

## حذف فسفر، مواد آلی و جامدات معلق با استفاده از پلی آلومینیوم کلراید از فاضلاب شهری (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب غرب اهواز)

مینا هرمزی نژاد<sup>۱</sup>، افشین تكدستان<sup>۲\*</sup>، نعمت الله جعفرزاده حقيقي فرد<sup>۳</sup>، مهدی احمدی  
مقدم<sup>۴</sup>، نظام‌الدین منگلی‌زاده<sup>۵</sup>

### چکیده

زمینه و هدف: فسفر ماده غذایی مهمی برای گیاهان و رشد میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. بنابراین این ماده نقش مهمی در ایجاد شکوفایی جلبکی آبهای سطحی دارد. مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی منعقد کننده پلی‌آلومینیوم کلراید در حذف ارتوفسفات توسط فرآیند انعقاد و ترسیب شیمیایی در فاضلاب شهری تصفیه‌خانه فاضلاب غرب اهواز صورت پذیرفت.

روش بررسی: این تحقیق در مقیاس آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های فاضلاب ورودی به حوضچه ته‌نشینی مقدماتی، ورودی به حوضچه ته‌نشینی ثانویه و خروجی از حوضچه ته‌نشینی ثانویه تصفیه‌خانه فاضلاب غرب اهواز انجام شد. با استفاده از آزمایش جار، ابتدا pH بهینه و سپس میزان بهینه پلی‌آلومینیوم کلراید در حذف ارتوفسفات تعیین شد.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که پلی‌آلومینیوم کلراید در  $pH=7$  و در میزان 20، 30 و 30 میلی‌گرم در لیتر، مقدار ارتوفسفات را به ترتیب در هر یک از نقاط نمونه‌برداری مورد نظر به 0/51، 0/705 و 0/43 میلی‌گرم در لیتر رسانده است و نقطه ورودی به حوضچه ته‌نشینی اولیه به دلیل نیاز به مصرف کمتر ماده منعقد کننده و در نتیجه هزینه کمتر جهت انجام این فرآیند در تصفیه‌خانه، به‌عنوان نقطه نمونه‌برداری بهینه انتخاب گردید.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج می‌توان پذیرفت که بازدهی پلی‌آلومینیوم کلراید، از لحاظ حذف ارتوفسفات، مواد آلی و مواد معلق در میزان پایین، مطلوب بوده و مقدار ارتوفسفات در پساب خروجی به کمتر از  $1\text{mg/l}$  رسیده است. کلید واژگان: حذف ارتوفسفات، ترسیب شیمیایی، تصفیه پیشرفته فاضلاب، تصفیه‌خانه فاضلاب غرب اهواز.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط.

۲- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط.

۳- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط.

۱- گروه مهندسی بهداشت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران.  
۲- گروه مهندسی بهداشت و عضو مرکز تحقیقات فن‌آوری‌های زیست محیطی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران.

\* نویسنده مسؤل:

افشین تكدستان، گروه مهندسی بهداشت و عضو مرکز تحقیقات فن‌آوری‌های زیست محیطی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران.

تلفن: ۰۰۹۸۹۱۲۳۴۷۰۷۷۶

Email: afshin\_ir@yahoo.com

## مقدمه

باعث توانایی منحصر به فرد این منعقدکننده در فرآیند انعقاد می‌گردد (9). در این مولکول، بخش عمده آلومینیوم به شکل‌های پلیمرهای بزرگ آلیگومر از کاتیون‌های  $Al_{13}$  با یون‌های  $+7$  به صورت  $[Al_{13}(OH)_{24}O_4(H_2O)]^{17}$  ظاهر می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود که به دلیل تولید بار مثبت بیشتر نسبت به سایر مواد منعقدکننده غیر پلیمری، در خشتی‌سازی بار منفی ذرات کلئیدی و مواد آلی موجود در فاضلاب مؤثرتر باشد (10). از مزایای مواد منعقدکننده پلیمری نسبت به مواد منعقدکننده متداول می‌توان به بازدهی بالای آنها در مقادیر کم و در محدوده گسترده تری از pH و دماهای مختلف به‌ویژه در دمای پایین اشاره کرد که در نتیجه باعث کاهش هزینه‌های تصفیه و بهره‌برداری آسان از آنها می‌شود (11). سرواستاوا (Srivastava) و همکاران در سال 2005 مشاهده کردند که پلی‌آلومینیوم کلراید در غلظت  $3 \text{ g/l}$  و  $pH=3$  باعث حذف 80% از COD با غلظت  $2380 \text{ mg/l}$  از فاضلاب کارخانه کاغذسازی شده است (12). آمودا (Amuda) و آمو (Amoo) در سال 2007 به این نتیجه رسیدند که پلی‌الکترولیت (پلی‌آکریلامید غیر یونی) در میزان  $25 \text{ mg/l}$  به همراه  $100 \text{ mg/l}$  کلرورفریک باعث حذف 99 درصد از کل فسفر می‌گردد (13). زوبولیس (Zouboulis) و تزوپانوس (Tzoupanos) در سال 2009 مشاهده کردند که غلظت فسفات در فاضلاب شهری، توسط  $30 \text{ mg/l}$  پلی‌آلومینیوم کلراید از  $10/1 \text{ mg/l}$  به  $0/4 \text{ mg/l}$  رسیده است (14). غفاری (Ghafari) و همکاران در سال 2009، جهت حذف  $1925 \text{ mg/l}$  COD،  $80 \text{ mg/l}$  TSS و  $347 \text{ mg/l}$  کدورت از شیرابه، از پلی‌آلومینیوم کلراید استفاده نمودند. نتایج حذف 46/7 %، 94/4 % و 92/6 % از COD، کدورت و TSS را به ترتیب با استفاده از  $2 \text{ g/l}$  پلی‌آلومینیوم کلراید نشان داد (15). زوبولیس و تزوپانوس در سال 2010

فسفر موجود در فاضلاب به اشکال مختلفی وجود دارد که با توجه به خصوصیات فیزیکی به دو بخش محلول و غیر محلول و با توجه به خصوصیات شیمیایی به بخش‌های ارتو فسفات، پلی‌فسفات و فسفر آلی تقسیم می‌شود (1). تقریباً همه فسفر موجود در آب‌های طبیعی و فاضلاب‌ها به صورت فسفات است (2). به‌طور کلی، ترکیبات فسفر موجود در فاضلاب پس از هیدرولیز و تجزیه بیولوژیکی به ارتو فسفات‌های محلول تبدیل می‌شوند که در منابع آب، مورد استفاده میکرو ارگانیسم‌ها و به‌خصوص جلبک‌ها قرار می‌گیرند. از آنجایی که فسفر می‌تواند باعث افزایش رشد جلبک‌ها در آبهای پذیرنده و ایجاد پدیده اتروفیکاسیون و در نتیجه مرگ بیولوژیک آب پذیرنده و غیر قابل استفاده نمودن آن در موارد مختلف مصرف شود. بنابراین کنترل رشد جلبک‌ها و پیشگیری از ایجاد اتروفیکاسیون در منابع آب از طریق حذف فسفر از فاضلاب شهری می‌تواند عامل مهمی جهت حفظ کیفیت منبع محدود آبهای شیرین موجود در کشور باشد (3، 4 و 5). به‌طور معمول برای حذف فسفر، از روش‌های شیمیایی و بیولوژیکی استفاده می‌شود. استفاده از روش بیولوژیکی نیاز به ایجاد تغییراتی در تأسیسات و فرآیندهای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب دارد و همین امر مستلزم صرف هزینه‌های سرمایه‌ای بیشتری نسبت به روش‌های شیمیایی حذف فسفر می‌باشد (6). بنابراین استفاده از روش‌های شیمیایی جهت حذف مقرون به صرفه‌تر می‌باشد. از مهم‌ترین روش‌های شیمیایی حذف فسفر، ترسیب شیمیایی توسط آهک و انواع منعقدکننده‌ها می‌باشد (7). در سال‌های اخیر، نوع جدیدی از مواد منعقدکننده تحت عنوان منعقدکننده‌های پلیمری معدنی از جمله پلی‌آلومینیوم کلراید رواج پیدا کرده‌اند که در بسیاری از نقاط دنیا به‌ویژه در چین، ژاپن، روسیه و کشورهای اروپایی غربی مورد استفاده قرار می‌گیرند (8). پلی‌آلومینیوم کلراید در غلظت‌های پایین در محیط آبی، تشکیل کمپلکس چند هسته‌ای داده و همین خاصیت

در مقیاس این تحقیق مطالعه‌ای نیمه تجربی آزمایشگاهی است که بر روی فاضلاب ورودی به حوضچه ته نشینی مقدماتی، ورودی به حوضچه ته نشینی ثانویه و خروجی از حوضچه ته نشینی ثانویه در تصفیه خانه فاضلاب غرب اهواز، صورت گرفت. مشخصات فاضلاب ورودی به هر یک از نقاط نمونه برداری در جدول 1، آورده شده است. نمونه های مورد نظر پس از انتقال به آزمایشگاه شیمی محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، با استفاده از دستگاه جارتست با مدل JLT6، مورد آزمایش قرار گرفتند و آزمایش جار روی آنها انجام گرفت. نمونه های مورد آزمایش بطور روزانه از تصفیه خانه فاضلاب غرب اهواز تامین شده است. نمونه های فاضلاب، 2 بار مورد آزمایش قرار گرفتند. در این آزمایش از پلی آلومینیوم کلراید با خلوص 29% استفاده گردید. شیوه آزمایش جار به صورت زیر تنظیم شد که به ترتیب معادل 2 دقیقه اختلاط سریع با 120 دور در دقیقه، 10 دقیقه اختلاط آرام با 40 دور در دقیقه (سرعت اختلاط و زمان آن بر مبنای مطالعات انجام شده در این زمینه انتخاب گردید) و 1 ساعت زمان ته نشینی (1 ساعت زمان ته نشینی در نظر گرفته شد تا به زمان ماند در حوضچه های ته نشینی در مقیاس واقعی نزدیک باشد) تأمین شود. پس از آن، از 5 سانتی متری زیر سطح مایع درون بشرها با استفاده از پیپت دهان گشاد، نمونه گیری انجام شد و نمونه ها بلافاصله مورد آنالیز قرار گرفتند. مقدار ارتوفسفات و شاخص حجمی لجن در تمام نمونه ها و در شرایط بهینه منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید، مقدار COD، BOD و TSS مورد بررسی قرار گرفت. شرایط بهینه منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید به این صورت تعیین شد که ابتدا اثر pH های مختلف در مقدار ثابتی از منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید بررسی شد و پس از تعیین pH بهینه، اثر مقادیر مختلف منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید بررسی شد و میزان بهینه آن تعیین گردید. جهت تنظیم pH از اسید کلریدریک و هیدروکسید سدیم 1 نرمال استفاده گردید. همچنین در

مشاهده کردند که پلی آلومینیوم کلراید در میزان  $mg/l$  30-60، باعث حذف 75-98 درصد فسفات از فاضلاب شهری می گردد (16). با توجه به اینکه عمل ترسیب شیمیایی فاضلاب به مشخصات کمی و کیفی فاضلاب، خصوصیات مواد شیمیایی و امکانات محلی بستگی دارد، بنابراین روش بهینه ترسیب شیمیایی فاضلاب، برای هر تصفیه خانه باید با توجه به این عوامل به طور اختصاصی تعیین شود (17) و از آنجایی که هدف اصلی این تحقیق، بررسی کارایی منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید در حذف ارتوفسفات از فاضلاب شهری در سه نقطه نمونه برداری مختلف و انتخاب نقطه نمونه برداری بهینه در این تحقیق، از لحاظ مصرف کمتر مواد منعقدکننده و بازدهی بالاتر منعقدکننده در حذف ارتوفسفات و عدم اختلال در انجام فرآیندهای تصفیه فاضلاب می باشد و پس از بررسی های انجام شده مشخص شد که مقدار فسفر در پساب خروجی تصفیه خانه فاضلاب غرب اهواز در حد استاندارد  $6 mg/l$  (حد مجاز فسفر در فاضلاب تخلیه شده در ایران) می باشد. در این تحقیق، مبنای انجام آزمایشها بر اساس استاندارد WHO که  $1 mg/l$  را به عنوان حد مجاز فسفر خروجی در پساب خروجی تصفیه خانه در نظر گرفته اند، قرار گرفته است. تصفیه خانه فاضلاب غرب اهواز به روش لجن فعال با هوادهی متعارف طراحی شده است که با ظرفیت 33600 متر مکعب در شبانه روز، فاضلاب را تصفیه می کند. به دلیل اینکه در فرآیند ترسیب شیمیایی، کاتیون های فلزی و رسوبات حاصل از هیدرولیز مواد منعقدکننده، با ارتوفسفات ها واکنش می دهند و باعث ته نشینی آنها می شوند و پلی فسفات ها و فسفر آلی ممکن است توسط جذب یا به دام افتادن در لخته های تشکیل شده در فرآیند ترسیب شیمیایی حذف شوند. بنابراین در این تحقیق، بازدهی حذف ارتوفسفات ها از فاضلاب شهری به روش ترسیب شیمیایی توسط منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید در مقیاس آزمایشگاهی، بررسی شده است.

روش بررسی

می‌دهد و به دنبال آن تولیدات حاصل از هیدرولیز که یون فلزی با بار مثبت و یا هیدروکسیدهای فلزی است، تشکیل می‌شود. تولیدات حاصل از هیدرولیز به pH بهینه ماده منعقدکننده بستگی دارند. بدین صورت، یون فسفات موجود در فاضلاب یا جذب یون‌های فلزی با بار مثبت شده و یا جذب هیدروکسیدهای فلزی گشته و پس از تشکیل هیدروکسیدهای فلزی - فسفات، ته‌نشین می‌شود و ترسیب اتفاق می‌افتد (2). شکل 1، اثر pH بر بازدهی حذف ارتوفسفات توسط منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید با غلظت  $40 \text{ mg/l}$  در هر یک از نقاط نمونه‌برداری مورد نظر را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل 1 مشاهده می‌شود با افزایش pH، بازدهی حذف ارتوفسفات افزایش یافته است، اما در یک محدوده مشخصی شروع به کاهش می‌کند، به طوری که بیشترین بازدهی حذف ارتوفسفات در  $\text{pH}=7$  توسط انعقاد فاضلاب با پلی‌آلومینیوم کلراید در ورودی به حوضچه ته‌نشینی مقدماتی و ورودی به حوضچه ته‌نشینی ثانویه به ترتیب برابر  $94/143$  و  $82/5$  درصد و در pH برابر 6 و 7 و در خروجی از حوضچه، ته‌نشینی ثانویه به ترتیب معادل  $98/0178$  و  $94/196$  درصد به دست آمده است، اما با توجه به اینکه بین pH 6 و 7، اختلاف چندانی در بازدهی حذف ارتوفسفات وجود نداشت. بنابراین  $\text{pH}=7$  در خروجی از حوضچه، ته‌نشینی ثانویه توسط پلی‌آلومینیوم کلراید به عنوان pH بهینه در نظر گرفته شد تا نیازی به تنظیم pH و تغییر شرایط طبیعی فاضلاب نباشد و در صورت انجام آزمایش‌ها در مقیاس واقعی از ایجاد اختلال در فرایندهای دیگر تصفیه جلوگیری شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج تحقیق حاضر و تحقیقی که توسط زوبولیس و تزوپانوس در سال 2009، جهت حذف فسفات از فاضلاب شهری توسط پلی‌آلومینیوم کلراید انجام گرفت، مطابقت دارد. در این برساند (14). پس در این مطالعه مشخص گردید که محدوده pH مناسب پلی‌آلومینیوم کلراید جهت تصفیه فاضلاب از جمله حذف ارتوفسفات، 7 می‌باشد که در

پایان هر مرحله از آزمایش، تأثیر هر پارامتر بر حذف ارتوفسفات با استفاده از آزمون آماری واریانس مورد بررسی قرار گرفت. در آزمون آماری واریانس مشخص می‌گردد که آیا بین داده‌هایی که از طریق انجام آزمایش‌ها به دست آمده است، اختلاف معناداری وجود دارد یا خیر، که اگر  $P\text{value} < 0/05$  باشد، نتایج آزمایش قابل قبول خواهد بود. جهت انجام آزمایش‌ها از pH متر دیجیتالی EUTECH Cyberscan pH310 ساخت شرکت استفاده شد. ارتوفسفات با استفاده از روش اسید آسکوربیک به شماره 4500 PE و COD با استفاده از روش تیتراسیون به شماره 5220 C در کتاب روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب نگارش 2005 (17) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR/5000، اندازه‌گیری شدند. BOD نیز با استفاده از روش BOD پنج روزه به شماره 5210 B و شاخص حجمی لجن نیز به روش 2710D موجود در مرجع فوق و TSS (جامدات معلق) هم پس از صاف‌سازی نمونه مورد آزمایش به کمک صافی غشایی با مش 0/45 میکرون بدون کربن آلی تولید شرکت Merk آلمان، خشک کردن و وزن کردن صافی به شماره روش 2540 D تعیین شدند (18).

#### یافته‌ها

##### اثر pH بر حذف ارتوفسفات توسط منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید

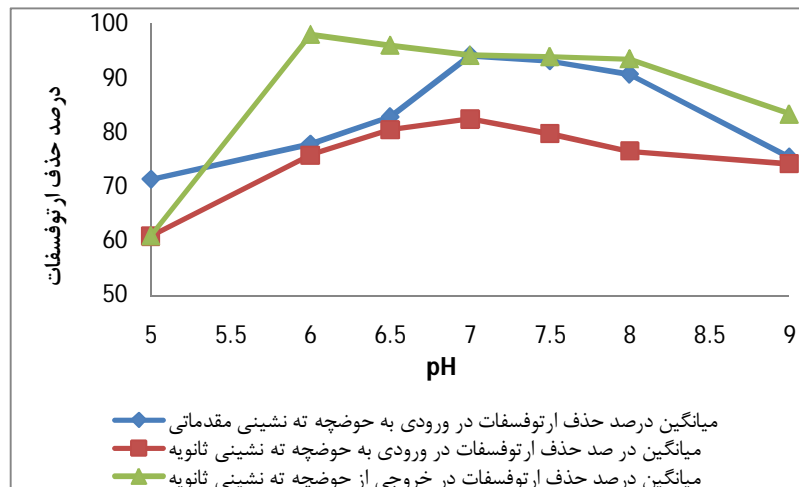
در این مرحله از آزمایش، اثر pH بر بازدهی حذف ارتوفسفات روی نمونه‌های فاضلاب گرفته‌شده از نقاط نمونه‌برداری مورد بررسی در این پژوهش در فرآیند انعقاد و لخته‌سازی و در گستره بین 5-9 توسط پلی‌آلومینیوم کلراید مورد بررسی قرار گرفت. مواد منعقدکننده در pH مشخصی در فاضلاب، حلالیت بیشتر داشته است و هیدرولیز آنها در فاضلاب سریع رخ تحقیق، پلی‌آلومینیوم کلراید در محدوده pH برابر 8/5-6/5 و میزان  $40 \text{ mg/l}$  و 50 توانست میزان فسفات را از  $10/1 \text{ mg/l}$  به ترتیب به 0/1 و صفر میلی‌گرم در لیتر

کلروفری، 4-5 و کلروفرو، نزدیک به 8 می‌باشد (19)، مشاهده می‌شود که پلی‌آلومینیوم کلراید در pH طبیعی فاضلاب، بازدهی مناسبی را در حذف ارتوفسفات از خود نشان داده است.

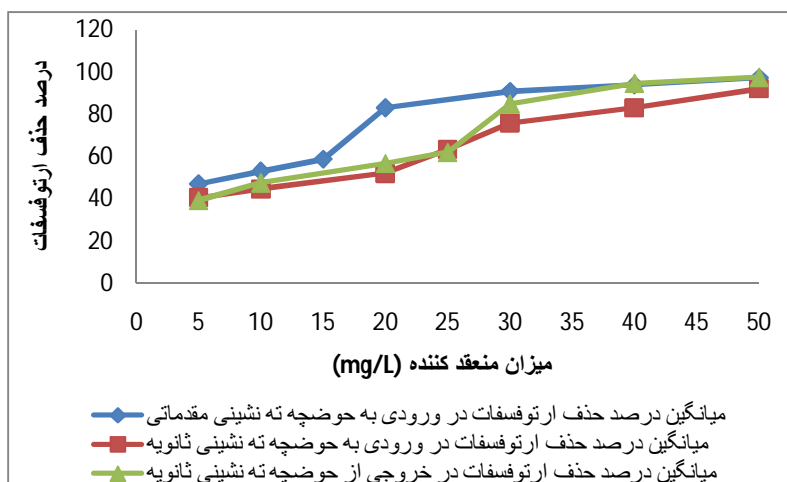
این محدوده pH، پلی‌آلومینیوم کلراید با حلالیت بیشتر و تولید یونهای فلزی با بار مثبت در فاضلاب باعث تشکیل رسوبات قابل ته‌نشینی می‌گردد و به دنبال آن بازدهی حذف فسفر را افزایش می‌دهد. با توجه به اینکه محدوده pH بهینه منعقدکننده‌های رایجی از قبیل آلوم، 5/5-6/5 و

جدول 1: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی فاضلاب شهری

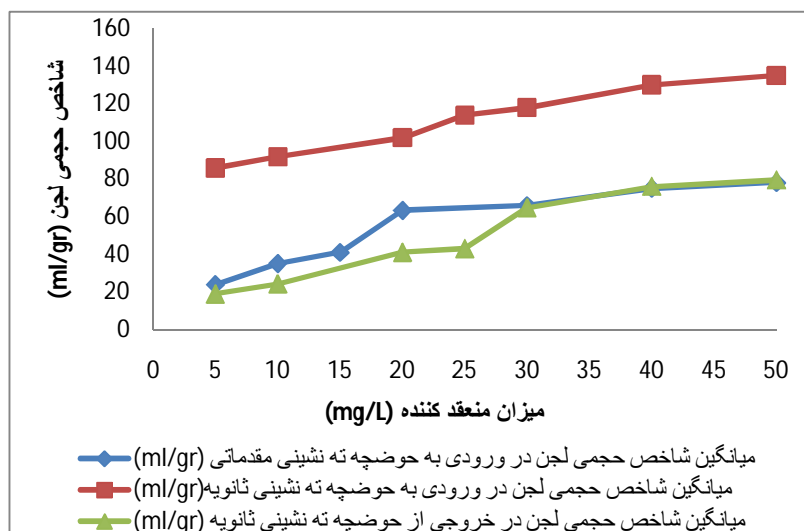
پارامترها	ورودی به حوضچه ته‌نشینی مقدماتی	ورودی به حوضچه ته‌نشینی ثانویه	خروجی از حوضچه ته‌نشینی ثانویه
pH	7	7	7
کل فسفر ( $mg/l$ )	4/7-5/3	-	-
ارتوفسفات ( $mg/l$ )	2/95-3/1	2/83-2/94	2/75-2/85
COD ( $mg/l$ )	279/68	168/67	71/33
BOD ( $mg/l$ )	142/67	90/33	35/65
TSS ( $mg/l$ )	320	3080	46



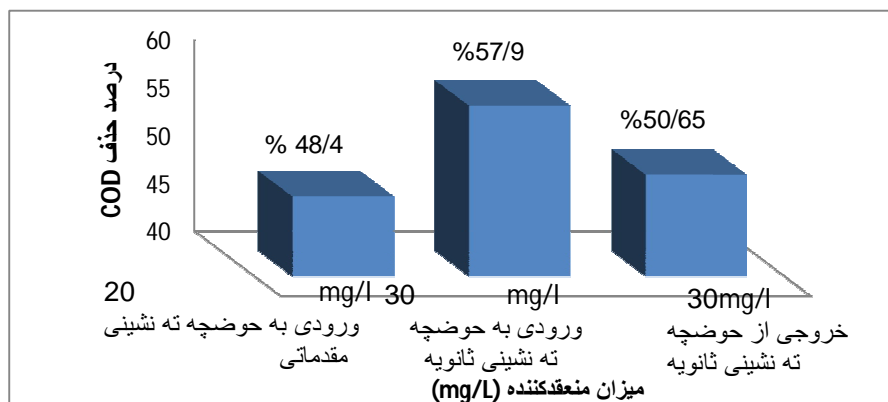
شکل 1: اثر pH بر درصد حذف ارتوفسفات توسط پلی‌آلومینیوم کلراید در هر یک از نقاط نمونه برداری مورد بررسی

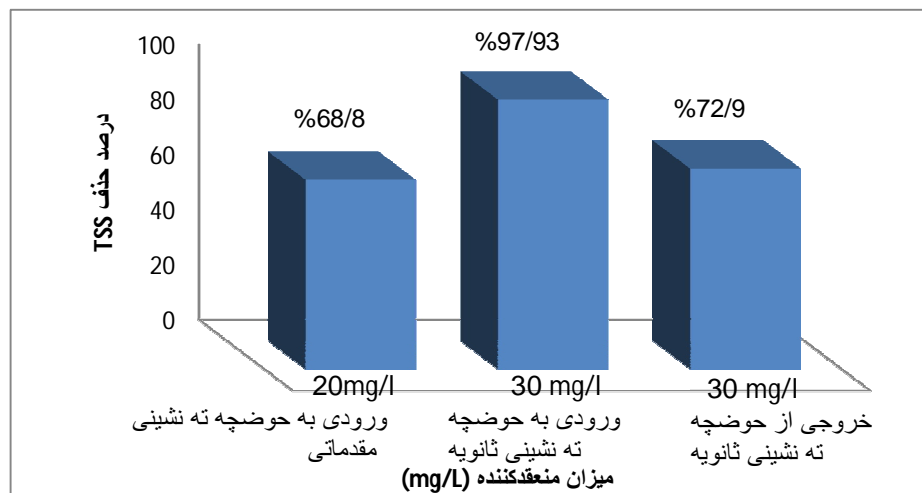
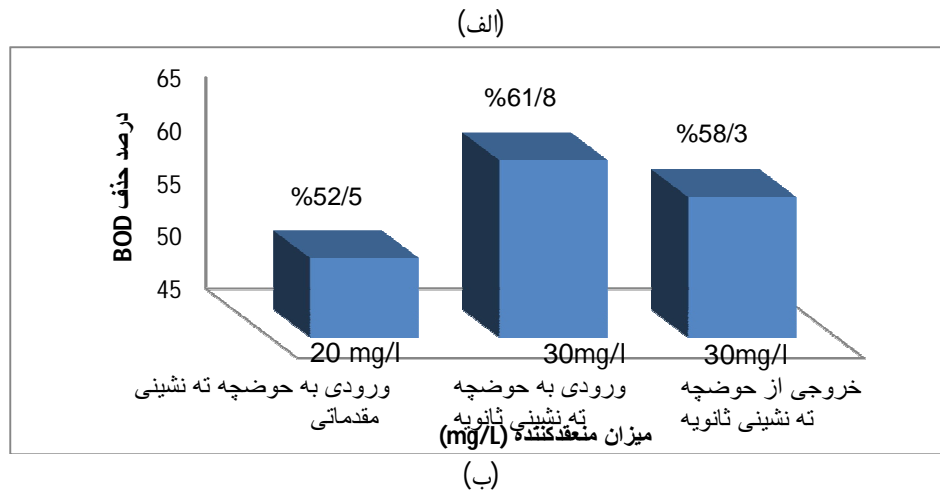


شکل 2: اثر میزان پلی آلومینیوم کلراید بر بازدهی حذف ارتوفسفات در هر یک از نقاط نمونه برداری مورد بررسی



شکل 3: اثر میزان پلی آلومینیوم کلراید بر شاخص حجمی لجن در هر یک از نقاط نمونه برداری مورد بررسی





شکل 4: میانگین درصد حذف COD (الف)، BOD (ب) و TSS (ج) توسط پلی آلومینیوم کلراید و در هر یک از نقاط نمونه برداری مورد بررسی

$50 \text{ mg/l}$  پلی آلومینیوم کلراید و در هر یک از نقاط نمونه برداری مورد نظر به ترتیب برابر  $97/167$ ،  $91/89$  و  $97/41$  درصد حاصل گردید، اما با توجه به اینکه هدف اصلی در این مطالعه، بررسی بازدهی منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید در حذف ارتوفسفات و رساندن مقدار فسفر در پساب خروجی در حد استاندارد یعنی  $1 \text{ mg/l}$  می باشد. بنابراین میزان  $20$ ،  $30$  و  $30$  میلی گرم در لیتر پلی آلومینیوم کلراید با مقدار ارتوفسفات نهایی در پساب خروجی و بازدهی حذف فسفر به ترتیب در هر

#### بحث

اثر میزان منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید بر حذف

#### ارتوفسفات

شکل 2، اثر منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید را بر حذف ارتوفسفات در هر یک از نقاط نمونه برداری مورد بررسی نشان می دهد. شکل 2 نشان می دهد که با افزایش میزان منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید، بازدهی حذف ارتوفسفات افزایش می یابد؛ به طوری که بیشترین بازدهی حذف ارتوفسفات با فاصله اطمینان 95 درصد در میزان

اثر میزان منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید بر شاخص

### حجمی لجن

لجن تولید شده در تصفیه فیزیکی و شیمیایی فاضلاب در نتیجه واکنش بین مواد آلی، جامدات معلق و سایر آلاینده‌های موجود در فاضلاب با تولیدات حاصل از هیدرولیز مواد منعقدکننده مصرفی در فاضلاب ایجاد می‌شود، تقریباً می‌توان پذیرفت که بیشترین قسمت لجن را جامدات معلق موجود در فاضلاب به دلیل مقادیر بالای آنها در فاضلاب ورودی تشکیل می‌دهد (19). به عبارت دیگر، مقدار و ماهیت لجن به مشخصات فاضلاب خام ورودی (جامدات معلق، مواد آلی و سایر آلاینده‌های موجود در فاضلاب)، نوع ماده منعقدکننده مصرفی و میزان آنها و نوع فرآیند تصفیه فاضلاب بستگی دارد (20).

شکل 3، اثر منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید را بر شاخص حجمی لجن در فاضلاب برحسب  $\frac{ml}{gr}$  نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که با افزایش میزان منعقدکننده مصرفی، شاخص حجمی لجن افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، با افزایش میزان ماده منعقدکننده، لخته‌های درشت‌تر، مستحکم‌تر و با سرعت ته‌نشینی بالا ایجاد می‌شوند که همین امر باعث افزایش حجم لجن تولیدی و در نتیجه افزایش شاخص حجمی لجن شده است. شاخص حجمی لجن در میزان 20، 30 و 30 میلی‌گرم در لیتر پلی‌آلومینیوم کلراید و در هر یک از نقاط نمونه‌برداری مورد بررسی به ترتیب برابر  $63/3$ ،  $117/76$  و  $64/6$  میلی‌لیتر بر گرم به دست آمده است. با توجه به اینکه شاخص حجمی لجن در نمونه‌های فاضلاب ورودی به حوضچه ته‌نشینی مقدماتی، ورودی به حوضچه ته‌نشینی ثانویه و خروجی از حوضچه ته‌نشینی ثانویه قبل از انجام فرآیند در محدوده 23، 68 و 18 میلی‌لیتر بر گرم قرار داشته است.

تعیین بازدهی حذف BOD، COD و TSS تحت

شرایط بهینه عملکرد منعقد کننده پلی‌آلومینیوم کلراید

یک از نقاط نمونه‌برداری مورد بررسی برابر  $(mg/l)$  0/51 و 82/98 درصد،  $(mg/l)$  0/705 و 75/703 درصد) و  $(mg/l)$  0/43 و 84/78 درصد) به‌عنوان میزان بهینه در این آزمایش انتخاب شدند. میزان بهینه پلی‌آلومینیوم کلراید در تحقیق انجام‌گرفته توسط زوبولیس و تزوپانوس در سال 2010، جهت حذف فسفات از فاضلاب قبل از تصفیه بیولوژیکی فاضلاب (خروجی از حوضچه ته‌نشینی مقدماتی)،  $50-60 mg/l$  انتخاب گردید که در این میزان بهینه، مقدار فسفات از  $23 mg/l$  به کمتر از  $1 mg/l$  رسید و در میزان  $30 mg/l$  آن، 75 درصد، بازدهی حذف فسفات تعیین گردید (16). همان‌طور که می‌دانیم تعیین شرایط بهینه هر یک از مواد منعقدکننده در فاضلاب به مشخصات کمی و کیفی فاضلاب و خصوصیات مواد شیمیایی بستگی دارد که با توجه به عوامل فوق، مواد منعقدکننده در محدوده مشخصی از میزان خود، باعث حذف بالایی از فسفر می‌شود که در واقع در این محدوده معین از میزان مواد منعقدکننده، حضور تولیدات حاصل از هیدرولیز مواد منعقدکننده در محلول افزایش می‌یابد که همین امر باعث افزایش سرعت رشد لخته‌ها و در نتیجه افزایش تعداد زیادی از لخته‌ها و سرانجام افزایش سرعت ته‌نشینی آنها می‌گردد. تفاوت مطالعه حاضر با مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است، این است که این تحقیق در سه نقطه نمونه‌برداری مختلف انجام گرفت تا مقایسه‌ای بین این نقاط نمونه‌برداری از لحاظ هزینه مواد شیمیایی مصرفی و pH بهینه مواد منعقدکننده از لحاظ عدم تغییر در pH طبیعی فاضلاب انجام گیرد تا نقطه نمونه‌برداری بهینه از لحاظ ایجاد تغییرات کمتر در خصوصیات و ویژگی‌های فاضلاب جهت حذف ارتوفسفات توسط فرآیند ترسیب شیمیایی و در نتیجه هزینه شیمیایی کمتر انتخاب گردد.



نمونه برداری، به دلیل لخته‌های زیاد لجن در فاضلاب و در نتیجه مقادیر بسیار بالا TSS در فاضلاب می‌باشد. پس با توجه به نتایج مطالعه، مشخص گردید که در نقطه ورودی به حوضچه ته‌نشینی ثانویه، حضور لخته‌های لجن یک عامل مؤثر در افزایش بازدهی منعقدکننده پلی-آلومینیوم کلراید بوده است، اما اگر بخواهیم تأثیر خالص منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید را مد نظر قرار دهیم باید لخته‌های لجن موجود در نقطه ورودی به حوضچه ته‌نشینی ثانویه حذف گردند و یا در واقع ته‌نشین شوند و پساب روی آن مورد بررسی قرار گیرد که این پساب، نقطه خروجی از حوضچه ته‌نشینی ثانویه به حساب می‌آید. بنابراین نقطه ورودی به حوضچه ته‌نشینی ثانویه از بین نقاط نمونه برداری حذف می‌گردد. بدین ترتیب بین نقطه ورودی به حوضچه ته‌نشینی مقدماتی و خروجی از حوضچه ته‌نشینی ثانویه، به دلیل میزان بالای منعقدکننده و میزان پایین COD، BOD و TSS، بازدهی بالایی در حذف این آلاینده‌ها از خود نشان می‌دهد. در مطالعه آمودا و آمو در سال 2007، جهت حذف کل فسفر، مواد آلی و جامدات معلق از فاضلاب صنعتی، پلی‌الکترولیت در میزان  $1 \text{ mg/l}$  25 به همراه  $100 \text{ mg/l}$  کلوروفریک توانست باعث حذف کل فسفر، COD و کل جامدات معلق به ترتیب برابر 99، 91 و 97 درصد گردد که دلیل آن به میزان بالای مواد شیمیایی جهت حذف این آلاینده‌ها و در نتیجه افزایش تعداد زیادی از ترکیبات حاصل از هیدرولیز مواد منعقدکننده نسبت داده شد که باعث افزایش سرعت رشد لخته‌ها و افزایش تعداد لخته‌ها و در نتیجه نواحی سطحی بیشتر لخته‌ها جهت حذف آلاینده‌ها گردید (14)، اما در تحقیق حاضر، به دلیل اینکه هدف حذف ارتوفسفات توسط منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید بود. بنابراین در شرایط بهینه منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید، حذف مواد آلی و مواد معلق بررسی شد و به دلیل میزان کمتر منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید که باعث تشکیل لخته‌های کمتر و در نتیجه نواحی سطحی کمتر لخته‌ها جهت حذف

پس از تعیین شرایط بهینه منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید، بازدهی حذف COD، BOD و TSS در هر یک از نقاط نمونه برداری مورد نظر بطور جداگانه توسط پلی آلومینیوم کلراید در  $\text{pH}=7$  و در میزان 20، 30 و 30 میلی گرم در لیتر مورد بررسی قرار گرفت. شکل 4، میانگین درصد حذف COD، BOD و TSS توسط منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید و در شرایط بهینه آن را در هر یک از نقاط نمونه برداری مورد نظر نشان می دهد. عملکرد مواد منعقد کننده در فاضلاب بستگی به عوامل مختلفی از جمله pH فاضلاب، مقادیر فسفر، مواد آلی و جامدات معلق و سایر آلاینده های موجود در فاضلاب دارد (21)، با افزایش این آلاینده ها در فاضلاب، بازدهی حذف آنها توسط منعقد کننده ها کاهش می یابد. نتایج این مطالعه نشان داد که در نمونه های فاضلاب ورودی به حوضچه ته نشینی مقدماتی به دلیل مقادیر بالای TSS، COD و BOD و در میزان پایین منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید، بازدهی حذف آنها کمتر از نمونه های ورودی به حوضچه ته نشینی ثانویه و خروجی از حوضچه ته نشینی ثانویه می باشد، همچنین در نمونه های فاضلاب ورودی به حوضچه ته نشینی ثانویه، بیشترین بازدهی حذف COD، BOD و TSS به دست آمده است، این امر علاوه بر مقادیر پایین COD و BOD در فاضلاب، احتمالاً به دلیل وجود لخته های لجن موجود در این نقطه نمونه برداری حاصل از فرآیند بیولوژیکی در حوضچه هوادهی بوده که موجب چسبیدن لخته های لجن به آلاینده های موجود در فاضلاب و یا به لخته های حاصل از واکنش آلاینده ها با تولیدات حاصل از هیدرولیز مواد منعقدکننده گردیده است و لخته های درشت تر و سنگین - تری را تشکیل داده است که باعث بازدهی بالای حذف COD، BOD و TSS و در میزان پایین منعقدکننده مورد بررسی، در این نقطه نمونه برداری نسبت به سایر نقاط نمونه برداری مورد نظر گردیده است. به این نکته باید توجه کرد که دلیل حذف بالای TSS در نقطه ورودی به حوضچه ته نشینی ثانویه نسبت به سایر نقاط

این آلاینده‌ها می‌شود، بازدهی حذف مواد آلی و مواد معلق کاهش یافته است.

1- پلی‌آلومینیوم کلراید، در میزان پایین و در pH طبیعی فاضلاب (pH=7) و در هر یک از نقاط نمونه‌برداری مورد بررسی، در حذف ارتوفسفات بازدهی مؤثری را از خود نشان داد.

2- از بین نقاط نمونه‌برداری مختلف (ورودی به حوضچه ته‌نشینی مقدماتی، ورودی به حوضچه ته‌نشینی ثانویه و خروجی از حوضچه ته‌نشینی ثانویه)، نقطه ورودی به حوضچه ته‌نشینی مقدماتی، به دلیل نیاز به صرف هزینه کمتر جهت حذف ارتوفسفات و عدم ایجاد اختلال در فرایند تصفیه بیولوژیکی فاضلاب، در این پژوهش به عنوان نقطه نمونه‌برداری بهینه انتخاب گردید، زیرا بازدهی حذف COD، BOD و TSS توسط منعقدکننده پلی-آلومینیوم کلراید در این نقطه نمونه‌برداری به ترتیب برابر 48/4، 52/5 و 68/8 درصد به دست آمد و از آنجایی که پساب خروجی از حوضچه ته‌نشینی مقدماتی نباید حاوی مقادیر کم مواد آلی از جمله COD و BOD جهت تصفیه بیولوژیکی فاضلاب در حوض هوادهی باشد و در صورت حذف مقادیر بالای آنها قبل از تصفیه بیولوژیکی، در فرایند تصفیه بیولوژیکی فاضلاب اختلال ایجاد می‌شود، با توجه به بازدهی مورد نظر این پارامترها در انجام این آزمایش‌ها، بنابراین بازدهی حذف آنها در فرایند ترسیب شیمیایی ارتوفسفات قابل قبول می‌باشد و بازدهی حذف بالایی از آنها در فرایند ترسیب شیمیایی مشاهده نمی‌شود و در نتیجه، این امر باعث ایجاد اختلال در فرایند تصفیه بیولوژیکی فاضلاب نمی‌شود. در نقطه ورودی به حوضچه ته‌نشینی ثانویه نیز به دلیل اینکه از میزان بالایی از مواد منعقدکننده جهت حذف ارتوفسفات استفاده شده است و مقداری از لجن حاصل در حوضچه ته‌نشینی ثانویه به ابتدای حوضچه هوادهی بر می‌گردد. بنابراین مقادیر بالای مواد شیمیایی در لجن برگشتی ممکن است در فرایند تصفیه بیولوژیکی مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها اختلال ایجاد کند، اما در صورت

مصرف کمتر مواد شیمیایی، اختلالی در فرایند تصفیه بیولوژیکی ایجاد نمی‌گردد. در نقطه خروجی از حوضچه ته‌نشینی ثانویه به دلیل اینکه بعد از این نقطه نمونه‌برداری، حوضچه ته‌نشینی وجود ندارد و در صورت انجام این فرایند در این نقطه، علاوه بر احداث حوضچه اختلاط و لخته‌سازی باید حوضچه ته‌نشینی هم جهت ته‌نشینی لخته‌ها طراحی گردد. بدین ترتیب همین امر باعث افزایش هزینه‌های ساخت و ساز در واحدهای فرآیندی تصفیه فاضلاب می‌شود. بنابراین انتخاب این نقاط به عنوان نقاط نمونه‌برداری مناسب نمی‌تواند مد نظر قرار گیرند.

### نتیجه‌گیری

- پلی‌آلومینیوم کلراید، در میزان پایین و در pH طبیعی فاضلاب (pH=7) و در هر یک از نقاط نمونه‌برداری مورد بررسی، در حذف ارتوفسفات بازدهی مؤثری را از خود نشان داد.

2- از بین نقاط نمونه‌برداری مختلف (ورودی به حوضچه ته‌نشینی مقدماتی، ورودی به حوضچه ته‌نشینی ثانویه و خروجی از حوضچه ته‌نشینی ثانویه)، نقطه ورودی به حوضچه ته‌نشینی مقدماتی، به دلیل نیاز به صرف هزینه کمتر جهت حذف ارتوفسفات و عدم ایجاد اختلال در فرایند تصفیه بیولوژیکی فاضلاب، در این پژوهش به عنوان نقطه نمونه‌برداری بهینه انتخاب گردید، زیرا بازدهی حذف COD، BOD و TSS توسط منعقدکننده پلی-آلومینیوم کلراید در این نقطه نمونه‌برداری به ترتیب برابر 48/4، 52/5 و 68/8 درصد به دست آمد و از آنجایی که پساب خروجی از حوضچه ته‌نشینی مقدماتی نباید حاوی مقادیر کم مواد آلی از جمله COD و BOD جهت تصفیه بیولوژیکی فاضلاب در حوض هوادهی باشد و در صورت حذف مقادیر بالای آنها قبل از تصفیه بیولوژیکی، در فرایند تصفیه بیولوژیکی فاضلاب اختلال ایجاد می‌شود. با توجه به این اوصاف و توجه به بازدهی مورد نظر این پارامترها در انجام این آزمایش‌ها، بنابراین بازدهی حذف آنها در فرایند ترسیب شیمیایی ارتوفسفات قابل

اختلاط و لخته‌سازی باید حوضچه ته‌نشینی هم جهت ته‌نشینی لخته‌ها طراحی گردد. بدین ترتیب همین امر باعث افزایش هزینه‌های ساخت و ساز در واحدهای فرآیندی تصفیه فاضلاب می‌شود. بنابراین انتخاب این نقاط به‌عنوان نقاط نمونه‌برداری مناسب نمی‌تواند مد نظر قرار گیرند.

### قدردانی

بدین وسیله از مرکز تحقیقات فن‌آوری‌های زیست‌محیطی دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز که مسئولیت تصویب تأمین هزینه و امکانات لازم جهت انجام این پایان‌نامه را بر عهده داشتند و مسئولین محترم آزمایشگاه دانشکده بهداشت این دانشگاه که در این تحقیق همکاری‌های لازم را داشتند، قدردانی می‌گردد.

قبول می‌باشد و بازدهی حذف بالایی از آنها در فرآیند ترسیب شیمیایی مشاهده نمی‌شود و در نتیجه، این امر باعث ایجاد اختلال در فرآیند تصفیه بیولوژیکی فاضلاب نمی‌شود. در نقطه ورودی به حوضچه ته‌نشینی ثانویه نیز به دلیل اینکه از میزان بالایی از مواد منعقدکننده جهت حذف ارتوفسفات استفاده شده است و مقداری از لجن حاصل در حوضچه ته‌نشینی ثانویه به ابتدای حوضچه هوادهی بر می‌گردد. بنابراین مقادیر بالای مواد شیمیایی در لجن برگشتی ممکن است در فرآیند تصفیه بیولوژیکی مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها اختلال ایجاد کند، اما در صورت مصرف کمتر مواد شیمیایی، اختلالی در فرآیند تصفیه بیولوژیکی ایجاد نمی‌گردد. در نقطه خروجی از حوضچه ته‌نشینی ثانویه به دلیل اینکه بعد از این نقطه نمونه‌برداری، حوضچه ته‌نشینی وجود ندارد و در صورت انجام این فرآیند در این نقطه، علاوه بر احداث حوضچه

### منابع

- 1- Ozacar M, Sengil IA . Effect of Tannins on Phosphate Removal Using Alum. Turkish J Eng Env Sci 2003; 27(1):227-36.
- 2- Jiang JQ , Graham NJD . Pre-polymerised inorganic coagulants and phosphorus removal by coagulation- a review. Water Sci Assoc 1998;24( 3):237-44.
- 3- Nam JS, Kim CY. Phosphate ion removal from a solution by soda-lime borosilicate glass. J Non- Cryst Solids 2008;354(45-46):5009-13.
- 4- Koiv M, Liira M, Mander U, Motlep R, Vohla C, Kirsimae K. Phosphorus removal using ca-rich hydrated oil shale ash as filter material--the effect of different phosphorus loadings and wastewater compositions. Water Res 2010;44(18):5232-9.
- 5- lupa L, Negrea P, Negrea A, Iovi A, Cocheci L, Mosoarca G. Modelling and automation of the process of phosphate ion removal from waste waters . Braz J Chem Eng 2008;25(1):9-17.
- 6-De Haas DW, Wentzel MC, Ekama GA. The use of simultaneous chemical precipitation in modified activated sludge system exhibiting biological excess phosphate removal part 1: literature review. Water Sci Assoc 2000;26(4):439-52.
- 7- Paul E, Laval ML, Sperandio M. Excess sludge production and costs due to phosphorus removal. Environ Technol 2001;22(11):1363-71.
- 8- Howe K, Crittenden JC, Hand DW, Trussell RR, Tchobanoglous G. Water Treatment: Principles and Design .3<sup>rd</sup> ed. : McGraw-Hill ; 2011. P. 340-80.
- 9- Li F, Jiang JQ, Wu S, Zhang B. Preparation and performance of a high purity poly-aluminum chloride . Chem Eng J 2010;156(1):64-9.
- 10- McCurdy K, Carlson K, Gregory D. Floc morphology and cyclic shearing recovery: comparison of alum and polyaluminum chloride coagulants. Water Res 2004;38(2):486-94.
- 11- Kan Ch, Huang Ch. Coagulation monitoring in surface water treatment facilities. Water Sc Technol 1998;38(3):237-44.
- 12- Srivastava VC, Mal ID, Mishra IM. Treatment of pulp ana paper mill wastewater with poly aluminum chloride and bagasse fly ash . Colloids and Surfaces A. Physicochem Engineering Aspects Jun Wiley Inc. 2005;260:17-28.
- 13- Amuda OS, Amoo IA. Coagulation/ flocculation process and sludge conditioning in beverage industrial wastewater treatment. J Hazard Mater 2007;141(3):778-83.

- 14-Zouboulis AI, Tzoupanos ND. Polyaluminium silicate chloride-a systematic study for the preparation and application of an efficient coagulant for water or wastewater treatment. *J Hazard Mater* 2009;162(2-3):1379-89.
- 15- Ghafari S, Aziz HA, Isa MH, Zinatizadeh AA. Application of response surface methodology (RSM) to optimize coagulation–flocculation treatment of leachate using poly-aluminum chloride (PAC) and alum. *J Hazard Mater* 2009;163(2-3):650-6.
- 16- Zouboulis AI , Tzoupanos N. Alternative cost-effective preparation method of polyaluminium chloride (PAC) coagulant agent: characterization and comparative application for water/wastewater treatment .*Desalination* 2010;250(1):339-44.
- 17- Azimi A, Golrizan F, [Comparison of chemical sludge conditioning methods in ghods wastewater treatment plant]. *J Environ Stud* 2005;31(37):9-16. (In Persian)
- 18- American Water Works Association, Water Environment Federation, American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and WasteWater*. 21<sup>st</sup> ed .Washington, D.C: American Water Works Association; 2005.
- 19- Gerard.H, *Waste Water bacteria*, Jun Weilly, 2006, 12, 110-115, Mc Grow- Hill.
- 20- Neyens E, Baeyens J, Weemaes M, De heyder B. Hot acid hydrolysis as a potential treatment of thickened sewage sludge. *J Hazad Mater* 2003;98(1-3):275-93.
- 21- Jamali HA, Mahvi AH, Nabizadeh R, Vaezi F, Omrani GA. [Combination of coagulation–flocculation and ozonation processes for treatment of partially stabilized landfill leachate of Tehran]. *World Appl Sci J* 2009;5:9-15. (In Persian)

## Removal of Phosphorus, Organic Matter and Suspended Solids by Poly Aluminum Chloride from Municipal Wastewater (Case Study: Ahvaz West Wastewater Treatment Plant)

Mina Hormozi Nejad<sup>1</sup>, Afshin Takdastan<sup>2\*</sup>, Nematollah Jaafarzadeh Haghhighifard<sup>3</sup>, Mehdi Ahmadi Mogadam<sup>4</sup>, Nezamoddin Mengelizadeh<sup>5</sup>

5,1- Master Student of Environmental Health Engineering.  
4,2- Assistant Professor of Environmental Health Engineering.  
3- Associate Professor of Environmental Health Engineering.

5,1- Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

4,3,2- Department of Environmental Health Engineering and Environmental Technology Research Center, School of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

\*Corresponding author:  
Afshin Takdastan; Department of Environmental Health Engineering and Environmental Technology Research Center, School of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran  
Tel: +989123470776  
Email: afshin\_ir@yahoo.com

### Abstract

**Introduction:** Phosphorus is an important nutrient for plant and microorganisms growth, thus has an important role in creating eutrophication of surface waters. The present study has investigated Poly Aluminum Chloride efficiency on orthophosphate removal by coagulation and chemical precipitation process in municipal Wastewater in Ahvaz west Wastewater treatment plant.

**Methods and Materials:** This bench scale study was performed on influent wastewater to the primary and secondary clarifier and the effluent of the secondary clarifier in Ahvaz west wastewater treatment plant. By using a jar test, the optimum pH and dose of Poly Aluminum Chloride in orthophosphate removal was determined.

**Results:** The results showed that Poly Aluminum Chloride in pH =7, and in doses between 20, 30 and 30 mg/l decreases orthophosphate concentration to 0.51, 0.705 and 0.43 mg/l respectively and the influent point to the primary clarifier, with the lowest consume of coagulant dose and consequently the low cost of this process in treatment plant, has been selected as the optimum sampling point.

**Conclusion:** As the results show, the efficient removal of orthophosphate, organic material and suspended material using Poly Aluminum Chloride are desirable, and orthophosphate concentration in effluents decreased to lower than 1 mg/l.

**Keyword:** Orthophosphate Removal, Chemical Precipitation, Wastewater Advanced Treatment, Ahvaz West Wastewater Treatment Plant.

Received: Jan 17, 2011

Revised: May 12, 2012

Accepted: May 12, 2012