

آلودگی میکروبی سوختها و مخازن ذخیره سوخت

رمضانعلی طاهری^{۱(۱)}

معاونت آباد و پشتیبانی نیروی دریایی سپاه

R.A.Taheri@gmail.com

چکیده:

عمده ترین مشکل میکروبی محصولات نفتی، آلودگی محصولات ذخیره شده می باشد که می تواند به افت کیفیت محصول، تشکیل لجن و خوردگی خطوط لوله و مخازن ذخیره هم در پالایشگاه و هم نزد مصرف کننده نهایی منجر شود. از بین سه کلاس عمده سوخت شامل بنزین، نفت سفید هواپیمایی و سوخت دیزل، سوختی که مشکلات شدیدتر میکروبیولوژیکی را نشان می دهد سوخت دیزل است. در این تحقیق انواع میکروارگانیسمهای جدا شده از سیستمهای سوخت هیدروکربنی معرفی شده و شرایطی که برای رشد میکروبی لازم است و روشهای استفاده شده برای پایش و کنترل این فعالیتها بحث شده اند. اثرات افزودنیهای متعدد سوخت از جمله بیوسیدها نیز مورد بحث قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: بیوسیدها، بیوفیلیم، سوختهای هیدروکربنی، خوردگی میکروبی، مخازن ذخیره

۱- مقدمه:

عمده ترین مشکل میکروبی در صنایع، آلودگی محصولات ذخیره شده می باشد که می تواند به افت کیفیت محصول، تشکیل لجن و خوردگی لوله ها و مخازن ذخیره منجر شود. گزارشهای چنین آلودگیهایی در سالهای اخیر افزایش یافته است، که احتمالاً بخاطر افزایش نیاز به سوخت دیزل، بنزین و سوخت جت با کیفیت بالا می باشد. همچنین مقادیر زیادی هر سال بر روی تجهیزات اساسی، نگهداری و مدرنیزاسیون، از جمله پیشگیری و تیمار آلودگی میکروبی صرف می شود. نفت خام مخلوطی است از هیدروکربنهای بسیار متفاوت از جمله آلیفاتیکهای حلقوی، شاخه دار و مستقیم، ترکیبات آروماتیک و هتروسیکلیک. ترکیبات نفت خام با منشا آن متفاوت می باشد. محصولات تصفیه ای شامل مخلوطی از ترکیبات هستند. برای مثال بنزین حاوی هیدروکربنهای راست زنجیره و شاخه دار، آلکانها، نفتالنها، آروماتیکها و دیگر ترکیبات می باشد. پایدار کننده ها، افزایش دهندگان عدد اکتان (اساساً تترا اتیل سرب)، عوامل ضد خوردگی و دیگر ترکیبات ممکن است به ترکیب نهایی افزوده شوند. تیمارهایی از قبیل نمک زدایی (Desalting)، آب زدایی (Dehydrating) و گوگرد زدایی (Desulfurization) گاهی اوقات مورد نیاز می باشد. فرایندهای بکار رفته در تولید سوخت، ترکیب محصول نهایی را تحت تاثیر قرار می دهد که به نوبه خود بر حساسیت آلودگی میکروبی تاثیر گذار است.

¹ کارشناس ارشد میکروبیولوژی

۲- آلودگی میکروبی محصولات نفتی:

۲-۱- بنزین:

ویژگی‌های درجه (grades) های مختلف بنزین توسط مشخصه‌های فنی شامل طیف نقطه جوش، فراریت، عدد اکتان، پایداری و ترکیبات جزئی متعدد کنترل می‌شود. ترکیبات گوگرد که اغلب از دی‌سولفیدها، سولفیدها و تیوفن‌ها تشکیل شده است نا مطلوب می‌باشند و میزان آن بندرت بالای ۰/۲۵٪ وزنی می‌باشد. افزودنی‌های متعدد سوخت عبارتند از عوامل ضد اکسیداسیون، غیر فعال کنندگان فلز (metal deactivator)، تترا اتیل یا تترا متیل سرب، عوامل ضد یخ و بازدارنده‌های خوردگی. رنگها ممکن است به منظور شناسایی و یا اهداف تبلیغاتی افزوده شوند. در برزیل ممکن است بنزین حاوی تا ۱۷٪ الکل باشد که انتظار می‌رود در فاز آب متمرکز شده و رشد میکروبی را بازدارد. همچنین طیف طولهای زنجیره کربنی موجود در بنزین رشد میکروارگانیسمها را محدود می‌کند. ترکیبات با وزن ملکولی پایین ممکن است به علت اثر حل کنندگی روی غشای سلولی، سمی باشند. به هر حال، واضح است که بسیاری از افزودنی‌های مجاز (مثلاً سورفاکتانت‌ها) می‌توانند به عنوان منابع تغذیه‌ای برای میکروارگانیسم‌ها عمل کنند، در حالی که بقیه، از جمله ترکیبات anti-knock و ترکیبات حاوی گوگرد، ممکن است کمی بازدارنده باشند.

۲-۲- سوخت جت:

به خاطر ویژگی‌های خاص مورد نیاز سوخت جت، از جمله فشار بخار و نقطه انجماد پایین، این سوخت حاوی نفت سفید پارافینیک یا مخلوطی از نفت سفید و برشهای بنزین به همراه محتوی آروماتیک زیر ۲۵٪ است. عوامل ضد یخ (دی اتیلن یا تری اتیلن گلیکول منو متیل اتر: ۲- متوکسی اتانول 2-ME) ممکن است به سوخت افزوده شوند و اینها فعالیت بازدارنده رشد ارگانیسمها (Biostatic) را دارند، گرچه سودوموناس پوتیدا (*Pseudomonas putida*) نشان داده است که 2-ME را مصرف می‌کند. هیدروکربنها در این سوخت به راحتی توسط برخی میکروارگانیسمها تخریب می‌شوند.

۲-۳- سوخت دیزل:

سوخت دیزل یک محصول هیدروکربنی با نقطه جوش تقریباً بین ۱۵۰ و ۴۰۰ درجه سانتیگراد با طول زنجیره کربنی C15-C22 می‌باشد. (جدول ۱)

جدول ۱- برشهای سوختی بدست آمده از نفت خام

Fraction	C atoms	M. Wt.
Gas	1-4	16-58
Gasoline	5-12	72-170
Kerosene	10-16	156-226
Diesel	15-22	212-294

در مورد سوخت دیزل، کلاسهای مختلفی وجود دارند و طبقه بندی‌ها از یک کشور به کشور دیگر تفاوت دارند. در برزیل، یک محصول جدید معرفی شده به بازار به نام Urban (یا Metropolitan) است که حاوی مقدار مجاز کمتری از گوگرد می‌باشد. (حد اکثر ۰/۵٪ که تا حدی از میزان مجاز در بسیاری از کشورهای دیگر بالاتر است). میزان کاهش یافته

گوگرد می‌تواند اجازه فعالیت بیشتر میکروبی را بدهد. تنوعی از افزودنی‌ها ممکن است برای افزایش پایداری سوخت استفاده شوند: مانند ترکیباتی از قبیل آمین‌های آلیفاتیک، عوامل کلاتور، دترجنت‌ها و بازدارنده‌های خوردگی، که برخی از آنها می‌توانند به عنوان منبع غذایی برای میکروارگانیسم‌ها عمل کنند. سوخت دیزل سوختی است که از متنوع‌ترین مشکلات آلودگی میکروبی رنج می‌برد.

۳- آلودگی میکروبی مخازن ذخیره سوخت:

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.

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- در برزیل، مشخصات فنی سوخت دیزل اجازه 0.05% آب را داده است. این 0.5 ml/Lit 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.

اکسیژن، از دیگر نیازمندیهای رشد میکروبی، بطور نرمال به میزان کافی در سوخته‌های تقطیری وجود دارد و بطور مداوم هنگامی که مخازن دوباره پر می‌شوند، جایگزین می‌شوند. به هر حال، حتی وقتی که سوخت بیهوایی می‌شود، از حمله میکروبی در امان نیست، چرا که ارگانیسم‌های اختیاری از قبیل *Bacillus* و بیهوایی‌ها از جمله باکتریهای احیا کننده سولفات (Sulfate Reducing Bacteria-SRB) غالب می‌شوند. فاکتور محدود کننده رشد احتمالاً در دسترس بودن مواد معدنی، بویژه فسفر است که عموماً به میزان 1 PPM در سوخت وجود دارد. نیتروژن و آهن همچنین ممکن است ماده غذایی محدود کننده مهمی باشند. بسیاری از مطالعات آزمایشگاهی نشان داده‌اند که قارچها بسیار راحتتر در سیستم سوخت حاوی محلول نمکهای معدنی به صورت فاز آبی رشد می‌کنند تا با آب. مشکلات مرتبط با رشد میکروبی در جدول ۲ لیست شده‌اند. در سوخت دیزل، آلودگی میکروبی ممکن است در ارتباط با بی ثباتی کهنگی (aging instability) باشد، اما بطور کلی مهمترین نتیجه آن، خوردگی میکروبی (Microbially Influenced Corrosion) مخازن ذخیره و لوله‌ها و تشکیل توده‌های میکروبی با قابلیت بلوکه کردن فیلترها و خطوط لوله و افزایش فرسایش در پمپها می‌باشد.

در مخازن ذخیره هواپیما، که از آلیاژهای آلومینیوم ساخته می‌شوند، *Hormoconis resinae* می‌تواند مشکل عمده‌ای باشد که عامل خوردگی و یا نفوذ به Lining مخزن است. خطوط هوایی از این امر آگاه می‌باشند و آزمایشهای منظم را متقبل شده‌اند.

جدول ۲- نتایج رشد میکروبی در سوختها

Problem	Principal types of microorganisms
Blockage of pipes, valves, filters and incorrect readings from fuel probes	Fungi; polymer-producing bacteria
Increased water content	All
Sludge formation	All
Surfactant production, causing oil/water emulsification, entry of cells into the oil phase and coalescer malfunction	Fungi and aerobic bacteria
Corrosion of storage tanks and lines	Fungi and anaerobic bacteria
Production of suspended solids in the fuel	All
Breakdown of hydrocarbons	Fungi and aerobic bacteria
Shortened filter life	All
Fouling of injectors	Aerobic bacteria and fungi
Increased sulfur content of fuel	SRB
Shortened life of engine parts	Undetermined
Penetration of protective tank linings	Fungi
Health problems	Endotoxin-producing bacteria, opportunistic pathogens, SRB.

مخازن ذخیره سوخت در زمین، بخاطر مشکلات در تخلیه کردن کامل، در معرض آلودگی قرار دارند و از آنجا که این مخازن 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. میکروارگانیسم‌ها ممکن است از طریق خاک، هوا، آب شستشوی آلوده، خطوط لوله آلوده یا از طریق بیوفیلم موجود روی دیواره مخازن (در صورتی که بطور موثر و کارا بخوبی تمیز نشده باشند) وارد سوخت شوند. شکل زیر آلودگی میکروبی سوخت نفت کوره را به ترتیب در سه مرحله نشان می‌دهد.



شکل ۱: آلودگی میکروبی سوخت کوره در سه مرحله نشان داده شده است

جدول ۳ ارگانیسمهایی را که از مخازن گوناگون سوخت هیدروکربنی جدا شده‌اند نشان می‌دهد. همه این ارگانیسمها قادر به متابولیسم کردن هیدروکربن نیستند. آنهایی که قادر به رشد در سوخت هستند، نسبت به توانایی زنده ماندن در سوخت، با

یک ستاره نشاندار شده‌اند. جدای از هیدروکربنها، ارگانیسرها ممکن است مواد غذایی را از افزودنی‌های سوخت، آلودگی‌هایی که وارد سیستم می‌شود یا از رشد ارگانیسرهایی که در ابتدا کلونیزه شده‌اند بدست آورند. زنجیره‌های هیدروکربنی که به راحتی مصرف می‌شوند C10-C18 هستند. زنجیره‌های کوتاه تر هیدروکربنی ممکن است عملاً رشد برخی ارگانیسرها را باز دارد.

جدول ۳- میکروارگانیسرهایی را که از مخازن گوناگون سوخت هیدروکربنی جدا شده‌اند

Bacteria		
<i>Acinetobacter</i> *	<i>Brevibacterium ammoniagenes</i>	<i>Pasteurella</i> sp.
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	<i>Clostridium sporogenes</i>	<i>Pseudomonas</i> sp.*
<i>Acinetobacter cerificans</i>	<i>Corynebacterium</i> sp.	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> *
<i>Actinomyces</i>	<i>Enterobacter cloacae</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
<i>Aerobacter aerogenes</i>	<i>Enterobacter glomerans</i>	<i>Pseudomonas maliphora</i>
<i>Alcaligenes</i> *	<i>Flavobacterium arborescens</i>	<i>Pseudomonas oleovorans</i> *
<i>Bacillus</i> sp.*	<i>Flavobacterium diffusum</i>	<i>Pseudomonas putida</i> *
<i>Bacillus acidocaldarius</i>	<i>Micrococcus</i> sp.	<i>Serratia marcescens</i>
<i>Bacillus megatherium</i>	<i>Moraxella</i> sp.	<i>Serratia odorifera</i>
<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Ochrobactrum anthropii</i>	SRB*
Yeasts		
<i>Aureobasidium pullulans</i>	<i>Candida guilliermondii</i> *	<i>Candida zeylanoides</i>
<i>Candida</i> sp.*	<i>Candida lipolytica</i> *	<i>Hansenula mrakii</i>
<i>Candida famata</i> *	<i>Candida rugosa</i>	<i>Rhodotorula</i> sp.*
<i>Candida fluvialis</i>	<i>Candida tropicalis</i>	<i>Saccharomyces</i> sp.
Filamentous fungi		
<i>Acremonium</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.*	<i>Penicillium hirsutum</i>
<i>Acremonium strictum</i> *	<i>Fusarium acuminatum</i>	<i>Penicillium minioluteum</i>
<i>Alternaria</i> sp.	<i>Fusarium moniliforme</i> *	<i>Penicillium notatum</i> #
<i>Alternaria alternata</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> *	<i>Penicillium spinulosum</i>
<i>Aspergillus</i> sp.*	<i>Fusarium sambucinum</i>	<i>Penicillium thomii</i>
<i>Aspergillus clavatus</i>	<i>Geomyces cretaceus</i>	<i>Penicillium waksmanii</i>
<i>Aspergillus fischeri</i>	<i>Geotrichum candidum</i>	<i>Pestalotiopsis aquatica</i>
<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Gliomastix</i> sp.	<i>Phialophora</i> sp.
<i>Aspergillus fumigatus</i> *	<i>Helminthosporium</i> sp.	<i>Phialophora richardsiae</i>
<i>Aspergillus niger</i> *	<i>Hormoconis resinae</i> *	<i>Phoma</i> sp.
<i>Aspergillus nidulans</i>	<i>Humicola grisea</i>	<i>Phomopsis</i> sp.
<i>Aspergillus ochraceus</i>	<i>Mucor</i> sp	<i>Pseudallescheria boydii</i>
<i>Aspergillus paradoxus</i>	<i>Paecilomyces</i> sp.	<i>Rhinocladiella</i> sp.*
<i>Aspergillus sejunctus</i> #	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	<i>Rhizopus oryzae</i>
<i>Aspergillus sydowi</i>	<i>Paecilomyces variotii</i> *	<i>Sordaria fimicola</i>
<i>Aspergillus versicolor</i>	<i>Paecilomyces virvus</i>	<i>Stemphylium botryosum</i>
<i>Aspergillus tamarii</i>	<i>Penicillium</i> sp.*	<i>Thielavia</i> sp.
<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Penicillium brevicompactum</i>	<i>Trichoderma</i> sp.
<i>Cephalosporium</i> sp.	<i>Penicillium canescens</i>	<i>Trichoderma harzianum</i>
<i>Chaetomium dolichotrichum</i>	<i>Penicillium citrinum</i>	<i>Trichoderma koningii</i>
<i>Chaetomium globosum</i>	<i>Penicillium corylophilum</i> *	<i>Trichoderma viride</i> *
<i>Cladosporium</i> sp.	<i>Penicillium cyclopium</i> *#	<i>Trichosporon</i> sp.*
<i>Cladosporium cladosporoides</i> *	<i>Penicillium digitatum</i>	<i>Trichothecium roseum</i>
<i>Cladosporium herbarum</i>	<i>Penicillium echinulatum</i>	<i>Tritirachium oryzae</i>
<i>Cladosporium sphaerospermum</i>	<i>Penicillium expansum</i>	<i>Ulocladium</i> sp.
<i>Curvularia lunatus</i>	<i>Penicillium frequentans</i> #	<i>Ulocladium atrum</i>
<i>Drechslera cynodontis</i>	<i>Penicillium funiculosum</i>	<i>Ulocladium chartarum</i>
<i>Epicoccum purpurascens</i>	<i>Penicillium glabrum</i> #	

* organisms with reported ability to grow in fuel

Synonyms:-

Aspergillus sejunctus = *A. rubrobrunneus*, *Penicillium frequentans* = *P. glabrum*, *P. cyclopium* = *P. aurantiogriseum*,

P. notatum = *P. chrysogenum*

۴- اهمیت افزودنی‌های سوخت:

اشاره شده است که رشد میکروبی در بنزین به هزینه مواد افزودنی از قبیل فسفاتیدهای روغن نباتی انجام می‌شود و مطمئناً آلودگی شدید میکروبی تنها در حضور افزودنی‌های آلی انجام می‌پذیرد. همچنین نادر است که SRB به عنوان آلوده کننده بنزین یافت شود. اما این امر ممکن است بخاطر اثرات سمی هیدروکربنهای بنزین باشد. حضور افزودنی‌های متنوع در سوخت دیزل مسئول افزایش مشکلات میکروبی در آن می‌باشد لذا مهم است تا عواملی را که قصد داریم به عنوان بهبود دهنده خواص فیزیکی و شیمیایی سوخت به آن بیفزاییم از نظر پتانسیل تحریک کنندگی رشد میکروبی مورد آزمایش قرار دهیم. نتیجه مصرف یک ماده افزودنی توسط سلولهای میکروبی نه تنها افزایش مشکلات میکروبی است، بلکه به "خنثی سازی" (توسط شکست) خود مواد افزودنی منجر می‌شود. کرم افزوده شده به سوخته‌های دریایی به منظور افزایش خواص ضد خوردگی آن به عنوان یک سوپسترای عالی برای رشد سوبیه‌های قارچی مقاوم به کرم عمل می‌کند.

۵- آزمایش سوخت از نظر آلودگی میکروبی:

آزمایش برای تشخیص وجود میکروارگانیسم‌ها در سوخت شامل فیلتراسیون و متعاقب آن مشاهده میکروسکوپی و/یا کشت مستقیم سوخت یا نمونه‌های آب تخلیه شده و روشهای جدید از جمله روشهای ایمونولوژیک می‌باشد. در سال ۱۹۷۳، Bailey و May استفاده از کیت‌های موجود تجاری را برای تشخیص آلودگی در سوخت دیزل دریایی آزمایش کردند و فهمیدند که اغلب نتایج بدست آمده با روش استاندارد شمارش پلیت مطابقت داشت. آنها تعداد $50 <$ تا 10^3 باکتری در هر میلی‌لیتر سوخت را شناسایی کردند. SRB تنها در فاز آبی شناسایی شد و شناسایی SRB مبحث قابل توجهی است چرا که نقش آن در خوردگی و تولید گاز سمی سولفید هیدروژن مهم است. Hill و Hill اشاره کردند که تعداد قابل انتظار میکروارگانیسم در هر میلی‌لیتر از آب ته مخزن در سوخته‌های با آلودگی کم 10^5 باکتری و $10^4 - 10^3$ مخمر/قارچ و در سوخته‌های شدیداً آلوده $10^8 - 10^6$ باکتری و $10^6 - 10^4$ مخمر/قارچ می‌باشد. گرچه اعتبار استفاده از شمارش سلولهای زنده به عنوان شاخص آلودگی توسط قارچهای رشته‌ای در هر شرایط همواره مورد بحث بوده است. بسیار مهم است که آب تخلیه شده از مخزن هم تست شود نه فقط سوخت، چرا که اغلب آلوده کننده‌ها در فاز آبی یا در سطح مشترک آب/سوخت حضور خواهند داشت. یک سوخت تمیز واجد کمتر از 10^5 ارگانیسم در هر لیتر می‌باشد در حالی که آب مربوط به آن ممکن است $1000 >$ یا $4000 >$ ارگانیسم در هر میلی‌لیتر داشته باشد.

۶- استانداردها:

هیچ استاندارد قابل قبولی برای آلودگی میکروبی سوخت منتشر نشده است. استانداردهایی با استفاده از تصاویر بر اساس شمارش بصری مستقیم فیلامنتهای قارچی ارائه شده‌اند که رضایتبخش نمی‌باشند و تکنیکهای وقت گیری هستند. Hartman و همکاران طبقه بندی از عوامل ریسک برای سوخت جت ذخیره شده را به صورت کم، متوسط، و بالا، بر اساس تعداد کپکها، تعداد باکتریهای هوازی، تعداد Eh.PH.COD.SRB، میزان غلظت سولفات و سولفید پیشنهاد کرده است. این پارامترها که در ته مخزن و لایه‌های بالایی اندازه‌گیری می‌شوند به همراه روشهای اندازه‌گیری شیمیایی اندکس جدا شدن آب (Water Separation index)، تحمل آب، گوگرد عنصری، سولفید هیدروژن، نرخ خوردگی مس و نقره و اسیدیته کل برای ایجاد یک سیستم خبره کامپیوتری برای تشخیص و کنترل سیستم‌های ذخیره‌سازی سوخت تکمیل می‌شوند.

۷- کنترل آلودگی میکروبی:

همانند اغلب موارد زوال بیولوژیکی مواد، بهترین راه کنترلی، پیشگیری است. تمیز سازی و زهکشی (drainage) آب این اطمینان را حاصل می کند که مشکل حداقل خواهد بود. به هر حال، اجرای این استانداردها در عمل مشکل هستند و گهگاه لازم است که سیستم های ذخیره سازی جهت تمیز سازی کلی (زدودن بیوفیلم ها) خالی شوند و بیوسیدها استفاده شوند. خوردگی ایجاد شده در مخازن ممکن است توسط پوشش کردن سطح داخلی مخزن و یا توسط حفاظت کاتدی (جریان القایی یا استفاده از آندهای فداشونده) جلوگیری شود. گرچه این راهکارها گران تمام می شوند اما بطور فزاینده ای در حال بکارگیری می باشند، چرا که ممکن است هزینه آن کمتر از جریمه هایی باشد که دولت ها علیه شرکت هایی که محیط را توسط نشت سوخت آلوده می کنند وضع کرده اند. به هر حال، چنین مقرراتی عواقب دیگر آلودگی را کاهش نمی دهند. بدون زهکشی و تخلیه مناسب، لعاب های میکروبی و لجن ها احتمالاً در سیستم سوخت تشکیل می شوند و از اینرو توسل به بیوسیدها ممکن است احتیاج باشد.

همانطور که ذکر شد، مشکلات میکروبیولوژیکی می تواند بسیار متعدد باشند که احتیاج به راهکارهای اختصاصی خودشان را دارند، اما اصول اساسی معین و مشترکی برای پیشگیری و رفع آلودگی میکروبی وجود دارند که ذکر می شوند:

۷-۱- پیشگیری فیزیکی:

پیشگیری فیزیکی عبارتست از جلوگیری از ورود میکروبها، بویژه آنهایی که هم اکنون با رشد در محیط مناسب سازگار شده اند. از پخش شدن آلودگی توسط عبور دادن مایعات تمیز از لوله ها و فیلترهای آلوده و ورود آنها به مخزن های کثیف باید جلوگیری نمود. همچنین حضور آب و شرایطی که رشد میکروبی را تشویق می کند نیز باید محدود شود.

۷-۲- آلودگی زدایی فیزیکی:

ته نشین سازی، گرما، فیلتراسیون و روش های سانتریفوژی همگی به رفع آلودگی کمک می کنند. انتخاب فرآیند به نوع وسیله و محدودیت زمانی بستگی دارد.

۷-۳- پیشگیری شیمیایی:

محافظت علیه آلودگی جزئی با استفاده از مواد نگهدارنده سوخت و روانکار جهت پیشگیری، ترجیحاً نسبت به درمان، در طی مدت زمان طولانی و با عمل آهسته اما مداوم انجام می شود.

۷-۴- آلودگی زدایی شیمیایی:

طیف وسیعی از زیست کش (بیوسید) های شیمیایی برای این منظور در دسترس هستند. کشتن میکروبها توسط راه های شیمیایی مشکل نیست، اما ثابت شده است که تلاش برای انجام آن پر خطر است، مگر اینکه سازگار بودن بیوسید از نظر شیمیایی با سوخت مصرفی به اثبات رسیده باشد و ویژگی های فیزیکی آنها را تحت تاثیر قرار نداده و اثرات نامطلوب دیگری نداشته باشد. در حالی که استفاده از بیوسیدهای اشتباه می تواند اثرات جانبی زیادی ایجاد کند، حتی بیوسید صحیح باید به دقت و در غلظت مناسب استفاده شود. استفاده در دوز کمتر مشکل را علاج نخواهد کرد و دوز بالا می تواند به خاطر ایجاد بخارات سمی، خطری برای سلامتی خدمه باشد. این ترکیبات همگی سمی هستند و باید تنها با رعایت ملاحظات بهداشتی، ایمنی و زیست محیطی استفاده شوند.

موثرترین بیوسید معمولاً مخلوطی از مواد سمی است که طیف وسیعی از گونه های میکروبیولوژیکی را می کشد و به طور موثر در ته مخازن به علاوه در سطح مشترک آب عمل می کند. همچنین حاوی عوامل پخش کننده یا حل کننده لجن می باشد که بتدریج انباشتگی های رسوبی را می زداید. بیوسیدهای مناسب تقریباً در تمام موارد محلول در آب می باشند.

معیارهای حاکم بر انتخاب فرمولاسیون بیوسید موثر می تواند به صورت زیر خلاصه شود:

۱- اثرات نامطلوب بر روی خواص سوخت یا روانکار نداشته باشد.

- ۲- اثرات نامطلوب روی موتور، پمپها و ... نداشته باشد.
- ۳- علیه طیف وسیعی از میکروارگانیسمها موثر باشد.
- ۴- قابلیت نفوذ به لایه لعابی (Slime) میکروبی داشته باشد.
- ۵- سازگاری شیمیایی و فیزیکی با سوخت و روانکار و دیگر افزودنی‌ها (مثلاً بازدارنده‌های خوردگی) داشته باشد.
- ۶- ضریب تفکیک (Partition Coefficient) مناسب داشته باشد. (آب-سوخت)
- ۷- ایمن بوده و استفاده و ذخیره سازی آن آسان باشد.
- ۸- قابل تجزیه بیولوژیک باشد.
- ۹- مقرون به صرفه باشد.

در سیستم سوخت هواپیمایی، نگهداری روزمره (روتین)، مراقبت شدید و تیمار با بیوسیدهای مجاز در صورت نیاز (EGME [در هواپیماهای نظامی]، ارگانوبورینان یا ایزوتیازولون [که توسط برخی سازندگان مجاز شناخته شده])، احتمال رشد میکروبی خطرناک را به حداقل می‌رساند. دیگر سوختها معمولاً اینگونه خوب محافظت نمی‌شوند اما طیف وسیعتری از بیوسیدها در دسترس هستند. اینها شامل فرمولاسیونی هستند که تمایل دارند تا به فاز سوخت و دیگر ترکیبات محلول در آب مجزا شوند. معمولاً توصیه می‌شود که بیوسید در نفت حل شود و سپس به فاز آبی به میزان کافی وارد شود تا تمام سیستم را محافظت کند نه تنها مخزن ذخیره را، گرچه برای تیمار مخازن به تنهایی، بیوسیدهای آب ته مخزن (Water-bottom biocides) ممکن است استفاده شوند و از آنجا که حجم قابل تیمار کمتر می‌باشد، این یک گزینه ارزانتر می‌باشد. برخی از بیوسیدهای موجود در جدول ۴ نشان داده شده‌اند.

جدول ۴- مثالهایی از بیوسیدهای محلول در آب و نفت

Oil soluble	Water soluble
Isothiazolone formulations	Morpholines
Organoborinanes	Oxazolidines
Pyridinethione	Halides
Hexahydrotriazines	Aldehydes
Imidazolcarbamate	Phenolics

خواص لازم غالباً توسط فرمولاسیون بیوسید بدست می‌آید، ترجیحاً نسبت به خواص ذاتی ترکیب به خودی خود. Bento و Gaylarde، ۴ بیوسید را از نظر فعالیتشان در سیستمهای نفت/آب علیه باکتریها و قارچهای جداشده از سوخت دیزل آزمایش کردند و مشخص شد که مخلوطی از ایزوتیازولون و ترکیبات چهارتایی آمونیوم موثرترین آنها است. هزینه کاربرد بیوسید، حدود ۳ دلار به ازای هر تن سوخت برای آلودگی زدایی و ۰/۸ - ۰/۴ دلار جهت کاربرد پیشگیرانه مستمر می‌باشد. یک فاکتور ناشناخته، پتانسیل گسترش مقاومت میکروارگانیسمهای آلوده کننده است که استفاده بیش از یک نوع بیوسید را الزامی می‌کند.

۸- ملاحظات زیست محیطی:

بیوسیدها با توجه به طبیعت خود، سمی هستند و ممکن است خطری برای افرادی که با سوخت سروکار دارند، برای پرسنلی که در جاهایی کار می‌کنند که تبخیر سوخت ممکن است اتفاق بیفتد باشد. بنابراین استفاده از آنها باید محدود باشد و دور ریزی آنها پایش شود.

۹- نتیجه گیری:

میکروارگانسیمها قادر به رشد بر روی سوخت ها و استفاده از هیدروکربن های سوخت به عنوان منابع کربنی می باشند و این امر می تواند منجر به بروز خساراتی از جمله کاهش کیفیت سوخت، 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، تولید جامدات معلق در سوخت، تخریب هیدروکربنها، مسدود کردن و کاهش عمر فیلترها، فولینگ انژکتور، افزایش میزان گوگرد سوخت، کاهش عمر قطعات موتور، نفوذ به لایه محافظ مخازن و گاهی اوقات معضلات سلامتی شود. لذا کنترل و پیشگیری از آلودگی میکروبی منابع سوخت، نقش موثری در کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات خواهد داشت.

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؛ "مکانیسمهای خوردگی بیولوژیک" - فصلنامه زنگ(نشریه انجمن خوردگی ایران)-۱۳۸۳
- [۲] طاهری، رمضانعلی؛ "بررسی عوامل مهم موثر در خوردگی بیولوژیک فولاد توسط باکتریهای احیاء کننده سولفات" - پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ۱۳۸۰
- [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] 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
- [۵] جواهردشتی، رضا؛ "خوردگی میکروبی: دشمنی که نباید دستکم گرفت" - گسترش صنعت سنگین، سال هفتم، شماره ۳۲۰، ۱۳۷۵
- [6] 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
- [7] R. A. Stuart; "MICROBIAL ATTACK ON SHIPS AND THEIR EQUIPMENT", Lloyd's Register Technical Association, Paper No. 4 Session 1994-95
- [8] 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
- [9] Woodyard D , "Microbial Contamination of Fuels and Lubricants", in:Pounder's Marine Diesel Engines, Seventh edition, 1998
- [10] Videla,H.A, "Manual of biocorrosion", Lewis Publishers, 1996
- [11] Silverman,D.C., and Puyear,R.B,. "Effects of Environmental Variables on Aqueous Corrosion". In: Metals handbook, Vol.13 (ASM Handbook) – American Society for Metals, 1994
- [12] Hamilton, W.A. 1998, "Sulfate reducing bacteria: Physiology determines their environmental impact " . Geomicrobiology, 15, 19-28
- [13] 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.

- [14] Javaherdashti,R., Singh Raman,R.K. “Microbiologically-Influenced Corrosion of stainless steels in marine environments with sulphur-reducing and iron bacteria: an overview”, proceedings of Engineering Materials, Australia, Melbourne, September 23-26,2001.
- [15] “Enhanced degradation of Military Material”, www.sunshine-project.com
- [16] Javaherdashti,R. “A review of some characteristics of MIC caused by sulfate-reducing bacteria: past, present and future”, Anti-corrosion Methods and Materials,Vol.46,No.3, 1999.