

شیرین سازی آب دریای خزر با نانوذرات سیلیس برای مصارف کشاورزی

فرامرز معطر^۱، فریده عتابی^۲، ندا درویش^{۳*}

۱. استاد دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی

۲. استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی

۳. کارشناس ارشد محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۲۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۲/۱۸)

چکیده

در سال های اخیر رشد سریع جمعیت کره زمین و به دنبال آن استفاده بیش از حد از منابع آب شیرین جهان را با بحران کمبود آب شیرین مواجه کرده است. در سواحل شمالی کشور، با وجود اراضی وسیع کشاورزی و کاهش شدید سطح آب های زیرزمینی، تاکنون اقدامات جدی در زمینه شیرین سازی آب دریای خزر در مقیاس وسیع انجام نشده است. در این تحقیق شیرین سازی آب دریای خزر برای مصارف کشاورزی با نانوذرات سیلیس با قطر ذرات کوچکتر از ۵۰ نانومتر بررسی شده است. با انجام دادن آزمایش های اولیه، مقدار هریک از پارامترهای مورد مطالعه شامل هدایت الکتریکی، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و کدورت آب دریای خزر اندازه گیری شد و سپس با استفاده از دستگاه جار تست دوزهای گوناگون نانوذرات سیلیس و محدوده وسیعی از اسیدیته ها آزمایش شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار دوز ۰/۴۵ گرم بر لیتر نانوذرات سیلیس مقدار دوز بهینه و $pH=10$ مقدار اسیدیته بهینه برای شیرین سازی آب دریای خزرند. همچنین، نتیجه این تحقیق حاکی از اثر فوق العاده نانوذرات سیلیس بر غلظت پارامترهای مورد مطالعه است و مقدار غلظت هریک از آنها، به خصوص مقادیر سدیم و پتاسیم که از مهم ترین عوامل شوری آب اند، را به زیر حد تشخیص رسانده است.

واژگان کلیدی

دریای خزر، دوز بهینه، شیرین سازی، ماده منعقدکننده، نانوذرات سیلیس.

۱. مقدمه

وسیع از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست و آب شیرین شده با این تجهیزات با هزینه بالایی تولید می‌شود، استفاده از این دستگاه‌ها مشکلات فراوانی را به همراه دارد (Kardavani, 1992).

در این تحقیق، از نانوذرات سیلیس با قطر ذرات کوچک‌تر از ۵۰ نانومتر با عوامل سطحی کاتیونی از نوع کلسیم، منیزیم و آهن استفاده شده است. تاکنون تحقیقی مبنی بر استفاده از نانوذرات سیلیس برای شیرین‌سازی آب شور دریا یافت نشده است، اما تحقیقات متعددی در مورد استفاده از این ماده در سایر زمینه‌ها موجود است؛ در صنعت ساختمان برای افزایش مقاومت چسب سیمان، در صنایع تولید رنگ برای افزایش مقاومت رنگ پوششی اتومبیل در مقابل اشعه ماوراء بنفش خورشید، برای حذف نیکل، کادمیوم و سرب از محلول آبی و همچنین برای تصفیه آب آلوده به نفت در داخل و خارج از کشور (Senff *et al.*, 2008, Shih, Jeng *et al.*, 2006, Heidari *et al.*, 2005, Scrinzi *et al.*, 2011, Ltifi, Monir *et al.*, 2010, Syed *et al.*, 2010).

هدف از این تحقیق استفاده از روشی است که به واسطه آن بتوان برای بهبود وضعیت آبی کشور و حل مسئله کم‌آبی، به خصوص در بخش کشاورزی که بخش چشمگیری از منابع آب شیرین کشور را به خود اختصاص می‌دهد، با هزینه بسیار کم و بدون مسائل و مشکلات ناشی از استفاده از دستگاه‌های شیرین‌کننده آب موجود، آب شیرین مورد نیاز این بخش را تأمین کرد. در این روش، از نانوذرات سیلیس برای شیرین‌سازی آب دریای خزر استفاده شد. این ماده، به دلیل نیازنداشتن به احداث تأسیسات بزرگ و گران‌قیمت، نیازنداشتن به افزودن مواد مکمل برای بالابردن تأثیرگذاری، روش سنتز طبیعی و در نتیجه امکان تولید انبوه با هزینه کم، نیازنداشتن به آماده‌سازی آب دریا پیش از افزودن این ماده و همچنین نیازنداشتن به نیروی انسانی متخصص هنگام استفاده از آن، مشکلات استفاده از دستگاه‌های شیرین‌کننده آب موجود را ندارد و آب شیرین مورد نیاز بخش کشاورزی را با حداقل هزینه نسبت به سایر روش‌های شیرین‌سازی آب دریا، از جمله دستگاه‌های شیرین‌کننده آب موجود، تأمین می‌کند. در این راستا، با استفاده از فرآیند انعقاد و لخته‌سازی با دستگاه

فقط حدود ۰/۶۳۵ درصد یعنی کمتر از ۱ درصد از تمامی ذخایر آبی کره زمین به صورت دریاها، رودخانه‌ها و چاه‌ها برای مصرف در دسترس‌اند (Kardavani, 2004). به دلیل آلودگی‌ها و افزایش سریع جمعیت جهان و به دنبال آن استفاده بیشتر از منابع آب برای شرب، صنعت و کشاورزی، بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی و در نتیجه شور و غیرقابل استفاده شدن آنها جهان را با بحران کمبود آب شیرین مواجه کرده است (Vass, 2002). این امر در حالی است که با وجود بحران موجود تأمین آب آشامیدنی و تولید محصولات کشاورزی لازم برای تولید مواد غذایی این جمعیت رو به رشد با مشکلات فراوانی روبه‌رو خواهد بود (Khodarahmbazi *et al.*, 2010). کشورهای نفت‌خیز عربی نظیر کویت، قطر، عربستان و امارات متحده عربی جزء پنج کشور از نه کشوری‌اند که در سطح دنیا کمترین منابع آب سرانه را در اختیار دارند (Alizadeh, 1994). در این کشورها منابع آب زیرزمینی در وضعیت بحرانی قرار دارد و دلیل این امر برداشت بیش از حد از منابع آب‌های زیرزمینی است که به افت پیوسته سطح آب این منابع منجر شده است (FAO, 1997). تعداد زیادی از کشورهای جهان از جمله ایران با مشکل کمبود آب شیرین مواجه‌اند که این کم‌آبی یا در اثر کمبود فیزیکی منابع آب یا به علت نبود امکانات و سرمایه لازم برای بهره‌برداری از منابع آب موجود است (Fazeli *et al.*, 2006).

در این میان کشور ما با مقدار کل نزولات جوی برابر با ۴۱۳ میلیارد متر مکعب در سال جزء مناطق خشک جهان به‌شمار می‌رود و به علت کمبود فیزیکی منابع آب با بحران کم‌آبی مواجه شده است. اکثر کشورهای جهان از جمله ایران برای مقابله با بحران کم‌آبی از گذشته تاکنون از روش‌های گوناگونی استفاده کرده‌اند که متداول‌ترین آنها نمک‌زدایی از آب دریا و آب‌های شور است (Kastani, 1998). اما از آنجاکه تأسیسات بزرگ نمک‌زدایی، به دلیل ایجاد آلودگی حرارتی در آب، محیط‌زیست دریایی و در نتیجه حیات آبریان را به مخاطره می‌اندازد و از سوی دیگر استفاده از دستگاه‌های شیرین‌کننده آب در مقیاس‌های

۲.۲. خصوصیات ماده منعقدکننده

در این تحقیق، از نانوذرات سیلیس با قطر ذرات کوچک‌تر از ۵۰ نانومتر استفاده شد که قطر حدود ۷۰ درصد از ذرات بین ۲۰ الی ۵۰ نانومتر و قطر حدود ۳۰ درصد از آنها کم‌تر از ۲۰ نانومتر بود. ذرات چندعامله و عوامل از نوع کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و آهن دو ظرفیتی‌اند. سنتز این ذرات به‌صورت کاملاً طبیعی و با استفاده از حرارت و برقراری شرایط مناسب برای رسوب‌دهی محلول شیمیایی^۱ و برقراری جریان الکتریسیته از خاک بوده است. یکی از خصوصیات مهم این ذرات بی‌نیازی آنها به آماده‌سازی پیش از استفاده و افزودن مواد مکمل برای افزایش اثر آنهاست.

۳.۲. آزمایش‌ها

در این تحقیق، برای تعیین مقدار اثر نانوذرات سیلیس بر مقدار شوری آب دریای خزر، با استفاده از دستگاه جارتست^۲ و فرآیند انعقاد و ته‌نشینی دوزهای گوناگون نانوذرات سیلیس در محدوده وسیعی از اسیدیته‌ها بررسی شدند. در مرحله نخست، مقدار اسیدیته، کدورت^۳، هدایت الکتریکی^۴، سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم نمونه آب پیش از افزودن نانوذرات سیلیس براساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری مندرج در کتاب استاندارد متد^۵ اندازه‌گیری شد (Clesceri et al., 1999). مقدار کدورت نمونه آب براساس روش استاندارد شماره ۲۱۳۰ مندرج در کتاب استاندارد متد با دستگاه کدورت‌سنج^۶ مدل Lovibond (ساخت کشور آلمان)، مقدار هدایت الکتریکی براساس روش استاندارد شماره ۲۵۲۰ همین کتاب با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج^۷ Crison مدل GLP 32 (ساخت کشور اسپانیا)، مقدار غلظت سدیم و پتاسیم آب براساس روش استاندارد شماره ۳۵۰۰ با دستگاه فلیم فوتومتر^۸ مدل Sherwood 410 (ساخت کشور انگلستان) و مقدار کلسیم و منیزیم آب نیز براساس روش استاندارد شماره

جارتست مناسب‌ترین مقدار دوز نانوذرات سیلیس و مقدار اسیدیته^۹ بهینه تعیین شد و مقادیر غلظت پارامترهای اصلی شوری شامل هدایت الکتریکی، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و کدورت در شرایط بهینه اسیدیته و نانوذرات سیلیس بررسی شد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. محدوده تحقیق

در این تحقیق شیرین‌سازی آب دریای خزر با استفاده از نانوذرات سیلیس بررسی شده است. طول این دریا حدود ۱۰۳۰ کیلومتر و پهنای آن ۱۹۶ تا حداکثر ۴۳۵ کیلومتر است. در این سطح، کل طول خط ساحلی آن حدود ۷۰۰۰ کیلومتر و حجم آبی آن حدود ۴۳۶۰۰۰ کیلومتر مکعب و مساحت آن حدود ۴۳۶۰۰۰ کیلومتر مربع است (Rasuly et al., 2010). نمونه آب از ساحل منطقه سی‌سنگان، واقع در محدوده عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه و ۵ ثانیه شمالی و ۵۱ درجه و ۴۶ دقیقه و ۳ ثانیه شرقی و طول جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه و ۸ ثانیه شمالی و ۵۱ درجه و ۵۷ دقیقه و ۶ ثانیه شرقی، تهیه شده است. علت انتخاب این منطقه برای نمونه‌برداری واردنشدن رودخانه‌های آب شیرین به دریای خزر در این محدوده است (ncc.org.ir). نمونه‌برداری به روش دستی و از فاصله ۴۰۰ متری از خط ساحلی، جایی که آب آرام و فاقد کدورت ناشی از امواج و تلاطم است، با استفاده از یک ظرف پلی‌اتیلنی به حجم ۱۹ لیتر که پیش از نمونه‌برداری یک‌بار با آب دریا شست‌وشو داده شده بود، از عمق ۲۰ سانتی‌متری از سطح آب تهیه شد و به‌علت امکان تغییر سریع مقدار دو پارامتر هدایت الکتریکی و اسیدیته آب و در نتیجه بروز خطا در نتایج آزمایش‌ها، مقدار این دو پارامتر در همان لحظات نخستین نمونه‌برداری اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس برای پیشگیری از بروز هرگونه تغییر در ترکیب شیمیایی و خصوصیات فیزیکی آب، ظرف حاوی نمونه آب در جای تاریک و در ظرف حاوی یخ قرار داده شد و در مدت زمان کم‌تر از چهار ساعت به آزمایشگاه آب انتقال یافت (APHA, 1998).

1. Sol- Gel
2. Jar Test
3. Turbidity
4. Electrical Conductivity
5. Standard Method for the Examination of Water and Waste Water, 1999.
6. Turbidity Meter
7. Conductivity Meter
8. Flame Photometer

براساس مقدار اثر هریک از دوزهای افزوده شده بر مقدار پارامترهای مورد مطالعه، مقدار دوز بهینه به‌طور دقیق تعیین شد. پس از تعیین مقدار دوز بهینه نانوذرات سیلیس، آزمایش جار بار دیگر برای تعیین مقدار بهینه اسیدپتته انجام شد. در این مرحله، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، مقادیر برابر از نانوذرات سیلیس (معادل مقدار دوز بهینه) به نمونه‌های آب حاوی مقادیر گوناگون اسیدپتته در محدوده بین ۲ الی ۱۰ افزوده شد. برای کاهش مقدار اسیدپتته نمونه‌های آب از اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال و برای افزایش مقدار آن از هیدروکسید لیتیم استفاده شد. پس از افزودن نانوذرات سیلیس به هریک از بشرهای حاوی نمونه‌های آب، اختلاط تند با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه به مدت ۱ دقیقه و اختلاط کند به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۴۰ دور در دقیقه انجام شد و دستگاه به مدت ۳۰ دقیقه برای ته‌نشینی خاموش شد. پس از طی مدت زمان ته‌نشینی، مجدداً با استفاده از پپیت از بخش میانی بشرها مقداری از آب نمونه برداری شد و مقدار پارامترهای مورد مطالعه اندازه‌گیری و براساس مقدار اثر مقادیر گوناگون اسیدپتته مورد آزمایش، مقدار بهینه آن تعیین شد. سپس برای بررسی مقدار اثر نانوذرات سیلیس بر مقدار شوری آب دریای خزر، غلظت پارامترهای مورد مطالعه در شرایط دوز بهینه نانوذرات سیلیس و مقدار بهینه اسیدپتته، با مقدار هریک از آنها در نمونه خام آب دریا مقایسه شد.

۳. نتایج

۳.۱. مشخصات نمونه آب دریای خزر

نمونه خام آب دریا برای اندازه‌گیری غلظت هریک از پارامترهای هدایت الکتریکی، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و کدورت به آزمایشگاه آب انتقال یافت و غلظت هریک از پارامترهای مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. نتایج در جدول ۱ ارائه شده است.

۳.۲. بررسی تأثیر دوزهای گوناگون نانوذرات سیلیس

بر مقدار هریک از پارامترهای مورد مطالعه

در شرایط دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و $\text{pH} = 8.23$ (اسیدپتته اولیه آب دریای خزر)، مقدار دوزهای ۰/۱

۳۵۰۰ با استفاده از دستگاه جذب اتمی^۱ اندازه‌گیری شد. اسیدپتته نمونه آب در همان لحظات اولیه نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه pH متر مدل Crison 32 GLP اندازه‌گیری شد. سپس در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و مقدار اسیدپتته‌های برابر (معادل اسیدپتته اولیه آب دریای خزر)، دوزهای گوناگون نانوذرات سیلیس به نمونه‌های آب دریا افزوده و عمل اختلاط و ته‌نشینی با استفاده از دستگاه جارتست چهار محفظه‌ای ساخت شرکت زاگرس شیمی ایران انجام شد. دوزهای افزوده شده شامل هشت دوز گوناگون ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ گرم بر لیتر بوده است که پس از افزودن به نمونه‌های آب به مدت ۱ دقیقه با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه و سپس به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۴۰ دور در دقیقه با نمونه‌های آب مخلوط شد و پس از آن دستگاه به مدت ۳۰ دقیقه متوقف شد تا لخته‌های ایجاد شده ته‌نشین شوند (Degremont, 1991). سپس با استفاده از پپیت از قسمت میانی هریک از بشرهای دستگاه جارتست، مقداری از آب نمونه برداری شد و کدورت هریک از آنها با دستگاه کدورت‌سنج اندازه‌گیری شد. پس از آن با دستگاه هدایت‌سنج مقدار هدایت الکتریکی و با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر غلظت سدیم و پتاسیم و همچنین با استفاده از دستگاه جذب اتمی مقدار کلسیم و منیزیم نمونه آب حاوی دوزهای گوناگون نانوذرات سیلیس اندازه‌گیری شد و براساس مقادیر به دست آمده مقدار دوز بهینه تعیین شد. پس از تعیین مقدار دوز بهینه، برای تعیین دقیق‌تر مقدار آن، مجدداً آزمایش جار با همان شرایط قبل از نظر دما و مقدار اسیدپتته، با مقدار دوزهای نزدیک به دوز بهینه به دست آمده در مرحله قبل انجام شد. در مرحله دوم در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و مقدار اسیدپتته‌های برابر (معادل اسیدپتته اولیه آب دریا) دوزهای ۰/۴۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۰/۸۵ گرم بر لیتر نانوذرات سیلیس به هریک از بشرهای حاوی نمونه‌های آب دریا افزوده شد و اختلاط تند، کند و مدت زمان ته‌نشینی همانند مرحله قبل انجام شد و پس از طی مدت زمان ته‌نشینی مجدداً با پپیت از قسمت میانی هریک از بشرها مقداری از آب نمونه برداری شد و غلظت هریک از پارامترهای کدورت، هدایت الکتریکی، سدیم و پتاسیم اندازه‌گیری شد و

1. Atomic Absorption

۰/۲۵، ۰/۴۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۰/۸۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ گرم بر لیتر نانوذرات سیلیس به نمونه‌های آب دریا افزوده شد و پس از اختلاط و ته‌نشینی، مقدار هریک از پارامترهای هدایت الکتریکی، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و کدورت آب اندازه‌گیری و نتایج در جدول ۲ ارائه شد.

جدول ۱. غلظت پارامترهای مورد مطالعه در نمونه خام آب دریای خزر

پارامتر	واحد	مقدار	پارامتر	واحد	غلظت
اسیدیته	—	۸/۲۳	سدیم	mg/l ^۱	۵۱۰۰
دما	سانتی‌گراد	۲۵	پتاسیم	mg/l	۱۲۸۲
هدایت الکتریکی	ms/cm ^۲	۱۸/۳۶	کلسیم	mg/l	۹۰۹
کدورت	NTU ^۳	۰/۹۸	منیزیم	mg/l	۲۰۰/۸

جدول ۲. غلظت پارامترهای مورد مطالعه در شرایط اسیدیته اولیه آب دریا و مقادیر گوناگون نانوذرات سیلیس

پارامتر	واحد	دوز نانوذرات سیلیس (گرم بر لیتر)									
		۲/۵	۲	۱/۵	۱/۲۵	۱	۰/۸۵	۰/۷۵	۰/۵	۰/۴۵	۰/۲۵
هدایت الکتریکی	ms/cm	۱۶/۴۰	۱۶/۵۴	۱۶/۱۱	۱۶/۳۵	۱۶/۳۹	۱۶/۴۶	۱۶/۵۳	۱۶/۵۵	۱۶/۵۵	۱۶/۴۰
سدیم	mg/l	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۳۷۵۸	۳۸۰۰	۳۷۵۸	۳۹۰۹	۴۷۰۰	۴۱۰۰	۴۹۰۰	۵۱۰۰
پتاسیم	mg/l	۸۹۶	۱۲۸۲	۱۵	۲۲۰	۱۵	۳۰/۵	۹۹۳	۱۰۸۹	۸۰۰	۹۹۳
کلسیم	mg/l	۹۹۱	۹۵۳	۱۸۰	۲۰۴	۱۸۵	۲۱۱	۸۸۱	۹۵۰	۹۵۵	۹۶۵
منیزیم	mg/l	۱۹۹/۶	۱۹۳	۱۷۲	۴۶۱	۵۱۸	۵۰۵	۱۸۸	۲۵۰	۲۸۰	۵۶۵
کدورت	NTU	۰/۲	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۴	۰/۳۸	۰/۲۸	۰/۸۹	۰/۹۸	۱/۱۲

نتایج آزمایش‌های اولیه نشان داد که مقادیر گوناگون نانوذرات سیلیس تحت دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و مقدار اسیدیته اولیه آب دریا (معادل ۸/۲۳) بر مقدار هریک از پارامترهای بررسی شده تأثیر داشته است. از میان دوزهای گوناگون نانوذرات سیلیس، مقدار دوز ۰/۴۵ گرم بر لیتر بیشترین تأثیر را در مقدار پارامترهای مورد مطالعه داشت؛ به گونه‌ای که، تحت دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و $\text{pH} = 8/23$ و مقدار دوز ۰/۴۵ گرم بر لیتر نانوذرات سیلیس، مقدار هدایت الکتریکی از مقدار ۱۸/۳۶ ms/cm به ۱۶/۱۱ ms/cm، غلظت سدیم از ۵۱۰۰ mg/l به ۳۷۵۸ mg/l، غلظت پتاسیم از مقدار ۱۲۸۲ mg/l به ۱۵ mg/l، مقدار

کلسیم از ۹۰۹ mg/l به ۱۸۰ mg/l، غلظت منیزیم از ۲۰۰/۸ mg/l به ۲۰۰/۸ mg/l و مقدار کدورت نیز از مقدار اولیه ۰/۹۸ NTU به ۰/۱۹ NTU کاهش یافت. بنابراین، از آنجاکه مقدار دوز ۰/۴۵ گرم بر لیتر نانوذرات سیلیس، در مقایسه با سایر مقادیر بررسی شده، بیشترین تأثیر را در مقدار پارامترهای مورد مطالعه داشته است، دوز بهینه انتخاب شد.

۳.۳. بررسی تأثیر مقادیر گوناگون اسیدیته آب دریای

خزر بر مقدار هریک از پارامترهای مورد مطالعه

برای تعیین مقدار بهینه اسیدیته آب دریای خزر،

1. Milligrams Per liter

2. Millisiemens Per Centimeter

3. Nephelometric Turbidity Unit

مقدار هر یک از پارامترهای مورد مطالعه، تحت مقدار اسیددیده‌های گوناگون (شامل مقدار اسیددیده‌های ۲ الی ۱۰)، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و مقادیر برابر

نانوذرات سیلیس (معادل مقدار دوز بهینه ۰/۴۵ گرم بر لیتر) بررسی و نتایج در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. غلظت پارامترهای مورد مطالعه در شرایط مقدار دوز بهینه نانوذرات سیلیس و مقادیر گوناگون اسیددیده

مقدار اسیددیده									واحد	پارامتر
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲		
۶/۳۵	۱۴/۰۹	۱۶/۰۳	۱۵/۸۴	۱۶/۲	۱۶/۷۳	۱۵/۹۶	۱۶/۷۹	۱۹/۱۴	ms/cm	هدایت الکتریکی
۰	۴۸۴۵	۳۹۰۶	۳۹۰۶	۳۴۰۹	۲۹۱۱	۴۶۳۹	۴۴۸۵	۴۱۷۵	mg/l	سدیم
۰	۲۷/۵	۱/۴۵	۰/۹۶	۰/۴۸	۱۳/۵	۱۳/۵	۱۳/۵	۰	mg/l	پتاسیم
۱۶۴	۲۶۹	۹۳۷	۸۱۰	۹۲۵	۳۲۵	۲۸۶	۲۸۸	۲۶۹	mg/l	کلسیم
۱۷۰	۷۱۵	۲۱۳/۶	۱۷۲	۱۶۹	۷۱۹	۷۸۳	۷۶۹	۷۶۰	mg/l	منیزیم
۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۴	NTU	کدورت

چشمگیری در غلظت سدیم آب دریا داشت و غلظت آن را از ۵۱۰۰ mg/l به صفر کاهش داد.

همچنین، نتایج آزمایش‌ها نشان داد که مقادیر گوناگون اسیددیده آب در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و مقدار دوزهای برابر نانوذرات سیلیس در کاهش غلظت پتاسیم آب دریای خزر تأثیرگذار بوده است. از میان مقدار اسیددیده‌های بررسی‌شده، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و مقدار دوز ۰/۴۵ گرم بر لیتر نانوذرات سیلیس، مقدار اسیددیده‌های $pH=2$ و $pH=10$ بیشترین تأثیر را در غلظت این پارامتر داشته‌اند؛ به‌گونه‌ای که، تحت این مقدار از اسیددیده‌ها، غلظت پتاسیم نمونه آب از مقدار ۱۲۸۲ mg/l به مقدار زیر حد تشخیص دستگاه فلیم فوتومتر کاهش یافت.

۴.۳. بررسی تأثیر مقادیر گوناگون اسیددیده آب دریا

بر مقادیر غلظت کلسیم و منیزیم

نتایج حاصل از آزمایش‌های نهایی بر مقدار غلظت پارامترهای کلسیم و منیزیم آب دریا نشان داد که تحت دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و مقدار دوزهای برابر نانوذرات سیلیس (معادل مقدار دوز ۰/۴۵ گرم بر لیتر)، مقادیر گوناگون اسیددیده آب در غلظت این دو پارامتر تأثیر داشته است. غلظت کلسیم نمونه آب، تحت مقدار اسیددیده‌های $pH=6$ و $pH=8$ ، نه تنها کاهش نیافت، بلکه از مقدار اولیه آن نیز بیشتر شد. در

۴.۳. بررسی تأثیر مقادیر گوناگون اسیددیده آب دریا

بر مقدار هدایت الکتریکی

نتایج اندازه‌گیری مقدار هدایت الکتریکی آب دریا نشان داد که در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و مقادیر برابر نانوذرات سیلیس، مقادیر گوناگون اسیددیده آب دریا در مقدار هدایت الکتریکی تأثیر داشته است. به‌طوری‌که تحت شرایط ذکرشده، مقدار هدایت الکتریکی آب دریا در مقدار اسیددیده $pH=10$ بیشترین کاهش را داشت و مقدار آن از ۱۸/۳۶ ms/cm در نمونه خام آب دریا به ۶/۳۵ ms/cm کاهش یافت. درحالی‌که در همان شرایط از نظر مقدار دما و نانوذرات سیلیس، مقدار اسیددیده $pH=2$ در مقدار هدایت الکتریکی آب تأثیری نداشت و سایر مقادیر اسیددیده بررسی‌شده در کاهش مقدار این پارامتر تأثیر چندانی نداشته‌اند.

۵.۳. بررسی تأثیر مقادیر گوناگون اسیددیده آب دریا

بر غلظت سدیم و پتاسیم

در شرایط دمایی یکسان و مقدار دوزهای برابر نانوذرات سیلیس، مقادیر گوناگون اسیددیده آب، به تغییر مقدار غلظت سدیم آب دریای خزر منجر شد. از میان مقادیر اسیددیده مورد بررسی (مقدار اسیددیده‌های ۲ الی ۱۰)، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، مقدار دوز ۰/۴۵ گرم بر لیتر نانوذرات سیلیس در مقدار اسیددیده $pH=10$ تأثیر

$\text{pH} = 10$ مؤثرترین مقادیر در کاهش مقدار پارامترهای مورد مطالعه بوده‌اند؛ بنابراین، مقدار دوز $0/45$ گرم بر لیتر مقدار دوز بهینه و $\text{pH} = 10$ مقدار اسیدیته بهینه، برای شیرین‌سازی آب دریای خزر به دست آمد. سپس، برای بررسی کیفیت آب شیرین حاصل شده برای مصارف کشاورزی، نسبت جذب سدیم^۱ (SAR) آب شیرین شده، که از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده کیفیت آب آبیاری است، با استفاده از فرمول ۱ محاسبه و همراه با پارامتر هدایت الکتریکی براساس راهنمای کیفیت آب آبیاری سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل (FAO)^۲، بررسی شد (جدول ۴) (FAO, 1994).

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} / 2}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در فرمول ۱، Na = مقدار غلظت سدیم، Ca = مقدار غلظت کلسیم، Mg = مقدار غلظت منیزیم بر حسب میلی‌اکی والان برلیترند. براساس فرمول بالا، مقدار نسبت جذب سدیم آب شیرین شده در شرایط مقدار دوز و اسیدیته بهینه صفر شده است.

مقابل، غلظت این پارامتر در $\text{pH} = 10$ بیشترین کاهش را داشت و از 909 mg/l به 164 mg/l رسید. غلظت منیزیم آب دریا نیز در دمای 25 درجه سانتی‌گراد و مقادیر برابر نانوذرات سیلیس در مقدار اسیدیته‌های گوناگون آب تغییر یافت. به طوری که تحت شرایط مذکور غلظت منیزیم آب در $\text{pH} = 10$ بیشترین کاهش را داشت و غلظت آن از مقدار $200/8 \text{ mg/l}$ در نمونه خام آب دریا به 170 mg/l کاهش یافت.

۷.۳. بررسی تأثیر مقادیر گوناگون اسیدیته آب دریا بر مقدار کدورت

نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار کدورت آب نشان داد که، در شرایط یکسان از نظر مقدار دما و نانوذرات سیلیس، مقادیر گوناگون اسیدیته آب بر مقدار این پارامتر تأثیر داشته است. مقدار دوز $0/45 \text{ g/l}$ نانوذرات سیلیس تحت مقدار اسیدیته‌های $\text{pH} = 2$ و $\text{pH} = 3$ بیشترین اثر را بر مقدار کدورت نمونه آب داشت و مقدار آن را از $0/98 \text{ NTU}$ در نمونه خام آب دریا به $0/14 \text{ NTU}$ کاهش داد.

به طور کلی، نتایج آزمایش‌های نهایی نشان داد که مقدار دوز $0/45$ گرم بر لیتر نانوذرات سیلیس و مقدار

جدول ۴. مشخصات آب مناسب برای مصارف کشاورزی و آبیاری (FAO, 1994)

پارامتر	واحد	مقدار محدودیت استفاده		
		بدون محدودیت	کم تا متوسط	شدید
هدایت الکتریکی (EC)	ds/m	$0/7 >$	$0/7 - 3$	$3 <$
SAR	EC			
۰ - ۳	EC	$0/7 <$	$0/2 - 0/7$	$0/2 >$
۳ - ۶	EC	$1/2 <$	$0/3 - 1/2$	$0/3 >$
۶ - ۱۲	EC	$1/9 <$	$0/5 - 1/9$	$0/5 >$
۱۲ - ۲۰	EC	$2/9 <$	$1/3 - 2/9$	$1/3 >$
۲۰ - ۴۰	EC	$5 <$	$2/9 - 5$	$2/9 >$
محدوده نرمال اسیدیته	-		$6/5 - 8/4$	

با کمبود منابع آب شیرین از آن استفاده می‌کنند (Kastani, 1998). تقطیر، تبادل یونی، خورشیدی، انجماد و روش‌های غشایی از جمله روش‌های متداول

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نمک‌زدایی از آب شور دریاها و اقیانوس‌ها از متداول‌ترین روش‌هایی است که اکثر کشورهای جهان برای تأمین بخشی از آب مصرفی خود و همچنین مقابله

1. Sodium Absorption Ratio
2. Food and Agriculture Organization

در سطح ذرات به یون‌های کلسیم و منیزیم موجود در آب دریا افزوده و به افزایش هرچه بیشتر غلظت این پارامترها در آب منجر می‌شود. از سوی دیگر، نتایج آزمایش‌ها بیانگر آن بود که در شرایط برابر از نظر دما و مقدار نانوذرات سیلیس، مقادیر گوناگون اسیدیته آب بر مقدار غلظت هریک از پارامترهای مورد مطالعه مؤثر بوده است. این نکته بیانگر آن است که مقدار اسیدیته آب دریا با تأثیر در مقدار حلالیت عناصر سبب تغییر در غلظت آنها در آب می‌شود؛ به طوری که نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در $\text{pH} = 10$ ، که اسیدیته آب قلیایی است، غلظت پارامترهای مورد مطالعه به‌طور چشمگیری کاهش یافته و غلظت سدیم و پتاسیم آب دریا به مقدار زیر حد تشخیص دستگاه فلیم فوتومتر رسیده است. مقایسه مقدار پارامترهای مورد مطالعه با مقادیر استاندارد کیفیت آب مناسب برای مصارف کشاورزی سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل (FAO) نشان داد که آب شیرین شده با نانوذرات سیلیس، از نظر مقدار نسبت جذب سدیم (SAR)، در زمره آب‌هایی است که فاقد هرگونه محدودیت برای استفاده در بخش کشاورزی و آبیاری اند و از نظر مقدار اسیدیته و هدایت الکتریکی نیز، با رعایت شرایط خاص، برای آبیاری مزارع و گیاهان مناسب است. بنابراین، با توجه به اینکه مقدار هدایت الکتریکی آب شیرین شده براساس استاندارد فائو (FAO) در رده آب‌هایی با محدودیت زیاد قرار دارد، استفاده از این آب برای آبیاری اراضی مناطق شمالی کشور، که بارندگی زیاد این مناطق به شست‌وشوی لایه‌های خاک از املاح محلول منجر می‌شود، مناسب است. همچنین، استفاده از خاک‌هایی با درجه تخلخل زیاد، مانند خاک‌های ماسه‌ای، در زهکشی طبیعی خاک و خروج املاح از نواحی اطراف ریشه‌ها مؤثر است. از سوی دیگر، برای کاهش مقدار اسیدیته آب شیرین شده، می‌توان از مواد آلی هم‌چون کودهای آلی استفاده کرد که در تعدیل مقدار اسیدیته خاک بسیار مؤثرند. این تحقیق و موارد مشابه آن می‌تواند تا حد بسیار زیادی، با هزینه تولید بسیار کم، در جهت بهبود وضعیت منابع آب شیرین جهان از جمله کشور ما به‌خصوص در عرصه کشاورزی استفاده شود که بخش اعظمی از منابع آب شیرین را به خود اختصاص می‌دهد.

نمک‌زدایی از آب دریایند که امروزه اکثر کشورها از آنها استفاده می‌کنند. اما استفاده از هریک از این روش‌ها به احداث تأسیسات بزرگ و پرهزینه، تأمین مقدار زیاد انرژی برای کار دستگاه‌ها، هزینه‌های مربوط به نگهداری و تعمیر قطعات و به‌کارگیری افراد متخصص نیاز دارد و از سوی دیگر فعالیت این دستگاه‌ها به ایجاد آلودگی حرارتی در آب و به‌هم‌خوردن تعادل زیستگاه آبیان می‌شود؛ بنابراین، با محدودیت‌های فراوانی روبه‌روست و شیرین‌سازی آب‌های شور با آنها به‌خصوص در مقیاس‌های وسیع بسیار پرهزینه است (Kardavani, 1992). در این تحقیق، برای شیرین‌سازی آب دریای خزر برای تأمین آب بخش کشاورزی، به‌دلیل دارابودن خصوصیات ویژه و همچنین اقتصادی بودن آن در مقایسه با سایر روش‌های نمک‌زدایی موجود، از نانوذرات سیلیس با قطر ذرات کوچک‌تر از ۵۰ نانومتر استفاده شد. تاکنون تحقیقی مبنی بر استفاده از این ماده برای شیرین‌سازی آب‌های شور در داخل و خارج از کشور صورت نگرفته است که نتایج به‌دست آمده با نتایج آنها مقایسه شود، ولی نتایج این تحقیق با مطالعات گذشته در زمینه حذف عناصر کادمیوم، نیکل و سرب از محلول آبی هم‌خوانی دارد که تأییدکننده توانایی نانوذرات سیلیس بر حذف ناخالصی‌ها و آلودگی‌های آب است (Heidari et al., 2005). یافته‌های این پژوهش بیانگر آن است که مقدار اسیدیته آب دریا و مقادیر گوناگون نانوذرات سیلیس بر مقدار پارامترهای اصلی شوری آب شامل هدایت الکتریکی، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و کدورت مؤثر بوده و به کاهش غلظت هریک از آنها منجر شده است. با توجه به نتایج آزمایش‌ها، می‌توان بیان کرد که در شرایط یکسان از نظر دما و اسیدیته آب، با تغییر مقادیر دوزهای نانوذرات سیلیس، غلظت هریک از پارامترها متفاوت است. چنین نیست که با افزایش مقدار دوزهای ماده منعقدکننده غلظت پارامترهای مورد مطالعه کاهش بیشتری یابد، بلکه نتایج آزمایش‌ها همواره نشان‌دهنده آن بود که با افزایش مقادیر دوز نانوذرات سیلیس غلظت دو پارامتر کلسیم و منیزیم افزایش می‌یابد و دلیل آن وجود عوامل کاتیونی از نوع کلسیم (Ca^{2+}) و منیزیم (Mg^{2+}) در سطح ذرات سیلیس است که به دنبال افزایش مقدار نانوذرات سیلیس در نمونه آب یون‌های کلسیم و منیزیم موجود

References

1. Alizadeh, Mohammad (1994) "Water and Population Two Tension Creator Factors in Iran," *Water and Development*, 7: 32.
2. A.P.H.A., A.W.W.A., W.E.F (1998) *Standard Method for the Examination of Water and Waste*, 20th Edition.
3. Clesceri, Lenore, Greenberg, Arnold, Eaton, Andrew (1999) *Standard Method for The Examination of Water and Waste Water*, 20th Edition.
4. Degremont (1991) *Water Treatment Handbook*, sixth edition, Volume 2, Chapter 10 (Flocculation, Settling, Flotation).
5. FAO, Water Quality for Agriculture (1994) "FAO Irrigation and Drainage Papers 29," <http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.htm>. Retrieved:20.5. 2012.
6. FAO (1997) "Irrigation in the near east in figures," water report, Issue 9, FAO Rome, Italy. <http://www.fao.org/docrep/W4356E/W4356E00.htm>. Retrieved:14.10.2011.
7. Fazeli, M, Rashidi (2006) "Evaluation of Using of Nano Filtration Technology in Water Treatment (The Case Study of Khamir Bay Wells)," Research Project, Electricity and Water Industry.
8. Heidari, Aghdas, Younesi, Habibollah, Mehraban, Zahra (2005) "Removal of Ni(II), Cd(II), and Pb(II) from a ternary aqueous solution by amino functionalized mesoporous and nano mesoporous silica," *Chemical Engineering*, 153: 70-79.
9. Kardavani, Parviz (1992) *Water Resources and Issues in Iran (Salt Water, Issues and Ways to Use Them)*, Ghomes, Press, 165- 168. (in Persian)
10. Kardavani, Parviz (2004) "Water Resources and Issues in Iran," University Press, Tehran, 39: 40: 164-166. (in Persian)
11. Kastani, Gilbert (1998) *Recognition of Water Resources*, Gilan, University Press, 159, 160, 162, 163, 165. (in Persian)
12. Khodarahm Bazi, khosravy, Soomaye, Javadi, Masomeh, Hoosin Nejad, Mojtaba, (2010) "Water crisis in the Middle East (challenges and solutions)," *4th International Congress of the Islamic World Geographers*, Zahedan, Iran.
13. Ltifi, Mounir, Guefrech, Achraf, Mounanga, Pierre, Khelidj, Abdelhafid (2011) "Experimental study of the effect of addition of nano-silica on the behaviour of cement mortars," *Procedia Engineering*, 10: 900-905.
14. Luciano senff, Joao A. Labrincha, Victor M Ferreira, Dachmir Hotza, Wellington L. Repette (2008) "Effect of nano-silica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars," *Construction and Building Materials*, 23: 2487-2491.
15. National Cartographic (2007) <http://www.ncc.org.ir>. IR 4028. Retrieved: 5.8.2012.
16. -Rasuly, Aliakbar, Naghdifar, Rezvan, Rasoli, Mehdi 2010. "Monitoring of Caspian Sea Coastline Changes Using Object-Oriented Techniques," *Procedia Environmental Sciences*, 2: 416- 426.
17. Scrinzi, S. Rossi, P. Kamarchik, F. Deflorian (2011) "Evaluation of durability of nano-silica containing clear coats for automotive applications," *Progress in Organic Coatings*, 71: 384- 390.
18. Shih, Jeng-Ywan, Chang, Ta-Peng, Hsiao, Tien-Chin (2006) "Effect of nanosilica on characterization of Portland cement composite," *Material Science and Engineering*, 424: 266- 274.
19. Syed, Sabir, Alhazza, M.I, Asif, M (2010) "Treatment of oily water using hydrophobic nano-silica," *Chemical Engineering*, 167: 99-103.
20. Vass, Alex (2002) "Half of The World Will Face Water Shortages by 2032," *bmj Journal*, 324: 1293. <http://www.bmj.com>. Retrieved: 5.6.2012.