

## بررسی فلوروزدایی آب با منعقدکننده های شیمیایی

گیتی کاشی<sup>۱</sup>، امیر محمد فرهودی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> دانشجوی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

نام نویسنده مسئول:

گیتی کاشی

### چکیده

بیماری های دندان، استخوانی، کاهش ضریب هوشی کودک، تغییر ساختمان DNA، کاهش عملکرد تیروئید و بروز سرطان مثانه از جمله نشانگان افزایش فلوراید آب آشامیدنی محسوب می شوند. غلظت زیاد فلوراید در منابع آب زیرزمینی از کشورهای الجزایر، ایران، سوریه و هند گزارش شده است. هدف این تحقیق بررسی کارایی حذف فلوراید، عامل بیماری فلوروزیس دندان و استخوانی، از آب آشامیدنی شهری توسط انعقادشیمیایی می باشد. این تحقیق از نوع آزمایشگاهی- کاربردی است. نمونه آب آشامیدنی شهری تهران دارای حاوی فلوراید در رآکتور ناپیوسته آزمایش گردیدند. کارایی حذف در حالت مختلف متغیرهای pH (۴/۲، ۷/۵ و ۹)، زمان تماس (۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه)، غلظت منعقدکننده (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی گرم در لیتر)، نوع منعقدکننده (پلی آلومینیوم کلراید (PAC)، سولفات آلومینیوم (آلوم)، نیترات آلومینیوم) و غلظت فلوراید (۳، ۶ و ۹ میلی گرم در لیتر) مورد بررسی قرار گرفت. مقدار راندمان حذف غلظت ۹ میلی گرم در لیتر فلوراید در زمان تماس ۹۰ دقیقه و pH بهینه معادل ۷/۵ با غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر PAC، ۴۰۰ میلی گرم در لیتر آلوم و ۲۰ میلی گرم در لیتر نیترات آلومینیوم برحسب درصد به ترتیب ۱۰۰، ۹۱/۱ و ۱۰۰ در رآکتور انعقادشیمیایی بدست آمد. هر سه منعقد کننده آلوم، PAC و نیترات آلومینیوم در pH معادل ۷/۵ از عملکرد بیش تری برخوردار هستند. همچنین نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که بیش ترین غلظت منعقد کننده در سولفات آلومینیوم (۵۰۰ mg/L) مصرف شده است و غلظت آلومینیوم باقی مانده بیش تری (۰/۱۱۳ میلی گرم در لیتر) تولید شده است. افزایش زمان تماس به افزایش راندمان حذف و کاهش غلظت منعقدکننده مصرفی در منعقدکننده ها منجر می شود. به طور کلی می توان نتیجه گیری و پیشنهاد نمود که روش انعقادشیمیایی با نیترات آلومینیوم روشی مناسب و کارآمد در حذف فلوراید از آب آشامیدنی است.

**واژگان کلیدی:** آب آشامیدنی شهری، انعقادشیمیایی، پلی آلومینیوم کلراید، سولفات آلومینیوم، فلوراید، نیترات آلومینیوم.

## مقدمه

میزان برداشت آب زیرزمینی برای تامین آب آشامیدنی ۵۲٪ در کشور ایران است. کیفیت ضعیف منابع آب آشامیدنی سطحی و زیرزمینی و مصرف آب آلوده به ترکیبات آلی و معدنی شیمیایی سلامت افراد را تهدید می کند (۱). آب آشامیدنی و چای از جمله مهم ترین منابع دریافت فلوراید محسوب می شوند (۲). صنعت آلومینیوم سازی، شیشه سازی و کود فسفاته از جمله منابع انسان ساخت ورود فلوراید هستند (۳). سازمان بهداشت جهانی مقدار فلوراید در آب آشامیدنی را  $0.1-7/5 \text{ mg/L}$  اعلام نمود (۴). بیماری های دندانی، استخوانی، کاهش ضریب هوشی کودک، تغییر در ساختمان DNA، کاهش عملکرد تیروئید، اختلال سیستم عصبی-ماهیچه ای و بروز سرطان مثانه از جمله نشانگان افزایش فلوراید آب آشامیدنی محسوب می شوند (۵). غلظت زیاد فلوراید در منابع آب زیرزمینی از کشورهای ایران، ترکیه، سوریه، عراق، هند، الجزایر، مراکش و بخش های جنوبی کشور ایالات متحده آمریکا گزارش شده است (۶). شیوع فلوروزیس دندانی و استخوانی از شهرهای ایران نظیر بوشهر، برازجان، دامغان، کرمان و ماکو به علت غلظت فلوراید بیش از  $1/5 \text{ mg/L}$  در آب آشامیدنی گزارش شده است (۷). دو گروه فرآیندهای شناخته شده تصفیه فلوراید از آب آشامیدنی، جذب روی آلومینای فعال و رزین تبادل یونی انتخابی هستند که هزینه بالا، ظرفیت محدود و روش های احیای از جمله معایب آن ها محسوب می شوند (۸). بنابراین، استفاده از فناوری های کارآمدتر برای فلوروزدایی ضرورت دارد. فرآیند استفاده از منعقدکننده نمک پلیمر فلزی پلی آلومینیوم کلراید (PAC) فاقد مشکلات ذکر شده است. عملکرد این ماده منعقدکننده در این فرآیند، براساس ناپایداری کلوئیدها می باشد. ارزان بودن، بهبود عملکرد و سرعت بخشی به عملیات ناپایداری ذره ای، و جداسازی موثر کلوئیدها در مقایسه با مکانیسم های دیگر از جمله مزایای کاربرد PAC محسوب می شوند. با توجه به مزایای PAC و گسترش کاربرد آن در تصفیه خانه های آب کشور تحقیق حاضر به عنوان راه اندازی روش کنترل دقیق مقدار فلوراید آب آشامیدنی انجام گرفت. بسیاری از محققان در مورد عملکرد انعقادشیمیایی در حذف آلاینده ها از آب آشامیدنی تحقیق نموده اند. برای مثال کاپنجا و همکاران در سال ۲۰۱۷ مطالعه ای برای بررسی حذف فلوراید با ترکیب گیاه آمارانتوس هایبیریدوس و کلرور فریک انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد که ترکیب گیاه آمارانتوس و کلرور فریک به حذف بیش تر فلوراید منجر می شود (۹). سینها و همکاران در سال ۲۰۱۲ روی حذف فلوراید از آب زیرزمینی توسط الکتروکواگولاسیون تحقیق نموده و متوجه شد که روش الکتروکواگولاسیون در مقایسه با فناوری های آلومینای فعال و نالگودا آلومینیوم باقی مانده کم تری در آب آزاد می کند (۱۰). هدف این تحقیق بررسی تعیین کارایی حذف فلوراید، عامل بیماری فلوروزیس دندانی و استخوانی، از آب آشامیدنی شهری توسط انعقادشیمیایی می باشد. همچنین اثرات نوع منعقدکننده شیمیایی، pH، زمان تماس، غلظت منعقدکننده شیمیایی و غلظت فلوراید مورد بررسی قرار گرفتند.

## روش های تئوری

### ۱-۱ تهیه نمونه آب دارای فلوراید

محلول استوک فلوراید ۱۰۰ میلی گرم در لیتر از طریق انحلال ۲۲۱ میلی گرم فلوراید سدیم (مرک، آلمان) در ۱۰۰۰ میلی لیتر آب مقطر دو بار تقطیر تهیه شد. با انجام رقیق سازی با آب آشامیدنی تهران (با نسبت ۱ به ۳۳، ۱۶ و ۱۱) محلول های حاوی غلظت های مختلف فلوراید (۳، ۶ و ۹ میلی گرم در لیتر) آب حاصل شد. نمونه آب از شبکه توزیع آب آشامیدنی تهران که غلظت زمینه فلوراید آن ۰ میلی گرم در لیتر بود، تهیه شد (جدول ۱).

### ۲-۱ آماده سازی رآکتور ناپیوسته

دستگاه جارتست مدل لوویبون ساخت کشور آلمان جهت انجام آزمایشات مورد استفاده قرار گرفت. رآکتور ناپیوسته با ظرف پلاستیکی ۱۰۰۰ و حجم موثر ۵۰۰ میلی لیتر استفاده شد. کلیه آزمایش ها در دمای آزمایشگاه ( $20 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ) انجام شد. حجم آب ۵۰۰ سانتی متر مکعب، مدت اختلاط تند (۱ دقیقه) با شدت بهم زنی ۱۰۰ دور در دقیقه و حجم نمونه بررسی شده بعد از تصفیه ۵۰ میلی لیتر در نظر گرفته شد که از مرکز برداشت می شد.

### ۳-۱ روش های آنالیتیکی

برای ارزیابی تاثیر انعقاد بر فرآیند حذف، نمونه ها در pH ( $7/5$ ،  $4/2$  و  $9$ )، زمان تماس (۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه)، غلظت فلوراید (۳، ۶، ۹ میلی گرم در لیتر)، غلظت PAC (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی گرم در لیتر)، غلظت آلوم (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم در لیتر) و غلظت نیترات آلومینیوم (۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ میلی گرم در لیتر) تحت انعقادشیمیایی قرار گرفتند. به این ترتیب تعداد نمونه های مورد بررسی با توجه به روش فاکتوریل ۴۳۲ مورد بدست آمد. آزمایشات بعمل آمده پس از کاربرد مدت واکنش شامل pH، حرارت، کدورت، آلومینیوم باقیمانده و فلوراید نمونه ها می شوند. اندازه گیری غلظت فلوراید و آلومینیوم باقیمانده (RAI) پس از صاف کردن توسط صافی غشایی واتمن ساخت کشور انگلستان

با اندازه ۰/۴۵ میکرون به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR/2010 HACH ساخت کشور آمریکا به ترتیب در طول موج ۵۸۰ نانومتر با روش کالریمتری SPADNS و در طول موج ۵۱۰ نانومتر با روش کالریمتری اریوکروم سیانید آر طبق دستورالعمل های موجود در کتاب روش های استاندارد جهت انجام آزمایش های آب و فاضلاب انجام گرفت (۱۱). اندازه گیری pH و حرارت توسط دستگاه pH متر مدل HACH ساخت کشور آمریکا انجام گرفت. برای تنظیم pH از دستگاه pH متر و محلول اسید سولفوریک (مرک، آلمان) و سود ۱ نرمال استفاده شد (۱۲). اندازه گیری کدورت توسط دستگاه کدورت سنج مدل HACH ساخت کشور آمریکا انجام گرفت. راندمان حذف فلوراید با رابطه (۱) محاسبه شد:

$$Removal (\%) = \left(1 - \frac{C_t}{C_{t0}}\right) \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

که:  $C_{t0}$  و  $C_t$  به ترتیب غلظت فلوراید پس از انعقاد در زمان  $t$  و غلظت فلوراید اولیه در آغاز واکنش است. آزمایشات ۳ بار تکرار و مقدار متوسط آن ها گزارش گردید. یک نمونه شاهد جهت کنترل نتایج در کلیه مراحل آزمایشات استفاده شد (۱۳). طراحی آزمایشات حذف با مدل تاگوچی (۵ متغیر طراحی دارای ۳ سطح) انجام گرفت (۱۴).

جدول ۱. مقادیر متوسط غلظت و ویژگی های فیزیوشیمیایی آب شهری

مقدار	واحد	متغیر
۸/۰۵	میلی گرم بر لیتر	اکسیژن محلول
۲۷۹	میلی ولت	پتانسیل اکسیداسیون و احیاء (ORP)
۷/۱۹	-	pH
۲۰	درجه سانتی گراد	حرارت
۹۳/۸	میلی گرم بر لیتر	سولفات
۹/۵	میلی گرم بر لیتر	نیتрат

## ۲- بحث و نتیجه گیری

### ۲-۱ اثر نوع و غلظت ماده منعقدکننده شیمیایی بر کارایی حذف فلوراید

حذف ۱۰۰٪ فلوراید در انعقادشیمیایی با غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر PAC بعد از ۹۰ دقیقه زمان تماس بدست آمد. افزایش غلظت فلوراید از ۳ به ۹ میلی گرم در لیتر در pH معادل ۷/۵، زمان تماس ۹۰ دقیقه به افزایش غلظت PAC از ۲۰ به ۴۰ میلی گرم در لیتر به ۱۰۰٪ حذف منجر می شود (جدول ۲). راندمان حذف غلظت ۹ میلی گرم در لیتر فلوراید در غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر PAC و زمان تماس ۹۰ دقیقه در pH ۴/۲، ۷/۵ و ۹ به ترتیب ۸۹٪، ۱۰۰٪ و ۹۹٪ در انعقادشیمیایی بدست آمد. حذف بیش از ۹۰٪ فلوراید در انعقادشیمیایی با غلظت ۵۰۰ میلی گرم در لیتر آلوم بعد از ۹۰ دقیقه زمان تماس بدست آمد. افزایش غلظت فلوراید از ۳ به ۹ میلی گرم در لیتر در pH معادل ۷/۵، زمان تماس ۹۰ دقیقه به افزایش غلظت آلوم از ۲۰۰ به ۴۰۰ میلی گرم در لیتر به ۱۰۰٪ حذف منجر می شود (جدول ۳). راندمان حذف غلظت ۹ میلی گرم در لیتر فلوراید در غلظت ۴۰۰ میلی گرم در لیتر آلوم و زمان تماس ۹۰ دقیقه در pH ۴/۲، ۷/۵ و ۹ به ترتیب ۸۹/۵٪، ۱۰۰٪ و ۹۹/۵٪ در انعقادشیمیایی بدست آمد. حذف ۱۰۰٪ فلوراید در انعقادشیمیایی با غلظت ۲۰ میلی گرم در لیتر نیترات آلومینیوم بعد از ۹۰ دقیقه زمان تماس بدست آمد. افزایش غلظت فلوراید از ۳ به ۹ میلی گرم در لیتر در pH معادل ۷/۵، زمان تماس ۹۰ دقیقه به افزایش غلظت نیترات آلومینیوم از ۸ به ۱۶ میلی گرم در لیتر به ۱۰۰٪ حذف منجر می شود (جدول ۴). راندمان حذف غلظت ۹ میلی گرم در لیتر فلوراید در غلظت ۱۶ میلی گرم در لیتر PAC و زمان تماس ۹۰ دقیقه در pH ۴/۲، ۷/۵ و ۹ به ترتیب ۸۹/۵٪، ۱۰۰٪ و ۹۹/۵٪ در انعقادشیمیایی بدست آمد. افزایش غلظت PAC، آلوم و نیترات آلومینیوم به افزایش راندمان حذف فلوراید منجر می شود. کم ترین مقدار فلوراید باقی مانده (۱۰٪) راندمان حذف فلوراید در pH معادل ۷/۵، زمان تماس ۹۰ دقیقه، غلظت ۳ میلی گرم در لیتر فلوراید و غلظت ۸ میلی گرم در لیتر نیترات آلومینیوم بدست آمد. برطبق نتایج حاصل از بررسی نوع منعقدکننده روی کارایی حذف گستره غلظت ۳-۹ میلی گرم در لیتر فلوراید، می توان نتیجه گیری نمود که انعقاد با منعقدکننده نیترات آلومینیوم از راندمان بالاتری نسبت به منعقدکننده های PAC و آلوم برخوردار است. در نتیجه راندمان حذف فلوراید وابسته به نوع منعقدکننده است. به عبارت دیگر نیترات آلومینیوم به افزایش راندمان حذف فلوراید ناشی از تشکیل لخته های سنگین تر منجر می شود. همچنین می توان استدلال نمود که فلوراید باقی مانده از گستره رهنمود سازمان بهداشت جهانی (۱/۵ میلی گرم در لیتر) تجاوز نکرده است. این یافته تحقیق با تحقیق انجام گرفته توسط جباری و جمالی در سال ۱۳۹۱ مطابقت دارد. آنان نشان دادند که غلظت ۷ میلی گرم در لیتر آلوم در pH معادل ۶ دارای راندمان

۵۹٪ است و مقدار فلوراید باقیمانده را از ۱/۸ به ۰/۹ میلی گرم در لیتر کاهش می دهد و غلظت ۰/۷ میلی گرم در لیتر آهک در pH معادل ۸/۵ دارای راندمان ۵۱٪ است و مقدار فلوراید باقیمانده را از ۱/۸ به ۱/۰۴ میلی گرم در لیتر کاهش می دهد (۱۵). یاری و همکاران مقدار غلظت فلوراید را در برخی از منابع آب زیرزمینی و شبکه توزیع شهری شهر قم را بیش از استانداردهای مجاز کشوری و رهنمودهای سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۱۶ اعلام نمودند (۱۶). این یافته تحقیق با تحقیق انجام گرفته توسط یاداو و همکاران در سال ۲۰۱۰ مطابقت دارد. این محقق نشان داد که افزایش مقدار آلومینیوم آمونیوم سولفات در خاک کوزه از ۲ به ۸ گرم در کیلوگرم خاک کوزه به افزایش راندمان حذف از ۶۱٪ به ۶۸٪ در زمان تماس ۱۲۰ ساعت و غلظت اولیه ۱۰ میلی گرم در لیتر فلوراید منجر می شود (۱۷).

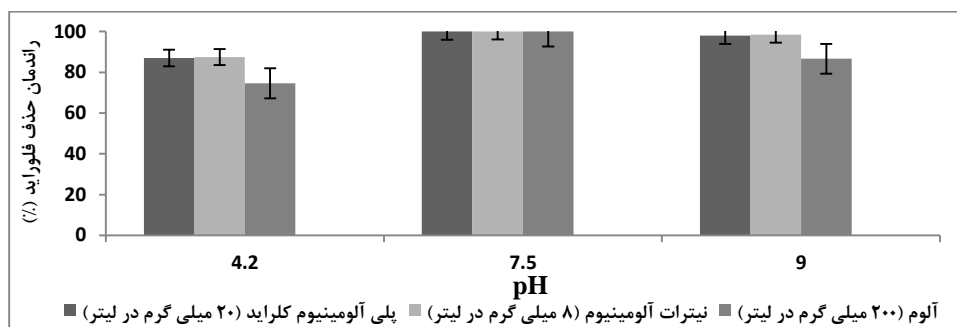
## ۲-۲ اثر نوع و غلظت ماده منعقدکننده شیمیایی بر RAI

همان گونه که ملاحظه می شود افزایش غلظت PAC، آلوم و نیترات آلومینیوم به افزایش غلظت RAI منجر می شود (جدول ۵). غلظت RAI در کم ترین مقدار فلوراید باقیمانده (۱۰۰٪ راندمان حذف فلوراید) در pH معادل ۷/۵، زمان تماس ۹۰ دقیقه، غلظت ۳ میلی گرم در لیتر فلوراید و غلظت منعقدکننده های ۲۰ میلی گرم در لیتر PAC، ۲۰۰ میلی گرم در لیتر آلوم و ۸ میلی گرم در لیتر نیترات آلومینیوم برحسب میلی گرم در لیتر به ترتیب ۰/۰۰۸، ۰/۰۱۲ و ۰/۰۰۴ بدست آمد. افزایش غلظت فلوراید از ۳ به ۹ میلی گرم در لیتر در pH معادل ۷/۵، زمان تماس ۹۰ دقیقه به افزایش غلظت RAI از ۰/۰۰۸ به ۰/۰۴۸ میلی گرم در لیتر، از ۰/۰۱۲ به ۰/۰۷۲ و از ۰/۰۰۴ به ۰/۰۲۴ به ترتیب در گستره غلظت های منعقدکننده های ۲۰-۴۰ میلی گرم در لیتر PAC، ۲۰۰-۴۰۰ میلی گرم در لیتر آلوم و ۸-۱۶ میلی گرم در لیتر نیترات آلومینیوم برای ۱۰۰٪ حذف منجر می شود. غلظت منعقدکننده های ۱۰ میلی گرم در لیتر PAC، ۱۰۰ میلی گرم در لیتر آلوم و ۴ میلی گرم در لیتر نیترات آلومینیوم در pH معادل ۷/۵ برحسب درصد به ترتیب دارای راندمان ۷۱، ۶۰/۳ و ۷۲ هستند و مقدار فلوراید باقیمانده را برحسب میلی گرم در لیتر به ترتیب از ۳ به ۰/۸۷، ۱/۱۹ و ۰/۸۴ کاهش می دهند. برطبق نتایج حاصل از بررسی غلظت ۳، ۶ و ۹ میلی گرم در لیتر فلوراید روی کارایی حذف، می توان نتیجه گیری نمود که کارایی حذف به دلیل افزایش غلظت فلوراید در مقابل مقدار ثابت مواد شیمیایی تولید شده نظیر تولید  $Al^{3+}$  کاهش یافته است. به عبارت دیگر افزایش غلظت فلوراید و کاهش غلظت منعقدکننده به کاهش میزان واکنش ها ناشی از تولید لخته های ریزتر و کاهش راندمان حذف منجر می شود. مقایسه آماری نشان داد بین کارایی حذف فلوراید و متغیرهای غلظت فلوراید ( $P \text{ value} < 0/001$ ) و غلظت منعقدکننده ( $P < 0/002$ ) همبستگی مثبت وجود دارد و تاثیر غلظت فلوراید بیش از غلظت منعقدکننده بر کارایی حذف فلوراید است. این یافته تحقیق با تحقیق انجام گرفته توسط جعفری و همکاران در سال ۲۰۱۴ همخوانی دارد. آنان نشان دادند حذف ۸-۲ میلی گرم در لیتر فلوراید در گستره pH معادل ۱۰-۴ با ۶۰۰-۲۰۰ میلی گرم در لیتر مورینگا/ولیفرا/امکانپذیر است و کاربرد ۹۰۰ میلی گرم در لیتر مورینگا/ولیفرا در pH معادل ۷/۶ به ۸۵/۴٪ حذف ۸ میلی گرم در لیتر فلوراید منجر می شود (۱۸). افزایش راندمان حذف فلوراید در غلظت کم تر فلوراید اولیه و افزایش غلظت منعقدکننده را می توان به افزایش تمایل آنیون فلوراید برای پیوند با لخته های هیدروکسید آلومینیوم به علت تعداد بیش تر لخته ها (به عنوان جایگاه پذیرنده اتصال) نسبت به غلظت آنیون فلوراید نسبت داد.

## ۲-۳ نتایج تاثیر pH اولیه واکنش بر روی حذف فلوراید توسط منعقدکننده ها

کارایی فرآیند حذف فلوراید در انعقادشیمیایی با PAC، آلوم و نیترات آلومینیوم در pH معادل ۷/۵ غلظت های ۳ تا ۹ میلی گرم در لیتر فلوراید افزایش می یابد (نمودار ۱). pH معادل ۷/۵ به غلظت منعقدکننده کم تری در مقایسه با دو pH دیگر نیاز دارد. کم ترین مقدار فلوراید باقی مانده (۱۰۰٪ راندمان حذف فلوراید) در pH معادل ۷/۵، زمان تماس ۹۰ دقیقه، غلظت ۳ میلی گرم در لیتر فلوراید و غلظت منعقدکننده ۸ میلی گرم در لیتر نیترات آلومینیوم بدست آمد. در خصوص بررسی کارایی حذف فلوراید در سه pH ۴/۲، ۷/۵ و ۹ می توان بیان نمود که مقدار حذف فلوراید با افزایش pH کاهش می یابد. به عبارت دیگر افزایش pH به تشکیل لخته های هیدروکسید آلومینیوم دارای ظرفیت جذب کم تر منجر می شود. بهترین pH برای تولید حداکثر کمپلکس های آلومینیوم درشت تر و پایدارتر، pH معادل ۷/۵ است. به عبارت دیگر pH معادل ۷/۵، بهترین pH بهینه نیز محسوب می شود. مولکول فلوراید به جای لیگاند عمل می کند، با بخشی از هیدرات های آلومینیوم باند می شود و مکانیسم های ترسیب و جذب اتفاق می افتد. بنابراین می توان نتیجه گیری نمود که افزایش واکنش های شیمیایی در pH معادل ۷/۵ به حداکثر تولید لخته های فلزی آلومینیوم، جذب فلوراید و ترسیب فلوراید منجر می شود. کو و همکاران در سال ۲۰۱۲ این یافته تحقیق را تأیید می کنند. آنان نشان دادند که حذف موثر فلوراید در گستره pH معادل ۹-۶ با آلوم  $(Al_2(SO_4)_3)$  امکانپذیر است (۱۹). همچنین می توان نتیجه گیری نمود که هر ماده منعقد کننده در گستره خاصی از pH اثر بهتری دارد. بنابراین تنظیم pH برای دستیابی به شرایط بهینه موثر است. با توجه به اینکه pH در بیش تر منابع آبی در محدوده خنثی می باشد، بنابراین استفاده از PAC می تواند مقادیر اضافی فلوراید در این منابع را حذف نماید. ملاحظات ناشی از تغییرات غلظت منعقدکننده و زمان تماس تأیید کننده این نتیجه گیری است که کارایی حذف فلوراید در سه pH ۴/۲، ۷/۵ و ۹ وقتی غلظت منعقدکننده و زمان تماس افزایش می یابد، همچنین می توان استدلالت نمود که تغییرات pH به عنوان سنجشی از تشکیل لخته

های کمپلکس آلومینیوم محسوب می شود و اکسیدهای Al زیادترین غلظت بار مثبت را در pH معادل ۷/۵ نشان داد. کمینه راندمان منعقدکننده های بررسی شده در pH ۴/۲ اسیدی را می توان به تولید  $AlO_2^-$  ناشی از دیپروتونه شدن منعقدکننده ها نسبت داد. پیش آزمون ها نشان دادند که نیترات آلومینیوم، به عنوان منعقدکننده بهینه، دارای پتانسیل زتای صفر (با بیشینه قابلیت متراکم سازی فلوراید)، مثبت، و منفی به ترتیب در pH های ۷/۵، ۹ و ۴/۲ است. مویی و همکاران گستره پتانسیل زتای صفر اکسید آلومینیوم را در ۷/۵-۸/۰ اعلام نمودند (۲۰).



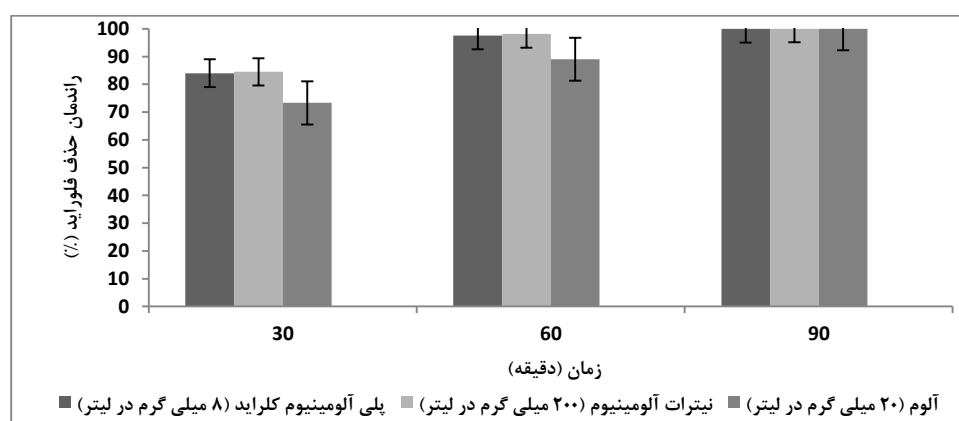
نمودار ۱. درصد حذف فلوراید از آب آلوده ۳ میلی گرم در لیتر فلوراید، زمان تماس ۹۰ دقیقه، pH و غلظت منعقدکننده های مختلف

## ۲-۴ نتایج تاثیر زمان تماس بر روی حذف فلوراید توسط منعقدکننده ها

افزایش غلظت فلوراید از ۳ به ۹ میلی گرم در لیتر در pH معادل ۷/۵، به افزایش زمان تماس از ۶۰ به بیش از ۹۰ دقیقه، به ترتیب در غلظت منعقدکننده های ۳۰ میلی گرم در لیتر PAC، ۳۰۰ میلی گرم در لیتر آلوم و ۱۲ میلی گرم در لیتر نیترات آلومینیوم برای ۱۰۰٪ حذف منجر می شود. کارایی فرآیند حذف فلوراید در انعقادشیمیایی با PAC، آلوم و نیترات آلومینیوم در pH معادل ۷/۵ در غلظت های ۳ تا ۹ میلی گرم در لیتر فلوراید با افزایش زمان تماس از ۳۰ به ۹۰ دقیقه افزایش می یابد (نمودار ۲). همان گونه که ملاحظه می شود کم ترین مقدار فلوراید باقی مانده (۱۰۰٪ راندمان حذف فلوراید) در pH معادل ۷/۵، غلظت ۳ میلی گرم در لیتر فلوراید و غلظت منعقدکننده های ۲۰ میلی گرم در لیتر PAC، ۲۰۰ میلی گرم در لیتر آلوم و ۸ میلی گرم در لیتر نیترات آلومینیوم، ۹۰ دقیقه بدست آمد. افزایش زمان واکنش از ۳۰ به ۶۰ دقیقه راندمان به شدت افزایش یافته است. افزایش زمان تماس از ۳۰ به ۹۰ دقیقه در pH معادل ۷/۵ و غلظت ۳ میلی گرم در لیتر فلوراید به افزایش راندمان حذف فلوراید از ۸۴ به ۱۰۰٪، از ۷۳/۳ به ۱۰۰٪ و از ۸۵ به ۱۰۰٪ به ترتیب در غلظت منعقدکننده های ۲۰ میلی گرم در لیتر PAC، ۲۰۰ میلی گرم در لیتر آلوم و ۸ میلی گرم در لیتر نیترات آلومینیوم برای ۱۰۰٪ حذف منجر می شود. افزایش غلظت منعقدکننده و زمان تماس به افزایش حذف فلوراید به علت تولید زیاده تر مقدار کاتیون ها، افزایش دانسیته حباب، افزایش تولید هیدروکسید فلز آلومینیوم و کاهش اندازه حباب منجر می شود. این پدیده را می توان به افزایش مقدار یون های هیدروکسید آلومینیوم به عنوان جاذب که در محل تولید می شوند نسبت داد. بنابراین افزایش غلظت منعقدکننده و زمان تماس به بهبود حذف فلوراید ناشی از افزایش تولید لخته ها منجر می شود. می توان نتیجه گرفت که افزایش غلظت منعقدکننده به کاهش زمان تماس نیز منجر می شود. ملاحظه ناشی از تغییرات زمان واکنش تأیید کننده این یافته است که تشکیل لایه پخش در محلول رقیق فلوراید به سرعت کم تر واکنش منجر می شود. ابتدا سرعت میکروفلوک ها به علت غلظت فلوراید بیش تر، تولید بیش تر هیدروکسید آلومینیوم و تشکیل کمپلکس هیدروکسید آلومینیوم با آنیون فلوراید زیادتر است و بنابراین حذف سریع تر فلوراید در ابتدا مشاهده می شود. بعد از گذشت زمان این میکروفلوک ها بزرگ تر و در نتیجه طبق فرآیند انعقاد جارویی ته نشین می شوند. سرعت حذف در ۳۰ دقیقه اول بیش از زمان های بعدی است. با این وجود، راندمان حذف بیش تر نیازمند زمان واکنش زیادتر است. طوری که راندمان حذف پس از ۹۰ دقیقه به حداکثر می رسد. افزایش راندمان حذف فلوراید در غلظت بیش تر ماده منعقدکننده را می توان با مکانیسم هایی نظیر تشکیل لخته های هیدروکسید آلومینیوم با تعداد بیش تر در برابر غلظت ثابت فلوراید اولیه توجیه نمود که به تشکیل لخته های پایدارتر و سنگین تر منجر می شود. نتایج نشان داد که با افزایش زمان تماس علی رغم تغییر غلظت فلوراید ورودی و pH، کارایی فرآیند افزایش می یابد و این مورد به دلیل تشکیل تعداد لخته های بیش تر با گذشت زمان تماس اتفاق می افتد. نتایج این مطالعه با یافته های ورکو و همکاران در سال ۲۰۰۷ در مورد بررسی حذف فلوراید با استفاده از بقایای زائد کارخانه تولید آلوم، یاداو و یاداو در سال ۲۰۰۹ برای بررسی حذف فلوراید با سولفات آلومینیوم و نیز آتیا و همکاران در سال ۲۰۱۳ برای بررسی مقایسه کارایی حذف فلوراید با استفاده از منعقد کننده های سولفات آلومینیوم، سولفات فرو و سولفات فریک مطابقت دارد (۲۰-۲۳). بنابراین می توان نتیجه گیری نمود که افزایش زمان تماس در فرآیند های انعقاد و لخته سازی، به افزایش کارایی فرآیند منجر می شود ولی چنانچه زمان تماس بیش از حد مجاز شود به شکستن لخته ها و کاهش کارایی فرآیند منجر می شود. همچنین می توان نتیجه گیری نمود افزایش زمان تماس به صرفه جویی در مقدار منعقدکننده های PAC و آلوم مورد نیاز برای حذف فلوراید منجر می شود. به نظر می رسد که مکانیسم حذف فلوراید در فرایند مزبور با استفاده از منعقدکننده دارای فلز آلومینیوم از الگوی زیر پیروی می کند:



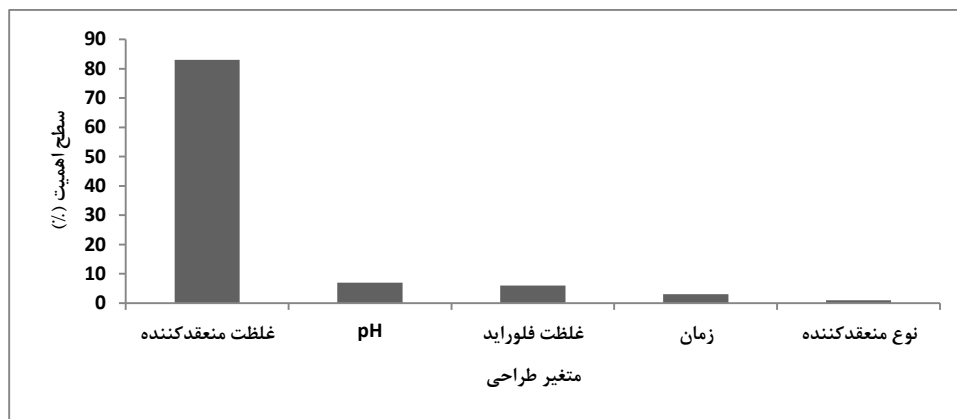
ترکیب دارای آلومینیوم در مکانیسم حذف فلوراید در فرایند مزبور به شکل کاتیون آلومینیوم آزاد می شود که به تولید  $Al(OH)_3$  منجر می شود که به صورت  $Al_n(OH)_{3n}$  پلیمریزه و در ادامه لخته  $Al(OH)_3$  به وسیله آنیون  $F^-$  جذب می شود. برطبق نتایج حاصل از بررسی کارایی حذف فلوراید در سه pH ۴/۲، ۷/۵ و ۹ وقتی مدت تابش از ۳۰ به ۹۰ دقیقه و غلظت PAC از ۳۰ به ۵۰ میلی گرم در لیتر تغییر می کند سرعت حذف تغییر محسوس می کند. این یافته تحقیق با تحقیق انجام گرفته توسط یاداو و همکاران در سال ۲۰۱۰ مطابقت دارد. این محقق نشان داد که افزایش مقدار آلومینیوم آمونیوم سولفات در خاک کوزه از ۲ به ۸ گرم در کیلوگرم خاک کوزه به افزایش راندمان حذف از ۶۱٪ به ۶۸٪ در زمان تماس ۱۲۰ ساعت و غلظت اولیه ۱۰ میلی گرم در لیتر فلوراید منجر می شود (۱۷). می توان نتیجه گرفت که افزایش غلظت منعقدکننده نیترات آلومینیوم به کاهش زمان تماس و حذف بیش تر فلوراید منجر می شود. این یافته تحقیق با تحقیق انجام گرفته توسط یاداو و همکاران در سال ۲۰۰۹ مطابقت دارد (۲۲). افزایش کارایی حذف فلوراید در pH معادل ۷/۵ در انعقادشیمیایی را می توان به درشتی و پایداری بیش تر لخته های تشکیل شده Al-F نسبت داد. می توان نتیجه گرفت که افزایش pH به تجزیه شدن کمپلکس های Al-F به علت رقابت  $OH^-$  و کاهش راندمان حذف فلوراید منجر می شود. فرآیند انعقادشیمیایی شامل مراحل کمپلکس Al-F، هیدرولیز آلومینیوم و ترسیب می باشد. حلالیت کمپلکس ها تابع pH می باشد. کو و همکاران در سال ۲۰۱۲ این نتیجه را تأیید می نمایند و آنان pH معادل ۷ را pH بهینه برای حذف فلوراید با نمک های آلومینیوم اعلام نمودند (۱۹). افزایش pH تا pH بهینه ۷/۵ به افزایش راندمان حذف فلوراید در انعقاد شیمیایی منجر می شود. بنابراین می توان نتیجه گیری نمود که مکانیسم انعقاد جارویی مکانیسم غالب در حذف فلوراید محسوب می شود. نتایج نشان دادند که کاربرد غلظت کم منعقدکننده به انعقاد شیمیایی منجر نمی شود. بنابراین می توان نتیجه گیری نمود که مکانیسم کاهش لایه دوپل نیز وجود دارد لکن مکانیسم اصلی در حذف فلوراید محسوب نمی شود. پیش آزمون ها نشان دادند که کاربرد نیترات آلومینیوم به افزایش نیترات آب متجاوز از استاندارد کشوری نیترات (۵۰ mg/L) منجر نمی شود.



نمودار ۲. درصد حذف فلوراید از آب آلوده ۳ میلی گرم در لیتر فلوراید، pH معادل ۷/۵ و غلظت منعقدکننده های مختلف

## ۲-۵ بررسی طراحی آزمایشات

متغیر اصلی تاثیرگذار بر راندمان حذف فلوراید براساس مدل طراحی آزمایشات با روش تاگوچی غلظت فلوراید (سطح اهمیت ۲۹٪) است (نمودار ۳). متغیر اصلی تاثیرگذار بر راندمان حذف فلوراید براساس مدل طراحی آزمایشات با روش تاگوچی را می توان به غلظت منعقدکننده نسبت داد. راموندی و همکاران متغیر اصلی تاثیرگذار بر راندمان حذف فلوراید با پودر سنگ مرمر را غلظت جاذب اعلام نمودند (۲۴). شناسایی سطح اهمیت متغیرهای تاثیرگذار بر راندمان حذف فلوراید و استفاده از نیترات آلومینیوم، به عنوان منعقدکننده، در حذف فلوراید در این پژوهش از جمله نقاط قوت تحقیق محسوب می شوند. عدم بررسی راندمان حذف فرآیند در حضور متغیرهای شیمیایی و فیزیکی کیفیت آب از جمله محدودیت های این تحقیق محسوب می شود. بنابراین برای مطالعات آینده پیشنهاد می شود اثر تداخل این متغیرها بر راندمان حذف فلوراید نیز بررسی گردد.



نمودار ۳. مدل تاگوچی

جدول ۲. نتایج اثر انعقادشیمیایی در حذف فلوراید از آب آلوده ۳، ۶ و ۹ میلی گرم در لیتر در pH، زمان تماس و غلظت های مختلف PAC

درصد راندمان حذف فلوراید (pH معادل ۹)	درصد راندمان حذف فلوراید (pH معادل ۷/۵)			درصد راندمان حذف فلوراید (pH معادل ۴/۲)			غلظت PAC (میلی گرم در لیتر)	غلظت فلوراید (میلی گرم در لیتر)		
	زمان تماس (دقیقه)			زمان تماس (دقیقه)						
	۹۰	۶۰	۳۰	۹۰	۶۰	۳۰			۹۰	۶۰
۵۹/۸	۴۹/۰	۳۹/۰	۷۱/۰	۶۰/۰	۵۰/۰	۴۹/۰	۳۸/۰	۲۷/۰۰	۱۰	
۷۳/۰	۶۱/۰	۵۰/۵	۸۴/۰	۷۲/۰	۶۱/۵	۶۲/۰	۵۰/۰	۳۹/۴	۲۰	
۸۶/۰	۷۶/۰	۶۳/۰	۹۷/۰	۸۷/۰	۷۴/۰	۷۵/۰	۶۵/۰	۵۲/۰	۳۰	۹
۹۹/۰	۸۸/۳	۷۸/۰	۱۰۰/۰	۹۹/۳	۹۰/۰	۸۹/۰	۷۷/۳	۶۷/۰	۴۰	
۱۰۰/۰	۹۹/۸	۸۹/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۹/۹	۱۰۰/۰	۹۰/۰	۷۷/۸	۵۰	
۷۱/۰	۵۹/۰	۴۹/۰	۸۲/۰	۷۰/۰	۶۱/۰	۶۰/۰	۴۸/۰	۳۸/۰	۱۰	
۸۵/۳	۷۴/۲	۶۱/۵	۹۶/۰	۸۵/۰	۷۲/۵	۷۴/۰	۶۳/۰	۵۰/۵	۲۰	۶
۹۹/۵	۸۸/۵	۷۶/۰	۱۰۰/۰	۹۹/۳	۸۷/۰	۸۸/۳	۷۷/۳	۶۵/۰	۳۰	
۱۰۰/۰	۹۹/۶	۸۹/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۹/۹	۱۰۰/۰	۸۹/۵	۷۸/۰	۴۰	
۸۴/۳	۷۱/۳	۶۰/۰	۹۵/۳	۸۲/۳	۷۱/۰	۷۳/۳	۶۰/۳	۴۹/۰	۱۰	
۹۸/۰	۸۸/۶	۷۳/۰	۱۰۰/۰	۹۷/۶	۸۴/۰	۸۷/۰	۷۵/۶	۶۲/۰	۲۰	۳
۱۰۰/۰	۹۹/۰	۸۹/۳	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۸/۳	۱۰۰/۰	۸۸/۰	۷۶/۳	۳۰	

جدول ۳. نتایج اثر انعقادشیمیایی در حذف فلوراید از آب آلوده ۳، ۶ و ۹ میلی گرم در لیتر در pH، زمان تماس و غلظت های مختلف آلوم

درصد راندمان حذف فلوراید (pH معادل ۹)	درصد راندمان حذف فلوراید (pH معادل ۷/۵)			درصد راندمان حذف فلوراید (pH معادل ۴/۲)			غلظت آلوم (میلی گرم در لیتر)	غلظت فلوراید (میلی گرم در لیتر)		
	زمان تماس (دقیقه)			زمان تماس (دقیقه)						
	۹۰	۶۰	۳۰	۹۰	۶۰	۳۰			۹۰	۶۰
۴۸/۹	۳۸/۰	۲۶/۹	۶۰/۱	۴۹/۱	۳۸/۱	۳۷/۶	۲۲/۶	۱۵/۶	۱۰۰	
۶۱/۹	۴۹/۹	۳۹/۳	۷۳/۱	۶۱/۱	۵۱/۰	۵۰/۶	۳۸/۶	۲۸	۲۰۰	۹



۷۴/۹	۶۴/۹	۵۱/۹	۸۶/۱	۷۶/۱	۶۳/۰	۶۳/۶	۵۳/۶	۴۰/۶	۳۰۰	
۸۸/۸	۷۷/۲	۶۶/۹	۱۰۰/۰	۸۸/۴	۷۸/۰	۷۸/۴	۶۶	۵۵/۶	۴۰۰	
۱۰۰/۰	۸۹/۹	۷۷/۸	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۸۹/۱	۹۱/۵	۷۹/۵	۶۶/۵	۵۰۰	
۶۰/۰	۴۷/۸	۳۷/۸	۷۱/۲	۵۹/۲	۴۹/۲	۴۸/۳	۳۶/۳	۲۶/۳	۱۰۰	
۷۳/۸	۶۳/۰	۵۰/۳	۸۵/۲	۷۴/۲	۶۱/۶	۶۲/۳	۵۱/۳	۳۹	۲۰۰	۶
۸۸/۱	۷۷/۰	۶۴/۸	۱۰۰/۰	۸۸/۵	۷۶/۲	۷۶/۸	۶۵/۸	۵۳/۳	۳۰۰	
۹۹/۶	۸۹/۳	۷۷/۸	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۰/۰	۸۹/۳	۷۸/۸	۶۶/۳	۴۰۰	
۷۳	۶۰	۴۸/۶	۸۴/۶	۷۱/۶	۶۰/۳	۶۱/۳	۴۸/۳	۳۹/۶	۱۰۰	
۸۶/۶	۷۵/۳	۶۲/۰	۱۰۰/۰	۸۹	۷۳/۳	۷۴/۶	۶۱/۶	۴۹/۶	۲۰۰	۳
۹۹/۶	۸۸/۱	۷۶	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۰/۶	۸۷/۶	۷۵/۶	۶۴/۳	۳۰۰	

جدول ۴. نتایج اثر انعقادشیمیایی در حذف فلوراید از آب آلوده ۳، ۶ و ۹ میلی گرم در لیتر در pH، زمان تماس و غلظت های مختلف نیترات آلومینیوم

درصد راندمان حذف فلوراید (pH معادل ۹)			درصد راندمان حذف فلوراید (pH معادل ۷/۵)			درصد راندمان حذف فلوراید (pH معادل ۴/۲)			غلظت نیترات آلومینیوم (میلی گرم در لیتر)	غلظت فلوراید (میلی گرم در لیتر)
زمان تماس (دقیقه)			زمان تماس (دقیقه)			زمان تماس (دقیقه)				
۹۰	۶۰	۳۰	۹۰	۶۰	۳۰	۹۰	۶۰	۳۰		
۶۱/۳	۴۹/۵	۳۹/۵	۷۱/۵	۶۰/۵	۵۰/۵	۴۹/۵	۳۸/۵	۲۷/۵	۴	
۷۳/۵	۶۱/۵	۵۱/۰	۸۴/۵	۷۲/۵	۶۲/۰	۶۲/۵	۵۰/۵	۳۹/۹	۸	
۸۶/۵	۷۶/۵	۶۳/۵	۹۷/۵	۸۷/۵	۷۴/۵	۷۵/۵	۶۵/۵	۵۲/۵	۱۲	۹
۹۹/۵	۸۸/۸	۷۸/۵	۱۰۰/۰	۹۹/۸	۹۰/۵	۸۹/۵	۷۷/۸	۶۷/۵	۱۶	
۱۰۰/۰	۹۹/۸	۸۹/۵	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۹/۹	۱۰۰/۰	۹۰/۵	۷۸/۳	۲۰	
۷۱/۵	۵۹/۵	۴۹/۵	۸۲/۵	۷۰/۵	۶۱/۵	۶۰/۵	۴۸/۵	۳۸/۵	۴	
۸۵/۸	۷۴/۷	۶۲/۰	۹۶/۵	۸۵/۵	۷۳/۰	۷۴/۵	۶۳/۵	۵۱/۰	۸	۶
۹۹/۵	۸۹/۰	۷۶/۵	۱۰۰/۰	۹۹/۸	۸۷/۵	۸۸/۸	۷۷/۸	۶۵/۵	۱۲	
۱۰۰/۰	۹۹/۶	۸۹/۵	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۹/۹	۱۰۰/۰	۹۰/۰	۷۸/۵	۱۶	
۸۴/۸	۷۱/۸	۶۰/۵	۹۵/۸	۸۲/۸	۷۱/۵	۷۳/۸	۶۰/۸	۴۹/۵	۴	
۹۸/۵	۸۹/۰	۷۳/۵	۱۰۰/۰	۹۸/۱	۸۴/۵	۸۷/۵	۷۶/۱	۶۲/۵	۸	۳
۱۰۰/۰	۹۹/۵	۸۹/۸	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۸/۸	۱۰۰/۰	۸۸/۵	۷۶/۸	۱۲	



جدول ۵. نتایج اثر انعقادشیمیایی بر روی غلظت آلومینیوم باقیمانده در pH معادل ۷/۵، در حذف فلوراید از آب آلوده ۳، ۶ و ۹ میلی گرم در لیتر، زمان تماس و غلظت های مختلف منعقدکننده های شیمیایی PAC، آلوم و نیترات آلومینیوم

نیترات آلومینیوم			آلوم			PAC			غلظت فلوراید (میلی گرم در لیتر)			
غلظت RAI در زمان تماس (دقیقه)			غلظت نیترات آلومینیوم (میلی گرم در لیتر)	غلظت RAI در زمان تماس (دقیقه)			غلظت آلوم (میلی گرم در لیتر)	غلظت RAI در زمان تماس (دقیقه)				
۹۰	۶۰	۳۰		۹۰	۶۰	۳۰		۹۰	۶۰	۳۰		
۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۱۰۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۱۰	۹
۰/۰۱۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۸	۰/۰۳۶	۰/۰۱۸	۰/۰۰۹	۲۰۰	۰/۰۲۴	۰/۰۱۲	۰/۰۰۶	۲۰	
۰/۰۱۸	۰/۰۱۵	۰/۰۰۹	۱۲	۰/۰۵۴	۰/۰۴۵	۰/۰۲۷	۳۰۰	۰/۰۳۶	۰/۰۳۰	۰/۰۱۸	۳۰	
۰/۰۲۴	۰/۰۲۱	۰/۰۱۸	۱۶	۰/۰۷۲	۰/۰۶۳	۰/۰۵۴	۴۰۰	۰/۰۴۸	۰/۰۴۲	۰/۰۳۶	۴۰	
۰/۰۴	۰/۰۲۷	۰/۰۲۴	۲۰	۰/۱۲	۰/۰۸۱	۰/۰۷۲	۵۰۰	۰/۰۸	۰/۰۵۴	۰/۰۴۸	۵۰	
۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۱۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۱۰	۶
۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۸	۰/۰۲۴	۰/۰۱۲	۰/۰۰۶	۲۰۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۲۰	
۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۰۰۶	۱۲	۰/۰۳۶	۰/۰۳	۰/۰۱۸	۳۰۰	۰/۰۲۴	۰/۰۲	۰/۰۱۲	۳۰	
۰/۰۱۶	۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۱۶	۰/۰۴۸	۰/۰۴۲	۰/۰۳۶	۴۰۰	۰/۰۳۲	۰/۰۲۸	۰/۰۲۴	۴۰	
۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۱۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۱۰	۳
۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۲۰۰	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۲۰	
۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۱۲	۰/۰۱۸	۰/۰۱۵	۰/۰۰۹	۳۰۰	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۰۰۶	۳۰	

### نتیجه گیری

نتایج نشان دادند که فلئورزدایی آب آلوده با استفاده از ماده شیمیایی نیترات آلومینیوم عملی است و نیترات آلومینیوم موثرتر از PAC و آلوم است. به طور قابل توجهی افزایش زمان تماس به افزایش راندمان حذف و کاهش غلظت منعقدکننده مصرفی منجر می شود.

### سپاسگزاری

این مقاله بخشی از پایان نامه کارشناسی مهندسی بهداشت محیط با عنوان مقایسه کارایی حذف فلوراید با استفاده از روش انعقادشیمیایی از آب آشامیدنی می باشد. نویسندگان مقاله از حمایت آزمایشگاهی گروه مهندسی بهداشت محیط و مرکز تحقیقات پالایش آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم پزشکی تهران تشکر و قدردانی می نمایند.

## منابع و مراجع

- [1] Ghojzadeh, M., Pournaghi Azar, F., Naghavi- Behzad, M., Mahmoudi, M., Azami-Aghdash, S., Jamali, Z. (2013) "Fluoride concentration of drinking water and prevalence of fluorosis in Iran: A Systematic Review." *Journal of Dental Research Dental Clinical Dental Prospects*. Vol. 7, No. 1, pp. 1-7.
- [2] Amouei, A.I., Faraji, H., Khalilpour, A., Fallah, S.H., Asgharnia, H.A. (2016) "Fluoride concentration in drinking water resources; North of Iran." *Quarterly of International Archives of Health Sciences*. Vol. 3, No. 1, pp. 19-22.
- [3] Haghighat, G.H., Dehghani, M.H., Nasserri, S., Mahvi, A.H., Rastkari, N. (2012) "Comparison of carbon nonotubes and activated alumina efficiencies in fluoride removal from drinking water." *Indian Journal of Science and Technology*. Vol. 5, No. S3, pp. 2432-2435.
- [4] Kashi, G., Mehree, A., Zaeimdar, M., Khoshab, F., Mohades Madaree, A. (2015) "Removal of fluoride from urbane drinking water by eggshell powder." *Bulgarian Chemical Communications*. Vol. 47, Special Issue D, pp. 187-192.
- [5] Tchomgui-Kamga, E., Ngameni, E. and Darchen, A. (2010) "Evaluation of removal efficiency of fluoride from aqueous solution using new charcoals that contain calcium compounds." *Journal of Colloid and Interface Science*. Vol. 342, No. 2, pp. 494- 499.
- [6] Tahir, M.A., Rasheed, H. (2013) "Fluoride in the drinking water of Pakistan and the possible risk of crippling fluorosis." *Drinking Water Engineering Science*. Vol. 6, pp. 17-23.
- [7] Mesdaghinia, A., Vaghefi, K.A., Montazeri, A., Mohebbi, M.R., Saeedi, R. (2010) "Monitoring of fluoride in groundwater resources of Iran." *Bulletin Environmental Contamination Toxicology*. Vol. 84, No. 4, pp. 432-437.
- [8] Vasudevan, S., Suresh Kannan, B., Lakshmi, J., Mohanraj, S., Sozhan, G. (2011) "Effects of alternating and direct current in electrocoagulation process on the removal of fluoride from water." *Journal Chemical Technology Biotechnology*. Vol. 86, pp.428-436.
- [9] Kapenja, A.J., Msigala, L.C. and Mwakabona, H.T. (2017) "The effect of *Amaranthus hybridus* on fluoride removal by iron (III) salts as fluoride coagulants." *African Journal of Environmental Science and Technology*. Vol. 11, No.4, pp. 207-212.
- [10] Sinha, R., Khazanachi, I. and Mathur, S. (2012) "Fluoride removal by a continuous flow electrocoagulation reactor from grand water of shivdaspura. *Journal of Engineering Research Applied*." Vol. 2, pp. 1336-1341.
- [11] Standard methods for the examination of water and wastewater, 2012. 22th edn, American Public Health Association/ American Water Works Association/ Water Environmental Federation, Washington DC, USA.
- [12] Aliannejad, S.H., Kashi, G., Khezri, S.M., Mashinchian, A. (2014) "Removal of fluoride from drinking water using an electrocoagulation reactor, Batch experiments." *Journal of Safety Promotion and Injury Prevention*. Vol. 2, No. 1, pp.47-54.
- [13] Massoudinejad, M., Yazdanbakhsh, A., Mohamadi, B., Habibe, M. (2016) "Possibility of making liquid disinfectant from electrolysis of NaCl." *Journal of Safety Promotion and Injury Prevention*. Vol. 4, No.2, 69-74.
- [14] Kashi, G., Potkee, M. (2016) "Investigation electro-photocatalytic removal of acetaminophen from drinking water." *Journal of Safety Promotion and Injury Prevention*. Vol. 4, No.3, pp. 175-184.
- [15] Jabaree, R., Jamalee, H.A. (2011) "Investigation of defluorhdation from drinking water by alum and lime." *Ghazvine University of Adrak Journal*. Vol. 117, No. 28, pp. 36-40.
- [16] Yari, A.R., Nazari, S., Mahvi, A.H., Majidi, G., Matboo, S.A., Fazlzadeh, M. (2016) "Fluoride concentration of drinking water of Qom, Iran." *Iranian Journal Health Science*. Vol. 4, No. 1pp. 37-44.
- [17] Yadav, R.N., Singh, O.P. and Yadav, R. (2010) "Study of the aluminum ammonium sulphate as defluoridated agent in drinking water earthenware." *Archives of Applied Science Research*. Vol. 2 No.3, pp. 11-22.
- [18] Jafari, A., Mahvi, A.H., Godini, H., Rezaee, R., Hosseini, S. (2014) "Process optimization for fluoride removal from water by *Moringa oleifera* seed extract." *Research Report Fluoride*. Vol. 47, No. 2, pp. 152-160.

- [19] Gong, W.X., Qu, J.H., Liu, R.P., Lan, H.C. (2012) "Effect of aluminum fluoride complexation on fluoride removal by coagulation." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. Vol. 395, pp. 88-93.
- [20] Mui, J., Ngo, J. and Kim, B. (2016) "Aggregation and colloidal stability of commercially available Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles in aqueous environments." *Nanomaterials*. Vol. 6, No. 90, pp. 1-15.
- [21] Worku, N., Feleke, Z. and Chandravanshi, B. (2007) "Removal of excess fluoride from water using waste residue from alum manufacturing process." *Journal of Hazardous Material*. Vol. 147, 3, pp. 954-963.
- [22] Yadav, R.N., Yadav, R. (2009) "Defluoridation of the potable water by aluminum sulphate." *International Journal Chemical Sciences*. Vol. 7, No.2, pp. 760-774.
- [23] Atia, D., Abdelghani, H. and Abdelhafidh, B.A. (2013) "Comparative study for the defluoridation of water by coagulation." *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*. Vol. 8, No. 2, pp. 123-131.
- [24] Ramavandi, B., Ahmadi, M., Faradma, J., Maleki, S., Asgari, Gh. (2014) "Optimization of fluoride adsorption from aqueous solution by marble powder using Taguchi model." *Journal Mazandaran University Medical Sciences*. Vol. 24, No. 115, pp. 113-121.