# ارزیابی صحت و عملکرد ممبرین‌های نمک‌زدای نسل جدید در بازیابی پساب شهری

## خلاصه

در واحد تأسیسات آب شهر North City ،(NCWRP )، واقع در سن‌دیگو ، امریکا ، روش‌های نشان دادن صحت ممبرین‌های اسمز معکوس مختلف ، معمولاً در طی آزمایش پایلوت ارزیابی می‌گردد . هدف اصلی این آزمایش ، تعیین روش‌های نمایش دادن مستقیم و غیر مستقیم متداول و موجود جهت اندازه‌گیری صحت و اعتبار ممبرین‌های اسمز معکوس در طی عمل بازیابی پساب می‌باشد . روش‌های مخصوصی شامل آزمایش نگهداری خلأ ، بررسی هدایت الکتریکی ، نشان دادن درون خطی هداین الکتریکی / سولفات و آزمایش محلول رنگی است . به‌علاوه ، این برنامه‌ی آزمایشی جهت تعیین درستی ممبرین‌های نسل جدید اسمز معکوس ، پیشنهاد شده جهت موارد استفاده‌ی مجدد از آب ، طراحی گردیده است . تهیه‌کنندگان چنین ممبرین‌های خاصی که در این تحقیق شرکت داده شده‌اند عبارتند از Koch , Saehan , Hydranautics و Toray. این ارزیابی در سه مرحله‌ی مجزا انجام گردید . مرحله اول آزمایش در طی ماه های آگوست تا آپریل سال ۲۰۰۵ انجام شد . در طی این دوره آزمایشی ، درستی ممبرین‌های اسمز معکوس مربوط به هر تهیه‌کننده شرکت داده شده ، با استفاده از روش‌های مختلف آزمایشی ، در طی بهره‌برداری جهت پساب درجه سه مربوط به NCWRP، بررسی گردید . مرحله اول آزمایش پایلوت با استفاده از سیستم‌های اسمز معکوس یک مرحله‌ای ، که با مقدار بازیافت ۵۰٪ جهت آب خوراک مورد بهره‌برداری قرار گرفته بودند ، انجام پذیرفت . نتایج حاصل از مرحله‌اول ، نشان داد که هر روش آزمایشی به‌خوبی با مقدار دفع ویروس بستگی دارد ، امّا با حساسیت و سهولت اجرای مختلف .

علاوه‌براین ، اندازه‌ی مقدار دفع ویروس مشاهده شده حاصل از عمل ممبرین‌ها ، با عوض شدن تهیه‌کنندگان تغییر کرد . هدف از مرحله‌ی دوم آزمایش ، که در حال انجام است ، ارزیابی تأثیر مرحله‌ای حساسیت هر روش کامل نمایش دهنده آزمایشی در طی مرحله‌ی اول است . بنابراین ، ممبرین اسمز معکوس ، که در طی مرحله‌ی اول آزمایش ، بیش‌ترین مقدار دفع را نشان داده است ، در سیستمی دو مرحله‌ای با مقدار بازیافت ۷۵٪ جهت آب خوراک ، مورد بهره‌برداری قرار گرفت . بالاخره در طی مرحله سوم ، حساسیت روش‌های انتخابی نمایش دهنده جهت نظارت جامع ، ارزیابی می‌شود .

## مقدمه

با پیشرفت فن‌آوری ، مقدار سرمایه‌گذاری و هزینه‌های عملیاتی برای ممبرین‌های فشار بالا کم شده است ، مانند ممبرین‌های نانوفیلتراسیون (NF) و اسمز معکوس (RO) که روش مؤثری برای بازیابی آب محسوب می‌شوند و قابلیت استفاده مجدد از آب را به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم جهت موارد آشامیدنی فراهم می‌سازند. برای چنین مواردی ، خواص فیزیکی درست و معتبر آب بازیابی شده ، جنبه مهمی در استفاده از این ممبرین‌ها جهت رسیدن به کیفیت لازم برای آب می‌باشد .

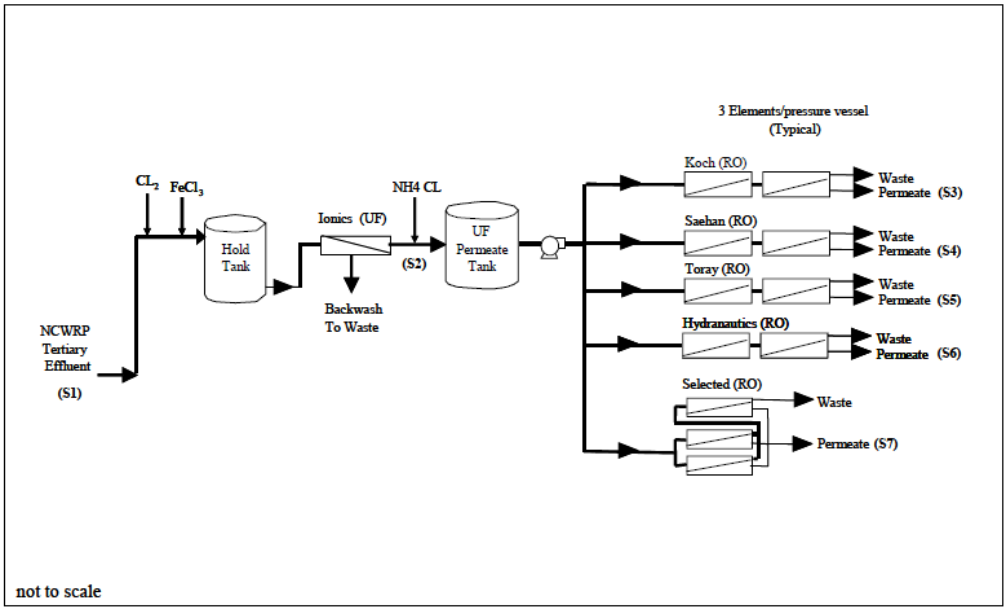
هم‌اکنون ، سازمان آب شهر سن‌دیگو و MWH با همکاری انجمن آب شهرستان سن‌دیگو و بخش مرکزی آب کالیفرنیای جنوبی ، درحال انجام آزمایشی با ابعاد صنعتی بر روی ممبرین‌های اسمز معکوس هستند که برای پساب درجه سه حاصل از تاسیسات بازیابی آب شهر North (NCWRP)، مورد استفاده قرار گرفته‌اند . هدف از انجام این آزمایش ، بررسی روش‌هایی جهت نشان دادن صحت و حصول اطمینان از آن برای ممبرین‌های اسمز معکوس در طی عملیات بازیابی آب می‌باشد . در طی انجام چنین عملی ، گروه پروژه صحت ممبرین‌های نسل جدید تولید شده توسط چند تولیدکننده‌ی حاضر در بازار را

ارزیابی خواهند کرد . بودجه این طرح توسط شرکت نوآوری و پژوهش نمک‌زدایی (DRIP) تأمین شده است . هدف از برنامه‌ی DRIP یافتن راه‌هایی نو و ابتکاری برای تکمیل منابع آب در ناحیه‌ی جنوبی CA ، از طریق نمک‌زدایی از منابع آبی مختلف از قبیل آب‌های سطحی ، آب‌های زیرزمینی لب شور و پساب شهری می‌باشد .

## روش بررسی

### انجام آزمایش صنعتی

در شکل ۱ نموداری از مسیر جریان تصفیه در آزمایش صنعتی که در طی این تحقیق استفاده شده ، نشان داده شده است . همان‌طورکه در شکل دیده می‌شود ، آب ورودی به تأسیسات از طریق پساب درجه سه NCWRP تأمین می‌شود . در ابتدا ، آب توسط سیستم ممبرین یونی UF و بعد از آن به‌وسیله‌ی اسمز معکوس تصفیه می‌گردد . به جریان بالادستی UF کلر تزریق می‌شود تا در سراسر سیستم مقدار باقی‌مانده آن بین ۱ تا ۲ mg/L باشد . متعاقباً ، به جریان خروجی از UF کلرید آمونیوم تزریق می‌شود تا کلر آزاد به کلرآمین تبدیل شده و در جریان پایین دستی RO ، مشکل رسوب بیولوژیکی کنترل گردد . همان‌طورکه در شکل نشان داده شده است ، در طی این تحقیق از پنج مسیر مختلف برای RO استفاده شده است :چهار سیستم یک مرحله‌ای و یک سیستم دو مرحله‌ای . جدول ۱ مشخصات ممبرین‌های RO به‌کار رفته در این تحقیق را نشان می‌دهد . ممبرین‌های فهرست شده در این جدول ، توسط هر سازنده به‌عنوان ممبرین‌های نسل جدید جهت کاربردهای مشخص ، معرفی شده‌اند .




شکل ۱ : نمودار جریانی فرآیند برای مسیر تصفیه آزمایشی

| | KOCH | SAEHAN | TORAY | HYDRANAUTICS |
|---|---|---|---|---|
| Commercial designation | TFC 4820-HR 4 | RE 4040-BLR | TM710 | ESPA2-4040 |
| Membrane material | Polyamide (thin-film composite) | Polyamide (thin-film composite) | Polyamide (thin-film composite) | Polyamide (thin-film composite) |
| Operating pH range | 4-11 | 3-10 | 2-11 | 3-10 |
| Maximum feedwater turbidity | 1 NTU | < 1 NTU | 1 NTU | 1 NTU |
| Maximum feedwater SDI (15 min) | 5.0 | < 5.0 | 5.0 | 5.0 |
| Maximum operating temperature | 113 F ( C) | 113 F (45 C) | 113 F ( C) | 113 F (45 C) |
| Maximum Feed Water Chlorine Concentation | <0.1 ppm | <0.1 ppm | none | <0.1 ppm |
| Maximum operating pressure | 600 psig | 600 psig | 600 psig | 600 psig |
| Nominal membrane surface area | 78 $ft^2$ | 85 $ft^2$ | 87 $ft^2$ | 85 $ft^2$ |
| Spiral Wound configuration | | | | |
| Element length | 40.0 inches | 40.0 inches | 40.0 inches | 40.0 inches |
| Element diameter | 4.0 inches | 4.0 inches | 4.0 inches | 3.95 inches |
| Permeate channel diameter (outer) | 0.75 inches | 0.75 inches | 0.75 inches | 0.75 inches |

جدول ۱ : مشخصات ممبرین اسمز معکوس

## برنامه نشان دادن صحت ممبرین

روش‌های مخصوص نشان دادن صحت ممبرین RO در طی برنامه‌ی آزمایشی جاری ، مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و در جدول ۲ ارائه شده‌اند . همان‌طورکه نشان داده شده است ، این روش‌ها برطبق اهداف درنظرگرفته شده برای آنها ، در طی این تحقیق ، دسته‌بندی شده‌اند . جزئیات خاص هر روش در زیر نشان داده شده‌اند .

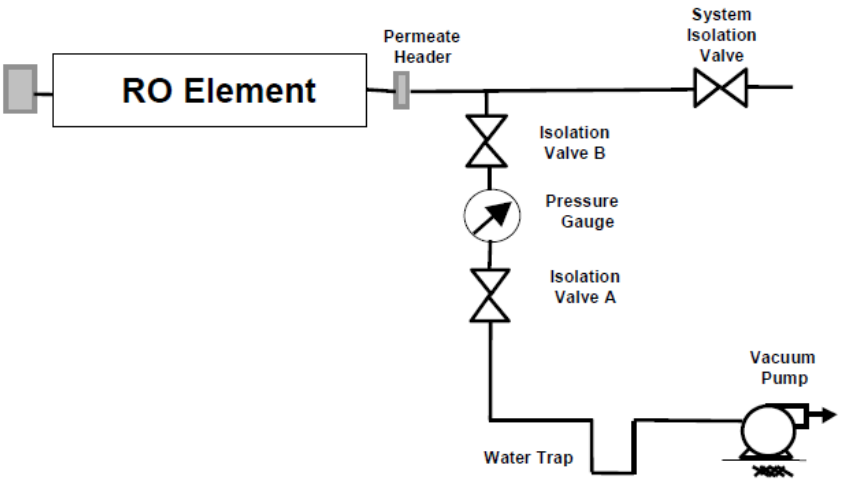
| Monitoring Techniques | Purpose |
|---|---|
| Vacuum Hold Test | Test Integrity of Delivered RO Product Prior to Installation |
| Conductivity Probing | Test Integrity of RO System(s) Post Membrane Installation |
| On-Line Conductivity Monitoring<br>Sulfate Monitoring | Provide Continuous Measurement of RO System Integrity |
| Virus Challenge Experiments<br>Soluble Dye Testing | Periodic Measurement of RO System(s) Integrity |

جدول ۲ : شناسایی روش‌های مختلف نشان دادن صحت ممبرین RO

## آزمایش نگه‌داری خلأ

آزمایش خلأ ، یک روش قابل اجرا برای نشان دادن صحت ممبرین‌های NF و RO می‌باشد . تمامی آزمایش‌های خلأ که در این تحقیق انجام شده‌اند ، بر طبق استانداردهای ASTM D3923-03 و ASTM D6908 می‌باشند . نمودار ساده‌ای از دستگاه آزمایش خلأ در شکل ۲ آورده شده است . همان‌طورکه نشان داده شده است ، اجزای اصلی دستگاه عبارتند از شیرآلات جداکننده ( ایزولاسیون ) ، فشارسنج برای اندازه‌گیری خلأ ، پمپ خلأ و سیفون آب . به‌طورکلی ، باید در ابتدا هر دو شیر A و B را باز نمود و در قسمت مربوط به آب تصفیه شده در ممبرین از شرایط خلأ استفاده کرد . این امر باعث خارج شدن آب از ممبرین و جمع شدن آن در سیفون مربوطه می‌شود . وقتی‌که مقدار خلأ به‌طور پایدار به ۲۵ تا ۳۰ اینچ جیوه رسید ، شیر A بسته شده و مقدار خلأ اولیه ثبت می‌گردد . عمل قرائت مقدار خلأ در دوره‌های زمانی ۶۰ ثانیه‌ای انجام می‌گیرد تا ۳۰۰ ثانیه سپری شود . با استفاده از این اندازه‌گیری‌ها ، تخمین مقدار هوای عبور کننده از میان ممبرین ، در اثر وجود ترک‌هایی در ممبرین و/یا آب‌بندی معیوب ، میسر می‌گردد . این روش فقط می‌تواند

ترک‌های بزرگ‌تر از ۱ الی ۲ میکرون را مشخص کند . همچنین ، روشی که در بالا توضیح داده شد ، برای چند المان سری هم قابل استفاده است و بنابراین برای ارزیابی صحت سیستمی که دارای ممبرین اسمز معکوس می‌باشد ، استفاده می‌گردد .



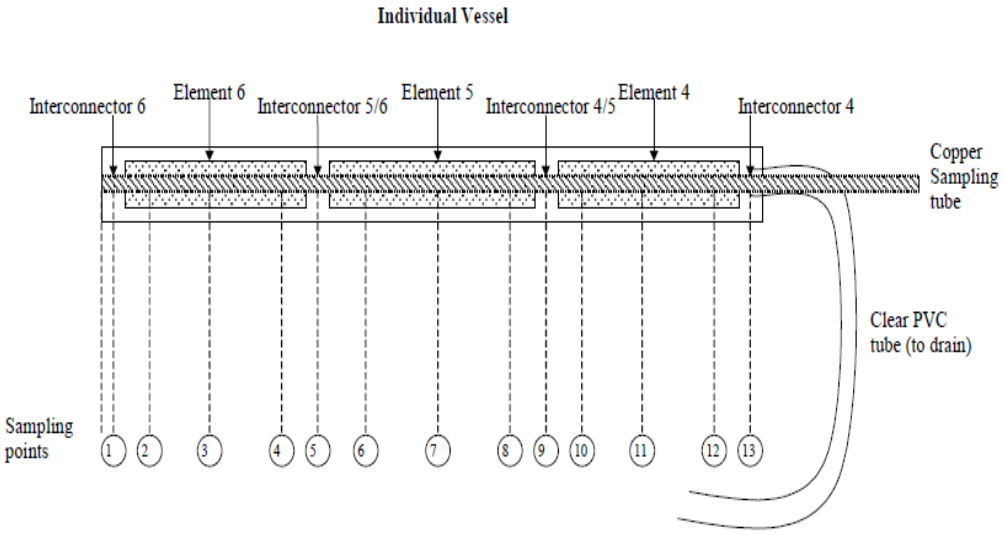

شکل ۲ : دستگاه آزمایش خلأ

## بررسی هدایت الکتریکی

روش بررسی به‌کار رفته در طی این تحقیق ، مطابق با قراردادهای آزمایشی مخصوصی است که توسط گروه پروژه و سازندگان اختصاصی ممبرین RO ایجاد شده است .

(Adham et al., 1998a,b; Hydranautics 1998; Film Tec 2003)

به‌طورکلی بررسی هدایت الکتریکی توسط نمونه‌برداری از محل‌های گوناگون در طول یک لوله تحت فشار خاص ، در طی بهره‌برداری از آن در شرایط تنظیم شده انجام می‌شود . نمودار کلی ترتیب بررسی هدایت الکتریکی در شکل ۳ موجود است . در جدول ۳ محل هر نمونه‌برداری در طول لوله‌ی تحت فشار مشخص شده است .




شکل ۳ : ترتیب بررسی هدایت الکتریکی

| Location number | Description | Distance from edge (inches) |
|---|---|---|
| 1 | Interconnector 6 | 3.75 |
| 2 | Element 6 –12 inch off center | 10.75 |
| 3 | Element 6-center | 22.75 |
| 4 | Element 6-12 inch off center | 34.75 |
| 5 | Interconnector 5/6 | 42.75 |
| 6 | Element 5-12 inch off center | 50.75 |
| 7 | Element 5 center | 62.75 |
| 8 | Element 5-12 inch off center | 74.75 |
| 9 | Interconnector 4/5 | 82.75 |
| 10 | Element 4-12 inch off center | 90.75 |
| 11 | Element 4-center | 102.75 |
| 12 | Element 4-12 inch off center | 114.75 |
| 13 | Interconnector 4 | 126.75 |

جدول ۳ : محل نمونه‌برداری جهت بررسی هدایت الکتریکی

## نشان دادن هدایت الکتریکی

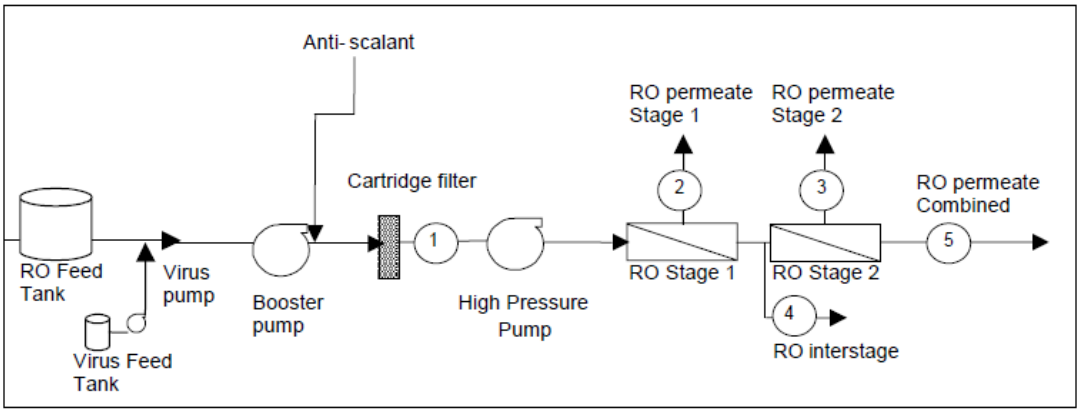
در تمامی واحدهای اسمز معکوس ، برای نشان دادن عملکرد ، هدایت سنج ها را بر روی خطوط مربوط به پساب و آب تصفیه شده نصب می‌کنند . تمامی دستگاه‌های اندازه‌گیری

به‌صورت دوره‌ای با استفاده از استانداردهای تضمینی NIST که با مرجع ۳۱۹۳ قابل پیگیری هستند ، تنظیم می‌شوند .

## آزمایش‌های چالشی ویروسی

با استفاده از این آزمایش‌ها می‌توان مستقیماً مقدار ویروس‌های حذف شده توسط ممبرین اسمز معکوس را اندازه‌گیری نمود و بدین سبب ابزاری قوی جهت نمایش صحت ممبرین محسوب می‌شود . تمام آزمایشات چالشی بر روی ویروس MS2 انجام شده است . ویروس MS2 در انسان تولید بیماری نمی‌کند ؛ این موجود زنده از نظر اندازه ( ۰/۰۲۵ میکرون ) ، شکل ( بلور بیست وجهی ) و نوکلئیک اسید (RNA) با ویروس فلج اطفال و هپاتیت مشابه است . به‌علت این‌که ویروس MS2 در انسان تولید بیماری نمی‌کند ، در آزمایشات کاشت از ویروس زنده‌ی MS2 استفاده شده است . ارگانسیم‌های موردنیاز از آزمایشگاه‌های MWH تأمین شده و به‌محض دریافت در یخچال‌هایی تاریک و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد ، به‌مدت کم‌تر از دو روز قبل از انجام آزمایش کاشت ، نگه‌داری می‌شوند .

نموداری از مجموعه‌ی کشت ویروس در شکل ۴ آورده شده است . این شکل براساس یک سیستم دو مرحله‌ای با مقدار بازیافت عملیاتی برابر با ۷۵٪ ترسیم شده است . همان‌طورکه در شکل نشان داده شده است ، نمونه‌ها از پنج محل برداشته می‌شوند : ۱) خوراک RO ، ۲) آب تصفیه شده توسط RO در مرحله‌ی اول ، ۳) آب تصفیه شده توسط RO در مرحله‌ی دوم ، ۴) آب بین مرحله‌ای RO و ۵) آب تصفیه شده‌ی ترکیبی RO. در طی بهره‌برداری از سیستم‌های RO یک مرحله‌ای ( نشان داده نشده است ) ، که دارای دو لوله‌ی تحت فشار سری هستند ، نمونه‌ها از محل خوراک RO ، آب تصفیه شده از لوله‌ی ۱ ، آب تصفیه شده از لوله‌ی ۲ و آب تصفیه شده‌ی ترکیبی برداشته می‌شوند .




شکل ۴ : طرحی از مجموعه‌ی چالشی ویروسی دو مرحله‌ای

## آزمایش محلول رنگی

این آزمایش به‌طور غیرمستقیم ترک‌های موجود در ممبرین و ناحیه‌ی آب‌بندی را در سیستم اسمز معکوس با استفاده از اندازه‌گیری عبور یک محلول رنگی ، مشخص می‌گرداند . درصد عبور ماده‌ی رنگی ( از خوراک به‌سمت آب تصفیه شده ) می‌تواند برای تخمین مقدار انتقال در گزارش روزانه (LRV) استفاده شود . روش کار استفاده شده در طی آزمایش جاری در استانداردهای ASTM D3923 و ASTM D6908 به‌طور مختصر بیان شده است .

## نشان دادن مقدار سولفات

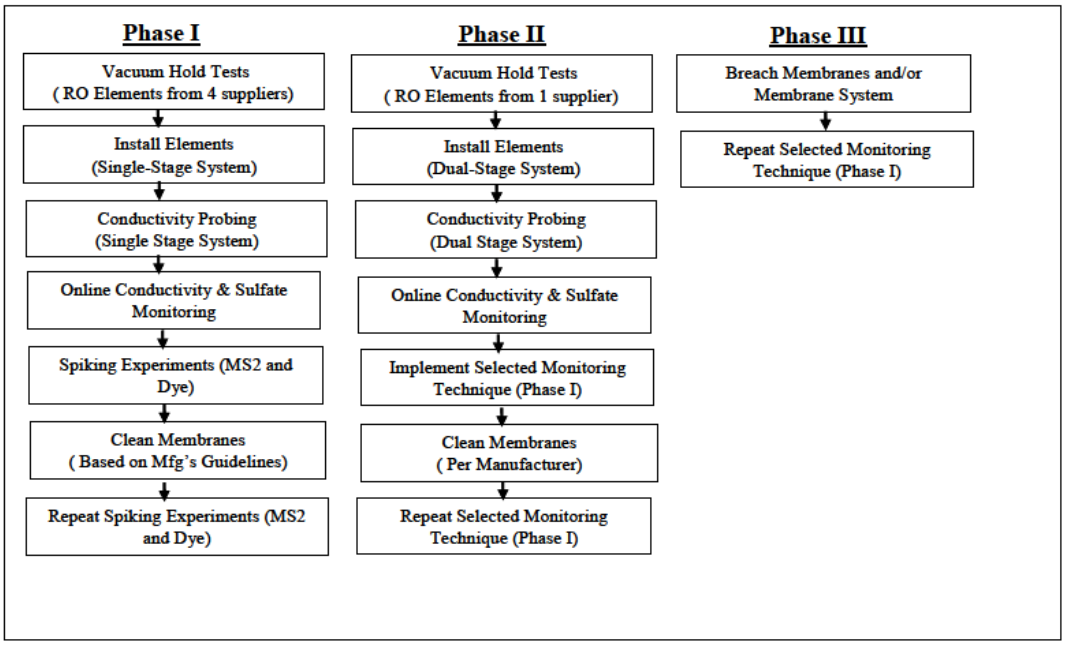
برای ارزیابی صحت ممبرین‌های RO ، از روش نشان دادن مقدار سولفات هم می‌توان استفاده نمود . نمایش درون‌خطی با جمع‌آوری نمونه‌ها در هر ۳۰ دقیقه در طی مدت ۲۴ ساعت ، مشابه‌سازی می‌شود . سپس نمونه‌ها به خارج از محل فرستاده شده و با استفاده از روش زیر تجزیه می‌گردد .

(SM 4110 B *Ion Chromatography with Chemical Suppression of Eluent Conductivity)*

در این روش از MDL با غلظت ۰/۱ mg/L استفاده شده و به‌مدت ۲۸ روز نگه‌داشته می‌شود . کلیه‌ی نمونه‌ها باید در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شوند . بر طبق غلظت سولفات موجود در آب درجه سه ( تقریباً ۲۵۰ mg/L ) و نمایش سولفات با مقدار کمی از MDL ، انتظار می‌رود که مقدار حساسیت به ۳ LRV برسد .

## طرح کلی نمایش صحت ممبرین

طرح کلی نمایش صحت ممبرین برای این تحقیق در شکل ۵ نشان داده شده است . همان‌طورکه دیده می‌شود ، روش‌های نشان دادن صحت ممبرین که در بالا توضیح داده شد ، به‌طور مرتب در طی هر مرحله از آزمایش پایلوت برای رسیدن به اهداف طرح ، اجرا شده‌اند . در طی مرحله‌ی اول آزمایش ، صحت ممبرین‌های RO در مورد چهار تولیدکننده در هنگام بهره‌برداری با استفاده از سیستم RO یک مرحله‌ای ، ارزیابی گردیده است . براساس نتایج حاصل از مرحله‌ی اول آزمایش ، ممبرینی که دارای بالاترین سطح عملکرد بود ، برای انجام آزمایشات مرحله‌ی دوم و سوم انتخاب شد .



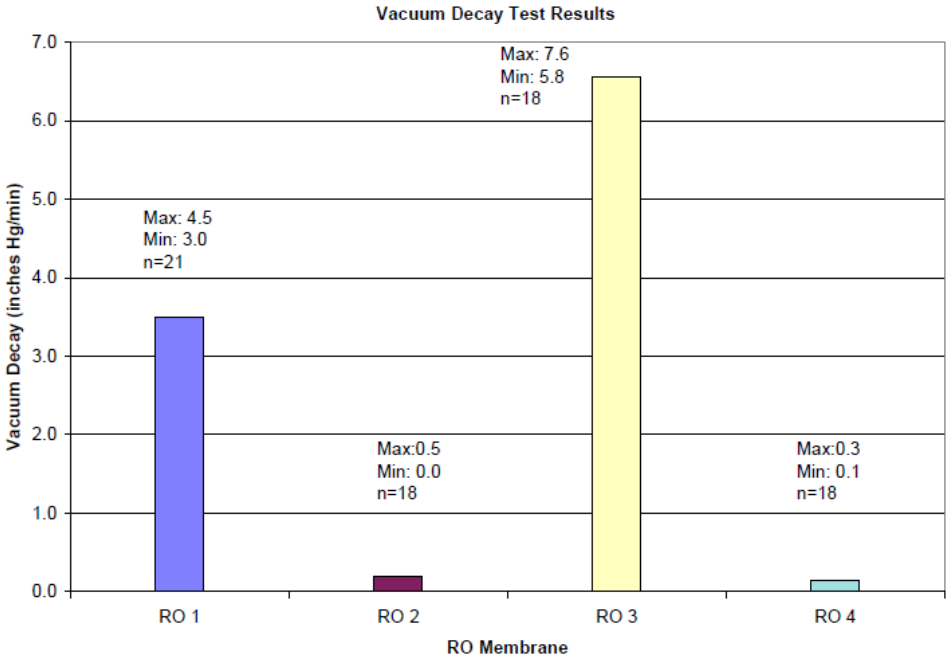

شکل ۵ : طرح نمایش صحت ممبرین RO

## نتایج و بررسی‌ها

در آپریل ۲۰۰۵ ارزیابی مرحله اول جهت روش‌های متنوع نمایش صحت ممبرین RO شامل آزمایش خلأ ، بررسی هدایت الکتریکی ، آزمایش رنگ کردن ، نمایش درون خطی هدایت الکتریکی و سولفات ، تکمیل شد . به‌طور کلی معلوم شد که آزمایش خلأ ، روش غربال‌گری خوبی برای ارزیابی صحت محصول خروجی RO است . علاوه‌براین ، نمایش درون خطی سولفات به‌سادگی انجام می‌شد و حساسیتی تقریباً برابر با ۳ LRV داشت . بالاخره ، رابطه‌ای مستقیم بین تمامی آزمایشات انجام شده و مقدار دفع باکتری خورنده‌ی MS2 مشاهده شد . نتایج حاصل از روش‌های نمایش انتخابی انجام شده در طی مرحله‌ی اول ، به‌گونه‌ی زیر فراهم شده است .

## آزمایش خلأ

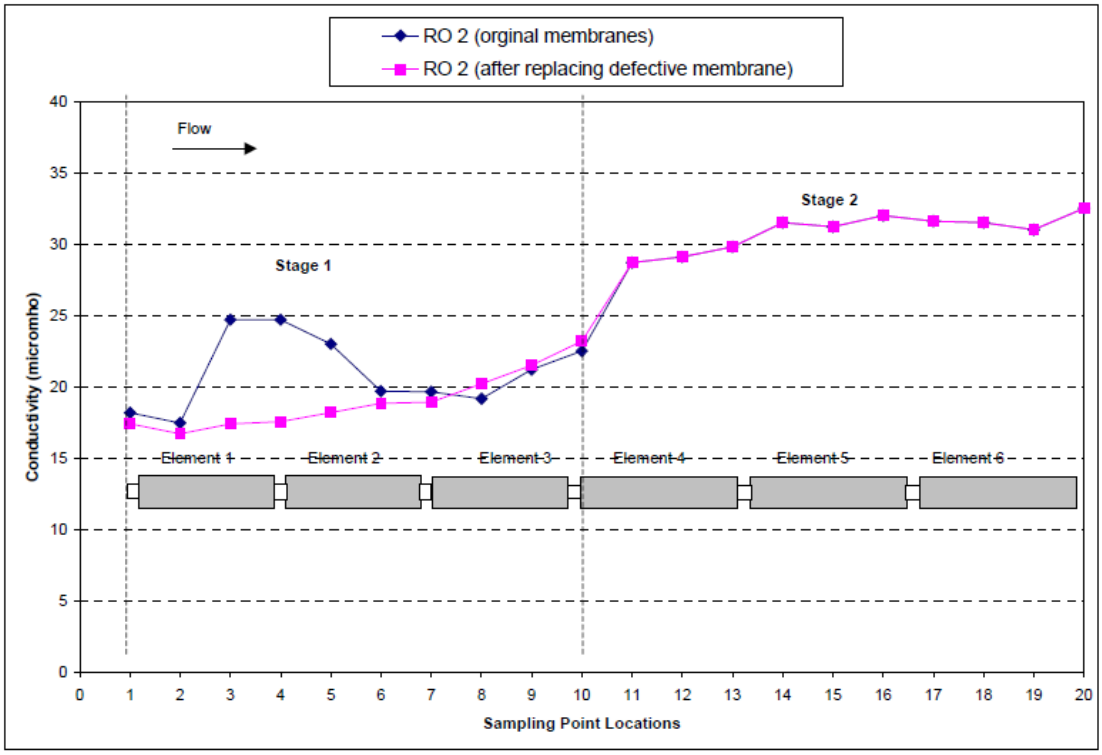
هر ممبرین RO در طی مرحله‌ی اول به‌صورت منحصربه‌فرد ، قبل از نصب شدن ، تحت آزمایش خلأ قرار گرفت . در ابتدا ممبرین‌ها تا سطح ۲۸/۵ اینچ جیوه تحت خلأ قرار گرفتند . سپس هر ممبرین از منبع خلأ جدا شده و تنزل خلأ در مدت ۵ دقیقه اندازه‌گیری شد . نتایج حاصل از تنزل خلأ در مورد چهار تولیدکننده‌ی ممبرین که در این تحقیق شرکت داشته‌اند ، در شکل ۶ موجود است . مقدار نشان داده شده برای هر ممبرین RO ، مربوط به مقدار میانگین تنزل برای ۶ المان جداگانه می‌باشد . همان‌طورکه مشخص است ، تنزل خلأ در بین ممبرین‌های آزمایش شده ، از ۰/۱۶ تا ۶/۶ inch Hg/min متغیر می‌باشد.




شکل ۶ : نتایج حاصل از تنزل خلأ برای ممبرین‌های RO با تولیدکنندگان مختلف

## بررسی هدایت الکتریکی

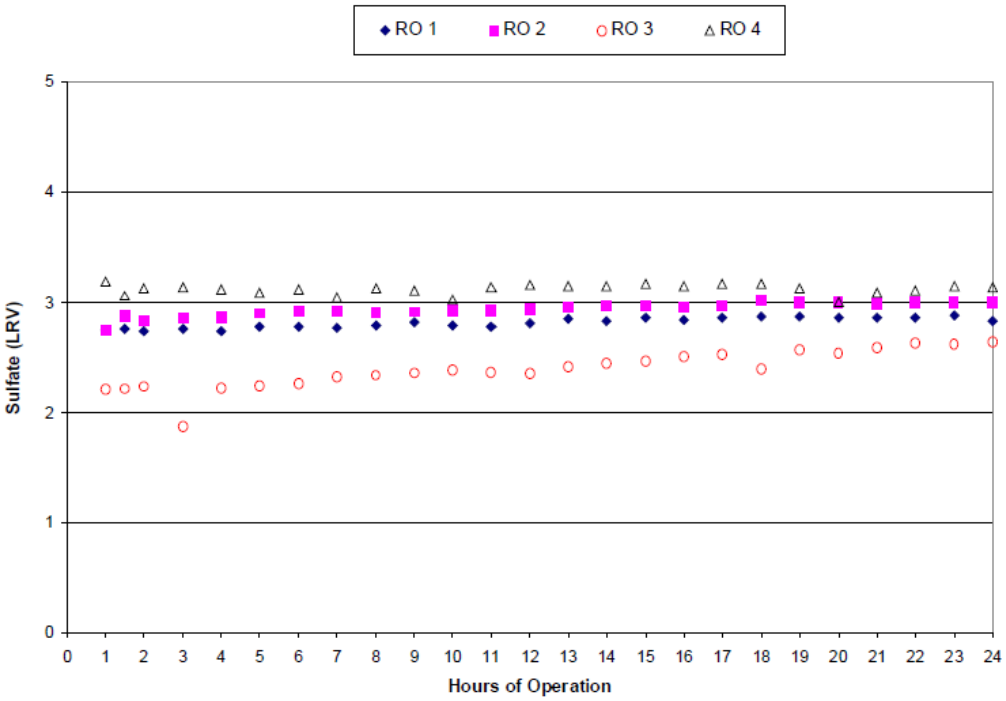
پس از نصب ممبرین‌های RO در مسیر واحد آزمایش صنعتی ( پایلوت ) ، هدایت الکتریکی در هر لوله‌ی تحت فشار بررسی شد . هدف از انجام این بررسی‌ها ، حصول اطمینان از صحت اجزای مختلف موجود در سیستم‌های اسمز معکوس از قبیل رابطهای داخلی ، تبدیل سرپوش‌ها و خود سرپوش‌ها بود . عملیات بررسی توسط اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در محل‌های مختلف در طول هر لوله‌ی تحت فشار انجام شده است . مثالی از نمودار مقطعی بررسی هدایت الکتریکی که در طی مرحله‌ی اول انجام شده ، در شکل ۷ ارائه شده است . این نتایج از RO 2 در طی بهره‌برداری با ظرفیت ۱۲ gfd و مقدار بازیافت ۵۰٪ به‌دست آمده است . همان‌طورکه مشخص است ، این بررسی بر روی مجموعه‌ی اولیه‌ی ممبرین‌ها ، بین محل‌های نمونه‌برداری شماره ۲ و ۶ افزایشی را در مقدار هدایت الکتریکی نشان می‌دهد ، که این امر بیان کننده‌ی وجود نقصی می‌باشد . پس از این مشاهده ، یک سری از مراحل جهت تعیین علت این ایراد انجام شد از قبیل رابط داخلی معیوب ( مانند واشر خراب ) یا ترک در ممبرین فعلی ( مانند سوراخ یا ایراد در خطوط چسب زده شده ) . همان‌طورکه مشخص است ، پس از تعویض ممبرین RO در منطقه‌ای که خیزش هدایت الکتریکی مشاهده شده بود ، نتایج عملیات بررسی مطابق با آن‌چه که در یک سیستم سالم انتظار می‌رفت ، حاصل شد .




شکل ۷ : نتایج حاصل از بررسی هدایت الکتریکی ( مرحله اول )

## نشان دادن سولفات

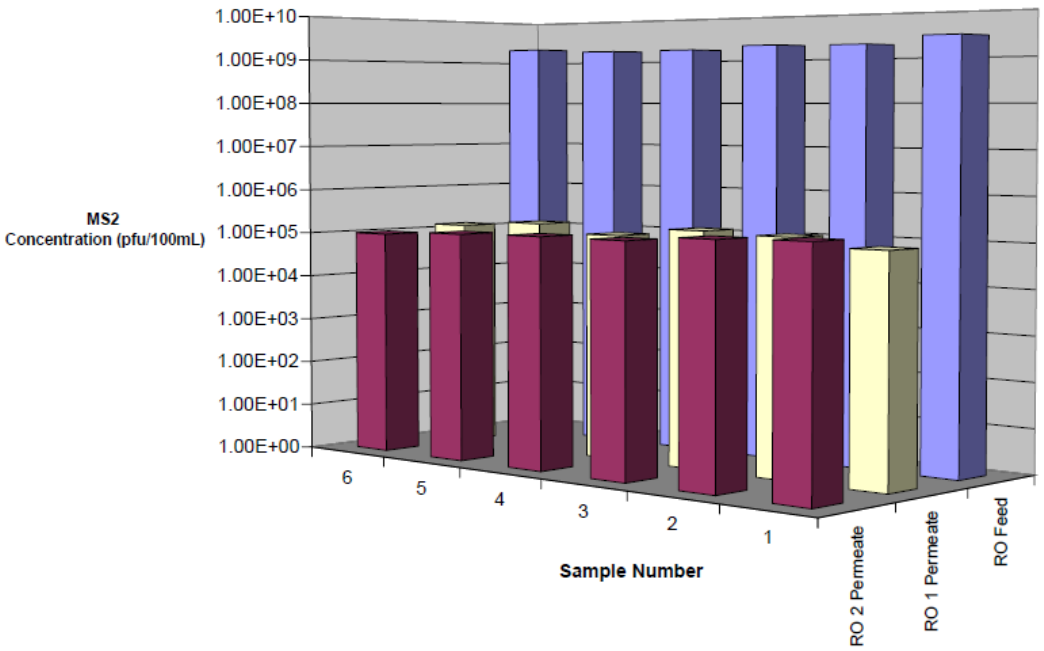
در هر سیستم RO به‌مدت ۲۴ ساعت ، نمونه سولفات‌ها به‌طور ساعتی در خوراک و آب تصفیه شده جمع‌آوری شدند تا سنجشی درون خطی برای نشان دادن صحت ممبرین ارائه گردد . در شکل ۸ طرح LRV سولفات برای هر ممبرین RO تهیه شده است . همان‌طورکه دیده می‌شود ، مقدار دفع سولفات در هر ممبرین در طی مدت زمان ۲۴ ساعت ثابت باقی‌مانده و مقدار قابل وصول LRV سولفات ( مقدار میانگین ) از ۲/۴ تا ۳/۱ در چهار ممبرین آزمایش شده تغییر می‌کند .



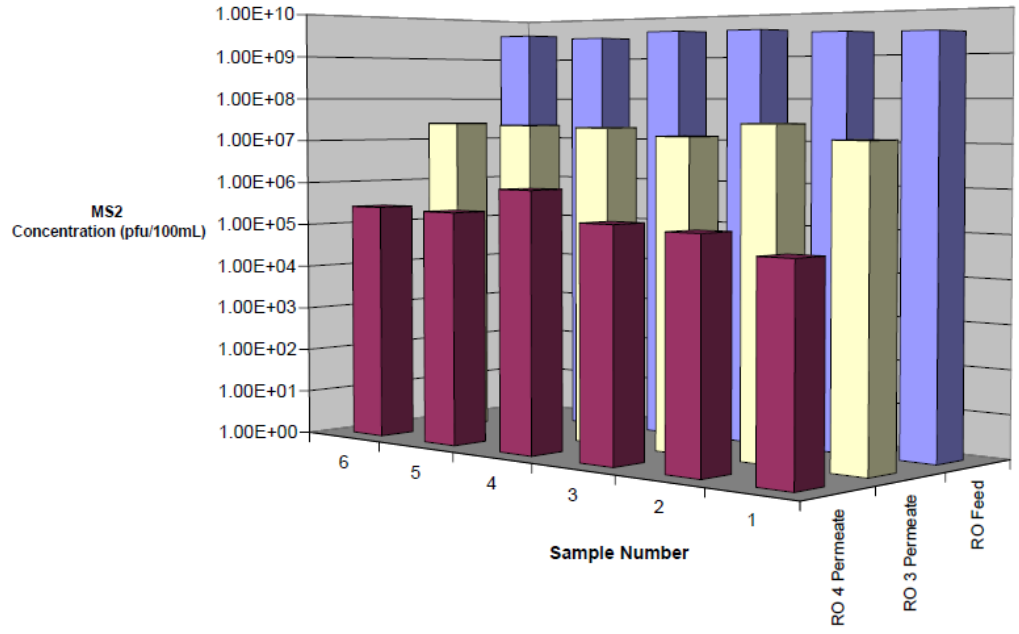

شکل ۸ : نتایج حاصل از دفع سولفات برای ممبرین‌های RO با تولیدکنندگان مختلف

## آزمایشات چالشی MS2

این آزمایشات بر روی تمامی سیستم‌های ممبرین RO با استفاده از باکتری خورنده‌ی MS2 انجام شده است . نتایج حاصل از این آزمایشات در شکل‌های ۹ و ۱۰ ارائه شده‌اند . همان‌طورکه دیده می‌شود ، در طی هر آزمایش کشت ، ۶ نمونه از خوراک RO و ۶ نمونه از آب تصفیه شده ( در هر ممبرین RO ) برداشته شده است . نتیجه‌ها نشان می‌دهند که ممبرین‌های RO شماره ۱ ، ۲ و ۴ به مقدار LRV بیش‌تر از ۴ رسیده‌اند ، درصورتی‌که LRV در RO 3 بین ۲ تا ۲/۵ است . این نتایج ارتباط خوبی با اطلاعات مربوط به نشان دادن سولفات و تنزل خلأ ، که در بالا شرح داده شدند ، دارند .




شکل ۹ : نتایج حاصل از مرحله‌ی اول آزمایشات کشت باکتری MS2 (RO 1, RO 2)




شکل ۱۰ : نتایج حاصل از مرحله‌ی اول آزمایشات کشت باکتری MS2 (RO 3, RO 4)

## نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق عبارتند از :

- برای نشان دادن صحت سیستم RO روش‌های مختلفی وجود دارد تا از پایداری عملکرد اطمینان حاصل شود .
- نتیجه‌ی آزمایش‌ها نشان می‌دهند که قابلیت حذف ویروس در ممبرین‌های نسل جدید RO متفاوت می‌باشد .
- برای نشان دادن صحت ممبرین برای سیستم‌های RO با اندازه‌ی کامل ، باید روش‌های فوق را ترکیب نمود .