کاهش سمیّت پساب حاصل از تصفیه نفت خام از مقیاس پایلوت تا مقیاس کامل*

ترجمه: مرضیه وحید دستجردی*

چکیده

برای تصفیه ترکیب نفت خام، نیاز به بهتر کردن سیستم تصفیه فاضلاب جهت دستیابی به محدوده‌های جدید پذیرفته شده برای سمیت پساب وجود داشت. یک تحقیق چهار مرحله‌ای در این زمینه منجر به طراحی و ساخت یک سیستم PACT[1] در مقیاس کامل شد. در اولین مرحله، خصوصیات جریان فاضلاب نشان داد که مواد سمی موجود در خروجی (پساب) سیستم دارای منشأ آلی هستند. مرحله دوم بررسی که در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد نشان داد که سمیت پساب توسط جذب سطحی بوسیله کربن فعال قابل حذف است. در مرحلهٔ سوم بررسیهای مقایسه‌ای در مقیاس پایلوت نشان داد که اگرچه فرایندهای هوادهی ممتد و PACT هر دو در کاهش غلظت COD مؤثرند، لیکن تنها فرایند PACT قادر به حذف سمیت می‌باشد. در مرحلهٔ چهارم ، واحد پایلوت PACT تحت شرایط مختلف (شامل شرایط جریان در آب و هوای تر و آب و هوای خشک) مورد بررسی قرار گرفت. سیستم PACT در مقیاس کامل به مدت بیش از دو سال مورد بهره‌برداری قرار گرفته و جوابگوی تمام موارد مورد انتظار بوده است.

مقدمه

به موازات کنترل آلاینده‌های معمول در اواسط دهه ۱۹۸۰، کنترل مواد سمی در آبهای جاری نیز در ایالات متحده مورد توجه جدی قرار گرفت. تا سال ۱۹۸۸، جهت بیش از ۶۰۰۰ ماده محدودیتهایی از نظر سمیت در نظر گرفته شد که هدف از آن حفاظت گونه‌های آبزی در برابر اثرات سمی حاد و مزمن بود.

پالایشگاه تصفیه نفت خام در وست کوست[2] با توجه به مقررات (زیست محیطی) و قوانین وضع شده لازم بود تا با بهبود واحد تصفیه‌خانه‌اش (WWTP)[1] بتواند استانداردهای زیست محیطی از نظر سمیت را رعایت و نیز افزایش جریان ورودی در فصول بارانی را تحمل نماید.

پساب حاصل از تصفیه فاضلاب در واحد تصفیه بیولوژیکی موجود دارای کلیهٔ محدوده‌های مجاز به استثنای محدوده‌های لازم برای سمیت بود. کمپانی نفتی مورد بحث محققانی را برای انجام یک مطالعه چهار مرحله‌ای که منجر به طراحی و ساخت یک سیستم تصفیه در مقیاس کامل جهت دستیابی به کاهش سمیت در پساب تصفیه‌خانه می‌شد، استخدام کرد. این مقاله نتایج حاصل از چهار مرحله تحقیق در رابطه با کاهش سمیت در پساب تصفیه‌خانه را شرح می‌دهد. مراحل این مطالعه به شرح ذیل است:

۱- تعیین خصوصیات و ارزیابی سمیت مربوط به هر جریان فاضلاب ورودی؛

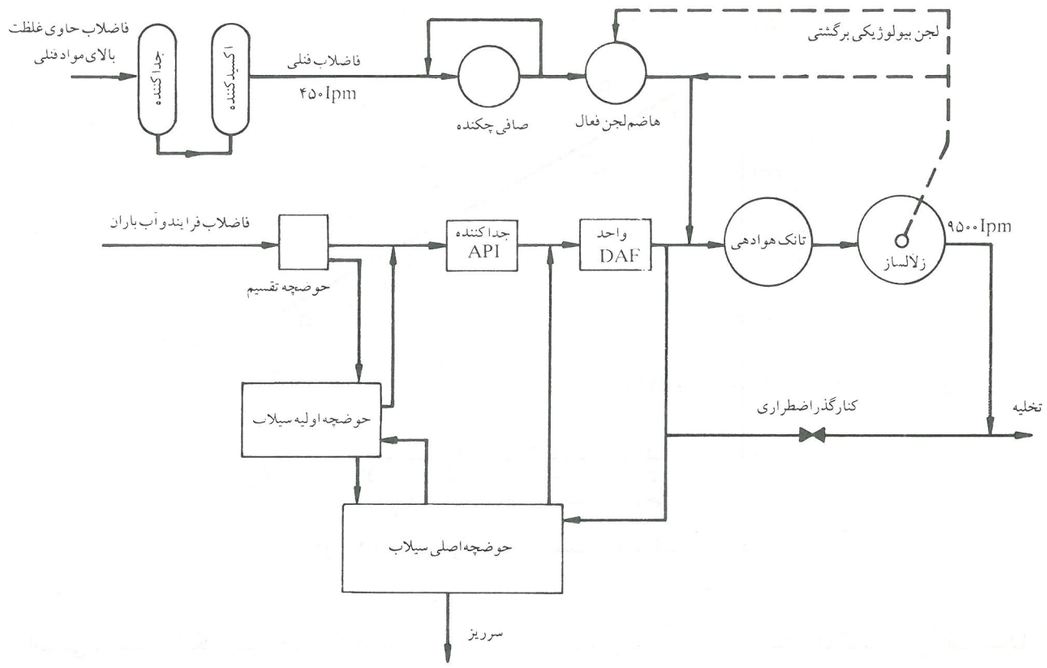
۲- بررسی کاهش سمیت در پساب (خروجی)؛

۳- بررسیهای مقایسه‌ای در مقیاس پایلوت؛

۴- بررسی عملکرد سیستم در مقیاس پایلوت.

سیستم موجود تصفیه فاضلاب

شکل ۱ شمایی از روند فرایند را در سیستم WWTP نشان می‌دهد. سیستم جمع آوری فاضلاب پالایشگاه، آب باران و فاضلاب حاصل از فرایندهای پالایش را بطور مشترک جمع آوری می‌کرد. فاضلابهایی که محتوای مواد فنلی آنها زیاد بود بطور جداگانه جمع آوری شده و در یک جداکننده آب‌ترش[2]، یک برج اکسایش، یک صافی چکنده و یک واحد هاضم لجن فعال مورد تصفیه قرار می‌گرفت. فاضلاب حاصل از کلیهٔ فرایندهای دیگر و نیز آب باران جمع آوری شده به سیستم



شکل (۱): سیستم موجود تصفیهٔ فاضلاب

* کارشناس ارشد بهداشت محیط دانشگاه اصفهان

1- PACT: Powdered Activated Carbon Technology
2- West Coast

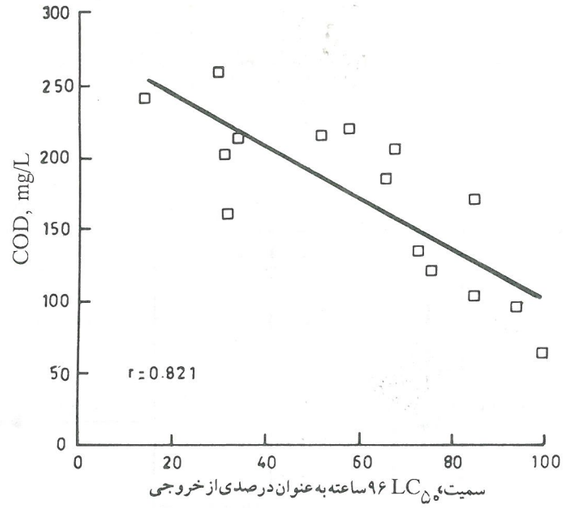
1- WWTP : Wastewater Treatment Plant
2- Sour Water

اصلی تصفیه با یک جداکننده API، یک واحد شناورسازی با استفاده از هوای محلول (DAF)[1] و یک سیستم لجن فعال هدایت می‌شد. سیستم اصلی لجن فعال جریان مرکب حاصل از پساب واحد DAF و فاضلاب فنلی پیش تصفیه شده را مورد تصفیه قرار می‌داد. جریانهای اضافه بر ظرفیت سیستم تصفیه بیولوژیکی به حوضچه‌های ذخیره هدایت می‌شدند تا در صورت لزوم در تصفیه‌خانه مورد تصفیه نهایی قرارگیرند و یا بدون تصفیه بیشتر دفع گردند.

ارزیابی و تعیین خصوصیات جریانهای آلوده

اولین مرحله تعیین خصوصیات فاضلاب شامل مروری بر کنترل داده‌های جمع شده، نمونه‌برداری تکمیلی و آنالیز جریان فاضلاب انتخاب شده و یک مطالعه تحلیلی جهت تعیین سمیت، شناسایی و پتانسیل اجزاء مختلف موجود در خروجی حاصل از تصفیهٔ نفت خام بود.

تحلیل‌های آماری داده‌های قبلی و نیز اطلاعات حاصل از آنالیزهای تکمیلی نشان دادند که سمیت پساب شدیداً به موادآلی باقیمانده در پساب وابسته است. هنگامی که غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) و یا کل کربن آلی (TOC)



شکل (۲): همبستگی COD و سمیت برای پساب تصفیه‌خانه

کاهش می‌یافت، سمیت پساب نیز کاهش می‌یافت. شکل ۲ رابطهٔ COD با سمیت را نشان می‌دهد. سمیت از طریق زیست‌آزمایی[2] ۹۶ ساعته بر روی ماهی آبنوس به عنوان گونه مورد آزمایش اندازه گیری شد. نتایج تحت عنوان (غلظت کشنده ۵۰٪) غلظت کشنده متوسط (Lc_{50})[3] گزارش شد. این نتایج بیانگر درصد پساب در محلول مورد آزمایش که باعث مرگ ۵۰٪ از گونه مورد آزمایش بعد از ۹۶ ساعت تماس شد، بودند. مقدار Lc_{50} بزرگتر سمیت کمتری را در پساب نشان می‌دهد.

دیگر اجزاء بالقوه سمی موجود در پساب شامل فنلها، آمونیاک، سیانید، سلنیم و دیگر فلزات سنگین همبستگی ضعیف‌تری را با سمیت پساب از خود نشان داده‌اند. مطالعه تحلیلی در رابطه با موضوع سمیت نشان داد که غلظت همهٔ این اجزاء به طور قابل توجهی کمتر از غلظت حد آستانه آنها بود. با وجود این پتانسیل تشدیدکنندگی یا تضعیف کنندگی اثرات سمی این اجزا شناخته نشد.

1- Dissolved Air Flotation
2- Bioassay
3- 50 Percent Lethal Concentration

مقایسهٔ غلظت COD و TOC فاضلاب فنلی اکسید شده (محصول اکسیدکننده)، فاضلاب فنلی پیش تصفیه شده به‌روش بیولوژیکی، پساب DAF و پساب WWTP با مقادیر Lc_{50} مربوط به آنها نشان داد که مواد آلی نقش مهمی را در سمیت پساب داشتند. جدول ۱ خلاصه‌ای از این مقایسه راکه براساس اطلاعات حاصل از نمونه‌برداری تکمیلی به دست آمده نشان می‌دهد.

این مقایسه نشان داد که باکاهش غلظت COD و TOC مقدار سمیت فاضلاب نیز کاهش می‌یابد (Lc_{50} افزایش می‌یابد). به ویژه سمیت پساب DAF کمتر از سمیت پساب WWTP بود همانگونه که غلظت COD و TOC آن نیز کمتر بود. مروری بر نتایج حاصل از آنالیزهای مربوط به آلاینده‌های آلی سمی هیچگونه اولویت خاصی که سبب ایجاد سمیت در پساب باشد را نشان نداد.

بررسی کاهش سمیت

دومین مرحله تحقیق شامل انجام بررسیهایی در ارتباط با کاهش سمیت بر روی پساب WWTP با استفاده از روشهای تصفیه در مقیاس آزمایشگاهی بود. اگرچه مقدار اجزای بالقوه سمی نظیر آمونیاک، سیانید و فلزات سنگین در زیر حد آستانه سمیت آنها قرار داشت لیکن اثرات تشدیدکننده یا تضعیف کننده آنها بر روی میزان سمیت را می‌توان با انجام آزمایشات و بررسیهای ویژه تصفیه مورد مطالعه قرار داد. بررسیها و آزمایشات مربوط به تصفیه در مقیاس آزمایشگاهی شامل جذب سطحی توسط کربن فعال (پودر و گرانول کربن)، جذب سطحی Clinoptilolite و استفاده از قابلیت تهنشینی و جذب سطحی کلریدفریک (تصفیه آهن) بود.

جدول ۲ شرایط تصفیه در مقیاس آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. نمونه‌های گرفته شده از پساب WWTP جهت تعیین پارامترهای مورد نظر و تعیین سمیت آنها بر روی توده‌های زنده قبل و بعد از هر تصفیه آنالیز شدند. نتایج آزمایشات مربوط به تعیین کاهش سمیت نشان دادند که جذب سطحی توسط کربن فعال قادر به حذف کامل سمیت است در حالی که دیگر روشهای تصفیه فقط مقدار کمی از سمیت راکاهش دادند. این نتایج همچنین نشان دادند که سمیت موجود در پساب به موادآلی بستگی دارد. تماس باکربن فعال گرانوله (GAC)، غلظت COD باقیمانده یک نمونه پساب WWTP را از ۲۷۷mg/l به ۷۸mg/l کاهش داد که باعث شد Lc_{50} نیز از ۷۲٪ به بیش از ۱۰۰٪ افزایش یابد (۱۰۰٪ ماهیها زنده ماندند) و همچنین پودرکربن فعال (PAC) غلظت COD باقیمانده در یک نمونه دیگر از پساب WWTP را از ۲۴۲mg/l به ۵۰mg/l و مقدار TOC را از ۸۲mg/l به ۴mg/l کاهش داد، در این مورد نیز Lc_{50} از ۱۵٪ به بیش از ۱۰۰٪ افزایش یافت (۱۰۰٪ ماهیها زنده ماندند).

جدول (۱): مقادیر مواد آلی و سمیت فاضلاب‌های فرایند

آب مورد فرایند ۱	مقدار مواد آلی (mg/l)		۲ سمیت برحسب Lc_{50}
	TOC	COD	
محصول اکسیدکننده	۱۷۰۰	۵۴۳۰	۶/۱
فاضلاب فنلی پیش تصفیه شده	۳۸۰	۱۱۸۰	۲۲
پساب WWTP	۶۵	۱۹۸	۲۶
پساب DAF	۵۰	۱۶۸	۳۵

۱- نمونه‌برداری

۲- Lc_{50} ۹۶ ساعته، درصد، بااستفاده از زیست‌آزماییهای ثابت و با ماهی آبنوس به عنوان ماهی آزمایشی

جدول (۲): شرایط بررسی در مقیاس آزمایشگاهی

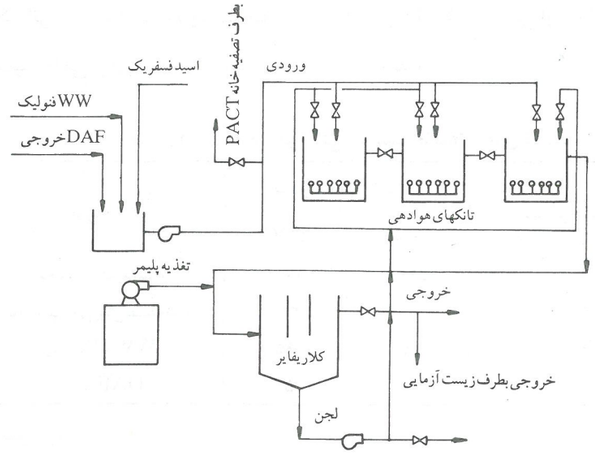
روش تصفیه*	شرایط آزمایش	
کربن فعال	دوز:	۰/۰۵g COD/g GAC
۱-به صورت گرانول	زمان تماس:	ساعت ۱۰ <
	pH:	۸/۶
	دوز:	۰/۰۵gr COD/g PAC
۲-به صورت پودر	زمان تماس:	ساعت ۳ <
	pH:	۷/۲
تصفیه Clinoptilolite	دوز:	۰/۰۵meq HN_4^+ N/g Clinoptilolite
	زمان تماس:	ساعت ۱۰ <
	pH:	۸/۶
تصفیه $FeCl_3$	دوز:	۱۱۰ mg Fe/l
	اختلاط سریع:	دقیقه ۱۵
	شناورسازی:	دقیقه ۴۵
	pH:	۷/۴

* آزمایشات انجام شده بر روی نمونه پساب WWTP

بررسی مقایسه‌ای پایلوت

مراحل ۱ و ۲ تحقیق نشان دادند که سمیت پساب مربوط به موادآلی بود، اما نوع ترکیبات مشخص نشد. همچنین استفاده و بکارگیری اطلاعات و داده‌های بهره‌برداری نشان دادند که سمیت بطور غیرمتمرکز در جریانهای مختلف فاضلاب وجود دارد و محدود به یک جریان خاص مانند فاضلاب فنلی نیست.

همه افراد درگیر در این تحقیق به حل مشکل سمیت پساب قبل از تخلیه معتقد بودند. سیستم جدید یا اصلاح شده تصفیه می‌توانست بدون استفاده از سیستمهای صافی چکنده و هاضم لجن فعال، کل فاضلاب پالایشگاه را تصفیه کند. در طی مرحله سوم تحقیق، محققین پتانسیل چندین راه دیگر تصفیه را مورد ارزیابی قرار داده و دو فرایند عملی و امکان‌پذیر یعنی

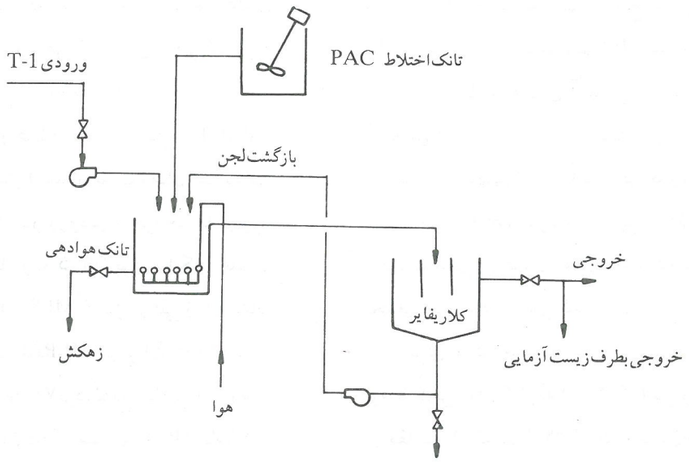


شکل (۳): شمایی از جریان مربوط به پایلوت سیستم EA

جدول (۳): معیارهای طراحی واحد پایلوت

پارامتر	معیارهای طراحی	
	PACT	EA
جریان (gpm)	۱	۲۰
COD تزریقی (mg/l)		
بارفنلی[1] : ۸ درصد	۶۳۰	۶۳۰
زمان‌ماند هیدرولیکی (ساعت)[2]	۱۲	۲۴
زمان‌ماند جامدات (روز)	۱۰	۲۰
دوز پودرکربن (mg/l)[3]	۷۵	-
میزان بارسطحی (gpd/ft^2)	۶۰۰	۷۵۰

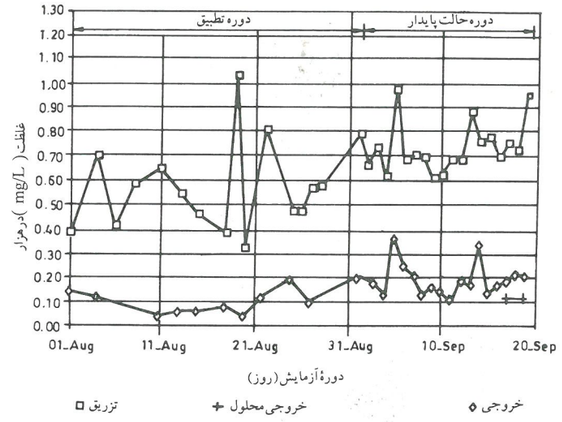
۱- جریان آب فنلی به صورت درصدی از جریان کل
۲- براساس جریان فاضلاب بدون برگشتی
۳- براساس میزان تزریق خوراک روزانه، کربن فرار



شکل (۴): شمایی از جریان مربوط به پایلوت سیستم PACT

تکنولوژی پودرکربن فعال (PACT) و هوادهی ممتد (EA)[1] را برای ایجاد پایلوت در پالایشگاه انتخاب نمودند. فرایند PACT یک فرایند اصلاح شده لجن فعال با بهبود در عملکرد بوسیله اضافه کردن پودرکربن فعال (PAC) می‌باشد و ثابت شده که در کاهش سمیت پساب صنعتی مؤثر بوده است. فرایند EA نیز یک فرایند لجن فعال با زمان ماند طولانی لجن (SRT)[2] و معمولاً با زمان ماند هیدرولیکی (HDT)[3] طولانی‌تر می‌باشد. مطالعات بر روی پساب حاصل از تصفیه نفت خام نشان داد که استفاده از زمانهای ماند طولانی لجن (SRT) برای تخریب موادآلی اصلی باقیمانده که در سیستم لجن فعال معمولی حذف نشده‌اند مناسب است. شمایی از نمودارهای جریان مربوط به پایلوت سیستمهای EA و PACT در شکلهای ۳ و ۴ نشان داده شده است، همچنین معیارهای کلیدی طراحی آنها در جدول ۳ آورده شده است. پساب هر یک از این دو واحد پایلوت به جریان سیستم در محل

1- Extended Aeration
2- Sludge Residence Time
3- Hydraulic Detention Time



شکل (۵) اطلاعات در مورد COD واحد پایلوت PACT

زیست‌آزمایی فرستاده می‌شد. گونه‌های مورد استفاده به عنوان اجزاء توده زنده ماهی آبنوس و ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمانی به عنوان گونه‌های زیست‌آزمایی استفاده شدند.

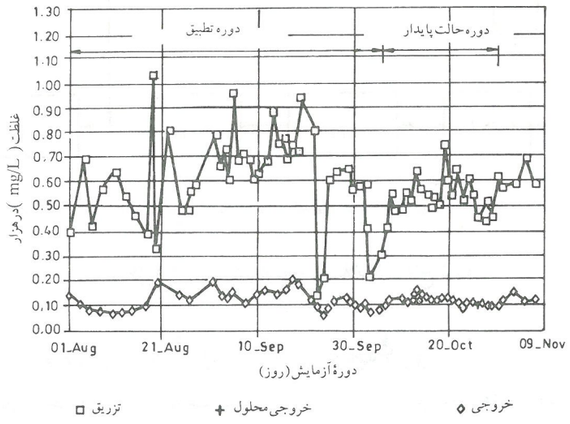
شکل ۵ نتایج حاصل از عملکرد واحد پایلوت PACT را نشان می‌دهد. در شرایط پایدار (بعد از مدت زمان سه برابر SRT) میانگین غلظت COD در ورودی و خروجی به ترتیب برابر ۷۴۵mg/l و ۲۰۰mg/l با بازده ۷۳/۵٪ بود. میانگین غلظت جامدات معلق مایع مخلوط (MLSS)[1] نیز در طی زمان مشابه ۴۰۰۰mg/l و میانگین غلظت MLPAC[2] برابر ۱۴۰۰mg/l که به معنی غلظت PAC به میزان ۷۰mg/l بود. نتایج حاصل از بررسی سمیت بر روی توده زنده نشان داد که سیستم PAC اساساً کل سمیت حاد (تماس ۹۶ ساعت) را حذف کرده بود و بقاء ماهی آبنوس و قزل‌آلا در بررسی اثرات سمی بر توده‌های زنده ساکن و توده‌های با حالت روان به ۹۵٪ تا ۱۰۰٪ رسید.

شکل ۶ غلظت COD را در واحد پایلوت EA نشان می‌دهد. در سیستم EA کاهش در غلظت COD مشابه و یا حتی بهتر (از سیستم قبل) بود. در سیستم EA حساسیت غلظت COD خروجی نسبت به تغییرات ورودی به علت زمان HDT (زمان ماند هیدرولیکی) طولانی‌تر در سیستم EA کمتر بود. همچنین در طی زمان سکون غلظت سایر پارامترهای مورد نظر از جمله TOC کمتر از حد غلظت‌های مجاز برای تخلیه بود. با این همه، نتایج حاصل از آزمایش سمیت بر روی توده زنده در سیستم EA رضایتبخش نبود و هیچ ماهی قزل‌آلایی بعد از ۲۴ ساعت تماس با پساب سیستم EA زنده نماند.

میزان بقاء ماهیهای آبنوس نیز به استثناء دو مورد در آزمایشهای با جریان روان به صفر درصد رسید. در حالیکه شرایط آزمایشهای توده زنده ساکن قدرت بقاء بیشتری را برای ماهی آبنوس فراهم نمود، شاید این به دلیل تخریب و تجزیه ترکیبات سمی در طول زمان باشد که باعث کاهش اثرات تجمعی این عناصر سمی شد.

برای اینکه تعیین شود که آیا ترکیب EA و جذب سطحی توسط کربن فعال گرانوله (GAC) می‌توانست یک راه عملی در مقایسه با سیستم PACT برای رسیدن به معیارهای سمیت باشد یا نه، محققین یک آزمایش تکمیلی انجام دادند. نتایج این آزمایش نشان داد که جلادهی جریان تصفیه شده EA پسابی را تولید می‌کند که در آن توده زنده می‌توانست بطور ۱۰۰٪ (بعد از تماس ۹۶ ساعته) زنده بماند. از آنجائی که یک مقایسهٔ اقتصادی نشان داد که روش EA-GAC (سیستم EA با به کارگیری کربن فعال گرانوله) بسیار پرهزینه تر از یک سیستم PACT در مقیاس کامل بود بنابراین استفاده از فرایند PACT برای موارد بعدی پیشنهاد گردید.

1- Mixed Liqur Suspended Solids
2- Mixed Liqur Powdered Activated Carbon



شکل (۶): اطلاعات مربوط به COD واحد پایلوت EA

بررسی عملکرد واحد پایلوت

در طی چهارمین مرحلهٔ مطالعه، محققین با استفاده از واحد پایلوت بزرگتر، چهار حالت مختلف را برای فرایند PACT مورد بررسی قرار دادند که این چهار حالت عبارت بودند از:

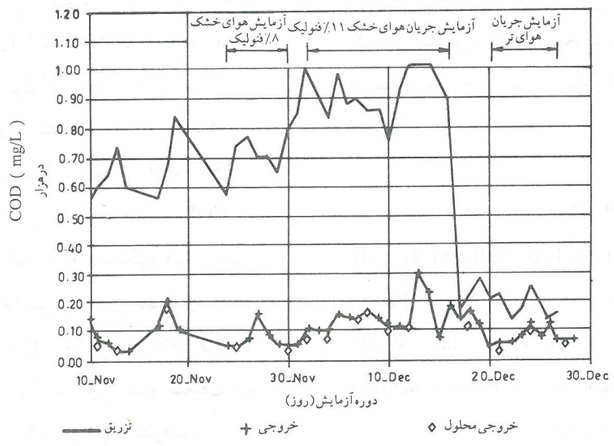
۱- جریان در آب و هوای خشک با ۸٪ فاضلاب فنلی
۲- جریان در آب و هوای خشک با ۱۱٪ فاضلاب فنلی
۳- جریان در آب و هوای تر (۵ برابر جریان آب و هوای خشک)
۴- فاضلاب فنلی بدون استفاده از واحد اکسید کننده

فاضلاب حاوی ۸٪ فنل یک نسبت متوسط معمولی و فاضلاب حاوی ۱۱٪ فنل یک نسبت بالقوه ما کزیمم برای آینده بود.

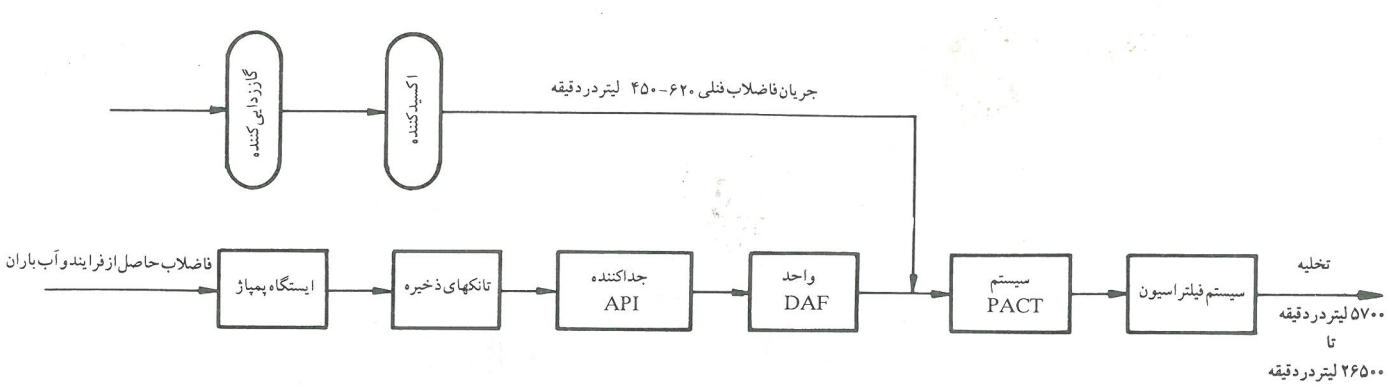
جریان در آب و هوای تر (۵ برابر جریان آب و هوای خشک) با توجه به حجم قابل قبول سیلاب و با در نظر گرفتن اینکه در آینده گذراندن جریان از کنار فرایند در سیستم WWTP مجاز نمی‌باشد، حداکثر جریانی که باید در آینده تصفیه شود را تخمین زد. حالت جریان در آب و هوای تر با رقیق کردن فاضلاب توسط آب شیر مشابه‌سازی شد.

در چهارمین حالت برای اینکه معلوم شود آیا سیستم PACT بدون پیش تصفیه فاضلاب فنلی در اکسیدکننده موجود می‌تواند فاضلاب پالایشگاه را بطور رضایتبخشی تصفیه کند یا نه، بدون عبور از واحد اکسیدکننده مورد بررسی قرار گرفت.

شکل ۷ غلظت COD واحد پایلوت PACT را در طی سه حالت اول بررسی فوق نشان می‌دهد.



شکل (۷): غلظت COD در واحد پایلوت PACT



شکل (۸): سیستم تصفیه فاضلاب اصلاح شده

در طی بررسی جریان در آب و هوای خشک، بازده حذف COD بیشتر از ۸۳٪ بود. بازده حذف بیشتر به علت زمانهای ماند هیدرولیکی طولانی‌تر (زمان ماند ۲۴ ساعته) بود. زمان ماند هیدرولیکی (HDT) طولانی‌تر برای شبیه‌سازی شرایط طراحی در مقیاس کامل و جریان حداکثر در آب و هوای تر (۵ برابر آب و هوای خشک) بود. در طی شبیه‌سازی جریان در آب و هوای تر حذف COD به ۶۳٪ رسید.

نتایج حاصل از بررسی سمیت پساب بر روی توده زنده برای جریان در آب و هوای خشک بسیار عالی بود. در این حالت، ماهیهای آبنوس و قزل‌آلا به میزان ۱۰۰٪ زنده ماندند. بررسی نتایج حاصل از آزمایشات مشابه در حالت جریان در آب و هوای تر بر روی تودهٔ زنده در اکثر موارد عالی بود البته به جز هنگامی که پایلوت به دلیل بد عمل کردن پمپ کلاریفایر دچار اختلال شد و مقدار جامدات معلق مایع مخلوط در تانک هوادهی سریعاً کاهش یافت. این اختلال بقاء (۹۵ تا ۱۰۰ درصدی) ماهیهای آبنوس را تحت تأثیر قرار نداد اما باعث کاهش میزان بقاء ماهیهای قزل‌آلا تا ۲۵٪ گشت که البته بعد از تنظیم پمپ میزان بقاء ماهیهای قزل‌آلا هم به ۱۰۰٪ رسید.

در طی بررسی تصفیه بدون استفاده از واحد اکسیدکننده، فاضلاب فنلی اکسید نشده برای اختلاط با پساب واحد DAF، به پایلوت فرستاده شد. در طول این زمان بازده حذف COD با شرایط آب و هوای خشک مشابه بوده و عملکرد فرایند نیز کاملاً پایدار بود. اگرچه نتایج حاصل از بررسی سمیت پساب بر روی توده زنده بدون هیچگونه دلیل روشنی برای ماهی قزل‌آلا بسیار متناقض بود (گاهی بسیار عالی و گاهی بسیار ضعیف) به این علت استفاده از واحد اکسیدکننده پیشنهاد نگردید.

نتیجه گیری

بر اساس معیارهای به دست آمده از بررسیهای انجام شده در مقیاس پایلوت، یک سیستم PACT در مقیاس کامل طراحی و ساخته شد. شکل ۸ جانمایی جریان فرایند اصلاح شده WWTP را نشان می‌دهد. یک واحد فیلتراسیون جهت گرفتن ذرات پودر کربن از پساب به سیستم افزوده شد در حالی که در طی بررسیهای انجام شده در مقیاس پایلوت برای دستیابی به شرایط لازم برای تخلیه و نیز محدوده‌های مجاز سمیت، نیازی به فیلتراسیون پساب نبود.

گرچه عملکرد سیستم در مقیاس کامل نشان داد که در اغلب اوقات فیلتراسیون لازم نبود لیکن در نظر گرفتن فیلتراسیون، پشتوانه خوبی در شرایط اختلال در سیستم می‌باشد.

این سیستم در مقیاس کامل همچنین یک سیستم اکسیداسیون هوای مرطوب برای احیاء PAC و برای اکسید کردن لجن بیولوژیکی در نظر می‌گیرد.

سیستم WWTP اصلاح شده به مدت بیش از دو سال با نتایج بسیار عالی حاصل از بررسی سمیت بر روی توده زنده‌کار کرده است پالایشگاه مورد بحث در کنترل سمیت پساب حاصل از تصفیه نفت خام اغلب از پالایشگاههای دیگر پیشی گرفته است.

★ Wong, J., Maroney, P., Diepolder, P., Chiang, K. & Benedict, A. (1992)." Petroleum Effluent Toxicity Reduction - From Pilot to Full -Scale Plant", Second International Conference on Waste Management in the Chemical & Petro Chemical Industries, Neworleans, USA,17-20