Archive of SID

محافظت از گرفتگی زیستی حسگرها در محیط دریایی

مجتبی خانی، علی بهرامی*+، وحید مؤمنی

گروه مهندسی شیمی ـ بیوتکنولوژی، پژوهشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

چکیده: گرفتگی زیستی، فرایند چسبندگی ریزسازواره‌ها و تکثیر آن‌ها روی سطوح است. گرفتگی زیستی، مشکل ایجاد شده توسط لایه‌نازک زیستی است. این گرفتگی در طیف گسترده‌ای از فرایندهای صنعتی اتفاق می‌افتد و در همه آن‌ها به ویژه برخی از تجهیزهای گران مشکل‌هایی ایجاد می‌کند. در صنایع گوناگون به‌صورت جداگانه برای مقابله با این موضوع کار شده است و در همه آن‌ها اصلی‌ترین مشکل تشکیل لایه زیستی است. امروزه شبکه‌های نظارتی محیط‌های دریایی بسیاری در سراسر جهان کار گذاشته شده‌اند. با توجّه به گسترش روزافزون فناوری در سامانه‌های نظارتی، مشکل گرفتگی زیستی برای چنین سامانه‌هایی به یک مشکل فنی تبدیل شده که نیاز به حل دارد. چنین سامانه‌هایی، بدون محافظت مؤثر از گرفتگی زیستی کارآمد نخواهند بود. حفاظت از گرفتگی زیستی توسط سامانه‌های کلرزنی الکتریکی موضعی، راه حلی امیدوارانه و پیشرفته برای حسگرهای ساحلی است. چراکه نتیجه‌های موفّقیت آمیز زیادی با این روش به‌دست آمده است و تولیدکنندگان حسگرها با تغییر در سامانه‌هایشان می‌توانند یک سامانه‌ی قوی، ساده و کم انرژی ایجاد کنند. این حفاظت باید برای حسگرها و تجهیزهای ارتباطی زیر دریا و براساس فناوری‌های آکوستیک (صدایی) صورت گیرد. این مقاله ارایه کننده‌ی نتیجه‌های به دست آمده در آزمایشگاه و دریا با ابزار گوناگونی است که به‌وسیله‌ی سامانه‌ی کلرزنی موضعی محافظت شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: گرفتگی زیستی؛ حسگرها؛ روش‌های محافظتی؛ کلر زنی موضعی.

KEYWORDS: *Biofouling; Sensors; Protection methods; Localised chlorine.*

مقدمه

گرفتگی زیستی(۱)، فرایند چسبندگی ریزسازواره‌ها و تکثیر آن‌ها روی سطح‌ها است. گرفتگی زیستی، مشکل ایجاد شده توسط لایه‌نازک زیستی است. این گرفتگی در طیف گسترده‌ایی از فرایندهای صنعتی اتفاق می‌افتد و در همه آن‌ها به ویژه برخی از تجهیزهای گران مشکل‌هایی ایجاد می‌کند. در صنایع گوناگون به‌صورت جداگانه برای مقابله با این موضوع کار شده است و در همه آن‌ها اصلی‌ترین مشکل تشکیل لایه زیستی است [۱]. لایه‌های نازک زیستی قانون‌های طبیعی رایجی را دنبال می‌کنند و فهم این قانون‌ها برای مقابله مؤثر با لایه‌ها بسیار دارای اهمیت است. در واقع در گرفتگی زیستی اقدام‌های همانندی همچون تصفیه زیستی رخ می‌دهد و ریزسازواره‌ها روی سطوح جمع شده و مواد غذایی را از آب جدا کرده و آن را به متابولیت و توده‌زیستی جدید تبدیل می‌کنند. در صنعت به طور معمول سطح‌های بزرگی از سامانه‌ها در معرض گرفتگی زیستی قرار می‌گیرد که منجر به جمع شدن ریزسازواره‌ها و به دنبال آن تخریب زیستی مواد شده و در نتیجه لایه‌نازک زیستی روی سطح توسعه یافته و با عامل‌های فرایندی و کیفیت فراورده تداخل پیدا می‌کند. گرفتگی زیستی را می‌توان یک راکتور لایه‌نازک زیستی در نظر گرفت که در زمان و

*عهده دار مکاتبات

+E-mail: a_bahrami@mut.ac.ir

(۱) Biofouling

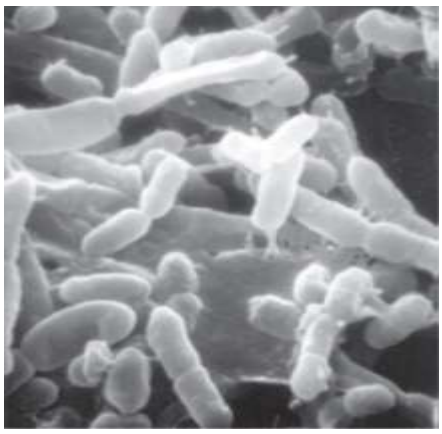
www.SID.ir

Archive of SID

مکانی نامناسب ایجادشده است؛ بنابراین دانش دقیق در مورد لایه‌های نازک زیستی برای فهم و جلوگیری از گرفتگی زیستی و اقدام‌های ضدگرفتگی موفقیت‌آمیز، ضروری است. هدف برجسته نمودن دلیل تشکیل لایه‌نازک زیستی توسط ریزسازواره‌ها است. این شیوه حیات موفق‌ترین شکل حیات روی زمین است و تعجب‌آور نیست که چرا به سادگی نمی‌توان آن‌ها را از بین برد. در بسیاری از موردها، لایه‌های نازک زیستی باعث افزایش استقرار موجودهای زنده‌ای همچون صدف‌ها، لاروها و... می‌شود که به این پدیده ماکروفولینگ[۱] گویند [۲].

یکی از مشخصه‌های موجودهای زنده‌ی لایه‌نازک زیستی این است که آن‌ها توسط مواد پلیمری خارج سلولی[۲] تولیدی در کنار یکدیگر نگه‌داشته شده‌اند و همچنین به سطوح اتصال یافته‌اند. نمونه‌ای از این موضوع در شکل ۱ ارایه شده است که توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM) از *سودوموناس پوتیدا*[۳] روی یک سطح معدنی گرفته‌شده است. مواد صفحه مانندی که سلول‌ها را دوره کرده است، EPS که برای آماده‌سازی نمونه برای دیدن با میکروسکوپ، آب‌گیری شده است. این مواد، شرایط لازم برای ریزسازواره‌های زنده موجود در لایه‌نازک زیستی را با تأثیر بر تخلخل، چگالی، محتوای آب، بار، ویژگی‌های جذبی، آب‌گریزی و پایداری مکانیکی و همه عامل‌هایی که زندگی در لایه‌نازک زیستی وابسته به آن‌هاست، ایجاد می‌کند [۴، ۳].

مواد پلیمری خارج سلولی، پلیمرهایی با منشأ میکروبی هستند که در آن ریزسازواره‌های لایه‌نازک زیستی تجمع یافته‌اند. در حقیقت این پلیمرهای زیستی توسط آرکی باکتری‌ها و یوکاریوت‌ها تولید شده‌اند. برخلاف باور رایج، آن‌ها به طور یقین بیش‌تر از پلی‌ساکاریدها هستند. افزون بر پلی‌ساکارید، EPS نیز شامل طیف گسترده‌ای از پروتئین‌ها گلیکوپروتئین‌ها و در برخی موردها، مقدار تعجب‌آوری از DNA خارج سلولی (e-DNA) هستند. در لایه نازک زیستی، پلی ساکاریدها بیش‌تر جزء کوچکی از این پلیمرهای زیستی می‌باشند. تمام پلیمرهای زیستی EPS، به‌شدت آب‌دار هستند و تشکیل یک ماتریس را می‌دهند که سلول‌های لایه‌نازک زیستی را در کنار یکدیگر نگه می‌دارد و آب را حفظ می‌کند. این ماتریس با اتصال لایه‌نازک زیستی به سطوح و به واسطه ویژگی‌های جذبی آن که اجازه به گرفتن مواد حل شده و مواد ریز از محیط می‌دهد، منبع غذایی ریزسازواره‌های لایه‌نازک زیستی است



شکل ۱ـ تصویری از میکروسکوپ الکترونی از لایه‌نازک زیستی *سودوموناس پوتیدا*، روی سطح معدنی است. پلیمر خارج سلولی (که برای دیدن آب‌گیری شده) سلول‌ها را پوشانده و آن‌ها را در کنار یکدیگر روی سطح نگه می‌دارد[۳].

با محیط‌زیست در تعامل است. پلیمرهای خارج سلولی، بر تعامل‌های شکاری بین موجودهای حاضر در آن تاثیر می‌گذارد، همچون آنچه در مورد تک‌یاختگان و قارچ‌ها وجود دارد؛ بنابراین تغذیه ریزسازواره‌ها باعث افزایش جرم توده‌زیستی و پایداری آن‌ها با EPS به‌عنوان منبع غذایی برتری داده شده می‌شود [۴].

فیبرهای پروتئینی پیچی شکل، نقش مهمی را در لایه‌های نازک زیستی که به‌وسیله طیف گسترده‌ای از ریزسازواره‌های گوناگون تولیدشده است، بازی می‌کنند. این فیبرها باعث افزایش چسبندگی ژلاتینی می‌شوند که این چسبندگی، کمک چشمگیری به پایداری EPS و ادامه همکاری بین موجودهای زنده گوناگون لایه‌نازک زیستی به‌واسطه نزدیکی فضایی‌شان می‌کند. سلولز به‌عنوان یک جزء تشکیل‌دهنده EPS در باکتری‌ها، جلبک‌ها و سلول‌های آموئبا است. درآگروباکترها ، سلولز درگیر اتصال‌ها است و به نظر می‌رسد که نقش آن در EPS دست‌کم گرفته‌شده است. پلیمرهای خارج سلولی به‌وسیله موجودهای زنده گوناگونی تولیدشده و وجود این اجزای خارج سلولی بر ساختمان لایه‌نازک زیستی تأثیر گذار است. لایه‌های نازک زیستی همچنین یک مکان ایده آل برای تبادل ژنتیکی و به‌عنوان یک استخر ژنتیکی چشمگیر می‌باشند. انتقال ژن بین سلول‌ها، به‌این‌علت که سلول‌ها در کنار یکدیگر نگه‌داشته شده‌اند تسهیل می‌شود و سلول‌ها می‌توانند

(۱) Macrofouling

(۲) Exopolysacharide (EPS)

(۳) *Pseudomonas Putida*

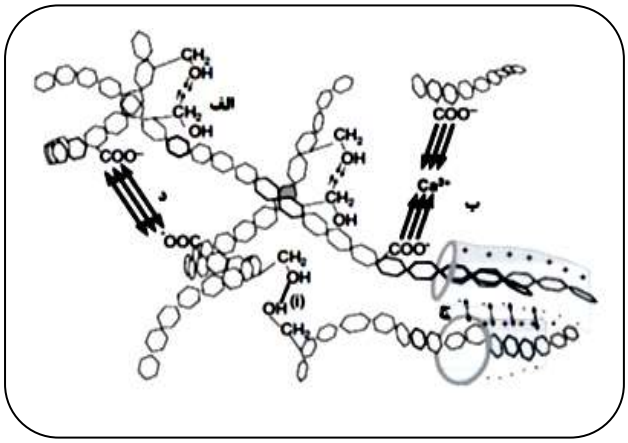
www.SID.ir

Archive of SID

مبادله ژنتیکی انجام دهند. میزان درهم آمیختگی در لایه‌نازک زیستی باکتری‌ها، در مقایسه با جمعیت پلانکتونی (تک‌سلولی) بسیار زیاد است [۵]. ماتریس EPS از اجزای گوناگونی تشکیل‌شده است و این اجزا قابلیت جذب و نگه‌داشتن مواد دیگر را دارا می‌باشند. به‌عنوان نمونه‌ای از این جذب، می‌توان به جذب پروتئین‌های خارج سلولی مانند لیپاز به‌وسیله آلژینات اشاره کرد. چنین سازوکاری برای جلوگیری از شسته شدن آنزیم‌ها و نگه‌داشتن آنان در اطراف سلول‌هایی که آن‌ها را تولید کرده‌اند نیاز است و موجب تخریب موثر مواد ریز و پلیمری می‌شود. این موضوع منجر به شکل‌گیری مفهوم ماتریس فعال می‌شود. این فعال بودن حتی به‌وسیله دفع وزیکول‌های غشایی بیش‌تر و پویاتر می‌شود. این نانو ساختارهای منظم به‌عنوان بسته‌هایی شامل آنزیم و اسیدنوکلئیک هستند که به اعماق ماتریس EPS فرستاده می‌شوند. وزیکول‌ها همراه با فاژها و ویروس‌ها می‌توانند به‌عنوان حامل مواد ژنتیکی عمل کنند و بنابراین انتقال ژن را افزایش می‌دهند. به علت ویژگی‌های شیمیایی، این وزیکول‌ها ممکن است به مواد خارج سلولی اتصال یابند و آنزیم‌های آنان به تخریب پلیمرها کمک کند و بدین‌صورت فراهم‌کننده مواد غذایی و یا غیرفعال کننده عوامل زیان‌بار شوند. افزون براین، به نظر می‌رسد که وزیکول‌ها در جنگ‌های زیستی، همانند وزیکول‌های دارای آنزیم‌های کشنده شرکت داشته باشند. این جنگ زیستی، در محدوده وسیعی با دیگر مواد ماتریس وجود دارد. با توجه به این موضوع وزیکول‌ها تحویل رسان‌های سریع بین سلول‌ها و ایجادکننده ارتباط از طریق سیگنال‌های سلول به سلول می‌شوند [۶ ، ۵].

ترکیب و عملکرد ماتریس EPS ویژگی‌های زیستی، پویا و بسیار پیچیده‌ای را نشان می‌دهد. نخست این ماتریس شبکه‌ای است که پایداری مکانیکی مناسبی برای حفظ آرایش جمعیت میکروبی در طی زمان طولانی، ایجاد می‌کند. این پایداری به‌وسیله تعامل‌های آب‌گریز، ارتباط متقابل با کاتیون‌ها و درگیر بودن پلیمرهای زیستی با DNA خارج سلولی ایجادشده است. نیروهایی که ماتریس لایه‌نازک زیستی را در کنار یکدیگر نگه می‌دارد، به علت پیوندهای ضعیف فیزیکوشیمیایی مانند باندهای هیدروژنی، نیروهای واندروالسی و الکترواستاتیک است که در شکل ۲ نشان داده شده‌اند [۷].

این نیروهای دافعه برای ساختار لایه‌نازک زیستی مهم می‌باشند و مانع ویرانی این شبکه پلیمری می‌شوند. آب نیز



شکل ۲ـ نیروهایی که ماتریس EPS را در کنار یکدیگر نگه می‌دارد، (الف) باندهای هیدروژنی، (ب) پل‌های کاتیونی، (ج) نیروهای واندروالسی، (د) نیروهای دافعه [۷].

به همان اندازه مهم است و به‌عنوان رقیق‌کننده درشت مولکول‌ها و کاهش‌دهنده تعداد گروه‌های عاملی عمل می‌کند. هنگامی‌که از بین بردن لایه‌نازک زیستی میکروبی برای تمیز کردن سطوح مدنظر است، باید بر این پیوندهای ضعیف فائق شد. اگرچه این نیروها به‌خودی‌خود ضعیف هستند، اما جمع کلی این نیروهای پیوندی ممکن است از پیوند کووالانسی هم بیش‌تر شود؛ بنابراین در پاسخ به نیروهای برشی، لایه‌نازک زیستی نخست یک حالت ویسکوالاستیک پیدا کند و مواقعی که نقطه شکست پدیدار می‌شود، خاصیت یک مایع گرانرو را پیدا می‌کند. تمیز کردن باید در راستای تضعیف این نیروهای پیوندی به منظور اثربخشی نیروهای برشی باشد. بسیار واضح است که مرگ موجودهای لایه نازک زیستی، کمکی به تمیز کردن نمی‌کند مگر در موردی که ساختار ماتریس تحت تاثیر قرار گیرد. در خاتمه، به نظر می‌رسد اگر لجن دست‌کم گرفته شود تبدیل به ماتریس خارج سلولی می‌شود که به‌طور چشمگیری همانند چسب برای لایه‌نازک زیستی عمل می‌کند. این یک سامانه بسیار پیچیده‌ای است که به لایه‌نازک زیستی حالت خاص و ویژگی‌های موفقی می‌دهد [۹، ۸].

مرحله‌های تشکیل لایه نازک زیستی

لایه زیستی در چهار مرحله جداگانه در نظر گرفته می‌شود. فرایند گرفتگی زیستی از لحظه‌ای که سازه ساخته‌شده به دست انسان در آب به‌صورت غوطه‌ور درمی‌آید آغاز می‌شود. سطوح این سازه‌ها به‌سرعت مواد آلی محلول و مولکول‌هایی مانند

www.SID.ir

Archive of SID

پلی ساکاریدها و تکه‌های پروتئینی[۱] را جمع می‌کنند. این مرحله گاهی به‌عنوان مرحله تجمع یا آماده‌سازی شناخته می‌شود. به این مرحله که به‌عنوان اولین مرحله رسوب محسوب می‌شود پیش‌زمینه را برای سایر پدیده‌هایی که بعدا رخ می‌دهد، آماده می‌کند [۱۱، ۱۰].

باکتری‌ها و دیگر ریزسازواره‌های کولنی ساز، مواد پلیمری خارج سلولی تراوش می‌کنند که آن‌ها را روی سوبسترا ثابت کرده و آن را می‌پوشاند تا باعث تغییر سطحی در شیمی سطح شده که این مورد به تنهائی منجر به تسهیل فرایند رشد می‌شود. لایه زیستی تولید شده توده‌ای از ریزسازواره‌ها و مواد پلیمری خارج سلولی آن‌ها است که تولید ژن ماتریس می‌نماید که باعث ارتباط آنزیمی، تبادل مواد غذائی، محافظت در مقابل فشار محیطی و افزایش مقاومت زیست‌کش‌ها می‌شود. به صورت دقیق‌تر به اجتماع سلول‌های میکروبی که محکم به سطحی اتصال پیدا می‌کنند با یک ماتریکس پلی ساکاریدی که دارای منشأ میکروبی است، زیست لایه می‌گویند، که می‌توانند از یک گونه یا مخلوطی از چند گونه باشند. شکل ۳ مرحله‌های تشکیل لایه زیستی را نشان می‌دهد. لایه‌نازک زیستی همچنین جریان آب و یون‌ها را در سطح سوبسترا با ایفای نقش مانع نفوذ، قطع می‌کند. روش‌های اتصال ریزسازواره‌ها بسیار متنوع هستند و می‌توانند فرایندی شامل دو ترکیب باشد و اتصال آن‌ها می‌تواند موقت یا دائم باشد. در مرحله گسترش بحرانی، لاروی که سیپرید خوانده می‌شود به‌عنوان یک اتصال شونده موقت به کار گرفته می‌شود و سطح را برای پیدا کردن مکانی برای اتصال دایم جستجو می‌نماید. به‌عنوان نمونه حلزون‌ها با استفاده از یک پروتئین آب‌گریز که به کمک بازمانده‌های سیستئین پیوند برقرار می‌کنند، به سطح متصل می‌شوند. حال‌آن‌که متیل زواسپورها[۲] می‌تواند موقتا متصل شوند درحالی‌که به صورت فعال به دنبال یک سوبسترای مناسب می‌باشند. زمانی که سوبسترای مناسب شناسایی شد، می‌تواند خود را به فاز ساکن برده و خود را به صورت دائم در آن نقطه ثابت نگاه دارد و محیط را برای رشد و تولید گیاهان جدید آماده کند [۱۴ـ۱۲].

پس از یک تا دو ساعت کلونی باکتریایی به دو فاز به طور کامل متفاوت تقسیم می‌شود: ۱. فاز برگشت‌پذیر (جذب سطحی)، ۲. فاز چسبندگی برگشت‌ناپذیر. فاز اول درواقع جذب آنی است که باکتری‌ها را در نزدیکی سطح نگه می‌دارد، این فاز توسط نیروهای فیزیکی اداره می‌شود. از این جهت این مرحله به‌عنوان فاز برگشت‌پذیر نامیده می‌شود که موجودهای زنده می‌توانند به راحتی و پیش از آن‌که لایه اصلی سلولی تشکیل شود، از سطح موردنظر پاک شوند. در فاز دوم، چسبندگی برگشت‌ناپذیر می‌تواند توسط باکتری‌هایی که مولد پلیمرهای خارج سلولی هستند، تشکیل شود. این مرحله دومین مرحله در پدیده تشکیل لایه زیستی است. در واقع دو مرحله اساسی در تشکیل لایه‌های زیستی وجود دارد: ۱ـ میکرو فولینگ: که در این مرحله لایه زیستی تشکیل می‌شود و زمینه برای چسبندگی باکتریایی فراهم می‌شود. ۲ـ ماکرو فولینگ: که امکان چسبندگی لایه‌ای موجودهای زنده آسان می‌شود [۱۶، ۱۵].

گرفتگی زیستی حسگر ها در محیط های دریایی

شبکه‌های نظارتی به صورت عمده از حسگرهای گوناگونی مانند اکسیژن محلول، کدورت، هدایت، واحدهای pH و فلوئورسانس و برای موارد خاص، از برخی سامانه‌های ویدئویی زیر آب؛ مانند دوربین‌ها و تجهیزهای ویدئویی و چراغ‌ها استفاده می‌کنند. برای کاربردهای سطحی، اطلاعات به دست آمده به طور عمده در زمان واقعی و با ماهواره‌ها منتقل شده و برای کابردهای دریایی عمیق، اطلاعات توسط پردازنده‌های اطلاعاتی یا شبکه‌های سیمی انجام می‌شود. در بیشتر موارد، ایستگاه‌های نظارتی به ویژه در مورد نیازهای انرژی مستقل هستند.

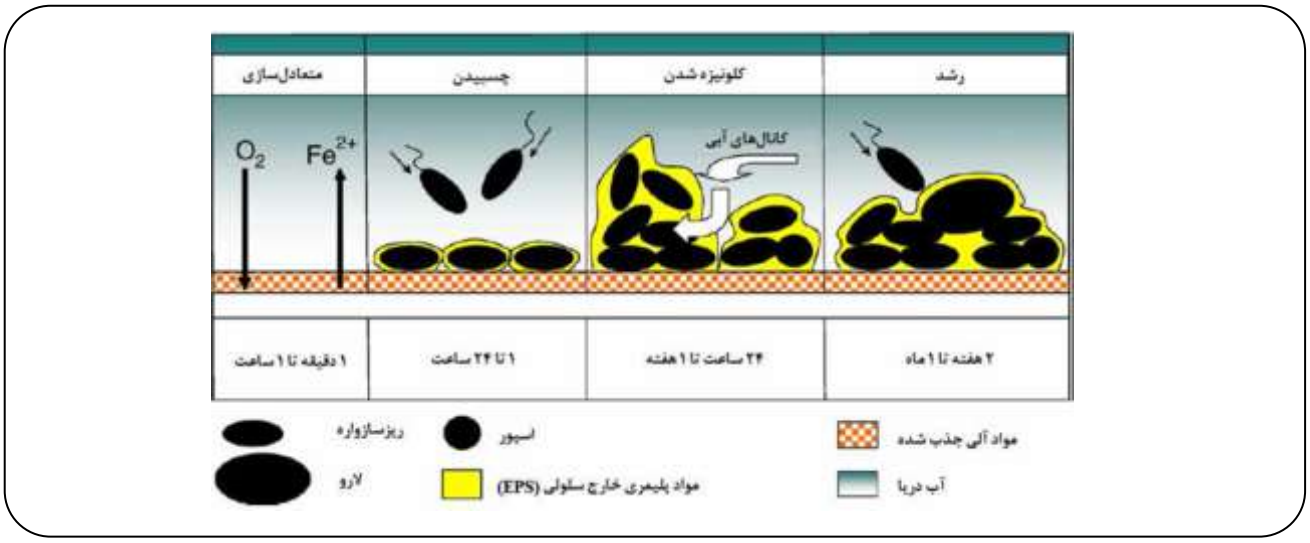
افزون بر ایستگاه‌های نظارتی که در سرتاسر قاره‌ها به‌کار گرفته می‌شوند، تعدادی ایستگاه‌های نظارتی ویژه نیز برای هدف‌های دیگر، در برخی منطقه‌های ویژه (که گرفتگی زیستی شایع است)، نظارت‌های مورد نیاز را انجام می‌دهند. به عنوان نمونه، سامانه‌های نظارت بر شکستگی‌های مخرب [۱۷] که در ایستگاه‌های مستقل و زمان واقعی مستقر هستند، به‌منظور اندازه‌گیری اطلاعات حیاتی نزدیک شکستگی‌ها و انتقال اطلاعات، به کار گرفته شده‌اند. این ایستگاه‌ها با حسگرهای مرسوم فیزیکی شیمیایی آب دریا و مبدل‌های صوتی و به‌منظور ارتباط داده‌ها در زیر دریا تجهیز شده‌اند (به‌عنوانِ مثال شکل ۴ را ببینید). این سامانه‌ها به‌طور عمده در عمق ۱۵ متری به بالا و به‌منظور نظارت‌های بلند مدت ۱ تا ۶ ماهه به کارگرفته شده‌اند. هیچ تعمیر و نگهداری برای این سامانه‌ها امکان‌پذیر نیست. برای پژوهش‌های دریایی عمیق زیر ۳۰۰۰ متر، ایستگاه‌های مستقل ویژه که عامل‌های فیزیکی شیمیایی را اندازه‌گیری کرده و تصویرها و لایه‌ها را ضبط می‌کنند، استفاده می‌شوند (مانند مکان‌های هیدروترمال (گرمابی)) [۱۸].

(۱) Protein Fragments

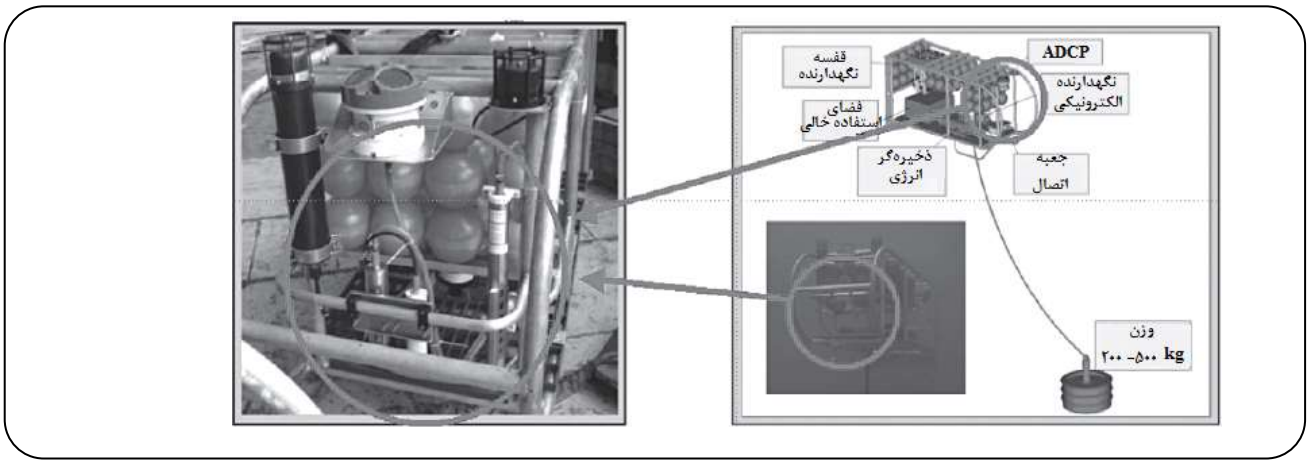
(۲) Zoo Spores

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ـ مرحله‌های تشکیل لایه زیستی با گذر زمان [۱۵].



شکل ۴ـ ایستگاه نظارتی مستقل برای تحت نظر قرار دادن شکستگی‌های مخرب [۱۸].

این سامانه‌های نظارتی مستقل، به‌وسیله‌ی (پدیده‌ی به خوبی شناخته شده موجود در دریا) گرفتگی زیستی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. هدف اصلی این تجهیزها، اندازه‌گیری‌های قابل اعتماد در زمان واقعی و بدون هزینه‌های نگهداری مکرر است. در ارتفاع‌های عمیق دریایی این نگهداری به تقریب غیرممکن است. این موضوع پذیرفته شده است که در مصرف‌های ساحلی، با توجّه به بار اقتصادی ایجاد شده، سامانه‌های نظارت در محل، این سامانه‌ها نباید بیش‌تر از ۲ ماه بدون نگهداری و بازبینی استفاده شوند [۱۹]. این سامانه‌ها نیز بدون حفاظت از گرفتگی زیستی کارایی کافی نخواهند داشت. محافظت از حسگرها و تجهیزهای ارتباطی زیر دریا که بر اساس فناوری آکوستیک (صدایی) کار می‌کنند، نیاز است.

گرفتگی زیستی در آب دریا به سرعت رخ داده و موجب کاهش کیفیت اطلاعات در کم‌تر از ۲ هفته می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۵ و ۶ نشان داده شده، گرفتگی زیستی از یک نقطه به نقطه دیگر تفاوت دارند [۲۰]. در اغلب موارد، این گرفتگی زیستی باعث تغییر مداوم در اندازه‌گیری‌ها شده و درنتیجه اندازه‌گیری‌ها دیگر قابل اعتماد نبوده و اطلاعات به دست آمده کاربردی نخواهند داشت. سامانه‌های ویدئویی مانند دوربین، تجهیزهای ویدئویی و چراغ‌ها، تحت تأثیر گرفتگی زیستی قرار می‌گیرند. در ادامه‌ی این تأثیرهای منفی، تصویرهایی نیز تار و پر سر و صدا شده و چراغ‌ها هم تأثیرشان را از دست می‌دهند. همان‌گونه که در شکل ۷ نشان داده شده است، پس از ۷ روز با توجّه به حضور لایه‌ی نازک زیستی

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۵ ـ فلوئورومتر پس از ۳۰ روز در هلگولند[۱] (آلمان) در طول تابستان [۲۰].

شکل ۶ ـ ترانسمیسومتر[۲] پس از ۴۰ روز در ساحل ثروندهیم هاربر[۳] (نروژ) در طول تابستان[۲۰].

در قسمت‌های حسّاس حسگر، رانشی در اندازه‌گیری‌ها قابل دید است [۲۱]، این نوع حسگر نوری نسبت به گرفتگی زیستی بسیار حسّاس است، حتی زمانی که یک لایه‌ی بسیار نازک زیستی روی عدسی تشکیل شود، این لایه با فرایند اندازه‌گیری‌ها تداخل کرده و باعث افزایش خطا در اندازه‌گیری‌ها می‌شود.

روش‌های محافظت از گرفتگی زیستی برای حسگرهای اقیانوس‌ها

حفاظت از گرفتگی زیستی برای حسگرهای اقیانوسی بسیار دشوار بوده و لازم است که در حفاظت از این حسگرها موردهای زیر مورد توجّه قرار گیرد:

۱ـ خزه بستن نباید تأثیری بر اندازه‌گیری‌ها داشته باشد.

۲ـ نباید انرژی زیادی به‌منظور حفظ استقلال اولیه سامانه‌های نظارتی مستقل، مصرف شود.

۳ـ نتیجه‌های به‌دست آمده از این حسگرها باید برای سامانه‌های فنی حتی در شرایط سخت قابل اعتماد باشد (خوردگی آب دریا، ته‌نشینی، فشار هیدرواستاتیک و غیره).

با توجّه به موارد بالا، روش‌های قابل استفاده برای محافظت از خزه بستن بر این حسگرها بسیار محدود بوده و هیچ کدام بر پایه رنگ‌های ضدخزه‌ی نیستند، زیرا منطقه‌ای که باید محافظت شود، نمی‌تواند با مواد مات یا غیر شفاف پوشیده شود، چراکه چنین موادی اندازه‌گیری‌های انجام شده به‌وسیله‌ی حسگرها را به‌طور کامل در معرض اشتباه قرار می‌دهد. باید توجّه داشت که هدف محافظت از گرفتگی زیستی محدود کردن احتمال رشد در قسمت حسّاس حسگر به بهترین وجه است. برای همه‌ی انواع حسگرها؛ مانند حسگرهای نوری (فلوئورومتر، کدورت‌سنج، ترنسمیسومتر (اندازه‌گیر نور تابیده شده از مواد) و اکسیژن محلول) حسگرهای غشایی (pH، اکسیژن محلول) یا حسگرهای الکتروشیمیایی (هدایتی) لازم و ضروری است که مرز بین محیط اندازه‌گیری و منطقه حسّاس حسگر، واضح باقی بماند. در حال حاضر ۳ سامانه حفاظتی برای محافظت از گرفتگی زیستی حسگرهای اقیانوسی در حال استفاده و انجام عملیات می‌باشد که دارای ویژگی‌های بالا است. روش‌های کاربردی در حال استفاده، شامل موردهای زیر می‌باشند:

۱ـ ابزار به شدت مکانیکی ـ جاروب‌کن‌ها.

۲ـ سامانه تولید زیست‌کش به صورت مهار نشده بر اساس سازوکار خوردگی ـ خودکار مس.

۳ـ یک سامانه‌ی تولید زیست‌کش مهار شده بر اساس سامانه‌ی کلرزنی الکتریکی موضعی آب دریا.

این سه روش به‌طور گسترده‌ای در حسگرهای اقیانوسی به کار گرفته شده‌اند و هر کدام برتری‌ها و عیب‌هایی دارند.

سامانه‌های جاروب‌کن مکانیکی

سامانه‌های محافظتی از گرفتگی زیستی با استفاده از جاروب‌کن‌ها بر پایه فرایند مکانیکی کار می‌کنند که باید از

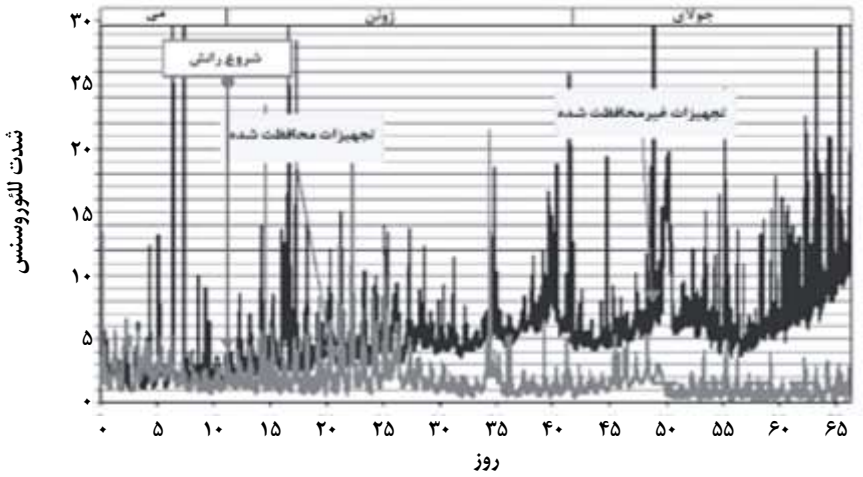
(۱) Helgoland

(۲) Transmissometer

(۲) Throndheim harbour

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷ ـ رانش در یک فلوئورومتر محافظت نشده به علّت توسعه گرفتگی زیستی روی عدسی‌ها [۲۱].

شکل ۸ ـ آزمایش‌گر چند عاملی با استفاده از حفاظت مکانیکی از گرفتگی زیستی توسط جاروب‌کن‌ها[۲۱].

شکل ۹ ـ محافظت کننده از گرفتگی زیستی از نوع جاروب‌کن پس از ۱۵ روز عملیات[۲۲].

مرحله‌های ابتدایی با دستگاه سازگار شود؛ به همین دلیل چنین سامانه‌هایی می‌توانند در ابزارهایی یافت شوند که تولیدکنندگان حسگرها مشکل گرفتگی زیستی را در نظرگرفته باشند. شکل ۸ نشان دهنده‌ی یک سامانه محافظتی از گرفتگی زیستی با استفاده از جاروب‌کن‌ها روی یک آزمایش‌گر چند عاملی است [۲۱].

دستگاه شامل دو جاروب‌کن جداگانه است که از ۳ خراشنده استفاده می‌کند. دو مورد از آن‌ها ساخته شده از اسفنج بوده و به طور مستقیم حسگرهای نوری مانند اندازه‌گیرهای فلوئورسنس و کدورت را تمیز می‌کنند و این دستگاه از یک قلم‌موی بلند برای تمیز کردن حسگرهای غیر نوری مانند حسگر pH و اکسیژن که بر پایه‌ی روش‌های غشائی است، استفاده می‌کند.

این روش محافظتی از گرفتگی زیستی، تا زمانی موثر خواهد بود که تیغه‌ها در شرایط مناسبی بوده و هندسه‌ی شکلی حسگر مناسب برای فرایند تمیز کردن مناسب باشد. مشکل این روش به طور عمده پیچیدگی مکانیکی این سامانه است. تنگی محورهای آبِ برف پاک‌ن‌ها، از نقاط ضعف بزرگ این سامانه است. همان‌گونه که از پیش گفته شد، سامانه‌های با سطوح غیر مسطح مرزی (مانند نمونه‌ای که در شکل ۹ نشان داده شده است)، نمی‌توانند با این روش محافظت شوند. در حال حاضر تولیدکنندگان حسگرها در حال جستجو برای یافتن روش‌های جدید و جایگزین محافظت از گرفتگی زیستی، به‌منظور ساده‌سازی ابزارها و درنتیجه، افزایش اطمینان از نتیجه‌های کار هستند.

www.SID.ir

Archive of SID

محافظت از گرفتگی زیستی به‌وسیله‌ی تولید مهار نشده زیست‌کش: از نوع رها کننده مس

مس به علّت خصوصیت زیست‌کشی، بسیار شناخته شده است [۲۲]. هنگامی که فلز مس در آب دریا خورده می‌شود، مولکول‌های اکسید شده در آب رها می‌شود تا اینکه روی سطح فلز باقی بمانند. مس با آنزیم‌های غشاءی سلولی تداخل کرده و از تقسیم سلول جلوگیری می‌کند.

مس در غلظت‌های بالا سمّی است؛ بنابراین حجم کمی از آب دریا باید در مرز اندازه‌گیر حسگر با مولکول‌های مس درگیر شود. در این روش، مرز حسگر در تماس با محلول دارای یون‌های Cu^{+2} به مدت طولانی قرار می‌گیرد. بسیاری از تولیدکنندگان از این روش محافظتی استفاده می‌کنند. تعدادی از آنان سرِحسگر را به‌طور کامل از مس می‌سازند و از یک سامانه جاروب‌کن برای تمیز کردن لنز استفاده می‌کنند.

وسیله‌ی ویژه‌ای می‌تواند ساخته شده که اجازه می‌دهد هر حسگری را به سامانه دارای مس تجهیز کرد. این وسیله، پخش‌کننده‌ی مس نام دارد. موتوری که این وظیفه را انجام می‌دهد، برای اندازه‌گیری‌ها باز شده و برای محافظت از گرفتگی زیستی روی پنجره لنز قرار گرفته و باعث می‌شود که حسگر خیلی نزدیک به سامانه انتشار دهنده مس قرار گیرد. به این ترتیب با این وسیله میزان خزه بستن کاهش می‌یابد.

ایجاد چنین حفاظتی روی حسگرهای موجود آسان نیست. صفحه‌ی مسی با موتور پله‌ای نیاز به جایگذاری روی حسگر دارد، به گونه‌ای که صفحه‌ی مسی با مقداری آب روی مرز اندازه‌گیر حسگر در تماس قرار می‌گیرد. مثالی از چنین سامانه‌هایی روی فلوئورومتر در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

به‌منظور به بیش‌ترین رساندن اثر محافظتی، لازم است که سرحسگر به‌طور کامل با مس پوشیده شود. نتیجه‌های به دست آمده از چنین سامانه‌هایی زمانی که اقدام‌ها به روش درست انجام شود (همان‌گونه که توضیح داده شد) [۲۳]، می‌تواند به مدت طولانی و رضایت‌بخش به کار گرفته شوند. با این شیوه عدسی‌ها در طول ۳ ماه به‌کارگیری در مناطق ساحلی برست[۱] و در طول تابستان تمیز باقی ماندند.

تعدادی از نتیجه‌های به دست آمده با لوله‌های مس و پخش کننده‌های مس روی ابزارهای نوری به‌وسیله‌ی *مانو* و *همکاران* ارایه شده است. آن‌ها نتیجه گرفتند که سامانه‌های ضدخزه بر پایه‌ی مس، بهبود چشمگیری در به دست آوردن داده‌های طولانی مدت، برای اندازه‌گیری‌های نوری نشان داده‌اند.

با این حال، این روش می‌تواند سبب مشکل‌های زیر شود:

- خوردگی مس رسوب‌های اکسید تولید می‌کند که می‌تواند با اندازه‌گیری‌ها تداخل کند.
- خوردگی مس حباب‌هایی تولید می‌کند که در سل مس[۲] نشان داده شده در شکل ۶-۷، نزدیک مرز اندازه‌گیر،گیرکرده و سبب تداخل با اندازه‌گیری‌ها می‌شود، به ویژه اگر حسگر بر پایه فناوری‌های لنزی باشد.
- زمانی که صفحه مسی بسته است، هیچ اندازه‌گیری نمی‌تواند انجام شود. لاظم است صفحه به‌منظور محافظت مؤثر برای زمان مناسب بسته باشد؛ درنتیجه، اندازه‌گیری‌های با دقت بالا غیرممکن است. درواقع، با وجود سامانه‌های انتقال اطلاعات که روز به روز رایج می‌شوند و به علّت زمان جذر و مد که دانشمندان نیاز به تصویر خوب دارند، پخش کننده‌ی مس می‌تواند یک محدود کننده‌ی مناسب باشد.
- سامانه‌های مکانیکی موجود بسیار شکننده بوده و بر پایه‌ی یک موتور پله‌ای عمل می‌کنند و نمی‌تواند هر مانع مکانیکی را تحمّل کند، درنتیجه جعبه دنده خواهد شکست. در این میان صفحه مسی نیز باید به‌منظور رفع گرفتگی آب در سل مس بسیار دقیق تنظیم شود. جایگذاری بد صفحه مسی با سل مس می‌تواند محافظت کمی از گرفتگی زیستی ایجاد کرده و یا با این سازوکار تداخل کند.

حفاظت از گرفتگی زیستی به‌وسیله‌ی تولید زیست‌کش به صورت مهار شده: سامانه‌ی کلرزنی الکتریکی موضعی

این روش، یک روش سازگار برای محافظت از گرفتگی زیستی در حسگرهای اقیانوسی است و روش بسیار شایعی برای محافظت سامانه‌های خنک کننده از طریق آب دریا برای صنایع نیز می‌باشد [۲۴]. با این روش ما می‌توانیم به تولید قدرتمند زیست‌کش برسیم چراکه در غلظت مناسبی برای هدف مورد نظر قرار داشته و به خوبی می‌تواند سطح مرز حسگر مبدل را بپوشاند.

برتری‌های روش بالا

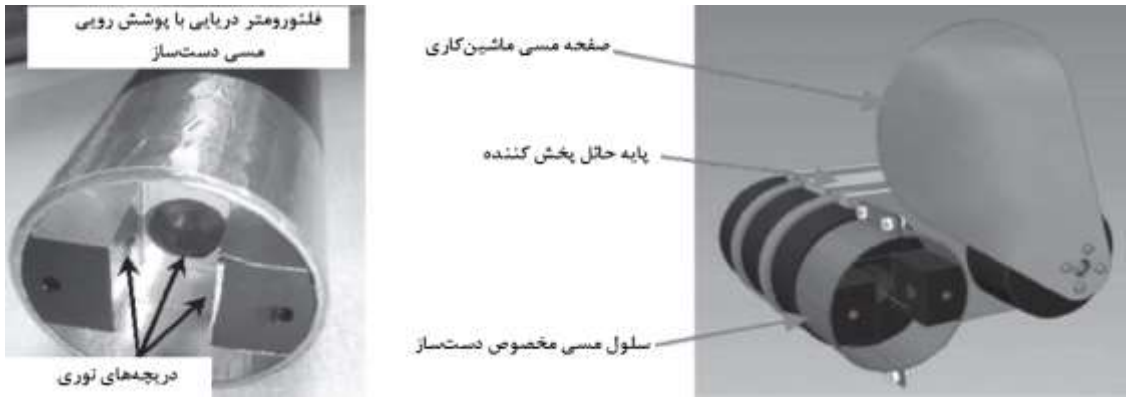
- در این سامانه تولید زیست‌کش مهار می‌شود؛ درنتیجه مقدار زیست‌کش می‌تواند در دوره‌های خاموش/ روشن بر اساس نیاز

(۱) Brest (FR)

(۲) Cell

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰ـ محافظت از گرفتگی زیستی با استفاده از پخش‌کننده مسی هابل لبز(۱) [۲۳].

شکل ۱۱ـ حفاظت از گرفتگی زیستی برای یک فلوئورومتر به‌وسیله‌ی کلرزنی الکتریکی موضعی[۲۵].

تنظیم شود. دوره‌های خاموش/ روشن در تنظیم دوره‌های بدون زیست‌کش به هنگام به‌دست آوردن اندازه‌گیری‌ها در شرایط محیطی خوب، مناسب می‌باشند. افزون بر این، مهار شدت تولید زیست‌کش به‌منظور سازگار کردن تولید زیست‌کش در عمل نسبت به تجمّع رسوب مهم است.

- انرژی مورد نیاز برای چنین سامانه‌هایی به‌طور کامل با سامانه‌های نظارتی ساحلی و ایستگاه‌های مستقل نظارتی عمیق دریایی سازگار است.
- این سامانه‌ها بسیار قوی و قابل اعتماد هستند؛ چراکه هیچ بخش مکانیکی در آن‌ها وجود ندارد.
- این سامانه حتی برای استفاده در عمق‌های بالا نیز به سادگی با حسگرهای موجود سازگار می‌شود.
- تولیدکنندگان حسگر می‌توانند به راحتی این سامانه را روی حسگر قرار دهند.

همان‌گونه که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، این سامانه از یک الکترود ساخته شده که در اطراف یک حسگر مبدل قرار دارد. این الکترود متصل به واحد کلرزنی الکتریکی است. این واحد می‌تواند یک ظرف الکترونیکی جدا (همان‌گونه که در شکل ۱۱ نشان داده شده است) بوده یا در داخل سامانه قرار داشته باشد.

این روش حفاظت از گرفتگی زیستی برای بسیاری از سامانه‌های نظارتی ساحلی به صورت موفّقیت آمیز استفاده شده است [۲۵]، حتی به صورت غوطه‌ور در عمق کم ۲ یا ۳ متر که (در آن‌جا) توسعه گرفتگی زیستی شدید است نیز این روش کارآمد [۱۷]؛ همچنین روش بالا برای عمق متوسط (۱۵ تا ۱۰۰ متر) و یا حتی

(۱) HobI labs

www.SID.ir

Archive of SID

برای ایستگاه‌های با عمق بیشتر تا ۲۰۰۰ متر، یعنی جایی‌که گرفتگی زیستی می‌تواند نزدیک به منافذ هیدروترمال(گرمابی) ظاهر شود نیز مفید است [۱۸].

نتیجه‌های محافظت ازگرفتگی زیستی با کلرزنی الکتریکی موضعی

روش کلرزنی الکتریکی موضعی روی فناوری ابزارهای گوناگونی؛ مانند لنزها (کدورت سنج‌ها، فلوئورسنس، اکسیژن)، الکترودی (هدایت) و غشائی (pH) به کار گرفته شد. برای هر بررسی در آزمایشگاه یا در دریا، دو حسگر به‌طور هم‌زمان قرار گرفتند که یکی حفاظت نشده و دیگری حفاظت شده با سامانه‌ی کلرزنی موضعی بود. در ابتدا اندازه‌گیری‌ها ضبط شده و یا در صورت امکان به‌وسیله‌ی لپ تاپ برای تجزیه و تحلیل اطلاعات در زمان واقعی ضبط شدند. در زمان ممکن، مقداری آب نمونه‌برداری شده و تجزیه و تحلیل مرجع به‌منظور دنبال کردن رانش‌های احتمالی حسگرها در زمان واقعی انجام شد.

تعیین احتمال تداخل کلرزنی الکتریکی با اندازه‌گیری‌ها

پیش از اجرای این سامانه روی ابزارها، چک کردن اثرهای تداخل روی اندازه‌گیری‌ها ضروری است. ممکن است الکترودهای موجود در مجاورت حسگر موجب خطا در اندازه‌گیری‌ها شوند. درنتیجه، انجام بررسی‌های آزمایشگاهی و وجود یک برسنجی ویژه، نیاز است. در روش‌های همانند، مولکول‌های زیست‌کش می‌توانند با غشاها یا ویژگی‌های موضعی آب تداخل کنند. این تأثیر باید مورد مطالعه قرار گیرد.

همه ابزارها با روش‌های تحلیلی استاندارد به‌منظور برسنجی کردن نشانک ابزار محافظت شده در مقابل نوع محافظت نشده و در آزمایشگاه مورد آزمایش قرارگرفتند. بر اساس عوامل اندازه‌گیری شده، روش‌های استاندارد زیر مورد استفاده قرار گرفتند:

- اکسیژن: تیتراسیون وینکلر[۱] [۲۶].
- فلوئورسنس: شیوه آیفریمیر فلوئورسین[۲] [۱۹].
- هدایت: نمونه‌برداری آب دریا و مقایسه با غلظت نمک در مرجع با سالینومتر [۲۷، ۲۶].

بررسی‌های آزمایشگاهی برای تداخل کلر با اندازه‌گیری‌ها؛ شامل مقایسه‌ی جواب‌های دو ابزار است که یکی از آن‌ها مجهز به سامانه‌ی کلرزنی موضعی بوده و شامل ۲ مرحله است. اول تعیین اثر ناسازگاری سخت افزار کلرزنی موضعی که می‌توان توسط یک برسنجی ویژه بر آن غلبه کرد و دومی تعیین اثر ناسازگاری تولید کلر که شاید می‌توان توسط یک برنامه‌ریزی تولید کلر، بر آن نیز غلبه نمود.

بررسی محافظت ازگرفتگی زیستی روی حسگر هدایتی

ابزار حفاظتی از گرفتگی زیستی به گونه‌ی کلرزنی موضعی روی حسگرهای هدایتی، در منطقه برست در فرانسه، به کار گرفته شدند. دو سامانه در مکان قرارداده شدند که یکی محافظت شده و دیگری محافظت نشده بودند. زمانبندی کلرزنی موضعی برای ۳ ماه بدون هیچ نگهداری تنظیم شدند.

شکل ۱۲ نشان دهنده‌ی اندازه‌گیری‌های به دست آمده در این زمینه در منطقه برست است. در شکل ۱۲، نمودار پررنگ اندازه‌گیری‌های به دست آمده از ابزار محافظت شده را نشان می‌دهد. نمودار روشن بالا که سپس به سمت پایین می‌آید، نشان دهنده‌ی اندازه‌گیری‌ها از ابزار محافظت نشده است. نمودار پایینی نیز نشان دهنده‌ی تفاوت دو نشانک است. رانش پس از ۸۰ روز آغاز شد و تا بیش‌تر از ۱۱۰ روز هم به صورت خطی باقی ماند سپس تا پایان (۱۳۳ روز) به صورت لگاریتمی تغییر کرد.

اندازه‌گیری مرجع نیز که حسگر در معرض تجزیه و تحلیل هدایتی سالینومتر قرار گرفته (نقطه‌های بزرگ در شکل ۱۲) و نشان دهنده‌ی یک تغییر جزئی در ابزار محافظت شده است (۰/۵ PSU). این رانش شاید به علّت توقف فرایند کلرزنی پس از ۱۰۰ روز با توجّه به کمبود انرژی است (کم شدن باطری) [۲۷].

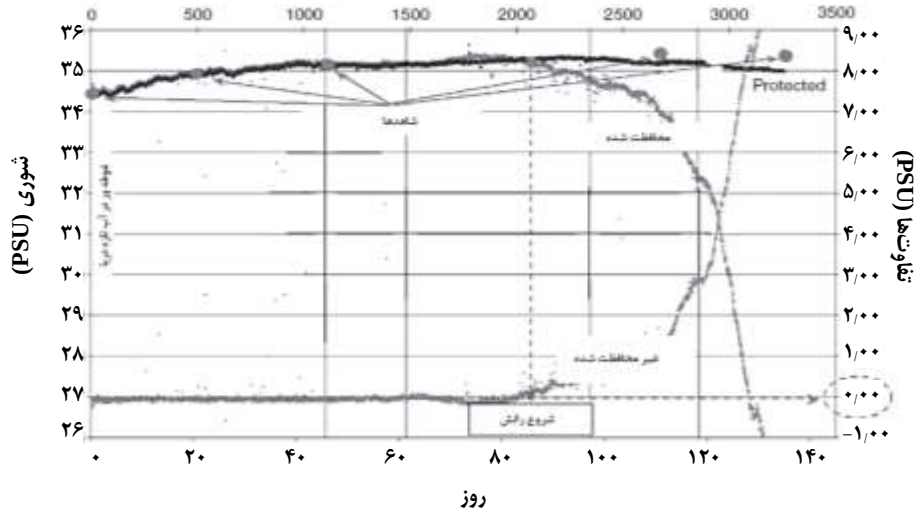
شکل ۱۳ نشان دهنده‌ی حسگر هدایتی محافظت نشده در سمت چپ و محافظت شده در سمت راست پس از ۱۳۳ روز به کارگیری است. در این شکل می‌توان اثر محافظتی از گرفتگی زیستی را با چشم غیرمسلح مشاهده کرد. بسیار تعجب برانگیز است که یک سامانه‌ی کلرزنی موضعی که در درون آزمایش‌گر سفید رنگ قرار داده شده، خارج محفظه را از گرفتگی زیستی حفظ کرده است. محافظت از گرفتگی زیستی برای حسگر هدایتی توسط کلرزنی موضعی مؤثر است همان‌گونه که در آزمایش انجام شده، این کار در برست برای مدت ۱۳۳ روز پیوسته نشان داده شد. رانش (تغییر) در اندازه‌گیری‌ها در ابزار محافظت نشده پس از ۸۰ روز در آگوست آغاز شد [۲۷].

(۱) Winkler titration

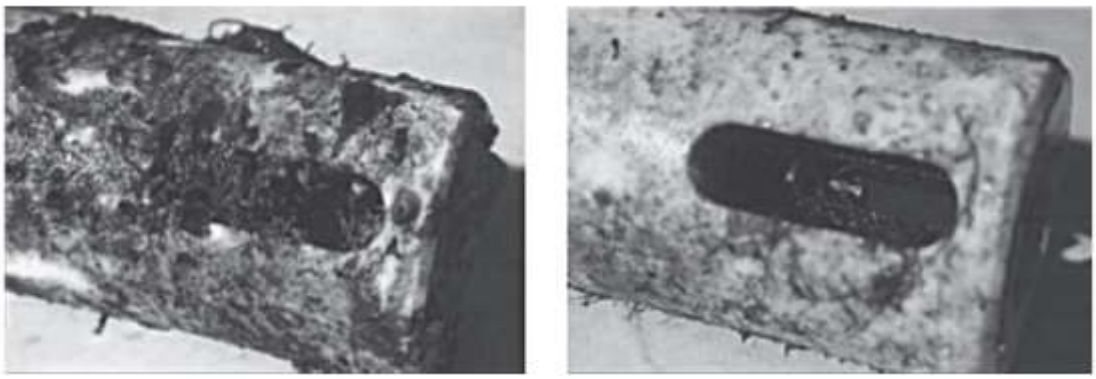
(۲) Ifremer Fluorescein protocol

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۲ ـ نتیجه‌های حسگر هدایتی در محل (در طول ۱۳۳ روز) [۲۷].



شکل ۱۳ـ حسگر هدایتی محافظت نشده (سمت چپ)، محافظت نشده (سمت راست) [۲۷].

بررسی محافظت از گرفتگی زیستی روی حسگر نوری اکسیژن

سامانه‌ی کلرزنی موضعی به‌منظور حفاظت از گرفتگی زیستی روی حسگر اکسیژن در برست فرانسه آزمایش شد. دو حسگر در محل نگهداری قرار داده شدند که یکی محافظت شده و دیگری محافظت نشده بود. زمان بندی کلرزنی موضعی هم درست مانند مورد پیشین برای ۳ ماه بعد بدون هیچ نگهداری تنظیم شد. شکل ۱۴ نشان دهنده‌ی اندازه‌گیری‌های به دست آمده از روز ۱۱۰ تا ۱۴۰ در منطقه است.

نمودار پررنگ (در شکل ۱۲) نشان دهنده‌ی اندازه‌گیری‌ها از ابزار محافظت شده بوده و نمودار روشن بالا که سپس به پایین می‌آید، نشان دهنده‌ی اندازه‌گیری‌ها از ابزار محافظت نشده است. نمودار پایینی نشان دهنده‌ی تفاوت بین دو نشانک می‌باشد. رانش پس از ۱۲۷ روز آغاز شد. نشانک حسگر نوری محافظت‌شده تا روز ۱۶۰ام خوب بود. آزمایش وینکلر که تا روز ۱۶۰ام انجام شد، این نتیجه‌ها را تأیید می‌کند.

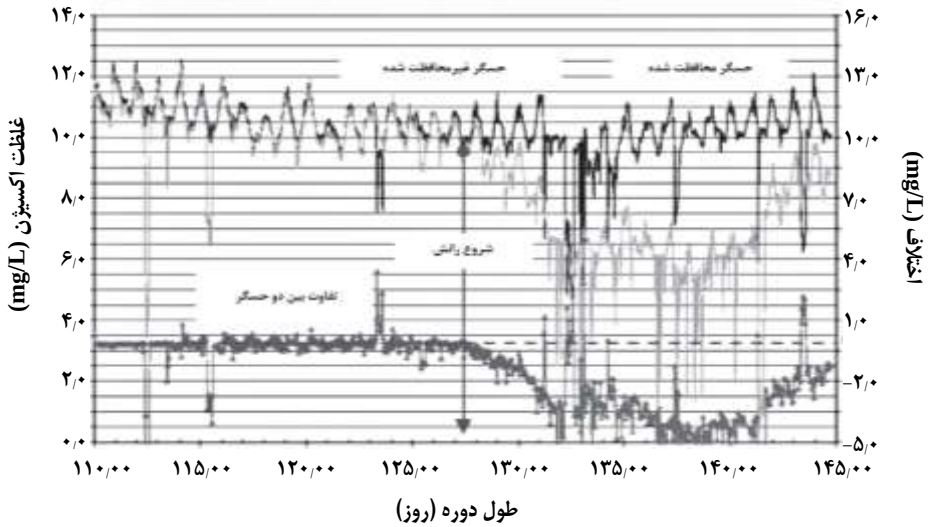
محافظت از گرفتگی زیستی توسط سامانه‌ی کلرزنی موضعی برای حسگر اکسیژن مؤثر است، همان‌گونه که در طول ۱۶۰ روز پیوسته این موضوع نشان داده شده و رانش (تغییر) در نتیجه‌های حسگر محافظت نشده پس از ۱۳۰ روز در آوریل آغاز شد. حسگر محافظت شده شکست موقت از روز ۱۶۰ تا روز ۱۷۰ام را نشان داد.

بررسی محافظت از گرفتگی زیستی روی حسگر فلوئورسنس

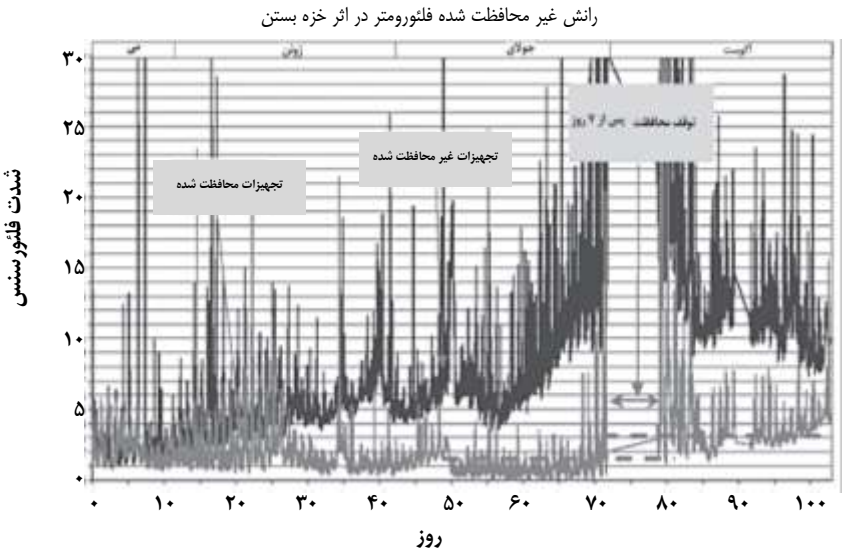
ابزار محافظتی از گرفتگی زیستی به گونه‌ی کلرزنی موضعی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۴ـ نتیجه‌های حسگر اکسیژن در محل (در طول ۱۹۰ روز) [۲۸].



شکل ۱۵ـ نتیجه‌های حسگر فلوئورومتر (در طول ۱۰۰ روز) [۲۸].

برای حسگرهای فلوئورسنس در جزیره میلپورت[۱] (اسکاتلند) برای ۱۰۰ روز مورد استفاده قرار گرفت [۲۸]. دو حسگر که یکی محافظت شده و دیگری محافظت نشده بود، به کارگرفته شدند. برنامه کلرزنی موضعی برای ۳ ماه بدون هیچ نگهداری تنظیم شد.

شکل ۱۵ نشان دهنده‌ی اندازه‌گیری‌های به دست آمده در طول آزمایش در این جزیره است. برای این آزمایش دو فلوئورومتر در عمق ۱۵ متری در جزیره در سال ۲۰۰۴ به کار گرفته شدند. نمودار سیاه، نشان دهنده‌ی حسگر محافظت نشده بوده و نمودار روشن، نشان دهنده‌ی حسگر محافظت شده است. تغییر در نتیجه‌های فلوئورومتر محافظت نشده، پس از ۷ روز غوطه‌وری آغاز شد. رانش در طول ۸۰ روز آزمایش ادامه داشت. فلورومترِ حفاظت‌شده هیچ رانشی را تا روز ۷۰ام نشان نداد. این نتیجه بسیار جالب است که پس از روز ۷۰ام، فلوئورومتر حفاظت‌شده برای ۷ روز از گرفتگی زیستی محافظت نشد. درنتیجه، گرفتگی زیستی آغاز شد و تغییری غیرقابل چشم‌پوشی در اندازه‌گیری‌ها به وجود آمد. این موضوع نشان می‌دهد که اگر حفاظتِ سامانه، مکانیکی نبوده و از نوع شیمیایی باشد، هر شروعی در گرفتگی زیستی موجب ایجاد تغییر در اندازه‌گیری‌ها شده و حذف آن بسیار دشوار است.

(۱) Millport

www.SID.ir

Archive of SID

محافظت از گرفتگی زیستی توسط سامانه‌ی کلرزنی موضعی برای حسگر فلوئورومتر مؤثر است، همان‌گونه که در این آزمایش، در جزیره برای ۷۰ روز پیوسته این نوع محافظت انجام شد و پس از ۷۰ روز تغییر کوچکی دیده شد که به علّت کاهش انرژی باتری بود.

نتیجه گیری

در ۱۰ سال گذشته، حفاظت از گرفتگی زیستی برای حسگرهای اقیانوسی بسیار پیشرفت کرده است. با توجّه به گسترش روز افزون فناوری در سامانه‌های نظارتی، مشکل گرفتگی زیستی برای چنین سامانه‌هایی به یک مشکل فنی تبدیل شده که نیاز به حل دارد. در این شرایط ممنوعیت قلع سه بوتیل، به‌عنوان یک زیست‌کش که به‌وسیله‌ی تولیدکنندگان برای محافظت حسگرهایشان استفاده شده بود، پژوهشگران را برای یافتن یک روش جایگزین در حفاظت حسگرها از گرفتگی زیستی تحت فشار قرار داد.

جاروب‌کن‌ها، تیغه‌ها و دیگر سامانه‌های مکانیکی راه حل جالبی هستند، اما بیش‌تر به شکست مکانیکی منجر شده و موجب نشت آب به داخل حسگرها و تجهیزهای کلی می‌شوند.

پخش کننده‌های مسی به خوبی کار می‌کنند، ولی هنوز برای پیاده سازی پیچیده هستند و تولید زیست‌کش در آن‌ها به صورت مهار نشده است. اگر زیست‌کش با اندازه‌گیری‌های حسگر تداخل پیدا کند، می‌تواند منجر به بروز مشکل‌هایی شود.

حفاظت از گرفتگی زیستی توسط سامانه‌های کلرزنی الکتریکی موضعی، راه حلی امیدوارانه و پیشرفته برای حسگرهای ساحلی است. چراکه نتیجه‌های موفّقیت آمیز زیادی با این روش به‌دست آمده است و تولیدکنندگان حسگرها با تغییر در سامانه‌هایشان می‌توانند یک سامانه‌ی جمع و جور، قوی، ساده و کم انرژی ایجاد کنند.

این روش روی ابزارهای اقیانوسی و برای نظارت‌های دریایی و اقیانوسی عمیق مورد استفاده قرار گرفته و نتیجه‌های بسیار دلگرم‌کننده‌ای برای عوامل رایج اندازه‌گیری شده توسط سامانه نظارتی دریایی، به دست آمده است. هر گونه به کارگیری این سامانه‌ها تا ۱۶۰ روز موفّقیت آمیز بوده است. از تأثیرگذاری انواع گوناگون گرفتگی زیستی؛ مانند لایه‌ی نازک زیستی، جمع شدن جلبک‌ها و صدف‌ها روی انواع گوناگون ابزارها و انواع گوناگون فناوری‌های اندازه‌گیری جلوگیری شده است. این سامانه می‌تواند به سادگی با هر نوع ابزاری سازگار شود. انجام مراقبت‌های ویژه برای بعضی از عوامل حسّاس مانند اکسیژن یا فلوئوروسنس ضروری است. دوره‌ی کلرزنی به‌منظور داشتن زمان‌های بدون کلر، برای گرفتن اندازه‌گیری‌ها باید زمان‌بندی شود. در حالِ حاضر این سامانه در حال استفاده برای نظارت‌های ساحلی بوده و اندازه‌گیری‌های با کیفیت بالایی با این سامانه به دست آمده است.

تاریخ دریافت: ۱۳۹/ / ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹/ /

مراجع

[1] Dumée L.F., He L., King P.C., Moing M.L., Güller I., Duke M., Hodgson P.D., Gray S., Poole A.J., Kong L., Towards Integrated Anti-Microbial Capabilities: Novel Biofouling Resistant Membranes by High Velocity Embedment of Silver Particles, *J. Membr. Sci.*, **47**(5): 552-561 (2015).

[2] Al-Juboori R.A., Yusaf T., Biofouling in RO System: Mechanisms, Monitoring and Controlling, *Desalination*, **30**(2): 1-23 (2012).

[3] Verran J., Whitehead K., Factors Affecting Microbial Adhesion to Stainless Steel and other Materials Used in Medical Devices, *Int. J. Art Organs*, **28** (11): 1138-1145 (2005).

[4] Khani M., Bahrami A., Ghafari M.D., Optimization of Operating Parameters for Anti-Corrosive Biopolymer Production by Chryseobacterium Indologenes MUT. 2 Using Central Composite Design Methodology, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **30**(5): 165-172 (2015).

www.SID.ir

Archive of SID

[5] Creber S.A., Pintelon T.R.R., Graf Von Der Schulenburg D.A.W., Vrouwenvelder J.S., Van Loosdrecht M.C.M., Johns M.L., Magnetic Resonance Imaging and 3D Simulation Studies of Biofilm Accumulation and Cleaning on Reverse Osmosis Membranes, *Food Bioprod. Process.*, **88**: 401-408 (2010).

[6] Khani M., Bahrami A., Momeni V., Microbial Corrosion and Methods to Prevent and Control it Using Coatings and Biological Factors, *Journal of Studies in Color World*, **4**(3): 3-20 (2015).

[7] Bahrami A., Momeni V., Khani M., The Effect of Surface Properties on Biofilm Formation and how to Prevent BioFouling, *Journal of Studies in Color World*, **4**(3): 3-11 (2014).

[8] Donlan R., Costerton W., Biofilms: Survival Mechanisms of Clinically Relevant Microorganisms, *Clin. Micro. Rev.*, **15**: 167-193 (2002).

[9] Flemming H-C, Neu TR, Wozniak D, The EPS Matrix: the House of Biofilm Cells, *J. Bacteriol.*, **189**: 7945-7947 (2007).

[10] Hausner M, Wuertz S, High Rates of Conjugation in Bacterial Biofilms as Determined by Quantitative in-Situ Analysis, *Appl. Environ. Microbiol.*, **65**: 3710-3713 (1999).

[11] Körstgens V., Wingender J., Flemming H.C., Borchard W., Influence of Calcium ion Concentration on the Mechanical Properties of a Model Biofilm of Pseudomonas Aeruginosa, *Water Sci. Technol.*, **43**: 49-57 (2001).

[12] Lewis K., Riddle of Biofilm Resistance, *Antimicrob Agents Chemother* **45**: 999-1007 (2001).

[13] Mayer C., Moritz R., Kirschner C., Borchard W., Maibaum R., Wingender J., Flemming H.C., The Role of Intermolecular Interactions: Studies on Model Systems for Bacterial Biofilms, *Int. J. Biol. Macromol*, **26**: 3-16 (1999).

[14] Lehtola M.J., Miettinen I.T., Martikainen P.J., Biofilm Formation in Drinking Water Affected by Low Concentrations of Phosphorus, *Can. J. Microbiol.*, **48**: 494-499 (2002).

[15] Verran J., Jones M., In: Walker J., Surmann S., Jass J., Problems of Biofilms in the Food and Beverage Industry Industrial Biofouling Detection, Prevention and Control, *Wiley Chichester*, **32**(6): pp. 145–173 (2000).

[16] Jafari Nasr, M., Balaei, A. Analysis of Fouling in HVAC Heat Exchangers by CFD, *Iran. Chem. Chem. Eng. (IJCCE)*, **34**(3): 51-60 (2015).

[17] Marvaldi J., Coail Y., Legrand J. ROSE, "CMM'06 Caractérisation du Milieu Marin", *16-19 Seatech Week 2006* - Brest –Franc. (2006).

[18] Sarrazin J., Blandin J., Delauney L., TEMPO: "A New Ecological Module for Studying Deep-Sea Community Dynamics at Hydrothermal Vents", *IEEE catalogue no. 07 EX*, *Oceans 2007 IEEE Conference Proceedings*, Aberdeen, Scotland, (2007).

[19] Delauney L., LeGuen Y., "Calibration Procedure for In-Situ Marine Fluorometer, In: International Metrology Conference 2003 Proceedings", CD Publisher: Collège Français de métrologie. Toulon, France. (2003).

www.SID.ir

Archive of SID

[20] Lehaitre M., Delauney L., Compère C., "Oceanographic Methodology series, Real Time Coastal Observing Systems for Marine Ecosystem Dynamics and Harmful Algal Blooms: Theory, Instrumentation and Modelling", UNESCO Publishing, (2008).

[21] Delauney L., Cowie P., "Biofouling Resistant Infrastructure for Measuring, Observing and Monitoring", *Report Project no. BRIMOM EVR1-CT-2002-40023* (2002).

[22] Manov D.V., Chang G.C., Dickey T.D., Methods for Reducing Biofouling on Moored Optical Sensors, *J. Atmos. Ocean. Technol.*, **21** (6): 958-968 (2004).

[23] Delauney L., Compère C., "Biofouling Protection for Marine Environmental Optical Sensors, International Conference on Recent Advances in Marine Antifouling Technology (RAMAT), Chennai (Madras), India. Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Marine Antifouling Technology", Allied Publishers Pvt. Ltd. (2006).

[24] Satpathy K.K., "Biofouling and Its Control in Power Plants Cooling Water System. International Conference on Recent Advances in Marine Antifouling Technology (RAMAT)", *Chennai (Madras), India. Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Marine Antifouling Technology*, Allied Publishers Pvt. Ltd. (2006).

[25] Delauney L., Lepage V., Festy D., "Biofouling Resistant Infrastructure for Measuring, Observing and Monitoring*" Report Project no. BRIMOM EVR1-CT-2002-400* **23** (2002).

[26] Aminot A., Kerouel R., "Hydrologie Des écosystèmes Marins, Paramètres et Analyses, Mesure de la Concentration en Oxygène Dissous", *INRA Edition. F-78026 Versailles France*. Chap. VII. **32**(6): 92-118 (2004).

[27] Fofonoff N.P., Millard R.C., "Algorithms for Computation of Fundamental Properties of Seawater", *UNESCO Technical Papers in Marine Science*, **44**, UNESCO Division of Marine Science, Paris, France, **53** :45-58 (1983).

[28] Blain S., Guillou J., Tréguer P., Woerther P., Delauney L., High Frequency monitoring of the Coastal Marine Environment Using the MAREL Buoy, *J. Environ Monit*, **6**: 569-575 (2004).

www.SID.ir