کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
دانشگاه تهران، تهران
۲۶ و ۲۷ بهمن‌ماه ۱۳۹۵

1026P-NWWCE

طراحی ، اجرا و بهره‌برداری از سیستم اسمز معکوس جهت نمک‌زدایی و تصفیه آب شور چاه‌های منطقه چادرملو به‌منظور تأمین آب صنعتی

عباس محسنی[۱]، ثنا بریجانی[۲*]
۱و۲- شرکت فنی مهندسی آبسان پالایش

berijani@absun.ir

خلاصه

با توجه به رشد جمعیت و تکنولوژی در کشور ایران و نیز موقعیت جغرافیایی آن، استفاده بهینه از منابع آب و بازیافت پساب از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در این گزارش، نتایج مربوط به تصفیه آب چاه‌های دشت سپیدان واقع در منطقه صنعتی چادرملو که از پرچالش ترین منابع آب شور ایران محسوب می‌شوند ارائه می‌گردد. مراحل پیش تصفیه شامل روش‌های فیزیکی نظیر فیلتراسیون با استفاده از فیلترهای خودشوینده و کارتریجی طراحی شدند و نحوه تزریق مواد شیمیایی نظیر گندزداها، ضد رسوب‌ها، کنترل‌کننده pH ، متا بی سولفیت سدیم، ... نیز تعیین گردید. آب خروجی از سیستم پیش تصفیه نیز برای تصفیه نهایی وارد سیستم‌هایپرفیلتراسیون اسمز معکوس گردید. به‌منظور انتخاب مراحل پیش تصفیه و طراحی سیستم اسمز معکوس، آنالیز فیزیکوشیمیایی آب خام ورودی انجام گردید و پس از طراحی‌های اولیه تصفیه‌خانه و بررسی میزان کارآیی آن، پروژه به مرحله اجرا رسید. نتایج مربوط به آنالیز آب تصفیه شده خروجی نشان دادند که بازدهی سیستم طراحی شده برای رساندن کیفیت آب خام به حد مطلوب بسیار بالا می‌باشد که نشان دهنده قابل اعتماد بودن سیستم مزبور در تصفیه آب شور می‌باشد.

کلمات کلیدی: طراحی، پیش تصفیه، تصفیه، فیلتراسیون، اسمز معکوس ، آب شور، چادرملو

۱. مقدمه

با توجه به رشد جمعیت و صنعت در سال‌های اخیر، بحران کم آبی گریبانگیر بسیاری از کشورها شده است تا حدی که قرن ۲۱ را قرن استرس آبی یا استرس هیدرولوژیک نام نهاده‌اند [۱] . ایران نیز به دلیل واقع شدن در منطقه خشک و نیمه خشک در زمره کشورهای بحرانی دنیا در زمینه تأمین آب قرار دارد. از آنجا که مشکل کم آبی علاوه بر خطرات جدی که برای انسان به وجود می‌آورد عملکرد صنایع را نیز به‌شدت مختل می‌کند، استفاده بهینه از منابع آب جهت مصارف خانگی، صنعتی ، کشاورزی و همچنین تصفیه و بازیافت پساب‌ها از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد[۲،۳]. نوع و تعداد روش‌های فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز جهت رساندن کیفیت آب به حد مطلوب یا مجاز به پارامترهای متعددی وابسته است که با توجه به استانداردهای موجود و نیاز صنایع مختلف به منابع آب با کیفیت متفاوت می‌توان سیستم‌های پیش تصفیه و تصفیه را طراحی نمود[۶-۴]. تکنولوژی غشایی که شامل میکرو فیلتراسیون[۱]، نانو فیلتراسیون[۲]، اولترافیلتراسیون[۳] و اسمز معکوس[۴] می‌باشد قادر به حذف آلودگی‌های آلی،معدنی و میکروبی آب بسته به نوع و مقدار آن‌ها می‌باشد.

---

[1] Microfiltration (MF)
2 Nan filtration (NF)
3 Ultrafiltration (UF)
4 Reverse Osmosis (RO)

جدول ۱ اطلاعات مربوط به خصوصیات و محدوده عملکرد هر کدام از روش‌های مذکور را نشان می‌دهد[۷]. اختلاف غلظت، فشار، دما، اندازه ذرات و پتانسیل الکتریکی از عوامل محرکه در فرآیندهای غشایی محسوب می‌شوند. استفاده از فرآیندهای غشایی مزایایی نظیر کاهش مصرف انرژی، حجم کم، عدم نیاز به فضای زیاد، تنوع در شکل و اندازه، افت فشار کم و انتقال جرم زیاد، بالا بودن راندمان جداسازی و نیاز کم به مواد شیمیایی افزودنی و سهولت کاربرد در مقیاس‌های صنعتی و سازگاری با محیط زیست به همراه دارد که آن‌ها را از سایر روش‌ها متمایز می‌سازد[۸] .

جدول ۱- ویژگی‌های تکنیک‌های غشایی مختلف در حذف آلاینده‌ها

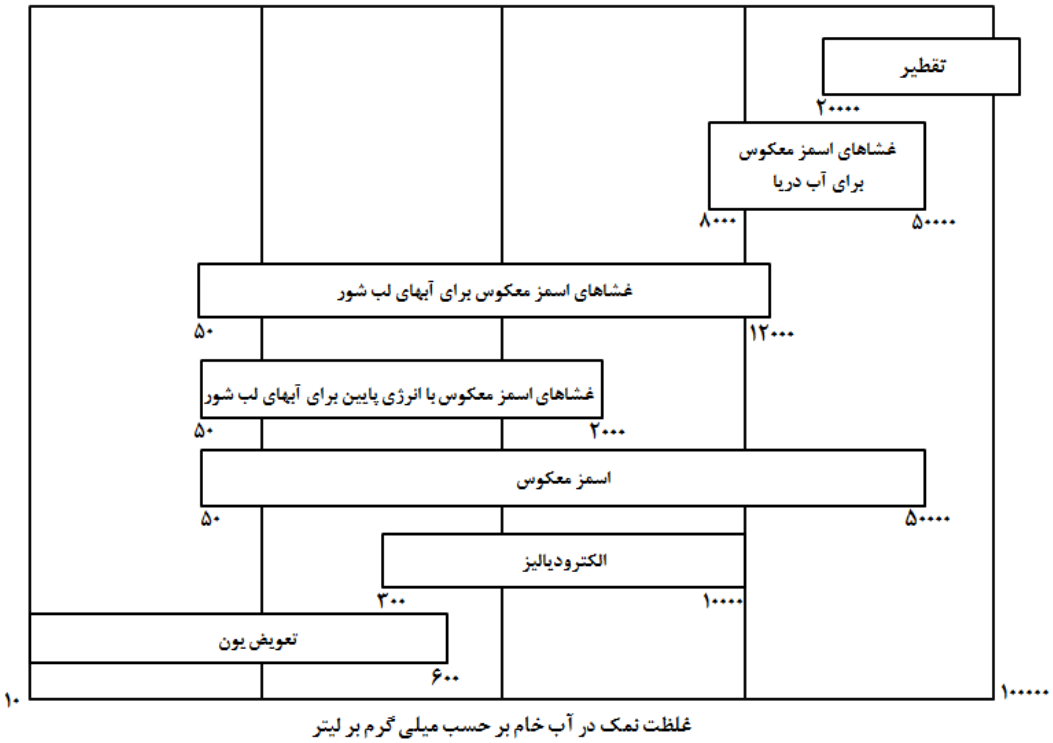
فرآیند غشایی	علامت اختصاری	فشار مورد نیاز (کیلو پاسکال)	محدوده سایز ذرات	آلاینده (نوع و درصد حذف)
میکروفیلتراسیون	MF	۳۰-۵۰۰	۳-۰/۱ میکرومتر	حذف کدورت(بالای ۹۹,۹۹٪)، حذف باکتری (بالای ۹۹,۹۹٪)
اولترافیلتراسیون	UF	۳۰-۵۰۰	۰/۱- ۰/۰۱ میکرومتر	حذف کدورت (بالای ۹۹,۹۹٪)، حذف باکتری (بالای ۹۹,۹۹٪)، حذف کل کربن آلی (۲۰٪)
نانوفیلتراسیون	NF	۵۰۰-۱۰۰۰	۴۰۰-۲۰۰ دالتون	حذف کدورت (بالای ۹۹٪)، حذف رنگ (۹۸٪)، حذف کل کربن آلی (بالای ۹۵٪)، حذف سختی (بالای ۹۰٪)، حذف سولفات (بالای ۹۷٪)، حذف ویروس (بالای ۹۵٪)
اسمز معکوس	RO	۱۰۰۰-۵۰۰۰	۲۰۰-۵۰ دالتون	حذف شوری (بالای ۹۹٪)، حذف رنگ و کل کربن آلی (بالای ۹۷٪)، حذف نیترات (۸۵-۹۵٪)، حذف آفت‌کش‌ها (۱۰۰-۰٪)، حذف F، Cd، Cr، Pb، As (۹۸-۴۰٪)

در این میان، اسمز معکوس با کارآیی بالا به عنوان قابل اعتمادترین گزینه برای تصفیه و شیرین سازی آب‌های بسیارشور و پسابهای مختلف طراحی و استفاده می شود. برای اجرای این تکنیک اطلاعات مربوط به آنالیز فیزیکوشیمیایی و میکروبی آب خام اولیه مورد نیاز است و منابع آب مختلف نظیر آبهای زیرزمینی، آبهای سطحی و آب دریا را می‌توان با این روش تصفیه و قابل استفاده نمود[۱۳-۹]. غشاهایی[1] که در این سیستم استفاده می‌شوند از جنس پلی آمید یا سلولزی هستند که آب اجازه عبور از آن‌ها را داشته و املاح و آلاینده‌ها قادر به عبور از آن نیستند[۱۶-۱۴]. نوع غشا مورد نیاز در سیستم اسمز معکوس را می‌توان با دانستن غلظت نمکهای محلول در آبی که باید با عبور از غشا تصفیه گردد، انتخاب نمود. این غشاها برای نمک‌زدایی آبهای شور[2] مانند آب دریا وآبهای لب شور[3] در اسمز معکوس قابل استفاده می باشند. شکل ۱ نحوه انتخاب غشا مناسب سیستم اسمز معکوس را بر اساس غلظت نمکها نشان می‌دهد[۱۷].

آب خام ورودی به سیستم اسمز معکوس قبل از رسیدن به غشا باید از مراحل پیش تصفیه فیزیکی و شیمیایی عبور کند تا از میزان کدورت، غلظت املاح معدنی و مواد آلی، رنگ، بو و آلودگی میکروبی آن کاسته شود. هدف سیستم پیش تصفیه در واقع فراهم ساختن شرایط مناسب برای آب خوراک غشاهای اسمز معکوس به‌منظور پیشگیری از گرفتگی غشاها،کنترل غلظت یون‌های رسوب‌گذار ، کنترل میزان ذرات معلق ، نابود کردن میکروارگانیسم‌ها و حذف مواد آلی می‌باشد.استفاده از فیلترهای شنی، کربنی و فیلترهای خود شوینده به عنوان نسل جدید فیلترهای کارتریجی قبل از غشا اسمز معکوس نیز به همین منظور می‌باشد. همچنین استفاده از پکیج‌های کلرزنی، ازن زنی و سیستم‌های تزریق مواد شیمیایی (احیا کننده، اسید، باز، ضد کف ، سختی گیرها، ضد رسوب،...)، کیفیت آب خام ورودی به غشاها را بهبود می‌بخشد که علاوه بر بهبود کیفیت آب خروجی باعث افزایش طول عمر غشا نیز خواهد شد. در عین حال به‌منظور ایمنی غشاها، در کنار تصفیه‌خانه احداث شده، سیستم مخزن شستشو در محل[4] نیز تعبیه می شود تا در صورت کاهش عملکرد سیستم به علت گرفتگی، بتوان مشکل را در حداقل زمان ممکن در محل تصفیه‌خانه برطرف نمود. این گزارش نحوه طراحی و اجرای سیستم اسمز معکوس در منطقه چادرملو جهت تأمین آب صنعتی مورد نیاز از چاه‌های موجود ارائه

1 Membrane
2 Sea Water Reverse Osmosis (SWRO)
3 Brackish Water Reverse Osmosis (BWRO)
4 Clean In Place (CIP)

می گردد(شکل ۱). آب چاه که در زمره منابع آب زیر زمینی دسته بندی می شود حاوی ناخالصی‌های معدنی، گاز دی اکسید کربن و آلودگی فلزات سنگین بوده، کدورت پایین دارد و مقدار مواد آلی و میکروارگانیسمها نیز در آن کم می‌باشد[۱۸].



شکل ۱. انتخاب روش تصفیه و غشای سیستم اسمز معکوس بر اساس غلظت نمک آب خام

۲. بخش تحقیقاتی

۲-۱. بررسی شرایط و ارائه پیشنهاد فنی

با توجه به زمینه فعالیت شرکت معدنی صنعتی چادر ملوکه عمده آن اکتشاف ، استخراج و بهره‌برداری از معادن سنگ آهن و تولید کنسانتره از آن ، تولید گندله، تولید سنگ آهن و تولید محصولات فولادی می‌باشد دسترسی به آب صنعتی با کیفیت قابل قبول بسیار حائز اهمیت است. با توجه به اینکه موقعیت جغرافیایی این منطقه که در مجاورت کویرهای مرکزی و لوت با آب و هوای گرم و خشک بیابانی قرار دارد، تأمین آب مورد نیاز آن با چالش های زیادی همراه بود. تنها منابع آب قابل استفاده و در دسترس، ۱۳ چاه واقع در منطقه دشت سپیدان بود که طی سه پروژه تصفیه مجزا تحت عناوین سپیدان۱ ، سپیدان ۲ و سپیدان ۳ مورد بهره‌برداری قرار گرفت.

در این گزارش، مراحل پروژه سپیدان ۳ که شامل تصفیه آب ۹ چاه در منطقه صنعتی چادرملو است ارائه می‌گردد. با توجه به آنالیز نمونه آب خام که در جدول ۲ گزارش شده است و با استفاده از نرم افزار ROSA ، طراحی اولیه SWRO انجام گردید. نتایج آنالیز آب خام جمع آوری شده نشان می‌دهد که سیستم پیش تصفیه و تصفیه آب مذکور باید قادر به کاهش قابل توجه مقادیر هدایت الکتریکی، سختی، قلیائیت، کدورت، کل جامدات محلول و نیز کاهش غلظت یونهای سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلراید، سولفات، نیترات، بور، باریم، استرنسیم و ترکیبات آمونیاک و سیلیس باشد.

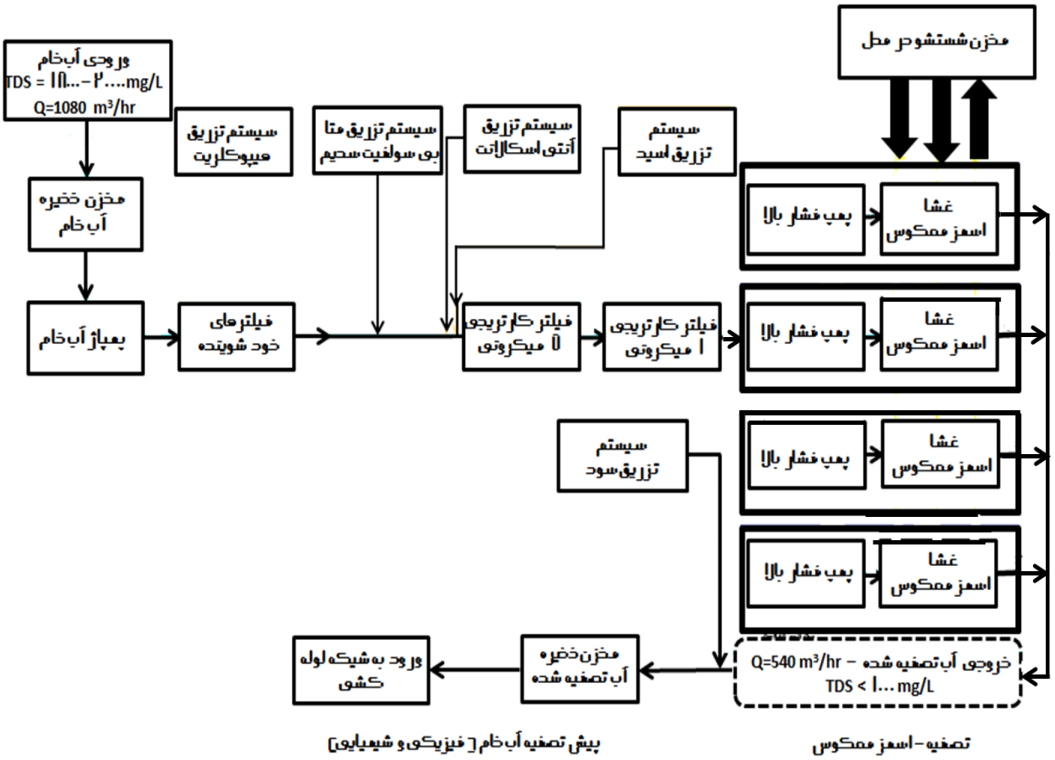
جدول۲- نتایج آنالیز فیزیکوشیمیایی آب خام چاه‌های دشت سپیدان- منطقه صنعتی چادرملو

پارامتر	واحد	مقدار اندازه‌گیری شده	پارامتر	واحد	مقدار اندازه‌گیری شده
pH	-	۷/۵۴	آمونیاک	mg/lit	۰/۰۱۵
هدایت الکتریکی[1]	µs/cm	۲۶۷۰۰	کادمیم	mg/lit	<۰/۰۰۲
کل جامدات محلول[2]	mg/lit CaCO3	۲۴۰۰۰	سرب	mg/lit	<۰/۰۱
کل جامدات معلق[3]	mg/lit CaCO3	۳	آرسنیک	µg/lit	< ۱۰
کدورت[4]	NTU°	۲/۴۳	آهن	mg/lit	<۰/۰۵
ضریب گرفتگی لجن[6]	-	۳	منگنز	mg/lit	<۰/۰۵
سختی کل[7]	mg/lit CaCO3	۳۷۰۰	روی	mg/lit	<۰/۰۵
قلیائیت کل[8]	mg/lit CaCO3	۶۰۰	آلومینیوم	mg/lit	<۰/۰۵
کلسیم	mg/lit	۶۴۰/۸	استرنسیم	mg/lit	۱۸
منیزیم	mg/lit	۵۱۰/۳	کبالت	mg/lit	<۰/۰۱
باریم	mg/lit	۰/۰۱	آنتیموان	mg/lit	<۰/۰۵
نیترات	mg/lit	۳	سدیم	mg/lit	۵۲۸۹/۷
کلرید	mg/lit	۸۹۵۰	پتاسیم	mg/lit	۷
فلوراید	mg/lit	0.00	مس	mg/lit	<۰/۰۵
بور	mg/lit	۱/۳۶	نیکل	mg/lit	<۰/۰۳
سولفات	mg/lit	۲۱۸۰	کروم	mg/lit	<۰/۰۲
سیلیس	mg/lit	۲۲	دی اکسید کربن	mg/lit	498

۲-۲. مراحل انجام پروژه

مراحل این پروژه شامل پمپاژ و جمع آوری آب خام از ۹چاه- انتقال به مخازن ذخیره آب خام- انتقال به تصفیه‌خانه - انتقال آب تصفیه شده به مخازن ذخیره و در نهایت انتقال آب تصفیه شده به مجتمع با سه ایستگاه پمپاژ می‌باشد. طراحی سیستم پیش تصفیه و تصفیه با رسم دیاگرام شماتیک تصفیه‌خانه[9]، دیاگرام مراحل فرآیند[10] و طراحی پایپینگ- ابزار دقیق[11] انجام شد. شکل ۲ دیاگرام شماتیک مراحل پیش تصفیه و تصفیه را نشان می‌دهد.

[1] Electrical Conductivity (EC)
[2] Total Dissolved Solid (TDS)
[3] Total Suspended Solid (TSS)
[4] Turbidity
[5] Nephelometry Turbidity Unit
[6] Sludge Density Index (SDI)
[7] Total Hardness
[8] Total Alkalinity
[9] Block Flow Diagram (BFD)
[10] Process Flow Diagram (PFD)
[11] Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)



شکل ۲. دیاگرام شماتیک تصفیه خانه طراحی و اجرا شده

طبق دیاگرام طراحی شده، سیستم تزریق هیپوکلریت سدیم به ورودی آب خام جمع آوری شده تعبیه گردید. سپس آب خام پمپاژ شده با دبی ۱۰۸۰ m^3/hr از مخزن ذخیره به فیلتر خود شوینده[1] وارد شد. تصفیه شیمیایی آب خروجی از این فیلتر با تزریق غلظت بهینه از متا بی سولفیت سدیم آنتی اسکالانت و اسید انجام شد. سپس آب وارد فیلترهای کارتریجی با قابلیت حذف ذرات ۵ و ۱ میکرونی شده و با استفاده از پمپهای فشار بالا آب پیش تصفیه شده وارد غشاهای سیستم اسمز معکوس گردید. pH آب خروجی از غشاهای اسمز معکوس پس از تصفیه نهایی با تزریق سود کنترل شده و در مخزن ذخیره جمع آوری و به مجتمع منتقل گردید.

۳. برتری‌های طراحی مراحل پیش تصفیه

۳-۱. استفاده از فیلترهای خود شوینده به جای فیلترهای شنی

در طراحی این تصفیه‌خانه، برای اولین بار در کشور توسط شرکت فنی مهندسی آبسان پالایش، برای دبی بالای آب خام ورودی به سیستم تصفیه‌خانه (۱۰۸۰ m^3/hr)، از فیلترهای خود شوینده به جای فیلترهای شنی استفاده شده است. حجم بالای فیلترهای شنی، هزینه اولیه زیاد، کاربری مشکل تر،

[1] Self-Cleaning Screen Filter (SCF)

مصرف بسیار زیاد آب برای شستشوی برگشتی[1] ، تجهیزات جانبی مورد نیاز، تغییر در آرایش لایه‌های بستر در اثر شستشوی معکوس و نیاز به تعویض ماده استفاده شده در بستر، از مشکلات عمدهٔ استفاده از این فیلترها می باشد.

فیلترهای خود شوینده یا خود تمیز شونده که به عنوان نسل جدید فیلترهای صفحه‌ای اتوماتیک معرفی شده اند برای زدودن ذرات معلق تا کمترین اندازه استفاده می‌شوند. حجم کوچک سیستم، راحتی شستشوی آن‌ها در مقایسه با سایر فیلترها، مصرف حداقل آب جهت شستشو، زمان کم تمیز شدن، مقاومت در مقابل انواع آلودگی‌ها و قابل اعتماد جهت حذف ذرات معلق تا سایز 10 میکرون و از همه مهم‌تر عدم توقف سیستم در زمان شستشو از بارزترین ویژگی این دستگاه‌هاست.گستره خوبی از مدل‌های مختلف این نوع دستگاه‌ها برای کاربری‌های مختلف وجود دارد. در هر واحد از این فیلترها می‌توان تا 2000 مترمکعب در ساعت آب را فیلتر نمود. جنس بدنه متناسب با درخواست می‌تواند از کربن استیل[2] و فولاد زنگ نزن[3] با کیفیت مختلف تأمین شود.کارتریج این فیلترها بصورت سه یا چهار لایه از فولاد ضد زنگ ساخته شده و فرایند شستشو توسط گردش و نیز حرکت نازلهای مجهز به برس نایلونی انجام می‌گردد که با انتقال بخشی از آب فیلتر شده از روی سطح کارتریج به سمت مسیر خروجی موجب کنده شدن گرفتگی و تمیز شدن آن می شود[۱۹،۲۰]. با توجه به موارد مذکور و مزایای استفاده از این فیلترها که منجر به کاهش هزینه نصب و کاربری، کاهش مصرف و اتلاف آب برای شستشوی معکوس تا ۸۰ درصد می‌گردد، در این پروژه از فیلترهای مذکور به جای فیلترهای شنی استفاده شده است.

۳-۲. استفاده از مواد شیمیایی با فرمولاسیون مناسب جهت تأمین مواد شیمیایی مورد نیاز

از آنجا که در آب ورودی به سیستم‌های اسمز معکوس نمک‌های محلول حضور دارند ، احتمال ایجاد گرفتگی و تشکیل رسوب در روزنه‌های میکرونی غشاهای پلی آمید وجود دارد که منجر به تشکیل رسوب در سطح یا حفره‌های غشا خواهد شد. کربنات کلسیم ($CaCO_4$)، سولفات کلسیم ($CaSO_4$)، سولفات باریم ($BaSO_4$)، و سولفات استرونیوم ($SrSO_4$) از جمله رسوباتی هستند که ممکن است منجر به تشکیل رسوب در غشاهای اسمز معکوس گردند. علاوه بر این موارد، رسوبات سیلیکا (SiO_2) و فلوراید کلسیم (CaF_2) نیز در صورت تشکیل شدن باعث بروز مشکل خواهند شد. تشکیل رسوب داخل حفره‌ها یا بر سطح غشا باعث کاهش عمر آن‌ها شده، کیفیت و دبی آب خروجی را کم کرده و منجر به تعویض زود هنگام غشاها در نتیجه افزایش هزینه بهره‌برداری می‌گردد. به‌منظور جلوگیری از تشکیل رسوب بر روی غشا، به آب ورودی سیستم اسمز معکوس ترکیب ضد رسوب[4] تزریق می‌گردد. ضد رسوب به آلاینده‌های موجود در آب می‌پیوندد و ازچسبیدن آن‌ها به سطح ممبران جلوگیری کرده و همراه پساب از سیستم اسمز معکوس خارج می‌شوند. انتخاب ضد رسوب مناسب با توجه به کیفیت آب و سیستم طراحی شده بسیار ضروری می‌باشد. معایب استفاده از آنتی اسکالانت نامرغوب باعث کاهش ظرفیت تولید ، بالا رفتن TDS آب خروجی ، افزایش فشار بر پمپ‌های طبقاتی، افزایش برق مصرفی، کاهش طول عمر آن‌ها ، نیاز به شستشوی متعدد غشاها و در نهایت کاهش طول عمر و تعویض زود هنگام آن‌ها می‌گردد.

در سیستم ارائه شده در این گزارش، با توجه به حجم بالای آب خوراک و کیفیت آن، انتخاب ترکیب ضد رسوب مناسب با عملکرد قابل قبول از حساسیت بالایی برخوردار بود. جهت تأمین آنتی اسکالانت مناسب، با کمک شرکت همکار از کشور ایتالیا، ماده مناسب با شرایط مذکور فرموله گردید و پمپ تزریق آن پس از بهینه سازی غلظت در مسیر آب ورودی به فیلترهای کارتریجی قرار گرفت. بررسی عملکرد ضد رسوب مذکور نشان داد که می‌توان این ترکیب را با دوز کمتر، هزینه بسیارپایین تر و کارآیی بالاتر در مقایسه با ترکیبات مشابه رایج مورد استفاده قرار داد.

۴. نتایج و بحث

عملکرد درست سیستم اسمز معکوس به نحوه بهره‌برداری صحیح از غشاها وابسته است. با توجه به محدوده بسیار وسیع توانایی غشاها در حذف انواع آلاینده‌های فلزی، عوامل سختی، ویروس‌ها، باکتری‌ها، پروتئین‌ها، مواد قندی ، نمک‌ها و رنگ و بو، بهره‌برداری درست و حفاظت از غشاها بسیار حائز

[1] Back Wash
[2] Carbon Steel
[3] Stainless Steel
[4] Antiscalant

اهمیت می‌باشد. در واقع غشاهای اسمز معکوس قلب سیستم تصفیه معرفی می‌شوند و هر گونه اختلال یا نقص در عملکرد آن‌ها منجر به کاهش کارآیی سیستم خواهد شد. در همین راستا، به کارگیری روش‌های کارآمد پیش تصفیه فیزیکی و شیمیایی قبل از ورود آب به سیستم اسمز معکوس بهترین روش برای پیشگیری از مشکلات احتمالی می‌باشد. فیلتراسیون با استفاده از فیلترهای شنی، کربنی، خود شوینده و کارتریجی از مهمترین روش‌های پیش تصفیه می‌باشد که بسته به نوع و میزان آلاینده‌های آب در مسیر تصفیه‌خانه تعبیه می‌شوند. در میان این فیلترها،

استفاده از متا بی سولفیت سدیم جهت کلر زدایی و حفاظت از غشا در برابر آلودگی‌های میکروبی و اکسید کننده‌ها،آنتی اسکالانت جهت جلوگیری از رسوب‌گذاری آب ورودی به سیستم اسمز معکوس جهت حفاظت هر چه بیشتر از غشاهای اسمز معکوس انجام گردید. از آنجا که سرعت فرایند تشکیل رسوب، بروز خوردگی و رشد مواد بیولوژیکی به pH محیط بستگی دارد، تزریق اسید نیز جهت تنظیم pH آب ورودی به سیستم اسمز معکوس انجام شد و مکان پمپهای تزریق این ترکیبات با غلظت مشخص تعبیه گردید. فیلترهای کارتریجی با قابلیت حذف ذرات ۵ و ۱ میکرونی نیز به عنوان مرحله نهایی پیش تصفیه تعبیه گردید. سپس با استفاده از پمپهای فشار بالا آب پیش تصفیه شده وارد غشاهای سیستم اسمز معکوس گردید. pH آب خروجی پس از تصفیه نهایی با تزریق سود کنترل شد و پس از جمع آوری در مخزن ذخیره به مجتمع منتقل گردید.

آنالیز فیزیکوشیمیایی آب تصفیه شده جهت بررسی کارآیی سیستم در تصفیه نمونه آب خام انجام گردید. نتایج حاصل در جدول ۳ نشان می‌دهد که سیستم مذکور قادر به رساندن کیفیت آب خام اولیه به حد مطلوب جهت استفاده می‌باشد. محاسبات نشان می‌دهند که راندمان سیستم در کاهش و حذف عوامل آلاینده آب و رساندن کیفیت آن به حد مطلوب بالا می‌باشد. این سیستم توانسته غلظت مواد جامد محلول را در آب خام اولیه تا mg/lit ۹۷/۶۷ و ۹۹/۵۹ درصد کاهش دهد. همچنین علاوه بر حذف کامل آمونیاک و باریم شاهد حذف تقریباً کامل (بالای ۹۹ درصد) کلراید، سولفات، استرنسیم، سدیم،کلسیم، منیزیم و قلیائیت نیز بوده‌ایم. مقدار بازدهی سیستم برای موارد خارج از محدوده مجاز که در جدول ۳ گزارش شده نیز محاسبه شده است که بیانگر کارآیی بالای سیستم در حذف آلاینده‌ها و ناخالصی‌های آب خام می‌باشد.

طی عملیات تصفیه و نمک‌زدایی، سطوح غشا توسط رسوبات معدنی، بیولوژیکی، ذرات کلوئیدی و مواد آلی نامحلول دچار گرفتگی خواهد شد و عملکرد سیستم مختل شده، بازده کاهش می‌یابد. این شرایط با کاهش دبی آب تصفیه شده، کاهش کیفیت آب تصفیه شده، افزایش غلظت جامدات محلول یا با زیاد شدن اختلاف فشار (تفاوت فشار بین آب رودی به ممبران ها و خروجی) ظاهر می‌گردد. به‌منظور حل این مشکل معمولاً در کنار تصفیه‌خانه‌های احداث شده، مخزن شستشو در محل قرار دارد. که با توجه به نوع گرفتگی و میزان آلودگی غشا شوینده مناسب انتخاب شده و از طریق این مخازن به سیستم غشاها وارد شده و آن‌ها را شستشو می‌دهد. همچنین می‌توان به‌منظور پیشگیری از این مشکل می‌توان به صورت دوره‌ای شستشو را انجام داد.

در مراحل پیشرفته مشکل گرفتگی غشاها که با شستشوهای مختلف حل نشده است، اتوپسی غشا[1] پیشنهاد می شود که عبارتست ازکالبد شکافی غشاء مورد استفاده در فرآیندهای شیرین سازی آب ، بازرسی سطح آن جهت کشف هر گونه آسیب فیزیکی،تعیین اکسید شدگی توسط کلر، آنالیز رسوب تشکیل شده روی غشا. این فرآیند شامل انتخاب بخشی از غشا به‌منظور شناسایی ماهیت و آنالیز رسوب تشکیل شده روی آن و آنالیز میکروبی بوده که در صورتی که فرآیند مدیریت گرفتگی غشاء با شکست مواجه شده باشد قابل انجام خواهد بود.

[1] Autopsy membrane

جدول۳- نتایج آنالیز فیزیکوشیمیایی و محاسبه راندمان عملکرد سیستم تصفیه SWRO طراحی شده

پارامتر	واحد	اندازه‌گیری شده در نمونه آب خروجی از سیستم تصفیه	راندمان کاهش یا حذف توسط سیستم اجرا شده (٪)
pH	-	۵/۱۳	-
هدایت الکتریکی[1]	µs/cm	۱۹۱	۹۹/۲
کل جامدات محلول[2]	mg/lit $CaCO_3$	۹۷/۶۷	۹۹/۵۹
کدورت[3]	NTU[4]	۰/۱	۹۵/۸۸
سختی کل[5]	mg/lit $CaCO_3$	۵۳/۳۳	۹۸/۵۵
قلیائیت کل[6]	mg/lit $CaCO_3$	۴/۴۱	۹۹/۲۶
کلسیم	mg/lit	۰/۷۷	۹۹/۸۷
منیزیم	mg/lit	۰/۶۲	۹۹/۸۷
باریم	mg/lit	۰/۰۰	۱۰۰
نیترات	mg/lit	۰/۲۰	۹۳/۳۳
کلرید	mg/lit	۵۳/۴۴	۹۹/۴۰
بور	mg/lit	۰/۳۳	۷۵/۷۳
سولفات	mg/lit	۱/۲۹	۹۹/۹۴
سیلیس	mg/lit	۰/۲۳	۹۸/۹۵
آمونیاک	mg/lit	۰/۰۰	۱۰۰
دی اکسید کربن	mg/lit	۱۹/۱۸	۹۶/۱۴
استرنسیم	mg/lit	۰/۰۲	۹۹/۸۸
سدیم	mg/lit	۳۴/۷۰	۹۹/۳۴
پتاسیم	mg/lit	۰/۱۲	۹۸/۲۸

۵. نتیجه‌گیری

توجه به کمبود آب و حل معضلات مربوط به آن، خصوصاً در کشورهایی که با این بحران مواجه هستند از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این گزارش، نحوه عملکرد شرکت فنی مهندسی آبسان پالایش در پیشنهاد و ارائه سیستم پیش تصفیه و تصفیه قابل اعتماد جهت استفاده بهینه از منابع آب موجود در منطقه صنعتی چادرملو بیان گردید. این عملکرد بر اساس بررسی منابع آب زیرزمینی موجود (آب چاه‌های دشت سپیدان) بوده که با توجه به موقعیت جغرافیایی گرم و خشک این منطقه با درصد بالای تبخیر با حساسیت و دقت بالایی انجام گرفت. نتایج آنالیز فیزیکو شیمیایی آب پمپاژ و جمع آوری شده از چاه‌های دشت سپیدان نشان دادند که علاوه بر شوری بالای آب خام اولیه، غلظت برخی یون‌ها و فلزات نیز در آن بسیار بالاتر از حد مجاز می‌باشد. طراحی اولیه با استفاده از نرم افزار جهت تعیین ساختار تصفیه‌خانه انجام گردید که با توجه به کیفیت آب خام لزوم استفاده از سیستم پیش تصفیه فیزیکی و شیمیایی کامل، قوی و کارآمد با بازده بالا بسیار ضروری بود. مراحل پیش تصفیه فیزیکی شامل فیلتراسیون (فیلترهای شنی، کربنی و کارتریجی) و شیمیایی (افزودن گندزدا، کنترل‌کننده pH، ضدعفونی کننده، ضد رسوب، رزین‌های سختی گیر) با مقدار تزریق بهینه طراحی و اجرا

[1] Electrical Conductivity (EC)
[2] Total Dissolved Solid (TDS)
[3] Turbidity
[4] Nephelometry Turbidity Unit
[5] Total Hardness
[6] Total Alkalinity

گردید. نتایج آنالیز آب تصفیه شده بیانگر آن بود که سیستم تصفیه طراحی شده مذکور قادر به رساندن کیفیت آب خام به حد مطلوب جهت استفاده در مجتمع معدنی صنعتی چادرملو بوده است و مشکل تأمین آب این منطقه با توجه به منابع موجود برطرف گردیده است.

۶. مراجع

1. Salmani, M., Toorani, A., and Khorasani, M. (2010). Rural classification based on risk of reservoirs and drinking water distribution system, case study: Centeral part of Minoodasht city. *Journal of Rural Research*, 4, pp. 155-177.
2. Quist-Jensen, C.A., Macedonio, F., and Drioli, E. (2015). Membrane technology for water production in agriculture: Desalination and wastewater reuse. *Desalination*, 364, pp. 17-32.
3. Hussein, J., Mukhtar, D.A. and Mukhlis, H.M. (2016). Demineralized Drinking Water in Local Reverse Osmosis Water Treatment Stations and the Potential Effect on Human Health. Journal of Geoscience and Environment Protection, 4, pp.104-110.

۴. سازمان برنامه‌وبودجه و وزارت نیرو، (۱۳۸۷). " راهنمای طبقه بندی کیفیت آب خام، پساب ها و آب‌های برگشتی برای مصارف صنعتی و تفرجی (نشریه شماره ۴۶۲) " ، بخشنامه به دستگاه های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران

۵. استاندارد ملی ایران، موسسه استاندارد وتحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۸۷). " آب آشامیدنی- ویژگی‌های فیزیکی (استاندارد ۱۰۵۳)"

۶. سازمان برنامه‌وبودجه و وزارت نیرو، (۱۳۷۱). " مبانی و ضوابط طراحی شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی و فاضلاب شهری (نشریه شماره ۳-۱۱۸) " ، انتشارات سازمان برنامه‌وبودجه. تهران، ایران

7. Younos, T., and Tulou, K.E. (2005). Overview of desalination techniques. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, 132, pp. 3-10.
8. Srikanth, G. (2008). Membrane Separation Processes Technology and Business Opportunities. Water Conditioning & Purification Magazine, 50, pp. 1- 4.
9. Greenlee, L. F., Lawler, D.F., Freeman, B.D., Marrot, B. and Moulin, P. (2009). Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water Research*, 43, pp. 2317–2348.
10. Elimelech, M. and Phillip,W.A.(2011). The Future of Seawater Desalination: Energy, Technology, and the Environment. *Science*, 333, pp. 712–717
11. Lee, K. P., Arnot, T. C. and Mattia, D. (2011). A review of reverse osmosis membrane materials for desalination-Development to date and future potential. *Journal of Membrane Science*, 370, pp. 1–22
12. Mohammad, A.W., Teow, Y.H., Ang, W.L., Chung, Y.T., Oatley-Radcliffe, D.L. and Hilal, N. (2015). Nanofilteration membrane review: Recent advances and future prospects. *Desalination*, 356, pp. 226-254.
13. Graud, R.M., Kore, S.V., Kore, V.S. and Kulkarni, G.S. (2011). A Short Review on Process and Applications of Reverse Osmosis. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, 3, pp.233-238.
14. Ghosh, A.K., Bindal, R.C., Prabhakar, S., and Tewari, P.K. (2011). Composite Polyamide Reverse Osmosis (RO) Membranes – Recent Developments and Future Directions. *Technology development article*, 321, pp. 43-51.
15. Trademark of The DOW Chemical Company, Tech Manual Excerpt, FILMTEC membranes, Form No. 609-02004-504
16. Ferror, O., Gibert, O., Cortina, J.L. (2016). Reverse osmosis membrane composition, structure and performance modification by bisulphite, iron (III), bromide and chlorite exposure. *Water Research*, 103, pp. 256-263.
17. ™® Trademark of the Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow Form No. 609-00071-0416. Dow Water & Process Solutions. FILMTEC™ Reverse Osmosis Membranes, Technical Manual.

۱۸. سایت بهداشت محیط ایران، اصلی ترین ویژگی‌های آبهای سطحی و زیر زمینی ; WWW.Environmentalhealth.ir

19. Allhands, N. M., (2005).THE 15TH ANNUAL PRODUCED WATER SEMINAR, Removing Solids with Automatic Self-Cleaning Filters, Houston, Texas 77058, January 19-21.
20. http://www.wateronline.com/doc/orea-automatic-self-cleaning-screen-filters-0001, ORE/A Series Of Electric Automatic Self-Cleaning Screen Filters