

# ارزیابی عملکرد فرآیند اسمز معکوس در حذف آرسنیک از آب

کریم مظفریان<sup>۱</sup>

سید سیاوش مدائنی<sup>۲</sup>

محمد خشنودی<sup>۳</sup>

(دریافت ۸۵/۳/۱۶ پذیرش ۸۵/۹/۱۴)

## چکیده

آرسنیک عنصری است که در ترکیبات پوسته زمین وجود دارد و غلظت‌های زیاد آن در آب آشامیدنی می‌تواند سبب سرطان پوست، ریه و دیگر بیماریها شود. متأسفانه بعضی از مناطق روستایی و شهری استان کردستان از جمله شهر دلبران دارای آرسنیک بالاتر از ۷۰ ppb می‌باشد که بالاتر از حد استاندارد جهانی است. هدف از این تحقیق ارزیابی اثر استفاده از غشاهای جهت حذف آرسنیک از آب بوده است. بنابراین برای بررسی عملی تأثیر غشاهای در حذف آرسنیک، از پنج نوع غشاهای PVD، TFC-SR، TFC-ULP، FT30 و BW30 استفاده شد که غشای TFC-SR با توجه به دو پارامتر شار خروجی و درصد حذف آرسنیک آن که بالای ۹۵ درصد بود، به عنوان بهترین غشاهای انتخاب شد. پارامترهای فشار، دما و pH بر روی این غشاهای آزمایش شد و شرایط بهینه فشار برابر ۱۰ بار و pH برابر ۷/۵۷ به دست آمد. در ضمن مشخص شد با بالا رفتن دما، شار خروجی غشاهای و پس‌دهی آرسنیک افزایش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** آرسنیک، اسمز معکوس، آب آشامیدنی، حذف.

## Evaluating the Performance of Reverse Osmosis in Arsenic Removal from Water

Karim Mozafarian<sup>1</sup>

Seyyed Syavosh Madaeni<sup>2</sup>

Mohammad Khoshnodi<sup>3</sup>

(Received June 6, 2006 Accepted Dec. 5, 2006)

### Abstract

Arsenic exists in compounds present in the Earth's crust in various concentrations. High concentrations of arsenic in drinking water may cause skin and lung cancers or other diseases. Unfortunately, in some urban and rural areas in Kurdistan Province (e.g., Delbaran), arsenic concentrations of above 70 ppb are observed in groundwater resources, which is higher than EPA standards. The objective of this study was to evaluate the effects of using membranes for arsenic removal from drinking water. To study the practical effects of different membranes on arsenic removal, five types of membranes, namely, PVD, TFC-SR, FT30, TFC-ULP, and BW30, were used. Based on the two parameters of effluent flux and arsenic removal efficiency (which was above %95), TFC-SR was selected as the best membrane. Atmospheric pressure, temperature, and pH were the parameters tested for this membrane to obtain an optimum atmospheric pressure of 10 bars and an optimum pH level of 7.57. Results also showed that higher temperatures increased both the effluent flux and arsenic removal.

**Keywords:** Arsenic, Reverse Osmosis, Drinking Water, Removal.

1- MSc, Chemical Engineering, Sistan & Balochestan University, Zahedan, k\_mozafarian@yaboo.com  
2- Faculty Member, Department of Chemical Engineering, Razi University of Kermanshah  
3- Faculty Member, Department of Chemical Engineering, Sistan & Balochestan University, Zahedan

۱- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، k\_mozafarian@yaboo.com  
۲- عضو هیئت علمی گروه مهندسی شیمی، دانشگاه رازی کرمانشاه  
۳- عضو هیئت علمی گروه مهندسی شیمی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

اسمز است. در اسمز، اگر یک غشای نیمه تراوا دو محلول شامل مقادیر مختلف مواد شیمیایی را از هم مجزا کند، غشاء می‌تواند اجزای سیال را به طور انتخابی از آن جدا کند، [۹ و ۱۰]. اختلاف فشار باعث عبور آب خالص در میان غشاء از قسمت رقیق به قسمت محلول با غلظت بیشتر می‌شود. این فشار را فشار اسمزی و این فرآیند را اسمز می‌نامند. این پدیده تا زمانی که پتانسیل شیمیایی دو طرف برابر گردند ادامه خواهد یافت، در حالت تعادل، اختلاف فشار بین دو طرف غشاء برابر اختلاف فشار اسمزی است. اگر فشاری برابر اختلاف فشار اسمزی به محلول غلیظ‌تر اعمال گردد، جریان آب قطع خواهد شد. در صورتی که فشار اعمال شده بیشتر از فشار اسمزی باشد، جهت جریان طبیعی آب معکوس خواهد شد. در اسمز معکوس، فشار به طرف غلیظ شده اعمال می‌شود، بنابراین فشار اسمزی را معکوس می‌کند. با فشار کافی اعمال شده، آب خالص از طرف غلیظ به طرف رقیق رانده می‌شود و غشاء اجازه عبور یون‌ها را نمی‌دهد که آرسنیک نیز به عنوان یک یون آلاینده در آب را می‌توان با این روش از آن جدا نمود [۹].

در اینجا به نتایج برخی از مطالعات و تحقیق دیگران اشاره خواهد شد. در آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا غشای TFC-ULP آزمایش شد که حذف آرسنیک III را ۹۷/۵ درصد و آرسنیک III را ۹۲/۵ درصد نشان داد [۱۱]. همچنین در سال ۱۹۹۷ تحقیقی در رابطه با استفاده از غشاءهای RO و NF برای حذف آرسنیک از آب انجام شده بود که نتایج قابل قبولی را به دست آوردند [۱۲]. تحقیقی نیز با همکاری آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا در دانشگاه ایالت مونتانا جهت ارزیابی فرآیند اسمز معکوس برای حذف آرسنیک از آب انجام شد که تمرکز اصلی در این تحقیق بر حذف آرسنیک III بود. پس از آزمایش ۲۱ پایلوت در این تحقیق، مشخص شد که در تمامی آنها حذف آرسنیک III بالاتر از ۹۰ درصد بوده است [۱۳]. همچنین تحقیقی در سان‌دیگو با استفاده از غشاءهای RO در چند پایلوت مختلف انجام شد که حذف آرسنیک III، ۹۹، ۷ درصد و حذف آرسنیک III، ۸۴ درصد بود و به طور کلی حذف آرسنیک پایلوت‌های مختلف از ۹۶-۴۰ درصد بوده است [۱۴]. در ایران نیز دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران تحقیقی در رابطه با عوارض ناشی از آرسنیک در آب استان کردستان و روشهای حذف آن از آب آشامیدنی انجام داده است که در آن به روش اسمز معکوس به عنوان یکی از مناسب‌ترین روشهای حذف آرسنیک از آب برای سیستم‌های کوچک اشاره شده است. در تحقیق مذکور از روش آلومینای فعال شده جهت حذف آرسنیک از آب استفاده شده است که درصد حذف آن از ۶۱ تا ۹۴ درصد بوده است [۱۵]. در این تحقیق نیز ۵ نوع غشاء RO برای حذف آرسنیک آب شهر دلیران در استان کردستان

افزایش جمعیت و تقاضای روزافزون بشر برای غذا و دیگر امکانات زندگی باعث شده است که انسان محیط زیست را جهت تأمین نیازهای خود دستخوش تغییراتی نماید. کارخانه‌ها، راه‌ها، استفاده بیشتر از منابع آبهای سطحی و زیر زمینی، استخراج معادن و توسعه، باعث شده محیط زیست به انواع فلزات سمی و سایر سموم آلوده شود [۱]. امروزه برخی از این آلاینده‌ها ضمن آلوده‌سازی محیط زیست وارد چرخه غذایی شده‌اند و برخی از آنها آبها را آلوده نموده‌اند که به طور مستقیم سلامت انسانها را مورد تهدید قرار داده‌اند و ضمن شیوع بیماریهای مختلف، موجب سرطان و حتی منجر به مرگ می‌شوند [۱، ۲، ۳ و ۴]. از جمله این آلاینده‌ها آرسنیک است که آبهای برخی از مناطق بر اثر فعالیتهای بشری و یا طبیعی به آن آلوده شده است. فاضلاب صنایع فلزی، شیشه‌سازی و سرامیک، ساخت رنگ و آفت کشها، پالایشگاههای نفت، صنایع شیمیایی و صنایع آلی منبع اصلی آرسنیک در محیط است [۱ و ۳]. هم اکنون مشکل اصلی آلودگی آب زیرزمینی به آرسنیک در بنگلادش، بنگال غربی، هند، تایوان و برخی از کشورهای آمریکای جنوبی مثل آرژانتین و مکزیک و همچنین برخی از مناطق شهری و روستایی ایران از جمله استان کردستان وجود دارد.

اثرات زیان آور آرسنیک بر سلامتی انسان، آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا را وادار به اعلام استاندارد جدیدی کرد و در ژانویه ۲۰۰۱ بیشترین سطح مقدار آرسنیک در آب را از ۵۰ ppb به ۱۰ ppb کاهش داد [۳، ۵، ۶]. این در حالی است که روشهای معمول تصفیه آب قادر به کاهش میزان آرسنیک تا این حد نمی‌باشند و این شرایط، انجام تحقیقات در این زمینه را ضروری کرده است.

به طور کلی روشهای حذف آرسنیک از آب به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند: انعقاد و لخته‌سازی - ترسیب، جذب سطحی، و جداسازی غشایی [۷]. در این تحقیق با توجه به اینکه قسمتی از مناطق استان کردستان بالاخص مناطق روستایی دارای آرسنیک بالاتر از حد استاندارد است، جداسازی آرسنیک با استفاده از غشاءهای اسمز معکوس<sup>۱</sup>، به عنوان یکی از روشهای حذف مورد مطالعه قرار گرفته است.

## ۲- حذف آرسنیک توسط غشاء با استفاده از روش اسمز معکوس

اسمز معکوس را با علامت اختصاری RO نشان می‌دهند که یک روش پیشرفته تصفیه آب است [۸]. اساس و قاعده کلی RO، پدیده

<sup>1</sup> Reverse Osmosis (RO)

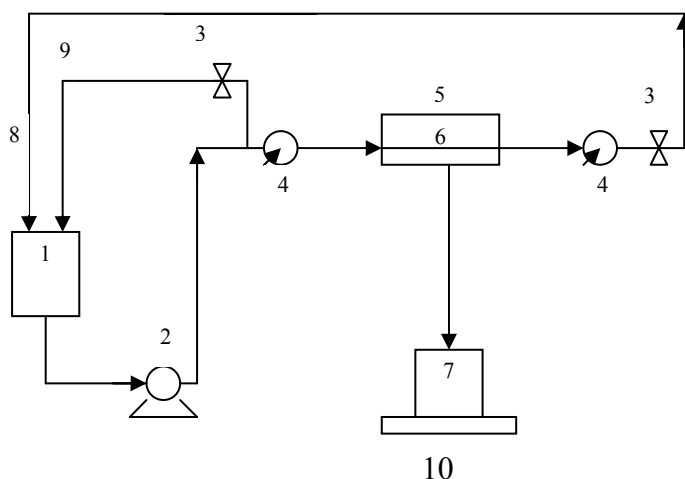
که از نوع آرسنیک III می باشد مورد مطالعه قرار گرفت و درصد حذف آرسنیک کلیه غشاهای بالاتر از ۸۰ درصد بوده است.

### ۳- مواد و روشها

در این آزمایش از پنج نوع غشاء استفاده شده که عبارت بودند از: ۱- غشاء PVD با ضخامت ۱۵۰ میکرومتر از جنس پلی اتیلن ترفتالات ساخت شرکت Hydraunatics؛ ۲- غشاء TFC-SR با ضخامت ۱۵۰ میکرومتر از جنس پلی وینیل الکل ساخت شرکت Fluid Systems؛ ۳- غشاء TF30 با ضخامت ۱۶۰ میکرومتر از جنس پلی آمید ساخت شرکت Filmtec؛ ۴- غشاء BW30 با ضخامت ۱۵۰ میکرومتر از جنس پلی آمید ترفتالات ساخت شرکت Filmtec؛ ۵- غشاء TFC-ULP با ضخامت ۲۰۰ میکرومتر از جنس پلی وینیل الکل ساخت شرکت Fluid Systems. بعد از انجام آزمایش اولیه، میزان شار خروجی و پس دهی آرسنیک آنها مورد بررسی قرار گرفت. آب مورد آزمایش آب یکی از قناتهای شهر دلبران بود که در شرق استان کردستان قرار دارد و آرسنیک آن از نوع آرسنیک III می باشد. در نتایج آزمایشها هر جا که به حذف آرسنیک اشاره شده است، منظور آرسنیک III می باشد. غلظت

آرسنیک در مرحله اول آزمایش ۶۸/۳۵ ppb بوده است. برای تثبیت نمونه ها، از اسید کلریدریک غلیظ خالص و برای تغییرات pH آب مورد آزمایش از اسید کلریدریک و سود استفاده شد و برای آماده سازی غشاهای از محلول ۵۰ درصد آب و اتانل استفاده شد که هر کدام از غشاهای قبل از شروع آزمایش به مدت ۱۰ دقیقه در آن قرار گرفتند.

پایلوته مورد آزمایش دستگاه اسمز معکوسی بود که توسط دانشگاه رازی کرمانشاه طراحی و ساخته شده بود که دستگاه شامل یک مخزن ذخیره آب، یک دستگاه الکتروموتور چینی PEM تک فاز با توان ۲/۲ KW و یک دستگاه پمپ مدل WEL ۷۰۴ bar، ۱۱۰ و همچنین یک مدول RO جهت جایگذاری غشاهای به ابعاد مفید (۱۱ × ۲) سانتی متر بود. شکل ۱، فلودیاگرام دستگاه را نشان می دهد. برای آنالیز نمونه ها جهت تشخیص میزان آرسنیک از دستگاه جذب اتمی مدل Varian نوع spectra AA220FS استفاده شد و از دماسنج الکلی ۱۱۰ درجه سلسیوس برای تعیین دما و برای تعیین pH نیز از دستگاه pH متر مدل Mtrom ۶۳۲ سوئیس استفاده شده است.



۱- مخزن خوراک، ۲- پمپ، ۳- شیر، ۴- فشارسنج، ۵- سلول عبور جریان، ۶- غشاء، ۷- آب تصفیه شده، ۸- جریان غلیظ شده، ۹- جریان برگشتی، ۱۰- بالانس  
شکل ۱- فلودیاگرام پایلوته

جدول ۱- حذف آرسنیک و شار خروجی در انواع غشاهای در فشار ۱۰ بار

| متوسط شار خروجی<br>(لیتر بر ساعت بر مترمربع) | حذف آرسنیک<br>(درصد) | نوع غشاء |
|----------------------------------------------|----------------------|----------|
| ۱۰۷/۲۵                                       | ۹۸/۱                 | PVD      |
| ۲۳۹/۲۱                                       | ۹۶/۱                 | TFC-SR   |
| ۳۵/۶۳                                        | ۸۹/۲                 | FT30     |
| ۸۱/۳۷                                        | ۸۳/۲                 | TFC-ULP  |
| ۳۳/۹۷                                        | ۹۰                   | BW30     |

#### ۴- نتایج

در این تحقیق در ابتدا پنج نوع غشاه از نظر دو پارامتر اساسی جهت حذف آرسنیک مورد آزمایش قرار گرفتند. این دو پارامتر اساسی عبارت بودند از:

الف- میزان پس دهی آرسنیک غشاه‌ها که از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

ب- شار خروجی غشاه‌ها که از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$(1) \quad \text{غلظت آرسنیک نهایی} - \text{غلظت آرسنیک اولیه} \times 100 = \frac{\text{غلظت آرسنیک اولیه}}{\text{غلظت آرسنیک اولیه}} \times 100 = \text{درصد پس‌دهی}$$

$$(2) \quad \text{شار خروجی} = \frac{\text{دبی (L/hr)}}{\text{سطح مقطع غشاه (m}^2\text{)}}$$

در ابتدا روی تک تک غشاه‌ها در زمانهای مختلف و فشار ۱۰ بار آزمایش به عمل آمد که نتایج به دست آمده از آزمایش غشاه‌ها در جدول ۱ و شکل ۲ نشان داده شده است.

با توجه به میزان پس‌دهی آرسنیک و میزان شار خروجی، غشاه TFC-SR به عنوان بهترین غشاه انتخاب شد و ادامه آزمایشها بر روی این غشاه انجام گرفت. بنابراین تأثیر پارامترهای فشار، pH و دما به ترتیب بر روی پس‌دهی آرسنیک و شار خروجی غشاه مذکور بررسی گردید، زیرا هدف اساسی از این تحقیق میزان حذف آرسنیک و شار خروجی غشاه بود. آرسنیک آب خام در این قسمت از آزمایش برابر ۶۹/۳ ppb بود.

#### ۴-۱- تأثیر فشار

در این قسمت با توجه به اینکه غشاه در فشارهای بالاتر از ۱۵ بار، پاره می‌شد، آزمایش در چهار فشار مختلف زیر ۱۵ بار انجام شد که فشارها عبارت بودند از: ۵، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ بار که نتایج پس‌دهی

آرسنیک غشاه و شار خروجی با توجه به شرایط آزمایش که در جدول ۲ مشخص گردیده در فشارهای مذکور در جدول ۲ و شکل ۳ نشان داده شده است.

#### ۴-۲- تأثیر دما

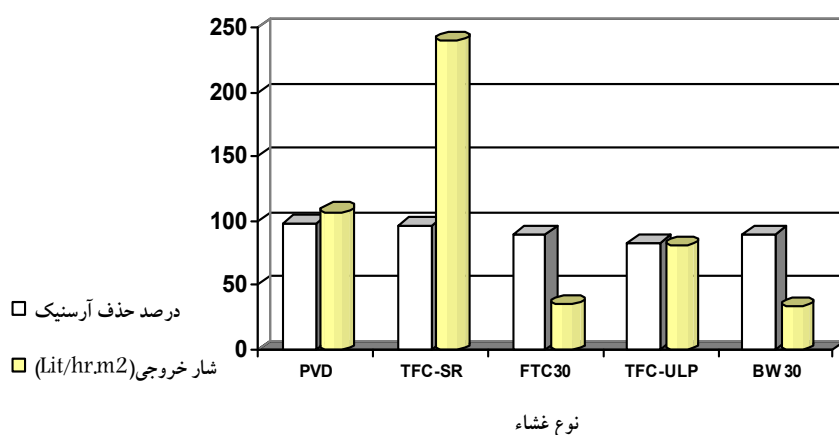
در این قسمت از آزمایش، تأثیر دماهای مختلف آب که عبارت بودند از: ۸، ۱۳، ۱۷، ۱۹ و ۲۱ درجه سلسیوس بررسی شد و نتایج پس‌دهی آرسنیک و شار غشاه در دماهای اشاره شده با توجه به شرایط آزمایش به شرح جدول ۳ و شکل ۴ نشان داده شده است.

#### ۴-۳- تأثیر pH

در این قسمت از آزمایش، تأثیر pHهای مختلف آب که عبارت بودند از: ۵، ۶، ۸ و ۹ بررسی شد و نتایج پس‌دهی آرسنیک و شار خروجی غشاه مذکور با توجه به شرایط آزمایش که در جدول ۴ مشخص گردیده در جدول ۴ و شکل ۵ نشان داده شده است.

#### ۵- بحث و نتیجه گیری

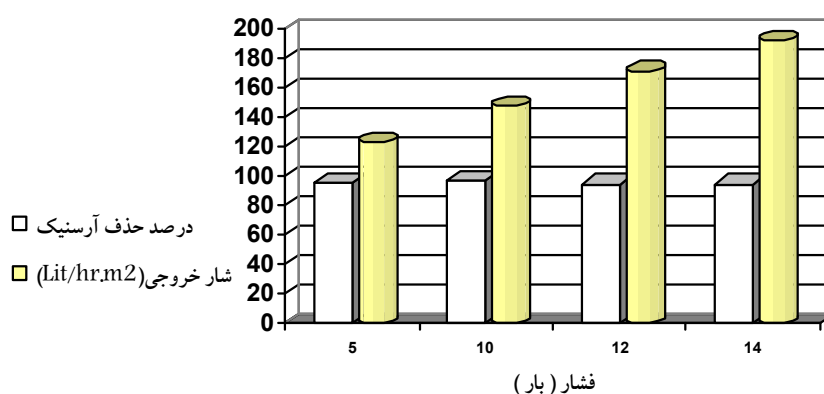
در این آزمایشها پنج نوع غشاه مورد آزمایش قرار گرفت که در بخش اول آزمایش میزان پس‌دهی و شار خروجی غشاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و غشاه PVD بالاترین پس‌دهی آرسنیک را داشت؛ ولی چون میزان شار خروجی آن تقریباً نصف غشاه TFC-SR بود، غشاه TFC-SR به عنوان بهترین غشاه جهت بررسی تأثیر پارامترهای فشار، دما و pH انتخاب گردید. این غشاه از نظر پس‌دهی، بعد از غشاه PVD با مقداری برابر ۹۶/۷۱ درصد بالاترین پس‌دهی آرسنیک را داشت و از نظر شار خروجی ۲/۵ تا ۷ برابر غشاه‌های دیگر و حدود ۲۳۹/۲ L/hr.m<sup>2</sup> بود.



شکل ۲- متوسط شار خروجی و درصد حذف آرسنیک غشاه‌ها در فشار ۱۰ بار

جدول ۲- میزان پس دهی آرسنیک و شار خروجی غشاء TFC-SR در فشارهای مختلف

| فشار (bar)                       | ۵      | ۱۰     | ۱۲     | ۱۴     |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| پس دهی آرسنیک (درصد)             | ۹۵/۳۸  | ۹۶/۷۵  | ۹۴/۷۷  | ۹۴/۵۳  |
| دما (C°)                         | ۱۱     | ۲۵     | ۲۰     | ۹      |
| pH                               | ۷/۵۷   | ۷/۵۷   | ۷/۵۷   | ۷/۵۷   |
| زمان (hr)                        | ۰/۶۷   | ۰/۸۳   | ۱      | ۱/۱۷   |
| جریان خروجی (mL)                 | ۱۸۰    | ۲۷۱    | ۳۷۶    | ۴۹۱    |
| دبی خروجی (L/hr)                 | ۰/۲۷   | ۰/۳۲۵  | ۰/۳۷۶  | ۰/۴۲۱  |
| شار خروجی (L/hr.m <sup>2</sup> ) | ۱۲۲/۷۳ | ۱۴۷/۸۲ | ۱۷۰/۹۱ | ۱۹۱/۵۳ |



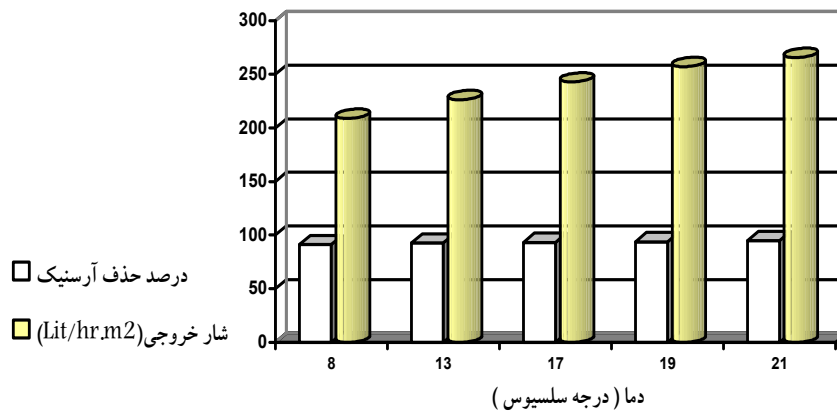
شکل ۳- میزان شار خروجی و درصد حذف آرسنیک غشاء TFC-SR بر حسب فشار

جدول ۳- میزان پس دهی آرسنیک و شار خروجی غشاء TFC-SR در دماهای مختلف

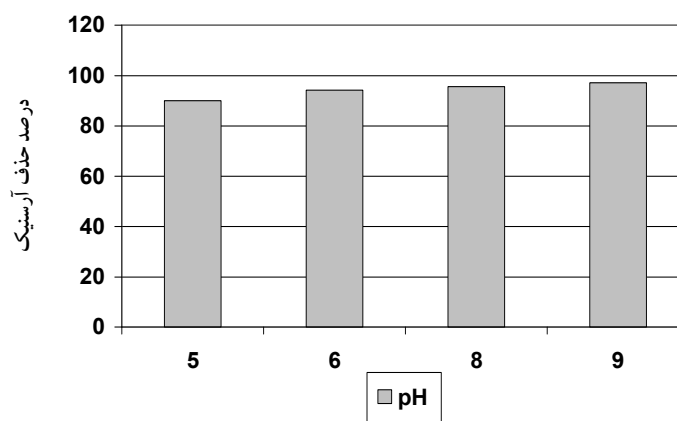
| دما (C°)                         | ۸     | ۱۳    | ۱۷    | ۱۹    | ۲۱    |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| پس دهی آرسنیک (درصد)             | ۹۱/۲۵ | ۹۲/۶۳ | ۹۳/۲۷ | ۹۴    | ۹۴/۹۲ |
| فشار (bar)                       | ۱۰    | ۱۰    | ۱۰    | ۱۰    | ۱۰    |
| pH                               | ۷/۵۷  | ۷/۵۷  | ۷/۵۷  | ۷/۵۷  | ۷/۵۷  |
| زمان (hr)                        | ۰/۲۵  | ۰/۵   | ۰/۷۵  | ۱     | ۱/۲۵  |
| جریان خروجی (mL)                 | ۱۱۵   | ۲۴۹   | ۴۰۱   | ۵۶۶   | ۷۳۱   |
| دبی خروجی (L/hr)                 | ۰/۴۶  | ۰/۴۹۸ | ۰/۵۳۵ | ۰/۵۶۶ | ۰/۵۸۵ |
| شار خروجی (L/hr.m <sup>2</sup> ) | ۲۰۹   | ۲۲۶/۴ | ۲۴۳   | ۲۵۷/۳ | ۲۶۵/۸ |

جدول ۴- میزان پس دهی آرسنیک و شار خروجی غشاء TFC-SR در pHهای مختلف

| pH                               | ۵     | ۶      | ۸     | ۹     |
|----------------------------------|-------|--------|-------|-------|
| پس دهی آرسنیک (درصد)             | ۹۱/۲۵ | ۹۲/۶۳  | ۹۳/۲۷ | ۹۴    |
| فشار (bar)                       | ۱۰    | ۱۰     | ۱۰    | ۱۰    |
| دما (C°)                         | ۹     | ۱۳     | ۹     | ۱۰    |
| زمان (hr)                        | ۰/۲۵  | ۰/۵    | ۰/۷۵  | ۱     |
| جریان خروجی (mL)                 | ۹۸    | ۲۱۳    | ۳۰۹   | ۴۰۱   |
| دبی خروجی (L/hr)                 | ۰/۳۹۲ | ۰/۴۲۶  | ۰/۴۱۲ | ۰/۴۰۱ |
| شار خروجی (L/hr.m <sup>2</sup> ) | ۱۷۸/۲ | ۱۹۳/۶۴ | ۱۸۷/۳ | ۱۸۲/۳ |



شکل ۴- میزان شار خروجی و درصد حذف آرسنیک غشاء TFC-SR بر حسب دما



شکل ۵- درصد حذف آرسنیک غشاء TFC-SR بر حسب pH

۴ هر دو پارامتر پس‌دهی آرسنیک و شار خروجی با بالا رفتن دما افزایش یافت. در اینجا افزایش دما باعث تغییر ویسکوزیته<sup>۱</sup> حلال و بالا رفتن فشار اسمزی و نفوذپذیری حلال و حل شونده می‌شد که این افزایش دما، تحرک مولکول‌های حلال و یون‌های آرسنیک را افزایش می‌داد. اما با توجه به اندازه و بار یون‌های آرسنیک در مقایسه با مولکول‌های حلال، تحرک آنها به مراتب بیشتر از مولکول‌های حل شونده بود و در واحد زمان میزان تراوش مولکول‌های حلال بیشتر از یون‌های آرسنیک بود. بنابراین شار خروجی آب و میزان پس‌دهی آرسنیک را تحت تأثیر قرار داده و هر دو دچار افزایش شدند.

در رابطه با تأثیر pH در فشار ۱۰ بار، چهار pH مختلف ۵، ۶، ۸ و ۹ را بررسی کردیم که با توجه به شکل ۵ با افزایش pH، میزان پس‌دهی آرسنیک افزایش یافته است. در مرحله اولیه آزمایش، pH آب برابر ۷/۵۷ بود و بیشترین شار خروجی را داشتیم؛ بنابراین

در آزمایش فشار چون غشاء مورد نظر در فشارهای بالاتر از ۱۵ بار، پاره می‌شد، آزمایش در فشارهای ۵، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ بار انجام گردید که با توجه به شکل ۳ افزایش فشار میزان پس‌دهی آرسنیک را کاهش و شار خروجی را افزایش داده است. با توجه به نظریه مدل انحلال و نفوذ، هر دو جزء حلال و حل شونده در پوسته غیر متخلخل و همگن غشاء حل می‌شوند و سپس هر دو نفوذ می‌نمایند. نفوذ هر یک به واسطه وجود گرادیان پتانسیل شیمیایی مربوط به آن جزء می‌باشد که در اینجا افزایش فشار، میزان تراوش حلال و حل شونده را افزایش می‌دهد. اما با توجه به عکس پارامترهای شار خروجی و پس‌دهی آرسنیک، فشار ۱۰ بار به عنوان فشار بهینه و مناسب انتخاب گردید، زیرا در فشارهای پایین‌تر از آن شار خروجی کم و در فشارهای بالاتر هزینه مصرف انرژی بالا می‌رود.

در آزمایش دما در فشار ۱۰ بار، غشاء را در پنج دمای مختلف ۸، ۱۳، ۱۷، ۱۹ و ۲۱ درجه سلسیوس بررسی کردیم که با توجه به شکل

<sup>1</sup> Viscosity

آنیونی تجزیه می‌شوند. بنابراین هرچه pH افزایش یابد، درصد حذف آرسنیک افزایش می‌یابد.

در این تحقیق درصد حذف آرسنیک برای کلیه غشاهای بالاتر از ۸۰ درصد بوده و در غشاء مورد استفاده که پارامترهای فشار، دما و pH بر روی آن آزمایش گردید، در تمام نمونه‌ها بالاتر از ۹۰ درصد بوده است که در مقایسه با کار دیگران تقریباً مشابه بوده و نتایج تحقیق دیگران را تأیید می‌کند.

با توجه به اینکه بعضی از مناطق شهری و روستایی استان کردستان دارای آرسنیک بالاتر از حد استاندارد است می‌توان از این روش به طور عملی برای حذف آرسنیک در مناطق اشاره شده استفاده کرد.

pH برابر ۷/۵ را به عنوان pH بهینه در نظر می‌گیریم. در حذف آرسنیک سه ظرفیتی دو روش برای افزایش حذف آن وجود دارد، اول اکسیدکربن As (III) به As (V) و دوم بالای بردن pH آب می‌باشد. زیرا As (III) در pH های پایین بی‌بار بوده ولی در pH های بالا باردار شده و به همین خاطر در pH های بالا حذف آن افزایش می‌یابد. در رابطه با As (V) باید گفت، حذف آن با افزایش pH افزایش یافته که این نتیجه را به اختلاف بزرگ بین ثوابت تجزیه  $H_3AsO_4$  نسبت داده‌اند. در pH برابر ۱، همه ذرات As (V) خنثی هستند؛ اما وقتی که pH از ۲/۲ بالاتر می‌رود، این ذرات از حالت خنثی به فرم منوآنونی و در pH های بالاتر از ۶/۹ به فرم دی

## ۶- مراجع

- 1- "Arsenic and compounds." <<http://www.scorecard.org/chemical-rofiles/html/arsenic.html>> (Feb. 19, 2004).
- 2- Department of Human Services. (2002). Health effects information, Technical Bulletin environmental toxicology section.
- 3- "Chemical properties of arsenic- Health effect of arsenic-Environmental effects of arsenic." <<http://www.lenntech.com/periodic-chart-element/As-en.htm>> (Feb. 19, 2004).
- 4- Karim, M. (2000). "Arsenic in groundwater and health problems in Bangladesh." *Water Research*, 34(1), 304-310.
- 5- "Arsenic treatment and arsenic removal." <[http://www.seremtrementservices.com/water\\_purification/filtration\\_products/arsenic\\_jsp](http://www.seremtrementservices.com/water_purification/filtration_products/arsenic_jsp)> (Feb. 19, 2004).
- 6- Chang, S.D., and Bellmay, W.D. (1994). "Removal of arsenic by enhanced coagulation and membrane technology." critical issues in water and wastewater treatment, *National Conference on Environmental Engineering*, S. David Chang, Hector Ruiz, William D. Bellmay, Carl W. Spangenberg, and Debra L. Clark, eds., New York, 632-639.
- ۷- پور مقدس، ح.، کرد مصطفی پور، ف.، علی‌دای، ح.، و حیدری، غ. ح. (۱۳۸۳). "حذف آرسنیک آب با استفاده از پراکسید هیدروژن و کلراید فریک." م. علمی- پژوهشی مرکز تحقیقات بهداشت محیط، ۱، ۵۳-۶۰.
- 8- "Revers osmosis." <<http://www.henrywater filters . com/ osmosis.htm>> (Feb. 19, 2004).
- 9- "Drinking water treatment reverse osmosis." <<http://www. http://ianrpubs.unl.edu/waterg1490.htm>> (Feb. 19, 2004).
- ۱۰- مدائنی، س.س. (۱۳۸۱). *غشاهای و فرآیندهای غشایی*، چاپ اول، انتشارات طاق بستان.
- 11- "Arsenic-removing membrane gains ETV." <[www.filsep.com](http://www.filsep.com)> (Dec. 8, 2001).
- 12- Waypa, J. J. , Elimelech, M., and Hering, J. G. (1997). "Arsenic removal by RO and NF membranes." *J. American Water Works Association*, 89(10), 102-114.
- 13- Moretti, C. (2002). *Point-of use reverse osmosis treatment for removal of arsenic from drinking water*, Montana Water Center.
- 14- Ning, R.Y. (2002). "Arsenic removal by reverse osmosis desalination." *J. Desalination*, 143(3), 237-241.
- ۱۵- مسافری، م. (۱۳۸۴). "بررسی عوارض ناشی از آرسنیک در آب استان کردستان و روشهای حذف آن از آب آشامیدنی." پایان نامه دکترا، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.