

# نقش میکروارگانیسمها در افزایش هزینه های نگهداری و تعمیرات تجهیزات

رضانعلی طاهری<sup>۱(۱)</sup>

معاونت آباد و پشتیبانی نیروی دریایی سپاه

R.A.Taheri@gmail.com

## چکیده:

میکروارگانیسمها در همه جا یافت می شوند؛ از یخهای قطبی گرفته تا چشمه های آب جوش کف اقیانوسها. این ارگانیسمها نقش مفیدی در تجزیه مواد زائد و برقراری چرخه های زیستی از جمله چرخه کربن و چرخه گوگرد در طبیعت بازی می کنند، اما گاهی اوقات اجرای این نقش برای صنایع ضرر و زیانهای بدنبال دارد، از جمله خوردگی فلزات و تخریب بتن، تجزیه نا خواسته مواد مختلف، آلودگی سوخت، روانکارها، مخازن ذخیره سوخت، آب خنک کننده موتور و ... میکروارگانیسمها قادر هستند هیدروکربن های سوخت و روانکار را به عنوان منابع کربنی مصرف کنند و در سوخت و روانکار رشد نمایند و این امر می تواند منجر به بروز خساراتی از جمله کاهش کیفیت سوخت و روانکار، تشکیل لجن، افزایش میزان آب، تولید عوامل فعال کننده سطح که می تواند باعث امولسیونه کردن سوخت آب شود، خوردگی مخازن و لوله های سیستم ذخیره سوخت و روانکار، تولید جامدات معلق در سوخت، تخریب هیدروکربنها، مسدود کردن و کاهش عمر فیلترها، فولینگ انژکتور، افزایش میزان گوگرد سوخت، مصرف مواد افزودنی روانکارها، کاهش عمر قطعات موتور، نفوذ به لایه محافظ مخازن و گاهی اوقات معضلات سلامتی شود. لذا کنترل و پیشگیری از رشد میکروارگانیسمها در محیطهای صنعتی، نقش موثری در کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات خواهد داشت.

**واژه های کلیدی:** میکروارگانیسم - خوردگی میکروبی - آلودگی سوخت - آلودگی روانکار - مخازن ذخیره سوخت و روغن - نت

## ۱- مقدمه:

معمولاً شنیدن واژه میکروبی و میکروارگانیسم، عوامل مسبب بیماریهای عفونی را به ذهن متبادر می کند، اما میکروارگانیسمهای بیماریزا تنها حدود ۰/۱ درصد از کل میکروارگانیسمهای موجود در کره زمین را که بسیاری از آنها مفید بوده و حیات در کره زمین بدون آنها امکانپذیر نمی باشد، تشکیل می دهند. میکروارگانیسمها شامل باکتریها، مخمرها، قارچهای میکروسکوپی و ویروسها هستند. از این میان برخی باکتریها، مخمرها و قارچها (کپکها) مشکلاتی برای سیستمهای صنعتی ایجاد می کنند که خوردگی میکروبی و آلودگی سوخت و روانکارها از مهمترین آنها می باشد. در این مقاله برخی از مشکلات ایجاد شده توسط رشد و تکثیر میکروارگانیسمها و تاثیر آنها در افزایش هزینه های نگهداری و تعمیرات ذکر می شود.

<sup>1</sup> کارشناس ارشد میکروبیولوژی

## ۲- مشکلات ناشی از میکروارگانیسمها در محیطهای صنعتی:

### ۲-۱- خوردگی میکروبی فلزات:

بیش از یک قرن است که نقش میکروارگانیسمها در خوردگی فلزات مورد توجه محققین قرار گرفته است؛ اما علی‌رغم این زمان طولانی، هنوز نیز نقش آنها به درستی شناخته نشده است. خوردگی میکروبیولوژیک در صنایع نفت از اولین مواردی است که توجه محققان را به خود جلب کرده است و تا مدتها، تنها مورد عملی تحقیق روی MIC یا خوردگی تحت اثر میکروارگانیسمها (Microbially Influenced Corrosion) محسوب می‌شده است. تمرکز محققان روی سایر محیطها خصوصاً محیطهای دریایی سبب شناسایی بهتر MIC شد.

خوردگی زیستی (Biocorrosion)، خوردگی میکروبی (Microbial corrosion)، یا خوردگی تاثیر پذیر از عوامل میکروبیولوژیک (MIC=Microbiologically influenced corrosion) می‌تواند به‌عنوان فرایندی الکتروشیمیایی تعریف شود که در آن میکروارگانیسمها قادر به شروع، تسهیل یا تسریع واکنش خوردگی بدون تغییر در طبیعت الکتروشیمیایی آن می‌باشند.

محققان اعلام کرده‌اند که حدود ۴۰-۲۰ درصد از خسارات خوردگی ناشی از خوردگی، میکروبیولوژیک است. بنابراین می‌توان این جنبه از خوردگی را مخرب‌ترین نوع خوردگی دانست. این مسئله علت‌های مختلفی دارد که مهمترین آنها عبارتند از:

- ۱- وجود میکروارگانیسمها در تمام محیطها
- ۲- عدم شناخت دقیق اثر میکروارگانیسمها
- ۳- حساسیت اکثر آلیاژها و فلزات صنعتی

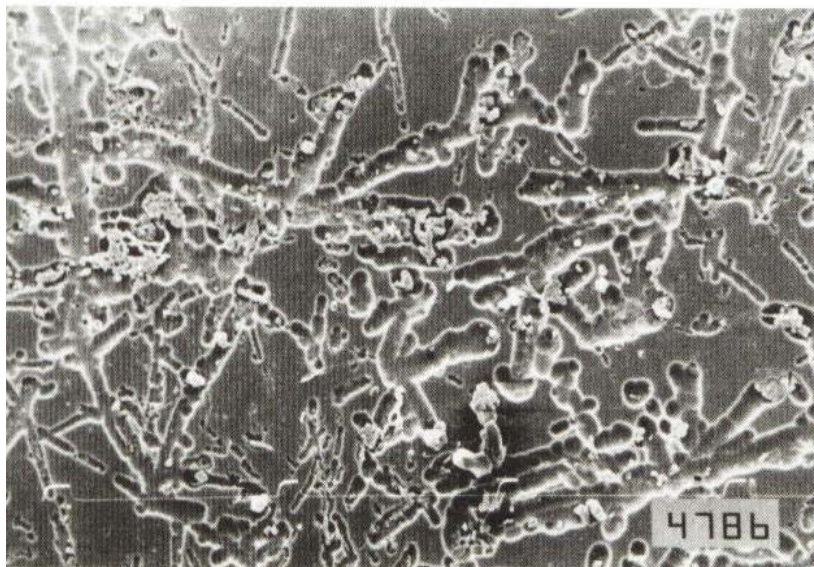
میکروارگانیسمها قادرند بطور فعال محیط اطراف سطح فلز را تغییر داده تا فرایند خوردگی را تسهیل کنند. دخالت میکروبیها در خوردگی به ندرت از طریق یک مکانیسم تنها و یا تنها توسط یک گونه از میکروارگانیسمها انجام می‌شود. این میکروارگانیسمها می‌توانند در اکثر سیستمها با تبدیل و تغییر شرایط محیطی موجب بروز یا تشدید خوردگی شوند؛ بطور مثال اثر خورنده میکروارگانیسمها در سیالات هیدرولیکی، قسمت‌های مختلف موتورکشتی‌ها و دیگر سیستمهای استراتژیک کاملاً به اثبات رسیده است. عوامل بیولوژیکی که موجب خوردگی در محیطهای مختلف می‌شوند به‌طور خلاصه با ذکر یک یا چند نمونه از آنها در جدول زیر ذکر شده‌اند.

جدول ۱: ارگانیسمهای دخیل در فرآیند خوردگی

Desulfovibrio	۱- باکتریهای احیا کننده سولفات (SRB)	الف) باکتریهای بیهوازی	میکرو- ارگانیسمهای پروکاریوتیک
Dethiosulfovibrio	۲- باکتریهای احیا کننده تیوسولفات (TRB)		
Thiobacillus	۱- باکتریهای اکسید کننده گوگرد	ب) باکتریهای هوازی	
Gallionella	۲- باکتریهای اکسید کننده آهن		
Pseudomonas, Aeromonas, Shewanella putrefaciens	۳- سایر باکتریها		
Hormoconis resiniae Aspergillus		الف) قارچها	
Chlorella, Spirogyra		ب) جلبکها	
Seaweeds, Hydroids, Bivalve molluscs, crustacea			ارگانیسمهای چند سلولی یوکاریوتیک

برخی از روشهای عملی میکروارگانیسرها در آغاز کردن یا تشویق خوردگی عبارتست از:

- ۱- تولید متابولیت‌های اسیدی (مثلا اسید سولفوریک تولید شده توسط باکتریهای اکسید کننده سولفور یا افزایش موضعی در غلظت پروتون مشتق شده از متابولیت‌های آلی اسیدی قارچها).
- ۲- تولید متابولیت‌هایی که قادرند ویژگیهای محافظتی لایه غیر آلی را کاهش داده یا بی اثر کنند. (اثر سولفیدهای بیوژنیک روی فیلم محافظ اکسید مس روی سطح آلیاژهای مس-نیکلی)
- ۳- افزایش پتانسیل redox توسط فعالیتهای متابولیکی که شرایط مطلوب خوردگی را القا می‌کند. (مثلا اثر آلودگی قارچی در سیستمهای سوختی / آبی)
- ۴- تغییر شیب اکسیژن جهت ایجاد اختلاف دمشی (Differential aeration) - مثلا اثر بیوفیلیمهای هوازی باکتریها روی خوردگی فولاد زنگ نزن در آب دریا.
- ۵- حمله انتخابی باکتریها در نواحی جوشکاری شده فلزات ( حمله ترجیحی به austenite توسط گالیونلا اکسید کننده آهن روی جوشهای مرکب ferrite-austenite).
- ۶- تسهیل شروع حفره دار شدن (Pitting) توسط اثرات اتصال میکروبی (مثلا شروع حفره دار شدن در نقاط اتصال میسلیموم قارچی Hormoconis.resinae روی آلیاژهای آلومینیم). (شکل ۱)
- ۷- مصرف میکروبی باردارنده‌های خوردگی (مثلا مصرف نیترات- بازدارنده خوردگی آلومینیم- توسط قارچ H.resinae در سیستمهای آب/سوخت).
- ۸- تخریب میکروبی پوششهای محافظ (رنگ‌ها-پوکسی- پوشش های قیری)- مصرف قارچی پوششهای محافظ در مخازن ذخیره سوخت.
- ۹- انحلال فیلمهای محافظ روی سطح فلزات (مثلا احیای محصولات خوردگی غیر آلی  $Fe^{3+}$  غیر محلول به ترکیبات  $Fe^{2+}$  محلول توسط یک ویبریو دریایی).
- ۱۰- تولید متابولیت‌هایی که انرژی سطحی (Surface Energy) سطح متقابل لایه محافظ/الکترولیت را کاهش می‌دهد. (تولید ترکیبات سورفاکتانت که شکستن و جدا شدن لایه‌های محافظ را تسهیل می‌کند)

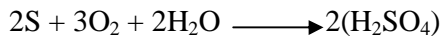


شکل ۱: اثرات اتصال رشته (میسلیموم) های قارچ H.resinae روی سطح آلومینیم ۲۰۲۴

## ۲-۲- خوردگی میکروبی بتن مسلح:

بتن، پر مصرف ترین ماده ساختمانی در دنیاست و دلیل این مقبولیت جهانی، قیمت پایین، راحتی کاربرد و مقاومت نسبتاً خوب آن است. بتن یکی از سازه های مقاوم با خواص مطلوب می باشد که به دلیل قلیایی بودن محیط بتن، میلگرد های درون بتن مسلح در شرایط عادی از خوردگی مصون هستند. محصولات هیدراسیون سیمان (هیدروکسیدهای کلسیم و بعضاً سدیم و پتاسیم) عامل ایجاد شرایط قلیایی (pH=12.6-13.5) و ایجاد یک لایه اکسیدی محافظ (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) در سطح فولاد می شود. پایداری این لایه محافظ به میزان قلیایی بودن بتن بستگی دارد. اگر pH از ۱۱ کمتر گردد، این لایه ناپایدار گشته و باعث شروع یا تشدید خوردگی میلگردها می گردد. خوردگی میلگردها همراه با افزایش حجم ناشی از محصولات خوردگی است که موجب ایجاد تنش در بتن، بوجود آمدن ترک و در نهایت از هم پاشیدن و تکه تکه شدن بتن می شود. نیرویی که در اثر افزایش حجم محصولات خوردگی به بتن وارد می شود حدود ۴۰ - ۲۰ Mpa است که بسیار بالاتر از مقاومت کششی بتن بوده و در نتیجه باعث از هم پاشیدن بتن می گردد.

دو گروه عمده از باکتریهایی که به بتن حمله ور می شوند، باکتریهای احیا کننده سولفات (Sulfate Reducing Bacteria-SRB) و باکتریهای اکسید کننده گوگرد (Sulfur Oxidizing Bacteria-SOB) هستند. فعالیت باکتریهای SRB منجر به تولید سولفید هیدروژن می گردد که این گاز در مجاورت اکسیژن یا باکتریهای هوازی تبدیل به اسید سولفوریک می گردد. اسید سولفوریک به سیمان پرتلند حمله می کند و با هیدروکسید کلسیم موجود در سیمان تشکیل گچ می دهد و از آنجا که گچ به راحتی از سطح بتن کنده می شود، سازه بتنی بتدریج از هم می پاشد. علاوه بر تولید سولفید، این باکتریها با دیپلازاسیون کاتدی یا ایجاد زوج گالوانیکی FeS با آهن موجب خوردگی فاز فلزی نیز می گردند. باکتریهای SOB با اکسیداسیون گوگرد، یون هیدروژن آزاد می کنند که منجر به کاهش PH و اسیدی شدن محیط می گردد. باکتری مذکور که در خوردگی میکروبی سازه های بتنی نقش اساسی دارد، قادر است مطابق واکنش زیر اسید سولفوریک با PH کمتر از ۲/۵ و غلظت تا ۵٪ درصد تولید نماید.



به این ترتیب میکروارگانیسمها موجب تخریب سازه های بتنی در محیطهای مختلف از جمله محیطهای دریایی شده، هزینه های زیادی در زمینه مرمت آنها و یا تعویض سازه ها تحمیل می کنند.

## ۲-۳- بیوفولینگ و تشکیل بیوفیلم:

اغلب سازه های دریایی اعم از ساکن و متحرک پس از مدتی قرار گرفتن در آب دریا با مشکل خزه بستن (Fouling) مواجه می شوند و آن عبارتست از رویش و رشد گیاهان و جانوران آبی و چسبیدن میکروارگانیسمها بر روی سطوح مختلف از جمله اسکله ها و بدنه کشتی ها. چسبیدن ارگانیسمها، علاوه بر افزایش نا خواسته وزن، جریان های دینامیکی قسمت های غوطه ور در آب را تحت تاثیر قرار داده و ضمن کاهش سرعت کشتی ها، باعث افزایش مصرف انرژی نیز می گردند. نتایج تحقیقات به عمل آمده نشان می دهد که ایجاد زبری در اثر چسبیدن میکروارگانیسمها بر روی بدنه کشتی به ضخامت ۱۰ میکرون، باعث افزایش مصرف سوخت شناور از ۳٪ تا ۱ درصد می گردد. ضخامت های زیاد گاهی تا ۵۰٪ مقدار مصرف سوخت را افزایش می دهند. این امر در شناورهای نظامی موجب کاهش تحرک عملیاتی و کاهش قابل توجه سرعت می گردد. از طرف دیگر با خزه بستن بدنه کشتی، روکشهای ضد خوردگی زیرین تخریب گردیده، این مسئله موجب بروز معضل خوردگی و تخریب ناشی از آن در بدنه کشتی که در محیط خورنده آب دریا قرار دارد خواهد گردید. برای رفع دو معضل فوق، کشتی مجبور است که به دفعات زیاد به تعمیرگاههای مخصوص (Dry dock) رفته و علاوه بر جداسازی خزه ها، بدنه اش جهت رنگ آمیزی مجدد آماده سازی شده و رنگ گردد که این مسئله خود متضمن صرف هزینه های بالایی است. علاوه بر این، خسارات اقتصادی خارج شدن کشتی های تجاری از خطوط کشتی رانی و عدم آمادگی عملیاتی کشتی های نظامی طی دوره تعمیرات، هزینه های فوق الذکر را افزایش خواهد داد.

تجمع موجودات زنده میکروسکوپی در محیط‌های آبی و رشد و تکثیر آن‌ها بر روی سطوح باعث تشکیل یک لایه بیولوژیکی چسبنده می‌شود که "بیوفیلم" نامیده می‌شود. ضخامت بیوفیلم بسته به نوع موجودات زنده در شرایط محیطی متغیر می‌باشد.

اثرات زیانبار ناشی از تشکیل بیوفیلم عبارتند از:

- ۱- کاهش ضریب انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی و کندانسورها
- ۲- گرفتگی خلل و فرج مخازن نفتی در مراحل ازدیاد برداشت
- ۳- تشکیل بیوفیلم با ضخامت ۱۰۰۰ میکرون در لوله‌های به قطر ۱۲/۵ میلیمتر سبب کاهش سرعت جریان به میزان ۵۰ درصد می‌گردد
- ۴- مقاومت به بیوسیدها (زیست کش‌ها)
- ۵- ایجاد خوردگی
- ۶- تجزیه و تخریب پوشش‌های آلی از جمله رنگها و پوشش‌های اپوکسی

در اثر حضور میکروارگانیسمها بر روی سطح پوششها، سطح پوشش نرم و لیز می‌شود. مناطق قهوه ای و نقاط سیاه رنگ بر سطح پوشش مشاهده می‌گردد. علت این امر تخریب بیولوژیکی پوشش توسط قارچ ها و باکتریایی است که از این پوشش به عنوان منبع تغذیه خود استفاده می‌کنند. برای جلوگیری از بروز مشکلاتی از این قبیل، باید در فرمولاسیون ماده پوششی از میکروب کش و باکتری کش ها استفاده گردد.

#### ۲-۴- تجزیه بیولوژیکی:

تقریباً هیچ چیزی در جهان وجود ندارد که تعدادی از ارگانیسمها نتوانند آنرا تجزیه کنند و اساساً یکی از نقش های مفید میکروبهها، پاکسازی محیط از طریق تجزیه مواد زائد و برقراری چرخه های زیستی از قبیل چرخه کربن، گوگرد و ... می باشد. البته در برخی مواقع مواد و تجهیزات به طور نا خواسته مورد تجزیه بیولوژیکی قرار می گیرند و موجب افزایش هزینه های نگهداری و تعمیرات تجهیزات می شوند. نقش تجزیه کنندگی میکروارگانیسمها به قدری شگفت انگیز است که برخی از کشورها به فکر استفاده از قابلیت تجزیه بیولوژیکی به عنوان یک سلاح غیر کشنده ضد مواد و تجهیزات (ضد آمادی) افتاده و تحقیقات فراوانی را در این زمینه انجام داده اند. یکی از برنامه های این کشورها موثر تر کردن قابلیت تجزیه بیولوژیکی توسط انجام تغییرات مهندسی ژنتیک روی میکروارگانیسمهای تجزیه کننده و افزایش کارایی آنها می باشد.

در اوایل دهه ۱۹۹۰، آزمایشگاه ملی لوس آلاموس وابسته به دولت ایالات متحده در نیو مکزیکو تحقیق روی سلاحهای غیر کشنده را آغاز کرد. در بین اولین اقدامات آنها، ارزیابی عوامل ضد مواد مهندسی ژنتیک شده (Genetically Engineered anti-material agents-GAMAS) بود. در سال ۱۹۹۸، آزمایشگاه تحقیقاتی نیروی دریایی ایالات متحده (Naval Research Laboratory-NRL) تعدادی از کاربردهای تهاجمی سلاحهای ضد مواد مهندسی ژنتیک شده را شناسایی کرد. اینها شامل میکروبهایی بودند که هیدروکربنها، پلاستیکها، لاستیکهای طبیعی و سنتزی، فلزات و مواد ترکیبی را تخریب کرده یا به آنها آسیب می‌رسانند. همچنین شامل میکروارگانیسمهایی می‌شد که ذرات کوچکی (Inclusion Bodies) از نمکها، فلزات، یا گرانولهای شبیه پلاستیک (Polyhydroxy alkanate) را تولید می‌کردند که می‌تواند در ماشین‌آلات نقص ایجاد کند.

یک مثال از تجزیه یک ماده نظامی، تجزیه پلیمرهای سنتزی بسیار قوی می‌باشد به نام Kevlar که در صنایع مختلف کاربرد دارد. Kevlar اولین فیبر آلی کشف شده با خواص عالی از جمله مقاومت کششی، مقاومت حرارتی و خود خاموش شوندگی، مقاومت سایشی و مقاومت شیمیایی بالا، وزن پایین و هدایت الکتریکی پایین می‌باشد. Kevlar یک آرامید است (poly para-phenyleneterephthalamide). حلقه آرامید به Kevlar پایداری حرارتی می‌دهد در حالی که

مقاومت بالای آن مربوط به ساختار پارا می باشد. از Kevlar در ساخت جلیقه های ضد گلوله، طنابهای کیسه های هوایی فرود اضطراری کاوشگر مریخ، طنابهای لنگر بزرگترین کشتی های ایالات متحده، دستکش های محافظ، کاپاک، چوب اسکی، کلاه خود و ... استفاده شده است. قابل ذکر است که اخیراً از Kevlar جهت ساخت بدنه شناورهای تندرو استفاده می کنند. اغلب رنگها و پوششها همچنین به تجزیه توسط محصولات میکروبی حساس می باشند. سوخت، روغن و روانکارهای تجهیزات نظامی نیز به تجزیه توسط عمل میکروبی حساس هستند. آزمایشگاه تحقیقاتی نیروی دریایی ایالات متحده (NRL) یک آنزیم از قارچهای طبیعی در آزمایشگاه شناسایی و تولید کرده و با کمک مهندسی ژنتیک، ارگانسیم مذکور را به صورتی تغییر داده است که آنزیم تجزیه کننده پلی اورتان (ترکیب اصلی رنگ کشتی ها و هواپیماها) را به میزان زیادی تولید می کند. چنین میکروارگانیسمی قادر به ایجاد صدها تاول روی رنگهای پلی اورتان نظامی در طی ۷۲ ساعت می باشد (US Patent, Navy case No.75461). هدف دراز مدت استفاده از دانش راههای طبیعی تجزیه میکروبی، گسترش سیستمهای شیمیایی تقلید شده از فرآیندهای بیولوژیک (Biomimetic) می باشد که نیرومندتر، ارزان تر و دارای کاربری آسانتری برای استفاده میدانی در هر محیط جنگی هستند.

عوامل دپلیمریزه کننده کاتالیستهای نسبتاً جدیدی هستند که در پیوندهای شیمیایی پلیمرها (مثلاً لاستیک و پلاستیک) شکست ایجاد می کنند و نتیجه آن تخریب لاستیکها است که پیامد آن ایجاد خرابی و بی حرکت کردن وسیله مبتلا شده می باشد. از آنجا که آنها کاتالیست هستند، مقادیر کم دپلیمریزه کنندهها باید در مقایسه با برخی دیگر مواد بی حرکت کننده وسایل اثر مطلوبتری ایجاد کند.

#### ۲-۴- آلودگی میکروبی سوختها:

سوختها منابع کربنی فراوانی برای رشد میکروبی دارند اما در مواد تغذیه ای غیر آلی از قبیل نیتروژن، فسفر و پتاسیم فقیر هستند. این عناصر اغلب فاکتور محدود کننده تجزیه میکروبی سوخت هستند و باید از طریق منابع خارجی از جمله آب آلوده باقی مانده در مخزن ذخیره ساحلی پس از شستشو، افزودنی های سوخت یا ورود آب از خارج به داخل سیستم تامین شوند. اولین نشانه های آلودگی میکروبی سوخت عبارتند از گرفتگی فیلترها، کم رسیدن و یکدست نبودن جریان سوخت، متغیر شدن فشار احتراق و افزایش نرخ سایش رینگهای پیستون و دیواره داخلی سیلندر و فولینگ انژکتور. آلودگی میکروبی سوخت بصورت ایجاد کدورت در سوخت و ایجاد لجن خاکستری آهوه ای در سطح مشترک آب و سوخت ظاهر می شود و در موارد آلودگی شدید و طولانی مدت، خوردگی ممکن است اتفاق بیفتد. این امر ممکن است به علت فعالیت SRB باشد که به کمبود اکسیژن و از اینرو راکد بودن سوخت نیازمند است.

#### ۲-۵- آلودگی میکروبی روانکارها:

تنها تعداد کمی از میکروارگانیسمها قادر به رشد در روغنهای روانساز می باشند که دلایل این امر ناقص بودن روغن روانکار از نظر تغذیه ای برای میکروها و نیز کارکرد روغن در دماهای عملیاتی بالا می باشد. اما اگر آلودگی شدید سیستم روغنهای روانکار رخ دهد، این مکانیسم خود کنترلی نسبت به جلوگیری از تکثیر میکروبی ناتوان خواهد بود. همانند سوختها، رشد میکروبی در آب مرتبط با روانکار اتفاق می افتد و بنابراین، این پدیده در روغنهای جعبه کارتر در موتورهای کارتر تر (Wet engines) بویژه آنهايي که با پیستونهای آب خنک کار می کنند مشاهده می شود.

علایم آلودگی روانکار، تشکیل لایه لزج (Slimy film) روی درهای جعبه کارتر است که در آنجا ممکن است بوی فاسد شدگی به مشام برسد و سیاه شدن قسمتهای سفید فلزی اتفاق بیفتد. با پیشرفت مشکل، مسدود شدن فیلترها رخ می دهد و با تولید اسیدهای آلی، روغنها به سوی امولسیون شدن تمایل نشان می دهند. از آنجا که میکروارگانیسمها از افزودنیهای روغن تغذیه می شوند، ممکن است خاصیت روانکاری روغن دچار نقصان شود، ویسکوزیته آن تغییر یابد، اسیدیته کلی بالا رود و پتانسیل امولسیون شدن و خوردگی افزایش یابد. همچنین سولفید هیدروژن ممکن است به عنوان محصول فرعی تولید شود.

در صورتی که این فاکتورها در یک زمان اتفاق بیفتند، نتیجه آن مشکلات شدید خوردگی طی چند هفته از شروع آلودگی خواهد بود. در صورتی که SRB موجود باشد، بویژه در کشتی‌های غیر فعال (Laid Up)، خوردگی حفره‌ای قابل توجه فلزات آهنی و غیر آهنی ممکن است اتفاق بیفتد.

## ۲-۶- آلودگی میکروبی مخازن ذخیره سوخت:

عمده ترین مشکل میکروبی در صنایع نفت، آلودگی محصولات ذخیره شده می باشد که می تواند به افت کیفیت محصول، تشکیل لجن و خوردگی لوله‌ها و مخازن ذخیره منجر شود. حتی در مخازنی که به بهترین نحو نگهداری می‌شوند، آلودگی میکروبی گهگاه اتفاق می‌افتد. میکروارگانیسمها معمولاً در سوخت وجود دارند، اما مراقبت خوب (زدودن آب و استفاده از بیوسیدها) رشد آنها را کم می‌کند. به هر حال در چند سال اخیر، گزارشات رشد میکروبی در مخازن سوخت افزایش یافته است و نگهداری مخازن استراتژیک برای دوره‌های طولانی همیشه مشکل ساز بوده‌اند.

در صورتی که مخازن فاقد سیستم زهکشی یا زدایش آب باشند و یا جاهایی که زهکش (drain) در پایینترین سطح مخزن قرار نداشته باشد، درون مخازن، آب جمع می‌شود. مخازن در موتورخانه یا دیگر مکانهای گرم و مخازنی که سوخت دوباره برگشت شده از انژکتور را دریافت می‌کند، برای رشد و تکثیر میکروارگانیسمها ایده‌آل هستند. مخازن دوکفی (double bottom) به علت دمای کمتر، کمتر در معرض تکثیر میکروبی هستند.

مهمترین نیازمندی رشد میکروبی در سوخت، آب می‌باشد که به دلایل زیر همیشه وجود دارد:

- ۱- آب حل نشده در سوخت می‌تواند روی دیواره مخزن کندانس شود.
- ۲- رطوبت موجود در هوا می‌تواند از طریق درب شناور مخازن یا دیگر منافذ وارد شود.
- ۳- مخازنی که طراحی ضعیف داشته‌اند بطور موثر تخلیه نمی‌شوند.
- ۴- معمولاً درصد بسیار کمی آب همواره در سوختها بطور مجاز وجود دارد که این میزان برای رشد ابتدایی میکروارگانیسمها کاملاً کافی است و پس از شروع رشد، متابولیسم سلولی منجر به تولید آب بیشتر می‌شود و بدین ترتیب چرخه ادامه می‌یابد.

در مخازن ذخیره هواپیما که از آلیاژهای آلومینیوم ساخته شده است، قارچ *Hormoconis resiniae* می‌تواند مشکل عمده‌ای باشد که عامل خوردگی و/یا نفوذ به Lining مخزن می باشد. خطوط هوایی از این امر آگاه می‌باشند و آزمایشهای منظمی را در این زمینه انجام می دهند.

مخازن ذخیره سوخت درون زمینی، بخاطر مشکلات در تخلیه کردن کامل، در معرض آلودگی قرار دارند و از آنجا که آنها از بازرسی چشمی مخفی هستند، ممکن است که به خوردگی و نشت آنها توجهی نشود و از اینرو آلودگی محیطی مهمی می‌تواند اتفاق بیفتد. در برزیل، بسیاری از ایستگاههای پخش سوخت در حال تعویض مخازن درون زمینی با مخازن هوایی هستند که نتیجه آن کاهش مشکلات میکروبی است. یک قانون جدید در آمریکا، مالکین مخازن درون زمینی را ملزم کرده است که توسط مکانیسمهای متعدد علیه خوردگی محافظت شوند (استفاده از پوشش و حفاظت کاتدی)، که معنی آن تحمیل هزینه‌های قابل توجه توسط سخت گیرهای مربوطه است.

## ۲-۷- آلودگی میکروبی آب خنک کننده:

وقوع آلودگی میکروبی در آب خنک کننده موتور می‌تواند موجب تخریب مواد شیمیایی بازدارنده خوردگی شود که نتیجه آن ممکن است تغییر رنگ، ایجاد بوی بد، تشکیل لجن و اسیدی شدن آب خنک کننده باشد. بسیاری از باکتریهای آب خنک کننده قادر به فراهم کردن اکسیژن مورد نیاز خود توسط احیاء سریع نیتريت که یک جزء سازنده ترکیبات ضد خوردگی است می‌باشند. نیتريت سپس به آمونیاک یا گاز نیتروژن و آب احیا می‌شود و آب به سرعت خورنده می‌شود. پس از مدتی، آب

خنک کننده ممکن است به اندازه کافی بیهوای شود تا اجازه تکثیر به SRB بدهد. همچنین اگر فولینگ شدید اتفاق بیفتد، انتقال گرما آسیب خواهد دید.

### ۳- نتیجه گیری:

میکروارگانیسرها می توانند در صنایع مشکلات زیادی ایجاد کنند که نتیجه آن افزایش هزینه های نگهداری و تعمیرات می باشد و البته راههایی جهت کنترل رشد میکروارگانیسمها وجود دارد و برخی صنایع هم اکنون از این روشها استفاده می کنند. برای مثال استفاده از بیوسید(زیست کش) در آب برجهای خنک کننده جهت کنترل خوردگی به یک امر معمول تبدیل شده است اما متأسفانه برخی صنایع همچون آشنایی با این عوامل و راههای کنترل آنها ندارند که موجب وارد شدن خسارتهای اقتصادی فراوان و در بعضی موارد خسارتهای جبران ناپذیری شود. برای مثال نشت ترکیبات نفتی از مخازن ذخیره در پالایشگاهها به دلیل خوردگی میکروبی و آلودگی آبهای زیرزمینی مناطق اطراف پالایشگاه، خسارت زیست محیطی جبران ناپذیری به بار می آورد.

### تشکر و قدر دانی:

بدینوسیله مراتب تشکر خود را از زحمات دوست و همکار عزیزم جناب آقای محمد نوبخت که ویرایش ادبی مقاله را پذیرفتند، ابراز می دارم.

### مراجع:

- [۱] طاهری، رمضانعلی؛ "بررسی عوامل مهم موثر در خوردگی بیولوژیک فولاد توسط باکتریهای احیاء کننده سولفات" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ۱۳۸۰
- [۲] طاهری، رمضانعلی؛ "خوردگی و روشهای پیشگیری از آن" - کتاب دوره تخصصی مکانیک دریایی، ناشر: معاونت آموزش ندسا - ستاد بهینه سازی آموزش - چاپ اول، بهمن ماه ۱۳۸۱
- [۳] طاهری، رمضانعلی؛ "خوردگی در شناورها" - کتاب دوره عالی رشته ای مکانیک دریایی، ناشر: معاونت آموزش ندسا - ستاد بهینه سازی آموزش - چاپ اول، بهمن ماه ۱۳۸۱
- [۴] طاهری، رمضانعلی؛ "مکانیسمهای خوردگی بیولوژیک" - فصلنامه زنگ (نشریه انجمن خوردگی ایران) - ۱۳۸۳
- [۵] طاهری، رمضانعلی؛ "عوامل غیر کننده - راهکاری برای جنگهای آینده" - دومین همایش سراسری پدافند جنگهای نوین، ابعاد علمی و راهکارها - دانشگاه امام حسین(ع) - بهمن ۱۳۸۲
- [۶] طاهری، رمضانعلی؛ "سلاحهای غیر کننده ضد مواد و تجهیزات" - همایش نقش علم و فن آوری در جنگهای اخیر - دانشگاه صنعتی مالک اشتر - خرداد ۱۳۸۳.
- [۷] جواهردشتی، رضا و طاهری، رمضانعلی؛ "مروری بر روشهای غیر کننده میکروبی به منظور فلج کردن تاسیسات پشتیبانی دشمن: استفاده از اصول خوردگی میکروبی" - همایش نقش علم و فن آوری در جنگهای اخیر - دانشگاه صنعتی مالک اشتر - خرداد ۱۳۸۳.
- [۸] نوحی، اشرف السادات؛ حامدی، جواد؛ قائمی، ناصر؛ جواهردشتی، رضا؛ طاهری، رمضانعلی؛ "مقایسه میزان خوردگی فولاد توسط باکتریهای احیا کننده فولاد در کشتهای بسته و نیمه پیوسته" - هشتمین کنگره ملی خوردگی - دانشگاه تهران - خرداد ۱۳۸۲
- [۹] طاهری، رمضانعلی؛ "استفاده از سلاحهای غیر کننده در جنگهای آینده" - ماهنامه خلیج فارس و امنیت - سال پنجم - شماره ۴۸ - آبان ۱۳۸۳
- [۱۰] طاهری، رمضانعلی؛ سمینار یکروزه "خوردگی میکروبی و صنعتی با تاکید بر خوردگی میکروبی بتن" - فرماندهی مهندسی ساختمان و تاسیسات نداجا - اردیبهشت ۱۳۸۳
- [۱۱] خانابایی، قادر؛ "خوردگی در بتن - علل تخریب و روشهای ارزیابی" - فصلنامه زنگ (نشریه انجمن خوردگی ایران) - سال چهارم - شماره یازدهم و دوازدهم - ۱۳۸۲

- [۱۲] کثیریه، سید محمود؛ " نسل جدید رنگهای ضد خزه" - مجله بندر و دریا، صفحات ۵۸-۵۳، ۱۳۷۵
- [۱۳] جان نثاری، علی؛ " فناوری پوششهای ضد جرم" - اولین سمینار ملی پوششهای دریایی - منطقه آزاد قشم - ۱۳۸۳
- [۱۴] رنجبر، زهرا؛ "عیوب پوشش های حفاظتی: دلایل و راهکارها" - اولین سمینار ملی پوششهای دریایی - منطقه آزاد قشم - ۱۳۸۳
- [15] Taheri,R.A , Nouhi,A , Hamed,J , and Javaherdashti,R; "Comparison of corrosion rates of some steels in batch and semi-continuous cultures of sulfate-reducing bacteria"-Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental sciences, Vol 7, No.(1) : 2005
- [16] Kobrin,G.(Ed.), "A practical Manual in Microbiologically-influenced corrosion", NACE, Houston , TX,USA, 1993.
- [17] Hill,E.C., "Microbial corrosion in ship engines", in "Microbial corrosion", proceedings of the conference by The National Physical laboratory and The Metals Society, Published by The Metals Society, London, 1983, UK.
- [18] R. A. Stuart; "MICROBIAL ATTACK ON SHIPS AND THEIR EQUIPMENT", Lloyd's Register Technical Association, Paper No. 4 Session 1994-95
- [19] Christine C. Gaylarde, Fátima M. Bento, Joan Kelley; "MICROBIAL CONTAMINATION OF STORED HYDROCARBON FUELS AND ITS CONTROL ", MINI-REVIEW, Rev. Microbiol. vol.30 n.1 São Paulo 1999
- [20] Woodyard D , "Microbial Contamination of Fuels and Lubricants", in:Pounder's Marine Diesel Engines, Seventh edition, 1998
- [21] Videla,H.A, "Manual of biocorrosion", Lewis Publishers, 1996
- [22] "Enhanced degradation of Military Material", [www.sunshine-project.com](http://www.sunshine-project.com)
- [23] "Biofouling and Biocorrosion", [www.sunshine-project.com](http://www.sunshine-project.com)