Jouranl of Water and Wastewater, Vol. 30, No.5, pp: 86-98

Efficiency of Moringa Pergerina to Sludge Conditioning in Ferric Chloride Water Treatment Plant

M. Tizghadam Ghazani[1], A. Alighardashi[2], R. Mazaheri[3]

1. Assist. Prof. of Water and Wastewater Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
(Corresponding Author) mtizghadam@gmail.com
2. Assist. Prof. of Water and Wastewater Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
3. MSc of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

(Received May 20, 2018 Accepted Oct. 14, 2018)

To cite this article:
Tizghadam Ghazani, M., Alighardashi, A., Mazaheri, R. 2019. "Efficiency of moringa pergerina to sludge conditioning in ferric chloride water treatment plant." Journal of Water and Wastewater, 30(5), 86-98.
Doi: 10.22093/wwj.2018.132602.2687. (In Persian)

Abstract

Water sludge management is one of the main problems facing water and wastewater companies. Disposal of conditioned sludge by chemical polymers is restricted due to the health and environmental effects. Recently, the use of natural polymers has been investigated to reduce the side effects of chemical polymers. In this study, the effectiveness of Moringa Pergerina seed as a natural polymer in the conditioning of water treatment sludge has been studied. In this study, sludge samples from the Tehranpars Water Treatment Plant were taken daily from the sedimentation tank. Sampled sludge conditioning was performed using jar test by Moringa pergerina powder dissolved in salt water (1N NaCl). Optimization of three important factors in the jar test, including mixing speed, mixing time and optimum dosage using the Box-Behnken Design, Response Surface Design Method (RSM), was performed in Design Expert software. Results: The minimum capillary suction time (CST) and specific resistance filtration (SRF) was obtained at 30.294 and 6.19×1012 m / kg respectively under optimal conditions. The results were obtained in terms of speed and time of mixing 50 rpm and 3 min, 250 rpm and 100 s with an optimal dosage of 5040 mg/L of Moringa Pegerina dissolved in salt water and a desirability index of 1.000. The best effectiveness of Moringa Pergerina for sludge conditioning was obtained in acidic media. Under optimal operating conditions, SRF and CST relative to the initial conditions of the sludge were reduced by 75% and 42%, respectively.

Keywords: Natural Conditioner, Response Surface Methodology, Sludge Processing, Water Management, Moringa Pergerina.

مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۰، شماره ۵، صفحه: ۹۸-۸۶

اثر بخشی مورینگا پرگرینا در فراوری لجن کلرورفریکی تصفیه‌خانه آب

مصطفی تیزقدم غازانی [۱]، ابوالقاسم علی قارداشی [۲]، رامتین مظاهری [۳]

۱- استادیار، گروه مهندسی آب و فاضلاب، دانشکده آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
(نویسنده مسئول) mtizghadam@gmail.com
۲- استادیار، گروه مهندسی آب و فاضلاب، دانشکده آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳- کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، دانشکده آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(دریافت ۹۷/۲/۳۰ پذیرش ۹۷/۷/۲۲)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
تیزقدم غازانی، م.، علی قارداشی، ا.، مظاهری، ر.، ۱۳۹۸، " اثر بخشی مورینگا پرگرینا در فرآوری لجن کلرورفریکی تصفیه خانه آب"
مجله آب و فاضلاب، ۳۰(۵)، ۹۸-۸۶. Doi: 10.22093/wwj.2018.132602.2687

چکیده

مدیریت لجن تصفیه‌خانه آب یکی از مشکلات اصلی شرکت‌های آب و فاضلاب است. دفع لجن فراوری شده توسط پلیمرهای شیمیایی با توجه به اثرات بهداشتی و محیط زیستی با محدودیت مواجه است. برای کاهش اثرات جانبی پلیمرهای شیمیایی، اخیراً استفاده از پلیمرهای طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، اثربخشی بذرهای گیاه مورینگا پرگرینا به‌عنوان پلیمر طبیعی در فراوری لجن تصفیه‌خانه آب مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی، نمونه‌های لجن از مخزن ته‌نشینی پولساتور تصفیه‌خانه آب تهرانپارس به‌صورت روزانه برداشت شد. فراوری لجن نمونه‌گیری شده با استفاده از آزمون جار توسط پودر دانه‌های مورینگا پرگرینا در حالت محلول در آب نمک انجام شد. بهینه‌سازی سه عامل مهم در آزمون جار اعم از سرعت اختلاط، مدت‌زمان اختلاط و میزان دز بهینه با استفاده از طرح مرکب مرکزی، روش طراحی سطح پاسخ در نرم‌افزار Design Expert انجام شد. کمترین مقدار زمان موکش مویین و مقاومت ویژه در برابر فیلتراسیون به‌ترتیب برابر با ۲۹٤/۳۰ ثانیه و ۱۰۱۲×۱۹/٦ متر بر کیلوگرم تحت شرایط مطلوب حاصل شد. شرایط بهینه در سرعت و مدت‌زمان اختلاط ۵۰ دور در دقیقه و ۳ دقیقه، ۲۵۰ دور در دقیقه و ۱۰۰ ثانیه با مقدار دز بهینه ۵۰٤۰ میلی‌گرم در لیتر از مورینگا پرگرینا در فرم محلول در آب نمک و شاخص قابلیت اطمینان ۱/۰۰۰ حاصل شد. بهترین اثر بخشی مورینگا پرگرینا برای فرآوری لجن در محیط اسیدی حاصل شد. در شرایط عملیاتی بهینه، SRF و CST به‌ترتیب ۷۵ و ٤۲ درصد نسبت به شرایط اولیه لجن، کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: حالت دهنده طبیعی، روش سطح پاسخ، فراوری لجن، مدیریت لجن، مورینگا پرگرینا

۱- مقدمه

امروزه مدیریت و دفع لجن تصفیه‌خانه آب یک نگرانی جدی است. در سال ۱۹۹۰ از شش تصفیه‌خانه آب کشور هلند حدود ۶۰ هزار تن جامدات خشک از تصفیه ۱/۲×۱۰[۹] مترمکعب آب حاصل شده است و برآورد کل مقدار باقیمانده در سال ۲۰۲۰، سه برابر این مقدار تخمین زده شده است (Graveland et al., 1994). در لوئیزیانا با توجه به اینکه ۵ درصد آب خام با لجن یا پساب شستشوی معکوس از تصفیه‌خانه خارج می‌شد، مسئله بازیافت آب در سال ۱۹۸۰ مطرح شد (Hodge and Irish Jr, 1998). این امر کاهش حجم زائدات را در این کشورها الزامی ساخته است. در روند کلی تصفیه لجن، آبگیری یکی از مهم‌ترین مراحل کاهش حجم لجن است. معمولاً لجن از لحاظ شیمیایی برای بهبود فرایند آبگیری، فراوری می‌شود. فراوری لجن با استفاده از آهک، زاج سفید (آلوم)،

dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.132602.2687

کلریدآهن و پلیمرهای مصنوعی مانند پلیمرهای مبتنی بر آکریل‌آمید[1] یا پلی‌آکریل‌آمید[2] مورد بررسی قرار گرفته است. طبق پژوهش انجام شده بر روی لجن تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران، روزانه ۴۷ تن آهک، برای آمایش ۱۵۶ تن لجن مورد نیاز است (Tarverdizadeh et al., 2011). نه تنها هزینه تولید این مواد شیمیایی زیاد است، بلکه افزودن این مواد، بر بهداشت عمومی و محیط زیست تأثیر زیان‌آور دارد (Eaton et al., 2005, Kaggwa et al., 2001).

اکثر پلیمرهای مصنوعی و معدنی، به‌صورت بیولوژیکی قابل تجزیه نیستند و برخی از آن‌ها موجب سرطان‌زایی و جهش ژنتیکی در انسان می‌شوند (Guibal and Roussy, 2007).

دانه‌های گیاه مورینگا به‌عنوان یک پلیمر طبیعی سازگار با محیط زیست، حاوی پروتئین‌های دارای بار مثبت به‌صورت محلول در آب است که به‌عنوان یک منعقدکننده مؤثر در تصفیه آب و فاضلاب عمل می‌کند (Jahn, 1988). نتایج پژوهش‌های گذشته، حاکی از اثربخشی مورینگا پرگرینا برای حذف کدورت، نیترات و فسفات در تصفیه فاضلاب خانگی است، ضمن اینکه لجن تولیدی حاصل از فرایند، خواص آبگیری بهتری دارد (Banejad et al., 2011).

همچنین توانایی ماده مؤثر مورینگا پرگرینا در حذف آرسنیک و فنول از محلول‌های آبی توسط بذرافشان و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است (Bazrafshan et al., 2013a, Bazrafshan et al., 2013b).

در پژوهش‌های معدودی، استفاده از مورینگا به‌عنوان حالت دهنده لجن گزارش شده است (Ademiluyi, 1988, Muyibi et al., 2001).

آدمیلویی در بررسی خود، عملکرد پودر مورینگا اولیفرا، کلرید آهن و سولفات‌آلومینیوم را در فراوری لجن فاضلاب مقایسه کرد. این پژوهش نشان داد که پودر مورینگا اولیفرا نتایج قابل‌مقایسه‌ای را با توجه به غلظت جامدات کیک لجن تولید کرده است (Ademiluyi, 1988).

پژوهش مایوبی و همکاران نشان داد که عملکرد پودر دانه مورینگا اولیفرا، همانند فرم محلول در آب است، اما هر دو شکل در مقایسه با روغن استخراج‌شده مورینگا اولیفرا در تغلیظ گرانشی لجن فعال، عملکرد بهتری دارند. مقدار بهینه از ۴۷۵۰ تا ۶۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر متغیر بود. مشخص شد که مقدار مطلوب ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر مورینگا اولیفرا باعث ایجاد مقاومت ویژه m/kg $۲/۵\times۱۰^{۱۲}$ نسبت به مقدار اولیه حدود m/kg $۴/۵\times۱۰^{۱۲}$ در کیک لجن می‌شود (Muyibi et al., 2001).

در پژوهش‌های قبلی در مورد عملکرد مورینگا در فراوری لجن، شرایط آزمایش از قبیل سرعت و مدت‌زمان اختلاط ثابت بوده است. طراحی آزمایش می‌تواند به‌طور مؤثر، برای بررسی اثر شرایط عملیاتی بر پاسخ‌ها با حداقل تعداد آزمایش‌ها، مورد استفاده قرار گیرد. روش‌های سطح پاسخ[3] به‌ویژه طرح باکس بنکن[4] و طرح مرکب مرکزی[5] از روش‌های متداول برای یافتن شرایط عملیاتی بهینه است (Bhatia et al., 2007, Ghafari et al., 2009).

پژوهش‌هایی در زمینه بهینه‌سازی شرایط عملیاتی مورینگا اولیفرا در فراوری لجن تصفیه‌خانه فاضلاب انجام شده است (Abdulazeez et al., 2016, Tat et al., 2010, Abdulazeez et al., 2015).

در این پژوهش، کارایی مورینگا پرگرینا گیاهی از خانواده مورینگا در فرم محلول در آب نمک در فراوری لجن تصفیه‌خانه آب بررسی شد. بهترین مقدار دز مورینگا پرگرینا و pH به‌دست‌آمده از آزمون جار با استفاده از RSM برای آزمایش بهینه‌سازی عوامل سرعت اختلاط و مدت‌زمان اختلاط مطلوب در دور سریع و آرام انتخاب شد.

۲- مواد و روش‌ها

روش‌شناسی پژوهش حاضر، به‌صورت نمودار در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲-۱- جمع‌آوری نمونه‌های لجن

نمونه‌های لجن از شیر هاپر شماره ۲ غربی پولساتور تصفیه‌خانه ۳ تهرانپارس به‌صورت روزانه در یک ظرف ۵ لیتری پلاستیکی

[1] Acryle Amide
[2] Poly Acryle Amide
[3] Responce Surface Methodology (RSM)
[4] Box-Behnken Design (BBD)
[5] Central Composite Design (CCD)

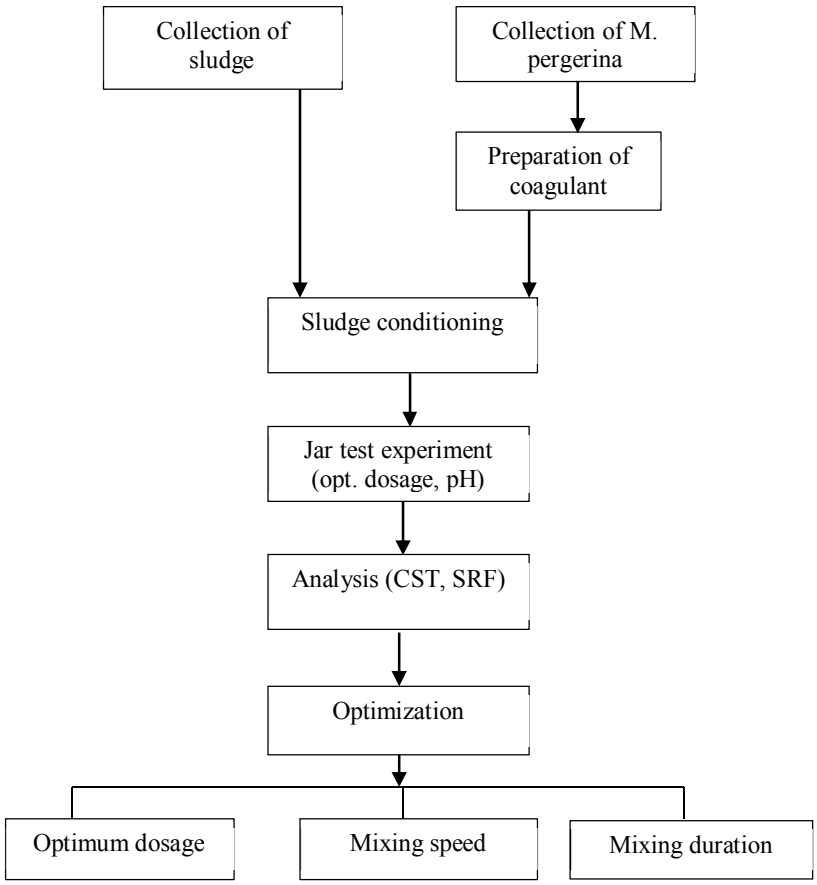

Fig. 1. Flow chart for the methodology of the present study.

شکل ۱- نمودار روش‌شناسی پژوهش حاضر

جدول ۱- مشخصات لجن نمونه‌گیری شده از هاپر پولساتور تصفیه‌خانه آب تهرانپارس

Table 1. Characteristics of raw sludge from Tehranpars water treatment plant pulsator sedimentation tank

Parameter	Range	Average	Method of analysis
Total solids (TS, %)	1-2.5	1.48	Standard method (2540 B)
Volatile solids (g/kg TS)	75-90	80.18	Standard method (2540 E)
pH	7.45-7.89	7.61	JENWAY-3510 pH meter
TTF (s)	908-1350	1140	Buchner funnel
SRF ($\times 10^{13}$ m/kg)	2.29–3.04	2.59	Buchner funnel
CST (s)	36-60	51	MRCST apparatus, reservoir with 18 mm in diameter

ذخیره شدند. سپس نمونه لجن در مدت زمان ۳۰ دقیقه پس از نمونه‌برداری، به آزمایشگاه منتقل شد. برای به حداقل رساندن خطای ناشی از تغلیظ لجن، نمونه‌ها در کمتر از ۲۴ ساعت آزمایش می‌شدند. برای بررسی پارامترها در تجزیه و تحلیل نمونه‌ها در این پژوهش از روش‌های کتاب استاندارد متد استفاده شد (APPA, 1999). خصوصیات نمونه‌های لجن، در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۲- جمع‌آوری دانه‌های مورینگا پرگرینا

دانه‌های مورینگا پرگرینا خشک شده، به‌عنوان یک ماده غذایی با منشا گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در این پژوهش از منطقه فنوج واقع در استان سیستان و بلوچستان جمع‌آوری شدند. برای اطمینان از خشک بودن، دانه‌ها به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت در دمای ۴۵ درجه سلسیوس در آون قرار داده شدند. دانه‌های خشک شده و

dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.132602.2687

بدون پوست با استفاده از مخلوط‌کن الکتریکی خانگی به پودر نرم تبدیل و در ظروف شیشه‌ای ذخیره شدند.

۲-۳- آماده‌سازی دانه‌های مورینگا پرگرینا و تعیین میزان ماده مؤثره

مورینگا اولیفرا به سه شکل عمده محلول در آب نمک، محلول در آب مقطر و به‌صورت پودر خشک مورد بررسی قرار گرفته است (Tat et al., 2010, Wai et al., 2009). در پژوهش‌های گذشته مقدار زمان موکش مویین[1] مورینگا پرگرینا در حالت پودر خشک و آب مقطر استخراج شده در مقایسه با مورینگا پرگرینا در حالت نمک استخراجی NaCl یک نرمال کاهش بیشتری داشته است. علت بروز این پدیده غلظت زیاد کاتیون‌های یک ظرفیتی، به‌خصوص سدیم است که برای پایداری فلوک‌ها مضر است (Higgins and Novak, 1997, Sobeck and Higgins, 2002).

اما طبق بررسی انجام شده بر سوسپانسیون رسی با کدورت زیاد، راندمان انعقاد بهتری توسط مورینگا پرگرینا در حالت محلول در آب نمک نسبت به حالت محلول در آب مقطر حاصل شد (Okuda et al., 1999).

در این پژوهش، دانه‌های مورینگا پرگرینا در حالت محلول در آب نمک NaCl یک نرمال، مورد بررسی قرار گرفت. این محلول به‌صورت انحلال ۱۰ گرم پودر مورینگا پرگرینا در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول آب نمک NaCl یک نرمال تهیه شد. این ترکیب با حداکثر سرعت و با استفاده از همزن به‌مدت ۳۰ دقیقه به‌منظور استخراج ترکیبات فعال، مخلوط شد. پس از آن، سوسپانسیون به‌دست‌آمده در فیلتراسیون تحت خلاء با صافی ۰/۴۵ میکرون صاف شد. مواد صاف جمع‌آوری شده به‌عنوان منعقدکننده مورد استفاده قرار گرفت. تهیه منعقد کننده مورینگا پرگرینا قبل از فراوری لجن انجام شد.

برای تعیین میزان ماده مؤثر محلول مورینگا پرگرینا با توجه به آلی بودن ماهیت آن، محلول تهیه شده در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس خشک شد. سپس ماده جامد خشک در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و میزان کاهش جرم مواد جامد اندازه‌گیری شد. میزان ماده موثر محلول مورینگا پرگرینا ۷۳۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر در محلول ۱۰ درصد (۱۰۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه شده) تعیین شد.

۲-۴- آزمایش‌ها در سیستم ناپیوسته (جار)

لجن تصفیه‌خانه آب با حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر برای هر آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. دستگاه آزمایش جار (مدل استوارت[2]، Flocculator SW1) برای مخلوط کردن پلیمر با نمونه‌های لجن مورد استفاده قرار گرفت. سرعت اختلاط و مدت فرایند فراوری به‌ترتیب در ۹۰ دور در دقیقه و ۱۵ دقیقه تنظیم شد. مقدار مورینگا پرگرینا از ۱۰ تا ۱۲۰ میلی‌لیتر در لیتر متغیر بود. سپس لجن فراوری شده با CST و مقاومت ویژه لجن[3] مورد آزمایش قرار گرفت. فرایند فراوری در دمای محیط ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس انجام شد. همچنین دمای نمونه لجن از ۱۵ تا ۲۰ درجه سلسیوس حین انجام فرایند فراوری متغیر بود و با توجه به تغییرات مختصر دمای لجن، اثر دما بر فرایند فراوری ناچیز در نظر گرفته شد. نتایج به‌دست آمده طی ۳ مرحله تکرار آزمایش حاصل شد.

۲-۵- مواد و وسایل مورد استفاده

در این پژوهش، دستگاه زمان موکش مویین و دستگاه صاف کردن لجن با توجه به مرجع (APPA, 1999) تهیه و استفاده شد. pH و دمای نمونه لجن با کمک pH سنج مدل JENWAY-3510 pH meter تعیین شد. خشک کردن لجن برای تعیین TSS در آون Memmert مدل UFE 400 انجام شد.

۲-۶- آزمایش‌های انجام شده

آزمایش‌های اصلی انجام شده بر لجن تصفیه‌خانه آب شامل آزمایش TTF[4]، SRF و CST است. آزمون CST میزان آب آزاد شده از لجن است. این اندازه‌گیری کمّی در عرض چند ثانیه گزارش می‌شود. در این آزمایش لجن فرآوری شده در یک سیلندر کوچک با حجم ۶/۴ میلی‌لیتر بر روی ورقه کاغذ کروماتوگرافی[5] قرار داده شد. این کاغذ، مایع را با عمل موییننگی از لجن استخراج می‌کند.

[1] Capacity Suction Time (CST)

[2] Stuart

[3] Specific Resistance to Filteration (SRF)

[4] Time to Filteration (TTF)

[5] Chromatography

زمان مورد نیاز برای رسیدن مایع به یک فاصله معین، به عنوان نتیجه آزمایش CST ثبت می‌شود. TTF و SRF با استفاده از دستگاه استاندارد قیفی شکل بوخنر[1] (قطر ۹۰ میلی متر) با کاغذ فیلتر واتمن شماره ۱ انجام می‌شود (APPA, 1999).

در این پژوهش، ۲۰۰ میلی‌لیتر لجن فراوری شده از بشر، نمونه‌گیری شد و تحت فشار محفظه‌ای در ۱±۳۹ سانتی‌متر جیوه برای آبگیری از لجن با استفاده از فرم محلول در آب نمک NaCl یک نرمال مورینگا پرگرینا قرار گرفت. زمان مورد نیاز برای فلیتر حجم ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ میلی‌لیتر از آب موجود در لجن در استوانه مدرج توسط زمانسنج ثبت شد. کیک لجن تشکیل شده بر روی فیلتر، در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به‌مدت زمان ۲۴ ساعت در آون خشک شد و میزان ماده جامد کیک لجن خام تعیین شد. برای تعیین ویسکوزیته آب صاف شده از لجن در تعیین مقاومت ویژه لجن، باتوجه به دمای اندازه‌گیری شده و نمودارهای مرجع، مقدار ویسکوزیته تعیین شد.

۲-۷- تجزیه و تحلیل ضرایب ثابت

SRF برای لجن فراوری شده با تعیین نسبت زمان فیلتراسیون حجم مورد نظر در حجم آب فیلتر شده (t/V) با استفاده از معادله ۱ تعیین شد. ضریب b شیب خط ثابت نمودار (t/V) در برابر (V) است که از آن برای محاسبه مقدار SRF استفاده می‌شود (Özacar, 2000, Novak and Langford, 1977).

$$SRF = \frac{2A^2Pb}{\mu c} \qquad (۱)$$

که در این معادله

b شیب زمان فیلترشدن در برابر مقدار فیلتراسیون (s/m^6)، P فشار فیلتراسیون(N/m^2)، μ ویسکوزیته ($N.s/m^2$)، c جرم مواد جامد لجن خشک به ازای حجم مواد فیلتر شدنی (kg/m^3)، SRF مقاومت مخصوص فیلتراسیون (m/kg) و A مساحت کاغذ فیلتر (m^2) است.

۲-۸- طراحی و مدل‌های تجربی

طراحی آماری آزمایش و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Design-Expert نسخه ۱۰ انجام شد. در این پژوهش، روش RSM برای بهینه‌سازی سه عامل مقدار ماده منعقد کننده، سرعت اختلاط و مدت زمان مخلوط شدن استفاده شد. دو پاسخ مهم CST و SRF برای به‌دست آوردن مقدار بهینه برای شرایط عملیاتی مورد استفاده قرار گرفت. محدوده مقدار منعقد کننده ۴۴۰۰ تا ۵۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سرعت اختلاط به‌ترتیب ۳۰ تا ۵۰ و ۱۵۰ تا ۲۵۰ دور در دقیقه به‌ترتیب برای دورهای آرام و سریع مطابق جدول ۲ تعیین شد. همچنین مدت زمان اختلاط ۲۰ تا ۱۰۰ ثانیه و ۳ تا ۱۵ دقیقه به‌ترتیب برای دورهای آرام و سریع لحاظ شد (Kawamura, 1996).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تغییرات TTF و SRF در دزهای مختلف در طی فراوری لجن

شکل ۲ تغییرات SRF و TTF را با مقدار مختلف مورینگا پرگرینا در حالت محلول در آب نمک یک نرمال نشان می‌دهد. به‌طور کلی، مقدار بیشتر پلیمر، به مقدار کمتر SRF و TTF منتهی شد. برای مورینگا پرگرینا محلول در آب نمک در دز ۵۱۸۳ میلی‌گرم در لیتر، مقدار SRF حدود ۵۷ درصد کاهش داشت.

۳-۲- تغییر CST در دوزهای مختلف در فرآوری لجن

شکل ۳ تغییرات CST را با مقدار مختلف مورینگا پرگرینا در فرم محلول آب نمک استخراجی NaCl یک نرمال نشان می‌دهد. به‌طور کلی با افزودن مورینگا پرگرینا، CST اولیه لجن کاهش یافت. با توجه به شکل ۳ مقدار مطلوب برای مورینگا پرگرینا در فرم محلول آب نمک در محدوده ۴۴۰۰ تا ۵۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۸۰-۶۰ میلی‌لیتر در لیتر) به‌دست آمد. پژوهش‌های گذشته نشان داده است که دز بهینه ۶۰ میلی‌لیتر در لیتر برای فراوری لجن آلوم تصفیه‌خانه آب مناسب است (Ghebremichael and Hultman, 2004). در پژوهشی، دز ۲۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر پودر خشک، به‌عنوان دز بهینه برای فراوری لجن هضم شده خانگی گزارش شده است (Ademiluyi, 1988).

همچنین در پژوهش مایوبی و همکاران مقدار دز بهینه ۴۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر مورینگا اولیفرا در حالت محلول در آب و ۶۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پودر خشک مورینگا اولیفرا برای فراوری لجن فعال تعیین شده است (Muyibi et al., 2001).

[1] Buchner

جدول۲- طراحی آزمایش

Table 2. Experimental design

Design summary											
File Version 10.0.6.0											
Study type Response Surface			Subtype	Randomized							
Design Type Central Composite			Runs	50							
Design Mode Quadratic			Blocks	No Blocks	Build Time	63.00					
Factor	Name	Unit	Type	Subtype	Minimum	Maximum	Coded	Values	Mean	Std.Dev.	
A	Rapid mixing	rpm	Numeric	Continuous	150	250	1.000=175	1.000=225	200	22.5877	
B	Slow mixing	rpm	Numeric	Continuous	30	50	-1.000=35	1.000=45	40	4.51754	
C	Rapid mixing	s	Numeric	Continuous	20	100	-1.000=40	1.000=80	60	18.0702	
D	Slow mixing	min	Numeric	Continuous	6	12	-1.000=6	1.000=12	9	2.71052	
E	Dosage	ml/l	Numeric	Continuous	60	75	-1.000=65	1.000=75	70	4.51754	
Response	Name	Unit	Obs	Analysis	Minimum	Maximum	Mean	Std.Dev.	Ratio	Trans	Model
R1	50cc	s	39	Polynomial	59	134	98.7436	18.9788	2.27119	Squarc Root	Quadratic
R2	70cc	s	39	Polynomial	118	260	193.718	35.8586	2.20339	None	Quadratic
R3	TTF	s	39	Polynomial	213	475	354.282	66.4835	2.23474	None	Quadratic
R4	SRF	m/kg	39	Polynomial	6.3104E+0.12	1.43535E+0.13	1.05632E+0.13	2.0012E+012	2.27457	None	Quadratic
RS	CST	S	39	Polynomial	30.3	39.5	35.3538	2.23652	1.30363	None	Quadratic

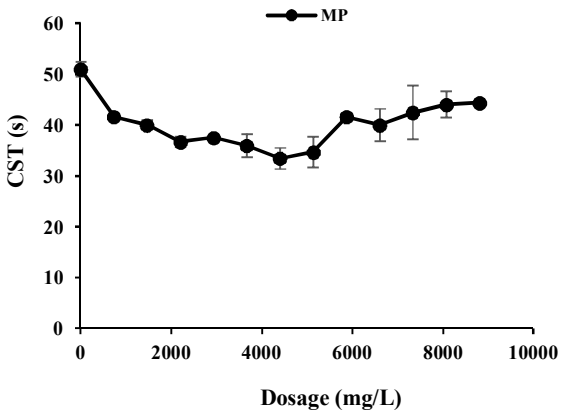

Fig. 3. Effects of moringa pergerina (NaCl 1N) on capillary suction time of conditioned sludge

شکل ۳- اثر مقدار مورینگا پرگرینا در حالت محلول در آب نمک یک نرمال بر روی CST لجن فرآوری شده

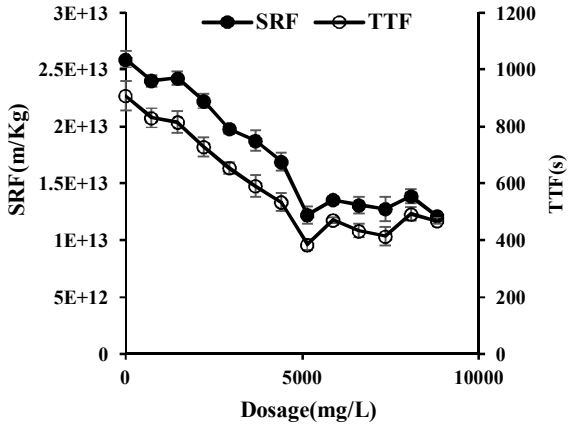

Fig. 2. Effects of Moringa pergerina (NaCl 1N) on Specific resistance of conditioned sludge

شکل ۲- اثر مقدار مورینگا پرگرینا در حالت محلول در آب نمک یک نرمال بر روی مقاومت ویژه لجن فراوری شده

پژوهش‌های گذشته نشان داده است که پلی‌الکترولیت کاتیونی با وزن مولکولی بیشتر، می‌تواند فشردگی توده‌ها را از طریق اثر ایجاد پل بین ذرات افزایش دهد. همچنین مشخص شد که از لحاظ فنی، مناسب‌ترین دز مورینگا پرگرینا در فرم استخراج شده از آب نمک در کاهش CST، حدود ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر است (Langer et al., 1994).

۳-۳- تغییر pH در دز بهینه در طی فراوری لجن

مطابق شکل ۴، کاهش pH موجب افزایش راندمان آبگیری لجن می‌شود. شکل۵ نتایج را به‌صورت دقیق‌تر برای محیط اسیدی نشان می‌دهد. در دز بهینه، pH بهینه ۳/۵ است. علت کاهش راندمان آبگیری از لجن در pH های کمتر از ۳/۵، شکسته شدن فلوک‌های لجن است که موجب کاهش راندمان آبگیری از لجن می‌شود. نتایج با پژوهش انجام شده توسط عبدالعزیز و همکاران مطابقت دارد (Abdulazeez et al., 2016).

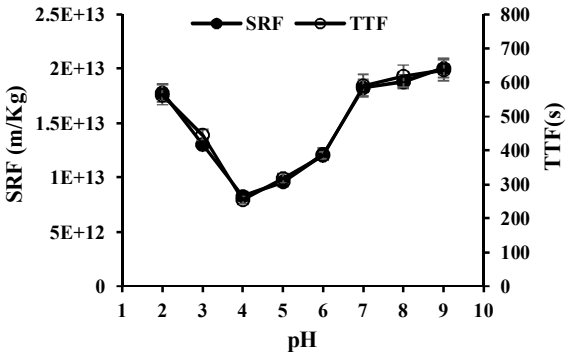

Fig. 4. Specific resistance variations in acidic and alkaline pH at optimal doses

شکل ۴- تغییرات مقاومت ویژه لجن در pH اسیدی و قلیایی در دز بهینه

۳-۴- طراحی آزمایش

ارتباط بین شرایط عملیاتی مانند مقدار منعقد کننده، سرعت اختلاط و مدت زمان اختلاط با پاسخ CST و SRF با استفاده از روش سطح پاسخ بررسی شد. محدوده شرایط عملیاتی با سطوح مربوطه و پاسخ‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر در جدول ۲ مشخص شده است. با توجه به بهترین عملکرد مورینگا پرگرینا در ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۷۰ میلی‌لیتر در لیتر)، محدوده مقدار انعقادی بین ۴۴۰۰ و ۵۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۶۰ تا ۸۰ میلی‌لیتر در لیتر) تعیین شد. در مجموع، ۵۰ اجرا با استفاده از روش سطوح پاسخ (طرح مرکب مرکزی) با ۴۲ نقطه مکعب و ۸ نقطه مرکزی تولید شد.

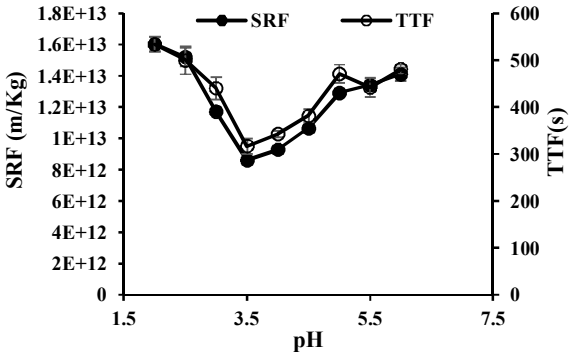

Fig. 5. Specific resistance variations in acidic pH at optimal doses

شکل۵- تغییرات مقاومت ویژه لجن در pH اسیدی در دوز بهینه

۳-۵- مدل‌های پیشنهادی

با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه و چندجمله‌ای درجه دوم، پاسخ‌های CST و SRF با شرایط عملیاتی دز ماده منعقد کننده بر حسب میلی‌لیتر در لیتر، سرعت اختلاط سریع و آرام بر حسب دور در دقیقه و مدت‌زمان اختلاط دور سریع و آرام به‌ترتیب بر حسب ثانیه و دقیقه مقایسه شد. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که مدل درجه دوم، بهترین نتایج را دارد. مقدار R^2 برای CST و SRF به‌ترتیب ۰/۹۸۵۹ و ۰/۹۸۰۴ نشان داد که پیش‌بینی داده‌های تجربی رضایت‌بخش بوده است. مدل رگرسیون درجه دوم برای SRF و CST لجن فرآوری شده به‌ترتیب با معادله (۲) و (۳) نشان داده شده است.

$$\begin{aligned}SRF\,(m/kg) = {} & 9.854E+012 - 1.32781E+012 \times A - 8.16237E+011 \times B - 9.5887E+011 \times C + 5.97161E \\ & +011 \times D - 3.1602E+011 \times E - 6.48927E+010 \times AB - 7.88108E+010 \times AC + 4.59768E+010 \times AD \\ & -4.62436E+009 \times AE - 4.59805E+010 \times BC + 2.7713E+010 \times BD - 6.81432E+009 \times BE + 3.354E \\ & +010 \times CD - 9.74602E+008 \times CE + 6.13664E+009 \times DE + 1.20815E+011 \times A^2 + 1.22016E+011 \times B^2 \\ & +1.2317E+011 \times C^2 + 2.64057E+010 \times D^2 + 3.8772E+011 \times E^2\end{aligned} \quad (۲)$$

dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.132602.2687

$$CST\ (s) = 35.1 - 1.38558 \times A - 0.969419 \times B - 1.03942 \times C + 0.938227 \times D - 0.214844 \times E - 0.0835938 \times AB - 0.0835938 \times AC + 0.0914062 \times AD - 0.0180233 \times AE - 0.0726563 \times BC + 0.0523437 \times BD - 0.0132267 \times BE + 0.0648437 \times CD - 0.0132267 \times CE + 0.0117733 \times DE - 9.587\ E-016 \times A^2 - 8.45991\ E-017 \times B^2 - 9.86989\ E-017 \times C^2 + 0.0347656 \times D^2 + 0.267578 \times E^2 \quad (۳)$$

۳-۶- تأثیر شرایط عملیاتی

طرح کانتور در شکل ۶ نشان‌دهنده اثر سرعت و اختلاط بر CST لجن فرآوری شده با محلول آب نمک مورینگا پرگرینا است. مشخص است که در دور آرام، با افزایش سرعت اختلاط تا ۵۰ دور در دقیقه و کاهش مدت‌زمان اختلاط تا ۳ دقیقه، مقدار CST کاهش می‌یابد. کاهش CST نشانه بهبود نفوذپذیری لجن و جدا شدن سریع‌تر آب از ذرات لجن است. شکل ۷ تأثیر سرعت و طول مدت اختلاط را در SRF در طرح کنتور نشان می‌دهد. این طرح نشان می‌دهد که در دور آرام، سرعت اختلاط تا ۵۰ دور در دقیقه و کاهش مدت‌زمان اختلاط تا ۳ دقیقه مقدار SRF لجن فرآوری شده را کاهش می‌دهد. همچنین در اختلاط سریع، سرعت و زمان اختلاط بیشتر، منجر به کاهش در مقدار CST و SRF شده است.

مشاهده شد که مقدار کمتر SRF در فراوری لجن مطابق شکل‌های ۸ و ۹ با مقدار ۶۸ تا ۷۶ میلی‌لیتر در لیتر از محلول آب نمک مورینگا پرگرینا حاصل می‌شود. شرایط عملیاتی بهینه با یافته‌های انجام شده توسط تات و همکاران و عبدالعزیز و همکاران مطابقت دارد (Tat et al., 2010, Abdulazeez et al., 2015). هسته‌های دانه مورینگا حاوی مقدار قابل‌توجهی از پروتئین‌های محلول در آب با وزن مولکولی کم است که دارای بار الکتریکی مثبت هستند. هنگامی‌که دانه‌های خردشده به آب اضافه می‌شوند، پروتئین‌ها باعث افزایش بار مثبت و جذب ذرات باردار که به‌طور عمده منفی هستند، می‌شود. لخته شدن هنگامی اتفاق می‌افتد که پروتئین‌ها به مولکول‌های دارای بار منفی متصل می‌شوند و ضمن خنثی‌سازی بار، باعث تجمع ذرات می‌شوند (Schwarz, 2001).

پژوهش انجام شده توسط لانگر و کلوت نشان داد که رفتار لخته‌های لجن حاصل از فرایند فراوری، کمتر به اختلاط سریع حساس است و سرعت اختلاط، تنها در مقدار دزهای کم از پلیمر اهمیت دارد و اختلاط سریع زمانی مهم است که ذرات لجن و پلیمر قوی‌تر باشد (Langer and Klute, 1993).

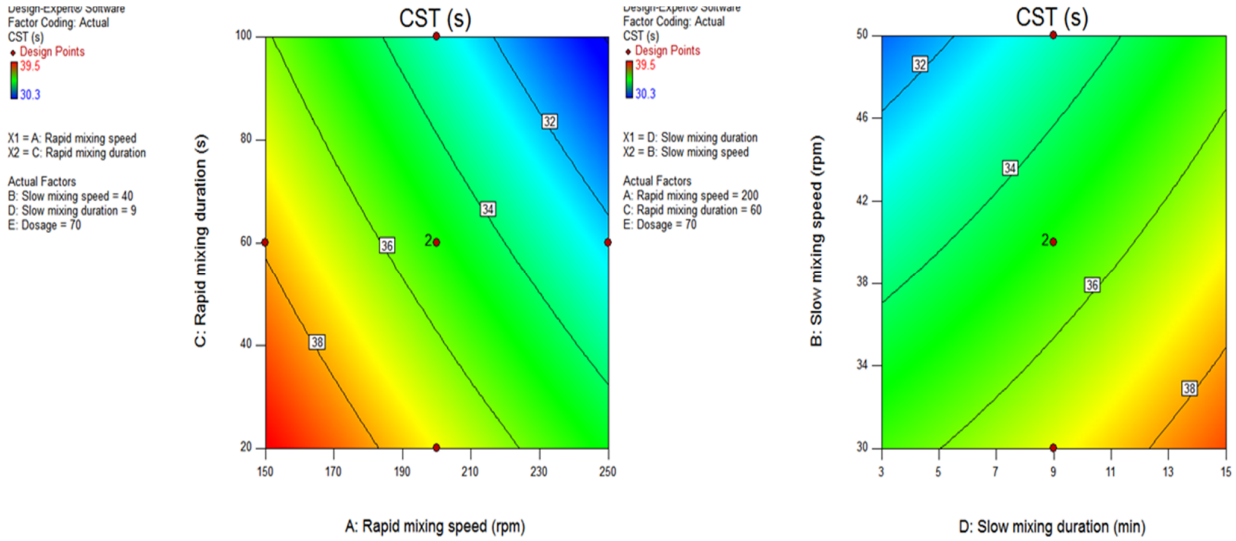

Fig. 6. Specific resistance variations in acidic pH at optimal doses

شکل ۶- اثر سرعت و مدت زمان اختلاط در CST طرح کانتور

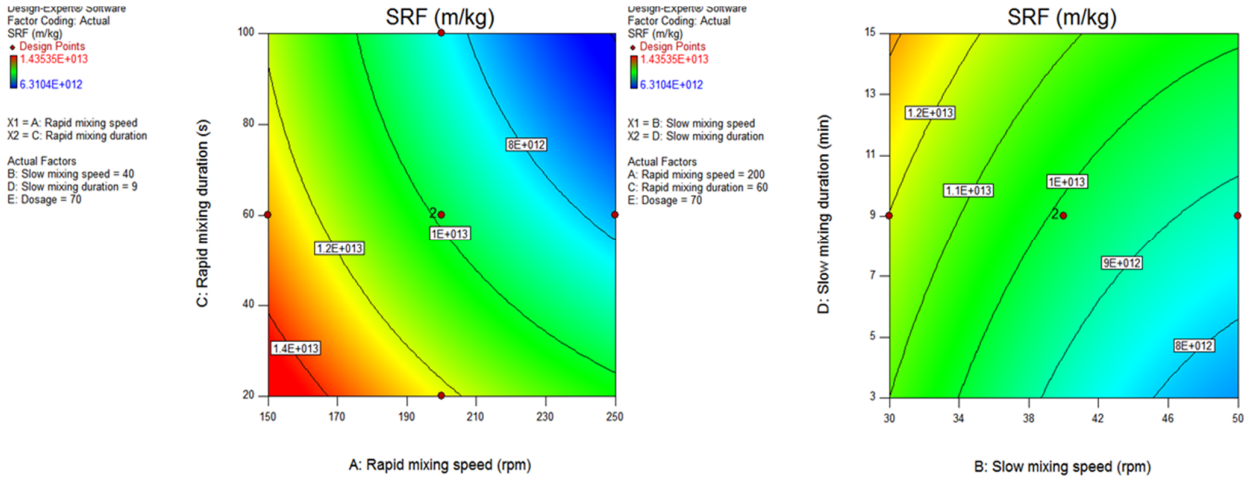

Fig. 7. Effect of mixing speed and duration on CST contour plot

شکل ۷- اثر سرعت و مدت زمان اختلاط در SRF طرح کانتور

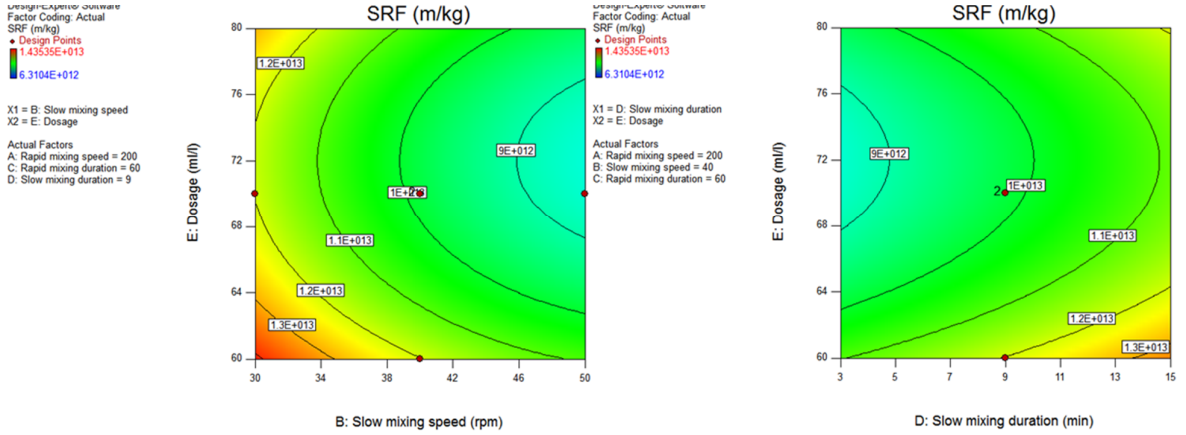

Fig. 8. Effect of mixing speed and duration in slow rotating on SRF contour plot

شکل ۸- اثر میزان دز MP در برابر سرعت و مدت زمان اختلاط در دور آرام بر SRF طرح کانتور

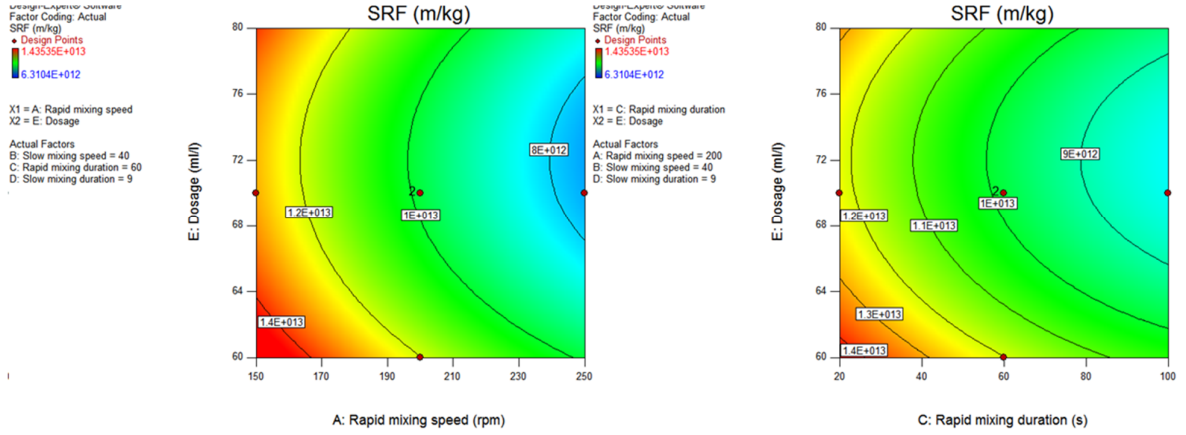

Fig. 9. Effect of mixing speed and duration in rapid rotating on SRF contour plot

شکل ۹- اثر میزان دز MP در برابر سرعت و مدت زمان اختلاط در دور سریع بر SRF طرح کانتور

dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.132602.2687

جدول ۳- بهینه‌سازی نتایج

Table 3. Optimized solutions.

Number	Rapid mixing	Slow mixing	Rapid mixing	Slow mixing	Dosage	50cc	70cc	TTF	SRF	CST	Desirability
1	250.000	50.000	100.000	14.997	68.664	58.584	114.879	204.944	619676519382	30.294	1.000
2	250.000	50.000	99.960	15.000	68.750	56.540	114.772	209.734	618996469659	30.291	1.000
3	249.997	49.999	99.961	15.000	70.544	55.524	112.641	205.554	605258291224	30.177	1.000
4	249.935	50.000	100.000	15.000	70.855	55.431	112.478	205.217	604019324769	30.166	1.000
5	249.999	50.000	100.000	14.991	68.965	56.341	114.349	208.915	616410607139	30.267	1.000
6	249.905	50.000	100.000	15.000	75.496	56.360	116.087	211.742	619364053342	30.223	1.000

آزمایش‌ها با پلیمر کاتیونی ضعیف (۲۵ درصد فعالیت کاتیونی و حداقل ۵ میلیون وزن مولکولی) در لجن دارای حساسیت کم به اختلاط زیاد با سرعت اختلاط ۵۰۰ دور در دقیقه در مقایسه با پلیمر مایع کاتیونی قوی (۴۵ درصد فعالیت کاتیون و ۵ میلیون وزن مولکولی) انجام شد.

به‌عبارت دیگر، زمانی که از پلیمر به‌عنوان منعقدکننده استفاده می‌شود، زنجیره بلند و شاخه‌های جانبی زیاد و نیز گاهی باردار بودن آن‌ها، باعث ایجاد پل بین ذرات شده و منجر به ایجاد ذرات بزرگ‌تر و بهبود آبگیری از لجن می‌شود، اما در دزهای کمتر پلیمر مورد استفاده، با افزایش اختلاط، پل بین ذرات شکسته شده و با پایداری مجدد ذرات، خواص آبگیری کاهش می‌یابد.

پژوهش‌ها نشان می‌دهند، که عامل فعال در انعقاد با مورینگا، پروتئین‌های کاتیونی دیمیریک محلول در آب kDa ۱۳ با واحدهای منومر[1] حدود kDa ۶/۵ است (Ndabigengesere et al., 1995).

پتانسیل زتا در یک محلول ۵ درصد از دانه مورینگا، mV ۶+ است. مورینگا دارای توده کاتیونی و چگالی بار اندک، با مکانیسم ایجاد پل بین ذرات با ساختار انعطاف‌پذیر و خواص فیلتراسیون ضعیف است (Eriksson and Alm, 1993).

این توضیح، به‌خوبی با لجن مطابق با مورینگا پرگرینا برای به‌دست آوردن بهره‌وری بیشتر فراوری لجن، سازگار است.

[1] Monomer

۳-۷- بهینه‌سازی

با استفاده از نرم‌افزار Design Expert، بهینه‌سازی عددی انجام شد. مقدار کمینه CST و SRF به‌عنوان معیار برای مقدار شرایط عملیاتی بهینه انتخاب شد. نتایج بهینه‌سازی در جدول ۳ خلاصه شده است. مدت زمان اختلاط و سرعت اختلاط در دور آرام و سریع در شرایط بهینه به‌دست آمده محدود شدند. نتایج با شاخص قابلیت اطمینان ۱/۰۰۰ در بهینه‌سازی انتخاب شدند، بنابراین تحت شرایط عملیاتی بهینه، کمترین مقدار CST و SRF به ترتیب ۳۰/۲۲۵ ثانیه و $۶/۱۹\times۱۰^{۱۲}$ متر بر کیلوگرم، توسط دز ۶۸/۶۶۴ میلی‌لیتر در لیتر از محلول مورینگا پرگرینا به‌دست آمد.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی مورینگا پرگرینا در فرم محلول در آب نمک، اثر بخشی آن را در کاهش مقدار CST و SRF نشان می‌دهد. پس از بهینه‌سازی سه عامل مهم، یعنی سرعت اختلاط، مدت‌زمان اختلاط و مقدار دز مورینگا پرگرینا با استفاده از طراحی آزمایش، مقدار بهینه برای شرایط عملیاتی با روش‌های طراحی سطح پاسخ به دست آمد. کمترین مقدار CST و SRF به‌ترتیب ۳۰/۲۹۴ ثانیه و $۶/۱۹\times۱۰^{۱۲}$m/kg در شرایط عملیاتی مطلوب به‌دست آمد. با توجه به مقدار سرعت اختلاط در دور آرام و سریع به‌ترتیب ۵۰ و ۲۵۰ دور در دقیقه، مدت‌زمان اختلاط در دور آرام و سریع به‌ترتیب ۳ دقیقه و ۱۰۰ ثانیه، مقدار دز بهینه ۶۸/۶۶۴ میلی‌لیتر در لیتر معادل ۵۰۴۰ میلی‌گرم در لیتر مورینگا پرگرینا در pH برابر با

۳/۵، شاخص قابلیت اطمینان ۱/۰۰۰ پس از بهینه‌سازی حاصل شد.

بنابراین با توجه به مقدار اولیه مقاومت ویژه لجن m/kg $۲/۵۹\times۱۰^{۱۳}$ و زمان موکش مویین ۵۱ ثانیه، تحت شرایط عملیاتی بهینه، حدود ۷۶ درصد مقاومت ویژه لجن و ۴۱ درصد زمان موکش مویین کاهش می‌یابد. در این پژوهش دما مطابق دمای محیط آزمایش بود و اثر انجماد بر نمونه‌ها مورد بررسی قرار نگرفت. همچنین از اثر تغلیظ ثقلی بر خواص آبگیری لجن چشم‌پوشی شد. با توجه به آنالیز TS و VS مورینگا پرگرینا، ۷۳/۴ درصد از مواد جامد خشک لجن، مواد آلی است. در طی فراوری لجن، بخشی از این مواد به‌صورت محلول وارد زهاب انعقاد می‌شود. مواد آلی محلول موجود در زهاب لجن مطابق مواد محلول حالت دهنده آب نمک مورینگا پرگرینا است. طبق پژوهش انجام شده، درصد زیادی از این مواد آلی شامل پروتئین و کربوهیدرات است.

۵- قدردانی

از آقای مهندس حمیدرضا مسیحی به جهت مشاوره و پشتیبانی ایشان در انجام پژوهش، قدردانی می‌شود.

References

Abdulazeez, Q. M., Jami, M. S. & Alam, M. Z. 2016. Effective sludge dewatering using moringa oleifera seed extract combined with aluminium sulfate. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11 (1), 372-381.

Abdulazeez, Q. M., Jami, M. S., Alam, M. Z. & Iwata, M. 2015. Analysis of the efficiency of sludge dewatering using Moringa oleifera as natural phytocoagulant. *International Journal of Research in Chemical, Metallurgical and Civil Engineers,* 2 (2), 111-117.

Ademiluyi, J. 1988. Sludge conditioning with Moringa seed. *Environment International,* 14, 59-63.

APHA. WEF. 1999. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, *20th Ed., APHA Publication, Washington DC.*

Banejad, H., Yazdani, V., Rahmani, A., Mohajerani, S. & Oliai, E. 2011. Evaluate performance of Moringa peregrina powder grains in domestic wastewater treatment. *Journal of Water and Wastewater*, 23(1), 84-92. (In Persian)

Bazrafshan, E., Faridi, H., Mostafapour, F. K. & Mahvi, A. H. 2013a. Removal of arsenic from aqueous environments using Moringa peregrina seed extract as a natural coagulant. *Asian Journal of Chemistry,* 25 (7), 3557-3561.

Bazrafshan, E., Kordmostafapour, F., Faridi, H. & Barikbin, B. 2013b. Application of Moringa peregrina seed extract as a natural coagulant for phenol removal from aqueous solution. *Journal of Birjand University of Medical Sciences,* 19, 389-398. (In Persian)

Bhatia, S., Othman, Z. & Ahmad, A. L. 2007. Coagulation–flocculation process for POME treatment using Moringa oleifera seeds extract: optimization studies. *Chemical Engineering Journal,* 133, 205-212.

Eaton, A., Clesceri, L., Rice, E. & Greenberg, A. 2005. Total Organic Carbon (TOC). *A, B, C & D." Standard methods for the examination of water & Wastewater, 21st Centennial Ed.,* American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF), Washington, *DC*, 4-130.

Eriksson, L. & Alm, B. 1993. Characterization of activated sludge and conditioning with cationic polyelectrolytes. *Water Science and Technology,* 28, 203-212.

Ghafari, S., Aziz, H. A., Isa, M. H. & Zinatizadeh, A. A. 2009. Application of response surface methodology (RSM) to optimize coagulation–flocculation treatment of leachate using poly-aluminum chloride (PAC) and alum. *Journal of Hazardous Materials,* 163, 650-656.

Ghebremichael, K. A. & Hultman, B. 2004. Alum sludge dewatering using moringa oleifera as a conditioner. *Water, Air, and Soil Pollution,* 158, 153-167.

Graveland, A., Heijman, S. & Koppers, H. 1994. Treatment and disposal of waterworks sludge: integral approach of WT-residuals. *Water Supply,* 12, (1/2).

Higgins, M. J. & Novak, J. T. 1997. The effect of cations on the settling and dewatering of activated sludges: laboratory results. *Water Environment Research,* 69**,** 215-224.

Hodge, V. E. & Irish Jr, L. B. 1998. Sludge's re-treat. *Civil Engineering,* 68 (11)**,** 56-58.

Jahn, S. A. A. 1988. Using Moringa seeds as coagulants in developing countries. *Journal-American Water Works Association,* 80**,** 43-50.

Kaggwa, R. C., Mulalelo, C. I., Denny, P. & Okurut, T. O. 2001. The impact of alum discharges on a natural tropical wetland in uganda. *Water Research,* 35**,** 795-807.

Kawamura, S. 1996. Optimization of basic water-treatment processes design and operation: coagulation and flocculation. *Journal of Water Supply: Research and Technology,* 45**,** 35-47.

Langer, S. & Klute, R. 1993. Rapid mixing in sludge conditioning with polymers. *Water Science and Technology,* 28**,** 233-242.

Langer, S. J., Klute, R. & Hahn, H. H. 1994. Mechanisms of floc formation in sludge conditioning with polymers. *Water Science and Technology,* 30**,** 129-138.

Muyibi, S. A., Noor, M. J. M. M., Ong, D. T. & Kai, K. W. 2001. Moringa oleifera seeds as a flocculant in waste sludge treatment. *International Journal of Environmental Studies,* 58**,** 185-195.

Ndabigengesere, A., Narasiah, K. S. & Talbot, B. G. 1995. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera. *Water Research,* 29**,** 703-710.

Novak, J. T. & Langford, M. 1977. The use of polymers for improving chemical sludge dewatering on sand beds. *Journal-American Water Works Association,* 69**,** 106-110.

Okuda, T., Baes, A. U., Nishijima, W. & Okada, M. 1999. Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringa oleifera seed. *Water Research,* 33**,** 3373-3378.

Özacar, M. 2000. Effectiveness of tannins obtained from valonia as a coagulant aid for dewatering of sludge. *Water Research,* 34**,** 1407-1412.

Schwarz, D. 2001. *Water clarification using Moringa olifera*, Gate Information Service, Eschborn, Germany.

Sobeck, D. C. & Higgins, M. J. 2002. Examination of three theories for mechanisms of cation-induced bioflocculation. *Water Research,* 36**,** 527-538.

Tarverdizadeh, E., Torabian, A., Mehrdadi, N. & Azimi, A. 2011. Effects of hydrostatic suction and chemical conditioning on upgrading the sludge drying beds' performance. *Journal of Environmental Studies (JES),* 37**,** 1-8. (In Persian)

Tat, W. K., Idris, A., Noor, M. J. M. M., Mohamed, T. A., Ghazali, A. H. & Muyibi, S. A. 2010. Optimization study on sewage sludge conditioning using Moringa oleifera seeds. *Desalination and Water Treatment,* 16**,** 402-410.

Wai, K. T., Idris, A., Johari, M. M. N. M., Mohammad, T. A., Ghazali, A. H. & Muyibi, S. A. 2009. Evaluation on different forms of Moringa oleifera seeds dosing on sewage sludge conditioning. *Desalination and Water Treatment,* 10**,** 87-94.