

حذف همزمان مس و تجزیه 2, 4-D در فاضلاب صنعتی با استفاده از سیستم ترکیبی تشعشع نوری و الکتروشیمیایی

دکتر احمد جنیدی جعفری *

چکیده

مواد آلی سمی و فلزات سنگین به عنوان مواد زائد صنعتی می توانند محسوب گردند و در فاضلاب بسیاری از صنایع یافت شوند. این مواد در صورتی که به طور همزمان در فاضلاب وجود داشته باشند، می توانند برای سیستم های تصفیه مشکلاتی ایجاد کنند. حضور یون های فلزی در فاضلاب مخلوط صنعتی می تواند سبب کند شدن تخریب یا تجزیه آلاینده های آلی گردد و همچنین بازده بازیافت فلزات به دلیل حضور ترکیبات آلی کاهش می یابد. هدف های این مطالعه، بررسی اثر یون مس روی تجزیه فتولیزی 2,4-D، بررسی اثر حضور 2,4-D روی بازیافت الکتروشیمیایی مس و معرفی یک روش ترکیبی فتولیزی و الکتروشیمیایی برای حذف مس و تجزیه 2,4-D می باشد. نتایج این بررسی نشان داد که یک سل الکتروشیمیایی بتنهایی می تواند برای بازیافت مس در pH معادل ۴/۵-۱/۵ استفاده شود و لیکن قادر به معدنی کردن 2,4-D به وسیله اکسیداسیون آندی نمی باشد. یک سل تشعشع ماورای بنفش بتنهایی می تواند 2,4-D را در pH معادل ۳/۵ تجزیه کند ولی یون های مس را در محلول باقی می گذارد. در روش الکتروشیمیایی بازیافت، مس ۸۱/۰۲٪ و حذف 2,4-D معادل ۲٪ می باشد، در حالی که سیستم ترکیبی الکتروشیمیایی و تشعشع ماورای بنفش با استفاده از کربن فعال به عنوان کاتد، بازیافت همزمان مس و تجزیه 2,4-D را افزایش خواهد داد. نتایج نشان داد که بعد از هشت ساعت، حضور فاضلاب در این سیستم منجر به حذف ۹۰٪ مس و تجزیه ۹۹/۹٪ 2,4-D گردید، در حالی که این تجزیه در حضور ۱۰۰ (mg dm⁻³) از یون مس و با روش فتولیزی ۸۶٪ از 2,4-D حذف گردید.

کلید واژه

2, 4-D، مس، فاضلاب صنعتی، اشعه UV، سیستم الکتروشیمیایی.

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۱/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۸۱/۳/۲۳

* استادیار گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان.

سرآغاز

استفاده از حشره کش ها و آفت کش ها در کشاورزی مدرن امروزی سبب آلودگی آبهای سطحی، آبهای زیرزمینی، خاک و هوا گردیده است. ترکیبات کلره آلی، مانند 2,4 dicholoro phenoxy acetic acid (2,4-D) و 2,4,5 tricholoro phenoxy actic acid(2,3,5-T) به عنوان علف کش های ارزانه قیمت شناخته شده اند و لیکن سبب افزایش آلودگی های ناخواسته در محیط نیز می گردند (Alloway and Ayers, 1997). آلودگی آبهای سطحی، رودخانه ها و دریاچه ها با حشره کش 2,4 - D توسط محققان متعددی گزارش شده است که می تواند به دلیل استفاده وسیع از این حشره کش و همچنین حلالیت بالای آن در آب باشد. در ضمن به علت پیوند بسیار ضعیف آن با ذرات خاک و حلالیت بالا در آب، حرکت این حشره کش در خاک سریع بوده و در نتیجه می تواند حتی وارد آبهای زیرزمینی گردد، به طوری که نیمه عمر آن در آبهای زیرزمینی ۸۰۰ تا ۱۹۰۰ روز برآورد شده است (Cavalier et al., 1991). بر اساس گزارش آژانس حفاظت محیط زیست امریکا، طی سالهای ۱۹۸۷-۱۹۹۳ بیش از ۱۱۶۰۰۰ پوند از این حشره کش وارد آبها و خاک شده است.

در صورتی که آبها یا فاضلاب های آلوده به این حشره کش در محیط تخلیه گردد، می تواند مستقیماً بر سلامتی انسان و سایر موجودات زنده در محیط زیست آثار نامطلوبی بگذارد. جذب آن از طریق دستگاه گوارش انسان به طور کامل انجام می شود و همچنین به سرعت از طریق پوست و ریه جذب می گردد. بنابراین شنا یا استحمام در آبهای آلوده به این حشره کش نیز می تواند مشکل آفرین باشد. بعضی از ترکیبات این حشره کش دارای سمیت بالایی برای موجودات زنده از جمله آبزیان می باشد، برای مثال LD₅₀ این حشره کش برای ماهی قزل آلا معادل ۱ تا ۱۰۰ میلی گرم برلیتر، برحسب نوع ترکیب حشره کش ذکر شده است، نوع اسیدی آن دارای LD₅₀ پایین تری است. این حشره کش بر روی سیستم عصبی، کلیه ها و کبد انسان آثار مزمن داشته و بر روی سیستم عصبی، دستگاه تنفسی و پوست نیز آثار حاد ایجاد خواهد کرد. سازمان حفاظت محیط زیست امریکا حداکثر غلظت مجاز برای تماس با این

آلاینده را ۷۰ppb ذکر کرده است.

استفاده عمومی حشره کش ها و علف کش ها و شاید پایداری آنها در محیط آبی (Chamarro and Esplagas, 1993) و همچنین آثار سمی آن بر محیط زیست سبب شده است تا محققان روش هایی را برای عدم استفاده آنها جست و جو کنند. آلودگی آب با ترکیبات آلی کلره از راههای متفاوتی شامل گسترش آنها از زمین های کشاورزی، پساب صنایع، گندزدایی آب آشامیدنی و تصفیه فاضلاب با کلرین می تواند افزایش یابد. صنایع و فعالیت های متنوعی می تواند سبب تولید فاضلاب مخلوط حاوی یون های فلزات سنگین و آلاینده های آلی سمی گردد. تصفیه موفقیت آمیز این نوع فاضلاب ها برای دستیابی به مقررات موجود بستگی به اثر فلزات سنگین بر روی فرایند تجزیه مواد آلی و یا حضور ملکول های آلی موجود در فرایند حذف فلزات سنگین خواهد داشت.

روشهای بسیاری مانند تصفیه با لجن حاوی میکرواورگانیزم (Xing et al., 1997)، تجزیه بیولوژیکی (Sebuktekin et al., 1987 و Kochar and Kahlon, 1995) تصفیه به وسیله اوزن (Prado et al., 1994) و تصفیه به وسیله تشعشع اشعه ماورای بنفش (Trillas et al., 1996) و Wang et al., 2001) ممکن است برای حذف یا تجزیه ترکیبات آلی کلره وجود داشته باشد که البته بازده بسیاری از این روشها وقتی که آلاینده آلی کلره در حضور یون های فلزات سنگین وجود داشته باشد به دلیل تشکیل کمپلکس بین فلز و مواد آلی کاهش می یابد. روشهای متعددی نیز برای بازیافت و حذف یون های فلزی وجود دارد، از قبیل رسوب شیمیایی (Baltpuvins et al., 1996)، استخراج به وسیله حلال (Moriya et al., 1996 و Nasu et al., 1998)، تبادل یونی (Cerjanstefanovic et al., 1996 و Kim et al., 2001)، سیمانی شدن (Kanzelmeyer and Adams, 1996) جداسازی غشایی (Zaghloul et al., 1996)، جداسازی غشای مایع (Ogutvern et al., 1997)، اسمز معکوس (Paugam and Buffle, 1998) و الکترولیز (Cambell et al., 1994). ولی در عمل همه این موارد وقتی که حذف مواد آلی مدنظر باشد محدودیت هایی دارند.

دما در محفظه واکنش حدود ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتیگراد نگهداری می‌گردد و به وسیله عبور آب از قسمت شیشه‌ای (I) که اطراف لامپ ماورای بنفش قرار دارد کنترل می‌شود. آثار تشعشع UV، PH و یون‌های مس، پراکسید هیدروژن، TiO_2 روی تجزیه 2,4-D مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. سیستم الکتروشیمیایی استفاده شده (قسمت Z شکل ۱) شامل محفظه الکترولیز (J) با ظرفیت $1/5 dm^3$ بود که مایع موردنظر برای تصفیه از مخزن ذخیره (C) از طریق ورودی (D) وارد و از طریق خروجی (K) به مخزن ذخیره برگشت داده شد. دبی جریان ($15 dm^3 min^{-1}$) به وسیله شیر ۲ قابل تنظیم بود. سل شامل آندهای اکسید فلزی با تیتانیوم پوشش داده شده بود و صفحه استیل ضدزنگ به عنوان کاتد (M) بود. آثار 2,4-D روی رسوب مس در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت.

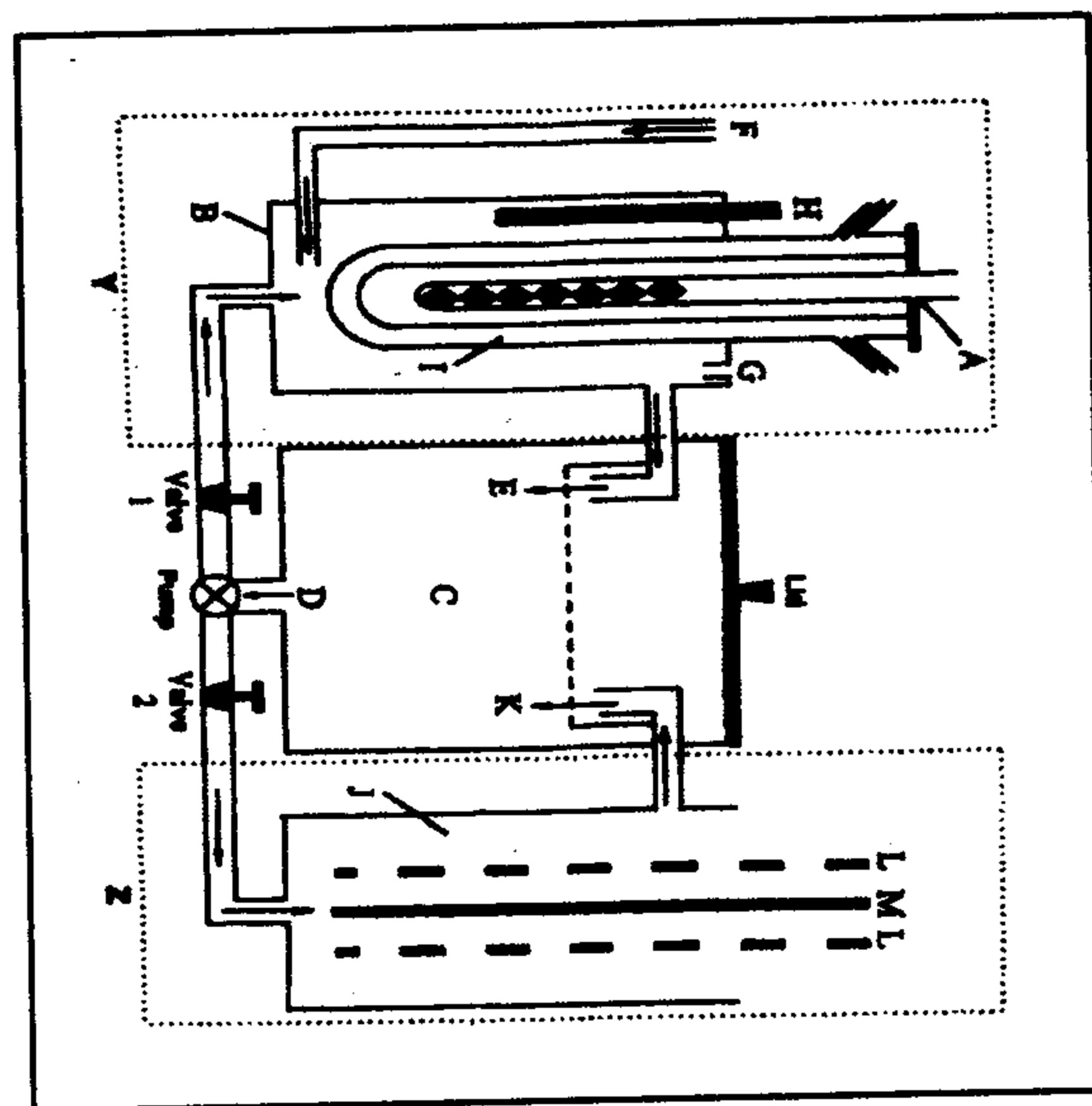
سیستم ترکیبی تشعشع اشعه ماورای بنفش و سیستم الکتروشیمیایی برای تجزیه 2,4-D و حذف و بازیافت مس در شکل (۱) نشان داده شده است. فرآیند الکتروشیمیایی با جریان مستقیم $1/100$ آمپر انجام شد. نمونه‌ها به طور متناوب از مخزن ذخیره برای تعیین میزان یون‌های فلزی و 2,4-D برداشت گردید. محلول‌ها ($10 dm^3$) که شامل غلظت مشخص مس و 2,4-D بود به وسیله حل کردن $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ و 2,4-D در آب مقطر تهیه شده بود.

اسیدسولفوریک و هیدروکسید سدیم به عنوان تنظیم کننده pH محلول مورد استفاده قرار گرفت. آنالیز مس به وسیله جذب اتمی و برای تعیین غلظت 2,4-D از اسپکتروفتومتری نوری و اندازه‌گیر کل کربن آلی TOC و HPLC استفاده شد. HPLC مورد استفاده برای آنالیز 2,4-D Cecil مدل ۱۲۰۰ بود که مجهز به آشکارساز جذب ماورای بنفش اتصال یافته به یک پمپ مدل Gilson 303 شده بود. اندازه‌گیری در طول موج ۲۴۰ نانومتر انجام گردید، به طوری که از یک ستون YMCpro-C18, $5\mu m$, $250 \times 3mm$ با ۸۰٪ متانول و ۲۰٪ محلول بافر pH=۳ به عنوان فاز متحرک استفاده شد.

در این پروژه اثر یون‌های مس روی تجزیه تشعشعی 2,4-D و همچنین اثر 2,4-D روی بازیافت الکترولیت مس در فاضلاب مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و نوعی سیستم ترکیبی فتولیتیک و الکترولیتی برای حذف همزمان مس و تجزیه 2,4-D برای دستیابی به یک تصفیه نسبتاً کامل معرفی خواهد شد.

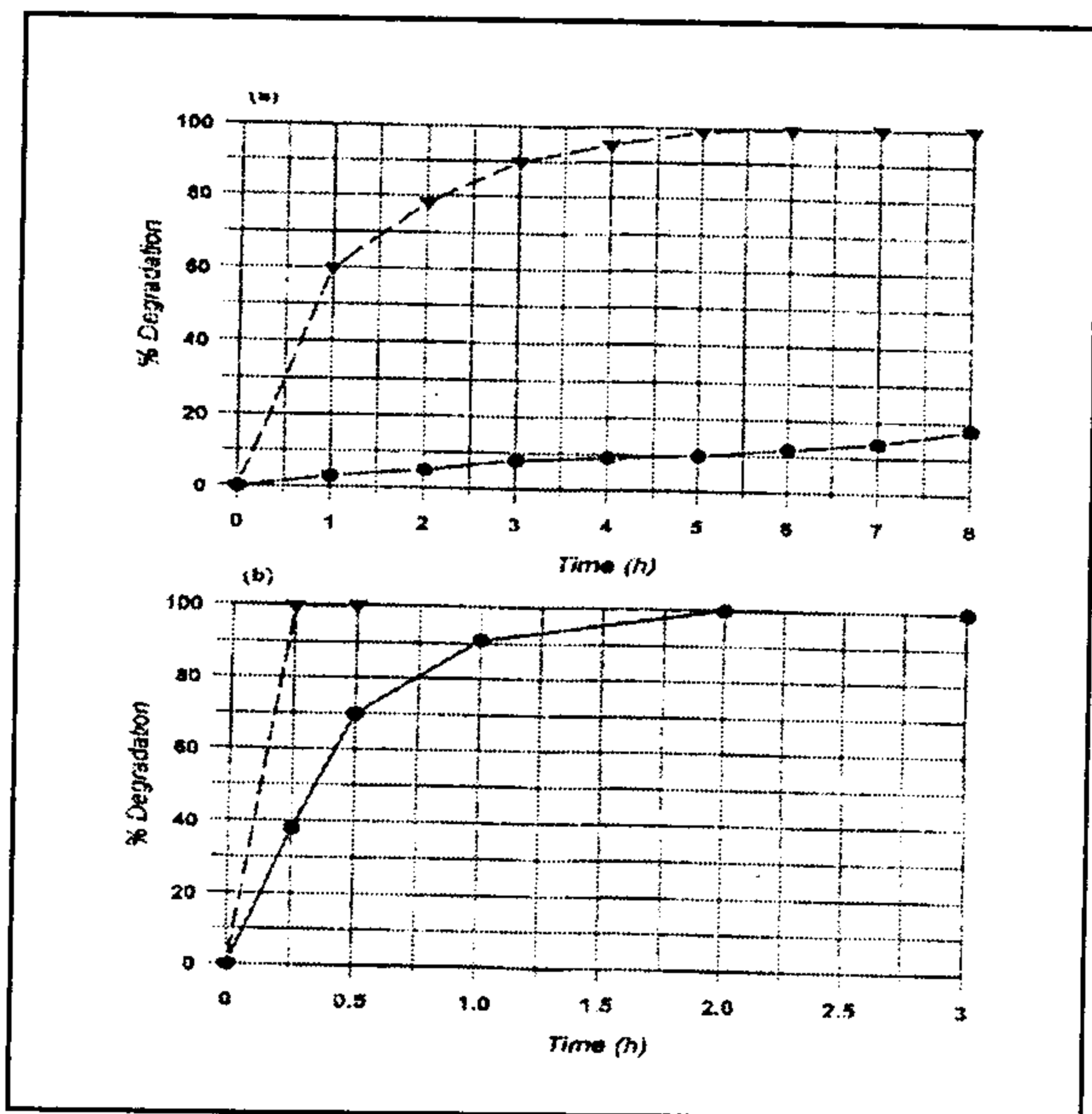
روش کار

در این مطالعه آزمایش‌هایی به وسیله سه سیستم مختلف انجام شده است که عبارتند از: ۱- سیستم تشعشع نوری (ماورای بنفش)، ۲- سیستم الکتروشیمیایی و ۳- سیستم ترکیبی شامل روشهای الکتروشیمیایی و نوری (شکل شماره ۱).



شکل شماره (۱): شمای سیستم بازیافت همزمان مس و تجزیه 2,4-D

روش تشعشع نوری (قسمت Y شکل ۱) شامل لامپ ماورای بنفش (A) است که در اطراف محفظه واکنش یا راکتور (B) با ظرفیت $3/5 dm^3$ قرار دارد. مایع از قسمت مخزن ذخیره (C) از طریق مجرای ورودی (D) وارد شده و از طریق خروجی (E) به مخزن برگشت داده می‌شود. دبی مخزن مایع، $1 dm^3 min^{-1}$ می‌باشد که به وسیله شیر شماره یک قابل کنترل است. هوا به منزله اکسیدکننده در سیستم فتولیز از طریق ورودی (E) وارد و از طریق خروجی (G) خارج می‌شود. دمای سیستم از طریق ترموکوپل دیجیتال (H) اندازه‌گیری می‌شود.



شکل شماره (۲): اثر منبع تشعشع UV روی تجزیه 2,4-D

(a) در غیاب آب اکسیژنه (b) در حضور آب اکسیژنه

Δ لامپ ۴۰۰ وات UV

● لامپ ۱۵۰ وات UV

اثر درصد یون های مس روی تجزیه 2,4-D در pH معادل ۳/۵ و با غلظت مس از 100 mg dm^{-3} تا 500 mg dm^{-3} در جدول شماره (۱) نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که افزودن یون های مس سبب کاهش میزان تجزیه 2,4-D می گردد و معدنی شدن کامل با لامپ ماورای بنفش ۴۰۰ وات قابل دسترسی نمی باشد، در صورتی که درصد تجزیه بدون حضور مس بعد از ۳ ساعت ۶۳/۴٪ بود و این تجزیه در حضور $500-100 \text{ mg dm}^{-3}$ یون مس، به ترتیب به ۵۰/۶٪ و ۳۴/۵٪ می باشد. نتایج بعد از ۸ ساعت به ترتیب برابر ۹۹/۹٪، ۸۶٪ و ۵۹٪ بوده است. این کاهش در درصد تجزیه 2,4-D احتمالاً به دلیل تشکیل کمپلکس بین مس و مواد آلی است و نتایج بیانگر این است که سیستم فتولیز به تنهایی نمی تواند برای از بین بردن مواد آلی در حضور یون های مس و در غیاب کاتالیست استفاده گردد.

کاهش در میزان تجزیه 2,4-D در حضور مس به مقدار زیادی به وسیله افزودن پراکسید هیدروژن، یا دی اکسید تیتانیوم (1 g dm^{-3}) به عنوان کاتالیست برطرف می گردد (جدول شماره ۲).

نتایج و بحث

سیستم فتولیز

pH محلول هایی که شامل 50 mg dm^{-3} از 2,4-D برابر ۳/۵ می باشند که مجموعه ای از آزمایش ها در pH معادل ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ برای بررسی اثر pH روی میزان تجزیه 2,4-D انجام گرفت. نتایج نشان داد که اگرچه میزان تجزیه با کاهش pH از ۳/۵ به ۲/۵ افزایش می یابد، این مزیت در کاهش بعدی pH به ۱/۵ حاصل نشد. افزایش pH از ۳/۵ به ۴/۵ یک مقدار کاهش در میزان تجزیه را ابتدا نشان می دهد، اما بعد از ۸ ساعت در همه pH ها، ۹۹/۹٪ تجزیه قابل مشاهده است. بنابراین همه مطالعات بعدی در pH معادل ۳/۵ انجام شده است.

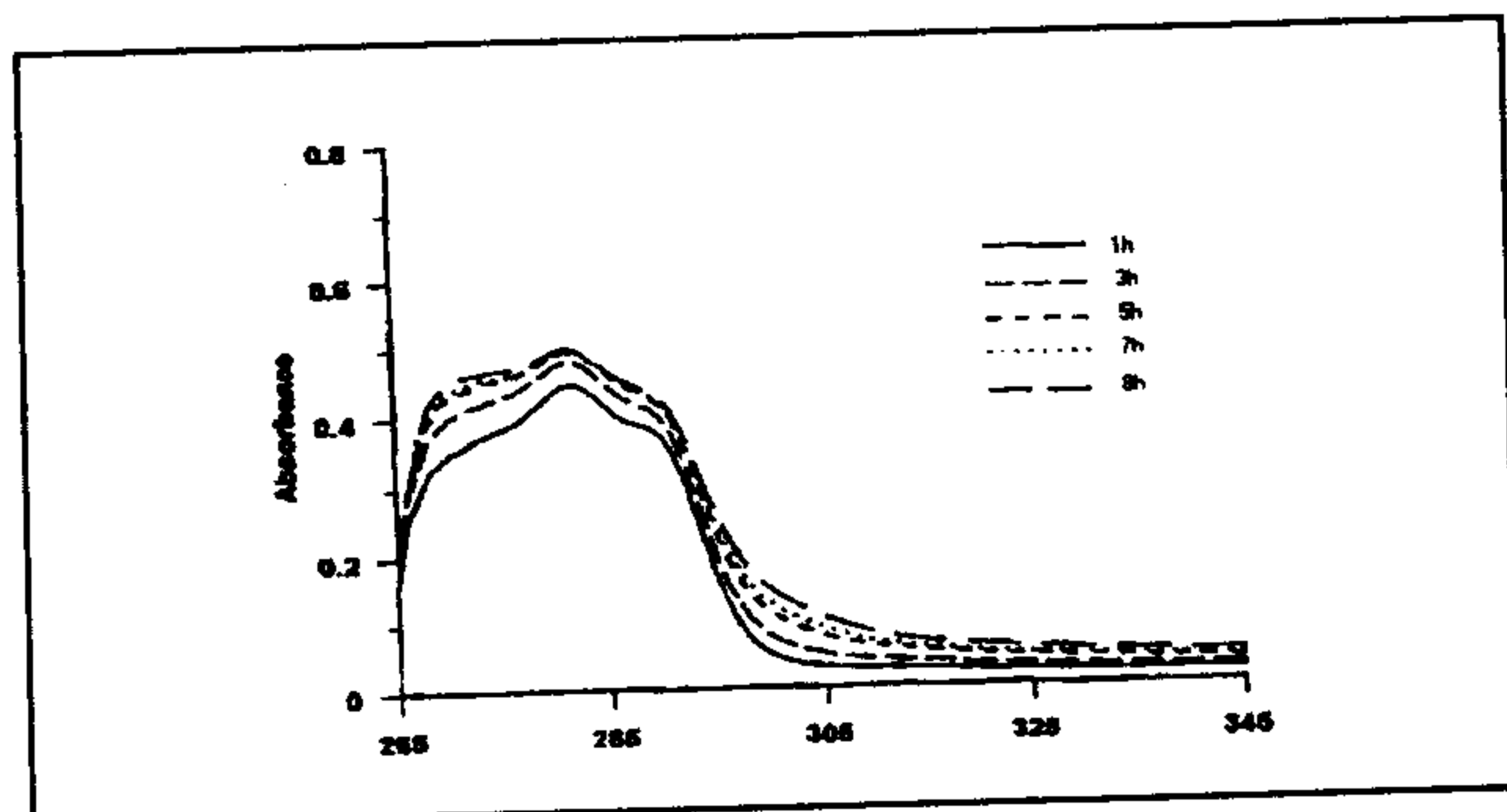
مشابه همین آزمایش ها برای بررسی اثر لامپ ۱۵۰ و ۴۰۰ وات ماورای بنفش روی تجزیه 2,4-D با استفاده از سیستم فتولیز در pH معادل ۳/۵ انجام شد. نتایج نشان داد که با لامپ ۱۵۰ وات ماورای بنفش درصد تجزیه 2,4-D بعد از یک ساعت فقط ۳٪ بود، در حالی که با استفاده از لامپ ۴۰۰ وات درصد تجزیه ۶۰٪ بوده است و درصد تجزیه برای موارد مشابه بعد از ۸ ساعت به ترتیب معادل ۱۹٪ و ۹۹/۹٪ بوده است (شکل شماره ۲-a).

افزودن 5 dm^3 پراکسید هیدروژن به عنوان یک اکسیدکننده سبب افزایش میزان تجزیه 2,4-D شده و معدنی شدن ماده را بعد از ۱۵ و ۱۲۰ دقیقه، با استفاده از لامپ ۴۰۰ و ۱۵۰ وات ماورای بنفش تکمیل می کند (شکل شماره ۲-b). این نتایج بیانگر آن است که برای دستیابی به تجزیه با لامپ توان پایین نیاز به یک اکسیدکننده ضروری می باشد.

تجزیه فتولیزی مواد آلی سبب تولید مواد بینابینی مختلفی می شود که در این تحقیق دو ماده بینابینی ۲ و ۴ دی کلروفنول و فنول قبل از معدنی شدن کامل در نتیجه تجزیه 2,4-D شناسایی شده است. نتایج HPLC نشان داد که غلظت های بالاتر این دو ماده بینابینی، وقتی که از لامپ ۱۵۰ وات ماورای بنفش استفاده می شود در مقایسه با حالتی که از لامپ ۴۰۰ وات استفاده می شود بیشتر است. با استفاده از لامپ ۱۵۰ وات ماورای بنفش، غلظت فنول و ۲ و ۴ دی کلروفنول بعد از ۵ ساعت به ترتیب ۱۴٪ و ۴٪ بوده است و مقادیر مربوط به لامپ ماورای بنفش ۴۰۰ وات به ترتیب ۳/۵٪ و ۱٪ می باشد.

مس با ۲٪ تجزیه 2,4-D بعد از ۸ ساعت قابل دسترسی می‌باشد (جدول شماره ۳ و شکل شماره ۳). بعلاوه یافته‌ها نشان داد که استفاده از پراکسید هیدروژن به عنوان یک اکسیدکننده، یا TiO_2 به عنوان یک کاتالیست هتروژنوس اثر بسیار کمی روی اکسیداسیون آندی 2,4-D دارند. به هر حال بازیافت مس در حضور پراکسید هیدروژن افزایش خواهد یافت اما افزودن TiO_2 سبب کاهش بازیافت مس خواهد گردید (جدول شماره ۳).

اثر 50 mg dm^{-3} از 2,4-D روی درصد بازیافت مس در pH معادل ۳/۵ و با غلظت مس 500 mg dm^{-3} و 100 mg dm^{-3} در (جدول شماره ۴) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بازیافت مس در حضور 2,4-D کاهش خواهد یافت که این کاهش می‌تواند با نقل و انتقال متفاوت مس هیدراته شده و یونهای مس کمپلکس شده، تحت تأثیر میدان الکتریکی همراه باشد.



شکل شماره (۳): اکسیداسیون آندی 2,4-D با استفاده از یک سیستم الکتروشیمیایی

جدول شماره (۳): اثر H_2O_2 و TiO_2 روی درصد کاهش 2,4-D و بازیافت مس با استفاده از سیستم الکتروشیمیایی

درصد بازیافت مس و تجزیه 2,4-D						
TiO_2		H_2O_2		بدون کاتالیست		
2,4-D	مس	2,4-D	مس	2,4-D	مس	زمان ماند (ساعت)
۰/۸	۱۶/۱	۱/۱	۲۷/۶	۰/۶	۱۷/۲	۱
۱	۲۸/۴	۲/۸	۴۸/۲	۱/۴	۳۵/۶	۳
۱	۳۹/۱	۳/۸	۶۴/۱	۲	۵۴/۸	۵
۱	۵۰/۴	۴	۸۵/۴	۲	۷۳/۶	۷
۱	۵۶/۲	۴	۵۹/۱	۲	۸۱/۰۲	۸

جدول شماره (۱): اثر یون های مس روی تجزیه 2,4-D

به وسیله تشعشع UV

درصد تجزیه 2,4-D			
در حضور مس (500 mg dm^{-3})	در حضور مس (100 mg dm^{-3})	در غیاب مس	زمان ماند (ساعت)
۱۲/۲	۱۹/۳	۳۲/۱	۱
۳۴/۵	۵۰/۶	۶۳/۴	۳
۳۷/۱	۶۶/۷	۸۵/۶	۵
۵۰/۲	۸۱/۲	۹۶/۲	۷
۵۹	۸۶	۹۹/۹	۸

جدول شماره (۲): اثر H_2O_2 و TiO_2 بر تجزیه 2,4-D در غیاب و حضور یون های مس با استفاده از سیستم تشعشع UV

درصد تجزیه 2,4-D				
TiO_2 (1 g dm^{-3})		H_2O_2 ($5 \text{ cm}^3 \text{ dm}^{-3}$)		زمان ماند (ساعت)
در حضور مس (500 mg dm^{-3})	در غیاب مس	در حضور مس (500 mg dm^{-3})	در غیاب مس	
۴۶/۱	۷۰/۲	۸۱/۴	۸۹/۲	۱
۶۰/۳	۹۰/۷	۹۴/۲	۹۹/۱	۳
۹۹/۲	۹۹/۹	۹۶/۴	۹۹/۹	۵
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۹/۹	۹۹/۹	۷
۹۹/۹	۹۹/۹	۹۹/۹	۹۹/۹	۸

سیستم الکتروشیمیایی

سل الکتروشیمیایی می‌تواند برای بازیافت فلز و همچنین اکسیداسیون آندی آلاینده‌های آلی استفاده شود. مهمترین واکنش مداخله کننده طی رسوب فلز در سطح کاتد، تولید گاز هیدروژن است و لیکن می‌تواند با تنظیم pH محلول کنترل گردد. البته در بعضی از موارد، pH محلول باید برای دستیابی به بالاترین درصد بازیافت یون های فلزی، ثابت باقی بماند. رسوب مس تقریباً مستقل از pH در محدوده ۱/۵ تا ۴/۵ و بازیافت کامل آن بعد از ۸ ساعت قابل دستیابی است.

مجموعه‌ای از آزمایش‌ها با استفاده از سیستم الکتروشیمیایی برای رسوب یون های مس روی سطح کاتد و اکسیداسیون 2,4-D در آند انجام شد. محلول استفاده شده شامل 100 mg dm^{-3} مس و 50 mg dm^{-3} از 2,4-D و آزمایش‌ها در pH معادل ۳/۵ انجام شد. نتایج نشان داد که ۸۱/۲٪ بازیافت

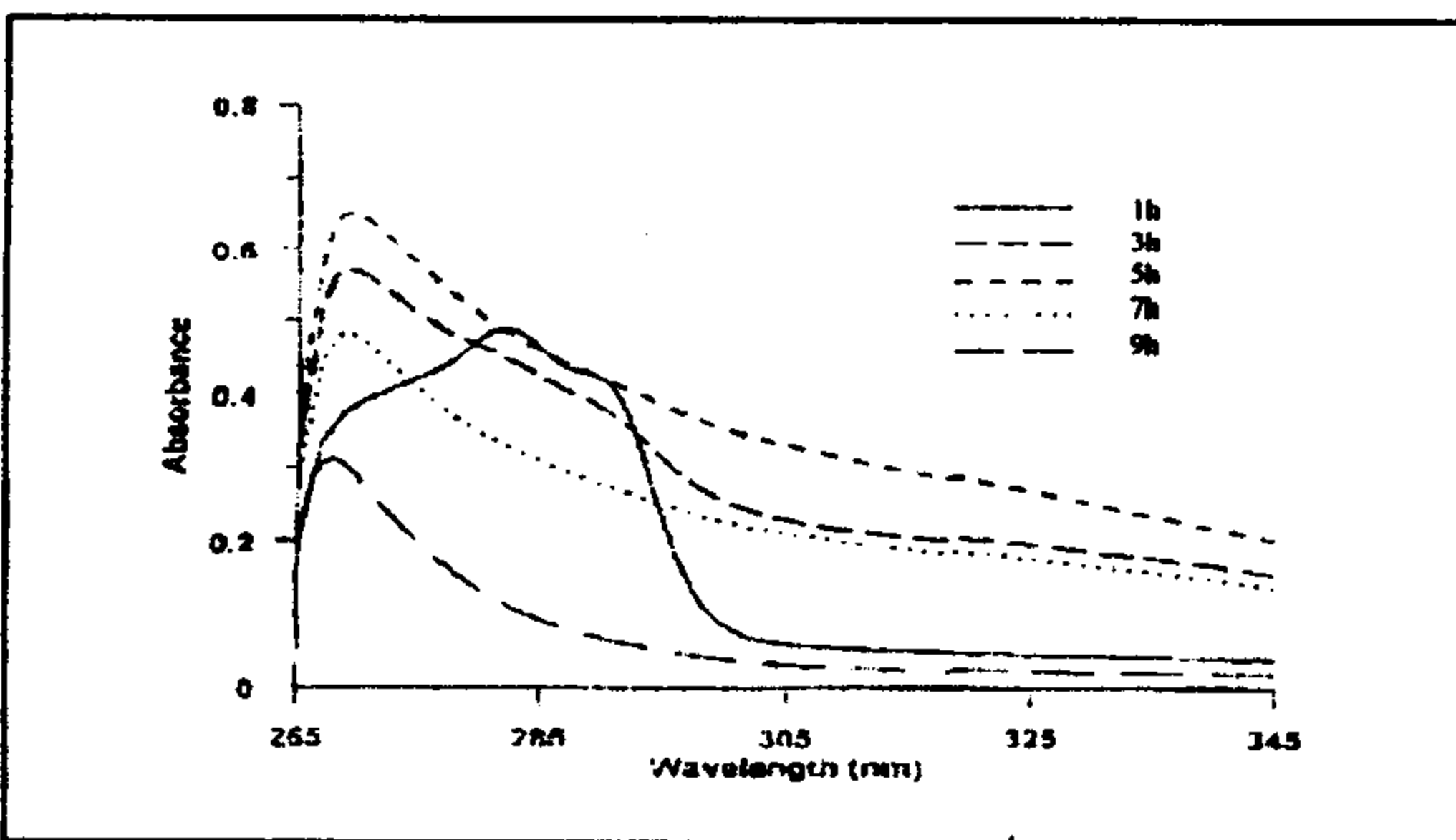
جدول شماره (۵): اثر H_2O_2 و TiO_2 روی درصد تجزیه 2,4-D و درصد بازیافت مس با استفاده از سیستم ترکیبی

تشعشع UV و الکتروشیمیایی

درصد بازیافت مس و تجزیه 2,4-D						
TiO_2		H_2O_2		بدون کاتالیست		زمان ماند (ساعت)
2,4-D	مس	2,4-D	مس	2,4-D	مس	
۲۷/۵	۱۱/۳	۳۹/۸	۲۲/۰	۱۱/۵	۱۲/۱	۱
۶۰/۳	۲۰/۵	۷۰/۵	۳۴/۷	۲۳/۰	۲۹/۴	۳
۸۵/۷	۳۲/۹	۹۰/۶	۵۹/۲	۴۲/۹	۵۰/۱	۵
۹۵/۱	۴۵/۲	۹۵/۰	۷۴/۳	۷۵/۸	۷۱/۴	۷
۹۹/۹	۵۱/۷	۹۹	۸۱	۹۲	۷۹/۷	۸

جدول شماره (۴): اثر 2,4-D روی درصد بازیافت مس با استفاده از سیستم الکتروشیمیایی

در حضور 2,4-D		در غیاب 2,4-D		
Cu (50 mg dm^{-3})	Cu (100 mg dm^{-3})	Cu (50 mg dm^{-3})	Cu (100 mg dm^{-3})	زمان ماند (ساعت)
۲۲/۵	۱۷/۲	۴۴/۳	۵۰/۱	۱
۴۶/۱	۳۵/۶	۶۳/۵	۷۴/۴	۳
۵۸/۳	۵۴/۸	۷۷/۱	۸۷/۷	۵
۶۶/۲	۷۳/۶	۸۵/۶	۹۳/۹	۷
۷۱/۱	۸۱/۰۲	۸۹/۴	۹۸/۹	۸



شکل شماره (۴): تجزیه 2,4-D با استفاده از یک سیستم ترکیبی تشعشع UV و الکتروشیمیایی

وسیله یک کاتد الکتروشیمیایی کربن فعال به جای کاتد استاندارد قابل دستیابی باشد (Dando, 1995). نتایج درصد تجزیه 2,4-D و بازیافت مس محلول حاوی 50 mg dm^{-3} از 2,4-D و 100 mg dm^{-3} مس با استفاده از یک کاتد کربن فعال در سیستم ترکیبی تشعشعی و الکتروشیمیایی در جدول شماره (۶) نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که سیستم کربن فعال بتنهایی یا در ترکیب با نوعی سیستم تشعشعی قادر خواهد بود که کل 2,4-D را تجزیه کند و این مورد در همان زمان حذف مس از جریان مخلوط فاضلاب اتفاق می افتد (شکل شماره ۵ و ۶)، هدف از استفاده مواد جاذب، افزایش

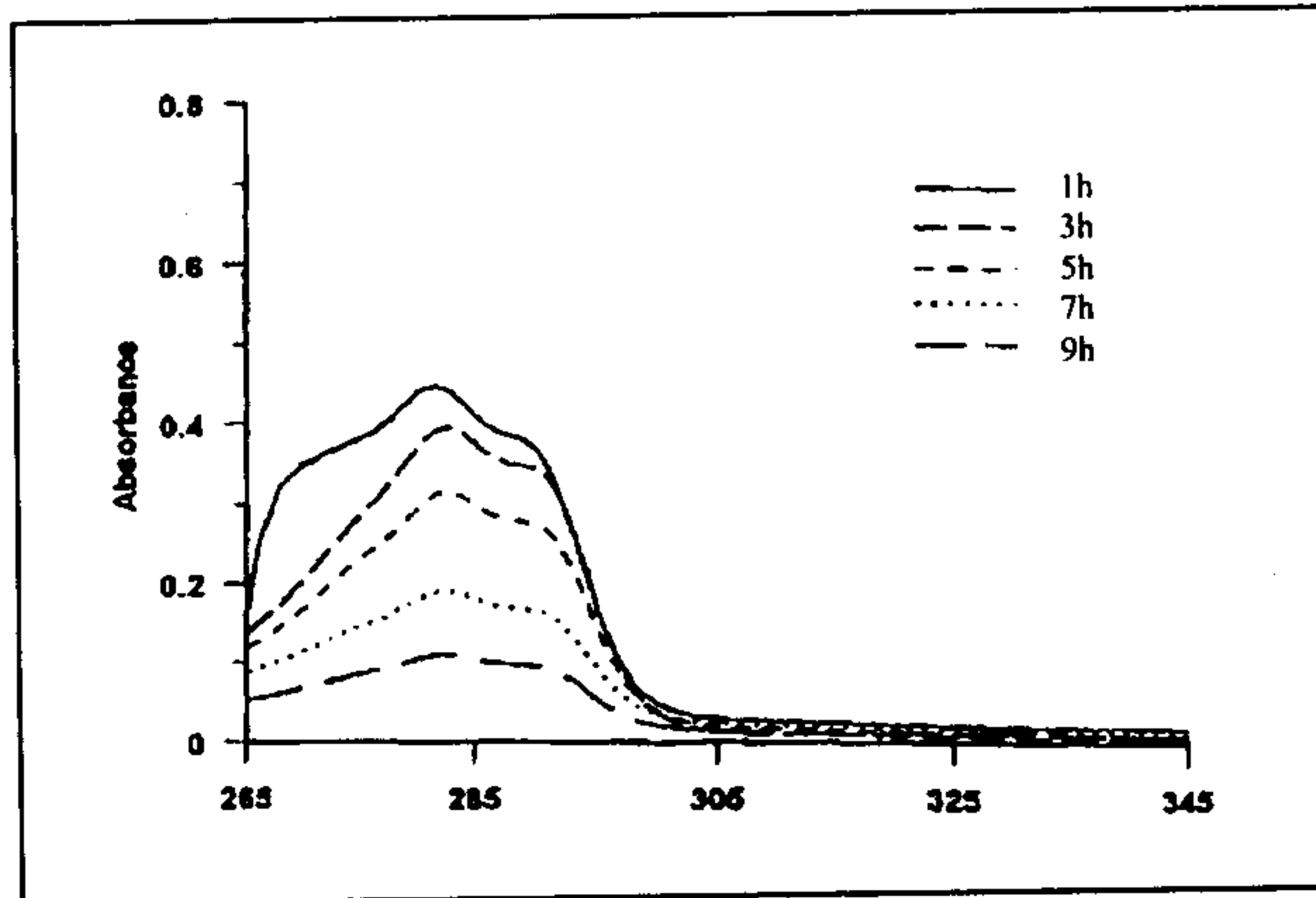
ترکیب سیستم تشعشعی و الکتروشیمیایی

نتایج سیستم های تشعشعی و الکتروشیمیایی به طور جداگانه مبین این است که ترکیب سیستم تشعشعی و الکتروشیمیایی برای دستیابی همزمان تجزیه مواد آلی و بازیافت فلزات سنگین ضروری است.

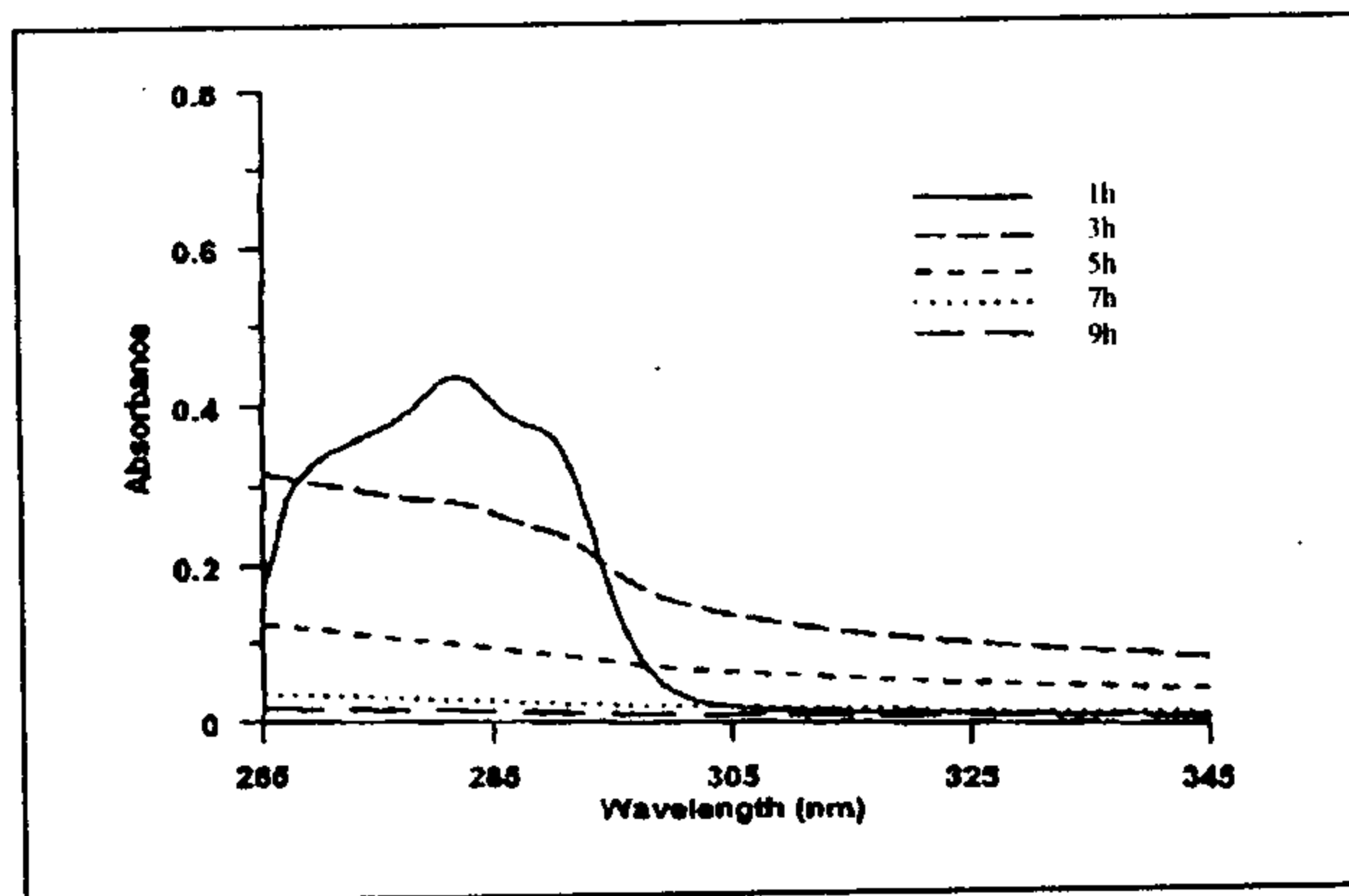
در حضور یون های مس ۹۲٪ تجزیه 2,4-D و ۷۹/۷٪ بازیافت مس بعد از ۸ ساعت در سیستم ترکیبی در pH معادل ۳/۵ قابل دسترسی است (جدول شماره ۵ و شکل شماره ۴). بعلاوه پراکسید هیدروژن ($5 \text{ cm}^3 \text{ dm}^{-3}$) سبب افزایش میزان تجزیه 2,4-D می گردد و البته افزایش کمی در درصد بازیافت مس دارد که بعد از ۸ ساعت، ۹۹٪ از 2,4-D تجزیه شده و ۸۱٪ مس بازیافت می شود. افزایش در تجزیه 2,4-D با بازیافت مداوم مس در سطح کاتد همراه است که در نهایت سبب کاهش اثر روی اکسیداسیون تشعشعی می شود (جدول شماره ۵). TiO_2 به منزله یک کاتالیست هتروژنوس سبب افزایش تجزیه 2,4-D می گردد، اما سبب کاهش بازیافت مس نیز خواهد شد. تجزیه کامل 2,4-D در حضور TiO_2 قابل دسترسی است و لیکن فقط ۵۱/۷٪ مس در همان شرایط قابل بازیافت می باشد (جدول شماره ۵).

سیستم ترکیبی همراه با کربن فعال

تجزیه همزمان 2,4-D و بازیافت مس می تواند همچنین به



شکل شماره (۵): تجزیه 2,4-D با استفاده از یک سیستم الکتروشیمیایی کربن فعال



شکل شماره (۶): تجزیه 2,4-D با استفاده از یک سیستم ترکیبی تشعشع UV و الکتروشیمیایی کربن فعال

منابع مورد استفاده

Alloway, B. J. and Ayres, D. C. 1997. Chemical Principles of Environmental Pollution, 2nd edition, London: Blackie Academic and professional.

Baltpuvins, K. A. et al. 1996. Heavy metals in waste water: Modelling the hydroxide precipitation of copper (II) from waste water using lime as the precipitant. Waste Management. 16: 717-725.

Cambell, D. A. et al. 1994. The electrochemical recovery of metals from effluent and process streams. Resources Conservation and Recycling. 10: 25-33.

یون های مس نزدیک سطح کاتد می باشد که سبب افزایش بازده حذف فلزی خواهند شد. این سیستم سه مزیت خواهد داشت: ۱- بازیابی کربن فعال در این سیستم اتفاق می افتد که به دلیل تولید یون های H_3O^+ در سطح آند می باشد. ۲- اثر مواد کربن فعال مستقل از pH محلول است و بازیافت مس و تجزیه 2,4-D در هر pH قابل دستیابی است. ۳- تصفیه کامل با سرعت و بدون افزودن اکسیدکننده یا کاتالیست قابل دستیابی است.

نتیجه گیری

تصفیه فاضلاب های مخلوط صنعتی که حاوی ترکیبات آلی بخصوص 2,4-D و فلزات سنگین می باشند همواره با مشکلات متعددی مواجه است، زیرا حضور یون های فلزی در این نوع فاضلاب ها سبب کاهش تجزیه ترکیبات آلی در روشهای مرسوم می گردد و از طرفی حضور ترکیبات آلی بازیافت فلزات را کاهش می دهد.

نتایج این تحقیق نشان داد که سل الکتروشیمیایی، بتهایی برای بازیافت مس می تواند استفاده گردد ولی برای اکسیداسیون آندی 2,4-D مفید نمی باشد. به عبارت دیگر استفاده از یک سیستم تشعشع ماورای بنفش بتهایی برای تجزیه 2,4-D مفید است ولی یون های مس را در محلول باقی می گذارد. استفاده از سیستم ترکیبی تشعشع ماورای بنفش و الکتروشیمیایی می تواند منجر به تجزیه 2,4-D و بازیافت مس گردد و زمانی که از کاتد کربن فعال در این سیستم ترکیبی استفاده شود، بازده تجزیه 2,4-D و حذف مس افزایش خواهد یافت.

جدول شماره (۶): تجزیه 2,4-D و بازیافت مس با استفاده

از سیستم الکتروشیمیایی کربن فعال و سیستم تشعشع UV

درصد بازیافت مس و تجزیه 2,4-D				
سیستم ترکیبی تشعشع UV و الکتروشیمیایی همراه کربن فعال		سیستم کربن فعال		
2,4-D	مس	2,4-D	مس	زمان ماند(ساعت)
۶۱/۱	۱۶/۵	۱۲/۲	۱۴/۳	۱
۸۹/۷	۳۷/۰	۳۶/۷	۳۶/۱	۳
۹۷/۴	۵۸/۳	۵۷/۱	۶۳/۵	۵
۹۹/۹	۷۹/۲	۶۵/۴	۷۶/۶	۷
۹۹/۹	۹۰	۷۰/۴	۸۲/۱	۸

- Cavalier, T. C. et al. 1991. Persistence of selected pesticides in ground-water samples, *Ground Water*, 29: 225-231.
- Cerjanstefanovic, S. et al. 1996. Separation of copper, nickel, tin and lead by ion exchange from plating rinsewater. *Plating and Surface Finishing*. 83: 74-79.
- Chai, X. J. 1997. Pilot scale membrane separation of electroplating waste water by reverse osmosis. *J. Membrane Sci.* 123: 235-242.
- Chamarro, E. and Esplagas. S. 1993. Photo decomposition of 2,4-dichlorophenoxy acetic acid influence of PH, *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 57: 273-279.
- Dando, S.O.V. 1995. The Removal of Metals and Effluent Control Using Electrolytic Techniques. Ph.D. Thesis, Department of Chemistry, Brunel University.
- Kanzelmeyer, T. J., Adams, C. D. 1996. Removal of copper from a metal-complex dye by oxidative pretreatment and ion exchange. *Water Environ. Res.* 68: 222-228.
- Kim, S. J. et al. 2001. Simultaneous removal and recovery of cadmium and cyanide ions in synthetic waste water by ion exchange, *Korean Journal of Chemical Engineering*. 18(5): 686-691.
- Kochar, G. S. and Kahlon, R. S. 1995. Degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) by immobilised cells or pseudomonas-Putida. *J. Gen. Appl. Microbiol.* 41:367-370.
- Moriya, Y. et al. 1996. Solvent extraction of copper(II) with 1-adamantanecarboxylic in benzene., *Anal. Sci.* 12: 511-513.
- Nasu, A. et al. 1998. Solvent extraction of copper I) and copper (II) from aqueous halide solutions with tetrabutylammonium ions into chloroform. *Bull. Chem. Soc. Japan.* 71: 2141-2148.
- Ogutvern, U. B. et al. 1997. Electrodialysis for the removal of copper ions from waste water., *J. Environ. Sci. Health-A.* 32(3): 749-761.
- Paugam, M. F. Buffle, J. 1998. Comparison of carrier-facilitated copper(II) ion transport mechanisms in a supported liquid membrane and in a plasticized cellulose triacetate membrane., *J. of Membrane Sci.* 147: 207-215.
- Prado, J. et al. 1994. Degradation of 2,4-D by ozone and light. *Ozone Sci. Eng.* 16: 234-245.
- Sebuktekin, I. et al. 1987. Effects of mercury on the degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) by new pseudomonas isolates. *Abst. Papers Acs:* 194-276.
- Trillas, M. et al. 1993. Photo-oxidation of phenoxyacetic acid by TiO₂- illuminated catalyst. *Appl. Cata. B. Environ.* 3: 45-53.
- Trillas, M. et al. 1996. Photolysed degradation of phenol, 2,4-dichlorophenol, phenoxyacetic acid and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid over supported TiO₂ in a flow system. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 67: 237-242.
- Wang, G.C. et al. 2001. Catalyzed UV oxidation of organic pollutants in biologically treated waste water effluent, *Science of the Total Environment*, 277(1-3): 87-94.
- Xing, H. 1997. Enhanced degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid by activated sludge in sequentially arrayed bioreactor. *J. Chem. Eng. Japan.* 30: 347-349.
- Zaghloul, A. A. et al. 1996. Kinetic study of cementation of copper on zinc metal in ethanol-water mixtures. *J. Mater. Sci. Technol.* 12: 41-45.