

بررسی حذف آلومینیوم باقیمانده از فرآیند انعقاد آب به وسیله ترکیبات فسفات

محمد هادی دهقانی^{۱*}، رضا قنبری^۲

۱. دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران ۲. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران
* نویسنده مسئول. تلفن ۰۲۱۶۶۹۵۴۲۳۴. فکس: ۰۲۱۶۶۴۱۹۹۸۴. ایمیل: dehghanihadi@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: غلظت بالای آلومینیوم در آب آشامیدنی ممکن است مخاطرات بهداشتی ایجاد نماید. اما افزودن ترکیبات فسفات بعد از منعقدکننده، می‌تواند غلظت فلزات باقیمانده را کاهش دهد. هدف از این مطالعه کاربرد ترکیبات فسفات جهت حذف آلومینیوم باقیمانده ناشی از فرآیند انعقاد آب می‌باشد.

روش کار: در این تحقیق از آزمایش جار برای بررسی حذف آلومینیوم باقیمانده با استفاده از ترکیبات فسفات در انعقاد معمول و تشدید یافته آب و همچنین تعیین پارامترهای موثر بر آن، استفاده گردید. افزودن ترکیبات فسفات در حین اختلاط تند انجام می‌گرفت. دوزهای آلوم در آزمایش انعقاد متعارف ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بود و این آزمایش‌ها در درجه حرارت‌های مختلف (۳۵، ۲۲ و ۵ درجه سانتی‌گراد) و pH های متفاوت (۵/۵، ۷/۵، ۶/۵ و ۵/۵) انجام گرفت. برای آزمایش‌های انعقاد تشدید یافته، دوزهای آلوم ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در pH های مختلف (واقعی آب و ۵/۵ pH) مورد استفاده قرار گرفت.

یافته ها: این مطالعه نشان داد که ترکیبات فسفات در کاهش فلزات باقیمانده موثرند. بیشترین حذف آلومینیوم باقیمانده در دوز ۵۰ میلی‌گرم در لیتر منعقدکننده رخ داد. غلظت فلزات باقیمانده در انعقاد متعارف در pH های مختلف، متفاوت بود. حداقل و حداکثر غلظت آلومینیوم در pH=۶/۵ و pH=۵/۵ مشاهده گردید.
نتیجه گیری: این تحقیق نشان داد که افزودن فسفات در مرحله اختلاط تند، آلومینیوم باقیمانده را کاهش می‌دهد. اما دوزهای فسفات مورد نیاز در pH=۵/۵ باید افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: تصفیه آب، آلومینیوم، فسفات، انعقاد متعارف، انعقاد تشدید یافته

پذیرش: ۹۲/۷/۱۲

دریافت: ۹۲/۳/۲۱

مقدمه

آلومینیوم بطور طبیعی در برخی از منابع آب خام وجود دارد و اصلاح آن بطور رایج بعنوان یک منعقدکننده در فرآیندهای تصفیه آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. در شرایط طبیعی، آلومینیوم به شکل نامحلول تبدیل شده و از آب جدا می‌شود. اما غالباً اتفاق می‌افتد که مقداری از آلومینیوم به صورت

محلول و در غلظتی بیش از آب خام اولیه باقی می‌ماند. مقادیر بالای آلومینیوم در آب می‌تواند از نظر سلامت و بهداشت مشکلاتی را به بار آورد (۱-۱۴).

در مورد شناسایی اجزای آلومینیوم در آب خام و آب آشامیدنی تحقیقات مختلفی انجام گرفته است.

ازوالد^۱ و همکاران، ادوارد^۲ و همکاران اجزاء آلومینیوم را در آب خام و تصفیه شده چهار تصفیه خانه داوارس، ماساچوست، بورلینگتن و ورمونت تعیین کردند. تحقیقات آنها نشان داد که غلظت ورودی آلومینیوم محلول نسبتاً پایین بوده ولی بعد از تصفیه با آلوم افزایش یافت (۱۵،۱۶).

همچنین نتایج بررسی های انجام شده در سال ۱۹۸۷ میلادی نشان داد که غلظت آلومینیوم از ۰/۱۴ میلی گرم در لیتر در آب های زیرزمینی تا ۲/۵۷ میلی گرم در لیتر در آب های سطحی تصفیه شده با آلوم، متغیر است. در ایالات متحده، غلظت آلومینیوم در آب های زیرزمینی در محدوده ۱۴۰ تا ۲۹۰ میکروگرم در لیتر و غلظت آن در آب های سطحی بین ۱۶ تا ۱۱۷۰ میکروگرم در لیتر گزارش شده است. در انگلستان غلظت این عنصر در آب های اسیدی بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ میکروگرم در لیتر و در آب های مناطق جنگلی در محدوده ۴۰۰ تا ۶۰۰ میکروگرم در لیتر به دست آمده است (۳-۹).

در صورتی که مقادیر زیادی از سولفات آلومینیوم در فرآیندهای تصفیه آب مورد استفاده قرار بگیرد، در شبکه توزیع رسوبات آلومینیوم ایجاد خواهد شد. این رسوبات به تدریج و با افزایش فاصله از شبکه توزیع فزونی یافته و از طرفی بر اثر نوسانات جریان در شبکه توزیع، سبب افزایش غلظت آلومینیوم در آب می شوند (۱۰-۶). نتایج بررسی های انجام گرفته توسط ایماندل و همکاران در بررسی میزان آلومینیوم باقیمانده در شبکه توزیع آب شهرهای برازجان، نشان داد که متوسط غلظت آلومینیوم در آب آشامیدنی این مناطق که ناشی از مصرف آلوم در تصفیه خانه آب بندرعباس بوده، حداقل ۱۵۰ و حداکثر ۱۸۲ میکروگرم در لیتر بوده است (۱۷).

سایر مطالعات نشان داده اند در اغلب تصفیه خانه هایی که از آلوم به عنوان منعقد کننده در

فرآیند تصفیه استفاده نموده اند، غلظت آلومینیوم باقیمانده در محدوده ۱۰ تا ۱۳۰۰ میکروگرم در لیتر بوده است. همچنین گزارش شده است که غلظت آلومینیوم متعاقب استفاده از آلوم به عنوان منعقد کننده (در محدوده ۱۰ تا ۲۳۷۰ میکروگرم در لیتر)، بیشتر از غلظت های موجود در آب خام بوده به طوری که میزان بالای آلومینیوم در سیستم های توزیع منجر به ایجاد رسوب شده است (۱-۱۳،۵).

فرامل^۳ و همکاران تاثیر تزریق ترکیبات فسفات به آب دریاچه میشیگان را جهت حذف آلومینیوم باقیمانده مورد بررسی قرار داد. نتایج تحقیقات او نشان داد که افزایش ارتوفسفات، غلظت آلومینیوم باقیمانده محلول را حدود ۳۵۰ میکروگرم در لیتر کاهش می دهد. همچنین آنالیز نمونه های فیلتر شده نشان داد که افزودن ارتوفسفات سبب کاهش غلظت آلومینیوم باقیمانده در pH های ۷، ۷/۵ و ۸/۵ می گردد (۱۸،۱۹).

سازمان جهانی بهداشت تاکنون تنها غلظت ۰/۲ میلی گرم در لیتر آلومینیوم را در آب آشامیدنی به منظور جلوگیری از ایجاد رنگ در شبکه توزیع پیشنهاد کرده است (۱۹).

هدف اصلی از این مطالعه بررسی میزان کارایی ترکیبات فسفات در حذف آلومینیوم باقیمانده ناشی از انعقاد متعارف و پیشرفته در تصفیه آب بود. در این مطالعه اثرات ترکیبات فسفات، دوز ترکیبات فسفات، pH و دمای آب بر آلومینیوم باقیمانده از منعقد کننده ها در آب تصفیه شده، مورد بررسی قرار گرفتند.

روش کار

این تحقیق که یک مطالعه تجربی- کاربردی است به منظور بررسی حذف آلومینیوم باقیمانده از

¹ Edzwald

² Edwards

³ Frommell

ریخته و جهت هموژن شدن به مدت ده دقیقه به هم زده شد. محلول به مدت ۲۴ ساعت به حال خود رها و سپس مجدداً بهم زده می‌شد و بعد از ۳۰ دقیقه ته‌نشینی، آب رویی جهت انجام آزمایشات مورد استفاده قرار می‌گرفت.

آزمایش جار

آزمایشات جار (انعقاد، لخته‌سازی و ته‌نشینی) با استفاده از یک دستگاه جارتست استاندارد با شش بشر یک لیتری در دمای اتاق انجام گرفت. لازم به ذکر است که تمامی جارها و پدل‌های اختلاط قبل از انجام هر آزمایش با اسید هیدروکلریک شسته شده و سپس با آب مقطر آبکشی می‌گردید. افزودن ترکیبات فسفات نیز در حین اختلاط تند و یک دقیقه قبل یا بعد از تزریق ماده منعقدکننده آلوم، انجام می‌گرفت. ترکیبات فسفات به میزان ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ میلی‌گرم در لیتر به شیشه‌های جار تزریق می‌شد. اما در آزمایش‌های جار به یکی از شیشه‌ها هیچ فسفاتی اضافه نمی‌گردید تا میزان فلز باقیمانده در هر وضعیتی مشخص گردد. دوزهای ۱۰ میلی‌گرم در لیتر آلوم برای انعقاد معمول و دوزهای ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر آلوم برای انعقاد پیشرفته مورد استفاده قرار گرفتند.

نرم‌افزارها و روش‌های آماری

نرم افزار SPSS جهت تجزیه و تحلیل نتایج تحقیق و روش‌های آماری (Bivariate) Correlation و Regression و Independent Samples T-test به منظور آنالیز تحلیلی کارهای انجام شده مورد استفاده قرار گرفتند.

یافته‌ها

در این مطالعه اثر افزایش دوزاژ اورتوفسفات سدیم و پلی فسفات سدیم، میزان کاهش آلومینیوم در pH و دزازه‌های مختلف و همچنین میزان کاهش آلومینیوم آب در غلظت‌های مختلف فسفات در دماهای مختلف مورد آزمایش قرار گرفتند. در

فرآیندهای انعقاد معمول و پیشرفته آب توسط ترکیبات فسفات در آزمایشگاه شیمی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران صورت گرفت.

به‌منظور بررسی و تعیین اثر عوامل دخیل در حذف آلومینیوم و دستیابی به اهداف مورد نظر تحقیق و امکان تکرار آزمایشات، نمونه‌های آب خام به‌صورت سنتتیک تهیه و مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین با توجه به اینکه در تصفیه‌خانه‌های آب کشور عمدتاً از آلوم به‌عنوان منعقدکننده اصلی استفاده می‌شود، لذا از این مواد برای انجام آزمایشات استفاده گردید.

در تمام موارد جهت انجام آزمایشات از کتاب استاندارد متد استفاده گردید (۲۰). خصوصیات ترکیباتی که جهت انجام آزمایشات مورد استفاده قرار گرفتند به‌شرح زیر می‌باشد:

- سولفات آلومینیوم (آلوم): سولفات آلومینیوم پودری شکل با وزن مولکولی $g/mole / 42 / 666$ که این محلول با غلظت یک گرم در لیتر برحسب $Al_2(SO_4)$ و به‌عنوان محلول استوک منعقدکننده در طول انجام آزمایشات تهیه گردید.

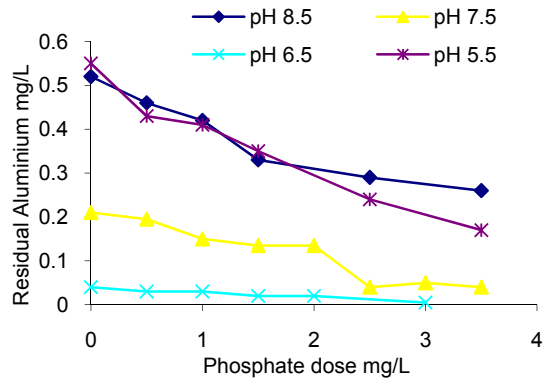
- اورتوفسفات سدیم: اورتو فسفات سدیم $(Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O)$ پودری شکل و با وزن مولکولی $g/mole / 178 / 13$ که این محلول با غلظت ۱ گرم در لیتر بر حسب PO_4 در طول انجام آزمایشات تهیه شد.

- پلی فسفات سدیم: پلی فسفات سدیم $[(Na_2(PO_3))_n]$ پودری شکل با وزن مولکولی $g/mole / 42 / 666$ که این محلول با غلظت ۱ گرم در لیتر بر حسب PO_3 در طول انجام آزمایشات تهیه گردید.

تهیه نمونه‌های آب خام سنتتیک

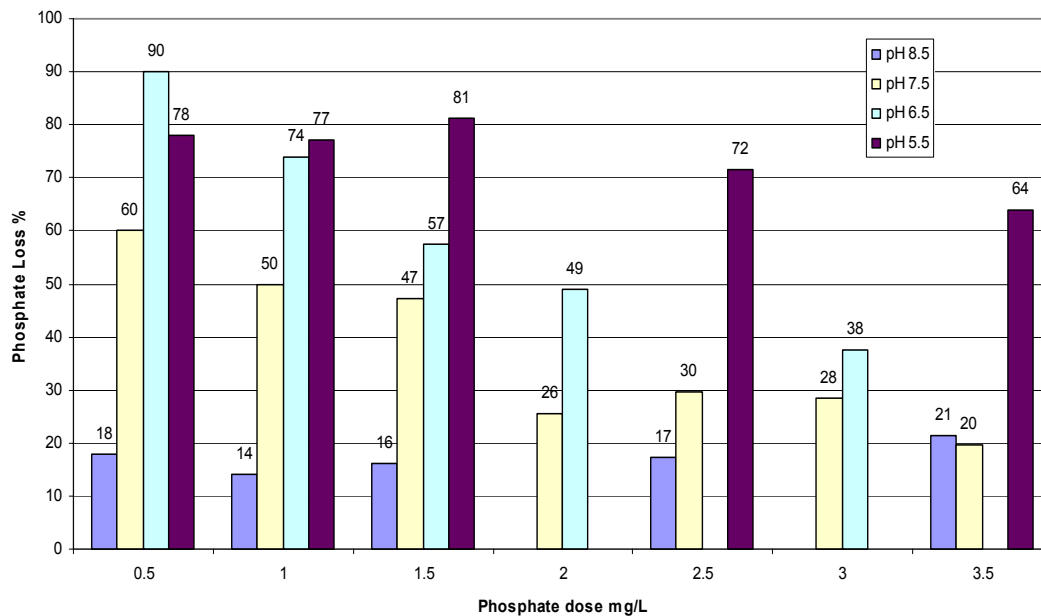
جهت تهیه نمونه از خاک رس طبیعی استفاده گردید. بدین ترتیب که در ابتدا این خاک از الک با مش ۱۲۰ عبور داده شد و سپس مقدار ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر از آن توسط ترازو توزین و در داخل نمونه آب

کمترین میزان آن در ۰/۰۴ میلی‌گرم در لیتر در pH = ۶/۵ و بیشترین میزان آن در pH = ۵/۵ به میزان ۰/۵۵ میلی‌گرم در لیتر مشاهده می‌شود.



شکل ۲. میزان کاهش آلومینیوم آب در برابر دوزهای مختلف ارتوفسفات در اثر تغییر pH آب

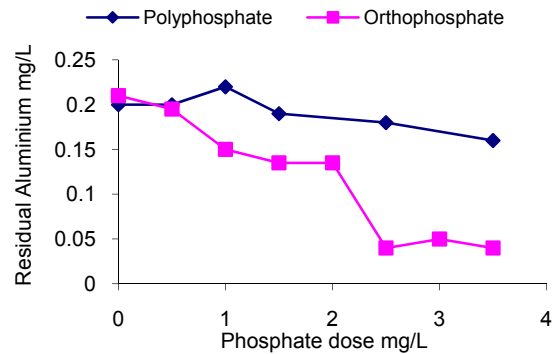
در شکل ۳ درصد حذف فسفات در انعقاد با آلوم در برابر دوزهای مختلف ارتوفسفات در pH های مختلف آب مقایسه شده است.



شکل ۳. مقایسه درصد حذف فسفات در انعقاد با آلوم در برابر دوزهای مختلف ارتوفسفات در pH های مختلف آب

آلوم در pH واقعی آب را نشان می‌دهد. در این pH

شکل ۱ اثر افزایش دوزهای ارتوفسفات سدیم و پلی فسفات سدیم نشان داده است. همانگونه که مشاهده می‌شود پلی فسفات تنها ۰/۴ mg/L از آلومینیوم باقیمانده را حذف کرده است.

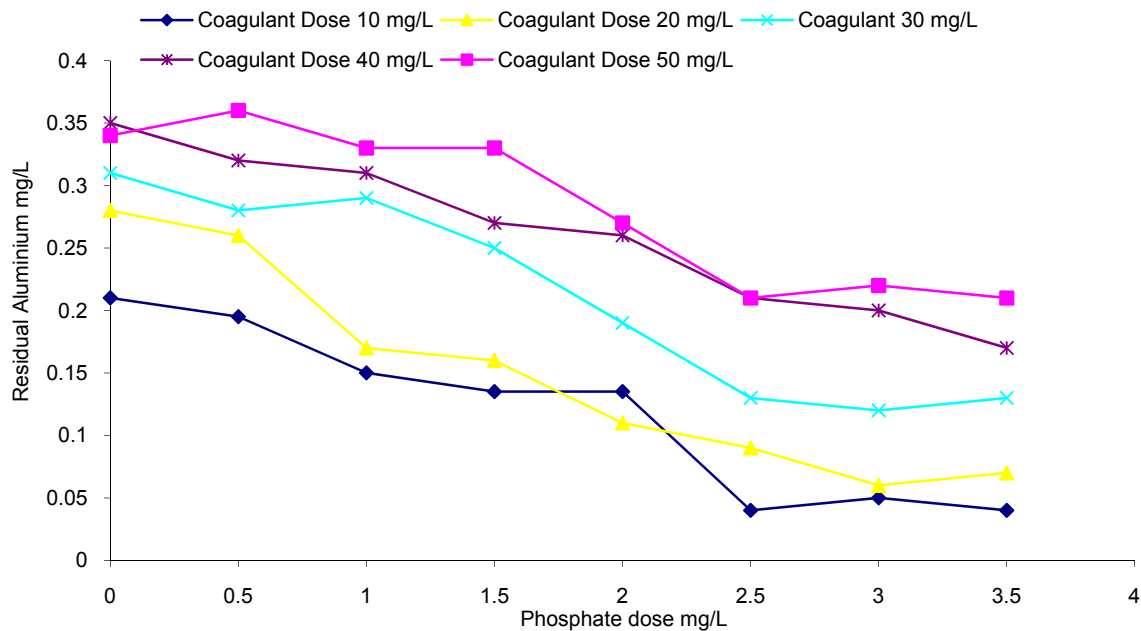


شکل ۱. میزان کاهش آلومینیوم آب در اثر دوزهای مختلف ارتوفسفات و پلی فسفات در pH طبیعی آب

میزان کاهش آلومینیوم در pH های مختلف در دوزهای ۱۰ میلی‌گرم در لیتر آلوم در شکل ۲ نمایش داده شده است. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود، آلومینیوم باقیمانده بدون افزایش فسفات در pH های مختلف متفاوت است، به عبارتی دیگر

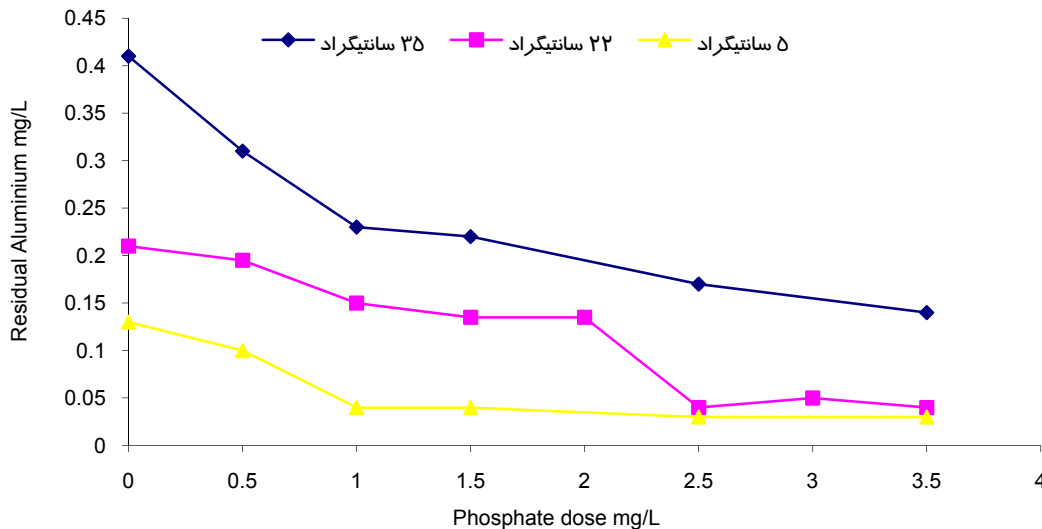
شکل ۴ میزان کاهش آلومینیوم در دوزهای مختلف

با افزایش دوز از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تا ۰/۳۵ میلی‌گرم در لیتر افزایش می‌یابد.



شکل ۴. میزان کاهش آلومینیوم آب در برابر دوزهای مختلف ارتوفسفات در دوزهای مختلف آلوم در pH طبیعی آب

میزان کاهش آلومینیوم آب در برابر دوزهای مختلف ارتوفسفات در دماهای ۵، ۲۲ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برابر ۰/۱۳، ۰/۲۱ و ۰/۴۱ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.



شکل ۵. میزان کاهش آلومینیوم آب در برابر دوزهای مختلف ارتوفسفات در دماهای مختلف

در این مرحله از آزمایشات، ارتوفسفات توانست غلظت آلومینیوم باقیمانده را به میزان ۰/۱۶ میلی‌گرم در لیتر کاهش دهد، که این نتایج با

یافته‌ها و بحث اثر افزایش دوزهای ارتوفسفات سدیم و پلی فسفات سدیم

آنها لخته‌هایی که در حضور فسفات تشکیل شده بودند، ضعیف‌تر از لخته‌هایی بودند که پس از شکل گرفتن با فسفات مواجه شده بودند. این پدیده بیشتر به دلیل شرکت فسفات در ساختار لخته در هنگام تشکیل آن می‌باشد که منجر به ضعیف شدن لخته می‌گردد. اما افزودن فسفات پس از تشکیل لخته‌ها تنها به جذب آن بر روی هیدروکسیدهای تشکیل شده منتهی خواهد شد (۲۱،۱۸).

نتایج آماری نشان داد که بین داده‌های مربوطه در این دو نقطه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. لازم به ذکر است که در نتایج آنالیز تی تست زوجی نیز بین داده‌های فوق اختلاف معنی‌داری ملاحظه نشد. لذا با توجه به دلایلی که در بالا ذکر شد، در این مطالعه نقطه تزریق بعد از منعقدکننده انتخاب گردید.

اثر تغییرات pH

مقدار آلومینیوم باقیمانده در pHهای ۷/۵ و ۸/۵ به ترتیب برابر ۰/۲۱ و ۰/۵۲ میلی‌گرم در لیتر بود. در نتایج تحقیقات فرامل و همکاران نیز از ۷۰۰ میکروگرم در لیتر آلومینیوم تزریق شده، حدود ۶۷۰ میکروگرم در لیتر آن در pH=۷ رسوب کرده و تنها ۳۰ میکروگرم در لیتر آلومینیوم تزریق شده در آب باقی ماند (۱۸). در حالی که در این مطالعه در pHهای ۷/۵ و ۸ به ترتیب تنها ۵۶۰ و ۱۴۰ میکروگرم در لیتر آلومینیوم تزریق شده رسوب کرده و مابقی در آب به صورت محلول باقی ماندند. بیشترین میزان کاهش در اینجا پس از تزریق ارتوفسفات، مربوط به pH=۵/۵ می‌باشد که حدود ۰/۳۷ میلی‌گرم در لیتر کاهش را نشان داد. پس از آن میزان آلومینیوم در pH=۸/۵ به میزان ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت، اما هنوز از استاندارد تعیین شده برای آلومینیوم بالاتر بود.

نتایج تحلیل رگرسیون نشان داد بین غلظت فلز باقیمانده و فاکتور دوز فسفات تزریقی ارتباط معناداری وجود دارد (۳²=۰/۱۷۸). همچنین نتایج آنالیز رگرسیون سه متغیره نشان داد که بین غلظت

تحقیقات فرامل و همکاران مطابقت دارد. اما میزان آلومینیوم باقیمانده در کاربرد پلی فسفات بیش از مقدار باقیمانده در مطالعه فرامل و همکاران بود (مقدار باقیمانده در این تحقیق ۰/۱۶ میلی‌گرم در لیتر بوده که تقریباً دو برابر نتایج مطالعه مذکور می‌باشد). این تفاوت به دلیل تفاوت کیفیت شیمیایی آب مورد استفاده در این دو تحقیق است. در این تحقیق میزان حذف آلومینیوم باقیمانده در کاربرد ارتوفسفات (۰/۱۶ میلی‌گرم در لیتر) بالاتر از حذف مشاهده شده در تحقیق فرامل و همکاران یعنی ۰/۹ میلی‌گرم در لیتر بود (۱۸).

تفسیرهای آماری نتایج این تحقیق مبین آن است که بین میزان دوز فسفات در هر دو ترکیب استفاده شده و میزان کاهش آلومینیوم همبستگی معناداری وجود دارد. البته این همبستگی در مورد پلی فسفات با $p=۰/۰۴۲$ و در مورد ارتوفسفات با $p<۰/۰۰۱$ معنی‌دار است.

مقایسه اثر محل تزریق ارتوفسفات

افزایش دوز فسفات تزریقی سبب افزایش غلظت باقیمانده می‌شود. بر اساس تحقیقات بویسورت^۱ و همکاران غلظت فسفات باقیمانده بعد از ته‌نشینی آلومینیوم وابسته به نسبت PO_4/Al می‌باشد، به طوری که با افزایش مقدار فسفات اضافه شده به سیستم، غلظت فسفات باقیمانده متعاقباً افزایش می‌یابد (۲۱).

نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار فسفات باقیمانده اگر قبل از منعقدکننده تزریق شود، بسیار کمتر خواهد بود. در تحقیق فرامل و همکاران نیز نتایج مشابهی به دست آمد (۴۸۰-۴۴۰ میکروگرم در لیتر فسفات باقیمانده در تزریق ارتوفسفات قبل از منعقدکننده. در مقایسه با ۲۵۰ میکروگرم در لیتر فسفات باقیمانده در تزریق ارتوفسفات بعد از منعقدکننده). همچنین با نتایج تحقیقات بویسورت و همکاران نیز مشابه بود. همچنین بر اساس تحقیقات

¹ Boisvert

براساس نتایج تحلیل رگرسیون، بین غلظت فلز باقیمانده و فاکتورهای دوز منعقدکننده و دوز فسفات تزریقی ارتباط معناداری وجود داشت ($r^2=0/940$). همچنین تحلیل رگرسیون سه‌متغیره نشان داد بین غلظت فسفات باقیمانده، دوز منعقدکننده و دوز فسفات تزریقی ارتباط معناداری وجود دارد ($r^2=0/655$).

بررسی تاثیر دوز منعقد کننده در pH= 5/5

این مطالعه نشان داد که بیشترین حذف در حضور فسفات در دوز ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اتفاق می‌افتد. اما در این شرایط غلظت آلومینیوم هنوز هم بسیار بیشتر از استانداردهای تعیین‌شده می‌باشد. در هیچ کدام از دوزها منعقدکننده در pH= 5/5، آلومینیوم به حد استاندارد کاهش پیدا نکرد. نتایج تحلیل رگرسیون نشان داد که بین غلظت فلز باقیمانده و فاکتورهای دوز منعقدکننده و دوز فسفات تزریقی ارتباط معناداری وجود داشت ($r^2=0/958$). بنابراین می‌توان گفت که مقدار فلز باقیمانده بیشتر تحت تاثیر غلظت منعقدکننده مصرفی است تا غلظت دوز فسفات تزریقی.

از طرفی انجام آزمایشات نشان داد با افزایش دوز منعقدکننده، میزان فسفات باقیمانده به شدت کاهش می‌یابد. برای نمونه در دوزها ۳/۵ میلی‌گرم در لیتر فسفات در مقادیر ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر منعقدکننده، میزان فسفات باقیمانده به ترتیب برابر ۱/۲۵، ۰/۴۸، ۰/۲۵، ۰/۰۵ و ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر بود. عملاً در مقادیر بالای ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر آلوم، تنها پس از افزایش ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفات، شاهد حضور فسفات باقیمانده هستیم.

نتایج تحلیل رگرسیون هم نشان داد که بین غلظت فسفات باقیمانده و فاکتورهای دوز منعقدکننده و دوز فسفات تزریقی ارتباط معناداری وجود داشت ($r^2=0/549$). به نظر می‌رسد در این pH برای جلوگیری از خوردگی و همچنین برای حذف آلومینیوم به مقادیر بالاتری از فسفات نیاز است.

فلز باقیمانده و فاکتورهای دوز فسفات تزریقی و دما ارتباط معناداری وجود دارد ($r^2=0/299$).

این مطالعه نیز نشان داد که بیشترین فسفات باقیمانده مربوط به pH= ۸/۵ می‌باشد، به طوری که با کاهش pH میزان فسفات باقیمانده کمتر می‌شد؛ که با نتایج تحقیقات فرامل و همکاران و ایک بروک^۱ و همکاران مشابهت دارد. دلیل این پدیده این است که حلالیت ترکیبات فسفات آلومینیوم در pH حدود ۶ کمترین مقدار بوده و فسفات رسوب می‌نماید (۲۲، ۱۸).

نتایج تحلیل رگرسیون برای بررسی تاثیر تغییرات pH و دوز فسفات تزریقی بر غلظت فسفات باقیمانده نشان داد بین غلظت فسفات باقیمانده و فاکتورهای pH و دوز فسفات تزریقی ارتباط معناداری وجود دارد ($r^2=0/917$). بنابراین می‌توان گفت که مقدار فسفات باقیمانده بیشتر تحت تاثیر دوز فسفات تزریقی است تا مقدار pH. از طرفی نتایج تحلیل رگرسیون سه‌متغیره نشان داد بین غلظت فلز باقیمانده و فاکتورهای دوز فسفات تزریقی و pH ارتباط معناداری وجود دارد ($r^2=0/934$).

بررسی تاثیر افزایش دوز منعقدکننده در pH واقعی آب در این pH بیشترین حذف در دوز ۲۰ میلی‌گرم در لیتر آلوم دیده شد، به طوری که آلومینیوم از حدود ۰/۲۸ میلی‌گرم در لیتر به حدود ۰/۰۷ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت. میزان آلومینیوم باقیمانده در دوزها ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب از ۰/۳۱ و ۰/۳۵ میلی‌گرم در لیتر به ۰/۱۳ و ۰/۱۷ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت. با افزایش دوز فسفات تزریقی تا حد ۱ میلی‌گرم در لیتر میزان آلومینیوم باقیمانده به حد استاندارد کاهش یافت. همچنین میزان آلومینیوم باقیمانده در دوزها آلوم ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر نیز با افزایش دوز فسفات تا حد ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر به حد استاندارد کاهش یافت.

¹ Eikebrokk

تأثیر درجه حرارت

میزان آلومینیوم باقیمانده با افزایش دما به شدت افزایش می‌یابد. بیشترین میزان حذف در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد انجام شد که در حدود ۰/۲۷ میلی‌گرم در لیتر بود. در تحقیقات فرامل و همکاران در تمام دماها میزان آلومینیوم محلول به حد استاندارد کاهش پیدا کرد. همچنین نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که میزان فسفات باقیمانده تحت تأثیر دماهای متفاوت قرار نگرفته است که با نتایج مطالعات فرامل و همکاران و همچنین وانگ^۱ و همکاران مطابقت دارد (۱۸،۱۴). نتایج آنالیز رگرسیون نشان داد که بین غلظت فلز باقیمانده و فاکتورهای دمای آب و دوز فسفات ارتباط معناداری وجود دارد ($r^2=0/862$). همچنین نتایج تحلیل رگرسیون سهم‌متغیره نشان داد که بین غلظت فلز باقیمانده و فاکتورهای دوز فسفات تزریقی و دما ارتباط معناداری وجود داشت ($r^2=0/299$). همچنین نتایج تحلیل رگرسیون مبین آن بود که بین غلظت فسفات باقیمانده و فاکتورهای دمای آب و دوز فسفات تزریقی ارتباط معنادار وجود دارد ($r^2=0/981$). بدین ترتیب مقدار فسفات باقیمانده بسیار کم تحت تأثیر دما بوده و بیشتر تحت تأثیر دوز فسفات تزریقی است.

نتیجه گیری

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که در طی انعقاد پیشرفته در pH واقعی آب، میزان آلومینیوم باقیمانده با افزایش دوز منعقدکننده (از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، از حدود ۰/۲۱ میلی‌گرم در لیتر به ۰/۳۵ میلی‌گرم در لیتر افزایش می‌یافت. همچنین بیشترین حذف در دوز ۲۰ میلی‌گرم در لیتر آلوم دیده شد، به‌طوری که آلومینیوم از ۰/۲۸ میلی‌گرم در لیتر به ۰/۰۷

میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت. در انعقاد پیشرفته در pH= ۵/۵ با افزایش دوز منعقدکننده، غلظت آلومینیوم باقیمانده از ۰/۵۵ میلی‌گرم در لیتر تا ۲/۴ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت. در تمامی دماها نیز میزان فلز باقیمانده به حد استاندارد کاهش یافت. به‌عنوان یک نتیجه کلی می‌توان گفت که در تصفیه‌خانه‌های آب میزان مصرف منعقدکننده گاهی تا چند برابر میزان متعارف بالا می‌رود و طبیعتاً مقادیر نسبتاً چشمگیری نیز از این مواد شیمیایی در آب باقی می‌ماند که اگر در مراحل بعدی تصفیه از آب جدا نگردد مشکلاتی را به‌بار خواهد آورد. لذا کاربرد ترکیبات فسفات متعاقب افزودن آلوم، این امکان را فراهم می‌سازد که غلظت آلومینیوم باقیمانده کاهش یابد و متعاقباً پتانسیل ترسیب آلومینیوم در سیستم‌های توزیع آب نیز کمتر شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران بوده، همچنین در قالب طرح تحقیقاتی به شماره ۶۱۴۲۲۷۰۳۸۶ با حمایت مالی این دانشگاه انجام شده است.

¹ Wang

References

- 1- Budd GC, Hess AF, Shorney-Darby H, Neemann JJ, Spencer CM, Bellamy JD, Hargette PH. Coagulation, application for new treatment goals. *Journal of American Water Works Association*. 2004; 96 (2): 102-113.
- 2-Kastl G, Fisher I, Jegatheesan V. Evaluation of chlorine decay kinetics expressions for drinking water distribution system, *Journal of Water Supply: Research & Technology - Aqua*. 1999; 48(6):219-226.
- 3-Kastl G, Fisher IH, Peizhong C. A tool for accurate simulation of chlorine and THMs concentration profile in drinking water distribution systems from laboratory data, IWA Specialised Conference, Management of Productivity at Water Utilities, Prague. 2002:88-94
- 4-Aryal A, Sathasivan A, Adhikari RA. Evidence that BAC treatment enhances the DOC Removal by enhanced coagulation. *Journal of Desalination*. 2011; 280(1-3): 326-331.
- 5-Liu H, Liu R, Tian C, Jiang H, Liu X, Zhang R, Qu J. Removal of natural organic matter for controlling disinfection by-products formation by enhanced coagulation: A case study. *Journal of Separation and Purification Technology*. 2012; 84(9): 41-45.
- 6-Letterman RD, Driscoll CT. Survey of residual aluminum in finished water. *Journal of American Water Works Association*. 1988; 80(4): 154-158.
- 7-Sollars CJ, Bragg AM, Simpson AM, Perry R. Aluminum in European drinking waters. *Journal of Environmental Technology Letters*. 1989; 10(2): 130-150.
- 8- Cui FY, Hu MC, Zhang Y, Cui CW. Investigation on aluminum concentration in drinking water in part of China's cities. *Journal of China Water and Wastewater*. 2002; 18(1): 4-7.
- 9- Miller RD, Kopfler FC, Kelty KC, Stober JA, Ulmer NS. The occurrence of aluminum in drinking water. *Journal of American Water Works Association*. 1984; 76(1): 84-91.
- 10-Srinivasan PT, Viraraghavan T, Subramanian KS. Aluminium in drinking water: an overview. *Journal of Water SA*. 1999; 25(1): 47-57.
- 11-Weng LP, Temminghoff EJM, Van-Riemsdijk WH. Aluminum speciation in natural waters: measurement using Donnan membrane technique and modeling using NICA-Donnan. *Journal of Water Research*. 2002; 36(17): 4215-4226
- 12- Wang WD, Yang HW, Wang XC, Jiang J, Zhu WP. Reaction mechanism of fuvic acid with aluminum in natural water. *Journal of Environmental Sciences*. 2010; 22(2): 211-217.
- 13- Wang WD, Yang HW, Wang XC, Jiang J, Zhu WP. Factors effecting aluminum speciation in drinking water by laboratory research. *Journal of Environmental Sciences*. 2010; 22(1): 47-55.
- 14- Wang WD, Yang HW, Jiang J, Zhu WP, Jiang ZP. Effects of Temperature and pH on the Distribution of Aluminum Species in Drinking Water. *Journal of Environmental Sciences*. 2009; 30(8): 2259-2262
- 15-Van-Bennshoten JE, Edzwald JK. Measuring aluminum during water treatment: Methodology and application. *Journal of American Water Works Association*. 1990; 82(5): 71-79.
- 16-Edwards M, Boller M, Benjamin M. Effect of Preozonation on removal of organic matter during water treatment plant operation. *Journal of Water science and technology*. 1993; 27: 37- 45.
- 17-Imandel K, Farhud D, Derakhtian A. The occurrence of aluminium in municipal treated water supply of Bushehr and Borazjan area of Iran. *Iranian Journal of Public Health*. 1994; 23(1-4): 33 -40.
- 18-Frommell DM, Feld CM, Snoeyink BM, Melcher B, Feizoulof C. Aluminum residual control using orthophosphate. *Journal of American Water Works Association*, 2004; 96(9): 99-109.
- 19- AWWA. *Water Quality & Treatment: A Handbook on Drinking Water (Water Resources and Environmental Engineering Series)*. Chapter 6: Coagulation and flocculation. 5th edition. McGraw- Hill Companies Publisher. 1999:6.1-6.61
- 20-APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed., Washington DC, USA. 2005:3-57
- 21-Boisvert JP, Cong TT, Berrak A, Jolicoeur C. Phosphate Adsorption in Flocculation Processes of Aluminum Sulfate and Poly-Aluminum-Silicate-Sulfate. *Journal of Water Research*. 1997; 31(8):1939-1946.
- 22-Eikebrkk B, Juhna T, Qsterhus SW. Water treatment by enhanced coagulation: Operational status and optimization issues. *TECHNEAU*. 2007:1-7

Investigating the Removal of Residual Aluminum Resulting from Water Coagulation Process by Phosphate Compounds

Dehghani MH^{1*}, Ghanbari R²

1. Associate Professor in Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2. MSc of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

* *Corresponding Author.* Tel: +982166954234 Fax: +982188950188 E-mail: dehghanihadi@yahoo.com

Received: 10 Jun 2013 Accepted: 3 Oct 2013

ABSTRACT

Background & Objectives: High concentration of aluminum in drinking water may cause adverse health effects. But adding phosphate compounds after coagulant can reduce the concentrations of residual metals. The aim of this study was to apply phosphate compounds to remove residual aluminum resulting from water coagulation process.

Methods: In this research, Jar tests were used to investigate residual Al removal by use of phosphate compounds in conventional and enhanced coagulation and to determine its affecting parameters. Phosphate compounds were added during rapid mixing. Dosage of alum in conventional coagulation test was 10 mg/l and the tests were done at different temperatures (i.e. 35, 22, and 5° C) and pHs (i.e. 8.5, 7.5, 6.5, and 5.5). For enhanced coagulation tests, alum at dosages of 10, 20, 30, 40, and 50 mg/l were applied in different pHs (i.e. 5.5 and normal pH of water).

Results: This research showed that phosphate compounds are effective in reducing residual metals. The maximum removal of residual Al was observed at coagulant dosage of 50 mg/l. Concentration of residual metals in conventional coagulation was different at various pHs. Minimum and maximum concentrations of Al were observed in pHs of 6.5 and 5.5, respectively.

Conclusion: This study showed that addition of phosphate at rapid mixing stage reduces the residual Al. However, the required dosages of phosphate should be increased at pH=5.5.

Key words: Water Treatment; Aluminum; Phosphate; Conventional Coagulation; Enhanced Coagulation