

## بررسی کارآیی فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته برای حذف آفت کش ها از آب با تأکید بر برآورد اقتصادی آن ها

دکتر عبدالمجید فدایی\*، دکتر مهربان صادقی

گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، شهرکرد، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۱۱ اصلاح نهایی: ۹۲/۴/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۱۸

### چکیده:

زمینه و هدف: یکی از روش های حذف انواع آلاینده ها از آب های آلوده فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته (Advanced oxidation processes= AOPs) است که در سال های اخیر توسط بسیاری از پژوهشگران پیشنهاد شده است. مهمترین مشکل جدی که مانع توسعه این روش هاست هزینه بالای آن ها می باشد؛ لذا این پژوهش با هدف بررسی استفاده از فناوری اکسیداسیون پیشرفته برای حذف آفت کش ها از آب با تأکید برآورد اقتصادی آن ها صورت گرفت.

روش بررسی: در این پژوهش تجربی، تجزیه و تحلیل ها بر اساس طرح فاکتوریل جزئی، روی ۱۵۰ نمونه انجام گرفت. راکتورهای التراسونیک، التراویوله، راکتورهای هیبریدی الترا ویوله و اکسید روی و الترا ویوله و آب اکسیژنه برای حذف هر دو آفت کش مالاتیون و دیازینون استفاده شدند. آنالیز نمونه ها با دستگاه گاز کروماتوگرافی اسپکترومتر جرمی (GC-MS) انجام شد و هزینه انرژی با فرمول تجربی انرژی محاسبه گردید. یافته ها: نتایج نشان داد که بیشترین مصرف انرژی (۵۸۹۸/۸۷ و ۴۴۳۰/۳۷ کیلو وات ساعت بر متر مکعب، به ترتیب برای حذف آفت کش دیازینون و مالاتیون) برای فرآیند التراسونیک و کمترین مصرف انرژی (۲۲۴/۲۹ و ۱۶۷/۰۱ کیلو وات ساعت بر متر مکعب، به ترتیب برای حذف دیازینون و مالاتیون) برای فرآیند هیبریدی التراویوله و آب اکسیژنه می باشد. همچنین فرآیند هیبریدی الترا ویوله و آب اکسیژنه اقتصادی ترین روش حذف آفت کش های دیازینون و مالاتیون از آب است و حذف آفت کش مالاتیون با فرایندهای مختلف از نظر اقتصادی بهتر از آفت کش دیازینون است.

نتیجه گیری: نتایج این گونه مطالعات می توانند زمینه استفاده از فرایندهای تصفیه پیشرفته را بصورت تلفیقی برای تصفیه آب و فاضلاب در مقیاس صنعتی، برای استفاده در صنعت آب و فاضلاب کشور فراهم سازند.

واژه های کلیدی: برآورد هزینه، فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته، حذف آفت کش ها.

### مقدمه:

جهان و ایران موجب راهیابی آن ها به آب و محیط زیست شده است. مصرف آب آشامیدنی دارای مقادیر بالاتر از حد استاندارد این سموم اثر بسیار نامطلوبی بر سلامتی انسان می گذارد (۳). بنابراین تولید آب سالم و کافی مستلزم سرمایه گذاری و صرف هزینه های گزافی است و هر گونه نقصان و سهل انگاری در این امر نیز هزینه های هنگفتی را چه بطور مستقیم، به شکل هزینه های دارو و درمان و چه به شکل غیر مستقیم به صورت کاهش ظرفیت تولید و توان کاری افراد جامعه

در جهان بیش از ۸۰۰ نوع مختلف از سموم کشاورزی تولید می گردد که به صورت گسترده در کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرند. وجود ترکیبات آلی و سمی در آب های سطحی و زیرزمینی ناشی از سم پاشی، صدمات جبران ناپذیری به محیط زیست به ویژه محیط زیست آبی تحمیل می نمایند (۱، ۲). سموم ارگانوفسفره از جمله مالاتیون و دیازینون از رایج ترین سموم دفع آفات در دنیا و از جمله ایران بشمار می آیند. متأسفانه مصرف بی رویه آن ها در بسیاری از نقاط

\*نویسنده مسئول: شهرکرد، رحمتیه، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط، تلفن: ۰۳۸۱-۳۳۳۰۲۹۹ E-mail: ali2fadae@yahoo.com

در پی خواهد داشت (۵۴).

روش های معمول تصفیه فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی هر کدام مزایا و معایبی دارند؛ از جمله اینکه فرآیند جذب که فقط انتقال آلاینده از یک فاز به فاز دیگر است، بدون حذف آلاینده و اکسیداسیون شیمیایی همه مواد آلی را حذف نمی کند و روش تصفیه بیولوژیکی با سرعت کم انجام می شود و دفع لجن آن با مشکلاتی روبرو است. امروزه در دنیا فناوری نانو به عنوان یک تکنولوژی کلیدی و تأثیرگذار بر علم و صنعت یاد می شود (۶). بسیاری از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه برنامه هایی را در سطح ملی برای پشتیبانی از فعالیت های تحقیقاتی و صنعتی این فناوری تدوین و اجرا می نمایند. همچنین وجود آلاینده های آلی مقاوم و سمی (آفت کش ها) در منابع آب های سطحی، زیرزمینی و آب شرب و ناتوانی فرآیندهای متداول تصفیه آب جهت حذف این آلاینده ها و لزوم تأمین سلامت مردم و حفظ محیط زیست، طراحی اینگونه فرآیندها را الزامی نموده است؛ لذا یکی از روش های مطرح در سال های اخیر استفاده از تکنولوژی اکسیداسیون پیشرفته (Advanced oxidation technology= AOT) برای حذف آلاینده های مقاوم و سمی بخصوص آفت کش ها از محیط آبی می باشد (۷). یافتن راه حلی اقتصادی با کارآیی بالا و دوستدار محیط زیست بیش از پیش احساس می گردد.

استفاده از فرآیندهایی از جمله فرابنفش و اکسید روی (UV/ZnO) یا فرابنفش و اکسید تیتانیوم (UV/TiO<sub>2</sub>) یا فرابنفش و پراکسید هیدروژن (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)، اولتراسونیک (Ultrasound= US) و نانو ذرات آهن صفر و دو ظرفیتی در بسیاری از کشورهای دنیا رشد چشمگیری نموده است. فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته (Advanced oxidation processes= AOPs) در برگیرنده کلیه فرآیندهایی هستند که در آن ها با روش های مختلف، رادیکال های هیدروکسیل (°OH) تولید می شوند. به خاطر قدرت اکسیدکنندگی بالای رادیکال های هیدروکسیل (۲/۸ الکترون ولت) اغلب فرآیندهای

اکسیداسیون پیشرفته بر این پایه استوار هستند. امروزه بهترین روش برای حذف قابل توجه آلاینده ها از محیط های آب و خاک به ویژه محیط های آبی روش High Tech است که همان روش های تلفیقی تصفیه آب و فاضلاب بدون تشکیل مواد کم خطر واسط در محیط می باشد. از طرفی به دلیل سخت گیرانه تر شدن قوانین کیفیت آب و پساب خروجی در سال های اخیر از فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته جهت حذف انواع آلاینده ها از آب های آلوده مطالعه و پیشنهاد شده است؛ در حالی که جدی ترین مانع توسعه فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته قیمت آن ها است (۹۸). با این حال مطالعاتی در زمینه حذف اسیدهیومیک، فنل، تری کلرواتیلن، آفت کش ها و علف کش ها از محیط های آبی با فرآیندها، انجام و گزارش شده است (۱۰-۱۲). مطالعات انجام شده در سایر کشورها نشان می دهد که در زمینه حذف فنل از فاضلاب ها با فرآیندهای US، UV یا تلفیقی این دو استفاده از آب اکسیژنه و التراسونیک و اکسید مس (US+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+CuO) و یا استفاده تلفیقی اکسید مس والتراسونیک و اوزن (O<sub>3</sub>+US+CuO)، اقتصادی ترین گزینه ها روش تلفیقی O<sub>3</sub>+US+CuO می باشد (۱۳). همچنین در مطالعه دیگر حذف رنگ های صنعتی از فاضلاب ها با فرآیندهای US، UV و تلفیقی آن ها US+O<sub>3</sub> و یا تلفیقی US+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+CuO، اقتصادی ترین گزینه روش تلفیقی US+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+CuO گزارش شده است (۱۴). با توجه به اینکه در ایران تاکنون مطالعه ای در زمینه برآورد اقتصادی فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته انجام نشده است و هر کدام از روش های تصفیه پیشرفته به تنهایی از نظر مصرف انرژی برق هزینه بالای دارند و تمایل کمتری به استفاده از آن ها در مقیاس صنعتی وجود دارد؛ لذا به منظور برطرف نمودن این مشکل این تحقیق طراحی گردید و این پژوهش با هدف استفاده از فناوری اکسیداسیون پیشرفته برای حذف آفت کش ها از آب با تأکید بر برآورد اقتصادی آن ها انجام شد.

## روش بررسی:

در این مطالعه تجربی که در سال ۱۳۹۱ انجام گرفت جمعاً ۱۵۰ نمونه آنالیز شده برای تعداد نمونه‌های این طرح فاکتوریل جزی شده (Fractional factorial design) استفاده شدند. در این مطالعه مشخصات دستگاه، وسایل و مواد مورد استفاده به شرح ذیل بود:

ویژگی‌های فنی راکتور UV: لامپ جیوه‌ای فشار متوسط و توان مصرفی ۱۲۵ وات از نوع فشار متوسط با شدت ۸۵ وات به متر مربع، راکتور پیرکس استوانه‌ای شکل با حجم مفید ۸۰۰ میلی لیتر قطر غلاف کوارتز ۵ سانتی متر و ارتفاع کل ۳۰ سانتی متر (تصویر شماره ۱). ویژگی‌های فنی راکتور US: دستگاه التراسونیک مدل TI-H-5 کشور آلمان با توان ۹۰-۵۰۰ وات و فرکانس ۱۳۰-۳۵ کیلو هرتز و ظرفیت دستگاه التراسونیک ۳/۷ لیتر و حجم مفید راکتور ۸۰۰ میلی لیتر (تصویر شماره ۲).

دستگاه گاز کروماتوگرافی اسپکترومتر جرمی (GC-MS): مدل Varion 3800 با ستون VF-5MS؛ مشخصات ستون: طول (متر) قطر داخلی (میلی متر) ضخامت فاز ساکن (میکرومتر)  $30 \times 0.25 \times 0.25$ ؛ برنامه دمایی: دمای اولیه ۱۵۰ سانتی گراد با زمان اولیه ۲ دقیقه و سرعت افزایش دما ۲۵ درجه سانتیگراد بر دقیقه و دمای ثانویه ۲۷۰ درجه سانتیگراد و سرعت خطی گاز حامل ۳۷/۹ سانتیمتر بر ثانیه و دمای آشکارساز ۲۷۰ درجه سانتیگراد.

مشخصات اکسید روی: اندازه ذرات ۱۲-۶ نانومتر با درصد خلوص ۹۹/۸ درصد به صورت اسفنجی سبک پودری، شرکت سازنده نانو اسپادانا اصفهان.

همچنین از آب اکسیژنه با درصد خلوص ۳۰ درصد و از سموم مالاتیون و دیازینون با درصد خلوص ۹۹/۵ درصد و ۳۰ درصد استفاده شد.

برای انجام مطالعه جداسازی سموم انتخابی در نمونه‌های آب به روش میکرو استخراج مایع-مایع پخششی (Dispersive liquid-liquid microextraction= DLLME) انجام شد. در این روش ۵ میلی لیتر نمونه (سم + آب) با ۵۰۰ میکرولیتر متانول (محللول پخش کننده) و ۷۰

میکرولیتر کلروفرم (محللول استخراج کننده) و ۱۰ میکرولیتر استاندارد داخلی (Chloropyrophos) افزوده شد. بعد از ساترینفوژ با دور ۴۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۵ دقیقه با پیست بخش رویی را جدا کرده و قسمت زیرین یا میکرو سرنگ ها حدود یک میکرولیتر برداشته و به دستگاه GC-MS تزریق شد. در این روش از متانول به عنوان حلال پخش کننده و از کلروفرم به عنوان حلال استخراج کننده استفاده شد (۱۵) و خلاصه مراحل انجام کار به شرح ذیل بود: تنظیم دستگاه GC-MS و تهیه منحنی کالیبراسیون به صورت جداگانه برای سم مالاتیون و دیازینون، تهیه محللول‌های استوک ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر دیازینون و مالاتیون، تهیه غلظت ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۶۰۰ میکروگرم بر لیتر مالاتیون و ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میکروگرم بر لیتر دیازینون، تهیه محللول‌های اکسید روی با غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر و آب اکسیژنه با غلظت ۱۰ و ۳۰ میلی گرم بر لیتر، راه اندازی راکتورهای التراسونیک و فرابنفش به صورت انفرادی، استفاده همزمان از راکتور UV، US و استفاده همزمان UV با اکسید روی و آب اکسیژنه پس از برداشت حدود ۱۰ میلی لیتر از خروجی هر کدام از فرآیندهای بکار گرفته شده، استخراج سموم با روش ذکر شده و تزریق یک میکرولیتر به دستگاه GC-MS و نهایتاً تعیین غلظت سموم بر حسب میکروگرم بر لیتر. همچنین برای محاسبه انرژی الکتریکی (Electrical energy per order) مورد نیاز جهت تهیه یک متر مکعب آب تصفیه شده و مقایسه جنبه‌های اقتصادی فرآیندهای تصفیه پیشرفته از فرمول زیر استفاده شد (۱۶):

$$EE/O(kwh/m^3) = \frac{P \times 1000 \times t_f}{V \times 60 \times \log \frac{C_1}{C_2}}$$

EE/O: مقدار کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی مصرفی برای یک متر مکعب آب آلوده  
P: توان مصرفی (کیلو وات)

نابوسته (Batch) باشد و سرعت واکنش های تجزیه از درجه اول پیروی کند. در غیر این صورت از فرمول های مشابه دیگر استفاده خواهد شد. زمان مورد استفاده برای فرآیندهای انفرادی و تلفیقی UV، ۳۰ دقیقه و برای فرآیندهای US، ۱۰۵ دقیقه به دلیل کارآیی حذف بالای ۹۰ درصد آلاینده به عنوان زمان بهینه انتخاب شده است. همچنین pH خنثی به عنوان شرایط عمل انتخاب شده که به pH واقعی آب نزدیک باشد.

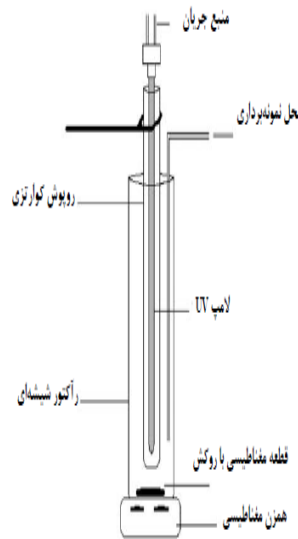
V: حجم آب مورد تصفیه (لیتر)

T<sub>f</sub>: زمان تصفیه (دقیقه)

C<sub>i</sub>: غلظت اولیه ورودی به راکتور (mol/L)

C<sub>f</sub>: غلظت نهایی آلاینده در پایان زمان تصفیه (mol/L)

مقدار انرژی (EE/O) اینگونه ارزیابی می شود که هر چه مقدار آن کمتر باشد کارآیی سیستم تصفیه از نظر انرژی مورد نیاز بیشتر خواهد بود. لازم به ذکر است این فرمول زمانی استفاده می شود که راکتور بکار رفته



تصویر شماره ۱: نمای کلی و داخلی راکتور فتوشیمیایی (فرابنفش)



تصویر شماره ۲: تصویر راکتور التراسونیک (Batch)

## یافته ها:

کمترین میزان مصرف انرژی را داشته اند و حذف آفت کش مالاتیون با فرآیندهای مختلف تصفیه پیشرفته از نظر اقتصادی بهتر از آفت کش دیازینون بوده است (جداول شماره های ۱ و ۲). همچنین نتایج نشان داد که با افزایش غلظت آلاینده در آب میزان انرژی مصرفی برای هر دو آفت کش افزایش می یابد و بکارگیری فرآیند انفرادی UV برای حذف هر دو آفت کش از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نبوده ولی فرآیند هیبریدی UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> و UV/ZnO از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر می باشد.

یافته‌ها نشان داد که فرآیند التراسونیک به تنهایی برای حذف آفت کش دیازینون با غلظت ۵۰۰ میکروگرم در لیتر ۵۸۹۸/۸۷ کیلو وات ساعت بر متر مکعب و برای آفت کش مالاتیون با غلظت ۶۰۰ میکروگرم بر لیتر ۴۴۳۰/۳۷ کیلو وات ساعت بر متر مکعب میزان مصرف انرژی را دارند و فرآیند تلفیقی UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> در غلظت ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر دیازینون و غلظت ۲۰۰ میکروگرم بر لیتر آفت کش مالاتیون به ترتیب ۲۲۴/۲۹ و ۱۶۷/۰۱ کیلووات ساعت بر متر مکعب

## جدول شماره ۱: مقایسه انرژی الکتریکی (EE/O) مورد نیاز جهت تصفیه یک متر مکعب آب آلوده به آفت کش

دیازینون بر حسب کیلو وات ساعت در راکتورهای مختلف (pH=۷)

متغیرها فرایندها	مقدار ZnO (mg/L)	غلظت H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	غلظت اولیه دیازینون (mg/L)	غلظت خروجی دیازینون (mg/L)	زمان نهایی فرآیند (min)	EE/O (کیلو وات ساعت بر متر مکعب)
US	-	-	۱۰۰	۵۹/۲	۱۰۵	۳۸۴۶/۱۵
UV	-	-	۱۰۰	۳۱/۶	۳۰	۴۰۰
UV/US	-	-	۱۰۰	۲۵/۷	۱۰۵	۲۶۶۹/۴۹
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	۱۰	۱۰۰	۱۶/۵	۳۰	۲۵۵/۵۹
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	۳۰	۱۰۰	۱۲/۸۱	۳۰	۲۲۴/۲۹
UV/ZnO	۵۰	-	۱۰۰	۲۰/۲۱	۳۰	۲۸۸/۱۱
UV/ZnO	۱۰۰	-	۱۰۰	۲۷/۶	۳۰	۳۵۸/۲
US	-	-	۳۰۰	۲۱۰/۶	۱۰۵	۵۷۰۶/۰۲
UV	-	-	۳۰۰	۵۵/۶	۳۰	۲۷۳/۳۴
UV/US	-	-	۳۰۰	۴۵/۵	۱۰۵	۱۹۲۴/۶۴
US	-	-	۵۰۰	۳۵۵/۳	۱۰۵	۵۸۹۸/۸۷
UV	-	-	۵۰۰	۱۹۰/۲	۳۰	۲۷۳/۳۴
US/US	-	-	۵۰۰	۶۵/۸۲	۱۰۵	۱۹۲۴/۶۴
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	۱۰	-	۵۰۰	۹۰/۱	۳۰	۲۶۸/۷۵
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	۳۰	۵۰۰	۷۵/۶	۳۰	۲۴۳/۹۰
UV/ZnO	۵۰	-	۵۰۰	۱۰۰/۶	۳۰	۲۸۷/۴۲
UV/ZnO	۱۰۰	-	۵۰۰	۱۳۰/۲	۳۰	۳۴۲/۳۶

UV: اولتراویوله؛ US: اولتراسونیک؛ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: پراکسید هیدروژن؛ ZnO: اکسید روی

**جدول شماره ۲:** مقایسه انرژی الکتریکی (EE/O) مورد نیاز جهت تصفیه یک متر مکعب آب آلوده به آفت کش مالاتیون بر حسب کیلو وات ساعت در راکتورهای مختلف (pH=۷)

متغیرها فرایندها	مقدار ZnO (mg/L)	غلظت H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	غلظت اولیه مالاتیون (mg/L)	غلظت خروجی مالاتیون (mg/L)	زمان نهایی فرآیند (min)	EE/O (کیلو وات ساعت بر متر مکعب)
US	-	-	۲۰۰	۹۲/۶	۱۰۵	۲۶۱۸/۴۵
UV	-	-	۲۰۰	۳۸/۵	۳۰	۲۹۷/۷۲
UV/US	-	-	۲۰۰	۲۸/۵	۳۰	۱۸۶۲/۰۶
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	۱۰	۲۰۰	۱۵/۰۵	۱۰۵	۱۷۸/۰۴
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	۳۰	۲۰۰	۱۲/۶۷	۳۰	۱۶۷/۰۱
UV/ZnO	۵۰	-	۲۰۰	۲۰/۵	۳۰	۲۰۲/۱۹
UV/ZnO	۱۰۰	-	۲۰۰	۲۳/۱	۳۰	۲۱۳/۵۲
US	-	-	۴۰۰	۲۱۰/۶	۱۰۵	۳۱۴۳/۷۱
UV	-	-	۴۰۰	۸۲/۵	۳۰	۲۹۱/۲۶
UV/US	-	-	۴۰۰	۴۷/۱	۱۰۵	۱۶۹۶/۵۸
US	-	-	۶۰۰	۳۸۰/۶	۱۰۵	۴۴۳۰/۳۷
UV	-	-	۶۰۰	۹۸/۱	۳۰	۱۱/۳۱
US/US	-	-	۶۰۰	۴۷/۲	۱۰۵	۱۴۲۵/۳۳
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	۱۰	۶۰۰	۴۵/۲	۳۰	۱۸۰/۹۴
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	۳۰	۶۰۰	۴۰/۶	۳۰	۱۷۱/۱۸
UV/ZnO	۵۰	-	۶۰۰	۵۵/۲	۳۰	۱۹۳/۰۸
UV/ZnO	۱۰۰	-	۶۰۰	۶۰/۳	۳۰	۲۰۰/۵

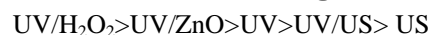
UV: اولتراویوله؛ US: اولتراسونیک؛ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: پراکسید هیدروژن؛ ZnO: اکسید روی

## بحث:

دیازینون و مالاتیون از آب محاسبه شد. مطالعه ای بر روی حذف فنل از فاضلاب نشان داد که بالاترین هزینه تصفیه مربوط به فرآیند US با میزان انرژی مصرفی ۱۱۹۹۳ کیلو وات ساعت بر متر مکعب و کمترین هزینه مربوط به فرآیند هیبریدی US/UV/O<sub>3</sub> با میزان انرژی مصرفی ۱۶۲/۶۷ کیلووات ساعت بر متر مکعب می باشد (۱۸). در مطالعه دیگر بر روی حذف تری کلرواتیلن (TCE) از محیط آبی با فرآیندهای مختلف اکسیداسیون پیشرفته نشان داد که اوزن به تنهایی بالاترین هزینه مصرف انرژی (۶۵۶/۵۱ کیلووات ساعت بر متر مکعب) و فرآیند هیبریدی UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> کمترین هزینه مصرف

نتایج نشان داد که پرهزینه ترین روش برای حذف آفت کش های دیازینون و مالاتیون از آب استفاده از فرآیندهای التراسونیک (US) به تنهایی است. در مطالعه ای بر روی حذف رنگ مالاشیت گرین در محیط های آبی نیز نشان داده شده که هزینه حذف با فرآیند التراسونیک به تنهایی ۶۳۳/۷۹ کیلو وات ساعت بر متر مکعب است و نسبت به فرآیند هیبریدی UV/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> که ۱۹/۹۸ کیلو وات ساعت بر متر مکعب انرژی نیاز دارد بسیار پرهزینه تر می باشد (۱۷). از سویی در این مطالعه فرآیند هیبریدی UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> اقتصادی ترین روش حذف آفت کش های

انرژی را با میزان ۰/۳۵ کیلو وات ساعت بر متر مکعب دارد (۱۹). مطالعه بر روی حذف آفت کش دیازینون از آب با فرآیند UV و UV/ZnO نیز نشان داد که میزان انرژی مصرفی برای فرآیند UV به تنهایی ۲۰۰۰۰ کیلو وات بر متر مکعب و برای فرآیند فتوکاتالیستی UV/ZnO ۱۰۷۵/۳ کیلو وات بر متر مکعب می باشد که این مطالعه اثر سینرژیستی UV/ZnO برای حذف آفت کش دیازینون را تأیید می کند (۲۰). همچنین مطالعه بر روی رنگ CI Acid orange 7 که با فرآیند UV و تلفیقی UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> انجام شد، نشان داد که زمانی که فرآیند تلفیقی UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> استفاده شود نسبت به UV به تنهایی مقدار انرژی مصرفی کاهش می یابد (۲۱). در مجموع، در مطالعه حاضر اقتصادی ترین گزینه تصفیه برای آفت کش مالاتیون و دیازینون در کلیه غلظت آفت کش به شرح زیر به دست آمد:



نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که در غلظت های پایین تری از آفت کش ها و نسبت بالاتر اکسید هیدروژن به آفت کش، مقادیر انرژی (EE/O) محاسبه شده کمتر و کارایی فرآیند از نظر مصرف انرژی کمتر است و صرفه اقتصادی بهتری دارد و در واقع افزودن آب اکسیژنه باعث افزایش تولید رادیکال هیدروکسیل و در نتیجه باعث افزایش کارایی فرآیند فتوکاتالیزوری UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> برای حذف آفت کش ها می گردد (۲۲). همچنین در نسبت های بالاتر اکسید روی به آفت کش، مقادیر انرژی (EE/O) محاسبه شده کمتر بود و کارایی فرآیند از نظر میزان مصرف انرژی توجیه اقتصادی بهتری داشت و در واقع با افزایش مقدار کاتالیست (ZnO)، راندمان حذف فرآیند فتوکاتالیستی UV/ZnO افزایش می یافت. علت این امر در واقع مربوط به تولید رادیکال های هیدروکسیل توسط نانو ذرات ZnO تحت تابش اشعه فرابنفش می باشد (۲۲).

نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اولیه آفت کش ها (مالاتیون و دیازینون) کارایی حذف فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته کاهش و میزان مصرف

با توجه به نتایج بدست آمده پیشنهاد می گردد از فرآیندهای هیبریدی UV/ZnO و UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> برای حذف دیگر ترکیبات آلی مقاوم مثل آفت کش ها، ترکیبات هیدروکربن ها پلی آروماتیک، آنتی بیوتیک ها، هورمون ها، رنگ های آلی، حلال های آلی صنعتی، دترجنت ها و ترکیبات صنعتی از محیط های آبی (آب و فاضلاب) می توان استفاده کرد؛ زیرا فرآیندهای تصفیه پیشرفته هر کدام به تنهایی از نظر مصرف انرژی هزینه های زیاد دارند که اقتصادی ترین راه حل استفاده تلفیقی از آنها می باشد. پیشنهاد می گردد به منظور کاهش هزینه ها ابتدا از فرآیندهای بیولوژیکی به عنوان پیش تصفیه یا کاهش سمیت ترکیبات استفاده شود. سپس از فرآیندهای تصفیه پیشرفته به عنوان تصفیه نهایی در صنعت آب و فاضلاب کشور از سوی مسئولین برنامه ریزی و اجرا گردد و این گونه تحقیقات تلفیقی در کشور از سوی محققین مورد توجه ویژه قرار گیرد.

### نتیجه گیری:

با توجه به اینکه هر کدام از فرآیندها به تنهایی هزینه مصرف انرژی آنها زیاد است، در صورت استفاده از فرآیندهای هیبریدی اکسیداسیون پیشرفته برای حذف

کاهش یابد.

آلاینده های مقاوم از آب و فاضلاب تا حدودی می توان قیمت بالای تصفیه این فرآیندها را تقلیل داد. اینگونه مطالعات زمینه استفاده از فرآیندهای تصفیه پیشرفته را به صورت تلفیقی برای تصفیه آب و فاضلاب در مقیاس صنعتی در صنعت آب و فاضلاب کشور فراهم و راهکارهایی را در آینده تبیین می نماید که کارآیی این روش ها افزایش و هزینه اقتصادی تصفیه

### تشکر و قدردانی:

نویسندگان بر خود لازم می دانند تا از همکاری مسئولین و کارشناسان آزمایشگاه آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند تشکر و قدردانی نمایند.

### منابع:

1. Fadaei AM, Dehghani MH, Nasseri S, Mahvi AH, Rastkari N, Shayeghi M. Organophosphorous pesticides in surface water of Iran. Bull Environ Contam Toxicol. 2012; Feb; 88(6): 867-9.
2. Mijin D, Savic M, Snezana P, Smiljanic A, Glavaski O, Jovanovic M, Petrovic S. A study of the photocatalytic degradation of metamitron in ZnO water suspensions. Desalination. 2009 Nov; 249(1): 286-92.
3. Matilainen A, Sillanp M. Removal of natural organic matter from drinking water by advanced oxidation processes. Chemosphere. 2010 Jun; 80(4): 351-65.
4. Wang GS, Liao CH, Chen HW, Yang HC. Characteristics of natural organic matter degradation in water by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> treatment. Environ Technol. 2006; 27: 277-87.
5. Sutic K, Furac L, Sipos L, Kunst B. Removal of arsenic and pesticides from drinking water by nanofiltration membranes. Sep Purif Technol. 2005 Mar; 42(2): 137-44.
6. Oller I, Malato S, Sanchez – Perez JA. Combination of Advanced oxidation processes and biological treatment for waste water decontamination: a review. Sci. Total Environ. 2011 Sep; 409(20): 4141-66.
7. Heringa MB, Harmsen DJH, Beerendonk EF, Reus AA, Krul CAM, Metz DH, et al. Formation and removal of genotoxic activity during UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/GAC treatment of drinking water. Water Res. 2011 Jan; 45(1): 366-74.
8. Wu CH. Effects of sonication on decolorization of C.I. Reactive Red 198 in UV/ZnO system. Hazard Mater. 2008 May; 153(3): 1254-61.
9. Grieser HF, Ashokkumar M. The mechanism of sonophotocatalytic degradation of methyl orange and its products in aqueous solutions. Ultrason Sonochem. 2011 Sep; 18(5): 974-80.
10. Dobaradran S, Nahizadeh R, Makvi AH, Mesdaghinia AR, Naddafi K. Survey on degradation rate of trichloroethylene in aqueous solutions by ultrasound. Iran J Environ. Health Sci Eng. 2010 Aug; 4(7): 301-12.
11. Mahvi AH, Maleki A, Rezaee R, Safari M. Reduction of humic substance in water by application of ultrasound waves and ultraviolet irradiation. Iran J Environ Health Sci Eng. 2009 Oct; 4(6): 233-40.
12. Shayeghi M, Dehghani MH, Mahvi AH, Azam K. Application of Acoustical Processor Reactors for Degradation of Diazinon from Surface Water. Iran J Arthropod-Borne Dis. 2010 Jul; 4(2): 11-18.
13. Kidak R, Ince NH. Catalysis of advanced oxidation reactions by ultrasound: a case study with phenol. J Hazard Mater. 2007 Jul; 146(3): 630-35.



14. Tezcanli-Geuyer G, Ince NH. Individual and combined effects of ultrasound, ozone and UV irradiation: a case study with textile dyes. *Ultrasonics Sonochem.* 2004 Apr; 42(1-9): 603-9.
15. Farajzadeh MA, Seyedi SE, Shalamzari MS, Bamorowat M. Dispersive liquid – liquid microextraction using extraction solvent lighter than water. *J Sep Sci.* 2009 Sep; 32(18): 3191-200.
16. Mahamuni NN, Adewuyi YG. Advanced oxidation processes (AOPs) involving ultrasound for waste water treatment: A review with emphasis on cost estimation. *Ultrason Sonochem.* 2009 Sep; 17(6): 990-1003.
17. Behnajady MA, Vahid B, Modirshahla N, Shokri M. Evaluation of electrical energy per order (EEO) with kinetic modeling on the removal of Malachite Green by US/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process. *Desalination.* 2009 Sep; 249: 99-103.
18. Entezari MH, Petrier C, Devidal P. Sonochemical degradation of phenol in water: a comparison of classical equipment with a new cylindrical reactor. *Ultrason Sonochem.* 2003 Mar; 10(2): 103-8.
19. Sato C, Asce AM, Yao J. Simultaneous and sequential photolysis of TCE and PCE. *J Environ Eng.* 2006 Jan; 132(1): 32-41.
20. Daneshvar N, Aber S, Seyed Dorraji MS, Khataee AR, Rasoulifard MH. Photocatalytic degradation of the insecticide diazinon in the presence of prepared nanocrystalline ZnO powders under irradiation of UV – C light. *Purif Technol.* 2007 Dec; 58(1): 91-8.
21. Daneshvar N, Aleboyeh A, Khataee AR. The evaluation of electrical energy per order (EEo) for photooxidative decolorization of four textile dye solutions by the kinetic model. *Chemosphere.* 2005 Nov; 59: 761-67.
22. Fadaei AM, Dehghani MH, Rastkari N, Nasserri S, Mahvi AH, Shayeghi M. Degradation of organophosphorus pesticides in water during UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> treatment: role of sulphate and bicarbonate ions. *E J Chemistry.* 2012 Jan; 9(4): 2016-22.
23. Dehghani MH, Fadaei AM. Photocatalytic oxidation of organophosphorus pesticides using zinc oxide. *Res J Chem Environ.* 2012 Sept; 16(3): 104-6.
24. Devipriya S, Yesodharan S. Photocatalytic degradation of pesticide contaminants in water. *Sol Energ Mat Sol.* 2005 Mar; 86(3): 309-48.
25. Hashemi H, Sadeghi M, Amin M. Evaluating the performance of clarification and ultraviolet units in disinfection of Isfahan North waste water treatment plant (WWTP) effluent in pilot plant. *J Shahrekord Univ Med Sci.* 2010; 12(3): 77-84.
26. Zhang Y, Zhang W, Liao X, Zhang J, Hou Y, Xiao Z, et al. Degradation of diazinon in apple juice by ultrasonic treatment. *Ultrason Sonochem.* 2010 Apr; 17(4): 72-77.

## Efficacy study on advanced oxidation processes application for pesticides removal from water with emphasis on their cost aspects

Fadaei AM (PhD)\*, Sadeghi M (PhD)

Environmental Health Dept., Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord, I.R. Iran.

Received: 1/Dec/2012

Revised: 2/July/2013

Accepted: 6/July/2013

**Background and aims:** Removal of recalcitrance pollutants from water by advanced oxidation processes (AOPs) has been recently suggested by many researchers worldwide. However, being costly is the most important problem which prevent from doing such a method. The aim of this study was the assessment of AOPs usage for removal of pesticides from water with focus on their cost aspects.

**Methods:** This research was an experimental study. The experimental analysis was carried out on 150 samples that had been determined based on minor factorial plan. Batch reactors including Ultrasonic (US), Ultraviolet (UV), Ultraviolet and Zinc Oxide (UV/ZnO), Ultraviolet/Hydrogen Peroxide (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) were used for Diazinon and Malathion removal. The samples were analyzed by Gas Chromatography Mass Spectroscopy (GC-Mass), and the energy costs were calculated by the empirical equation.

**Results:** The results showed that the highest consumption of energy (i.e. 5898.87 and 4430.37 kWh/m<sup>3</sup> for Diazinon and Malathion, respectively) was for the US method and the lowest consumption of energy (i.e. 224.29 and 167.01 kWh/m<sup>3</sup> for Diazinon and Malathion, respectively) was achieved for the UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> method. The results showed that the hybrid processes UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> way the most economical way to remove the pesticides Diazinon and Malathion from water. Also, the removal of the pesticide Malathion was economically better than the pesticide Diazinon.

**Conclusion:** The results of this study can pave the way the using of the process of advanced fusion in a syncretism procedure as a treatment for water and wastewater on an industrial scale in the water and wastewater industry.

**Keywords:** Advanced oxidation processes, Cost estimation, Pesticides removal.

Cite this article as: Fadaei AM, Sadeghi M. Efficacy study on advanced oxidation processes application for pesticides removal from water with emphasis on their cost aspects. J Shahrekord Univ Med Sci. 2013 Dec, Jan; 15(5): 80-89.

---

\*Corresponding author:

Environmental Health Dept., Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord, Health faculty, I.R. Iran. Tel: 00983813330299, E-mail: ali2fadae@yahoo.com