# مروری بر رسوبات زیستی تهدیدکننده‌ی بدنه‌ی شناورها و سازه‌های دریایی

**علیرضا حبیبی[1]، علیرضا کاظمی درسنکی[2]، مجتبی نوروزی[3]**

[1]دانشجوی دکتری زیست‌شناسی سلولی مولکولی، دانشکده علوم، دانشگاه دریایی امام خامنه‌ای(مدظله‌العالی)، رشت-زیباکنار، ایران؛
alirh100@gmail.com

[2]کارشناسی ارشد میکروبیولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه دریایی امام خامنه‌ای(مدظله‌العالی)، رشت-زیباکنار، ایران

[3]کارشناسی ارشد ژنتیک، دانشکده علوم، دانشگاه دریایی امام خامنه‌ای(مدظله‌العالی)، رشت-زیباکنار، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۸)

**چکیده:**

رسوبات و تخریب زیستی در کشتی‌های بزرگ و صنایع دریایی به دلیل مشکلات اقتصادی وارد بر کشورها و از طرفی مبارزه با عوامل ایجادکننده‌ی آن‌ها، تبعات زیست‌محیطی فراوانی بر گستره‌ی آبی کره زمین بر جای گذاشته است. با توجه به افزایش روزافزون صنایع غوطه‌ور در دریا و نیز صنعت حمل و نقل دریایی، خوردگی بیولوژیکی و راه‌های مبارزه با آنها، با حفظ اِکوسیستم آبی به نحو چشم‌گیری در کشورهای پیشرفته مورد توجه و نظر دانشمندان قرارگرفته است. نظر به تبعات زیست‌محیطی استفاده از روش‌های مبارزه‌ی شیمیایی، دانشمندان هر ساله تلاش می‌کنند با توجه به شرایط اِکوسیستمی آب در مناطق مختلف زمین، از روش‌های مبارزه‌ی بیولوژیکی به جای روش‌های شیمیایی استفاده نمایند. در این مقاله، با بررسی علل ایجاد رسوبات زیستی، عوامل ایجادکننده و تبعات اقتصادی ناشی از آن، راهکارهای مقابله با این پدیده‌ی زیستی، با تأکید بر روش‌های مبارزه‌ی بیولوژیکی مورد استفاده در کشورهای پیشرفته، ارائه شده است.

**واژه‌های کلیدی:**

رسوبات زیستی، بیوفیلم، بدنه‌ی شناورها و سازه‌های دریایی، مبارزه بیولوژیک.

# A review in the biofouling threatening ships' hulls and offshore structures

**Alireza Habibi[1], Reza kazemi darsanaki[2], Mojtaba norouzi[3]**

[1]PhD Candidate, Faculty of Sciences, Imam Khamenei University, Rasht-Zibakenar, Iran; Alirh110@gmail.com.
MSc microbiology, Faculty of Sciences, Imam Khamenei University, Rasht-Zibakenar, Iran; Alirh110@gmail.com.
MSc genetic, Faculty of Sciences, Imam Khamenei University, Rasht-Zibakenar, Iran; Alirh110@gmail.com.

(Submitted: 2016/Aug/4; Accepted: 2016/Aug/29)

Abstract:

Biofouling and Biodeterioration has created many environmental consequences on the blue expanse on Earth; because of the economic problems of the country and also against of their causes. Due to the daily increasing industries immersed in the sea and the maritime transportation industry; biological corrosion and ways to combat it, by maintaining of aquatic ecosystem, is taken into consideration of the scientists in developing countries. In view of the environmental consequences of using chemical control methods, each year scientists try to use of biological control methods rather than chemical methods due to the water ecosystem conditions in different regions of the earth. In this study was tried by analyzing the causes of biofouling, causes and economic consequences arising from it, ways to deal with this biological phenomenon, be considered with emphasis on biological control methods which has already been used in developed countries.

Keywords:

Biofouling, Biofilms, Ships' Hulls and Offshore Structures, Biological Control

## ۱- مقدمه

در یک چشم‌انداز فضایی بهتر است سیاره‌ای که در آن زندگی می‌کنیم یک اقیانوس نامیده شود تا زمین؛ چرا که بیش از ۷۰٪ آن پوشیده از آب است. زندگی در اقیانوس‌ها حدود ۳/۵ میلیارد سال قبل آغاز گردید و در این آغاز از حیات، دو سوّم موجودات کره زمین، فقط میکروب‌ها بودند. توسعه و حفظ اشکال دیگر حیات در تمام زمان‌ها به میکروب‌ها گره خورده است[۱]. با توجه به گستره آبی در کره زمین و تغییرات شرایط محیطی مانند درجه‌ی حرارت، شوری، غلظت مواد غذایی، فشار اسمزی، pH و دیگر عوامل فیزیکی و شیمیایی آب، میکروارگانیسم‌های موجود در دریا برای زنده ماندن، خود را به روش‌های مختلف با محیط اطراف سازگار می‌کنند؛ لذا، توزیع فراوانی میکروب‌ها در مناطق دریایی مختلف متفاوت است[۲، ۳]. مهم‌ترین استراتژی باکتری‌های دریایی برای زنده ماندن عبارتند از: سنتز آنزیم‌های خاص در شرایط تغذیه‌ای محدود، تغییر روش‌های متابولیکی برای جلوگیری از سوخت‌وساز اضافی، هماهنگ نمودن سرعت رشد با تغییر شرایط آب [۳]، همزیستی با پروفاژهای دریایی برای سرکوب فعالیت‌های غیر ضروری [۴]، استفاده از پروتئین‌های خاص مانند Proteorhodopsins که سبب تغییر مرفولوژیک باکتری‌های دریایی در شرایط محدود منابع غذایی در محیط‌هایی مانند اقیانوس‌ها می‌شوند[۵]، تولید نوعی قند به نام exopolysaccharide نموده که سبب چسبیدن باکتری به سطوح جامد می‌شوند و نه تنها به عنوان یک استراتژی زنده ماندن در باکتری‌های دریایی تلقی می‌شود، بلکه سبب رشد باکتری نیز می‌شود. میکروب‌های پلانکتونیک (شناور در محیط‌های آبی) که می‌توانند از یک گونه یا اجتماعی از گونه‌های مختلف باشند، با استفاده از این پلیمر به سطوح جامد می‌چسبند تا بتوانند زنده مانده، جذب مواد غذایی نموده و رشد نمایند. به این اجتماع میکروبی بیوفیلم می‌گویند[۶]. برخی از دانشمندان به دلیل ویژگی‌های ساختاری و ارتباطی میکروب‌های موجود در بیوفیلم و نیز با دنیای خارج از این اجتماع سلولی، اصطلاح شهر میکروبی را برای بیوفیلم به‌کار برده‌اند. ۹۹-۹۵ درصد میکروب‌های شناور در محیط‌های مایع، تشکیل بیوفیلم می‌دهند[۷]. اگرچه تشکیل بیوفیلم باکتریایی مستلزم مصرف انرژی بسیار بالایی (۷۰٪) برای میکروارگانیسم است، اما سود حاصل از تشکیل آن برای این موجودات زنده بسیار بالاتر از مصرف این انرژی است؛ چرا که این فرآیند منجر به زنده ماندن و رشد آنها می‌شود. همچنین، اجتماع میکروبی را در برابر نوسانات دمایی محیط اطراف، شوری آب و شکارچیان احتمالی محافظت می‌کند[۶]. تشکیل بیوفیلم در دریا به قدری اهمیت دارد که تمام سطوح غوطه‌ور به سرعت تحت تأثیر آن قرار می‌گیرند. این فرآیند تحت عنوان رسوبات زیستی[۱] نامیده می‌شوند و تبعات اقتصادی بسیار بالایی بر محیط زیست دریا، سازه‌های دریایی و شناورهای بزرگ برجای می‌گزارند [۸]. در این مقاله، تشکیل رسوب زیستی و تبعات منفی ناشی از آن در شناور و سازه‌های دریایی مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت راهکارهای علمی حاصل از تحقیقات دانشمندان در این حوزه مورد ارزیابی و پیشنهاد قرار گرفته است.

## ۲- روند و عوامل تشکیل‌دهنده‌ی رسوبات زیستی (بیوفولینگ)

بیوفولینگ یک پدیده‌ی طبیعی و جالب است که توسط موجودات زنده میکروسکوپی و ماکروسکوپی بر سطوح مختلف ظاهر می‌شود[۹]. در بیوفولینگ تشکیل لایه‌های رسوبی ناخواسته حاصل از رشد باکتری‌های تشکیل‌دهنده‌ی بیوفیلم، در سطوح انجام می‌گیرد. در واقع با تشکیل بیوفولینگ، بیوفیلم باکتریایی توسعه می‌یابد. این پدیده در موارد متعددی مانند کلونیزاسیون میکروب‌ها (تشکیل اجتماع میکروبی) در بدنه‌ی کشتی‌ها، خطوط لوله و مخازن و سازه‌های غوطه‌ور در آب اتفاق می‌افتد. مراحل زیر، روند تشکیل بیوفولینگ را نشان می‌دهد:

۱. **فولینگ اولیه و معدنی:** در این حالت مواد غیر آلی (معدنی) بر روی سطوح رسوب می‌کنند.

۲. **فولینگ اُرگانیک:** در این مرحله رسوب مواد آلی مانند ترکیبات روغنی، پروتئینی و فضولات انسانی و ... بر روی سطوح اتفاق می‌افتد.

[۱] Biofouling

**۳. فولینگ ذرات:** در این مرحله رسوب ذراتی مانند سیلیکا[۲]، خاک رس، زباله‌های انسانی و دیگر ذرات موجود در محیط بر روی سطوح اتفاق می‌افتد.

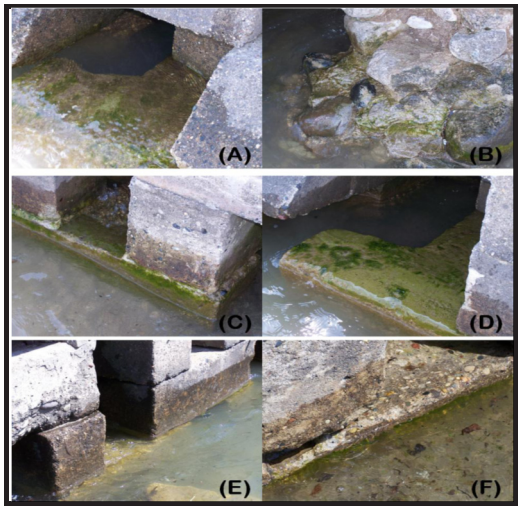
**۴. بیوفولینگ:** در این مرحله میکروأرگانیسم‌ها به سطوح فوق چسبیده و بیوفیلم توسعه پیدا می‌کند[۱۰].

علت ۴۵٪ غشاهای رسوبی سازه‌های دریایی، بیوفولینگ ناشی از موجودات زنده است[۱۱]. به طور سنتی تجزیه‌ی زیستی[۳] سازه‌های دریایی در اثر رسوب انواع باکتری‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌های تک‌سلولی (دیاتومه‌ها) و گلسنگ‌ها انجام می‌گیرد[۱۲]. گزارشات اخیر باکتری‌ها و جلبک‌ها را دو عامل اصلی بیوفولینگ ذکر کرده‌اند؛ اما کدام عامل تأثیر بیشتری بر ایجاد بیوفولینگ می‌گذارد را به تغییرات فصلی و جغرافیایی منطقه مرتبط دانسته‌اند. تغییرات فنوتیپی در باکتری‌ها مانند تبدیل از شکل پلانکتونیک به شکل بیوفیلم و برعکس منجر به متراکم شدن سلول باکتری می‌شود که به این حالت quorum sensing می‌گویند. QS طیف وسیعی از فرآیندها را کنترل می‌کند که در نهایت منجر به مقاومت باکتری در برابر تغییرات شدید محیطی می‌شود[۱۳] که نتیجه‌ی آن ایجاد خوردگی در سازه‌های دریایی و کشتی‌های شناور می‌باشد. دیاتومه‌ها نیز با تشکیل سطوح مصنوعی در اعماق دریا به شکل‌گیری بیوفیلم کمک می‌کنند. این جلبک‌ها با وجود فواید بالا در طبیعت مانند تثبیت کربن، چرخه‌ی مواد غذایی، تثبیت رسوبات و ماده‌ی اولیه‌ی بسیاری از تولیدات طبیعی، با ترشح مواد پلیمریک خارج سلولی در اعماق دریا، به سطوح غوطه‌ور می‌چسبند. قدرت این چسبندگی به بدنه‌ی کشتی‌ها به قدری است که با وجود سرعت حرکت بالا نیز، از آنها جدا نمی‌شوند. این پلیمر چسبنده به فعال‌تر شدن بیوفیلم کمک نموده، سبب توسعه آن می‌شود[۱۴].

باکتری‌های احیاکننده‌ی سولفات و باکتری‌های تولیدکننده‌ی اسید (تخمیرکننده‌ها) مهم‌ترین باکتری‌هایی هستند که در محیط دریا بر سطح فلزات، آلیاژ و مواد ترکیبی[۴] رسوب می‌کنند و تشکیل بیوفیلم می‌دهند[۱]. همچنین، باکتری‌های احیاکننده‌ی آهن [۱۵]، باکتری‌های رشته‌ای [۱۶] و باکتری‌های اکسیدکننده‌ی آهن [۱۷] از دیگر علل میکروسکوپی تشکیل رسوب زیستی و خوردگی سازه‌ها، بیورآکتورها و بدنه‌ی کشتی‌های غوطه‌ور در دریاها و اقیانوس‌ها می‌باشند.

به جز محصولات تولیدی میکروأرگانیسم‌ها که نقش اصلی را در تشکیل رسوبات زیستی دارند، موجودات ماکروسکوپی و ترکیبات شیمیایی رهاشده در محیط دریاها نیز می‌توانند این پدیده‌ی زیستی را تشدید نموده و فرآیند خوردگی شناورها و سازه‌های دریایی را تسریع نمایند. اتیلن دی‌آمین ترا استیک اسید، پلی‌ساکاریدهای دارای اسید اورونیک [۱۸]، فسفونات [۱۹] و ترکیبات رنگی [۲۰] که می‌توانند با پلیمرهای تولید شده توسط باکتری‌ها پیوندهای کووالانسی تشکیل دهند، در توسعه‌ی بیوفیلم [۱۱] و در نتیجه بیوفولینگ بسیار کمک‌کننده خواهند بود.

پیامدهای بیوفولینگ در صنایع و سازه‌های دریایی رسوب میکروبی بر روی بدنه‌ی کشتی‌ها و سازه‌های دریایی (فلزی یا بتنی) در سراسر گستره‌ی آبی توسط انواع مختلفی از میکروأرگانیسم‌ها ایجاد می‌شود (شکل‌های ۱ و ۲). تشکیل مقدار بسیار کم رسوب بر بدنه‌ی کشتی‌های بزرگ می‌تواند سبب کاهش کارایی آنها شود [۲۱]. این رسوبات می‌تواند زیان‌های بسیار زیادی را بر اسکله‌ها، تورهای ماهیگیری و پلتفرم‌های شناوری وارد نمایند[۲۲].




[۲] Silica
[۳] Biodeterioration
[۴] Composite

شکل (۱): رشد بیوفیلم در بدنه‌ی سازه‌ی بتنی در ساحل Atwater واقع در Milwaukee آمریکا در سال ۲۰۰۹ م[۱۲].

سرعت تشکیل بیوفیلم در صنایع دریایی به کمتر از ۴۸ ساعت می‌رسد. لذا رسوب ناشی از آن بر بدنه شناورها، به شدت مصرف سوخت را افزایش داده، کارایی و عملکرد آنها را بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. آثار تخریبی رسوبات زیستی بر بدنه کشتی‌ها و قایق‌ها بقدری است که سالانه ۸۰/۰۰۰ تن مواد رنگی برای مقابله با آنها در سراسر دنیا استفاده می‌شود. این مواد رنگی می‌توانند آسیب‌های زیست محیطی بسیار بالایی بر گستره آبی وارد نمایند. باکتری‌های احیاکننده سولفات به دلیل تولید حجم بالایی از $H_2S$ نقش اصلی را در خوردگی سازه‌های دریایی و بدنه شناورها دارند[۲۳].

شکل (۲): رسوبات و خوردگی زیستی بر بدنه‌ی کشتی‌ها[۲۴].

### ۳- کنترل بیوفولینگ

علیرغم تلاش‌های گسترده و تحقیقات دانشمندان در ابعاد مختلف، تاکنون استراتژی موفقی برای کنترل تشکیل رسوبات زیستی ارائه نشده است. اگرچه روش‌های پیشنهادی در سراسر دنیا توانسته است بخشی از این مشکلات شناورها و سازه‌های دریایی را مرتفع نماید. بر اساس بررسی‌های انجام گرفته تا سال ۲۰۱۰، ۱۲ روش بالقوه در کنترل بیوفولینگ پیشنهاد شده است. بر اساس این گزارش‌ها، بکارگیری ترکیبی از این روش‌ها، نتایج بهتر و مؤثرتری را رقم زده است. این ۱۲ روش دارای سه سنگ‌بنای اصلی می‌باشند: ۱. طراحی تجهیزات و روش اجرا، ۲. شرایط رشد توده‌ی زیستی[۵] و ۳. عوامل تمیزکننده به عنوان چارچوب کنترل بیوفولینگ.

سناریوهای سه‌گانه‌ی پیشنهادی فوق بر اساس سه روش سیستم‌های غشایی تحمّل مارپیچی رسوبات زیستی، غشاء مویرگی، و محدودیت فسفات بنا شده‌اند[۱۹]. ترکیباتی مانند پلی‌دی‌متیل سیلوکسان (PDMS) و آفت‌کش‌هایی از جنس نمک آمونیوم ۴ با قابلیت پاک‌کنندگی و رهاسازی رسوبات زیستی، به طور گسترده در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند[۲۵].

تا قبل از سال ۲۰۰۸ به منظور مقابله با تشکیل بیوفیلم و رسوبات ناشی از آن، از ترکیبات تری‌بوتیل قلع در پوشش صنایع فلزی دریایی استفاده می‌شد؛ اما شرکت بین‌المللی دریانوردی در این سال، به دلیل آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از این ماده، استفاده از آن را ممنوع اعلام کرد. از آن زمان تاکنون تلاش‌های زیادی انجام شده است تا موادی تولید شوند که هم سازگار با شرایط زیست‌محیطی دریا باشند و هم بتوانند از رسوبات زیستی جلوگیری کنند. در این راستا، هم‌اکنون پوششی به نام Nonbiocidal تولید شده است که آثار کشندگی بر روی موجودات زیستی دریایی را ندارند. در سال ۲۰۰۹ از اُکسید مس در رنگ‌های کوپولیمر استفاده گردید. این ماده به عنوان یک ترکیب ضدّ رسوبات زیستی، تاکنون ۹۵٪ از بازارهای جهانی را به خود اختصاص داده است. امروزه، استفاده از فرایند سل-ژل در بیشتر سازه‌های دریایی توصیه می‌گردد. سیستم سل-ژل با ایجاد یک لایه‌ی رسوبی بسیار نازک می‌تواند از چسبیدن میکروب‌ها و ایجاد بیوفولینگ جلوگیری کند. فرمولاسیون سل-ژل به راحتی به تمام انواع سطوح، مانند فولاد، پشم شیشه، آلومینیوم و چوب متصل می‌شود. این سیستم علاوه بر اینکه از بیوفولینگ جلوگیری می‌کند، ویژگی‌های هیدرودینامیکی قایق‌ها و بدنه‌ی کشتی‌ها را افزایش می‌دهد. هم‌اکنون، دانشمندان از این سیستم با کاربردهای متنوع مانند پیشگیری از بیوفولینگ و خوردگی در صنایع دریایی استفاده می‌کنند[۲۳]. A. Franks و همکاران در گزارش تحقیقی خود توانسته‌اند از ۱۰ گونه‌ی باکتریایی جنس Pseudoalteromonas ترکیبی زیستی جدا کنند که این ترکیب از اجتماع و رسوب انواع موجودات زنده شامل باکتری‌ها، لارو بی‌مهرگان، اسپور جلبک‌ها و قارچ‌های مختلف بر سطح سازه‌های دریایی ممانعت می‌کند[۲۶].

[۵] Biomass

استفاده از نوعی شقایق دریایی به نام Anthothoe albocincta به عنوان یک عامل کنترل‌کننده‌ی زیستی رسوبات زیستی، نظر دانشمندان را به خود جلب نموده است. توده‌ی رسوبی زیستی نسبت به شقایق دریایی واکنش منفی از خود نشان می‌دهد. این موجود دریایی به بی‌مهرگانی که به تولید و افزایش رسوبات زیستی کمک می‌نمایند، حمله نموده، آنها را از بین می‌برند. لذا، با فراهم نمودن شرایط زیستی برای شقایق دریایی در کنار سازه‌های دریایی می‌توان از بیوفولینگ پیشگیری نمود. تحقیقات نشان داده است که این موجودات سه برابر بیشتر از مواد شیمیایی که برای مبارزه با لارو بی‌مهرگان مورد استفاده قرار می‌گیرند، کارایی دارند[۲۷].

پوشش‌های اسفنجی به کمک ترکیبات زنده دارای سیلیس، با مهار پروسه تشکیل بیوفیلم، می‌توانند از تشکیل رسوبات زیستی ممانعت کنند. بدین صورت که میکروارگانیسم‌های موجود در بیوفیلم هنگام جذب مستقیم مواد غذایی، سموم ناشی از متابولیت‌های ثانوی ترکیبات زنده، پوشش‌های اسفنجی را جذب نموده، از بین می‌روند. اسفنج‌هایی شناخته شده‌اند که می‌توانند از تشکیل شبکه quorum sensing جلوگیری کنند. متابولیت‌های ثانویه اسفنج‌ها به طور انتخابی بر روی اجتماع دیاتومه‌هایی که تاکنون شناخته نشده‌اند تأثیرگذار بوده‌اند. این متابولیت‌های ثانویه حتی می‌توانند بر روی حیواناتی که در تشکیل رسوبات زیستی نقش دارند نیز مؤثر بوده و از تشکیل رسوبات زیستی جلوگیری کنند[۲۸]. کالبد بعضی از صدف‌ها، با وجود زندگی طولانی در دریا، هیچ‌گونه رسوبی را نمی‌پذیرند. طی تجربه‌ای که توسط Bai X و همکاران در سال ۲۰۱۳ بر روی سه نوع صدف خاص انجام شد، نشان داد که می‌توان از صدف Dosinia japonica به عنوان مدلی برای مبارزه با رسوبات زیستی استفاده نمود[۲۲].

## ۴- نتیجه‌گیری

تشکیل رسوبات زیستی در زمان بسیار کوتاه می‌تواند تبعات جبران‌ناپذیری مانند مصرف بالای سوخت، کاهش سرعت، کاهش کارایی و در نهایت خوردگی بدنه در سازه‌های دریایی یا شناورهای مختلف را به همراه داشته باشد. مبارزه‌ی شیمیایی با این رسوبات منجر به آلودگی‌های زیست‌محیطی در گستره دریاها شده است. با توجه به حرکت کشورهای پیشرفته به سمت مبارزه بیولوژیک با رسوبات زیستی و حفظ اکولوژی طبیعی محیط دریا و از طرفی حفظ صنایع و شناورهای دریایی، همراهی دانشمندان و محققین حوزه‌ی زیست دریا و میکروبیولوژیست‌های کشور و نیز مسؤلان صنایع دریایی و نظامی ایران به تحقیق گسترده جهت کشف روش‌های بیولوژیک نوین در حوزه‌ی آبی و سواحل کشور و استفاده از این روش‌ها برای مبارزه با تشکیل رسوبات زیستی، ضروری به نظر می‌رسد.

## ۵- منابع


[1] Munn, C., "Marine microbiology," Garland Science, 2011.

[2] Das, S., Lyla, P., and Khan, S. A., "Marine microbial diversity and ecology: importance and future perspectives," Current Science, Vol. 90, No. 10, p.p. 1325-1335, 2006.

[3] Colwell, R. R., "Viable but nonculturable bacteria: a survival strategy," Journal of Infection and Chemotherapy, Vol. 6, No. 2, p.p. 121-125, 2000.

[4] Paul, J. H., "Prophases in marine bacteria: dangerous molecular time bombs or the key to survival in the seas?," The ISME Journal, Vol. 2, No. 6, p.p. 579-589, 2008.

[5] Gómez-Consarnau, L., Akram, N., Lindell, K., Pedersen, A., Neurze, R., Milton, D. L., et al., "Proteorhodopsin phototrophy promotes survival of marine bacteria during starvation,' PLoS biology, Vol. 8, No. 4, p.p. 739, 2010.

[6] Poli, A., Anzelmo, G., and Nicolaus, B., "Bacterial exopolysaccharides from extreme marine habitats: production, characterization and biological activities," Marine drugs," Vol. 8, No. 6, p.p. 1779-1802, 2010.

[7] Nikolaev, Y. A., and Plakunov, V., "Biofilm City of microbes or an analogue of multicellular organisms?," Microbiology, Vol. 76, No. 2, p.p. 125-138, 2007.

[8] Armstrong, E., Boyd, K. G., and Burgess, J. G. Prevention of marine biofouling using natural compounds from marine organisms," Biotechnology annual review, Vol. 6, No. 221-241, 2000.

[9] Gu, J-D., "Biofouling and prevention: corrosion, biodeterioration and biodegradation of materials," Handbook of Environmental Degradation of Materials New York: William Andrew Publishing, p.p. 179-206, 2005.

model for biofouling research," Marine and industrial biofouling: Springer, p.p. 203-217, 2009.
[22] Bai, X., Xie, G., Fan, H., Peng, Z., Yuan, C., and Yan, X., "Study on biomimetic preparation of shell surface microstructure for ship antifouling," Wear, Vol. 306, No. 1, p.p. 285-295, 2013.
[23] Detty, M. R., Ciriminna, R., Bright, F. V., and Pagliaro, M., "Environmentally benign sol–gel antifouling and foul-releasing coatings," Accounts of chemical research, Vol. 47, No. 2, p.p. 678-687, 2014.
[24] Demirel, Y. K., Khorasanchi, M., Turan, O., Incecik, A., "On the importance of antifouling coatings regarding ship resistance and powering," 3rd International Conference on Technologies, Operations, Logistics and Modelling for Low Carbon Shipping, 2013.
[25] Liu, Y., Leng, C., Chisholm, B., Stafslien, S., Majumdar, P., and Chen, Z., "Surface structures of PDMS incorporated with quaternary ammonium salts designed for antibiofouling and fouling release applications," Langmuir, Vol. 29, No. 9, p.p. 2897-2905, 2013.
[26] Holmström, C., Egan, S., Franks, A., McCloy, S., and Kjelleberg, S., "Antifouling activities expressed by marine surface associated Pseudoalteromonas species," FEMS microbiology ecology, Vol. 41, No. 1, p.p. 47-58, 2002.
[27] Atalah, J., Bennett, H., Hopkins, G. A., and Forrest, B. M., "Evaluation of the sea anemone Anthothoe albocincta as an augmentative biocontrol agent for biofouling on artificial structures," Biofouling, Vol. 29, No. 5, p.p. 559-571, 2013.
[28] üller, W. E., Wang, X., Proksch, P., Perry, C. C., Osinga, R., Gardères, J., et al. "Principles of biofouling protection in marine sponges: a model for the design of novel biomimetic and bio-inspired coatings in the marine environment?," Marine biotechnology, Vol. 15, No. 4, p.p. 375-398, 2013.
[10] Flemming H-C., "Biofouling in water systems–cases, causes and countermeasures," Applied microbiology and biotechnology, Vol. 59, No. 6, p.p. 629-640, 2002.
[11] Nguyen, T., Roddick F. A., and Fan, L., "Biofouling of water treatment membranes: a review of the underlying causes, monitoring techniques and control measures," Membranes, Vol. 2, No. 4, p.p. 804-840, 2012.
[12] Silva MR, Naik TR. Biodeterioration of Concrete Structures in Coastal Zone. Third internation conference on sustainable construction material and technology. www.claisse.info/proceedings.htm
[13] Salta, M., Wharton, J. A., Blache, Y., Stokes, K. R., and Briand, J. F., "Marine biofilms on artificial surfaces: structure and dynamics," Environmental microbiology, Vol. 15, No. 11, p.p. 2879-2893, 2013.
[14] Zargiel, K. A., and Swain, G. W., "Static vs dynamic settlement and adhesion of diatoms to ship hull coatings, Biofouling, Vol. 30, No. 1, p.p. 115-129, 2014.
[15] Herrera, L. K., and Videla, H. A., "Role of iron-reducing bacteria in corrosion and protection of carbon steel," International Biodeterioration & Biodegradation, Vol. 63, No. 7, p.p. 891-895, 2009.
[16] Meng, F., Zhang, H., Yang, F., Li, Y., Xiao, J., and Zhang, X., "Effect of filamentous bacteria on membrane fouling in submerged membrane bioreactor," Journal of Membrane Science, Vol. 272, No. 1, p.p. 161-168, 2006.
[17] Starosvetsky, D., Armon, R., Yahalom, J., and Starosvetsky, J., "Pitting corrosion of carbon steel caused by iron bacteria. International biodeterioration & biodegradation," Vol. 47, No. 2, p.p. 79-87, 2001.
[18] Okamura., D., Mori, Y., Hashimoto, T., and Hori, K., "Identification of biofoulant of membrane bioreactors in soluble microbial products, "Water research, Vol. 43, No. 17, p.p. 4356-4362, 2009.
[19] Vrouwenvelder, J., Kruithof, J., and Van Loosdrecht, M., "Integrated approach for biofouling control," Water science and technology," Vol. 62, No. 11, p.p. 2477, 2010.
[20] Dobretsov, S., Abed, R. M., and Voolstra, C. R., "The effect of surface colour on the formation of marine micro and macrofouling communities," Biofouling, Vol. 29, No. 6, p.p. 617-627, 2013.
[21] Nedved, B. T., and Hadfield, M. G., "Hydroides elegans (Annelida: Polychaeta): a