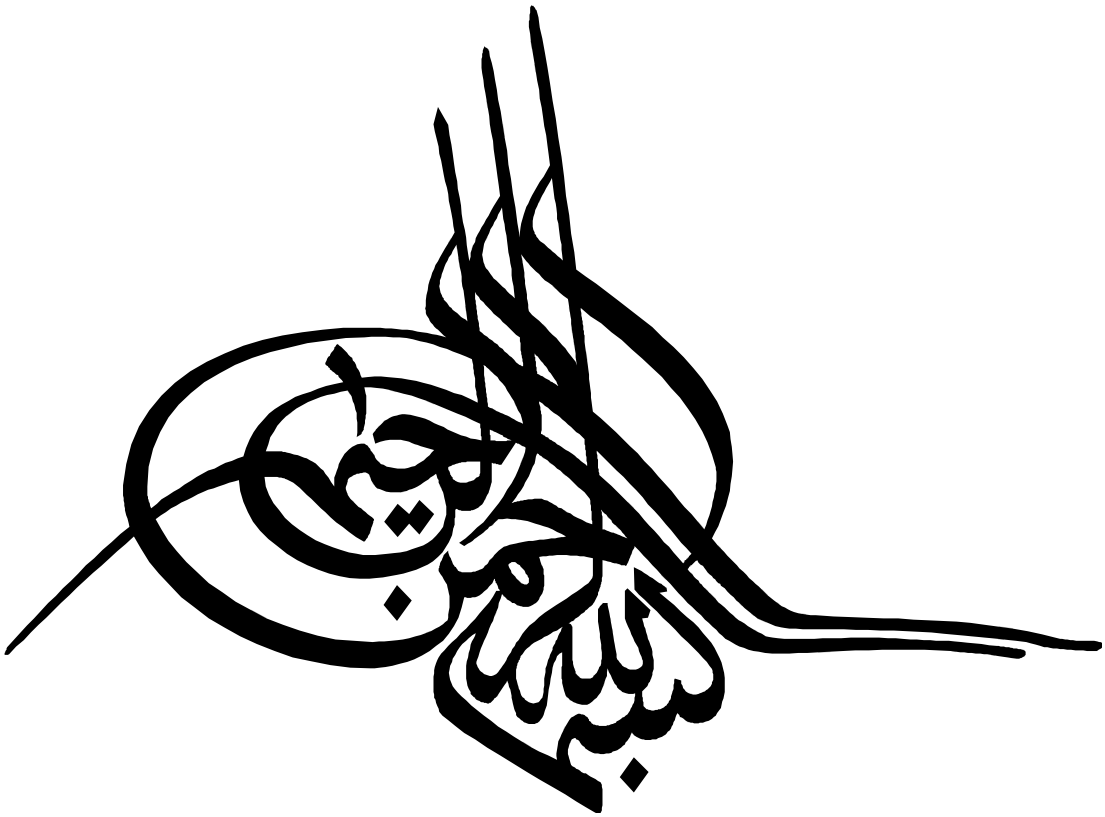
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی علوم آب

شماره پایان نامه: ۹۲۳۱۰۰٤

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی عمران- گرایش مهندسی محیط زیست

عنوان :

حذف کادمیوم از آب آشامیدنی با استفاده از روش اسمز معکوس

استاد راهنما:

دکتر هادی معاضد

استاد مشاور:

دکتر ناهید پوررضا

نگارش:

مهناز ممتازان

مهرماه ۱۳۹۲

تقدیم به او که مرا آفرید

و

تقدیم به اولین معلمان زندگیم و به استادان درس شرافت و انسانیت؛ تقدیم به آنان که آسایششان را به بهای تحقق یافتن آرزوهای من نادیده گرفتند؛ به آنان که لحظه لحظه زندگی پربارشان از عشق و محبت و ایثار است؛ به آنان که با صبوری تمام در لحظات سخت زندگی اجازه دادند به شاخه هایشان تکیه کنم؛

تقدیم به نجیب ترین های زندگیم، قهرمان های رنج :

"پدر و مادرم"

که در شرایط سخت همیشه مراقب و مواظب من بوده اند

سپاس‌نامه
خداوند متعال را شاکرم که با الطاف و عنایات بی‌پایان خویش تحمل سختی‌ها را در مسیر تحقیق برایم آسان ساخت و توفیقم داد تا سرشارترین لحظات زندگیم را در راه تحصیل علم سپری کنم.
در اینجا بر خود لازم می دانم از راهنمایی‌ها و کمک‌های بی‌دریغ عزیزانی که با همدلی و همراهی خود یاری گر این تحقیق بوده اند، صمیمانه تشکر و قدردانی کنیم:
از استاد راهنمای بزرگوار جناب آقای دکتر هادی معاضد، به پاس تمام زحمات و راهنمایی‌های ایشان در طول این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را دارم.
از استاد مشاور گرانقدر سرکار خانم دکتر ناهید پوررضا، که در طول انجام این تحقیق از تجارب علمی ارزشمند ایشان بهره‌مند شدم، صمیمانه تشکر و قدردانی می کنم.
از سرکار خانم دکتر زهرا ایزدپناه و سرکار خانم دکتر منا گلابی که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند، صمیمانه سپاسگزارم.
ازنماینده محترم تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر سید محمود کاشفی پور کمال سپاسگزاری را دارم.
از کارشناس آزمایشگاه تحقیقاتی، سرکار خانم مهندس اعظم بزاز و کارشناس آزمایشگاه کیفیت آب، سرکار خانم مهندس بهارک افتخار سپاسگزارم.
از مدیریت و کارکنان امورآزمایشگاه‌های کیفیت آب و هوای سازمان حفاظت محیط زیست خوزستان و بویژه سرکار خانم مهندس الهام خاکسار، به پاس همکاری بی-دریغشان متشکرم.
از تمامی اساتید و کارکنان دانشکده مهندسی علوم آب در طول تحصیلم در این دانشکده سپاسگزارم.
در پایان این تحقیق از همراهی و همکاری تمامی اعضای خانواده‌ام و دیگر عزیزانی که در طول انجام این پایان‌نامه به هر نحو از لطف و بزرگواریشان بهره‌مند بودم، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم و از خداوند متعال بهروزی و موفقیت روزافزونشان را آرزومندم.

مهناز ممتازان

مهرماه ۱۳۹۲

نام خانوادگی: ممتازان	**نام:** مهناز	**شماره دانشجویی:** ۹۰۳۱۰۱۰
عنوان پایان‌نامه : حذف کادمیوم از آب آشامیدنی با استفاده از روش اسمز معکوس		
استاد راهنما: دکتر هادی معاضد		
استاد مشاور: دکتر ناهید پوررضا		
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	**رشته:** مهندسی عمران	**گرایش:** مهندسی محیط زیست
دانشگاه: شهید چمران اهواز	**دانشکده:** مهندسی علوم آب	**گروه:** عمران- مهندسی محیط زیست
تاریخ فارغ‌التحصیلی: ۱۳۹۲/۰۷/۲۸		**تعداد صفحه:** ۱۰۰ صفحه
کلید واژه‌ها: کادمیوم، آب آشامیدنی، اسمز معکوس، حذف.		

چکیده:

با توجه به این‌که در حال حاضر آلودگی ناشی از فلزات سنگین یک پدیده جهان شمول است، بنابراین نگرانی در مورد آثار دراز مدت این فلزات به‌عنوان آلوده‌کننده‌هایی که بیش‌ترین اثر تخریبی را بر محیط زیست جهانی دارند، رو به افزایش است. در این میان کادمیوم به‌عنوان یکی از فلزات سنگین سمی،عنصری است که قرار گرفتن در معرض آن به‌دلیل برخورداری از خاصیت تجمع پذیری و بزرگ‌نمایی زیستی در بافت‌های مختلف و عدم تجزیه پذیری، سبب ایجاد عوارض مختلفی در انسان می‌شود. بر این اساس کاهش یا حذف اثرات تخریبی فلزات سنگین و به‌ویژه فلز کادمیوم ضروری به‌نظر می‌رسد.

هدف از این تحقیق، ارزیابی عملکرد فرآیند سیستم اسمز معکوس جهت حذف کادمیوم از آب آشامیدنی بوده است. در این پژوهش، محلول استاندارد مورد استفاده در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از نیترات کادمیوم ساخت شرکت Merck آلمان تهیه گردید. آنگاه کارایی حذف فلز کادمیوم توسط غشاء نیمه تراوا سیستم اسمز معکوس(مدل FT-۳۰ ساخت شرکت Film Tec) و تحت تأثیر پارامترهای غلظت کادمیوم، pH و فشار بررسی شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد در صورتی که در دمای استاندارد ۲۰°C، محدوده غلظت ppb ۵۰، فشار Kpa ۳۵۰و pH در حدود ۶/۸ باشد، راندمان حذف کادمیوم توسط سیستم اسمز معکوس تا بیش از ۹۵ درصد بدست می‌آید. همچنین نتایج به‌دست آمده نشان داد که ارتباط معنی‌داری میان میزان شار خروجی با فشار و pH در سطح آماری ۹۹% یا ۰/۰۱ وجود دارد. بنابراین با توجه به یافته‌های حاصل از این تحقیق درخصوص میانگین غلظت کادمیوم در آب خروجی از دستگاه RO و مقایسه آن با حد ماکزیمم استانداردهای تعیین شده توسط EPA، WHO و کشور ایران، می‌توان نتیجه گرفت که راندمان حذف فلز سنگین و سمی کادمیوم از آب در شرایط بهینه عملکرد سیستم RO قابل قبول و زیر حد ماکزیمم استانداردهای فوق بوده، بنابراین می‌تواند به عنوان یک گزینه مؤثر و کارآمد در حذف فلزات سنگین در مقیاس میدانی بکار گرفته شود.

عنوان | فهرست مطالب | صفحه

فصل ۱ مقدمه و هدف

۱-۱ اهمیت موضوع ۱

۱-۱-۱ اثرات ناشی از فلزات سنگین بر محیط زیست و انسان ۱

۱-۱-۲ اسمز معکوس ۲

۱-۲ فرضیه‌های تحقیق ۳

۱-۳ اهداف تحقیق ۳

۱-٤ روش تحقیق ٤

۱-٥ ساختار پایان‌نامه ٥

فصل ۲ کلیات و مروری بر منابع

۲-۱ کلیات ٦

۲-۱-۱ منابع آلوده‌کننده آب‌ها ٦

۲-۱-۱-۱ آلودگی منابع آب به فلزات سنگین ۸

۲-۱-۱-۲ استانداردهای وضع شده برای فلزات سنگین در آب آشامیدنی ۹

۲-۱-۲ فلزات سنگین ۹

۲-۱-۲-۱ خواص فیزیکی و شیمیایی کادمیوم ۱٥

۲-۱-۲-۲ منشاء و مقدار کادمیوم ۱٥

۲-۱-۲-۳ منابع آلودگی کادمیوم ۱٦

۲-۱-۲-٤ اثر کادمیوم بر سلامتی انسان ۱٦

۲-۱-۲-٥ اثرات زیست محیطی کادمیوم ۱۷

۲-۱-۳ روش‌های حذف فلز کادمیوم از آب آشامیدنی ۱۷

۲-۱-٤ اسمز معکوس ۱۹

۲-۱-٤-۱ تاریخچه ۱۹

۲-۱-٤-۲ فرآیند اسمز معکوس ۲۰

۲-۱-٤-۳ تئوری اسمز معکوس ۲٤

۲-۱-٤-٤ آلودگی‌های حذف شونده از آب بوسیله اسمز معکوس ۲۸

۲-۱-٤-٥ محاسن روش اسمز معکوس ۳۰
۲-۱-٤-٦ معایب روش اسمز معکوس ۳۱
۲-۱-٤-۷ انواع غشاءهای اسمز معکوس ۳۲
۲-۱-٤-۸ اصطلاحات مورد استفاده در فرآیند اسمز معکوس ۳٤
۲-۱-٤-۹ معرفی برخی پارامترهای کیفی آب مؤثر بر فرآیند اسمز معکوس ٤۱
۲-۲ مقدمه‌ای بر تحقیقات گذشته ٤۳
۲-۲-۱ پیشینه موضوع در ایران ٤۳
۲-۲-۲ پیشینه موضوع در جهان ٤٦
فصل۳ مواد و روش‌ها
۳-۱ محل انجام تحقیق ٤۸
۳-۲ آب مورد آزمایش ٤۸
۳-۳ پایلوت آزمایش ٤۸
۳-٤ تهیه محلول یون فلزی ٤۹
۳-٥ نحوه انجام آزمایش ٥۱
۳-٥-۱ اثر pH ٥۳
۳-٥-۲ اثر فشار ٥۳
۳-٦ دستگاه‌ها و وسایل آزمایشگاهی مورد استفاده ٥٤
۳-٦-۱ دستگاه اسمز معکوس (RO) ٥٤
۳-٦-۲ دستگاه جذب اتمی (AAS) ٥٤
۳-٦-۳ دستگاه pHسنج ٥٥
۳-٦-٤ ترازوی دیجیتال ٥٦
۳-٦-٥ کرنومتر ٥۷
۳-٦-٦ دماسنج ٥۷
۳-۷ تجزیه و تحلیل داده‌ها ٥۷
فصل ٤ نتایج و بحث
٤-۱ نتایج آنالیز دستگاهی ٥۹
٤-۲ تجزیه و تحلیل آماری ٥۹
٤-۲-۱ نتایج حاصل از میزان حذف کادمیوم غشاء ٥۹

٤-٢-٢ شار خروجی غشاء ٦٠
٤-٢-٣ تأثیر فشار اسمزی بر درصد حذف کادمیوم و شار خروجی غشاء ٦١
٤-٢-٤ تعیین غلظت بهینه حذف کادمیوم در آب ٦٣
٤-٢-٥ تأثیر فشار بر روی حذف کادمیوم و شار خروجی غشاء ٦٣
٤-٢-٦ تأثیر pH بر روی حذف کادمیوم و شار خروجی غشاء ٦٥
٤-٢-٧ اثر فشار بر راندمان حذف کادمیوم ٦٨
٤-٢-٨ بررسی اثر pH بر شار خروجی از غشاء مورد بررسی ٧١
٤-٢-٩ ارزیابی آماری همبستگی درصد حذف کادمیوم بین فشار، pH و غلظت اولیه نمونه‌های آب ٧٥
٤-٢-١٠ ارزیابی آماری همبستگی شار خروجی غشاء بین فشار، pH و غلظت اولیه نمونه‌های آب ٧٧
٤-٢-١١ ارزیابی اثرات منفی کادمیوم بر انسان ٨٠
٤-٢-١٢ مقایسه کیفیت آب تصفیه شده توسط دستگاه اسمز معکوس با استانداردهای ملی و بین‌المللی ٨١
فصل ٥ نتیجه گیری و پیشنهادات
٥-١ نتیجه‌گیری ٨٣
٥-٢ پیشنهادات ٨٥
منابع ٨٧
پیوست‌ها ٩٤
پیوست الف تصاویری از ظروف پلاستیکی به کار رفته در آزمایش ٩٤
پیوست ب جداول مربوط به داده‌های درصد حذف و شار خروجی‌های مختلف در شرایط متفاوت آزمایش ... ٩٥
پیوست ج جداول مربوط به داده‌های درصد حذف، فشار، pH و شار خروجی‌ها در خروجی نرم‌افزار SPSS ٩٩
چکیده انگلیسی ١٠١

عنوان | فهرست شکل‌ها | صفحه

فصل ۲ کلیات و مروری بر منابع

شکل ۲-۱ متوسط بار بدن در مورد عناصر فلزی سنگین مهم در انسان ۱٤

شکل ۲-۲ تصویر شماتیک کادمیوم در طبیعت ۱٥

شکل ۲-۳ شمایی از فرآیند طبیعی اسمز(الف)، فشار اسمزی(ب) و اسمز معکوس(ج) ۲۱

شکل ۲-٤ جداسازی توسط اسمز معکوس ۲۲

شکل ۲-٥ دیاگرام جریان در پایلوت اسمز معکوس مورد آزمایش ۲۳

شکل ۲-٦ فیلتراسیون ۲۳

شکل ۲-۷ تصاویری از غشاء سیستم اسمز معکوس از جنس سلولزی(الف) و پلی‌آمیدی(ب) ۳۳

شکل ۲-۸ پدیده اسمز ۳٥

شکل ۲-۹ اسمز معکوس (RO) ۳٦

شکل ۲-۱۰ پلاریزاسیون غلظتی در حین اولترافیلتراسیون ماکرومولکول‌های حل شده ٤۰

فصل ۳ مواد و روش‌ها

شکل ۳-۱ نمای کلی پایلوت مورد آزمایش ٤۸

شکل ۳-۲ ترکیب نیترات کادمیوم ساخت کارخانه Merck آلمان ٤۹

شکل ۳-۳ قرائت شدت جریان آب از روی استوانه مدرج ٥۲

شکل ۳-٤ NaOH ۱ مولار و HCl ۰/٥ مولار ٥۳

شکل ۳-٥ نمایی از دستگاه RO مورد استفاده در پژوهش ٥٤

شکل ۳-٦ نمایی از دستگاه جذب اتمی متعلق به سازمان محیط زیست خوزستان ٥٥

شکل ۳-۷ نمایی از دستگاه pHسنج مدل ۷۳۰inolab ٥٦

شکل ۳-۸ نمایی از یک ترازوی دیجیتال دقیق آزمایشگاهی ٥٦

فصل ٤ نتایج و بحث

شکل ٤-۱ اثر غلظت اولیه آلاینده فلزی کادمیوم بر شار خروجی غشاء (pH=٦/۸ و فشار ۳٥۰ Kpa) ٦۰

شکل ٤-۲ رابطه بین فشار اسمزی و غلظت اولیه یون کادمیوم ٦۱

شکل ٤-۳ رابطه بین فشار اسمزی و درصد حذف کادمیوم ٦۲

شکل ٤-٤ رابطه بین فشار اسمزی و شار خروجی غشاء ٦۲

شکل ٤-٥ اثر فشار بر حذف کادمیوم(الف) و شار خروجی غشاء(ب) ٦٤
شکل ٤-٦ درصد حذف کادمیوم در pHهای مختلف آب ورودی ٦٦
شکل ٤-٧ شار خروجی غشاء در pHهای مختلف ٦٦
شکل ٤-٨ درصدهای حذف کادمیوم از نمونه‌های آبی در فشارهای Kpa ١٥٠ و Kpa ٢٥٠، (میانگین ± اشتباه معیار)، (P<٠/٠٥) ٦٨
شکل ٤-٩ درصدهای حذف کادمیوم از نمونه‌های آبی در فشارهای Kpa ٢٥٠ و Kpa ٣٥٠، (میانگین ± اشتباه معیار)، (P>٠/٠٥) ٦٨
شکل ٤-١٠ درصد حذف کادمیوم از نمونه‌های آبی در فشارهای Kpa ٣٥٠ و Kpa ٤٥٠، (میانگین ± اشتباه معیار)، (P<٠/٠٥) ٦٩
شکل ٤-١١ مقایسه کلی درصد حذف کادمیوم از نمونه‌های آبی متفاوت در فشارهای مختلف، (کروسکال-والیس، P< ٠/٠٥) ٧٠
شکل ٤-١٢ نمودار نرمال Q.Q برای بررسی درصد حذف کادمیوم ٧٠
شکل ٤-١٣ مقایسه میزان شار خروجی غشاء بین pHهای ٤ و ٦/٨، (میانگین ± اشتباه معیار)، (P<٠/٠٥) ٧٢
شکل ٤-١٤ مقایسه میزان شار خروجی غشاء بین pHهای ٦/٨ و ٨، (میانگین ± اشتباه معیار)، (P<٠/٠٥) ٧٢
شکل ٤-١٥ مقایسه کلی میزان شار خروجی غشاء دستگاه RO در pHهای مورد مطالعه، (کروسکال-والیس، P< ٠/٠٥) ٧٣
شکل ٤-١٦ نمودار نرمال Q.Q برای شار خروجی غشاء ٧٤
شکل ٤-١٧ همبستگی بین درصد حذف کادمیوم و فشارهای مورد بررسی (P< ٠/٠٥) ٧٥
شکل ٤-١٨ همبستگی بین درصد حذف کادمیوم و pHهای مورد مطالعه (P> ٠/٠٥)..... ٧٦
شکل ٤-١٩ همبستگی بین درصد حذف کادمیوم و غلظت اولیه کادمیوم در نمونه‌های آب (P> ٠/٠٥)..... ٧٦
شکل ٤-٢٠ توزیع فراوانی درصد حذف جهت مقایسه کلی درصد حذف کادمیوم از نمونه‌های آبی متفاوت در فشار، pH و غلظت‌های مختلف (آنالیز واریانس، P< ٠/٠٥) ٧٧
شکل ٤-٢١ همبستکی بین شار خروجی غشاء و فشارهای مورد بررسی (P< ٠/٠٥) ٧٨
شکل ٤-٢٢ همبستگی بین شار خروجی غشاء و pHهای مورد مطالعه (P< ٠/٠٥)..... ٧٨
شکل ٤-٢٣ همبستگی بین شار خروجی غشاء و غلظت اولیه کادمیوم در نمونه‌های آب (P> ٠/٠٥)..... ٧٩
شکل ٤-٢٤ توزیع فراوانی شار خروجی جهت مقایسه کلی میزان شارهای خروجی از غشاء در فشار، pH و غلظت‌های مختلف کادمیوم (آنالیز واریانس، P< ٠/٠٥) ٧٩
شکل ٤-٢٥ مقایسه میانگین غلظت کادمیوم در آب خروجی از دستگاه اسمز معکوس با استانداردهای ملی و بین‌المللی ٨٢

عنوان | فهرست جدول‌ها | صفحه

فصل ۲ کلیات و مروری بر منابع

جدول ۲-۱ آلاینده‌های آب و منابع اصلی هریک از آن‌ها ۷

جدول ۲-۲ استاندارد EPA جهت حذف فلزات سنگین در آب آشامیدنی ۱۱

جدول ۲-۳ مقادیر توصیه شده حداکثر مجاز سازمان بهداشت جهانی برای فلزات سنگین در آب آشامیدنی ۱۲

جدول ۲-٤ مقادیر توصیه شده حداکثر مجاز استاندارد ایران برای فلزات سنگین در آب آشامیدنی ۱۲

جدول ۲-٥ استاندارد کشور ژاپن جهت آلودگی آب رودخانه ۱۳

جدول ۲-٦ خطرات فلزات سنگین برای سلامتی ۱۳

جدول ۲-۷ خواص فیزیکی و شیمیایی کادمیوم ۱٥

جدول ۲-۸ درصد تقریبی عبور نمک از غشای اسمز معکوس ۲٦

جدول ۲-۹ دفع مواد آلی توسط غشای پلی‌آمید لایه نازک ۲۷

جدول ۲-۱۰ درصد حذف مواد موجود در آب توسط سیستم اسمز معکوس ۲۹

جدول ۲-۱۱ مقایسه غشاءهای اسمز معکوس ۳۲

جدول ۲-۱۲ ضرایب فشار اسمزی محلول ۰/۱ مولار نمک‌های مختلف در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد ۳۸

جدول ۲-۱۳ فاکتور اسمزی برخی آنیون‌ها و کاتیون‌ها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد ۳۹

فصل ۳ مواد و روش‌ها

جدول ۳-۱ شرایط جذب اتمی مورد استفاده در آزمایشگاه تجزیه دستگاهی ٥٤

فصل ٤ نتایج و بحث

جدول ٤-۱ میانگین داده‌های حاصل از دو بار تکرار آنالیز نمونه‌های آب مورد مطالعه دارای غلظت‌های متفاوت کادمیوم در مراحل اولیه آزمایش ٥۹

جدول ٤-۲ نتایج حاصل از میزان شار خروجی غشاء در مراحل اولیه آزمایش ٦۰

جدول ٤-۳ میزان حذف کادمیوم و شار خروجی غشاء در فشارهای مختلف ٦٤

جدول ٤-٤ میزان حذف کادمیوم و شار خروجی غشاء در pHهای مختلف ٦٥

جدول ٤-٥ نتیجه آزمون من‌ویتنی‌یو: مقایسه آماری سطوح فشار اعمال شده به دستگاه RO جهت بررسی اثر بر راندمان حذف دستگاه ۷۱

جدول ٤-٦ نتیجه آزمون من‌ویتنی‌یو: مقایسه آماری گروه‌های شار خروجی از غشاء دستگاه RO در محدوده‌های pH مورد بررسی ٧٤

جدول ٤-٧ ضرایب همبستگی بین درصد حذف کادمیوم با پارامترهای فشار، pH و غلظت اولیه کادمیوم ٧٥

جدول ٤-٨ ضرایب همبستگی بین شار خروجی غشاء با پارامترهای فشار، pH و غلظت اولیه کادمیوم ٧٨

فصل اول

مقدمه و هدف

۱-۱ اهمیت موضوع

گرچه طبیعت در مقابل آلاینده‌های مختلف از قابلیت و توان خودپالایی معینی برخوردار است، اما کثرت و فزونی مواد آلوده‌کننده در اغلب حالات این خاصیت بهینه‌سازی را از آن سلب می‌کند و سبب تغییرات اساسی در اکوسیستم و نابودی بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری و غیر قابل استفاده شدن آب، خاک و هوا می‌شود (زمانی احمد محمودی، ۱۳۸۷). آب‌های سطحی و زیرزمینی، به عنوان عمده ترین منابع تأمین کننده آب مورد نیاز انسان، قابلیت بالایی برای آلوده شدن دارند. این آب‌ها از دیرباز به‌طور جدی از سوی جوامع شهری و مراکز صنعتی مورد تهدید بوده‌اند (عرفان‌منش و افیونی، ۱۳۸۸). به طور کلی در آب سه نوع آلودگی وجود دارد، باکتری‌ها و ویروس‌ها، ترکیبات شیمیایی سمی و فلزات سنگین (ناهید و مصلحی مصلح آبادی، ۱۳۸۷). بنابراین اتخاذ شیوه صحیح تصفیه آب به منظور دستیابی به آب سالم، با کیفیت، در دسترس و اقتصادی ضروری به نظر می‌رسد. در تصفیه آب، معمولاً دو شیوه سنتی و نوین مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های جدید که شامل استفاده از غشاءها و فن‌آوری نانو است، به علت عدم استفاده از مواد شیمیایی، هزینه بهره‌برداری کمتر و بازدهی بیشتر، تولید آب با کیفیت بالاتر و ... نسبت به روش‌های سنتی تصفیه آب، از قابلیت بالاتری برخوردار هستند (Liikanen et al., ۲۰۰٦ ; WHO, ۲۰۰۸).

۱-۱-۱ اثرات ناشی از فلزات سنگین بر محیط زیست و انسان

فلزات سنگین به دلیل خاصیت غیرقابل تجزیه بودن، پایداری و تجمع‌پذیری، در مقادیر کم نیز سمی هستند و به عنوان یکی از نگرانی‌های عمده زیست محیطی به شمار می‌آیند (Gupta and Ali, ۲۰۰٤; Gupra and Nayaka, ۲۰۱۲). فلزهای سنگین، ضمن شرکت در فرآیندهای مختلف تولیدی و صنعتی، به محیط زیست وارد می‌شوند و اثرات زیست محیطی نامطلوبی را بر سلامتی انسان، دام، گیاه، خاک، و آب و هوا می‌گذارند (ملاردی و اصغری، ۱۳۸۳). مهم‌ترین فلزات سنگین آلاینده محیط زیست بر حسب میزان سمیت جیوه، کادمیوم، سرب، کروم و روی می‌باشند (عموئی و همکاران، ۱۳۹۱). عناصر سنگین اغلب به‌طور مستقیم آثار فیزیولوژیک مسموم کننده بر انسان دارند. بعضی از آن‌ها در بافت‌های زنده، گاه به‌طور دایم، ذخیره شده و یا در آن ادغام می‌شوند (بوتکین و کلر، ۱۳۸۸). مطالعات نشان می‌دهد که کادمیوم در انسان می‌تواند باعث برونشیت، کم خونی، سنگ کلیه و بیماری‌های شدید گوارشی گردد. افزایش فشار خون و آسیب‌های مغزی- عصبی از دیگر اثرات کادمیوم بر انسان است (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۱).

۱-۱-۲ اسمز معکوس

یکی از رایج ترین روش‌های تصفیه آب به‌ویژه در مناطقی که دارای کیفیت نامطلوب آب (لب شور) هستند، استفاده از آب شیرین کن‌های خانگی با روش تصفیه اسمز معکوس[1] است. RO یک تکنولوژی مؤثر در حذف املاح از آب‌های سطحی است که کدورت آن‌ها گرفته شده است، اما تصمیم در انتخاب و به کارگیری این فرآیند باید منوط به ارزیابی اقتصادی و بهداشتی صورت گیرد (Liikanen et al., ۲۰۰٦).

با توجه به توانمندی‌های فراوان روش اسمز معکوس به دلیل راندمان بالای حذف TDS و نیترات، این روش در سال‌های اخیر در تصفیه آب کاربرد زیادی دارد به‌طوری که به عنوان تکنولوژی قرن ۲۱ شناخته شده است (ترابیان و همکاران، ۱۳۸۵). غشای RO ، به عنوان سپری برای نمک‌های محلول و مولکول‌های غیر ارگانیک عمل می‌کند. در مقابل، مولکول-های آب به‌طور آزادانه از غشاء ممبران گذر کرده و یک جریان آب خالص را ایجاد می‌نماید. میزان دفع نمک‌های محلول در RO بین ۹۵ تا بیش از ۹۹ درصد می‌باشد (میرزایی، ۱۳۹۰).

۱-۲ فرضیه های تحقیق

الف- وجود یون‌های فلزات در آب به دلیل اثرات سمی شناخته شده آن‌ها بر روی چرخه حیات، مشکلات زیست‌محیطی متعددی را برای بشر پدید می‌آورد. روش اسمز معکوس، توانمندی‌های فراوانی برای انجام عمل تصفیه این آلودگی‌ها دارد، زیرا راندمان حذف توسط این روش مناسب بوده و می‌تواند در مقیاس میدانی به عنوان یک گزینه مؤثر به‌کار گرفته شود.

ب- قابلیت حذف فلزات سنگین مثل کادمیوم از آب توسط روش اسمز معکوس به فاکتورهای مختلفی از قبیل pH آب بستگی دارد، به گونه‌ای که هرچه مقدار pH زیادتر باشد، قابلیت حذف این گونه فلزات بیش‌تر است.

ج- روش اسمز معکوس می‌تواند بیش از ۹۵ درصد مواد معدنی محلول از جمله فلزات سنگین را حذف کند.

د- به دلیل استفاده مکرر از غشاءهای دستگاه اسمز معکوس، مشکلات مرتبط با غشاءها از جمله گرفتگی بیولوژیکی پیش می‌آید که این امر انجام عملیات شستشو و گندزدایی مکرر در واحد های غشایی را ضروری می‌سازد. بنابراین در صورت تکرار، هزینه‌های بهره‌برداری افزایش و باعث توقف تولید و کاهش عمر مفید واحدهای غشایی بر اثر آسیب‌های فیزیکی، خوردگی بر اثر مواد گندزدا و ... می‌شود.

---

[1] Reverse Osmosis (RO)

۱-۳ اهداف تحقیق

هدف اصلی این تحقیق بررسی میزان حذف فلز سنگین کادمیوم از آب آشامیدنی توسط فرآیند اسمز معکوس می‌باشد.

سایر اهدافی که در این تحقیق دنبال می‌شوند عبارتند از :

الف- تعیین فشار بهینه حذف کادمیوم از آب آشامیدنی توسط غشاء اسمز معکوس با تغییر فشار محلول عبوری،
ب- تعیین غلظت بهینه حذف کادمیوم از آب آشامیدنی توسط غشاء اسمز معکوس با تغییر غلظت محلول ورودی،
ج- تعیین pH بهینه حذف کادمیوم از آب آشامیدنی توسط غشاء اسمز معکوس با تغییر pH، و
د- بررسی کیفیت آب تصفیه شده توسط دستگاه اسمز معکوس و مقایسه آن با استانداردهای ملی و بین‌المللی.

۱-٤ روش تحقیق

این مطالعه در آزمایشگاه کیفیت آب دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز صورت گرفت. آب مورد آزمایش آب بدون یونی[۲] بود که از آب آشامیدنی شهرستان اهواز تهیه گردید. از آب حاصل برای ساخت محلول استاندارد کادمیوم استفاده شد و پس از به حجم رسانیدن محلول‌ها در غلظت‌های کادمیوم مورد انتظار آزمایش و نیز بعد از راه اندازی دستگاه اسمز معکوس، محلول حاصل به عنوان آب ورودی به درون دستگاه پمپ گردید. برای آنالیز نمونه‌های آب خروجی جهت تشخیص میزان کادمیوم در آن، از دستگاه جذب اتمی استفاده شد. برای تعیین pH نیز از دستگاه pH متر استفاده گردید. به منظور تعیین میزان حذف فلز کادمیوم از آب آشامیدنی، غشاء مورد بررسی از نظر دو پارامتر اساسی که شامل میزان حذف کادمیوم و شار خروجی از غشاء بودند، مورد آزمایش قرار گرفت.

برای این کار آزمایش بر روی دو شدت جریان و سه غلظت متفاوت از کادمیوم صورت پذیرفت. آنگاه با توجه به میزان حذف کادمیوم و میزان شار خروجی، بهترین غلظت و بهترین شدت جریان انتخاب شد و ادامه آزمایش‌ها در آن شرایط انجام گرفت. بنابراین تأثیر پارامترهای مختلف فشار، pH و دما به ترتیب بر روی حذف کادمیوم و شار خروجی غلظت و شدت جریان انتخاب شده بررسی شد. همچنین کیفیت آب تصفیه شده توسط دستگاه اسمز معکوس، بررسی و نتایج آن با استانداردهای ملی و بین‌المللی مقایسه گردید.

č Deionized water

۱-۵ ساختار پایان نامه

پایان نامه حاضر شامل ٦ فصل، فهرست منابع فارسی و انگلیسی و پیوست‌ها می‌باشد.

- در فصل اول این پایان نامه (مقدمه و هدف) به اهمیت موضوع، فرضیه‌ها و اهداف تحقیق اشاره شده است.
- در فصل دوم (کلیات)، به تاریخچه اسمز معکوس، مزایای روش اسمز معکوس، معایب روش اسمز معکوس، اهمیت آلودگی منابع آب، روابط ریاضی و ... اشاره شده است.
- فصل سوم (مروری بر منابع)، شامل بررسی تحقیقات انجام شده توسط سایر پژوهشگران در ایران و دیگر کشورهای جهان، روش تحقیق و نتایج به دست آمده از پژوهش‌های آن‌ها است.
- در فصل چهارم (مواد و روش‌ها)، به معرفی مواد، روش‌ها و دستگاه‌های استفاده شده در این تحقیق، محل انجام آزمایش‌ها و نحوه انجام آن‌ها و نیز نرم افزارهای به-کار رفته پرداخته شده است. مواد و وسایل شامل کادمیوم استاندارد جهت تهیه محلول یون فلزی، ترازوی دیجیتالی جهت وزن کردن یون کادمیوم، آب بدون یون برای به حجم رساندن محلول‌ها، اسید کلریدریک و سود برای تغییرات pH آب مورد آزمایش، ظروف پلاستیکی جهت نگه‌داری نمونه‌ها و ... و دستگاه‌ها شامل دستگاه pHسنج، دستگاه اسمز معکوس، دستگاه جذب اتمی جهت اندازه‌گیری کادمیوم و ... هستند.
- فصل پنجم (نتایج و بحث)، شامل ارائه نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها و بحث در مورد آن‌ها و مقایسه با نتایج به دست آمده از پژوهش‌های دیگر محققین است.
- فصل ششم (نتیجه گیری و پیشنهادات)، شامل نتایج کلی به دست آمده از تحقیق و ارائه پیشنهاداتی برای ادامه پژوهش‌ها در آینده است.
- فهرست منابع (فارسی و انگلیسی)، شامل ارائه منابعی که در تحقیق از آن‌ها استفاده گردیده است.

فصل دوم

کلیات و مروری بر منابع

۲-۱ کلیات

۲-۱-۱ منابع آلوده کننده آب‌ها

علت اصلی کاهش کیفیت آب‌های سطحی ورود فاضلاب‌های شهری و خانگی، زائدات و رواناب‌های کشاورزی و صنعتی (اعم از آلی، غیرآلی و گرما) و پسماندهای جامد ونیمه‌جامد می‌باشد. با توجه به این‌که منابع تأمین آب بسیاری از شهرها آب‌های سطحی می‌باشند آلوده شدن به این‌گونه آب‌ها به‌وسیله زائدات و مواد شیمیایی سمی ممکن است کیفیت آب را چنان نامطلوب سازد که از آن نتوان به عنوان منبع تأمین آب استفاده نمود و یا تصفیه آن بسیار پرهزینه خواهد بود.

آلاینده‌هایی که به آب‌های سطحی تخلیه می‌شوند به چند گروه عمده تقسیم می‌شوند. فاضلاب-های شهری و صنعتی به‌عنوان منابع نقطه‌ای محسوب می‌شوند. چون معمولاً با استفاده از شبکه‌ای از لوله‌ها با کانال‌ها جمع‌آوری شده و در نقطه مشخصی به آب‌های پذیرنده وارد می-گردند. رواناب‌های شهری و کشاورزی، چون در نقاط مختلفی وارد آب‌های پذیرنده می‌شوند به‌عنوان منابع غیرنقطه‌ای شناخته می‌شوند. در اغلب مواقع جریان آب از سطح زمین‌های اطراف با کانال‌های زهکش طبیعی عبور کرده و آلوده می‌گردد و سپس وارد آب‌های پذیرنده می‌شود.

آلاینده‌های زیست‌محیطی به هر صورتی (نقطه‌ای یا غیرنقطه‌ای) که وارد جریان رودخانه‌ها شوند، به ۷ گروه عمده تقسیم‌بندی می‌شوند (Mackenzie, ۱۹۹۵).

الف. مصرف‌کننده‌های اکسیژن : به‌طور کلی این مواد در طی فرآیندهای تجزیه و دگرگونی خود اکسیژن محلول را مصرف نموده و شرایط نامناسب برای رشد و بقای جانداران در محیط به‌وجود می‌آورند. معمولاً در اکثر مواقع غلظت اکسیژن محلول بیش‌تر از ٤ میلی‌گرم در لیتر برای بقای اکثر ماهی‌ها ضروری است.

ب. پاتوژن‌ها : جانوران ریز بیماری‌زا که در پساب‌ها یافت می‌شوند و شامل باکتری‌ها و ویروس‌هایی هستند که توسط انسان یا حیوان مریض وارد محیط آبی شده‌اند.

ج. ذرات معلق : این مواد شامل مواد آلی یا معدنی هستند که وجود آن‌ها باعث کدرشدن آب می‌گردد. علاوه براین اکسیدشدن ذرات معلق آلی باعث تشدید فرآیند حذف اکسیژن می‌گردد.

د. نمک‌ها : افزایش بیش از اندازه نمک‌ها، حیات آبزیان را مورد تهدید قرار می‌دهد. علاوه براین بهره‌برداری از منابع آب را در جهت مصارف شرب و کشاورزی محدود می‌نماید.

هـ. گرما : منشاء این آلودگی اغلب نیروگاه‌های تولید برق است، البته این مورد زمانی به‌عنوان آلودگی مطرح می‌شود که افزایش درجه حرارت بقای آبزیان را مورد تهدید قرار دهد.

و. فلزات سنگین و ترکیبات سمی و پایدار : منشاء این آلودگی‌ها بیش‌تر پساب‌های صنعتی و زهکش‌های کشاورزی می‌باشد. فلزات سنگین حتی در غلظت‌های پایین بسیار سمی بوده و در صورتی که وارد زنجیره غذایی شوند، به راحتی خارج نخواهند شد. ترکیبات سمی مانند آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌های مورد استفاده در کشاورزی نیز درصورتی که وارد آب شوند بقای اکسیژن را تهدید می‌نمایند.

ز. مواد مغذی : از نظر درجه آلایندگی مواد غذایی، نیتروژن و ازت بیشتر مورد توجه هستند، زیرا این دو عنصر برای رشد تمام گونه‌های حیات ضروری بوده و در تکمیل زنجیره غذایی در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها می‌بایست موجود باشند. در این مورد مسئله زمانی بغرنج خواهد شد که غلظت ترکیبات این دو عنصر آب به حدی افزایش یابد که زنجیره غذایی را مورد مخاطره قرار دهد. این مسئله باعث می‌شود که جمعیت برخی از آبزیان مانند قارچ‌ها، جلبک‌ها و گیاهان آبزی به شدت افزایش یافته و یوتریفیکاسیون یا پدیده خفگی در اکوسیستم‌های آبی بوقوع بپیوندد. تجزیه این موجودات پس از مرگشان روند حذف اکسیژن از محیط آبی را تشدید خواهد کرد. آلاینده‌های آب و منابع اصلی هر یک از آن‌ها در جدول ۲-۱ نشان داده شده است (شهریاری، ۱۳۸۹؛ اردکانی، ۱۳۸۷).

جدول۲-۱: آلاینده‌های آب و منابع اصلی هریک از آن‌ها (Mackenzie, ۱۹۹۵)

	منابع نقطه‌ای		منابع غیرنقطه‌ای	
تقسیم‌بندی آلاینده‌ها	فاضلاب‌های خانگی	فاضلاب‌های صنعتی	رواناب‌های کشاورزی	رواناب‌های شهری
مصرف‌کننده‌های اکسیژن	×	×	×	×
مواد مغذی	×	×	×	×
پاتوژن‌ها	×	×	×	×
ذرات معلق		×	×	×
نمک‌ها		×	×	×
فلزات سنگین		×		×
ترکیبات آلی سمی		×	×	
گرما		×		