



بررسی عملکرد جاذب لیکای اصلاح شده (TiO₂/ LECA) در حذف سورفاکتانت آنیونی از فاضلاب

محمد ملکوتیان^{۱*}، کامیار یغمائیان^۲، رسول مؤمنزاده^۳

۱- دانشگاه علوم پزشکی کرمان- مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط- استاد.

۲- دانشگاه علوم پزشکی تهران- دانشکده بهداشت- گروه بهداشت محیط- دانشیار.

۳- دانشگاه علوم پزشکی کرمان- دانشکده بهداشت- گروه بهداشت محیط- دانشجو.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۱۹

چکیده

مقدمه: سورفاکتانت‌ها یا عوامل فعال سطحی مواد شیمیایی آلی هستند که با تجمع در سطح مشترک گاز- مایع یا جامد- مایع، خصوصیات آب را تغییر داده و با کاهش کشش سطحی آب، عمل پاک‌کنندگی را تسریع می‌کنند. با تخلیه مستقیم فاضلاب خام یا پساب‌های تصفیه شده، درجنت‌ها به محیط وارد شده و با ایجاد آلودگی، سبب کاهش کیفیت در منابع آب و افزایش هزینه‌ها می‌شوند. هدف پژوهش ارزیابی عملکرد لیکای حاوی نانو ذره دی‌اکسید تیتانیم (TiO₂) در حذف سورفاکتانت از فاضلاب بود.

مواد و روش‌ها: این مطالعه یک تحقیق تجربی است که در آن به منظور آماده‌سازی جاذب لیکای جهت افزایش میزان کارایی و خاصیت کاتالیستی، از دی‌اکسید تیتانیم (TiO₂) استفاده شد. تأثیر شاخص‌های pH (۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱)، مقدار جاذب (۰/۲۵-۲ g/L)، غلظت اولیه سورفاکتانت (۲۵-۲۵۰ mg/L) و زمان تماس (۱۵-۱۲۰ min) توسط جاذب لیکای اصلاحی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها بر روی نمونه سنتتیک، سپس در شرایط بهینه بر روی نمونه واقعی فاضلاب نیز انجام شد. اندازه‌گیری غلظت سورفاکتانت، با دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد.

نتایج: حداکثر حذف سورفاکتانت توسط لیکای اصلاح شده از محلول‌های سنتتیک سورفاکتانت، در شرایط بهینه (زمان تماس ۳۰ دقیقه و pH برابر ۵، مقدار جاذب ۱ گرم بر لیتر، غلظت اولیه سورفاکتانت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) به میزان ۹۸ درصد و در همین شرایط در نمونه‌های واقعی ۸۷ درصد حاصل شد. نتایج به‌دست آمده از مطالعات ایزوترمی نشان داد که حذف سورفاکتانت از معادله ایزوترم فروندلیخ (R² = ۰/۹۷۳) تبعیت دارد. همچنین معادله شبه درجه دوم بهترین سازگاری را با داده‌های سینتیکی دارد.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه نشان داد که لیکای حاوی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم می‌تواند به‌عنوان جاذبی مؤثر جهت حذف سورفاکتانت آنیونی از محلول‌های آبی به‌کار رود.

واژه‌های کلیدی: سورفاکتانت آنیونی، جاذب لیکای، نانوذره TiO₂، فاضلاب.

*نویسنده مسئول: کرمان- ابتدای بزرگراه هفت باغ- هفت آسمان- مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط، تلفن: ۰۳۴-۳۱۳۲۵۱۲۸-۰۳۴، شماره: ۰۳۴-۳۱۳۲۵۱۰۵-۰۳۴
Email: m.malakootian@yahoo.com

ارجاع: ملکوتیان محمد، یغمائیان کامیار، مؤمنزاده رسول. بررسی عملکرد جاذب لیکای اصلاح شده (TiO₂/ LECA) در حذف سورفاکتانت آنیونی از فاضلاب. مجله دانش و تندرستی ۱۳۹۵؛ ۱۱(۱): ۴۱-۴۸.

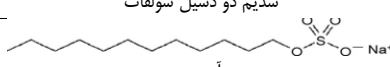
مقدمه

دادند (۱۳). همچنین برقی و همکاران (۲۰۱۰) در ایران کارایی جاذب‌های طبیعی در حذف دترجنت از فاضلاب را بررسی نمودند (۱۴). لیکا، حاکی با دانه‌های ریز، سبک، متخلخل و با خاصیت شیمیایی خنثی می‌باشد که به مقدار فراوان و با قیمت ارزان در دسترس است. باتوجه به این موضوع که جذب به خاطر کم هزینه بودن از ویژگی بیشتری نسبت به سایر فرایندها برخوردار است و استفاده از جاذب‌ها، کم هزینه‌تر و بی‌خطر و با محیط زیست سازگارتر بوده و همچنین جاذب‌ها نیاز به مراحل آماده‌سازی کمتری دارند و در طبیعت بسیار فراوان هستند، لذا هدف از پژوهش حاضر بررسی کارایی لیکای اصلاح شده با نانو ذره دی اکسید تیتانیوم در حذف سورفاکتانت آنیونی از محلول‌های آبی بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه یک مطالعه تجربی است که در مقیاس آزمایشگاهی به صورت ناپیوسته انجام گردید. جهت انجام آزمایش‌ها، لیکا (خاک رس معدنی) از منطقه ساوه (تولید شرکت لیکا) تهیه شد. نانوذره TiO_2 از شرکت نانو پارس لیما و مواد شیمیایی لازم و همچنین پودر SDS جهت ساخت محلول سنتتیک از شرکت مرک آلمان تهیه شد. نانو ذره دی اکسید تیتانیوم استفاده شده در تحقیق دارای سطح ویژه 60 g/m^2 ، اندازه 60 نانومتر، درصد خلوص $99/9\%$ و چگالی $0/7 \text{ g/m}^3$ می‌باشد. مشخصات پودر سورفاکتانت (SDS) تهیه شده از شرکت مرک در جدول ۱ آمده است.

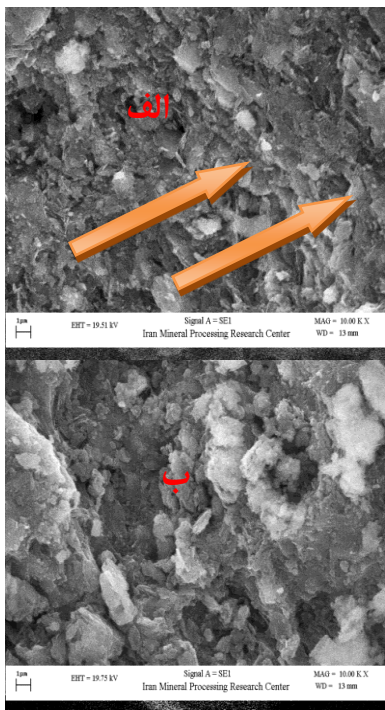
جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی سورفاکتانت آنیونی سدیم

نام تجاری	سدیم دو دسیل سولفات
ساختار شیمیایی	
طبقه شیمیایی	آنیونی
فرمول مولکولی	$n-C_{12}H_{25}SO_4Na$
درجه خلوص	99%
وزن مولکولی	$288/3$ (گرم بر مول)

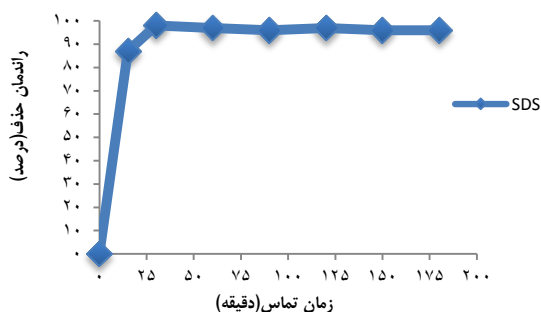
خاک لیکا به عنوان جاذب از شرکت لیکا منطقه ساوه تهیه شد. برای زدایش ناخالصی‌ها، پوک‌های معدنی لیکا با آب مقطر چندین بار شسته و این کار تا زمانی که کدورت پساب خروجی به 1 NTU برسد ادامه یافت، سپس توسط آسیاب، خرد شده و از الک 250 میکرون عبور داده شد. برای اصلاح خاک لیکا، نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) در اندازه ذرات 60 نانومتر، به مقدار $1/5$ گرم در داخل ارلن حاوی 1 لیتر آب مقطر ریخته شد و با استفاده از دستگاه شیکر به صورت سوسپانسیون یکنواخت گردید. در ادامه، سوسپانسیون نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) آماده شده به 25 گرم از لیکای دانه‌بندی شده اضافه شد. سوسپانسیون به مدت 2 ساعت به طور مداوم توسط همزن

طی یک دهه گذشته مقادیر زیادی از سورفاکتانت‌ها به علت افزایش استفاده از دترجنت‌های مصنوعی در مصارف صنعتی و خانگی وارد محیط زیست شده است که موجبات آلودگی به این مواد دیر تجزیه‌پذیر را فراهم آورده است (۱). سورفاکتانت‌های آنیونی بزرگترین و پرمصرف‌ترین گروه پاک‌کننده‌ها می‌باشند که کاربرد متداول آنها در مصارف مختلف و افزایش مصرف سرانه آنها سبب افزایش مقادیر این ترکیبات در فاضلاب شده است (۲). انواع سورفاکتانت‌ها می‌توانند به عنوان محصولات مصرفی در شوینده‌ها و دیگر کاربردهای صنعتی نظیر صنایع غذایی، دارویی، سموم کشاورزی، نساجی و چوب، صنعت پلاستیک، رنگ‌ها و جلاها، چرم‌سازی، عکاسی، فلز کاری، مصالح ساختمانی، آتش نشانی و غیره مورد استفاده قرار گیرند (۴ و ۵). یک ملکول سورفاکتانت شامل یک گروه آبدوست قوی و یک گروه آبگریز است. چنین ملکول‌هایی بیشتر دوست دارند بین حد فاصل آبی و فازهای دیگر مثل هوا، فاز آلی و ذرات قرار گرفته و خواصی مثل کف کردن، امولسیون و سوسپانسیون از خود نشان دهند (۶ و ۷). سدیم دودسیل سولفات (SDS: Sodium dodecyl sulfate) یکی از پرکاربردترین سورفاکتانت‌های آنیونی است که ساختاری شبیه به LAS: Alkyle benzene sulfonate دارد. فقدان حلقه بنزنی در ساختار SDS و خاصیت پاک‌کنندگی زیاد آن، این ترکیب را به عنوان جایگزینی مناسب برای LAS تبدیل نموده است (۸). بسیاری از سورفاکتانت‌ها قابلیت تجزیه بیولوژیکی نسبتاً کمی داشته و غالباً سمیت بالایی دارند. تضعیف اکوسیستم‌ها، ایجاد سمیت برای انسان‌ها و حیوانات، اثرات سوء بر روی آبزیان و گیاهان، آلودگی آب‌های زیرزمینی و دریاچه‌ها، افزایش جلبک‌ها و ایجاد پدیده اوتروفیکاسیون به علت افزایش فسفات، عدم تجزیه‌پذیری مناسب و ایجاد واکنش فیزیولوژیکی در مصرف‌کنندگان آب آلوده، از اثرات زیانبار سورفاکتانت‌ها می‌باشد (۹ و ۱۰). روش‌های گوناگونی برای حذف سورفاکتانت‌ها مطرح است از جمله رسوب شیمیایی، تجزیه بیولوژیکی، اکسیداسیون، حذف الکتروشیمیایی، تکنولوژی غشایی و فرایندهای در شرایط بی‌هوازی (۱۰ و ۱۱). به نحوی که ماریا ویسا و همکاران (۲۰۱۳) در رومانی اکسیداسیون پیشرفته سورفاکتانت سدیم دودسیل بنزن سولفونات (SDBS) را با خاکستر اصلاح شده بررسی نمودند (۱۰). همچنین در مطالعه‌ای دیگر توسط راجیش و همکاران (۲۰۰۷) در هند، حذف رنگ‌های آنیونی با استفاده از خاک زئولیت اصلاح شده صورت گرفت (۱۲). تهمینی و همکاران (۲۰۱۳) در مالزی مطالعه‌ای بر روی جذب سورفاکتانت با استفاده از خاک‌های رس معدنی انجام

تیتانیوم و لیکای بدون نانوذره دی اکسید تیتانیوم نشان داده شده است. تصاویر سطح لیکا بدون نانوذره و لیکایی که نانوذره بر روی سطح آن نشانده شده است نیز نشان دهنده پوشش سطح دانه‌های لیکا با نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم است. نمودار ۲ تأثیر زمان تماس بر میزان راندمان حذف سورفاکتانت آنیونی با استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تثبیت شده با خاک لیکا را نشان می‌دهد.



شکل ۱- تصویر SEM میکروسکوپ الکترونی (الف)، نانو ذرات TiO₂ تثبیت شده با خاک لیکا (ب) لیکا بدون نانو ذره



نمودار ۲- تأثیر زمان تماس بر راندمان حذف سورفاکتانت SDS (غلظت اولیه سورفاکتانت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، pH=۵، مقدار جاذب ۱ گرم بر لیتر)

همان‌طور که مشاهده می‌گردد کارایی حذف با افزایش زمان تماس افزایش می‌یابد، به نحوی که با افزایش زمان تماس از ۱۵ دقیقه تا ۳۰

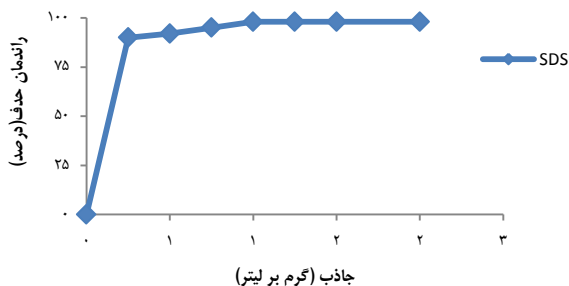
مغناطیسی مدل (Heidolph MR - ۳۰۰۱) با سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه هم زده شد. سپس سوسپانسیون حاصل در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ ساعت در دستگاه فور خشک شد. انتخاب مقدار ۱/۵ گرم نانوذره (TiO₂) به نحوی انجام شد که نانوذره پس از نشست بر روی خاک لیکا ۴/۵ تا ۵ درصد از وزن کل آن باشند (۱۴ و ۱۵). جهت تعیین مقدار نانوذره افزوده شده به پوک لیکا، اندازه‌گیری وزن پوک لیکا قبل و بعد از اضافه نمودن مقدار نانو ذره انجام شد. برای تهیه نمونه سنتتیک سورفاکتانت، محلول ۱۰۰۰ mg/L از پودر SDS تهیه شد. غلظت‌های موردنظر SDS از رقیق‌سازی محلول استوک تهیه شد. برای تنظیم pH از اسید سولفوریک و سود ۰/۱ طبیعی استفاده شد. تعداد ۴۵ نمونه سنتتیک در شرایط مختلف (زمان واکنش، مقدار نانوذره، غلظت سورفاکتانت سنتتیک و pH) مورد آزمایش قرار گرفت.

جهت انجام مطالعه، مقدار اولیه جاذب اصلاح شده (۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۵، ۲) گرم بر لیتر، غلظت اولیه سورفاکتانت (۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰) میلی‌گرم در لیتر، pH اولیه (۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱)، و مدت زمان واکنش (۱۵ - ۱۲۰) دقیقه در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها در مقیاس آزمایشگاهی به صورت ناپیوسته و در بشرهای ۱۵۰ میلی‌لیتری با مقدار حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول سورفاکتانت و با سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه در دمای آزمایشگاه (۲۳ ± ۰/۵)°C انجام گرفت.

برای اندازه‌گیری غلظت سورفاکتانت، ۱۰ سی سی از نمونه سانتریفوژ شده برداشت، و به یک بشر ۲۵ میلی‌لیتری ریخته شد. سپس ۱۰۰ میکرولیتر محلول آکریدین ارنج ۰/۰۰۵ مولار، ۱۰۰ میکرولیتر اسید استیک غلیظ و ۵ سی سی تولوئن به آن اضافه و به مدت ۱ دقیقه با هم زدن مخلوط شد. سپس نمونه جهت جداسازی به یک کیف جداکننده ۲۵ میلی‌لیتری اضافه شد. جذب محلول فوق در مقابل شاهد تولوئن با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (shimadzu UV-1800) در طول موج ۴۶۷ نانومتر اندازه‌گیری شد (۱۶). سپس آزمایش‌ها تحت شرایط بهینه (مقدار جاذب ۱ گرم بر لیتر، pH=۵، به دست آمده با محلول سنتتیک، بر روی محلول واقعی فاضلاب کارخانه نوشابه‌سازی زمزم کرمان) نیز انجام شد. در نیمه هر ماه، ۱ نمونه و در مجموع ۴ نمونه فاضلاب خام از حوضچه متعادل‌سازی تصفیه‌خانه فاضلاب کارخانه نوشابه‌سازی زمزم تهیه و پارامترهای COD، BOD، TSS و درجنت آنیونی در فاضلاب واقعی اندازه‌گیری شد. کلیه آزمایش‌ها طبق دستورالعمل کتاب روش‌های استاندارد آب و فاضلاب چاپ بیستم انجام شد (۱۷). تجزیه و تحلیل داده‌ها با آمار توصیفی انجام شد.

در شکل ۱ تصاویر گرفته شده (SEM: Scanning electrons microscope) از سطح خاک لیکای پوشش داده شده با دی اکسید

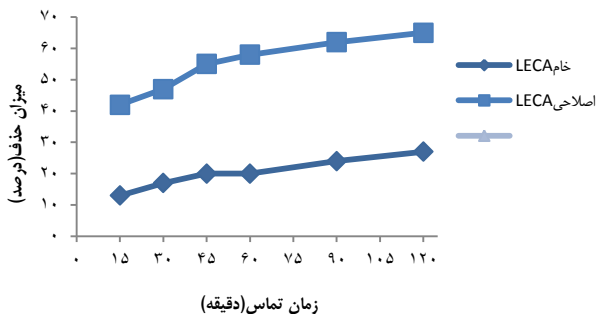
راندمان حذف سورفاکتانت آنیونی (سدیم دو دسیل سولفات) از ۸۷ درصد به ۹۹ درصد برای مقادیر (۰/۲۵ تا ۱ گرم بر لیتر) از جاذب می‌باشد. با افزایش مقدار جاذب بیشتر از ۱ گرم بر لیتر راندمان حذف سورفاکتانت تقریباً ثابت می‌باشد.



نمودار ۵- تأثیر مقدار جاذب بر میزان حذف SDS (غلظت اولیه سورفاکتانت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، زمان تماس ۳۰ دقیقه، pH=۵)

کیفیت فاضلاب خام ورودی به تصفیه‌خانه فاضلاب (کارخانه نوشابه‌سازی زمزم کرمان)، از نظر غلظت COD، BOD، TSS و دترجنت براساس سه بار اندازه‌گیری در فاصله زمانی مهر الی دی ماه سال ۱۳۹۲ به ترتیب ۱۴۰۰، ۵۴۰، ۲۵۵ و ۲۹۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. به منظور تعیین مقدار دترجنت از روش (MBAS: Methylene blue active substances) استفاده شد. این روش براساس تشکیل یک ملح آبی رنگ در هنگام واکنش متیلن بلو با سورفاکتانت‌های آنیونی می‌باشد. همچنین بقیه آزمایش‌ها طبق رهنمودهای کتاب روش‌های استاندارد آب و فاضلاب چاپ بیستم انجام شد (۱۷).

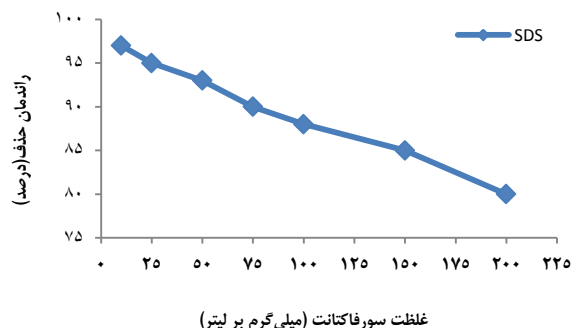
تحت شرایط بهینه (مقدار جاذب ۱ گرم بر لیتر و pH=۵) به دست آمده از آزمایشات بر روی نمونه‌های سنتتیک، و غلظت سورفاکتانت ۲۹۰ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری شده در نمونه واقعی، آزمایشات بر روی نمونه فاضلاب واقعی صورت گرفت. نتایج حاصل از تغییرات راندمان حذف سورفاکتانت از محلول واقعی فاضلاب در زمان‌های مختلف در شرایط بهینه ذکر شده در نمودار ۶ آمده است.



نمودار ۶- بررسی راندمان حذف سورفاکتانت از نمونه واقعی در pH=۵ و مقدار جاذب ۱ گرم بر لیتر

دقیقه، راندمان حذف SDS از ۷۸ درصد به ۹۹ درصد افزایش داشت. با افزایش زمان تماس بیش از ۳۰ دقیقه تغییرات در روند راندمان حذف توسط جاذب، ثابت و جزئی بود.

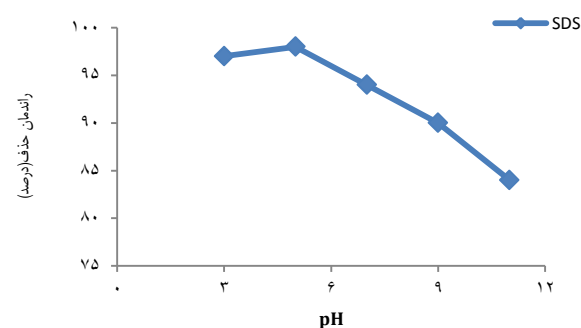
نمودار ۳ تأثیر غلظت اولیه سورفاکتانت بر میزان کارایی حذف سورفاکتانت را نشان می‌دهد.



نمودار ۳- اثر غلظت اولیه سورفاکتانت بر میزان حذف SDS (pH=۵، زمان تماس ۳۰ دقیقه، مقدار جاذب ۱ گرم بر لیتر)

نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اولیه سورفاکتانت، ظرفیت حذف افزایش ولی راندمان جذب کاهش می‌یابد. به طوری که با افزایش غلظت اولیه سورفاکتانت از ۲۵ به ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر راندمان جذب از ۹۹ درصد به ۸۰ درصد می‌رسد.

نمودار ۴ نشان‌دهنده تأثیر pH بر جذب سورفاکتانت توسط لیکای اصلاح شده می‌باشد.



نمودار ۴- تأثیر pH بر حذف سورفاکتانت SDS (غلظت اولیه سورفاکتانت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، زمان تماس ۳۰ دقیقه، مقدار جاذب ۱ گرم بر لیتر)

همان‌طور که مشاهده می‌گردد حداکثر جذب سورفاکتانت توسط لیکای اصلاح شده با نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در pH=۵ می‌باشد. و با افزایش مقدار pH از راندمان حذف کاسته می‌شود.

نمودار ۵ تأثیر مقدار جاذب بر میزان حذف سورفاکتانت آنیونی با استفاده از خاک لیکای اصلاح شده را نشان می‌دهد.

نتایج نشان داد که با افزایش مقدار جاذب درصد حذف سورفاکتانت (سدیم دو دسیل سولفات) افزایش می‌یابد. نمودار نشان‌دهنده افزایش

همان‌طور که در جدول ۳ آمده است محاسبات به‌دست آمده از معادلات سینتیکی نشان داد که سینتیک حذف سورفاکتانت آنیونی (SDS) با استفاده از لیکای اصلاح شده با نانو ذره دی اکسید تیتانیوم از سینتیک شبه درجه دو تبعیت می‌کند ($R2=0/98$).

بحث

نتایج حاصل از تأثیر زمان تماس بر روی کارایی حذف سورفاکتانت آنیونی نشان داد که، با افزایش زمان تماس از ۱۵ دقیقه به ۱۲۰ دقیقه، کارایی حذف سورفاکتانت از ۷۸ درصد به ۹۸ درصد افزایش خواهد یافت. همان‌طور که نتایج نشان داد با افزایش زمان تماس، کارایی حذف افزایش یافته و پس از ۳۰ دقیقه به تعادل می‌رسد. در پژوهشی که راجیش و همکاران بر روی حذف متیلن بلو با زئولیت اصلاح شده از فاضلاب انجام دادند، نشان دادند که بیشترین میزان حذف در ۳۰ دقیقه ابتدایی اتفاق می‌افتد که بابتیجه حاضر همخوانی داشت و همچنین در مطالعه دیگری که ماریا ویسا و همکاران در رومانی بر روی حذف سورفاکتانت سدیم دودسیل بنزن سولفونات (SDBS) با استفاده از خاکستر اصلاح شده با دی اکسید تیتانیوم انجام گرفت مشخص شد که در زمان تماس ۳۰ دقیقه اولیه بیشترین میزان حذف صورت می‌گیرد که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت (۱۰ و ۱۲).

در مطالعات جذب سورفاکتانت آنیونی (SDS)، pH محلول نقش مهمی داشت، به نحوی که کارایی حذف سورفاکتانت آنیونی (SDS) با کاهش pH افزایش یافت. به این دلیل که در pH اسیدی، سطح ذرات بار مثبت دارد و نیروی الکترواستاتیک بین بار مثبت سطح جاذب و بار منفی (SDS) باعث جذب می‌گردد. pHZPC نانوذرات دی اکسید تیتانیوم تثبیت شده بر خاک معدنی لیکا برابر با ۶/۰۲ می‌باشد که سطح نانوذرات در pH پایین‌تر از آن بار مثبت دارد و جذب مطلوب گونه‌های آنیونی رخ می‌دهد (۲۰ و ۲۱). نتایج پژوهش حاضر با بررسی انجام شده توسط راجیش و همکاران در حذف متیلن بلو با جاذب‌های معدنی اصلاح شده با دی اکسید تیتانیوم در شرایط اسیدی مطابقت داشت (۱۲). همچنین در بررسی که گوپتا و همکاران و زورا که با استفاده از کربن فعال پوشش داده شده با دی اکسید تیتانیوم در حذف سورفاکتانت آنیونی از محلول‌های آبی انجام دادند همخوانی داشت (۲۲ و ۲۳).

در بررسی تأثیر مقدار جاذب بر میزان جذب SDS مشخص شد که با افزایش مقدار جاذب، درصد حذف سورفاکتانت افزایش داشت و بیشترین میزان حذف سورفاکتانت در غلظت جاذب برابر ۱ گرم بر لیتر حاصل شد، به حدی که با افزایش مقدار جاذب از ۱ گرم بر لیتر راندمان حذف جزیی بوده و میزان جذب تغییر قابل ملاحظه‌ای نداشت. به این دلیل که با ازدیاد مقدار جاذب میزان مساحت سطحی و تعداد جایگاه‌های قابل دسترسی برای جذب یون افزایش می‌یابد (۲۴).

تحت شرایط بهینه $pH=5$ و مقدار جاذب اصلاح شده ۱ گرم بر لیتر راندمان حذف سورفاکتانت در زمان‌های (۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰) دقیقه با لیکای خام به ترتیب ۱۳، ۱۷، ۲۰، ۲۱، ۲۴ و ۲۷ درصد و برای جاذب لیکای اصلاح شده به ترتیب ۴۱، ۴۷، ۵۵، ۵۸، ۶۱ و ۶۵ درصد به‌دست آمد.

شاخص‌های محاسبه شده از روی معادلات ایزوترمی به ترتیب در جدول ۱ نشان داده شده است. پارامترهای مدل‌های ایزوترمی جذب لانگمویر و فروندلیخ در رابطه ۱ و ۲ نشان داده شده است (۱۸ و ۱۹).

$$C_e = \left(\frac{1}{k_1 q_m} \right) + \left(\frac{1}{q_m} \right) C_e - 1$$

qe مقدار جزء جذب شده در واحد جرم بر حسب میلی‌گرم بر گرم، Ce غلظت تعادلی ماده جذب شدنی در محلول بعد از جذب سطحی، بر حسب

میلی‌گرم بر لیتر، qm ظرفیت جذب و k ثابت لانگمویر می‌باشد.

$$\log q_e = \log k_f + \left(\frac{1}{n} \right) \log C_e - 2$$

Ce غلظت تعادل بر حسب میلی‌گرم در لیتر، qe ظرفیت جذب در زمان تعادل بر حسب میلی‌گرم بر گرم و k و n ثابت‌های فروندلیخ می‌باشند (۲۵).

جدول ۲- ضرایب مدل‌های ایزوترم جذب

فروندلیخ		لانگمویر		مدل ایزوترم
R2	Kf	n	R2	b(L/mg) qm
۰/۹۷	۰/۲۴	۰/۸	۰/۹۵۳	۱/۵ ۰/۶۸

همان‌طور که مشاهده می‌شود باتوجه به نتایج به‌دست آمده در (جدول ۲) ایزوترم فروندلیخ بیشترین همخوانی را با جذب سورفاکتانت آنیونی سدیم دودسیل سولفات توسط خاک لیکای اصلاح شده با نانوذره از خود نشان می‌دهد ($R2=0/97$).

برای توصیف سینتیک جذب سورفاکتانت آنیونی، مدل‌های سینتیک شبه درجه اول و سینتیک شبه درجه دوم مورد استفاده قرار گرفت. در پژوهش حاضر مدلی ارایه شد که بیشترین مطابقت را با داده‌های آزمایشگاهی داشت همچنین پارامترهای معادلات سینتیک جذب در جدول ۲ نشان داده شده است.

فرم خطی سینتیک شبه درجه اول رابطه سه) و شبه درجه دوم (رابطه چهار) نشان داده شده است (۱۸ و ۱۹).

$$\log \left(1 - \frac{q_t}{q_e} \right) = \left(\frac{k_1 t}{2.303} \right) t$$

$$\frac{t}{q_t} = \left(\frac{1}{k_2 q_e^2} \right) + \left(\frac{1}{q_e} \right) t - 3$$

معادله ۴-

جدول ۳- ضرایب حاصل از معادلات سینتیک

سینتیک شبه درجه اول			سینتیک شبه درجه دوم		
R2	qe cal	K1	R2	qe cal	K2
۰/۹۷	۰/۷۷	۰/۰۴	۰/۹۶۷	۲/۵۱	۰/۹۹

References

- Dehghani MH, Nasser S, Ghaderpoori M, Mahvi AH, Nabizadeh R. Investigating the efficiency of UV/H₂O₂ process for removal of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) in aqueous solution. *Iran J Health & Environ* 2011;3:411-8.
- Vaezi F, Bazrafshan E. Ultraviolet irradiation and its use for water and wastewater disinfection and treatment. Tehran: Andishmand pub;2008.[Persian].
- Abedini A, Vahedi F, Khodaoarast SH, Babaei H. A survey on detergent concentration (ALS) in southern Caspian sea. *Iranian Journal Scientific Fisheries* 2006;15:101-7.[Persian].
- Ebrahimi A, Ehrampoosh MH, Samaie MR, Ghelmani V, Talebi V, Dehghan M, et al. Removal efficiency of linear alkyl benzene sulfonate (las) in Yazd stabilization pond. *Journal Wastewater* 2011;4:38-43.[Persian].
- Guang Guo Y. Behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment. *International Journal Environment* 2004;32:417-31.
- Ayranci E, Duman O. Removal of anionic surfactants from aqueous solutions by adsorption onto high area activated carbon cloth studied by in situ UV spectroscopy. *Journal of Hazardous Material* 2007;148:75-82.
- Tugba Olmez-Hanci, IdilArslan-Alaton, Gulcan Basar. Multivariate analysis of anionic, cationic and nonionic textile surfactant degradation with the H₂O₂/UV-Process by using the capabilities of response surface methodology. *Journal Hazardous Materials* 2010;148:430-70.
- Noori R, Ayati B, Ganjidoust H. Investigation of surfactant removal using moving bed biofilm reactor (MBBR). *Environmental Sciences* 2008;5:123-34.
- Kowalska I. Surfactant removal from water solutions by means of ultra-filtration and ion exchange. *Desalination* 2008; 221:351-7.
- Visa M, Duta A. TiO₂/fly ash novel substrate for simultaneous removal of heavy metals and surfactants. *Journal Chemical Engineering* 2013;223:860-68.
- Mortazavi SB, Khavanin A, Moussavi G, Azhdarpoor A. Removal of sodium dodecyl sulfate in an intermittent cycle extended aeration system. *Pakistan Journal Biological Sciences* 2008;11:290-93.[Persian].
- Tayade RJ, Ramchandra GK, Raksh VJ. Enhanced photocatalytic activity of TiO₂-coated NaY and HY zeolites for the degradation of methylene blue in water. *Ind Eng Chem Res* 2007;46:369-76.
- Amirianshoja T, Junin R, Idris AK, Rahmani O. A comparative study of surfactant adsorption by clay minerals. *Journal Petroleum Science and Engineering* 2013;101:21-7.
- Borghei M, Hasny H, Yazdanbakhsh AH, Shahngyan M. The efficiency of natural sinks (fruits and pine charcoal, soil, kaolinite, Sawdust and charcoal, activated carbon and sawdust) to remove the detergent. *Environmental Science and Technology* 2009;11:1-9.[Persian].
- Li P, Miser DE, Rabiei S, Yadav RT, Hajaligol MR. The removal of carbon monoxide by iron oxide nanoparticles. *Appl Catal B- Environ* 2003;43:151-62.
- Adak A, Bandyopadhyay M, Pal A. Removal of anionic surfactant from wastewater by alumina: A case study. *Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects* 2005;254:165-7.
- Clesceri Lenore S, Greenberg AE, Eaton Andrew D. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Baltimore: United Book Press Inc;1998.

مطالعه دل کارمن و همکاران و لین و همکاران و آداک و همکاران در حذف سورفاکتانت آنیونی از محلول‌های آبی مشخص نمودند که افزایش مقدار جاذب تا حد معینی بر روی کارایی حذف مؤثر است، که با نتیجه این بررسی مطابقت داشت (۱۶، ۱۹ و ۲۵) که افزایش غلظت آلانینده نتایج حاصل از بررسی تأثیر غلظت اولیه سورفاکتانت نشان داد با افزایش غلظت سورفاکتانت از ۲۵ به ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، راندمان حذف از ۹۹ درصد به ۸۰ درصد کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان در محدودیت محل‌های جذب جاذب، و اشباع شدن آن در غلظت‌های بالای سورفاکتانت آنیونی دانست (۲۴ و ۲۵). تهمینه و همکاران در مالزی در پژوهشی که به منظور جذب سورفاکتانت آنیونی بر روی خاک‌های رسی معدنی انجام دادند، مشخص نمودند که با افزایش غلظت سورفاکتانت آنیونی از توانایی جذب کاسته می‌شود (۱۳). همچنین در مطالعه دیگری که توسط رودریگوئیز و همکاران در ایتالیا بر روی جذب سورفاکتانت‌های آنیونی و غیر یونی با استفاده از خاک اصلاح شده انجام گرفت، مشاهده شد که افزایش میزان غلظت بحرانی سورفاکتانت سبب کاهش میزان کارایی جاذب می‌گردد، که با نتیجه حاصل شده از پژوهش حاضر مطابقت دارد (۲۵). نتایج این مطالعه نشان داد جذب سورفاکتانت آنیونی سدیم دو دلیل سولفات به خوبی از مدل ایزوترم فروندلیخ پیروی می‌نماید ($R^2=0.973$).

پژوهش حاضر نشان داد که جاذب ترکیبی (TiO₂/LECA) جاذبی مؤثر در حذف سورفاکتانت آنیونی (SDS) از محلول‌های آبی می‌باشد. همچنین pH محلول نقش مهمی در فرآیند جذب دارد به نحوی که در pHهای کمتر راندمان حذف افزایش می‌یابد. با محاسبه ثابت‌های مربوطه ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیش برای جذب (SDS) بر روی سوبسترای ترکیبی (TiO₂/LECA) نتایج نشان داد که فرآیند جذب با ایزوترم فروندلیخ همخوانی بیشتری داشته و از فرضیات و شرایط این ایزوترم پیروی دارد. نتایج به دست آمده از آزمایش‌های جذب سینتیک با مدل درجه دوم مطابقت بیشتری داشت. به‌طور کلی نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها نشان داد که می‌توان از جاذب ترکیبی لیکای اصلاح شده به‌عنوان جاذبی مؤثر، ارزان و با کارایی بالا جهت حذف سورفاکتانت آنیونی SDS از فاضلاب استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاصل بخشی از پایان‌نامه دانشجویی در مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت محیط می‌باشد که در مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان و با حمایت معاونت تحقیقات و فناوری این دانشگاه به انجام رسیده است. بدین وسیله از همکاری تمامی عزیزان تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

18. McKay G, Porte JF, Prasad GR. The removal of dye colors from aqueous solutions by desorption on low-cost materials. *Water Air Soil Pollute* 1999;114:423-38.
19. Liu Y, Juan Liu Y. Biosorption isotherms, kinetics and thermodynamics. *Purify Technology* 2008;61:229-42.
20. Jung Y, Chui J, Lee W. Spectroscopic investigation of magnetite surface for the reduction of hexavalent chromium. *Chemosphere* 2007;68:1968-75.
21. Yuan P, Fan M, Yang D, He H, Liu D, Yuan A, et al. Montmorillonite -supported magnetite nanoparticles for the removal of hexavalent chromium from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Maeter* 2009;166:821-9.
22. Zor S .Investigation of the adsorption of anionic surfactant at different pH values by means of active carbon and the kinetics of adsorption. *Journal of Serb Chem Soc* 2004;69:25-32.
23. Guptas pal A, kumar Ghosh P, Bandyopadhyay M. Performance of waste activated carbon as a low-cost adsorbent for the removal of anionic from aquatic environment. *Journal Environment Science* 2003;38:381-97.
24. Wilkin RT, Su C, Ford RG, Paul CJ. Chromium-removal processes during groundwater remediation by a zero-valent iron permeable reactive barrier. *Journal of Environment Science Technology* 2005;39:599-605.
25. del Carmen M, Soriano H, Degryse F, Smolders E .Mechanisms of enhanced mobilization of trace metals by anionic surfactants in soil. *Environment Pollution* 2011;159:809-16.
26. Rodriguez-Cruz MS, Sanchez-Martin MJ, Sanchez-Camazano M. A comparative study of adsorption of anionic and anon-ionic surfactant by soils based on physicochemical and mineralogical properties of soils. *Chemosphere* 2005;61:56-64.



Performance Evaluation of Adsorbent Leca- Modified (TiO₂/LECA) for the Removal of Anionic Surfactants from Wastewater

Mohammad Malakootian (Ph.D.)^{1*}, Kamyar Yaghmaeian (Ph.D.)¹, Rasoul Momenzadeh (M.Sc.)³

1- Environmental Health Engineering Research Center, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran.

2- Dept. of Environmental Health, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

3- Dept. of Environmental Health, School of Public Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran.

Received: 19 June 2015, Accepted: 10 August 2015

Abstract:

Introduction: Surfactants or surface active agents are organic chemicals that accumulate at the interface gas-liquid or liquid Wax, change the properties of water by reducing the surface tension of water, they speed up the cleaning process. Direct discharge of raw sewage or treated effluent, detergents into the environment and pollution, water resources and rising costs are reduced in quality. The purpose of this study is to evaluate the performance of Leca-containing titanium dioxide nanoparticles for the removal of the surfactant from wastewater.

Methods: This study is an experiment one at which batch experiments were performed using a Photocatalytic reactor. To study the preparation and properties of catalytic adsorbent Leca to increase the efficiency of titanium dioxide (TiO₂) was used. Parameters (3, 5, 7, 9, 11) pH, amount of adsorbent (0.25-2 g/L), surfactant concentration (25-200 mg/L) and contact time (15-120 min) was evaluated by Leca- corrective Adsorbent. Experiments on synthetic examples and in optimal conditions, on real samples were also performed. Surfactant concentration is measured with a spectrophotometer model (shimadzu UV-1800) was performed at a wavelength nm467.

Results: The maximum removal of surfactant through Leca- modified in aqueous solutions of synthetic SDS in optimal conditions (contact time 30 min, pH =5, the value of 1 g/L of adsorbent and initial concentration of surfactant is 100 mg/L) at a rate of 98% in the same samples the actual result was 87%. The process of adsorption followed second-order kinetic model and the adsorption isotherm data ($R^2 = 0.984$) was more consistent.

Conclusion: The results showed that the Leca-containing nanoparticles of titanium dioxide can be used as an effective adsorbent for the removal of anionic surfactants from aqueous solutions used.

Keywords: Anionic surfactants, Absorbents leca, Titanium dioxide, Wastewater.

Conflict of Interest: No

*Corresponding author: M. Malakootian, Email: m.malakootian@yahoo.com

Citation: Malakootian M, Yaghmaeian K, Momenzadeh R. Performance evaluation of adsorbent leca- modified (tio2/leca) for the removal of anionic surfactants from wastewater. Journal of Knowledge & Health 2016;11(1):41-48.