Treatment of Phenol Containing Wastewater by Activated Sludge System

M. Vossoughi , I. Alemzadeh, A. M. Eshraghi

BBRC, Chemical Eng. Dept., Sharif University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

Biological methods are one of the choices in treating wastewater containing hazardous pollutants. Microorganisms and enzymes produced by selected organisms catalyse the degradation of pollutants and are the reasons for sucess in biological methods.

In this investigation, efficiency of an activated sludge process, completely mixed type for phenol treatment was studied. At first, by increasing phenol concentration during 90 days in a batch system, microorganisms were acclimated to phenol. Then in a continuous system, effect of detention time and presence of a competitor substrate (molasses) was studied at maximum load applied in this system (0.32g/day/lit). In the absence of molasses, percent of phenol removal was 91.6%. It was also determined that removal of phenol through adsorption and evaporation in maximum MLSS concentration was about 1.5%.

تصفیه پساب‌های حاوی فنل به کمک لجن فعال

منوچهر وثوقی * ایران عالم‌زاده * علی محمد اشراقی *

چکیده

از جمله روش‌های تصفیه پساب‌های حاوی ترکیبات آلاینده سمی، استفاده از فرآیندهای بیولوژیک است. تنوع گونه‌های میکروارگانیسمی و نیز توانایی یک گونه در تولید نوعی آنزیم که می‌تواند مواد سمی را تجزیه کند، عامل بسیار مؤثری در موفقیت اکثر فرایندهای تصفیه بیولوژیک می‌باشد.

در این پژوهش کارایی یک سیستم لجن فعال از نوع اختلاط کامل در تصفیه پساب‌های حاوی فنل مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا با افزایش تدریجی غلظت فنل در مدت ۹۰ روز در یک سیستم ناپیوسته، میکروارگانیسم‌ها به فنل سازش یافتند. سپس در یک سیستم پیوسته اثر زمان ماند و حضور یک سوبسترای رقابتی (ملاس) در حذف فنل بررسی گردید و مشخص شد که در زمان‌های ماند بالا و در غیاب سوبسترای رقابت‌کننده کارآیی حذف فنل بهتر است و در بیشترین بار اعمال شده به سیستم ۰/۳۲ گرم بر روز بر لیتر میزان درصد حذف فنل ۹۱/۶ درصد است.

علاوه بر این، مشخص گردید که بخشی از فنل از طریق جذب روی توده زیستی و تبخیر نیز حذف می‌شود، که مجموع این دو اثر وقتی غلظت توده زیستی سیستم به بیشترین مقدار می‌رسد در حدود ۱/۵ درصد است.

مقدمه

۱- ویژگی فنل و اثرات زیست محیطی آن

فنل و ترکیبات فنلی از اجزای اصلی سازنده فاضلاب اکثر پالایشگاه‌ها، صنایع تبدیل زغال سنگ، صنایع سازنده مواد محافظ چوب، مجتمع‌های پتروشیمی و صنایع کاغذ می‌باشند. ترکیبات فنل از اجزای بسیار نامطلوب آب‌های آشامیدنی هستند.

بسیاری از ترکیبات فنلی سمی هستند و جزء مواد خطرناک دسته‌بندی می‌شوند. فنل در آب اثرات متعددی دارد. مثلاً اگر با کلر ترکیب شود، کلر و فنل تولید می‌کند که باعث ایجاد بو و طعم نامطلوب در آب می‌شود. در آب‌های سطحی غلظت بیش از ۰/۰۲ میلی‌گرم بر لیتر فنل در بافت چربی ماهی‌ها تجمع می‌یابد و حتی غلظت بسیار کم فنل در این بافت‌ها باعث می‌شود که ماهی برای انسان غیر قابل مصرف باشد [۱]. در نتیجه EPA استاندارد فنل را در آب‌های سطحی 1PPb تعیین کرده است [۲]. برای رسیدن به چنین سطحی از استاندارد بایستی برای جریان‌های فاضلابی که دارای مقادیر زیادی فنل هستند از لجن فعال سازگار شده و یا از یک سیستم تصفیه ثالث استفاده نمود. فنل ماده‌ای است که اگر به مدت کوتاهی استنشاق شود و یا با پوست تماس پیدا کند باعث سوزش در پوست، چشم و اعضای مخاطی انسان می‌شود. اگر از راه دهان وارد بدن شود، ۱ گرم از آن باعث مرگ [۳] و مقادیر کمتر آن نشانه‌هایی مانند ضعف، لرزش، از بین رفتن تعادل، فلج، تشنج، کما و قطع

* - مرکز تحقیقات مهندسی بیوشیمی و کنترل محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف

تنفس، کاهش فشار خون، آسیب به کلیه‌ها و کبد، تغییرات خونی، تهوع و استفراغ در شخص ایجاد می‌کند. فنل روی سیستم اعصاب مرکزی نیز اثر سویی دارد [۴].

۲- روش‌های تصفیه فنل

الف - فرایندهای تصفیه فیزیکی

این فرآیندها شامل جذب سطحی روی کربن فعال [۵]، استخراج با حلال، استفاده از بخار آب و فرآیند انجماد - تبلور است.

ب - فرآیندهای تصفیه فیزیکی و شیمیایی

مهمترین این فرآیندها شامل: اکسیداسیون و احیای شیمیایی، اکسیداسیون مرطوب و اکسیداسیون مرطوب کاتالیزوری است.

ج - فرآیندهای تصفیه بیولوژیک

در فرآیندهای بیولوژیک، میکروارگانیسم‌ها و به ویژه باکتری‌های هتروتروف نقش اصلی را در تصفیه ترکیبات آلی به عهده دارند. سرعت تجزیه ترکیبات فنلی توسط میکروارگانیسم‌ها را محققان بسیاری مورد مطالعه قرار داده‌اند و نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که اگر لجن فعال به خوبی به فنل عادت داده شود، میکروارگانیسم‌ها قادرند با سرعت ۵ تا ۲۰ میلی‌گرم بر ساعت فنل را تجزیه کنند [۵].

از نظر عملی فرآیندهای تصفیه بیولوژیک ترکیبات سمی به دو دسته کلی هوازی و بی‌هوازی تقسیم می‌شوند. بسیاری از باکتری‌ها و قارچ‌ها می‌توانند به روش هوازی ترکیبات آروماتیک را مصرف کنند. یکی از مسیرهای متابولیزی ترکیبات آروماتیک دهیدروکسیلاسیون حلقه بنزن از طریق اکسیداسیون ارتو یا متا می‌باشد که باکتری Pseudomonas Putida (ATCC 17514) فنل را از مسیر ارتو و مخمر Trichosporon Cutancum این کار را از مسیر متا انجام می‌دهد [۲].

اما در روش بی‌هوازی فنل ابتدا به سیکلوهگزانول کاهش یافته و سپس به سیکلوهگزانون تبدیل می‌شود [۶].

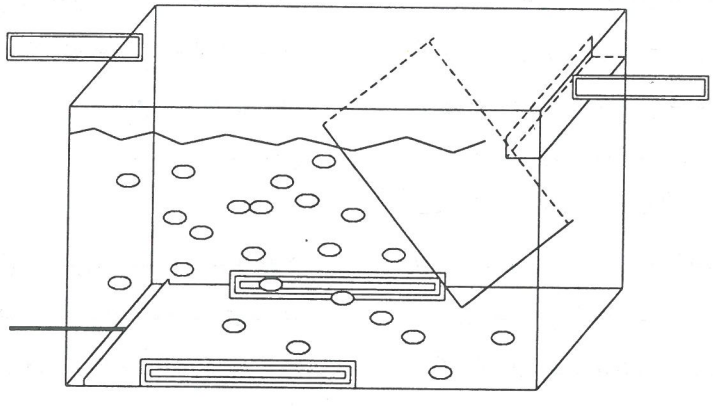
مواد و روش‌ها

روش‌های اندازه‌گیری

فنل به روش رنگ سنجی و به کمک معرف ۴- آمینوآنتی پیرین و سایر اندازه گیری‌ها بر طبق روش استاندارد آب و فاضلاب اندازه گیری شد [۷].

راکتور مورد استفاده در این پژوهش دارای ابعاد ۳۰×۳۰×۵۰ با حجم مفید ۳۶ لیتر و یک لوله پخش کننده هوا در کف آن جهت هوادهی تعبیه شده بود (شکل ۱). سرعت جریان هوا در محدوده‌ای تنظیم گردید که اختلاط کامل در بخش هوادهی انجام شود که میزان آن در این مطالعه با توجه به میزان MLSS متغیر و در محدوده ۰/۳-۰/۷vvm بود.

لجن اولیه برای تلقیح به راکتور از واحد لجن فعال تصفیه‌خانه شهرک اکباتان واقع در غرب تهران تهیه گردید و غلظت لجن تلقیح شده به طوری تنظیم شد که میزان MLSS در



شکل ۱- سیستم لجن فعال

راکتور به حدود ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر برسد.

الف - مرحله ناپیوسته

برای سازگار شدن میکروارگانیسم‌ها، فنل به صورت تدریجی در مدت سه ماه از غلظت ۳۰ تا ۲۰۰ppm به سیستم اضافه شد. در طول دوره سازش، میکروارگانیسم‌ها توانایی تولید آنزیم‌هایی را پیدا می‌کنند که به کمک این آنزیم‌ها می‌توانند فنل را تجزیه کنند [۸].

تغییرات MLSS و pH سیستم در طول دوره سازش مطابق جدول ۱ می‌باشد.

ب - مرحله پیوسته

در این مرحله توانایی سیستم لجن فعال در حذف فنل در حالت پیوسته بررسی شد. در این بررسی غلظت فنل ورودی در ۱۰۰ppm ثابت نگه داشته شد و اثر زمان ماند هیدرولیکی (HRT) روی غلظت فنل و COD خروجی و همچنین اثر حضور سوبسترای ملاس در حذف فنل در زمان‌های ماند مختلف بررسی گردید. زمان‌های ماند انتخاب شده ۷/۵، ۹، ۱۰/۵، ۲۱ و ۳۶ ساعت بود که به ترتیب معادل دبی‌های ۸۰، ۶۶/۶۷، ۵۷/۱۴، ۲۸/۵۷ و ۱۶/۶۷ میلی‌لیتر بر دقیقه است. در این حالت مقدار فنل ورودی بر حسب گرم بر روز بر لیتر به ترتیب برابر است با ۰/۳۲، ۰/۲۶۸، ۰/۲، ۰/۱ و ۰/۰۶۷.

در چهار بار راه‌اندازی سیستم، غلظت ملاس ورودی صفر، ۵۰۰، ۸۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر انتخاب شد. بدین ترتیب مقدار COD ورودی به سیستم بر حسب گرم بر روز بر لیتر به ترتیب برابر است با: ۰/۷۶۱، ۰/۶۳۵، ۰/۵۴۴، ۰/۲۷۲ و ۰/۱۵۸.

نتایج و بحث

غلظت فنل و COD کل خروجی در زمان‌های ماند مختلف و در چهار بار راه‌اندازی سیستم به ترتیب مطابق جداول ۲ و ۳ می‌باشد. مطابق این دو جدول با افزایش HRT میزان حذف فنل و COD افزایش می‌یابد. همچنین این دو جدول نشان می‌دهند که با افزایش مقدار ملاس ورودی به سیستم راندمان حذف فنل کاهش می‌یابد. این به خاطر این است که میکروارگانیسم‌ها ملاس را راحت‌تر از فنل متابولیز می‌کنند. در واقع می‌توان گفت که ملاس به عنوان یک سوبسترای رقابت کننده عمل می‌کند. در HRTهای ۷/۵ و ۹ ساعت به ترتیب در غلظت‌های COD برابر ۵۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تأثیر رقابتی ملاس به خوبی مشاهده می‌شود و راندمان حذف فنل پایین است ولی با افزایش HRT به تدریج این رقابت کمتر می‌شود و راندمان حذف فنل افزایش می‌یابد.

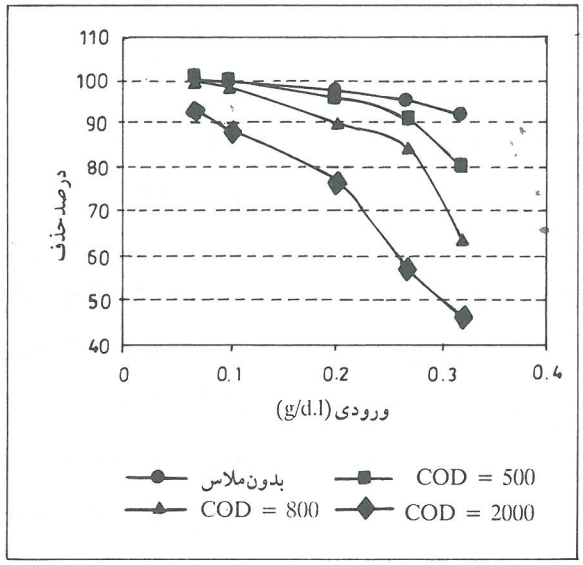
درصد حذف فنل و COD مطابق نمودارهای ۱ و ۲ است. مطابق نمودار ۱ در چهار بار راه‌اندازی سیستم، بیشترین درصد حذف فنل به ترتیب برابر است با: ۹۹/۹، ۹۹/۸، ۹۹/۳، ۹۳ درصد و این مربوط به ورودی ۰/۰۶۷ گرم فنل در روز در واحد حجم است. همچنین این نمودار اثر حضور ملاس در راندمان حذف را به خوبی نشان می‌دهد. برای مثال در بیشترین بار اعمال شده، یعنی ۰/۳۲ گرم فنل در روز بر لیتر، حضور ملاس باعث می‌شود تا راندمان حذف فنل از ۴۶ تا ۹۱/۵ درصد متغیر باشد. نمودار ۲ نشان می‌دهد که کارایی حذف COD در یک سیستم لجن فعال بسیار خوب است و در بیشترین بار اعمالی، این کارآیی بین ۸۵/۸ تا ۹۷ درصد متغیر است.

جدول ۱ - تغییرات MLSS و pH سیستم در طول دوره سازش

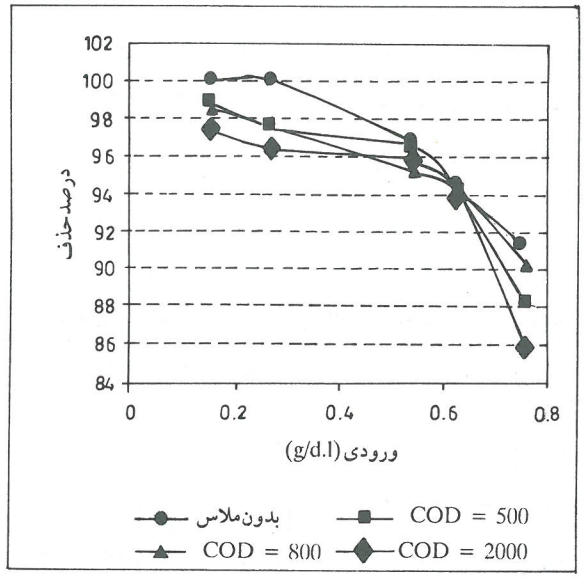
روز	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰
فنل ورودی mg/l	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۵	۱۴۰	۱۵۵	۱۷۰	۱۸۵	۲۰۰
MLSS mg/l	۳۲۱۴	۲۷۲۵	۲۷۸۵	۲۶۵۰	۲۸۳۰	۲۹۱۱	۳۱۷۱	۳۴۰۱	۳۰۱۶	۲۶۳۶	۲۵۲۱	۲۶۱۱	۲۷۸۰	۲۹۰۷	۳۰۱۸
pH	۷/۶	۷/۶	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۴	۷/۴	۷/۵	۷/۴	۷/۳	۷/۲	۷/۱	۷/۱	۶/۹	۶/۹

جدول ۲- غلظت فنل خروجی در زمان‌های ماند مختلف

HRT (h)	فنل خروجی (ppm) Run ۱ : بدون ملاس	فنل خروجی (ppm) Run ۲ : COD = ۵۰۰mg/l	فنل خروجی (ppm) Run ۳ : COD = ۸۰۰mg/l	فنل خروجی (ppm) Run ۴ : COD = ۲۰۰۰mg/l
۷/۵	۸/۴۱۴	۲۰/۰۰	۳۶/۱۹	۵۳/۶۵
۹	۴/۸۶۵	۹/۴۱	۱۵/۷۷	۴۲/۷۶
۱۰/۵	۲/۴۸	۴/۳۲	۱۰/۱۰۴	۲۳/۶۱
۲۱	۰/۳۵۸	۰/۵۸۳	۱/۹۷۳	۱۱/۳۲۴
۳۶	۰/۰۳۸۶	۰/۱۵۲	۰/۶۷۷	۶/۹۷



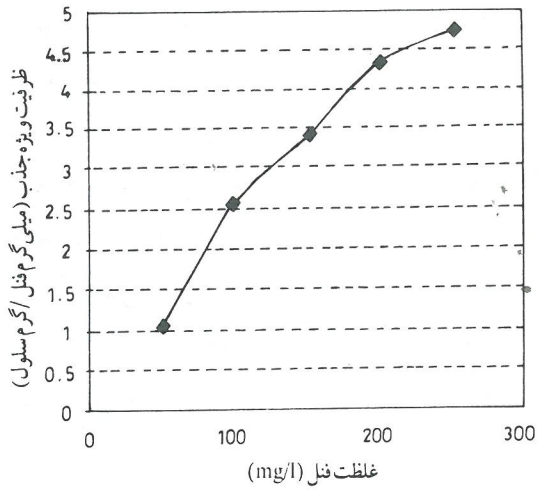
نمودار ۱- درصد حذف فنل در طول چهار بار راه‌اندازی



نموار ۲- درصد حذف COD در طول چهار بار راه‌اندازی

جدول ۳- غلظت COD (میلی‌گرم بر لیتر) خروجی در زمان‌های ماند مختلف

HRT (h)	RUN ۱	RUN ۲	RUN ۳	RUN ۴
۷/۵	۲۱/۱۴	۸۷/۳۳	۱۰۰	۳۱۷/۴۴
۹	۱۳/۴۱	۴۴/۵۱	۵۹/۵۲	۱۳۸/۸۹
۱۰/۵	۷/۸۲	۲۵/۶۷	۴۸/۸۰	۹۳/۹۸
۲۱	–	۱۸/۵۴	۲۵/۳۱	۷۹/۳۶
۳۶	–	۸/۴۲	۱۵/۱۱	۵۹/۵۲



نمودار ۳- ظرفیت ویژه جذب بر حسب غلظت فنل

جدول ۴- تغییرات MLSS (میلی‌گرم بر لیتر) در طول چهار بار راه‌اندازی

HRT (h)	RUN ۱	RUN ۲	RUN ۳	RUN ۴
۷/۵	۶۹۲	۸۵۱	–	۱۰۵۸
۹	–	–	۱۰۱۲	۱۱۶۰
۱۰/۵	۹۱۶	–	۱۱۲۵	۱۲۷۴
۲۱	–	–	–	۱۳۶۶
۳۶	–	۱۲۶۳	–	۱۵۲۲

تعیین درصد جذب و تبخیر

فنل ورودی به سیستم می‌تواند به سه روش بیولوژیک، تبخیر و جذب روی توده سلولی از سیستم حذف شود [۹]. برای مشخص شدن خصوصیات جذب سطحی فنل روی توده سلولی، باید ابتدا مقداری از سلول‌های موجود در راکتور را غیر فعال و متابولیسم آنها را متوقف ساخت. سپس از توده سلولی به عنوان یک جاذب استفاده نمود [۱۰]. بنابراین ابتدا مقداری مشخص از لجن زنده را صاف کرده و چندین بار با آب مقطر شستشو می‌دهیم و سپس برای مدت ۲ ساعت در دمای ۱۱۵ درجه سانتی‌گراد خشک می‌کنیم تا لجن غیر فعال حاصل شود. در مرحله بعد مقادیر مختلفی از لجن غیر فعال شده را در سیستم در معرض مقادیر مختلفی از فنل با شرایط هوادهی یکسان قرار داده و پس از حدود ۲۴ ساعت غلظت فنل را اندازه می‌گیریم. مقدار فنل جذب شده توسط توده سلولی غیر فعال برابر

اختلاف بین غلظت اولیه و نهایی فنل و ظرفیت ویژه جذب برای غلظت‌های مختلف برابر است با مقدار فنل حذف شده تقسیم بر غلظت سلولی به‌کار رفته. بدین ترتیب نمودار ظرفیت ویژه جذب بر حسب غلظت فنل را می‌توان به دست آورد (نمودار ۳). مقدار فنل جذب شده به ازاء واحد توده سلولی با پیداکردن ظرفیت جذب ویژه فنل در یک غلظت مشخص از روی منحنی و سپس ضرب کردن آن در جرم جامداتی که روزانه رشد می‌کنند (MLSS) مشخص می‌شود. از طرفی چون سیستم هوادهی به‌کار رفته عمل هم زدن را نیز انجام می‌دهد، بنابراین مقدار محاسبه شده از روی این منحنی شامل مقدار تبخیر نیز می‌باشد. بدین ترتیب ظرفیت ویژه جذب در غلظت فنل اولیه ۱۰۰ppm برابر ۲/۵۶ میلی‌گرم فنل به ازاء هر گرم سلول می‌باشد. بنابراین هنگامی که غلظت سلولی سیستم به بیشترین مقدار خود یعنی ۱۵۲۲ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد (جدول ۴) یعنی هنگامی که COD ورودی به سیستم ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است، برای مثال در HRT=۳۶ سهم جذب و تبخیر در حذف فنل در حدود ۱/۵ درصد است.

نتیجه گیری

تصفیه بیولوژیک پساب حاوی فنل با استفاده از سیستم لجن فعال از نوع اختلاط کامل بررسی شد. لجن فعال تصفیه‌خانه شهرک اکباتان که حاوی درصد قابل توجهی از میکروارگانیسم‌ها بود، به عنوان لجن تلقیح در این سیستم استفاده شد. پس از خودهی سیستم به فنل، با افزایش غلظت تدریجی آن تا میزان ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر حذف فنل در حضور سوبسترای ملاس بررسی شد. بالاترین میزان حذف فنل ۰/۰۶۷ گرم بر روز در لیتر می‌باشد به طوری که در CODهای ۵۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با حضور ملاس به میزان ۹۹/۹٪ می‌رسد. میزان حذف COD نیز در این حالت بالا و توجیه‌پذیر است.

نتایج و آزمایش‌های انجام شده نشان داد که میزان جذب سطحی فنل بر روی توده سلولی و همچنین تبخیر آن با توجه به هم‌زدگی سیستم لجن فعال، در مقایسه با تجزیه بیولوژیک فنل توسط سیستم بسیار جزیی است.

منابع و مراجع

1- Joyce, T.W. (1997). " *Design Criteria for Phenol Treatment by Plastic Media Trickling Filters* ", AICHE, Symposium Series, Vol. 73.

2- Yang, R.D., and Humphrey, A.E. (1975). " *Dynamic - and Steady State Studies of Phenol Biodegradation in Pure and Mixed Cultures* ", Biotech. and Bioeng., 17: 1211-1235.

3- Available Through URL : WWW.epa. gov/ttn/vatw/hlthef/phenol.html.

4- Available Through URL : WWW.hhmi. org/science/labsafe/lcss/lcss70.html.

5- Hanel, K. (1988). " *Boiological Treatment of Sewage by the Activated Sludge Process* ", Horwood Limited Publishers.

6- Stephenson, R.L. (1998). " *The Industrial Wastewater Systems Handbook* ".

7- APHA,(1992). " *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ", American Public Health Association.

8- Yang, L.Y., and Cernigila, G.E. (1995). " *Microbial Transformation and Degradation of Toxic Organic Chemicals*".

9- Moos, L.P., Kirsch, E.J., Wukasch, R.F., and Grady, C.P.L. (1983). " *Pentachlorophenol Biodegradation* ", Wat. Res. 17(11): 1575-1584.

10- Bell, J.P., and Tsezos., M. (1987). " *Removal of Hazardous Organic Pollutant by Adsorption on Microbial Biomass*", Wat. Sci. Tech., Vol. 19., pp. 409-416.