

شناخت و مکانیابی تأسیسات آب شیرین کن به روش نوین الکتروکوگوالانس در ساحل اقیانوسی مکران

محمد رضا منصور^۱، دانشور^۱، امیر محمودزاده^۲، مصطفی خطیب^۳، صابر خسکانان^۴، احمد ذاکریان^۵، احسان حسن زاده^۶

^۱استادیار پژوهشکده جغرافیا و مخاطرات طبیعی پژوهشگاه شاخص پژوه، اصفهان

^۲رئیس پژوهشگاه شاخص پژوه، اصفهان

^۳مدیر عامل شرکت آکام نگاران پایا، مشهد

^۴کارشناس ارشد آب و فاضلاب

^۵دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری

^۶کارشناسی ارشد مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه یزد

نویسنده مسئول: mrm_daneshvar2012@yahoo.com

چکیده

برای مقابله با مشکل کمبود آب، تصفیه آب دریا گزینه مناسبی برای مقابله با بحران آب است. در همین راستا تکنولوژی های پالایش و بازچرخانی آب به عنوان راهبردهای اصلی بخش محیط زیست در برنامه ها و چشم انداز بلندمدت توسعه کشور مورد نظر قرار گرفته است. بررسی تحقیقات و کارهای انجام شده در سال های اخیر تأیید کننده کاربرد فن آوری های جدید در صنعت تصفیه آب دریا به خصوص استفاده از روش های جدید الکتریکی و الکترومغناطیسی می باشد. در همین راستا علاوه بر روش های الکترولیز، الکترودیالیز و الکتروکوگولاسیون، روش بسیار نوین دیگری با عنوان روش الکتروکوگوالانس توسط یک شرکت دانش بنیان ایرانی ارائه شده است. این روش با قابلیت تصفیه آب دریا و قابلیت فرآوری نمک به کود کشاورزی خود می تواند انقلاب بزرگی را در تأمین بی پایان منابع آب قابل شرب و کشاورزی و توسعه اقتصاد ساحلی و دریایی در کشور فراهم آورد بدون اینکه اثرات زیست محیطی خطرناکی را بر محیط زیست ساحلی و دریایی بر جای بگذارد. از نظر روش شناسی این تحقیق به معرفی فنی و توصیف روش جدید تصفیه آب الکتروکوگوالانس و قابلیت مکانیابی تأسیسات آب شیرین کن مربوطه در ساحل مکران پرداخته است. یافته ها نشان داد که بهترین گزینه استقرار تأسیسات آب شیرین کن یاد شده می تواند به عنوان یک طرح قابل سرمایه گذاری در محدوده ساحلی مکران با دسترسی نامحدود به آب های اقیانوسی باشد. تأسیسات آب شیرین کن الکتروکوگوالانس این قابلیت را دارد که در فرآیند نمک زدایی آب شیرین خود هیچ پساب شوری را وارد محیط دریایی نکرده و بنابراین هیچ معضل زیست محیطی هم نخواهد داشت که این امر یک امتیاز اکولوژیک در سطح بین المللی خواهد بود.

کلید واژگان: تصفیه آب، تأسیسات آب شیرین کن، روش الکتروکوگوالانس، منابع آب اقیانوسی، ساحل مکران

۱- مقدمه

مستقیم در دسترس انسان است. بیش از دو سوم از آب شیرین یخ زده و در یخچالهای طبیعی و در قطب به صورت منجمد است و آب شیرین باقی مانده عمدتاً به صورت آب زیرزمینی است و اندکی از آن در سطح زمین و یا در هوا است (El-Ghonemy2012, Gorjian 2014) رشد اقتصادی و افزایش جمعیت و عدم استفاده صحیح از منابع آب، بحران آب را تشدید کرده است. کمبود آب یکی از مهم

امروزه مواجه شدن با بحران کم آبی یکی از مشکلات عمده‌ی جوامع بشری می‌باشد و این در حالی است که برخلاف رشد جمعیت جهان با کاهش منابع آب مواجه هستیم. این مشکل در مناطق خشک که با کمبود شدید آب روبرو هستند جدی‌تر است. از کل آب روی زمین ۹۶،۵۴٪ را آبهای شور و ۲،۵۳٪ باقی مانده را آب شیرین تشکیل می‌دهد. در حالی که تنها کمتر از ۰،۳۶٪ از آب شیرین به طور

پوش جریانى بالاسو (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor: UASBR) با فیلتر بیولوژیک هوازی (Biological Aerated Filter: BAF) و مدل سلول های سوخت میکروبی (Microbial fuel cells: MFC) هم برای بهبود تصفیه پیشرفته پیشنهاد شده است (Zhang et al. 2009).

در رابطه با تأسیسات آب شیرین کن دریاها و اقیانوس ها نیز تحقیقات زیادی انجام شده است که به تعدادی از آن ها اشاره می کنیم. فلاح (۱۳۷۸) به معرفی روش ترکیبی جدید یون زدایی الکتریکی و کاربرد آن در تصفیه آب نیروگاهی پرداخته است. در ارتباط با روش های جدیدتر میزراخانای (۱۳۹۳) به بررسی و مقایسه چند نمونه از آب شیرین کن های متداول پرداخته و توضیح داده که از بین روش های موجود، روش تقطیر، اسمز (RO) و الکترودیالیز (ED) از متداول ترین روش ها می باشند و در این بین روش الکترودیالیز کارایی بالاتری دارد. عربی (۱۳۹۴) به بررسی استفاده از انرژی خورشیدی در آب شیرین کن ها با روش های مختلف به همراه پتانسیل و موانع این آب شیرین کن ها پرداخته است. دوربین (۱۳۹۵) هم از بین سیستم های نمکزدایی اسمز معکوس و الکترودیالیز مقایسه ای فنی را انجام داده است و اشاره کرده است که با روش الکترودیالیز دارای راندمان نمکزدایی بالاتر، گرفتگی غشاء کمتر و پیش تصفیه کمتری نسبت به روش اسمز معکوس است بنابراین توصیه می شود از روش الکترودیالیز برای تصفیه آب استفاده شود. این نتیجه گیری تأیید کننده کاربرد فن آوری های جدید در صنعت تصفیه آب دریا به خصوص استفاده از روش های جدید الکتریکی و الکترومغناطیسی می باشد. در همین راستا علاوه بر روش های الکترولیز، الکترودیالیز و الکتروکوگوالانس، روش بسیار نوین دیگری با عنوان روش الکتروکوگوالانس توسط یک شرکت دانش بنیان ایرانی به نام شرکت آکام نگاران پایا (مستقر در شهر مشهد) ارائه شده است. این روش با قابلیت تصفیه آب دریا و قابلیت فرآوری نمک به کود کشاورزی خود می تواند انقلاب بزرگی را در تأمین بی پایان منابع آب قابل شرب و کشاورزی و توسعه اقتصاد ساحلی و دریایی در کشور فراهم آورد بدون اینکه اثرات زیست محیطی خطرناکی را بر محیط زیست ساحلی و دریایی بر جای بگذارد. در این میان بهترین گزینه استقرار این تأسیسات می تواند به عنوان یک طرح قابل سرمایه گذاری در محدوده ساحلی مکران با دسترسی نامحدود به آب های اقیانوسی باشد. در این تحقیق به معرفی این سیستم و مزایای استقرار آن در سواحل مکران پرداخته می شود.

۲- روش تحقیق و متغیرها

در این تحقیق به معرفی فنی و توصیف روش جدید تصفیه آب الکتروکوگوالانس (Electro-Coagulant) و قابلیت مکانیابی تأسیسات آب شیرین کن مربوطه در ساحل مکران پرداخته می شود.

ترین تهدیدهای جوامع بشری و مانعی برای توسعه پایدار محسوب می شود. آب و انرژی دو جزء جدا نشدنی حاکم بر زندگی انسان و تمدن هستند. (Kalogirou 1997) با توجه به ارتباط نزدیک این دو؛ انتظار می رود کمبود آب مشکلات مربوط به بحران انرژی را تشدید کند. در چنین شرایطی سیاست گذاران سعی در حل مشکلات کمبود آب از طریق ساختن سد، تغذیه آب های زیرزمینی، بارور کردن ابرها، آب شیرین کن، استفاده مجدد از پساب، تصفیه آب و توسعه پروژه های عظیم انتقال آب دارند (Gohari 2013). تنها منبع آب تقریباً بی پایان اقیانوس ها هستند. اما خود منبع اصلی شوری نیز به شمار می روند. بنابراین، برای مقابله با مشکل کمبود آب، تصفیه آب دریا گزینه مناسبی برای مقابله با بحران آب است. در همین راستا تکنولوژی های پالایش و بازچرخانی آب (شامل تصفیه آب و فاضلاب) به عنوان راهبردهای اصلی بخش محیط زیست در برنامه ها و چشم انداز بلندمدت توسعه کشور مورد نظر قرار گرفته است.

تصفیه آب (Water Purification) و تصفیه فاضلاب (Wastewater Treatment) به فرآیندهایی گفته می شود که طی آن مواد شیمیایی نامطلوب، آلاینده های بیولوژیکی، جامدات معلق و گازها از آب آلوده حذف می شوند، تا آب حاصل شده آماده آشامیدن یا مصرف کشاورزی گردد. به طور کلی روش های تصفیه فاضلاب شامل چهار گروه اصلی است. گروه روش های فیزیکی که می توان به فیلتراسیون (شنی، کربنی، رزینی) و تصفیه غشایی (ممبران) و اسمز معکوس اشاره کرد. گروه روش های شیمیایی که می توان به هوادهی، کلرزنی، ازون زنی و گروه روش های بیولوژیکی که می توان به لجن فعال، راکتورهای بیولوژیکی غشایی، راکتورهای بستر شناور و راکتورهای بی هوازی ناپیوسته متوالی اشاره کرد. و اما گروه روش های الکتریکی و الکترومغناطیسی به عنوان روش های نوآورانه جاری در جهان شامل روش هایی مانند الکترولیز، الکترودیالیز، الکتروکوگوالانس و روش بسیار نوین الکتروکوگوالانس می باشد.

چنانکه از بررسی و مرور مقالات پیرامون روش های نوین در بحث تصفیه آب و فاضلاب برمی آید، در سال های اخیر دامنه گسترده ای از روش های ترکیبی (Hybrid) الکتروبیولوژیکی به خصوص برای حذف فلزات سنگین توسط محققان مورد توجه قرار گرفته است (Parveen et al. 2016). در همین ارتباط مدل سلول های سوخت میکروبی (Microbial fuel cells: MFC) به عنوان یک رویکرد نوین الکتروبیولوژیکی برای حذف COD و میکروارگانیسم ها پیشنهاد شده است (Sevda et al. 2013). در همه روش های الکتروبیولوژیکی برای تعیین میزان موفقیت از آزمایش های طیف سنجی (Spectroscopy) نظیر طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (Energy-Dispersive X-ray: EDX) و یا طیف سنجی فروسرخ با تبدیل فوری (Fourier Transform Infra-Red: FTIR) استفاده شده است. ترکیب هیبریدی راکتور بی هوازی لجن

۵-۲- مواد مصرفی:

این روش نیازمند قطعات فلزی متنوعی از جنس های مختلف مس، آهن، استیل و آلیاژهای مخصوص است که خصوصاً در ساخت وان های الکتروکوگولانس با الگوها و طراحی های خاص به کار خواهند رفت. در این میان تنها برای یک بار در داخل وان های الکتروکوگولانس از الکترودهای اصلی تک قطبی و جفتی با آلیاژ استیل استفاده می شود که تا ۱۵ سال نیازی به تعویض و احیا نخواهند داشت. تغذیه وان های الکتروکوگولانس در هر سه ماه یک بار تجدید شده که از جنس آلومینیوم و آهن می باشد که به صورت پاترون طراحی و در وان ها قرار می گیرند. همچنین در این واحد برای هر مترمکعب آب حدود ۲۵ گرم اسید پلی اکریلیک برای سنگین کردن مواد و ته نشینی مورد استفاده قرار می گیرد.

۳- یافته ها

۱-۳ تشریح عملکرد و فرآیند تصفیه آب به روش

الکتروکوگولانس

روش کار تصفیه آب الکتروکوگولانس الهام گرفته از پدیده های طبیعی به خصوص چرخه هیدرولوژی می باشد که خود شامل فرآیندهای شبیه سازی شده ای همچون تراکم الکتریکی آب در سامانه ابرها و نزول بارش، جریان آب در بستر رودخانه ها و آبخوان ها و رخداد طبیعی انعقاد الکتریکی و ترکیب های هیدروژنوشیمیایی آب می باشد. این روش، ترکیبی از فرآیند الکتروکوگولانس (بر پایه پلاریزاسیون اشتراک الکترونی پیوندهای اتمی و قطبی سازی الکتریکی) و فرآیند فیلتراسیون خودشونده شنی و فیلترهای ماسه سیلیسی و معدنی و فیلترهای کربن اکتیو و تابش فرابنفش (جهت گندزدایی، ضدعفونی و از بین بردن ویروس های مقاوم) می باشد. مهمترین تفاوت روش الکتروکوگولانس با سیستم های شیمیایی رزینی در عدم استفاده از رزین ها و تزریق موارد شیمیایی برای احیای آنها است و تفاوت اصلی روش الکتروکوگولانس روش های الکتروشیمیایی نظیر الکترولیز، الکتروکوگولاسیون و الکترودیونیزاسیون هم در عدم استفاده از هرگونه الکتروود و احتمال رسوب گیری آنها می باشد (منصوری دانشور ۱۳۹۵). سیستم تصفیه در وان های الکتروکوگولانس در واقع به دلیل خاصیت انعقاد الکتریکی می تواند با عنوان روش الکتروکوگولانس هم نامیده شود و در حالت ساده سازی شده مشابه وان های الکتروکوگولاسیون است که بر مبنای جریان الکتریسیته از یک طرف منجر به از هم پاشی مولکول های آب و تشکیل یون ها شده و از طرف دیگر باعث انعقاد و لخته سازی مواد محلول و نامحلول موجود در آب می شود. با این حال تفاوت اصلی روش الکتروکوگولانس نسبت به روش الکتروکوگولاسیون در الگوی ترکیب مدار آندی- کاتدی، سیستم ویراتور فرکانسی و

برای این منظور ابتدا متغیرها و ویژگی های فنی این روش تشریح می شود. در نهایت با استفاده از گزارش ها و مطالعات انجام شده مزیت استقرار این روش تصفیه آب در ساحل اقیانوسی مکران توضیح داده می شود.

۱-۲- ظرفیت تصفیه:

ظرفیت و قدرت راندمان روش الکتروکوگولانس در تأسیسات آب شیرین کن حدود ۲۵۰ لیتر در ثانیه (۹۰۰ مترمکعب در ساعت) بر آورد شده است. روش الکتروکوگولانس این قابلیت را دارد که در هر مقیاسی از راندمان تصفیه ۵۰ تا ۲۵۰ لیتر در ثانیه توسط شرکت آکام نگاران پایا طراحی و ساخته شود. این تأسیسات بسته به نیاز تا ۲۵۰ لیتر در ثانیه در هر مدول قدرت تصفیه دارد و به صورت سری یا شبکه ای توانایی تصفیه تا ۲۵۰۰ لیتر در ثانیه را هم دارا می باشد. ۲-۲ زمان تصفیه:

زمان تصفیه در این روش چه برای ظرفیت ۵۰ لیتر در ثانیه و چه برای ظرفیت ۲۵۰ لیتر در ثانیه حدود ۹۵ دقیقه می باشد (به دلیل همزمانی عمل سری وان های الکتروکوگولانس و سایر سیستم ها). به طور خاص گردش آب در داخل وان های الکتروکوگولانس حدود ۳۵ دقیقه طول می کشد و سپس گردش آب در طی عملیات سایر واحدها تا مرحله خروجی نهایی حدود ۶۰ دقیقه به طول می انجامد.

۳-۲- مساحت تصفیه خانه:

ساخت و نصب تأسیسات آب شیرین کن به روش الکتروکوگولانس برای راندمان ۵۰ لیتر در ثانیه (۱۸۰ مترمکعب در ساعت) به زمینی با مساحت حدود ۱۰۰۰ مترمربع نیاز دارد. این میزان مساحت برای راندمان ۲۵۰ لیتر در ثانیه حدود ۲۰۰۰ مترمربع در نظر گرفته می شود. این قابلیت وجود دارد که بنا به حساسیت های پدافند غیرعامل کل تأسیسات به صورت طبقاتی و در زیرزمین عملیاتی گردد.

۴-۲- انرژی مصرفی:

میزان مصرف برق تأسیسات هم برای تصفیه آب با راندمان ۵۰ لیتر در ثانیه، در حدود ۲۰۰ کیلووات ساعت می باشد. در این میان به طور خاص وان های الکتروکوگولانس به همراه تغذیه الکتروموتور حدود ۱۵۰ کیلووات ساعت نیاز انرژی از برق ۳۶۰ کیلووات (سه فاز صنعتی) خواهند داشت. در زمان قطع برق از دو موتور ژنراتور ۱۶۰ کیلووات برای تأمین برق استفاده می شود. این عمل نیز در زمان قطع برق به صورت خودکار توسط مونیتورینگ مرکز کنترل، استارت می شود و در زمان وصل برق به صورت اتومات خاموش می شود.

برابر) کاهش پیدا کرده است. بنابراین مقدار COD آب خروجی نشان دهنده تصفیه ۹۶٪ فاضلاب در مدت ۴۵ دقیقه بوده است. نمونه شبیه سازی شده توانسته است که هدایت الکتریکی EC را از ۱۹۴۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر به ۷۷۰ میکروزیمنس در سانتیمتر برساند یعنی کاهش در حدود ۶۰ درصد داشته است (جدول ۱). محتوای کل جامدات محلول TDS از ۱۳۵۸ میلی گرم در لیتر به ۵۳۹ میلی گرم در لیتر رسیده یعنی کاهش در حدود ۶۰ درصد داشته است. کل مواد جامد معلق در آب TSS از ۱۸۱ میلی گرم در لیتر به ۲۵ گرم در لیتر رسیده یعنی کاهش در حدود ۸۶ درصد داشته است. کل چربی فاضلاب Oil از ۵۴ میلی گرم در لیتر به ۷ گرم در لیتر رسیده یعنی کاهش در حدود ۸۷ درصد داشته است. میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی کل برای تجزیه BOD از ۲۰۳ میلی گرم در لیتر به ۹ گرم در لیتر رسیده یعنی کاهش در حدود ۹۶ درصد داشته است. میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی کل برای تجزیه COD از ۴۵۰ میلی گرم در لیتر به ۲۰ گرم در لیتر رسیده یعنی کاهش در حدود ۹۶ درصد داشته است. همچنین در این روش تقریباً تمامی میکروارگانیسم ها و همچنین تمامی فلزات سنگین، مواد سمی و شیمیایی با ضریب اطمینان ۹۹ درصد حذف شده و به مواد آلی مورد نیاز کودسازی تبدیل می گردد. ضمناً در فرآیند تصفیه هیچ نوع بوی آزار دهنده و آلاینده هوا ایجاد نمی شود. به طور خلاصه می توان مشاهده کرد که روش کار الکتروکودگوالانس نیازی به واحدهای وسیع و پرهزینه فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی نظیر استخرهای تثبیت، مخزن متعادل کننده، واحدهای هاضم لجن، رآکتورهای هوازی و بی هوازی، تصفیه غشایی (ممبران)، فیلتراسیون نیازمند تعویض، واحد زلال سازی، رزین های نیازمند احیا، مبدل حرارتی و تزریق مواد شیمیایی نمی باشد (منصورى دانشور ۱۳۹۵).

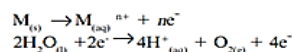
۲-۳- اولویت های برنامه ریزی برای مکانیابی تأسیسات آب

شیرین کن در منطقه ساحلی مکران

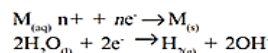
منطقه ساحلی مکران به واسطه ارتباط با اقیانوس ها از اهمیت بسیار بالایی برای این تأسیسات برخوردار است. از نظر تقسیمات اصلی هیدرولوژیک کشور، منطقه مکران شامل دو حوضه اصلی بلوچستان جنوبی و هامون جازموریان است (شکل ۴). مهمترین علل زیست محیطی که منجر به انتخاب بلوچستان جنوبی شده است عدم دسترسی به آب کافی برای شرب، صنعت و کشاورزی علی رغم قابلیت بهره برداری آزاد منابع آب زیرزمینی و دسترسی به آب های آزاد اقیانوسی می باشد؛ استراتژی اصلی تحقیق برای این منطقه تأسیسات آب شیرین کن و تصفیه آب شور سطحی و آب دریای عمان همراه با خنثی سازی نمک، تأمین آب تصفیه شده برای شرب در داخل حوضه و منطقه مکران و انتقال آن به فلات مرکزی می- باشد. برای منطقه هامون جازموریان نیز مهمترین علل زیست

الگوی استفاده از جریان های مستقیم DC به میزان ۵۰۰ آمپر و برق متناوب AC به میزان ۵۰۰ آمپر با ولتاژ ۱۱۰ می باشد. زمانی که یک اختلاف ولتاژ DC از منبع خارجی به الکترودها اعمال می شود در آند واکنش اکسایش و در کاتد واکنش کاهش انجام می شود. واکنش های الکتروشیمیایی انجام شده توسط فلز M در کاتد و آند را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

✓ در آند



✓ در کاتد



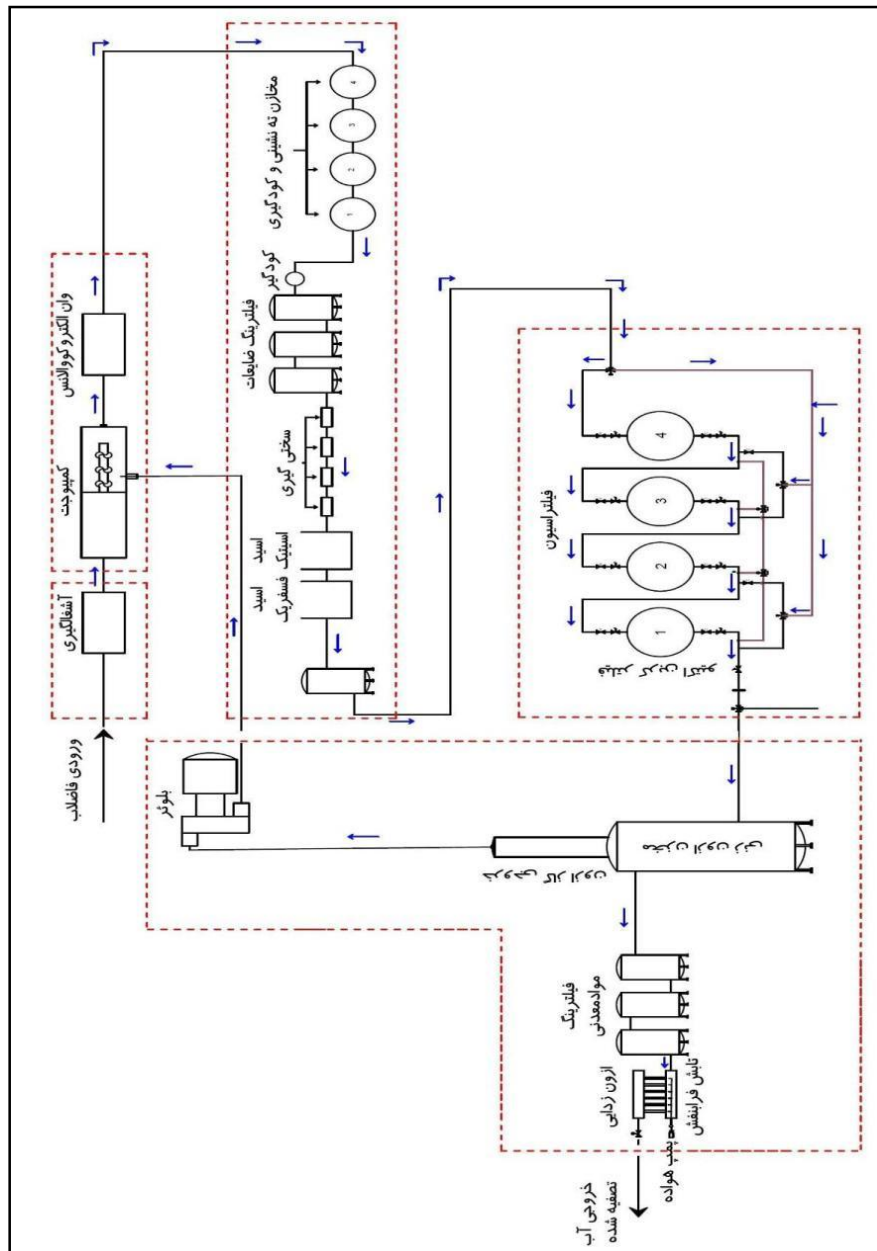
بر خلاف روش رزینی که متکی بر فیلترهای پلیمری آنیونی و کاتیونی است و احیای آن نیازمند اسید سولفوریک یا اسید کلریدریک می باشد و خروجی پساب جانبی آن دارای املاح گچی می شود، در روش الکتروکودگوالانس هیچ نیازی به احیای مجدد نخواهد بود چون اساساً مواد پلی اکریلیت کاتیونی و آنیونی به کاررفته در باردارسازی آب به عنوان مواد ژلاتینه غیرسمی با لجن جامد ته نشین شده و در واحد لجن-کودگیری از مدار خارج می گردد. این مواد ژلاتینی به دلیل خصوصیت جاذب رطوبتی خود باعث پایداری اپی بدون های خاک شده و از فرسایش خاک نیز جلوگیری می کند بنابراین دفع آن هیچ ضرر زیست محیطی نخواهد داشت. در حالی که در فیلترهای تبادل یونی رزینی، خود رزین ها بعد از یک مدت غیرفعال شده و نیازمند احیا و شستشو می شوند علاوه بر این استفاده از روش رزینی در طول زمان باعث ایجاد خوردگی قطعات فلزی می شود در حالی که در روش الکتروکودگوالانس همه قطعات یا استیل و یا پلیمری هستند.

طراحی شماتیک فرآیند یاد شده تصفیه آب در تأسیسات آب شیرین کن الکتروکودگوالانس در شکل (۱) ارائه می شود. در شکل (۲) تصاویر سه بعدی و دوبعدی یکپارچه از تأسیسات آب شیرین کن الکتروکودگوالانس برای راندمان ۲۵۰ لیتر در ثانیه به مساحت حدود ۲۰۰۰ مترمربع نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که طی یک فرآیند آزمایشگاهی و بر مبنای یک ماکت شبیه سازی شده با راندمان ۰/۵ لیتر در ثانیه مطابق شکل (۳)، فرآیند تصفیه فاضلاب برای نمونه های مختلف آنالیز شده و به طور متوسط در تمامی موارد، مقایسه نتایج پارامترهای کیفی آب خروجی با فاضلاب ورودی نشان دهنده ارجحیت روش معرفی شده نسبت به روش های متداول تصفیه فاضلاب در ایران و حتی جهان است. برای مثال فقط پارامتر COD توسط ماکت شبیه سازی شده تصفیه از میزان حدود ۴۵۰ میلی گرم در لیتر به حدود ۲۰ میلی گرم در لیتر (یعنی بیشتر از ۲۰

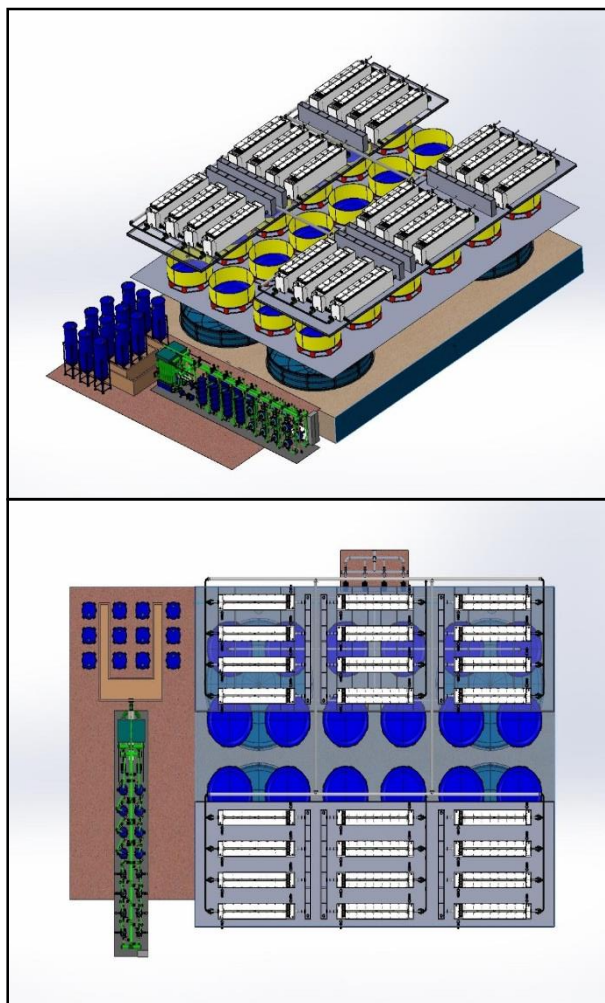
خورشید در آن منطقه زیاد می‌باشد و تعداد روزهای ابری در منطقه کم می‌باشد می‌توان برای تأمین انرژی این روش از پنل‌های خورشیدی استفاده کرد.

محیطی وجود کشاورزی علی‌رغم اقلیم خشک و رخدادهای خشکسالی، توسعه زیاد خاک‌های اریدیسول و شوره‌زار و بایر و باتلاقی، خشک شدن تدریجی تالاب جازموریان، رتبه ۵ مصرف آب کشاورزی در ایران، رتبه ۵ بیشترین تخلیه آب‌های زیرزمینی و ممنوعیت ۷۰ درصدی بهره‌برداری از آب زیرزمینی می‌باشد که استراتژی این تحقیق برای منطقه تصفیه آب شور سطحی و تأسیسات خنثی‌سازی نمک، تأمین آب تصفیه‌شده برای احیای تالاب جازموریان و توسعه پرورش ماهی و احیای اراضی بایر و باتلاقی از طریق دریای عمان می‌باشد. همچنین از آنجایی که منطقه مکران در عرض‌های پایین جغرافیایی قرار گرفته است و میزان تابش

شکل (۱) طراحی شماتیک فرآیند کار تأسیسات آب شیرین کن به روش الکتروکوگولانس



شکل (۲) تصاویر دو بعدی و سه بعدی از تأسیسات آب شیرین کن به روش الکتروکوگولانانس



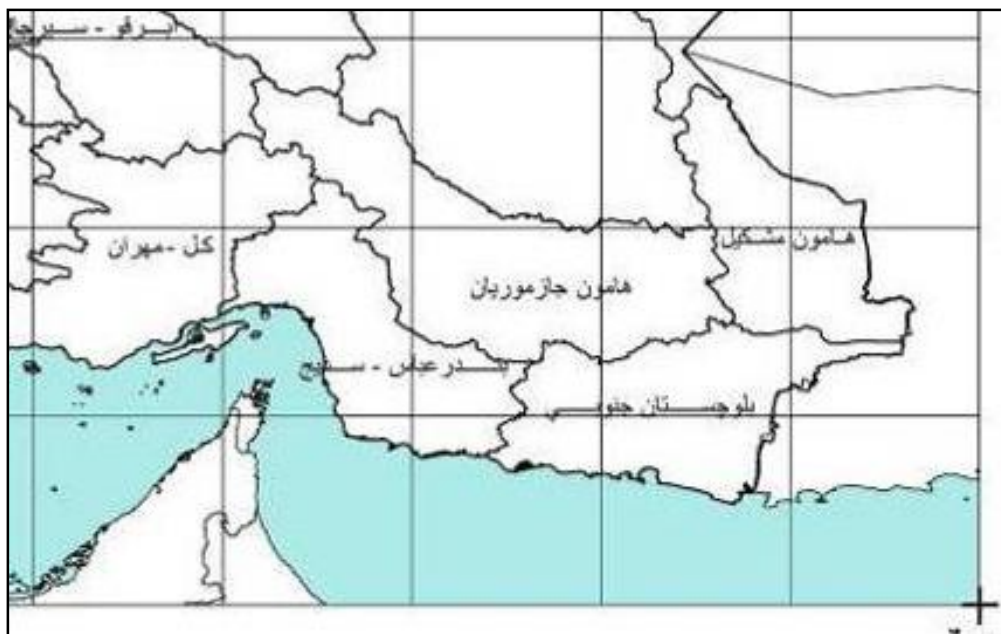
شکل (۳) تصویری از ماکت آزمایشگاهی شبیه سازی شده تأسیسات آب شیرین کن الکتروکوگولانانس



جدول (۱): قدرت بهبود پارامترهای کیفیت آب توسط روش تصفیه الکتروکوگولانانس

ردیف	آزمون	واحد	فاضلاب خام	آب تصفیه شده	بهبود کیفیت
1	اسیدیته pH	-	6.5	6.7	-
2	هدایت الکتریکی EC	μ mho/cm	1940	770	60%
3	کل جامدات محلول TDS	mg/l	1358	539	60%
4	کل مواد جامد معلق TSS	mg/l	181	25	86%
5	کل چربی Total Oil	mg/l	54	7	87%
6	اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی BOD	mg/l	203	9	96%
7	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی COD	mg/l	450	20	96%
8	کل مواد شوینده Total Detergents	mg/l	0.3	0.1	67%

شکل (۴) موقعیت منطقه مکران (حوضه های بلوچستان جنوبی و جازموریان)



آبی، ماهی هایی از نوع کپور نقره ای فیتوفاگ (Hypophthalmichthys Molitrix) و کپور سرگنده (Hypophthalmichthys Nobilis) به عنوان ماهیان گرمابی و سازگار با اقلیم بلوچستان جنوبی، امکان تغذیه از فیتوپلانکتون ها را پیدا می کنند و در مقابل آب را غنی از مواد معدنی ناشی از فعالیت های حیاتی خود می کنند. آب بر جای مانده ناشی از پرورش کپورماهیان به عنوان یک کود ارگانیک کشاورزی مطرح شده و در حال حاضر در خارج از کشور به ویژه برای کشت انواع صیفی جات و گندم و ذرت استفاده فراوانی دارد.

روش تصفیه معرفی شده علاوه بر آب دریا حتی امکان تصفیه آب های شور و لب شور طبیعی اعم از آب های مناطق کویری و آب چشمه های شور و گوگردی و... و استحصال آب شرب یا کشاورزی را هم دارد. در صورتی که لازم باشد در این روش امکان استحصال آب مناسب برای کشاورزی و استخراج های پرورش ماهی به صورت یک سیستم یکپارچه را هم خواهد داشت که به طور خاص برای احیای هامون جازموریان و پهنه های آبی خشک شمال سواحل مکران در بلوچستان جنوبی این امر پیشنهاد می شود. برای این منظور آب خروجی با مقدار زیادی از فیتوپلانکتون های از قبل تکثیر شده مخلوط می شود. سپس این آب مخلوط شده وارد پهنه های آبی پرورش کپورماهیان (Cyprinidae) می شود. در این پیکره های

۴- نتیجه‌گیری

در شرایط کنونی کشورهای واقع در اقلیم خشک و نیمه خشک خاورمیانه به دنبال برون رفت از بحران کم آبی و بی آبی می باشند بنابراین اکثر کشورها به دنبال احداث تأسیسات آب شیرین کن در مقیاس های مختلف هستند برای مثال می توان به تأسیسات نیروگاه آب شیرین کن راس الخیر (Ras Al Khair) عربستان سعودی با ظرفیت ۷۲۸ مترمکعب در روز و هزینه ۷,۲ میلیارد دلار، نیروگاه فجیره (Fujairah) امارات متحده عربی با ظرفیت ۱۳۵ هزارمترمکعب در روز و هزینه ۲۰۰ میلیون دلار، نیروگاه دوره البحرين (Durrat Al Bahrain) بحرین با ظرفیت ۱۰۰۰ مترمکعب در روز و هزینه ۳۰ میلیون دلار و نیروگاه سورک (Sorek) اسرائیل با ظرفیت ۶۲۴ هزارمترمکعب در روز و هزینه ۴۰۰ میلیون دلار اشاره کرد. این موارد از جدیدترین و پیشرفته ترین تأسیسات آب شیرین کن خاورمیانه به شمار می روند. برای مثال نیروگاه آب شیرین کن هسته ای سورک (Sorek) اسرائیل با وسعت حدود ۱۰ هکتار و با تکنولوژی قدیمی اسمز معکوس (RO) در ۱۵ کیلومتری جنوب تل‌آویو که در سال ۲۰۱۳ عملیاتی شد ظرفیت شیرین‌سازی ۶۲۴ هزار متر مکعب آب در روز را که معادل با حدود ۲۳۰ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد.

این در حالی است که روش معرفی شده الکتروکولوگوالانس در این تحقیق در زمینه استحصال آب شیرین و قابل شرب (Desalination)، قابلیت رقابت با جدیدترین متدهای روز را دارد. روش های سنتی از فناوری اسمز معکوس استفاده می کنند و با فرایندهای غشایی نیمه تراوا و فشار، نمک را از آب جدا می‌کنند. اکثریت واحدهای موجود و برنامه ریزی شده واحدهای شیرین سازی آب دریا، هم با سوخت‌های فسیلی ویا انرژی هسته‌ایبه عنوان منبع انرژی کار می‌کنند که اکثر آنها هم در خاور میانه و شمال آفریقا هستند، که از منابع نفت خود برای جبران محدودیت منابع آبی استفاده می‌کنند. باید توجه داشت که در همه موارد آب شیرین کن مورد بهره برداری در خاورمیانه و حتی در دنیا که با تکنولوژی اسمز معکوس فعالیت می کنند، مشکل غلظت بسیار بالای شوری پساب خروجی ناشی از نمک زدایی هنوز به عنوان یک معضل زیست محیطی عمده به شمار می رود و زندگی آبزیان دریایی را به مخاطره می اندازد. در مقابل روش الکتروکولوگوالانس این توان را دارد که تأسیسات آب شیرین کن را در فضای محدودتر با هزینه بسیار پایین تری در مقیاس ملی تولید کند. برای یک آمار مقایسه ای می توان گفت که احداث و ترکیب حداقل ۲۵ واحد از تأسیسات آب شیرین کن با توان ۲۵۰ لیتر در ثانیه به روش الکتروکولوگوالانس با زمین موردنیاز معادل یک دهم نیروگاه سورک و هزینه ای معادل نصف هزینه های نیروگاه سورک امکان رقابت اقتصادی در سطح ملی و خاورمیانه خواهد داشت. از همه مهمتر اینکه این روش در فرآیند

نمک زدایی آب شیرین خود هیچ پساب شوری را وارد محیط دریایی نکرده و بنابراین هیچ معضل زیست محیطی هم نخواهد داشت که این امر یک امتیاز اکولوژیک در سطح بین المللی خواهد بود.

۵- منابع

دوربین، فرشته. شهیدی، علی (۱۳۹۵). مقایسه روشهای اسمز معکوس و الکترودیالیز در تصفیه آب، کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، تهران، بهمن ۱۳۹۵، دانشگاه تهران.
عربی، فهیمه (۱۳۹۴). بررسی استفاده از انرژی خورشیدی در آب شیرین کن، پتانسیل‌ها و موانع. اولین همایش ملی بحران آب و مدیریت آن در مناطق خشک ایران. بهمن ۱۳۹۴، دانشگاه یزد.
فلاح، ناصر (۱۳۷۸). معرفی روش ترکیبی یون زدائی الکتریکی (Electrodeionization) و کاربرد آن در تصفیه آب نیروگاهی، چهاردهمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، فروردین ۱۳۷۸، پژوهشگاه نیرو.
منصورى دانشور، محمدرضا (۱۳۹۵). گزارش توجیهی پروژه ساخت دستگاه اکولوژیک تصفیه آب و فاضلاب با روش الکتروکولوگوالانس (آناهیتا). شرکت آکام نگاران پایا. مشهد، ۱۷۴صص.
میرزاخانی، مجتبی (۱۳۹۱). فرآیندهای شیرین سازی آب، کارگاه بین المللی و همایش تخصصی نمک زدایی آبهای شور، لب شور و تصفیه پساب. سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایر، تهران، تیر ۱۳۹۱، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور).

- El-Ghonemy MK (2012). Water desalination systems powered by renewable energy sources: review. *Renew Sustain Energy Rev*, 16(3):1537–56.
- Gohari A, Eslamian S, Mirchi A, Abedi-Koupaei J, Bavani AM, Madani K (2013). Water transfer as solution to water shortage: a fix that can backfire. *J Hydrol*, 491:23–39.
- Gorjian S, Ghobadian B, Tavakkoli Hashjin T, Banakar A (2014). Experimental performance evaluation of a stand-alone point-focus parabolic solar still Desalination, 352(3):1–17.
- Kalogirou S (1997). Survey of solar desalination systems and system selection soteris. *Energy*, 22(1):69–81.
- Parveen K, et al. (2016). A novel method for synthesis of functionalized hybrids and their application for wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment* 57: 1–10.
- Sevda S, et al. (2013). High strength wastewater treatment accompanied by power generation

using air cathode microbial fuel cell. *Applied Energy* 105: 194–206.

Zhang B, et al. (2009). A novel UASB–MFC–BAF integrated system for high strength molasses wastewater treatment and bioelectricity generation. *Bioresource Technology* 100: 5687–5693.

<http://www.water-technology.net/projects/sorek-desalination-plant>