نشریه دانش آب‌وخاک / جلد ۲۵ شماره ۳ صفحه‌های ۱۳۳ تا ۱۴۳/ سال ۱۳۹۴

حذف سختی آب‌های شور توسط جاذب‌های مختلف

سید محمدجواد میرزایی[۱]، بهزاد قربانی[۲]، مجتبی رمضانی اعتدالی*[۳]، عباس آقاخانی[٤]، رضا پورواعظی روکرد[٥]

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۷/۱٦

[۱]استادیار گروه آب، دانشکده کشاورزی و دامپروری، مجتمع آموزش عالی تربت‌جام

[۲]دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

[۳]دانشجوی دوره دکتری مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان

[٤] دانشجوی سابق دکتری مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان

[٥]دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mojtaba.ramezani@ag.iut.ac.ir

چکیده

مشکلات عدیده‌ای که سختی آب در زندگی و صنعت ایجاد می‌کند، ضرورت کاهش سختی آب را مشخص می‌نماید. در این تحقیق از جاذب‌های مختلف از جمله پوسته بادام، پوسته گندم، پوسته برنج، خاک اره، زئولیت، بنتونیت و کربن فعال در حالات معمولی، اصلاح‌شده اسیدی و اصلاح‌شده بازی برای حذف عناصر کلسیم و منیزیم و در نتیجه سختی آب استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان داد برخی جاذب‌ها برای حذف منیزیم، کلسیم و سختی از محلول آب‌شور نیاز به اصلاح توسط اسید و یا باز دارند. در مورد آب با شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، اصلاح اسیدی پوسته برنج، خاک اره، زئولیت و کربن فعال، حذف منیزیم از محلول را به‌ترتیب به‌میزان ۱۰، ٤، ۲۲ و ۱۵ درصد افزایش داد. برای همین شوری، اصلاح بازی پوسته بادام و بنتونیت و همچنین اصلاح اسیدی پوسته گندم و برنج حذف کلسیم را به‌ترتیب ۸، ۳، ۱۷ و ۲۲ درصد بیشتر نمود. از طرفی اصلاح بازی پوسته بادام (۸ درصد) و بنتونیت (۱۵ درصد) و همچنین اصلاح اسیدی خاک اره (۱۲ درصد)، پوسته گندم (٦ درصد) و برنج (۱٦ درصد) باعث کاهش سختی از محلول آب‌شور شد. همچنین نشان داده درصد حذف کلسیم، منیزیم و سختی برای شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر از شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر بود.

واژه‌های کلیدی: آزمایش ناپیوسته، جاذب اصلاح‌شده، سختی، کلسیم، منیزیم

Archive of SID

www.SID.ir

Removal of Saline Water Hardness by Different Sorbents

SMJ Mirzaei[1], B Ghorbani[2], M Ramezani Etedali[3*], A Aghakhani[4], R poorvaezi[5]

Received: 2 March 2014 Accepted: 8 October 2014
1- Assist. Prof., Torbet-e Jam College of Agriculture and Animal Science, Iran
2- Assoc. Prof., Dept. of Water Engin., Faculty of Agriculture, Shahrekord Univ., Iran
3- Ph.D. Student, Dept. of Water Engin., Isfahan University of Technology, Iran
4- Former Ph.D. Student, Dept. of Water Engin., Isfahan Univ. of Technology, Iran
5- Former M. Sc. Student, Dept. of Water Engin., Faculty of Agriculture, Shahrekord Univ., Iran
*Corresponding Author, Email: mojtaba.ramezani@ag.iut.ac.ir

Abstract

Total hardness (TH) of water causes numerous problems in life and industry, that shows the necessity of water hardness removal. In this research, different sorbents such as almond shell, wheat husk, rice husk, sawdust, zeolite, bentonite and activated carbon in raw state, acid-activated and alkaline-activated conditions for removing Ca, Mg and therefore, water hardness were used. The results of this study showed that some of sorbents needed to be activated by acid or base to remove calcium, magnesium and hardness of the brine solution in different salinities. In salinity of 20 dS m^{-1}, acidic-activation of rice husk, sawdust, zeolites and activated carbon increased Mg removal from saline water. In this salinity, alkaline-activation of almond shell and bentonite and likewise acidic activation of wheat and rice husk enhanced Ca removal from saline water. Moreover, alkaline activation of almond shell and bentonite and likewise acidic activation of sawdust, wheat and rice husk caused reduction of saline water hardness. Removal percentages of calcium, magnesium and hardness for salinity of 9 dS m^{-1} were greater than those for the salinity of 20 dS m^{-1}.

Keywords: Activated sorbent, Batch experiment, Calcium, Hardness, Magnesium

مقدمه

آب سخت آبی است که حاوی نمک‌های معدنی از قبیل ترکیبات کربنات‌های هیدروژنی، کلسیم، منیزیم و غیره است. علاوه بر کلسیم و منیزیم عناصر دیگری مانند آهن، منگنز و برخی دیگر از فلزات نیز می‌توانند باعث سختی آب[1] شوند. اما به‌دلیل این‌که در مقایسه با کلسیم و منیزیم دارای مقادیر کمتری هستند قابل‌اغماض هستند (پارک و همکاران ۲۰۰۷، ییلدیز و همکاران ۲۰۰۳). آب سخت مشکلات زیادی برای صنعت و زندگی ایجاد می‌کند، برای نمونه مشکلات جدی در

1. Total Hardness

Archive of SID

www.SID.ir

خطوط لوله دیگ‌های بخار و وسایل برقی از جمله ماشین ظرفشویی و اتوی‌بخار ایجاد می‌کنند (گابریلی و همکاران ۲۰۰۶). همچنین مصرف آب‌معدنی با سختی بالا برای افراد مبتلا به سنگ کلیه، احتمال تشکیل مجدد سنگ را افزایش می‌دهد (زارع و همکاران ۱۳۸۵) بنابراین کاهش سختی آب ضرورت پیدا می‌کند.

فرآیند جذب سطحی، جدا شدن یک جزء از محلول و تجمع آن بر روی سطح یک جاذب است، به عبارتی، جذب اتم‌ها یا مولکول‌های موجود در یک مایع یا گاز در تماس با یک سطح جامد است. این جذب به‌وسیله نیروهای چسبندگی و همدوسی روی می‌دهد. بنابراین از این روش می‌توان برای جداسازی عناصر نامطلوب و یا برخی از ناخالصی‌ها از محلول موردنظر استفاده نمود. بنابراین، مهم‌ترین کاربرد این فرآیند در تصفیه آب و فاضلاب‌های شهری و صنعتی است. زیرا بخش عمده‌ای ازاین‌گونه فاضلاب‌ها را مواد آلوده‌کننده تشکیل می‌دهند که به‌راحتی با استفاده از فرآیند جذب سطحی قابل جداسازی است (صبحی ۱۳۷۷). جاذب‌ها به‌دلیل متفاوت بودن نوع، مقدار، سطح ویژه و موقعیت گروه‌های عاملی موجود در ساختار دارای قابلیت‌های متفاوتی در جذب سطحی می‌باشند (اسدی ۱۳۸۱).

از روش‌های کاهش سختی آب می‌توان سبک کردن با آب آهک و کربنات سدیم، الکترودیالیز، تقطیر، انجماد، اسمز معکوس و تبادل یون را نام برد (تاجریان و همکاران ۱۳۷۷). استفاده از آب آهک روش عمومی برای کاهش سختی موقت آب است. آب آهک (کلسیم هیدروکسید) با کلسیم بی‌کربنات و منیزیم بی‌کربنات واکنش می‌دهد و رسوب کلسیم کربنات و منیزیم هیدروکسید تولید می‌کند. در سال‌های اخیر مطالعات و پژوهش‌های متعددی در استفاده از تکنیک جذب با استفاده از مواد جاذب ارزان‌قیمت ارائه‌شده است. این جاذب‌ها به فراوانی یافت شده، هزینه آماده‌سازی آن‌ها پایین است و بیشتر پایه سلولزی دارند که عمدتاً از مواد زائد حاصل از فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی تهیه می‌شوند (مهراسبی و فرهمندکیا ۱۳۸۷). از جمله این جاذب‌ها می‌توان به استفاده از پسماندهای کارخانه چای (مالکوک و نوهوقلو ۲۰۰۵)، پوشال نیشکر (فراستی و همکاران ۲۰۱۱)، خاکستر پوسته بادام و خاکستر پوسته شلتوک (عابدی کوپایی و مهری اصفهانی ۲۰۱۲) و جلبک دریایی (مالکوک و نوهوقلو ۲۰۰۳) اشاره کرد.

ملکوتیان و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی با استفاده از غشای نانو فیلتر حذف یون‌های کلسیم و منیزیم و در نتیجه سختی آب را مورد بررسی قراردادند. این محققان نتیجه گرفتند با افزایش غلظت اولیه کلسیم و منیزیم کارایی نانو فیلتر در حذف عناصر کلسیم و منیزیم کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش جریان عبوری از غشا، بازده حذف کاهش پیدا می‌کند. اپل و بویر (۲۰۱۰) با استفاده از توالی رزین کاتیونی و آنیونی توانستند ۷۰ درصد مواد آلی محلول و بیشتر از ۵۵ درصد سختی آب را کاهش دهند. جونیور و همکاران (۲۰۱۰) جذب کلسیم و منیزیم از محلول را مورد بررسی قراردادند. ایشان نتیجه گرفتند تفاله نیشکر اصلاح‌شده توسط اتیلن دی آمین تترا استیک دی انهیدرید در مقایسه با اصلاح‌نشده توانایی جذب بالاتری از عناصر مذکور را دارد. یو و همکاران (۲۰۰۹) 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. برای یون کلسیم، فرآیند جذب توسط مدل لانگمویر بهتر از مدل فروندلیچ نمایش داده می‌شود و بیشترین میزان تبادل کلسیم ۴۷/۲۱ و برای منیزیم ۲۷/۷ میلی‌گرم در هر گرم جاذب به‌دست آمد. با افزایش زمان تماس درصد حذف کلسیم و منیزیم افزایش یافت. البته این درصد حذف در زمان‌های ابتدایی به‌سرعت افزایش یافت. به‌طوری‌که در ۴۰ دقیقه اول بیش از ۶۵ درصد کلسیم و ۴۵ درصد منیزیم از محلول جذب شد. همچنین با افزایش pH محلول از ۸/۵ به بالا میزان حذف کلسیم

Archive of SID

www.SID.ir

و منیزیم از محلول افزایش یافت. آقاخانی و همکاران (۲۰۱۱) برای جذب کلسیم و منیزیم از محلول آب‌شور از ترکیب رزین کاتیونی و رزین آنیونی (IR-120 Amberlite و Amberlite IRA-402) استفاده کردند. حاصل تحقیق آنان منجر به حذف یون‌های کلسیم و منیزیم از محلول توسط رزین کاتیونی به‌ترتیب ۸۰/۸ و ۹٤/۱ درصد و توسط رزین آنیونی به‌ترتیب ۷٦/۹ و ٤۷/۱ درصد گردید. سلیمان و همکاران (۲۰۱۱) برای حذف کلسیم از محلول توسط تفاله نیشکر اصلاح‌شده با اسیدهای کربوکسیلیک (تارتاریک اسید و سیتریک اسید) تحت تابش امواج میکروویو مطالعه‌ای انجام دادند. بیشترین درصد حذف کلسیم از محلول برای تفاله نیشکر معمولی ٦۳/٦ درصد در pH برابر ۳ بود. این میزان برای تفاله نیشکر اصلاح‌شده با تارتاریک اسید ۱۰۰ درصد در بازه pH ٦ تا ۸ و برای تفاله نیشکر اصلاح‌شده با سیتریک اسید ۱۰۰ درصد در بازه pH ٤ تا ۷ اتفاق افتاد.

اصلاح ضایعات گیاهی قبل از به‌کارگیری به‌عنوان جاذب توسط اسید و یا باز منجر به خروج ترکیبات آلی از ساختار گیاه شده و روند کلات سازی را آسان می‌کند (یغمایی و شریعتی ۱۳۹۰). همچنین بنتونیت (بنتونیت یک ماده معدنی است که از تعدادی کانی رسی و در مواردی غیر رسی تشکیل‌شده است که اصلی‌ترین کانی رسی آن مونت‌موریلونیت هست) و زئولیت (زئولیت‌ها آلومینوسیلیکات‌های سدیم و کلسیم هیدراته هستند که از واحدهای تتراهدرال SiO_4 و AlO_4 تشکیل‌شده و عامل اتصال این واحدها اکسیژن است) نیز به‌دلیل وجود کاتیون مبادله شونده اغلب به‌عنوان جاذب کاتیونی برای فلزات سنگین استفاده می‌شوند. لذا برای جذب آنیونی باید به اصلاح ساختار آن‌ها پرداخت.

درهرحال پیدا نمودن جاذب‌های مؤثر و اقتصادی برای کاهش سختی آب صنعتی و یا شرب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هست. لذا هدف این تحقیق استفاده از جاذب‌های مختلف در کاهش سختی آب‌های شور هست.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های آب شور مورد استفاده که از زهکش‌های طبیعی منطقه سگزی اصفهان تهیه‌شده بود در جدول ۱ مندرج است. در تحقیق حاضر جاذب‌های مختلف از جمله پوسته بادام، پوسته گندم، پوسته برنج، خاک اره، زئولیت، بنتونیت و کربن فعال در حالات معمولی، اصلاح‌شده اسیدی و اصلاح‌شده بازی برای حذف عناصر کلسیم و منیزیم و درنتیجه سختی آب استفاده شدند. پوسته شلتوک از شالی‌کوبی‌های زرین‌شهر، پوسته بادام از باغات بادام شهر سامان، پوسته گندم از گندم کشت‌شده در مزارع تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد و خاک اره نیز از یک کارگاه چوب گردو در شهر شهرکرد تهیه گردید. زئولیت مورد استفاده در آزمایش‌ها از معدن زئولیت سمنان و بنتونیت نیز از معدن بنتونیت اصفهان تهیه شد. جاذب‌های مورد استفاده توسط آسیاب خرد گردید تا اندازه‌های ارائه‌شده به‌دست آمد. برخی ویژگی‌های جاذب‌ها در جدول ۲ آورده شده است. چگالی حقیقی با استفاده از روش پیکنومتر محاسبه شد. در این تحقیق برای تهیه مواد اصلاح‌شده ابتدا مواد برای مدت یک شبانه‌روز درون ظرفی به‌صورت اشباع (در این مدت ۵ سانتیمتر اسید HCl (۱ مولار) و یا باز NaOH (۱ مولار) بر روی سطح جاذب قرار داشت) قرار گرفت. بعد از گذشت یک شبانه‌روز سوسپانسیون به‌دست‌آمده برای ۱ ساعت بر روی شیکر دورانی در سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه قرار داده شد. سپس مواد حاصل روی صافی (واتمن ٤۲) و قیف قرار گرفتند و با آب مقطر کاملاً شستشو داده شدند تا هدایت الکتریکی و pH آب ورودی و خروجی از کاغذ صافی یکسان شود. سپس مواد اصلاح‌شده در هوا خشک شدند.

Archive of SID

www.SID.ir

آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی در مقیاس ظروف کوچک (ناپیوسته) با ۲۱ تیمار از مواد جاذب در دو شوری ۲۰ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر و سه تکرار و مقایسه میانگین‌ها به‌روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای این منظور ۱ گرم از ماده جاذب درون ظروف درب‌دار ۱۲۰ میلی‌لیتری حاوی ۵۰ میلی‌لیترمحلول آب‌شور قرار گرفت و درب ظرف مسدود شد. سپس نمونه حاصل روی شیکر با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه قرار گرفت و بعد از ۲۴۰ دقیقه سوسپانسیون حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و میزان کلسیم و منیزیم آن به‌روش تیتراسیون با استفاده از EDTA اندازه‌گیری شدند. سختی کل آب بر اساس فرمول زیر به‌دست می‌آید (علیزاده ۱۳۸۶).

$$TH=50*(Ca^{2+}+Mg^{2+}) \quad [1]$$

که در آن Ca^{2+} و Mg^{2+} برحسب میلی اکی‌والانت در لیتر هست و TH سختی کل برحسب میلی‌گرم در لیتر به‌دست می‌آید.

جدول ۱- مشخصات آب‌های شور مورداستفاده.

پارامتر	شوری ($dS\ m^{-1}$)	
	۲۰	۹
سختی کل ($mg\ L^{-1}$)	۱۹۳۰	۸۳۰
کلسیم ($mg\ L^{-1}$)	۳۹۴/۷	۱۵۴
منیزیم ($mg\ L^{-1}$)	۲۲۹/۴	۱۰۸/۲

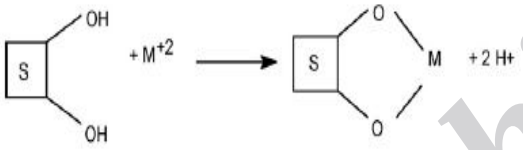
جدول ۲- برخی ویژگی‌های جاذب‌های به کار رفته در این تحقیق.

جاذب	اندازه ذرات (micron)	چگالی حقیقی ($g\ cm^{-3}$)
پوسته برنج	۳۵۰ - ۸۰۰	۰/۹۴
پوسته گندم	۳۵۰ - ۸۰۰	۱/۰۰۵
خاک اره	۳۵۰ - ۸۰۰	۱/۷
زئولیت	۳۵۰ - ۵۰۰	۱/۶۵
پوسته بادام	۲۱۲ - ۵۰۰	۱/۱۴
بنتونیت	۴۵ - ۱۵۰	۱/۲
کربن فعال	۳۵۰ - ۸۰۰	۰/۸۸

نتایج و بحث

الف. شوری $20\ dS\ m^{-1}$

جدول ۳ غلظت کلسیم، منیزیم و سختی را برای محلول ابتدایی (شاهد) و برای تمامی تیمارها در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر نشان می‌دهد. بیشتر تیمارهای به کار رفته در این تحقیق پایه سلولزی دارند بنابراین به‌دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیل، جذب کلسیم و منیزیم امکان‌پذیر می‌شود و می‌تواند با اتم هیدروژن گروه‌های هیدروکسیل جایگزین شود (کارنیتز و همکاران ۲۰۱۰). همچنین بلوت و تز (۲۰۰۷) مکانیسم جذب یون دو ظرفیتی به سطح سلولزی را نشان دادند.



S سطح سلولز و M کاتیون دو ظرفیتی است.

الف-۱. کلسیم

با توجه به جدول ۳ بیشترین کلسیم موجود در محلول مربوط به تیمار بنتونیت (۴۶۴ میلی‌گرم در لیتر) هست که از کلسیم موجود در محلول ابتدایی (۳۹۴/۷ میلی‌گرم در لیتر) نیز بیشتر هست. دلیل این امر کلسیم موجود در ساختار بنتونیت (ژانگ و همکاران ۲۰۱۱) می‌باشد. با اصلاح ساختار بنتونیت توسط اسید میزان کلسیم موجود در محلول کاهش‌یافته درحالی‌که مجدداً نسبت به کلسیم موجود در محلول شور اولیه بیشتر است. از طرفی اصلاح بنتونیت به‌وسیله باز باعث کاهش

Archive of SID

www.SID.ir

میزان کلسیم در محلول نسبت به ابتدا شده است اما این کاهش معنی‌دار نیست. در مورد گندم، اصلاح به‌وسیله اسید و باز باعث کاهش میزان کلسیم در محلول نسبت به ابتدا شده است که این کاهش برای تیمار گندم اصلاح‌شده با اسید (۳۲۸ میلی‌گرم در لیتر) معنی‌دار هست که کاهش ۱۷ درصدی را نشان می‌دهد. همچنین اصلاح ساختار پوسته برنج توسط اسید باعث حذف کلسیم از محلول به‌میزان ۲۳ درصد شده است (شکل ۱). در مورد پوسته بادام با توجه به شکل ۱ مشخص می‌شود پوسته بادام اصلاح‌شده به‌وسیله باز دارای تفاوت معنی‌داری در جذب کلسیم و کاهش ۸ درصدی کلسیم در محلول هست. درحالی‌که برای کربن فعال، اصلاح بازی نه‌تنها جذب را افزایش نداده بلکه مانع جذب کلسیم از محلول نیز شده است. از طرفی کربن فعال معمولی باعث کاهش ۲٦ درصدی کلسیم از محلول شده است. تیمار خاک اره و زئولیت نیز به‌مانند کربن فعال در حالت معمولی جذب بیشتری دارند که این میزان برای تیمار خاک اره و زئولیت معمولی به‌ترتیب ۳۲ و ۲٤ درصد هست که بهترین بازده جذب کلسیم مربوط به تیمار خاک اره معمولی هست (شکل ۱).

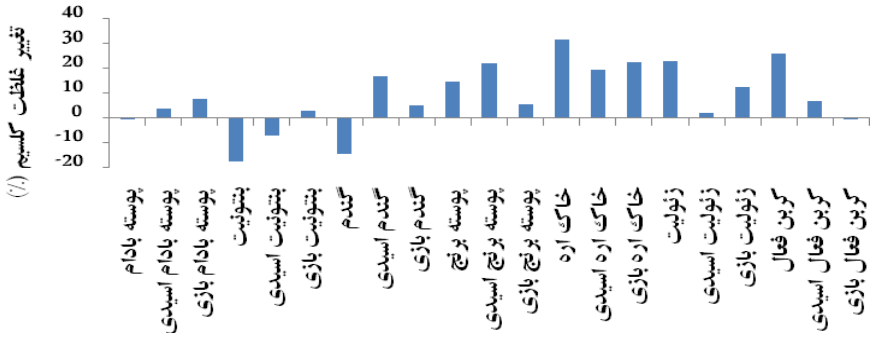
الف-۲. منیزیم

با توجه جدول ۳ مشاهده می‌شود که بیشترین غلظت منیزیم موجود در محلول مزبور به تیمار خاک اره هست. از طرفی این تیمار دارای بیشترین میزان جذب کلسیم از محلول هست که می‌توان چنین نتیجه گرفت که با خروج منیزیم از ساختار خاک اره، کلسیم موجود در محلول جایگزین منیزیم شده است. این درحالی‌که است که اصلاح ساختار خاک اره توسط اسید منجر به جذب منیزیم (٤ درصد) و همچنین کلسیم (۲۰ درصد) به‌طور هم‌زمان شده است (شکل ۲). با توجه به شکل ۲ نمایان می‌شود، بنتونیت و بنتونیت اسیدی درحالی‌که به‌دلیل خروج کلسیم از ساختارشان، میزان کلسیم در محلول را افزایش می‌دهند با این وجود منیزیم را از محلول جذب می‌کنند. درحالی‌که اصلاح بنتونیت به‌وسیله باز منجر به جذب منیزیم (۲۷ درصد) و همچنین کلسیم (٤ درصد) به‌طور هم‌زمان شده است. پوسته بادام و پوسته گندم باعث کاهش منیزیم در محلول می‌شود درحالی‌که این کاهش معنی‌دار نیست. اصلاح اسیدی و بازی پوسته بادام و گندم بازده جذب را بهبود نمی‌بخشد. جذب منیزیم توسط زئولیت بسیار ناچیز (۲ درصد) است، از طرفی اصلاح اسیدی زئولیت جذب منیزیم را به‌میزان ۲۲ درصد افزایش می‌دهد. در مورد تیمار کربن فعال، منیزیم در محلول حاوی این تیمار افزایش یافت. با این وجود، اصلاح اسیدی و بازی کربن فعال به‌ترتیب باعث کاهش ۱۵ و ۱٤ درصدی منیزیم در محلول شده است (شکل ۲).

در اغلب تیمارها جذب کلسیم بیشتر از منیزیم است که علت این امر تأثیر انرژی هیدراسیون یون‌ها هست. بیشتر بودن بار واحد حجم یون منیزیم نسبت به یون کلسیم بیشتر بودن انرژی هیدراسیون یون منیزیم را منجر می‌شود و به‌دلیل اینکه در هنگام تبادل، یون هیدراته باید مولکول‌های آب خویش را از دست بدهد ازاین‌رو، میزان تبادل یون منیزیم کمتر خواهد بود (تاجریان و همکاران ۱۳۷۷).

Archive of SID

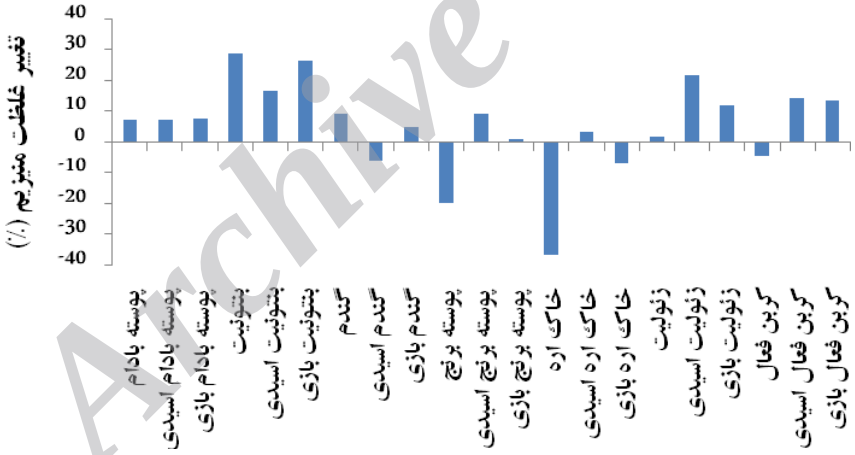
www.SID.ir



شکل ۱- درصد تغییر غلظت کلسیم از آب شور($۲۰\ dS\ m^{-1}$) در جاذب‌های مختلف.

الف-۳. سختی

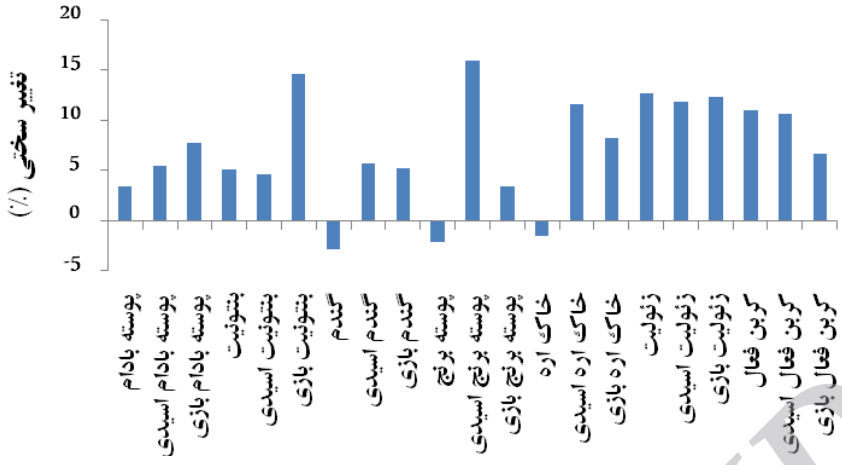
با توجه به جدول ۱ و شکل ۳ مشاهده می‌شود سختی محلول برای تمامی تیمارها به‌غیراز پوسته گندم، پوسته برنج و خاک اره در حالت معمولی، کاهش می‌یابد. درحالی‌که، اصلاح اسیدی ساختار پوسته گندم، پوسته برنج و خاک اره باعث کاهش سختی به‌میزان تقریباً ٦، ١٦ و ١٢ درصد شده است. همچنین اصلاح بازی ساختار پوسته گندم، پوسته برنج و خاک اره باعث کاهش سختی به‌میزان تقریباً ٦، ٤ و ٩ درصد شده است. سایر تیمارها باعث کاهش ٤ تا ١٥ درصدی سختی محلول شدند.



شکل ۲- درصد تغییر غلظت منیزیم از آب‌شور ($۲۰\ dS\ m^{-1}$) در جاذب‌های مختلف.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- درصد تغییر سختی آب‌شور (۲۰ dS m^{-1}) در جاذب‌های مختلف.

ب: شوری ۹ dS m^{-1}

جدول ٤ غلظت کلسیم، منیزیم و سختی و همچنین اشکال ٤ تا ٦ درصد کاهش یا افزایش این عناصر در محلول را برای تیمارهای مختلف برای شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر نشان می‌دهد. با توجه به این جدول بیشترین میزان کلسیم موجود در محلول مربوط به بنتونیت هست که به‌دلیل خروج کلسیم موجود در ساختار بنتونیت هست و همچنین بیشترین درصد کاهش کلسیم در این شوری مربوط به تیمار زئولیت با ٦١ درصد حذف کلسیم هست (شکل ٤). در مقایسه با شوری ۲۰ این میزان افزایش داشته است (٦١ درصد در مقابل ٢٤ درصد) که می‌تواند به‌دلیل اشغال بیشتر سایت‌های تبادلی توسط یون‌های رقیب به‌دلیل بیشتر بودن این یون‌ها در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر باشد. بیشترین غلظت منیزیم موجود در محلول مربوط به خاک اره بازی و زئولیت هست. همچنین بیشترین درصد کاهش منیزیم در این شوری مربوط به تیمار پوسته گندم با ۹۷ درصد حذف منیزیم هست (شکل ٥). از طرفی بیشترین میزان سختی موجود در محلول مربوط به بنتونیت هست. همچنین بیشترین درصد کاهش سختی در این شوری مربوط به تیمار پوسته گندم با ۷٥ درصد حذف سختی هست (شکل ٦).

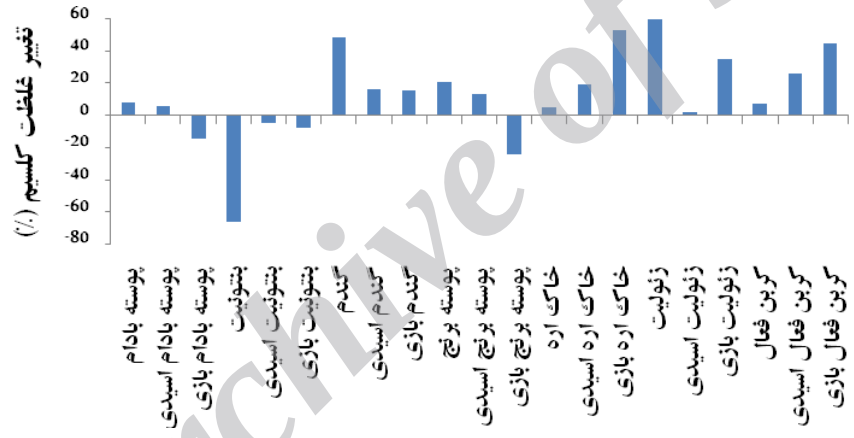
جدول ۳- غلظت کلسیم، منیزیم و سختی در تیمارهای مختلف برای شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر.

تیمار	کلسیم (mg L^{-1})	منیزیم (mg L^{-1})	سختی (mg L^{-1})
شاهد	۳۹۴/۷^{cd}	۲۲۹/۴^{cdef}	۱۹۳۰^{abc}
پوسته بادام	۳۹۶^{cd}	۲۱۲/۴ ^{defghi}	۱۸۶۳/۳^{bcd}
پوسته بادام اسیدی	۳۸۰^{de}	۲۱۲/۴^{defghi}	۱۸۲۳/۳^{cde}
پوسته بادام بازی	۳۶۴^{efg}	۲۱۱/۶^{efghi}	۱۷۸۰^{defgh}
بنتونیت	۴۶۴^{a}	۱۶۲/۹^{L}	۱۸۳۰^{cde}
بنتونیت اسیدی	۴۲۲^{bc}	۱۹۰/۹^{igkL}	۱۸۴۰^{cd}
بنتونیت بازی	۳۸۲/۴^{de}	۱۶۷/۹ ^{kL}	۱۶۴۶/۵^{i}
پوسته گندم	۴۵۲^{ab}	۲۰۷/۹^{fghij}	۱۹۸۵^{a}
پوسته گندم اسیدی	۳۲۸^{hij}	۲۴۳/۲^{cd}	۱۸۲۰^{def}
پوسته گندم بازی	۳۷۴/۴^{def}	۲۱۷/۳^{cdefghi}	۱۸۲۹/۵^{cde}

Archive of SID

www.SID.ir

پوسته برنج	۳۳۶^{ghi}	۲۷۴/۸^{b}	۱۹۷۰^{ab}
پوسته برنج اسیدی	۳۰۶/۷^{ijk}	۲۰۷/۵^{fghij}	۱۶۲۰^{i}
پوسته برنج بازی	۳۷۲^{def}	۲۲۷/۲^{cdefg}	۱۸۶۴/۱^{bcd}
خاک اره	۲۶۹/۳^{L}	۳۱۲/۹^{a}	۱۹۶۰^{ab}
خاک اره اسیدی	۳۱۸^{hijk}	۲۲۱/۳^{cdefghi}	۱۷۰۵^{ghi}
خاک اره بازی	۳۰۶^{ijk}	۲۴۴/۴^{bc}	۱۷۷۰^{defgh}
زئولیت	۳۰۳/۳^{jk}	۲۲۵/۲^{cdefgh}	۱۶۸۴/۴^{hi}
زئولیت اسیدی	۳۸۵/۹^{de}	۱۷۹^{jkL}	۱۷۰۰/۹^{ghi}
زئولیت بازی	۳۴۵/۵^{fgh}	۲۰۱/۱^{fghij}	۱۶۹۰/۷^{hi}
کربن فعال	۲۹۲^{kL}	۲۳۹/۸^{cde}	۱۷۱۵/۸^{fghi}
کربن فعال اسیدی	۳۶۷/۴^{def}	۱۹۵/۹^{hijk}	۱۷۲۴^{efghi}
کربن فعال بازی	۳۹۴/۸^{cd}	۱۹۷/۷^{ghijk}	۱۷۹۹/۹^{defg}



شکل ٤- درصد تغییر غلظت کلسیم از آب‌شور (^{۹} dS m^{-1}) در جاذب‌های مختلف.

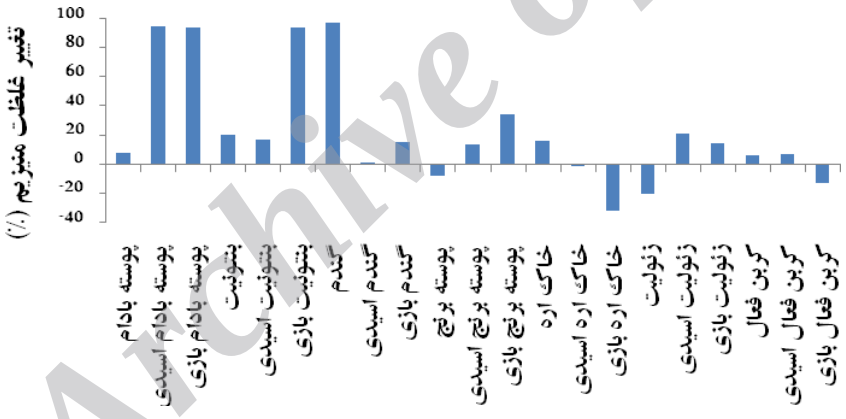
جدول٤- غلظت **کلسیم، منیزیم و سختی در تیمارهای مختلف برای شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر.**

تیمار	کلسیم (mg L^{-1})	منیزیم (mg L^{-1})	سختی (mg L^{-1})
شاهد	۱۵۴^{def}	۱۰۸/۲^{de}	۸۳۰^{b}
پوسته بادام	۱۴۲^{efghi}	۱۰۰/۱^{ef}	۷۶۶/۷^{cde}
پوسته بادام اسیدی	۱۴۵/۴^{defgh}	۵/۸^{i}	۳۸۷/۳^{j}
پوسته بادام بازی	۱۷۶/۴۹^{bc}	۷/۱^{i}	۴۷۰/۳^{i}
بنتونیت	۲۵۶^{a}	۸۶/۲^{g}	۹۹۴/۳^{a}
بنتونیت اسیدی	۱۶۱^{cde}	۹۰/۵^{fg}	۷۷۴/۵^{bcd}
بنتونیت بازی	۱۶۶^{cd}	۶/۷^{i}	۴۴۲/۷^{ij}

Archive of SID

www.SID.ir

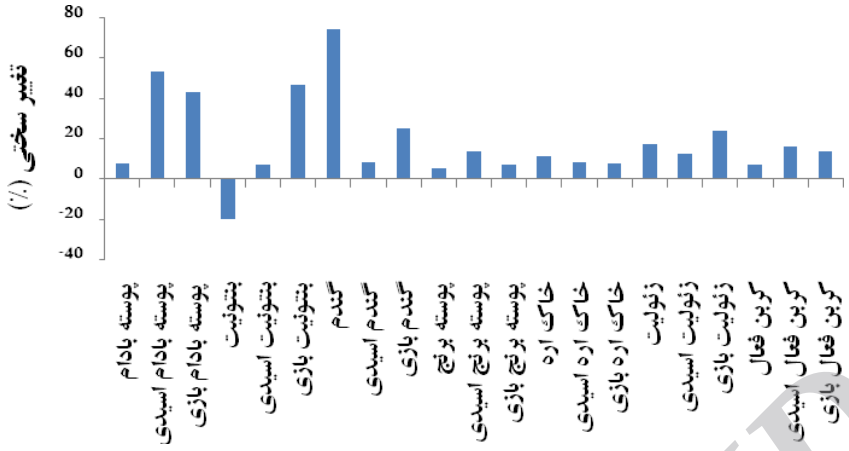
پوسته گندم	۷۹/۶^{Lmn}	۳/۲^{i}	۲۱۲/۱^{k}
پوسته گندم اسیدی	۱۲۹/۳۳^{hij}	۱۰۷^{de}	۷۶۳/۳^{cde}
پوسته گندم بازی	۱۳۰/۶۸^{ghij}	۹۱/۷^{fg}	۶۲۰/۸^{h}
پوسته برنج	۱۲۲/۶۷^{ij}	۱۱۶/۷^{cd}	۷۸۶/۷^{bc}
پوسته برنج اسیدی	۱۳۴^{fghij}	۹۳/۲^{fg}	۷۱۸/۳^{def}
پوسته برنج بازی	۱۹۱/۶^{b}	۷۱/۳^{h}	۷۷۲^{cde}
خاک اره	۱۴۶^{defgh}	۹۰/۸^{fg}	۷۳۸/۳^{cdef}
خاک اره اسیدی	۱۲۴^{ij}	۱۰۹/۹^{de}	۷۶۱/۷^{cde}
خاک اره بازی	۷۲^{mn}	۱۴۲/۷^{a}	۷۶۶/۷^{cde}
زئولیت	۶۰^{n}	۱۳۰/۱^{b}	۶۸۵^{fg}
زئولیت اسیدی	۱۵۱/۰۷^{defg}	۸۵/۳^{g}	۷۲۸/۳^{def}
زئولیت بازی	۱۰۰/۵۳^{kL}	۹۲/۷^{fg}	۶۳۲/۳^{gh}
کربن فعال	۱۴۲/۶۷^{efghi}	۱۰۱/۳^{ef}	۷۷۳/۳^{bcde}
کربن فعال اسیدی	۱۱۴/۲۷^{ijk}	۱۰۰/۵^{ef}	۶۹۹^{f}
کربن فعال بازی	۸۵/۳۳^{Lm}	۱۲۲/۳^{bc}	۷۱۶/۳^{ef}



شکل ۵- درصد تغییر غلظت منیزیم از آب‌شور (۹ $dS\ m^{-1}$) در جاذب‌های مختلف.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ٦- درصد تغییر سختی آب‌شور ($9\ dS\ m^{-1}$) در جاذب‌های مختلف.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه از جاذب‌های مختلفی برای حذف کلسیم، منیزیم و سختی از آب‌شور با شوری ۹ و ۲۰ دسی¬زیمنس بر متر استفاده شد و نتایج زیر به‌دست آمد:

- بیشترین حذف کلسیم در شوری $20\ dS\ m^{-1}$ مربوط به تیمار خاک اره به‌میزان ۳۲ درصد به‌دست آمد.
- بیشترین حذف منیزیم در شوری $20\ dS\ m^{-1}$ مربوط به تیمار بنتونیت به‌میزان ۲۹ درصد تعیین شد.
- بیشترین حذف سختی در شوری $20\ dS\ m^{-1}$ مربوط به تیمار پوسته برنج اسیدی به‌میزان ۱٦ درصد حاصل شد.
- بیشترین حذف کلسیم در شوری $9\ dS\ m^{-1}$ مربوط به تیمار زئولیت به‌میزان ٦۱ درصد هست.
- بیشترین حذف منیزیم در شوری $9\ dS\ m^{-1}$ مربوط به تیمار گندم به‌میزان ۹۷ درصد به‌دست آمد.
- بیشترین حذف سختی در شوری $9\ dS\ m^{-1}$ مربوط به تیمار گندم به‌میزان ۷۵ درصد حاصل شد.
- درصد حذف کلسیم، منیزیم و سختی برای شوری $9\ dS\ m^{-1}$ بیشتر از شوری $20\ dS\ m^{-1}$ هست.

منابع مورد استفاده

اسدی ف، ۱۳۸۱. حذف فلزات سنگین از فاضلاب‌های صنعتی توسط پوسته شلتوک برنج، خاک اره و خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

تاجریان م حمیدی پیربستی مت و منطقیان م، ۱۳۷۷. بررسی خاصیت تبادل یونی زئولیت‌ها در کاهش سختی آب. فصل-نامه تحقیق، جلد ۲۹، صفحه‌های ۸۸ تا ۱۰۰.

زارع م، امین پور آ، میرزا زاده م، آذر م، تذکری ز، محرابی ی و کلانتری ن، ۱۳۸۵. مقایسه تأثیر دو نوع آب آشامیدنی با درجه سختی متفاوت بر عناصر ادراری در مردان مبتلا به سنگ کلسیمی و غیر مبتلا. فصل‌نامه علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، جلد ۱، شماره ۳، صفحه‌های ۱ تا ۷.

صبحی ن، ۱۳۷۷. حذف فلزات سنگین از فاضلاب‌های صنعتی توسط خاکستر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

Archive of SID

www.SID.ir

علیزاده ا، ۱۳۸٦. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ بیست و یکم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).

ملکوتیان م، محوی اح، فاتحی زاده ع و احرامپوش مح، ۱۳۸۹. بررسی کارآیی نانو فیلتر در حذف عناصر کلسیم و منیزیم از نمونه مصنوعی آب در شرایط بهره‌برداری مختلف. فصل‌نامه علمی پژوهشی دانشکده بهداشت یزد، جلد ۹، شماره ٤، صفحه‌های ۱ تا ۱۰.

مهراسبی م و فرهمندکیا ز، ۱۳۸۷. حذف فلزات سنگین از محیط آبی توسط جذب سطحی بر روی پوسته موز اصلاح‌شده. مجله سلامت و محیط، جلد ۱، شماره ۱، صفحه‌های ۵۷ تا ٦٦.

یغمایی س، شریعتی پ و انصاری آذربایجانی مص، ۱۳۹۰. بررسی روش‌های اصلاح ضایعات گیاهی به‌عنوان جاذب براب جذب یون‌های فلزات سنگین از پساب. اولین همایش فناوری‌های پالایش در محیط‌زیست، ۳-۵ خرداد، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت.

Abedi-Koupai J and Mohri-Esfahani E, 2012. Desalination of water using nanoparticles of husk ashes in sand filter. Pp. 1150-1152. In: Proceedings of the 4nd International Conference on Nanotstructures (ICNS4), 12-14 March, Kish Island, I.R. Iran.

Aghakhani A, Mousavi SF, Mostafazadeh-Fard B, Rostamian R and Seraji M, 2011. Application of some combined adsorbents to remove salinity parameters from drainage water. Desalination 275: 217–223.

Apell JN and Boyer TH, 2010. Combined ion exchange treatment for removal of dissolved organic matter and hardness. Water Research 44: 2419 – 2430.

Bulut Y and Tez Z, 2007. Adsorption studies on ground shells of hazelnut and almond. Journal of Hazardous Material 149:35-41.

Farasati M, Moazed H, Boroomand nasab S, Jasfarzadeh N and Abedi-Koupai J, 2011. Application of sugarcane straw anion exchange for nitrate removal. Nature and Science 9 (7): 158-168.

Gabrielli C, Maurin G, Francy-Chausson H, Thery P, Tran TTM and Tlili M, 2006. Electrochemical water softening: principle and application. Desalination 201: 150–163.

Junior OK, Gurgel LVA and Gil LF, 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: 184–191.

Karnitz JO, Gurgel LVA and Gil LF, 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: 184–191.

Malkoc E and Nuhoglu Y, 2003. The removal of chromium (VI) from synthetic wastewater by Ulothrix zonata. Fresenius Environment Bulletin 12 (4): 376–381.

Malkoc E and Nuhoglu Y, 2005. Investigations of nickel (II) removal from aqueous solutions using tea factory waste. Journal of Hazardous Materials 127(1–3): 120–128.

Park JS, Song JH, Yeon KH and Moon SH, 2007. Removal of hardness ions from tap water using electro membrane processes. Desalination 202: 1-8.

Soliman EM, Ahmed SA and Fadl AA, 2011. Removal of calcium ions from aqueous solutions by sugar cane bagasse modified with carboxylic acids using microwave-assisted solvent-free synthesis. Desalination 278: 18–25.

Yildiz E, Nuhoglu A, Keskinler B, Akay G and Farizoglu B, 2003. Water softening in a cross flow membrane reactor. Desalination 159: 139-152.

Yu Z, Qi T, Qu J, Wang L and 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: 406–412.

Zhang H, Tong Z, Wei T and Tang Y, 2011. Removal characteristics of Zn(II) from aqueous solution by alkaline Ca-bentonite. Desalination 276: 103–108.

Archive of SID

www.SID.ir