



## مجموعه مقالات

چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی  
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹۴، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای)

The 4<sup>th</sup> National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

### بررسی تاثیر ترکیب تابش گاما و نانوذرات $TiO_2$ بر تخریب سم حشره کش فن والریت

فریدون افلاکی\*، مصطفی آوانلو

تهران، انتهای کارگر شمالی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

**چکیده:** اکثر کشورها سعی در به کارگیری روشهای نوین و کارآمد دارند که بتوانند آلودگی‌های ایجاد شده در محیط زیست را حذف نمایند. مصرف روزافزون آفت کش‌های مختلف خطر آلودگی محیط زیست را افزایش می‌دهد. فن والریت حشره کش غیرسیستمیک با اثر تماسی و گوارشی است که طیف وسیعی از آفات را در محصولات مختلف کشاورزی کنترل می‌کند. در این پژوهش، تاثیر ترکیب تابش گاما و نانوذرات  $TiO_2$  بر روی تخریب سم آفت کش فن والریت در محیط آبی مورد تحقیق قرار گرفت. مطالعات پرتودهی در دزهای ۵-۲۵kGy و غلظت ۱۰۰۰mg/L از نانوذرات  $TiO_2$  انجام گردید. نتایج حاصل نشان داد پرتودهی، حداکثر ۴۰٪ از غلظت اولیه فن والریت را تخریب می‌نماید. حضور نانو ذرات  $TiO_2$  در محلول آبی فن والریت هنگام پرتودهی، سبب افزایش راندمان تخریب به میزان ۹۳٪ گردید. علاوه بر این، افزایش آب اکسیژنه به نانوذرات  $TiO_2$  راندمان تخریب فن والریت را به ۹۷٪ افزایش داد.

**واژگان کلیدی:** پرتودهی گاما، نانوذرات  $TiO_2$ ، فن والریت، تخریب

### Combine effect of gamma irradiation and $TiO_2$ nanoparticles on fenvalerate degradation

Fereydoon Aflaki, Mostafa avanloo

Nuclear Science Research School, Application of Radiation Institute, Tehran

**Abstract:** Most countries have attempted to implement new and efficient methods that can eliminate environmental pollution. The increasing use of pesticides increases the risk of environmental pollution. Fenvalerate is an insecticide with digestive and contact effect which controls a wide range of pests in various agricultural products. The combine effects of gamma irradiation and  $TiO_2$  nanoparticles on fenvalerate degradation in aqueous solution were investigated. The gamma irradiation (5-25kGy) experiment in the presence of  $TiO_2$  nanoparticles (1000 mg/L) were carried out. The results showed that radiation can degraded maximum %40 of fenvalerate. For a dose of 5 kGy, the removal efficiency in the presence of  $TiO_2$  nonoparticles was 93%. Also, with by the addition of  $H_2O_2$  to  $TiO_2$  suspension, the degradation efficiency reached 97% for a dose of 5 kGy.

**Keywords:** Gamma irradiation,  $TiO_2$  nanoparticles, Fenvalerate, Degradation.

#### مقدمه

رشد روزافزون جمعیت و بهره برداری بیش از حد از منابع محدود آب و آلوده شدن آنها به سبب فعالیت‌های گوناگون زیستی، کشاورزی و صنعتی سبب ایجاد بحران آب گردیده است. بنابراین حفظ کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی منابع آب سرلوحه فعالیت بسیاری از سازمان‌هایی است که به نحوی با این منابع سروکار دارند. یکی از آلودگی‌های بسیار عمده و



## مجموعه مقالات

### چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی (۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹۴، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای)

The 4<sup>th</sup> National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

خطرناک منابع آب آلودگی بیولوژیکی است [۱،۲]. به منظور ارتقاء شرایط زیست محیطی آبهای سطحی و رودخانه‌ها روش‌های تصفیه معمول باید بهبود یابد و سیستم‌های تصفیه و تکنولوژی نوین دیگری به خدمت گرفته شوند. [۳]. در پرتودهی بویژه در مصارف و کاربردهایی در مقیاس وسیع عموماً منابع تشعشع و پرتوتابی متعددی مدنظر قرار می‌گیرند، که می‌توان به چهار نوع از فناوری‌های پرتوتابی یعنی ماوراء بنفش، ایزوتوپ‌های رادیواکتیو، شتاب دهنده‌های خطی یا دستگاه‌های اشعه الکترون و اشعه ایکس اشاره کرد [۴، ۵].

فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته (AOPs) راه چاره دیگری برای از بین بردن پسابهایی هستند که مضرات زیادی دارند. فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته با وجود آنکه سیستم‌های شیمیایی متفاوتی را به کار می‌گیرند، تمام آنها بوسیله یک جنبه شیمیایی مشترکی توصیف می‌شوند که همان تولید رادیکال‌های هیدروکسیل است. رادیکال‌های هیدروکسیل به طور معمول گونه‌های واکنش پذیر هستند که به اکثر قسمت‌های آلی مولکولها حمله می‌کنند این فرآیندها همچنین بوسیله گزینش پذیری کم حمله که یک صفت مناسب برای یک اکسید کننده است برای درمان فاضلاب و حل مشکلات آلودگی آنها به کار گرفته می‌شوند [۶،۷]. در سال ۱۹۸۷، Glaze و همکارانش [۸] فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته را بدین صورت تعریف نمودند: فرآیندهای درمانی آب با دما و فشار نزدیک به شرایط محیطی که شامل تولید رادیکال‌های هیدروکسید به میزان کافی بوده که بر خالص سازی آب تاثیر گذارد. رادیکال هیدروکسیل ( $OH^\bullet$ ) یک اکسید کننده قوی و غیر انتخابی است که به سرعت با بیشتر ترکیبات آلی واکنش می‌دهد. مسیرهای دقیق این واکنشها هنوز کاملاً مشخص و واضح نیستند. فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته شامل روشهای فوتوشیمیایی و غیر فوتوشیمیایی هستند. در کل می‌توان گفت که اگر فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته درست و به جا به کار برده شوند می‌توانند آلاینده‌ها را به طور کامل حذف نمایند. به همین دلیل این روشها را روشهای درمان و تصفیه آب در قرن ۲۱ نامگذاری کرده اند [۹]. در این پژوهش به بررسی تاثیر تابش گاما بر روی تخریب سم فن والریت در مجاورت یکی از واکنشگرهای فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته - $TiO_2$  به منظور افزایش راندمان تخریب فن والریت پرداخته شده است.

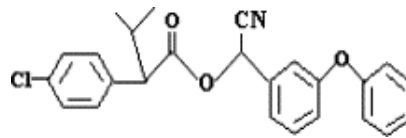
فن والریت از گروه حشره کشهای پیرتروئیدی با خاصیت غیر سیستمیک و اثر تماسی و گوارشی می‌باشد. فن والریت روی آفات گیاهی مؤثر بوده و جزء اولین پیرتروئیدهای مصنوعی است که به علت قدرت حشره کشی زیاد و دوام در برابر نور خورشید در کشاورزی مورد استفاده قرار گرفت. در محیطهای اسیدی پایدار ولی در محیطهای قلیایی زنجیره استری آن هیدرولیز می‌شود. برای انسان و جانوران خونگرم سمیت متوسط دارد و همچنین روی پوست و چشم نیز ایجاد حساسیت مختصری می‌کند. فن والریت برای ماهیها، زنبورعسل و سایر حشرات مفید ایجاد حساسیت شدید می‌کند.



## مجموعه مقالات

چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی  
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹۴، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای)

The 4<sup>th</sup> National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)



شکل (۱) ساختار شیمیایی حشره کش فن والریت

### مواد و روشها

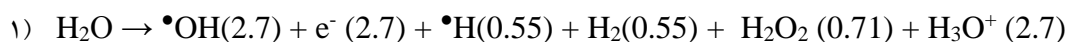
فن والریت، استونیتریل، پروکسیدهیدروژن، پرسولفات پتاسیم از شرکت Merck و نانوذرات دی اکسید تیتانیم از شرکت Degussa تهیه شدند. سولفات آهن (III) و کلرید آهن (II) به عنوان منابع تامین Fe (III) و Fe (II) مورد استفاده قرار گرفتند. محلولهای آبی مورد نیاز، با استفاده از آب دوبار تقطیر تهیه شدند.

پرتودهی با اشعه گاما توسط منبع  $^{60}\text{Co}$  با سرعت دز  $3/8247 \text{ Gy/sec}$  انجام شد. محلولهای آبی فن والریت در ظرفهای پیرکس درب دار و در حضور هوا پرتودهی شدند. پرتودهی در دمای محیط و در محدوده  $20\text{kGy}$  -  $5$  انجام شد.

تجزیه کمی فن والریت با استفاده از سیستم کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) مجهز به آشکارساز ماوراء بنفش و ستون  $\text{C}_{18}$  ( $5\mu\text{m}$ ,  $150\text{mm}\times 4\text{mm}$ ) انجام شد. فاز متحرک شامل استونیتریل - آب (۷۵:۲۵) و سرعت جریان آن  $1\text{ml/min}$  بود. طول موج آشکارسازی در  $225\text{nm}$  و دمای ستون در  $30^\circ\text{C}$  تنظیم گردید.

### اثر دز پرتودهی

هنگامی که آب خالص پرتودهی می‌شود ترکیبات بسیار واکنش پذیری را ایجاد می‌نماید:



مقادیر نسبی تولید شده بوسیله مقادیر G (تعداد گونه‌های تولید شده به ازای ۱۰۰ الکترون ولت انرژی جذب شده) درون پرانتز نشان داده شده است. رادیکال هیدروکسیل ( $\bullet\text{OH}$ ) یک واکنشگر اکسید کننده قوی است در حالیکه الکترون آبی ( $\text{e}^-_{\text{aq}}$ ) و اتم هیدروژن (H) واکنشگر کاهنده هستند. بدین ترتیب در طی فرآیند پرتودهی، ترکیبات آلی متحمل هر دو نوع واکنش‌های اکسایش و کاهش گردند. تاثیر دزهای مختلف تابش گاما بر روی محلولهای آبی فن والریت بررسی و نتایج حاصل در شکل ۲-الف نشان داده شده است. بیشترین مقدار تخریب فن والریت در دز  $25\text{kGy}$  بوده که برای غلظت‌های مختلف از فن والریت در محدوده  $1-10\text{mg/L}$ ، حدود چهل درصد می‌باشد. نتایج حاصل بیانگر افزایش کارایی تخریب فن والریت با افزایش دز پرتودهی می‌باشد زیرا با افزایش دز پرتودهی، رادیکالهای بیشتری بواسطه هیدرولیز آب تشکیل می‌شوند. از سوی دیگر، در دزهای بالاتر، بواسطه افزایش غلظت محصولات رادیولیزی آب، واکنشهای باز ترکیب رادیکال-رادیکال افزایش می‌یابد که این امر موجب می‌گردد با افزایش دز پرتودهی، درصد تخریب فن والریت به طور خطی افزایش نیابد. نتایج حاصل نشانگر عدم کارایی تابش گاما در تخریب کامل فن والریت و مقاومت آن در برابر تابش گاما می‌باشد. تحقیقات نشان



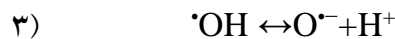
## مجموعه مقالات

چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی  
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹۴، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای)

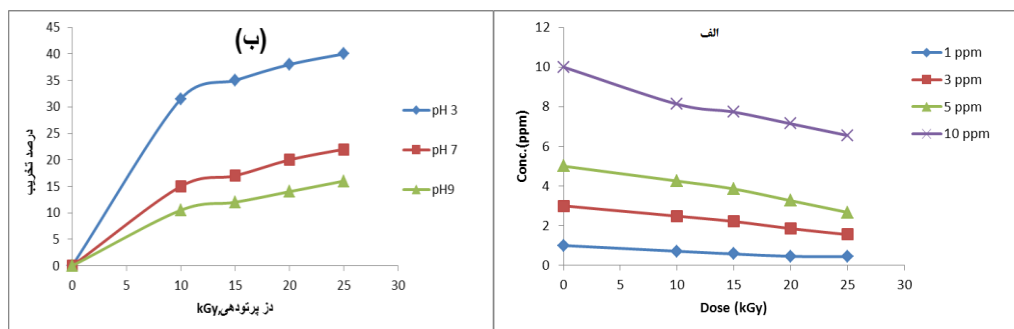
The 4<sup>th</sup> National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

داده است که ترکیبات دارای حلقه بنزنی در برابر تابش مقاومت بالایی دارند [۱۰-۱۱]، بنابراین عدم تخریب کامل فن والریت در اثر پرتودهی به حضور سه حلقه بنزنی در ساختار آن مربوط می باشد. نتایج شکل (۲) نشان می دهد کارایی تخریب فن والریت با افزایش غلظت اولیه آن کاهش یافته است. برای مثال، در دز ثابت ۱۰ kGy، مقدار تخریب فن والریت با غلظتهای اولیه ۱، ۳، ۵، ۱۰ mg/L به ترتیب ۱۴، ۲۰، ۲۳، ۲۸٪ می باشد. در یک دز ثابت، مقدار معینی از رادیکالهای هیدروکسیل تشکیل شده بواسطه رادیولیز آب تشکیل می شود. بنابراین با افزایش غلظت فن والریت، ملکولهای تخریب شده نیز ثابت بوده و این امر به کاهش درصد تخریب فن والریت در غلظتهای بالاتر آن منجر می گردد.

شکل (۳) تاثیر pH بر روی تخریب فن والریت با غلظت اولیه ۵ mg/L در دزهای پرتودهی مختلف نشان می دهد نتایج حاصل نشانگر وابستگی میزان تخریب فن والریت به pH محلول می باشد. تخریب فن والریت در محیط اسیدی بیشتر از محیط خنثی بوده در حالیکه میزان تخریب فن والریت در محیط بازی به مقدار کمتری از محیط خنثی صورت گرفته است. اثر pH بر روی تخریب آلانینده ها به نوع و ساختار شیمیایی آنها بستگی دارد. با این وجود، pH محلول پرتودهی شده بر روی مکانیسم و کارایی رادیولیز آب تاثیر می گذارد. در pH اسیدی، رادیکال هیدروکسیل یونهای H<sup>+</sup> را مصرف می نماید (معادله ۲) و در pH های بازی، رادیکال هیدروکسیل به یونهای O<sup>-</sup> و H<sup>+</sup> تبدیل می شود (معادله ۳):



به طور کلی، پتانسیل اکسایش رادیکال هیدروکسیل از ۲/۷۷ در محیط اسیدی به ۲/۴۷ در محیط قلیایی کاهش می یابد. بنابراین، کارایی تخریب در محیط اسیدی باید بیشتر باشد [۱۲].



شکل ۲ الف- ارتباط دز پرتودهی- مقدار باقیمانده فن والریت در pH 7، ب) تاثیر دز پرتودهی بر روی تخریب فن والریت در pH های مختلف (غلظت اولیه ۵ mg/L)



## مجموعه مقالات

چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی  
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹۴، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای)

The 4<sup>th</sup> National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

### اثر ترکیب اشعه گاما و نانوذرات $TiO_2$

شکل (۳-الف) اثر تابش گاما در تخریب فن والریت در حضور  $1000 \text{ mg/L}$  از نانوذرات  $TiO_2$  را نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان می‌دهد حضور نانوذرات  $TiO_2$  در هنگام پرتودهی سبب افزایش راندمان تخریب فن والریت می‌گردد. برای مثال در دزهای ۵ و  $20 \text{ kGy}$ ، به ترتیب حدود ۹۳٪ و ۹۸٪ از فن والریت تخریب گردیده است.

اساس فوتوکاتالیز برانگیختن فوتونی یک نیمه هادی جامد در نتیجه جذب تابش الکترومغناطیسی است. هنگامی که  $TiO_2$  در معرض تابش قرار می‌گیرد الکترونها لایه ظرفیت نیمه هادی به لایه هدایت برانگیخته می‌شوند و حفرات مثبت در لایه ظرفیت باقی می‌گذارند (معادله ۴). الکترونها و حفرات برانگیخته می‌توانند دوباره ترکیب و یا به سطح نانوذره مهاجرت نمایند جایی که حفرات با گروههای عاملی دهنده الکترون (رادیکالهای هیدروکسیل و یا مولکولهای آب) که بر روی سطح نیمه رسانا جذب شده اند، واکنش می‌دهند (معادله ۵ و ۶).

همچنین این الکترونها و حفرات لایه ظرفیت که قدرت اکسید کنندگی بالایی (پتانسیل اکسایشی  $2/8V$ ) دارند می‌توانند به طور مستقیم با مولکولهای آلی جذب سطحی شده واکنش دهند (معادله ۷ و ۸).

pH یک عامل اصلی موثر بر روی تخریب ترکیبات آلی بوسیله نانوذرات  $TiO_2$  است زیرا آن بر روی ظرفیت جذب سطحی نانوذرات تاثیر می‌گذارد. در شرایط اسیدی نیروی جاذبه الکترواستاتیکی بین سطح باردار مثبت  $TiO_2$  و گونه های آنیونی ایجاد می‌شود و منجر به افزایش جذب سطحی ترکیبات آلی می‌گردد. [۱۳]

یکی از مشکلات اصلی استفاده از  $TiO_2$ ، ترکیب دوباره زوج الکترون-حفره است که کارایی تخریب مواد آلی را کاهش می‌دهد.  $H_2O_2$  و  $Fe^{3+}$  ممکن است با کاهش سرعت ترکیب الکترون و حفره، باعث تقویت واکنش پذیری کاتالیستی  $TiO_2$  شوند. شکل (۳-ب) کارایی اشعه گاما در تخریب فن والریت در حضور نانوذرات  $TiO_2$  و واکنشگر  $H_2O_2$  را نشان می‌دهد. با افزودن  $H_2O_2$  به  $TiO_2$ ، کارایی تخریب فن والریت در دز  $5 \text{ kGy}$  به ۹۷٪ افزایش یافت و دز  $15 \text{ kGy}$  نیز به تخریب کامل فن والریت منجر شد. افزایش اکسنده قوی  $H_2O_2$  به  $TiO_2$  یک روش شناخته برای افزایش سرعت تخریب مواد آلی می‌باشد [۱۴].  $H_2O_2$  واکنش فوتوکاتالیستی را بوسیله فراهم نمودن رادیکالهای هیدروکسیل اضافی هم از طریق به دام انداختن الکترونها تولید شده در سطح کاتالیست فعال شده (معادله ۹) و هم از طریق رادیولیز آب (معادله ۱۰) تقویت می‌نماید.



## مجموعه مقالات

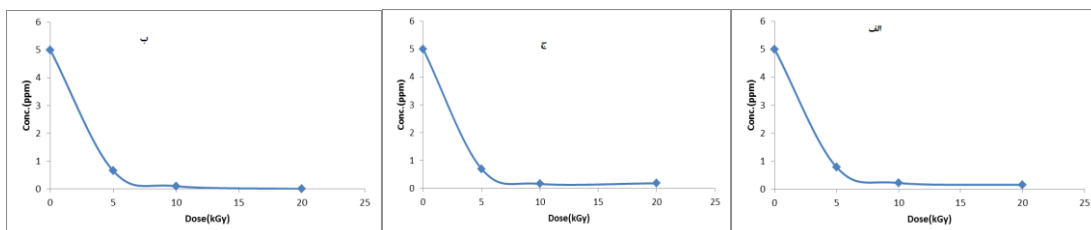
چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی  
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹۴، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای)

The 4<sup>th</sup> National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

۴	$\text{TiO}_2 \xrightarrow{\gamma\text{-ray}} e_{cb}^- + h_{vb}^+$	۵	$h_{vb}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \cdot\text{OH} + \text{H}^+$
۶	$h_{vb}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \cdot\text{OH}$	۷	$\text{R} + h_{vb}^+ \rightarrow \text{oxidation}$
۸	$\text{R} + e_{cb}^- \rightarrow \text{reduction}$	۹	$\text{H}_2\text{O}_2 + e_{cb}^- \rightarrow \text{OH}^- + \cdot\text{OH}$
۱۰	$\text{H}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\gamma\text{-ray}} 2 \cdot\text{OH}$	ترکیب آلی: R	

شکل (۳-ج) اثر تابش گاما در تخریب فن والریت در حضور نانوذرات  $\text{TiO}_2$  و یونهای  $\text{Fe}^{3+}$  را نشان می‌دهد. در دزهای ۲۰ kGy و ۵، با افزایش  $\text{Fe}^{3+}$  به نانوذرات  $\text{TiO}_2$ ، تخریب فن والریت به ۹۴٪ و ۹۸٪ رسید. تاثیر حضور  $\text{Fe}^{3+}$  می‌تواند ناشی از نقش آنها به عنوان تله های  $h^+/e^-$  باشد که مانع از ترکیب دوباره آنها شده و بدین ترتیب کارایی تخریب را افزایش می‌دهد.  $\text{Fe}^{3+}$  حفرات را به دام انداخته و یونهای  $\text{Fe}^{4+}$  را بوجود می‌آورد که با یونهای هیدروکسیل جذب سطحی شده واکنش می‌دهند و رادیکالهای هیدروکسیل را در سطح  $\text{TiO}_2$  به وجود می‌آورند. از طرف دیگر،  $\text{Fe}^{3+}$  با الکترونها واکنش داده و منجر به تشکیل  $\text{Fe}^{2+}$  می‌شوند. یونهای  $\text{Fe}^{2+}$  با حضور اکسیژن، منجر به تشکیل رادیکال آنیونی سوپراکسید ( $\text{O}_2^{\cdot-}$ ) می‌شود (معادله های ۱۶-۱۱) [۱۵]. همچنین، هنگامی که محلول آبی  $\text{Fe}^{3+}$  در معرض تابش قرار می‌گیرد رادیکالهای هیدروکسیل تولید می‌نماید (معادله ۱۸) [۱۵].

۱۱	$\text{Fe}^{3+} + \text{h}^+ \rightarrow \text{Fe}^{4+}$	۱۲	$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$
۱۳	$\text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{O}_2^{\cdot-}$	۱۴	$\text{Fe}^{2+} + \text{Ti}^{4+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{Ti}^{3+}$
۱۵	$\text{Ti}^{3+} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Ti}^{4+} + \text{O}_2^{\cdot-}$	۱۶	$\text{Fe}^{4+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{3+}$
۱۷	$\text{Fe}^{4+} + \text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \cdot\text{OH}$	۱۸	$\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\gamma\text{-ray}} \text{Fe}^{2+} + \text{H}^+ + \cdot\text{OH}$



شکل (۳) الف: تخریب رادیولیتیکی فن والریت در حضور  $\text{TiO}_2$  (۱۰۰۰ mg/L, pH 3)، ب: تخریب رادیولیتیکی فن والریت در حضور نانوذرات  $\text{TiO}_2$  و  $\text{H}_2\text{O}_2$ ، ج: تخریب رادیولیتیکی فن والریت در حضور نانوذرات  $\text{TiO}_2$  و یونهای  $\text{Fe}^{3+}$



## مجموعه مقالات

چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی  
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹۴، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای)

The 4<sup>th</sup> National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل نشان داد که با افزایش دز پرتودهی، درصد تخریب حشره کش فن والریت در محیط آبی افزایش می‌یابد در حالی که در یک دز پرتودهی ثابت، با افزایش غلظت فن والریت، کارایی تخریب کاهش می‌یابد. همچنین کارایی تخریب فن والریت در محیط اسیدی نسبت به محیط خنثی و قلیایی تفاوت بارزی را نشان می‌یابد. به طور کلی نتایج حاصل نشان داد که استفاده از تابش گاما به تنهایی قادر به حذف کامل حشره کش فن والریت از محیط آبی نمی‌باشد و در دز  $25\text{kGy}$  مقدار تخریب فن والریت با غلظت اولیه  $5\text{mg/L}$  برابر  $40\%$  می‌باشد. پرتودهی محلول آبی فن والریت در حضور نانو ذرات  $\text{TiO}_2$ ، سبب افزایش راندمان تخریب به میزان  $93\%$  گردید. علاوه بر این، افزایش آب اکسیژنه به نانوذرات  $\text{TiO}_2$ ، میزان تخریب فن والریت را تا  $97\%$  را امکان پذیر ساخت. بنابراین استفاده از همزمان از پرتودهی و واکنشگرهای فرایندهای اکایش پیشرفته نظیر نانوذرات  $\text{TiO}_2$  و آب اکسیژنه امکان تخریب کامل آلاینده‌های آلی آب را در دزهای پرتودهی پائین امکان پذیر می‌نماید.

### منابع

1. J. Dojlido, G. A. Best, Chemistry of Water and Water Pollution, Ellis Horwood, New York, (1992)
2. S. E. Abdel Aal, A. M. Dessouki, H. H. Sokker, Degradation of some pesticides in aqueous solutions, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 250, 2, 329-334 (2001)
3. J.F. Swinwood, T.D. Waite, P. Kruger, and S.M. Rao. Radiation technologies for wastetreatment: A global perspective, IAEA BULLETIN, 1/1994.
4. D.E. Meeroff, Effects of ionizing radiation in wastewater treatment and residuals processing, (2001)
5. Ridardo Molins, Food irradiation: principles and application, Wiley Interscience, New York, (2001)
6. G. Ruppert, R. Baue, G. Heisler & S. Novalic, "Mineralization of cyclic organic water contaminants by the photo-Fenton reaction. Influence of structure and substituents". Chemosphere, 27, 1339-1347 (1993)
7. R. W. Matthews, "Photo-oxidation of organic material in aqueous suspensions of titanium dioxide". Water Res., 20, 569-578 (1986)
8. H. Bischof, C. Höfl, C. Schönweitz, G. Sigl, B. Wimmer & D. Wabner, "UV-activated hydrogen peroxide for ground and drinking water treatment - development of technical process. In Proc. Reg. Conf. Ozone, UV light, AOPs Water Treatm., September 24-26, Amsterdam, Netherlands, 117-131 (1996)
9. J.W.T. Spinks, R.J. Woods, An Introduction to Radiation Chemistry, John Wiley and Sons Inc., New York, (1990)
10. A. J. Swallow, Radiation Chemistry: An Introduction, John Wiley, New York, (1973)
11. B.M. Tolbert, M. H. Krinks, "Degradation of some pesticides in aqueous solutions by electron beam and gamma-radiation", rad., res., 2, 586-592 (1960)
12. P. Wardman, "Reduction potentials of one-electron couples involving free radicals in aqueous solution" J. phys. Chem. Ref. data. 18(4), 1637-1755 (1989)
13. Konstantinou, I.K., Albanis, T.A.,  $\text{TiO}_2$ -assisted photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous solution: kinetic and mechanistic investigation: a review. Appl. Catal. B: Environ. 49, 1-14 (2004)
14. Chong, M.N., Jin, B., Saint, C., Chow, C.W.K., "Recent developments in photocatalytic water treatment technology: a review" Water Res. 44, 2997-3027 (2010)



## مجموعه مقالات

چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی  
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹۴، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای)

The 4<sup>th</sup> National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

---

15. Tong, T., Zhang, J., Tian, B., Chen, F., He, D., 2008. Preparation of Fe<sup>3+</sup> doped TiO<sub>2</sub> catalysts by controlled hydrolysis of titanium alkoxide and study on their photocatalytic activity for methyl orange degradation. J. Hazard. Mater. 155, 527-579.