



Received:2013/12/18

Accepted:2014/1/28

Evaluation of the Efficiency of Electron Beam Irradiation for Removal of Humic Acid from Aqueous Solutions

Mohammad Hassan Ehrampoush (Ph.D)¹, Mohammad Taghi Ghaneian(Ph.D)², Monireh Kheirkhah(MS.c)³, Reza Amraei (MS.c)⁴, Tahereh Jasemizad(MS.c)⁵, Mohsen Askarshahi (Ph.D)⁶

1.Professor, Department of Environmental Health, Engineering School of Public Health, Shahid Sadoughi Univ Med Sci -Yazd ,Iran

2.Associate professor, Department of Environmental Health, Engineering School of Public Health, Shahid Sadoughi Univ Med Sci -Yazd, Iran.

3.MS.c of Chemistry, Radiation Application Research School, Yazd,Iran

4.MS.c of Physics, Radiation Application Research School, , Yazd-Iran

5.MS.c, Department of Environmental Health, Engineering School of Public Health, Shahid Sadoughi Univ Med Sci -Yazd, Iran. Email: taherehjasemizad@yahoo.com Tle:09136907629

6.Assistant Professor, Department of Biostatistics and Epidemiology, Engineering School of Public Health, Shahid Sadoughi Univ Med Sci -Yazd, Iran.

Abstract

Introduction: Humic acids (HAs) have adverse effects on the environment; therefore, they should be removed from the water and wastewater. The aim of this study was to evaluate the efficiency of the electron beam irradiation for removal of humic acid from aqueous solutions.

Methods: Humic acid was purchased from Sigma-Aldrich Company. After preparation of stock solution in alkaline condition, different concentrations of humic acid (10, 25 and 50 mg) were prepared. Study has done at pH= 8 and in different dose rates of 1, 3, 6, 9 and 15 kGy. Then initial absorption of samples was measured at 254 nm using UV-Visible spectrophotometer before and after the irradiation. Excel and SPSS Ver. 18 were used for analyzing the data and drawing graphs.

Results: The results of this study showed that by increasing adsorbed dose from 1 to 15 kGy, the efficiency of HA removal increased and by increasing humic acid concentration from 10 to 50 mg/L, the removal efficiency of humic acid decreased. The results of the kinetic study showed that irradiation of humic acid followed pseudo second-order reaction.

Conclusion: It can be concluded that electron beam irradiation can be a useful technology for the treatment of environmental samples contaminated by humic acid.

Keywords: electron beam irradiation, humic acid, aqueous solutions

Conflict of interest: The authors declared that there is no Conflict interests.



This Paper Should be Cited as: Mohammad Hassan Ehrampoush (Ph.D), Mohammad Taghi Ghaneian (Ph.D), Monireh Kheirkhah (MS.c), Reza Amraei (MS.c), Tahereh Jasemi zad (MS.c), Mohsen Askarshahi (Ph.D).Evaluation of the Efficiency of Electron Beam Irradiation for Removal of Humic Acid from Aqueous Solutions J Toloobehdasht Sci 2017; 15(1):47-55[Persian]



بررسی کارایی پرتوهای پرنانژی الکترونی در حذف اسید هیومیک از محلول های آبی

نویسندگان: محمد حسن احرامپوش^۱، محمد تقی قانعیان^۲، منیره
خیرخواه^۳، رضا امرائی^۴، طاهره جاسمی زاده^۵، محسن عسکر شاهی^۶

۱. استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد
۲. دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد
۳. کارشناس ارشد شیمی، پژوهشکده کاربرد پرتوها، یزد
۴. کارشناس ارشد فیزیک، پژوهشکده کاربرد پرتوها، یزد
۵. نویسنده مسئول: دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد تلفن تماس: ۰۹۱۳۶۹۰۷۶۲۹ Email: taherehjasemizad@yahoo.com
۶. استادیار گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد

چکیده

مقدمه: اسیدهای هیومیک به علت اثرات مضر ناشی از حضور در آب حائز اهمیت بوده و تلاش های زیادی جهت حذف این مواد قبل از مرحله گندزدایی انجام شده است. هدف این مطالعه بررسی کارایی پرتوهای پرنانژی الکترونی در حذف اسید هیومیک از محلول های آبی است.

روش بررسی: در این مطالعه تجربی که در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد از اسید هیومیک محصول شرکت سیگما آلد ریچ استفاده و بعد از تهیه محلول استوک در شرایط قلیایی، غلظت های ۱۰، ۲۵ و ۵۰ mg/L، اسید هیومیک تهیه شد. در این مطالعه، اثر میزان دز جذبی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۵ کیلوگری بر حذف اسید هیومیک در pH ۸ بررسی گردید. سپس جذب آن ها قبل و بعد از پرتو دهی در طول موج ۲۵۴ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Visible سنجش شد. پس از انجام آزمایش ها، از نرم افزارهای Excel و SPSS برای تجزیه و تحلیل داده ها و رسم نمودارها استفاده گردید.

یافته ها: بررسی اثر pH (۱۰-۴) بر کارایی پرتوهای پرنانژی الکترونی در حذف اسید هیومیک نشان داد که راندمان حذف در pH های مختلف دارای تغییرات جزئی است و بیشترین راندمان حذف در pH=۸ مشاهده شده و اختلاف معنادار آماری ($P \geq 0/05$) بین مقادیر راندمان در pH های مختلف مشاهده نگردید. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که با افزایش دز جذبی پرتو از ۱ به ۱۵ کیلوگری، راندمان حذف اسید هیومیک افزایش و با افزایش غلظت اسید هیومیک از ۱۰ mg/L به ۵۰، راندمان حذف کاهش می یابد. سینتیک واکنش تجزیه اسید هیومیک در حضور پرتوهای پرنانژی الکترونی با سینتیک شبه درجه دوم مطابقت دارد.

نتیجه گیری: از این مطالعه می توان نتیجه گرفت که پرتو دهی با پرتوهای پرنانژی الکترونی، تکنولوژی مناسبی برای تصفیه نمونه های محیطی آلوده شده توسط اسید هیومیک می باشد.

واژه های کلیدی: پرتوهای پرنانژی الکترونی، اسید هیومیک، محلول های آبی

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد می باشد.

طلوع بهداشت

دو ماهنامه علمی پژوهشی

دانشکده بهداشت یزد

سال شانزدهم

شماره: اول

فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۶

شماره مسلسل: ۶۱

تاریخ وصول: ۱۳۹۲/۹/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۹



مقدمه

پرتودهی یکی از روش های مؤثر و مورد استفاده در حذف آلاینده از آب و فاضلاب بوده که قادر به حذف آلودگی های آلی غیر قابل تجزیه بیولوژیکی و رفع آلودگی های میکروبی ناشی از ویروس ها، باکتری ها و غیره است. تابش های یون ساز مانند پرتوهای UV، X و پرتوهای گاما و الکترون های پرشتاب از شکل های مؤثر انرژی هستند که می توانند آلودگی های آلی را از آب و فاضلاب حذف نمایند (۱۱). کارایی پرتودهی به فاکتورهایی نظیر انرژی پرتو، دز جذبی، غلظت و ساختار مولکولی مواد آلوده کننده، دما و اثرات متقابل بین فاکتورهای مختلف بستگی دارد. در این میان کاربرد پرتوهای پرانرژی الکترونی نیز یکی از روش های اکسیداسیون پیشرفته جهت تصفیه آب و فاضلاب محسوب می شود (۱۱).

در پرتودهی الکترونی (E-Beam) از جریانی از الکترون های پرانرژی استفاده می شود که به داخل فیلم نازکی از آب یا فاضلاب هدایت می شود. الکترون ها، مولکول های آب را شکسته و تعدادی از گونه های شیمیایی بسیار واکنش گر تولید می گردد که شامل رادیکال های هیدروکسیل اکسید شده، الکترون های آبی احیا شده و رادیکال هیدروژن است. از جمله مزایای استفاده از روش پرتودهی الکترونی این است که افزودن هیچ گندزدای شیمیایی لازم نیست، هیچ محصول فرعی سمی تولید نمی شود و طی زمان تماس کوتاه، حذف آلاینده اتفاق می افتد (۱۲، ۱۳).

با توجه به توسعه کاربرد پرتوهای پرانرژی الکترونی در حذف آلاینده های زیست محیطی، این مطالعه با هدف بررسی کارایی پرتوهای پرانرژی الکترونی (E-Beam) جهت حذف اسید

بسیاری از منابع آب در سراسر جهان به ویژه منابع آب سطحی به مقدار زیادی دارای مواد آلی طبیعی (NOMs) می باشند (۲، ۱). مواد آلی طبیعی گروهی از ماکرومولکول های آلی هستند که باعث مشکلات متعددی در فرایند های تصفیه آب، از جمله تشکیل محصولات فرعی گندزدایی (DBPs) سرطانزا و جهش زا مثل تری هالومتان (THMs)، می شوند. مواد هیومیکی تقریباً ۵۰ درصد مواد آلی طبیعی در آب را تشکیل می دهند (۳). به طور کلی، مواد هیومیکی (HSS) به اسید هیومیک، اسید فولویک و هیومین تقسیم می شوند (۲). اسیدهای هیومیک (HAS) قسمتی از مواد هیومیکی بوده که تحت شرایط شدیداً اسیدی (PH<۲) در آب قابل حل نبوده، اما در pH های بالاتر در آب حل می شوند (۴، ۵).

در طی چند سال گذشته، روش های متعددی برای حذف NOM از منابع آب مطرح شده که شامل جذب سطحی با کربن فعال (۶، ۷)، رزین های تبادل یون (۸)، الکترومیکروفیلتراسیون (EMF) (۹) انعقاد پیشرفته، جداسازی غشایی، ترسیب، فیلتراسیون، و فرایند های اکسیداسیون پیشرفته (AOP) است (۴). در میان این روش ها، فرایند اکسیداسیون پیشرفته برای تصفیه آب های حاوی مواد آلی طبیعی مناسب تر به نظر می رسد (۲) و باعث تبدیل NOM به محصولات نهایی بی ضرر مثل آب و دی اکسید کربن می شود (۴). در طی فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته، رادیکال های آزاد هیدروکسیل تولید شده و به دلیل پتانسیل اکسیداسیون بالا و عملکرد غیر انتخابی به سرعت با ترکیبات آلی واکنش می دهد (۲، ۱۰).



پراثری الکترونی با مقادیر دز جذبی متفاوت پرتو دهی شدند. در ابتدای مطالعه به منظور تعیین pH بهینه، واکنش با میزان دز جذبی ثابت ۳ کیلوگری و تحت pH های ۴، ۶، ۷، ۸ و ۱۰ انجام گرفت.

سپس pH بهینه ۸ انتخاب و در سایر مراحل تحقیق، آزمایشات در $pH = 8$ انجام شد. به منظور بررسی اثر دز جذبی، مطالعه با میزان دز جذبی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۵ کیلوگری انجام شد. مقادیر جذب نمونه ها در طول موج ۲۵۴ نانومتر قبل و بعد از پرتو دهی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV/Visible اندازه گیری و مقادیر غلظت با استفاده از منحنی استاندارد و معادله بهترین خط برازش تعیین شد. پس از انجام آزمایش ها و به دست آمدن نتایج از نرم افزارهای Excel و SPSS برای تجزیه و تحلیل داده ها و رسم نمودارها استفاده گردید.

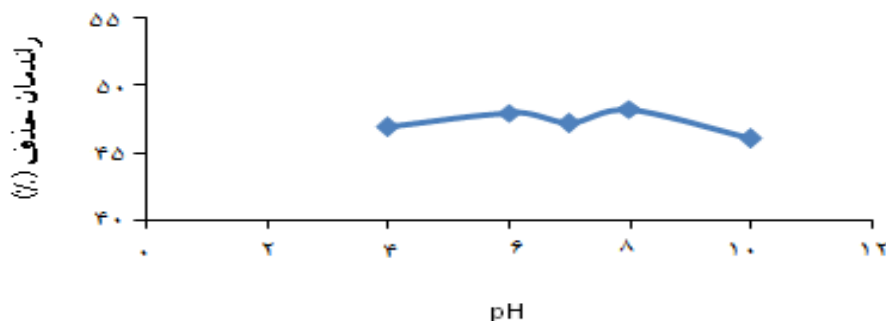
یافته ها

به منظور بررسی اثر pH بر حذف اسید هیومیک، نمونه های حاوی غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک در معرض دز جذبی ثابت ۳ کیلوگری و pH های ۴، ۶، ۷، ۸ و ۱۰ به منظور تعیین pH بهینه قرار داده شد که نتایج آن در شکل ۱ نشان داده شده است.

هیومیک از محلول های آبی انجام و اثر پارامترهای غلظت اولیه اسید هیومیک، pH و میزان دز جذبی بررسی شده است.

روش بررسی

این مطالعه یک مطالعه تجربی می باشد که در مقیاس آزمایشگاهی و به صورت ناپیوسته انجام گرفته است. در این مطالعه، پودر اسید هیومیک مصرفی محصول شرکت سیگما آلد ریچ بوده و سایر مواد مورد استفاده محصول شرکت مرک بوده است. جهت تنظیم pH از اسید فسفریک و هیدروکسید سدیم ۱ N استفاده گردید. جهت پرتو دهی الکترونی از شتاب دهنده ی الکترون مدل TT 200 ساخت شرکت IBM بلژیک استفاده و واکنش در ظرف با حجم ۴۰ CC انجام گرفت. طیف جذبی نمونه ها توسط اسپکتروفتومتر UV-Visible مدل SP-3000 Plus ساخت ژاپن و کنترل pH توسط pH متر HACH مدل HQ40d ساخت USA انجام شد. در این بررسی ابتدا برای تهیه نمونه سنتتیک مورد نظر، پودر اسید هیومیک در آب مقطر و تحت شرایط قلیایی حل شد. بعد از تهیه محلول استوک، غلظت های ۱۰، ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر از اسید هیومیک تهیه شد. نمونه های تهیه شده به ظرف واکنش با حجم نمونه ۴۰ CC و ضخامت آب ۱ سانتی متر منتقل شد و توسط پرتوهای

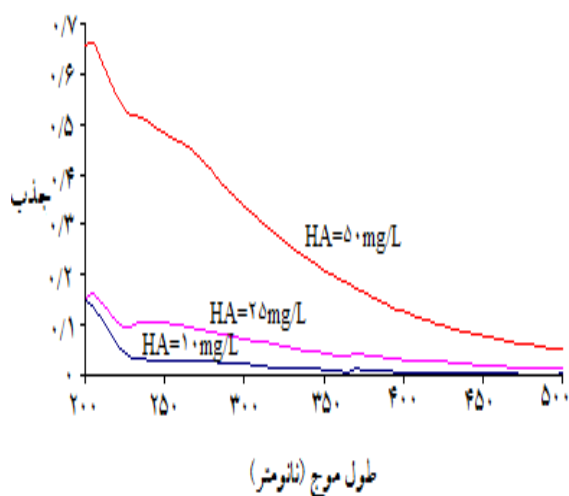


شکل ۱: اثر pH بر راندمان حذف اسید هیومیک (غلظت اولیه اسید هیومیک ۲۵ میلی گرم در لیتر، میزان دز جذبی ۳ KGy)



بر اساس نتایج، با افزایش غلظت اسید هیومیک راندمان حذف کاهش می یابد، به طوریکه راندمان حذف HA در اثر دز جذبی ۳ کیلوگری و غلظت ۱۰ و ۵۰ میلی گرم در لیتر به ترتیب ۶۲ و ۳۵/۷ درصد بوده و برای دز جذبی ۶ کیلوگری و شرایط مشابه ۷۶/۹ و ۴۳ درصد بوده است.

طیف جذبی UV-vis اسید هیومیک بعد از پرتودهی با پرتوهای پرنرژی الکترونی در شکل ۴ نشان داده شده است. با



توجه به شکل، با افزایش طول موج از ۲۰۰ تا ۵۰۰ nm، جذب نور کاهش می یابد.

شکل ۴: طیف جذب مقادیر مختلف اسید هیومیک پس از

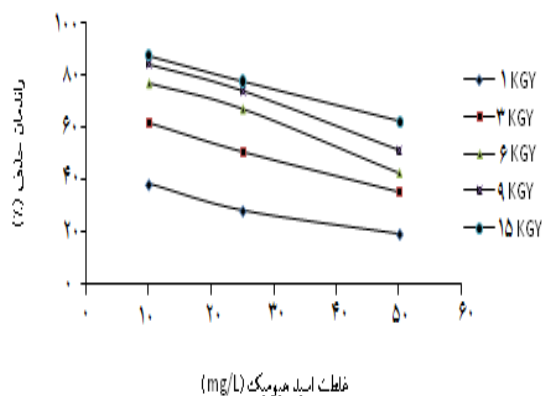
پرتودهی

با توجه به نتایج ارائه شده در مقالات مشابه، مدل های سینتیک شبه درجه اول و دوم برای بیان سرعت حذف اسید هیومیک استفاده شده است (۱۴).

با توجه به شکل، افزایش pH تاثیر معنی داری بر حذف اسید هیومیک نداشته است ($P \geq 0.05$). با این حال مقایسه مقادیر راندمان حذف در pH های مختلف نشان داد که pH ۶ و ۸ دارای راندمان بیشتری در مقایسه با pH ۷ بوده و میزان راندمان در $pH=8$ معادل ۴۸/۲۳٪ بوده و در مقایسه با سایر pH ها دارای بیشترین راندمان بوده است.

به منظور بررسی اثر دز جذبی، مقادیر دز از ۱ تا ۱۵ کیلوگری بر حذف اسید هیومیک با غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر در pH ۸ بررسی شد.

بر اساس نتایج این مطالعه، با افزایش دز از ۱ به ۱۵ کیلوگری راندمان حذف از ۲۸/۲٪ به ۷۷/۷٪ افزایش یافته است. شکل ۲ اثر مقادیر مختلف دز بر حذف اسید هیومیک را نشان می دهد.



شکل ۳: اثر غلظت های ۱۰، ۲۵ و ۵۰ میلی گرم بر لیتر

اسید هیومیک بر کارایی حذف این آلاینده

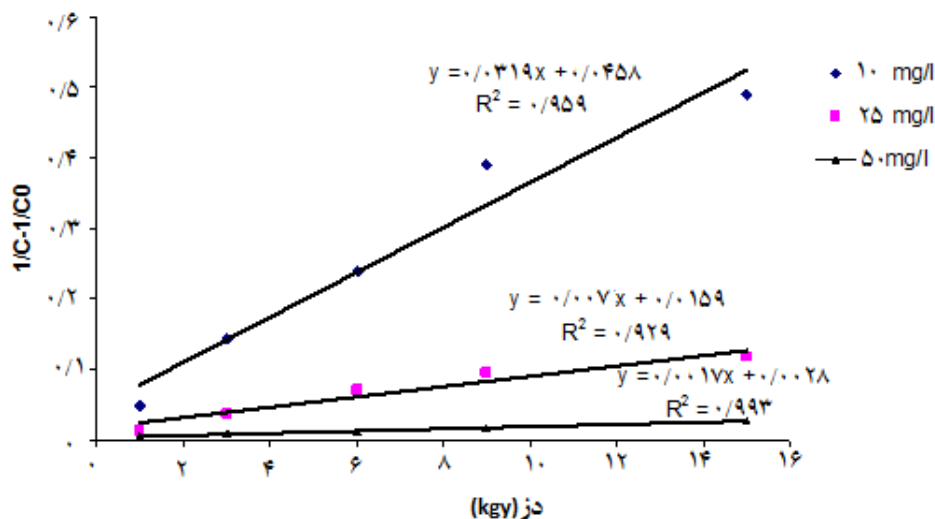
در این بخش از مطالعه اثر غلظت های ۱۰، ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک در حضور مقادیر مختلف دز جذبی و pH ۸ مورد بررسی قرار گرفت.



در طی فرایندهای پرتودهی، غلظت آلاینده مورد نظر، با افزایش

دز جذبی کاهش می یابد که روابط آن در معادله ۱ بیان شده

$$C=C_0e^{-kD} \quad (1)$$



شکل ۵: سینتیک شبه درجه دوم حذف اسید هیومیک در حضور تابش پرتوهای پرنانژی الکترونی

درجه اول و دوم بررسی گردید که این نتایج با سینتیک شبه

درجه دوم مطابقت بیشتری داشت (۱۵):

بحث و نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که در دز ۳ کیلوگری و غلظت اولیه ۲۵ میلی گرم بر لیتر اسید هیومیک، تغییر pH بر کارایی حذف اثر معناداری نداشته است. اما در مطالعات دیگری که از روش پرتودهی برای حذف اسید هیومیک انجام گرفته است مشخص شد که pH بر کارایی فرایند اثر داشته است. برای مثال در مطالعه ای که توسط گو و همکاران در سال ۲۰۰۹، با استفاده از روش پرتودهی توسط گاما برای حذف هالومتان های با غلظت کم در آب آشامیدنی انجام گرفت، مشخص شد که در دز جذبی ۳ کیلوگری با افزایش pH، حذف همه هالومتان ها نیز افزایش می یابد (۱۷).

در این معادله:

C: غلظت اسید هیومیک بعد از تابش

C₀: غلظت اولیه اسید هیومیک

K: ثابت سرعت واکنش

D: دز جذبی

ثابت سرعت واکنش به طور قابل ملاحظه ای به غلظت اولیه اسید هیومیک و ساختار مولکولی اسید هیومیک بستگی دارد (۱۵)، (۱۶). در این بخش از مطالعه، داده های حاصل از اثردهای جذبی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۵ کیلوگری جهت حذف غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک جهت تعیین سینتیک حذف مورد استفاده قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۵ ارائه شده است. نتایج مطالعه سینتیک واکنش تابش پرتوهای پرنانژی الکترونی در حذف اسید هیومیک با استفاده از سینتیک واکنش های شبه



افزایش یافته ولی در دز ۱۵ کیلوگری نیز اسیدهیومیک به طور کامل حذف نگردیده است.

مطالعه مشابه دیگری که بهجت و همکاران در سال ۱۳۸۸ انجام دادند، تخریب پذیری محلول آبی رنگ های راکتیو توسط پرتوهای پرنرزی الکترونی با انرژی ۱۰ مگا الکترون ولت در دزهای ۱، ۳، ۵، ۸ و ۱۱ کیلوگری مورد بررسی قرار گرفت. غلظت رنگ‌های مورد نظر در این مطالعه ۵۰ ppm بوده است. نتایج آزمایش آن‌ها نشان داد که در دز ۱ kGy بیش از ۸۳٪ رنگ زدایی حاصل می‌گردد و در دز ۳ کیلوگری این مقادیر بین ۹۳ تا ۹۶٪ متغیر است. در مطالعه این محققین نیز با افزایش دز جذبی از ۱ کیلوگری به ۱۱ کیلوگری راندمان حذف افزایش یافته است (۲۰).

محو و همکاران نیز در مطالعه کاهش مواد هیومیکی در آب با کاربرد امواج اولتراسونیک و تابش فرابنفش، به این نتیجه رسیدند که در غلظت های پایین تر مواد هیومیکی، کارایی حذف مواد هیومیکی افزایش می‌یابد (۲). نتایج آن‌ها با نتایج مطالعه حاضر که با افزایش غلظت اولیه اسیدهیومیک از ۱۰ به ۵۰ میلی گرم در لیتر، راندمان حذف اسیدهیومیک کاهش یافته است، مطابقت دارد.

نتایج مطالعات سینتیک مشخص کرد که حذف اسید هیومیک با پرتوهای پرنرزی الکترونی با سینتیک واکنش های شبه درجه اول و دوم همخوانی دارد که این نتایج با سینتیک شبه درجه دوم مطابقت بیشتری داشت. نتایج بیشتر مطالعات در زمینه تابش با پرتوهای پرنرزی الکترونی با سینتیک شبه درجه اول مطابقت داشته است (۲۱، ۱۷).

در طی فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته، رادیکال های آزاد هیدروکسیل (OH) تشکیل می‌شود که باعث اکسیداسیون آلاینده مورد نظر می‌شوند. مطالعه ای که توسط پالفی و همکاران در سال ۲۰۰۷ بر روی تجزیه اسید هیومیک و مشتقات آن توسط اشعه یونیزان در محلول های آبی انجام گرفت، نشان داد که این ترکیبات به طور مؤثر توسط رادیکال های هیدروکسیل حاصل از رادیولیز آب، تخریب می‌شوند (۱۸). رادیکال های هیدروکسیل، در فرایند پرتودهی با پرتوهای پرنرزی الکترونی نیز شکل گرفته و باعث افزایش کارایی حذف آلاینده ها می‌شوند.

در ضمن با افزایش دز جذبی، رادیکال های هیدروکسیل بیشتری تولید شده (۱۵) که با افزایش کارایی حذف اسید هیومیک همراه است. نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه ای که توسط پارسائیان و همکاران در سال ۱۳۸۸، تحت عنوان استفاده از پرتوهای پرنرزی الکترونی برای رنگ‌زدایی محلول های آبی حاوی رنگ‌های راکتیو و اسیدی در حضور آب اکسیژنه انجام دادند مطابقت دارد. در مطالعه آن‌ها، محلول آبی هر دو رنگ با غلظت ۱۰۰ ppm در دزهای مختلف ۱، ۳، ۶ و ۹ کیلوگری پرتودهی شدند.

نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که محلول های رنگی مورد نظر به‌طور مؤثری با پرتوهای پرنرزی الکترونی تخریب و رنگ‌زدایی می‌شوند. نوار جذبی رنگ‌های مورد نظر در دز ۱ kGy به سرعت کاهش یافته و در دز ۹ kGy تقریباً به طور کامل ناپدید گردیده است (۱۹). در مطالعه حاضر نیز با افزایش دز جذبی از ۱ به ۱۵ کیلوگری، راندمان حذف اسید هیومیک



تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی یزد در قالب پایان نامه دانشجویی انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می شود.

تضاد منافع

این مقاله اعلام می دارند که هیچ گونه تضاد منافی وجود ندارد.

با این حال در مطالعه کوان در سال ۲۰۱۲ که به بررسی اثر پرتوهای پارانرژی الکترونی در حذف آیوپروماید پرداخته است، نتایج نشان داد که داده ها با سینتیک شبه درجه دوم مطابقت دارد (۲۲).

در نهایت می توان چنین نتیجه گرفت که پرتوهای پارانرژی الکترونی، روش مؤثری در حذف مواد آلی طبیعی نظیر اسیدهیومیک از نمونه های آبی است.

References

- 1- Zazooli MA, Mesdaghinia AR, Mahvi AH, Gholami M, Unesian M. study of constituents of humic and non humic matters of raw water influent to Tehran pars and Jalalieh plants of Tehran. The 10th Congress of environmental health, Hamadan 2007.
- 2- Mahvi AH, Rezaee R, Safari M. reduction of humic substances in water by application of ultrasound waves and ultraviolet irradiation. Environ Health Sci Eng 2009; 6(4):233-40.
- 3- Roshani B, Karpel Vel Leitner N. Effect of persulfate on the oxidation of benzotriazole and humic acid by e-beam irradiation, Journal of Hazardous Materials 2011; 190(1): 403–408.
- 4- Liao CH, Lu MC, Su SH. role of cupric ions in the H₂O₂/UV oxidation of humic acids. chemosphere 2001; 44 (5): 913-919.
- 5- Magdaleno GB, Coichev N. Chemiluminescent determination of humic substances based on the oxidation by peroxymonosulfate. Analytica chimica acta 2005; 552(1):141-6.
6. Duan J, Wilson F, Graham N, Tay JH. Adsorption of humic acid by powdered activated carbon in saline water conditions. Desalination 2002; 151(1): 53-66.
- 7- Gokce CE, Guneyusu S, Aydin S, Arayici S. Comparison of Activated Carbon and Pyrolyzed Biomass for Removal of Humic Acid from Aqueous Solution. The Open Environmental Pollution & Toxicology Journal 2009; 1(1): 43-48.
- 8- Bolto B, Dixon D, Eldridge R, King S, Linge K. Removal of natural organic matter by ion exchange. Water Res 2002; 36(20): 5057–5065.
9. Weng YH, Lia KC, Chung-Hsieh LH, Huang CP. Removal of humic substances (HS) from water by electro-microfiltration (EMF). Water Res 2006; 40(9): 1783 – 1794.



- 10- Munter R. advanced oxidation processes – current status and prospects, Proc. Estonian Acad. Sci. Chem 2001; 50 (2): 59–80.
- 11- Behjat A, Mozahheb SA, Khalili MB, Vakhshour B, Zare SH, Falah ZM. Advanced Oxidation Treatment of Drinking Water and Wastewater Using High-energy Electron Beam Irradiation 2007:60-68. [Persian]
- 12- EPA, Combined Sewer Overflow Technology Fact Sheet, Alternative Disinfection Methods, United States, Office of Water, Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 1999.
- 13- Zhang J, Zheng Z, Luan J, Yang G, Song W, Zhong Y, et al. Degradation of hexachlorobenzene by electron beam irradiation, Journal of Hazardous Materials, 2007; 142(1): 431–436.
- 14- Ho YS, McKay G. Pseudo-second order model for sorption processes. Process Biochem 1999; 34(5): 451-465.
- 15- Yu S, Lee B, Lee M, Cho IH, Chang SW. Decomposition and mineralization of cefaclor by ionizing radiation: Kinetics and effects of the radical scavengers, Chemosphere 2008; 71(11): 2106–2112.
- 16- Lee B, Lee M. Decomposition of 2,4,6-trinitrotoluene (TNT) by gamma irradiation. Environ. Sci. Technol 2005; 39(23): 9278–9285.
- 17- Guo Zh, Zheng Zh, Gu Ch, Tang D. Radiation removals of low-concentration halomethanes in drinking water. Journal of Hazardous Materials 2009; 164(2): 900–903.
- 18- Pa'lfı T, Takács E, Wojnárovits L. Degradation of H-acid and its derivative in aqueous solution by ionising radiation. Water research 2007; 41(12): 2533 – 2540.
19. Parsaeian MR, Anvari F, Kheirkhah M, Haji Shabani AM, Behjat A, Tabasi M. electron beam process for decoloration of reactive and acid dyes in aqueous solution in presence of H₂O₂. Nuclear Sci and Tech 2010; (50):68-73 [Persian]
- 20- Behjat A, Parsaeian M, Anvari F, Kheirkhah M, Tahami M. Dicolorization of Reactive Dyes in Aqueous Solutions Using Ionizing Electron Beam Radiation. Water and Wastewater 2009; 26-31 [Persian]
- 21- Momani FA. Degradation of cyanobacteria anatoxin-a by advanced oxidation processes. Separation and Purification Technology 2007; 57(1): 85–93.
- 22- Kwon M, Kwon M, Yoon Y, Cho E, Jung Y, Lee BC, et al. Removal of iopromide and degradation characteristics in electron beam irradiation process. Journal of Hazardous Materials 2012; 227: 126– 134.