

## بررسی کارایی فرایند اسمز معکوس در حذف فلوراید از آب آشامیدنی

سارا نام‌آور<sup>۱</sup> سیمین ناصری<sup>۲</sup> امیرحسین محوی<sup>۳</sup>  
رامین نبی‌زاده<sup>۴</sup> محمد هادی دهقانی<sup>۵</sup>

(دریافت ۹۰/۳/۱ آخرین اصلاحات دریافتی ۹۰/۱۰/۱ پذیرش ۹۰/۱۲/۲۵)

### چکیده

غلظت فلوراید آب آشامیدنی یکی از پارامترهای مؤثر در سلامت است، لذا یافتن راهی برای حذف فلوراید بیش از مقدار استاندارد از آب آشامیدنی از اهداف مهم در پروژه‌های تأمین آب است. امروزه با پیشرفت تکنولوژی و دستیابی به روشهای نوین استفاده از فرایندهای غشایی به منظور تهیه آب سالم و بهداشتی گسترش بسیاری یافته است. در این مطالعه کارایی غشای اسمز معکوس در حذف فلوراید از آب مورد بررسی قرار گرفت. غلظت اولیه فلوراید، غلظتهای متفاوت سولفات و هدایت الکتریکی آب آشامیدنی و نقش نوع کاتیون همراه با یون فلوراید، پارامترهایی هستند که اثر آنها بر راندمان حذف فلوراید توسط این غشاء مورد مطالعه قرار گرفت. کلیه آزمایش‌ها بر اساس روشهای استاندارد انجام شد و برای اندازه‌گیری غلظت فلوراید نیز از روش SPADNS استفاده شد. نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش غلظت فلوراید، سولفات و هدایت الکتریکی، راندمان حذف فلوراید کاهش می‌یابد، به‌علاوه راندمان حذف یون فلوراید برای نمک فلورید کلسیم بیشتر از فلورید سدیم است.

**واژه‌های کلیدی:** فلورایدزدایی، فرایندهای غشایی، اسمز معکوس، تصفیه آب

## Fluoride Removal from Water by Reverse Osmosis Membrane

Sara Namavar<sup>1</sup> Simin Nasseri<sup>2</sup> Amir Hossein Mahvi<sup>3</sup>  
Ramin Nabizadeh<sup>4</sup> Mohammad Hadi Dehghani<sup>5</sup>

(Received May 22, 2011 Revised Dec. 22, 2011 Accepted March 15, 2012)

### Abstract

As fluoride concentration in drinking water is one of the effective parameters in human health, finding the way to remove excess amount of fluoride from drinking water is very important in water supply projects. Today, with developing in technology and finding new methods, the use of membrane technology for producing fresh water get improved. In this study the efficiency of reverse osmosis method to remove fluoride from water was investigated. Initial concentration of fluoride, sulfate and electrical conductivity in feed water and the effect of associated cation with fluoride ion were studied. All tests adapted from "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater". Determination of fluoride concentration was done according the standard SPANDS method by using a spectrophotometer DR/5000. Obtain results show that with increasing in concentration of fluoride and sulfate and electrical conductivity in feed water the efficiency of RO membrane to remove fluoride reduced. In addition, this efficiency for CaF<sub>2</sub> was higher than NaF.

**Keywords:** Defluoridation, Membrane Technology, Reverse Osmosis, Water Treatment.

1. M.Sc. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran  
2. Prof. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran  
3. Assist. Prof. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran (Corresponding Author) (+98 21) 66462268 ahmahvi@yahoo.com  
4. Assoc. Prof. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran  
5. Assist. Prof. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran

۱- کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران  
۲- استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران  
۳- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران (نویسنده مسئول) ۶۶۴۶۲۲۶۸ (۰۲۱) ahmahvi@yahoo.com  
۴- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران  
۵- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

کیفیت آب آشامیدنی تأثیر بسزایی در سلامت عمومی جامعه داشته و از این رو ترکیب شیمیایی آبهای سطحی و زیرزمینی از پارامترهای تعیین کننده در انتخاب منابع تأمین آب در جوامع مختلف است. از آنجا که مهم ترین راه دریافت روزانه فلوراید از طریق آب آشامیدنی است، تعیین میزان فلوراید در آب آشامیدنی یکی از فاکتورهای مهم در سلامت انسان است [۱ و ۲].

یون فلوراید به عنوان الکترون گاتیوتترین عنصر جدول تناوبی و یکی از اعضای گروه هالوژن ها، تمایل زیادی برای تشکیل ترکیب با سایر کاتیون ها دارد [۲-۴]. فلوراید دارای ترکیبات معدنی و آلی مختلفی است که ترکیبات معدنی آن معمولاً در صنعت آب و به منظور فلوئورزنی آب آشامیدنی کاربرد دارند [۵ و ۶].

یون فلوراید در آب جایگزین یون هیدروکسید شده و هیدروکسی اپاتیت با فرمول  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  شکل می گیرد که یکی از مواد معدنی اصلی در شکل گیری استخوان ها و دندان است [۳، ۷ و ۸].

یکی از مهم ترین و شناخته شده ترین عوارض ناشی از دریافت مقادیر بالای فلوراید، فلوئوروزیس است [۱، ۸-۱۱]. بر اساس رهنمودهای سازمان بهداشت جهانی<sup>۱</sup> حداکثر غلظت فلوراید<sup>۲</sup> باید تا ۱/۵ میلی گرم در لیتر در آب آشامیدنی محدود گردد [۱۲ و ۱۳]. در استانداردهای اولیه آب آشامیدنی مربوط به فلوراید که توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا<sup>۳</sup> اعلام شده است، حداکثر غلظت فلوراید ۴ میلی گرم در لیتر اعلام شده است. میزان فلوراید آب در نقاط بسیاری از جهان بیشتر از استانداردهای پذیرفته شده بوده و ایران نیز یکی از این مناطق است [۲، ۳ و ۸]. به عنوان مثال در نقشه تهیه شده در مطالعه مصداقی نیا و همکاران در سال ۲۰۱۰ مشخص شده است که در نواحی جنوبی کشور به خصوص استان بوشهر و همچنین قسمت هایی از استان های هرمزگان، یزد، استان های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی و فارس، غلظت فلوراید بالاتر از ۱/۵ میلی گرم در لیتر است [۴]. طی مطالعه ای که توسط دو برادران و همکاران در سال ۱۳۸۹ انجام شده است نیز مشخص گردیده که مقادیر فلوراید آب آشامیدنی در برخی روستاهای استان بوشهر (منطقه دشتستان) بین ۰/۹۹ تا ۲/۱۲ میلی گرم در لیتر بوده است [۱۴]. در بررسی دیگری که توسط شیرزایی در سال ۱۳۸۹ بر روی منابع آب شهر زاهدان انجام شده است، مشخص گردیده که غلظت فلوراید آب در حدود ۲/۴ میلی گرم در لیتر است [۱۵].

روشهای متفاوتی برای حذف فلوراید از آب آشامیدنی وجود دارد، مانند جذب بر آلومینای فعال، خاک رس و زغال استخوان، ترسیب شیمیایی با آهک و سولفات آلومینیوم، تبادل یونی و فرایندهای غشایی مانند اسمز معکوس<sup>۴</sup>، الکترو دیالیز و نانوفیلتراسیون [۱-۳، ۸ و ۱۳]. امروزه با توجه به محدودیتهایی مانند هزینه بالا، ظرفیت محدود و روشهای پیچیده و گران قیمت احیاء مربوط به روشهای متداول حذف فلوراید، استفاده از روشهای غشایی به این منظور توسعه بسیاری یافته است. این روشها یکی از گزینه های مناسب به منظور تصفیه آب بدون استفاده از مواد شیمیایی است.

تکنولوژی اسمز معکوس طی ۴۰ سال اخیر به خصوص در صنعت تولید آب، توسعه بسیاری یافته است. این فرایند، فیزیکی بوده و آلاینده ها تحت تأثیر فشار کاربردی حذف می گردند. به علاوه این غشاء توانایی حذف آلاینده های بسیار ریز و یون های تک ظرفیتی از آب را دارد. بنابراین در کاربرد غشاء اسمز معکوس، حذف بر اساس سایز و بار الکتریکی ذرات صورت می گیرد [۳، ۸ و ۱۶].

اغلب غشاهای اسمز معکوس به شکل مدول های مارپیچ کاربرد دارند که در آنها صفحات غشایی به دور یک لوله داخلی که آب تصفیه شده را جمع آوری می کند، پیچیده شده اند. مهم ترین فاکتورهایی که راندمان فرایند را تحت تأثیر قرار می دهند عبارتند از: خصوصیات آب خام ورودی، میزان فشار کاری، دمای آب و کنترل و نگهداری سیستم در طی بهره برداری از سیستم [۳ و ۱۷]. از معایب فرایند اسمز معکوس می توان به مصرف انرژی بالا و نیز مسائل مربوط به مدیریت پساب تولیدی اشاره کرد که این موارد به میزان زیادی به نسبت آب به پساب تولیدی مورد نظر و نیز نوع غشاء بستگی دارد که البته در اغلب موارد در مقایسه با سایر روشها، این روش کارایی بالاتری دارد. طی مطالعه ای که توسط جعفری پور و همکاران در سال ۱۳۸۸ انجام شده است، ملاحظات فنی و اقتصادی و بهداشتی اسمز معکوس در تولید آب آشامیدنی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد که در ارتباط با استفاده از فرایندهای غشایی باید به هزینه انرژی مصرفی و نحوه دفع و یا بازیابی پساب تولیدی توجه گردد [۱۸].

با توجه به تنوع زیاد انواع غشاهای اسمز معکوس از لحاظ شکل، جنس و غیره، مطالعات بر روی انواع مختلف و کارایی آنها در حذف آلاینده های موجود در آب انجام شده است. ندیایی و همکاران<sup>۵</sup> در سال ۲۰۰۵ به بررسی حذف فلوراید از پساب صنایع آلومینیوم با استفاده از غشاء RO پرداخته اند. در این بررسی مشخص شده است که اسمز معکوس قابلیت حذف فلوراید در

<sup>4</sup> Reverse Osmosis (RO)

<sup>5</sup> Ndiaye et al.

<sup>1</sup> World Health Organization (WHO)

<sup>2</sup> Maximum Contaminant Level (MCL)

<sup>3</sup> U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)

کلسیم به آب مقطر اضافه گردید. از آنجا که فلورید کلسیم بالاترین درصد وزنی فلوراید یعنی ۴۸/۷ درصد را در مقایسه با نمکهای دیگر فلوراید دارد و نمک فلورید سدیم نیز معیار استاندارد برای اندازه‌گیری غلظت فلوراید در آب است، از این دو نمک به منظور افزودن غلظت فلوراید به آب استفاده شد. به منظور تنظیم میزان سولفات و هدایت الکتریکی نیز به ترتیب از سولفات سدیم و بی‌کربنات سدیم استفاده شد. تمامی آزمایش‌ها در دمای ۲۲ درجه سلسیوس و pH برابر ۷ انجام شد. آنالیز آب خروجی از غشاء بر اساس روشهای آزمایشگاهی استاندارد و موجود در کتاب روشهای استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام گرفت. فلوراید موجود در آب تصفیه شده خروجی بر اساس روش اسپاندس<sup>۲</sup> و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر هج<sup>۳</sup> مدل DR5000 ساخت کشور آمریکا و در طول موج ۵۸۰ نانومتر مورد آزمایش قرار گرفت. این روش شامل واکنش فلوراید با معرف قرمز زیرکونیوم<sup>۴</sup> است. طی این واکنش فلوراید با بخشی از زیرکونیوم ترکیب شده و محلول بی‌رنگی ایجاد می‌کند. بنابراین میزان بی‌رنگ شدن، تابعی از غلظت فلوراید است.

درصد حذف یا راندمان سیستم نیز با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید

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

که در این رابطه

$C_p$  غلظت فلوراید در آب تصفیه شده و  $C_0$  غلظت اولیه است.

<sup>2</sup> SPADNS

<sup>3</sup> HACH

<sup>4</sup> Red Zirconium – dye

غلظتهای بالا را دارا است [۱۹]. سن<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۸ نیز مطالعه‌ای بر کارایی غشای اسمز معکوس در حذف فلوراید انجام داده است. نتایج به دست آمده مشخص می‌کند که این نوع غشای اسمز معکوس راندمانی در حدود ۸۰ درصد در حذف فلوراید دارد [۲]. مظفریان و همکاران در سال ۱۳۸۵ به بررسی حذف آرسنیک با استفاده از غشای اسمز معکوس از آب پرداخته‌اند. در این مطالعه از پنج نوع غشاء به نامهای TFC-ULP ، FT30 ، TFC-SR ، PVD و BW30 استفاده شده است. درصد حذف آرسنیک توسط این غشاء بالای ۹۵ درصد به دست آمده است [۲۰].

هدف از این مطالعه بررسی تأثیر پارامترهایی مانند غلظت فلوراید، سولفات و هدایت الکتریکی آب خام ورودی و نیز تأثیر کاتیون همراه با یون فلوراید در راندمان فلوئورزدایی غشای اسمز معکوس بود.

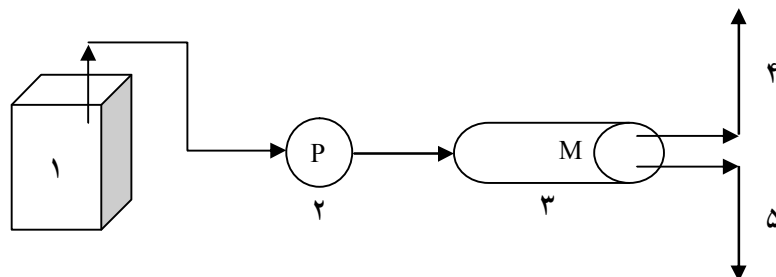
## ۲- مواد و روشها

به منظور انجام آزمایش‌ها از یک سیستم پایلوت استفاده شد. شکل شماتیک پایلوت غشایی، نحوه عبور جریان و تجهیزات مربوط به آن در شکل ۱ آورده شده است. پایلوت شامل یک غشاء اسمز معکوس از نوع فیلم نازک و مدول ماریچی است که مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده است.

دو پمپ دیافراگمی مدل WS-0357674, NO. RE2012-100 ساخت کشور کره برای تغذیه آب خام مورد استفاده قرار گرفت. پایلوت به نحوی طراحی شد که امکان استفاده از یک پمپ به تنهایی و یا هر دو پمپ به طور همزمان وجود داشته باشد. به منظور دستیابی به غلظتهای متفاوت یون فلوراید، نمکهای فلورید سدیم و فلورید

<sup>1</sup> Sehn

- ۱- مخزن آب خام
- ۲- پمپ دیافراگمی
- ۳- غشای اسمز معکوس
- ۴- جریان آب تصفیه شده
- ۵- جریان آب تغلیظ شده



شکل ۱- طرح شماتیک پایلوت غشایی

جدول ۱- مشخصات غشای اسمز معکوس

جنس غشاء	بیشینه دمای کار	بیشینه فشار کار	محدوده pH	غشاء
Polyamide Thin-Film Composite	۱۱۳°F (۴۵°C)	۳۰۰ psi	۲-۱۱	TW30-1812-100

شستشوی غشاء نیز بعد از هر بار آزمایش انجام گرفت. طی این مطالعه غلظتهای ۲، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر از فلوراید مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۲ آنالیز آب خام ورودی را نشان می‌دهد. در پایان داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار Excel مورد آنالیز قرار گرفت.

جدول ۲- مشخصات آب خام ورودی

دما °C	۲۲
هدایت الکتریکی (µS/cm)	۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰
pH	۷
F <sup>-</sup> (mg/L) (NaF and CaF <sub>2</sub> )	۵.۲ و ۱۰
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰

### ۳- نتایج و بحث

جدولهای ۳ و ۴ میزان فلوراید در آب تصفیه شده خروجی را به‌ازای غلظتهای متفاوت سولفات و هدایت الکتریکی نشان می‌دهند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که حذف فلوراید متأثر از غلظت اولیه فلوراید، سولفات و هدایت الکتریکی در آب خام اولیه بوده و طی فرایند اسمز معکوس با افزایش غلظتهای اولیه، راندمان حذف کاهش می‌یابد. بر طبق نتایج موجود با افزایش غلظت اولیه فلوراید از کارایی غشاء در حذف فلوراید کاسته می‌شود که علت این کاهش را می‌توان به پدیده سپردن<sup>۱</sup> نسبت داد. با افزایش غلظت نمک، غلظت کاتیون‌های جذب شده توسط غشاء به‌علت باردار بودن غشاء افزایش می‌یابد، در نتیجه بار مؤثر منفی غشاء کاهش یافته و آنیون‌های آسان‌تر از غشاء عبور کرده و در نتیجه کارایی کاهش می‌یابد. مطالعات انجام شده توسط منیف و همکاران<sup>۲</sup> در سال ۲۰۱۰ و کانگ هو و همکاران<sup>۳</sup> در سال ۲۰۰۶ نیز همین نتیجه را به همراه داشته است و با افزایش غلظت اولیه فلوراید آب خام، کارایی فرایند نانوفیلتراسیون کاهش یافته است [۲۱ و ۲۲].

اثر افزایش غلظت اولیه سولفات و میزان هدایت الکتریکی را نیز می‌توان به همین علت دانست، زیرا با افزایش هدایت الکتریکی، میزان کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب افزایش می‌یابد و در نتیجه رقابت بین یون‌ها افزایش یافته و کارایی کاهش می‌یابد. ضمن اینکه با افزایش غلظت یون‌ها در آب خام احتمال گرفتگی<sup>۴</sup> غشاء افزایش یافته و بر کارایی اثر معکوس خواهد داشت. همچنین در غشاهای با بار منفی، کاتیون‌ها بیشتر از آنیون‌ها در نزدیکی سطح غشاء وجود دارند. این پدیده، پتانسیل الکتریکی به نام

پتانسیل دونان<sup>۵</sup> ایجاد می‌کند. این پتانسیل به رد شدن یون‌ها از غشاء کمک می‌کند اما افزایش غلظت و افزایش یون‌های دو ظرفیتی این پتانسیل را کاهش داده و در نتیجه باعث کاهش کارایی می‌گردد. در ارتباط با اثر سولفات بر کاهش کارایی طی مطالعه‌ای که توسط باریک بین و همکاران در سال ۱۳۸۹ بر روی حذف کروم با استفاده از غشای نانوفیلتر انجام شده همین نتایج به دست آمده است [۲۳].

جدول ۳- میزان فلوراید (فلورید سدیم) در آب خروجی

F <sup>-</sup> (mg/L) (NaF)	۲	۵	۱۰	هدایت الکتریکی
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
۵۰۰	۲۰۰	۰/۰	۰/۶۲	هدایت الکتریکی
۱۰۰۰	۴۰۰	۰/۰۱	۰/۶۵	هدایت الکتریکی
۲۰۰۰	۶۰۰	۰/۰۱۲	۰/۷	هدایت الکتریکی
	۲۰۰	۰/۰۱	۰/۶۷	هدایت الکتریکی
	۴۰۰	۰/۰۱۵	۰/۷۵	هدایت الکتریکی
	۶۰۰	۰/۰۴	۰/۸۱	هدایت الکتریکی

جدول ۴- میزان فلوراید (فلورید کلسیم) در آب خروجی

F <sup>-</sup> (mg/L) (CaF <sub>2</sub> )	۲	۵	۱۰	هدایت الکتریکی
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
۵۰۰	۲۰۰	۰/۰۰	۰/۲	هدایت الکتریکی
۱۰۰۰	۴۰۰	۰/۰۰	۰/۲۲	هدایت الکتریکی
۲۰۰۰	۶۰۰	۰/۰۱	۰/۲۶	هدایت الکتریکی
	۲۰۰	۰/۰۰	۰/۲۲	هدایت الکتریکی
	۴۰۰	۰/۰۲۶	۰/۲۴	هدایت الکتریکی
	۶۰۰	۰/۰۶	۰/۳۱	هدایت الکتریکی

مقایسه نتایج حاصل از آزمایش بر روی آبهای سنتتیک اولیه، مشخص کرد که راندمان حذف فلوراید زمانی که همراه با کاتیون کلسیم است، بیشتر از زمانی است که از نمک فلورید کلسیم برای اضافه کردن یون فلوراید به آب استفاده شده است (شکل‌های ۲ تا ۴). توجه این مورد نیز به نفوذپذیری یونی مربوط می‌گردد، زیرا هرچه میزان نفوذپذیری یونی کمتر باشد، قدرت غشاء برای حذف آن یون بیشتر است. از آنجا که نفوذپذیری یون کلسیم ( $10^{-9} \times 0.718$  مترمربع بر ثانیه) کمتر از یون سدیم ( $10^{-9} \times 1/333$  مترمربع بر ثانیه) است، بالاتر بودن کارایی حذف در زمان استفاده از نمک فلورید کلسیم منطقی به نظر می‌رسد. نتایج به دست آمده از مطالعه‌ای که توسط وان در براگن و همکاران<sup>۶</sup> در سال ۲۰۰۳ بر

<sup>1</sup> Shielding Phenomenon

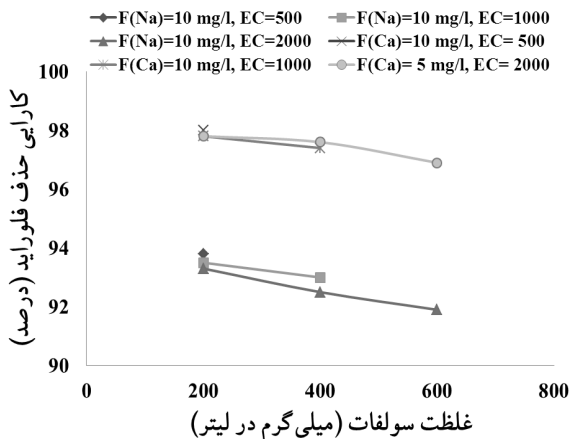
<sup>2</sup> Mnif et al

<sup>3</sup> Kang Hu et al.

<sup>4</sup> Fouling

<sup>5</sup> Donnan Potential

<sup>6</sup> Van der Brugen et al.



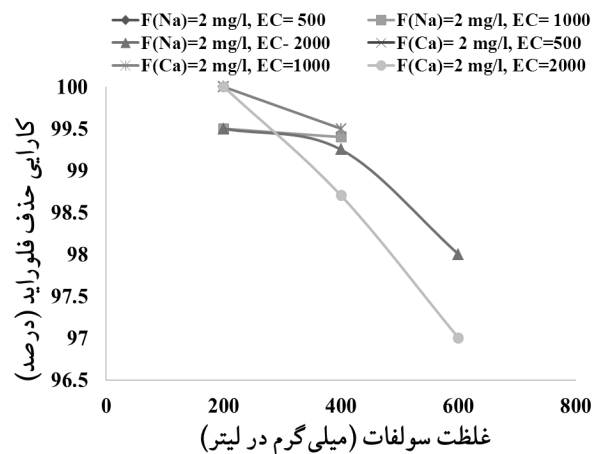
شکل ۴- راندمان حذف غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر فلوراید (NaF) و (CaF<sub>2</sub>) در غلظتهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ سولفات

#### ۴- نتیجه‌گیری

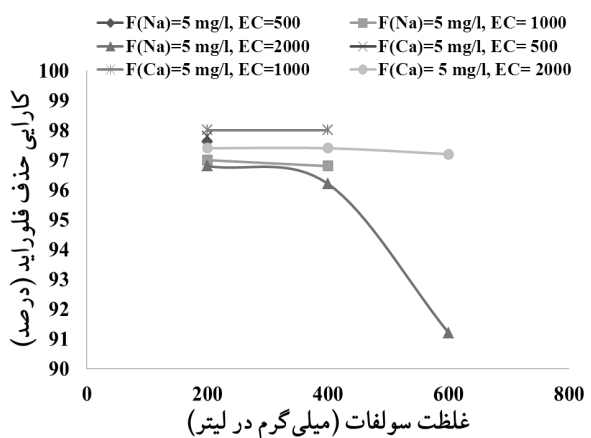
گرچه راندمان حذف فلوراید با غلظتهای اولیه فلوراید، سولفات و هدایت الکتریکی رابطه عکس دارد اما غلظت فلوراید در آب تولیدی در همه موارد کمتر از حدود مجاز بوده که نشان دهنده کارایی این غشاء در فرایند فلوروزدایی است. بر اساس مطالعه انجام شده فرایند اسمز معکوس یکی از فرایندهای مؤثر در حذف فلوراید از آب آشامیدنی است. در ارتباط با استفاده از این روش مزایای زیر قابل توجه است:

- ۱- قابلیت بهره‌برداری این فرایند در فشارهای پایین که از جنبه اقتصادی دارای اهمیت است.
- ۲- استفاده از روش اسمز معکوس این امکان را فراهم می‌سازد که سایر آلاینده‌های موجود در آب کاهش یافته و یا حذف شوند.
- ۳- در این روش نیازی به استفاده از مواد شیمیایی نیست که یکی از مزایای مهم این تکنولوژی به حساب می‌آید.
- ۴- شستشوی غشاء، نیازی به استفاده از روشهای پیچیده و پرهزینه ندارد.
- ۵- با توجه به غلظتهای اولیه مورد آزمایش، این غشاء قابلیت استفاده در مقیاس صنعتی و تصفیه فاضلاب را نیز داراست.
- ۶- طول عمر غشاء طولانی بوده و در صورت استفاده صحیح نیاز به تعویض غشاء در فاصله‌های زمانی کوتاه نیست.

روی حذف آلاینده‌ها با استفاده از فرایندهای غشایی انجام شده است، نشان می‌دهد که غشاء، کارایی حذف بالاتری برای یون‌های دو ظرفیتی نسبت به یون‌های تک ظرفیتی دارد [۲۴]. همچنین میزان فلوراید در همه نمونه‌های جمع‌آوری شده از آب تصفیه شده با غشای اسمز معکوس کمتر از استانداردهای مربوط بوده است. به علاوه این غشاء قادر است تمام مقادیر سولفات موجود را از آب حذف نماید.



شکل ۲- راندمان حذف غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر فلوراید (NaF) و (CaF<sub>2</sub>) در غلظتهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ سولفات



شکل ۳- راندمان حذف غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر فلوراید (NaF) و (CaF<sub>2</sub>) در غلظتهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ سولفات

#### ۵- مراجع

- 1- Mohapatra, M., Anand, S., Mishra, B.K., Giles, D.E., and Singh, P. (2009). "Review of fluoride removal from drinking water." *J. of Environmental Management*, 91(1), 67-77.
- 2- Sehn, P. (2008). "Fluoride removal with extra low energy reverse osmosis membranes: Three years of large scale field experience in Finland." *J. of Desalination*, 223(1-3), 73-84.
- 3- Meenakshi, R.C.M. (2006). "Fluoride in drinking water and its removal." *J. of Hazardous Materials*, 137, 456-463.

- 4- Mesdaghinia, A., Vaghefi, K.A., Montazeri, A., Mohebbi, M.R., and Saeeedi, R. (2010). "Monitoring of fluoride in groundwater resources of Iran." *J. of Bull Environ. Contam. Toxicol.*, 84, 432-437.
- 5- Pollick, H.F. (2004). "Water fluoridation and the environment : Current perspective in the united states." *J. of Water Fluoridation and Environment*, 10(3), 343-350.
- 6- Kauffman, J.M. (2005). "Water fluoridation: A review of recent research and actions." *J. of American Physicians and Surgeons*, 10, 38-44.
- 7- Lhassani, A., Rumeau, M., Benjelloun, D., and Pontie, M. (2001). "Selective demineralization of water by nanofiltration application to the defluorination of brackish water." *J. of Water Research*, 35(13), 3260-3264.
- 8- Pontié, M., Diawara, C., Lhassani, A., Dach, H., Rumeau, M., Buisson, H., and Schrotter, J.C. (2006). "Chapter 2 water defluoridation processes: A review. application: Nanofiltration (NF) for future large-scale pilot plants." *J. of Advances in Fluorine Science*, 2, 49-80.
- 9- Brajesh, K., and Shrivastava, A.V. (2009). "Comparative study of defluoridation technologies in India." *Asian J. of Exp. Sci.*, 23(1), 269-274.
- 10- Ghaderpoori, M., Jahedkhaniki, G.R., Deghani, M.H., Shams, M., and Zarei, A. (2009). "Determination of fluoride in bottled water sold in Tehran market." *Iran American -Eurasian J. of Agric. and Environ. Sci.*, 6(3), 324-327.
- 11- Teresa Alarcon-Herrera, M., Ignacio, R.M.D., Trejo-Vazquez, R., and Rodringuez-doal, S. (2001). "Well water fluoride, dental fluorosis, bone Fractures in the guadiana valley of Mexico." *J. of Fluoride*, 34(2), 139-149.
- 12- Tahaikt, M., El Habbani, R., Ait Haddou, A., Achary, I., Amor, Z., Taky, M., Alami, A., Boughriba, A., Hafsi, M., and Elmidaoui, A. (2007). "Fluoride removal from groundwater by nanofiltration." *J. of Desalination*, 212(1-3), 46-53.
- 13- Li, Y.H., Wang, S., Zhang, X., Wei, J., Xu, C., Luan, Z., and Wu, D. (2003). "Adsorption of fluoride from water by aligned carbon nanotubes." *J. of Materials Research Bulletin*, 38, 469-476.
- 14- Dobaradaran, S., and Mahvi, A.H. (2010). "The effect of fluoride drinking water content and elevation above sea on child dental daries in Borazjan villages." *HBI\_Journals -ISMJ*, 13(2), 102-107.
- 15- Shirzaei, M. (2009). "The relationship between dental caries and fluorosis with fluoride in drinking water." *Birjand University of Medical Science Journal*, 2, 146-147. (In Persian)
- 16- Nicolaisen, B. (2002). "Developments in membrane technology for water treatment." *J. of Desalination*, 153, 355-360.
- 17- Greenlee, L.F. (2009). "Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges." *J. of Water Research*, 43(9), 2317-2348.
- 18- Jafaripor, M.R., Samili Amrod, M., Zeiaepor, A., and Davoodi, R. (2011). "Health, sanitary and economic evaluation of Home-like systems of water treatment (Reverse Osmosis, RO) in Qom city." *J. of Water and Wastewater*, 78, 15-21. (In Persian)
- 19- Ndiaye, P.I., Moulln, P., Dominguez, L., Millet, J.C., and Charbit, F. (2005). "Removal of fluoride from electronic industrial effluent by RO membrane separation." *J. of Desalination*, 173, 25-32.
- 20- Mozafarian, K., Madaeni, S.S., and Khoshnodi, M. (2006). "Evaluation of reverse osmosis membranes for arsenic removal from water." *J. of Water and Wastewater*, 60, 22-28. (In Persian)
- 21- Mnif, A., Mourad Ben Sik, A., and Hamrouni, B. (2010) "Effect of some physical and chemical parameters on fluoride removal by nanofiltration." *J. of Ionics*, 16, 245-253.
- 22- Hu, K., and Dickson, J.M. (2006). "Nanofiltration membrane performance on fluoride removal from water." *J. of Membrane Science*, 279(1-2), 529-538.
- 23- Barikbin, B., Mortazavi, S.B., and Moussavi, G. (2011). "Removal of hexavalent chromium from brackish groundwater by nanofiltration: A case study in Iran." *J. of Water Supply: Research and Technology*, 60(2), 121-126.
- 24- Van der Bruggen, B., and Vandecasteele, C. (2003). "Removal of pollutants from surface water and groundwater by nanofiltration: Overview of possible applications in the drinking water industry." *J. of Environmental Pollution*, 122, 435-445.