

## مقایسه کارایی فناوری سونوشیمیایی و فتوسونوشیمیایی جهت حذف سیانید از محیط آبی

رضا شکوهی<sup>۱</sup>، امیرحسین محوی<sup>۲</sup>، ضیاءالدین بنیادی<sup>۳</sup>

نویسنده مسئول: همدان، خیابان مهدیه، دانشگاه علوم پزشکی همدان، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط، [bonyad14@yahoo.com](mailto:bonyad14@yahoo.com)

دریافت: ۸۸/۱۰/۱۹ پذیرش: ۸۹/۰۱/۱۵

### چکیده

**زمینه و هدف:** سیانید یک ماده بسیار سمی است که به طور معمول از ترکیبات معمول در فاضلاب صنایع متعددی از جمله آبکاری، استخراج معدن فلزات، فلزکاری و تمیزکاری فلزات وجود دارد. ورود این ماده به محیط زیست مخاطرات بهداشتی زیادی را به همراه دارد. هدف از انجام این مطالعه مقایسه کارایی فناوری سونوشیمیایی و فتوسونوشیمیایی جهت حذف سیانید از محیط آبی بوده است. روش بررسی: در این مطالعه از یک دستگاه مولد امواج فراصوت با توان ۵۰۰ وات در دو فرکانس ۳۵ و ۱۳۰ کیلوهرتز و یک لامپ ۱۲۵ وات جیوه ای با فشار کم استفاده شده است. غلظت سیانید در تمام آزمایش‌ها ۲/۵ تا ۷۵ میلی گرم در لیتر بوده است. در این تحقیق اثر فاکتورهای pH محیط آبی، غلظت اولیه سیانید و مدت زمان فرایند بر کارایی حذف مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها: نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که ماکزیمم کارایی حذف سیانید در فناوری سونوشیمیایی (فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز، زمان تماس ۹۰ دقیقه، pH=۱۱ و با غلظت ۲/۵ میلی گرم بر لیتر سیانید) به ۷۱٪ رسیده است در حالی که در شرایط مشابه با فناوری فتوسونوشیمیایی کارایی حذف به ۷۴٪ رسیده است.

**نتیجه گیری:** نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کارایی فرایند فتوسونیک جهت حذف سیانید از محیط آبی بیش تر از فرایند سونوشیمیایی است. ضمناً راندمان حذف سیانید توسط هر دو فرایند با pH، فرکانس و زمان ماند رابطه مستقیم و با غلظت سیانید رابطه عکس دارد. واژگان کلیدی: سیانید، فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته، فتوسونوشیمی، سونوشیمی

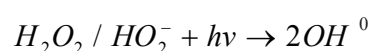
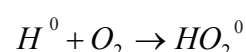
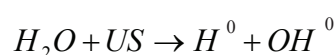
- ۱- دکترای بهداشت محیط، استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان
- ۲- دکترای بهداشت محیط، استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران
- ۳- کارشناسی ارشد بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی همدان

## مقدمه

سیانید ماده شیمیایی است چه به طور طبیعی و چه مصنوعی ساخت دست بشر، که اکثر ترکیبات آن سمیت زیادی دارد. از جمله ترکیبات سیانید می توان به سیانید هیدروژن گازی شکل و نیز نمک های سیانید مثل سیانید سدیم و سیانید پتاسیم اشاره کرد. بعضی از باکتری ها، قارچ ها و جلبک ها می توانند سیانید را تولید کنند. این عنصر هم در آب و هم در خاک و هوا وجود دارد. سیانید از طریق فرایندهای صنعتی مثل آبکاری، رنگ سازی، صنایع دارویی، حشره کش ها و ظهور فیلم های عکاسی وارد آب می شود و از طریق نوشیدن، استنشاق و غذا خوردن وارد بدن می شود (۱). در غلظت بالا بر روی قلب و مغز تاثیر زیان بار داشته و در مدت کوتاهی باعث ایجاد کما و سپس مرگ می شود. سیانید می تواند در غلظت ۰/۰۵ mg/dL در خون تولید سم کند. معمولا مرگ در غلظت ۰/۳ mg/dL و بالاتر اتفاق می افتد. سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (USEPA United States Environmental Protect Agency) حداکثر میزان مجاز سیانید در آب را ۰/۲ ppm تعیین کرده است. غلظت سیانید در آب و فاضلاب را می توان با روش های رقیق سازی، اکسیداسیون بیولوژیکی و شیمیایی، رسوب دهی، بازیافت کاهش داد (۳-۱). یکی از روش های مورد نظر جهت حذف سیانید که اخیرا مورد توجه قرار گرفته است روش اولتراسونیک است. در این روش از فرکانس صوتی بیش از ۱۶ کیلوهرتز که فراتر از دامنه شنوایی انسان که بین ۱۶ تا ۱۰۰۰ کیلوهرتز است استفاده می شود. امواج اولتراسونیک (US) در حلال های آبی منجر به تشکیل و تخریب حباب های گازی (کاویتاسیون) می شود بنابراین باعث ایجاد فشار و دمای بالا (به صورت زود گذر) می شود و نتیجه آن تشکیل رادیکال های آزاد (OH, OOH) در آب می باشد. این رادیکال ها در آب نفوذ کرده و باعث اکسیداسیون ترکیبات آلی می شود، پراکسید هیدروژن از رادیکال های آزاد OH و OOH تشکیل می شود (۴). یازیکی و همکاران در سال ۲۰۰۶ از روش اولتراسونیک برای حذف سیانید استفاده کردند که

در ۱۰/۵-۴ pH و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد ۲۵٪ از سیانید را از آب حذف کردند (۵). یکی دیگر از روش هایی است که در سال های اخیر برای تصفیه آب و فاضلاب مورد استفاده قرار گرفته، اشعه فرابنفش (UV) است. این اشعه بخشی از امواج الکترومغناطیسی است که دارای دامنه پرتو دهی ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر می باشد. کلا امواج UV را به سه تیپ تقسیم می کنند: تیپ A (دامنه پرتو دهی آن ۳۱۵ تا ۴۰۰ نانومتر است)، تیپ B (دامنه پرتو دهی آن ۲۸۰ تا ۳۱۵ نانومتر است) و تیپ C (دامنه پرتو دهی آن بین ۲۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر است). عمل گندزدایی آب با اشعه UV معمولا در دامنه طول موج ۲۰۰ تا ۲۸۰ یعنی تیپ C قرار می گیرد (۶). وو و همکاران در سال ۲۰۰۱ کارایی حذف فنل در آب در سیستم اولتراسونیک (US) را با سیستم ترکیبی US/UV مقایسه کردند که طی آن با سیستم US، ۵۴٪ از فنل و ۱۰/۱٪ از کل کربن آلی (TOC) در آب را در مدت زمان ۸۰ دقیقه حذف کردند در حالی که کارایی حذف این مواد با سیستم ترکیبی US/UV قابل توجه بود به طوری که ۹۹٪ از فنل و ۲۰/۶٪ از کل کربن آلی (TOC) را در همین مدت زمان حذف کردند (۷).

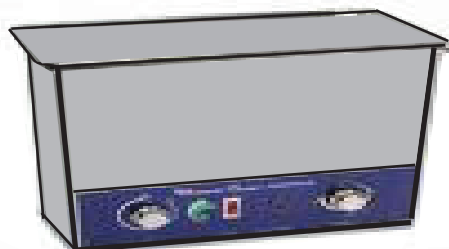
مزایای مشترک هر دو روش عبارتند از: ۱- عدم تولید فرآورده های جانبی جهش زا/سرطان زا ۲- فقدان مشکلات بو و مزه ۳- عدم نیاز به کاربرد و ذخیره سازی مواد شیمیایی خطرناک ۴- نیاز به فضای اندک جهت استقرار واحدهای UV و US (۸). به طور کلی مکانیسم واکنش سیستم ترکیبی US/UV بدین شرح است: ابتدا پراکسید هیدروژن به وسیله ی امواج اولتراسونیک از مولکول های آب و طی واکنش های زیر تولید می گردد و سپس تحت تاثیر اشعه فرابنفش به رادیکال های OH<sup>0</sup> تبدیل می شود (۷ و ۹):



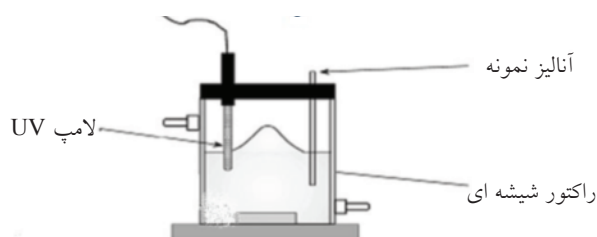
غلظت اولیه سیانید، اثر مدت زمان فرایند و اثر فرکانس در حذف سیانید مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا محلول استوک سیانید تهیه و سپس نمونه ها با غلظت های مورد نظر (غلظت سیانید در نمونه ها بر اساس بررسی متون در حد پساب های صنعتی در نظر گرفته شده است) بین ۲/۵ تا ۷۵ میلی گرم در لیتر تهیه گردید. شکل های ۱ و ۲ به ترتیب نمای پایلوت های US و UV را نشان می دهد.

جدول ۱: مشخصات دستگاه اولتراسونیک در این تحقیق

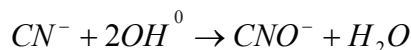
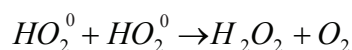
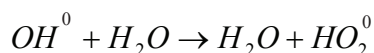
نوع دستگاه	Elma TI-H-5 (آلمان)
قدرت ورودی	۵۰۰W
فرکانس	۳۵KHZ, ۱۳۰KHZ
انرژی وارد شده در واحد سطح	۲/۵ w/cm <sup>2</sup>
حجم راکتور	۳۷Liter



شکل ۱: نمای پایلوت اولتراسونیک



شکل ۲: نمای پایلوت UV



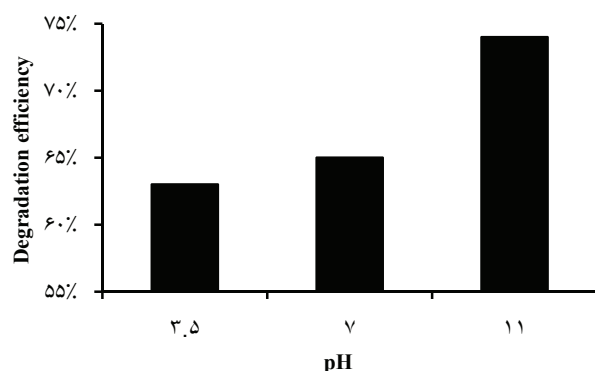
همان گونه که ذکر گردید سیانید از آلاینده های اصلی بسیاری از صنایع از قبیل رنگ، آبکاری، الکتربکی، صنایع الکترونیک، داروسازی بوده و جزو "آلاینده های مقدم" است (۱ و ۱۰). به همین دلیل محققین مختلف به دنبال یافتن روش های تصفیه مناسب تری به خصوص از نظر جنبه های زیست محیطی جهت حذف این آلاینده از محیط زیست است. لذا با توجه به نکات فوق الذکر و در نظر گرفتن مزایای سیستم ترکیبی US/UV انجام تحقیق جهت بررسی کارایی سیستم US و مقایسه آن با سیستم ترکیبی US/UV دستیابی به اطلاعات طراحی و عملیاتی در این خصوص حایز اهمیت است. لذا در این تحقیق به بررسی کارایی سیستم ترکیبی US/UV در حذف سیانید در مقایسه با سیستم US پرداخته شده است. هم چنین تاثیر متغیرهای حایز اهمیت شامل غلظت سیانید ورودی، فرکانس دستگاه اولتراسونیک و زمان ماند و pH در حذف سیانید مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## مواد و روش ها

این تحقیق یک مطالعه تجربی بوده و جهت حذف سیانید با استفاده از امواج فراصوت به صورت مجزا و نیز به صورت ترکیبی با پرتو فرابنفش، در مقیاس آزمایشگاهی و به شکل منقطع انجام گردیده است. به منظور تولید امواج فراصوت از یک حمام اولتراسونیک ساخت شرکت آلمان که قابلیت تولید امواج فراصوت در دو فرکانس ۳۵ و ۱۳۰ کیلوهرتز با توان ورودی ۵۰۰ وات را داشت، استفاده گردید. هم چنین به منظور تولید اشعه فرابنفش از یک لامپ ۱۲ وات جیوه ای با فشار کم استفاده گردید. مشخصات دستگاه اولتراسونیک در جدول ۱ ارایه شده است. با توجه به هدف اصلی مطالعه به منظور تعیین شرایط بهینه فرایند مورد نظر، اثر pH محیط آبی، اثر

### یافته ها

شکل ۳ تغییرات کارایی حذف نسبت به تغییرات pH با روش اولتراسونیک را نشان می دهد همان طوری که پیداست با افزایش pH کارایی حذف نیز افزایش می یابد اما اختلاف معناداری مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ). در شکل ۴ تغییرات کارایی حذف نسبت به تغییرات زمان تماس در دامنه غلظت ۲/۵ تا ۷۵ میلی گرم بر لیتر سیانید و با روش اولتراسونیک نشان داده شده است همان طور که مشاهده می شود که با افزایش زمان تماس و کاهش غلظت سیانید کارایی حذف افزایش می یابد که نتایج آنالیز آماری مشخص می کند که این اختلاف معنادار است ( $P < 0/05$ ). همان طوری که از شکل ۵ پیداست با افزایش pH کارایی حذف نیز افزایش می یابد اما اختلاف معناداری مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ). در روش ترکیبی اولتراسونیک و فرابنفش همانند روش اولتراسونیک به صورت مجزا مشاهده می شود که با افزایش زمان تماس و کاهش غلظت سیانید کارایی افزایش می یابد که نتایج آنالیز آماری مشخص می کند که این اختلاف معنادار است ( $P < 0/05$ ). هم چنین نتایج نشان داد که با افزایش فرکانس، کارایی حذف سیانید افزایش می یابد اما رابطه آماری معنی داری بین فرکانس و کارایی حذف وجود ندارد ( $P > 0/05$ ).



شکل ۳: مقایسه اثر pH در میزان حذف سیانید توسط سیستم اولتراسونیک با فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز

این مطالعه در دو مرحله به شرح زیر صورت گرفته است:  
الف. مرحله تابش امواج فراصوت (فرایند اولتراسونیک) برای این منظور نمونه هایی به حجم ۵۰ میلی لیتر تهیه شد و در داخل محفظه دستگاه مولد امواج فراصوت مورد آزمایش قرار گرفت. در این پژوهش دامنه تغییرات غلظت سیانید بین ۲/۵ تا ۷۵ میلی گرم در لیتر شامل ۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی گرم در لیتر، دامنه تغییرات زمان تماس بین ۱۵ تا ۹۰ دقیقه شامل ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ دقیقه، و pH ۳/۵، ۷ و ۱۱ و در محدوده فرکانس ۳۵ و ۱۳۰ کیلوهرتز مورد مطالعه قرار گرفته است.

### ب. مرحله تابش امواج فراصوت و تابش اشعه فرابنفش (نوع فشار پایین) به صورت متوالی

برای این منظور نمونه هایی به حجم ۵۰ میلی لیتر تهیه شد و در داخل بشر ریخته و در معرض تابش فرابنفش گرفت سپس بر روی همان نمونه تابش امواج فراصوت صورت گردید. در این پژوهش دامنه تغییرات غلظت سیانید بین ۲/۵ تا ۷۵ میلی گرم در لیتر شامل ۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی گرم در لیتر، دامنه تغییرات زمان تماس بین ۱۵ تا ۹۰ دقیقه شامل ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ دقیقه، و pH ۳/۵، ۷ و ۱۱ و در محدوده فرکانس ۳۵ و ۱۳۰ کیلوهرتز مورد مطالعه قرار گرفته است.

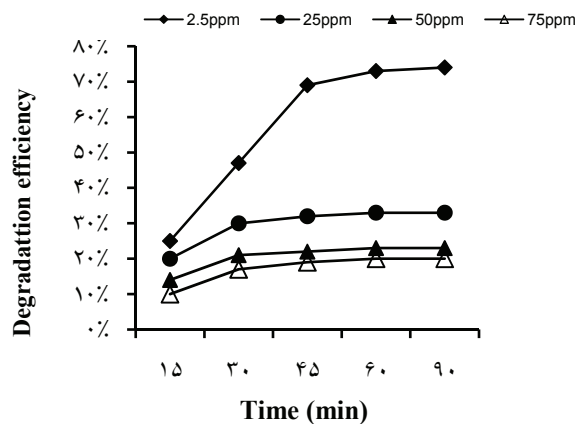
لازم به ذکر است که غلظت های ثبت شده براساس تغییرات غلظت سیانید در پساب کارخانه های آبکاری و رنگ انتخاب گردیده است (۱ و ۱۰). در این تحقیق فرکانس اولتراسونیک ۳۵ و ۱۳۰ کیلوهرتز انتخاب شده است به دلیل این که سیستم مورد نظر در این دو فرکانس محدود شده است.

در این تحقیق جهت اندازه گیری غلظت سیانید از روش تیتراسیون در کتاب روش های استاندارد برای آزمایش های آب و فاضلاب (۴۵۰۰ - CN.D - Titrimetric Method) استفاده شد (۱۱). نتایج به دست آمده با استفاده از نرم افزار Excel و SPSS (آزمون آنالیز واریانس یک طرفه و آزمون T مستقل) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

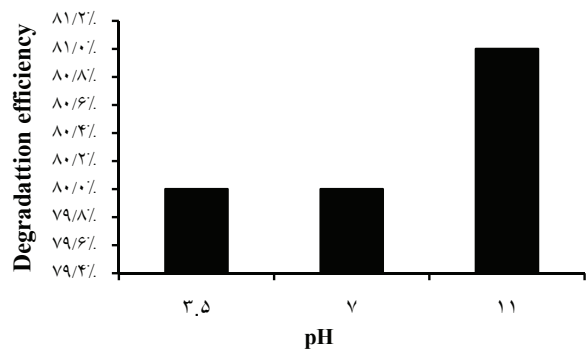
### بحث و نتیجه گیری

#### اثر امواج فراصوت (فرایند اولتراسونیک)

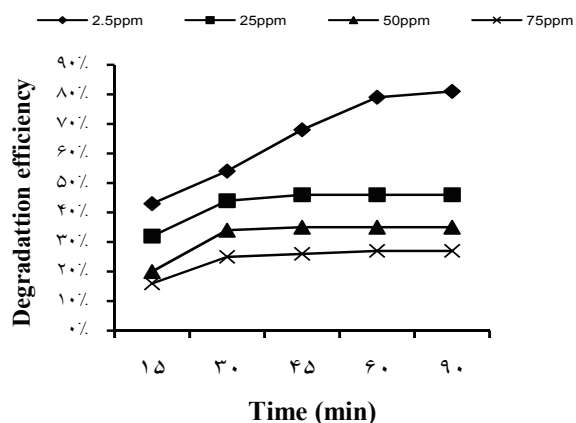
همان طوری که از شکل ۳ پیداست در شرایط ثابت راندمان تخریب سیانید برای فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز در pH های ۳/۵ و ۱۱ به ترتیب ۶۳٪ و ۷۴٪ است. این در حالیست که در شرایط مشابه راندمان تخریب سیانید برای فرکانس ۳۵ کیلوهرتز در pH های ۳/۵ و ۱۱ به ترتیب ۶۱٪ و ۷۱٪ است با توجه به نتایج به دست آمده از شکل ۳ با افزایش pH کارایی حذف نیز افزایش می یابد اما رابطه معناداری بین تغییرات pH و کارایی حذف مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ). یازیکی و همکاران از روش اولتراسونیک برای حذف سیانید استفاده کردند و نشان دادند که سیانید در pH برابر با ۱۰/۵ راندمان حذف بالایی دارد چون در این صورت به یون سیانید تبدیل می شود و این یون نیز به آسانی از محیط های آبی حذف می شود (۵). شکل ۴ مقایسه اثر غلظت اولیه سیانید در میزان حذف آن توسط فرایند اولتراسونیک در فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز را در زمان های مختلف نشان می دهد. همان طوری که پیداست بین ۷۴٪ تا ۲۰٪ تخریب سیانید در غلظت های ۲/۵ تا ۷۵ میلی گرم سیانید در مدت زمان ۹۰ دقیقه حاصل گردیده است. نتایج این بررسی نشان می دهد که سرعت تجزیه سیانید با کاهش غلظت اولیه سیانید، افزایش می یابد و به طور معمول سرعت تجزیه سیانید توسط امواج فراصوت کند است. هم چنین سرعت تجزیه سیانید در فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز بیش تر از فرکانس ۳۵ کیلوهرتز می باشد. نتایج نشان داد که اثر امواج فراصوت در اکسیداسیون سیانید به طور عمده از طریق واکنش با رادیکال های هیدروکسیل تولیدی در طی کاویتاسیون آب انجام می شود. این وضعیت نشان می دهد که سرعت واکنش های مربوط به رادیکال هیدروکسیل (تولید پراکسید هیدروژن و تجزیه سیانید) در فرکانس های بالاتر بیش تر است. این اختلاف نرخ تجزیه این دو فرکانس به دلیل راندمان پایین تولید رادیکال هیدروکسیل و امکان خروج کم تر این رادیکال ها از داخل حباب های کاویتاسیون به



شکل ۴: مقایسه اثر غلظت سیانید در میزان حذف آن توسط سیستم اولتراسونیک با فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز و زمان های مختلف



شکل ۵: مقایسه اثر pH در میزان حذف سیانید توسط سیستم ترکیبی اولتراسونیک و فرابنفش با فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز



شکل ۶: مقایسه اثر غلظت سیانید در میزان حذف آن توسط سیستم ترکیبی اولتراسونیک و فرابنفش با فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز و زمان های مختلف

داخل محلول، در فرکانس ۳۵ کیلوهرتز مربوط می شود (۱۲) و (۱۳). مانوساکی و همکاران در سال ۲۰۰۴ از امواج صوتی اولتراسونیک برای حذف سدیم دودسیل بنزن سولفانات استفاده کردند که این آزمایش در غلظت های ۱۵، ۳۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و در فرکانس ۲۰ و ۸۰ کیلوهرتز انجام شد که طبق نتایج آن با کاهش غلظت سدیم دودسیل بنزن سولفانات و افزایش فرکانس کارایی حذف بیش تر شد (۱۳). یازیکی و همکاران از روش اولتراسونیک برای حذف سیانید استفاده کردند و نشان دادند که با افزایش زمان ماند کارایی حذف نیز افزایش یافت (۵). یورداک (Iordache) و همکاران در سال ۲۰۰۳ نیز مطالعه مشابهی را انجام دادند (۱۴).

#### اثر ترکیبی امواج فراصوت و اشعه فرابنفش (فرایند فتوسونوشیمی)

فرایند فتوسونیک ترکیبی از امواج فراصوت و فرابنفش می باشد. این فرایند به منظور اضافه کردن اثرات سونوشیمیایی بر اثرات فتوشیمیایی جهت افزایش تولید رادیکال های هیدروکسیل و بالا بردن راندمان تخریب مواد آلی توسعه پیدا کرده است (۱۵). در این مطالعه با توجه به راندمان پایین تا متوسط فرایند اولتراسونیک و فتولیز، کاربرد توأم امواج فراصوت با اشعه فرابنفش انجام شد. در این رابطه اثر ترکیبی این دو فرایند به صورت کاربرد متوالی اشعه فرابنفش سپس امواج فراصوت در راکتورهای مجزا بررسی شد.

نتایج بررسی بیان گر نرخ تجزیه بالاتری برای سیانید بود. همان طوری که از شکل ۵ پیداست در شرایط ثابت راندمان تخریب سیانید برای فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز در pH های ۳/۵ و ۱۱ به ترتیب ۸۰٪ و ۸۱٪ است. این در حالیست که در شرایط مشابه راندمان تخریب سیانید برای فرکانس ۳۵ کیلوهرتز در pH های ۳/۵ و ۱۱ به ترتیب ۷۷٪ و ۸۰٪ است. لذا در این مرحله تایید می گردد که pH محیط در کارایی فرایند اولتراسونیک در حذف سیانید موثر است. شکل ۴ مقایسه اثر غلظت اولیه سیانید در میزان حذف آن توسط فرایند ترکیبی اولتراسونیک

و فرابنفش در فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز را در زمان های مختلف نشان می دهد. همان طوری که از شکل ۶ (برای فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز) پیداست، ملاحظه می گردد که برای غلظت های ۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی گرم در لیتر در مدت ۹۰ دقیقه راندمان حذف برابر ۸۱٪، ۴۶٪، ۳۵٪ و ۲۷٪ است و این در حالی است که برای همان شرایط راندمان حذف توسط تابش امواج فراصوت تنها (با فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز) برابر ۷۴٪، ۳۳٪، ۲۳٪ و ۲۰٪ است. بنابراین ملاحظه می شود که راندمان فرایند ترکیبی US و UV خیلی بیش تر از راندمان فرایند US می باشد.

علت آن را می توان این طور توضیح داد که طی تحقیقات انجام شده، هرچه تعداد رادیکال های هیدروکسیل بیش تر باشد تجزیه و سرعت اکسیداسیون مواد بیش تر می شود با توجه به این که تعداد رادیکال های  $OH^0$  حاصل از سیستم ترکیبی US/UV بیش تر از سیستم مجزای US است لذا سرعت اکسیداسیون سیستم ترکیبی US/UV بیش تر از سیستم مجزای US خواهد بود (۷ و ۹). هم چنین یکی دیگر از دلایل این موضوع تاثیر سینرژیستی سه مکانیسم شامل تخریب نوری، تجزیه فراصوتی و اکسیداسیون توسط ازن می باشد. انتشار نور فرابنفش با طول موج کم تر از ۲۰۰ نانومتر در هوا باعث تولید ازن از اکسیژن می شود. بنابراین تابش اشعه فرابنفش در هوای بالای راکتور باعث تولید ازن شده و در اثر انتقال آن به محلول منجر به تجزیه سیانید خواهد شد. البته انتقال ازن به مایع مستقیماً به سطح میانی بین مایع و گاز ارتباط دارد (۱۶). وو و همکاران در سال ۲۰۰۱ کارایی حذف فنل در آب در سیستم اولتراسونیک (US) را با سیستم ترکیبی US/UV مقایسه کردند که طی آن با سیستم US، ۵۴٪ از فنل و ۱۰/۱٪ از TOC در آب را در مدت زمان ۸۰ دقیقه حذف کردند در حالی که کارایی حذف آن مواد با سیستم ترکیبی US/UV قابل توجه بود به طوری که ۹۹٪ از فنل و ۲۰/۶٪ از کل کربن آلی (TOC) را در همین مدت زمان حذف کردند (۸). روشان و همکاران در سال ۲۰۰۶ از فرایند بیولوژیکی و فرایند ترکیبی بیولوژیکی / جذب

۱۰۰ میلی گرم برلیتر سیانید پس از ۴ ساعت زمان ماند و افزودن ۳۰۰۰ میلی گرم بر لیتر هیدروژن پراکساید کسب کنند و با افزایش زمان تماس به ۲۴ ساعت موفق به حذف ۹۰ درصدی سیانید شدند (۱۹).  
طبق نتایج به دست آمده از این تحقیق کارایی فرایند فتوسونیک جهت حذف سیانید از محیط آبی بیش تر از فرایند سونوشیمیایی است. ضمناً راندمان حذف سیانید توسط هر دو فرایند با pH، فرکانس و زمان ماند رابطه مستقیم و با غلظت سیانید رابطه عکس دارد.

### منابع

- Eula B M, Barbara, Charles C. Patty's Toxicology, Volume 4. rd ed. New York: John Wiley & sons; 2001.
- Patterson JW. Industrial Wastewater Treatment Technology. Boston: ANN Arbor Science Publishrs Inc; 1975.
- Yong CA. Cyanide remediation; current and past technologies. Proceeding of 10th Annual Conference on Hazardous Waste Research; Department of Metallurgical Engineering; New York: 2001.
- Mahvi AH, Nasser S, Vaezi F, Nabizadeh R, Haddadi S. Determination of the ultrasonic effectiveness in advanced wastewater treatment. Iran J Environ Health Sci Eng. 2006;2(3):109-16.
- Yazıcı EY, Deveci H, Alp I, Uslu T. Generation of hydrogen peroxide and removal of cyanide from solutions using ultrasonic waves. Desalination. 2007;216:209-21.
- Willy I, Rip G. Ultraviolet light in water and wastewater sanitation. USA: CRC Press Publishers; 2002.
- Wu C, Dongbin W, Fan J, Wang L. Photosonochemical degradation of phenolin water. Water Research. 2001;35(16):3927-33.
- Nikaeen M, Mirhendi SH. Wastewater Microbiology. Tehran: Tehran University of Medical Sciences Publishers; 2007 (in Persian).
- Naffrechoux E, Combet E, Fanget B, Petrier C. Reduction of chloroform formation potential of humic acid by sonolysis and ultraviolet irradiation. Water Research. 2003;37:1948-52.
- Suwanne K. Use of zero valant iron for wastewater treatment. KMITL Sci Tech J. 2005; 5(3):587-95.

برای حذف سیانید استفاده کرد که طی آن با فرایند بیولوژیکی ۸۰٪ و با فرایند ترکیبی بیولوژیکی/جذب ۹۵/۳٪ از سیانید حذف شد (۱۷). آدامز و همکاران در سال ۱۹۹۴ با به کارگیری کربن فعال معادل ۱/۵ گرم برلیتر در pH=۱۰ پس از زمان ماند ۸ ساعت و غلظت اولیه سیانید معادل ۲۶۵ میلی گرم برلیتر توانستند سیانید را به میزان ۵۰ درصد حذف نمایند ضمناً در pH=۷ تحت همین شرایط موفق به حذف ۹۰ درصدی آن شدند (۱۸). سارلا و همکاران در سال ۲۰۰۴ استفاده از پراکسید هیدروژن جهت تجزیه سیانید را مورد بررسی قرار دادند و موفق شدند سیانید را به میزان ۸۰٪ در محلول حاوی

11. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Washington DC: APHA; 1998.
12. Lesko TM. Chemical effects of acoustic cavitation [dissertation]. California: California Institute of Technology; 2004.
13. Manousaki E, Psillakis E, Kalogerakis N, Mantzavinos D. Degradation of sodium dodecylbenzene sulfonate in water by ultrasonic irradiation. Water Research. 2004;38(17):3751-59.
14. Iordache, Nechita MT, Aelenei N, Rosca I, Apostolescu G, Peptanariu M. Sonochemical enhancement of cyanide ion degradation from wastewater in the presence of hydrogen peroxide. Polish Journal of Environmental Studies. 2003;12(6):735-37.
15. Mason TJ, Newman A, Pull SS. Sonochemistry in water treatment division of chemistry. Ind Eng Chem Res. 1999;38(4):1215-49.
16. Naffrechoux E, Chanoux S, Petrier J, Suptil J. Sonochemical and photochemical oxidation of organic matter. Ultrasonic Sonochemistry. 2000;7(4):225-59.
17. Rushan R, Kumar A. cyanide removal by combined adsorption and biodegradation process. Iran Environ Health Sci Eng. 2006;3(2):91-96.
18. Adams MD. Removal of cyanide from solution using activated carbon. Minerals Engineering. 1994;7(9):1165-77.
19. Sarla M, Pandit M, Tyagi DK, Kapoor JC. Oxidation of cyanide in aqueous solution by chemical and photochemical process. Journal of Hazardous Materials. 2004;116(1-2):49-56.

## **Efficiency Compare of Both Sonochemical and Photosonochemical Technologies for Cyanide Removal from Aqueous Solutions**

**Shokuhi R.<sup>1</sup>, Mahvi A.H.<sup>2</sup>, \* Bonyadi Z.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran

<sup>2</sup> Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received 10 January 2010; Accepted 4 April 2010

### **ABSTRACT**

**Backgrounds and Objectives:** Cyanide is a species of high toxicity that found mostly in industrial effluents such as electroplating, metal mining, metallurgy and metal cleaning processes. Intrace of it to Existence enviroment contains very health hazardous. Purpose of this study, efficiency compare of both sonochemical and photosonochemical technologies for cyanide removal from aqueous solutions.

**Materials and Methods:** in this study, it has been used from a productive set of 500w power ultresound waves in of two frequencies 35 kHz and 130 kHz and a 125 W low pressure mercury lamp. Experiments were performed at initial cyanide concentrations varying from 2.5 to 75 mg/L. in this study, The effects of parameters such as pH, time and initial cyanide concentration on the sonochemical and photosonic degradation have been studied.

**Results:** The results of the study showed that the maximom removal efficiency of cyanide had been achieved sonochemical technology was 71% while it was 74% by photosonic at frequency of 130 kHz, at time of 90 min, pH of 11 and initial cyanide concentration of 2.5 mg/l.

**Conclusion:** The results of the study showed that efficiency of photosonic process is more than for sonochemical cyanide removal from aqueous solutions. Also efficiency of cyanide removal has direct relationship with pH, frequeny and time ,and it has reverse relationship with cyanide concentration for both processes.

**Key words:** Cyanide, advanced oxidation prosses, photosonochemistry, sonochemistry

---

\*Corresponding Author: [bonyad14@yahoo.com](mailto:bonyad14@yahoo.com)

Tel: +98 9359378235 Fax: