



سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



بررسی امکان‌سنجی استفاده از فرآیندهای الکتروشیمیایی در بی‌خطر سازی آب توازن کشتی‌ها

مهسا جهانبخش^{۱*}

تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۱۱

*نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۸

© نشریه صنعت حمل‌ونقل دریایی ۱۳۹۶، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه صنعت حمل‌ونقل دریایی است.

چکیده

آب توازن به آب شیرین یا شوری گفته می‌شود که به همراه مواد معلق در تانک‌های توازن و انبار کالای کشتی‌ها نگه داشته می‌شود. این آب برای حفظ ثبات کشتی و قابلیت مانور آن در طول سفر هنگامی که کالا حمل نمی‌کند، یا کالاها به اندازه کافی سنگین‌اند و یا وقتی که به خاطر دریای متلاطم به ثبات بیشتری نیاز است، استفاده می‌شود. آب توازن در بندر تحویل کالا به درون تانک‌های توازن پمپ می‌شود و در بندر بعدی که کشتی اقدام به بارگیری بیشتری می‌کند تخلیه می‌شود. بنابراین با توجه به طی این مراحل، آب توازن کشتی مخلوطی از آب بنادر مختلف است. آب تخلیه‌شده از مخازن آب توازن معمولاً حاوی ترکیبات و ارگانسیم‌های متنوعی از جمله گیاهان، جانوران، ویروس‌ها و باکتری‌ها می‌باشد و می‌تواند موجب انتقال بسیاری از آبریزان و پاتوژن‌های وابسته به آنها شود. در دهه اخیر کاربرد فناوری انعقاد شیمیایی در حذف آلاینده‌های مختلف کدورت، سختی، آرسنیک از آب بررسی شده است. انعقاد الکتریکی به دلیل استفاده از جریان الکتریسیته بازده زیادی در حذف مواد آلی دارد و جایگزین مناسبی برای روش‌های شیمیایی گرانبه‌ای می‌باشد. در فرآیند انعقاد الکتریکی، الکترودها تحت تأثیر میدان الکتریکی قوی و واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء قرار می‌گیرند و با تولید مواد منعقدکننده در محل بر اساس اصول جذب، خنثی‌سازی بار الکتریکی و ایجاد کمپلکس، زمینه حذف آلاینده‌های موردنظر از محیط آبی را فراهم می‌نماید. با تزریق مستقیم هیدروژن پراکسید به محیط تحت فرآیند انعقاد الکتریکی که یون‌های آهن موجودند، می‌توان فرآیند فنتون را در نمونه‌های آبی ایجاد کرد. فرآیند فنتون از ترکیب دو ماده پراکسید هیدروژن و یون‌های آهن حاصل می‌شود که در این فرآیند اشکال آهن یونیزه به عنوان کاتالیست با ماده پراکسید هیدروژن وارد واکنش می‌شود و موجب افزایش تولید و سرعت تشکیل رادیکال هیدروکسیل می‌گردد. در نتیجه می‌توان انتظار داشت که سیستم‌های الکتروشیمیایی با توجه به این نکته که آب دریا از EC قابل‌توجهی برخوردار است، بتواند آلودگی‌های از جنس مواد آلی را در بی‌خطر سازی آب توازن کشتی‌ها، با عملکردی مؤثر و هزینه‌ای مقرون به صرفه نسبت به سایر سیستم‌های تصفیه انجام دهد.

واژه‌های کلیدی: آب توازن کشتی‌ها، فرآیند الکتروشیمیایی، بی‌خطر سازی، انعقاد الکتریکی، دریا.

۱- مقدمه

آلودگی آب‌ها همواره موجب نگرانی دولت‌ها و مردم بوده است. برای مبارزه با آن لازم است دولت‌ها در سطح ملی و بین‌المللی اقدام و مشارکت کنند. تخریب سیستم‌های دریایی و آب‌های سطحی موجب بروز صدمات غیرقابل جبرانی به محیط زیست شده است. امروزه به دلیل استفاده زیاد از دریا و تنوع و سرعت تخلیه مواد آلاینده به دریا، توان خودپالایی اکوسیستم‌های دریایی کاهش یافته است و به سختی می‌تواند اثرات ناشی از ورود چنین موادی را خنثی کنند. آب‌های جاری و صنایعی که در کنار ساحل ایجاد شده‌اند موجب آلودگی بخش عظیمی از دریا می‌شوند. بخشی از آلودگی اکوسیستم دریایی ناشی از حفاری بستر، حمل و نقل دریایی (کشتیرانی)، نشت طبیعی نفت، ریزش‌های آسمانی، تماس مستقیم سطح آب با هوای اطراف و ریزش عمدی مواد به دریا می‌باشد. این آلودگی می‌تواند ناشی از فعالیت کشتی‌ها، سکوها، تأسیسات دریایی و فراساحلی و غیر آن باشد.

برای حفظ تعادل، جلوگیری از فشار آب به ساختار کشتی و فرو رفتن کشتی تا سطح مناسب در آب دریا از وزنه تعادل (ballast) یا وزنه تعادل در کشتی‌های باربری و مسافربری استفاده می‌شود. در گذشته از وزنه‌های جامدی مانند قطعات سنگ، ماسه و یا فلز استفاده می‌شد، اما در قرن اخیر این وزنه‌ها جای خود را به آب داده‌اند، زیرا مقرون به صرفه‌تر و تخلیه و بارگیری آن ساده‌تر است.

آب توازن چیست؟ آب توازن به آب شیرین یا شور گفته می‌شود که به همراه مواد معلق در تانک‌های توازن و انبار کالای کشتی‌ها نگه داشته می‌شود. این آب برای حفظ ثبات کشتی و قابلیت مانور آن در طول سفر هنگامی که کالا حمل نمی‌کند، یا کالاها به اندازه کافی سنگین‌اند و یا وقتی که به خاطر دریای متلاطم به ثبات بیشتری نیاز است، استفاده می‌شود. آب توازن در بندر تحویل کالا به درون تانک‌های توازن پمپ می‌شود و سپس در بندر بعدی که کشتی اقدام به بارگیری بیشتر می‌کند، تخلیه می‌شود. بنابراین، با توجه به طی این مراحل، آب توازن کشتی مخلوطی از آب بنادر مختلف است. آب تخلیه‌شده از مخازن آب توازن معمولاً حاوی ترکیبات و ارگانسیم‌های متنوعی از جمله گیاهان، جانوران، ویروس‌ها و باکتری‌ها می‌باشد و می‌تواند موجب انتقال بسیاری از جمعیت‌های آبی و پاتوژن‌های وابسته به آنها شود.

۱-۱- بیان مسئله

آب توازنی که توسط کشتی‌ها بین بنادر مختلف جابجا می‌شود حاوی ترکیبات و ارگانسیم‌های مختلفی است که هنگام تخلیه در بندر می‌تواند

موجب آلودگی آب آن بندر شود و باعث اثرات مخرب زیست‌محیطی گردد. این پژوهش در صدد آن است تا نشان دهد که چگونه می‌توان با استفاده از فرایندهای الکتروشیمیایی، شامل انعقاد شیمیایی و انعقاد الکتریکی، نسبت به بی‌خطرسازی آب توازن کشتی‌ها اقدام کرد.

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

شکل دیگری از آلودگی دریا که به سادگی نمی‌توان آن را در ردیف انواع دیگر آلودگی‌ها طبقه‌بندی کرد، تغییر در ساختار ژنی اکوسیستم‌های آبی از طریق انتقال عمدی یا غیرعمدی گونه‌های غیربومی موجودات زنده به اکوسیستم‌های دریایی می‌باشد. این امر موجب شده است تا بسیاری از گونه‌های آبی به مناطق خارج از زیستگاه اصلی خود انتشار یابند و تهدید جدی برای گونه‌های بومی محسوب شوند. هر سال، حدود ۴ میلیارد تن آب توازن توسط کشتی‌ها جابه‌جا می‌شود و تخمین زده شده است که حداقل روزانه ۳ تا ۴ هزار گونه از موجودات زنده به این طریق از محلی به محل دیگر انتقال می‌یابند. معضل دیگر رسوبات کف مخازن آب توازن می‌باشند که تبدیل به محلی برای ادامه حیات آبزیان می‌شوند. رسوبات موادی‌اند که همراه با آب توازن می‌باشند و در کشتی ته‌نشین شده‌اند. هنگامی که کشتی آب توازن برداشت می‌کند به همراه آن مواد موجود در آب نیز برداشت می‌شوند. در آب‌های کدر و کم‌عمق این مواد شامل مواد جامدی‌اند که پس از ورود به مخازن آب توازن در کشتی در کف آن به صورت رسوب ته‌نشین و ماوایی امن برای آبزیان می‌شوند و آن مخازن هنگام تخلیه، معبری برای انتقال آنان محسوب می‌گردند.

در حال حاضر نمی‌شود گفت کدام موجودات زنده در طول یک سفر طولانی در یک تانک توازن خواهند مرد یا چرا بعضی از آنها وقتی که آب توازن تخلیه می‌شود هنوز زنده‌اند. موجودات بزرگ‌تر معمولاً به علت تغذیه از موجودات کوچک‌تر زنده می‌مانند بعضی از گونه‌های میکروسکوپی و پلانکتون‌ها هنگامی که با شرایط نامساعد مواجه می‌شوند اقدام به ایجاد هاگ یا دیگر پوشش‌های خارجی محکم برای محافظت می‌کنند. مثلاً هاگ (spore)، به عنوان یک موجود زنده ممکن است برای مدت طولانی بدون غذا و در شرایط و دمای متفاوت از محیط طبیعی خود، زنده باقی بماند و هنگامی که شرایط مساعد شد، مانند زمانی که آب توازن در یک بندر دیگر تخلیه می‌شود دوباره به وضعیت فعال خود باز گردد. این موجودات ممکن است اجتماعات دائمی یا نسبتاً دائمی را در لایه‌ای از آب و رسوبات که اغلب در آب توازن وجود دارد، به وجود آورند. این شیوه منجر به رهاسازی گونه‌های غیربومی در بنادر مختلف می‌شود.

۱-۳- پیشینه پژوهش

بیولوژیکی و استفاده از ارگانسیم‌ها یا استفاده متناوب از آنها و یا هر تغییر در صفات مشخصه فیزیکی و شیمیایی آب توازن بود. کشور ایران به دلیل داشتن مرزهای گسترده دریایی در شمال و جنوب در معرض خسارات زیست‌محیطی و اقتصادی ناشی از تردد کشتی‌ها و انتقال آب توازن آنها قرار دارد. این موضوع، انتخاب جزیره خارک در ایران را به عنوان یکی از ۶ ایستگاه جهانی تحقیق و پژوهش دقیق در مورد میزان آلودگی‌های ناشی از آب توازن کشتی‌هاف بیش‌ازپیش روشن‌تر می‌سازد. با تصویب قانون در مجلس شورای اسلامی، ایران نیز به کنوانسیون بین‌المللی جلوگیری از آلودگی ناشی از کشتی‌ها پیوست و از تاریخ ۱۳۸۱/۱۱/۳ این کنوانسیون در ایران لازم‌الاجرا شد.

۲- روش تحقیق

این پژوهش با استفاده از فرایند آزمایشگاهی الکتروفنتون با الکترودهن و تزریق مستقیم هیدروژن پراکسید و همچنین با استفاده از فرایند الکتروفنتون با الکترودهای BDD و نیکل در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده است. به‌علاوه، از روش کتابخانه‌ای یعنی مطالعه پژوهش‌های پیشین در مورد استفاده از سپتیک تانک و فنتون نیز استفاده شده است.

۳- تجزیه و تحلیل داده‌ها

امروزه به سه روش مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی می‌توان آب توازن را فرآوری کرد. در جدول (۱) انواع روش‌های فیزیکی و شیمیایی در تصفیه آب توازن کشتی‌ها باهم مقایسه و به نمایش گذاشته شده است. پردازش آب توازن با سیستم‌های مکانیکی نظیر فیلتراسیون، جداسازی، سرریز، رقیق‌سازی، رسوب‌دهی، شناورسازی و تعویض آب مستلزم آن است که تمام آب توازن از یک سری فیلتر، هیدرو سایکلون‌ها یا سایر جداکننده‌ها عبور کند. برای کاربردهایی با حجم بالا، اندازه تجهیزات می‌تواند مشکل‌ساز باشد. اگر از این سیستم‌ها در هنگام تخلیه استفاده شود، مواد جامد باید بر روی کشتی نگهداری شوند. در این روش رسوبات زیاد می‌تواند برای فیلترها مشکل‌ساز باشد. از نمونه‌های این سیستم‌ها، روش پرتوافکنی فرابنفش و خلاء‌زایی است که نیاز به پردازش کلیه جریان آب توازن دارد، اما به زمان نگهداری نیاز ندارد زیرا پردازش با عبور یکباره آب از تجهیزات کامل می‌شود. پرتودهی فرابنفش معمولاً در هر دو زمان پذیرش و تخلیه انجام داده می‌شود. اثربخشی آن در آب‌های کدر و تیره که نفوذ نور را محدود می‌کند کاهش پیدا می‌کند. پردازش آب

محمدی و همکاران (۱۳۹۲)، طی پژوهشی که در مورد مقایسه کارایی فرایندهای الکتروکوآگولاسیون و الکتروفنتون با الکترودهن در حذف نیترات از محلول‌های آبی انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که فرایندهای الکتروکوآگولاسیون و الکتروفنتون قادر به حذف مقادیر بالای نیترات از محلول‌های آبی می‌باشند. البته فرایند الکتروفنتون کارایی بالاتری در حذف نیترات در زمان تماس کمتر دارد.

ابولی و همکاران (۱۳۹۲)، در یک مطالعه به بررسی بهینه‌سازی تصفیه پساب بیمارستانی با استفاده از فرایند فنتون پرداختند. موضوع این مطالعه تعیین اثربخشی فرایند بیولوژیکی و فرایند شیمیایی (فنتون) برای حذف مواد آلی و میکروبی‌های پاتوژن از پساب بیمارستانی بود. ایشان نتیجه گرفتند که فرایند سپتیک تانک و فنتون به عنوان یک روش موثر در کاهش BOD5 و COD و حذف باکتری‌ها در میان سایر روش‌ها ارجحیت دارد. مواد شیمیایی معمولاً پس از چندین ساعت کشنده خواهند بود لذا نیازی به نگهداری طولانی‌مدت نمی‌باشد. با این وجود مواد شیمیایی باید پیش از تخلیه خنثی و یا از نظر بیولوژیکی غیرموثر شوند تا بتوان به طور ایمن آن را تخلیه کرد.

سازمان بین‌المللی دریانوردی (IMO) از سال ۱۹۷۳، فعالیت خود را از طریق کشورهای عضو در ارتباط با تدوین کنوانسیون‌ها به منظور پرداختن به مسائل آلودگی موضوع آب توازن بنام کنوانسیون مارپول آغاز کرد. کنوانسیون مارپول، مشکل آلودگی دریا توسط کشتی‌ها را مطرح، و ضوابط و مقررات خاصی را برای حمل‌ونقل دریایی و جلوگیری از آلودگی دریاهای ارائه و تدوین کرده است. سازمان بین‌المللی دریانوردی خط‌مشی کاربردی خود را توسط کمیته حفظ محیط‌زیست دریایی در مقیاس جهانی صادر کرده و در این دستورالعمل درباره دریافت، تعویض و تخلیه آب توازن کشتی‌ها اطلاعات لازم را ارائه کرده است و تحت عنوان سند شماره A 18 (774) توسط سازمان بین‌المللی دریانوردی در سال ۱۹۹۲ پذیرفته شده است. در سال ۱۹۹۷ برای اعضای سازمان بین‌المللی دریانوردی، به‌علت محدودیت‌های موجود در دستورالعمل‌ها (عمدتاً مربوط به اختیاری بودن آنها) روشن شد که باید درخصوص یک رژیم اجباری بین‌المللی کار شود. بر این اساس تدوین پیش‌نویس کنوانسیون کنترل و مدیریت آب توازن کشتی‌ها و رسوبات در ۱۳ فوریه ۲۰۰۴ در کنفرانس جهانی سازمان بین‌المللی دریانوردی مطرح و به تصویب رسید، که شامل سیستم‌های قابل‌استفاده شیمیایی و بیولوژیکی و مکانیزم‌هایی نظیر استفاده

جدول (۱): مقایسه روش‌های فیزیکی و شیمیایی در بی‌خطر سازی آب توازن کشتی‌ها

روش پردازش	طریقه انجام	زمان به کار بردن	زمان کشته بودن	پتانسیل خوردگی
تولید کلرین	استفاده از مایع الکترولیت برای تولید کلر و برم که به عنوان آفت کش عمل می‌کند. سپس سولفات سدیم آب توازن را پیش از تخلیه خنثی می‌کند. مادامی که کلر آزاد در تانک موجود است، آفت کش فعال خواهد بود، لذا مقدار آن را می‌توان برای فعال بودن مستمر آفت کش تنظیم کرد.	زمان مکش آب از دریا و خنثی سازی در هنگام تخلیه	ساعت‌ها	مقادیر بالای آن، خوردگی استیلی را افزایش می‌دهد
کاربرد مواد شیمیایی	ترکیب مواد شیمیایی با آب توازن در مقادیر مشخص در حال بارگیری آب برای کشتن ارگانیزم‌ها. مواد شیمیایی را به تدریج با زمان کاهش و آب توازن می‌توان بدون مشکل تخلیه کرد.	زمان مکش آب دریا از طریق اداکتور	۲۳ ساعت	مقادیر بالای آن، خوردگی استیلی را افزایش می‌دهد
فیلتر کردن و پرتوافکنی	فیلتر کردن آب ورودی، به وسیله فیلترهای اتوماتیک ۵۰ میکرون، به موازات تخلیه موادی که در فیلتر مانده در محل گرفتن آب. آب توازن در معرض نوعی پرتو قرار داده می‌شود، به طور مثال انرژی فرابنفش یا رادیکال هیدروکسیل برای از بین بردن ارگانیزم‌های کوچک تر و باکتری‌ها. ترکیب گاز خنثای تولید شده بر روی کشتی با آب توازن، به وسیله هر کدام از روش‌های اداکتور و نچوری یا حباب سازی توسط لوله‌های موجود در تانک. این عمل، اکسیژن موجود در تانک را از بین برده و pH را کاهش می‌دهد، در نتیجه ارگانیزم‌های زنده را می‌کشد. این نوع پردازش نیازمند آن است که اتمسفر موجود در تانک در حالت خنثی نگه داشته شود.	زمان مکش آب دریا برای فیلتر و فرابنفش و در هنگام تخلیه برای فرابنفش	در زمان پردازش	بدون تاثیر
اکسیژن زدایی	اوزن بر روی کشتی تولید شده و به عنوان یک آفت کش مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماده در هنگام پمپاژ آب توازن از طریق یک اداکتور، در زمان مکش آب دریا و یا در زمان تخلیه آن به کار برده می‌شود. این روش را می‌توان به همراه فیلتر کردن و یا سایر روش‌ها به کار برد.	زمان مکش آب دریا برای بعضی از سیستم‌ها و در تانک برای برخی دیگر	۴ تا ۶ روز	نسبتا خوردگی کمتر
تولید اوزن	اوزن بر روی کشتی تولید شده و به عنوان یک آفت کش مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماده در هنگام پمپاژ آب توازن از طریق یک اداکتور، در زمان مکش آب دریا و یا در زمان تخلیه آن به کار برده می‌شود. این روش را می‌توان به همراه فیلتر کردن و یا سایر روش‌ها به کار برد.	زمان مکش آب دریا برای بعضی از سیستم‌ها و در هنگام تخلیه برای برخی دیگر	تا ۱۵ ساعت	تاثیر محدود زیرا اوزن عمر کوتاهی دارد. اگر در هنگام تخلیه مورد استفاده قرار گیرد اثری ندارد.

توازن با کمک روش‌های شیمیایی از طریق اضافه نمودن مقدار معینی ماده شیمیایی به آب توازن در هنگام مکش از دریا و یا مستقیماً در تانک‌ها صورت می‌پذیرد. میزان ماده شیمیایی استفاده شده باید به دقت تعیین شود تا نرخ مورد نظر از بین بردن ارگانیزم‌ها به دست آید. مواد شیمیایی معمولاً پس از چندین ساعت کشته خواهند بود لذا نیاز به نگهداری طولانی مدت نمی‌باشد. با این وجود مواد شیمیایی باید پیش از تخلیه خنثی شود و یا از نظر بیولوژیکی غیر موثر گردد تا بتوان به طور ایمن آن را تخلیه کرد.

تا به حال از روش‌های مختلفی چون لجن فعال، بیوفیلتر، فنتون، $O_3/UV, O_3/H_2O_2$ و الکتروکواگولاسیون برای بی‌خطر سازی پساب استفاده شده است. در دهه اخیر کاربرد فناوری انعقاد شیمیایی در حذف آلاینده‌های مختلف از قبیل کدورت، سختی و آرسنیک از آب بررسی شده است. انعقاد الکتریکی به دلیل استفاده از جریان الکتریسیته بازده زیادی در حذف مواد آلی دارد و جایگزین مناسبی برای روش‌های شیمیایی گرانبه می‌باشد. در فرآیند انعقاد الکتریکی، الکترودها تحت تأثیر میدان الکتریکی قوی و واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء قرار می‌گیرد و با تولید مواد منعقدکننده در محل بر اساس اصول جذب، خنثی سازی بار الکتریکی و ایجاد کمپلکس، زمینه حذف آلاینده‌های مورد نظر از محیط آبی را فراهم می‌کند. با تزریق مستقیم هیدروژن پراکسید به محیط تحت فرآیند انعقاد الکتریکی که یون‌های آهن موجودند، می‌توان فرآیند فنتون را در نمونه‌های آبی ایجاد کرد. فرآیند فنتون از ترکیب دو ماده پراکسید هیدروژن و یون‌های آهن حاصل می‌شود که در این فرآیند اشکال آهن

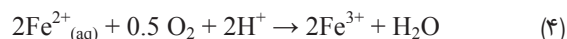
یونیزه به عنوان کاتالیست با ماده پراکسید هیدروژن وارد واکنش می‌شود و موجب افزایش تولید و سرعت تشکیل رادیکال، هیدروکسیل می‌گردد.

الکتروفون فرآیندی است که در آن از دو الکترود صفحه‌ای آهنی در مواجهه با پراکسید هیدروژن استفاده می‌شود که به وسیله سیم‌های رابط به دستگاهی دیجیتالی همسوکنده جریان برق (DC Supply Power) متصل می‌باشند. البته منظور این نیست که فقط و فقط از الکترود آهن در این فرآیند استفاده می‌شود. بلکه با توجه به مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان از الکترودهایی نظیر الماس دوپ شده با بور (BDD)، آلایژ نیکل، تیتانیوم، روبیدیوم و غیر آن استفاده کرد که مستقیماً رادیکال دلخواه ما را بدون دخالت مستقیم H_2O_2 تولید کند. همچنین شدت جریان و میزان ولتاژ عامل تعیین کننده‌ای در انتخاب این فرآیند می‌باشد. در این فرآیند معمولاً برای بهبود خاصیت یونی و ایجاد هدایت الکتریکی پساب هیدروکسید سدیم به عنوان الکترولیت استفاده می‌شود. همچنین تنظیم pH در این فرآیند از ملزومات کارایی بهتر آن می‌باشد.

در شکل (۲) اعداد درج شده به ترتیب: (۱) فوم نیکل شرکت کننده به عنوان کاتد، (۲) الکتروود BDD شرکت کننده به عنوان آند، (۳) منبع تغذیه، (۴) تامین هوا، (۵) همزن مغناطیسی، (۶) پمپ پرستالتیک دوسر، (۷) جریان ورودی و (۸) جریان خروجی را نشان می‌دهد.

پارامترهای مهم و تاثیرگذار در انجام فرآیند الکتروفون عبارت از میزان غلظت آلاینده، pH، زمان تماس، شدت جریان، فاصله بین الکترودها، میزان ولتاژ، و غلظت هیدروژن پراکسید می‌باشند. غلظت آلاینده

با توجه به معادله ۴ حضور اکسیژن باعث اکسیداسیون Fe^{2+} محلول در آب به Fe^{3+} می‌شود.



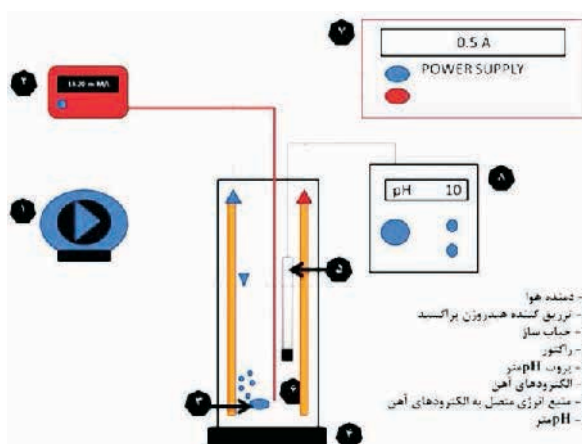
در فرآیند فتون تولید یون هیدروکسید (OH^-) بستگی به حضور یون‌های هیدروژن (H_2^+) دارد. لذا فرآیند الکتروفنتون مطابق معادله (۵) در شرایط اسیدی به دلیل تشکیل یون فرو و قدرت اکسیدکنندگی رادیکال هیدروکسیل میزان حذف بیشتری خواهد داشت.



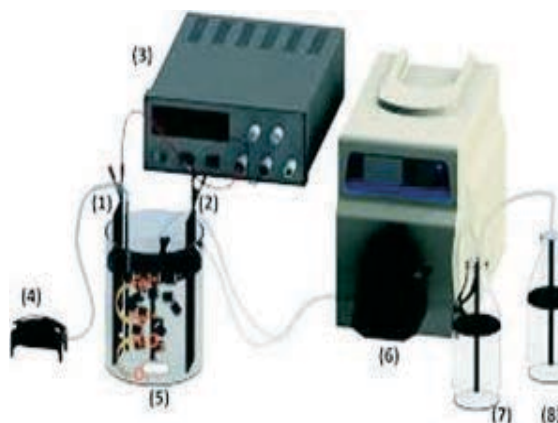
زمان واکنش یکی از عوامل تأثیرگذار در انجام فرایندهای اکسیداسیون است. رابطه حذف مواد آلی با زمان به واکنش بین منعقدکننده و آلاینده مرتبط می‌باشد، به طوری که افزایش زمان باعث افزایش مقدار آهن اکسید شده و تشکیل رسوبات و لخته‌های هیدروکسید آهن $Fe(OH)_3$ در فرآیند الکتروشیمیایی جهت حذف آلاینده می‌شود. از طرفی با توجه به قانون فارادی، رابطه مستقیم بین میزان انعقاد تشکیل شده و زمان واکنش وجود دارد و با افزایش زمان، میزان انعقاد در دسترس بیشتر می‌شود و در نتیجه منجر به افزایش راندمان می‌گردد.

جریان اعمال شده به سلول الکتریکی یکی دیگر از عوامل اساسی در بهره‌برداری از فرآیند الکتروشیمیایی می‌باشد. افزایش شدت جریان، باعث افزایش دانسیته حباب‌های تشکیل شده و کاهش اندازه آنها می‌شود. همچنین این افزایش دانسیته باعث تشکیل رسوبات و لخته‌های هیدروکسید آهن $Fe(OH)_3$ در فرآیند می‌شود. افزایش مقدار این دو ماده با افزایش کارایی فرآیند الکتروشیمیایی تأثیر مستقیم دارد. این عامل از طریق تأثیر بر واکنش‌های سطح الکتروتود و میزان یون‌هایی که از سطح الکتروتود آزاد می‌شود بر سرعت واکنش‌های الکتروشیمیایی اثر می‌گذارد. بنابراین تعیین جریان بهینه در فرایندهای الکتریکی امری ضروری است. با افزایش جریان اعمال شده بر فرآیند، بازده حذف مواد آلی افزایش می‌یابد که علت افزایش بازده را می‌توان به دلیل تأثیر واکنش‌هایی که ضمن انجام فرآیند در کاتد و آند به وقوع می‌پیوندد، دانست. افزایش فاصله بین الکتروتودها در جریان ثابت، ولتاژ اولیه را در میزان دانسیته یکسان به دلیل افزایش مقاومت بین الکتروتودها افزایش می‌دهد. در نتیجه رسانایی محلول کم می‌شود و میزان جریان مصرفی کاهش می‌یابد که این کاهش جریان سبب عدم تولید یون‌های آهن و هیدروکسیل به مقدار کافی برای تشکیل لخته و حذف آلاینده می‌باشد. همچنین، با افزایش فاصله بین الکتروتودها انتظار می‌رود از یک طرف، برخورد کمتری بین یون‌های آهن تولیدی با

یکی از پارامترهای مهم در فرآیند الکتروفنتون است و در غالب مطالعات مربوط به اکسیداسیون ترکیبات آلی افزایش غلظت آلاینده مور مطالعه با کاهش کارایی فرآیند همراه بوده است. با افزایش غلظت اولیه آلاینده با توجه به ثابت بودن درجه اسیدی در تمام نمونه‌ها سرعت تجزیه در نمونه با غلظت کم، زیاد می‌شود و زمان مورد نیاز برای واکنش بین منعقدکننده و آلاینده بیشتر می‌شود و باعث افزایش کارایی حذف می‌گردد.

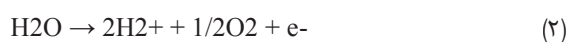


شکل (۱): فرآیند آزمایشگاهی الکتروفنتون با الکتروتود آهن و تزریق مستقیم هیدروژن پراکسید



شکل (۲): فرآیند آزمایشگاهی الکتروفنتون با الکتروتودهای BDD و نیکل در یک فرآیند پیوسته

pH یک عامل موثر در واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی است. تأثیر pH اولیه محیط، بسته به نوع فرآیند مورد استفاده و نوع آلاینده بسیار متفاوت است. در روش انعقاد الکتریکی با افزایش pH واکنش بین آهن و یون هیدروکسید به دلیل مکانیسم‌های اکسیداسیون در آند (۱) و احیاء (۲) و (۳) به وجود می‌آید.



بتوانند برای تصمیم‌های مشترک همکاری کنند و برای مقابله با گونه‌های مهاجم، کارهای جدی بیشتری، در سطوح انفرادی سازمانی، ملی، منطقه‌ای و بین لملی انجام دهند. شناسایی صحیح گونه‌ها در تهیه و تدوین استراتژی مدیریت موفق تهاجم از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد. لازم است در مورد اثرات زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و گونه‌های مهاجم و استفاده از سیستم‌های با تکنولوژی روز دنیا مانند فرآیند الکتروشیمیایی تحقیقات بیشتری صورت پذیرد.

مراجع

۱. امام، رویا و نادری نورعینی، ابراهیم. چالش‌های کنوانسیون مدیریت آب توازن کشتی‌ها، چالش در اجراست یا در خود الزامات.
۲. قوام‌پور، علی. آب توازن کشتی‌ها؛ ماهیت، اثرات و کنترل آنها.
۳. هدایتی، سید علی‌اکبر و باقری، طاهره. (۱۳۹۴)، مخاطرات زیست‌محیطی و مدیریت بحران ناشی از آب توازن کشتی‌ها بر اکوسیستم‌های دریایی. فصلنامه علوم و فناوری دریا، شماره ۷۳
۴. خجسته، علیرضا، زارع‌دوست، مصطفی و رسولی مریم. (۱۳۹۱)، ارائه روش مدیریت آب توازن کشتی در خلیج فارس با استفاده از روش FUZZY TOPSIS دهمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی.
۵. سایت گروه سرمایه‌گذاری توسعه ترابری ایرانیان، www.Ttico.ir.
۶. سایت سازمان بنادر و دریانوری، www.maritimesafety.pmo.ir.
۷. سایت وزارت راه و شهرسازی، www.pmo.ir.
۸. بهار، ساناز. بررسی نقش آب توازن کشتی‌ها در انتقال گونه‌های غیربومی مهاجم و آثار زیست‌محیطی آنها بر تنوع زیستی دریای خزر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. استادان راهنما خانم دکتر فرشچی و آقای برهان ریاضی
9. <http://mrsh65.blogfa.com/>
10. <http://fpcafshar.blogfa.com/>

یون‌های هیدروکسیل صورت پذیرد و لخته‌های کمتری تشکیل شود و از طرف دیگر، برخورد مولکول آلاینده با پلیمرهای هیدروکسیدی کاهش یابد، در نتیجه جذب الکترواستاتیک کاهش می‌یابد و بازده حذف آلاینده کم می‌شود. طبق واکنش فنتون، با افزایش غلظت پراکسید هیدروژن، مقدار رادیکال هیدروکسیل در محیط افزایش می‌یابد و به دنبال آن، میزان تجزیه و بازده حذف آلاینده بیشتر می‌شود و چون پراکسید هیدروژن در غلظت‌های زیاد اثر بازدارندگی در تولید هیدروکسیل دارد، موجب کاهش سرعت و بازده در تخریب مواد آلی می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب مطرح‌شده این نتیجه به دست می‌آید که فرآیند سپتیک تانک و فنتون به‌عنوان یک روش موثر در کاهش BOD_5 و COD و حذف باکتری‌ها در میان سایر روش‌ها ارجحیت دارد. مواد شیمیایی معمولاً پس از چندین ساعت کشنده‌اند لذا نیاز به نگهداری طولانی مدت ندارند. با این وجود، مواد شیمیایی باید پیش از تخلیه خنثی شوند و یا از نظر بیولوژیکی غیرموثر گردند تا بتوان به طور ایمن آن را تخلیه کرد. بنابراین، با توجه به اینکه آب دریا از EC قابل توجهی برخوردار است می‌توان انتظار داشت که در رفع آلودگی‌هایی از جنس مواد آلی برای بی‌خطرسازی آب توازن کشتی‌ها، سیستم‌های الکتروشیمیایی به دلیل عملکرد موثر و هزینه‌مقرون به صرفه، نسبت به سایر سیستم‌های تصفیه مناسب‌تر و بهتر می‌باشند. کشورها باید اطلاعات کافی داشته باشند تا