

# بررسی تأثیر اشعه‌ی فرابنفش توأم با نانوذرات آهن به منظور فعال‌سازی پریودات در حذف اسید هیومیک از منابع آبی

عبدالمطلب صیدمحمدی<sup>۱</sup>، قربان عسگری<sup>۱</sup>، محمد تقی صمدی<sup>۲</sup>، علی پورمحمدی<sup>۳\*</sup>، علی فرامرزی گوهر<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران  
<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران  
<sup>۳</sup> کارشناس ارشد بهداشت محیط، مرکز تحقیقات توسعه اجتماعی و ارتقاء سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران  
<sup>۴</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

\* نشانی نویسنده مسؤول: همدان، دانشگاه علوم پزشکی، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، علی پورمحمدی  
E-mail: apoor Mohammadi000@yahoo.com

وصول: ۹۳/۵/۲۸، اصلاح: ۹۳/۹/۱۶، پذیرش: ۹۳/۱۰/۱۷

## چکیده

**زمینه و هدف:** ترکیبات هیومیکی از جمله مواد پلی‌الکترولیت آلی هستند که از جنبه‌های مختلف بر عملکرد فرایند تصفیه‌ی آب تأثیر می‌گذارند. در مطالعه‌ی حاضر از  $UV/IO_4^-$  به‌عنوان یک فرایند نوین اکسیداسیون پیشرفته به‌منظور حذف اسید هیومیک استفاده گردید.

**مواد و روشها:** در این پژوهش از یک راکتور ناپیوسته در مقیاس آزمایشگاهی استفاده گردید. راکتور مورد استفاده با حجم مفید ۲/۵ لیتر از جنس استیل مجهز به لامپ بخار جیوه کم فشار بود. در این مطالعه تأثیر پارامترها نظیر pH، غلظت اولیه‌ی اسید هیومیک، غلظت پریودات و غلظت نانو ذرات آهن بررسی شد و در نهایت غلظت اسید هیومیک با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری در دامنه‌ی طول موج ۲۵۴ نانومتر تعیین مقدار گردید.

**یافته‌ها:** مطابق با نتایج pH ۳، غلظت پریودات ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت نانوذرات آهن صفر ۱۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر به‌عنوان شرایط بهینه‌ی واکنش تعیین شدند. همچنین نتایج بیانگر آن است که در فرایند  $UV/IO_4^-$  کارایی حذف اسید هیومیک به‌حدود ۶۶/۰۸٪ رسیده و افزایش نانوذرات آهن به فرایند سبب افزایش حذف اسید هیومیک به ۷۳/۳٪ شده‌است.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان‌دهنده‌ی حضور UV سبب افزایش فعال‌سازی پریودات و نیز حضور نانوذرات آهن سبب فعال‌سازی بیشتر پریودات و متعاقباً سبب اکسیداسیون بیشتر اسید هیومیک گردید.

**واژه‌های کلیدی:** اسید هیومیک، پریودات، نانوذرات آهن، اشعه فرابنفش، منابع آبی.

## مقدمه

الکترولیت آلی هستند که بیشترین قسمت کربن آلی محلول موجود در محیط‌های آبی را تشکیل می‌دهند (۱). این ترکیبات از جنبه‌های مختلف از جمله اثر بر عملکرد فرایندهای اکسیداسیون، انعقاد، جذب و فرایند گندزدایی

وجود مواد آلی طبیعی در منابع آبی مشکلات عدیده‌ای به‌ویژه در فرایند تصفیه‌ی متداول آب ایجاد نموده‌است. ترکیبات هیومیکی از جمله مواد پلی

بر عملکرد فرایند تصفیه‌ی آب تأثیر می‌گذارند. مهمترین اثر حضور ترکیبات هیومیکی در آب واکنش آن با کلر به عنوان رایج‌ترین ماده‌ی گندزدای مورد استفاده در فرایند تصفیه‌ی آب و امکان تشکیل محصولات جانبی گندزدایی از جمله تری‌هالومتان‌ها و هالواستیک اسید می‌باشد (۲).

این ترکیبات سمی، سرطان‌زا و دارای خاصیت جهش‌زایی بوده و مشکلاتی نظیر سرطان مثانه، کلیه، روده‌ی بزرگ و روده‌ی کوچک در انسان ایجاد می‌کنند.

از دیگر اثرات حضور اسید هیومیک در محیط های آبی ایجاد رنگ، خوردگی فلزات، تشکیل بیوفیلم در شبکه‌های انتقال و توزیع آب آشامیدنی می‌باشد. پتانسیل بالقوه این ترکیبات به‌خصوص نقش آن به عنوان پیش‌ساز تشکیل تری‌هالومتان‌ها لزوم حذف این ترکیبات از آب را بیش از پیش افزایش داده‌است (۳،۴). از سوی دیگر به دلیل پرهزینه‌بودن روش های حذف ترکیبات جانبی گندزدایی پس از تولید روش معقول جلوگیری از تشکیل آن‌ها از طریق حذف پیش سازهای آنهاست. در فرایندهای متداول تصفیه‌ی آب که در غالب تصفیه‌خانه‌های آب انجام می‌شود، تنها در حدود ۳۰ درصد از ترکیبات هیومیکی از آب حذف می‌شود (۵). در میان تکنیک‌های مختلف پیشنهاد شده جهت حذف این مواد آلی، فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته به دلیل سهولت کاربرد، اقتصادی بودن و کارایی بالا امروزه توجه زیادی را به خود معطوف داشته‌اند. اکسیداسیون شیمیایی به‌طور گسترده در تصفیه‌ی آلاینده‌های خطرناک مورد استفاده قرار گرفته‌است (۶،۷).

حذف آلاینده‌ها در روش فرآیند اکسیداسیون پیشرفته بر پایه‌ی تولید رادیکال آزاد با قدرت اکسیداسیون بالا بوده که بسیاری از ترکیبات شیمیایی آلی را به مواد معدنی تبدیل می‌کند. به‌طور معمول، فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته (Advanced Oxidation processes; AOPs) دربرگیرنده‌ی تولید و استفاده از رادیکال هیدروکسیل به‌عنوان یک اکسیدکننده‌ی قوی برای تجزیه و تخریب موادی می‌باشد که به‌وسیله‌ی اکسیدکننده‌های

متداول از قبیل اکسیژن، ازن و کلر اکسید نمی‌گردند (۶،۷). در این بین از فرایندهای اکسیداسیون با UV به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌گردد، اما استفاده از روش‌های نوین و کارآمدتر همیشه بخشی از تفکر پژوهشگران را به خود اختصاص داده‌است (۸،۹). از این رو، در سال‌های اخیر از فرایند UV/IO<sub>4</sub><sup>-</sup> به‌عنوان فرایندهای امید بخش جهت حذف مواد آلی یاد شده است (۱۰). در سال‌های گذشته مطالعاتی در رابطه با کاربرد این فرایندها در حذف مواد آلی صورت گرفته است. به عنوان مثال در مطالعه‌ی Chia و همکاران از فعال‌سازی نوری پرپودات در حذف ۴ کلرفنل در شرایط اسیدی استفاده گردید (۱۰). از سوی دیگر در مطالعه‌ی مشابه دیگری از فعال‌سازی نوری پرپودات به‌منظور حذف رنگ از محیط‌های آبی استفاده شد (۱۱). همچنین در مطالعات گذشته از روش‌های دیگری نیز جهت حذف اسید، نظیر روش‌های انعقاد الکتروشیمیایی (۱)، جذب (۵) و روش‌هایی غشایی (۴) که هر یک از این معایب خاص خود را دارند، استفاده شده است. به‌گونه‌ای تولید لجن و نیاز به تصفیه و جداسازی لجن تولیدی در فرایند انعقاد الکتروشیمیایی (۱) و سطح محدود در فرایند جذب بر جاذب‌های مختلف (۵) و در نهایت هزینه‌ی بالا و گرفتگی غشاء در فرایندهای غشایی (۵) به‌عنوان محدودیت‌های کاربردی فرایندهای مذکور مانع از استفاده آن‌ها در مقیاس‌های بزرگ و عملی شده‌است. لذا با توجه به گستردگی آلاینده‌ها در محیط زیست و نارسایی‌های موجود در خصوص کارایی این فرایندها در حذف ترکیبات آلی، این پژوهش به‌منظور بررسی کارایی روش‌های اکسیداسیون پیشرفته UV/IO<sub>4</sub><sup>-</sup> و UV/IO<sub>4</sub><sup>-</sup>/Fe<sup>0</sup> در حذف ماده‌ی آلی اسید هیومیک و شناسایی عوامل موثر بر انجام واکنش صورت گرفت.

## مواد و روش‌ها

اسید هیومیک (Sodium salt)، پرپودات سدیم (NaIO<sub>4</sub>, 98%) و آهن صفر ظرفیتی (نانوذرات) از

مدل HATCH) در دامنه‌ی طول موج ۲۵۴ نانومتر با استفاده از سل کوآرتز تعیین مقدار گردید (۱۲).

در این پژوهش تأثیر برخی پارامترها نظیر زمان تابش پرتو فرابنفش (۱۰-۶۰ دقیقه)، pH (۳، ۷ و ۱۱)، غلظت اولیه‌ی اسید هیومیک (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ میلی گرم بر لیتر)، غلظت پریدوات (۶۲/۵، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر) و غلظت نانو ذرات آهن (۶/۲۵، ۱۲/۵ و ۶۲/۵ میلی گرم بر لیتر) در حذف اسید هیومیک از محیط‌های آبی بررسی شد.

## یافته‌ها

### تأثیر تغییرات pH مختلف در فرایند UV/IO<sub>4</sub><sup>-</sup>

نتایج تأثیر pH بر کارایی فرایند UV/IO<sub>4</sub><sup>-</sup> در حذف اسید هیومیک از محلول‌های آبی در شکل ۲ نشان داده شده است. مطابق با نتایج کسب شده کارایی فرایند (با غلظت اولیه‌ی اسید هیومیک ۲۰ میلی گرم بر لیتر و غلظت پریدوات ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر) در pH های ۳، ۷ و ۱۱ پس از گذشت ۶۰ دقیقه از زمان واکنش ۴۶/۳۷، ۳۹/۲۸ و ۲۸/۸۷ درصد می باشد. همان گونه که قابل مشاهده است، بالاترین کارایی فرایند در pH معادل ۳ مشاهده شد، بنابراین pH معادل ۳ به عنوان pH بهینه برای ادامه‌ی آزمایش‌ها انتخاب شد.

### تأثیر تغییرات غلظت پریدوات در فرایند UV/IO<sub>4</sub><sup>-</sup>

به منظور بررسی تغییرات غلظت پریدوات به عنوان اکسیدکننده غلظت‌های مختلفی از پریدوات (۶۲/۵، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر) در فرایند UV/IO<sub>4</sub><sup>-</sup> مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج این بخش از آزمایش‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می گردد در غلظت‌های ۶۲/۵، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر از پریدوات، کارایی فرایند UV/IO<sub>4</sub><sup>-</sup> به ترتیب معادل ۶۱/۴۶، ۶۳/۸۸، ۵۷/۸۴ و ۴۶/۵۲ درصد بوده است. بنابراین بالاترین و پایین‌ترین کارایی فرایند به ترتیب در ۱۲۵ و ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر پریدوات مشاهده شده است. از این رو،

شرکت سیگما آلدریج و مرک آلمان خریداری گردیدند. در تمامی مراحل از محلول استوک با غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید هیومیک استفاده شد. بدین منظور حجم مشخصی از محلول استوک حاوی ماده‌ی آلی اسید هیومیک را با استفاده از پیپت به حجم معین آب مقطر اضافه نمود و محلول آماده پس از هدایت به یک مخزن توسط یک دستگاه همزن مغناطیسی شرایط همگن برای محلول اسید هیومیک، فراهم و جهت تنظیم pH هیدروکسید سدیم ۱ نرمال و اسیدسولفوریک ۱ مولار به محلول اضافه گردید. در نهایت به منظور تعیین pH نهایی از دستگاه pH متر (مدل Selecta LaG) استفاده شد. محتویات داخل مخزن پس از اختلاط کافی و تنظیم pH از طریق شیر ورودی به راکتور منتقل شد. در هر مرحله، عملیات نمونه برداری در فواصل زمانی مشخص از شیر خروجی و با استفاده از ظرف شیشه‌ای انجام گرفت.

راکتور مورد استفاده در این پژوهش در مقیاس آزمایشگاهی و به صورت ناپیوسته راهبری گردید. راکتور به صورت سیلندر استوانه ای با حجم مفید ۲/۵ لیتر از جنس استیل ضد زنگ بسیار صاف و صیقلی به منظور به حداکثر رساندن انعکاس پرتو درون راکتور ساخته شده بود. پرتو فرابنفش مورد استفاده در این مطالعه توسط لامپ بخار جیوه کم فشار ۵۵ وات تامین گردید. این لامپ‌ها حدود ۹۰ درصد پرتو خروجی‌شان در ناحیه‌ی ۲۵۳/۷ نانومتر قرار دارد که توسط شرکت فیلیپس هلند ساخته شده است. لامپ درون پوشش کوآرتزی بسیار شفاف به قطر ۲ سانتی متر در امتداد طول راکتور و به صورت مرکزی در داخل آن قرار داده شد. شکل ۱ شمای کلی راکتور تابش پرتو فرابنفش را نشان داده است.

راکتور مجهز به شیر ورودی و خروجی و سیستم هشداردهنده‌ی سمعی و بصری عدم کارکرد لامپ است. مشخصات راکتور و لامپ مورد استفاده در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. در نهایت غلظت اسید هیومیک با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری (DR5000)

**جدول ۲: مشخصات لامپ مورد استفاده**

لامپ کم فشار بخار جیوه	۵۵W
طول عمر مفید لامپ (h)	۵۰۰۰
حداکثر ناحیه تابش (nm)	۲۵۳/۷
قطر پوشش گوارتز (cm)	۳
طول لامپ (mm)	۹۰۹
قطر لامپ (mm)	۲۶
وزن لامپ (gr)	۲۶
فرکانس (Hz)	۵۰-۶۰
شدت تابش ( $\mu\text{W}/\text{cm}$ )	۵۰۰۰
تعداد لامپ	۱

**جدول ۱: مشخصات راکتور مورد استفاده**

طول (cm)	۹۲
قطر (cm)	۷/۶
وزن (kg)	۴
جنس بدنه	استیل ضد زنگ ۳۰۴
اندازه لوله ورودی و خروجی (in)	۰/۷۵
فشار قابل تحمل (bar)	۵
حجم مفید راکتور	۲/۵
منبع تغذیه	ترانسفورماتور ۲۴-۲۱۰ ولت
سیستم هشدار دهنده	چراغ سیگنال

و ۰/۵: ۱ پرپودات به نانوذرات آهن صفر) انجام شدند. همانگونه که ملاحظه می‌گردد بیشترین کارایی فرایند در غلظت ۱۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر از نانوذرات آهن صفر حاصل گردید (۷۳/۳ درصد).

### تأثیر پرپودات به تنهایی

در این مرحله از انجام آزمایش‌ها به منظور بررسی کارایی پرپودات به تنهایی در حذف اسید هیومیک، آزمایش‌ها در غلظت اولیه‌ی اسید هیومیک ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر، pH معادل ۳ و غلظت پرپودات ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر در عدم حضور اشعه UV و در حضور اکسیدکننده‌ی پرپودات به تنهایی انجام شدند. نتایج این قسمت از آزمایش‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است. مطابق با نتایج حاصل کارایی فرایند پرپودات به تنهایی در حذف اسید هیومیک بسیار کم بوده است و همانگونه که مشاهده می‌گردد، تا زمان تماس ۴۰ دقیقه راندمان فرایند را به مقدار اندکی افزایش یافته و پس از آن ثابت شده است.

### بحث

مطابق با نتایج حاصل از تأثیر pH بر فرایند  $\text{UV}/\text{IO}_4^-/\text{Fe}^0$ ، کارایی فرایند با افزایش pH کاهش یافته است که این موضوع می‌تواند با تأثیر pH محلول بر تولید رایکال‌ها در فرایندهای  $\text{UV}/\text{IO}_4^-$  مرتبط باشد. پرپودات از دو مسیر جهت تولید رایکال‌های پریدیل ( $\text{IO}_4$ ) و آیدیل ( $\text{IO}_3$ ) استفاده می‌کند. لازم به ذکر است که در این بین رایکال هیدروکسیل و واسطه‌های

غلظت ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر از پرپودات به عنوان غلظت بهینه‌ی این ماده در فرایند  $\text{UV}/\text{IO}_4^-$  انتخاب شد.

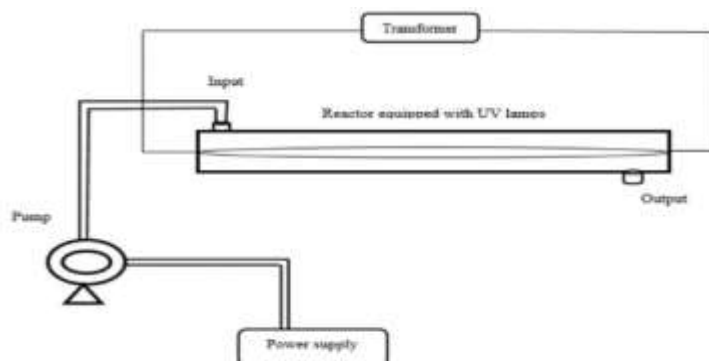
### تأثیر تغییرات غلظت اسید هیومیک در فرایند $\text{UV}/\text{IO}_4^-$

در این قسمت از پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر غلظت‌های متفاوت اسید هیومیک بر کارایی فرایند غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر از این ماده در فرایند  $\text{UV}/\text{IO}_4^-$  با pH ۳ و غلظت ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر از پرپودات مورد آزمایش قرار گرفت.

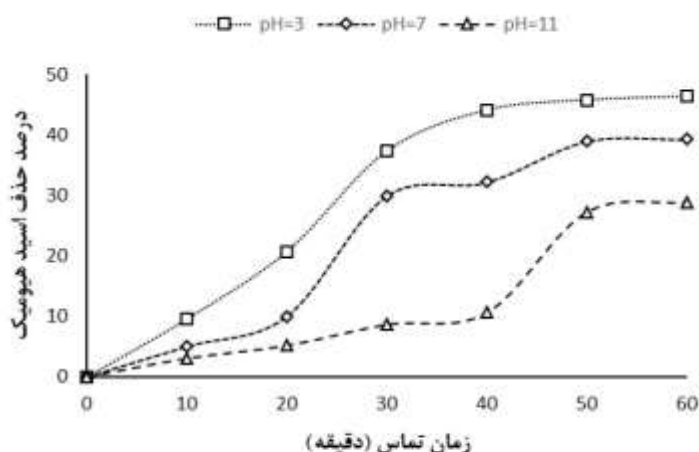
نتایج آن در شکل ۴ آمده است. همانگونه که قابل مشاهده است، در غلظت‌های اولیه ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر از اسید هیومیک کارایی فرایند به ترتیب معادل ۶۶/۰۸، ۶۵/۵۴، ۵۶/۱۰ و ۳۷/۷۵ درصد بوده است. بنابراین بالاترین و پایین‌ترین کارایی فرایند به ترتیب در غلظت‌های اولیه‌ی اسید هیومیک معادل ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد.

### فرایند $\text{UV}/\text{IO}_4^-/\text{Fe}^0$

در این بخش از انجام آزمایش‌ها، تأثیر نانوذرات آهن صفر در فعال‌سازی بیشتر پرپودات در فرایند  $\text{UV}/\text{IO}_4^-/\text{Fe}^0$  و افزایش کارایی حذف اسید هیومیک توسط فرایند مذکور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بخش از آزمایش‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است. در این قسمت از مطالعه آزمایش‌ها در غلظت اولیه‌ی اسید هیومیک ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر، در حضور پرپودات و در غلظت‌های متغیری از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی (۶/۲۵، ۱۲/۵ و ۶۲/۵ میلی‌گرم یا در نسبت‌های ۰/۰۵: ۱، ۰/۱: ۱)

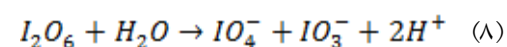
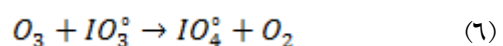
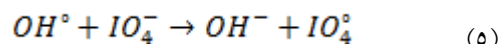
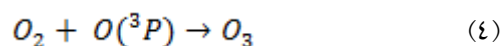
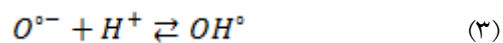
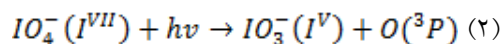
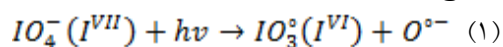


شکل ۱. شمای کلی راکتور مورد استفاده و تجهیزات مرتبط

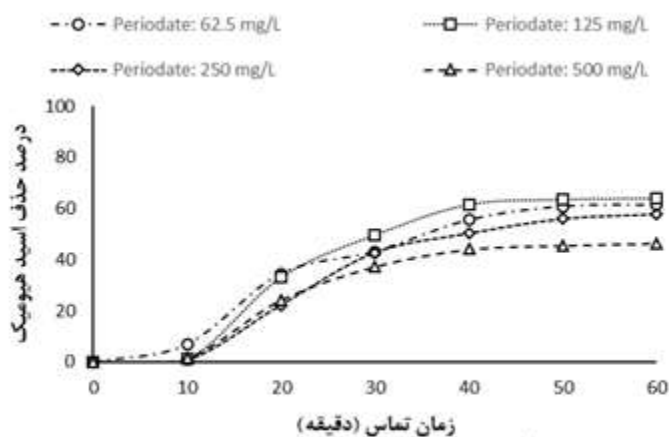


شکل ۲: تأثیر تغییرات pH بر کارایی فرایند  $UV/IO_4^-$  (غلظت اولیه اسید هیومیک  $20 \text{ mg/L}$  و غلظت پریدات  $500 \text{ mg/L}$ )

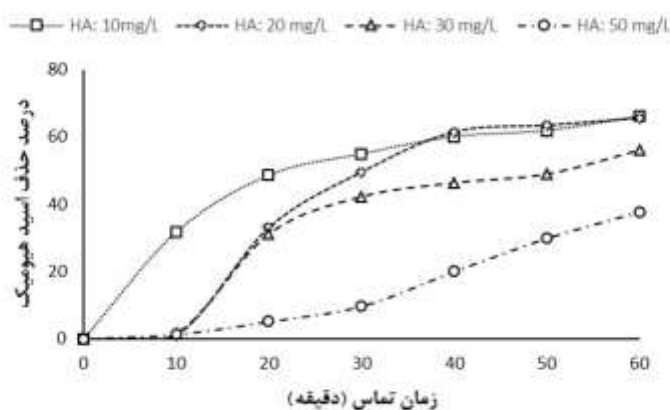
تحقیق حاضر مطابقت دارد (۱۳). از آنجایی که بالاترین کارایی فرایند در pH ۳ مشاهده شد، بنابراین pH معادل ۳ به عنوان pH بهینه برای ادامه‌ی آزمایش‌ها انتخاب شد. روابط فعال‌سازی پریدات به وسیله‌ی اشعه ماوراء بنفش به شرح ذیل است:



غیر رادیکالی نظیر ازن نیز حاصل می‌شود (مطابق با روابط ۳ و ۴). در pH ۱ تا ۸ عامل اصلی اکسیداسیون پریدات ( $IO_4^-$ ) است. تجزیه‌ی کندتر پریدات در pH ۷ نسبت به pH ۳ منجر به تولید مجدد پریدات می‌شود. طبق روابط ۷ و ۸ رادیکال پریدیل ( $IO_4^\circ$ ) و آیدیل ( $IO_3^\circ$ ) تولید شده می‌تواند مجدداً به پریدات و آیدات احیا شوند (۱۰، ۱۲). کاهش قابل توجه راندمان تجزیه‌ی فنل در pH ۱۱ را می‌توان به حضور ترکیبات غالب  $H_4I_2O_{10}^{-4}$  و  $H_3IO_6^{-2}$  در شرایط قلیایی نسبت‌داد که در مقایسه با pH های ۳ و ۷ دارای مکانیسم فتولیز و جذب پرتو متفاوت می‌باشند (۱۳). در مطالعه‌ای که Xsuming tang و همکاران در حذف TOC ناشی از عوامل شیمیایی ناشی از جنگ توسط فرایند فعال‌سازی نوری پریدات انجام دادند، به این نتیجه دست یافتند که pH نقش مهمی در حذف TOC دارد و با کاهش pH راندمان حذف افزایش می‌یابد که با نتایج



شکل ۳: تأثیر تغییرات غلظت پرپودات بر کارایی فرایند  $UV/IO_4^-$  (غلظت اولیه اسید هیومیک ۲۰ mg/L و pH معادل ۳)

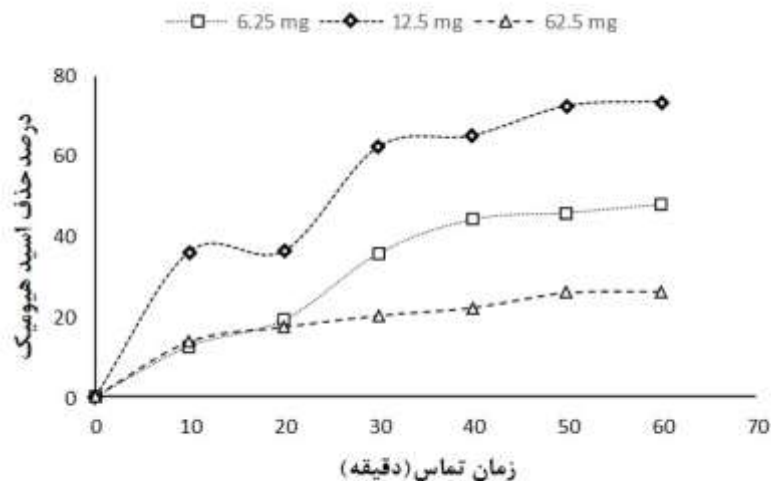


شکل ۴: تأثیر تغییرات غلظت اولیه اسید هیومیک بر کارایی فرایند  $UV/IO_4^-$  (غلظت پرپودات ۱۲۵ mg/L و pH معادل ۳)

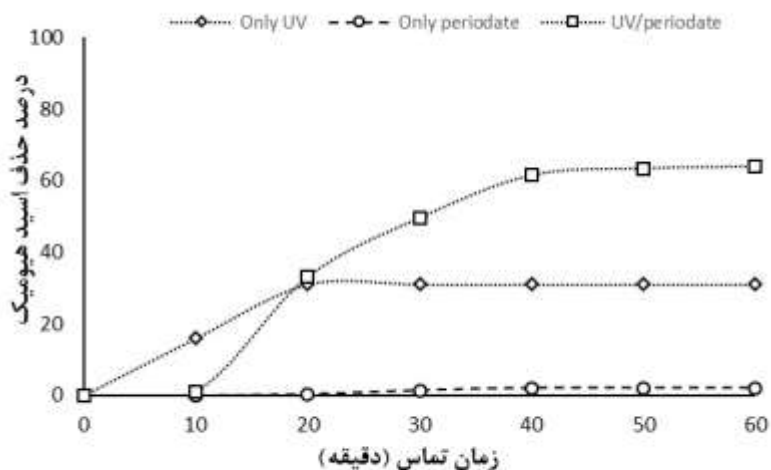
راندمان حذف آن می شود. اما با افزایش غلظت پرپودات در محیط، راندمان حذف به دلیل درگیر شدن پرپودات در واکنش های رقابتی با خود کاهش می یابد. لذا پرپودات می تواند به عنوان یک واکنش مختل کننده در تولید رادیکال هیدروکسیل عمل کند (۱۵، ۱۴). در همین رابطه، در مطالعه ای که Changha Lee و همکاران در حذف رنگ با استفاده از فرایند فعال سازی نوری پرپودات انجام دادند، مشخص گردید که حذف رنگ با افزایش غلظت پرپودات به طور خطی افزایش می یابد، اما تا زمانی که پرپودات خود به عنوان مختل کننده رادیکال هیدروکسیل نباشد (۱۱).

تأثیر غلظت های متفاوت اسید هیومیک بر کارایی فرایند غلظت های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ میلی گرم بر لیتر از این ماده در فرایند  $UV/IO_4^-$  با pH ۳ و غلظت ۰/۵۸۴

به منظور بررسی تغییرات غلظت پرپودات به عنوان اکسیدکننده غلظت های مختلفی از پرپودات در فرایند  $UV/IO_4^-$  مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج این بخش از آزمایش ها در شکل ۳ نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می گردد در ابتدا با افزایش غلظت پرپودات از ۶۲/۵ تا ۱۲۵ میلی گرم بر لیتر کارایی فرایند در حذف اسید هیومیک افزایش یافته، اما در ادامه با افزایش مقدار پرپودات به ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر میزان حذف اسید هیومیک کاهش یافت و به ترتیب به ۵۷/۸۴ و ۴۶/۵۲ درصد رسید که این موضوع می تواند با واکنش های خود رقابتی پرپودات در غلظت های بالا مرتبط باشد. زیرا در غلظت های کم پرپودات، فتولیز پرپودات افزایش می یابد که خود منجر به تولید رادیکال هیدروکسیل بیشتر می شود که در نهایت با آلایندگی آلی واکنش داده و سبب افزایش



شکل ۵: تأثیر pH بر کارایی فرایند مقایسه کارایی فرایند های UV/IO<sub>4</sub><sup>-</sup>/Fe<sup>0</sup> (غلظت اولیه اسید هیومیک ۲۰ mg/L، pH معادل ۳ و غلظت پریدات ۱۲۵ mg/L)



شکل ۶: مقایسه کارایی فرایند های UV به تنهایی، پریدات به تنهایی و UV/IO<sub>4</sub><sup>-</sup> (غلظت اولیه اسید هیومیک ۲۰ mg/L، pH معادل ۳ و پریدات در صورت استفاده ۱۲۵ mg/L)

اکسیدکننده در اثر افزایش غلظت این ماده، می تواند دو دلیل اصلی کاهش سرعت واکنش در غلظت های بالای آلاینده باشد. نتایج مطالعات مشابه با مطالعه حاضر مطابقت دارد (۱۳،۱۶).

نتایج حاصل از بررسی تأثیر غلظت های متفاوت نانوذرات آهن صفر نشان می دهد که بیشترین کارایی فرایند در غلظت ۱۲/۵ میلی گرم از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی (۱/۰: ۱) از پریدات به نانوذرات آهن مشاهده شد. بدین ترتیب با مقایسه نتایج فرایندهای UV/IO<sub>4</sub><sup>-</sup> و UV/IO<sub>4</sub><sup>-</sup>/Fe<sup>0</sup> درحالت بهینه مشخص می گردد که کارایی فرایند UV/IO<sub>4</sub><sup>-</sup>/Fe<sup>0</sup> به صورت قابل ملاحظه ای بالاتر

میلی مول از پریدات مورد آزمایش قرارگرفت. نتایج آن در شکل ۴ آمده است. مطابق با نتایج در این فرایند کارایی فرایند اکسیداسیون پیشرفته UV/IO<sub>4</sub><sup>-</sup> با افزایش غلظت ماده ی آلی اسید هیومیک کاهش یافته که این کاهش نیز می تواند با نوع آلاینده و فرایند UV/IO<sub>4</sub><sup>-</sup> مرتبط باشد.

زیرا در این فرایند تنها مقادیر معینی رادیکال فعال تولید می گردد. لذا فرایند قادر به اکسیداسیون و حذف مقادیر مشخصی از ترکیبات آلی است. از طرفی دیگر، تولید محصولات جانبی دارای واکنش پذیری بیشتر از اسید هیومیک با رادیکال های موجود در واکنش و کاهش احتمال برخورد مولکول های هیومیکی با عوامل

این پژوهش به منظور بررسی کارایی روش‌های اکسیداسیون پیشرفته  $UV/IO_4^-$  و  $UV/IO_4^-/Fe^0$  در حذف ماده‌ی آلی اسید هیومیک و شناسایی عوامل موثر بر انجام واکنش صورت گرفت. مطابق با نتایج حاصل  $pH$  ۳، غلظت پرپودات ۱۲۵ میلی گرم بر لیتر و غلظت نانوذرات آهن صفر ۱۲/۵ میلی گرم بر لیتر به عنوان شرایط بهینه‌ی واکنش تعیین شدند. همچنین نتایج بیانگر آن است که کاربرد  $UV$  به همراه پرپودات کارایی حذف اسید هیومیک را به حدود ۶۶/۰۸٪ رسانده و افزایش نانوذرات آهن سبب افزایش حذف اسید هیومیک به ۷۳/۳٪ شده است. بنابراین حضور  $UV$  سبب افزایش فعال سازی پرپودات شده است. از سوی دیگر نیز حضور نانوذرات آهن سبب فعال سازی بیشتر پرپودات و متعاقباً سبب اکسیداسیون بیشتر اسید هیومیک گردید.

### تشکر و تقدیر

این مقاله منتج از بخشی از نتایج پایان‌نامه‌ی دانشجویی علی پورمحمدی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد می باشد. بدین وسیله از دانشگاه علوم پزشکی همدان جهت حمایت مالی این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

بوده است که علت افزایش کارایی فرایند  $UV/IO_4^-/Fe^0$  می‌تواند با نقش نانو ذرات آهن صفر در فعال سازی بیشتر پرپودات مرتبط باشد و افزایش فعال سازی پرپودات در حضور نانوذرات آهن صفر در پی آزادسازی یون‌های  $Fe^{+2}$  از  $Fe^0$  در فرایند می‌باشد. زیرا یون‌های  $Fe^{+2}$  سبب تولید رادیکال‌های فعال از تجزیه پرپودات و موجب افزایش کارایی فرایند و حذف اسید هیومیک می‌شود که این بخش از نتایج با مطالعات Oh و همکاران در خصوص فعال سازی پرسولفات با استفاده از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی (۱۷) و مطالعات Liang و همکاران در اکسیداسیون تری کلرواتیلن با پرسولفات و آهن (۱۸) مطابقت دارد. همچنین مطابق با نتایج، بررسی کارایی فرایند  $UV$  به تنهایی و پرپودات به تنهایی بیانگر آن است که هر یک از فرایندها به صورت مجزا کارایی بسیار اندکی در حذف اسید هیومیک داشته، حال آن‌که در شرایط توأم  $UV/IO_4^-$  افزایش چشمگیری پیدا کرده است که این موضوع می‌تواند با نقش  $UV$  در فعال سازی ماده‌ی اکسیدکننده‌ی پرپودات مرتبط باشد. در فرایندهای  $UV/IO_4^-$  تولید رادیکال‌های فعال حاصل از پرپودات ناشی از تأثیر اشعه‌ی  $UV$  بر پرپودات می باشد (مطابق با روابط ۱ تا ۵). لذا  $UV$  تأثیر قابل ملاحظه‌ای در افزایش کارایی پرپودات به منظور اکسیداسیون اسید هیومیک داشته است.

### References

- Mohora E, Rončević S, Dalmacija B, Agbaba J, Watson M, Karlović E, Dalmacija M. Removal of natural organic matter and arsenic from water by electrocoagulation/flotation continuous flow reactor. *J Hazard Mater*. 2012; 235–6: 257–64.
- Von Gunten U. Ozonation of drinking water. Part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide and chlorine. *Water Res*. 2003; 37(7): 1469–87.
- Dabrowska A, Nawrocki J, Szlag-Wasielewska E. Appearance of aldehydes in the surface layer of lake waters. *Environ Monit Assess*. 2014; 186(7): 4569–80.
- Mazloomi S, Nabizadh R, Nasser S, Naddafi K, Nazmara S, Mahvi AH. Efficiency of Domestic Reverse Osmosis in Removal of Trihalomethanes from Drinking Water. *Iran J Environ Health Sci Eng*. 2009; 6 (4):3016.
- Zhang X, Minear RA. Formation, adsorption and separation of high molecular weight disinfection byproducts resulting from chlorination of aquatic humic substances. *Water Res*. 2006; 40(2): 221-30.
- Rahmani AR, Mehr Ali Pour J, Shabanlo N, Zaheri F, Poureshgh Y, Shabanlo A. Performance Evaluation of Advanced Electrochemical Oxidation Process With the Using Persulfate in Degradation of Acid Blue 113 from Aqueous Solutions. *J Sabzevar Univ Med Sci*. 2014; 21(5): 797-807. [Persian]



7. Kasprzyk-Hordern B, Ziolek M, Nawrocki J. Catalytic ozonation and methods of enhancing molecular ozone reactions in water treatment. *Appl Catalysis-B: Environ.* 2003; 46(4): 639-69.
8. Raharinirina D, Ramanantsizehena G, Razafindramisa FL, Leitner NKV. Comparison of UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> processes for the decoloration of azo dyes Congo Red in various kinds of water. 2012; 114:1-9.
9. Asgari G, Seidmohammadi AM, Chavoshani A. Pentachlorophenol removal from aqueous solutions by microwave/persulfate and microwave/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: a comparative kinetic study. *J Environ Health Sci Eng.* 2014; 12: 94.
10. Chia LH, Tang X, Weavers LK. Kinetics and mechanism of photoactivated periodate reaction with 4-chlorophenol in acidic solution. *Environ Sci Technol.* 2004; 38(24): 6875-80.
11. Lee C, Yoon J. Application of photoactivated periodate to the decolorization of reactive dye: reaction parameters and mechanism. *J Photochem Photobiol A: Chem,* 2004; 165(1-3): 35-41.
12. Seidmohammadi AM, Asgari G, Rajabizadeh A, Poormohammadi A, Ahmadian M. The Efficiency of Electrocoagulation Process Using Iron Electrode in Removal of Humic Acid from Water in the Presence of Chitosan as a Coagulant Aid. *Journal of Health & Development.* 2014; 3(3): 200-11. [persian]
13. Tang X, Weavers LK. Using photoactivated periodate to decompose TOC from hydrolysates of chemical warfare agents. *J Photochem Photobiol A Chem.* 2008; 194(2-3): 212-19.
14. Vlessidis A, Evmiridis NP. Periodate oxidation and its contribution to instrumental methods of micro-analysis—A review. *Analytica Chimica Acta.* 2009; 652(1-2): 85-127.
15. Wang Y, Hong C-s. Effect of hydrogen peroxide, periodate and persulfate on photocatalysis of 2-chlorobiphenyl in aqueous TiO<sub>2</sub> suspensions. *Water Res.* 1999; 33(9): 2031-6.
16. Klaning UK, Sehested K. Photolysis of periodate and periodic acid in aqueous solution. *J Chem Soc, Faraday Trans 1: Physical Chemistry in Condensed Phases.* 1978; 74: 2818-38.
17. Oh SY, Kim HW, Park JM, Park HS, Yoon C. Oxidation of polyvinyl alcohol by persulfate activated with heat, Fe<sup>2+</sup>, and zero-valent iron. *J Hazard Mater.* 2009; 168(1): 346-51.
18. Liang C, Lee IL, Hsu IY, Liang CP, Lin YL. Persulfate oxidation of trichloroethylene with and without iron activation in porous media. *Chemosphere.* 2008; 70(3): 426-35.

# The Effect of UV and coupled with Fe (0) Nanoparticles in activation of $\text{IO}_4^-$ in removal of Humic Acid from the water Resources

**Abdol Motaleb Seid Mohammadi,**

Social Determinants of Health Research Center, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

**Ghorban Asgari,**

Social Determinants of Health Research Center, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

**Mohammad Thaghi Samadi,**

Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health and Research Center for Health sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

**\* Ali Poormohammadi,**

Social Development and Health Promotion Research Center, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran

**Ali Faramarzi-gohar,**

Department of Biostatistics, School of Public health and Research Center for Health Sciences, Hamadan university of Medical Sciences, Hamadan, Iran

Received:16/11/2014, Revised:07/12/2014, Accepted:07/01/2015

## Correspond Author:

Ali Poormohammadi  
Kermanshah University of  
Medical Sciences, Kermanshah,  
Iran  
E-mail:  
apoomohammadi000@yahoo.com

## Abstract

**Background and aim:** Humic Acid (HA) is one of the polyelectrolyte compounds which cause many problems in water treatment process. In present study, UV/ $\text{IO}_4^-$  as a novel advance oxidation process, was used for removing HA.

**Material and methods:** In present research, a batch reactor in lab scale was used. This reactor with useful volume of 2.5 L, made of stainless steel, which equipped with a low pressure Hg vapor lamp. In this study the effect of some parameters including pH, initial HA concentration,  $\text{IO}_4^-$  concentration and Fe (0) nanoparticles concentration were investigated. HA concentration was determined using Spectrophotometer at an absorbance wavelength of 254 nm.

**Results:** According to the results, pH 3, periodate concentration 125 mg/L and Fe (0) Nano particles 12.5 mg/L were determined as optimum conditions. Moreover, results indicated that in presence of UV coupled with Periodate removal efficiency of HA increased to 66.08%, and the increase of Fe (0) Nano particles can led to increase HA removal (73.3%).

**Conclusion :**Results show that the presence of UV let to increase in the activation of periodate, on the other hands, the presence of Fe (0) Nano particles led to further activation of periodate subsequently cause the increasing HA removal.

**Keywords:** Humic Acid, Periodate, Zero-Valent Iron Nanoparticles, Ultra-violent, water resources.