حذف برخی یون‌ها از فاضلاب با استفاده از جاذب‌های آلی و معدنی

اسماء محمدی ساردو*[1]، نجمه یزدان‌پناه[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران

۲- استادیار مهندسی آب، گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران

* عهده‌دار مکاتبات: asmamohamadi652@gmail.com

دریافت مقاله: ۹۱/۱۲/۱۵ پذیرش مقاله: ۹۲/۳/۸

چکیده

با توجه به خشکسالی‌های اخیر و استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در استان کرمان، اصلاح کیفیت آب اهمیت ویژه‌ای دارد. از این رو، تحقیق حاضر با هدف بررسی حذف یون‌های کلسیم، منیزیم، کلر و بی‌کربنات از فاضلاب با استفاده از پوست پسته و خاک‌اره به‌عنوان جاذب‌های آلی و بنتونیت و زئولیت به‌عنوان جاذب‌های معدنی انجام شد. در این راستا، از پنج تیمار شامل فیلتر شنی (شاهد)، فیلتر مخلوط شن و پوست پسته، فیلتر مخلوط شن و خاک اره، فیلتر مخلوط شن و بنتونیت و فیلتر مخلوط شن و زئولیت استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین جذب کلسیم (۲۷/۲ درصد) و کلر (۱۲/۳۵ درصد) توسط زئولیت صورت گرفت که به جذب آنیونی ارتباط داده شد. همچنین، بیشترین جذب منیزیم (۷/۴۳ درصد) توسط پوست پسته مشاهده شد که علت آن به بار منفی سطوح سلولزی این جاذب در نتیجه فرورفتن در آب نسبت داده شد. بیشترین جذب بی‌کربنات (۲۸/۷۴ درصد) از فاضلاب توسط بنتونیت حاصل شد که به دو سازوکار جذب و رسوب ارتباط داده شد. به‌طور کلی، از میان تیمارهای آلی، پوست پسته و از بین تیمارهای معدنی، زئولیت به‌عنوان بهترین تیمارها در جذب عناصر از فاضلاب شناخته شدند. افزون بر این، مقایسه نتایج نشان داد که جاذب‌های معدنی نسبت به جاذب‌های آلی، کارآیی مطلوب‌تری در جذب عناصر کلسیم، منیزیم، کلر و بی‌کربنات دارند.

واژه‌های کلیدی: فاضلاب، تصفیه، جاذب آلی، جاذب معدنی

۱- مقدمه

رشد روز افزون جمعیت و افزایش تقاضا برای آب و غذا از یک سو و محدود بودن منابع آبی و خشکسالی‌های اخیر از سوی دیگر، توجه برنامه‌ریزان و متخصصان را به استفاده از آب‌های نامتعارف معطوف کرده است. استفاده دوباره از فاضلاب یکی از مهم‌ترین راهکارها است که در رفع کمبود آب جوامع در دنیا مورد توجه قرار گرفته است. در سال ۱۹۸۵ تیمی از متخصصان اقتصادی سازمان ملل استفاده دوباره از فاضلاب را مطرح کردند. در این گزارش عنوان شد که در صورت عدم دسترسی به آب با کیفیت مطلوب، می‌توان از آب‌های با کیفیت پایین‌تر استفاده کرد. به‌طور معمول چنین آب‌هایی از طریق تصفیه فاضلاب قابل دستیابی است. لازم به ذکر است که در سال‌های اخیر روش‌های نمک‌زدایی و شیرین‌سازی آب‌های شور، لب شور و فاضلاب‌های شهری و خام به‌عنوان یکی از راه‌های مهم تامین آب در این مناطق، مورد توجه ویژه قرار گرفته است (قلهکی و همکاران، ۱۳۸۷).

تاکنون برای تصفیه فاضلاب و حذف عناصر آلاینده از فاضلاب روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی بررسی شده است (اسدی و همکاران، ۱۳۸۷؛ اصفهانی، ۱۳۸۹). برخی از این روش‌ها پرهزینه است، در حالی که روش جذب سطحی به دلیل کاربرد ماده جاذب مناسب- در صورتی که ماده جاذب ارزان قیمت باشد- روش نسبتا کم‌هزینه‌ای به‌شمار می‌رود. تاکنون مطالعات زیادی در مورد استفاده از جاذب‌های غیرمرسوم و کم‌هزینه شامل مواد طبیعی به‌ویژه ضایعات کشاورزی (اسدی و همکاران، ۱۳۸۷)، بنتونیت (جزایری و همکاران، ۱۳۸۹)، ماسه و ضایعات گیاهی (فتوت و همکاران، ۱۳۸۶) انجام شده است. هر چند شن، جاذب ارزان‌قیمت و در دسترسی به‌شمار می‌رود، اما حذف آلاینده‌های محلول مانند فلزات سنگین را به دلیل واکنش‌پذیری سطحی اندک، محدود می‌کند. در واقع، شن قدرت جذب سطحی خیلی کمی دارد اما در ترکیب با مواد جاذب دیگر توانایی جذب آن افزایش می‌یابد (Benjamin and Sletten, 2002). Baig et al., (2001) در مطالعه‌ای، محلول‌های با غلظت‌های مختلف کروم را از ستون شنی عبور دادند. آنها دریافتند توانایی حذف این عنصر توسط شن ۸۹ تا ۱۰۰ درصد است که این توانایی را به تمایل زیاد یون‌های کروم برای جذب به ذرات شن مرتبط دانستند. Awan et al., (2003) حذف چهار فلز سنگین سرب، کروم، مس و نیکل را از محلول‌های آبی با استفاده از شن معمولی در ۲۰ منطقه بررسی کردند. نتایج این محققان نشان داد که بیشترین جذب فلزات سنگین توسط شن به‌ترتیب سرب، کروم، مس و روی بود.

یکی از جاذب‌های معدنی مورد استفاده در تحقیقات گذشته، زئولیت بوده است. زئولیت یک نوع آلومینوسیلیکات آبدار بلوری است که می‌توان آن را به عنوان بسپار معدنی در نظر گرفت. این جاذب از یک شبکه وسیع سه‌بعدی با واحدهای چهاروجهی (T: Si و یا Al) تشکیل شده است. یون‌های آلومینیم موجود در ساختار زئولیت، باعث ایجاد بار منفی و

Archive of SID
www.SID.ir

جلوگیری از تبادل یون‌های منفی می‌شود. در این زمینه، موحدیان عطار و همکاران، (۱۳۸۲) کارایی زئولیت‌های طبیعی و رزین‌های مصنوعی را در حذف یون‌های نیکل، روی و مس از فاضلاب‌های صنعتی، ارزیابی کردند. اصفهانی، (۱۳۸۹) نیز به مطالعه حذف منگنز از محیط آبی توسط کربن فعال، زئولیت طبیعی و اصلاح‌شده در حضور یون‌های آهن، کروم و آلومینیم پرداخت. نتایج تحقیق وی نشان داد که بیشترین مقدار جذب منگنز برای کربن فعال، زئولیت طبیعی و اصلاح‌شده در غلظت ورودی ۲ میلی‌گرم بر لیتر در محلول، به‌ترتیب ۱/۹۵، ۱/۲۷ و ۱/۵ میلی‌گرم بر گرم است.

از بنتونیت نیز به‌عنوان جاذب معدنی در حذف کاتیون‌ها و فلزات سنگین استفاده می‌شود. بنتونیت ماده‌ای معدنی است که از ترکیب تعداد زیادی از کانی‌های مختلف رسی و گاه غیررسی تولید می‌شود. یکی از مهم‌ترین کانی رسی، مونت‌موریلونیت است که تمام خواص بنتونیت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. توصیف ساختار قابل قبولی از مونت‌موریلونیت که مهم‌ترین سازنده بنتونیت است در سال ۱۹۳۵ توسط مارشال انجام شد. براساس این مشاهدات، مونت‌موریلونیت از دو لایه نازک چهاروجهی سیلیس که در وسط آنها یک لایه نازک هشت وجهی آلومینیم قرار دارد، تشکیل شده است. لایه چهاروجهی و هشت وجهی به‌گونه‌ای به هم متصل می‌شوند که گوشه‌های لایه‌های چهاروجهی سیلیسی و یکی از لایه‌های هیدروکسیلی لایه هشت‌تایی، تشکیل لایه‌ای مشترک می‌دهند. اتم‌های این لایه که در هر دو لایه مشترک هستند، به جای هیدروکسیل، اکسیژن است. در مطالعات گذشته از بنتونیت‌های تغییر ساختاریافته به منظور حذف ترکیبات رنگی (فرمانی و همکاران، ۱۳۸۸)، یون‌هایی مانند سرب (جزایری و همکاران، ۱۳۸۹)، نیترات (شکوه سلجوقی و همکاران، ۱۳۹۰) استفاده شده است. Bhattacharyya and Sen Gupta, (2005) در بررسی جذب سرب نشان دادند که بنتونیت قابلیت جذب خوبی برای سرب دو ظرفیتی دارد. Zhu et al., (2008) میزان pH بهینه در دامنه ۵ تا ۶ را برای جذب سرب با استفاده از بنتونیت پیشنهاد کردند، به‌گونه‌ای که، در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به مقدار ۹۸ درصد جذب سرب دست یافتند.

پوست پسته از فرآورده‌های جانبی محصولات کشاورزی با خاصیت حذف فلزات سنگین است. براساس آمار و اطلاعات سازمان کشاورزی ایالت متحده میزان تولید سالانه پسته جهان حدود ۰/۲۱ میلیون تن برآورد شده است (Yang et al., 2003). گروه‌های اکسیژن‌دار اصلی موجود در پوست پسته شامل گروه‌های کربونیل، اترها، استرها، الکل‌ها و گروه‌های فنول هستند. طیف نمایی FTIR حاکی از وجود گروه‌های اکسیژن متفاوت و ساختار کربنی آروماتیک الفینیک در پوست پسته هستند (Yang et al., 2003) که می‌تواند عاملی برای جذب فلزات سنگین از محلول‌های آبی باشد. Demirel and Yetilmezsoy, (2008) از روش شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی جذب سرب دو ظرفیتی از محلول‌های آبی با پوست پسته استفاده کردند.

یکی دیگر از جاذب‌های مورد استفاده در تحقیقات گذشته، خاکاره است. خاکاره در صنعت چوب یک محصول جانبی و البته فراوان است که به راحتی و با قیمت اندکی در دسترس است. این در حالی است که در تحقیقات پیشین، بر توانایی آن در حذف فلزات از فاضلاب‌های صنعتی تاکید شده است. این ماده متشکل از ترکیبات آلی گوناگونی (لیگنین، سلولز و همی‌سلولز) با گروه‌های پلی‌فنولی است که توانایی به دام انداختن فلزات سنگین دارد و سازوکارهای متفاوتی را در آن ایجاد می‌کند (Ngah et al., 2008). Ajmal et al., (1998) به بررسی تاثیر خاکاره خام در حذف مس از فاضلاب صنعتی پرداختند و راندمان جذب مس را برابر با ۶۰ درصد گزارش کردند. Rafatullah et al., (2009) جذب یون‌های مس، کروم، نیکل و سرب از محلول‌های آبی را با استفاده از خاکاره بررسی کردند. تحقیقات این محققان نشان داد که خاکاره قادر به جذب این یون‌ها در غلظت ۲۰۰-۱ میلی‌گرم بر لیتر بویژه در pH برابر با ۶ است.

مرور منابع نشان می‌دهد که معرفی و یا انتخاب جاذب بر مبنای کارایی و یا جنبه اقتصادی است. از سوی دیگر، در تحقیقات پیشین تاثیر جاذب‌های مختلف بر حذف یون‌های کلسیم، منیزیم، کلر و بی‌کربنات بررسی نشده است. افزون بر این، در مطالعات پیشین جاذب‌های آلی و معدنی با یکدیگر مقایسه نشده است. بنابراین، مقاله حاضر با هدف بررسی و مقایسه چند جاذب آلی و معدنی با یکدیگر در حذف یون‌های کلسیم، منیزیم، کلر و بی‌کربنات موجود در فاضلاب انجام شده است.

۲- مواد و روش‌ها

از لوله پلی‌اتیلن به ارتفاع ۲۰ و قطر ۸ سانتی‌متر برای ساخت فیلترها استفاده شد. آزمایش به‌صورت طرح کاملا تصادفی و با پنج تیمار و سه تکرار انجام شد. تیمارها در این آزمایش عبارت بودند از شن (شاهد)، شن و پوست پسته، شن و خاکاره، شن و زئولیت و همچنین شن و بنتونیت. پوست پسته از باغ‌های پسته رفسنجان، خاکاره از کارگاه نجاری در کرمان و زئولیت و بنتونیت از شرکت زمین‌کاو تهران که هر کدام به ترتیب از معادن جنوب سمنان و مشهد به‌دست آمده بود، تهیه شد. برای تهیه تیمارها، جاذب‌های آلی و معدنی با استفاده از آسیاب خرد و از الک‌ها با اندازه ۱/۲-۰/۶ میلی‌متر عبور داده شد. همچنین برای جداکردن سنگ‌ریزه و یا شن درشت از الک‌های با اندازه ۳/۳۶ -۱/۲ میلی‌متر استفاده شد. نتایج XRF و تجزیه شیمیایی بنتونیت مشهد و همچنین نتایج XRD و تجزیه شیمیایی زئولیت سمنان در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مواد شیمیایی موجود در زئولیت سمنان (۱) و بنتونیت مشهد (۲)

	۱	۲
SiO_2	۱۱/۲٪	۵۵/۲٪
Al_2O_3	۲/۳۱٪	۸-۱۵/۱٪
K_2O	۳/۲٪	-
CaO	۱/۲۵٪	۱/۵-۴٪
Fe_2O_3	۰/۵۲٪	-
MgO	۲/۱٪	۲-۴٪
Na_2O	۱۱/۸۹٪	۲-۴٪
LOI	۵/۹٪	۱۰٪
SiO_2/Al_2O	۶۵/۹٪	-

پس از تهیه جاذب‌ها در اندازه‌های مورد نظر، مواد با آب فراوان و مواد

Archive of SID

www.SID.ir

چربی‌زدا (مایع ظرف‌شویی) شسته شدند. سپس با استفاده از آب مقطر این مواد دوباره شستشو داده شد و سپس به مدت ۲ روز در هوا خشک شدند. درون هر کدام از فیلترها با توجه به تیمارهای آزمایشی، به‌ترتیب از پایین به بالا مراحل زیر انجام شد. به منظور حفظ مواد جاذب، در انتهای هر لوله از دو توری پارچه‌ای و فلزی استفاده شد. سپس برای بهبود زهکشی فیلتر، تا ارتفاع ۵ سانتی‌متر از شن درشت پر شد و بعد از آن تا ارتفاع ۵ سانتی‌متر از تیمارهای آلی و معدنی استفاده شد. پس از آن، روی تیمارهای آلی و معدنی تا ارتفاع ۵ سانتی‌متر با شن درشت پوشانده شد. برخی از خصوصیات جاذب‌های به کار رفته در این مطالعه، در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- برخی از خواص فیزیکی جاذب‌های به کار رفته در آزمایش‌ها

جاذب	اندازه ذرات (میکرون)	جرم مخصوص حقیقی (g/cm^3)	جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)
شن	۱۱۹۰-۳۳۶۰	۲/۵۹	۱/۶
خاکاره	۶۰۰-۱۱۹۰	۱/۷	۰/۱۲
زئولیت	۶۰۰-۱۱۹۰	۱/۶۵	۱/۲
پوست چوبی	۶۰۰-۱۱۹۰	۱/۱۴	۰/۴۵
بنتونیت	۶۰۰-۱۱۹۰	۱/۶۵	۲/۱

در ادامه، ۱۵۰ میلی‌لیتر فاضلاب طبیعی حاصل از تصفیه‌خانه شهرک صنعتی شماره ۲ کرمان حاوی عناصر کلسیم، منیزیم، کلر و بی‌کربنات، با pH برابر ۷/۴ و رسانایی الکتریکی ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر (جدول ۳)، به سطح نمونه‌ها اضافه شد.

جدول ۳- ویژگی‌های فاضلاب مورد استفاده در آزمایش‌ها

پارامترهای اندازه گیری‌شده	واحد	مقدار
pH	-	۷/۴
EC	dS/m	۱۳
SAR	$(meq/l)^{0.5}$	۰/۲۵
Mg	mgl^{-1}	۸۴
Ca	mgl^{-1}	۴۶۰
Na	mgl^{-1}	۲۱/۵
K	mgl^{-1}	۹/۷
Cl	mgl^{-1}	۲۷۰۰
HCO_3	mgl^{-1}	۷۳/۲

برای هر تیمار، این عمل ۵ مرتبه که ۱۰ روز به طول انجامید، تکرار شد. در انتهای دوره آزمایش، زهاب خروجی از هر یک از فیلترها جمع‌آوری (شکل ۱) و برای اندازه‌گیری غلظت عناصر مورد نظر به آزمایشگاه منتقل شد. برای اندازه‌گیری عناصر، از روش تیتراسیون استفاده شد. افزون بر این، کدورت زهاب خروجی از هر یک از فیلترها نیز اندازه گیری شد. برای محاسبه درصد جذب کلسیم، منیزیم، کلر و بی‌کربنات از معادله زیر استفاده شد:

$$\text{درصد جذب} = (C_0-C_f/C_0)\times 100$$

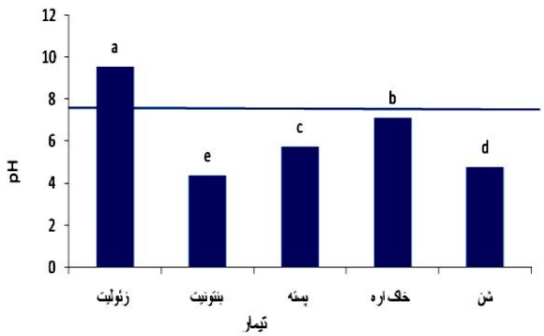
که در آن C0 غلظت اولیه یا غلظت ورودی (mg/l) و Cf غلظت نهایی یا غلظت خروجی (mg/l) هر یک از پارامترهای اندازه‌گیری شده می‌باشد.

شکل ۱- نمایی از ستون خاک مورد استفاده و نحوه نمونه‌برداری از فاضلاب

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تغییرات pH

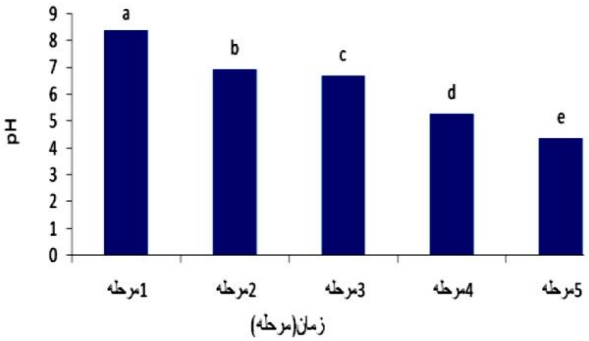
مطابق شکل ۲ مشاهده می‌شود که تیمار زئولیت، بیشترین تأثیر را در افزایش pH داشته و در مقابل، کمترین تأثیر را بر تیمار بنتونیت گذاشته است. تیمار زئولیت باعث افزایش pH زهاب خروجی شد و در تیمارهای بنتونیت، پوست پسته، خاکاره و شاهد، pH زهاب خروجی نسبت به pH فاضلاب کاهش یافت. pH تیمار زئولیت نسبت به تیمار بنتونیت، ۴۵/۹۶ درصد افزایش نشان داد. این تفاوت را می‌توان به درصد جذب بالای کلسیم در تیمار زئولیت نسبت به تیمار بنتونیت مرتبط دانست زیرا در pHهای قلیایی، یون‌های کلسیم به نمک کربنات کلسیم تبدیل می‌شود. همچنین، میزان افزایش pH در تیمار خاکاره و پوست پسته متفاوت بود، به‌گونه‌ای که بین آنها اختلاف معنی‌داری از نظر آماری وجود داشت. از سوی دیگر، با توجه به شکل ۳، بین تمام مراحل اختلاف معنی‌داری در روند تغییرات pH مشاهده شد. مطابق این شکل در مراحل ابتدایی، pH قلیایی ایجاد شده به بالا بودن درصد جذب کلسیم در تیمارها در همین مراحل مربوط است. در واقع در pH قلیایی، یون‌های کلسیم به نمک کربنات کلسیم تبدیل شده و ممکن است جذب بالای کلسیم در این تیمارها به همین علت باشد (Lindsay, 1979).



شکل ۲- مقایسه تیمارهای مورد مطالعه از نظر pH فاضلاب خروجی

Archive of SID

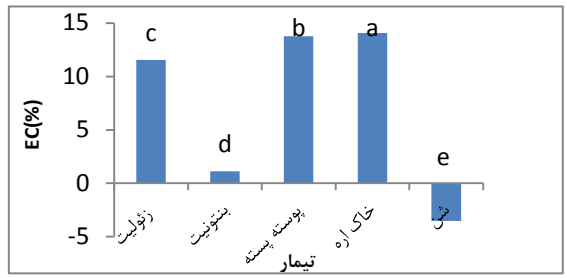
www.SID.ir



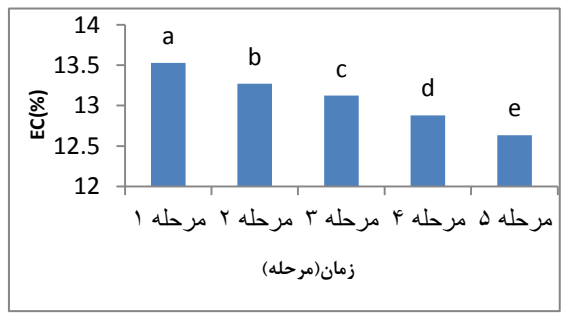
شکل ۳- تاثیر مراحل مختلف آزمایش بر میزان pH فاضلاب خروجی

۳-۲- تغییرات EC

براساس شکل ۴ مشاهده می‌شود که بیشترین و کمترین تغییرات EC به‌ترتیب مربوط به زهاب تیمارهای خاکاره و بنتونیت است. همچنین درصد افزایش EC در زهاب‌های خروجی از تیمارهای معدنی زئولیت و بنتونیت به‌طور معنی‌داری متفاوت بود، به‌گونه‌ای‌که مقدار EC حاصل از تیمار زئولیت بیشتر از بنتونیت بود. همان‌گونه که شکل ۵ نیز نشان می‌دهد برای گام‌های مختلف زمانی، درصد تغییرات EC در زهاب خروجی تیمارهای مختلف، روند کاهشی داشت. این موضوع دلالت بر این مطلب دارد که جذب یون‌ها از محیط آبی در مراحل مختلف اندازه‌گیری نیز روند کاهشی دارد.



شکل ۴- درصد تغییرات EC فاضلاب در تیمارهای مورد مطالعه

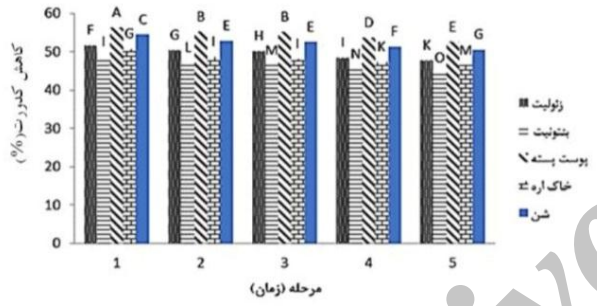


شکل ۵- درصد تغییرات EC فاضلاب در مراحل مختلف آزمایش

۳-۳- تغییرات کدورت

شکل ۶ نشان می‌دهد که در تمام مراحل آزمایش، تیمار پوست پسته، بیشترین تأثیر را در کاهش کدورت داشته و در مقابل، کمترین تأثیر مربوط به تیمار بنتونیت می‌شود. از نگاه دیگر، تیمارهای زئولیت، خاکاره و بنتونیت نسبت به تیمار شاهد، باعث کاهش کمتر کدورت شدند. این موضوع می‌تواند به دلیل وجود احتمالی مقدار کمی از ذرات کلوییدی مانند رس و همچنین مواد آلی با اندازه‌های ریزتر موجود در فیلتر و واجذب آنها در طول آزمایش باشد.

بیشترین تأثیر را در کاهش کدورت داشته و در مقابل، کمترین تأثیر مربوط به تیمار بنتونیت می‌شود. از نگاه دیگر، تیمارهای زئولیت، خاکاره و بنتونیت نسبت به تیمار شاهد، باعث کاهش کمتر کدورت شدند. این موضوع می‌تواند به دلیل وجود احتمالی مقدار کمی از ذرات کلوییدی مانند رس و همچنین مواد آلی با اندازه‌های ریزتر موجود در فیلتر و واجذب آنها در طول آزمایش باشد.



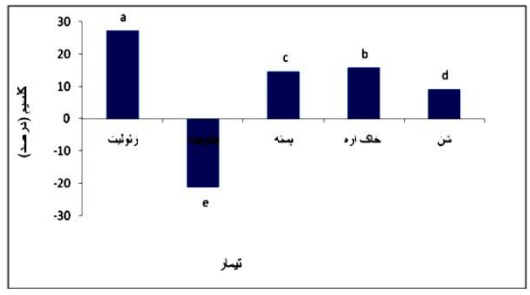
شکل ۶- درصد کاهش کدورت فاضلاب در تیمارهای مختلف در مراحل متفاوت آزمایش

۳-۴- جذب کلسیم

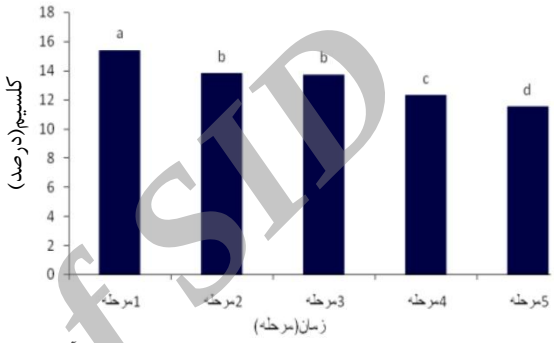
براساس شکل ۷ مشخص می‌شود که فیلتر شاهد، تا حدی (۹ درصد) در جذب کلسیم کارایی داشته است. تیمار بنتونیت نه تنها توانایی خوبی در جذب کلسیم نشان نداد، بلکه باعث اضافه‌شدن مقداری کلسیم به زهاب خروجی از فیلتر شد. این نتیجه می‌تواند به دلیل وجود کلسیم در ساختار بنتونیت باشد. تیمار زئولیت بیشترین تأثیر را در جذب کلسیم داشت و در مقابل، کمترین تأثیر توسط تیمار شاهد مشاهده شد. همچنین در بین جاذب‌های آلی، تیمار خاکاره بیشترین میزان جذب کلسیم را نشان داد. لازم به یادآوری است که در ترکیب شیمیایی خاکاره کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم وجود دارد (Ganesh et al., 2012)، که احتمالاً با جایگزین‌شدن کلسیم و منیزیم توسط سدیم و پتاسیم موجود در خاکاره میزان این دو عنصر در زهاب خروجی از فیلتر خاکاره کاهش یافته است. در بین جاذب‌های معدنی، تیمار زئولیت بیشترین میزان جذب کلسیم را داشت. از سوی دیگر، مقایسه بیشترین میزان درصد جذب کلسیم در تیمارهای آلی و معدنی نشان داد که نسبت درصد جذب تیمار معدنی زئولیت به تیمار آلی خاکاره ۵۷/۸۳ درصد است. همچنین براساس شکل ۸، درصد جذب کلسیم در مراحل مختلف اندازه‌گیری روند کاهشی نشان داد که این موضوع ممکن است به دلیل رهاشدن یون‌های باقیمانده روی سطح ذرات شن پس از شستشو باشد.

Archive of SID

www.SID.ir



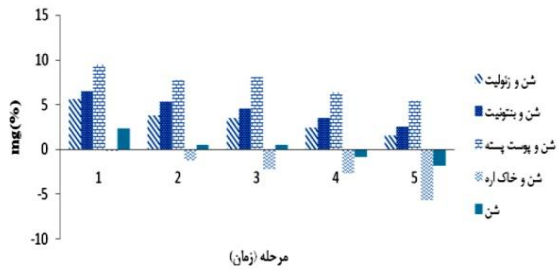
شکل ۷- مقایسه درصد جذب کلسیم از فاضلاب در تیمارهای مورد مطالعه



شکل ۸- مقایسه درصد جذب کلسیم از فاضلاب در مراحل مختلف آزمایش

۳-۵- جذب منیزیم

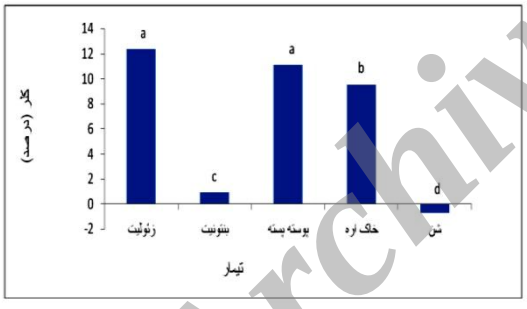
براساس شکل ۹ این گونه استنباط می‌شود که بیشترین و کمترین درصد جذب منیزیم به‌ترتیب در زهاب تیمارهای پوست پسته و شن رخ داده است. علت بیشترین درصد جذب منیزیم با جاذب آلی پوست پسته در این تحقیق را می‌توان به سطوح سلولزی این جاذب نسبت داد. وقتی که سطوح سلولزی در آب فرو می‌رود، به طور جزئی دارای بار منفی می‌شود. به دلیل ایجاد بارهای مخالف بین سطوح سلولزی و کاتیون‌های موجود در آب، جذب کاتیون‌ها توسط سطوح تشدید می‌شود. همچنین درصد جذب منیزیم در زهاب خروجی از تیمارهای معدنی زئولیت و بنتونیت به‌طور معنی‌داری متفاوت بود به‌گونه‌ای که میزان جذب منیزیم در بنتونیت بیشتر از زئولیت بود. افزون بر این، براساس شکل ۹، تیمار خاکاره نه تنها باعث جذب منیزیم نشد، بلکه باعث اضافه‌شدن مقداری منیزیم به محیط شد که این می‌تواند به دلیل وجود منیزیم در ساختار خاکاره باشد. در مرحله اول بیشترین میزان جذب منیزیم رخ داد و کمترین میزان جذب در مرحله پنج مشاهده شد. این موضوع را می‌توان به ته‌نشینی رسوبات موجود بر روی سطح منافذ مرتبط دانست که میزان انتقال‌پذیری عناصر را کاهش می‌دهد (فتوت و همکاران، ۱۳۸۶) و در نتیجه میزان جذب در مراحل بعدی کمتر می‌شود.



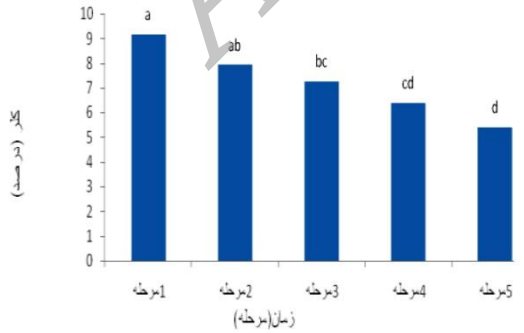
شکل ۹- درصد جذب منیزیم از فاضلاب در تیمارهای مختلف در مراحل متفاوت آزمایش

۳-۶- جذب کلر

همان‌گونه که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، تیمار زئولیت بیشترین میزان تأثیر را در کاهش کلر داشت. به نظر می‌رسد درصد جذب بالای کلر در این تیمار، به دلیل جذب آنیونی آن باشد، زیرا درصد جذب کلسیم توسط این جاذب بالا بوده و احتمالاً کلر جذب کلسیم جذب‌شده توسط این تیمار می‌شود. همچنین، کمترین تأثیر بر جذب کلر را تیمار بنتونیت داشت، به‌گونه‌ای‌که درصد جذب کلر توسط تیمار زئولیت تقریبا سه برابر تیمار بنتونیت بود. افزون بر این، درصد جذب کلر در زهاب خروجی حاصل از تیمار آلی پوست پسته به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاکاره بود. با توجه به شکل ۱۰ بین تیمار زئولیت که بیشترین درصد جذب را در بین تیمارهای معدنی داشت و تیمار پوست پسته که بیشترین درصد جذب را در بین تیمارهای آلی داشت، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در مقابل، بین تیمارهای خاکاره، بنتونیت و شاهد، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. تیمار شاهد نه‌تنها توانایی مطلوبی در حذف کلر از فاضلاب نشان نداد، بلکه باعث اضافه‌شدن مقدار اندکی کلر به زهاب خروجی از فیلتر شد. این افزایش کلر را می‌توان به شسته نشدن کافی شن به دلیل حجم بالای آن نسبت داد. همچنین براساس شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که در مرحله اول، بیشترین میزان جذب مربوط به کلر و کمترین میزان جذب مربوط به مرحله پنج است. این موضوع را می‌توان به ته‌نشینی رسوبات روی سطح منافذ و در نتیجه کاهش میزان انتقال‌پذیری عناصر مرتبط دانست (فتوت و همکاران، ۱۳۸۶).



شکل ۱۰- مقایسه درصد جذب کلر از فاضلاب توسط تیمارهای مطالعه‌شده



شکل ۱۱- مقایسه درصد جذب کلر از فاضلاب در مراحل مختلف آزمایش

۳-۷ جذب بی‌کربنات

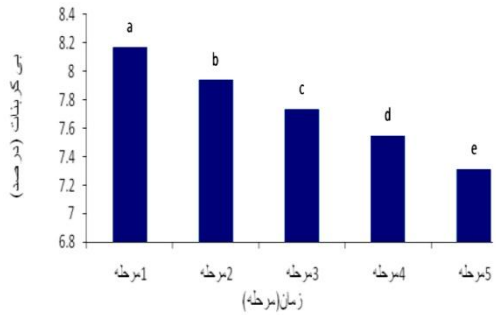
براساس شکل ۱۲ مشاهده می‌شود که تیمار بنتونیت در جذب بی‌کربنات بیشترین تأثیر را نشان داده است. درصد جذب بالای بی‌کربنات

Archive of SID

www.SID.ir

در این تیمار احتمالاً مربوط به دو سازوکار جذب و رسوب است. به عبارتی، بی‌کربنات موجود در محلول، توسط کاتیون‌های موجود بر روی سطوح بنتونیت جذب شده و همچنین به دلیل قلیایی‌شدن محیط ممکن است به شکل کربنات کلسیم رسوب کرده باشد. در مقابل، تیمار پوست پسته کمترین تأثیر بر جذب بی‌کربنات از فاضلاب را نشان داد. نسبت جذب بی‌کربنات توسط تیمار بنتونیت تقریبا دو برابر نسبت جذب تیمار زئولیت بود. افزون بر این، تیمارهای آلی باعث افزودن مقداری بی‌کربنات به زهاب خروجی از فیلتر شدند که این می‌تواند به دلیل وجود کربن، هیدروژن و اکسیژن موجود در گروه‌های اکسیژن‌دار اصلی و گروه‌های فنولی موجود در ساختار پوست پسته باشد. همان‌گونه که شکل ۱۳ نیز نشان می‌دهد، بین تمام مراحل آزمایش تفاوت معنی‌دار در جذب بی‌کربنات قابل مشاهده است.

شکل ۱۲- مقایسه درصد جذب بی‌کربنات از فاضلاب در بین تیمارهای مطالعه‌شده



شکل ۱۳- مقایسه درصد جذب بی‌کربنات از فاضلاب در مراحل مختلف آزمایش

نتیجه‌گیری

نتایج جذب برخی املاح از فاضلاب توسط جاذب‌ها نشان داد که فیلتر شنی، میزان کدورت فاضلاب را کاهش می‌دهد، اما به تنهایی نمی‌تواند در کاهش یون‌های کلسیم، منیزیم، کلر و بی‌کربنات کارایی داشته باشد. کاربرد جاذب‌های آلی و معدنی در فیلتر شنی به نسبت‌های متفاوتی باعث کاهش یون‌های کلسیم، منیزیم، کلر و بی‌کربنات می‌شود. فیلتر حاوی شن و پوست پسته، باعث کاهش ۱۱/۰۸ درصدی کلر، ۱۴/۵۸ درصدی کلسیم، ۷/۴۳ درصدی منیزیم و افزایش بی‌کربنات شد. فیلتر حاوی شن و خاکاره باعث کاهش ۹/۵۱ درصدی کلر، ۱۵/۷۳ درصدی کلسیم و افزایش منیزیم و بی‌کربنات شد. فیلتر حاوی شن و زئولیت باعث کاهش ۱۲/۳۵ درصدی کلر، ۲۷/۲ درصدی کلسیم، ۱۱/۳درصدی بی‌کربنات و ۳/۳۸ درصدی منیزیم شد. فیلتر حاوی شن و بنتونیت باعث کاهش ۳/۹۳ درصدی کلر، ۴/۴۶ درصدی منیزیم، ۲۸/۷۴ درصدی بی‌کربنات و کاهش ناچیزی کلسیم شد. در بین تیمارهای آلی، پوست پسته و در بین تیمارهای معدنی، زئولیت به‌عنوان بهترین تیمار در کاهش عناصر در تحقیق حاضر شناسایی و معرفی شد. افزون بر این، مقایسه نتایج نشان داد که جاذب‌های معدنی نسبت به جاذب‌های آلی، کارآیی مطلوب‌تری در جذب عناصر کلسیم، منیزیم، کلر و بی‌کربنات دارند.

مراجع

اسدی، ف. میرغفاری، ن و شریعتمداری، ح.، ۱۳۸۷، "بررسی کارایی ضایعات کشاورزی در مقایسه با خاک در جذب برخی از فلزات سنگین" نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، ۲۷ (۱)، صفحات ۷۳-۶۱.

اصفهانی، ع.، ۱۳۸۹، "حذف منگنز از محیط آبی توسط کربن فعال، زئولیت طبیعی و اصلاح شده در حضور یون‌های آهن، کروم و آلومینیوم" پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه زابل، ۱۲۰ صفحه.

جزایری، س. ح. حیاتی آشتیانی، م. اشرفی‌زاده، س. ن. قنادی مراغه، م. و نوزاد گلی‌کند، ا.، ۱۳۸۹، "حذف فلزات سنگین از پسماندهای سنتزی توسط بنتونیت معمولی و بنتونیت فعال شده با اسید" مجله علوم و فنون هسته‌ای، جلد ۱، صفحات ۱۸-۲۷.

شکوه سلجوقی، ظ. ملک‌پور، ا. رفیعی، غ. ایمانی، ا. و بختیاری، م.، ۱۳۹۰، "حذف آلاینده‌های نیتریت و نیترات از پساب سیستم مدار بسته آبزی پروری توسط بنتونیت‌های اصلاح شده آب و فاضلاب" جلد ۲، صفحات ۴۶-۵۴.

فتوت، ا. محمدی، م. و حق‌نیا، غ. ح.، ۱۳۸۶، "کاربرد فیلتر شن- خاک غیرآهکی- کمپوست برگ برای کاهش فلزات سنگین موجود در فاضلاب صنعتی" نهمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر، صفحات ۱۰-۲.

فرمانی، ب. حداد خداپرست، م. ح. و حصاری، ج.، ۱۳۸۸، "تصفیه شربت خام نیشکر با استفاده از بنتونیت و ژلاتین و تاثیر آن بر روی ترکیبات رنگی" مجله پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۰ صفحه.

قلهکی م. یگانه ب. و احمدی پویا ر.، ۱۳۸۷، "مدیریت منابع آب شور و لب شور با تکیه بر راهکارهای نانو فیلتراسیون" سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، دانشگاه مهندسی عمران، صفحات ۱۴-۱۲.

موحدیان عطار، ح. ابراهیمی، ا.، ۱۳۸۲، "ارزیابی کارایی زئولیت‌های طبیعی و رزین‌های مصنوعی در حذف یون‌های نیکل، روی و مس از فاضلاب‌های صنعتی" پژوهش در علوم پزشکی، صفحات ۷۵-۸.

Ajmal, M. Khan, A. H. Ahmad, S. and Ahmad, A., 1998, "Role of sawdust in the removal of copper from industrial wastes", *Water Res. 32 (10): P.3085-3091.*

Awan, M. A. Qazi, I. A, and Khalid, I., 2003, "Removal of heavy metals through adsorption using sand", *Environmental Sci. (15): P.413-416.*

Baig, M. A. Mehmood, B. and Matin, A., 2001, "Removal of chromium from industrial effluents by sand filtration. Environmental", *Agricultural and food Chemistry, P.1579-1588.*

Archive of SID

www.SID.ir

Benjamin, M. M. and Sletten, R. S., 2002, "Metals Treatment at Superfund Sites by Adsorptive Filtration", *Environmental Engineering and Sciences university of Washington, P.15-1588.*

Ganesh, C. D. Roshan, S. W. Meena, K. and Ajay, S. K., 2012, "Composting of water hyacinth using saw dust/rice straw as a bulking agent", *Int. Journal of Environmental Sci. 2(3): P.321-330.*

Lindsay, W. L., 1979, "Chemical Equilibria in Soil", *John Wiley and Sons. New York, P.39-48.*

Ngah, W. S. Hanafiah, M. A. K. M., 2008, "Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbent", *A review. Bioreso. Tech. 99: P.3935-3948.*

Rafatullah, M. Sulaiman, O. Hashim, R. Ahmad, A., 2009, "Adsorption of copper (II), chromium (III), nickel (II) and lead (II) ions from aqueous solutions by meranti sawdust", *Journal of Hazardous Materials. 170 : P.969-977.*

Sen Gupta, S. and Bhattacharyya, K. G., 2005, "Interaction of metal ions with clays. A case Study with Pb (II)", *Applied Clay Sci. 30: P.199-206.*

Yang, T. and Chong Lau, A., 2003, "Characteristics of activated carbons prepared from pistachionut shells by potassium hydroxide activation", *Microporous Materials. 63: P.113-124.*

Yetilmezsoy, K. Demirel, S., 2008, "Artificial neural network (ANN) approach for modeling of Pb (II) adsorption from aqueous solution by Antep pistachio (Pistacia Vera L.) shells", *Journal of Hazardous Materials. 153:P.1288-1300.*

Zhu, S. Hoobo, H. and Yongjie, X., 2008, "Kinetic and isothermal studies of lead ion adsorption on to bentonite" *Applied Clay Sci. 40(1-4): P.171-178.*

Archive of SID

■

www.SID.ir