

Desalination of Seawater Using Nano Clays and MgAl-CO₃ Layered Double Hydroxides

N. Hamzelo¹, H. Ghodousi², B. Farajmand³

1. MSc Student of Hydro Structures, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2. Assist. Prof., Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
(Corresponding Author) Ghodousi_he@yahoo.com
3. Assist. Prof., Department of Chemistry, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

(Received Jan. 30, 2018 Accepted July 9, 2018)

To cite this article :

Hamzelo, N., Ghodousi, H., Farajmand, B., 2019, "Desalination of seawater using nano clays and MgAl-CO₃ layered double hydroxides." Journal of Water and Wastewater, 30(2), 13-23.
Doi: 10.22093/wwj.2018.117423.2616. (In Persian)

Abstract

Nowadays, increasing population and reduced fresh water resources has led to the need for introducing seawater as a new water source, and sweetening it using new techniques including nanoparticles is being considered. Mineral clays, such as cationic exchangeable bentonite clays can exchange their own cations, including calcium and magnesium, with sodium ions of sea water. In this research, Kalkate's bentonite clay was used for seawater sweetening testing and the flame photometer device was used to measure the process of reducing sodium ions from seawater. The results showed using 5.5 gr bentonite with 200 rpm mixing velocity, at a contact time of 15 minutes in 20 ml sea water is the optimal condition for mixing bentonite and seawater. On the other hand, in order to reduce the chloride ions from seawater, MgAl-CO₃ layered double hydroxides nanoparticles were synthesized and used in water quality laboratory of the University of Zanjan. The results of this experiment also showed using 1.25 gr LDH with 200 rpm mixing velocity at a contact time of 10 minutes in 5 ml seawater is the optimal mixing condition.

Keywords: Bentonite, Cationic Exchange, Desalination, Nano Particles.



مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۰، شماره ۲، صفحه: ۲۳-۱۳

استفاده از نانو ذرات خاک رس و هیدروکسیدهای لایه‌ای دوگانه MgAl-CO₃ در نمک‌زدایی از آب دریا

نیلوفر حمزه‌لو^۱، حسام قدوسی^۲، بهمن فرجمند^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(نویسنده مسئول) Ghodousi_he@yahoo.com

۳- استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

پذیرش ۹۷/۴/۱۸

(دریافت ۹۶/۱۱/۱۰)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:

حمزه‌لو، ن.، قدوسی، ح.، فرجمند، ب.، ۱۳۹۸، "استفاده از نانو ذرات خاک رس و هیدروکسیدهای لایه‌ای دوگانه MgAl-CO₃

در نمک‌زدایی از آب دریا" مجله آب و فاضلاب، ۳۰(۲)، ۲۳-۱۳. Doi: 10.22093/wwj.2018.117423.2616

چکیده

امروزه افزایش جمعیت و کاهش منابع آب شرب موجب شده است که استفاده از آب دریا به‌عنوان یک منبع جدید آبی معرفی شود و نمک‌زدایی از آن با استفاده از روش‌های جدید از جمله نانوذرات مورد توجه قرار گیرد. رس‌های معدنی مانند بنتونیت با قابلیت تبادل کاتیونی می‌توانند کاتیون‌های خود از جمله کلسیم و منیزیم را با یون‌های سدیم آب دریا مبادله کنند. در این پژوهش به‌منظور انجام آزمایش‌های نمک‌زدایی از آب دریا، از رس بنتونیت کلکته زنجان استفاده شد و روند کاهش یون سدیم با استفاده از دستگاه نشر شعله مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج استفاده از ۵/۵ گرم بنتونیت با سرعت اختلاط ۲۰۰ rpm، به‌مدت ۱۵ دقیقه در ۲۰ میلی‌لیتر آب دریا به‌عنوان شرایط بهینه اختلاط بنتونیت و آب دریا معرفی شد. از طرفی به‌منظور کاهش یون‌های کلرید موجود در آب دریا، نانو ساختار هیدروکسید لایه‌ای دوگانه MgAl-CO₃ در آزمایشگاه کیفیت آب دانشگاه زنجان سنتز و مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد شرایط بهینه اختلاط، شامل استفاده از ۱/۲۵ گرم LDH با سرعت اختلاط ۲۰۰ rpm، به‌مدت ۱۰ دقیقه، در ۵ میلی‌لیتر آب دریا است.

واژه‌های کلیدی: بنتونیت، تبادل کاتیونی، ذرات نانو، نمک‌زدایی

۱- مقدمه

تهیه آب قابل شرب در آینده مورد استفاده قرار گیرد. از این رو فناوری نمک‌زدایی از آب دریا رو به گسترش و توسعه است (Schuster-Wallace and Sandford, 2015). از بین روش‌های نمک‌زدایی آب نیز استفاده از فناوری نانو به‌دلیل جدید و اقتصادی بودن از اهمیت زیادی برخوردار است (Aftabi and Safari, 2012).

امروزه منابع آب تجدید شونده با سرعت فزاینده‌ای رو به کاهش است (Mirzakhani Siahkalroodi, 2009). در حال حاضر بسیاری از کشورها به‌دلیل افزایش جمعیت و گسترش زیاد فعالیت‌های صنعتی و محدود بودن منابع با مشکل کمبود آب شیرین مواجه هستند (Miller, 2003). آب دریا که حدود ۹۷/۵ درصد آب کره زمین را تشکیل می‌دهد، می‌تواند به‌عنوان منبع اصلی



حرارت داده شود، می‌تواند برای گرفتن کاتیون‌های سنگین فلزی استفاده شود. از طرفی مونت‌موریلونیت ارگانیک می‌تواند خصوصیات متفاوتی از ساختمان میکروسکوپی و جذب سطحی بر اساس تعدیل‌کنندگی داشته باشد و به‌طور مؤثر آلودگی‌های کاتیونی و آنیونی را با تبادل یونی، جذب سطحی و ته‌نشینی سطحی جذب نماید (Zhu et al., 2016).

با توجه به پژوهش‌های انجام شده انتظار می‌رود میزان سدیم موجود در آب دریا با به‌کارگیری بنتونیت از طریق تبادل کاتیونی کاهش یابد.

هیدروکسیدهای لایه‌ای دوگانه مواد طبیعی هستند که با علامت اختصاری LDH^۱ نشان داده می‌شوند. این ساختارها تبادل‌کننده آنیون با ظرفیت تبادل بالا می‌باشند و فرمول کلی آن‌ها به‌صورت $[M_{1-x}^{(II)}M_x^{(III)}(OH)_2]_Y \cdot ZH_2O$ است. بارزترین و عمده‌ترین سنگ معدن آن‌ها هیدروتالکیت است و فرمول شیمیایی آن به‌صورت $[Mg_{0.75}Al_{0.25}(OH)_2(CO_3)_{0.5}]_0.5H_2O$ است (Murayama et al., 2012).

سنتز LDHها در آزمایشگاه و صنعت بسیار ساده و ارزان است. بنابراین پژوهشگران زیادی به بررسی و سنتز هیدروکسیدهای لایه‌ای دوگانه پرداخته‌اند (Lu et al., 2017, Mandal et al., 2013, Pardeshi et al., 2017, Sepehr et al., 2014). در پژوهشی با استفاده از این ساختار به فلوتورزدایی آب آشامیدنی از طریق کلسینه کردن هیدروکسید لایه‌ای دوگانه $MgAl-CO_3$ پرداخته شده است. نتایج نشان داده است که کلسینه کردن $MgAl-CO_3$ می‌تواند به‌عنوان یک گزینه مؤثر در فلوتورزدایی مورد استفاده قرار گیرد (Lv et al., 2006).

در پژوهش دیگری سنتز نانو غشاها در pH پایین برای حذف سختی و سولفات از نمونه‌های آب آشامیدنی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد راندمان حذف با افزایش مقدار اولیه سولفات و سختی افزایش یافته و با افزایش یون‌های محلول، کاهش می‌یابد و راندمان بهینه برای حذف سختی ۶۵/۱ درصد و برای سولفات ۶۹/۲ درصد است (Sepehr et al., 2014).

با اینکه در پژوهش‌های متعددی به بررسی نمک‌زدایی آب دریا با استفاده از نانو مواد پرداخته شده است، اما تاکنون اثر ترکیبی نانو

لذا امروزه بررسی نانو ساختارهای مختلف، اصلاح خواص و به‌کارگیری آن‌ها در روش‌های مختلف نمک‌زدایی از آب بخش بزرگی از پژوهش‌ها در این زمینه را به خود اختصاص داده است (Gehrke et al., 2015, Hosseini et al., 2018, Rezaei Kahka and Abdolbaset, 2015, Safaei and Tavakoli, 2017, Wibowo et al., 2017, Zirehpour et al., 2017).

نانورس‌ها کانی‌هایی هستند که حداقل یکی از ابعاد آن‌ها در حد نانومتر است. از میان نانورس‌های موجود، خاک بنتونیت به‌علت قیمت کم و وفور آن در ایران در پژوهش‌های مختلفی به‌کار رفته است. خاک بنتونیت که کانی اصلی آن مونت‌موریلونیت است، شامل یک سیلیکای سدیم یا کلسیم و یا منیزیم-آلمینیوم آبدار است. کاتیون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم قابل تبادل هستند و ظرفیت تبادل یونی بالایی را به مونت‌موریلونیت می‌دهند (Torab Farhad and Koohsari, 2003). از طرفی بنتونیت دارای خواص تورم‌پذیری بالایی است و آب را به‌خوبی در شبکه خود جذب می‌کند و حجیم می‌شود و این افزایش حجم باعث افزایش سطح ویژه بنتونیت می‌شود و می‌توان از آن به‌عنوان جاذب استفاده کرد (Chi et al., 2010).

در پژوهشی به بررسی نمک‌زدایی آب شور با استفاده از بنتونیت به‌عنوان راه‌حل اولیه و غشای جداکننده به‌عنوان راه‌حل دوم اشاره شده است. این پژوهش در سه حالت مختلف بدون بنتونیت، با بنتونیت و با بنتونیت و غشای جداکننده هم‌زمان انجام شده و نتایج، بهبود عملکرد غشا را در صورت استفاده هم‌زمان از بنتونیت نشان داده است (Shahrudin et al., 2015).

در پژوهش دیگری نیز به بررسی خواص فیزیکی و توانایی جذب خاک بنتونیت ایرانی به منظور بررسی قابلیت استفاده از این خاک در جذب آلودگی آب پرداخته شده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان داده است که با استفاده از ۰/۶ گرم در لیتر بنتونیت در محلول متیلن بلوی ۲۰ گرم در لیتر، آلودگی به‌طور کامل از سیستم حذف شده و میزان جذب تقریباً به صفر می‌رسد (Mazinani et al., 2011).

در پژوهش دیگری به بررسی جذب سطحی مونت‌موریلونیت در حذف آلودگی‌های آب پرداخته شده است. نتایج نشان داده است که مونت‌موریلونیت می‌تواند در یک روند تبادل کاتیون، کاتیون‌های فعال را جذب کند و در صورتی که با اسید نیز شسته و

^۱ Layered Double Hydroxide (LDH)



$$\%Mg = \%MgO \times \frac{M_{Mg}}{M_{Mg} + M_O} \quad (2)$$

که در معادلات بالا

M_{Ca} و M_O به ترتیب درصد کلسیم اکسید، جرم اتمی کلسیم و جرم اتمی اکسیژن و $\%MgO$ و M_{Mg} به ترتیب درصد منیزیم اکسید و جرم اتمی منیزیم می‌باشند.

در این پژوهش فرایند کلی آزمایش‌ها به این صورت بود که ابتدا برای یافتن مقدار، زمان و سرعت بهینه اختلاط بنتونیت و آب دریا مقادیر متفاوتی از جرم بنتونیت یا همان درصد اختلاط مورد آزمایش قرار گرفت. سپس این ترکیب بهینه در زمان‌ها و دوره‌های مختلف همزن با حجم مشخصی از آب دریا مورد ارزیابی قرار گرفت و پس از هر آزمایش، آب موجود در نمونه با استفاده از کاغذ صافی از مخلوط تهیه شده جدا شد و درصد حذف سدیم با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد

$$Na\ Removal(\%) = \frac{S_B - S_A}{S_B} \times 100 \quad (3)$$

که در آن، S_A و S_B به ترتیب علامت نثری محلول و علامت نثری آب دریا است.

۲-۲- تکرار مراحل اختلاط بنتونیت و آب دریا

به منظور افزایش درصد حذف سدیم، آزمایش‌ها در شرایط بهینه تعیین شده در چند مرحله دیگر به گونه‌ای انجام شد که در هر مرحله از آب صاف شده مرحله قبل استفاده شود. این مراحل تا زمانی که امکان استخراج آب از محلول تهیه شده وجود داشته باشد، می‌تواند ادامه یابد. در این پژوهش آزمایش‌ها در سه مرحله انجام شد و در هر مرحله نسبت اولیه اختلاط رعایت و درصد حذف محاسبه شد.

۲-۳- سنتز هیدروکسید لایه‌ای دوگانه $MgAl-CO_3$

LDH مورد نظر در این پژوهش بر اساس دستورالعمل ارائه شده در

مواد در نمک‌زدایی از آب از طریق جذب سطحی بررسی نشده است. لذا در این پژوهش به‌طور هم‌زمان از دو نانو ماده بنتونیت به عنوان تبادله‌کننده کاتیونی برای کاهش یون سدیم، و هیدروکسید لایه‌ای دوگانه $MgAl-CO_3$ به عنوان تبادله‌کننده آنیونی برای کاهش یون کلر استفاده شد.

۲- مواد و روش‌ها

به منظور انجام این پژوهش ابتدا محلول شبیه‌سازی شده آب دریا که حاوی ۳۵ گرم سدیم کلرید در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر است تهیه شد و به منظور بررسی تأثیر نانو مواد تهیه شده بنتونیت و هیدروکسید لایه‌ای دوگانه در شیرین‌سازی آب دریا، دو آزمایش سدیم و کلرید به ترتیب با دستگاه نشر شعله و تیتراسیون در آزمایشگاه کیفیت آب دانشگاه زنجان انجام شد. دستگاه نشر شعله برای انجام آزمایش‌ها روی فیلتر سدیم تنظیم شد.

۲-۱- روش حذف و اندازه‌گیری یون سدیم

برای انجام آزمایش‌های مربوط به تبادله کاتیونی عناصر نائورس و یون سدیم آب دریا، اقدام به تهیه خاک رس بنتونیت برداشت شده از ناحیه کلکته زنجان شد. این خاک مورد آنالیز شیمیایی به روش XRF قرار گرفت و مقادیر ترکیبات شیمیایی موجود در آن به دست آمد که در جدول ۱ خلاصه شده است.

با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود که این خاک دارای ۱/۵۳ درصد CaO است که با استفاده از معادله ۱ مقدار کلسیم موجود در آن معادل ۱/۱۰ درصد محاسبه شد. همچنین این نمونه دارای ۳/۳۴ درصد MgO است. با استفاده از معادله ۲ مقدار منیزیم موجود در آن که می‌تواند تبادله کاتیونی انجام دهد، معادل ۲ درصد محاسبه شد

$$\%Ca = \%CaO \times \frac{M_{Ca}}{M_{Ca} + M_O} \quad (1)$$

جدول ۱- آنالیز شیمیایی بنتونیت کلکته به روش XRF

Table 1. Chemical analysis of Kalkate's bentonite by XRF method

Chemical materials	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MgO	MnO	CaO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	SO ₃	LOi
Quantity (%)	65.72	11.52	0.24	3.34	0.1	3.34	-	1.53	-	1.18	-	15.54

که در معادلات بالا

C_{Cl} غلظت یون کلرید، V_{Cl} حجم برداشته شده از محلول کلرید، C_{AgNO_3} غلظت نیترات نقره، V_{AgNO_3} حجم مصرفی نیترات نقره و C_A و C_B به ترتیب غلظت یون کلرید محلول و آب دریا می‌باشند.

۲-۵- ترکیب دو نانو ساختار

به منظور بررسی تأثیر ترکیب دو نانو ساختار بنتونیت و هیدروکسید لایه‌ای دوگانه این دو نانو ساختار با حجم مشخصی از آب دریا ترکیب شد و میزان حذف یون سدیم و کلرید آن در شرایط اختلاط تعیین شده قبلی مقایسه شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- شرایط بهینه اختلاط بنتونیت در حذف یون سدیم

ابتدا به منظور یافتن جرم بهینه بنتونیت، مقادیر مختلف بنتونیت در حجم، زمان و سرعت ثابت ترکیب شدند و درصد حذف سدیم محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. در ادامه با توجه به جرم بهینه به دست آمده از مرحله قبل برای یافتن سرعت بهینه، اختلاط در سرعت‌های مختلف اما در حجم و زمان ثابت انجام و درصد حذف در هر مرحله محاسبه شد که نتایج آن نیز در جدول ۳ ارائه شده است. پس از یافتن مقدار و سرعت بهینه اختلاط، با ثابت در نظر گرفتن حجم، مقدار و سرعت بهینه، محلول در زمان‌های مختلف ترکیب شدند و درصد حذف یون سدیم آن‌ها محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. برای مشاهده بهتر تأثیر تغییرات جرم بنتونیت بر عملکرد کاهش یون سدیم چگونگی این تغییرات در شکل ۱ ارائه شده است.

(Lv et al., 2006) تهیه شد. به این منظور ابتدا مقدار $33/75$ گرم آلومینیوم نیترات ($Al(NO_3)_3 \cdot 9 H_2O$) و $92/27$ گرم منیزیم نیترات ($Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) در حجم 350 میلی‌لیتر آب مقطر به عنوان محلول اول تهیه شد. سپس مقدار $28/78$ گرم سدیم هیدروکسید ($NaOH$) و $38/15$ گرم سدیم کربنات (Na_2CO_3) نیز در حجم 350 میلی‌لیتر آب مقطر به عنوان محلول دوم تهیه شد. در ادامه محلول اول با استفاده از همزن مغناطیسی با سرعت 200 دور بر دقیقه در دمای 50 درجه به هم زده شد و محلول دوم به آرامی در مدت زمان لازم به آن اضافه شد. پس از ظاهر شدن رسوب نهایی، $MgAl-CO_3$ تهیه شده با استفاده از کاغذ صافی جدا شد و به مدت 48 ساعت در آون با دمای 100 درجه سلسیوس قرار گرفت.

۲-۴- روش حذف و اندازه‌گیری یون کلرید

برای اندازه‌گیری یون کلرید روش حجم‌سنجی یا تیتراسیون به کمک نیترات نقره مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تعیین مقدار، زمان و سرعت بهینه اختلاط نیز مقادیر متفاوتی از جرم LDH مورد آزمایش قرار گرفت. سپس ترکیب بهینه به دست آمده در زمان‌ها و دوره‌های مختلف با حجم مشخصی از آب دریا مخلوط شد و پس از هر آزمایش آب موجود در نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی از مخلوط تهیه شده جدا شد و به ترتیب با استفاده از معادلات ۴ و ۵ غلظت یون کلرید و درصد حذف آن محاسبه شد.

$$C_{Cl} * V_{Cl} = C_{AgNO_3} * V_{AgNO_3} \quad (4)$$

$$Cl \text{ Removal } (\%) = \frac{C_B - C_A}{C_B} \quad (5)$$

جدول ۲- نتایج آزمایش‌های مربوط به تعیین مقدار بهینه بنتونیت (حجم آب دریا = 20 میلی‌لیتر، سرعت اختلاط = 600 دور بر دقیقه، زمان اختلاط = 15 دقیقه)

Table 2. Optimum balance Bentonite quantity test results (sea water volume = 20ml, contact velocity = 600 rpm, contact time = 15 min)

Sample number	M_B (gr)	V_{sw} (ml)	T (min)	V (rpm)	S_A	S_B	Na removal (%)
1	1.1	20	15	600	599	617	2.92
2	2.2	20	15	600	564	617	8.59
3	3.3	20	15	600	560	617	9.24
4	4.4	20	15	600	599	617	9.40
5	5.5	20	15	600	551	617	9.56



جدول ۳- نتایج آزمایش‌های مربوط به تعیین سرعت اختلاط بهینه (جرم بنتونیت = ۵/۵ گرم، حجم آب دریا = ۲۰ میلی‌لیتر، زمان اختلاط = ۱۵ دقیقه)

Table 3. Optimum balance velocity test results (Bentonite quantity = 5.5 g, sea water volume = 20ml, contact time = 15 min)

Sample number	M _B (gr)	V _{sw} (ml)	T (min)	V (rpm)	S _A	S _B	Na removal (%)
1	5.5	20	15	100	577	647	10.81
2	5.5	20	15	200	564	647	12.83
3	5.5	20	15	400	580	647	10.35
4	5.5	20	15	600	582	647	9.50
5	5.5	20	15	800	590	647	8.65
6	5.5	20	15	1000	591	647	8.60

جدول ۴- نتایج آزمایش‌های مربوط به تعیین زمان اختلاط بهینه (جرم بنتونیت = ۵/۵ گرم، سرعت اختلاط = ۲۰۰ دور بر دقیقه، حجم آب

دریا = ۲۰ میلی‌لیتر)

Table 4. Optimum balance time test results (Bentonite quantity = 5.5 g, contact velocity = 200 rpm, sea water volume = 20ml)

Sample number	M _B (gr)	V _{sw} (ml)	T (min)	V (rpm)	S _A	S _B	Na removal (%)
1	5.5	20	10	200	583	648	12.03
2	5.5	20	15	200	564	647	12.83
3	5.5	20	20	200	620	648	4.32
4	5.5	20	30	200	591	648	8.8
5	5.5	20	40	200	596	648	8.08
6	5.5	20	50	200	597	648	5.86
7	5.5	20	60	200	610	648	5.83

بنتونیت افزایش یافته که این با نتایج مطالعه ویبوو و همکاران در سال ۲۰۱۷، که بیان داشتند با افزایش جاذب زئولیت میزان نمک‌زدایی افزایش می‌یابد، همخوانی دارد (Wibowo et al., 2017) چون پس از مرحله پنجم اضافه نمودن بنتونیت، امکان جداسازی آب به راحتی امکان پذیر نبود، لذا آزمایش‌ها تا پنج مرحله انجام شد. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳ و به منظور مشاهده بهتر نتایج، تأثیر تغییرات سرعت اختلاط بر عملکرد بنتونیت در کاهش یون سدیم نیز در شکل ۲ ارائه شده است.

همان‌طور که در شکل نیز مشاهده می‌شود بهترین سرعت اختلاط ۲۰۰ rpm است که میزان حذف یون سدیم در آن برابر ۱۲/۸۳ درصد است. در شکل ۳ نیز با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۴ تأثیر تغییرات زمان اختلاط بر عملکرد بنتونیت در کاهش یون سدیم ارائه شده است.

با توجه به شکل مشاهده می‌شود که روند کاهش یون سدیم تا زمان ۱۵ دقیقه افزایشی و بعد از آن این روند کاهشی است. لذا با توجه به آزمایش‌های انجام شده اختلاط ۵/۵ گرم بنتونیت، در ۲۰ میلی‌لیتر آب دریا، با سرعت اختلاط ۲۰۰ rpm و زمان اختلاط ۱۵ دقیقه به عنوان شرایط بهینه پژوهش در نظر گرفته شد.

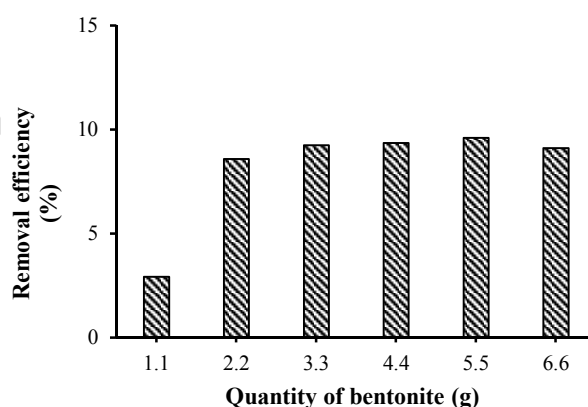


Fig. 1. Effect of quantity variations on performance of Bentonite in removing Sodium from sea water (contact time = 15 min, contact velocity = 600 rpm, sea water volume = 20 ml)

شکل ۱- اثر تغییرات جرم بر عملکرد بنتونیت در حذف یون سدیم آب دریا (زمان اختلاط = ۱۵ دقیقه، سرعت اختلاط = ۶۰۰ دور بر دقیقه، حجم آب دریا = ۲۰ میلی‌لیتر)

با توجه به شکل مشاهده می‌شود که درصد حذف سدیم در حالت اختلاط ۵/۵ گرم بنتونیت در ۲۰ میلی‌لیتر آب دریا به میزان ۹/۵۶ درصد بیشترین مقدار را دارد. همان‌طور که انتظار می‌رفت روند حذف یون سدیم آب دریا با افزایش مقدار نانو جاذب

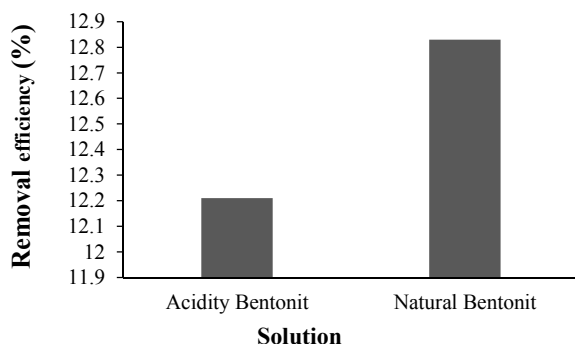


Fig. 4. Comparison of natural Bentonite and acidity of Bentonite in removing Sodium from sea water (Bentonite quantity = 5.5 g, contact velocity = 200 rpm, contact time = 15 min, sea water volume = 20 ml)

شکل ۴- مقایسه بنتونیت طبیعی و اسیدشویی شده در کاهش یون سدیم آب دریا (جرم بنتونیت = ۵/۵ گرم، سرعت اختلاط = ۲۰۰ rpm، زمان اختلاط = ۱۵ دقیقه، حجم آب دریا = ۲۰ میلی لیتر)

زمان، آزمایشها انجام شد و پس از قرائت علامت نشر سدیم، میزان حذف یون سدیم برابر ۱۲/۲۱ درصد محاسبه شد. در شکل ۴ مقایسه بنتونیت اسیدشویی شده با بنتونیت طبیعی در حذف یون سدیم آب دریا ارائه شده است. همان طور که در شکل ۴ نیز مشاهده می شود، اسید شویی خاک بنتونیت تأثیری بر میزان کاهش یون سدیم نداشته است و بنابراین ادامه پژوهش بدون اسیدشویی انجام شد.

۳-۳- تکرار مراحل اختلاط بنتونیت و آب دریا

به منظور افزایش راندمان حذف یون سدیم، آزمایشها در سه مرحله متوالی دیگر بر روی محلول گرفته شده از مرحله قبل نیز تکرار شد که نتایج آن نیز در جدول ۵ و شکل ۵ ارائه شده است.

با توجه به شکل ۵ مشاهده می شود که با تکرار مراحل اختلاط بنتونیت و آب صاف شده از مرحله قبل، میزان حذف سدیم افزایش می یابد. لذا در عمل می توان با افزایش مراحل به میزان حذف بالاتری دست یافت و آب شیرین تری به دست آورد.

۳-۴- شرایط بهینه اختلاط LDH و آب دریا در حذف یون

کلرید

در این مرحله ابتدا به منظور ارزیابی ترکیب سنتز شده، طیف سنجی مادون قرمز و تصویر میکروسکوپ الکترونی این ترکیب تهیه شد که نتایج آن به ترتیب در شکل های ۶ و ۷ ارائه شده است.

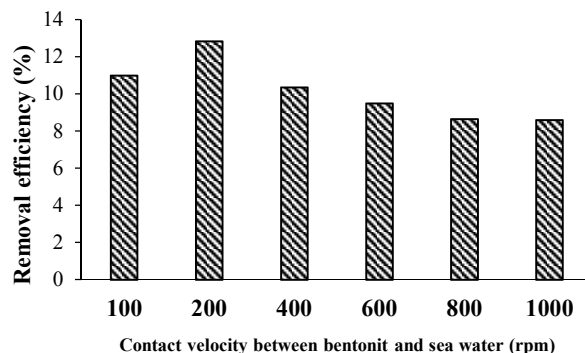


Fig. 2. Effect of velocity contact variations on performance of Bentonite in removing Sodium from sea water (Bentonite quantity = 5.5g, contact time = 15 min, sea water volume = 20 ml)

شکل ۲- اثر تغییرات سرعت اختلاط بر عملکرد بنتونیت در حذف یون سدیم آب دریا (جرم بنتونیت = ۵/۵ گرم، زمان اختلاط = ۱۵ دقیقه، حجم آب دریا = ۲۰ میلی لیتر)

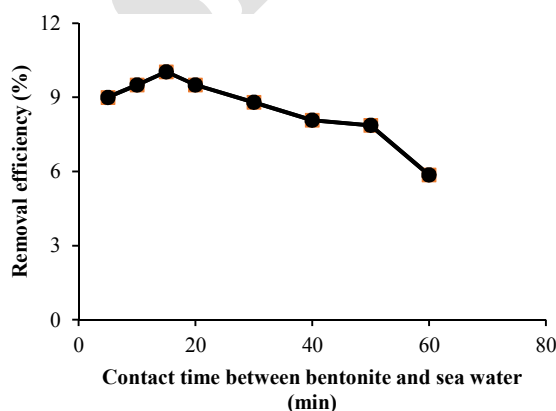


Fig. 3. Effect of contact time variations on performance of Bentonite in removing Sodium from sea water (Bentonite quantity = 5.5 g, contact velocity = 200 rpm, sea water volume = 20 ml)

شکل ۳- اثر تغییرات زمان اختلاط بر عملکرد بنتونیت در حذف یون سدیم آب دریا (جرم بنتونیت = ۵/۵ گرم، سرعت اختلاط = ۲۰۰ دور بر دقیقه، حجم آب دریا = ۲۰ میلی لیتر)

۳-۲- اسیدشویی بنتونیت و تأثیر آن در کاهش یون سدیم

به منظور بررسی تأثیر اسیدشویی بر کاهش یون سدیم، بنتونیت با استفاده از هیدروکلریک اسید به حجم مشخص مخلوط و به مدت ۲ ساعت به هم زده شد. سپس بنتونیت با استفاده از کاغذ صافی جدا و با آب مقطر شستشو داده شد و به مدت ۴۸ ساعت در آن در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس خشک شد. در مرحله بعد با استفاده از این بنتونیت و در شرایط بهینه به دست آمده از نظر مقدار، سرعت و



جدول ۵- نتایج آزمایش‌های مربوط به تکرار مراحل اختلاط در حذف سدیم (سرعت اختلاط = ۲۰۰ دور بر دقیقه، زمان اختلاط = ۱۵ دقیقه)

Table 5. Repeating blend levels test results in removing sodium (contact velocity = 200 rpm, contact time = 15 min)

Sample number	M _B (gr)	V _{sw} (ml)	T (min)	V (rpm)	S _A	S _B	Na removal (%)
1	27.5	100	15	200	372	434	14.28
2	11	40	15	200	369	434	14.97
3	5.5	20	15	200	356	434	17.97

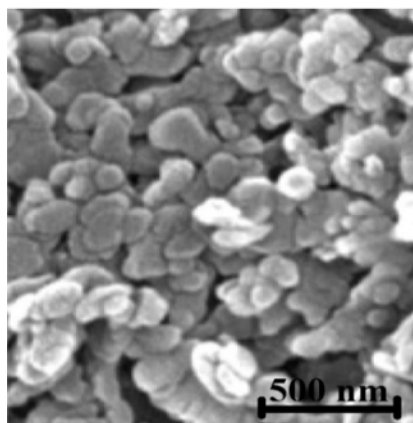


Fig. 7. Image of electron microscope scanning from MgAl-CO₃ layered double hydroxide

شکل ۷- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از هیدروکسیدهای لایه‌ای دوگانه MgAl-CO₃

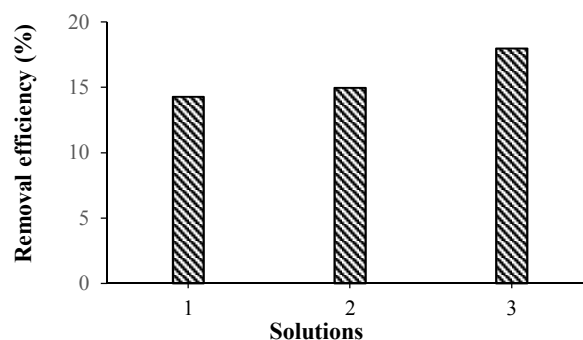


Fig. 5. Effect of repeating blend levels on performance of Bentonite in removing Sodium from sea water (contact velocity = 200 rpm, contact time = 15 min)

شکل ۵- اثر تکرار مراحل اختلاط بر عملکرد بنتونیت در حذف یون سدیم آب دریا (سرعت اختلاط = ۲۰۰ دور بر دقیقه، زمان اختلاط = ۱۵ دقیقه)

مربوط به ارتعاشات کششی پیوندهای فلز-اکسید می‌باشند که مرتبط با پیوندهای Al-O و Mg-O می‌باشند. نهایتاً حداکثر مشاهده شده در 3443 cm^{-1} نیز مربوط به ارتعاشات کششی پیوند OH است که در ساختار هیدروکسیدهای لایه دوگانه مشاهده می‌شود. در شکل ۷ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نانوذرات سنتز شده نمایش داده شده است که همان‌طور که مشاهده می‌شود، ذرات دارای ابعادی حدود ۱۰۰ نانومتر و ساختار لایه لایه می‌باشند.

به‌منظور یافتن شرایط بهینه اختلاط هیدروکسید لایه‌ای دوگانه MgAl-CO₃ با آب دریا نیز مقادیر مختلفی از LDH با ۵ میلی‌لیتر آب دریا ترکیب شد و درصد حذف محاسبه شد. تأثیر تغییرات جرم بر عملکرد LDH در کاهش یون کلرید آب دریا در شکل ۸ ارائه شده است.

با توجه به شکل ۸، مقدار جرم بهینه ۱/۲۵ گرم LDH در ۵ میلی‌لیتر آب دریا به میزان ۶/۱۲ درصد کاهش یون کلرید را نشان می‌دهد. به‌منظور یافتن سرعت اختلاط بهینه، میزان جرم LDH بهینه به‌دست آمده از مرحله قبل در سرعت‌های مختلف ترکیب شد و

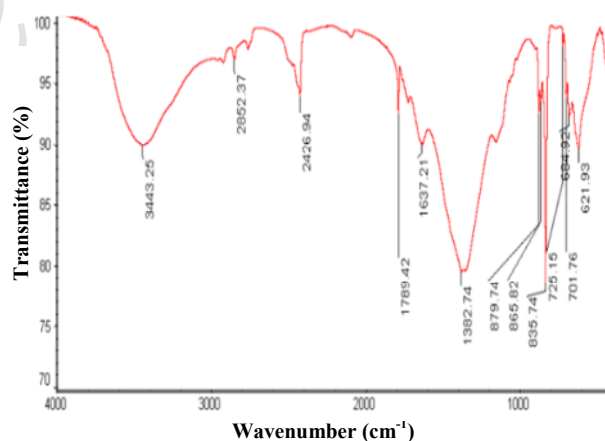


Fig. 6. Infrared spectrum of MgAl-CO₃ layered double hydroxide

شکل ۶- طیف مادون قرمز هیدروکسیدهای لایه‌ای دوگانه MgAl-CO₃ مطابق شکل ۶ پیک مشاهده شده در عدد موجی 1382 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی یون کربنات (CO_3^{2-}) است که در بین لایه‌های نانوساختار به‌عنوان جفت یون وجود دارد. همچنین پیک‌های مشاهده شده در محدوده عدد موجی $500-1000 \text{ cm}^{-1}$

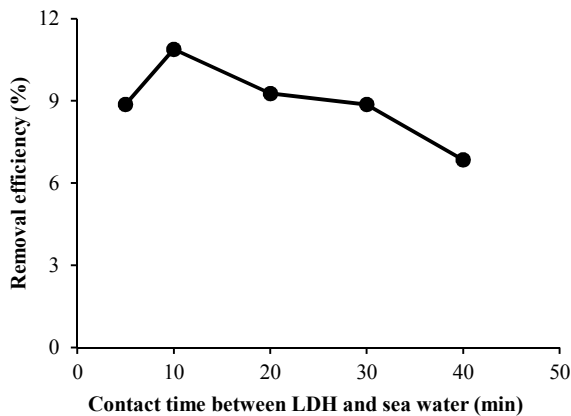


Fig. 10. Effect of contact time variations on performance of LDH in removing Chloride from sea

شکل ۱۰- اثر تغییرات زمان اختلاط بر عملکرد LDH در حذف یون کلرید آب دریا

همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود، روند کاهش یون کلرید تا زمان ده دقیقه اختلاط، افزایشی بوده و بعد از آن این روند کاهش می یابد که دلیل آن می تواند ناشی از آن باشد که با گذشت زمان، بخشی از LDH دچار انحلال می شود و به این ترتیب مقدار آن در محلول کاهش یافته و در نتیجه راندمان حذف یون کلرید کمتر می شود. بنابراین اختلاط ۱/۲۵ گرم بنتونیت، در ۵ میلی لیتر آب دریا، با سرعت اختلاط ۲۰۰ rpm و زمان اختلاط ۱۰ دقیقه به عنوان شرایط بهینه در نظر گرفته شد.

۳-۵- تکرار مراحل اختلاط LDH و آب دریا

در این مرحله نیز به منظور افزایش راندمان حذف یون کلرید در شرایط بهینه مشخص شده، آزمایش ها در سه مرحله متوالی با استفاده از محلول گرفته شده از مرحله قبل تکرار شد که تأثیر آن در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۱۱ مشاهده می شود که با تکرار مراحل اختلاط LDH و آب صاف شده از مرحله قبل، میزان حذف کلرید افزایش می یابد. لذا در عمل می توان با افزایش مراحل به میزان حذف بالاتری دست یافت.

۳-۶- نتایج ترکیب بنتونیت و LDH در شرایط بهینه

پس از بهینه یابی مقادیر درصد اختلاط بنتونیت و LDH، ۵/۵ گرم بنتونیت و ۵ گرم از LDH تهیه شده در ۴۰ میلی لیتر آب دریا ترکیب شد. نتایج نشان داد ترکیب دو نانو ساختار بهبودی در روند

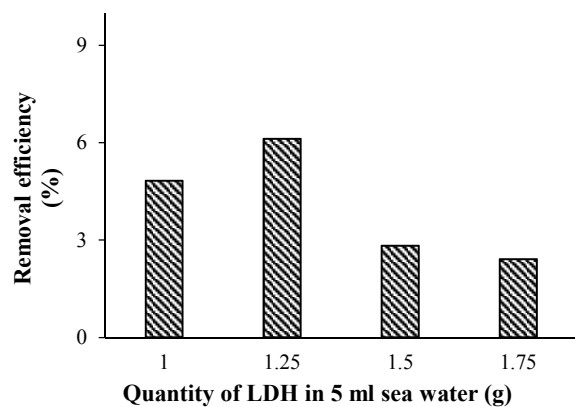


Fig. 8. Effect of quantity variations on performance of LDH in removing Chloride from sea water

شکل ۸- اثر تغییرات جرم بر عملکرد LDH در حذف یون کلرید آب دریا

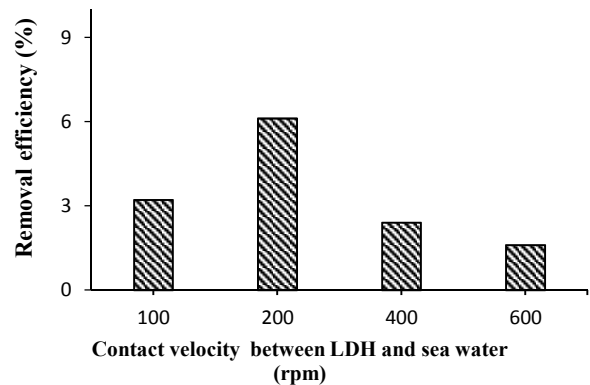


Fig. 9. Effect of velocity contact variations on performance of LDH in removing Chloride from sea water

شکل ۹- اثر تغییرات سرعت اختلاط بر عملکرد LDH در حذف یون کلرید آب دریا

درصد حذف در هر مرحله محاسبه شد. تأثیر تغییرات سرعت اختلاط بر عملکرد LDH در کاهش یون کلرید آب دریا در شکل ۹ ارائه شده است.

همان طور که در شکل ۹ مشخص است بهترین سرعت اختلاط مربوط به سرعت ۲۰۰ rpm است که میزان حذف یون کلرید به میزان ۶/۱۲ درصد است. پس از یافتن مقدار و سرعت بهینه اختلاط، با ثابت در نظر گرفتن حجم، مقدار و سرعت بهینه، اختلاط در زمان های مختلف انجام شد. تأثیر تغییرات زمان اختلاط بر عملکرد LDH در کاهش یون کلرید نیز در شکل ۱۰ ارائه شده است.



اختلاط ۲۰۰ rpm، در مدت زمان ۱۵ دقیقه در ۲۰ میلی لیتر آب دریا به عنوان شرایط بهینه برای کاهش یون سدیم و استفاده از ۱/۲۵ گرم LDH، با سرعت اختلاط ۲۰۰ rpm، در مدت زمان ۱۰ دقیقه در ۵ میلی لیتر آب دریا نیز به عنوان شرایط بهینه جهت کاهش یون کلرید مشخص شد.

در سه مرحله تکرار آزمایش‌ها، درصد حذف یون‌های سدیم و کلرید به ترتیب به ۱۸ و ۲۱ حاصل شد. در صورتی که تکرارها افزایش یابند درصدهای حذف نیز افزایش می‌یابند. همچنین نتایج نشان داد اسیدشویی بنتونیت با هیدروکلریک اسید تأثیر چندانی در کاهش یون سدیم ندارد و لذا اسیدشویی بنتونیت کلکته زنجان برای سدیم‌زدایی پیشنهاد نمی‌شود. از طرفی ترکیب دو نانوساختار نیز تأثیر قابل ملاحظه‌ای در عملکرد حذف یون‌های سدیم و کلرید نداشت. لذا این پژوهش اختلاط دو نانوساختار بنتونیت و هیدروکسیدهای لایه‌ای دوگانه را به‌طور هم‌زمان برای حذف سدیم و کلرید پیشنهاد نمی‌نماید اما نتایج نشان داد که استفاده جداگانه از نانوساختارهای بنتونیت و هیدروکسیدهای لایه‌ای دوگانه، تأثیر قابل قبولی در کاهش یون‌های موجود در آب دریا دارد. در مجموع می‌توان چنین بیان نمود که استفاده از نانوساختارهای مورد استفاده در این پژوهش به‌عنوان موادی ارزان‌قیمت که به‌وفور نیز در طبیعت یافت می‌شوند و یا سنتز آن‌ها به‌راحتی در آزمایشگاه انجام می‌شود، می‌توانند در نمک‌زدایی از آب دریا مورد استفاده قرار گیرند.

References

- Aftabi, P. & Safari, J. 2012. New solutions in the process of desalination and water treatment. *Science and Technology*, 97, 41-43.
- Chi, N. P., Dong, B. Z. & Liao, Y. 2010. Advanced phosphate removal by adsorption onto activated alum porcelain in simulation water. *Bioinformatics and Biomedical Engineering*, IEEE Pub., China.
- Gehrke, I., Geiser, A. & Somborn-Schulz, A. 2015. Innovations in nanotechnology for water treatment. *Nanotechnology Science Application*, 8, 1-17.
- Hosseini, M., Azamat, J. & Erfan-Niya, H. 2018. Improving the performance of water desalination through ultra-permeable functionalized nanoporous graphene oxide membrane. *Applied Surface Science*, 427, 1000-1008.
- Lu, P., Liang, S., Zhou, T., Xue, T., Mei, X. & Wang, Q. 2017. Layered double hydroxide nanoparticle modified forward osmosis membranes via polydopamine immobilization with significantly enhanced chlorine and fouling resistance. *Desalination*, 421, 99-109.
- Lv, L., He, J., Wei, M., Evans, D. G. & Duan, X. 2006. Uptake of chloride ion from aqueous solution by calcined layered double hydroxides: Equilibrium and kinetic studies. *Water Research*, 40, 735-743.

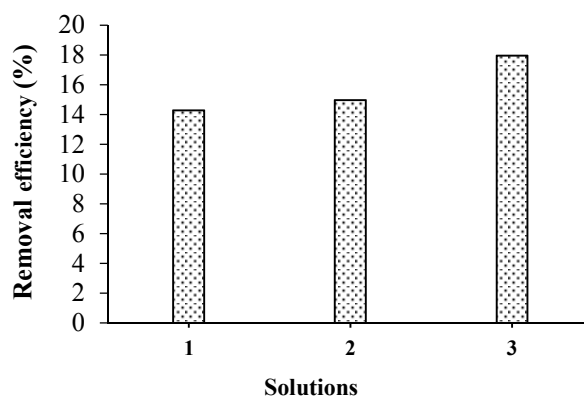


Fig. 11. Effect of repeating blend levels on performance of LDH in removing Chloride from sea water

شکل ۱۱- اثر تکرار مراحل اختلاط بر عملکرد LDH در حذف یون کلرید آب دریا

کاهش یون سدیم نداشت و فقط موجب کاهش ۴/۷۰ درصد از یون کلرید آب دریا شد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر نانو مواد بنتونیت و هیدروکسید لایه‌ای دوگانه $MgAl-CO_3$ به ترتیب بر کاهش یون‌های سدیم و کلرید آب دریا مورد بررسی قرار گرفت. حذف یون‌های سدیم و کلرید با تعیین مقادیر بهینه جاذب، سرعت و زمان اختلاط در آزمایش‌های مختلف انجام شد. نتایج استفاده از ۵/۵ گرم بنتونیت با سرعت



- Mandal, S., Tripathy, S., Padhi, T., Sahu, M. K. & Patel, R. K. 2013. Removal efficiency of fluoride by novel Mg-Cr-Cl layered double hydroxide by batch process from water. *Journal of Environmental Science (China)*, 25, 993-1000.
- Mazinani, B., Bakhtiyari, L. & Haghightzadeh, A. 2011. Investigation on physical and water decontamination properties of Iranian bentonite from Siah-Khaneh Zanjan. *Water Engineering Conference*. Shahid Beheshti university, Tehran, Iran (In Persian).
- Miller, J. E. 2003. *Review of water resources and desalination technologies*, Sandia National labs unlimited release report. SAND.
- Mirzakhani Siahkalroodi, M. 2009. Water sweetening processes. MSc Thesis, Khaje Nasir Al-Din Toosi University, Tehran, Iran. (In Persian).
- Murayama, N., Maekawa, I., Ushiro, H., Miyoshi, T., Shibata, J. & Valix, M. 2012. Synthesis of various layered double hydroxides using aluminum dross generated in aluminum recycling process. *International Journal of Mineral Processing*, 110, 46-52.
- Pardeshi, P. M., Mungray, A. K. & Mungray, A. A. 2017. Polyvinyl chloride and layered double hydroxide composite as a novel substrate material for the forward osmosis membrane. *Desalination Journal*, 45, 51-57.
- Rezaei Kahkha, M. R. & Abdolbaset, K. 2015. Investigation of the reduction of phosphate from aquatic environments by modified bentonite. *Second Conference of New Findings in the Environment and Agricultural Ecosystems*. Energy and Environment Research Center of Tehran University, Iran (In Persian).
- Safaei, S. & Tavakoli, R. 2017. On the design of graphene oxide nanosheets membranes for water desalination. *Desalination*, 422, 83-90.
- Schuster-Wallace, C. J. & Sandford, R. 2015. *Water in the world we want*, United Nations University Institute for Water, Environment and Health and United Nations Office for Sustainable Development, USA.
- Sepehr, M. N., Yetilmezsoy, K., Marofi, S., Zarrabi, M., Ghaffari, H. R., Fingas, M., et al. 2014. Synthesis of nanosheet layered double hydroxides at lower pH: Optimization of hardness and sulfate removal from drinking water samples. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45, 2786-2800.
- Shahrudin, M. Z., Othman, N. H., Alias, N. H. & Ghani, S. N. A. 2015. Desalination of produced water using bentonite as pre-treatment and membrane separation as main treatment. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2094-2100.
- Torab Farhad, M. & Koohsari, L. 2003. Mineralogical study and chemical composition of bentonite in order to activate it by chemical method. *Journal of Water Research*, 7, 3-14. (In Persian).
- Wibowo, E., Mamat, R. & Mikrajuddin, A. 2017. Reduction of seawater salinity by natural zeolite (Clinoptilolite): Adsorption isotherms, thermodynamics and kinetics. *Desalination Journal*, 409, 146-156.
- Zhu, R., Chen, Q., Zhou, Q., Xi, Y., Zhu, J. & He, H. 2016. Adsorbents based on montmorillonite for contaminant removal from water: A review. *Applied Clay Science*, 123, 239-258.
- Zirehpour, A., Rahimpour, A. & Ulbricht, M. 2017. Nano-sized metal organic framework to improve the structural properties and desalination performance of thin film composite forward osmosis membrane. *Journal of Membrane Science*, 531, 59-67.

