

مقاله پژوهشی

## بررسی کارایی فرایند نانوفیلتراسیون در حذف فلوراید از آب

سارا نام‌آور<sup>۱</sup>، سیمین ناصری<sup>۲</sup>، امیرحسین محوی<sup>۳\*</sup>، رامین نبی‌زاده<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران  
<sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران  
<sup>۴</sup> دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران  
\* نویسنده مسئول: گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران  
پست الکترونیک: ahmahvi@yahoo.com

وصول: ۱۳۹۰/۹/۲۶ اصلاح: ۱۳۹۰/۱۲/۲۷ پذیرش: ۱۳۹۱/۳/۱۸

### چکیده

**زمینه و هدف:** یکی از پارامترهای مهم در بحث کیفیت آب، میزان فلوراید آن است. فلوراید در غلظت‌های بالا می‌تواند باعث ایجاد عوارضی در بدن گردد. از مهمترین این عوارض بیماری فلوروزیس (دندانی و اسکلتی) است. بر اساس رهنمود سازمان بهداشت جهانی غلظت فلوراید در آب شرب نباید بیش از ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر باشد. طبق مطالعات انجام شده در مناطقی از ایران غلظت فلوراید بیش از این استاندارد می‌باشد. امروزه استفاده از تکنیک‌های غشایی با توجه به مزایای این روش‌ها در صنعت آب‌گسترش بسیاری یافته است. تعیین کارایی فرایندهای غشایی در تولید آب با کیفیت مناسب از نظر غلظت فلوراید در آب تولیدی از اهداف این مطالعه می‌باشد. **مواد و روش کار:** در این مطالعه کارایی غشاء نانوفیلتر (NF33-1812-50, FILMTEC) در حذف فلوراید آب بررسی و اثر پارامترهای شیمیایی (غلظت اولیه فلوراید، غلظت سولفات و میزان هدایت الکتریکی آب خام، تاثیر کاتیون همراه با فلوراید) و فیزیکی (دبی ورودی) در کارایی حذف فلوراید مورد ارزیابی قرار گرفت. **یافته‌ها:** نتایج به دست آمده نشان داد که کارایی حذف با افزایش غلظت اولیه فلوراید، سولفات و هدایت الکتریکی آب خام و افزایش دبی ورودی کاهش می‌یابد. به علاوه راندمان حذف برای نمک فلورید کلسیم در مقایسه با نمک فلورید سدیم بیشتر می‌باشد. **نتیجه‌گیری:** در مقایسه با مقدار استاندارد غلظت فلوراید آب تولیدی در تمامی نمونه‌ها در حد استاندارد بوده و کارایی حذف برای این غشا بیش از ۸۵ درصد می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** تصفیه آب، فرایندهای غشایی، نانوفیلتراسیون، حذف فلوراید

### مقدمه

از فعالیت‌های جوامع شهری و صنعتی، کیفیت آب‌های موجود را به شدت تحت تاثیر قرار داده است. یکی از پارامترهای مهم در تعیین کیفیت آب آشامیدنی غلظت فلوراید در آب می‌باشد. فلوراید الکترون‌گاتیوتترین و فعال‌ترین عنصر در جدول تناوبی است، به طور طبیعی و به میزان‌های متفاوت در آب، خاک و گیاهان وجود دارد. پوسته زمین حاوی ۰/۳ g/kg فلوراید می‌باشد، همچنین میانگین فلوراید در لیتوسفر زمین حدود ۹۵۰ mg/kg است [۱] این عنصر به مقدار کم برای سلامت انسان و حیوانات ضروری می‌باشد. یکی از مهمترین جنبه‌های

آب به عنوان منبع حیات، یکی از عوامل مهم در رشد و توسعه جوامع بشری است. بنابراین تامین آب سالم و بهداشتی را می‌توان به عنوان یکی از شاخص‌های توسعه پایدار و باعث حفظ و ارتقاء سلامت جامعه دانست. در جهان امروز تقاضا برای آب آشامیدنی سالم روز به روز افزایش می‌یابد در حالی که ذخایر آب موجود، در نتیجه خشکسالی‌ها، رشد سریع جمعیت، افزایش سطح کیفیت زندگی و افزایش مصارف آب در حال کاهش است. به علاوه افزایش آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی ناشی

در تحقیق دیگری که توسط کانگ هو<sup>۱</sup> و همکارانش در سال ۲۰۰۶ انجام شد از انواع متفاوتی از غشاهای نانوفیلتر (DS-5-DL، DS-51-HL و SR-1) جهت حذف فلوراید از آب استفاده شد. [۱۸] نتایج این تحقیق نشان داد که میزان حذف فلورید سدیم با افزایش فشار و فلاکس محلول افزایش و با افزایش غلظت اولیه کاهش می یابد. در بررسی دیگری که بر روی حذف فلوراید با استفاده از غشاهای نانوفیلتر انجام شد، پونتای<sup>۲</sup> و همکارانش نشان دادند که راندمان غشاهای NF90 برای حذف فلوراید بیش از ۷۰ درصد بوده و این غشاهای به عنوان یک انتخاب مناسب برای حذف فلوراید از آب های شور می باشد. [۱۹] در مطالعه حاضر نیز کارایی غشاهای نانوفیلتر (NF33-1812-FILMTEC 50) در حذف فلوراید در شرایط مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت.

### روش کار

در این تحقیق جهت حذف فلوراید، از غشاهای نانوفیلتر (NF33-1812-50, FILMTEC) استفاده شد. مشخصات غشاهای در جدول شماره (۱) آورده شده است. پارامترهای مورد بررسی به دو دسته پارامترهای شیمیایی (غلظت اولیه فلوراید و سولفات، میزان هدایت الکتریکی آب خام و تاثیر کاتیون همراه با فلوراید) و پارامتر فیزیکی (دبی ورودی) موثر بر کارایی حذف فلوراید تقسیم شدند. محلول سنتتیک حاوی غلظت های متفاوت از فلوراید (۲، ۵، ۱۰ mg/l) همراه با غلظت های متفاوت از سولفات الکتریکی (۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ mg/l) و میزان های متفاوت از هدایت الکتریکی (۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ μmhos/cm) با استفاده از دو نمک فلورید سدیم و فلورید کلسیم ساخته و به پایلوت تزریق گردید. جهت افزایش میزان غلظت سولفات و هدایت الکتریکی آب خام، به ترتیب از سولفات سدیم و کربنات هیدروژن سدیم استفاده شد. میزان pH تمامی نمونه ها ۷ و دمای آن ها نیز روی ۲۲ درجه سلسیوس تنظیم گردید. تمامی روش های آنالیز مورد نیاز با استنباط از کتاب روش های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب انجام شد. در همه آزمایشات حجم اولیه آب خام<sup>۳</sup>

بهداشتی فلوراید در انسان، نقش آن در حفظ سلامتی و بهداشت دندان ها و استخوان ها است. وجود فلوراید در غلظت های کم برای حفظ سلامت دندان و استخوان ها ضروری است، اما در غلظت های بالاتر از حد مجاز حالت سمی داشته و باعث ایجاد عوارض مختلفی از جمله فلوروزیس دندان و اسکلتی می گردد. [۲، ۳، ۴] بر اساس رهنمود سازمان بهداشت جهانی، حد مجاز فلوراید در آب آشامیدنی ۱/۵ mg/l است. [۵، ۶، ۷] ایران جزء کشورهایی است که غلظت فلوراید در برخی نقاط آنها بالاتر از حد مجاز می باشد، لذا لزوم استفاده از روش مناسب جهت حذف فلوراید به منظور حفظ سلامت عمومی احساس می گردد [۴] روش های مختلفی برای حذف فلوراید آب وجود دارد، اساس عمده این روش ها بر چهار مورد است. روش های جذبی، روش ترسیب شیمیایی، روش تبادل یونی و فرایند های غشایی. [۶، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱]

امروزه با توجه به اهمیت بحث بحران آب استفاده از روشی با کارایی بالا و صرفه اقتصادی در اکثر نقاط دنیا مد نظر می باشد و فرایند های غشایی بدین منظور توسعه بسیاری یافته اند. این تکنولوژی ها می توانند بسیار مقرون به صرفه تر و موثر تر از روش های متداول برای حذف آلاینده ها از آب باشد و بنابراین در صنعت آب و فاضلاب نقش مهمی یافته اند. [۱۲، ۱۳، ۱۴] فرایند نانوفیلتراسیون (NF) و اسمز معکوس (RO) در بین سایر فرایند های غشایی کاربرد بیشتری در صنعت آب دارند و معمولاً برای حذف آلاینده های خاص از این دو نوع غشاهای استفاده می شود. [۱۱، ۱۵، ۱۶] به علاوه غشاهای دارای مدول های متفاوتی هستند که نوع مارپیچی بیشترین مصرف را دارد.

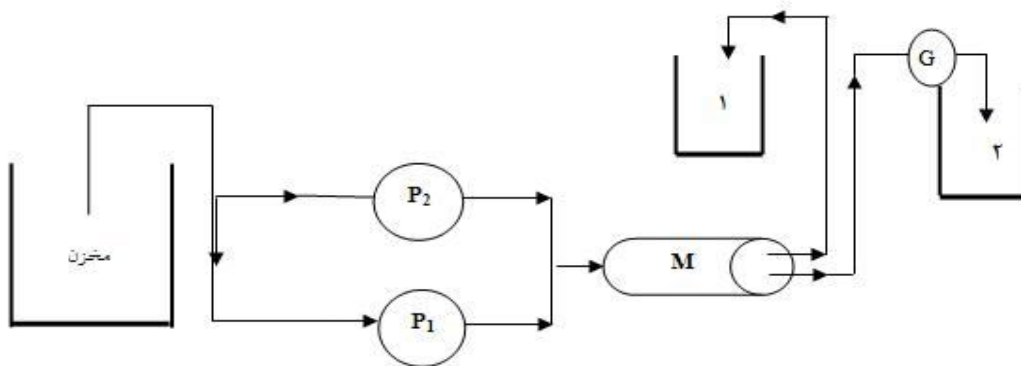
بررسی جنبه های مختلف کاربرد غشاهای نانوفیلتراسیون در حذف فلوراید از آب گسترش بسیاری یافته است. طی مطالعه ای توسط مالف و همکارانش در سال ۲۰۱۰، اثر پارامتر های فیزیکی و شیمیایی در حذف فلوراید طی فرایند نانوفیلتراسیون مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بررسی که با استفاده از غشاهای (HL2514 T, Osmonics) انجام شد، نتایج به دست آمده نشان داد که راندمان حذف فلوراید در این غشاهای بیش از ۸۰ درصد بوده است. [۱۷]

1-KANG HU  
2 - Pontie  
3 Feed water

۴ لیتر در نظر گرفته شد. پس از عبور آب خام از غشاء پمپ دبی عبوری ۱/۷۳ لیتر در دقیقه بود. تمامی

جدول ۱: مشخصات غشاء نانوفیلتراسیون.

نوع غشا	جنس غشا	مدول	حداکثر درجه حداکثر فشار بهره برداری (psi)	محدوده pH	حداکثر میزان جریان ورودی (lpm)
NF33-1812-50	پلی آمیدی	مارپیچی	۴۵ (°c)	۴-۱۱	۲۲/۷



P<sub>1</sub> و P<sub>2</sub> پمپ های دیافراگمی ، M غشاء مورد استفاده ، G شیر تنظیم جریان ،

۱ : permeate ، ۲ : concentrate .

آزمایشات در شرایط کاملا مشابه یکبار با استفاده از محلول حاوی فلورید سدیم و یکبار با استفاده از محلول ساخته شده با نمک فلورید کلسیم در دو دبی ۰/۷۵ و ۱/۷۳ انجام شد.

در شکل (۲) شمای کلی از پابلوت مورد استفاده آورده شده است. در این شکل قسمت های مختلف پابلوت قابل مشاهده می باشد. به منظور دقت در انجام آزمایشات غشاء پس از هر بار آزمایش شستشو شده است. به منظور محاسبه میزان حذف فلوراید از فرمول زیر استفاده شد:

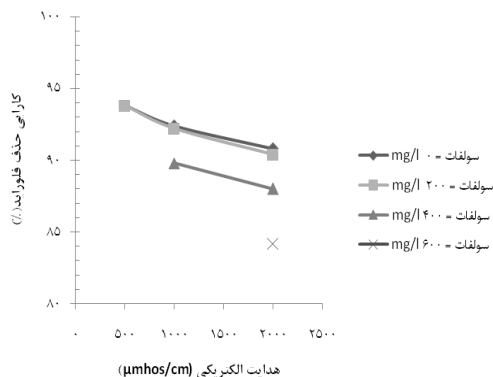
$$R\% = (1 - (C_p / C_0)) \times 100$$

که در آن R درصد حذف ، C<sub>p</sub> و C<sub>0</sub> نیز به ترتیب نشانه غلظت پارامتر های مورد نظر در پرمیت و آب خام ورودی می باشد.

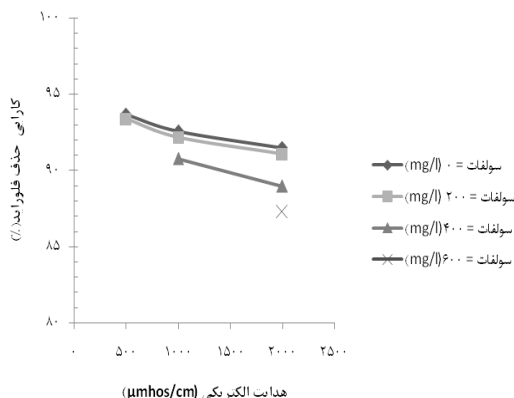
نمونه های آب تولید شده از غشاء (پرمیت) <sup>۱</sup> جمع آوری و از لحاظ پارامتر های مورد نظر مورد آزمایش قرار گرفتند. به منظور تعیین میزان فلوراید از روش SPADNS و از دستگاه اسپکتروفوتومتر ( DR/5000, HACH ) استفاده شد. دستگاه اسپکتروفوتومتر (دستگاه Spectrophotometer, Company, USA) در طول موج ۵۸۰ نانومتر استفاده شد. سنجش میزان سولفات با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (دستگاه Spectrophotometer, PerkinElmer) و تعیین میزان هدایت الکتریکی نیز با استفاده از دستگاه هدایت سنج ( WTW cond 330i ) صورت گرفت. جهت تنظیم دبی عبوری از غشاء از دو پمپ دیافراگمی استفاده شد که در حالت کار یک پمپ دبی عبوری ۰/۷۵ لیتر در دقیقه و در حالت کار هر دو

1 Permeate water

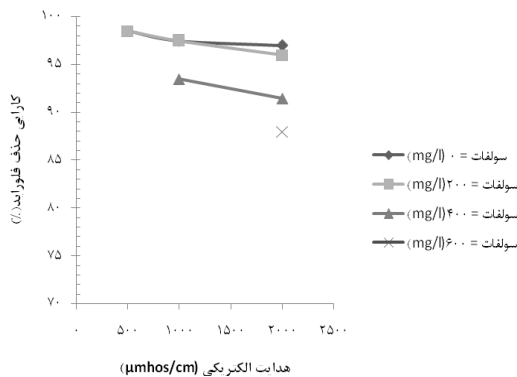
نمودار ۱: تاثیر سولفات و هدایت الکتریکی بر کارایی حذف فلوراید (فلورید سدیم ، غلظت فلوراید = ۲ mg/l)



نمودار ۲: تاثیر سولفات و هدایت الکتریکی بر کارایی حذف فلوراید (فلورید سدیم ، غلظت فلوراید = ۵ mg/l)



نمودار ۳: تاثیر سولفات و هدایت الکتریکی بر کارایی حذف فلوراید (فلورید سدیم ، غلظت فلوراید = ۱۰ mg/l)

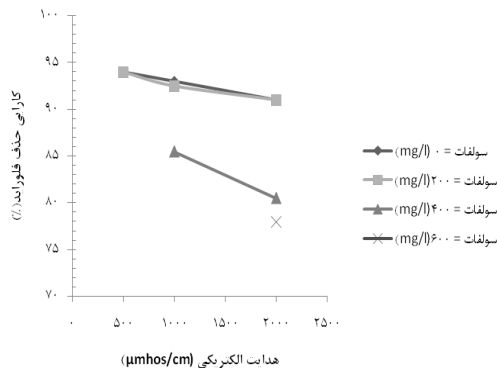


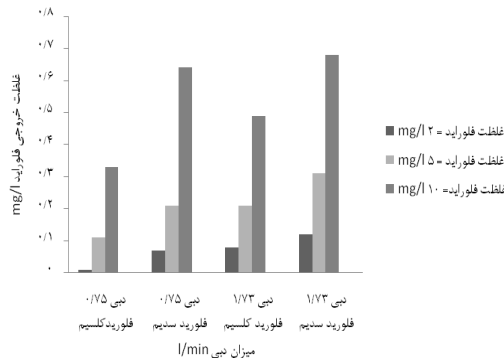
نمودار ۴: تاثیر سولفات و هدایت الکتریکی بر کارایی حذف فلوراید (فلورید کلسیم ، غلظت فلوراید = ۲ mg/l)

پس از انجام آزمایشات و جمع آوری داده ها نتایج حاصل در نرم افزار اکسل مورد آنالیز قرار گرفت.

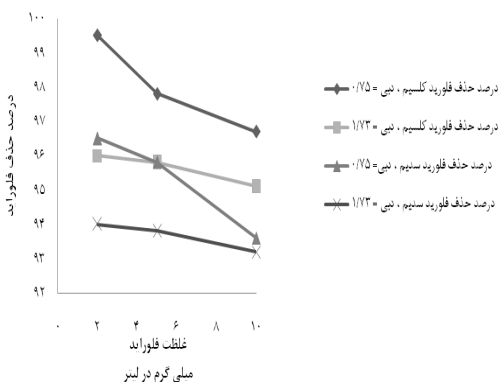
### یافته ها

آزمایشات در شرایط مشابهی از نظر دما و pH برای حالت های مختلف انجام شد. با توجه به اینکه راندمان حذف فلوراید در دبی ۰/۷۵ لیتر در دقیقه بیشتر از دبی ۱/۷۳ لیتر در دقیقه به دست آمد، لذا آزمایشات بررسی اثر میزان غلظت سولفات و هدایت الکتریکی تنها در دبی ۰/۷۵ لیتر در دقیقه انجام شد. به علاوه نتایج به دست آمده به تفکیک برای نمک های فلورید سدیم و فلورید کلسیم آورده شده است. نمودار های شماره ۱ تا ۶ نشان دهنده اثرمقادیر متفاوت غلظت سولفات و هدایت الکتریکی بر کارایی حذف فلوراید در دبی ۰/۷۵ لیتر بر دقیقه می باشد. همانطور که مشاهده می شود با افزایش مقادیر سولفات و هدایت الکتریکی، کارایی حذف فلوراید کاهش می یابد. نمودار شماره ۷ نشان دهنده مقایسه میانگین کارایی حذف فلوراید برای دو نمک فلورید کلسیم و فلورید سدیم می باشد. طی مطالعه انجام شده مشخص گردید که میزان حذف یون فلوراید، زمانی که با یون کلسیم همراه است بیشتر از زمانی است که که فلوراید همراه با یون سدیم می باشد. به علاوه همانطور که در نمودار شماره ۸ نشان داده شده است، با افزایش دبی ورودی به غشاء از میزان کارایی حذف فلوراید کاسته می شود. در نمودار شماره ۹ نیز تاثیر غلظت اولیه فلوراید آب خام بر کارایی حذف نشان داده شده است. با توجه به نمودارهای مذکور مشخص می گردد که با افزایش غلظت اولیه فلوراید کارایی حذف کاهش می یابد.





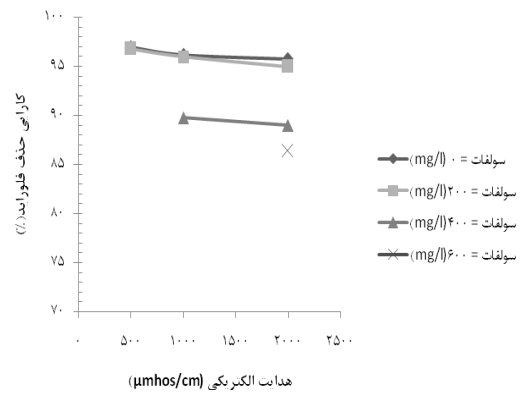
نمودار ۸: تأثیر دبی عبوری بر غلظت خروجی فلوراید



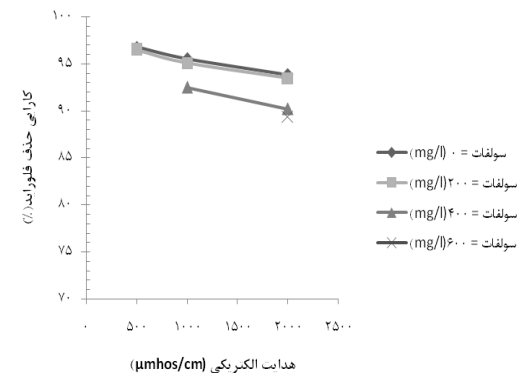
نمودار ۹: اثر غلظت اولیه فلوراید بر کارایی حذف

بحث

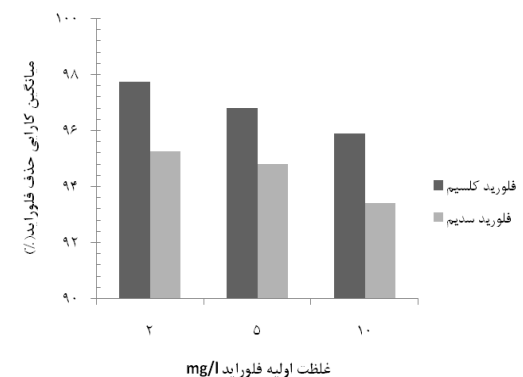
بر اساس رهنمود سازمان بهداشت جهانی (WHO) غلظت مجاز فلوراید در آب آشامیدنی ۱/۵ mg/l می باشد. در تمامی آزمایشات انجام شده، غلظت فلوراید در آب تولیدی (پرمیت) کمتر از حد مجاز به دست آمده است. راندمان این فرایند برای حذف فلوراید بیش از ۸۵ درصد به دست آمده است. به علاوه بر طبق نتایج موجود با افزایش غلظت اولیه فلوراید از کارایی غشاء در حذف فلوراید کاسته می شود که علت این کاهش را می توان به پدیده سپر شدن (Shielding phenomenon) نسبت داد. با افزایش غلظت نمک، غلظت کاتیون های جذب شده توسط غشاء به علت باردار بودن غشاء افزایش می یابد، در نتیجه بار موثر منفی غشاء کاهش و آنیون ها آسانتر از غشاء عبور کرده و در نتیجه کارایی کاهش می یابد. مطالعات انجام شده توسط مالف<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۰) و کانگ هو و



نمودار ۵: تأثیر سولفات و هدایت الکتریکی بر کارایی حذف فلوراید (فلوراید کلسیم ، غلظت فلوراید = ۵ mg/l)



نمودار ۶: تأثیر سولفات و هدایت الکتریکی بر کارایی حذف فلوراید (فلوراید کلسیم ، غلظت فلوراید = ۱۰ mg/l)



نمودار ۷: میانگین کارایی حذف فلوراید در ارتباط با کاتیون های مختلف در غشاء نانوفیلتر.

غشایی دارند [۲۱]. ترابیان و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی کارایی فرایند نانوفیلتراسیون در حذف نیترات پرداختند، در این بررسی مشخص شد کلسیم به علت نفوذپذیری کمتر کارایی حذف بالاتری نسبت به سدیم دارد. [۲۲] اثر افزایش دبی عبوری بر کاهش کارایی را نیز می توان به علت افزایش فلاکس جرمی جریان دانست. در مطالعه ای که توسط یوکی هانگ در سال ۲۰۰۷ انجام شد نیز همین نتیجه به دست آمد به طوری که با افزایش دبی ورودی از ۱۸ ml/min تا ۴۲ میزان کارایی به میزان ۴٪ کاهش یافته است. [۲۳]

### نتیجه گیری

از آنجا که تولید آب آشامیدنی در مقیاس های صنعتی و خانگی با استفاده از فرایند های غشایی توسعه یافته است، با توجه به یافته های این مطالعه می توان نتیجه گرفت که فرایند نانوفیلتراسیون رامی توان به عنوان راهکاری مناسب جهت حذف فلوراید در مناطقی که غلظت این آنیون بیشتر از حد مجازاست، به کار برد. اندازه گیری میزان فلوراید در آب تولیدی در تمامی نمونه های به دست آمده و در شرایط فیزیکی و شیمیایی متفاوت و مقایسه آن ها با استاندارد آب آشامیدنی گویای این مورد می باشد.

همکارانش (۲۰۰۶) نیز همین نتیجه را به همراه داشته و با افزایش غلظت اولیه فلوراید آب خام کارایی فرایند نانوفیلتراسیون کاهش یافته است. [۱۶،۱۷]

در ارتباط با تاثیر مقادیر اولیه سولفات و هدایت الکتریکی نیز به علت اثر ایجاد شده از کارایی کاسته می شود، تاثیر افزایش غلظت سولفات به طور همزمان با میزان هدایت الکتریکی بر کارایی حذف فلوراید را نیز می توان به همین علت دانست چرا که با افزایش هدایت الکتریکی میزان کاتیون ها و آنیون های موجود در آب افزایش می یابد و در نتیجه رقابت بین یونها افزایش یافته و کارایی کاهش می یابد. ضمن اینکه با افزایش غلظت یون ها در آب خام احتمال گرفتگی (fouling) غشاء افزایش یافته و بر کارایی اثر معکوس خواهد داشت. همچنین در غشاهای با بار منفی کاتیون ها بیشتر از آنیون ها در نزدیکی سطح غشاء وجود دارند، این پدیده پتانسیل الکتریکی به نام پتانسیل دونان (Donnan Potential) ایجاد می کند. این پتانسیل به رد شدن یون ها از غشاء کمک می کند، اما افزایش غلظت و افزایش یون های دو ظرفیتی این پتانسیل را کاهش داده و در نتیجه باعث کاهش کارایی می گردد. [۲۰] در بررسی انجام شده توسط پارک<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۰) تاثیر مشخصات آب خام بر کارایی غشاء نانوفیلتر مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی مشخص شده است که کیفیت آب خام و خصوصیات غشاء از فاکتورهای موثر در پدیده انتقال از غشاء می باشند. [۲۰] بر اساس نتایج به دست آمده، حذف فلوراید در ارتباط با کاتیون کلسیم بهتر از زمانی است که همراه با کاتیون سدیم می باشد. دلیل این امر را می توان به نفوذپذیری کمتر کلسیم ( $m^2/s$ ) ( $10^{-9}$ ) (۰/۷۱۸) در مقایسه با سدیم ( $m^2/s$ ) ( $10^{-9}$ ) (۱/۳۳۳) نسبت داد. بنابراین کلسیم تمایل کمتری برای عبور از غشا داشته و در نتیجه حذف بهتری دارد و بنابراین حذف فلوراید همراه با آن نیز در مقایسه با زمانی که همراه با سدیم می باشد افزایش می یابد. در مطالعه ای که توسط ون در براگن (۲۰۰۳) در ارتباط با حذف آلاینده ها از آب های سطحی و زیر زمینی انجام شد نیز این نتیجه به دست آمد که یون های دو ظرفیتی کارایی حذف بالاتری توسط فرایند های

## References

1. A. mesdaghinia , K.A.V, A. Montazeri, M.R. Mohebbi, R. Saeedi, Monitoring of Fluoride in Groundwater Resources of Iran, *Bull Environ Contam Toxicol* 2010; 84: p. 432-437[Persian]
2. D.Shanthakumari, S.S., Effect of Fluoride Intoxication on Bone Tissue of Experimental Rats, *Research Journal of Environmental Sciences* 2007; 1(3): p. 82-92.
3. F. M. Fordyce , K.V., E. Zhovinsky ,V. Povoroznuk , G. Toth , B. C. Hope ,U. Iljinsky , J. Baker, A health risk assessment for fluoride in Central Europe, *Environ Geochem Health*, 2007; 29: p. 83–102.
4. Pontié, M., “et al”, Chapter 2 Water Defluoridation Processes: A Review, Application: Nanofiltration (NF) for Future Large-Scale Pilot Plants, in *Advances in Fluorine Science*, T. Alain, Editor 2006; Elsevier. p. 49-80.
5. Tahaikt, M., “et al”, Fluoride removal from groundwater by nanofiltration. *Desalination* 2007, 212(1-3): p. 46-53.
6. Mohapatra, M., “et al”, Review of fluoride removal from drinking water, *Journal of Environmental Management* 2009; 91(1): p. 67-77.
7. M.Ghaderpoori, G.R.J.k., M.H. Dehghani, M.Shams , A.Zarei, Determination of Fluoride in Bottled Water Sold in Tehran Market,Iran *American -Eurasian J. Agric.&Environ. Sci.* 2009; 6(3): p. 324-327[Persian]
8. Kabay, N., “et al”, Separation of fluoride from aqueous solution by electrodialysis: Effect of process parameters and other ionic species, *Journal of Hazardous Materials* 2008; 153(1-2): p. 107-113.
9. Brajesh K, Shrivastava , A.V., Comparative Study of Defluoridation Technologies in India, *Asian J. Exp. Sci.* 2009; 23(1): p. 269-274.
10. Ramdani, A., “et al”, Removal of excess fluoride ions from Saharan brackish water by adsorption on natural materials, *Desalination* 2010; 250(1): p. 408-413.
11. Abid, M.F., “et al”, Desalination of Iraqi surface water using nanofiltration membranes, *Desalination and Water Treatment* 2011; 29(1-3): p. 174-180.
12. Nicolaisen B , Developments in membrane technology for water treatment, *Desalination*, 2002; 153: p. 355-360.
13. M.ARORA, R.C.M., S.K.Jain, A. Gupta, Use of membrane technology for potable water production, *Desalination* 2004; 170: p. 105-112.
14. Ari, P.H., “et al”, Cost analysis of large scale membrane treatment systems for potable water treatment, *Desalination and Water Treatment* 2011; 26(1-3): p. 172-177.
15. Pendergast, M.M. and E.M.V. Hoek, A review of water treatment membrane nanotechnologies, *Energy & Environmental Science* 2011; 4(6): p. 1946-1971.
16. KANG HU , D.J.M., Nanofiltration membrane performance on fluoride removal from water *Journal of membrane science* 2006; 279: p. pp. 529-538.
17. Amine Mulf , M.B.S., Bechir Hamrouni, effect of some physical and chemical parameters on fluoride removal by nanofiltration, *Ionics* 2010; 16: p. 245-253.
18. KANG HU , D.J.M., Nanofiltration membrane performance on fluoride removal from water *Journal of membrane science* 2006; 279: p. pp. 529-538.
19. Pontie, M., Nanofiltration as a sustainable Water Defluoridation operation dedicated to large scale pilot plants for the future.
20. Noeon Park , j.C., seungkwan Hong, sangyoup Lee, ion transport characteristics in nanofiltration membrane : measurements and mechanisms. *water supply :research and technology*, 2010; p. 179-190.
21. Bart Van der Bruggen, C.V., Removal of pollutants from surface water and groundwater by nanofiltration: overview of possible applications in the drinking water industry; *Environmental Pollution* 2003; 122 p. 435–445.
22. Al i Torabian , G.N.B., Aliasghar Ghadimkhani, Mehdi afaefar, evaluation of Efficiency Nitrate Removal of a Nanofiltration Membrane from drinking Water under Different Operating Conditions, *water and wastewater* 2008; 61: p. 15-23[Persian]
23. seong Uk Hong, r.m., Merlin L.Brueing, Separation of fluoride from other monovalent anions using multilayer polyelectrolyte nanofiltration membranes, *langmuir* 2007; 23(4): p. 1716-1722.

Original Article

## The investigation of nanofiltration membrane efficiency to remove fluoride from water

namavar S<sup>1</sup>, Naseri S<sup>2</sup>, Mahvi AH<sup>\*3</sup>, Nabizadeh R<sup>4</sup>

<sup>1</sup> M.S. in Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Prof. of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Asst. Prof. of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Assoc. Prof. of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

**\*Corresponding Author:**  
School of Public Health,  
Tehran University of Medical  
Sciences, Tehran, Iran  
Email: ahmahvi@yahoo.com

---

### Abstract

**Background & objectives:** One of the most important parameter in water quality is the amount of fluoride in water. Fluoride can cause bad effects on human body in high concentration. The most important of these is dental and skeletal fluorosis. According to the WHO guideline, fluoride concentration in drinking water should be limited in 1.5 mg/l. According to the recent study, in some parts of Iran fluoride concentration is more than this standard. At present time, membrane technologies have a lot of advantages; therefore get improved in water industry. The aim of this study is investigation of membrane processes efficiency to product water with suitable quality of fluoride concentration in permeates.

**Material & Methods:** In this study, the efficiency of nanofiltration membrane (NF33, 1812-50, FILMTEC) to remove fluoride from water was investigated. The effect of some chemical (initial amount of fluoride, sulfate and electrical conductivity (EC) and the effects of associated cation with fluoride ion ) and physical (flow rate) parameters to remove fluoride were studied.

**Result:** Obtained results showed that the fluoride removal efficiency decreased with increasing in initial amounts of fluoride, sulfate and EC in feed water and increasing in flow rate. Moreover, this efficiency for CaF<sub>2</sub> was higher than NaF.

**Conclusion:** Compare with standard, fluoride concentration in all samples was in standard range and fluoride removal efficiency for this membrane was over 85%.

**Keywords:** water treatment, membrane technology, nanofiltration, fluoride removal

---

Submitted: 2011 Dec 17

Revised: 2012 Mar 17

Accepted: 2012 Jun 7