

Investigation of Water Hardness Reduction (Ca+Mg) using Strong Cationic Resins

YASIN NASROLLAHI¹, MOJTABA KHOSHRAVESH^{2*}, GHASEM AGHAJANI MAZANDARANI³

1. MSc student of Irrigation and Drainage, Faculty of Agricultural Engineering, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2. Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3. Instructor, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(Received: Oct. 24, 2018- Revised: Jan. 16, 2019- Accepted: Jan. 26, 2019)

ABSTRACT

Due to the high cost of water treatment by chemicals, low cost methods of refinement are very important. In this study, four types of strong cationic resins including Purolite C100, Purolite C100E, Trilite SCR-B and Dowex Marathon C as softening with different levels of 3, 5, 8 and 10 liters used to reduce Ca and Mg ions in Water Supply Station of the Coal Village House in Juybar city, Mazandaran province. In this study, Factorial experiments carried out in a completely randomized design to investigate the effect of different types and amounts of resins on Ca and Mg reduction in water. The results showed that the three liters of Dowex Marathon C resin have the highest removal efficiency of 16.1 and 21.5%, respectively, for magnesium and calcium. In addition, the five liters of Trilite SCR-B resin have the removal efficiency of 37.4% and 42.5% for Mg and Ca, respectively. The eight liters of Trilite SCR-B resin have the removal efficiency of 51.6% for magnesium and 60.3% for calcium. The highest removal efficiency of Mg (66%) and Ca (77.6%) obtained by using 10 liters Purolite C100e and Trilite SCR-B resins, respectively. Finally, it can be said that the Trilite SCR-B resin with the lowest calcium and magnesium hardness in the water (36 and 16 mg/l respectively) and the most effectiveness on hardness reduction is suggested to be used in the water treatment system of Juybar city.

Keywords: Cationic exchange resins, hardness, sedimentation, adsorption.

بررسی کارایی کاهش سختی آب (کلسیم و منیزیم) با استفاده از رزین‌های کاتیونی قوی

یاسین نصرالهی^۱، مجتبی خوش‌روش^{۲*}، قاسم آقاجانی مازندرانی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳. مربی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۰/۲۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۱/۶)

چکیده

با توجه به هزینه بالای ناشی از تصفیه آب به‌وسیله مواد شیمیایی، تصفیه توسط روش‌های کم‌هزینه بسیار مهم است. در این پژوهش برای بررسی توانایی رزین‌های کاتیونی در امر تصفیه از چهار نوع رزین کاتیونی قوی شامل Purolite C100، Purolite C100E، Dowex Marathon C و Trilite SCR-B به‌عنوان سختی‌زدا با مقادیر ۳، ۵، ۸ و ۱۰ لیتر برای کاهش یون‌های کلسیم و منیزیم ایستگاه آب‌رسانی روستای ذغال منزل شهرستان جویبار استان مازندران استفاده گردید. در این تحقیق اثر نوع و مقدار رزین بر میزان حذف کلسیم و منیزیم آب به صورت آزمایش‌های فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی بررسی شد. نتایج نشان داد رزین Dowex Marathon C به میزان ۳ لیتر دارای بیشترین راندمان حذف به میزان ۱۶/۱ و ۲۱/۵ درصد به ترتیب برای منیزیم و کلسیم می‌باشد. رزین Trilite SCR-B نیز دارای راندمان حذف عناصر منیزیم و کلسیم به میزان ۳۷/۴ و ۴۲/۵ درصد در حجم ۵ لیتر و ۵۱/۶ و ۶۰/۳ درصد در حجم ۸ لیتر می‌باشد. همچنین در حجم ۱۰ لیتر، رزین Purolite C100e با ۶۶ درصد بیشترین راندمان حذف منیزیم و رزین Trilite SCR-B با ۷۷/۶ درصد بیشترین راندمان حذف عنصر کلسیم را در بین تمامی جاذب‌ها به خود اختصاص داده‌اند. در نهایت می‌توان گفت که رزین Trilite SCR-B با کمترین میزان سختی کلسیمی و منیزیمی (به ترتیب ۳۶ و ۱۶ میلی‌گرم بر لیتر) در آب و بیشترین تأثیر در کاهش سختی برای استفاده در سیستم تصفیه آب شهرستان جویبار توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رزین‌های تبادل کاتیونی، سختی، رسوب‌گذاری، جذب.

مقدمه

۶۲۲ می‌باشد. لذا فرایندهایی که برای تصفیه آب آشامیدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند بستگی به کیفیت منبع تأمین آب دارند (Gholami et al., 2010). یکی از مشکلات منابع آب زیرزمینی، وجود سختی و مواد جامد محلول در آن است که باعث خوردگی یا رسوب‌گذاری آن می‌شود و این امر علاوه بر ایجاد هزینه‌های اقتصادی باعث مشکلات بهداشتی و نارضایتی استفاده‌کننده‌ها و هدر رفت آب می‌گردد. در ایران، بررسی تلفات آب تصفیه‌شده شهری نشان می‌دهد سالانه بیش از ۳۰ درصد آب‌های توزیعی (متوسط جهانی ۸ درصد) به علت پوسیدگی حاصل از خوردگی لوله‌های انتقال و توزیع به هدر می‌رود و بدیهی است که هزینه‌های تعویض و ترمیم لوله‌های فرسوده، این زیان را چندین برابر خواهند نمود (Shams et al., 2012). سختی آب، ناشی از وجود کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در آب است. هرچند کاتیون‌های دیگر چون آهن و منگنز نیز می‌توانند تولید سختی کنند ولی چون غلظت آن‌ها در آب بسیار کم است

در حال حاضر رودخانه‌ها و آب‌های سطحی بهترین منابع آبی هستند که نیازهای آبی اجتماعات را تأمین می‌کنند اما آبی که در طبیعت به دست می‌آید مانند آب رودخانه‌ها معمولاً قابل استفاده به‌صورت مستقیم نمی‌باشند و دارای ناخالصی‌هایی به‌صورت معلق و محلول می‌باشند و باید مورد تصفیه قرار گیرند (Zashedi crying and Mastouri, 2016). کیفیت آب شرب می‌تواند به‌صورت چشمگیری از یک منطقه نسبت به منطقه دیگر و متناسب با منابع آبی آن منطقه و مواد معدنی موجود در آب، تغییر کند. در کشور ایران بسیاری از شهرهای کویری که خاک قلیایی دارند از جمله زاهدان، سمنان، گرمسار، قم و کرمان، میزان سختی آب در آن‌ها بالا است. به‌عنوان مثال میزان سختی آب شرب شهر تهران ۲۰۰ ppm تا ۷۰۰، ایلام ۲۹۴ ppm، اهواز ۵۴۹ ppm، ساری ۴۳۲ ppm، رشت ۴۱۰ ppm، زاهدان ۸۷۴ ppm، اصفهان ۳۵۳ ppm، قم و سمنان به ترتیب ۶۸۳ ppm و ۶۸۳ ppm

منابع آب آشامیدنی پرداختند. در این مطالعه پس از اندازه‌گیری ارتفاع و زمان ماند بهینه، میزان رزین جذب نیترات با استفاده از ستون تبادل یون تعیین شد و در انتها داده‌های حاصل از آنالیز نمونه آب خروجی نشان داد که افزایش غلظت نیترات ورودی از ۲۵ به ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر تأثیری در روند حذف نیترات ندارد و راندمان حذف نیترات در کلیه غلظت‌های عبوری از ستون تبادل یونی در حضور رزین برابر ۱۰۰٪ خواهد بود. (Aghakhani *et al.* 2011) برای جذب کلسیم و منیزیم از محلول آب شور از ترکیب رزین کاتیونی و رزین آنیونی (Amberlite IR-120 و Amberlite IRA-402) استفاده کردند. حاصل تحقیق آنان منجر به حذف یون‌های کلسیم و منیزیم از محلول توسط رزین کاتیونی به ترتیب به میزان ۸۰/۸ و ۹۴/۱ درصد و توسط رزین آنیونی به ترتیب به میزان ۷۶/۹ و ۴۷/۱ درصد شد. (Comstock and Boyer 2014) به بررسی حذف سختی و مواد آلی کربنی (DOC) با استفاده از ترکیب تبادل یون مغناطیسی و تبادل کاتیونی پرداختند. آن‌ها از رزین آنیونی مغناطیسی MIEX-Cl و رزین تبادل کاتیونی A200 C-Na استفاده کردند. این پژوهشگران در تصفیه آب زیرزمینی به روش تبادل یونی، به ترکیبی با ۷۶ درصد DOC و ۸۶ درصد سختی‌زدایی با استفاده از محلول کلرید سدیم ۳۰ درصد دست یافتند. Sadeghi (۲۰۱۸) به بررسی آزمایشگاهی عملکرد رزین‌های تبادل یونی کاتیونی قوی پرولایت (Purolite) فرم Na^+ ، آمبرسپ (Ambersep) فرم H^+ ، آمبرلایت (Amberlite) فرم H^+ و رزین آنیونی فرم OH^- پرداخت. نتایج نشان داد که حداکثر درصد کاهش پارامترهای سختی کل، کاهش یون‌های کلسیم و منیزیم در شرایط بهینه، برای رزین پرولایت به ترتیب برابر ۹۰٪، ۹۳٪ و ۷۲٪، برای آمبرسپ به ترتیب برابر ۸۳٪، ۸۶٪ و ۷۱٪ و برای رزین آمبرلایت به ترتیب برابر ۶۹٪، ۷۰٪ و ۷۱٪ می‌باشد. Mirzaei (۲۰۱۴) به بررسی حذف یون‌های کلسیم و منیزیم از آب شور با استفاده از جاذب‌های اصلاح شده پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیشترین میزان جذب کلسیم ۷/۸ درصد و بیشترین میزان جذب یون منیزیم ۲۹ درصد بود.

در این پژوهش با دانستن این موضوع که سیستم تصفیه آب شهرستان جویبار در حال حاضر از نظر سختی‌زدایی موفق به حذف قابل توجهی از میزان سختی آب نشده است (میزان سختی کل آب مورد مطالعه ۴۸۶ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار جامدات محلول برابر ۵۹۶/۴۴ میلی‌گرم بر لیتر)، لذا جهت رفع این مشکل از سختی‌گیر رزین استفاده شد که دارای مزیت‌هایی همچون، سهولت در نصب و بهره‌برداری، بالا بودن عمر مفید، قابلیت اجرا در ظرفیت‌های مختلف، عدم وجود فاضلاب آلوده برای محیط‌زیست، صرفه‌جویی اقتصادی ناشی از مصرف مواد شیمیایی،

اصطلاحاً به مجموع کاتیون‌های کلسیم و منیزیم، سختی آب می‌گویند (Chalcash Amiri, 2016). اصلی‌ترین راه‌های جداسازی مواد محلول (یون‌ها) در آب شامل روش‌های حرارتی، غشایی، جذب سطحی، مغناطیسی و رزین‌های تبادل یونی می‌باشند (Emerson, 2003). در روش‌های غشایی، گرفتگی بیولوژیکی، قیمت بالای فیلتر، تخریب غشاء، در اسمز معکوس نیاز به پیش تصفیه، فشار اسمزی بالا، مصرف انرژی بالا، رسوب بیولوژیکی و بالانس آب خروجی از اسمز معکوس از نظر املاح (Ping *et al.*, 2013) و در روش‌های حرارتی، نیاز به انرژی زیاد و هزینه بالا و دی‌اکسید کربن خروجی بسیار بالا از جمله معایب عمده می‌باشند (Zak *et al.*, 2013). روش تبادل یونی به دلیل کیفیت حذف و بازیابی بالا، مقرون و به‌صرفه بودن (Bolto *et al.*, 2004)، کاهش هزینه به دلیل فراهم شدن رقابت تعداد سازندگان رزین و قابل دسترس بودن، کاربرد فراوانی در محیط زیست دارد (Rengaraj *et al.*, 2001). مطالعات صورت گرفته حکایت از آن دارد که فرایند جذب توسط رزین‌ها فرایند بسیار ساده و مؤثر است. Malchuthan *et al.* (2010) در تحقیقی با استفاده از غشای نانو فیلتر، حذف یون‌های کلسیم و منیزیم و در نتیجه سختی آب را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که با افزایش غلظت اولیه کلسیم و منیزیم، کارایی نانو فیلتر در حذف عناصر کلسیم و منیزیم کاهش و با افزایش جریان عبوری از غشاء، بازده حذف کاهش پیدا می‌کند. Golshahi (2012) به بررسی نقش تبادل‌گرهای یونی در کاهش سختی آب و استفاده از سه نوع رزین کاتیونی و یک نوع رزین ترکیبی پرداخت که در انتها با توجه به نتایج به دست آمده در مراحل مختلف بیان کرد که رزین C100 فرم Na^+ از نظر کارکرد و دانه‌بندی مناسب‌تر از رزین آمبرلایت و رزین آچ‌تل می‌باشد. Pilgrimage and Kindof (2016) در بررسی حذف فلز سنگین کادمیم از آب‌های صنعتی با استفاده از رزین تعویض یونی کاتیونی قوی پرولایت C100e یا گروه عاملی سولفوریک در یک فرایند ناپیوسته و آزمایشگاهی، به کارایی مطلوب و قابل قبول این نوع رزین اشاره کردند. Yu *et al.* (2009) برای کاهش کلسیم و منیزیم موجود در محلول از رزین کاتیونی Amberlite IRC-748 فرم پتاسیمی در دما، زمان تماس، pH و جرم جاذب متفاوت استفاده کردند. آن‌ها بیان کردند که برای یون کلسیم، فرایند جذب توسط مدل لانگمویر بهتر از مدل فروندلیچ نمایش داده می‌شود و بیشترین میزان تبادل کلسیم و منیزیم به ترتیب برابر ۴۷/۲۱ و ۲۷/۷ میلی‌گرم در هر گرم جاذب به دست آمد. Junior *et al.* (2010) به بررسی حذف نیترات با استفاده از رزین آنیونی قوی Amberjet 4200-Cl به منظور ارایه یک روش مناسب برای حل مشکل افزایش غلظت نیترات در

خروجی از این مرحله توسط یک تکه شیلنگ دیگر متصل به زانویی خروجی این هوزینگ به سمت هوزینگ مرحله سوم تصفیه (فیلتر شماره ۳) هدایت می‌شود. فیلتر درون این هوزینگ تهیه شده از دانه‌های کربن فعال است و وظیفه حذف مواد آلی محلول در آب، کلر و گازهای شیمیایی محلول و همچنین رنگ و بوی نامطبوع آب (که می‌تواند ناشی از تجمع مواد آلی در آب باشد) را بر عهده دارد. هوزینگ شماره ۳ به همراه فیلتر کربن بلاک، سومین مرحله تصفیه آب را عهده‌دار است. ورودی و خروجی درپوش محفظه از نوع دنده‌ای به قطر ۱/۴ اینچ می‌باشد. آب از هوزینگ مرحله دوم (فیلتر شماره ۲) توسط شیلنگ به زانویی ورودی این هوزینگ متصل و وارد این مرحله از تصفیه می‌شود و آب خروجی از آن توسط سهراهی خروجی به سمت هوزینگ حاوی رزین (فیلترهای شماره ۴ و ۵) هدایت می‌شود. فیلتر درون این هوزینگ از نوع کربن یک‌تکه فشرده بوده و تکمیل‌کننده فرایند تصفیه مرحله دوم می‌باشد. به‌علاوه این‌که ذرات بزرگ‌تر از ۵ میکرون و دانه‌های کربنی که احتمال دارد در ابتدای کار از فیلتر دوم آزاد شود را حذف کرده و مانع از رسیدن آن‌ها به فیلترهای رزین می‌شود. هوزینگ‌های شماره ۴ و ۵ حاوی رزین‌های کاتیونی قوی مورد آزمایش با مقادیر مدنظر می‌باشد. آب از هوزینگ شماره ۳ توسط شیلنگ به ورودی این هوزینگ‌ها هدایت می‌شود. آب ورودی به هوزینگ‌های شماره ۴ و ۵ پس از گذشتن از روی رزین‌ها، سختی خود را از دست‌داده و تصفیه‌شده و به‌وسیله شیر خروجی و شیلنگ متصل به آن به سمت منبع ذخیره آب (تانک) هدایت می‌شود.

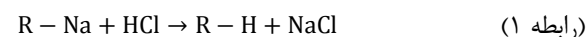
ابتدا مشخصات اولیه آب مورد آزمایش اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول (۲) آمده است. سپس آب مورد بررسی از هر کدام از رزین‌های فوق‌الذکر با مقادیر مشخص در سه تکرار عبور داده شد. زمان ماند مشخص ۱۵ دقیقه در نظر گرفته شد. سپس از شیر خروجی سیستم، نمونه‌گیری بعمل آمد و آنالیز کلسیم و منیزیم به‌صورت زیر انجام گرفت.

جلوگیری از خسارات زیست‌محیطی بر محیط کارخانه و از همه مهم‌تر می‌تواند سختی موجود در آب را تا حد قابل قبولی کاهش دهد؛ بنابراین عملیات کاهش سختی آب با استفاده از رزین در ایستگاه آب‌رسانی روستای ذغال منزل شهرستان جویبار (منبع آب زیرزمینی) مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از رزین‌های کاتیونی اسیدی قوی شامل Purolite C100, Purolite C100e, Trilite SCR-B و Dowex Marathon C به‌عنوان سختی‌زدا با مقادیر ۳، ۵، ۸ و ۱۰ لیتر استفاده شد. پایداری فیزیکی، شیمیایی، گرمایی و ظرفیت بالا در تبادل، جزو مشخصات اصلی این نوع رزین‌ها می‌باشد. خواص فیزیکی و مشخصاتی که توسط تأمین‌کنندگان داخلی (شرکت ابنیه پایدار سبز) گزارش شده است در جدول (۱) آمده است.

از آن جایی که یون تبدالی این رزین‌ها سدیم است، از اسید HCL برای شستشو استفاده شد تا سدیم موجود بر روی سایت تبدالی این رزین‌ها با یون هیدروژن جایگزین شود (رابطه ۱).



شما تیک مدل فیزیکی مورد استفاده در شکل (۱) نشان داده شده است. این مدل از ۵ هوزینگ تشکیل شده که وظیفه هر کدام از هوزینگ‌ها به این شرح است؛ هوزینگ شماره ۱ (محفظه) به همراه فیلتر الیافی ۵ میکرون اولین مرحله تصفیه آب را عهده‌دار است. این هوزینگ دارای یک ورودی و یک خروجی از نوع دنده‌ای به قطر ۱/۴ اینچ می‌باشد. آب ورودی به دستگاه، توسط شیلنگ از شیر ورودی که به این هوزینگ متصل بوده، به مرحله اول تصفیه می‌رسد. فیلترهای الیافی، وظیفه زلال و شفاف‌سازی آب را با حذف ذرات معلق به عهده دارند. هوزینگ شماره ۲ به همراه فیلتر کربن فعال (GAC) Granular Activated Carbon دومین مرحله تصفیه آب را عهده‌دار است. آب از زانویی متصل به خروجی توسط شیلنگ به زانویی ورودی این هوزینگ متصل شده و به این مرحله از تصفیه می‌رسد و آب

جدول ۱. مشخصات رزین‌های مورد استفاده

Trilite SCR-B	Purolite C100	Dowex Marathon C	Purolite C100e	نوع رزین
خصوصیات				
Brown Spherical Grain	Spherical Beads	Amber Trans Lucent Spherical Beads	Spherical Beads	نوع ساختار
Na ⁺	Na ⁺	Na ⁺	H ⁺	شکل یونی تبدالی
43-50	44-48	42-48	50-56	ظرفیت رطوبتی (%)
(0.3 - 1.2) ≥ %95	300 - 1200 μm	585 ± 50 μm	600 ± 50 μm	اندازه دانه
842	800-840	820	800	ظرفیت تبدالی (g/l)
339 (K)	248 (°F)	250 (°F)	248 (°F)	حداکثر دمای عملکرد



شکل ۱. شماتیک مدل فیزیکی مورد استفاده

جدول ۲. خصوصیات آب ورودی به مدل

پارامترها	pH	EC (میکرو موس بر سانتی متر)	TDS (میلی گرم بر لیتر)	کدورت (NTU)	دما (درجه سانتی گراد)	قلیائیت کل (میلی گرم بر لیتر)
مقدار	۷/۱۲	۹۶۲	۵۹۶/۴۴	۰/۲۹	۲۳/۶	۳۶۰

ادامه جدول ۲. خصوصیات آب ورودی به مدل

پارامترها	سختی کل (میلی گرم بر لیتر)	سختی کلسیمی (میلی گرم بر لیتر)	سختی منیزیمی (میلی گرم بر لیتر)	کلسیم (میلی گرم بر لیتر)	منیزیم (میلی گرم بر لیتر)	سدیم (میلی گرم بر لیتر)
مقدار	۴۸۶	۳۴۹	۱۳۷	۱۳۹/۶	۳۲/۸۸	۷/۷

به محلول داخل ارلن ۲ میلی لیتر KOH_8N_2 اضافه و آن را تکان داده تا میکس شود. به محتوی داخل ارلن یک عدد معرف CalVer2 Calcium اضافه و هم زده می شود تا کاملاً میکس شود. در نهایت محلول به رنگ صورتی در می آید. با استفاده از تیترانت EDTA تیتراسیون را ادامه داده تا رنگ محلول آبی شود. در نهایت عدد به دست آمده بر حسب CaCO_3 Hca اس.

جدول ۳. ضرایب دستگاه دیجیتال تیترا تور

CaCO ₃ (mg/l)	نمونه	Titration cartridge (M EDTA)	Cat.nom	Digital Multiplier
۴۰-۱۰	۱۰۰	۰/۰۸۰۰	۰۱-۱۴۳۶۴	۰/۱
۱۶۰-۴۰	۲۵	۰/۰۸۰۰	۰۱-۱۳۳۶۴	۰/۴
۴۰۰-۱۰۰	۱۰۰	۰/۸۰۰	۰۱-۱۴۳۹۹	۱
۸۰۰-۲۰۰	۵۰	۰/۸۰۰	۰۱-۱۴۳۹۹	۲
۲۰۰۰-۵۰۰	۲۰	۰/۸۰۰	۰۱-۱۴۳۹۹	۵
۴۰۰۰-۱۰۰۰	۱۰	۰/۸۰۰	۰۱-۱۴۳۹۹	۱۰

برای اندازه گیری سختی دائم، ابتدا ۲۰۰ میلی لیتر نمونه را داخل بشر ریخته و مگنت را در آب داخل بشر انداخته و آن را

اندازه گیری سختی کل، سختی کلسیمی، سختی منیزیمی، سختی دائم و قلیائیت نمونه های آب با استفاده از دستگاه دیجیتال تیترا تور انجام گرفت.

برای اندازه گیری سختی کل، حجم معینی از نمونه آب خروجی از مدل (با توجه به جدول ۳) با مزور برداشته شده و در داخل ارلن ۲۵۰ میلی لیتری ریخته شد. اگر لازم باشد (برای این - که به حجم ۱۰۰ میلی لیتری برسد) به محتوی ارلن آب مقطر اضافه می شود. سپس به محلول داخل ارلن به مقدار یک میلی لیتر محلول بافر اضافه کرده و محلول هم زده می شود. به محتوی داخل ارلن یک عدد معرف Manver2 اضافه و آن را میکس می کنیم. در نهایت محلول به رنگ صورتی در می آید که با استفاده از تیترانت EDTA تیتراسیون را ادامه داده تا رنگ محلول آبی شود. در نهایت عدد به دست آمده از تیتراسیون را با توجه به جدول زیر در ۱ یا ۲ ضرب کرده و نتیجه بر حسب CaCO_3 گزارش شد. برای اندازه گیری سختی کلسیمی، ۱۰۰ میلی لیتر از نمونه مزبور برداشته و در داخل ارلن ۲۵۰ میلی لیتر ریخته شد. سپس

در تمام رزین‌های مورد استفاده، تمام صفات اندازه‌گیری شده روند کاهشی داشت. کمترین سختی کلسیم در آب خروجی (۳۶/۶۷ میلی‌گرم بر لیتر) مربوط به رزین Trilite SCR-B با مقدار ۱۰ لیتر و همچنین بیشترین مقدار (۳۴۶ میلی‌گرم بر لیتر) مربوط به رزین Purolite C100 در غلظت اولیه آب به دست آمد. کمترین میزان سختی منیزیم در آب خروجی به میزان ۱۵/۸۷ میلی‌گرم بر لیتر مربوط به رزین Trilite SCR-B با حجم ۱۰ لیتر و بیشترین سختی منیزیم به میزان ۱۳۶/۳۳ میلی‌گرم بر لیتر در غلظت اولیه آب برای رزین Purolite C100 بود. بیشترین میزان کاهش کلسیم به میزان ۷۷ درصد مربوط به رزین Trilite SCR-B بود و بیشترین میزان کاهش منیزیم در رزین Purolite C100e به میزان ۶۶ درصد بود که کمترین میزان پارامترهای کلسیم و منیزیم در حجم ۱۰ لیتر رزین به دست آمد. بر اساس مطالعات (Farzaneh et al. 2001) با افزایش مقدار جاذب، مقدار جذب افزایش می‌یابد زیرا سایت‌های تبادلی بیشتر می‌شود، ولی اگر مقدار جاذب از حد معینی تجاوز کند علی‌رغم این که سایت‌های تبادلی بیشتر می‌شود ولی به نسبت مقدار جذب انجام شده، راندمان جذب کاهش می‌یابد. زیرا مقدار یون بیشتری در مقایسه با سایت‌های تبادلی موجود، وجود دارد و راندمان کاهش می‌یابد و به خصوص موقع استفاده از رزین‌های کاتیونی که گران‌قیمت هستند استفاده بیش از نیاز از آن‌ها مقرون به صرفه نیست.

روی هیتر قرار داده تا به جوش آید. درجه مگنت را طوری تنظیم کرده که محتوی آب داخل بشر بیرون نریزد. زمانی که حجم آب به نصف یعنی ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید هیتر را خاموش کرده و بشر را کنار گذاشته تا خنک شود. پس از خنک شدن، آب را صاف کرده و ۵۰ میلی‌لیتر از آب صاف‌شده را با مزور برداشته و در داخل ارلن می‌ریزیم. سپس ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر را به آن اضافه کرده تا حجم محلول به ۱۰۰ میلی‌لیتر برسد. بقیه مراحل طبق دستورالعمل اندازه‌گیری سختی کل می‌باشد (Picari and Carbasian, 2015).

نتایج و بحث

بعد از انجام کلیه آزمایش‌ها، تحلیل نتایج توسط نرم‌افزار SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. نتایج تجزیه واریانس صفات کیفی آب در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه بلوک کامل تصادفی در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که اثر نوع و مقدار رزین بر هم‌وی خصوصیات کیفی آب در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است که با نتایج پژوهش (Asemanrafat et al. 2013) تحت عنوان جذب عناصر سنگین توسط رزین کاتیونی آمربلیت هم‌خوانی داشت. نتایج مقایسه میانگین اثرات نوع و مقدار رزین بر خصوصیات کیفی آب در جدول (۵) آمده است. با افزایش مقدار

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای مختلف بر خصوصیات کیفی آب

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		pH	EC	TDS	کدورت	دما	قلیائیت کل
تکرار	۲	ns./۰.۰۱	ns۴۱۰۰/۲۷۹	*۱۶۶۴/۶۰۳	**۰/۰۱۷۱	ns۰/۰۰۳	*۲۴۷۱/۷۵۴
نوع رزین	۳	۰/۲۵۹**	۷۴۲۵۵/۳۰۴**	۱۰۳۰۸۳/۵۰۶**	۰/۴۴۰**	۰/۲۹۵**	۴۹۶۹۷/۵۱۵**
مقدار	۴	۰/۰۹۳**	۹۴۳۴۴۷/۲۹۶**	۲۰۰۶۳۹/۱۵۲**	۰/۱۰۸**	۰/۱۲۱**	۸۸۵۱۶/۵۵۱**
نوع رزین*مقدار	۱۲	۰/۰۰۳ ^{ns}	۲۶۹۲/۳۷۴ ^{ns}	*۳۸۷/۰۰۸	ns۰/۰۰۰۹	ns۰/۰۰۲	*۱۰۵۲/۸۲۳
خطا	۲۱	۰/۰۰۳	۱۴۱۴/۸۳۲	۱۸۰/۹۵۸	۰/۰۰۰۹	۰/۰۱۴	۴۸۱/۵۱۵
ضریب تغییرات %		۰/۸۹	۶/۷۳	۴/۱	۵/۲۶۴	۰/۵۱۳	۱۱/۰۳۷

*، ** و ^{ns} به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

ادامه جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای مختلف بر خصوصیات کیفی آب

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		سختی کل	سختی کلسیمی	سختی منیزیمی	کلسیم	منیزیم	سدیم
تکرار	۲	*۱۸۵۷/۹۱۶	*۱۲۱۷/۱۱۶	*۱۰۸/۲۳۱	**۱۵۱/۱۹۴	**۵۲/۸۴۷	ns۴۴/۷۹۷
نوع رزین	۳	۶۷۵۲۹/۳۵۰**	۴۵۳۳۶/۳۱۱**	۱۵۷۶۱/۲۵۹**	۶۷۷۲/۰۱۱**	۴۸۸/۳۹۷**	۲۰۴۴/۴۸۰**
مقدار	۴	۱۷۵۵۵۱/۶۰۸**	۹۳۵۶۰/۲۹۱**	۵۷۶۲/۷۲۲**	۱۱۰۲۹/۵۸۴**	۴۲۱/۴۴۷**	۱۵۹۸/۵۴۳**
نوع رزین*مقدار	۱۲	ns۲۶۳/۶۴۱	ns۶۱۳/۱۰۲	**۱۲۷/۴۱۲	*۵۱/۳۶۶	*۸/۳۸۹	ns۲۶/۲۹۸
خطا	۲۱	۴۰۸/۱۰۹	۳۶۸/۱۵۱	۴/۳۷۶	۱۹/۹۸۱	۳/۴۷۰	۱۵/۴۸۹
ضریب تغییرات %		۷/۳۰	۱۰/۰۸	۲/۶۳	۵/۳۹	۹/۹۲	۱۱/۸۰

*، ** و ^{ns} به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین اثرات نوع رزین و مقادیر مختلف رزین بر خصوصیات کیفی آب

نوع رزین	مقدار	pH	EC	TDS	کدورت	دما	قلیائیت کل
Purolite C100	۰	۷/۱۱	۹۶۰/۶۷	۵۹۶/۱۷	۰/۲۹	۲۳/۳۷	۳۵۷
	۳	۷/۰۹	۷۹۲/۶۷	۵۴۲/۶۳	۰/۳۳	۲۳/۴۷	۳۳۳
	۵	۷/۰۶	۶۲۳	۴۰۳/۴۷	۰/۴۰	۲۳/۵۵	۲۹۰
	۸	۷/۰۳	۵۶۴	۳۵۵/۴۵	۰/۴۷	۲۳/۶۲	۲۴۲
	۱۰	۷	۳۱۵/۳۳	۲۶۳/۷۰	۰/۵۲	۲۳/۶۸	۱۲۲/۶۷
Dowex Marathon C	۰	۶/۹۳	۸۸۴/۳۳	۴۳۵/۳۳	۰/۵۳	۲۳/۷۱	۲۶۹/۶۷
	۳	۶/۸۸	۷۳۳	۳۹۱	۰/۵۹	۲۳/۷۶	۲۲۶/۳۳
	۵	۶/۸۰	۵۲۹/۶۷	۲۷۵	۰/۶۴	۲۳/۸۰	۱۷۷
	۸	۶/۷۵	۳۷۸/۶۷	۲۰۸/۶۷	۰/۷۱	۲۳/۸۵	۱۱۴/۰۷
	۱۰	۶/۷۱	۱۲۱	۱۲۲	۰/۷۶	۲۳/۹۱	۶۷/۱۰
Purolite C100e	۰	۶/۹۷	۹۲۳/۶۷	۵۱۸	۰/۳۴	۲۳/۶۰	۳۱۲/۶۷
	۳	۶/۸۵	۷۶۰	۴۵۸/۳۳	۰/۳۹	۲۳/۶۵	۳۱۱/۶۷
	۵	۶/۷۹	۵۷۰/۳۳	۳۱۲/۴۷	۰/۴۸	۲۳/۷۳	۲۱۰/۶۷
	۸	۶/۷۴	۴۱۲/۱۷	۲۷۷/۴۷	۰/۵۶	۲۳/۸۳	۱۵۸/۳۳
	۱۰	۶/۶۷	۱۸۰	۱۹۲/۹۷	۰/۶۳	۲۳/۹۰	۱۰۰
Trilite SCR-B	۰	۶/۸۹	۸۴۱/۶۷	۳۸۷	۰/۶۹	۲۳/۷۵	۲۳۶/۳۳
	۳	۶/۸۵	۶۷۷/۳۳	۳۲۷/۶۷	۰/۷۳	۲۳/۸۱	۱۹۹/۳۳
	۵	۶/۷۸	۴۸۰/۶۷	۲۲۶	۰/۷۸	۲۳/۸۷	۱۲۵/۶۷
	۸	۶/۷۰	۳۲۸	۱۸۵/۶۷	۰/۸۴	۲۳/۹۲	۷۴/۳۳
	۱۰	۶/۶۴	۱۰۰/۶۷	۸۲/۳۳	۰/۸۸	۲۳/۹۵	۴۸/۳۳
LSD 5%							۳۶/۲۷۱

ادامه جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین اثرات نوع رزین و مقادیر مختلف رزین بر خصوصیات کیفی آب

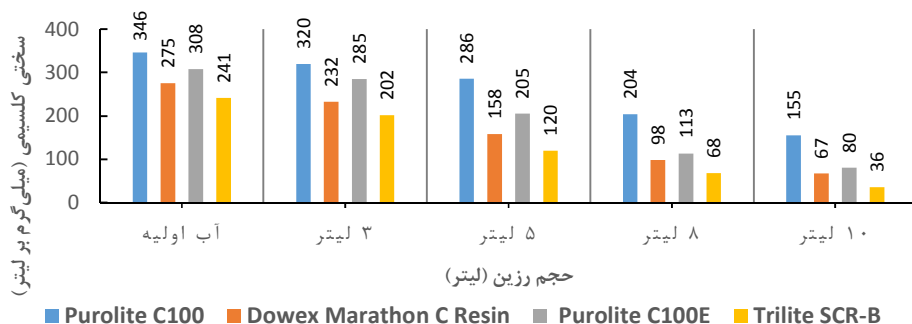
نوع رزین	مقدار	سختی کل	سختی کلسیمی	سختی منیزیمی	کلسیم	منیزیم	سدیم
Purolite C100	۰	۴۹۳/۶۷	۳۴۶	۱۳۶/۳۳	۱۳۹/۲۰	۳۱/۸۹	۷/۸۴
	۳	۴۵۱/۶۷	۳۲۰	۱۲۵/۳۳	۱۲۷/۶۷	۲۹/۱۶	۱۴/۷۳
	۵	۳۶۴/۶۷	۲۸۶/۶۷	۱۱۵/۰۷	۱۱۳/۳۰	۲۷/۰۵	۲۰/۶۰
	۸	۲۸۱/۶۷	۲۰۴/۶۷	۱۰۴/۰۷	۹۰/۲۷	۲۱/۸۷	۲۶/۲۳
	۱۰	۲۱۵/۳۳	۱۵۵/۶۷	۹۴/۳۳	۶۳/۷۳	۱۶/۴۱	۳۱/۴۷
Dowex Marathon C	۰	۳۹۵	۲۷۵/۶۷	۱۰۲/۶۷	۱۱۲/۶۷	۲۴/۳۷	۲۸/۹۳
	۳	۳۵۵	۲۳۲	۷۹	۸۸/۳۳	۲۰/۴۳	۳۰/۲۵
	۵	۲۵۵/۶۷	۱۵۸/۶۷	۵۶/۷۳	۶۸/۲۳	۱۷	۳۳/۷۹
	۸	۱۶۵/۳۳	۹۸/۶۷	۴۶/۷۳	۵۰/۰۷	۱۳/۳۰	۴۶/۷۷
	۱۰	۸۹/۳۳	۶۷/۶۷	۳۴/۹۳	۳۷/۸۴	۱۱/۲۸	۵۵/۱۴
Purolite C100e	۰	۴۳۲/۶۷	۳۰۸/۶۷	۱۲۰	۱۲۸/۱۷	۲۹/۴۰	۱۱/۹۸
	۳	۳۹۳/۳۳	۲۸۵	۱۰۵	۱۱۵/۸۷	۲۶/۲۰	۲۱/۶۶
	۵	۲۹۳/۶۷	۲۰۵/۳۳	۹۲	۹۷/۴۶	۲۲/۳۸	۲۱/۹۱
	۸	۲۰۵/۶۷	۱۱۳	۸۳	۷۳	۱۵/۹۲	۳۵/۶۳
	۱۰	۱۲۹/۶۷	۸۰/۶۷	۷۸/۷۷	۵۱/۹۵	۹/۹۹	۴۱/۴۴
Trilite SCR-B	۰	۳۴۱/۳۳	۲۴۱	۸۱/۶۷	۹۹/۱۳	۱۷/۵۷	۲۷/۸۹
	۳	۲۸۲/۳۳	۲۰۲	۵۹/۳۳	۸۰/۴۱	۱۵/۲۷	۳۷/۳۱
	۵	۲۱۲/۳۳	۱۲۰/۶۷	۳۱/۵۷	۵۶/۹۷	۱۰/۹۸	۴۶/۶۴
	۸	۱۰۹/۳۳	۶۸	۲۲/۹۰	۳۹/۳۷	۸/۵۰	۵۷/۰۱
	۱۰	۶۶/۶۷	۳۶/۶۷	۱۵/۸۷	۲۲/۲۱	۶/۵۰	۶۳/۴۶
LSD 5%							۶/۵۰۵۴

آب کاهش می‌یابد. به طوری که در کلیه تکرارها و تیمارها حجم رزین ۱۰ لیتر، بیشترین تأثیر در جذب سختی کلسیمی را دارا بود. بررسی ۴ تیمار مختلف رزین حاکی از این است که استفاده

تأثیر مقادیر مختلف رزین بر میزان کلسیم آب خروجی از مدل با بررسی شکل (۲) مشخص گردید که با افزایش حجم رزین مصرفی، میزان جذب کلسیم موجود در آب افزایش یافته و سختی

به‌هرحال مقایسه نتایج تیمارهای مختلف نشان داد که کارایی رزین Trilite SCR-B در مقایسه با سه رزین دیگر در حذف کلسیم از آب بیشتر است. Aghakhani *et al.* (2011) نیز برای جذب کلسیم از محلول آب‌شور از ترکیب رزین کاتیونی و رزین آنیونی (Amberlite IR-120 و Amberlite IRA-402) استفاده کردند. کلسیم به دلایلی از قبیل تبادل یونی، افزایش pH در محلول رزین آنیونی و جذب به‌وسیله جاذب‌های آنیونی حذف شد که این میزان برای رزین کاتیونی و آنیونی به ترتیب برابر ۸۰/۸ و ۷۶/۹ به دست آمد.

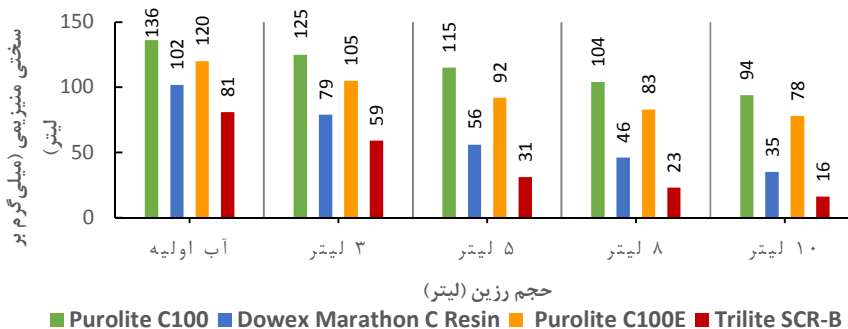
از رزین Purolite C100e در حجم ۱۰ لیتر با کاهش میزان سختی از ۳۰۸ به ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین تأثیر را بر میزان جذب کلسیم داشته و پس از آن رزین‌های Dowex Marathon C، Purolite C100 و Trilite SCR-B به ترتیب با میزان کلسیم ۲۰۸، ۲۰۵ و ۱۹۱ میلی‌گرم بر لیتر در سختی‌گیری آب مؤثر بودند. در حجم ۳ لیتر رزین Dowex Marathon C با جذب کلسیم به میزان ۴۳ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین تأثیر را در سختی-زدایی آب داشت. رزین Trilite SCR-B در حجم ۵ لیتر و رزین Dowex Marathon C در حجم ۸ لیتر به‌ترتیب با جذب ۱۲۱ و ۱۷۷ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم، در کاهش سختی آب مؤثر بودند.



شکل ۲. تأثیر مقادیر مختلف رزین بر میزان کلسیم آب

جذب منیزیم به‌ترتیب برابر ۶۵، ۴۲ و ۴۳ میلی‌گرم بر لیتر در سختی‌زدایی آب مؤثر بوده‌اند. در حجم ۳ لیتر، رزین Dowex Marathon C با جذب ۲۳ میلی‌گرم بر لیتر و در حجم ۵ و ۸ لیتر، رزین Trilite SCR-B با جذب ۵۰ و ۵۸ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین تأثیر را در جذب منیزیم دارا بوده است. با توجه به این-که با افزایش مقدار جاذب سایت‌های تبدالی بیشتر می‌شود، این امر منطقی به نظر می‌رسد. به‌هرحال نتایج حاصل از این آزمایش حاکی از این است که استفاده از رزین Trilite SCR-B بیشترین تأثیر را در جذب منیزیم دارا می‌باشد. Yu *et al.* (2009) برای کاهش منیزیم از رزین کاتیونی Amberlite IRC-748 فرم پتاسیمی استفاده کردند که بر اساس مدل لانگمویر منجر به تبادل ۲۷/۷ میلی‌گرم بر لیتر یون منیزیم گردید.

تأثیر مقادیر مختلف رزین بر میزان منیزیم آب خروجی از مدل با بررسی شکل‌های (۳) مشخص است که در کلیه تیمارها با افزایش حجم رزین مصرفی، میزان سختی منیزیم در آب خروجی کاهش یافته و قدرت جذب افزایش می‌یابد. در کلیه تکرارها و تیمارها حجم رزین ۱۰ لیتر دارای بیشترین تأثیر در جذب سختی منیزیم بود. در تمام تیمارهای مورد مطالعه کمترین میزان حذف سختی منیزیم مربوط به مقدار صفر و بیشترین میزان حذف مربوط به مقدار ۱۰ لیتر بود. طبق شکل‌های ارائه شده، رزین Dowex Marathon C با کاهش سختی منیزیم از ۱۰۲ به ۳۴ میلی‌گرم بر لیتر، بیشترین قدرت جذب را در بین کلیه رزین‌های مصرفی داشته و پس از آن رزین‌های Trilite SCR-B، Purolite C100 و Purolite C100e با حجم ۱۰ لیتر و با حداکثر میزان



شکل ۳. تأثیر مقادیر مختلف رزین بر میزان منیزیم آب

نتیجه‌گیری

در این پژوهش رزین‌های کاتیونی Purolite، Trilite SCR-B، C100e، و Dowex Marathon C جهت کاهش سختی آب مورد استفاده قرار گرفت. بررسی ۴ تیمار مختلف رزین حاکی از این بود که استفاده از رزین Purolite C100e در حجم ۱۰ لیتر با کاهش میزان سختی از ۳۰۸ به ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین تأثیر را بر میزان جذب کلسیم داشت و پس از آن رزین‌های Purolite، Trilite SCR-B، و Dowex Marathon C، C100 به ترتیب با جذب کلسیم به میزان ۲۰۵، ۲۰۸ و ۱۹۱ میلی‌گرم بر لیتر در سختی‌زدایی آب مؤثر بودند. در کلیه تیمارها با افزایش حجم رزین مصرفی، میزان سختی منیزیم در آب خروجی کاهش یافته و قدرت جذب افزایش یافت و در تمام تکرارها و تیمارها حجم رزین ۱۰ لیتر دارای بیشترین تأثیر در جذب سختی منیزیم بود. در تمام تیمارهای مورد مطالعه، کمترین میزان حذف سختی منیزیم مربوط به حجم صفر (شاهد) و بیشترین میزان حذف مربوط به حجم ۱۰ لیتر رزین Dowex Marathon C با کاهش سختی منیزیم از ۱۰۲ به ۳۴ میلی‌گرم بر لیتر و پس از آن رزین‌های Purolite C100، Trilite SCR-B و Purolite C100e به ترتیب با حداکثر میزان جذب منیزیم ۶۵، ۴۲ و ۴۳ میلی‌گرم بر لیتر بودند. در حجم ۳ لیتر، رزین Dowex Marathon C بیشترین راندمان حذف منیزیم و کلسیم را به ترتیب با مقادیر ۱۶/۱ و ۲۱/۵ درصد به خود اختصاص داد. رزین Trilite SCR-B با حجم ۵ لیتر، بیشترین راندمان حذف کلسیم (۴۲/۵ درصد) و منیزیم (۳۷/۴ درصد) را داشت. رزین Trilite SCR-B با حجم ۸ لیتر دارای راندمان حذف ۵۱/۶ درصد برای منیزیم و ۶۰/۳ درصد برای کلسیم بود. همچنین، رزین Purolite C100e با حجم ۱۰ لیتر بیشترین راندمان حذف منیزیم (۶۶ درصد) و رزین Trilite SCR-B با حجم ۱۰ لیتر بیشترین راندمان حذف کلسیم (۷۷/۶ درصد) را داشت. نتایج پژوهش مشخص نمود که رزین Trilite SCR-B دارای بیشترین تأثیر در کاهش سختی کلسیمی و منیزیمی و نیز بیشترین راندمان حذف عناصر سختی‌زا را در میان تمامی جاذب‌های مطرح شده به خود اختصاص داد. با خروج یون‌های کلسیم و منیزیم، سختی کل (TH) کاهش یافت. لذا براساس این پژوهش استفاده از رزین Trilite SCR-B با داشتن بیشترین تأثیر در حذف سختی جهت استفاده در سیستم تصفیه آب شهرستان جویبار پیشنهاد می‌شود.

بررسی راندمان حذف عناصر کلسیم و منیزیم

راندمان حذف عناصر کلسیم و منیزیم در تیمارهای آزمایشی با مقادیر ۳، ۵، ۸ و ۱۰ لیتر در جدول (۶) آمده است. طبق جدول-های ارائه شده، رزین Dowex Marathon C با حجم ۳ لیتر، بیشترین راندمان حذف منیزیم و کلسیم را به ترتیب برابر با ۱۶/۱ درصد و ۲۱/۵ درصد به خود اختصاص داد. بیشترین راندمان حذف کلسیم به میزان ۴۲/۵ درصد و منیزیم به میزان ۳۷/۴ درصد برای رزین Trilite SCR-B با حجم ۵ لیتر به دست آمد. رزین Trilite SCR-B با حجم ۸ لیتر دارای راندمان حذف ۵۱/۶ درصد برای منیزیم و ۶۰/۳ درصد برای کلسیم بود. بیشترین راندمان حذف منیزیم (۶۶ درصد) مربوط به رزین Purolite C100e و بیشترین راندمان حذف کلسیم (۷۷/۶ درصد) مربوط به رزین Trilite SCR-B با مصرف ۱۰ لیتر رزین بدست آمد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت با افزایش حجم رزین، میزان راندمان حذف منیزیم و کلسیم در کلیه تیمارها افزایش یافته و رزین Trilite SCR-B بیشترین راندمان حذف منیزیم و کلسیم را در بین تمامی جاذب‌های مورد استفاده دارا بود.

جدول ۶. راندمان حذف عناصر کلسیم و منیزیم با رزین‌های مصرفی در حجم‌های مختلف

نوع رزین	مقدار (لیتر)	Mg ²⁺	Ca ²⁺
Purolite C100	۳	۸/۵	۸/۲
	۵	۱۵/۱	۱۸/۶
	۸	۳۱/۴	۳۵/۱
Dowex Marathon C	۱۰	۴۸/۵	۵۳/۲
	۳	۱۶/۱	۲۱/۵
	۵	۳۰/۲	۳۹/۴
Purolite C100e	۸	۴۵/۴	۵۵/۵
	۱۰	۵۳/۷	۶۶/۴
	۳	۱۰/۸	۹/۶
Trilite SCR-B	۵	۲۳/۹	۲۴
	۸	۴۵/۹	۴۳
	۱۰	۶۶	۵۹/۴
Trilite SCR-B	۳	۱۳	۱۸/۸
	۵	۳۷/۴	۴۲/۵
	۸	۵۱/۶	۶۰/۳
	۱۰	۶۳	۷۷/۶

REFERENCES

Aghakhani, A., Mousavi, S. F., Mostafazadeh-Fard, B., Rostamian, R., & Seraji, M. 2011. Application of some combined adsorbents to remove salinity

parameters from drainage water. *Desalination*, 275(1-3): 217-223.

Asemanrafat, M., Tabatabaei, S. J., & Noshadi, M.

2013. Absorption of heavy elements of lead, nickel and cadmium with cationic resin amberlite IR120. *Iranian Water Researches Journal*, 13(7): 197-204.
- Bolto, B., Dixon, D., & Eldridge, R. 2004. Ion exchange for the removal of natural organic matter. *Reactive and Functional Polymers*, 60: 171-182.
- Comstock, S. E., & Boyer, T. H. 2014. Combined magnetic ion exchange and cation exchange for removal of DOC and hardness. *Chemical Engineering Journal*, 241: 366-375.
- Emerson, A. G. D. 2003. Quantitative Forecasting of Problems in Industrial Water Systems. World Scientific Publishing Company.
- Farzaneh, F., Shivapour, Z., Khosravi, T. N., & Sayyad, M. J. 2001. Study on sorption of some toxic and heavy ions in dilute solutions by Clinoptilolite. *Journal of Sciences*, 12(3): 223-231.
- Gholami, M., M. Do. Kishkoli, & M. Shaheed Beyhestani. 2010. Effective factors on the efficiency of under-pressurized sand filters in rural drinking water treatment plants in Ahvaz. 4th Environmental Engineering Conference, Tehran, University of Tehran, Environmental Faculty, 9 p. (In Farsi)
- Golshahi, A. 2012. The role of ion exchangers in reducing water hardness. Master's thesis, Semnan University. (In Farsi)
- Júnior, O. K., Gurgel, L. V. A., & Gil, L. F. 2010. Removal of Ca (II) and Mg (II) from aqueous single metal solutions by mercerized cellulose and mercerized sugarcane bagasse grafted with EDTA dianhydride (EDTAD). *Carbohydrate Polymers*, 79(1): 184-191.
- Malchuthan, M., Blush, Fatehizadeh, A. S., & Ithram, M. 2010. Evaluation of Nano-Filter Efficiency in Removal of Calcium and Magnesium Elements from Artificial Water Samples in Different Operating Conditions. *Journal of Yazd School of Public Health*, 9(4): 10-19. (In Farsi)
- Mirzaei, M. J. 2014. The effect of ion-exchange resin, almond shell, bentonite and hydroxyapatite on irrigation water salinization in nano and micro scale. Master's thesis, Shahr-e-kord University. (In Farsi)
- Picari, M., & Carbasian, W. 2015. Water experiments. Arkan Danesh Publication, 178 p. (In Farsi)
- Pilgrimage, M. C. & Kindof, M. 2016. Removal of heavy metal iodine from industrial water by cationic ion exchange resins as a sorbent. Third International Conference on Recent Advances in Chemistry and Chemical Engineering, Tehran, International Federation of Inventors of the World (IFIA), 13 p. (In Farsi)
- Ping, Q., Cohen, B., Dosoretz, C., & He, Z. 2013. Long-term investigation of fouling of cation and anion exchange membranes in microbial desalination cells. *Desalination*, 325: 48-55.
- Rengaraj, S., Yeon, K. H., & Moon, S. H. 2001. Removal of chromium from water and wastewater by ion exchange resins. *Journal of hazardous materials*, 87(1-3): 273-287.
- Sadeghi, Sh. 2018. Use of ion exchange resins to reduce Booshehr province's hardness and drinking water's TDS to prevent corrosion and deposition. Master's Thesis, Persian Gulf University. (In Farsi)
- Shams, M., Mohamadi, A., & Sajadi, S. A. 2012. Evaluation of corrosion and scaling potential of water in rural water supply distribution networks of Tabas, Iran. *World Appl Sci J*, 17(11): 1484-89.
- Yu, Z., Qi, T., Qu, J., Wang, L., & Chu, J. 2009. Removal of Ca (II) and Mg (II) from potassium chromate solution on Amberlite IRC 748 synthetic resin by ion exchange. *Journal of hazardous materials*, 167(1-3): 406-412.
- Zak, G. M., Mancini, N. D., & Mitsos, A. 2013. Integration of thermal desalination methods with membrane-based oxy-combustion power cycles. *Desalination*, 311: 137-149.
- Zashedis crying, A. S., & Mastouri, R. 2016. Investigation of Water Treatment Process in Water Treatment Plant (Case Study of Gorgan Reservoir). The Second International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges Focusing on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism, Tabriz, Permanent Secretariat of the International Conference on Sustainable Development, Solutions and Challenges, p. (In Farsi)
- Chalcash Amiri, M. 2016. Separation of gross particles from millimeters (suspended matter) to angstrom (soluble quad). First Edition, Arkan Danesh press, Esfahan. (In Farsi)