

ارتقای عملکردی فرآیندهای تغلیظ و آبگیری لجن مازاد بیولوژیکی و لجن هضم شده بی‌هوازی فاضلاب شهری با استفاده از نانومونت موریلونیت اصلاح شده اسیدی-حرارتی

سید علی سادات حسینی^۱، گایک بدلیانس قلی‌کندی*^۱

^۱ گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

مقاله پژوهشی

چکیده

زمینه و اهداف: عملکرد بهینه‌ی مراحل تغلیظ و آبگیری لجن حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به آبگیری‌پذیری نامناسب لجن معمولاً از مواد منعقدکننده سنتتیک برای بهبود کارآمدی این فرآیندها استفاده می‌شود. به دلیل محدودیت‌های مالی و کیفی استفاده از این مواد، تلاش گسترده‌ای برای جایگزینی آن‌ها با مواد طبیعی صورت می‌گیرد. در این تحقیق، امکان سنجی استفاده از ماده نانومونت موریلونیت اصلاح شده به عنوان ماده‌ی حالت دهنده لجن انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها: نمونه‌های لجن برداشت شده از تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران، با دوزهای مختلف حالت دهنده (۴۰۰-۵۰ میلی گرم بر گرم جامدات خشک) حالت‌دهی شدند. بر اساس پارامتر مقاومت ویژه فیلتراسیون، دوز بهینه به دست آمد. سپس آزمایشات تکمیلی بر ساختار مواد پلیمری برون سلولی لجن حالت‌دهی شده انجام پذیرفت. رعایت ملاحظات اخلاقی در تمام مراحل اجرای مطالعه در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: در دوز بهینه نانومونت موریلونیت اصلاح شده (۲۰۰ میلی گرم بر گرم جامدات خشک)، بیشترین درصد کاهش مقاومت ویژه فیلتراسیون برای لجن مازاد بیولوژیکی برابر با ۶۲/۸۲ درصد و لجن هضم شده برابر با ۶۶/۴۷ درصد حاصل گردید. در دوز بهینه، پتانسیل زتا و آب پیوندی به ترتیب به ۹۳/۷۵ و ۸۰/۳۸ درصد برای لجن مازاد بیولوژیکی و به ترتیب ۸۹/۷۴ و ۷۷/۹۳ درصد برای لجن هضم شده بی‌هوازی کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل نشان می‌دهند نانومونت موریلونیت اصلاح شده با تغییرات در میزان کل کربن آلی، میزان پروتئین و پلی ساکارید در ساختار مواد پلیمری برون سلولی منجر به ارتقا عملکرد فرآیند تغلیظ و آبگیری در لجن فاضلاب شهری می‌شود.

کلید واژه‌ها: تغلیظ لجن؛ آبگیری لجن؛ نانومونت موریلونیت؛ مواد پلیمری برون سلولی.

Please cite this article as: Sadat Hosseini SA, Badalians Gholikandi G. Performance improvement of thickening and dewatering processes of biological excess sludge and anaerobic digested sludge of municipal wastewater using acid-thermally modified Nano Montmorillonite. Journal of Health in the Field 2025; 12(4):51-63. **Doi:** <https://doi.org/10.22037/jhf.v12i4.47279>.

*نویسنده مسئول: دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

Email: g_badalians@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۲/۱۶

مقدمه

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری که از فرآیند لجن فعال استفاده می‌کنند، لجن در مراحل ته‌نشینی اولیه و ثانویه تولید می‌شود. لجن بیولوژیکی جدا شده در حوض ته‌نشینی ثانویه، بیش از ۹۹ درصد آب دارد. این لجن ابتدا با استفاده از روش‌های مکانیکی تغلیظ می‌شود تا غلظت جامدات آن به حدود ۵ تا ۶ درصد برسد. سپس با لجن اولیه که از طریق تغلیظ ثقیلی جمع‌آوری شده، مخلوط شده و به واحد هضم بی‌هوازی منتقل می‌گردد. لجن حاصل از فرآیند هضم بی‌هوازی معمولاً دارای غلظت جامداتی در حدود ۵/۲ درصد است که این مقدار باید در مرحله آبیگری مکانیکی افزایش یافته و به حدود ۲۰ تا ۲۳ درصد برسد [۱]. تغلیظ بهینه‌ی لجن مازاد بیولوژیکی، تاثیر بسزایی بر کارآمدی مرحله‌ی هضم بی‌هوازی (تثبیت بهینه‌ی لجن و تولید بیوگاز با محتوای بالای گاز متان) دارد. همچنین کارآمدی بهینه‌ی مرحله آبیگری لجن هضم شده قبل از خروج از تصفیه‌خانه (به حداقل رساندن حجم لجن) از اهمیت بسزایی برخوردار است [۲،۳]. امروزه با توجه به ویژگی‌های خاص لجن‌های فاضلاب، برای افزایش کارایی مراحل تغلیظ و آبیگری مکانیکی، معمولاً در مرحله‌ی آماده‌سازی (حالت‌دهی) از مواد منعقدکننده‌ی شیمیایی سنتزی، به‌ویژه پلی‌اکترولیت‌های کاتیونی و در برخی موارد آنیونی، استفاده می‌شود. با این حال، تجربیات موجود نشان می‌دهد که این روش می‌تواند با چالش‌هایی همراه باشد، از جمله هزینه‌ی بالا، تأثیرات منفی بر عملکرد هاضم بی‌هوازی در صورت استفاده طولانی مدت و کاهش کیفیت لجن. در واقع، مصرف بیش از اندازه‌ی مواد منعقدکننده می‌تواند باعث کاهش محتوای انرژی لجن آبیگری شده گردد و همچنین به دلیل وجود یون‌های فلزات سنگین، خطر آلودگی ثانویه را افزایش دهد [۲]. دستیابی به شرایط بهینه‌ی آبیگری و دفع صحیح لجن از طریق استفاده از روشی مقرون به صرفه، کارآمد و ایمن همواره با لزوم غلبه بر چالش‌هایی همراه است. برای این منظور باید ابتدا عوامل محدودکننده‌ی آبیگری لجن از نظر توزیع رطوبت، غلظت لجن، محتوای مواد آلی، الکترونگاتیوی، استحکام لخته و پلیمرهای برون سلولی بررسی شوند [۴]. در مقیاس صنعتی، بسیاری از پلیمرهای مصنوعی (سنتتیک)، غیرآلی و لخته‌سازهای آلی با کارآمدی قابل توجهی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اگرچه لخته‌سازهای مصنوعی کارایی بالایی در حذف ذرات نشان می‌دهند؛ اما محدودیت‌هایی مانند سمیت مونومرهای باقی‌مانده بر امکان استفاده و میزان کاربرد آن‌ها تأثیر می‌گذارند. در نتیجه، از سویی در تحقیقات اخیر، امکان استفاده از منعقدکننده‌ها یا لخته‌سازهای آلی و طبیعی از جمله سلولز، نشاسته، کیتوزان، دکستران و مورینگا اوریفرا در جداسازی آلاینده‌های معلق در تصفیه فاضلاب مورد بررسی قرار گرفته است [۵]. از سوی دیگر، در یک دهه‌ی گذشته در راستای اهداف مدیریت پایدار آب و فاضلاب، همچنین مدیریت کارآمد پسماندها، توجه روزافزونی به استفاده از مواد

طبیعی (معدنی) جایگزین مقرون به صرفه، در دسترس و سازگار با محیط‌زیست قابل مشاهده است. مواد رسی به میزان زیادی در سنگ‌های رسوبی به صورت فیلولسیلیکات هیدراته یافت می‌شوند. این مواد دارای قابلیت جذب بسیار بالایی هستند که به دلیل سطح ویژه بزرگ آن‌هاست (ساختار ورقه‌ای و بار خالص منفی). تاکنون انواع مختلفی از مواد رسی شامل کائولین، بنتونیت، مونت موریلونیت، ایلیت و میکاس مورد توجه قرار گرفته‌اند. مواد رسی نسبتاً ارزان و در دسترس بوده و به وفور یافت می‌شوند. علاوه بر این، دارای مشخصات مهمی همچون تخلخل زیاد، سطح بسیار بزرگ و قابلیت نگهداشت آلاینده‌ها در سطح خود هستند [۷-۵]. در تحقیقی، استفاده از بنتونیت اصلاح شده با اسید در مقایسه با نمک‌های معدنی معمول مانند آهن کلرید و آلومینیوم کلراید، عملکرد برتری نشان داد. استفاده از بنتونیت اصلاح شده با اسید باعث کاهش چشمگیر مقاومت فیلترپذیری (۹۵/۸ درصد)، زمان مکش موئینگی (۹۰/۴ درصد) و زمان فیلتر شدن (۸۰/۸ درصد) شد. همچنین تراکم لجن را کاهش داده، بازده فیلتراسیون را افزایش داده، اندازه ذرات را بزرگ‌تر کرده و فلاک‌های قوی‌تر ایجاد کرد. علاوه بر این، بررسی اقتصادی این مطالعه نشان داد که هزینه‌ی استفاده از بنتونیت اصلاح شده با اسید برای حالت دهی، ۳۳/۷۹ دلار به ازای یک تن جامدات خشک است و در نتیجه از نظر اقتصادی نسبت به پلیمرهای معمولی قابل قبول بوده است [۸]. در مطالعه‌ی کائولین اصلاح شده حرارتی - اسیدی، مقاومت فیلترپذیری، زمان فیلتر شدن و زمان مکش موئینگی لجن را به ترتیب ۹۱/۲ درصد، ۷۳/۱ درصد و ۷۰/۸ درصد کاهش داد. کاربرد این روش، فشردگی را کاهش داده، بازده فیلتراسیون را افزایش داده و اندازه ذرات را بزرگ‌تر کرده بود. هزینه‌های تخمینی آمایش لجن در این مطالعه، ۳۵/۲۲ دلار به ازای یک تن جامدات خشک بوده است. به طور کلی، کائولین اصلاح‌شده حرارتی - اسیدی یک گزینه مقرون به صرفه، ارزان و موثر برای آمایش لجن و آبیگری ذکر شده است [۹].

در مطالعه‌ی دیگر عملکرد آبیگری لجن با کائولین اصلاح شده را بررسی کرده و بر ترکیب مولکولی و تغییرات مواد آلی بیولوژیکی خارج سلولی و مواد آلی محلول در فاز مایع طی فرآیند آماده‌سازی متمرکز شده بود. نتایج نشان داد که عملکرد آبیگری لجن پس از اصلاح با کائولین به‌طور چشمگیری بهبود یافت. در دوز بهینه، مقاومت ویژه فیلتراسیون لجن ۸۵/۰۵ درصد کاهش یافت، محتوای آب کیک لجن به ۶۶/۷۰ درصد رسید و نرخ کاهش زمان فیلتراسیون به ۷۱/۳۵ درصد افزایش یافته بود [۱۰]. ساختار مونت موریلونیت با فرمول شیمیایی $(\text{Na,Ca})_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_{2n}(\text{H}_2\text{O})$ از یک صفحه $2:1$ تشکیل شده است [۱۱]. به طوری که یک صفحه هشت وجهی Al_3^+ بین دو ورقه چهار وجهی Si_4^+ قرار می‌گیرد (شکل شماره ۱). در مورد ایزومورفیک ورق‌های لایه باز و واحدهای شکسته آلومینا سیلیس، مونت

فیلتراسیون، آب پیوندی، پتانسیل زتا و پلیمرهای برون سلولی با تاکید بر تغییرات میزان کل کربن آلی، میزان پروتئین و میزان پلی ساکارید در این بخش است.

مواد و روش‌ها

تهیه لجن مازاد بیولوژیکی و لجن هضم شده بی‌هوازی

در این مطالعه، نمونه‌های لجن هضم شده بی‌هوازی از محل جریان خروجی هاضم لجن و نمونه‌های لجن مازاد بیولوژیکی از خط برگشتی لجن ثانویه و واحدهای ۱ تا ۴ تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران، برداشت شده است. مشخصات لجن هضم شده و لجن مازاد بیولوژیکی در جدول شماره ۱ ارائه شده‌اند. اندازه‌گیری تمامی پارامترهای جدول بر اساس کتاب استاندارد متد می‌باشد [۱۹].

فعال‌سازی اسیدی-حرارتی نانومونت موریلونیت

فعال‌سازی اسیدی-حرارتی فرآیندی است که استخراج کنترل شده یون‌های چند ظرفیتی مانند آلومینیوم از ساختار کریستالی خاک رس را میسر می‌سازد و همچنین سطح اسیدیته قابل قبولی را ایجاد می‌کند. این فرآیند، ویژگی‌های بافتی خاک‌های رس را اصلاح می‌کند و به تخلخل و مساحت بیشتر سطح منجر می‌گردد [۲۱، ۱۳]. به منظور فعال‌سازی اسیدی-حرارتی، نانومونت موریلونیت در یک بالن ته گرد حاوی محلول اسیدی (۱۰ میلی‌لیتر اسید / ۱ گرم نانومونت موریلونیت)، تحت هم زدن و رفلکس قرار داده شد و حرارت دهی آن به مدت زمان ۲ ساعت تا دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد انجام پذیرفت. از محلول اسید سولفوریک ۲ مولار استفاده شد. پس از آن، نانومونت موریلونیت با آب دیونیزه شسته و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. سپس به مدت ۲ ساعت در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد [۲۱].

استخراج و آنالیز مواد پلیمری برون سلولی

به منظور استخراج انواع مواد پلیمری برون سلولی، در مرحله اول سوسپانسیون لجن در یک لوله ۵۰ میلی‌لیتری در سانتریفیوژ Universal با دور ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه آبیگری شد. مایع رویی به عنوان مواد پلیمری برون سلولی محلول جمع‌آوری گردید. رسوب باقی مانده در لوله نیز برای استخراج لایه بعدی استفاده شد. پس از آماده‌سازی محلول سدیم کلرید ۰/۰۵ درصد، در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. سپس لجن باقیمانده داخل لوله و محلول سدیم کلرید ۰/۰۵ درصد در لوله ۵۰ میلی‌لیتری مخلوط شد و مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۵۰ دور در دقیقه و به حالت افقی تکان داده شد. پس از آن، سوسپانسیون با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. مایع رویی جمع‌آوری شده به عنوان مواد پلیمری برون سلولی پیوندی سست در نظر گرفته شد. لجن باقیمانده در لوله سانتریفیوژ دوباره در محلول سدیم کلرید ۰/۰۵٪ به حالت

موریلونیت دارای بار منفی است و امکان تبادل کاتیونی را فراهم می‌کند [۱۴-۱۲]. مونت موریلونیت را می‌توان به راحتی با روش‌های لایه‌برداری مناسب به نانوصفحه دو بعدی تبدیل کرد، زیرا جاذبه بین لایه‌های آن ضعیف است و صفحات آن با نیروهای واندروالسی و نیروهای الکترواستاتیکی به یکدیگر اتصال و توانایی هیدراتاسیون عالی در محلول آبی را دارد.

نانو صفحه مونت موریلونیت لایه‌برداری شده یک سطح ویژه بزرگ، گروه‌های هیدروکسیل بسیار در دسترس و مکان‌های تبادل کاتیونی را ارائه می‌دهد که کاربردهای گسترده‌ای برای تهیه مواد کاربردی دارد. به دلیل وجود منابع فراوان و هزینه کم، به طور گسترده‌ای به عنوان جاذب، کاتالیزور و عامل پوشش استفاده می‌شود [۱۵، ۱۴]. مونت موریلونیت یک کانی رسی است که بسته‌های آن از ورقه‌های حاوی ساختارهای چهار وجهی و هشت وجهی اتم های Si ، Al ، O تشکیل شده است. در این حالت ورقه‌ای از هشت وجهی بین دو صفحه چهار وجهی قرار می‌گیرد. سطوح لایه‌های رسی به دلیل جایگزینی ایزومری Si به جای Al و Al به جای منیزیم دارای بار منفی هستند. این بار لایه‌ها، توسط یون‌های با بار مخالف بین لایه‌ها جبران می‌شود. بنابراین، کانی رسی به عنوان یک کل از نظر الکتریکی خنثی است. متداول‌ترین یون‌های مقابله کننده که بار لایه را جبران می‌کنند کاتیون‌های Na^+ و Ca^{2+} هستند. مولکول‌های آب در فضای بین لایه‌ای این ماده معدنی و به راحتی، در پوسته‌ی هیدراتاسیون یون‌های با بار مخالف ادغام می‌شوند و منجر به متورم شدن خاک رس می‌گردد. تورم کریستال به صورت مجزا رخ می‌دهد و از یک تا چهار لایه مولکول‌های آب به موازات لایه‌های ماده معدنی تشکیل می‌شود. مشخص است که مقدار آب بین لایه‌ای در یک کانی رسی توسط شرایط خارجی تعیین می‌شود و در حالت تعادل ترمودینامیکی است. تحت شرایط متغیر، انبساط اسمزی بیشتر امکان پذیر است که فضای بین لایه را به بیش از ۲۲ Å افزایش می‌دهد [۱۶].

در تحقیقی نانوکلسیم پراکسید با استفاده از لایه‌های خاک رس مونتوموریلونیت به عنوان الگو سنتز شده بود که کاتیون‌های Ca^{2+} را در خود جای و با هیدروژن پراکسید واکنش داده و رادیکال‌های هیدروکسیل تولید نمود که در دوز بهینه، مقاومت ویژه فیلتراسیون به میزان ۶۴/۲٪ کاهش یافت [۱۷]. در مطالعه‌ای، پلی‌آکریل‌آمید در ترکیب با مونتوموریلونیت، مقاومت ویژه فیلتراسیون لجن را به طور قابل توجهی کاهش داد و کمترین مقدار مقاومت ویژه فیلتراسیون در نسبت وزنی ۱:۱ این ترکیب حاصل گردید [۱۸].

با توجه به نکات یاد شده، به منظور ارتقا فرآیندهای تغلیظ و آبیگری هدف از این تحقیق، تعیین دوز بهینه‌ی نانومونت موریلونیت اصلاح شده به روش اسیدی-حرارتی برای تغلیظ لجن مازاد بیولوژیکی (لجن ثانویه) و آبیگری لجن هضم شده با بررسی شاخص‌های مقاومت ویژه

جمع‌آوری شود. در پایان هر مرحله، نمونه‌های رویی جمع‌آوری شده قبل از آنالیزهای بعدی از غشاء ۰/۴۵ میکرومتر عبور داده شدند [۲۲].

سوسپانسیون درآمدند، سپس در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد و در نهایت در ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید تا مواد پلیمری برون سلولی پیوندی محکم

جدول ۱- مشخصات لجن هضم شده بی‌هوازی و مازاد بیولوژیکی

Table 1-The characteristics of the anaerobically digested sludge and the biological excess sludge samples

پارامتر	واحد	لجن هضم شده بی‌هوازی	لجن مازاد بیولوژیکی
pH مقدار	-	$7/9 \pm 0/1$	$7/0 \pm 0/1$
غلظت جامدات فرار (VS)	g/L	$7/98 \pm 0/4$	$3/14 \pm 0/4$
غلظت جامدات خشک (DS)	g/L	$14/12 \pm 0/8$	$4/36 \pm 0/8$
VS/DS	%	56 ± 2	72 ± 2
آب پیوندی	g/gDS	$8/79 \pm 0/3$	$3/67 \pm 0/3$
مقاومت ویژه فیلتراسیون (SRF)	m/kg	$(135/21 \pm 20) \times 10^{-12}$	$(16/74 \pm 0/5) \times 10^{-12}$
مدت زمان فیلتراسیون (TTF)	s	510 ± 50	78 ± 10
پتانسیل زتا	mV	$-(39 \pm 3)$	$-(32 \pm 3)$

اندازه‌گیری آب پیوندی

۳۵ میلی‌لیتر از نمونه لجن در ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد و مایع رویی دور ریخته شد. میزان آب باقیمانده لجن با استفاده از آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. به عنوان آب پیوندی در نظر گرفته شد [۲۵].

در ادامه، میزان کل کربن آلی، پروتئین، پلی ساکارید تشکیل دهنده‌ی مواد پلیمری برون سلولی اندازه‌گیری شد. پروتئین از طریق روش لووری با استفاده از آلبومین سرم گاوی به عنوان استاندارد [۲۳] و پلی ساکارید با استفاده از روش فنل- سولفوریک اسید با گلوکز به عنوان استاندارد تعیین شدند [۲۴]. پروتئین و پلی ساکارید با دستگاه اسپکتروفتومتر HACH DR5000 و کل کربن آلی با دستگاه TOC Analyzer اندازه‌گیری شدند.

جدول ۲- مشخصات فیزیکی نانومونت موریلونیت

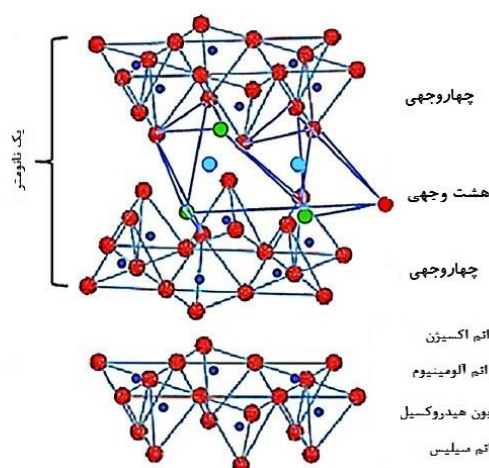
Table 2- The characteristics of nano-montmorillonite

پارامتر	واحد	اندازه
اندازه ذرات	nm	۱-۲
مساحت سطح ویژه	m ² /g	۲۲۰-۲۷۰
ضریب تبادل یونی	meq/100g	۴۸
فاصله خالی بین ذرات	A°	۶۰
رطوبت	%	۱-۲

جدول ۳- مشخصات شیمیایی نانو مونت موریلونیت

Table3-The characteristics of nano-montmorillonite

نام ترکیب	درصد
Na ₂ O	۰/۹۸
MgO	۳/۲۹
Al ₂ O ₃	۱۹/۶۰
SiO ₂	۵۰/۹۵
K ₂ O	۰/۸۶
CaO	۱/۹۷
TiO ₂	۰/۶۲
Fe ₂ O ₃	۵/۶۲
LOI	۱۵/۴۵



شکل ۱- ساختار مونت موریلونیت [۲۰]

Figure 1- Structure of montmorillonite

سایر آزمون‌ها

به منظور اندازه‌گیری جامدات کل و فرار از کتاب راهنمای استاندارد متد استفاده شد. اندازه‌گیری مقدار pH با استفاده از pH متر WTW انجام شد. مقاومت ویژه فیلتراسیون با استفاده از قیف بوخنر با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۱ اندازه‌گیری شد [۸].

یافته‌ها

تاثیر نانومونت موریلونیت و نکلاتومونت موریلونیت اصلاح شده بر مقاومت ویژه فیلتراسیون

اثر حالت دهی با استفاده از نانو مونت موریلونیت و نانو مونت موریلونیت اصلاح شده بر مقاومت ویژه فیلتراسیون لجن هضم شده بی‌هوازی و لجن مازاد بیولوژیکی در شکل‌های شماره ۲ و ۳ نشان داده شده است.

با افزایش مقدار نانو مونت موریلونیت مصرفی از ۰ به ۳۰۰ میلی گرم در گرم جامدات خشک، مقاومت ویژه فیلتراسیون در لجن مازاد بیولوژیکی به ۶۰/۷۹ درصد رسید. در صورتی که با افزایش مقدار نانو مونت موریلونیت اصلاح شده از ۰ به ۲۰۰ میلی گرم در گرم جامدات خشک، مقاومت ویژه فیلتراسیون در لجن مازاد بیولوژیکی به بالاترین راندمان برابر با ۶۲/۸۲ درصد رسید. مطالعه اثر دوزهای منعقدکننده بر مقاومت ویژه فیلتراسیون لجن نشان داد که بهترین عملکرد نانو مونت موریلونیت و نانو مونت موریلونیت اصلاح شده در حالت دهی لجن هضم شده بی‌هوازی نیز به ترتیب در دوزهای ۳۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر گرم جامدات خشک حاصل گردید. با توجه به عملکرد نانو مونت موریلونیت اصلاح شده در دوز پایین‌تر و درصد بالای کاهش مقاومت فیلتراسیون نسبت به نانو مونت موریلونیت، آزمایشات تکمیلی بر ساختار لجن در مواجهه با نانو مونت موریلونیت اصلاح شده صورت پذیرفت.

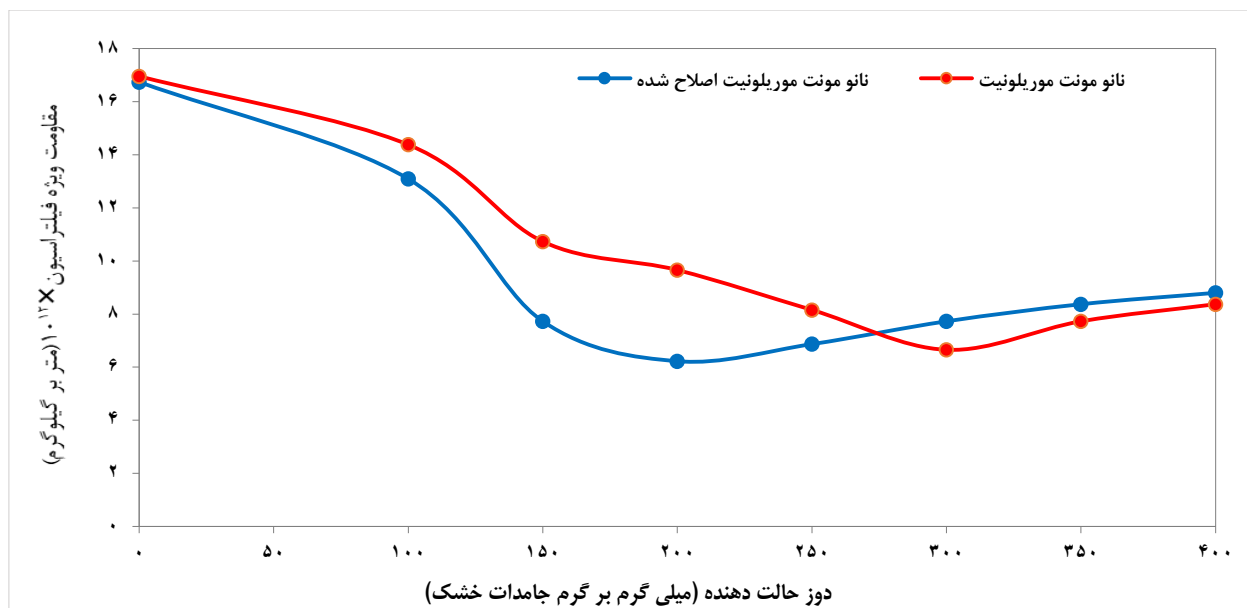
پلیمری برون سلولی محلول در لجن مازاد بیولوژیکی و در لجن هضم شده بی‌هوازی به ترتیب از ۳/۸ به ۲/۶ میلی گرم بر گرم جامدات خشک و ۲۸۵/۲ به ۱۱۲/۶ میلی گرم بر گرم جامدات خشک بود که مشخصاً کاهش یافته است. میزان کل کربن آلی در مواد پلیمری برون سلولی پیوندی سست در لجن مازاد بیولوژیکی و در لجن هضم شده بی‌هوازی به ترتیب (از ۲/۵ به ۱/۱ میلی گرم بر گرم جامدات خشک) ۵۶ درصد و (از ۳۶/۴ به ۲۹/۴ میلی گرم بر گرم جامدات خشک) ۱۹/۲۳ درصد کاهش یافتند که منجر به کاهش آب پیوندی شده است. میزان کل کربن آلی در مواد پلیمری برون سلولی پیوندی محکم در لجن مازاد بیولوژیکی و در لجن هضم شده بی‌هوازی به ترتیب (از ۱۲۱/۳ به ۸۷/۱ میلی گرم بر گرم جامدات خشک) ۴۷/۱ درصد و (از ۱۲۱/۳ به ۸۱/۱ میلی گرم بر گرم جامدات خشک) ۳۳/۱۴ درصد کاهش یافت که منجر به کاهش آب پیوندی شده است. نتایج آزمایشات، کاهش مواد پلیمری برون سلولی پیوندی محکم را در راستای کاهش پتانسیل زتای منفی نشان می‌دهد.

تأثیر نانومونت موریلونیت اصلاح شده بر پتانسیل زتا و آب پیوندی

در جداول ۴ و ۵ اثر دوز بهینه نانو مونت موریلونیت اصلاح شده بر پتانسیل زتا و آب پیوندی لجن هضم شده بی‌هوازی و لجن مازاد بیولوژیکی بررسی شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهند که استفاده از نانو مونت موریلونیت اصلاح شده، پتانسیل زتا و آب پیوندی را به ترتیب به ۹۳/۷۵ و ۸۰/۳۸ درصد برای لجن مازاد بیولوژیکی و به ترتیب ۸۹/۷۴ و ۷۷/۹۳ درصد برای لجن هضم شده بی‌هوازی کاهش داد.

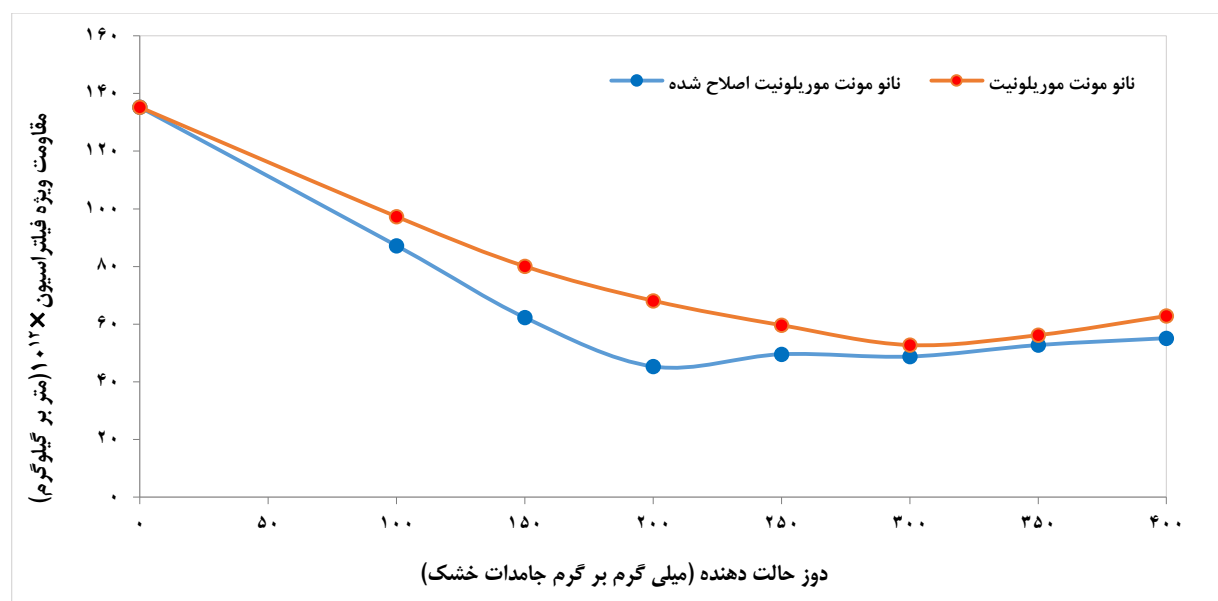
اثر نانومونت موریلونیت اصلاح شده بر لایه‌های مختلف مواد پلیمری برون سلولی

برای بررسی‌های بیشتر، پارامترهای کل کربن آلی، پروتئین و پلی‌ساکارید در مواد پلیمری برون سلولی استخراج شده، اندازه‌گیری شدند. با توجه به شکل‌های شماره ۴ و ۵ میزان کل کربن آلی در مواد



شکل ۲- تأثیر نانو مونت موریلونیت و نانو مونت موریلونیت اصلاح شده بر مقاومت ویژه فیلتراسیون لجن مازاد بیولوژیکی

Figure 2- Effect of nano-montmorillonite and modified nano-montmorillonite in various concentrations on sludge; amount of SRF in different concentrations in biological excess sludge



شکل ۳- تاثیر نانو مونت موریلونیت و نانو مونت موریلونیت اصلاح شده بر مقاومت ویژه فیلتراسیون لجن هضم شده بی‌هوازی

Figure 3- Effect of nano-montmorillonite and modified nano-montmorillonite in various concentrations on sludge; amount of SRF in different concentrations in anaerobically digested sludge

افزایش پیدا کرده است. به طوری که میزان پلی ساکارید در لجن مازاد بیولوژیکی در دوز بهینه نانومونت موریلونیت اصلاح شده از ۲/۱ به ۹/۷ میلی گرم بر گرم جامدات خشک و در لجن هضم شده در دوز بهینه نانومونت موریلونیت اصلاح شده از ۵/۳ به ۸/۴ میلی گرم بر گرم جامدات خشک افزایش یافته است.

در شکل‌های ۶ تا ۹ تغییرات در غلظت پروتئین و پلی ساکارید برای لجن مازاد بیولوژیکی و لجن هضم شده مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تخریب لایه مواد پلیمری برون سلولی با پیوند محکم است. همان طور که در شکل ۸ و ۹ ملاحظه می‌گردد، پلی ساکارید مواد پلیمری برون سلولی محلول، برخلاف پلی ساکارید جزئیات دیگر

جدول ۴- تاثیر نانو مونت موریلونیت اصلاح شده بر پتانسیل زتای لجن مازاد بیولوژیکی و لجن هضم شده بی‌هوازی بر حسب میلی ولت

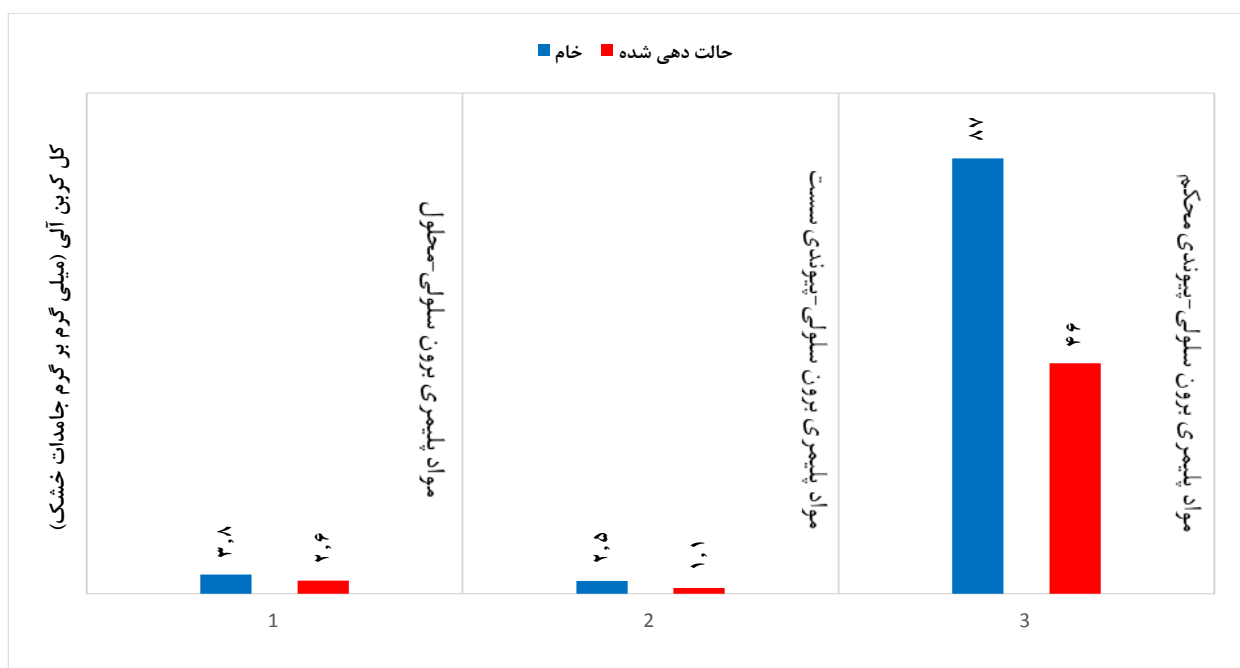
Table 4- Effect of modified nano-montmorillonite on the zeta potential of excess biological sludge and anaerobically digested sludge (mV).

لجن هضم شده بی‌هوازی		لجن مازاد بیولوژیکی	
اصلاح شده	خام	اصلاح شده	خام
-۴	-۳۹	-۲	-۳۲

جدول ۵- تاثیر نانو مونت موریلونیت اصلاح شده بر تغییرات میزان آب پیوندی لجن مازاد بیولوژیکی و لجن هضم شده بی‌هوازی بر حسب میلی گرم بر گرم جامدات خشک

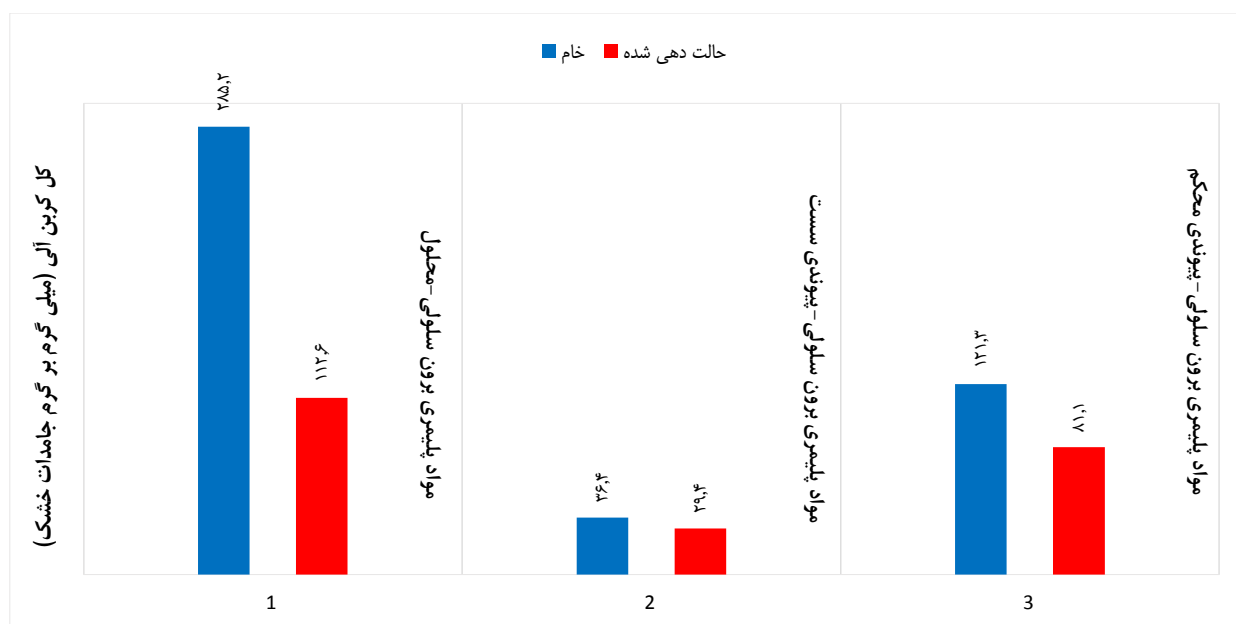
Table 5- Effect of modified nano-montmorillonite on the variations in bound water content of excess biological sludge and anaerobically digested sludge (mg/g).

لجن هضم شده بی‌هوازی		لجن مازاد بیولوژیکی	
اصلاح شده	خام	اصلاح شده	خام
۱/۹۴	۸/۷۹	۰/۷۲	۳/۷۶



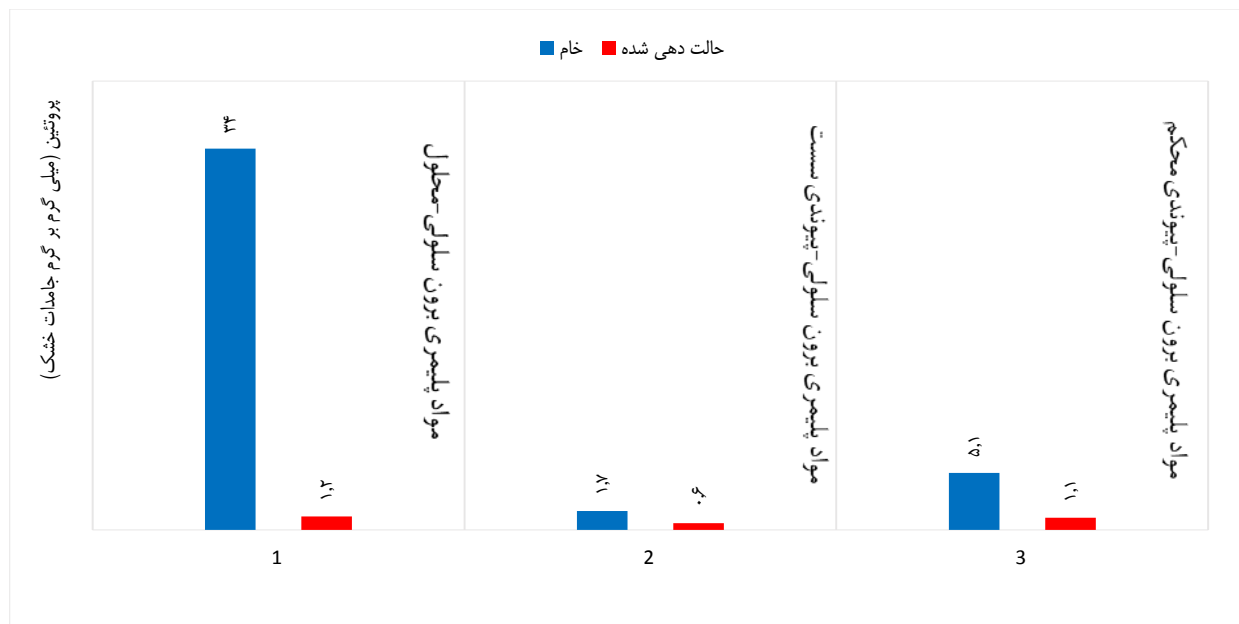
شکل ۴- تاثیر نانو مونت موریلونیت اصلاح شده بر کل کربن آلی لایه‌های مختلف مواد پلیمری برون سلولی در لجن مازاد بیولوژیکی

Figure 4- The effect of modified nano-montmorillonite use on various layers of EPS; The TOC value of each layer of EPS in biological excess sludge

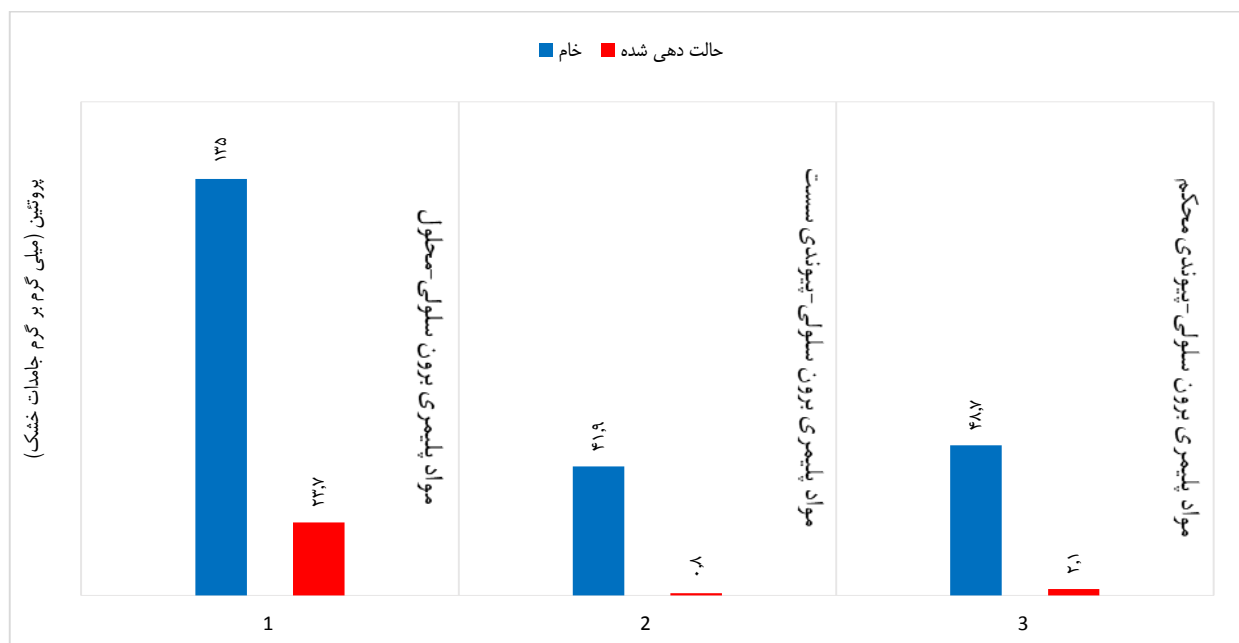


شکل ۵- تاثیر نانو مونت موریلونیت اصلاح شده بر کل کربن آلی لایه‌های مختلف مواد پلیمری برون سلولی در لجن هضم شده بی‌هوازی

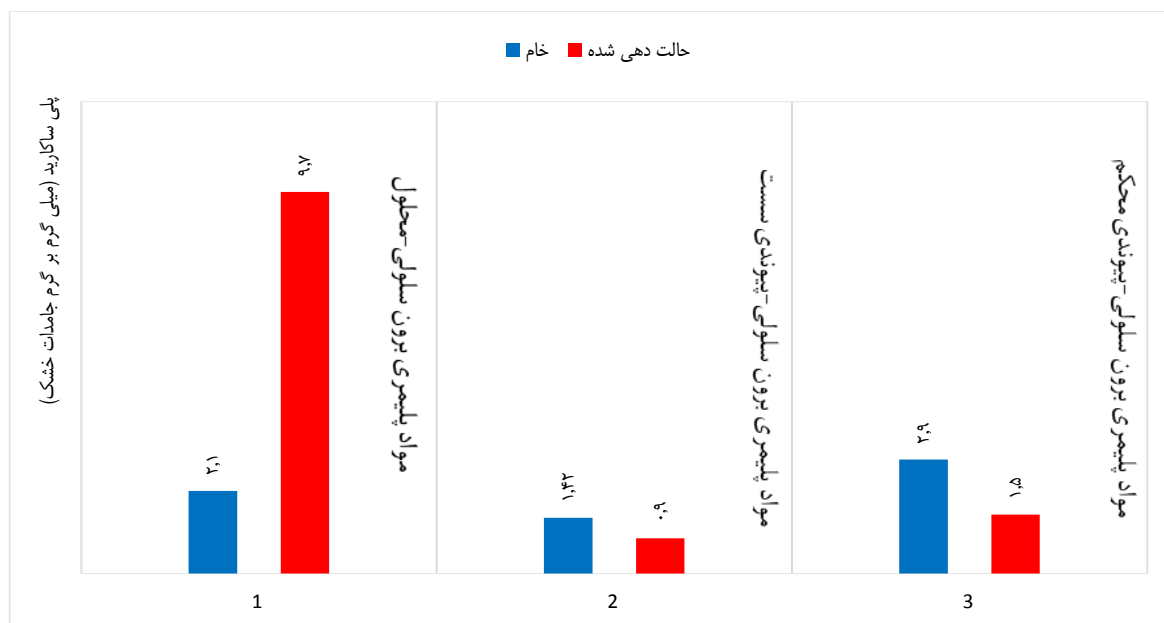
Figure 5- The effect of modified nano-montmorillonite use on various layers of EPS; The TOC value of each layer of EPS in digested sludge



شکل ۶- تاثیر نانومونت موریلونیت اصلاح شده بر پروتئین لایه‌های مختلف مواد پلیمری برون سلولی در لجن مازاد بیولوژیکی
Figure 6- The effect of modified nano-montmorillonite use on various layers of EPS; PN values of biological excess sludge in different layers of EPS

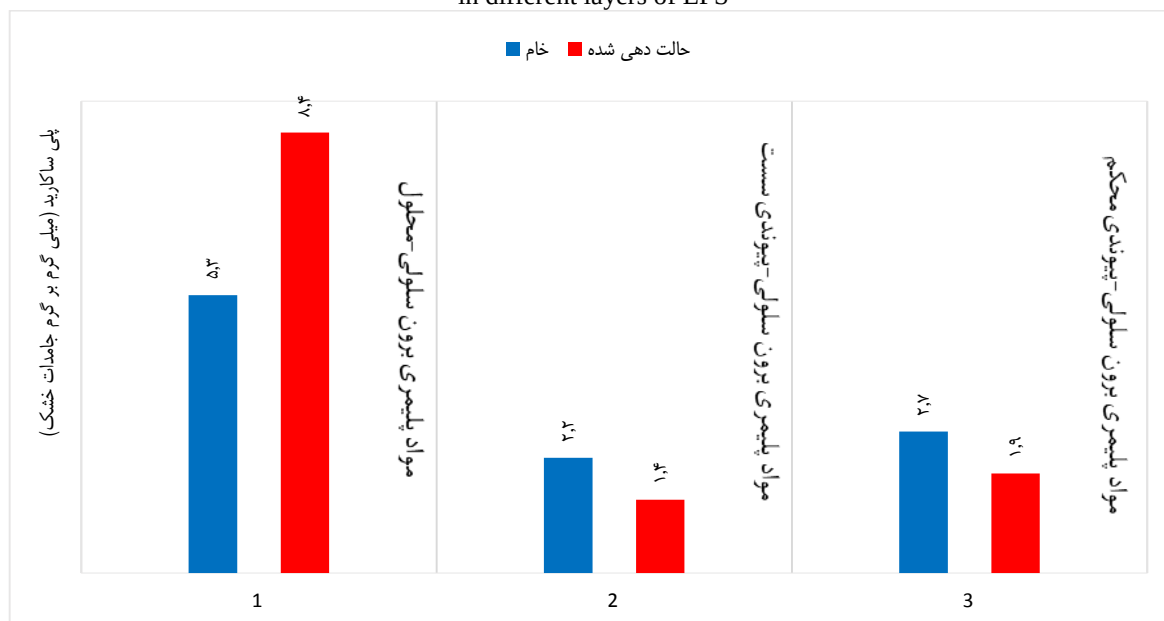


شکل ۷- تاثیر نانومونت موریلونیت اصلاح شده بر پروتئین لایه‌های مختلف مواد پلیمری برون سلولی در لجن هضم شده بی‌هوازی
Figure 7- The effect of modified nano-montmorillonite use on various layers of EPS; PN values of digested sludge in different layers of EPS



شکل ۸- تاثیر نانو مونت موریلونیت اصلاح شده بر پلی ساکارید لایه‌های مختلف مواد پلیمری برون سلولی در لجن مازاد بیولوژیکی

Figure 8- The effect of modified nano-montmorillonite use on various layers of EPS; PS values of biological excess sludge in different layers of EPS



شکل ۹- تاثیر نانو مونت موریلونیت اصلاحی بر پلی ساکارید لایه‌های مختلف مواد پلیمری برون سلولی در لجن هضم شده بی‌هوازی

Figure 9- The effect of modified nano-montmorillonite use on various layers of EPS; PS values of digested sludge in different layers of EPS

بحث

است. این نتایج با مطالعه مسیحی و همکاران در سال ۲۰۲۰ با بنتونیت اصلاحی حرارتی-اسیدی مطابقت دارد [۸]. دلیل عملکرد بهتر نانومونت موریلونیت اصلاح شده، وجود SiO_2 در نانومونت موریلونیت و آزاد شدن یون‌های سیلیس در شرایط اسیدی است. SiO_2 (به عنوان کمک منعقدکننده)، عملکرد انعقاد و لخته‌سازی یون‌های فلزی مثبت دیگر را

مقاومت ویژه فیلتراسیون، شاخص مهم آگیری لجن است. مقادیر مقاومت ویژه فیلتراسیون پایین‌تر نشان دهنده عملکرد بهتر آگیری است [۲۶]. با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان گفت که از طریق اصلاح اسیدی-حرارتی نانو مونت موریلونیت، دستیابی به کاهش مناسب مقاومت ویژه فیلتراسیون در دوزهای پایین‌تر مصرفی میسر

افزایش می‌دهد و در نتیجه حالت دهی لجن و آبیگری آن را بهبود می‌بخشد. SiO_2 به عنوان هسته‌ی برای تشکیل لخته‌های بزرگتر و متراکم‌تر عمل می‌کند [۲۷].

با توجه به اینکه پتانسیل زتا می‌تواند به عنوان شاخصی از تأثیر اجزای منعقد کننده بر بار سطحی کلئیدها عمل کند [۲۸]. با افزودن ماده‌ی منعقد کننده، پتانسیل زتای منفی لجن کاهش می‌یابد. کاهش پتانسیل زتای منفی در سطح ذرات لجن منجر به تشکیل ذرات بزرگتر و ترسیب لجن می‌شود [۲۶]. همچنین یکی از پارامترهای مهم در عملکرد فرآیند حالت دهی مطلوب، تأثیر آن بر کاهش آب پیوندی ذرات لجن است. در مطالعه‌ی حاتمی‌فر و همکاران در سال ۲۰۲۴ نشان داده شد، میزان پتانسیل زتا در لجن هضم شده بی‌هوازی و لجن مازاد بیولوژیکی به ترتیب ۷۶/۷ درصد و ۷۴/۲ درصد کاهش یافت [۲۹]. در اصلاح اسیدی، یون‌های هیدروژن با یون‌های موجود در نانو مونت موریلونیست جایگزین می‌شوند. این یون‌های آزاد شده باعث ایجاد پتانسیل مثبت در نانومونت موریلونیست اصلاح شده می‌شوند. دلیل اصلی کاهش آب پیوندی و افزایش پتانسیل زتای ذرات لجن وجود یون‌های چند ظرفیتی در نانو مونت موریلونیست اصلاح شده است. پس از اضافه کردن نانومونت موریلونیست اصلاح شده به لجن، یون‌های چند ظرفیتی در محیط لجن آزاد شده و در نتیجه پتانسیل زتای منفی کاهش یافته و همچنین باعث کاهش آب پیوندی شد.

این نتایج مطابق با اصلاح بنتونیت با روش اسیدی-حرارتی در مطالعه مسیحی و همکاران در سال ۲۰۲۰ است [۸]. چالش مهم در حذف رطوبت از لجن شهری، بخش مواد آلی قابل توجه موجود می‌باشد که عمدتاً از مواد پلیمری برون سلولی تشکیل شده است. دلیل اصلی، ظرفیت نگهداری آب پیوندی جزء آلی، به ویژه مواد پلیمری برون سلولی است که می‌تواند آب را در لجن با انرژی پتانسیل محدود نسبتاً بالا نگه دارد. علاوه بر این، فراوانی مواد آلی در لجن باعث افزایش تراکم پذیری آن می‌شود [۳۰]. مواد پلیمری برون سلولی شامل مواد پلیمری برون سلولی محلول، مواد پلیمری برون سلولی پیوندی سست و مواد پلیمری برون سلولی پیوندی محکم می‌باشد. نزدیک‌ترین لایه به مرکز ذرات لجن، مواد پلیمری برون سلولی پیوندی محکم و لایه بعدی آن مواد پلیمری برون سلولی پیوندی سست هستند. پتانسیل زتای منفی لجن در مواد پلیمری برون سلولی پیوندی محکم و آب پیوندی در مواد پلیمری برون سلولی پیوندی سست تشکیل می‌شود. این بدان معنی است که کاهش پتانسیل زتای منفی و آب پیوندی به ترتیب فروپاشی ساختار مواد پلیمری برون سلولی با پیوند محکم و مواد برون سلولی با پیوند سست را نشان می‌دهد [۱۷]. در مطالعه‌ی حاتمی‌فر و همکاران در سال ۲۰۲۴ در لایه مواد پلیمری برون سلولی لجن هضم شده بی‌هوازی، غلظت کل کربن آلی از ۳۸۰/۵ میلی گرم بر گرم جامد خشک به ۱۵۷/۱ میلی گرم بر گرم پس از حالت‌دهی با بنتونیت و پلی آلومینیوم

کلراید کاهش یافته بود. مقدار مواد پلیمری برون سلولی پیوندی سست کاهش ۱۴ درصدی نشان داده بود که منجر به کاهش آب پیوندی شده بود. همچنین به کاهش حدود ۳۰ درصدی کل کربن آلی در لایه مواد پلیمری برون سلولی پیوندی محکم کمک نموده بود. این کاهش در کل کربن آلی، به کاهش پتانسیل زتای منفی به دلیل تخریب این لایه منجر شده بود [۲۹]. نتایج این مطالعه همسو با نتایج این تحقیق بود. پروتئین ظرفیت نگهداری آب بالاتری نسبت به پلی ساکارید دارد. بنابراین، بخش پروتئین کاهش یافته در مواد پلیمری برون سلولی پیوندی محکم، قابلیت آبیگری پذیری لجن را بهبود بخشید. علاوه بر این، مواد پلیمری برون سلولی پیوندی محکم ممکن است یک ژل پایدار را تشکیل دهد که از نشت آب از منافذ لخته‌ها جلوگیری کند و در نتیجه، تأثیر منفی بر کارآمدی آب‌گیری لجن داشته باشد. پس از حذف مواد پلیمری برون سلولی پیوندی محکم به عنوان بخش‌های محلول، کارآمدی آبیگری لجن بهبود می‌یابد [۱۷]. با اصلاح اسیدی، مقدار سیلیس و آلومینیوم در لجن حالت دهی با نانومونت موریلونیست اصلاح شده افزایش پیدا کرده است. این افزایش در لجن نشان می‌دهد که عناصر آلومینیوم و سیلیس بر آبیگری لجن تأثیر می‌گذارند. سیلیس از جمله‌ی کمک منعقد کننده‌ی رایج است که باعث بهبود اثر لخته‌سازی یون آلومینیوم به دلیل ایجاد پل قوی می‌گردد [۲۷]. یون‌های آلومینیوم بیشتر در لایه مواد پلیمری برون سلولی پیوندی محکم و دی اکسید سیلیس بیشتر در لایه مواد برون سلولی پیوندی سست جذب می‌شوند. نانومونت موریلونیست اصلاح شده از طریق یون‌های آلومینیوم و دی اکسید سیلیس مواد پلیمری برون سلولی لجن را کاهش می‌دهد و آبیگری را بهبود می‌بخشد. یون‌های آلومینیوم خاصیت انعقادی دارند. دی اکسید سیلیس به عنوان یک اسکلت ساز در آبیگری لجن عمل می‌کند و افزایش تخلخل باعث افزایش آبیگری لجن می‌شود [۸]. در طی این فرآیند، افزودن مواد اسکلت ساز به لجن روشی معمول محسوب می‌گردد. مواد اسکلت ساز برای ایجاد یک چارچوب آبیگری و مسیرهای زهکشی در لجن استفاده می‌شوند و در نتیجه، کارآمدی آبیگری آن را بهبود می‌بخشند. برخی از این مواد می‌توانند رطوبت داخل لجن را به ترکیبات هیدراتی تبدیل کنند و محتوای آب لجن را کاهش دهند. به طور همزمان، آن‌ها می‌توانند ساختارهای شبکه‌ای نفوذپذیر و صلب را در لجن ایجاد کنند، مسیرهای زهکشی بدون مانع را در طول آبیگری مکانیکی حفظ کرده و ظرفیت آبیگری لجن را افزایش دهند [۳۰].

نتیجه‌گیری

حالت دهی و آبیگری لجن فاضلاب، دو فرآیند مهم مورد نیاز در بخش تصفیه‌ی لجن مازاد بیولوژیکی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به روش لجن فعال هستند. با توجه به تجربیات موجود، بررسی‌های گسترده‌ای در خصوص جایگزینی پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی سنتتیک متداول مورد

تامین مالی مطالعه

مطالعه حاضر برگرفته از پایان نامه دکتر در دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی و با کد طرح پایان نامه ۱۷۳۵۲۱۱ است.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه ملاحظات اخلاقی ندارد.

مشارکت نویسندگان

ایده و طراحی مطالعه: گایک بدلیانس قلی کندی

جمع‌آوری داده‌ها: سید علی سادات حسینی

تحلیل و تفسیر داده‌ها: گایک بدلیانس قلی کندی، سید علی سادات حسینی

نگارش پیش نویس مقاله: سید علی سادات حسینی

بازبینی انتقادی مقاله از نظر محتوای علمی: گایک بدلیانس قلی کندی

استفاده از هوش مصنوعی

در تدوین مقاله از هوش مصنوعی استفاده نشده است.

استفاده به منظور حالت دهی لجن انجام پذیرفته‌اند. هدف از این تحقیق، بررسی و تعیین میزان کارآمدی استفاده از ماده ی معدنی (رسی) مونت موریلونیت در مقیاس نانو و اصلاح شده به روش اسیدی- حرارتی به عنوان جایگزینی مناسب بود.

در زمینه ی میزان تاثیرگذاری مثبت آن بر پارامترهای اصلی مرتبط با آبگیری پذیری لجن شامل مقاومت ویژه و مدت زمان فیلتراسیون، مواد پلیمری برون سلولی، آب پیوندی و پتانسیل زتا، نتایج خوب و امیدوارکننده‌ای به دست آمدند. نظر به اینکه این ماده ی رسی قابل دسترس و سازگار با محیط زیست است و تولید نانوماده ی مونت موریلونیت اصلاح شده با دشواری خاصی همراه نیست، امکان صنعتی سازی آن نیز فراهم می‌باشد. در نهایت می‌توان گفت که استفاده از این نانوماده ی اصلاح شده را به عنوان روشی نوآورانه و قابل اجرا در نظر گرفت.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از همه کسانی که در انجام مطالعه همکاری نمودند تشکر و قدردانی می‌نمایند.

تضاد منافع

در این مطالعه نویسندگان هیچگونه تضاد منافی ندارند.

References

- 1- Zhang X, Ye P, Wu Y. Enhanced technology for sewage sludge advanced dewatering from an engineering practice perspective: A review. *Journal of Environmental Management* 2022; 321:115938. Doi: 10. 1016/ j. jenvman.2022. 115938.
- 2- Pan W, Zhang X, Deng R, Gu L, Tan X, Yan S, et al. TA and CTAB treatment synergistically enhance activated sludge dewatering by lowering proteins and boosting Zeta potential. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2024; 12(4):113102. Doi: 10. 1016/j.jece.2024.113102.
- 3- Tan J, Huang Y, Chi B, Xiong Z, Zhou W, Yang Z, et al. Comparative study of iron and aluminium coagulants in conditioning sludge: sludge dewatering performance, physicochemical properties, and risk of heavy metal migration. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2024; 12(4):113168. Doi: 10. 1016/ j. jece. 2024. 113168.
- 4- Bao P, Du C, Li Y, Jiang H, Zhou L, Yu G, et al. Application of skeleton builders to sludge dewatering and disposal: A critical review. *Science of the Total Environment* 2024; 906:167106. Doi: 10. 1016/j.scitotenv.2023.167106.
- 5- Sultana M, Wulandari M, Adachi Y. Remarkable potential of Na-montmorillonite as a sustainable and eco-friendly material for flocculant studied in the standardized mixing flow. *Bioresource Technology Reports* 2023; 23:101567. Doi: 10. 1016/ j. biteb. 2023. 101567.
- 6- Ayalew AA. A critical review on clay-based nanocomposite particles for application of wastewater treatment. *Water Science and Technology* 2022; 85(10):3002-22.
- 7- Samara E, Matsi T, Zdragas A, Barbayiannis N. Use of clay minerals for sewage sludge stabilization and a preliminary assessment of the treated sludge's fertilization capacity. *Environmental Science and Pollution Research* 2019; 26:35387-98.
- 8- Masihi H, Gholikandi GB. Using acidic-modified bentonite for anaerobically digested sludge conditioning and dewatering. *Chemosphere* 2020; 241:125096. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125096.
- 9- Masihi H, Gholikandi GB. Using thermal-acidic-modified kaolin as a physical-chemical conditioner for waste activated sludge dewatering. *Chemical*

- Engineering Journal 2021; 412:128664. Doi: 10. 1016/ j.cej.2021.128664.
- 10- Li G, Zhong H, Yang Y, Zhu L, Liu X, Wang H. Effect of modified kaolin conditioning sludge on organic matter properties. *Biochemical Engineering Journal* 2022; 188:108701. Doi: 10.1016/j.bej.2022.108701.
- 11-Yaghmaeiyan N, Mirzaei M, Delghavi R. Montmorillonite clay: Introduction and evaluation of its applications in different organic syntheses as catalyst: A review. *Results in Chemistry* 2022; 4:100549.
- 12- Biglari Quchan Atigh Z, Sardari P ,Moghiseh E, Asgari Lajayer B, Hursthouse AS. Purified montmorillonite as a nano-adsorbent of potentially toxic elements from environment: an overview. *Nanotechnology for Environmental Engineering* 2021; 6:1-21.
- 13- Fang Z, Suhua H, Xu L, Jian F, Qi L, Zhiwei W, et al. Adsorption kinetics and thermodynamics of rare earth on Montmorillonite modified by sulfuric acid. *Colloids and Surfaces a: Physicochemical and Engineering Aspects* 2021; 627:127063. Doi: 10. 1016 /j. colsurfa. 2021. 127063.
- 14- Peng G, Lu Y, You W, Yin Z, Li Y, Gao Y. Analysis of five bisphenol compounds in sewage sludge by dispersive solid-phase extraction with magnetic montmorillonite. *Microchemical Journal* 2020; 157:105040. Doi: 10.1016/j.microc.2020.105040.
- 15- Miao Y, Zhao Y, Zhang L, Chen L, Gao R, Jiang X, et al. Dewatering behavior and regulation mechanism of montmorillonite nanosheet in aqueous solution. *Journal of Colloid and Interface Science* 2023; 652:1620-30.
- 16- Wang C, Myshkin VF, Bepala EV, Poberezhnikov AD, Baraban AP, Shukshina DD, et al. Structure and properties of montmorillonite containing Ca^{2+} , Sr^{2+} , and Ba^{2+} cations simultaneously. *Journal of Molecular Liquids* 2023; 382:121994. Doi: 10.1016/j.molliq.2023.121994.
- 17- Wu B, Su L, Dai X, Chai X. Development of montmorillonite-supported nano CaO_2 for enhanced dewatering of waste-activated sludge by synergistic effects of filtration aid and peroxidation. *Chemical Engineering Journal* 2017; 307:418-26.
- 18- Huang P, Ye L. Enhanced dewatering of waste sludge with polyacrylamide/montmorillonite composite and its conditioning mechanism. *Journal of Macromolecular Science, Part B* 2014; 53(9):1465-76.
- 19- Rice EW, Bridgewater L, Association APH. Standard methods for the examination of water and wastewater: American public health association Washington, DC; 2012.
- 20- Kausar A, Ahmad I, Aldaghri O, Ibnaouf KH, Eisa M. Nanoclay-reinforced nanocomposite nanofibers—Fundamentals and state-of-the-art developments. *Minerals* 2023; 13(6):817. Doi:10.3390/min13060817.
- 21- Mena-Duran C, Kou MS, Lopez T, Azamar-Barrios J, Aguilar D, Domínguez M, et al. Nitrate removal using natural clays modified by acid thermoactivation. *Applied Surface Science* 2007; 253(13):5762-66.
- 22- Dai Y, Huang S, Liang J, Zhang S, Sun S, Tang B, et al. Role of organic compounds from different EPS fractions and their effect on sludge dewaterability by combining anaerobically mesophilic digestion pre-treatment and Fenton's reagent/lime. *Chemical Engineering Journal* 2017; 321:123-38.
- 23- Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 1976; 72(1-2):248-54.
- 24- DuBois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers Pt, Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 1956; 28(3):350-56.
- 25- Xiao K, Chen Y, Jiang X, Yang Q, Seow WY, Zhu W, et al. Variations in physical, chemical and biological properties in relation to sludge dewaterability under Fe (II)–Oxone conditioning. *Water Research* 2017; 109:13-23.
- 26- Zhu Y, Li H, Yang P, Li D, Wang Z, Qi Y, et al. Aluminum speciation in polymerized aluminum chloride: Roles and chloride ion migration in sludge dewatering. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2024; 12(1):111749. Doi: 10.1016/j.jece.2023.111749.
- 27- Zhang J, Yue Q, Xia C, Yang K, Zhao P, Gao B, et al. The study of Na_2SiO_3 as conditioner used to deep dewater the urban sewage dewatered sludge by filter press. *Separation and Purification Technology* 2017; 174:331-37.
- 28- Aktas TS, Takeda F, Maruo C, Fujibayashi M, Nishimura O. Comparison of four kinds of coagulants for the removal of picophytoplankton. *Desalination and Water Treatment* 2013; 51(16-18):3547-57.
- 29- Hatamifar A, Gholikandi GB. Synergistic effect of innovative bentonite and poly aluminum chloride (PAC) combination for excess and digested sludge thickening and dewatering. *Desalination and Water Treatment* 2024; 317:100131. Doi: 10.1016/j.dwt.2024.100131.
- 30- Sun X, Lv G, Peng Y, Wu S, Chen Z, Chen L, et al. Ultrahigh pressure filtration dewatering of municipal sludge conditioned by steel slag in combination with Fe^{2+} /sodium persulfate. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2024; 12(2):112050. Doi: 10.1016/j.jece.2024.112050.



Journal homepage: <https://journals.sbm.ac.ir/jhf>



Performance improvement of thickening and dewatering processes of biological excess sludge and anaerobic digested sludge of municipal wastewater using acid-thermally modified Nano- Montmorillonite

Seyed Ali Sadat Hosseini¹ , Gagik Badalians Gholikandi^{2*} 

¹ Department of Water, Wastewater and Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract

Background and Aims: The optimal performance of sludge thickening and dewatering processes is of great importance. Due to the poor dewaterability of sludge, synthetic coagulants are commonly used to enhance the efficiency of these processes. However, because of financial and quality-related limitations of these chemicals, extensive efforts are underway to replace them with natural materials. This study aimed to evaluate the feasibility of using modified Nano-Montmorillonite as a sludge conditioner.

Materials and Methods: Sludge samples were collected from the South Tehran Wastewater Treatment Plant and conditioned using varying doses of the modified Nano-Montmorillonite (50–400 mg/g dry). The optimal dose was determined based on the specific resistance to filtration (SRF). Further tests were conducted to assess the effects on the extracellular polymeric substances (EPS) of the conditioned sludge. All phases of the study were conducted in full compliance with ethical standards.

Results: At the optimal dose of modified Nano-Montmorillonite (200 mg/g dry solids), the highest reduction in SRF was observed: 62.82% for waste activated sludge and 66.47% for anaerobically digested sludge. At this dose, zeta potential and bound water content were reduced by 93.75% and 80.38% for waste activated sludge, and by 89.74% and 77.93% for anaerobically digested sludge, respectively.

Conclusion: The results demonstrate that modified Nano-Montmorillonite, by altering the total organic carbon, protein, and polysaccharide content of extracellular polymeric substances, can significantly enhance the performance of thickening and dewatering processes in municipal wastewater sludge.

Keywords: Sludge thickening; Sludge dewatering; Nano-Montmorillonite; Extracellular polymeric substances.

Please cite this article as: Sadat Hosseini SA, Badalians Gholikandi G. Performance improvement of thickening and dewatering processes of biological excess sludge and anaerobic digested sludge of municipal wastewater using acid-thermally modified Nano Montmorillonite. Journal of Health in the Field 2025; 12(4):51-63. **Doi:** <https://doi.org/10.22037/jhf.v12i4.47279>.

Corresponding Author: Department of Water, Wastewater and Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Corresponding Author: Department of Water, Wastewater and Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Email: g_badalians@sbu.ac.ir

Received: 13 January 2025

Accepted: 6 May 2025