صنعت نفت
Oilindustry.ir
CLICK HERE

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

ششمین کنگره ملی خوردگی
۳۱-۲۹ خرداد ماه ۱۳۷۸

اندازه گیری و کنترل بایوفیلم در صنایع

ناهید آموزگار ـ فرامرز ترکیان ـ رادا زراسوند اسدی

پژوهشگاه صنعت نفت ـ پژوهشکده حفاظت صنعتی و محیط زیست ـ واحد میکروبیولوژی، آب و پساب

چکیده:

یکی از مشکلات متداول در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی فولینگ ناشی از فعالیت و رشد بیش ازحد میکروارگانیسم‌ها می‌باشد که معضلات عدیده‌ای از قبیل خوردگی میکروبی، کاهش تبادل حرارتی، گرفتگی لوله‌ها و... را ایجاد می‌نماید. بنابراین یک روش مناسب و عملی جهت اندازه گیری بایوفیلم تشکیل شده ضروری بنظر می‌رسد.

روشهای گوناگونی جهت اندازه گیری بایوفیلم به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم موجود می‌باشد که هر یک دارای مزایا و معایبی است. از معایب کلیه این روشها، عدم بیان واقعی شرایط حاکم بر سیستم و عدم اندازه گیری همزمان رشد بایوفیلم در سیستم می‌باشد که لازم است سیستم از سرویس خارج شود تا بتوان بایوفیلم تشکیل شده در دیواره تجهیزات را اندازه گیری نمود.

باتوجه به معایب ذکر شده انتخاب یک روش مناسب آنالیتیکی ضروری است تا بتوان با استفاده از آن رشد بایوفیلم را به‌صورت مداوم (on-line) اندازه گیری نمود، بدون آن‌که تغییری در روند عملیات سیستم ایجاد گردد. در این مقاله یک روش اندازه گیری بایوفیلم به صورت غیر مستقیم پیشنهاد می‌گردد، که اساس آن اندازه گیری ضریب اصطکاک حاصل از تشکیل بایوفیلم می‌باشد. با اندازه گیری افت فشار و محاسبه ضریب اصطکاک، میتوان میزان رشد بایوفیلم را تخمین زد.

این روش در کلیه صنایع دارای سیستم‌های خنک‌کننده کاربرد دارد. دستگاه اندازه گیری بایوفیلم در پژوهشگاه صنعت‌نفت طراحی و ساخته شده و بمنظور کالیبراسیون در پالایشگاه اصفهان و پتروشیمی شیراز نصب و راه‌اندازی گردید که نتایج حاصل از عملکرد آن در این مقاله ارایه می‌شود. این مقاله حاصل کارهای عملیاتی دو "پروژه رفع آلودگی میکروبی و ارایه روش در برج‌های خنک‌کننده پتروشیمی شیراز منطقه ۲" و "بهینه‌سازی مصرف بایودیسپرسنت در پالایشگاه اصفهان" می‌باشد که افراد ذیل در این دو پروژه همکاری داشته‌اند.

آقایان:

رحمانقلی سلیمانی- عبدالرسول حیدریان- بهنام راسخ- مجید آل‌علی- علی حرفت‌منش- اشک کی‌تاش- محمدرضا حسنی‌نژاد فراهانی- محمود وافی- خلف فریادین- حسام رضایی- غلامحسین فیروزی -هوشنگ بویری -مسعود امیرزادگان

همکاران صنعتی در شیراز: آقایان عبدالرضا فولاد و حبیب سعیدی‌زاده

همکاران صنعتی در اصفهان: آقای فردین مختاری

مقدمه:

یکی از مشکلات متداول در سیستم‌های خنک‌کننده آبی فولینگ ناشی از فعالیت و رشد بیش از حد میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. با توجه به مواد غذایی کافی، محدوده مناسب pH و دما در سیستم‌های خنک‌کننده و حضور مواد آلوده‌کننده و ورود میکروارگانیسم از طریق هوا، آب و خاک، این‌گونه سیستم‌ها محیط ایده‌آلی جهت رشد میکروارگانیسم‌ها را فراهم می‌کنند.

بعلاوه یکی دیگر از اهداف صنایع، بهینه‌سازی مصرف آب می‌باشد که این عمل با برگرداندن آب مصرفی (recycling) و کاهش تخلیه آن به محیط صورت می‌پذیرد. این امر سبب افزایش مواد معلق و محلول در آب مصرفی گردیده، در نتیجه سبب افزایش رشد میکروارگانیسم‌های موجود در آب شده و جمعیت میکروبی را افزایش می‌دهد. افزایش و تجمع نامطلوب مواد آلی بر روی سطوح سبب تشکیل بایوفیلم در مقیاس‌های میکروسکپی و ماکروسکپی شده که خسارات فراوانی در صنایع ایجاد می‌کنند [3]. اثرات زیان‌آور ناشی از تشکیل بایوفیلم شامل موارد زیر می‌باشند:

۱ـ جمع شدن بایوفیلم سبب کاهش ضریب انتقال حرارت در مبدلهای حرارتی و کندانسور می‌شود.

۲ـ سبب گرفتگی خلل و فرج مخازن نفتی در مراحل ازدیاد برداشت می‌شود.

۳ـ تشکیل بایوفیلم با ضخامت ۱۰۰۰ میکرون در دیواره کشتی‌ها، سرعت کشتی را به‌میزان ۲۰ درصد کاهش می‌دهد که این امر موجب افزایش مصرف سوخت می‌گردد.

۴ـ تشکیل بایوفیلم با ضخامت ۱۰۰۰ میکرون در لوله‌های به قطر ۱۲/۵ میلیمتر سبب کاهش سرعت جریان به میزان ۵۰ درصد می‌گردد [3].

۵ـ افزایش بایوفیلم سبب افزایش ضریب اصطکاک گردیده در نتیجه افت فشار افزایش یافته بنابراین پمپی با قدرت بیشتر مورد نیاز می‌باشد.

۶ـ خسارات اقتصادی ناشی از تشکیل بایوفیلم سرسام‌آور می‌باشد.

انواع میکروارگانیسم‌هایی که در سیستم‌های خنک‌کننده آبی یافت می‌شوند عبارتند از: جلبک‌ها، باکتریها و قارچهای مولد لجن، قارچهای تخریب‌کننده چوب، باکتریهای احیاء کننده سولفات و ... همانند املاح معدنی میکروارگانیسم‌ها نیز دارای قابلیت تجمع در سیستم‌های خنک‌کننده آبی می‌باشند. تجمع میکروارگانیسم‌ها با رسیدن به مرحله رشد لگاریتمی آنها افزایش می‌یابد.

بررسیهای انجام شده نشان می‌دهد که در یک فاصله زمانی مساوی، سرعت تشکیل رسوبات معدنی ۵ الی ۶ برابر است، در حالیکه برای میکروارگانیسم ۵ تا ۶ میلیون برابر می‌باشد بنابراین

میزان افزایش جمعیت میکروبی یک میلیون برابر بیشتر از تغلیظ املاح معدنی در زمان مساوی تحت شرایط یکسان می‌باشد.[1] بدلیل بروز مشکلات عدیدهٔ ناشی از تشکیل بایوفیلم، لازم است ماهیت بایوفیلم شناخته شده و از تشکیل و گسترش آن جلوگیری نمود.

بایوفیلم:

تجمع موجودات زنده میکروسکپی در محیط‌های آبی و رشد و تکثیر آن‌ها بر روی سطوح باعث تشکیل یک لایه بیولوژیکی چسبنده می‌شود که بایوفیلم نامیده می‌شود. ضخامت بایوفیلم بسته به نوع موجودات زنده در شرایط محیطی متغیر می‌باشد. تشکیل بایوفیلم‌های لجن که از یکسری مواد پلیمری که توسط فعالیت‌های متابولیکی موجودات زنده درون بایوفیلم بوجود می‌آید، همراه می‌شود.

فرآیندهایی که سبب تجمع بایوفیلم بر روی جداره سطوح می‌شوند متنوع بوده و به‌شکل هندسی جداره، شرایط هیدرودینامیکی و شرایط محیطی وابسته می‌باشند. طبیعت شیمیایی شبکه بایوفیلم تشکیل شده توسط باکتری‌ها تحت تاثیر گونه‌های باکتریایی می‌باشد ولی غالبا" ساختار کربوهیدراته دارند. [9]

بایوفیلم تشکیل شده بر روی دیواره تجهیزات، سبب کاهش تبادل حرارتی، افزایش ضریب اصطکاک و افزایش خوردگی حفره‌ای در صنایع می‌شود.

فرآیند تشکیل بایوفیلم:

مراحل تشکیل بایوفیلم عبارت است از:

۱ـ ملکول‌های آلی شامل پروتئین‌ها، پلی ساکاریدها، اسیدنوکلئیک، اسید هیومیک و به میزان کمتری ملکول‌های آب گریزی چون اسیدهای چرب، چربی‌ها و مواد آلوده‌کننده‌ای چون DDT، هیدروکربورهای آروماتیک و ترکیبات فنلی کلره، به سطح تمیز مسیر جریان سیال چسبیده و تشکیل لایه نازکی (Conditioning film) را می‌دهد. بدین‌ترتیب بستری مناسب جهت چسبیدن انواع باکتری‌های شناور (Planktonic) فراهم می‌گردد. این ملکول‌های چسبیده به سطح سبب تغییر خصوصیات فیزیولوژیکی سطح می‌گردند. با تغییر خصوصیات فیزیولوژیکی، بار سطحی و انرژی آزاد شده از سطح نیز تغییر می‌کند. خصوصیات بایوفیلم تحت تاثیر عوامل زیر می‌باشد:

الف ـ تعداد باکتری‌های چسبنده

ب ـ قدرت چسبندگی آن‌ها

ج ـ غلظت ماده غذایی که رشد باکتری‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد

د ـ طبیعت ماده آلوده کننده

باکتری‌ها در زیستگاه طبیعی خود با شرایطی از قبیل کمبود غلظت و عدم تعادل مواد غذایی مواجهه می‌شوند. از این رو بدلیل کمبود مواد غذایی بمنظور افزایش شانس زنده‌ماندن، اندازه و فعالیت متابولیکی آن‌ها کاهش می‌یابد.

در برخی از باکتری‌ها، مرحله «کمون-زندگی» (Starvation-Survival) باعث افزایش چسبندگی به سطوح مسیر جریان سیال می‌گردد چسبندگی امکان رشد باکتری‌های قحطی‌زده را بر روی لایه نازک مواد آلی فراهم می‌سازد، در حالیکه همین باکتری‌ها در محیط‌های آبی ممکن است فاقد رشد بوده و یا رشد بسیار کمی داشته باشند.

در ابتدای چسبندگی، اندازه باکتری‌ها، بدلیل قحطی زدگی کوچک است، در حالیکه پس از مواجه با مواد غذایی موجود در لایه نازک ماده آلی، به اندازه طبیعی خود می‌رسند. بنابراین این لایه نازک ماده آلی مسئول تغذیه باکتری‌های قحطی زده می‌باشد.[۹]

۲ـ با رشد باکتری‌ها و ترشح پلیمر خارج سلولی (extracellular Polymer)، تشکیل بایوفیلم موسیلاژی ادامه می‌یابد. در حین رشد (بعد از عمل تقسیم دوتایی)، طریقه چسبندگی به سطوح برای باکتری‌های گوناگون، متفاوت می‌باشد. بعنوان مثال برای باکتری‌های از نوع ویبریو، طریقه چسبندگی پس از عمل تقسیمِ دوتایی روی هم و برای باکتری‌های از نوع سودوموناس کنار هم می‌باشد.

باکتری‌ها مواد آب دوست را ترک نموده و با چسبیدن به مواد آب گریز چون اسیدهای چرب، به مصرف این مواد می‌پردازند. با تکرار این عمل، بایوفیلم گسترش می‌یابد. [۹]

در این مرحله بایوفیلم کامل شده و قابل رویت می‌باشد. شکل و استحکام بایوفیلم بر حسب انواع میکروارگانیسم‌های موجود و شرایط سیال متغییر می‌باشد نمونه‌ای از بایوفیلم تهیه شده بااستفاده از میکروسکوپ الکترونی در شکل (۱) نمایش داده شده است.

۳ـ با افزایش ضخامت بایوفیلم نفوذ گازهای محلول و دیگر مواد غذایی محلول موجود در سیال به داخل بایوفیلم کند شده و نتیجتاً شرایط برای برخی از میکروارگانیسم‌های قسمت تحتانی بایوفیلم نامطلوب گردیده و سبب مرگ آن‌ها می‌گردد. با سست شدن قسمت‌های تحتانی بایوفیلم، فشار لایه‌ای ناشی از جریان سیال باعث کنده‌شدن بایوفیلم شده و سبب تجمع لجن در داخل سیال می‌شود و نواحی برهنه شدهٔ سطح در معرض مجدد سیال قرار می‌گیرند. میکروارگانیسم‌های موجود

در سیال بر روی نواحی برهنه شده فوق، کلنی‌های جدیدی را ایجاد و با ترشح مواد پلیمری، بایوفیلم جدیدی را می‌سازند. کلیه مراحل تشکیل بایوفیلم در شکل (۲) نشان داده شده است. [۵]

روشهای اندازه‌گیری بایوفیلم

۱ـ روشهای بصری (Visual)

۲ـ روشهای تحلیلی (Analytical)

از آنجاییکه در کلیه سیستم‌های خنک‌کننده آبی امکان رویت فیلم بیولوژیکی تشکیل شده میسر نیست لذا روش اندازه‌گیری بایستی قابلیت ارزیابی کلیه سیستم‌های موجود اعم از باز و بسته را دارا باشد. بعنوان مثال با توجه به مشکلات عملیاتی که در بازبینی مبدل‌های حرارتی وجود دارد امکان بازرسی مداوم (Visual) میسر نیست. در حالیکه در برجهای خنک‌کننده آبی می‌توان با مشاهده بصری چوب‌های برج خنک‌کننده به میزان فیلم بیولوژیکی پی برد.

به این نکته مهم باید توجه داشت قبل از اینکه میزان فیلم بیولوژیکی تشکیل شده در مبدلهای حرارتی با چشم غیر مسلح رویت گردد، قابلیت کاهش قابل توجهی در کارآیی مبدلهای حرارتی را دارا می‌باشد.(۲)

انواع روشهای اندازه‌گیری بایوفیلم:

الف: روشهای بصری[۱]

۱ـ شمارش مستقیم باکتری (Direct Cell Counts)

۲ـ اندازه‌گیری فعالیت متابولیکی (Determination of metabolic activity)

۳ـ شمارش باکتری هوازی (Aerobic Plate Count)

۴ـ شناسایی با میکروسکپ الکترونی (Scanning electron microscopy)

ب: روشهای تحلیلی

۱ـ پروب‌های تشخیص رسوبات (Deposit development Probes)

۲ـ دستگاه اندازه‌گیری رسوبات SBFM (Side-Stream biofouling monitorig devicesr)

۱ـ روش اندازه‌گیری بصری به دو بخش مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شود روش مستقیم شامل شمارش باکتری‌هابوسیله لام و میکروسکوپ است در حالیکه روشهای غیر مستقیم قبل از استفاده نیازمند انجام یکسری عملیات ویژه است.

با نصب این دستگاه در کنار واحد اصلی و پمپاژ آب واحد به این دستگاه می‌توان سیستم را از نظر تشکیل رسوبات (بیولوژیکی و غیربیولوژیکی) ارزیابی و کنترل نمود. این دستگاه قابل استفاده در کلیه سیستم‌های خنک‌کننده اعم از بازگردشی و یکبارگذر می‌باشد. بمنظور جلوگیری از تغییرات در شرایط عملیاتی سیستم اصلی این دستگاه بصورت By-Pass Loop به سیستم نصب می‌گردد.

۳ـ لوله اندازه‌گیری بایوفیلم (Tubular biofilm monitoring devices)

۴ـ دستگاه Pedersen

با بررسی کلیه روشهای بصری و تحلیلی معایب و محاسن این دو روش بشرح زیر ارایه می‌گردد:

معایب روشهای بصری:

ـ در روش اندازه‌گیری شمارش مستقیم تعداد باکتری‌های شمارش شده ۱۰ برابر بیشتر از روش شمارش بر روی بشقاب است (در روش شمارش مستقیم باکتریهای مرده نیز شمارش می‌گردد).

ـ از آنجاییکه هر باکتری نیاز به محیط کشت متفاوتی جهت رشد دارد، لذا با استفاده از یک محیط کشت با فرمول ثابت نمی‌توان کلیه باکتریها را شمارش نمود.

ـ برخی از باکتریها کلنی‌های قابل رویت ایجاد نمی‌کنند (تیوباسیلوس فرواکسیدانس) بنابراین روش شمارش بواقعیت نزدیک نمی‌باشد.

ـ در روش کار Pour Plate، باکتریهای هتروتروف نمونه در مقابل درجه حرارت آگار حساس می‌باشند. بنابراین حساسیت ناشی از حرارت آگار همراه با فقر غذایی محیط کشت بر شمارش باکتریها تاثیر می‌گذارد.

ـ محیط کشت آزمایشگاهی (Nutrient-rich agar) نیازهای غذایی برخی از باکتریها را فراهم نمی‌کند. در نتیجه زمانیکه این باکتریها در معرض این محیط کشت قرار می‌گیرند مواد مغذی موجود در این محیط کشت (منبع کربن) سبب مرگ آنها شده و این امر باعث غیر واقعی بودن نتایج شمارش می‌شود. [۳]

ـ در روش شمارش (TBC) فقط می‌توان باکتریهای شناور را شمارش نمود. و باکتریهای چسبنده قابل شمارش نمی‌باشند و این در حالی است که تعداد باکتریهای چسبنده موجود در یک سانتی‌متر مربع لجن حداقل ۲۰۰ برابر بیشتر از تعداد باکتریهای موجود در یک میلی‌لیتر آب می‌باشد. [۲]

ـ در روش شمارش بصری غیر مستقیم مانند روش SEM، تعداد باکتریهای مشاهده شده با میکروسکپ الکترونی را نمی‌توان معادل باکتریهای زنده بحساب آورد و نسبت بین این دو پارامتر

(سلولهای زنده و سلولهای مشاهده شده) کم است.[۳]

با توجه به معایب ذکر شده لازم است یک روش مناسب آنالیتیکی انتخاب گردد تا با استفاده از آن بتوان میزان رشد بایوفیلم را بصورت On-line در سیستم‌های خنک‌کننده اندازه‌گیری نمود، بدون آنکه تغییری در روند عملیات سیستم ایجاد گردد. یکی از این روشها نمایش ضریب اصطکاک حاصل از تشکیل بایوفیلم می‌باشد که با اندازه‌گیری افت فشار و محاسبه ضریب اصطکاک، میزان رشد بایوفیلم را تخمین می‌زند.

اصول و مبانی دستگاه کنترل بایوفیلم:

دستگاه اندازه‌گیری بایوفیلم (Side Stream biofouling monitoring-SBFM) شامل بخش‌های زیر است:

۱ـ لوله اصلی از جنس Stainless steel (SS ۳۱۶) بطول ۱/۸۳ متر بقطر داخلی ۰/۰۲ متر

۲ـ لوله مانومتر حاوی روغن سلولوپ ۵۵۰ بوزن مخصوص ۱/۲ با پایه فسفات استر

۳ـ روتامتر جهت اندازه‌گیری جریان در محدوده ۰/۵ تا ۲/۵ متر مکعب در ساعت

۴ـ لوله by-pass جهت شستشوی لوله اصلی

دستگاه فوق در مسیر برگشتی آب خنک کننده (CoolingWater return line) نصب گردیده تا میزان تشکیل بایوفیلم را در شرایط کنترل شده بررسی نماید.

بدین وسیله میتوان شرایط سیستم اصلی را در لوله مورد نظر شبیه‌سازی نمود و گسترش بایوفیلم را بوسیله مشاهده تغییرات در افت فشار ارزیابی نمود. بموازات اندازه‌گیری افت فشار در دستگاه اندازه‌گیری بایوفیلم آزمایشات TBC و اندازه‌گیری میزان کلر باقیمانده انجام گردید و نتایج حاصل از هر دو روش مقایسه و بدین وسیله دستگاه کنترل بایوفیلم کالیبره گردید.[۴]

شرایط بهره‌برداری دستگاه:

دستگاه SBFM تحت شرایط زیر نصب و راه‌اندازه می‌گردد.

- شدت جریان در محدود ۲ متر مکعب در ساعت
- درجه حرارت آب ورودی (TR) ۳۰ درجه سانتیگراد
- عدد رینولدز برابر ۴۴۲۰۰

با ثابت نگهداشتن شدت جریان در محدوده ۲ متر مکعب در ساعت، سرعت جریان عبوری

معادل ۱/۵ متر بر ثانیه خواهد بود.

در سرعت‌های پایین، بایوفیلم تمایل به حجیم‌شدن داشته و توده‌های بایوفیلم تشکیل شده پخش می‌شود در حالیکه در سرعت‌های بالا، بایوفیلم متراکم و فشرده‌تر بوده، بنابراین بعنوان یک اصل سرعت جریان مناسب جهت تشکیل کلنی و بحداقل رساندن ته‌نشینی مواد جامد، ۱/۵ متر بر ثانیه توصیه می‌گردد.[۵]

تئوری دستگاه SBFM:

افت فشار ناشی از جریان سیال در یک لوله با استفاده از فرمول (۱) دارسی محاسبه می‌گردد.

$$h = f \frac{L V^2}{2 g D} \qquad (۱)$$

که در این فرمول پارامترهای بکار رفته عبارتند از

h= افت فشار(متر)

f= ضریب اصطکاک (بدون بعد)

L= طول لوله (متر)

D= قطر داخلی لوله (متر)

V= سرعتِ سیال (متر بر ثانیه)

g= شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه)

پارامتر Δh از حاصلضرب افت فشار خوانده شده از دستگاه در وزن مخصوص روغن (S.G.= ۱/۲) بدست می‌آید (در صورتیکه روغن و آب در لوله مانومتر جریان داشته باشند لازم است وزن مخصوص روغن از وزن مخصوص آب کم گردد). با قرار دادن کلیه پارامترهای فوق در فرمول دارسی ضریب لوله تمیز دستگاه کنترل بایوفولینگ در پتروشیمی شیراز منطقه دو ۰/۰۱۶۴ بدست آمد.

دستگاه چنان طراحی شده است که دیگر فاکتورهای موثر بر ضریب اصطکاک و افت فشار بحداقل رسانده شود، یکی از این فاکتورهایی که در زبری جدار موثر است جنس لوله می‌باشد بنابراین جنس لوله اصلی Stainless Steel انتخاب گردیده که جهت توسعه بایوفیلم مناسب بوده اما در فرآیند خوردگی جدار آن زبر نمی‌گردد. فاکتور موثر دیگر در ضریب اصطکاک درجه حرارت می‌باشد بنابراین بایستی در حین عملیات درجه حرارت ثابت بماند (تحت شرایطی درجه حرارت در سیستم

تغییر یافته است که این تغییرات کاملا" در ضریب اصطکاک مشاهده گردیده است). جهت تاثیر درجه حرارت از مدل‌های ریاضی استفاده گردیده است. در نتیجه افزایش درجه حرارت، رسوبات در جداره لوله تشکیل می‌گردد که سبب تغییر ضریب اصطکاک می‌گردد.

چنانچه گفته شد بایوفیلم مجموعه‌ای از سلولها و آنزیمها مترشحه سلولی و دیگر محصولات جانبی است که به لایه سطحی لوله چسبیده و پایه اساسی تشکیل فولینگ می‌باشد. طبق بررسی‌های انجام شده، ۹۹/۹۹-۹۰ درصد از فعالیت باکتریها در جریانات کم‌عمق به بایوفیلم نسبت داده شده است.

جهت شناسایی بهتر اثرات تشکیل بایوفیلم در سیستمهای برج خنک‌کننده لازم است صفات بایوفیلم بررسی شود، هر چند در این بررسی محدودیت‌های فراوانی وجود دارد.

فاکتورهای موثر در تجمع بایوفیلم:

الف ـ ضخامت بایوفیلم

ب ـ چگالی سطحی و حجمی

ج ـ زبری

ساخت، نصب و راه‌اندازی دستگاه:

طبق مشخصات ارایه شده در شکل (۳) دستگاه کنترل بایوفیلم در خدمات فنی پژوهشگاه صنعت نفت ساخته شد. بمنظور کنترل بایوفیلم دستگاه در برگشتی برج خنک‌کننده پروسس نصب گردید. جهت نصب و راه‌اندازی آن عملیات زیر انجام گردید:

الف ـ از برگشتی برج خنک‌کننده یک انشعاب فرعی گرفته شد.

ب ـ جریان سنج از نوع روتامتر به برگشتی فوق وصل گردید. (میزان جریان بوسیله این جریان سنج دوبار در روز کنترل شد).

ج ـ جریان سنج به لوله اصلی دستگاه اندازه‌گیری بایوفیلم نصب گردید، بطریقی که آب برگشتی از طرف دیگر لوله خارج و به حوضچه می‌ریزد.

د ـ افت فشار در مانومتر دستگاه ۲ بار در روز اندازه‌گیری می‌شود.

نکات ویژه در راهبری دستگاه:

هنگام نصب و راه‌اندازی دستگاه لازم است مواردی **مورد توجه قرار گیرد** این نکات عبارتند از:

صنعت نفت
Oilindustry.ir
CLICK HERE

۲ـ درجه حرارت محیط (با یک لوله بخار منطقه قرارگرفتن دستگاه گرم شده است)

۳ـ عدم قطع جریان (بمنظور جلوگیری از قطع و تغییرات جریان می‌توان یک مخزن ذخیره قبل از روتامتر تعبیه نمود تا جریان همواره بطور یکنواخت به سیستم تزریق گردد).

کاربرد دستگاه:

این دستگاه در موارد زیر کاربرد دارد:

۱ـ اندازه‌گیری میزان تشکیل بایوفیلم

۲ـ ارزیابی اثر بایوسایدها در کنترل رشد بایوفیلم

۳ـ ارزیابی اثر پخش‌کنندگی بایودیسپرسنت‌ها

۴ـ اندازه‌گیری میزان رسوبات ناشی از فعالیت باکتری‌ها و به همراه رسوبات شیمیایی

بحث و نتیجه‌گیری:

بمنظور ارزیابی کارکرد دستگاه بایوفیلم، این دستگاه در دو پروژه مجزا در پالایشگاه اصفهان و پتروشیمی شیراز منطقه ۲ نصب و راه‌اندازی گردید.

در پالایشگاه اصفهان به‌طور موازی مقادیر MLVSS، TBC و ضریب اصطکاک (f) اندازه‌گیری شده است. بمنظور اندازه‌گیری MLVSS در حوضچه‌های برج خنک‌کننده واحد روغن سازی (C)، صفحات شیشه‌ای به ابعاد 25cm × 50cm در پنج نقطه قرار داده شده است (صفحات در محلی نصب گردیده‌اند که حداقل تغییرات شدت جریان در این نقاط مشاهده شده است). محل‌های نصب صفحات شیشه‌ای در شکل (۴) نمایش داده شده است.

همچنین نمونه‌ای از جداول مقایسه MLVSS، TBC و میزان ضخامت بایوفیلم در جدول (۱) ارایه گردیده است.

جهت بررسی مقدار لجن تولید شده در مقابل شمارش باکتری‌ها (TBC) نمودار مربوطه نیز رسم گردیده است که در شکل (۵) ارایه می‌گردد.

بررسی نتایج بدست آمده از کلیه آزمایشات TBC، MLVSS، ضریب اصطکاک نشان می‌دهد که مقدار ۰/۳ـ۰/۲ میلیگرم در لیتر کلر باقیمانده، می‌تواند ضریب اصطکاک را در حد ضریب اصطکاک لوله تمیز نگاه دارد. این واقعیت در شکل (۶) ارایه می‌گردد.

بدنبال انجام کارهای عملیاتی در پالایشگاه اصفهان، بررسی‌هایی در این زمینه در پتروشیمی شیراز منطقه ۲ انجام پذیرفته است. در این مرحله از کار، افت فشار از دستگاه اندازه‌گیری بایوفیلم و آزمایشات TBC روزانه بدست آورده شده است. این آزمایشات بمنظور مقایسه ضریب اصطکاک درمقابل TBC می‌باشد. با بدست آوردن افت فشار و قرار دادن در فرمول دارسی، ضریب اصطکاک (f) محاسبه می‌گردد. درجریان‌های اغتشاشی (Re>۴۰۰۰) ضریب اصطکاک تابعی از عدد رینولدز و زبری جدار (roughness) می‌باشد بنابراین بااستفاده ازفرمول (۲)، ضخامت بایوفیلم محاسبه می‌گردد.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.737 \, Ln \left[\frac{1.256}{Re\sqrt{f}} + \frac{\varepsilon / D}{3.707} \right] \qquad (۲)$$

با مقایسه ضریب اصطکاک، ضخامت بایوفیلم و TBC (نمودارهای ۷ و ۸ مشخص می‌گردد که میزان رشد بایوفیلم در مدت زمان پروژه کنترل گردیده است.

بمنظور بررسی صحت این مساله دوبار دستگاه کنترل بایوفیلم از سرویس خارج گردید و سطح داخلی لوله اصلی با برس پاک شد و با عبور سیال داخل لوله از فیلتر مشاهده گردید که فیلم بیولوژیکی در داخل لوله تشکیل نگردیده است.

این مساله در مبدل حرارتی واحد آمونیاک ۲۱۰۳B مجتمع پتروشیمی شیراز بررسی و صحت آن تصدیق گردید. با مقایسه ضریب اصطکاک و ضخامت محاسبه گردید، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش ضریب اصطکاک، ضخامت بایوفیلم افزایش می‌یابد که این مساله در اشکال ۹ و ۱۰ مشاهده می‌گردد.

با توجه به نمودار ۱۰ می‌توان نتیجه گرفت که در صورتیکه Δh در محدوده ۱۱-۱۰ سانتی‌متر باشد سیستم از نظر تشکیل بایوفیلم تحت کنترل است.

بدین ترتیب علاوه بر اندازه‌گیری TBC که یک روش آزمایشگاهی برای ارزیابی سیستم‌های برج خنک‌کننده می‌باشد، می‌توان با نصب این دستگاه در فیلد به صورت مداوم سیستم را از نظر تشکیل بایوفیلم تحت کنترل قرار داد.

بمنظور تفکیک بایوفیلم تشکیل شده در جدارهٔ داخلی لوله از رسوبات حاصل از ته‌نشینی مواد جامد، آزمایشات در دو سری مجزا با شدت جریان متفاوت ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ لیتر در ساعت انجام گردیده که با مقایسه این دو حالت میتوان میزان رسوبات حاصل از ته‌نشینی را بدست آورد. بر اساس نتایج بدست آمده از این مقایسه، لازم است بمنظور ارزیابی بایوفیلم حاصل از فعالیت میکروارگانیسم‌ها، شدت جریان عبوری از لوله را در محدودهٔ ۲۰۰۰ لیتر در ساعت نگهداری شود.

Refrences:

1- Bromicide- A New Biocide For Cooling Water Systems. Nick T. Macchiarolo, Carl Johnson, Richards. Hornack 1980

2- How To Monitor BIOFILM Development. Procedures of Industerial water Treatment, Chapter 9.

3- Practical Aspects of Biofouling Control in Industrial wster systems. T.Eugene cloete, volker s. Brozel. International Biodeterioration & Biodegradation 29 (1992) 299-341

4- Biofouling Control in recycled cooling water With bromo chloro dimethlhydantion. J.V.Matson, W.Q.Characklis, Journal of Cooling tower Institue, vol. 4,No 1.

5- Microbiologically Influenced Corrosion. Gregory Kobrin, Editor 1993.

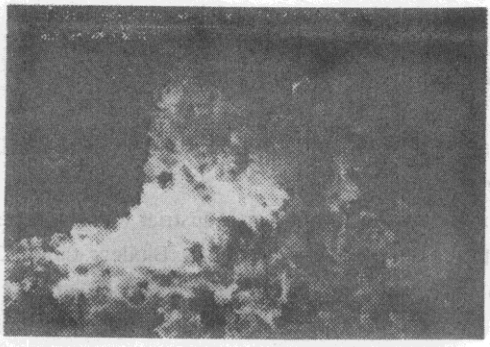
6- Effects of shear stress and substrate loading rate on pseudomonas Aeroginosa Biofilm Thickness and Density, Brent M.Peyton, Wat. Res. Vol. 30. No.1, PP.2936, 1996.

7- Simple Method determines flow regime for friction factor calculations. B.B.Gulyani, A.Jain, Hydrocarbon processing, dec. 1997, P 71-73

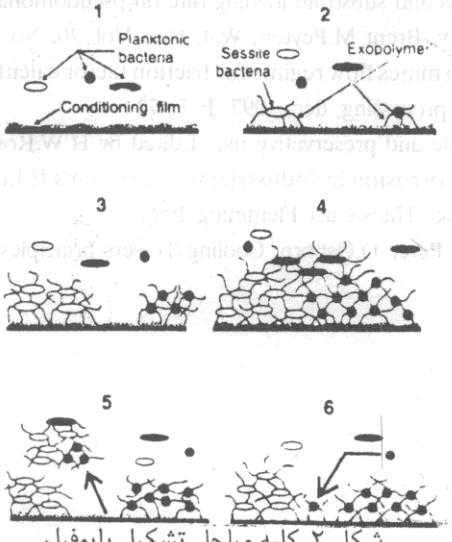
8- Hand book of Biocide and preservative use. Edited by H.W.Rossmoore 1997.

9- Biofouling and Biocorrosion in Industrial water systems Edited by Gillg. Geesey, Zbigniew Lewandowski, Hans-Curt Flemming 1994.

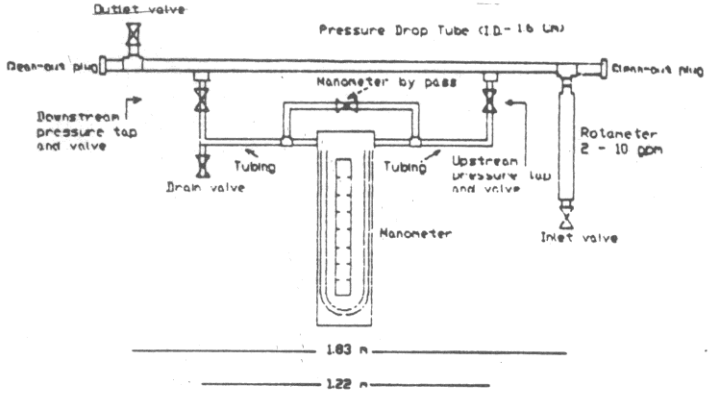
10- G.B.Hill, E.J.Pring, Peter D.Osborn, Cooling Towers principles and practice.



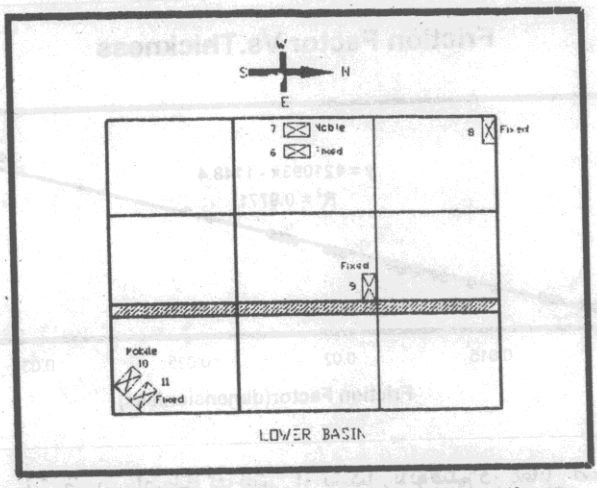
شکل ۱ـ نمایش نمونه‌ای از بایوفیلم تشکیل شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی



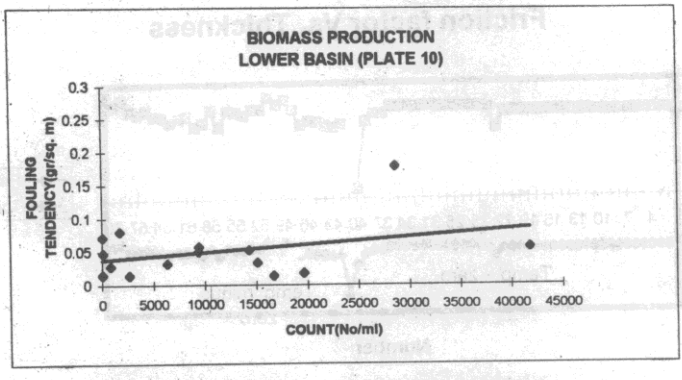
شکل ۲ـ کلیه مراحل تشکیل بایوفیلم



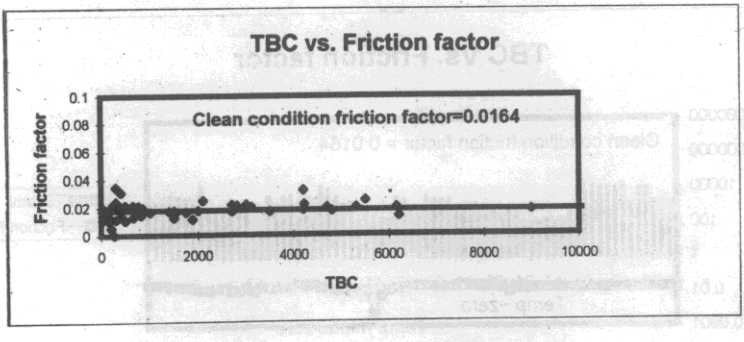
شکل ۳ـ مشخصات دستگاه اندازه‌گیری بایوفیلم (SBFM)



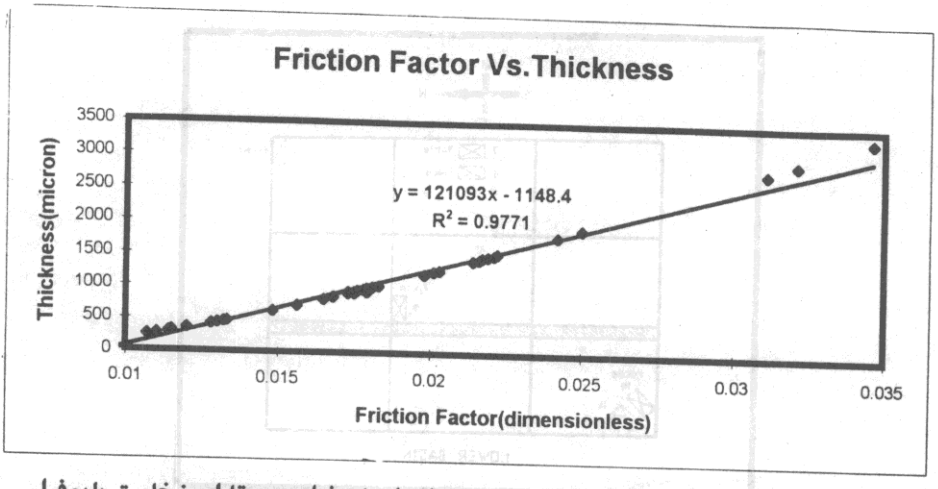
شکل (۴)- محل‌های نصب صفحات شیشه‌ای در برج‌های خنک‌کننده



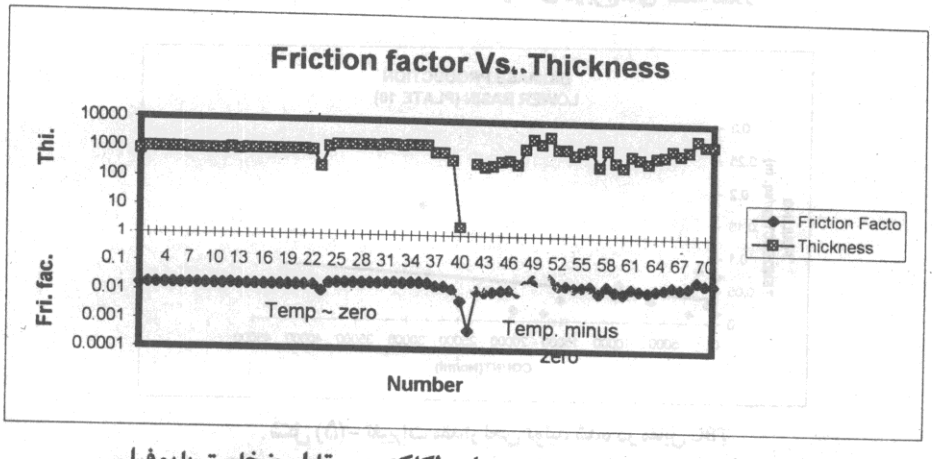
شکل (۵)- تغییرات مقدار لجن تولید شده در مقابل TBC



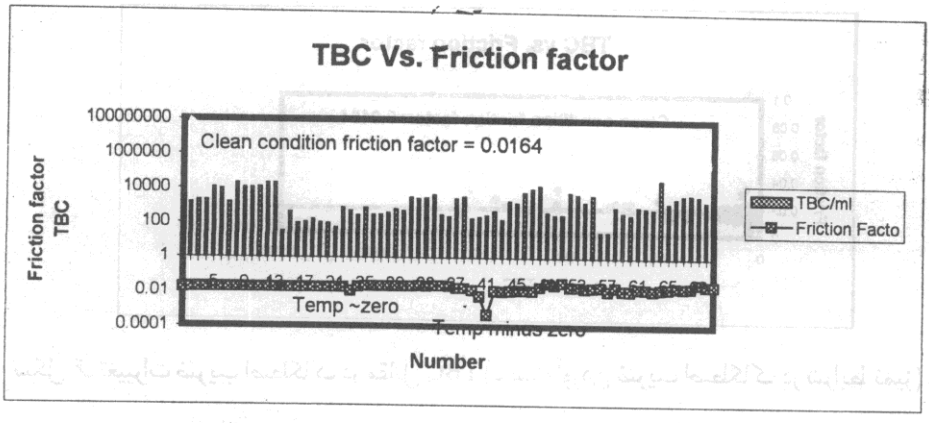
شکل ۶- تغییرات ضریب اصطکاک در مقابل TBC (بدست آوردن ضریب اصطکاک در شرایط تمیز)



شکل (۷)- تغییرات ضریب اصطکاک ناشی از تشکیل بایوفیلم در مقابل ضخامت بایوفیلم

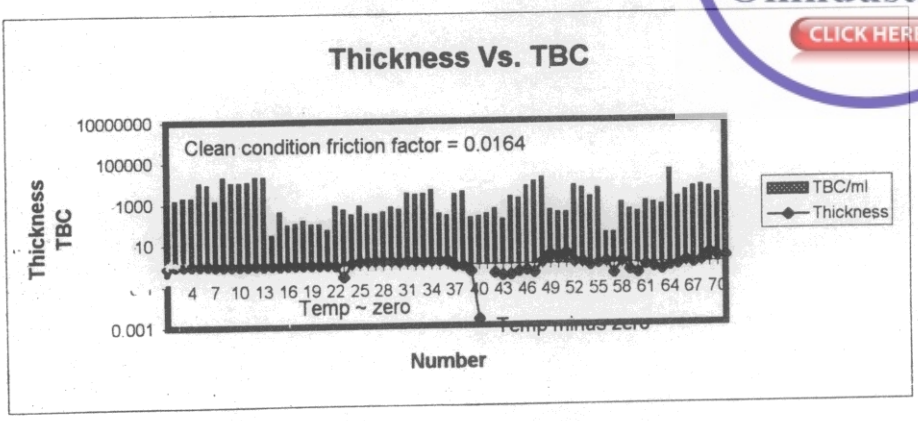


شکل (۸)- مقایسه مقادیر ضریب اصطکاک در مقابل ضخامت بایوفیلم



شکل (۹)- تغییرات TBC در مقابل ضریب اصطکاک

صنعت نفت
Oilindustry.ir
CLICK HERE



شکل ۱۰ـ تغییرات TBC در مقابل ضخامت بایوفیلم

Fiee Chlorine	Biofilm thickness (micron)	Biomass Rate (gr/m2) per day	Biomass Production (gr/m2)	NLVSS mg/L	TBC /ml
0.045 *	--	0.0142	0.156	39	2675
0.15 *	--	0.0806	0.0.569	141	1718
0.2 *	--	0.056	0.336	84	41750
0.195 *	--	0.052	0.416	104	14275
0.14 *	--	0.05	0.5	125	9346
0.17 *	--	0.178	0.356	89	28600
0.15 *	--	0.015	0.152	38	30
0.18 *	--	0.0576	0.288	72	9412
0.155 *	2	0.0136	0.136	34	16680
0.3 *	0.8	0.033	0.2	50	15083
0.17 *	2.4	0.0174	0.192	48	19619
0.245 *	2	0.032	0.32	80	6304
0.2 *	0	0.072	0.072	18	30
0.39 *	0	0.028	0.056	14	800
0.29 *	0	0.048	0.048	12	72.4

* متوسط میزان کلرین (۱۰ روز)

جدول ۱ـ نتایج سرعت تشکیل بایوفیلم در برج خنک‌کننده (C) واحد روغن‌سازی پالایشگاه اصفهان (بر روی صفحه شماره ۱۰ تعبیه شده در Basine پایین)