

بررسی کارایی فرایند انعقاد پیشرفته در حذف اسید های هیومیک از آب

محمد مهدی امین^۱

مهدی صفری^{۲*}

Safari.m.eng@gmail.com

رضا رضایی^۳

افشین ملکی^۴

تاریخ پذیرش: ۹۰/۰۴/۰۱

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۱/۲۵

چکیده

زمینه و هدف: اسید های هیومیک بخش عمده ای از مواد آلی طبیعی هستند که اثرات منفی بسیاری، بخصوص واکنش با کلر و ایجاد محصولات جانبی گندزدایی، را در آب ایجاد می نمایند. به همین دلیل روشهای حذف این مواد از آب بسیار مورد توجه قرار گرفته است. انعقاد پیشرفته یک فرایند ساده، مناسب و موثر برای حذف مواد هیومیک از آب به شمار می رود.

روش بررسی: در این مطالعه کارایی فرایند انعقاد پیشرفته با استفاده از ماده منعقد کننده پلی آلومینیم کلراید در محدوده غلظت ۱ تا ۲۰ میلیگرم در لیتر در مقیاس جار تست مورد بررسی قرار گرفته است.

یافته ها: کربن آلی محلول، جذب اشعه ماوراء بنفش در طول موج ۲۵۴، جذب ویژه اشعه ماوراء بنفش و اسید هیومیک به عنوان شاخص های مواد هیومیک در غلظتی بین ۰/۱ تا ۵ میلیگرم بر لیتر در نمونه ها تعیین مقدار شدند. نتیجه گیری: یافته های بدست آمده حاکی از بالا بودن شاخص جذب ویژه اشعه ماوراء بنفش این آب بوده که لزوم بکارگیری انعقاد پیشرفته را برای این آب نشان می دهد. همچنین بر اساس یافته های حاصله کارایی فرایند انعقاد پیشرفته برای حذف اسید های هیومیک ۵۲ درصد، برای کربن آلی محلول ۴۳ درصد و جذب اشعه ماوراء بنفش در طول موج ۲۵۴ نانومتر ۵۷ درصد بدست آمد.

بحث و نتیجه گیری: نتایج نشان می دهد که فرایند انعقاد پیشرفته با این ماده منعقد کننده، کم هزینه، مناسب و دارای کارایی خوبی می باشد و قادر است مواد هیومیکی را بدون کاهش کارایی حذف کدورت تا حدی مطلوب کاهش دهد.

واژه های کلیدی: اسید هیومیک، انعقاد پیشرفته، کربن آلی محلول، پلی آلومینیم کلراید

۱- استاد گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی، اصفهان، ایران.

۲- (مسئول مکاتبات): - استادیار مرکز تحقیقات بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی، کردستان، ایران.

۳- استاد یار مرکز تحقیقات بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی، کردستان، ایران.

۴- استاد مرکز تحقیقات بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی، کردستان، ایران.

Investigating the Efficiency of Enhanced Coagulation Process for the Removal of Humic Substances from Water

Mohammad Mehdi Amin¹

Mahdi Safari^{2*}

Safari.m.eng@gmail.com

Reza Rezaee³

Afshin Maleki⁴

Abstract

Background and Objective: Humic acids are main components of natural organic matters that have many negative effects, especially reaction with chlorine and production of disinfection by-products in water. Thus, the methods for the removal of these substances from water have been considered. Enhanced coagulation is a simple, suitable and efficient process for the removal of humic substances.

Method: This study evaluates the enhanced coagulation effectiveness, as a suitable method for the removal of humic substance by polyaluminium chloride as a coagulant in a concentration between 1 to 20 mg/l in jar test.

Results: Dissolved organic carbon, ultraviolet absorbance, specific ultraviolet absorbance and humic acid were determined as humic substances indexes in concentration between 0.1 to 5 mg/l. According to the obtained results, high level of specific ultraviolet absorbance index in the water source showed that enhanced coagulation was necessary for the removal of humic substance. Also, according to the obtained results, the average removal efficiency obtained by enhanced coagulation for humic acid was 52%, for dissolved organic carbon was 43% and for UV254 was 57%.

Conclusion: It was concluded that employing polyaluminium as a coagulant in enhanced coagulation process is inexpensive, suitable and efficient and can remove humic substance to optimum value without decreasing turbidity efficiency.

Keywords: humic acid, enhanced coagulation, dissolved organic carbon, polyaluminum chloride.

1- Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.

2- Environmental Health Research Center, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran.

* (*Corresponding Author*)

3- Environmental Health Research Center, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran.

4- Environmental Health Research Center, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran.

مقدمه

مواد هیومیک ترکیبات بسیار پیچیده و ناهمگون از مواد آلی با وزن مولکولی بالا با گروه های فعال مختلف هستند که از تجزیه شیمیایی و بیولوژیکی بافتهای گیاهان و حیوانات به وجود می آیند (۱-۳). مواد هیومیک بخش اصلی مواد آلی خاک (بیش از ۸۰ درصد)، و بیشترین قسمت مواد آلی طبیعی (NOM) در محیطهای آبی (بیش از ۶۰ درصد کربن آلی محلول) را شامل می شوند (۴). مواد هیومیک بسته به حلالیتشان در اسید یا قلیا معمولاً به دو بخش عمده اسید هیومیک (HA)، که در محیط قلیایی ضعیف محلول بوده اما بدنبال اسیدی شدن رسوب می نماید، و اسید فولویک (FA)، که در pH پایین بصورت محلول باقی می ماند، تقسیم می شوند (۵). شکل ساختاری HA و FA مشابه می باشد اما وزن مولکولی و ترکیب گروه عامل آنها با یکدیگر فرق می کند. آنالیز آزمایشگاهی مواد هیومیک آبی توسط فیلتراسیون ژل نشان می دهد که وزن مولکولی اسید فولویک از ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ دالتون، و در مورد اسید هیومیک تا ۲۰۰۰۰ دالتون می باشد (۵ و ۶).

مواد هیومیک می توانند باعث مشکلات بسیاری از قبیل بو، مزه، رنگ، افزایش رشد بیولوژیکی در شبکه های توزیع و واحدهای تصفیه آب، افزایش کلر مورد نیاز گندزدایی، گرفتگی غشاها و از همه مهمتر ایجاد محصولات جانبی گندزدایی (DBPs) شوند (۲، ۷، ۸). تری هالومتانها (THMs) و هالواستیک اسیدها (HAAs) مهم ترین محصولات جانبی (DBPs) شناخته شده مرتبط با این مواد هستند. تری هالومتانها (THMs) معمول ترین محصولات جانبی گندزدایی مشاهده شده بعد از فرایند گندزدایی آب با کلر هستند که در ارتباط با سرطانزایی حیوانات آزمایشگاهی و اثرات حاد بهداشتی بر روی انسان می باشند (۸-۱۰). آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) حداکثر غلظت مجاز را برای THM و HAA، به ترتیب ۸۰ و ۶۰ میکروگرم در لیتر تعیین کرده است (۱۱). تعیین مقدار و استفاده از یک روش مناسب و کم هزینه جهت حذف مواد هیومیک برای غلبه بر مشکلات مربوط لازم و ضروری می باشد. امروزه استفاده از روشهای آنالیز دستگاهی، مانند کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) و گاز کروماتوگرافی (GC) برای اندازه گیری مقادیر کم مواد هیومیک در آبهای طبیعی عمومی شده اند (۶، ۱۲). HPLC برای تعیین مقدار مواد هیومیک آبی به خصوص بر اساس توزیع وزن مولکولی بسیار مورد استفاده قرار می گیرد (۱۳ و ۱۴). وزن مولکولی یکی از خصوصیات مهم مواد هیومیکی است و نقش مهمی در رفتار این مواد مانند جذب، اتصال فلزات و بخشهای آبریز آنها، در محیط بازی می کند (۶). مواد هیومیک می تواند توسط فرایندهای مختلفی چون کربن فعال (۱۵)، فرایند های اکسیداسیون پیشرفته (۱۶)، الکترومیکروفیلتریشن (EMF) (۱۷)، رزین های تعوض یونی (۱۸)، اولترافیلتراسیون (۱۲) و انعقاد پیشرفته (۷)، وغیره از آب جدا شوند. آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، فرایند انعقاد پیشرفته را به عنوان بهترین فناوری در دسترس برای حذف این مواد معرفی کرده است (۷). فرایند انعقاد پیشرفته توسط گزارشات علمی بسیاری برای افزایش حذف پیش سازهای DBPs پیشنهاد شده است (۱۱، ۱۹-۲۲). روش انعقاد پیشرفته می تواند حد مجاز غلظت THM مورد نظر EPA را بر آورده سازد

(۱۱). به طور کلی، افزایش مقدار ماده منعقد کننده و تنظیم pH دو راه اصلی برای رسیدن به اهداف انعقاد پیشرفته می باشند (۷). مهم ترین مکانیسم هایی که از طریق آن ها مواد آلی طبیعی بوسیله انعقاد حذف می شوند، شامل ترسیب (تشکیل هیومات های و فالوات های آهن و آلومینیم)، خنثی سازی بار NOM کلوئیدی، و ترسیب مشترک به وسیله جذب سطحی بر روی هیدروکسید فلزی می باشند (۱۱). مهم ترین پدیده جذب سطحی درگیر در فرایند انعقاد پیشرفته ترسیب مشترک می باشد. در طی پدیده ترسیب مشترک، مواد آلی محلول بر روی سایت های فعال روی سطوح به وجود آمده از طریق کریستال های اکسید فلزی آبی، جذب سطحی می گردند (۲۰). در مطالعه ای که Malgorzata Kabsch و همکاران در هلند در سال ۲۰۰۵، در مورد تاثیر مواد منعقد کننده آلومینیمی در حذف مواد آلی طبیعی (NOM) انجام داده اند، کارایی منعقد کننده های آلوم و پلی آلومینیم کلراید در حذف مواد آلی طبیعی (NOM) به ترتیب ۴۲/۱ درصد و ۴۴/۱ درصد به دست آمده است. که این نتایج مشابه نتایج به دست آمده از این مطالعه است (۲۱). هم چنین Rizzo و همکارانش در سال ۲۰۰۵ در ایتالیا، کارایی انعقاد تشدید یافته را در حذف پیش سازهای THM ها با استفاده از سه منعقد کننده کلروفریک، آلوم و پلی آلومینیم کلراید مورد بررسی قرار داده اند، که میزان کارایی حذف هریک از منعقد کننده های فوق به ترتیب حدود ۵۶، ۵۳ و ۴۸ درصد بدست آمده است که در مورد منعقد کننده پلی آلومینیم کلراید نتایج به دست آمده با تحقیق انجام گرفته همخوانی دارد (۲۲).

در تحقیقی دیگر Gao Bao-yu و همکاران در چین در سال ۲۰۰۵ نشان داده اند که پلی آلومینیم کلراید کارایی خوبی در حذف مواد هیومیک از آب های سطحی دارد (۲۵). Lio و همکارانش در سال های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ حذف NOM به وسیله انعقاد تشدید یافته و انعقاد به کمک پلیمر از طریق جارستست، پایلوت و آزمایشات مقیاس کامل در چین جنوبی مطالعه کرده اند. در هر دو فرایند مواد آلی جذب UV به میزان ۹۰ درصد یا بیش تر حذف شده است. انعقاد تشدید یافته در ارتباط با حذف بخش های آبریز مؤثر بوده، در حالی که بخش های آبدوست NOM به وسیله انعقاد به کمک پلیمرها بهتر حذف می شوند (۲۴). هدف از این مطالعه در درجه اول بررسی کارایی فرایند انعقاد پیشرفته با استفاده از PACL در مقیاس آزمایشگاهی برای حذف مواد هیومیک در آب سطحی تصفیه خانه آب اصفهان بود. هدف دیگر از این تحقیق آنالیز اسید هیومیک با استفاده از دستگاه HPLC بود.

روش بررسی

منبع آب و نمونه برداری

منبع طبیعی آب مورد استفاده در این مطالعه آب خام تصفیه خانه آب اصفهان بود که منبع آن رودخانه زاینده می باشد. برای آنالیز مواد هیومیک، نمونه های برداشت شده از آب خام و همچنین نمونه های بدست آمده از مراحل مختلف فرایند جار تست، در طی مدت ۱ ساعت به آزمایشگاه منتقل و تا زمان استفاده در جای تاریک و درجه حرارت ۴ درجه سانتی گراد، برای جلوگیری از رشد

بیولوژیکی، نگهداری شدند.

روش های تجزیه ای

کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC)

به منظور تعیین غلظت اسیدهای هیومیک در نمونه های استاندارد و نمونه های آب، یک دستگاه کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا مدل HPLC--746 WATERS مجهز به پمپ Waters 515 HPLC-Pump، آشکار ساز (Detector) مدل UV/VIS - Waters 486، و Manual Injector، مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین ستونی با مشخصات BIO SUIT HR SEC COLUMN (7.8 × 300 mm) 5µm مجهز به حفاظ BIO SUIT GUARD SEC (7.5×75 mm) مورد استفاده قرار گرفته است. فاز متحرک از ترکیب محلولی از بافر فسفات (P.B) ۰/۱ مول در لیتر، سولفات سدیم (Na₂SO₄) ۰/۱ مول در لیتر و آزاید سدیم (NaN₃) ۰/۰۵ در صد در MilliQ water تهیه شد. برای تهیه سری های استاندارد و نیز رقیق سازی نمونه ها از MilliQ water استفاده گردید.

کربن آلی محلول (DOC)

کربن آلی محلول بخشی از TOC است، که از میان فیلتر با قطر منافذ ۰/۴۵ میکرومتر عبور می نماید. و مشابه TOC اندازه گیری می گردد. جهت انجام آزمایش DOC، بر روی نمونه های جمع آوری شده، از دستگاه TOC متر SHIMADZU مدل TOC-VCSH (آزمایشگاه مرکزی شرکت آب و فاضلاب اصفهان) استفاده شد. روش مورد استفاده -Combustion infrared بوده که TOC را با استفاده از سیستم تشخیص مادون قرمز مورد آنالیز قرار می دهد.

جذب اشعه ماوراء بنفش

جذب اشعه ماوراء بنفش در طول موج ۲۵۴ نانومتر (UV₂₅₄) یک روش سریع و قابل اطمینان برای اندازه گیری مواد هیومیک در آب می باشد. UV₂₅₄ (1/m) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR-5000 بعد از فیلتراسیون نمونه با فیلتر ۰/۴۵ میکرومتری انجام گرفت. دستگاه با استفاده از آب خالص بعنوان شاهد، کالیبره شد.

جذب ویژه اشعه ماوراء بنفش (SUVA)

جذب ویژه اشعه ماوراء بنفش یک شاخص مفید از مواد هیومیک در آب است. SUVA (L/mg-m) یک پارامتر محاسبه ای است و از تقسیم جذب UV در طول موج ۲۵۴nm (بر حسب m⁻¹) بر DOC (بر حسب mg/L) محاسبه گردیده است.

آلومینیم

آلومینیم در آب خام و در تمام نمونه ها با استفاده از اسپکتروفتومتر DR-5000 بر اساس روش استاندارد اندازه گیری شده است.

فرایند انعقاد پیشرفته

بر اساس مستندات EPA، در عمل انعقاد پیشرفته، کاهش pH و افزایش دوز منعقد کننده، باعث افزایش درصد حذف مواد هیومیک می گردد. در این مطالعه عمل انعقاد پیشرفته در سه مرحله، در مقیاس آزمایشگاهی (جار تست) با استفاده از پلی آلومینیم کلراید و بر روی آب خام طبیعی ورودی به تصفیه خانه آب اصفهان انجام گردید.

انتخاب pH بهینه

برای تعیین pH بهینه، مقدار ماده منعقد کننده را ثابت (۶ mg/l) و pH با استفاده از اسید سولفوریک تا حدود ۴/۵ کاهش داده شد. pH بهینه انعقاد به صورت بالاترین pH ای که در آن pH بیشترین حذف مواد هیومیک بدست آمد، تعیین شد.

انتخاب مقدار PACL بهینه

برای تعیین مقدار ماده منعقد کننده بهینه با هدف حذف مواد هیومیک در کنار کدورت، pH انتخاب شده در مرحله قبل ثابت و مقدار ماده منعقد کننده تا حدود ۲۰ mg/l افزایش داده شده است.

یافته ها

خصوصیات آب خام

خصوصیات آب خام ورودی به تصفیه خانه آب اصفهان که تمام نمونه های آب خام از آن انتخاب گردیدند، در جدول ۱ خلاصه شده است (میانگین سالانه). این پارامترها در طی فصول مختلف سال ۱۳۸۷ اندازه گیری شده است.

جدول ۱- پارامترهای کیفیت آب خام ورودی به تصفیه خانه آب اصفهان

Table 1- Raw water quality parameters in Isfahan Water Treatment Plant

غلظت			پارامترهای کیفیت آب خام
حداکثر	متوسط	حداقل	
۴۷	۲۵	۱۶	کدورت (NTU)
۴/۰۰	۲/۳۶۳	۱/۵۰	DOC (mg/l)
۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۱۵	اسید هیومیک
۰/۱۸۳۷	۰/۱۳۶۸	۰/۰۸۳	UV ₂₅₄ (1/m)
۴/۷۲	۴/۲۳	۲/۸۹	SUVA (1/mg-m)
۲۵	۱۵	۵	آلومینیم (µg/l)
۱۶۰	۱۴۵	۱۳۵	قلیائیت (mg/l CaCO ₃)
۲۲	۱۸	۱۵	دما (°C)
۳۶۵	۳۵۷	۳۵۴	هدایت الکتریکی (µS/cm)
۵/۳۵	۸/۲۸	۸	pH

آب به ترتیب در محدوده (1/m) ۰/۰۸۳ تا ۰/۱۸۳ و (L/mg-m) ۲/۸۹ تا ۴/۷۲ قرار دارند.

آلومینیم باقی مانده

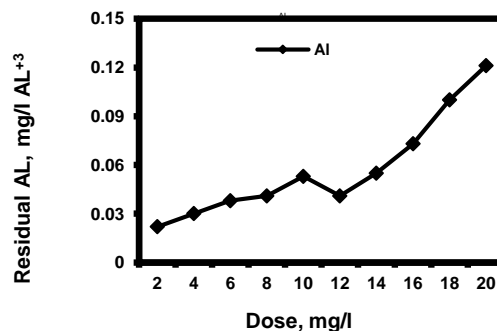
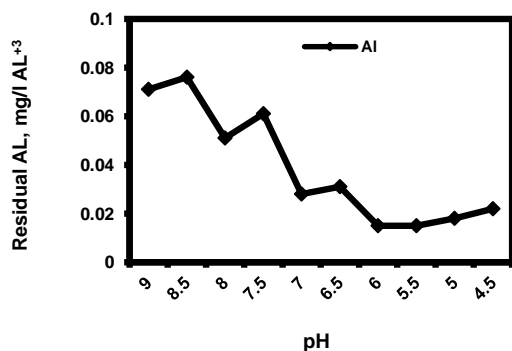
مقدار آلومینیم باقیمانده در آب به دنبال انعقاد با نمک‌های آلومینیم به دلیل زبان آور بودن آن برای سلامتی انسانها و سایر موجودات زنده باید به حداقل رسانده شود. غلظت آلومینیم باقی مانده در این مطالعه در محدوده ۰/۱۳-۰/۱۵ mg/l تعیین گردید. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می کنید غلظت آلومینیم باقی مانده بعد از فرایند انعقاد پیشرفته کم‌تر از ۰/۱۳ میلی گرم در لیتر به دست آمده است.

غلظت اسید هیومیک و کربن آلی محلول

غلظت اسید هیومیک بعنوان بخشی از مواد هیومیک با وزن مولکولی بالا در همه فصول در آب خام با استفاده از دستگاه HPLC، در گستره ای بین ۰/۱۵ تا ۰/۲۹ میلی گرم در لیتر تعیین گردید. همچنین غلظت کربن آلی محلول در آب خام تصفیه خانه اصفهان در محدوده ۴-۱/۵ mg/l بدست آمد.

UV₂₅₄ و شاخص SUVA

در جدول ۱ مقادیر UV₂₅₄ و شاخص SUVA را در آب خام تصفیه خانه آب اصفهان آمده است. همانطور که مشاهده می گردد، این شاخص ها در این



شکل ۱- غلظت آلومینیم باقی مانده در تغییرات pH و مقدار ماده منعقد کننده

Figure 1- Residual aluminum concentration in pH and coagulant variation

مقدار و انجام آزمایشات جار به صورت سری در pH طبیعی آب مقدار دوز بهینه PACL برای حذف کدورت مشخص گردید. حذف بهینه کدورت در مقدار PACL ۶ میلیگرم بر لیتر به دست آمد. در pH ۸/۲۵ (pH طبیعی آب خام) و این مقدار ماده منعقد کننده، کارایی حذف کدورت در انعقاد متداول ۸۵ درصد بدست آمد.

حذف مواد هیومیک بوسیله انعقاد پیشرفته

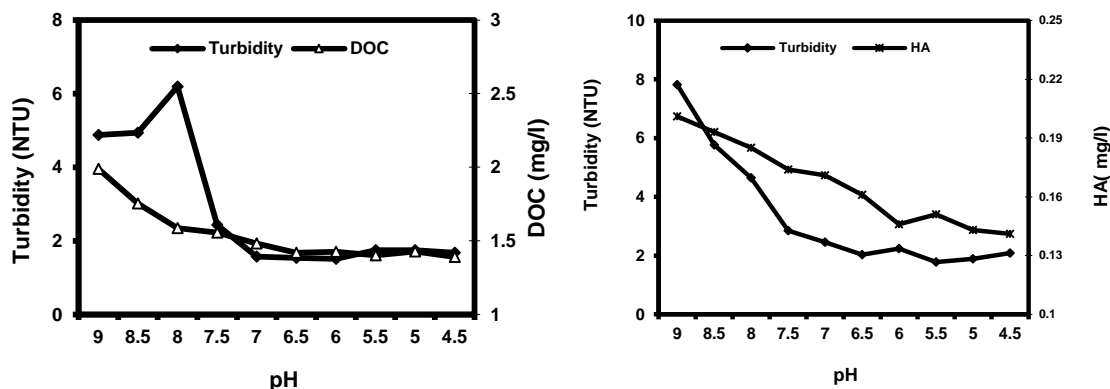
دوز بهینه PACL برای حذف کدورت

در این تحقیق برای تعیین دوز بهینه PACL، ابتدا با محاسبه مقدار ماده منعقد کننده مصرفی در طول ماه و در دست داشتن دبی روزانه مقدار ماده منعقد کننده مصرفی به ازای هر لیتر آب محاسبه گردید. سپس با داشتن این

شکل های ۳ (A) دیده می شود، کاهش pH انعقاد بر روی حذف UV₂₅₄ نیز کارایی حذف بالایی را نشان نداده است. نتایج نشان می دهند که pH بهینه برای حذف شاخص های مواد هیومیک در آب تصفیه خانه آب اصفهان در حدود 5 ± 0.5 می باشد.

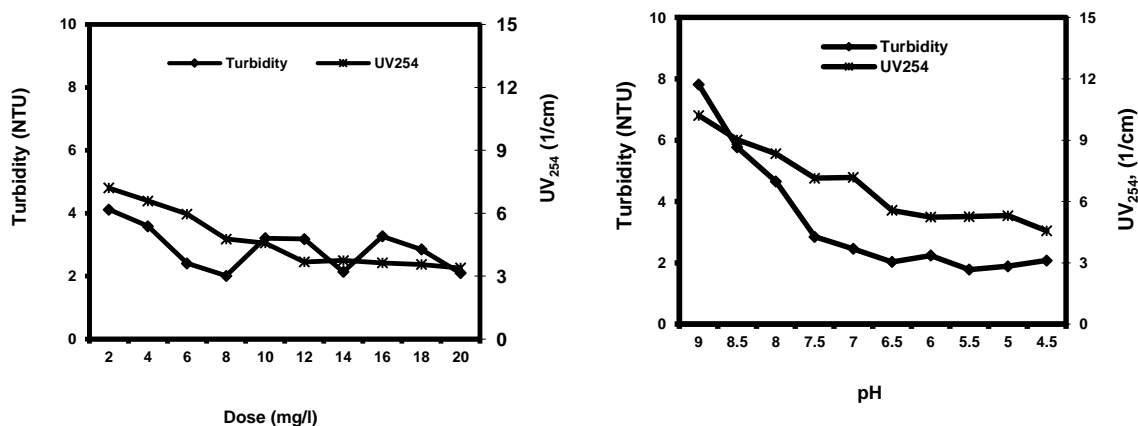
pH بهینه برای حذف همزمان کدورت و مواد آلی

در این مطالعه pH آب خام بالاتر از حد خنثی بود (۸/۲۵). شکل ۲ اثر pH بر روی حذف اسید هیومیک، کربن آلی محلول و کدورت را نشان می دهند. به نظر می رسد که با کاهش pH انعقاد، اسید هیومیک، کربن آلی محلول و کدورت باقیمانده کاهش می یابند. اما کارایی حذف PACL با کاهش pH نسبت به انعقاد متداول کاهش چشمگیری نداشت. همچنین همان طور که در



شکل ۲- اثر تغییرات pH بر روی حذف مواد هیومیک و کدورت: اسید هیومیک (A)، کربن آلی محلول (B)

Figure 2- Effect of pH variation on the removal of humic substances and turbidity: Humic acid (A), Dissolved organic carbon (B)



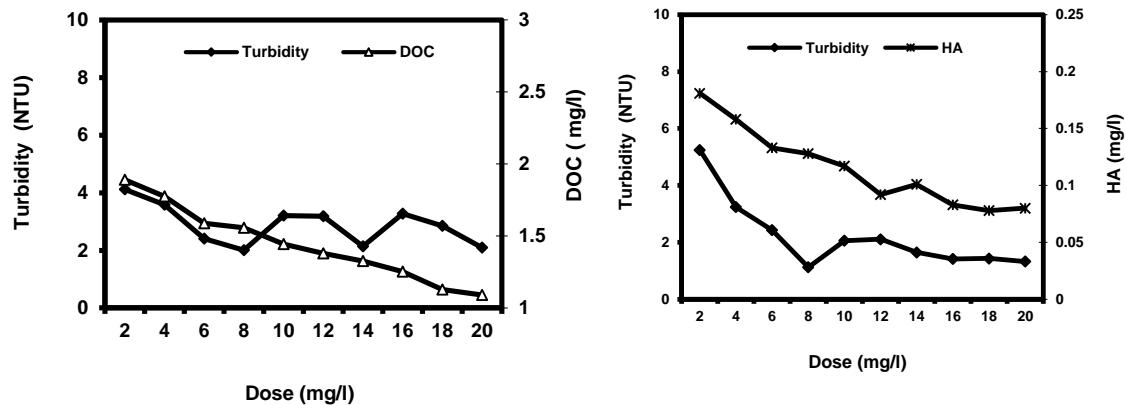
شکل ۳- اثر تغییرات pH (A) و مقدار ماده منعقد کننده (B) بر روی حذف UV₂₅₄ و کدورت

Figure 3- Effect of pH (A) and coagulant (B) variation on the removal of UV₂₅₄ and turbidity

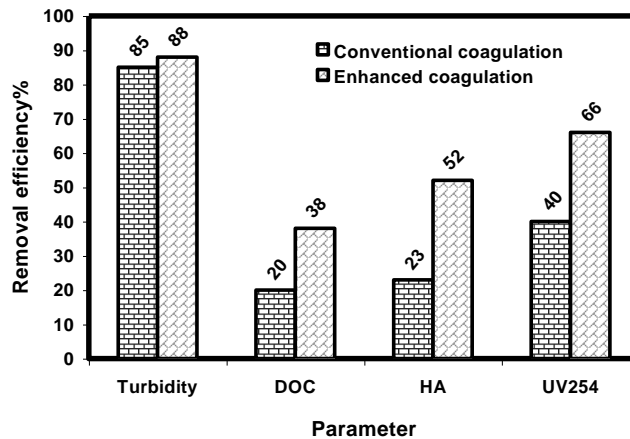
دوز بهینه PACL برای حذف همزمان کدورت و مواد آلی

PACL در حذف اسید هیومیک بیشتر از کارایی این منعقد کننده در حذف کربن آلی محلول بوده است. به طور کلی فرایندهای انعقاد دارای ظرفیت ضعیف برای حذف مواد هیومیک با وزن مولکولی پایین مثل DOC در آب خام می باشند (۸،۱۱). بر طبق نتایج به دست آمده، مقدار ماده منعقد کننده بهینه PACL برای حذف شاخص های مواد هیومیک در آب تصفیه خانه آب اصفهان با در نظر گرفتن درصد مطلوب حذف مواد آلی و کدورت و همچنین هزینه های مربوطه 12 ± 2 میلی گرم بر لیتر انتخاب گردید.

مقدار بهینه ماده منعقد کننده در این مرحله با ثابت نگه داشتن pH به دست آمده از مرحله قبل و تغییرات مقدار ماده منعقد کننده بدست آمد. شکل ۴ اثر مقدار ماده منعقد کننده پلی آلومینیم کلراید بر روی حذف اسید هیومیک، کربن آلی محلول و کدورت نشان می دهند. همچنین کارایی پلی آلومینیم کلراید بر روی حذف شاخص UV₂₅₄ در شکل ۳ (B) نشان داده شده است، همانطور که در این شکل مشاهده می گردد، افزایش مقدار ماده منعقد کننده پلی آلومینیم کلراید در فرایندهای انعقاد پیشرفته با هدف حذف شاخص های مواد هیومیک بسیار موثر تر از کاهش pH در این فرایندها بوده و درصد بیشتری از مواد هیومیک را حذف نموده است. همچنین شکل ۵ نشان می دهد که کارایی



شکل ۴- اثر تغییرات مقدار ماده منعقد کننده بر روی حذف مواد هیومیک و کدورت: اسید هیومیک (A)، کربن آلی محلول (B)
 Figure 2- Effect of coagulant variation on the removal of humic substances and turbidity: Humic acid (A), Dissolved organic carbon (B)



شکل ۵- کارایی حذف شاخص های مواد هیومیک و کدورت در انعقاد متداول و پیشرفته با استفاده از PACL
 Figure 5- Removal efficiency of humic substances index and turbidity in conventional and enhanced coagulation using PACL

بحث و نتیجه گیری

منعقد کننده به میزان حدود ۴۰ در صد بیشتر از انعقاد متداول بدست آمد.

* مقدار کربن آلی محلول (DOC) در آب خام تصفیه خانه اصفهان در محدوده ۴-۱/۵ mg/l قرار دارد.

* مقدار اسید هیومیک در آب خام تصفیه خانه اصفهان در محدوده ۰/۲۹ - ۰/۱۵ mg/l می باشد.

* pH بهینه آب، در شرایط مطلوب حذف تمام شاخص های مواد هیومیک در انعقاد پیشرفته در محدوده ۵ ± ۰/۵ به دست آمد.

* دوز بهینه پلی آلومینیم کلراید (PACL) در شرایط مطلوب حذف شاخص های مواد هیومیک در انعقاد پیشرفته ۱۲ ± ۲ میلیگرم بر لیتر بدست آمد.

* کدورت باقی مانده آب برای انعقاد پیشرفته، در شرایط مطلوب حذف اسیدهای هیومیک کمتر از ۳ واحد NTU می باشد.

از یافته های حاصل از این تحقیق که به مدت یک سال بر روی تصفیه خانه آب اصفهان با دبی ۱۲ m³/s به عنوان بزرگ ترین تصفیه خانه آب خاورمیانه، با جمعیت تحت پوشش حدود ۳ میلیون نفر، و با هدف تاثیر انعقاد پیشرفته بر کاهش پیش سازهای محصولات جانبی گندزدایی بخصوص اسیدهای هیومیک انجام شده، نتیجه گیری می شود که:

* مقدار مواد هیومیک در آب تصفیه خانه اصفهان در حد متوسط می باشد. ولی بالا بودن شاخص SUVA (SUVA < ۴) این آب لزوم انعقاد پیشرفته را نشان می دهد.

* کارایی پلی آلومینیم کلراید (PACL) در انعقاد پیشرفته برای حذف اسید هیومیک ۵۲٪، برای کربن آلی حذف کربن آلی محلول ۳۸٪ و برای UV₂₅₄ ۶۰٪ بدست آمد.

* راندمان حذف اسید های هیومیک در فرایند انعقاد پیشرفته با استفاده از PACL با کاهش pH به میزان حدود ۱۰٪، و با افزایش مقدار ماده

- 8- Qin, J.J., Oo, M.H., Kekre, K.A., Knops, F. and Miller, P., (2006). "Impact of coagulation pH on enhanced removal of natural organic matter in treatment of reservoir water." *Separation Purification Technol.*, 49 (3), 295–298.
- 9- Aboul-Eish, M.Y.Z. and Wells, M.J.M., (2006). "Assessing the trihalomethane formation potential of aquatic fulvic and humic acids fractionated using thin-layer chromatography." *Journal of Chromatography A*, 1116, 272–276.
- 10- Samios, S., Lekkas, T., Nikolaou, A. and Goufopoulos, S., (2007). "Structural investigations of aquatic humic substances from different watersheds." *Desalination*, 210, 125–137.
- 11- Uyak, V. and Toroz, L., (2005). "Enhanced coagulation of disinfection byproducts precursors in Istanbul water supply." *Environ. Technol.*, 26 (3), 261–266.
- 12- Zhang, X. and Minear, R.A., (2006). "Formation, adsorption and separation of high molecular weight disinfection byproducts resulting from chlorination of aquatic humic substances." *Water Res.*, 40, 221 – 230.
- 13- Matilainen, A., Lindqvist, N., Korhonen, S. and Tuhkanen, T., (2002). "Removal of NOM in the different stages of the water treatment process." *Environment International*, 28, 457– 465.
- 14- Uyguner, C.S., Suphandag S.A., Kerc, A. and Bekbolet, M., (2007). "Evaluation of adsorption and coagulation characteristics of humic acids preceded by alternative advanced oxidation techniques." *Desalination*, 210, 183–193.
- 15- Duan, J., Wilson, F., Graham, N. and Tay, J.H., (2002). "Adsorption of humic acid by powdered activated carbon in saline water conditions." *Desalination*, 151, 53-66.
- 16- Maleki, A., Safari, M., Shahmoradi, B., Zandsalimi, Y., Daraei, H., Gharibi, F. (2015). "Photocatalytic degradation of humic substances in aqueous solution using Cu-doped ZnO nanoparticles under natural sunlight irradiation." *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 22:16875–16880.
- 17- Weng, Y.H., Lia, K.Ch. Chung-Hsieh, L.H. and Huang, C.P., (2006). "Removal of humic substances (HS) from water by electro-microfiltration (EMF)." *Water Res.*, 40, 1783 – 1794.
- 18- Bolto, B., Dixon, D., Eldridge, R., King, S. and Linge, K., (2002). "Removal of natural organic matter by ion exchange." *Water Res.*, 36, 5057–5065.

* فرایند انعقاد پیشرفته در مقایسه با شرایط بهره برداری متعارف نه تنها کارایی حذف کدورت را کاهش نداد بلکه کارایی حذف آن را نیز از ۸۵ درصد در انعقاد متداول به ۸۸ درصد در انعقاد پیشرفته رساند.
 * غلظت آلومینیم باقی مانده در این مطالعه در محدوده ۰/۱۳ mg/l - ۰/۱۵ تعیین گردید. که کمتر از حد استاندارد ثانویه آب آشامیدنی EPA (۰/۵۰ تا ۰/۲ میلی گرم بر لیتر) است.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کردستان و دانشگاه علوم پزشکی اصفهان انجام شده است. لذا بدینوسیله از کلیه عزیزانی که به نحوی در اجرای این تحقیق همکاری و مساعدت داشته اند، تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

- 1- Sheng, G.P., Zhang, M.L. and Yu, H.Q., (2007). "A rapid quantitative method for humic substances determination in natural waters." *Analytica Chimica Acta.*, 592, 162–167.
- 2- Maleki, A., Safari, M., Rezaee, R., Darvishi Cheshmeh Soltani, R., Shahmoradi, B., Zandsalimi, Y. (2016). "Photocatalytic degradation of humic substances in the presence of ZnO nanoparticles immobilized on glass plates under ultraviolet irradiation." *Separ. Sci. Technol.*, 51: 2484-2489.
- 3- Calace, N., Palmieri, N., Mirante, S., Petronio, B.M. and Pietroletti, M. (2006). "Dissolved and particulate humic substances in water channels in the historic centre of Venice." *Water Res.*, 40, 1109 – 1118.
- 4- Sierra, M.D., Giovanela, M., Parlanti, E. and Sierra E. J. S., (2006). "3D-Fluorescence Spectroscopic Analysis of HPLC Fractionated Estuarine Fulvic and Humic Acids." *Chem. Soc.*, 17(1), 113-124.
- 5- Magdaleno, G.B. and Coichev, N., (2005). "Chemiluminescent determination of humic substances based on the oxidation by peroxy monosulfate." *Analytica Chimica Acta.* 552, 141–146.
- 6- Janos, P. and Zatrepalkov I., (2007). "High-performance size-exclusion chromatography of humic substances on the hydroxyethyl methacrylate column." *Journal of Chromatography A*. 1160, 160-165.
- 7- Yan, M.Q., Wang, D.S., You, S.J., Qu, J.H. and Tang, H.X., (2006). "Enhanced coagulation in a typical North-china water plant." *Water Res.*, 40(19), 3621-3627.

- 22- Freese, S.D., Nozaic, D.J., Pryor, M.J., Rajogopaul, R., Trollip, D.L. and Smith, R.A., (2001). "Enhanced coagulation: a viable option to advance treatment technologies in the South African context." *Water Sci. Technol*, 1 (1), 33–41.
- 23- Qasim, S.R., Motley, E.M. and Zhu, G., (2000). *Water work engineering; planning, design and operation*. 2nd Ed, Hall PTR, Texas.
- 24- Malgorzata K.K., (2005). "Effect of Al coagulant type on natural organic mater removal efficiency in coagulation/ ultrafiltration process." *Desalination*.
- 25- Gao, B.Y., Yue, Q.Y., (2005). Natural Organic Matter (NOM) removal form surface water by coagulation, *J. Environmental Science*, 17(1):124-127.
- 19- Bose, P. and Reckhow, D.A., (2007). "The effect of ozonation on natural organic matter removal by alum coagulation." *Water Res.*, 41, 516 – 1524.
- 20- Liu, H.L., Wang, D.S., Xia, Z.H., Tang, H.X. and Zhang, J.S., (2005). "Removal of natural organic matter in a typical south-China source water during enhanced coagulation with IPF-PACl." *J. Environ. Sci.-China*, 17 (6), 1014–1017.
- 21- Rizzo, L., Belgiorno, V., Gallo, M. and Meric, S., (2005). "Removal of THM precursors from a high-alkaline surface water by enhanced coagulation and behaviour of THMFP toxicity on D-magna." *Desalination*, 176 (1–3), 177–188.