

بازیافت شوراب سیستم RO با نانو مواد سازگار در محیط زیست برای آبیاری

فاطمه رحمان^{۱*}، غلامرضا نبی بیدهندی^۲، فرود شریفی^۳، ناصر مهرداد^۴، فرنگیس رحمان^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵

چکیده

شوری زدایی آب با استفاده از سیستم RO در حال گسترش می باشد. با توجه به حجم زیاد شوراب دور ریز این سیستم تصفیه، بازیافت آن برای آبیاری می تواند گامی مؤثر در توسعه پایدار محیط زیست محسوب گردد. در این تحقیق، تصفیه شوراب RO در سه مرحله انجام شد: با محلول اکسیدگرافن، با لجن اکسیدگرافن، با محلول اکسیدگرافن و سپس لجن اکسیدگرافن. نتایج نشان داد که درصد کاهش هدایت الکتریکی شوراب با محلول اکسیدگرافن برابر با ۴۸/۸۴٪ (کاهش از $12,000 \mu\text{S/cm}$ به $6,139 \mu\text{S/cm}$)، با لجن اکسیدگرافن برابر با ۱۰٪ (کاهش از $12,000 \mu\text{S/cm}$ به $10,800 \mu\text{S/cm}$)، با محلول اکسیدگرافن و سپس لجن اکسیدگرافن ۵۱/۹٪ (کاهش از $12,000 \mu\text{S/cm}$ به $5,772 \mu\text{S/cm}$) بوده است. pH شوراب تصفیه شده با اکسیدگرافن با اندک تغییری یا بدون تغییر، ثابت ماند. نتایج حاصل با رهنمود و استاندارد کیفیت آب ایران برای آبیاری مطابقت داشت. از مزایای استفاده از این روش تصفیه، سهولت و سرعت انجام کار به مدت کوتاه حداکثر ۱۰ دقیقه بوده است. لجن اکسیدگرافن، غلیظتر و کمتر از مقدار لجن دیگر فرایندهای متداول تصفیه آب بود. با توجه به ساختار کربنی لجن حاصل، قابل خشک کردن و سپس قابل دفع در محیط زیست می باشد. براساس نتایج ذکر شده، به نظر می رسد روش جدید تصفیه شوراب با اکسیدگرافن می تواند به عنوان روشی سازگار با محیط زیست برای سیستم های تصفیه RO، مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: اکسیدگرافن، شوراب، هدایت الکتریکی، RO

مقدمه

کمبود آب شیرین در سطح جهان همچنان رو به افزایش است. یکی از قوی ترین روش ها برای دسترسی مطمئن به آب شیرین، نمک زدایی است. جستجو برای فرایندهای آب شیرین کن کارآمدتر و کم انرژی تر، بیشترین اهمیت را در برنامه تحقیقاتی دارد (Hegab et al., 2015). نمک زدایی فرایندی است که آب خالص را از آب جدا می کند و یک راه حل مؤثر برای کمبود آب می باشد (You et al., 2016). شوری آب در سه بخش شرب، صنعت و کشاورزی مشکلات زیادی را به همراه دارد و عملاً استفاده از این آب ها را غیرممکن می سازد. شوری یکی از معیارهای تعیین کننده کیفیت آب قلمداد می شود.

شوری آب براساس کل مواد جامد محلول بر حسب میلی گرم بر لیتر سنجش می گردد (چهره راضی، ۱۳۹۶). جذب به عنوان

یک روش مؤثر و اقتصادی در تصفیه آلاینده های آب تشخیص داده شده است. فرآیند جذب دارای انعطاف پذیری در طراحی و راهبری فرآیند تصفیه است همچنین، در بسیاری از موارد، پساب با کیفیت بالا حاصل می کند. انتظار می رود جاذب هایی که دارای سطح بزرگ، حجم منافذ و عملکردهای مناسب هستند مؤثرتر عمل نمایند (Salih et al., 2016). روش جذب مناسب ترین روش برای مطالعه تجمع یون ها، روغن ها و رنگ های آلی در شبکه های متخلخل است (Tabish et al., 2018). به دلیل طراحی و عملکرد ساده و آسان، انعطاف پذیری در طراحی، هزینه پایین طراحی و بهره برداری، راندمان بالا و عدم تولید محصولات جانبی خطرناک، فرایند جذب به عنوان یک روش امیدوار کننده برای حذف میکرو آلاینده های آلی و غیر آلی است. بنابراین، توسعه انواع جدید جاذب های کارآمد مهم است (Ma et al., 2015). در استفاده از فرآیند جذب، انتخاب جاذبی با راندمان بالا و جداسازی سریع و آسان جاذب پس از تصفیه، دو چالش عمده به شمار می آیند (آذری و همکاران، ۱۳۹۵). جاذب ها متغیر می باشند شامل: رُس ها، زائدات جامد صنعتی، مواد پلیمر آلی و غیره. بسیاری از آنها دارای ظرفیت جذب کم و بازیافت مشکل می باشند (Yang et al., 2018). با توجه به محدودیت میزان جذب توسط جاذب های طبیعی و پلیمری، توجه محققان به استفاده از جاذب ها با پایه کربنی

۱- دانش آموخته دکتری، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- استاد دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- دانشیار وزارت کشاورزی، تهران، ایران

۴- استاد دانشگاه تهران، تهران، ایران

۵- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: Rahman1393@chmail.ir)

قرار گرفته است. لازم به ذکر است که پارامترهای TDS^2 و EC^3 دارای ارتباط مستقیم خطی می‌باشند (Amiri et al., 2014).

مواد و روش‌ها

اکسیدگرافن یک نانو مواد کربنی دو بعدی، دارای سطح ویژه فوق‌العاده بزرگ، فراوانی گروه‌های حاوی اکسیژن (مثل OH- و COOH) و قابلیت پراکندگی عالی در آب است (Cheng et al., 2015). اکسیدگرافن دارای ساختاری چندضلعی مانند ورقه‌ای، غیریکنواخت و با دانسیته کم می‌باشد (آذری و همکاران، ۱۳۹۵). در میان جاذب‌های کربن، به اکسیدگرافن به دلیل پراکندگی خوب در آب، سازگاری زیستی و روش‌های ساخت نسبتاً آسان و مقرون به صرفه، به عنوان یک جاذب کارآمد برای رنگ‌ها و یون‌های فلزات سنگین توجه زیادی شده است (Awad et al., 2017). همچنین، اکسیدگرافن ویژگی‌های ضد میکروبی را نیز نشان می‌دهد (Homaeigohar et al., 2017). در این تحقیق از محلول اکسیدگرافن ساخت شرکت ناماگو و شرکت تدبیرگران کیمیاپیش‌تاز در کشور ایران استفاده شده است. ویژگی‌های اکسیدگرافن مورد استفاده مطابق با کاتالوگ شرکت سازنده به طور مختصر به شرح (جدول ۱) می‌باشد. اکسیدگرافن استفاده شده، تک‌لایه است. این محصول از اکسیداسیون گرافیت با استفاده از روش هامر اصلاح شده به دست آمده است. در مقایسه با ورق‌های اکسیدگرافن تجاری که عموماً دارای ابعاد جانبی کمتر از ۵ میکرون هستند، این اکسیدگرافن تک‌لایه از گرافن اکسید شده با ابعاد جانبی بزرگتر (تا ۰/۱ میلیمتر) تشکیل شده است. این محصولات برای کاربردهای متنوع مانند الکترونیک، مواد کامپوزیتی، انرژی و غیره ارائه می‌شود. این اکسیدگرافن یک ماده قطبی و کاربردی است که دارای چندین نوع از گروه‌های اکسیژن است و در حلال‌های قطبی (آب و اتانول) در دسترس است.

جدول ۱- ویژگی‌های اکسیدگرافن مورد استفاده در تحقیق حاضر

۵-۱۰۰	ابعاد جانبی (میکرومتر)
۰/۷-۱/۴	ضخامت (نانومتر)
< ۰/۱ %	مقدار نیتروژن
۱/۳	نسبت کربن به اکسیژن
C2.0O1.54	فرمول اکسیدگرافن
OH , COOH , C-O-C	گروه‌های تشکیل دهنده
تا ۲۰ میلی گرم/میلی لیتر	مقدار گرافن
قهوه ای مایل به زرد با بافت ناهمسان	شکل ظاهری

که دارای دانسیته پایین و ظرفیت بالا می‌باشند، معطوف شده است (آذری و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین، جستجوی جاذب‌های جدید با مساحت سطح ویژه زیاد، ظرفیت جذب بالا، سرعت جذب سریع و واکنش سطحی ویژه بسیار مهم است (Majumdar, 2017). پیشرفت‌های اخیر منجر به استفاده از غشای اکسیدگرافنی در کاربرد نمک‌زدایی به دلیل کارآمدی بیشتر و مصرف انرژی کمتر شده است (ظهیری فر و همکاران، ۱۳۹۴). در میان انواع جاذب‌ها، اکسیدگرافن دارای ساختار تک‌لایه کربن با سطح فعال قابل توجه بوده که به صورت متراکم و به حالت یک شبکه لانه زنبوری کریستالی یافت می‌شود (آذری و همکاران، ۱۳۹۵). اکسیدگرافن یک گرافن اصلاح شده شیمیایی با گروه‌های عملکردی اکسیژن می‌باشد (Gao et al., 2014). اکسیدگرافن شکل بیشتر اکسید شده و بیشتر قابل تجزیه بیولوژیکی گرافن است (Jasim, 2016). در مقایسه با جاذب‌های دیگر، جاذب اکسیدگرافن دارای سطح فوق‌العاده زیاد ($2630 \text{ m}^2/\text{g}$) است. اکسیدگرافن دارای قابلیت حذف آلودگی آب است (Yang et al., 2018). اکسید گرافن دارای نسبت بالای سطح به حجم و ویژگی‌های سطحی است (Wang et al., 2013). اکسیدگرافن در مقایسه با مواد کربنی، ویژگی جذب بالا را نشان می‌دهد و بنابراین نقش قابل توجهی در فن‌آوری تصفیه فاضلاب دارد (Majumdar, 2017). اکسیدگرافن با استفاده از اکسیداسیون گرافیت (ارزان و در دسترس) بدست می‌آید سپس در محلول‌های اصلی (مینا) پراکنده می‌شود. اکسیدگرافن شامل لایه‌های تک اتمی گرافن همراه با گروه‌های عملکردی اکسید شده در ساختار و روی لبه‌های ورق‌های گرافن می‌باشد. اکسید گرافیت شامل اتم‌های C و O و H است (Boretti et al., 2018). در مرحله اول، توده گرافیت اکسیداسیون شیمیایی می‌شود تا اکسید گرافیت آبدوست حاصل شود. اکسید گرافیت سپس به اکسیدگرافن تک‌لایه یا چندلایه تبدیل می‌شود که می‌تواند با روش‌های مختلف حرارتی و مکانیکی با استفاده از روش هامر، هامر اصلاح شده یا هافمن به دست آید. ایجاد صوت یا همزدن (تکان دادن) در آب متداول‌ترین روش است. لایه لایه نمودن توده اکسید گرافیت در یک حمام اولتراسونیک سبب رنگ قهوه‌ای و نیمه شفاف اکسیدگرافن می‌شود (Loryuenyong et al., 2013). ساخت اکسیدگرافن شامل یک سطح پایه و لبه‌های تزئینی با گروه‌های عملکردی حاوی اکسیژن مانند هیدروکسیل، اپوکسید و کربونیل است (Pelin et al., 2017). گروه‌های عاملی فراوان اکسیدگرافن باعث ایجاد سایت‌های واکنشی کاربردی و خواص آبدوستی می‌شوند. این غشای ساده با ضخامت کمتر از چند نانومتر می‌باشد (ظهیری فر و همکاران، ۱۳۹۴). در این تحقیق، کاهش کل املاح محلول از طریق هدایت الکتریکی شوراب RO^۱ مورد سنجش

۲- کل املاح (نمک‌های محلول). Total Dissolved Solids.

۳- هدایت الکتریکی. Electrical Conductivity.

۱- اسمز معکوس. Reverse Osmosis.

این تحقیق به صورت طرح آزمایشگاهی پایلوت انجام شده است. مواد و تجهیزات مورد نیاز برای انجام آزمایش به شرح زیر می‌باشد:

الف) حجم ۲۰ سانتی‌متر مکعب شوراب RO.

ب) حجم ۲۰ سانتی‌متر مکعب محلول اکسیدگرافن با غلظت ۲ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب.

ج) حجم ۱۰ سانتی‌متر مکعب ماسه ریزدانه.

د) دو عدد کاغذ صافی آزمایشگاهی.

ه) همزن شیشه‌ای به طول ۵۰ سانتی‌متر و قاشقک چینی آزمایشگاهی.

و) دو عدد ظرف شیشه‌ای به حجم تقریبی ۲۵۰ سانتی‌متر مکعب.

ز) دستگاه سنجش EC و pH آب.

*روش انجام آزمایش به شرح مراحل زیر می‌باشد:

۱) حجم ۲۰ سانتی‌متر مکعب شوراب RO در یک ظرف شیشه‌ای به حجم تقریبی ۲۵۰ سانتی‌متر مکعب ریخته شد. سپس اندازه‌گیری دستگاهی EC و pH اولیه انجام شد.

۲) حجم ۲۰ سانتی‌متر مکعب محلول اکسیدگرافن با غلظت ۲ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب به ظرف شیشه‌ای اضافه شد. رنگ قهوه‌ای تیره ایجاد شده است.

۳) حجم ۱۰ سانتی‌متر مکعب ماسه ریزدانه به ظرف شیشه‌ای اضافه شد.

۴) هر سه ماده درون ظرف شیشه‌ای با همزن به مدت ۳ دقیقه مخلوط گردید. رنگ قهوه‌ای شکلاتی ایجاد شده است. تغییر رنگ ایجاد شده در مخلوط نشانه تأثیر اکسیدگرافن بر املاح محلول در آب می‌باشد.

۵) محتویات ظرف شیشه‌ای از کاغذ صافی آزمایشگاهی به صورت ثقلی عبور داده شد.

۶) اندازه‌گیری دستگاهی EC و pH شوراب تصفیه شده انجام شد.

۷) درصد بازده کاهش EC، pH و دمای شوراب تصفیه شده توسط محلول اکسیدگرافن با استفاده از (۱) محاسبه گردید:

$$\% \Delta X = \frac{X_i - X_f}{X_i} \times 100 \quad (1)$$

X_i = EC یا pH یا دمای اولیه آب.

X_f = EC یا pH یا دمای ثانویه آب.

ΔX = درصد بازده کاهش EC یا pH یا دمای آب.

۸) لجناب (پسماند) اکسیدگرافن ایجاد شده بر روی کاغذ صافی برای تصفیه مجدد املاح محلول شوراب RO استفاده شد.

*روش انجام آزمایش تصفیه املاح محلول شوراب RO با استفاده از لجن اکسیدگرافن حاصل از مرحله قبل به شرح زیر می‌باشد:

۱) حجم ۲۰ سانتی‌متر مکعب شوراب RO تصفیه شده در مرحله قبل، در یک ظرف شیشه‌ای تمیز دیگری به حجم ۲۵۰ سانتی‌متر مکعب ریخته شد و اندازه‌گیری دستگاهی EC و pH اولیه انجام شد.

۲) لجن اکسیدگرافن ایجاد شده بر روی کاغذ صافی در مرحله قبل، با استفاده از قاشقک چینی آزمایشگاهی به ظرف شیشه‌ای اضافه شد.

۳) حجم ۱۰ سانتی‌متر مکعب ماسه ریزدانه به ظرف شیشه‌ای اضافه شد.

۴) هر سه ماده درون ظرف شیشه‌ای با همزن به مدت ۳ دقیقه مخلوط گردید.

۵) پس از مدت زمان ماند ۳ دقیقه محتویات ظرف شیشه‌ای از کاغذ صافی تمیز دیگری به صورت ثقلی عبور داده شد.

۶) اندازه‌گیری دستگاهی EC و pH شوراب تصفیه شده توسط لجن اکسیدگرافن انجام شد.

۷) درصد بازده کاهش EC یا pH یا دمای شوراب تصفیه شده توسط لجن اکسیدگرافن با استفاده از (۱) محاسبه گردید.

*روش تعیین جرم تقریبی لجن اکسیدگرافن حاصل از کاهش املاح محلول شوراب RO به شرح مراحل زیر می‌باشد:

۱) سنجش جرمی یک عدد کاغذ صافی آزمایشگاهی با استفاده از ترازوی دیجیتالی.

۲) سنجش جرمی کاغذ صافی آزمایشگاهی مورد استفاده در مرحله اول محتوی لجن اکسیدگرافن بدون آب (مورد استفاده در فیلتراسیون مخلوط اکسیدگرافن و شوراب RO) با استفاده از ترازوی دیجیتالی.

توجه: لجن اکسیدگرافن در معرض دمای محیط (۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد) تبدیل به لجن اکسیدگرافن بدون آب شده است.

۳) از تفاضل سنجش جرمی مرحله (۱) و مرحله (۲)، جرم لجن اکسیدگرافن با استفاده از (۲) تعیین گردید.

(۲) [جرم لجن اکسیدگرافن = جرم کاغذ صافی - جرم کاغذ صافی و لجن اکسیدگرافن]

* انجام آزمایش با سه بار تکرار.

نتایج و بحث

پارامترهای اندازه‌گیری دستگاهی شوراب RO تصفیه شده توسط محلول اکسیدگرافن در تحقیق حاضر، به شرح (جدول ۲) می‌باشد. در (جدول ۲)، درصد بازده کاهش EC شوراب تصفیه شده با محلول

اکسیدگرافن با استفاده از رابطه (۱) برابر با ۴۸/۴۸٪ یا تقریباً ۴۹٪ به دست آمده است. بنابراین، تقریباً ۵۰٪ از EC شوراب، جذب ساختار

جدول ۲- پارامترهای اندازه گیری شوراب RO تصفیه شده توسط محلول اکسیدگرافن

شوراب RO			شوراب RO پس از تصفیه با محلول اکسیدگرافن			درصد بازده کاهش (%)		
هدایت الکتریکی EC(μS / cm)	PH	دما θ (°C)	هدایت الکتریکی EC(μS / cm)	PH	دما θ (°C)	% EC	% PH	% θ
۱۲,۰۰۰	۷/۶۴	۲۶/۰۵	۶,۱۳۹	۷/۶۳	۲۵/۷۴	۴۸/۸۴	۰/۱۳	۱/۲

علت تشدید ویژگی های مذکور، افزایش راندمان کاهش EC شوراب به میزان تقریبی ۵۰٪ حاصل شده است.

در (جدول ۲)، درصد بازده کاهش pH شوراب تصفیه شده با محلول اکسیدگرافن با استفاده از رابطه (۱) برابر با مقدار جزئی ۱۳٪ قابل صرف نظر کردن بود و تقریباً ثابت فرض شده است. بنابراین در تصفیه املاح محلول شوراب با محلول اکسیدگرافن، تغییر محسوس pH وجود نداشت.

در (جدول ۲)، درصد بازده کاهش دمای شوراب تصفیه شده با محلول اکسیدگرافن برابر با ۱/۲٪ یا تقریباً یک درجه سانتی گراد بوده است. تغییر دمای آب (متأثر از تغییر دمای محیط) بر روی درصد بازده کاهش املاح محلول آب مؤثر بوده است. بنابراین، درصد بازده کاهش EC برابر با تقریباً ۴۹٪ متأثر از کاهش دمای محیط و دمای آب بوده است. پارامترهای اندازه گیری دستگاهی شوراب RO تصفیه شده توسط لجن اکسیدگرافن به شرح (جدول ۳) می باشد.

جدول ۳- پارامترهای اندازه گیری شوراب RO تصفیه شده توسط لجن اکسیدگرافن

شوراب RO			شوراب RO پس از تصفیه با لجن اکسیدگرافن			درصد بازده کاهش (%)		
هدایت الکتریکی EC(μS / cm)	PH	دما θ (°C)	هدایت الکتریکی EC(μS / cm)	PH	دما θ (°C)	% EC	% PH	% θ
۱۲,۰۰۰	۷/۶۴	۲۶/۰۵	۱۰,۸۰۰	۷/۶۳	۲۵/۷۸	۱۰	۰/۱۳	۱/۰۴

در (جدول ۳)، درصد بازده کاهش دمای شوراب تصفیه شده با لجن اکسیدگرافن برابر با ۱/۰۴٪ یا تقریباً یک درجه سانتی گراد بوده است. تغییر دمای آب (متأثر از تغییر دمای محیط) بر روی درصد بازده کاهش املاح محلول آب مؤثر بوده است. بنابراین، درصد بازده کاهش EC برابر با ۱۰٪ متأثر از کاهش دمای آب بوده است.

پارامترهای اندازه گیری دستگاهی شوراب RO تصفیه شده با محلول اکسیدگرافن و سپس لجن اکسیدگرافن به شرح (جدول ۳) و خلاصه درصدبازده کاهش پارامترها در کلیه آزمایشات انجام شده بر روی شوراب RO به شرح (شکل ۱) و (شکل ۲) و (شکل ۳) می باشد.

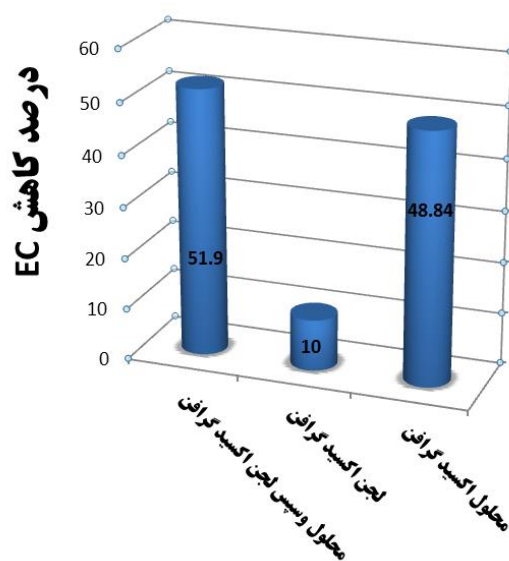
اکسیدگرافن به دلیل ویژگی راندمان حذف بالا نسبت به آلاینده های آب، جاذب بالقوه برای پاکسازی محیط زیست است (Cheng et al., 2015). نانو ساختارهای اکسید گرافن به دلیل کانال های آب سریع، دارای نفوذپذیری بالا و آبدوستی عالی می باشند (Lawler, 2016). اکسید گرافن به عنوان یک ساختار لایه ضخیم تک اتمی به راحتی در یک ساختار دو بعدی با نانو منافذ غنی از گروه های آبدوست تجمع می یابد (Song et al., 2018). اکسیدگرافن در آب پراکندگی پایدار ایجاد نمی کند و دارای پایداری کلوئیدی در محیط های آبی است (Dave, 2016). آب می تواند به علت آبدوست بودن غشاء اکسید گرافن، به سهولت به آن برسد و از طریق سطح آن بدون هیچ گونه مانع عبور کند. آب از نقطه لمس اولیه به سرعت گسترش می یابد تا کل سطح غشاء اکسید گرافن را پوشش دهد (Xiuqiang, et al., 2016). یافته های پیشین محققین نشانه آبدوستی عالی، نفوذپذیری بالا و پایداری کلوئیدی اکسید گرافن در محیط های آبی بوده است. در استفاده از محلول اکسید گرافن به

در (جدول ۳)، درصد بازده کاهش EC شوراب تصفیه شده با لجن اکسیدگرافن برابر با ۱۰٪ بدست آمده است. بنابراین، تقریباً ۱۰٪ از EC شوراب مورد تصفیه با لجن اکسیدگرافن، جذب ساختار لجن اکسیدگرافن شده و کاهش یافته است. با توجه به مقدار زیاد غلظت املاح محلول شوراب مورد تصفیه، لجن اکسیدگرافن به عنوان یک مرحله تصفیه کمکی مورد استفاده قرار گرفته است.

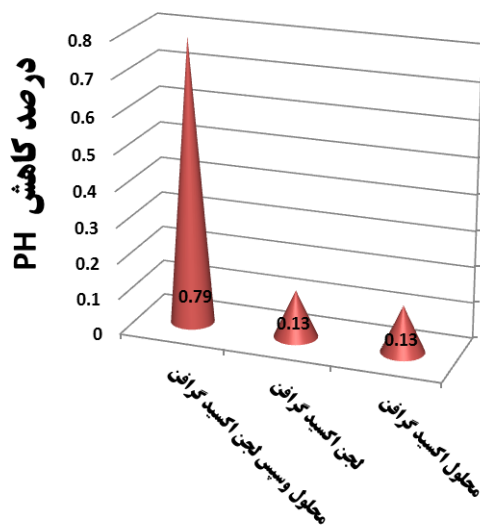
در (جدول ۳)، درصد بازده کاهش pH شوراب تصفیه شده با لجن اکسیدگرافن برابر با ۱۳٪ قابل صرف نظر کردن است و تقریباً ثابت فرض شده است. بنابراین، در تصفیه املاح محلول شوراب با لجن اکسیدگرافن تغییر محسوس pH وجود نداشته است.

جدول ۴- پارامترهای اندازه‌گیری شوراب RO تصفیه شده با محلول اکسیدگرافن و سپس لجن اکسیدگرافن

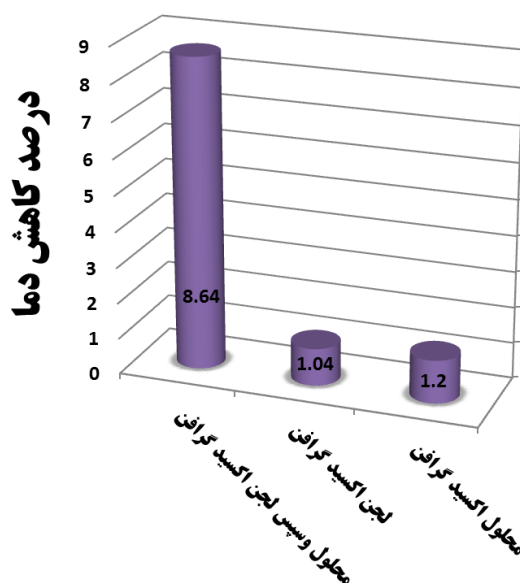
شوراب RO پس از تصفیه با محلول اکسیدگرافن			شوراب RO		
دما θ%	PH	هدایت‌الکتریکی EC(μS / cm)	دما θ%	PH	هدایت‌الکتریکی EC(μS / cm)
۲۵/۷۴	۷/۶۳	۶,۱۳۹	۲۶/۰۵	۷/۶۴	۱۲,۰۰۰
شوراب RO پس از تصفیه با لجن اکسیدگرافن			شوراب RO پس از تصفیه با محلول اکسیدگرافن		
دما θ(°C)	PH	هدایت‌الکتریکی EC(μS / cm)	دما θ(°C)	PH	هدایت‌الکتریکی EC(μS / cm)
۲۳/۸	۷/۵۸	۵,۷۷۲	۲۵/۷۴	۷/۶۳	۶,۱۳۹



شکل ۱- نمودار درصد بازده کاهش هدایت الکتریکی شوراب RO



شکل ۲- نمودار درصد بازده کاهش pH شوراب RO



شکل ۳- نمودار درصد بازده کاهش دمای سانتیگراد شوراب RO

در (شکل ۱)، درصد بازده کاهش EC شوراب تصفیه شده با محلول اکسیدگرافن و سپس لجن اکسیدگرافن برابر با ۵۱/۹٪ یا تقریباً ۵۲٪ بوده است. این مقدار، بیش از درصد بازده کاهش EC شوراب در هریک از مراحل کاربرد محلول اکسیدگرافن یا لجن اکسیدگرافن بوده است. بیش از نصف غلظت EC شوراب مورد تصفیه، جذب ساختار محلول اکسیدگرافن و سپس لجن اکسیدگرافن شده و کاهش یافته است. بنابراین، درصد بازده کاهش غلظت EC شوراب با کاربرد متوالی محلول اکسیدگرافن و سپس لجن اکسیدگرافن افزایش یافته است. یافته های حاصل از تحقیقات پیشین ذکر شده در ذیل به طور ضمنی این موضوع را تصدیق می نماید. صفحات اکسید گرافن دارای گروه های عاملی (عملکردی) متعدد شامل اکسیژن بر روی سطح است که باعث ایجاد خواص آبدوستی و تسهیل هیبرید شدن اکسید گرافن با مواد دیگر برای تشکیل مواد کامپوزیت می شود (ظهیری فر و همکاران، ۱۳۹۴). در مورد گروه های عاملی (عملکردی) متعدد شامل اکسیژن در صفحات اکسید گرافن، گروه های هیدروکسیل و کربوکسیل در اطراف لبه ها قرار گرفته اند در حالی که گروه های کربونیل و اپوکسید در مرکز قرار گرفته اند. وجود انواع مختلف گروه های آبدوست به اکسید گرافن اجازه می دهد که به هنگام مرطوب بودن به سهولت تراشیده (لایه لایه) شود. این گروه های فعال نقش مهمی برای انجام واکنش های شیمیایی و جذب دارد (Yunessnia et al., 2017). گروه های عملکردی حاوی اکسیژن در اکسید گرافن، امکان تغییرات پیوند کووالانسی را با گروه های قوی شیمیایی فراهم می کند (Awad et al., 2017). اکسیدگرافن دارای اسیدیته قوی با جذب بالا برای کاتیون ها است

در (شکل ۲)، درصد بازده کاهش pH شوراب تصفیه شده با محلول اکسیدگرافن و سپس لجن اکسیدگرافن برابر با ۰/۷۹٪ بوده است. این مقدار، بیش از درصد بازده کاهش pH شوراب در هریک از مراحل کاربرد محلول اکسیدگرافن یا لجن اکسیدگرافن بوده است. درصد بازده کاهش pH برابر با ۰/۷۹٪ موجب کاهش جزئی pH آب نزدیک به خنثی (pH=۷) شده است. در مقایسه، درصد بازده کاهش pH شوراب RO در کاربرد هریک از محلول اکسیدگرافن یا لجن

در (شکل ۱)، درصد بازده کاهش EC شوراب تصفیه شده با محلول اکسیدگرافن و سپس لجن اکسیدگرافن برابر با ۵۱/۹٪ یا تقریباً ۵۲٪ بوده است. این مقدار، بیش از درصد بازده کاهش EC شوراب در هریک از مراحل کاربرد محلول اکسیدگرافن یا لجن اکسیدگرافن بوده است. بیش از نصف غلظت EC شوراب مورد تصفیه، جذب ساختار محلول اکسیدگرافن و سپس لجن اکسیدگرافن شده و کاهش یافته است. بنابراین، درصد بازده کاهش غلظت EC شوراب با کاربرد متوالی محلول اکسیدگرافن و سپس لجن اکسیدگرافن افزایش یافته است. یافته های حاصل از تحقیقات پیشین ذکر شده در ذیل به طور ضمنی این موضوع را تصدیق می نماید. صفحات اکسید گرافن دارای گروه های عاملی (عملکردی) متعدد شامل اکسیژن بر روی سطح است که باعث ایجاد خواص آبدوستی و تسهیل هیبرید شدن اکسید گرافن با مواد دیگر برای تشکیل مواد کامپوزیت می شود (ظهیری فر و همکاران، ۱۳۹۴). در مورد گروه های عاملی (عملکردی) متعدد شامل اکسیژن در صفحات اکسید گرافن، گروه های هیدروکسیل و کربوکسیل در اطراف لبه ها قرار گرفته اند در حالی که گروه های کربونیل و اپوکسید در مرکز قرار گرفته اند. وجود انواع مختلف گروه های آبدوست به اکسید گرافن اجازه می دهد که به هنگام مرطوب بودن به سهولت تراشیده (لایه لایه) شود. این گروه های فعال نقش مهمی برای انجام واکنش های شیمیایی و جذب دارد (Yunessnia et al., 2017). گروه های عملکردی حاوی اکسیژن در اکسید گرافن، امکان تغییرات پیوند کووالانسی را با گروه های قوی شیمیایی فراهم می کند (Awad et al., 2017). اکسیدگرافن دارای اسیدیته قوی با جذب بالا برای کاتیون ها است

در (شکل ۳)، درصد بازده کاهش دمای شوراب تصفیه شده با محلول اکسیدگرافن و سپس لجن اکسیدگرافن برابر با ۸/۶۴٪ بوده است. این مقدار، بیش از تغییر کاهش دمای شوراب در هریک از مراحل کاربرد محلول اکسیدگرافن یا لجن اکسیدگرافن بوده است. درصد بازده کاهش دمای ۸/۶۴٪ نشانگر گرمازا بودن واکنش خود به خودی جذب یون های مولد EC بر روی اکسید گرافن بوده است. بنابراین، بازده کاهش دمای آب به ویژه در کاربرد متوالی محلول و سپس لجن اکسید گرافن تشدید یافته است. همچنین، تغییر دمای آب (متأثر از تغییر دمای محیط) بر روی درصد بازده کاهش املاح محلول آب مؤثر بوده است. بنابراین، درصد بازده کاهش EC برابر با تقریباً ۵۲٪ متأثر از کاهش دمای آب بوده است.

پارامترهای کلی اندازه گیری جرم لجن اکسیدگرافن حاصل از تصفیه املاح محلول شوراب RO به شرح (جدول ۳) و آنالیز پارامترهای اندازه گیری شده به شرح (جدول ۴) می باشد. در (جدول ۳) پارامترهای جرم لجن اکسید گرافن با استفاده از (۲) محاسبه و تعیین شده است.

اکسیدگرافن، جزئی (قابل صرف نظر کردن) و تقریباً ثابت بوده است. اهمیت pH از لحاظ اسیدی یا قلیایی شدن آب و نیاز به اصلاح pH آب برای آبیاری است. بنابراین، pH شوراب تصفیه شده با کاربرد متوالی محلول و سپس لجن اکسیدگرافن نزدیک به خنثی (pH=۷) بوده و نیاز به اصلاح pH آب نداشته است.

اندازه گیری بار سطحی اکسید گرافن (با استفاده از سنجش پتانسیل زتا) نشان داده است که هنگام پراکندگی در آب دارای بار منفی می باشد. دافعه الکترواستاتیک بین صفحات اکسید گرافن با بار منفی باعث ایجاد سوسپانسیون (تعلیق) پایدار آبی می شود (Jasim, 2016). سطح بار منفی اکسیدگرافن موجب دافعه الکترواستاتیک در میان آنها و ایجاد آبدوستی شدید می شود (Loryuenyong et al., 2013). همچنین که در سابقه تحقیقات گذشته ذکر شده است، بار منفی اکسید گرافن هنگام پراکندگی در شوراب موجب کاهش پتانسیل هیدروژن (کاهش pH) شده است. بنابراین، کاربرد متوالی محلول و سپس لجن اکسید گرافن موجب افزایش راندمان کاهش pH و EC شوراب شده است.

جدول ۳- پارامترهای کلی اندازه گیری جرم لجن اکسیدگرافن

جرم لجن اکسیدگرافن حاصل از تصفیه املاح محلول شوراب RO (گرم)	جرم یک عدد کاغذ صافی آزمایشگاهی محتوی لجن اکسیدگرافن (گرم)	جرم یک عدد کاغذ صافی آزمایشگاهی (گرم)
۰/۸۳۲	۱/۵۱	۰/۶۷۸

جدول ۴- آنالیز کلی پارامترهای اندازه گیری لجن اکسیدگرافن

لجن بدون آب تولیدی	محلول اکسیدگرافن + کل املاح محلول (TDS) غلظت (gr / Lit)	محلول اکسیدگرافن		شوراب RO		
		حجم غلظت (gr / Lit)	حجم (cm ³)	TDS (gr / Lit)	EC (μS / cm)	حجم (cm ³)
جرم (gr) ۰/۸۳۲ (تقریباً یک)	۸	۲	۲۰	۶ (حداقل)	۱۲,۰۰۰	۲۰

محلول اکسیدگرافن + غلظت EC در شوراب)

*استاندارد کیفیت آب برای کاربری آبیاری:

در (جدول ۵) رهنمود شوری آب (برحسب EC) و در (جدول ۶) ذکر شده است. پارامترهای TDS و EC دارای ارتباط مستقیم خطی می باشند (Amiri et al., 2014) بنابراین، قضاوت در خصوص کیفیت آب از طریق EC با TDS مطابقت دارد.

با توجه به (

جدول ۴) نتیجه گیری می شود که جرم لجن بدون آب تولیدی ۰/۸۳۲ گرم (تقریباً یک گرم) با نیمی از غلظت محلول اکسیدگرافن (۲ گرم بر لیتر) معادل بوده است. به عبارت دیگر، جرم لجن بدون آب

تقریباً با ۸ مجموع غلظت محلول اکسیدگرافن و غلظت کل املاح محلول شوراب (۸ گرم بر لیتر) معادل بوده است. بنابراین، با توجه به غلظت معینی از محلول اکسیدگرافن مورد استفاده یا با توجه به غلظت EC شوراب مورد تصفیه، جرم لجن بدون آب تولیدی با استفاده از (۳) قابل پیش بینی است.

$$(۳) \text{ جرم لجن بدون آب به ازای هر لیتر شوراب} = \frac{1}{8} \times (\text{غلظت})$$

جدول ۵- طبقه بندی آب شور برای مصارف آبیاری (در شرایط ضریب آبشویی = ۲۰٪) (عابدی، م، ۱۳۸۱)

تأثیرات آن بر تولیدات زراعی	شوری آب آبیاری (μS/cm)
اغلب گیاهان، محصول مناسب خواهند داشت. بعضی از گیاهان حساس به شوری نظیر ذرت، ۳۰ درصد و گیاهان خیلی حساس نظیر لوبیا حدود ۵۰ درصد محصول را از دست می دهند.	شوری کم EC < ۴,۰۰۰
گیاهان مقاوم به شوری نظیر چغندر، پنبه و جو محصول مناسب می دهند. گیاهان نیمه مقاوم نظیر گندم حدود ۳۰ درصد و یونجه ۵۰ درصد محصول را از دست می دهند.	لب شور ۴,۰۰۰ < EC < ۸,۰۰۰
گیاهان مقاوم به شوری حدود ۳۰ درصد و گیاهان نیمه مقاوم بیش از ۵۰ درصد محصول را از دست می دهند.	شوری متوسط ۸,۰۰۰ < EC < ۱۲,۰۰۰
مناسب کشت گیاهان شور زیست، گیاهان مقاوم به شوری بیش از ۵۰ درصد محصول را از دست می دهند.	شوری زیاد EC < ۱۲,۰۰۰

* با افزایش ضریب آبشویی برابر با ۲۰٪ در اثر کاربرد بیشتر آب و یا سبکی بافت خاک، تولید محصول از محدوده ارائه شده درجدول فوق افزایش پیدا کرده و کاربرد آب شور توجه بیشتری خواهد داشت.

جدول ۶- استاندارد کیفی آب مورد استفاده در آبیاری (سازمان حفاظت محیط زیست ایران، ۱۳۷۲)

پارامتر	یکا	مقدار
پتانسیل هیدروژن (pH)	-----	۶ تا ۸/۵
هدایت الکتریکی (EC)	میلی زیمنس بر سانتیمتر	-----
کل املاح محلول (TDS)	میلی گرم بر لیتر	-----

* بررسی امکان استفاده از شوراب RO تصفیه شده با اکسید گرافن برای کاربری آبیاری:

جدول ۷- خلاصه نتایج شوراب تصفیه شده با اکسید گرافن برای کاربری آبیاری

نام	پارامترهای سنجش (شوراب)	پارامترهای سنجش (شوراب تصفیه شده با اکسید گرافن)	امکان کاربری شوراب تصفیه شده با اکسید گرافن برای آبیاری	توضیحات
نام آزمایش	هدایت الکتریکی PH EC(μS/cm)	هدایت الکتریکی PH EC(μS/cm)	هدایت الکتریکی PH EC(μS/cm)	قابلیت کاربری
تصفیه با محلول اکسید گرافن	۱۲,۰۰۰ ۷/۶۴	۶,۱۳۹ ۷/۶۳	امکان کاربری وجود دارد (در محدوده رهنمود)	قابل کاربری برای آبیاری (برای گیاهان مقاوم به شوری نظیر چغندر، پنبه و جو محصول مناسب می دهد)
تصفیه با لجن اکسید گرافن	۱۲,۰۰۰ ۷/۶۴	۱۰,۸۰۰ ۷/۶۳	امکان کاربری وجود دارد (در محدوده رهنمود)	قابل کاربری نسبی برای آبیاری (گیاهان مقاوم به شوری حدود ۳۰ درصد و گیاهان نیمه مقاوم بیش از ۵۰ درصد محصول را از دست می دهد)
تصفیه با محلول اکسید گرافن و سپس لجن اکسید گرافن	۱۲,۰۰۰ ۷/۶۴	۵,۷۷۲ ۷/۵۸	امکان کاربری وجود دارد (در محدوده رهنمود)	قابل کاربری برای آبیاری (برای گیاهان مقاوم به شوری نظیر چغندر، پنبه و جو محصول مناسب می دهد)

در (جدول ۷) جدول ۷- خلاصه نتایج شوراب تصفیه شده با اکسید گرافن برای کاربری آبیاری خلاصه شده است. در تحقیق حاضر، با

ظهیری فر، ج. و عسکری، م. (۱۳۹۴). بررسی تولید و ظرفیت کاربرد غشاهای اکسیدگرافنی در نمک زدایی و تصفیه آب. کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت محیط زیست.

عابدی، م. ۱۳۸۱. کتاب استفاده از آب شور در کشاورزی پایدار. تهران-انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران - چاپ اول

Amiri, M., Ostovar, M. and Pannahi, S. 2014. Electrical conductivity as a novel technique for control of lime softening process. *Journal of Desalination and Water Treatment*. 52 : PP.16-18, <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2013.797132>.

Awad, F. and AbouZeid, K. 2017. Efficient removal of heavy metals from Polluted water by Graphene Oxide. *Journal of American Chemical Society*. 39 : pp.34230-34242, <https://doi.org/10.1021/acsami.7b10021>.

Boretti, A. and Zubaidy, S. 2018. Outlook for graphene based desalination membranes. *Journal of Clean Water*. 1: pp.5, <https://doi.org/10.1038/s41545-018-0004-z>.

Cheng, Z. and Liao, J. 2015. One-Step fabrication of Graphene Oxide enhanced magnetic composite gel for highly efficient dye adsorption and catalysis. *Journal of American Chemical Society*. 3 : pp.1677-1685, <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b00383>.

Dave, H. 2016. Assessing graphene oxide for water desalination applications. Submitted to the Department of Mechanical Engineering. in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor. Massachusetts Institute of Technology.

Gao, P. and Li, A. 2014. Effects of various TiO₂ nanostructures and graphene oxide on photocatalytic activity of TiO₂. *Journal of Hazardous Materials*. 279 : pp.96-104.

Hegab, M. and Zou, L. 2015. Graphene oxide assisted membranes. Fabrication and potential applications in desalination and water purification. *Journal of Membrane Science*. 484, <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2015.03.011>.

Homaeigohar, S. and Elbahri, M. 2017. Graphene membranes for water desalination. *Journal of NPG Asia Materials*. 9 : pp.427.

Jasim, D. 2016. Graphene Oxide derivatives for biomedical applications. Submitted to the University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Medical and Human Science. School of Medicine Institute of Inflammation and Repair.

Lawler, J. 2016. Incorporation of graphene related carbon nanosheets in membrane fabrication for water treatment. *Journal of Membranes*. 6 : pp.57, <http://dx.doi.org/10.3390/membranes6040057>.

توجه به نتایج پارامترهای تصفیه شوراب سیستم RO با اکسید گرافن (جدول ۷)، شوراب تصفیه شده با هر یک از انواع محلول اکسید گرافن، محلول و سپس لجن اکسید گرافن برای آبیاری هر گروه از انواع محصولات زراعی قابل کاربری بوده است. همچنین، تصفیه شوراب سیستم RO صرفاً با لجن اکسید گرافن به دلیل افزایش EC شوراب تصفیه شده و امکان زوال بخشی از محصولات تولیدی ناشی از آبیاری با شوراب تصفیه شده مورد بحث، کاربری نسبی برای آبیاری داشته است.

نتیجه گیری

*در مقاله حاضر روش تصفیه املاح محلول با استفاده از اکسیدگرافن، به صورت تک مرحله‌ای (محلول اکسیدگرافن یا لجن اکسید گرافن)، ترجیحاً به صورت دو مرحله‌ای (محلول اکسیدگرافن و سپس لجن اکسیدگرافن) بکار رفته است که می‌تواند به عنوان تصفیه تکمیلی پس از سایر فرآیندهای تصفیه بکار رود.

*کاربرد دو مرحله‌ای محلول و سپس لجن اکسیدگرافن با درصد بازده کاهش EC تقریباً ۵۲٪ (کاهش از $12,000 \mu\text{S/cm}$) به

$5,772 \mu\text{S/cm}$)، موجب افزایش درصد بازده کاهش املاح محلول و قابلیت کاربرد بهتر شوراب RO برای آبیاری مزرعه ای شده است (در مقایسه با کاربرد محلول اکسیدگرافن یا لجن اکسید گرافن).

* تغییرات جزئی pH آب نزدیک به خنثی ($\text{pH} = 7$) در هریک از مراحل تصفیه آب با محلول اکسیدگرافن، لجن اکسیدگرافن یا کاربرد متوالی آنها است، به طوری که نیاز به اصلاح pH آب نبوده است.

*حجم کم لجن تولیدی اکسیدگرافن از نظر هزینه‌های جمع‌آوری، حمل و نقل و دفع لجن در مقایسه با لجن تولیدی سایر روش های متداول تصفیه آب مقرون به صرفه تر است. حجم کم لجن تولیدی به دلیل اکسیداسیون املاح محلول موجود در لجن توسط اکسیدگرافن حاصل شده است.

منابع

آذری، ع.، سالاری، ا. و دهقانی، م. ۱۳۹۵. بررسی کارایی نانوذرات اکسید گرافن مغناطیسی شده در حذف دی کلروفلنل از محیط آبی. *مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران*. ۲۶. ۲۶: ۲۸۱-۲۶۵.

چهره راضی، ع. ۱۳۹۶. شوری زدایی آب توسط جاذب های گرافنی و ژئولیتی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی منابع آب.

سازمان حفاظت محیط زیست ایران. ۱۳۷۲. استاندارد پساب برای مصارف آبیاری. <https://www.doe.ir>.

- Oxide composite nanofiltration membrane. *Journal of Membrane Science & Technology*. 8: pp.2, <https://doi.org/10.4172/2155-9589.1000184>.
- Tabish, T. and Memon, D. 2018. A facile synthesis of porous graphene for efficient water and wastewater treatment. *Journal of Scientific Reports*. 8, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19978-8>.
- Wang, Y. and Liang, S. 2013. Synergistic Removal of Pb.II, Cd.II and Humic Acid by Fe3O4 Mesoporous Silica Graphene Oxide Composites. *Journal of PLOS ONE*. 8, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065634>.
- Xiuqiang, L. and Weichao, X. 2016. Graphene oxide based efficient and scalable solar desalination under one sun with a confined 2D water path. *Journal of PNAS*. 113 : pp.13953–13958, www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1613031113.
- Yang, X. and Zhou, T. 2018. Removal of Mn II by sodium alginate, Graphene Oxide composite double network hydrogel beads from aqueous solutions. *Journal of Scientific Reports*, 8: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29133-y>.
- You, Y. and Sahajwalla, V. 2016. Graphene and Graphene Oxide for desalination. *Journal of Nanoscale*, <http://dx.doi.org/10.1039/C5NR06154G>.
- Yunessnia, A. and Akbari, A. 2017. A novel nanofiltration membrane prepared with PAMAM and graphene oxide for desalination. *Journal of Nanostruct*. 7 : pp.331-337.
- Loryuenyong, V. and Totepvimarn, K. 2013. Preparation and characterization of reduced Graphene Oxide sheets via water based exfoliation and reduction methods. *Journal of Advances in Materials Science and Engineering*, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/923403>.
- Ma, J. and Yang, M. 2015. Water enhanced removal of ciprofloxacin from water by porous Graphene hydrogel. *Journal of Scientific Reports*. 5, <https://doi.org/10.1038/srep13578>.
- Majumdar, D. 2017. Proficiency of graphene oxide in adsorption and removal of methylene blue from water. *Journal of Environmental Chemistry and toxicology*. 1: pp.4-8.
- Nupearachchi, C. and Mahatantila, K. 2017. Application of graphene for decontamination of water, implications for sorptive removal. *Journal of Groundwater for Sustainable Development*. 5 : pp.206-215. <http://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.06.006>.
- Pelin, M. and Fusco, L. 2017. Differential cytotoxic effects of Graphene and Graphene Oxide on skin keratinocytes. *Journal of Scientific Reports*. 7, <https://doi.org/10.1038/srep40572>.
- Salihi, E. and Wang, J. 2016. Enhanced removal of nickel.II ions from aqueous solutions by SDS functionalized graphene oxide. *Journal of Separation Science and Technology*. 51 : pp.1317–1327, <https://doi.org/10.1080/01496395.2016.1162172>.
- Song, X. and Yunfeng, L. 2018. A novel Graphene

Recycling of Brine of RO System with Environmental Friendly Nano-Materials for Irrigation

FA. Rahman^{1*}, G. Nabi Bidhendi², F. Sharifi³, N. Mehrdadi⁴, FR. Rahman⁵

Received: Nov.09, 2019

Accepted: Jan.05, 2019

Abstract

Water desalination using the RO system is expanding. Due to large volume of brine in the treatment system, its recycling for irrigation can be an effective step in sustainable development of environment. In this study, treatment of RO brine was performed in three phases; with graphene oxide solution, with graphene oxide sludge, with graphene oxide solution and then graphene oxide sludge. The results showed percentage decrease of electrical conductivity of brine with graphene oxide solution was equal to %48.84 (decrease from 12,000 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) to 6,139 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)), with graphene oxide sludge equal to %10 (decrease from 12,000 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) to 10,800 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)), with graphene oxide solution and then graphene oxide sludge %51.9 (decrease from 12,000 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) to 5,772 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)). pH of treated brine with graphene oxide was constant with little change or no change. The results were in accordance with water quality guideline and standard of Iran country for irrigation. The advantages of this method of treatment were ease and speed of work in a short time up to maximum 10 minutes. Graphene oxide sludge was thicker and less, compared with sludge in most conventional water treatment processes. Due to the carbon structure of the resulting sludge, it can be dried and then it can be disposed in environment. Based on the results, it seems the new treatment method of brine with graphene oxide can be used for RO systems as an environmental-friendly method.

Keywords: Graphene oxide, brine, electrical conductivity, RO

1- Graduate of Ph.D., Tehran University, Tehran, Iran

2- Professor of Tehran University, Tehran, Iran

3- Assistant Professor of Agriculture Ministry, Tehran, Iran

4- Professor of Tehran University, Tehran, Iran

5- Graduate of M.Sc., Islamic Azad University, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: Rahman1393@chmail.ir)