

## بررسی سینتیک فرآیند لجن فعال تلفیقی با اکسیداسیون فنتون برای حذف ۲، ۴، ۶

### تری کلروفنل

دکتر مهرداد فرخی\* - دکتر علی رضا مصداقی نیا\*\*

\* استادیار گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گیلان  
\*\* استادگروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۸۲/۵/۲۶

تاریخ پذیرش: ۸۳/۴/۲۶

#### چکیده

مقدمه: ۶،۴،۲ تری کلروفنل یکی از سمی‌ترین، کلروفنل‌ها بوده و تجزیه‌پذیری بیولوژیک آن بسیار دشوار می‌باشد. استفاده از فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته هر چند که موجب تجزیه کلروفنل‌ها می‌گردند، ولی تجزیه کامل و معدنی شدن آن نیاز به غلظت بالای ماده اکسیدکننده و زمان واکنش طولانی دارد. هدف: تلفیق فرایند اکسیداسیون فنتون با فرایند لجن فعال به عنوان روشی موثر و در عین حال اقتصادی برای تجزیه ۶،۴،۲ تری کلروفنل تعیین و بررسی ثابت‌های سینتیکی لجن فعال در این سیستم تلفیقی بررسی گردید. مواد و روش‌ها: این مطالعه در مقیاس پیلوت و بر روی فاضلاب مصنوعی صورت گرفت و کلیه آزمایشات مطابق با روش‌های موجود در چاپ نوزدهم کتاب استاندارد متد انجام گردید.

نتایج: این مطالعه نشان داد که ترکیبات واسطه تولیدی ناشی از اکسیداسیون فنتون TCP با غلظت اولیه ۱۲۰ mg/L و COD معادل ۱۵۰ mg/L در شرایط  $[H_2O_2]/[Fe^{2+}] = 3$ ،  $[H_2O_2]/[TCP] = 3$ ، زمان اکسیداسیون ۱ ساعت و  $pH = 3$ ، توسط فرایند لجن فعال به میزان تقریباً ۷۵٪ درصد حذف می‌گردند، افزایش زمان هوادهی از ۱۲ ساعت به ۱۸ ساعت تأثیری در افزایش کارایی سیستم نداشت ( $\alpha = 0.01$ )، افزایش غلظت MLVSS از ۲۰۰ mg/L به ۸۰۰ mg/L پس از ۲۱ روز نشان داد که رشد میکروبی تحت تأثیر غلظت TCP خروجی از راکتور اکسیداسیون قرار نگرفته است. افزایش غلظت TCP از ۱۲۰ mg/L به ۲۴۰ mg/L گرچه موجب بهبود کارایی حذف فرایند لجن فعال نگردید ولی با کاهش ۴ درصدی در حذف COD پایداری سیستم حفظ گردید.

با بررسی سینتیک فرایند لجن فعال در این سیستم تلفیقی  $K_s = 109 \text{ mg/L}$ ،  $y = 0.66 \text{ mg/mg}$ ،  $K_d = 0.088 \text{ day}^{-1}$ ،  $K = 2.04 \text{ day}^{-1}$  بدست آمد. نتایج حاصل از افزایش زمان هوادهی، و غلظت تری کلروفنل به عنوان تنها منبع سوستر ورودی به سیستم تلفیقی با مدل موند قابل تفسیر نبود. نتیجه‌گیری: سیستم تلفیقی مورد مطالعه دارای کارایی خوبی در حذف تری کلروفنل می‌باشد و سینتیک فرایند لجن فعال در این سیستم تلفیقی با مدل موند قابل تفسیر نمی‌باشد.

کلید واژه‌ها: اکسیداسیون / حرکت شناسی / فاضلاب / کلروفنل‌ها

#### مقدمه

از گیاهان، جانوران یا میکروارگانیسم‌ها به تری کلروفنل متابولیزه شوند (۲).

۶،۴،۲ تری کلروفنل از فاضلاب‌های صنعتی مانند چوب و کاغذ، سم‌های کشاورزی، الوار، داروسازی، نظامی و ... وارد محیط شده و با نشت به آب‌های زیر زمینی ویا با شسته شدن خاک‌های آلوده، باعث آلودگی منابع آب می‌شوند (۳).

درسال‌های اخیر انجام مطالعه‌ها نشان داده است که ۶،۴،۲

۶،۴،۲ تری کلروفنل (2,4,6TCP) یکی از سمی‌ترین و در عین حال مقاوم‌ترین کلروفنل‌ها در برابر تجزیه بیولوژیکی است. و با توجه به همین دو خاصیت کاربردهای صنعتی مختلفی در آفت‌کش‌ها، گندزداها، حفظ چوب، چرم، فیبر و ... دارد همچنین به صورت محصول جانبی فرایند سفیدسازی در صنعت چوب و کاغذ و کلر زنی آب دارای فنل نیز تولید می‌شود (۱).

برخی سم‌ها مانند لیندان و هگزاکلروبنزن می‌توانند برخی

کارایی سیستم‌های در حال بهره‌برداری، بهینه‌سازی شرایط بهره‌برداری و همچنین پیش‌بینی رفتار سیستم تصفیه در هر حالتی از مدل‌های ریاضی استفاده می‌شود (۹).

توسعه الگوی ریاضی بر فرایند تصفیه بیولوژیک، بر روابط سینتیکی رشد میکروبی و روابط هیدرولیکی حاکم بر سیستم تصفیه استوار است، بنابراین برای توسعه یک الگوی مناسب بر سیستم تصفیه مانند لجن فعال و بویژه در فاضلاب‌های صنعتی، داشتن آگاهی‌های کافی در مورد سینتیک واکنش‌های بیولوژیک لازم است و یک الگو فقط زمانی قابل استناد خواهد بود که بر اساس اطلاعات معتبر در زمینه ثابت‌های سینتیکی و استوکیومتری، توسعه یافته باشد و این ثابت‌ها باید برای هر مدل اختصاصی باشند و مقادیرهای آن به صورت تجربی تعیین شود (۱۰).

در این مقاله ثابت‌های سینتیکی لجن فعال تلفیق شده با اکسیداسیون فنتون مورد بررسی قرار گرفته و ترکیب‌های بینابینی پدید آمده از اکسیداسیون  $6,4,2$  تری کلروفنل به عنوان تنها سویسترا، وارد آن می‌شد و نتیجه‌های بدست آمده با الگوی موناد - یکی از معتبرترین معادله‌های مربوط به تجزیه میکروبی - مقایسه شده است.

### مواد و روش‌ها

با توجه به نتیجه‌های بدست آمده از مرحله اکسیداسیون فنتون  $6,4,2$  تری کلروفنل در سیستم بسته، راکتور اکسیداسیون فنتون در سیستم پیوسته طراحی شده و به صورت ردیف با سیستم لجن فعال ترکیب شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفت. شرایط بهره‌برداری راکتور اکسیداسیون فنتون به شرح زیر است:

pH=3  
 $[H_2O_2]/[Fe^{2+}]=3$   
 $[H_2O_2]/[TCP]=3$   
 Oxidation Time=1hr

فاضلاب سنتتیک  $6,4,2$  تری کلروفنل با غلظت اولیه  $120 \text{ mg/L}$  و  $150 \text{ mg/L COD}$ ، به عنوان فاضلاب خام ورودی وارد سیستم تلفیقی می‌شد.

فاضلاب خام مصنوعی حاوی TCP  $6,4,2$  را در مخزن

تری کلروفنل می‌تواند باعث بروز بدخیمی در جوندگان شده و اختلال‌های کروموزومی بوجود آورد و نیز ارتباط معنی‌داری بین وقوع بدخیمی‌های خونی، لنفاوی و بافت نرم در انسان، با این ترکیب بدست آمده است (۴).

اثرات سمی و مخرب این ترکیب بر کبد، کلیه، دستگاه عصبی مرکزی و دستگاه تولید مثل، از سال‌های پیش دیده شده است. آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان این ترکیب را در گروه B2 طبقه‌بندی کرده است (۵).

با در نظر گرفتن محدودیت روش‌های بیولوژیک تصفیه فاضلاب‌های حاوی کلروفنل‌ها مانند کارایی بسیار پایین، نیاز به رقیق‌کردن غلظت‌های بالا، مدت زمان تصفیه بسیار طولانی و ... استفاده از سایر فرایندهای تصفیه که بتواند آنها را به طور کامل تجزیه کند و مانند (فرایند‌های جذب سطحی، انعقاد و ته‌نشینی و ...) مورد توجه قرار گرفته‌اند (۶).

فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته با تولید رادیکال هیدروکسیل به عنوان یک اکسیدکننده قوی و غیر انتخابی برای تجزیه کامل و معدنی شدن کلروفنل‌ها بکار می‌روند. با این حال روش معدنی شدن آلاینده‌های مقاوم اغلب نیاز به صرف مدت زمان طولانی تصفیه و غلظت بالایی از ماده اکسیدکننده دارد که هزینه‌های تصفیه را بسیار بالا می‌برد و اکثراً تولید ترکیب‌های بینابینی در طی این فرایند مانع تجزیه ترکیب اولیه می‌شوند (۷).

کارایی حذف تری کلروفنل در سیستم معمول لجن فعال با دو هوادهی تقریباً در حد صفر است (۸). با استفاده از یک مرحله اکسیداسیون ناقص فنتون،  $Fe^{2+}+H_2O_2$  که نیاز به مدت زمان طولانی واکنش و غلظت بالای ماده اکسیدکننده نداشته باشد، می‌توان تری کلروفنل را اکسید کرده و به ترکیب‌های بینابینی تبدیل کرد و پس از آن، این ترکیبات را با استفاده از یک سیستم لجن فعال معمولی تجزیه کرد.

در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های ریاضی برای طراحی و بهره‌برداری از فرایندهای بیولوژیک بسیار مورد توجه قرار گرفته‌است، به طوری که امروزه حتی برای بررسی

تصفیه شده از سرریز خروجی حوض رسوبی خارج می‌شد.

### روش‌های آزمایش

کلیه آزمایش‌ها بر اساس روش‌های موجود در کتاب استاندارد روش چاپ نوزدهم انجام شد. در ادامه خلاصه‌ای از روش انجام آزمایش‌ها ارائه می‌شود (۱۱).

غلظت TCP ۲، ۴ و ۶ براساس روش شماره ۶۴۲۰ (استخراج مایع- مایع)، با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی Philips مدل UP 4410 و با دتکتور FID و ستون SP1240 1% با استفاده از استاندارد خارجی اندازه‌گیری شد. برای افزایش دقت و صحت آزمایش GC هرکدام از نمونه‌های استاندارد TCP 2,4,6 سه بار تهیه و تزریق شد و منحنی کالیبراسیون با استفاده از میانگین ۳ بار تزریق تهیه شد. استخراج TCP ۲، ۴، ۶ توسط متیلن کلراید از ۱۰۰°C نمونه اسیدی شده توسط اسید سولفوریک انجام می‌شد، سپس ۱۰ میکرولیتر از نمونه استخراج شده، به دستگاه GC تزریق می‌شد. بدین ترتیب غلظت TCP ۲، ۴، ۶ تا ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر قابل اندازه‌گیری بود.

برای آزمایش COD روش تقطیر برگشتی بکار رفت. در مواردی که انتظار می‌رفت COD پائین باشد از حجم نمونه دوبرابر استاندارد ارائه شده در استاندارد متد و فرمولفات آمونیم با نرمالیت 0.025 N استفاده شد.

برای اندازه‌گیری اکسیژن محلول از دستگاه Do meter مدل orion 420A و برای اندازه‌گیری pH از دستگاه pHmeter مدل orion 420A استفاده شد این دستگاه قبل از اندازه‌گیری pH با محلول‌های بافر استاندارد در pH ۴ و ۹ کالیبره می‌شد. برای اندازه‌گیری مواد معلق فرآر، ۱۰ تا ۲۰ میلی‌لیتر از مایع مخلوط حوض هواده‌ای از یک صافی فایبرگلاس به قطر ۵۵ میلی‌متر عبور داده می‌شد؛ سپس آن را در دمای ۱۰۳°C به مدت یک ساعت در دیسکاتور خشک کرده و پس از توزین با ترازوی حساس، به مدت ۲۰ دقیقه در کوره با حرارت ۵۵۰°C قرار داده و پس از خشک کردن دوباره وزن می‌شد.

۹۰ لیتری وارد کرده و با پمپی که میزان جریان آن در ۹ وضعیت قابل تنظیم بود به راکتور اکسیداسیون منتقل می‌شد.

pH فاضلاب خام با اسید سولفوریک غلیظ روی ۳ تنظیم شد و سولفات فرو مورد نظر به همان مخزن فاضلاب خام اضافه می‌شد. با انتقال فاضلاب خام به راکتور اکسیداسیون و تزریق آب اکسیژنه واکنش فنتون آغاز می‌شد. عمل مخلوط شدن در راکتور اکسیداسیون با همزن الکتریکی دارای بدنه و پروانه‌ای با پوشش اپوکسی و 190-200 دور در دقیقه انجام می‌شد. پس از واکنش فنتون جریان فاضلاب به واحد خنثی‌سازی هدایت می‌شد. با توجه به محاسبه‌های خنثی‌سازی اسیدیته از راه معادله‌های استوکیومتری و نیز با توجه به کاهش pH در حدود 0.3 در خروجی راکتور اکسیداسیون فنتون در اثر تولید محصولات جانبی با خاصیت اسیدی، pH فاضلاب به طور مرتب توسط یک دستگاه pH متر کنترل می‌شد و با استفاده از سود ۱ نرمال خنثی‌سازی می‌شد، به طوریکه محدوده تغییرات pH ورودی به حوض هواده‌ای بین ۶/۷ تا ۷/۴ بود. فاضلاب خروجی پس از تزریق مواد مغذی وارد تانک هواده‌ای به حجم ۲۱ لیتر می‌شد. در این تانک لجن فعال تصفیه خانه صاحبقرانیه آماده شده بود. فاضلاب ورودی به مدت ۱۲ ساعت در این حوض با دستگاه کمپرسور هوای فشرده - با توان تولید بسیار بالا- و دو عدد سنگ هوا در دو طرف حوض هواده‌ای می‌شد. مقدار هوای تزریقی بر مبنای ایجاد شرایط اختلاط کامل و با اندازه‌گیری اکسیژن محلول تنظیم می‌شد، به طوری که مقدار اکسیژن محلول در سیستم همواره بین ۲-۳ میلی‌گرم در لیتر بود. میزان دفع لجن، ۱، ۵/۵، ۲/۱، ۳/۵ لیتر در روز بود. این عمل برای تغییر در مدت زمان ماند میکربی و تعیین ثابت‌های سیتیکی لجن فعال بود. برگشت لجن با دستگاه پمپ Air Lift و استفاده از یک خط لوله گالوانیزه با پوشش Nico Coat 505 از مخزن رسوبی به ابتدای تانک هواده‌ای صورت می‌گرفت. فاضلاب خروجی از حوض هواده‌ای وارد حوض رسوبی می‌شد و فاضلاب

**نتایج**

که مشاهده می شود  $Yt = 0.76 \text{ mg/mg}$  و  $Kd = 0.88 \text{ day}^{-1}$  محاسبه گردید.

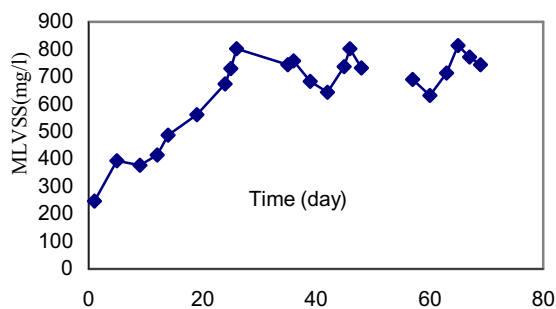
جدول شماره ۱ اطلاعات مربوط به تعیین ثوابت سینتیکی

شماره	$\theta_c$	$\theta_c - 1$	U	U-1	Se-1
۱	۶	۰/۱۶	۰/۳۷۳	۲/۶۷	۰/۰۴
۲	۸/۴	۰/۱۲	۰/۳۱۷	۳/۱۵	۰/۰۵
۳	۱۴	۰/۰۷۱	۰/۲۲۶	۴/۴۲	۰/۰۶
۴	۲۱	۰/۰۴۸	۰/۲۱۸	۴/۵	۰/۰۸

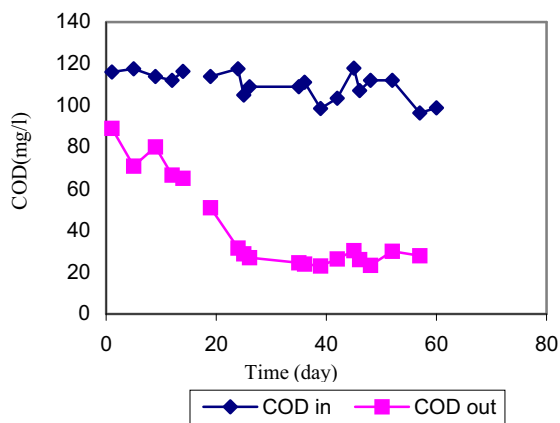
$\theta_c =$  زمان ماند میکروبی

U = سرعت مصرف سوپسترا

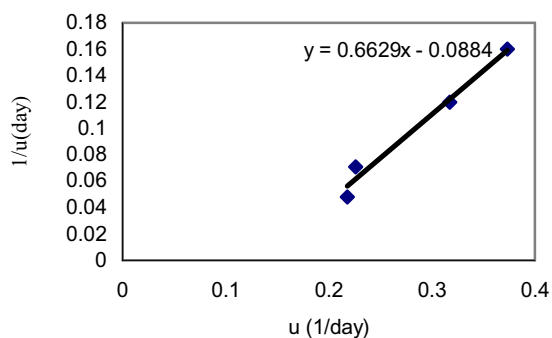
Se = غلظت سوپسترا در فاضلاب خروجی



نمودار ۲: تغییرات MLVSS در راکتور لجن فعال تلفیقی با اکسیداسیون فنتون



نمودار ۱: تغییرات COD در راکتور لجن فعال تلفیقی با اکسیداسیون فنتون (زمان هوادهی ۱۲ ساعت)



نمودار ۳: سرعت مصرف سوپسترا (u) در مقابل سرعت رشد ویژه  $S(1/\theta_c)$

بارسم نمودار رگرسیونی عکس غلظت سوپسترای خروجی در مقابل عکس سرعت مصرف سوپسترا ضریب  $K_s$  و  $K$  به ترتیب  $10.9 \text{ mg/L}$  و  $0.04 \text{ day}^{-1}$  تعیین شد (نمودار ۴).

راکتور پیوسته اکسیداسیون فنتون، غلظت  $6.42$  تری کلروفنل را از  $120 \text{ mg/L}$  در ورودی به کمتر از  $2-4 \text{ mg/L}$  در خروجی کاهش می داد.

نمودار شماره ۱ تغییرات COD ناشی از ترکیب های بینابینی بدست آمده از اکسیداسیون  $6.42$  تری کلروفنل با محلول فنتون، را در ورودی و خروجی فرایند لجن فعال نشان می دهد. همانطوری که مشاهده می شود، سیستم لجن فعال تقریباً پس از ۲۱ روز به شرایط پایدار می رسد و با کارائی تقریباً  $75\%$  COD ورودی حذف می شود. افزایش زمان هوادهی از ۱۲ به ۱۸ ساعت و افزایش غلظت TCP  $6.42$  از  $120$  به  $240$  میلی گرم در لیتر اثر معنی داری بر کارائی حذف نداشت ( $\alpha=0.01$ )

بامشاهده نمودار ۲ که تغییرات MLVSS را نشان می دهد پایداری سیستم پس از ۲۱ روز تأیید می کند. جدول شماره ۱ اطلاعات مربوط به تعیین ثابت های سینتیکی را نشان می دهد. با تعیین سرعت مصرف سوپسترا در هر کدام از شرایط بهره برداری، ضرایب سینتیکی محاسبه شد.

نمودار شماره ۳ خط رگرسیونی سرعت مصرف سوپسترا را در برابر عکس زمان ماند میکروبی نشان می دهد که برای تعیین ضریب های  $K_d$  و  $Y_t$  به کار رفته است. همانطور

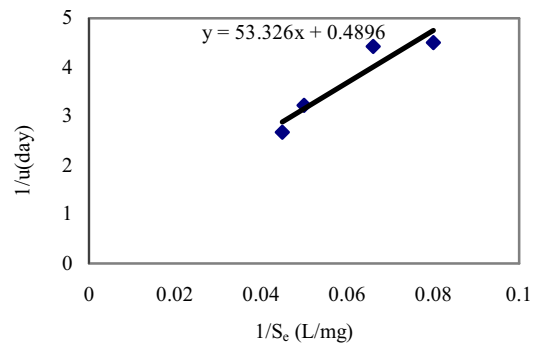
سینتیکی رشد در سیستم تلفیقی - که در ادامه به آن خواهیم پرداخت - می‌بینیم که غلظت سوبسترای ورودی به سیستم تقریباً در حدود  $K_s$  بوده یعنی فرایند لجن فعال در شرایط محدودیت سوبسترا مورد بهره‌برداری قرار گرفته و در نتیجه واکنش‌های بیولوژیکی داخل سیستم نیز از درجه ۱ پیروی می‌کرده‌اند. به این ترتیب این توجیه خود مورد تردید قرار می‌گیرد.

۲- شاید کاملاً نتوان این قضیه را با مدل‌های ساده تفسیر کرد چون ممکن است در این مخلوط ترکیب‌هایی با قابلیت‌های تجزیه‌پذیری مختلفی وجود داشته باشند و مثلاً برخی از ترکیب‌هایی که دیرتر تجزیه می‌شوند از فاضلاب حذف نشده و خود را به صورت COD در خروجی فرایند نشان دهند.

با مشاهده تغییر نکردن کارایی سیستم با افزایش غلظت TCP به ۲ برابر ( $\alpha=0.01$ )، استدلال دوم قوت بیشتری پیدا می‌کند. هر چند که اثر بازدارندگی افزایش غلظت TCP خروجی از راکتور اکسیداسیون بر جمعیت میکروبی را باید در نظر داشت.

در بررسی ثابت‌های سینتیکی لجن فعال تلفیقی با اکسیداسیون پیشرفته با تغییر در میزان لجن دفعی و سایر شرایط بهره‌برداری در فرایند اکسیداسیون فنتون و لجن فعال، زمان ماند میکروبی در ۴ وضعیت، ۶، ۸/۴ و ۲۱ و ۴ روز تنظیم شد و ثابت‌های سینتیکی  $K_s$ ،  $K_d$  و  $Y_t$  محاسبه شد. با توجه به شکل ۳ و ۴ مقدار  $mg/mg$   $Y_t = 0.66$  و  $K_d = 0.088 \text{ day}^{-1}$  و  $K = 2.04 \text{ day}^{-1}$  و  $K_s = 109 \text{ mg/L}$  به دست آمد.

با توجه به غلظت COD ورودی به سیستم لجن فعال از راکتور اکسیداسیون فنتون که به طور متوسط  $100 \text{ mg/L}$  بود و نیز میزان  $K_s$  محاسبه شده، باید پذیرفت که واکنش‌های بیولوژیکی در راکتور لجن فعال در شرایط محدودیت سوبسترا بوده و از واکنش‌های درجه ۱ تبعیت می‌کنند. به این ترتیب افزایش سوبسترا یا COD ورودی به سیستم که همان ترکیب‌های بینابینی بدست آمده از



نمودار ۴: عکس COD خروجی قابل تجزیه ( $1/Se$ ) در مابل عکس سرعت مصرف سوبسترا ( $1/u$ )

### بحث و نتیجه‌گیری

غلظت تری کلروفنل ورودی به راکتور اکسیداسیون از ۱۲۰ به کمتر از ۲ میلی‌گرم در لیتر کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده کارایی حذف در حدود ۹۸٪ است و این درحالیست که COD ناشی از تری کلروفنل با کارایی حدود ۳۵٪ حذف می‌شود که نشان‌دهنده تولید ترکیب‌های آلی بینابینی است. تقریباً پس از ۲۱ روز فرایند لجن فعال به شرایط پایدار رسیده و COD خروجی از سیستم تغییرات عمده‌ای ندارد که این امر با توجه به شکل شماره ۲- نشان‌دهنده تغییرات MLVSS در حوض هوادهی - نیز به خوبی آشکار می‌شود به طوری که غلظت MLVSS در شروع راه‌اندازی از ۲۰۰ به حدود  $800 \text{ mg/L}$  پس از ۲۱ روز رسید.

کارایی حذف COD در زمان‌های هوادهی ۱۲ و ۱۸ ساعت تفاوت معنی‌داری نداشت ( $\alpha=0.01$ ). افزایش نیافتن کارایی سیستم لجن فعال از ۷۵ درصد به بالا و نیز تاثیر نداشتن افزایش زمان هوادهی در بالابردن کارایی حذف COD در لجن فعال را می‌توان به دو دلیل دانست: ۱- فرض کنیم که تجزیه سوبسترای حاصل از اکسیداسیون فنتون از سینتیک واکنش‌های درجه صفر تبعیت کند. طبق مدل موناود این امر زمانی قابل توجه است که غلظت سوبسترا به حد کافی بالاتر از  $K_s$  باشد تا واکنش‌های بیولوژیکی در سیستم از درجه صفر تبعیت کند و این درحالی است که در بررسی ضریب‌های

TCP ورودی - هر چند که شرایط اکسیداسیون با آن تنظیم می‌شود و کارایی حذف TCP در مرحله اکسیداسیون هم تغییر چندانی نمی‌کند - ولی به علت افزایش غلظت اولیه TCP باقی‌مانده در سیستم افزایش پیدا می‌کند که این غلظت با ایجاد اثرات بازدارنده بر جمعیت میکروبی کارایی سیستم را کاهش می‌دهد همچنین می‌توان این فرض را مطرح کرد که مدل موند برای تحلیل سینتیکی چنین فرایندهایی که در آنها ممکن است انواع ترکیب های بینابینی با میزان تجزیه پذیری و ماهیت فیزیکی و شیمیایی متفاوت وجود داشته باشند، الگو مناسبی نباشد.

اکسیداسیون فتون TCP هستند باید باعث افزایش تجزیه و راندمان حذف می‌شد ولی افزایش غلظت TCP، افزایش غلظت ترکیب های بینابینی نه تنها تجزیه و کاهش COD در راکتور لجن فعال را بهبود نبخشیده بلکه باعث کاهش کارایی در حد ۴ درصدی شده است.

از طرف دیگر افزایش جرم میکروبی (MLVSS) سیستم به علت افزایش  $\theta_c$ ، با ثابت بودن COD ورودی باعث کاهش سرعت مصرف سوسترا و افزایش راندمان حذف COD می‌شود، که هر دو به خوبی با آن بخش از معادله موند که واکنش های درجه ۱ را دربر می‌گیرد، مطابقت دارد. بنابراین این فرض قوت بیشتری پیدا می‌کند که با افزایش

### منابع

1. WHO. International Program on Chemical Safety, Environmental Health Criteria 71: Chlorophenols. Geneva: WHO, 1987: 1-19.
2. Kiefer MC, Hengraprom S, Knuteson S. Environmental Engineering Chemistry II: Organochlorines: Analysis of the Chlorophenol Group. Clemson University EE and S 1998; 345:1-11.
3. Otte MP, Comeau Y, Samson R, Wager C. Enhancement of Pentachlorophenol Biodegradation Using Organic and Inorganic Support. Bioremediation J 1999; 3(1): 35-45.
4. Esplugas METS, Saum G. How and Why Combined Chemical and Biological Processes for Wastewater Treatment. Wat Sci Tech 1997; 34(4): 321-7.
5. AWWA. Water Quality and Treatment. 4th ed. New York: Mc Growhill, 1990.
6. Pringer G, Bhattacharya SK. Toxicity and Fate of Pentachlorophenol in Anaerobic Acidogenic System. Wat Research 1999; 33 (11): 2674-2682.
7. Line B, Yamaguchi R. A New Treatment Process for Photo-Processing Waste. Wat Sci Tech 1998; 38 (4-5): 163-170.
8. Eckenfelder WW, Engle JR. Innovative Biological Treatment for Sustainable Development in the Chemical Industries. Wat Sci Tech 1998; 38(4-5): 111-120.
9. Orhon D. Evaluation of Industrial Biological Treatment Design on the Basis of Process Modelin. J Wat Sci Tech 1998; 38(4-5): 1-8.
10. Babuna FG, Orhon D, Cokgor EU. Modeling of Activated Sludge for Textile Wastewater. Wat Sci Tech 1998; 38(4-5): 9-17.
11. APHA. AWWA.WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Ed. Washington: APHA, 1995.

# Study the Kinetics of Activated Sludge in Integrated System (Fenton Oxidation/Activated Sludge) for Removal of 2,4,6 Trichlorophenol

Farokhi M., Mesdaghi Nia A.R.

## Abstract

**Introduction:** 2, 4, 6 trichlorophenol (TCP) is one of the most toxic Chlorophenols and is very difficult to biodegradation. Advanced oxidation processes (AOPs) are the most effective processes for the degradation of persistent compounds, since the mineralization of recalcitrant compound by AOPs often requires long reaction time and strong dose of oxidant, the combination of this process with biological one considered as one efficient and economic method.

**Objective:** Integration of Fenton oxidation with activated sludge as an efficient and economic method for removal of 2, 4, 6 trichlorophenol and on kinetics of activated sludge in this integrated system was studied.

**Materials and Methods:** This study performed in pilot scale of Fenton oxidation / Activated sludge Integration for treatment of 2-4-6 TCP wastewater and all analytical methods were according to 19Th edition of standard methods.

**Results:** The study results showed that intermediates in effluent from Fenton reactor  $[H_2O_2] / [Fe^{2+}] = 3$ ,  $[H_2O_2] / [TCP] = 3$  Oxidation Time = 1hr and pH= 3  $[TCP]_0 = 120$  mg/ equal COD=150 mg/L), was degraded by activated sludge process and COD reduction was ~%75. Increasing aeration time from 6 hr to 18 hr has no significant effect on removal efficiency ( $\alpha = 0.01$ ). ML VSS increasing from 200 mg/L to 800 mg/L after 21 days indicated that TCP concentration in Fenton reactor effluent didn't have inhibitory effect on microbial growth. Increasing of TCP concentration from 120mg/L to 240mg/L has no significant effect on removal efficiency, however removal efficiency decreases to %71. Activated sludge kinetics were studied and  $\mu = 0.66$  mg/mg  $K_d = 0.088$  day<sup>-1</sup>  $K_s = 109$  mg/ L,  $K = 2.04$  day<sup>-1</sup> determined.

**Conclusion:** As results this integrated system was an efficient method for removal of 2,4, 6TCP and result from increasing aeration time and TCP concentration, as sole substrate source for Activated sludge combined with Fenton oxidation was not adopted with Monod equation.

**Key words:** Chlorophenols/ Kinetics/ Oxidation/ Sewage