (۲۸).

بررسی نتایج تاثیر فشار نیز بر میزان دبی تراوش یافته از غشا نشان داد که با افزایش فشار، میزان جریان آب تصفیه شده یافته از غشا افزایش پیدا می کند. توجیه این روند می تواند ناشی از این باشد که در فشار بالاتر آب ورودی به غشا به عنوان نیرویی که مقابل غشا عمل می کند، در سرعت بالاتری می باشد، در نتیجه تعداد بیش تری از یون های موجود در جریان ورودی در سطح غشا باقی می ماند و فشار اسمزی محل مورد نظر افزایش پیدا می کند و باعث افزایش میزان جریان عبوری از غشا می شود (۲۹). افزایش فشار باعث افزایش فلاکس عبوری به صورت خطی می شود. بررسی نتایج مربوط به این بخش هم چنین نشان داد که هم زمان با افزایش دما در بیش تر شدن فشار، میزان فلاکس عبوری از غشا نیز افزایش پیدا می کند که این افزایش می تواند ناشی از افزایش ثابت های فیزیکی موثر بر همرفت و حلالیت هم زمان با افزایش دما باشد، بنابراین موجب افزایش نرخ تراوش می گردد (۱۸). نتایج به دست آمده توسط Tahaikt و همکاران نیز نشان دهندهی تاثیر فشار بر میزان دبی تراوش یافته از غشای نانوفیلتراسیون می باشد (۳۰).

حضور ترکیبات آلی طبیعی در محیط های آبی به خصوص آب های سطحی نیز یکی دیگر از پارامترهای موثر در استفاده از فرآیندهای غشایی می باشد که عملکرد این فرآیندها را تحت تاثیر قرار می دهد.

نشان داد که این فرآیند دارای عملکرد مطلوبی در حذف یون فلوراید می باشد که با نتایج به دست آمده از این مطالعه هم خوانی دارد (۲۴). پژوهش انجام شده توسط نام آور و همکاران نیز نشان از عملکرد مناسب این فرآیند در حذف یون فلوراید از آب های با غلظت بالای فلوراید می باشد (۲۵).

تحقیقات انجام شده نشان داده است که پارامترهای مختلفی در راندمان این فرآیند موثر هستند. فشار بهره برداری یکی از پارامترهای موثر در این فرآیند می باشد. در این مطالعه نیز نتایج نشان داد که راندمان حذف فلوراید با افزایش فشار در دماهای مختلف افزایش پیدا می کند، به عبارت دیگر با افزایش فشار بهره برداری، زدایش یون فلوراید بیش تر می شود. علت این افزایش را می توان به پدیده پلاریزاسیون غلظتی نسبت داد. مکانیسم حذف و انتقال مواد در نانوفیلتراسیون با پدیده های انتشار و همرفت یا ترکیبی از این دو نوع انجام می شود. در زمان بهره برداری در فشار پایین، فرآیند انتقال مواد از بین غشا بیش تر از پدیده انتشار پیروی می کند، در حالی که در فشارهای بالاتر، مکانیسم انتقال یون ها از طریق همرفت انجام می شود. بنابراین افزایش فشار باعث افزایش جریان عبوری از غشا از طریق پدیده همرفت و در نتیجه تجمع یون ها و مولکول ها در سطح غشا می شود (۲۶). این پدیده، یعنی افزایش میزان مواد در ناحیه نزدیک سطح غشا پلاریزاسیون غلظتی گفته می شود که از انتقال یون ها از طریق غشا جلوگیری می کند و ضریب نفوذ پذیری غشا را کم و در نتیجه باعث افزایش راندمان تصفیه می گردد. در مطالعه انجام شده توسط مرتضوی و همکاران که حذف آهن از آب های زیرزمینی را با استفاده از فرآیند نانوفیلتراسیون مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج نشان داده است که افزایش فشار باعث بیش تر شدن راندمان تصفیه می شود (۲۷)، که با نتایج به دست آمده از این مطالعه تطابق دارد. هم چنین نتایج به دست آمده نشان داد که افزایش دما بر کارایی حذف اثر گذاشته و باعث افزایش

برسد. هم چنین مشخص شد که افزایش فشار و دما از پارامترهای تاثیرگذار بر حذف یون فلوراید توسط این فرآیند می باشد و افزایش مقادیر آن ها باعث افزایش بهره وری حذف یون فلوراید توسط فرآیند نانوفیلتراسیون می شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از کمیته تحقیقات شرکت آب و فاضلاب استان قزوین جهت حمایت مالی در جهت انجام این تحقیق و همکاران محترم در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قدردانی می گردد.

گزارش ها حاکی از آن است که ترکیبات آلی طبیعی یکی از عوامل موثر در گرفتگی غشاءها و کاهش طول عمر آن ها در طول فرآیند تصفیه با استفاده از فرآیندهای غشایی می باشند (۳۱). اندازه بزرگ این ترکیبات باعث می شود که این ترکیبات بر روی غشاها رسوب کرده و با مواد معدنی موجود در آب واکنش دهند. مطالعات نیز نشان دهنده آن است که حذف فلوراید در حضور ترکیبات آلی افزایش پیدا می کند (۳۲). این افزایش می تواند ناشی از ترکیب فلوراید با ترکیبات آلی باشد (۳۳).

با نگرش کلی به یافته های این پژوهش می توان دریافت که فرآیند نانوفیلتراسیون قابلیت مناسبی در حذف یون فلوراید از آب های زیرزمینی دارد و می تواند تا حدودی به راندمان ۷۰ درصدی در حذف فلوراید

References

- Dinajpur S, Dinajpur N. Incidence of fluoride in the groundwater of Purulia district, West Bengal: a geo-environmental appraisal. *Curr Sci*. 2011;101(2):152-155.
- Miretzky P, Cirelli AF. Fluoride removal from water by chitosan derivatives and composites: a review. *J Fluor Chem*. 2011;132(4):231-240.
- Organization WH. Guidelines for drinking-water quality. 4th ed. Switzerland. World Health Organization; 2004.
- Mesdaghinia A, Vaghefi KA, Montazeri A, Mohebbi MR, Saeedi R. Monitoring of fluoride in groundwater resources of Iran. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2010;84(4):432-437.
- Shirzaei M. The relationship between dental caries and fluorosis with fluoride in drinking water. *Birjand Uni Med Sci J*. 2009;2: 146-147(persian)
- Zazouli MA, Alam Gholilou M. Survey of chemical quality (Nitrate, Fluoride, Hardness, Electrical Conductivity) of drinking water in Khoy city. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2013;22(2):80-84. (persian)
- Rafati L, Mokhtari M, Fazelinia F, Momtaz S, Mahvi AH. Evaluation of Ground Water Fluoride Concentration in Hamadan Province West of IRAN (2012). *Iran J Health*. 2013;1(3):71-76. (persian)
- Yari AR, Nazari S, Mahvi AH, Matboo SA, Fazlzadeh M. Fluoride concentration of drinking-water of qom, iran. *Iran J Health Sci*. 2016;4(1):37-44. (persian)
- Boudaghi Malidareh H, Alinezhad A, Boudaghi Malidareh P, Mahvi AH. Investigation of Fluoride Level in Drinking Water Supplies of Qaemshahr City (North of IRAN) from 2006 to 2012. *Iran J Health Sci*. 2013;1(2):19-27. (persian)
- Behbahani M, Moghaddam MA, Arami M. Techno-economical evaluation of fluoride removal by electrocoagulation

- process: Optimization through response surface methodology. *Desalination*. 2011;271(1-3):209-218.
11. Gong W-X, Qu J-H, Liu R-P, Lan H-C. Effect of aluminum fluoride complexation on fluoride removal by coagulation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2012;395:88-93.
 12. Zazouli MA, Belarak D, Karimnezhad F, Khosravi F. Removal of fluoride from aqueous solution by using of adsorption onto modified Lemna minor: Adsorption isotherm and kinetics study. *J Mazandaran Univ Med Sci*. 2014;23(109):195-204. (persian)
 13. Ramavandi B, Ahmadi M, Faradmal J, Asgari G. Optimization of fluoride adsorption from aqueous solution by marble powder using Taguchi model. *J Mazandaran Univ Med Sci*. 2014;24(115):113-21. (persian)
 14. Zazouli MA, Mahvi AH, Mahdavi Y, Balarakd D, Sari T. Isothermic and kinetic modeling of fluoride removal from water by means of the natural biosorbents sorghum and canola. *Fluoride*. 2015;48(1):37-44
 15. Chubar N. New inorganic (an) ion exchangers based on Mg-Al hydrous oxides:(Alkoxide-free) sol-gel synthesis and characterisation. *J Colloid Interface Sci*. 2011;357(1):198-209.
 16. Mnif A, Ali MBS, Hamrouni B. Effect of some physical and chemical parameters on fluoride removal by nanofiltration. *Ionics*. 2010;16(3):245-253.
 17. Kettunen R, Keskitalo P. Combination of membrane technology and limestone filtration to control drinking water quality. *Desalination*. 2000;131(1-3):271-283.
 18. Mohammad AW, Teow Y, Ang W, Chung Y, Oatley-Radcliffe D, Hilal N. Nanofiltration membranes review: Recent advances and future prospects. *Desalination*. 2015;356:226-254.
 19. Mortazavi B, Barikbin B, Moussavi GR. Survey of Nano filtration Performance for Hexavalent Chromium Removal from Water Containing Sulfate. *ijhe*. 2010;3(3):281-290. (persian)
 20. Malakootian M, Mahvi A, Fatehizadeh A, Ehrampoush M. Efficiency of calcium and magnesium removal by nanofiltration membrane from synthetic water under different operating conditions. *TOLOO-E-BEHDA SHT*. 2011;9(4):1-9. (persian)
 21. Chakraborty S, Roy M, Pal P. Removal of fluoride from contaminated groundwater by cross flow nanofiltration: Transport modeling and economic evaluation. *Desalination*. 2013;313:115-24.
 22. Abbas Zadeh A. Prevalence of dental fluorosis in 12-15 year old students in Mahmoud Abad, Qazvin. *Qazvin University of Medical Sciences*; 2004. (persian)
 23. Galagan DJ, Vermillion JR, Nevitt GA, Stadt ZM, Dart RE. Climate and fluid intake. *Public health reports*. 1957;72(6):484-490.
 24. Nasr AB, Charcosset C, Amar RB, Walha K. Defluoridation of water by nanofiltration. *J Fluor Chem*. 2013;150:92-97.
 25. Namavar S, Naseri S, Mahvi A, Nabizadeh R. The investigation of

- nanofiltration membrane efficiency to remove fluoride from water. JNKUMS. 2013;4(4):657-663 .(persian)
26. Paugam L, Taha S, Dorange G, Jaouen P, Quéméneur F. Mechanism of nitrate ions transfer in nanofiltration depending on pressure, pH, concentration and medium composition. J Membr Sci. 2004;231(1):37-46.
 27. Mortazavi B, Ahmadi mousaabad N, Mousavi Gh. Performance of Nanofiltration for Dissolved Iron Removal from Ground Water. J health. 2012; 3(1): 41-48.(persian)
 28. Mohammad AW. A modified Donnan-steric-pore model for predicting flux and rejection of dye/NaCl mixture in nanofiltration membranes. Sep Sci Technol. 2002;37(5):1009-1029.
 29. Lefebvre X, Palmeri J, David P. Nanofiltration theory: an analytic approach for single salts. J Phys Chem B. 2004;108(43):16811-16824.
 30. Tahaikt M, El Habbani R, Haddou AA, Achary I, Amor Z, Taky M, et al. Fluoride removal from groundwater by nanofiltration. Desalination. 2007;212(1):46-53.
 31. Zhang Y, Causserand C, Aimar P, Cravedi J-P. Removal of bisphenol A by a nanofiltration membrane in view of drinking water production. Water Res. 2006;40(20):3793-3799.
 32. Shen J, Schäfer AI. Factors affecting fluoride and natural organic matter (NOM) removal from natural waters in Tanzania by nanofiltration/reverse osmosis. Sci Total Environ. 2015;527:520-529.
 33. Hayes D, Carter J, Manning T. Fluoride binding to humic acid. J Radioanal Nucl Chem. 1995;201(2):135-141.