

# بررسی تأثیر شدت و روند اختلاط، بر کارایی فرایند انعقاد و لخته‌سازی و ارتقاء پساب تصفیه‌خانه SBR فاضلاب شهر یزد

علی نیکونهاد<sup>۱</sup>، محمدحسن احرامپوش<sup>۲</sup>، محمد تقی قانعیان<sup>۳</sup>، عبدالمجید قلیزاده<sup>۴</sup>، سید وحید غلمانی<sup>۵</sup>

- ۱- دانشجوی دکترای مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
- ۲- استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
- ۳- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم و فناوری محیط زیست، دانشگاه، علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران  
(نویسنده مسئول) ۰۹۱۳۳۵۶۲۵۴۷@mtghaneian@yahoo.com
- ۴- دانشجوی دکترای مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
- ۵- مدیر تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب، شهر یزد

(دریافت ۹۴/۸/۸ پذیرش ۹۴/۱۱/۲۱)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام شود:

Nikoonahad, A., Ehrampoush, M.H., Ghaneian, M.T., Gholizadeh, A. & Ghelmani, S., 2017, "Effects of intensity and mixing speed on the efficiency of coagulation and flocculation processes and improving effluent quality from Yazd SBR wastewater treatment Plant", *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 28 No. 2 (108), 29-36. (In Persian)

## چکیده

ارتقاء کیفیت پساب‌های خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به روش انعقاد و لخته‌سازی می‌تواند روشی مناسب برای بهبود کیفیت پساب و دستیابی به استانداردهای بالاتر برای استفاده مجدد باشد. در این تحقیق با استفاده از ماده منعقد کننده PAC، تأثیر شدت اختلاط در مرحله اختلاط تند و کند و مقایسه سرعت اختلاط ثابت با سرعت کاهشی، در مرحله لخته‌سازی برای بهبود کارایی فرایند انعقاد و لخته‌سازی در تصفیه پیشرفته پساب خروجی از تصفیه‌خانه SBR یزد مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور، از دستگاه جارتست به‌عنوان یک سیستم پایلوت منقطع استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد از میان سه سرعت همزن برای اختلاط تند ( $150$  و  $200$  rpm) و  $100$  rpm، راندمان حذف کدورت، BOD، COD و TSS در سرعت اختلاط تند  $150$  rpm بیشتر از سایر سرعت‌ها بود. مقایسه سرعت‌های ثابت همزن در مرحله اختلاط دور کند  $40$  rpm،  $30$  و  $20$  با سرعت اختلاط کاهشی دور کند ( $10$  rpm تا  $40$  rpm) نشان داد راندمان حذف کدورت، BOD، COD و TSS در حالت سرعت اختلاط کاهشی بالاتر از هر سه حالت سرعت ثابت دور کند است. کمترین حجم لجن تولیدی در میان حالت‌های سرعت ثابت اختلاط کند، مقدار  $34$  میلی‌لیتر بر لیتر و مربوط به سرعت اختلاط  $30$  rpm بود. مادامی که از لخته‌سازی کاهشی استفاده شد، وضعیت تولید لجن بهبود یافته و میزان این پارامتر به اعداد  $26$  میلی‌لیتر بر لیتر تغییر یافت.

**واژه‌های کلیدی:** انعقاد و لخته‌سازی، سرعت اختلاط کاهشی، تصفیه پیشرفته پساب، یزد

## ۱- مقدمه

یکی از راه‌های ارتقاء کیفیت پساب‌های خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، کاربرد فرایند انعقاد و لخته‌سازی است که می‌تواند در کنار سایر روش‌ها برای بهبود کیفیت پساب استفاده شود. دستیابی به استانداردهای بالاتر برای استفاده مجدد، تنوع ترکیبات، روابط پیچیده بین ترکیبات فاضلاب و مواد منعقد کننده، شرایط متفاوت محیطی، روش به کار رفته در مرحله تصفیه بیولوژیکی، مقدار و نوع مواد منعقد کننده، همواره شرایط بسیار پیچیده‌ای ایجاد می‌کنند. لذا باید از روش‌های مبتنی بر آزمایش و تحقیقات برای قضاوت درست در مورد کارایی فرایند انعقاد و لخته‌سازی برای تصفیه

پیشرفته فاضلاب‌ها استفاده شود (Stechemesser & Dobias 2005; Chon et al. 2003). عامل اصلی حذف بار کلوئیدها، یون‌های فلزی نیستند، بلکه محصولات حاصل از هیدرولیز آنها موجب ایجاد شرایط مناسب برای انعقاد و لخته‌سازی می‌شود (Gao et al. 2003; Ramphal & Sibiy 2014).

فرایند انعقاد و لخته‌سازی می‌تواند تغییرات مثبتی در کیفیت پساب فاضلاب‌ها ایجاد نماید اما بیشترین تأثیر این فرایند بر روی حذف COD، TSS و کدورت است (Aziz et al. 2007; Ayguna & Yilmazb 2010). ارتقاء کیفیت پساب باعث می‌شود بتوان از فاضلاب‌های بازیافتی در بخش‌های مختلف مانند صنعت، تفریحی

## ۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق، از دستگاه جارتست به همراه ته‌نشینی به‌عنوان یک سیستم پایلوت منقطع برای تعیین دز ماده منعقد کننده و سرعت‌های بهینه تند و کند برای عمل انعقاد و لخته‌سازی و ته‌نشینی استفاده شد. ماده منعقد کننده PAC با خلوص  $98 \pm 2\%$  درصد محصول شرکت مرک<sup>۱</sup> به‌عنوان ماده منعقد کننده مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق عملکرد فرایند انعقاد و لخته‌سازی و ته‌نشینی قبل و بعد از انجام هر مرحله با پارامترهای کیفی  $BOD_5$ ، TSS، COD و کدورت مورد ارزیابی قرار می‌گرفت. پس از سه بار عملیات جارتست اولیه بر روی پساب خروجی از تصفیه‌خانه SBR یزد، دزهای ۵، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵، ۵۵ میلی‌گرم در لیتر از ماده منعقد کننده PAC و مدت ته‌نشینی ۱۰ دقیقه به‌عنوان حالت‌های بهینه برای غلظت و مدت ته‌نشینی انتخاب شدند و در مراحل بعدی این اعداد ثابت بودند. هر چند هدف اصلی این تحقیق بررسی عملکرد سرعت کاهشی همزن‌ها در دور کند و مقایسه آن با سرعت‌های ثابت بود، اما به‌منظور تعیین سرعت بهینه همزن در مرحله اختلاط تند، با ثابت نگه داشتن غلظت‌های ذکر شده (۵-۵۵ mg/L)، سرعت کند  $25\text{rpm}$  و زمان ته‌نشینی ۱۰ دقیقه، در یک کار جداگانه تأثیر دور تند در سه سرعت ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ دور در دقیقه نیز مورد بررسی قرار گرفت. در این مرحله برای بررسی تأثیر سرعت‌های مختلف همزن در مرحله اختلاط تند پس از هر مرحله انعقاد و لخته‌سازی و ته‌نشینی میزان راندمان حذف چهار آلاینده کدورت، رنگ، COD و TSS مورد بررسی قرار گرفت. پس از تعیین سرعت بهینه همزن در مرحله اختلاط تند، در مرحله بعد، عملکرد سرعت‌های مختلف همزن در مرحله اختلاط کند در سرعت‌های ثابت  $30$ ،  $40$ ،  $rpm$  با سرعت کاهشی همزن‌ها در اختلاط کند ( $10-40\text{rpm}$ ) مورد مقایسه قرار گرفت. برای ایجاد سرعت کاهشی اختلاط کند، سرعت اولیه  $40\text{rpm}$  در نظر گرفته شد و سپس به ازای هر  $2/5$  دقیقه،  $10\text{rpm}$  از سرعت همزن کاسته شد. آزمایش‌ها به صورت سه بار تکرار انجام شد و از میانگین راندمان حذف چهار پارامتر کدورت، COD، TSS و  $BOD_5$ ، برای بررسی تأثیر سرعت‌های مختلف اختلاط کند و مقایسه آنها با سرعت کاهشی همزن‌ها استفاده شد. در ادامه برای دز بهینه  $45$  میلی‌گرم در لیتر ماده منعقد کننده PAC، به‌وسیله استوانه‌های مدرج حجم لجن تولیدی مربوط به سرعت‌های مختلف کند، پس از  $10$  دقیقه ته‌نشینی اندازه‌گیری شد. حجم لجن تولیدی ناشی از لخته‌سازی با سرعت‌های مختلف با حجم لجن تولیدی لخته‌سازی سرعت ثابت  $20\text{rpm}$  که در میان سه حالت

و کشاورزی استفاده نمود (Lopez-Maldonado et al. 2014). نتایج تحقیقی که بر روی پساب حاصل از تصفیه بیولوژیکی توسط Vaananen et al. در سال ۲۰۱۴ انجام شد، نشان داد که روش انعقاد و لخته‌سازی به همراه ضد عفونی به‌وسیله کلر می‌تواند میزان TSS، COD، کدورت و کل کلیفرم فاضلاب رابه ترتیب  $64\%$  درصد،  $39\%$  درصد،  $85\%$  درصد و  $5\text{-log}$  کاهش دهد. تحقیق انجام شده توسط Guida et al. در سال ۲۰۰۷ بر روی پساب حاصل از تصفیه بیولوژیکی در پنج تصفیه‌خانه مختلف نشان داد که راندمان حذف آلاینده‌ها همیشه یکسان نیست بلکه وابسته به ترکیبات فاضلاب ورودی است. در بعضی موارد مقدار حذف به گونه‌ای است که مقدار COD و TSS به مقدار  $55$  تا  $85\%$  درصد حذف می‌شوند و در مواردی نیز حتی در دزهای بالای ماده منعقد کننده نمی‌توان میزان COD را به‌مقدار مناسب حذف نمود. در یک تحقیق برای تصفیه پساب به روش انعقاد، لخته‌سازی و ته‌نشینی با سولفات آلومینیوم، سولفات فرو، سولفات فریک، ترکیب سولفات فرو و سولفات فریک و ترکیب آهک و سولفات فرو به روش جارتست نشان داده شد که از میان این مواد، آلوم به مقدار  $60$  میلی‌گرم در لیتر بهترین حالت را برای عمل انعقاد و لخته‌سازی ایجاد می‌کند (Ismail et al. 2012). ماده منعقد کننده PAC در دزهای بهینه بیشترین کارایی را در حذف کدورت و رنگ در آب و فاضلاب دارد. از طرفی این منعقد کننده کمترین اثر را بر کاهش قلیائیت و pH آب داشته و لذا در مناطقی که آب‌های سطحی دارای قلیائیت طبیعی پایین هستند، بدون نیاز به افزایش مواد ایجاد کننده قلیائیت، کارایی بالایی در حذف کدورت خواهد داشت (Ozkan & Yekeler 2004; Ustun et al. 2011). با توجه به تأثیر اندک قلیائیت بر کارایی این منعقد کننده به احتمال زیاد مکانیسم حذف ذرات کلوییدی به‌روش جذب سطحی و خنثی‌سازی بار خواهد بود (Aghapour & Mohammadi 2011). در کتاب متکف چاپ سال ۲۰۱۴ به‌طور مختصر به لخته‌سازی کاهشی اشاره شده است ولی در زمینه چگونگی کارایی آن در انواع مختلف مواد منعقد کننده، شدت اختلاط و چگونگی روند اختلاط کاهشی در فاضلاب و پساب‌های مختلف مطلبی ذکر نشده است. در تحقیق حاضر از ماده منعقد کننده PAC برای بررسی تأثیر سرعت همزن در مرحله اختلاط تند و مقایسه سرعت ثابت و کاهشی در مرحله لخته‌سازی برای بهبود کارایی فرایند انعقاد و لخته‌سازی به روش جارتست برای تصفیه پیشرفته پساب تصفیه خانه SBR یزد استفاده شد.

<sup>1</sup> Merck

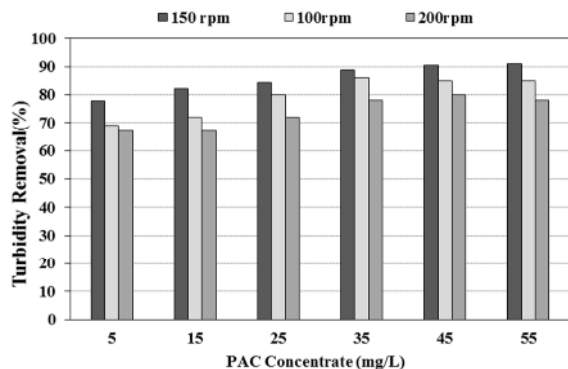


Fig. 1. Effects of fast mixing speed and PAC concentration on turbidity removal

شکل ۱- تأثیر سرعت اختلاط تند و غلظت PAC بر حذف کدورت

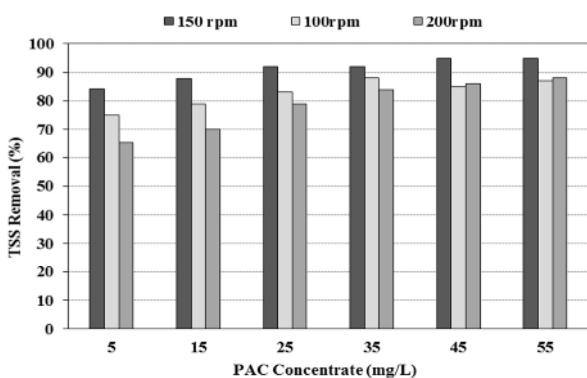


Fig. 2. Effects of fast mixing speed and PAC concentration on TSS removal

شکل ۲- تأثیر سرعت اختلاط تند و غلظت PAC بر حذف TSS

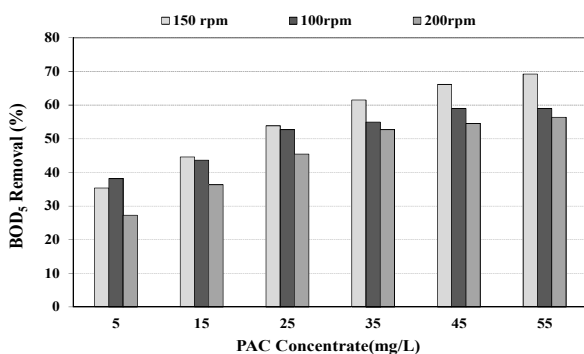


Fig. 3. Effects of fast mixing speed and PAC concentration on BOD removal

شکل ۳- تأثیر سرعت اختلاط تند و غلظت PAC بر حذف BOD

سرعت ثابت بیشترین حجم لجن تولیدی را داشت مقایسه شد. در این مطالعه برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل برای تعیین مقدار همبستگی بین پارامترهای مورد ارزیابی و دز مصرفی ماده منعقدکننده از نرم افزار SPSS استفاده شد.

مطالعات انجام شده نشان می دهد ماده منعقد کننده PAC نسبت به سایر مواد منعقد کننده حساسیت کمتری به تغییرات pH دارد ولی بهترین راندمان حذف آلاینده ها به وسیله این ماده منعقد کننده در pH برابر ۷/۵-۶ بود (Matilainen et al. 2010). pH پساب به کار رفته در این تحقیق در محدوده ۶/۵۸-۶/۵۲ و دما ۱۸-۱۵ درجه سلسیوس بود.

### ۳- نتایج و بحث

تأثیر سرعت های مختلف همزن در دور تند (۲۰۰ rpm، ۱۵۰ rpm) در حذف کدورت، BOD، COD و TSS در شکل های ۱ تا ۴ ارائه شده است. در این مرحله از مطالعه، سرعت اختلاط کند rpm ۲۵ و زمان ته نشینی ۱۰ دقیقه بود. شکل ۱ نشان می دهد در تمام غلظت های ماده منعقد کننده PAC (۵-۵۵ mg/L) راندمان حذف کدورت در سرعت اختلاط ۱۵۰ rpm بیشتر از rpm ۱۰۰ و rpm ۲۰۰ می باشد. همچنین علی رغم اینکه در هر سه سرعت اختلاط، با افزایش ماده منعقد کننده راندمان حذف کدورت بهتر می شود اما در غلظت های پایین PAC، راندمان حذف در سرعت rpm ۱۵۰ نسبت به سرعت ۲۰۰ و ۱۰۰ بهتر است. با توجه به شکل ۲، بیشترین راندمان حذف TSS نیز مربوط به سرعت اختلاط rpm ۱۵۰ بود و در درجات بعدی به ترتیب بیشترین راندمان حذف در سرعت های ۱۰۰ و rpm ۲۰۰ مشاهده شد. در سرعت اختلاط rpm ۱۵۰ و غلظت ۳۵ میلی گرم در لیتر حدود ۹۰ درصد TSS حذف می شود اما در این سرعت با افزایش بیشتر ماده منعقد کننده در راندمان حذف TSS تغییر چندانی دیده نمی شود. شکل های ۳ و ۴ نشان می دهند بجز در غلظت ۵ میلی گرم در لیتر از ماده منعقد کننده PAC، در بقیه غلظت ها همواره راندمان حذف BOD و COD در سرعت اختلاط تند rpm ۱۵۰، بالاتر از راندمان حذف سایر سرعت ها است. در سرعت اختلاط rpm ۱۵۰ راندمان حذف BOD و COD در بالاترین غلظت PAC، ۷۰ درصد بوده است. به طور کلی ارزیابی تغییرات غلظت PAC در این مرحله نشان می دهد که هر چند با افزایش غلظت از ۵ به ۵۵ میلی گرم در لیتر کارایی این ماده منعقد کننده در حذف پارامترها کیفی بهبود می یابد اما افزایش بهبود در غلظت ۴۵ میلی گرم در لیتر تفاوت چندانی با غلظت ۵۵

(۱۰ rpm تا ۴۰ rpm) است. همچنین نتایج نشان می‌دهند در غلظت‌های پایین ۵ تا ۱۵ میلی‌گرم در لیتر ماده منعقدکننده PAC، تأثیر اختلاط کاهشی دور کند در حذف کدورت و TSS، نسبت به غلظت‌های بالای ماده منعقدکننده بیشتر است. در غلظت‌های پایین PAC، اختلاف راندمان حذف این دو پارامتر با سایر سرعت‌های ثابت بیش از ۲۰ درصد می‌رسد و در غلظت‌های بالا اختلاف به ۱۰ درصد کاهش می‌یابد. راندمان حذف کدورت و TSS در حالت اختلاط کند کاهشی با غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر از PAC، به ترتیب حدود ۴۵ و ۵۵ درصد است ولی با افزایش غلظت ماده منعقدکننده به ۴۵ و ۵۵ میلی‌گرم در لیتر راندمان حذف کدورت و TSS به ترتیب به حدود ۹۰ و ۹۶ درصد افزایش می‌یابد. تحقیقات نشان می‌دهد راندمان حذف TSS و کدورت توسط PAC نسبت به بیشتر مواد منعقدکننده به‌ویژه سولفات آلومینیم و کلرید فریک بهتر است. در این ماده منعقدکننده بهترین راندمان حذف کدورت و TSS در کدورت‌های ۱۰ تا ۸۰ NTU اتفاق می‌افتد. ضمن اینکه قدرت حذف این ماده منعقدکننده نسبت به سایر مواد منعقدکننده در حذف مواد آلی کربنه موجود در فاضلاب بهتر است (Kord Mostafapour et al. 2008). شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهند تقریباً در همه حالات به ویژه در حالت سرعت اختلاط کند کاهشی در غلظت ۴۵ میلی‌گرم در لیتر ماده منعقدکننده PAC شیب نمودارها در حذف کدورت و TSS به حالت افقی نزدیک می‌شود؛ بنابراین در این بررسی، غلظت ۴۵ میلی‌گرم در لیتر از این ماده منعقدکننده بهترین غلظت برای حذف کدورت و TSS در پساب خروجی از واحد SBR یزد است. شکل ۷

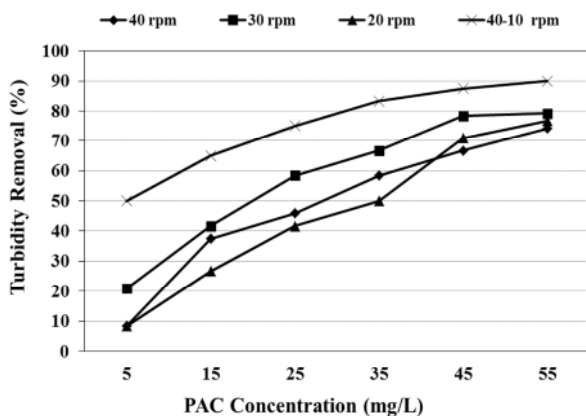


Fig. 5. Effects of constant and decreasing speeds of slow mixing on turbidity removal for different PAC concentrations

شکل ۵- تأثیر سرعت‌های ثابت و کاهشی اختلاط کند بر حذف کدورت، در غلظت‌های مختلف ماده منعقدکننده PAC

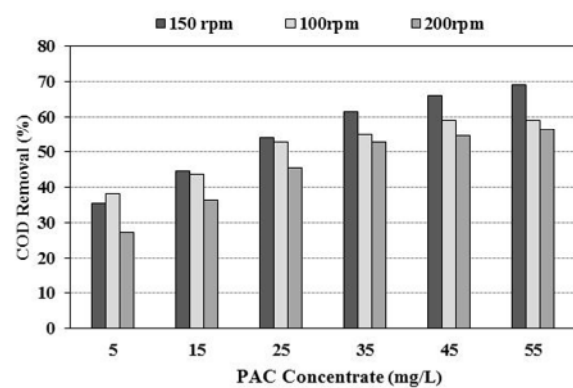


Fig. 4. Effects of fast mixing speed and PAC concentration on COD removal

شکل ۴- تأثیر سرعت اختلاط تند و غلظت PAC بر حذف COD

میلی‌گرم در لیتر ندارد. آنالیز آماری به روش مقایسه جفتی دانکن<sup>۱</sup> نشان می‌دهد با ضریب اطمینان ۹۵ درصد، بین سرعت اختلاط تند ۱۵۰ rpm با دو سرعت ۱۰۰ rpm و ۲۰۰ rpm در حذف کدورت، BOD، COD و TSS تفاوت آماری معنی‌دار وجود دارد. ضمن اینکه بررسی داده‌های تحقیق بیانگر این نکته است که راندمان حذف کدورت، BOD، COD و TSS در سرعت اختلاط تند ۱۵۰ rpm از سایر سرعت‌های اختلاط بیشتر است. لذا برای ادامه مطالعه، از سرعت اختلاط تند ۱۵۰ rpm برای بررسی تأثیر سرعت‌های مختلف دور کند در بهبود ارتقاء کیفیت پساب خروجی از تصفیه‌خانه SBR یزد استفاده شد. هر چند در بسیاری از مطالعات سرعت همزن در مرحله اختلاط تند در محدوده ۱۲۰-۱۰۰ rpm در نظر گرفته شده است با این حال بررسی نتایج ارائه شده توسط Ustun et al. در سال ۲۰۱۱ نشان می‌دهد شدت اختلاط تند در سیستم‌های تصفیه فاضلاب با توجه به غلظت و نوع آلاینده‌ها می‌تواند در محدوده ۱۸۰-۱۰۰ rpm باشد (Aguilar et al. 2003). آنالیز آماری به روش مقایسه جفتی دانکن نشان می‌دهد با ضریب اطمینان ۹۵ درصد، بین سرعت اختلاط کند کاهشی (۱۰ rpm تا ۴۰ rpm) با دو سرعت ثابت ۲۰ rpm، ۳۰ rpm و ۴۰ rpm در حذف کدورت، BOD، COD و TSS تفاوت آماری معنی‌دار وجود دارد. با توجه به داده‌های ارائه شده در شکل‌های ۵ و ۶، در همه غلظت‌های ماده منعقدکننده PAC، کمترین راندمان حذف کدورت و TSS در سرعت اختلاط کند ۲۰ rpm و ۴۰ rpm اتفاق افتاده است. سرعت اختلاط کند ۳۰ rpm راندمان بهتری را در حذف کدورت و TSS نشان می‌دهد اما به‌طور کلی بیشترین راندمان حذف هر دو آلاینده مربوط به سرعت اختلاط کند کاهشی

<sup>1</sup> Duncan

راندمان حذف  $BOD_5$  را در غلظت‌های مختلف ماده منعقد کننده و سرعت‌های مختلف اختلاط کند، همچنین سرعت اختلاط کاهشی نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که بیشترین راندمان حذف  $BOD_5$  مربوط به سرعت کاهشی بوده و در درجه بعدی بیشترین راندمان مربوط است به سرعت  $30\text{ rpm}$  است. در مقایسه با سایر سرعت‌های لخته‌سازی، در لخته‌سازی کاهشی، راندمان حذف  $BOD_5$  برای غلظت‌های  $35$  تا  $55$  میلی‌گرم در لیتر ماده منعقد کننده PAC بالاتر از غلظت‌های  $5$  تا  $25$  میلی‌گرم در لیتر است. نتایج در شکل ۷ نشان می‌دهد که اختلاف راندمان حذف  $BOD_5$  در سرعت اختلاط کاهشی با سایر سرعت‌های ثابت اختلاط کند، در غلظت  $5$  میلی‌گرم در لیتر از ماده منعقد کننده، حدود  $25\%$  درصد و در غلظت  $45$  و  $55$  میلی‌گرم در لیتر این اختلاف به حدود  $10\%$  درصد کاهش می‌یابد. راندمان حذف  $BOD_5$  برای دو غلظت  $5$  و  $45$  میلی‌گرم در لیتر در سرعت اختلاط کاهشی به ترتیب  $25\%$  و  $65\%$  درصد است. وضعیت راندمان حذف COD توسط ماده منعقد کننده PAC در سرعت‌های ثابت و سرعت اختلاط کاهشی در شکل ۸ دیده می‌شود. بیشترین راندمان حذف COD نیز مانند  $BOD_5$  به ترتیب مربوط به سرعت اختلاط کاهشی و سرعت‌های ثابت  $30\text{ rpm}$ ،  $40\text{ rpm}$  و  $20\text{ rpm}$  است. با افزایش ماده منعقد کننده، هم سرعت‌های ثابت و هم در سرعت اختلاط کاهشی، از غلظت  $35$  میلی‌گرم در لیتر به بعد، راندمان حذف COD افزایش زیادی نشان نمی‌دهد. هر چند در تمام غلظت‌های PAC، راندمان حذف COD در سرعت اختلاط کاهشی بالاتر از سرعت‌های ثابت بوده ولی به‌طور کلی این اختلاف زیاد قابل توجه نیست.

در جدول ۱ مقایسه مقدار کدورت،  $BOD_5$ ، COD، و TSS حاصل از خروجی انعقاد و لخته‌سازی در سرعت‌های کند ثابت و سرعت اختلاط کاهشی در غلظت بهینه  $45$  میلی‌گرم در لیتر ماده منعقد کننده PAC همراه با مقدار این پارامترها در خروجی SBR یزد دیده می‌شود. مقدار کدورت و TSS خروجی از واحد SBR به ترتیب  $12$  و  $28$  میلی‌گرم در لیتر است. هر چند مقدار هر دو پارامتر پس از انعقاد و لخته‌سازی در سرعت‌های ثابت لخته‌سازی دور کند، به نحو مطلوبی کاهش یافته، اما کمترین مقدار خروجی این دو پارامتر، مربوط به سرعت اختلاط کاهشی بوده و میزان آن به ترتیب  $1/2$  و  $1$  میلی‌گرم در لیتر است. مقدار  $BOD_5$  و COD خروجی از SBR یزد به ترتیب  $32$  و  $55$  میلی‌گرم در لیتر است؛ و پس از انعقاد و لخته‌سازی، کمترین مقدار این پارامترها مربوط به سرعت اختلاط کند کاهشی و به ترتیب  $15$  و  $20$  میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. نتایج این جدول نشان می‌دهد که برای تصفیه پیشرفته پساب، استفاده از سرعت اختلاط کند کاهشی به

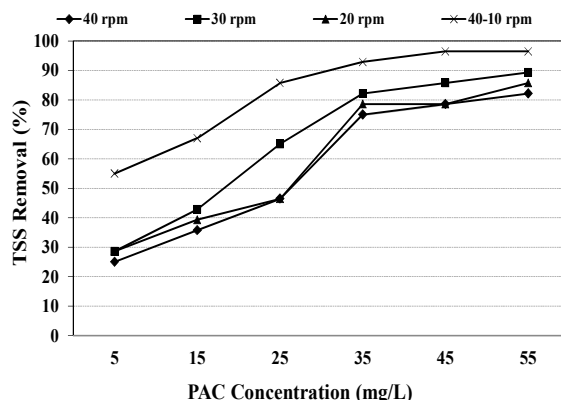


Fig. 6. Effects of constant and decreasing speeds of slow mixing on TSS removal at different PAC concentrations  
شکل ۶- تأثیر سرعت‌های ثابت و کاهشی اختلاط کند بر حذف TSS، در غلظت‌های مختلف ماده منعقد کننده PAC

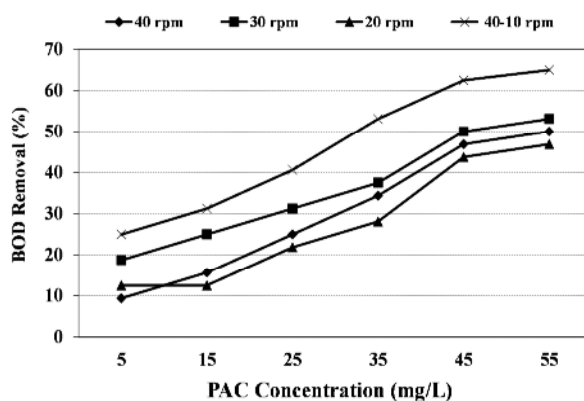


Fig. 7. Effects of constant and decreasing speeds of slow mixing on BOD removal at different PAC concentrations  
شکل ۷- تأثیر سرعت‌های ثابت و کاهشی اختلاط کند بر حذف BOD، در غلظت‌های مختلف ماده منعقد کننده PAC

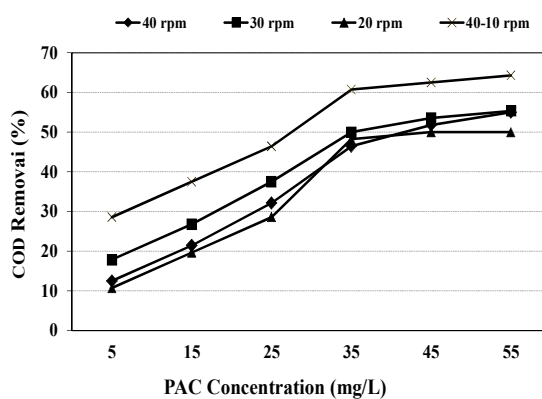


Fig. 8. Effects of constant and decreasing speeds of slow mixing on COD removal at different PAC concentrations  
شکل ۸- تأثیر سرعت‌های ثابت و کاهشی اختلاط کند بر حذف COD، در غلظت‌های مختلف ماده منعقد کننده PAC

**Table 1.** Comparison of effluent quality of Yazd SBR and the effluent from the coagulation and flocculation process for the optimal dosage (45 mg/L) of PAC coagulant at constant and decreasing speeds of slow mixing

جدول ۱- مقایسه کیفیت پساب خروجی از SBR یزد و پساب پس از فرایند انعقاد و لخته سازی در دز بهینه (۴۵ mg/L ماده منعقد کننده PAC) در سرعت های ثابت و کاهش اختلاط کند

Parameters	Units	Yazd SBR Effluent	Coagulation and flocculation effluents			
			20 rpm	30 rpm	40 rpm	declining speeds (40 to 10 rpm)
turbidity	NTU	12	3.5	2.6	4	1.2
TSS	mg/L	28	4	3	5	1
BOD <sub>5</sub>	mg/L	32	23	20	21	165
COD	mg/L	55	28	26	27	20

**Table 2.** Comparison of sludge volume for the optimal dosage (45 mg/L) of the PAC coagulant at different speeds of slow mixing and decreasing mixing speeds

جدول ۲- مقایسه حجم لجن تولیدی در دز بهینه ۴۵ mg/L ماده منعقد کننده PAC در سرعت های مختلف اختلاط کند و سرعت اختلاط کاهش

Slow mixing effluents (rpm)	Volume of sludge (ml/L)	Reduction of sludge volume compared to the speed of 20 rpm (%)
20	45	0
30	34	24
40	40	10
declining speeds (40 to 10 rpm)	26	37

لخته سازی به واسطه خاصیت پل سازی بین ذرات نیز می تواند مؤثر باشد و لذا انعقاد در حالت سرعت کاهش می شود که لخته های کوچکی که در سرعت بالا ابتدا تشکیل شده اند در ادامه و با کاهش سرعت با هم به آرامی برخورد نمایند و لخته های بزرگ تری تشکیل شود که در نهایت موجب افزایش حذف مواد آلاینده و بهبود فرایند خواهد شد. در جدول ۲ حجم لجن تولیدی و درصد کاهش حجم لجن، در دزهای بهینه PAC، در سرعت های اختلاط کند ثابت و اختلاط کاهش، نشان داده شده است. درصد کاهش حجم لجن تولیدی از طریق مقایسه هر کدام از حالت ها، با لخته سازی در سرعت ۲۰ rpm که بدترین راندمان را در تولید لجن داشته، انجام شد. مقایسه حالت های مختلف انعقاد و لخته سازی ناشی از سرعت های مختلف اختلاط کند نشان می دهد که بهترین راندمان در تولید لجن کمتر، با اعداد ۲۶ میلی لیتر در لیتر و ۳۷ درصد کاهش حجم لجن مربوط به اختلاط کند کاهش است.

#### ۴- نتیجه گیری

در تصفیه پساب تصفیه خانه SBR یزد راندمان حذف کدورت، BOD، COD، TSS در سرعت اختلاط تند ۱۵۰ rpm از سایر سرعت های اختلاط بیشتر بود. مقایسه سرعت های ثابت اختلاط کند ۲۰، ۳۰ و ۴۰ rpm با سرعت اختلاط کاهش (۱۰ تا ۴۰ rpm) نشان داد راندمان حذف کدورت، BOD، COD و TSS در حالت سرعت اختلاط کاهش بالاتر از سرعت های ثابت است. در

جای سرعت ثابت در اختلاط کند موجب می شود که راندمان حذف آلاینده ها به روش انعقاد- لخته سازی و ته نشینی به مقدار قابل توجهی افزایش یابد. استفاده از لخته سازی مرحله ای (کاهش) برای تصفیه فاضلاب موجب ایجاد لخته های بزرگ تر و سنگین تری خواهد شد، اما مقدار کارایی و نحوه عملکرد آن برای هر فاضلابی نمی تواند یکسان باشد، لذا برای تصفیه فاضلاب های مختلف با مواد منعقد کننده، باید نحوه و مقدار کاهش سرعت لخته سازی مورد بررسی قرار گیرد (Tchobanoglous et al. 2014). پلی آلومینیم کلراید از لحاظ ترکیب یک ماکرو مولکول معدنی است که منومرهای آن یک کمپلکس دو هسته ای از آلومینیوم هستند و در آب تشکیل کمپلکس های چند هسته ای می دهند. این خاصیت موجب توانایی منحصر به فرد این ماده در فرایند انعقاد و لخته سازی شده است. به طوری که در محیط آبی علاوه بر اینکه به عنوان یک منعقد کننده معدنی عمل ناپایدار سازی ذرات را به خوبی انجام می دهد و موجب فشردگی لایه دوگانه الکتریکی ذره کلوئیدی می شود، می تواند به دلیل خواص ایجاد کمپلکس با ذرات به مانند یک پلیمر، تا حدودی عمل ایجاد پل های اتصال بین ذرات را نیز انجام دهد (Gao et al. 2003 & Vaananen 2014). در توضیح کارایی بهتر لخته سازی کاهش می توان چنین عنوان نمود که وجود ذرات کلوئیدی توأم با مواد آلی در پساب موجب خواهد شد، لخته های بیشتری در مقایسه با آب تشکیل شود و چون از پلیمر خاصی در این تحقیق استفاده نشده است، لذا علاوه بر ناپایداری ذرات، عمل

شکستن آنها که منجر به افزایش راندمان این روش می‌شود، پیدا نشد، لذا برای یافتن علت این امر در آینده نیاز به بررسی بیشتری است. ولی به هر حال لخته‌سازی با سرعت کاهشی موجب بهبود فرایند انعقاد و لخته‌سازی شده و عمل بلوغ و بزرگ شدن لخته‌ها در این روش بهتر اتفاق می‌افتد اما در مقیاس کاربردی، حوضچه اختلاط باید سه قسمتی ساخته شود که تا حدودی موجب افزایش هزینه‌های اولیه خواهد شد. به‌طور کلی این روش به دلیل اینکه موجب کاهش مواد شیمیایی مصرفی و ارتقاء فرایند انعقاد و لخته‌سازی می‌شود و عملاً می‌تواند هزینه تصفیه را کاهش دهد، می‌تواند به‌عنوان روشی جایگزین برای روش‌های متداول انعقاد با سرعت ثابت مورد توجه قرار گیرد.

دز بهینه ۴۵ میلی‌گرم در لیتر ماده منعقدکننده PAC، پس از انعقاد-لخته‌سازی و ته‌نشینی، بهترین خروجی BOD<sub>5</sub>، COD، TSS و کدورت مربوط به انعقاد و لخته‌سازی با سرعت اختلاط کاهشی و به ترتیب ۱۵، ۲۰ و ۱ میلی‌گرم در لیتر و ۱/۲ NTU بوده، این در حالی است که این اعداد برای بهترین حالت سرعت اختلاط ثابت ۳۰ rpm، به ترتیب ۲۱، ۲۷ و ۳ میلی‌گرم در لیتر و ۲/۶ NTU بوده است. در حالت لخته‌سازی با سرعت ثابت کمترین حجم لجن، ۳۴ میلی‌لیتر در لیتر مربوط به سرعت ۳۰ rpm بوده ولی هنگامی که از لخته‌سازی با سرعت کاهشی استفاده شد وضعیت تولید لجن بهبود و به ۲۶ میلی‌لیتر در لیتر تغییر یافته است. علی‌رغم مطالعه منابع موجود، دلیل یا دلایلی برای پایداری لخته‌های حاصل از لخته‌سازی کاهشی و تشکیل لخته‌های بزرگ و فشرده و عدم

## ۵- مراجع

- Aghapour, A. & Mohammadi, A., 2011, "Investigating the coagulation efficiency of paci in reduction of water turbidity in Shahrchay river in city of Orumieh and its health effects", *Health System Research*, 6(4), 762-769.
- Aguilar, M. I., Saez, Liornes, M., Soler, A. & Ortuno, I.F., 2003, "Microscopic observation of particle reduction in slaughterhouse wastewater by coagulation-flocculation using ferric sulphate as coagulant and different coagulant aids", *Water Research*, 37(9), 2233-2241.
- Aygun, A. & Yilmazb, T., 2010, "Improvement of coagulation-flocculation process for treatment of detergent wastewaters using coagulant aids", *International Journal of Chemical and Environmental Engineering*, 1(2), 97-101.
- Aziz, H.A., Alias, S., Adlan, M, N., Asaari, A.H. & Zahari, Sh., 2007, "Colour removal from landfill leachate by coagulation and flocculation processes", *Bioresource Technology*, 98(1), 218-220.
- Chon, K., Kim, S.J., Moon, J. & Cho, J., 2012, "Combined coagulation-disk filtration process as a pretreatment of ultrafiltration and reverse osmosis membrane for wastewater reclamation: An autopsy study of a pilot plant", *Water Research*, 46(6), 1803-1816.
- Gao, B.-Y., Yue Q.-Y. & Wang, B.-J., 2003, "Electrophoretic nature and evaluation of poly-aluminum-chloride-sulfate (PACS) as a coagulant for water and wastewater treatment", *Journal of Environmental Science and Health*, 38(5), 897-907.
- Guida, M., Mattei, M., Della Rocca, C., Melluso, G. & Meric, S., 2007, "Optimization of alum-coagulation/flocculation for COD and TSS removal from five municipal wastewater", *Desalination*, 211(1), 113-127.
- Ismail, I.M., Fawzy, A.S., Abdel-Monem, N.M., Mahmoud, M.H. & El-Halvang, M.A., 2012, "Combined coagulation flocculation pre treatment unit for municipal wastewater", *Journal of Advanced Research*, 3(4), 331-336.
- Kord Mostafapoor, F., Bazafshan, E. & Kamani, H., 2008, "Effectiveness of three coagulants of polyaluminum Chloride, Aluminum sulfate and ferric chloride in turbidity removal from drinking water", *Physician East*, 10(2), 87-95. (In Persian)

- López-Maldonado, E., Oropeza- Guzan, M.T., Jurado-Baizavai, J.L. & Ochoa-Teran, A., 2014, "Coagulation– flocculation mechanisms in wastewater treatment plants through zeta potential measurements", *Journal of Hazardous Materials*, 279, 1-10.
- Matilainen, A., Vepsäläinen, M. & Sillanpää, M., 2010, "Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review", *Advances in Colloid and Interface Science*, 159(2), 189-197.
- Ozkan, A. & Yekeler, M., 2004, "Coagulation and flocculation characteristics of celestite with different inorganic salts and polymers", *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 43(7), 873-879.
- Ramphal, S. & Sibiya, M., 2014, "Optimization of coagulation-flocculation parameters using a photometric dispersion analyser", *Drinking Water Engineering and Science*, 7(2), 73-82.
- Stechemesser, H. & Dobiáš, B., 2005, *Coagulation and flocculation*, Taylor and Francis, Boca Raton, USA.
- Tchobanglous, G., Stensel, H.D. & Burton, F., 2014, *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery*, 5<sup>th</sup> Ed., Metcalf and Eddy Inc., New York.
- Üstün, G.E., Akal Solmaz, S.K., Ciner, F. & Baskaya, H.S., 2011, "Tertiary treatment of a secondary effluent by the coupling of coagulation–flocculation–disinfection for irrigation reuse", *Desalination*, 277(1), 207-212.
- Väänänen, J., 2014, *Applying coagulation, flocculation and discfiltration in tertiary treatment*, Lund University Pub., Lund, Sweden.