

بررسی کارآیی یک غشای نانوفیلتراسیون در حذف نیتрат از آب آشامیدنی در شرایط عملی مختلف

علی تریابان^۱ مهري شکوهي هرندی^۲ غلامرضا نبي بیدهندي^۳

علی اصغر قدیم‌خانی^۲ مهدی صفایی‌فر^۲

(دریافت ۸۵/۵/۱۹ پذیرش ۸۵/۱۲/۲)

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی تأثیر فشار و ترکیب یونی آب در کاهش نیترات از آب آشامیدنی با استفاده از یک غشای نانوفیلتراسیون بوده است. به منظور بررسی تأثیر فشار، میزان حذف نیترات در غلظت نیترات ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات سدیم و نیترات کلسیم در دامنه فشار ۴ تا ۱۱ بار مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی تأثیر غلظت در میزان حذف نیترات، از غلظتهای ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نمکهای نیترات سدیم، نیترات پتاسیم، نیترات کلسیم و نیترات منیزیم برای شبیه‌سازی آب استفاده شد. برای بررسی تأثیر نوع آنیون همراه نیترات در میزان حذف آن، میزان حذف نیترات با افزودن غلظتهای ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر دو نمک فلورید سدیم و سولفات سدیم به محلول حاوی نیترات سدیم اندازه‌گیری و تأثیر حضور این آنیون‌ها در غلظتهای مختلف بررسی و مقایسه گردید. نتایج نشان داد که با افزایش فشار، میزان حذف نیترات افزایش می‌یابد که این تأثیر افزایش فشار، به ویژه هنگامی که نیترات به همراه کاتیون تک ظرفیتی باشد محسوس تر است. بعلاوه، این افزایش میزان حذف تا فشار ۸ بار بیشتر بوده و پس از آن تقریباً ثابت می‌شود. نوع کاتیون همراه نیترات نیز در میزان حذف آن تأثیر داشته و حداکثر میزان حذف نیترات در محلول شبیه‌سازی شده با نیترات کلسیم و حداقل آن در محلول شبیه‌سازی شده با نیترات پتاسیم مشاهده شد. در خصوص تأثیر غلظت در میزان حذف نیترات نیز بسته به نوع کاتیون همراه نیترات این تأثیر متفاوت است. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه هنگامی که کاتیون همراه نیترات دو ظرفیتی باشد، همچون نیترات کلسیم و نیترات منیزیم، با افزایش غلظت نیترات، میزان حذف آن افزایش می‌یابد، لکن هنگامی که کاتیون همراه نیترات تک ظرفیتی است، همچون نیترات سدیم و نیترات پتاسیم، میزان حذف نیترات با افزایش غلظت کاهش می‌یابد. تأثیر نوع و میزان آنیون همراه نیترات در میزان حذف آن نیز بسته به نوع آنیون همراه متفاوت می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با افزایش غلظت سولفات در محلول، میزان حذف نیترات کاهش می‌یابد، در حالی که با افزایش غلظت فلوراید در محلول میزان حذف نیترات افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: نانوفیلتراسیون، نیترات، فشار بهره برداری، ترکیب یونی.

Evaluation of Efficiency Nitrate Removal of a Nanofiltration Membrane from Drinking Water under Different Operating Conditions

Ali Torabian¹

Mehri Shokouhi Harandi²

Gholamreza Nabi Bidhendi³

Aliasghar Ghadimkhani² Mehdi Safaefar²

(Received Aug. 10, 2006 Accepted Feb. 21, 2007)

Abstract

The aim of present work was to investigate effects of the water pressure and ion compound present in water to be treated on nitrate removal efficiency of a nanofiltration membrane. Experiments were performed using sodium salts (NaNO₃, Na₂SO₄, NaF), KNO₃, Ca(NO₃)₂, and Mg(NO₃)₂ added to tap water. The effects of operating pressures were investigated for a pressure range of 4-10 bars for a nitrate concentration of 150 mg.L⁻¹(NO₃⁻). The

1- Assoc. Prof., Department of Environmental Engineering, University of Tehran, altorabi@ut.ac.ir

2- Former Grad. Student of Environmental Engineering, University of Tehran

3- Assoc. Prof., Department of Environmental Engineering, University of Tehran

۱- دانشیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، altorabi@ut.ac.ir

۲- کارشناس ارشد عمران محیط زیست، دانشگاه تهران

۳- دانشیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

effects of concentration levels were studied for the levels 50, 100, 150, 200, 250 and 300 mg.L⁻¹(NO₃⁻). Finally, the effects of anions were investigated for concentration levels of 50, 100, 150, 200 and 250 mg.L⁻¹ of F⁻ and SO₄²⁻. The results showed that nitrate removal increased with increasing pressure by up to 8 bars beyond which removal goes steady. Increased nitrate salt concentrations in monovalent salts led to reduced nitrate removal but in divalent salts led to increased nitrate removal. The effect of associated cation on nitrate removal was observed to be higher in the case of NaNO₃ compared to KNO₃. It was further observed that increasing sulfate ion concentrations reduced nitrate removal while increasing fluoride levels increased nitrate removal.

Keywords: Nanofiltration, Nitrate, Operating Pressure, Ion Compound.

۱- مقدمه

مکانیسم غربالگری بوده ضمن آنکه به دلیل باردار بودن این غشاهای، واکنش‌های بین غشاء و محلول نیز نقش به‌سزایی در این جداسازی دارند. این واکنش‌ها بستگی به خواص محلول مورد تصفیه و ساختار غشاء دارد. از آنجایی که غشاهای مختلف تجاری، خواص مختلفی داشته و از طرف دیگر اطلاعات دقیقی در خصوص ساختار و خواص فیزیکی-شیمیایی این غشاهای در دسترس نیست، لذا انجام مطالعات آزمایشگاهی هنوز مناسب‌ترین روش به منظور شناخت نحوه عملکرد این غشاهاست [۱۱-۱۴].

۲- مواد و روشها

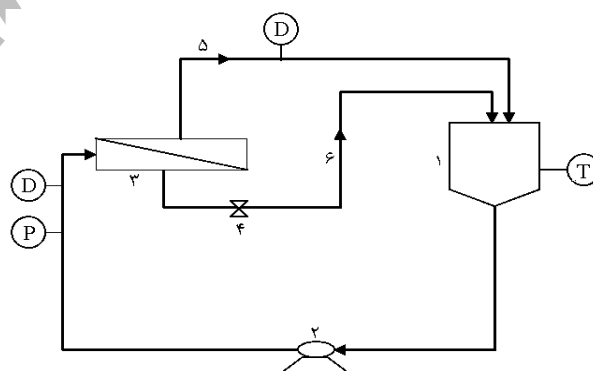
این مطالعه با استفاده از یک پایلوت نانوفیلتراسیون با بازگشت کامل انجام شده است؛ بدین صورت که خروجی از غشاء و آب باقیمانده هر دو به منبع اولیه بازگشت داده شدند تا هیچ‌گونه تغییری در خوراک داده نشود. شکل ۱، شماتیکی از این پایلوت را نشان می‌دهد.

مدول نانوفیلتر با یک نوع غشاء مارپیچی حلزونی با اندازه استاندارد (۲۵۴۰) مجهز شد. خصوصیات این غشاء در جدول ۱ آورده شده است. به منظور انجام این آزمایش‌ها از نمکهای نیترات سدیم، نیترات پتاسیم، نیترات کلسیم و نیترات منیزیم و سولفات

اولین کاربردهای نانوفیلتراسیون به نیمه دوم دهه هشتاد میلادی بر می‌گردد [۲ و ۱]. از همان ابتدا، صنعت تصفیه آب یکی از مهم‌ترین عرصه‌های استفاده از نانوفیلتراسیون بوده است. از جمله کاربردهای وسیع آن می‌توان به استفاده از آن در فرآیند نرم‌سازی اشاره کرد. کما اینکه هنوز نیز گاهی به آنها "غشاهای سختی زدا" اطلاق می‌شود [۳ و ۴]. با این وجود، مطالعات حاکی از آن است که این غشاهای در حذف مواد آلی طبیعی و رنگ از آب نیز عملکرد مناسبی دارند [۵ و ۶]. توانایی توأمان در حذف مواد آلی و غیر آلی به همراه حذف سختی در یک مرحله باعث شده که بتوان یک واحد غشایی را جایگزین بخشهای متعددی از پروسه‌های تصفیه آب نمود. این امر منجر به تمایل کمپانی‌های تصفیه آب به تحقیقات بیشتر در این زمینه و علاقه‌مندی به سرمایه‌گذاری در این بخش گردید که به دنبال آن کاربردهای جدیدی از جمله گندزدایی به واسطه حذف ویروس‌ها، حذف آفت کشها و سایر ریزآلاینده‌ها و حذف آرسنیک نیز یافته شد [۷-۱۰].

امروزه تحقیقات عمدتاً بر روی آگاهی از مکانیسم عبور ترکیبات مختلف از غشاهای و بررسی کاربردهای جدید از جمله حذف یون‌های تک ظرفیتی متمرکز می‌باشد.

غشاهای نانوفیلتراسیون بین اسمز معکوس و اولترافیلتراسیون قرار دارد، به عبارت دیگر جداسازی در این غشاهای بر پایه



شکل ۱- شماتیکی از پایلوت نانوفیلتراسیون

۱- مخزن؛ ۲- پمپ تغذیه؛ ۳- مدول نانوفیلتراسیون؛ ۴- شیر تنظیم فشار؛ ۵- جریان پریمیت؛ ۶- جریان تغلیظ شده؛
D: دبی سنچ؛ P: فشار سنچ؛ T: گرم کن و سنسور حرارتی

¹Total Recycling

سدیم و فلورید سدیم برای شبیه‌سازی آب استفاده شد.

به منظور بررسی تأثیر فشار و نوع کاتیون همراه نیترات در میزان حذف آن با استفاده از نمکهای نیترات سدیم، نیترات پتاسیم و نیترات کلسیم در غلظت نیترات ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر میزان حذف نیترات در دامنه فشار ۴ تا ۱۱ بار اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است دامنه فشار، بر اساس دامنه فشار متداول در بهره‌برداری از غشاهای نانوفیلتر انتخاب شد.

به منظور بررسی تأثیر غلظت بر میزان حذف نیترات علاوه بر نمکهای فوق از نمک نیترات منیزیم نیز برای شبیه‌سازی آب با غلظتهای نیترات ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر استفاده شد و میزان حذف در غلظتهای مختلف و در فشار ۸ بار مورد بررسی قرار گرفت. سرانجام به منظور بررسی تأثیر نوع و میزان آنیون همراه نیترات در میزان حذف آن، با افزودن غلظتهای ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر فلوراید و سولفات به آب شبیه‌سازی شده با غلظت نیترات ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، میزان حذف نیترات در فشار ۸ بار و در غلظتهای مختلف این آنیون‌ها اندازه‌گیری و مورد مقایسه واقع شد. غلظتهای به کار گرفته شده در این مطالعه بر اساس محدوده غلظتهای این یون‌ها در آبهای طبیعی انتخاب شدند.

کلید آزمایش‌ها در $pH=6.7 \pm 0.2$ و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و دبی جریان ورودی ۷۸۰ لیتر بر ساعت انجام شد. جهت انجام کلید آزمایش‌ها از دستورالعمل‌های موجود در کتاب روشهای استاندارد استفاده گردید.

به منظور محاسبه میزان حذف نیترات توسط نانوفیلتر از رابطه زیر استفاده شده است

$$R(\%) = [1 - (C_p / C_o)] * 100 \quad (1)$$

که در آن:

R، نشانگر درصد حذف^۱ و C_p و C_o ، به ترتیب نشانگر غلظت نیترات در پرمیت و در آب ورودی می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر فشار بر میزان حذف نیترات

همان‌گونه که در شکل ۲ ملاحظه می‌گردد، میزان حذف نیترات با افزایش فشار، افزایش می‌یابد. مقدار این افزایش در فشارهای کمتر، بیشتر بوده و به تدریج کاهش می‌یابد.

این پدیده را برخی از محققان مورد بررسی قرار داده‌اند و دلیل آن را افزایش پلاریزاسیون با افزایش فشار دانسته‌اند [۱۵ و ۱۶]. لکن در موارد فوق غلظتهای بسیار بالای نمک مورد استفاده قرار گرفته و لذا تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین میزان نفوذپذیری غشاء در برابر آب خالص و آب ساخته شده ملاحظه شد (منحنی شار از حالت خطی خارج شده است) که این امر به دلیل پدیده پلاریزاسیون غلظتی و مقاومتی که در برابر محلول ایجاد می‌نماید، کاملاً قابل توجیه است. ولی در این مطالعه فلاکس عبوری آب با افزایش فشار به صورت تقریباً خطی افزایش یافته است (شکل ۳) که نشان دهنده ناچیز بودن پلاریزاسیون غلظتی است. حالت اخیر با مطالعات زو و لبرون^۲ و پاوگم^۳ و همکاران هماهنگی دارد [۱۳ و ۱۷].

در این مورد می‌توان گفت که کاتیون‌های Na^+ شعاع یونی بسیار کوچک و بالطبع انرژی هیدراتاسیون اندکی دارند و لذا می‌توانند وارد حفره‌های غشاء گردند که مقداری از آنها درون حفره‌های غشاء باقی می‌مانند (نیروهای سطحی غشاء). در این حالت، جذب سطحی ذرات بر روی سطح غشاء به نیروهای موجود بین آنها بستگی دارد که در این میان نیروهای الکترواستاتیکی و واندروالس نقش مهمی را ایفاء می‌نمایند. از طرف دیگر غشاهای NF در pH انتخاب شده برای این آزمایش‌ها دارای بار منفی هستند که این امر نیز خود به جذب بیشتر این کاتیون‌ها در داخل حفره‌ها و دفع یون‌های نیترات کمک می‌نماید. با افزایش فشار، نیروهای سطحی ثابت می‌مانند و لذا میزان عبور یون‌های Na^+ و به دنبال آن NO_3^- (به منظور تعادل الکتریکی محلول) تغییر قابل ملاحظه‌ای نمی‌کند ولی چون شار حلال (آب) افزایش یافته، در نهایت میزان پس‌دهی محلول بیشتر شده است.

² Xu and Lebrun

³ Paugam

1 Retention

جدول ۱- خصوصیات غشاء نانوفیلتراسیون

نوع غشاء	غشاء نازک مرکب پلی آمیدی
حداکثر دمای بهره‌برداری	۴۵ درجه سانتی‌گراد
حداکثر فشار بهره‌برداری	۴۰ بار
دامنه pH در بهره‌برداری پیوسته	۳-۱۰
مساحت فعال	۲/۶ مترمربع

متفاوت است. همان‌گونه که در شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌گردد، هنگامی که در محلول، نمک‌های تک ظرفیتی نیترات غالب باشد، میزان حذف نیترات با افزایش غلظت آن کاهش می‌یابد. این پدیده در غشاهای باردار رخ داده و پدیده سپر شدن نامیده می‌شود. در اینجا افزایش غلظت نیترات با افزایش غلظت کاتیون تک ظرفیتی همراه می‌باشد. هنگامی که مقدار این کاتیون افزایش می‌یابد، میزان جذب آن بر روی غشاء نیز بیشتر گردیده و میزان دافعه بین نیترات و سایت‌های منفی غشاء را کاهش می‌دهد. در واقع افزایش غلظت کاتیون تک ظرفیتی، موجب افزایش تشکیل لایه کاتیونی بر روی سطح غشاء گردیده و بار مؤثر آن را کاهش می‌دهد و لذا عبور یون‌های نیترات از حفرات غشاء آسان‌تر شده و میزان پس‌دهی کاهش می‌یابد. نتایج این تحقیق با نتایج مشاهده شده توسط پاوگم و همکاران و سانتافه مورس^۱ و همکاران همخوانی دارد [۱۳ و ۱۴].

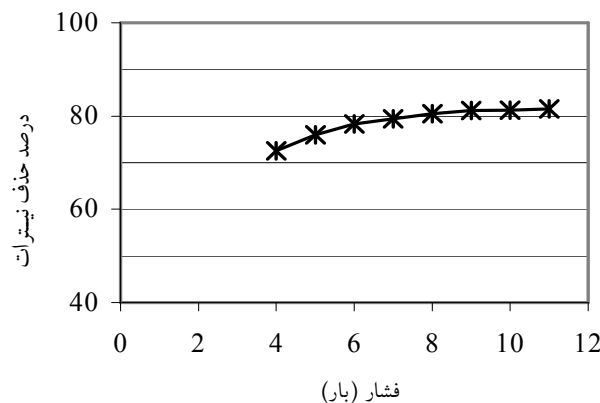
هنگامی که این فشار از حدی بیشتر شود، شار حلال، خود می‌تواند موجب کندی شدن کاتیون‌های جذب شده در حفره‌ها گردد و آنها را با خود به طرف خروجی ببرد که به دنبال آنها نیترات نیز خواهد رفت. لذا همان‌گونه که مشاهده می‌شود در ابتدا افزایش فشار تأثیر زیادی در میزان پس‌دهی دارد و سپس این تأثیر کاهش می‌یابد.

در حالتی که کاتیون همراه نیترات دو ظرفیتی است (شکل ۴) میزان حذف نیترات در کلیه فشارها بالا بوده و چندان متأثر از تغییرات فشار نیست. دلیل این امر این است که پس‌دهی کاتیون همراه نیترات در این حالت به دلیل بار و اندازه بزرگی که دارد، عمدتاً به واسطه غربالگری صورت گرفته و گرچه با افزایش فشار افزایش می‌یابد، لکن در کلیه فشارها بالا بوده و تأثیر فشار چندان به چشم نمی‌آید.

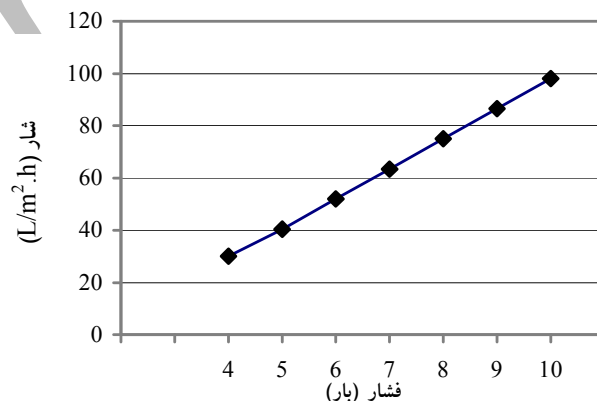
۳-۲- تأثیر غلظت بر میزان حذف نیترات

همان‌گونه که در شکل‌های ۵ تا ۸ ملاحظه می‌گردد تأثیر افزایش غلظت نیترات بر میزان حذف آن، بسته به ترکیب یونی آب،

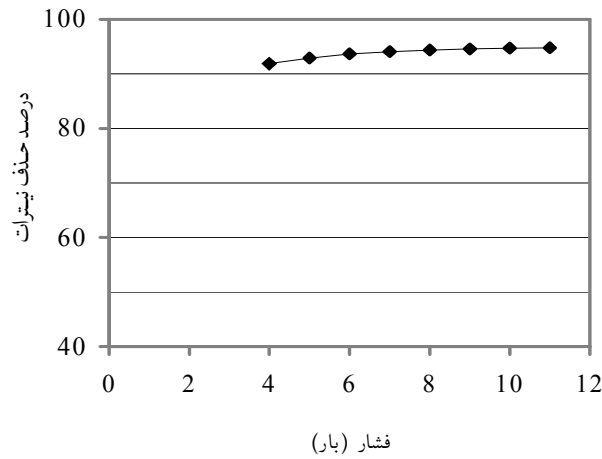
¹ Santafé-Morose



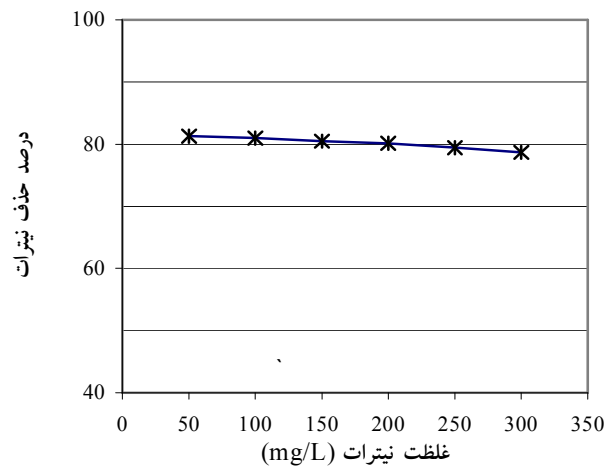
شکل ۲- تأثیر فشار در میزان حذف نیترات با محلول نیترات سدیم با غلظت نیترات ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر



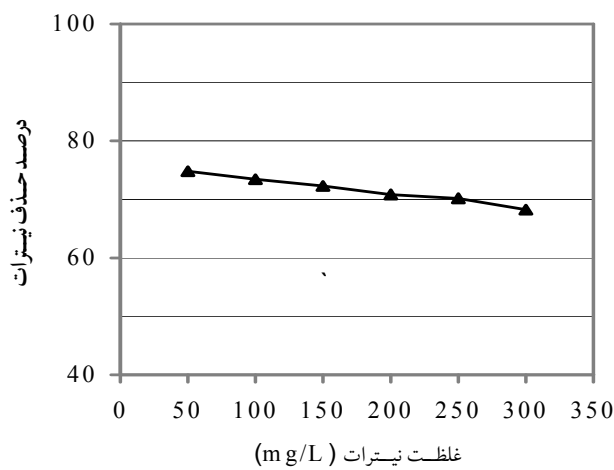
شکل ۳- تغییرات شار با فشار



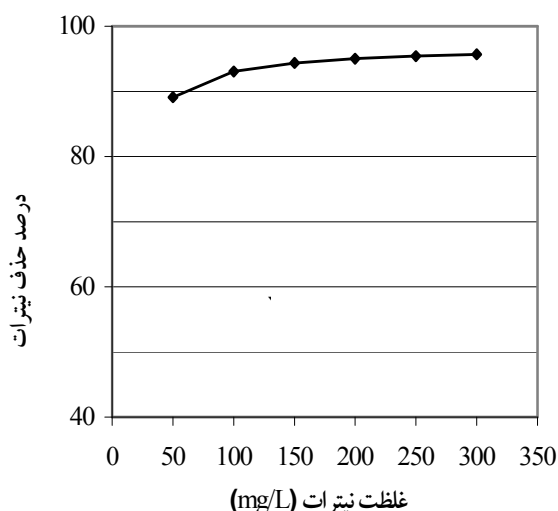
شکل ۴- تأثیر فشار در میزان حذف نیترات با محلول نیترات کلسیم با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر



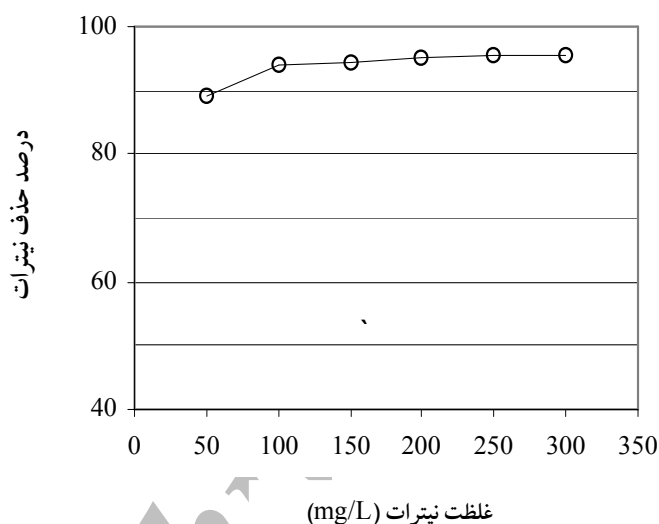
شکل ۵- تأثیر غلظت در میزان حذف نیترات با محلول نیترات سدیم در فشار بهره برداری ۸ بار



شکل ۶- تأثیر غلظت در میزان حذف نیترات با محلول نیترات پتاسیم در فشار بهره برداری ۸ بار



شکل ۷- تأثیر غلظت در میزان حذف نیترات با محلول نیترات کلسیم در فشار بهره برداری ۸ بار



شکل ۸- تأثیر غلظت در میزان حذف نیترات با محلول نیترات منیزیم در فشار بهره برداری ۸ بار

میزان حذف رخ می‌دهد. علت این امر را می‌توان با توجه به میزان نفوذپذیری این کاتیون‌ها توجیه نمود. هر قدر میزان نفوذپذیری یونی کمتر باشد قدرت حذف غشاء بیشتر است. در حالت اخیر که با کاتیون‌های کلسیم، سدیم و پتاسیم سر و کار داریم میزان نفوذپذیری این کاتیون‌ها به ترتیب برابر $(10^{-9} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$ ۰/۷۱۸ و $(10^{-9} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$ ۱/۳۳۳ و $(10^{-9} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$ ۱/۹۵۷ می‌باشد [۲۰]. به عبارت دیگر، میزان نفوذپذیری این کاتیون‌ها به ترتیب از Ca^{2+} به Na^+ و K^+ کاهش یافته و لذا میزان حذف $(\text{Ca}^{2+}) < (\text{Na}^+) < (\text{K}^+)$ بوده که به دنبال آن ترتیب حذف یون‌های نیترات نیز به همین صورت خواهد بود. نتایج این تحقیق با نتایج مشاهده شده توسط وانگ^۱ و همکاران و پاوگم و همکاران همخوانی دارد [۱۸ و ۲۰].

¹ Wang

هنگامی که نیترات به صورت نمک‌های دو ظرفیتی در محلول وجود دارد، همچون حالتی که در شکل ۷ و ۸ ملاحظه می‌گردد، با افزایش غلظت، میزان حذف افزایش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان بدین صورت توجیه نمود که با افزایش غلظت در این حالت، در واقع میزان کاتیون‌های دو ظرفیتی محلول بیشتر گردیده و از آنجا که یون‌های دو ظرفیتی، انرژی هیدراتاسیون بالایی دارند قادر به عبور از غشاء نبوده و لذا یون‌های نیترات برای حفظ خنثی بودن بار الکتریکی در سمت خوراک، باقی مانده و بالطبع میزان حذف آنها افزایش می‌یابد [۱۸ و ۱۹].

۳-۳- تأثیر نوع کاتیون همراه نیترات بر میزان حذف نیترات همان‌گونه که در شکل ۹ مشخص است میزان حذف نیترات بستگی به نوع کاتیون همراه نیترات دارد؛ به این ترتیب که در حضور کاتیون کلسیم، حداکثر میزان حذف و در حضور پتاسیم، حداقل

۳-۴- تأثیر نوع و غلظت آنیون همراه نیترات بر میزان حذف نیترات

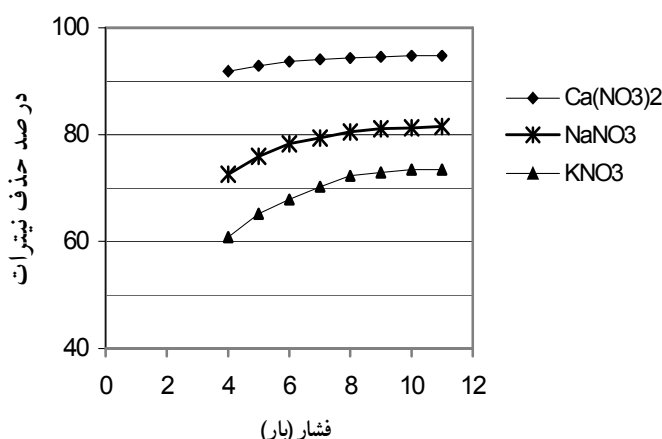
شکل ۱۰، تأثیر نوع و میزان آنیون همراه نیترات را بر میزان حذف آن نشان می‌دهد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود با افزایش غلظت یون فلوراید در آب، میزان حذف نیترات افزایش یافته و با افزایش سولفات، میزان حذف کاهش یافته است. دلیل این امر تفاوت شعاع یونی و بالطبع انرژی هیدراتاسیون این آنیون‌ها می‌باشد. به عبارتی در حالتی که آنیون همراه نیترات فلوراید می‌باشد، شعاع یونی فلوراید برابر $0/136$ نانومتر [۲۱] است که نسبت به نیترات با شعاع یونی $0/189$ نانومتر [۲۱] کمتر است. از اینرو، عبور این آنیون از غشاء نسبت به نیترات آسان‌تر بوده و یون‌های نیترات برای حفظ خنثی ماندن بار الکتریکی محلول در سمت غشاء باقی می‌مانند و میزان حذف آنها افزایش می‌یابد. لکن در حالتی که آنیون همراه

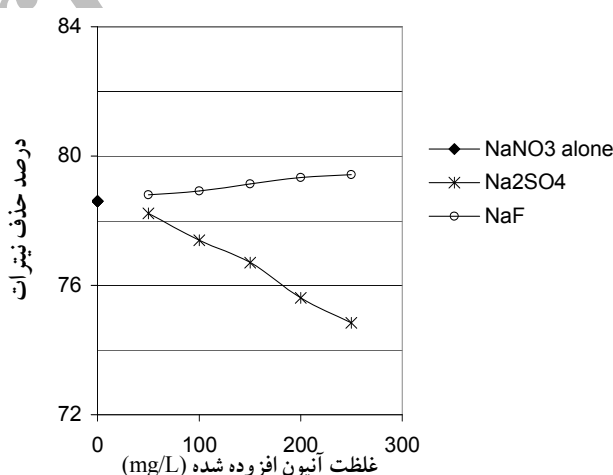
نیترات سولفات می‌باشد، عکس حالت فوق برقرار است. به عبارت دیگر مقدار دفع یون‌های سولفات توسط غشاء به دلیل بار منفی زیادی که دارند بسیار زیاد است و از طرف دیگر انرژی هیدراتاسیون آن (1138 کیلو ژول بر مول) از نیترات (329 کیلو ژول بر مول) بیشتر بوده و عبور آنها سخت‌تر می‌گردد [۲۱]. از اینرو، یون‌های نیترات به منظور آنکه در دو طرف غشاء از نظر الکتریکی خنثی باقی بمانند به سمت دیگر غشاء حرکت کرده و غلظت نیترات در خروجی افزایش می‌یابد. این نتایج با نتایج مشاهده شده توسط بانود^۱ و کریگ^۲ و همکاران مطابقت دارد [۲۲] و [۲۳].

¹ Bannoud

² Krieg



شکل ۹- تأثیر نوع کاتیون همراه نیترات در میزان حذف آن در غلظت نیترات 150 میلی‌گرم بر لیتر



شکل ۱۰- تأثیر نوع آنیون همراه نیترات در میزان حذف آن در غلظت نیترات 400 میلی‌گرم بر لیتر

۴- نتیجه گیری

۱- با افزایش فشار، میزان حذف نیترات افزایش می‌یابد. این افزایش حذف در ابتدا بیشتر بوده و در فشارهای بالاتر به تدریج کاهش می‌یابد.

۲- تأثیر غلظت نیترات بر میزان حذف آن بستگی به نوع کاتیون همراه نیترات دارد. هنگامی که در محلول، نمکهای تک ظرفیتی نیترات غالب باشد، میزان حذف نیترات با افزایش غلظت آن کاهش می‌یابد و هنگامی که نیترات به صورت نمکهای دو ظرفیتی در محلول باشد، با افزایش غلظت، میزان حذف افزایش می‌یابد.

۳- نوع آنیون همراه نیترات بر میزان حذف آن مؤثر است. با افزایش غلظت سولفات، میزان حذف نیترات کاهش می‌یابد؛ چراکه به دلیل بار منفی زیاد و انرژی هیدراتاسیون بالاتر از

نیترات، توسط غشاء پس زده می‌شوند و نیترات برای آنکه از نظر بار الکتریکی خنثی بماند به سمت دیگر غشاء می‌رود. در حالی که با افزایش غلظت فلوراید از آنجایی که انرژی هیدراتاسیون این آنیون کمتر از نیترات است، به میزان بیشتری از غشاء عبور کرده و لذا حذف نیترات بهتر صورت می‌گیرد.

۴- نوع کاتیون همراه نیترات، بر میزان حذف آن تأثیر داشته و هر قدر کاتیون همراه انرژی هیدراتاسیون بالاتری داشته باشد بیشتر دفع شده و لذا به تبع آن حذف یون‌های نیترات نیز بهتر صورت می‌گیرد. در اینجا نیز میزان حذف نیترات به ترتیب از نیترات کلسیم به نیترات سدیم و نیترات پتاسیم کاهش می‌یابد.

۵- قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران به خاطر حمایت مالی این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶- مراجع

- 1- Erikson, P. (1988). "Nanofiltration extends the range of membrane filtration." *Environ. Prog.*, 7 (1), 1-17.
- 2- Conlon, W. J., and McCellan, S. A. (1989). "Membrane softening: treatment process comes of age." *J. AWWA*, 81(11), 47-51.
- 3- Fu, P., Ruiz, H., Thompson, K., and Spangenberg, C. (1994). "Selecting membranes for removing NOM and DBP precursors." *J. AWWA*, 86 (12), 55-72.
- 4- Duran, F. E., and Dunkelberger, G. W. (1995). "A comparison of membrane softening on 3 South Florida groundwaters." *Desalination*, 102 (1-3), 27-34.
- 5- Lo, T., and Sudak, R. G. (1992). "Removing water from a groundwater source." *J. AWWA*, 84 (1), 79-87.
- 6- Berg, P., Hagemeyer, G., and Gimble, R. (1997). "Removal of pesticides and other micropollutants by nanofiltration." *Desalination*, 113 (2-3), 205-208.
- 7- Glucina, K., Alvarez, A., Turner, G., and Laine, J. M. (2000). "Assessment of an integrated membrane system for surface water treatment." *Desalination*, 132 (1-3), 73-82.
- 8- Boussahel, R., Bouland, S., Moussaoui, K. M., and Montiel, A. (2000). "Removal of pesticide residues in water using the nanofiltration process." *Desalination*, 132 (1-3), 205-209.
- 9- Kiso, Y., Nishimura, Y., and Kitao, T. (2000). "Rejection properties of non-phenylic pesticides with nanofiltration membranes." *J. Membr. Sci.*, 171, 229-237.
- 10- Oh, J. I., Urase, T., Kitawaki, H., Rahman, M. M., and Yamamoto, K. (2000). "Modeling of arsenic rejection considering affinity and steric hindrance effect in nanofiltration." *Water Sci. Technol.*, 42 (3-4), 73-80.
- 11- Choi, S., Yun, Z., Hong, S., and Ahn, K. (2001). "The effect of co-existing ions and surface characteristics of nanomembranes on the removal of nitrate and fluoride." *Desalination*, 133 (1), 53-64.
- 12- Kosutic, K., Novak, I, Sipos, L., and Kunst, B. (2004). "Removal of sulfate and other inorganics from potable water by nanofiltration membranes of characterized porosity." *Separ. Purif. Technol.*, 37, 177-185.

- 13- Paugam, L., Taha, S., Dorange, G., Jaouen, P., and Quéméneur, F.(2004). "Mechanism of nitrate ions transfer in nanofiltration depending on pressure, pH, concentration and medium composition." *J. Membr. Sci.*, 231 (1-2), 37-46.
- 14- Santafé-Morose, A., Gozávez-Zafrilla, J. M., and Lora-García, J.(2005). "Performance of commercial nanofiltration membranes in the removal of nitrate ions." *Desalination*, 185 (1-3), 281-287.
- 15- Bockstedte, M., Kley, A., Neugebauer, J., Scheffler, M., Xianting, X., and Spencer, H.G.(1997). "Transport of electrolytes through a weak acid nanofiltration membrane: Effects of flux and crossflow velocity interpreted using a fine-porous membrane model." *Desalination*, 113(1), 85-93.
- 16- Ratanatamskul, C., Urase, T., and Yamamoto, K. (1998). "Description of behavior in rejection of pollutants in ultra low pressure nanofiltration." *Water Sci. Technol.*, 38 (4-5), 453-462.
- 17- Xu, Y., and Lebrun, R.E. (1999). "Investigation of the solute separation by charged nanofiltration membrane: effect of pH, ionic strength and solute type." *J. Membr. Sci.*, 158 (1-2), 93-104.
- 18- Paugam, L., Taha, S., Cabon, J., and Dorange, G. (2002). "Elimination of nitrate ions in drinking waters by nanofiltration." *Desalination*, 152, 271- 274.
- ۱۹- ترابیان، ع. و شکوهی هرندی، م. (۱۳۸۵). "حذف نیترات، سولفات و سختی از آبهای سطحی با نانوفیلتراسیون." مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس بین‌المللی عمران (ICCE)، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۵۲۳.
- 20- Wang, D.X., Su, M., Yu, Z.Y., Wang, X.L., Ando, M., and Shintani, T. (2005). "Separation performance of a nanofiltration membrane influenced by species and concentration of ions." *Desalination*, 175 (2), 219-225.
- 21- Paugam, L., Diawara, C. K., Schlumpf, J. P., Jaouen, P., and Quéméneur, F. (2004). "Transfer of monovalent anions and nitrates especially through nanofiltration membranes in brackish water conditions." *Separ. Purif. Technol.*, 40 (3), 237-242.
- 22- Bannoud, A.H. (2001). "Elimination of hardness and sulfate content in water by nanofiltration." *Desalination*, 137 (1-3), 133-139.
- 23- Krieg, H.M., Modise, S.J., Keizer, K., and Neomagus, H.W.J.P. (2004). "Salt rejection in nanofiltration for single and binary salt mixtures in view of sulphate removal." *Desalination*, 171(2), 205-215.