فصلنامه علوم محیطی، دوره پانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶

۱۲۷-۱۴۰

اثر سطح بستر بر جوامع چسبنده زیستی سواحل جنوب غربی دریای خزر

پریسا گلی‌نیا و علی نصرالهی*

گروه زیست شناسی و زیست فناوری دریا و آبزیان، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۳۱

گلی‌نیا، پریسا و ع. نصرالهی. ۱۳۹۶. اثر سطح بستر بر جوامع چسبنده زیستی سواحل جنوب غربی دریای خزر. فصلنامه علوم محیطی. ۱۵(۱):۱۴۰-۱۲۷.

سابقه و هدف: بیوفولینگ به چسبیدن و رشد موجودات زنده بر ساختارهای در معرض محیط‌های دریایی اطلاق می‌گردد. جوامع بیوفولینگ از نظر اکولوژیک با توجه به نقش‌شان در انتقال انرژی در زنجیره‌های غذایی و عملکرد اکوسیستم‌ها و ایجاد بسترهای چند بعدی به عنوان زیستگاه برای سایر موجودات اهمیت داشته، همچنین از نظر اقتصادی با نشست روی ساختارهای دریایی و بدنه کشتی‌ها و قایق‌ها موجب آسیب‌های اقتصادی می‌شود. با این وجود اطلاعات بسیار اندکی بر روی این جوامع در دریای خزر وجود دارد و در سواحل جنوبی دریای خزر مطالعه جامعی بر این جوامع انجام نشده است.

مواد و روش‌ها: در مطالعه حاضر تغییرات زمانی این جوامع در سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از پنل‌های PVC با ابعاد ۰/۳ ×۱۲×۱۲ سانتی‌متر در دو سطح رویی و زیرین، از خرداد ۱۳۹۳ تا خرداد ۱۳۹۴ در منطقه ویژه اقتصادی بندر آستارا، بررسی شد. پنل‌ها با ۵ تکرار توسط طناب در عمق ۱ متری به صورت افقی قرار داده و به مدت یک سال هر دوماه یکبار جمع‌آوری و با پنل‌های جدید جایگزین شدند. در هر نمونه برداری با دقت از پنل‌ها عکس‌برداری شد و سپس درصد پوشش موجودات بیوفولینگ با آنالیز عکس ها توسط نرم افزار CPCe بصورت مجزا برای هر سطح محاسبه شد. همچنین میزان زیتوده کل و نسبت ماده غیرآلی به آلی با استفاده از وزن خشک و وزن خاکستر محاسبه شد.

نتایج و بحث: در مجموع شش گروه از بیوفولینگ ها شامل کشتی چسب‌ها(Barnacles) ، خزه‌زیان(Bryozoans) ، جلبک‌ها(Algae) ، پرتاران(Polychaete) ، دوکفه‌ای‌ها (Mussels) و هیدروزئن‌ها (Hydrozoans) شناسایی شد. گونه غالب در این بررسی کشتی چسب *Amphibalanus improvises* است که در تمام طول سال روی پنل‌ها مشاهده شد. همچنین بریوزوئن های راسته کیلوستوم و تنوستوم دومین گروه فراوان بیوفولینگ را تشکیل دادند. این دو گروه در مجموع عامل اصلی تغییرات زمانی مشاهده شده در جوامع مورد مطالعه هستند. نتایج آزمون آنالیز واریانس نشان داد که دوره زمانی غرقاب سازی پنل ها و سطح بستر تاثیر معنی‌داری بر درصد پوشش، زیتوده کل و نسبت ماده غیرآلی به آلی در بیوفولینگ‌ها داشته است) ۰/۰۵ .($p<$به طور کلی درصد پوشش، زیتوده کل و نسبت ماده غیرآلی به آلی موجودات در سطح زیرین پنل‌ها بیش‌تر از سطح رویی آن‌ها بدست آمد. بیشترین زیتوده و نسبت ماده غیرآلی به آلی بیوفولینگ ها در تابستان مشاهده شد درحالیکه این میزان برای درصد پوشش در پاییز دیده شد. همچنین نتایج نشان داد از نظر ترکیب جمعیت، سطح رویی پنل‌ها بیشتر دارای گونه‌های اتوتروف نظیر جلبک‌ها است ولی سطح زیرین بیشتر شامل گونه‌های هتروتروف دارای ساختار کربنات

* Corresponding Author. *E-mail Address*: Nasrolahi@sbu.ac.ir

کلسیمی است. با گسترش اقتصادی و توسعه صنعت کشتی‌رانی و همچنین افزایش ساختارهای انسان ساز به محیط‌های آبی در دهه‌های اخیر و پیش بینی افزایش میزان فولینگ و هزینه های آن بر اثر گرمایش جهانی، نتایج این تحقیق و تحقیقات مشابه، کاربردهای مهمی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی برای مقابله با مشکلات فولینگ خواهد داشت. از طرف دیگر خطر تهاجم گونه های دریایی به محیط های آبی جدید با تغییرات اقلیمی نیز در حال افزایش است و بنابراین دریای خزر نیز از گونه های مهاجم ایمن نخواهد بود. در نتیجه در جهت پایش جوامع بیوفولینگ در این پهنه آبی، باید مطالعات بیشتر و در دوره های زمانی بلند مدت‌تر انجام شود.

واژه‌های کلیدی: جوامع بیوفولینگ- سطح بستر-دریای خزر- آستارا.

مقدمه

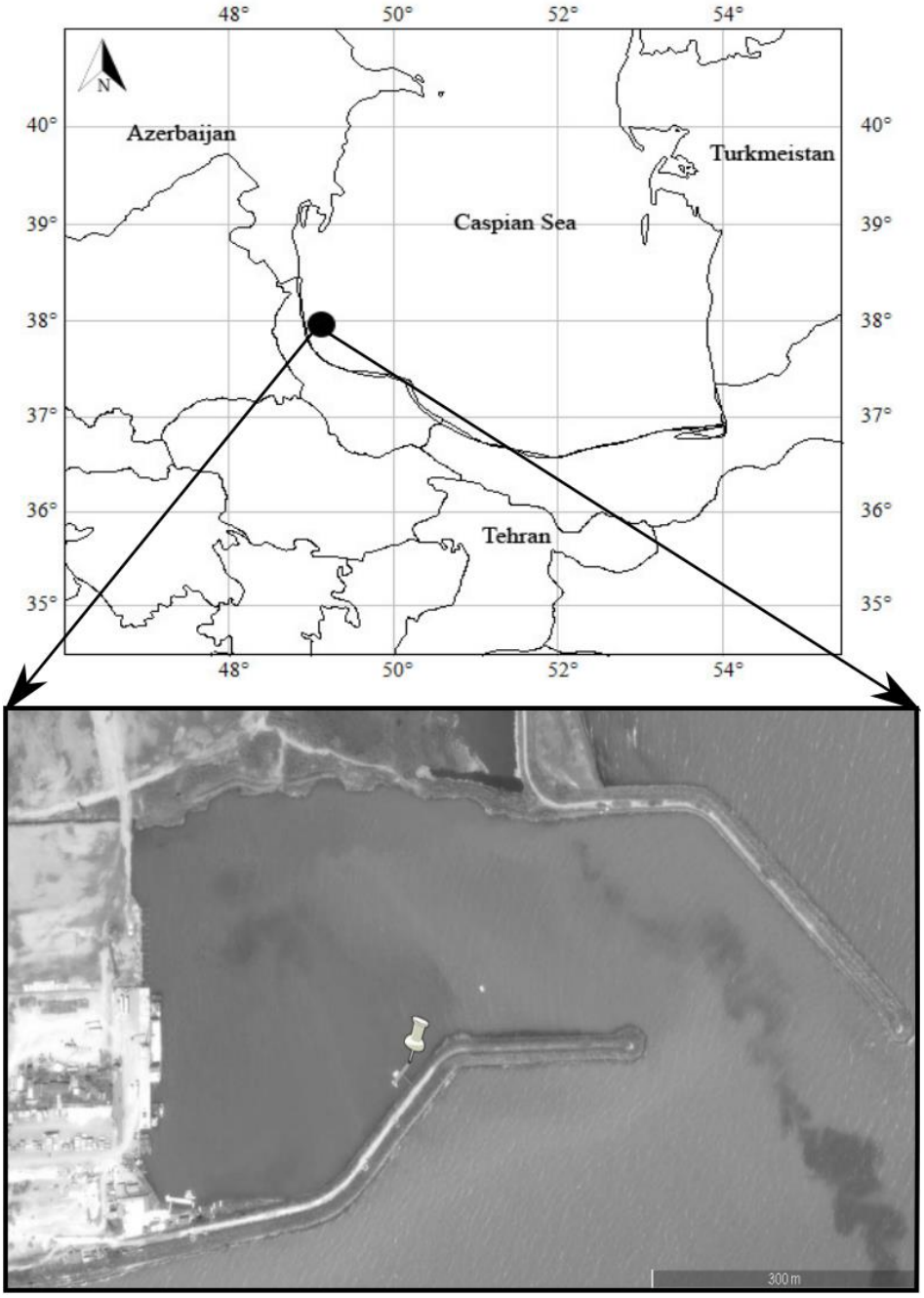
بیوفولینگ (چسبندگی زیستی) به تجمع و چسبیدن موجودات زنده ای اطلاق می گردد که بر روی سطوح مصنوعی یا طبیعی در معرض محیط‌های آبی مستقر می‌گردند. این سطوح شامل بسترهای طبیعی غیرزنده مانند سنگ، چوب و صخره‌های مرجانی، بسترهای مصنوعی مانند سازه‌های دریایی، بدنه کشتی‌ها، قایق‌ها، خط لوله‌ها و همچنین موجودات زنده است. از مهم‌ترین ویژگی‌های جوامع بیوفولینگ می‌توان به تغییرات مداوم طی گذر زمان، تغییر در ترکیب گونه‌ای و ساختار جمعیت اشاره کرد که این تغییرات می‌توانند تحت تاثیر عوامل زیستی و غیر زیستی باشند (Pati and Rao, 2015). عوامل زیستی شامل رقابت (Jackson, 1977)، نشست کنندگان اولیه (Dean and Hurd, 1980)، ، ذخیره لاروی (Minchinton and Scheibling, 1991) و عوامل غیر زیستی شامل شوری، دما، مدت زمان و فصل غرقاب‌سازی بستر، جهت و سطح بستر (Anderson and Underwood, 1994; Sutherland and karlson, 1977; Glasby, 2000; Lin and Shao, 2002) است. در بسترهای افقی، سطح رویی و سطح زیرین معمولا دارای تجمع گونه‌ها و تراکم متفاوت از بیوفولینگ‌ها هستند (Connell, 2000; Glasby, 1999) که این خود به عوامل مختلفی مانند واکنش به نور، میزان نشست ذرات معلق بر سطح بستر و میزان فضای در دسترس بستگی دارد. بررسی جوامع بیوفولینگ هم از نظر اقتصادی و هم از نظر اکولوژیک اهمیت دارد. از نظر اقتصادی، نشست این موجودات بر تجهیزات مختلف موجب ایجاد خساراتی می‌شود. تجمع این جانداران بر بدنه کشتی‌ها موجب ایجاد مقاومت اصطکاکی، کاهش سرعت، افزایش وزن و افزایش مصرف سوخت می‌شود. همچنین ظرفیت حمل و سرعت جریان خطوط لوله‌های آب در اثـر رشد جوامع بیوفولینگ کاهـش می‌یابد Azis *et al*., 2001; Yebra *et al*., *2004;* (Schultz *et al*., 2011). از آنجاکه این جوامع شامل گروه های مختلفی از اکثر بی مهرگان هستند، در انتقال انرژی در زنجیره های غذایی دریایی و همچنین ایجاد ساختارهای پیچیده بعنوان زیستگاه برای دیگر موجودات نقش مهمی دارند و بنابراین دارای جـایگاه اکولـوژیک مهـمی نیـز هـستند Pinnegar *et al*., 2000; (Krohling *et al*., 2006; Relini *et al*., 2002). همچنین از آنجایی که هر گونه نقش اکولوژیک مخصوص به خود را دارد (Maggiore and Keppel, 2007)، با شناخت تاکسونومیک گونه‌ها می‌توان به درک درستی از عملکرد این جوامع دست یافت. مطالعه این جوامع همچنین می‌تواند ابزار سودمندی برای بررسی اثرات زیست محیطی باشد (Pati *et al*., 2015). با توجه به اهمیت‌های ذکر شده، مطالعات فراوانی بر روی جوامع بیوفولینـگ در سراسر جهـان انجام شده است (Zhang *et al*., 2015; Pati *et al*., 2015; Sathessh and

Wesley, 2008; Stachowitsch *et al*., 2002; Rajagopal *et al*., 1997). با این حال، تاکنون مطالعه جامعی بر جوامع بیوفولینگ دریای خزر در سواحل جنوبی آن صورت نگرفته است. بنابراین در این مطالعه، تغییرات زمانی جوامع بیوفولینگ در دو سطح رویی و زیرین با استفاده از پنل‌های ثابت، در بندر آستارا در طول یک سال بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر در منطقه ویژه اقتصادی شهرستان آستارا (شکل ۱) (۳۸ درجه و ۲۵ دقیقه و ۲۰ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۵۲ دقیقه و ۷ ثانیه طول شرقی) از خرداد ۱۳۹۳ تا خرداد ۱۳۹۴انجام شد.



شکل۱- منطقه و ایستگاه مورد مطالعه در بندر آستارا در غرب سواحل ایرانی دریای خزر

Fig. 1. Study area and sampling station in Astara Port, western Iranian coast of Caspian Sea

در این مطالعه پنل های PVC با ابعاد ۱۲×۱۲ سانتی‌متر و با ضخامت ۳ میلی‌متر به صورت افقی در عمق یک متری آب قرار گرفتند. سپس پنل ها با ۵ تکرار بصورت هردوماه یکبار برداشته و با پنل‌های جدید جایگزین شدند. در هر نمونه برداری، به منظور حذف گل و لای از سطح، هر پنل به آهستگی شسته شد. سپس به منظور آنالیز تصویری بیوفولینگ ها، از دو سطح رویی و زیرین هر پنل به تفکیک عکس‌برداری شد.

عملیات آزمایشگاهی

پس از نمونه برداری، پنل‌ها در درون قاب‌های چوبی حاوی یخ قرار گرفته و به دانشکده علوم زیستی دانشگاه شهید بهشتی منتقل شد و تا انجام بررسی‌های بعدی، در فریزر در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد. در مراحل بعد، هر پنل با دقت توسط استریومیکروسکوپ مشاهده و بررسی شد. پس از تعیین تاکسون‌های موجود بر روی هر پنل، یک نمونه از هر تاکسون به صورت جداگانه به منظور شناسایی بیشتر در صورت نیاز احتمالی، در الکل ۷۰% و یا فرمالین ۴% نگهداری شد. برای محاسبه فراوانی گونه‌ها در سطح هر پنل از روش محاسبه درصد پوشش با استفاده از نرم‌افزار CPCe 4.1 استفاده شد (Kohler and Gill, 2006). در این روش هر تصویر به یک صفحه شبکه ای ۳× ۳ شامل ۹ سلول با ۱۱ نقطه تصادفی تقسیم می شود که در نهایت ۹۹ نقطه به دست می آید و درصد پوشش هر گونه به تفکیک محاسبه می‌گردد (Canning-Clode *et al.*, 2013). گفتنی است که به دلیل امکان نشست چندلایه ای گونه‌های بیوفولینگ روی بستر، درصد پوشش ممکن است بیش تر از ۱۰۰ درصد باشد (Canning-Clode *et al.*, 2009).

برای اندازه گیری زیتوده (وزن خشک)، کل نمونه ها به وسیله کاردک از سطوح هر پنل جدا شده و درون آون با دمای ۶۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفته و سپس وزن شدند (Canning-Clode and Sugden, 2014). نمونه ها سپس در کوره با دمای ۵۰۰ درجه به مدت ۶ ساعت قرار داده شد (Nasrolahi *et al.*, 2013). پس از خروج از کوره نمونه ها وزن شده (وزن خاکستر یا ماده غیر آلی) و از این طریق وزن ماده آلی (گوشته) نیز محاسبه شد. همه داده های بدست آمده از پنل ها در این مطالعه بصورت مجزا برای سطح رویی و سطح زیرین آنالیز شد (در هر پنل، میانگین فاکتورها در دو سطح رویی و زیرین محاسبه و در نهایت نتیجه‌ی میانگین پنج تکرار مورد استفاده قرار گرفت).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای بررسی اثر زمان پنل گذاری و سطح بستر (زیرین و رویی) بر درصد پوشش، زیتوده و نسبت ماده غیرآلی به آلی موجودات بیوفولینگ، از آنالیز واریانس دو طرفه (Two- way ANOVA) در نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف- اسمیرنوف ، توسط این نرم افزار بررسی و در صورت نرمال نبودن، از آزمون‌های نرمال سازی (تبدیل لگاریتمی) در این نرم افزار استفاده شد.

نتایج و بحث

در این مطالعه، در مجموع ۳۰ پنل در ۶ دوره زمانی دو ماهه بررسی و ۸ تاکسون از جوامع بیوفولینگ شناسایی شد (جدول ۱).

نتایج حاصل از آنالیز واریانس دو طرفه نشان داد که دوره زمانی غرقاب‌سازی و سطح، اثر معنی داری بر درصد پوشش دارد (جدول ۲). در این مطالعه درصد پوشش موجودات بیوفولینگ در سطح زیرین پنل‌ها در تمام دوره‌های زمانی بیش‌تر از سطح رویی مشاهد شد (۱/۴ برابر) (شکل ۲). به طور کلی، درصد پوشش بیوفولینگ‌ها از تابستان به سمت پاییز روند افزایشی داشت و در دوره زمانی مهر-آذر به بیش‌ترین مقدار خود

رسید. کشتی‌چسب *Amphibalanus improvisus*، گونه غالب این مطالعه بوده (۴/۶۱±۵۸/۲ درصد) و در تمام طول سال روی هر دو سطح پنل‌ها مشاهده شد. دومین گروه غالب، خزه زیان راسته Cheilostomata بوده (۱/۰۰±۳۲/ ۳۹ درصد) که درصد پوشش آن‌ها از تابستان به سمت پاییز روند افزایشی داشته و در دوره مهر-آذر به بیش‌ترین مقدار رسیده است و سپس در زمستان به میزان قابل توجهی کاهش پیدا کرده است. بیش‌ترین درصد پوشش خزه زیان راسته Ctenostomata در تابستان بوده که به سمت پاییز کاهش پیدا کرده و در زمستان به صفر رسیده است. درصد پوشش جلبک‌های سبز (چهارمین گروه غالب)، از تابستان به سمت بهار روند افزایشی نشان داد.نتایج همچنین نشان داد که نشست جلبک‌ها نسبت به سایر گونه‌ها، در سطح رویی بیش‌تر از سطح زیرین است درحالیکه کشتی‌چسب‌ها و خزه زیان در سطح زیرین فراوان تر هستند (شکل ۲، جدول ۲). در این مطالعه نشست گونه‌هایی نظیر کرم‌های پرتار و دوکفه‌ای‌ها قابل چشم‌پوشی بود.

جدول ۱- میانگین درصد پوشش بیوفولینگ ها در دوره‌های زمانی دوماهه (خرداد ۱۳۹۳ تا خرداد ۱۳۹۴) در دو سطح رویی و زیرین پنل‌ها

Table 1. Mean percentage of cover of biofouling taxa during two monthly periods (May 2015 and May 2016) on the two surfaces of panels (upper and lower)

تاکسون‌ها Taxon	خرداد-مرداد May-July		مرداد-مهر Jul-Sep		مهر-آذر Sep-Nov		آذر-بهمن Nov-Jan		بهمن-فروردین Jan-March		فروردین-خرداد March-May	
	سطح زیرین Down	سطح رویی Up	سطح زیرین Down	سطح رویی Up	سطح زیرین Down	سطح رویی Up	سطح زیرین Down	سطح رویی Up	سطح زیرین Down	سطح رویی Up	سطح زیرین Down	سطح رویی Up
Amphibalanus improvisus	70.70	38.78	83.83	47.65	87.27	66.26	78.79	18.98	67.47	24.84	74.34	40.60
Cheilostomata	11.71	8.6	68.28	42.82	161.21	133.41	32.32	5.25	4.44	2.42	1.41	0
Ctenostomata	65.66	49.29	46.66	26.26	14.74	2.42	0	0	0	0	9.49	16.94
Ficopotamus enigmaticus	1.01	0	0.20	0	0.60	0	0	0	0	0	0	0
Mytilaster lineatus	1.81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chlorophyta	0	2.62	0	0.60	0	13.13	11.71	18.98	20.2	20.6	27.27	3.79
Rhodophyta	1.01	0.20	1.81	22.02	0	6.68	0	0	0	0	0	5.25
Hydrozoa	0	0	0	0	5.45	5.25	0	0	0	0	0	0

با توجه به نشست موجودات بیوفولینگ به صورت چند لایه روی پنل‌ها، برخی از اعداد درصد پوشش شامل مقادیر بیش از ۱۰۰% هستند.

Because of multilayer accumulation of foulers on the panels, coverage can be well over 100%.

جدول ۲- نتایج حاصل از آنالیز واریانس دوطرفه درصد پوشش، زیتوده کل و نسبت ماده غیرآلی به آلی بیوفولینگ‌ها

Table 2. Two-way ANOVA results of percentage of cover, biomass and inorganic-organic ratio of biofoulers (May 2015 and May 2016)

	درجه آزادی df	درصد پوشش Percentage cover		زیتوده کل Biomass		نسبت ماده غیرآلی به آلی Inorganic-organic ratio	
		میانگین مربعات Mean Square	F	میانگین مربعات Mean Square	F	میانگین مربعات Mean Square	F
ماه Month	5	43595.70	53.66*	31.94	217.90*	3.10	14.48*
سطح Surface	1	36227.97	44.59*	53.14	362.57*	1.12	5.25*
ماه×سطح Month×Surface	5	1011.08	1.24ns	2.60	18.14*	0.86	0.40ns
کل Total	60						

***تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، ns: عدم تفاوت معنی دار**

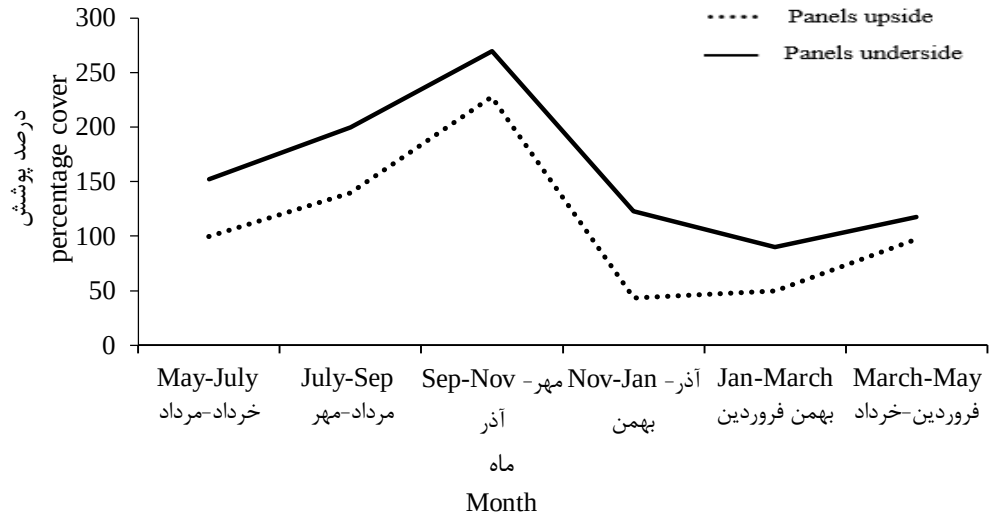
***significant difference at 0.05 probability level; ns: No significant difference.**

زیتوده کل

نتایج حاصل از آنالیز ANOVA دوطرفه نشان داد که دوره زمانی غرقاب سازی و سطح ، اثر معنی‌داری بر زیتوده کل دارد (جدول ۲). در این مطالعه زیتوده کل موجودات بیوفولینگ در سطح زیرین پنل‌ها در تمام دوره‌های زمانی، بیش‌تر از سطح رویی بوده است (۴/۱۴ برابر). بیش‌ترین میزان زیتوده کل در این مطالعه، در دوره زمانی خرداد-مرداد و کم‌ترین آن در دوره بهمن-فروردین مشاهده شد (شکل۳).

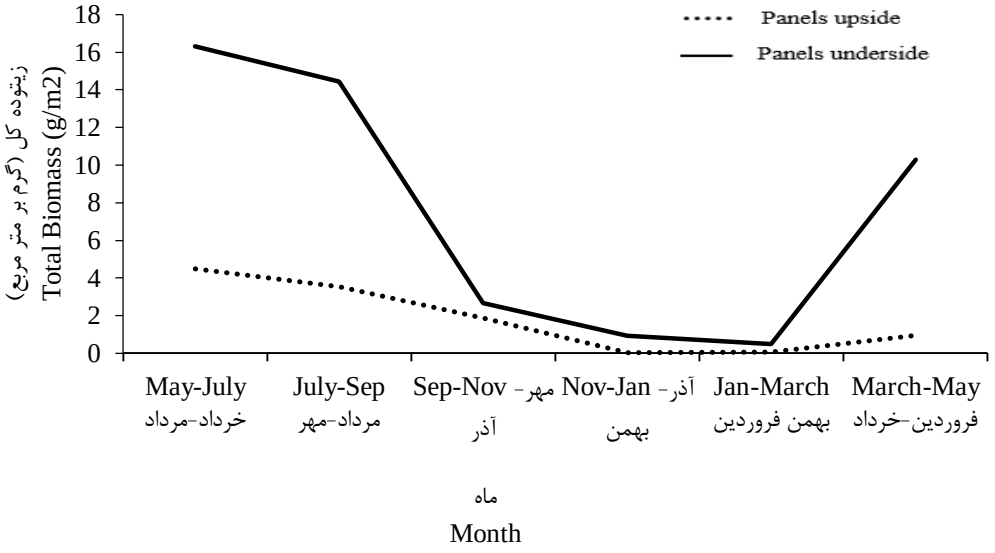
نسبت ماده غیرآلی به آلی

نتایج حاصل از آنالیز ANOVA دوطرفه نشان داد که دوره زمانی غرقاب سازی و سطح ، اثر معنی‌داری بر نسبت ماده غیرآلی به آلی دارد (جدول ۲). این نسبت در سطح زیرین پنل‌ها در تمام دوره‌های زمانی (به جز دوره مهر-آذر)، بیش‌تر از سطح رویی مشاهده شد (۱/۳۵ برابر). بیش‌ترین میزان این نسبت در دوره زمانی خرداد-مرداد و کم‌ترین آن در دوره بهمن-فروردین مشاهده شد (شکل۴).



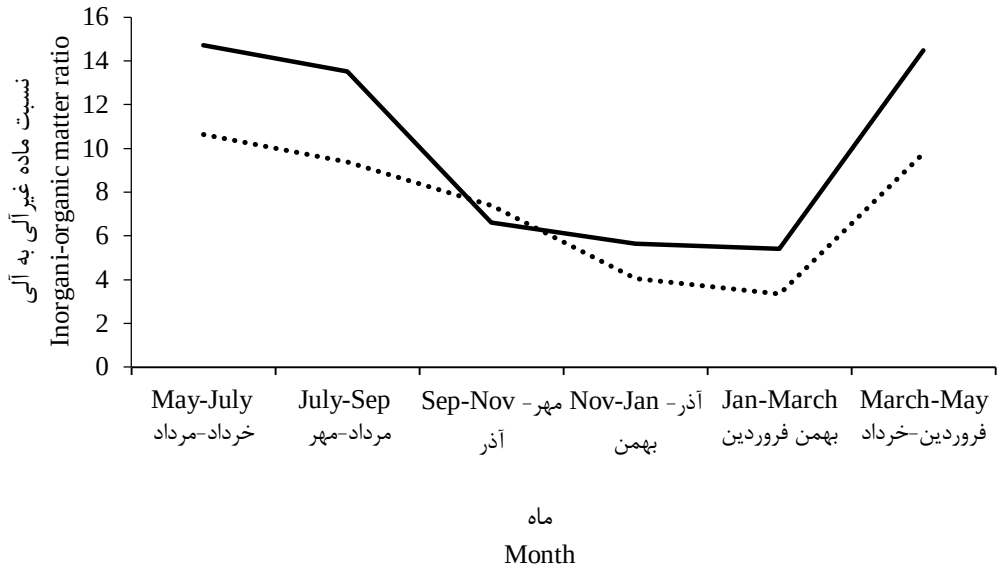
شکل ۲- درصد پوشش بیوفولینگ‌ها در دوره‌های زمانی دوماهه (خرداد ۱۳۹۳ تا خرداد ۱۳۹۴) در دو سطح رویی و زیرین پنل‌ها

Fig. 2. Percentage of cover of biofoulers during two monthly periods (May 2015 and May 2016) on the two surfaces of the panels (upper and lower)



شکل ۳- زیتوده کل بیوفولینگ‌ها در دوره‌های زمانی دوماهه (خرداد ۱۳۹۳ تا خرداد ۱۳۹۴) در دو سطح رویی و زیرین پنل‌ها.

Fig. 3. Biofouler total biomass during two monthly periods (May 2015 and May 2016) on the two surfaces of panels (upper and lower).



شکل ۴- نسبت ماده غیرآلی به آلی بیوفولینگ‌ها در دوره‌های زمانی دوماهه (خرداد ۱۳۹۳ تا خرداد ۱۳۹۴) در دو سطح رویی و زیرین پنل‌ها.

Fig. 4. Biofoulers inorganic-organic matter ratio during two monthly periods (May 2015 and May 2016) on the two surfaces of panels (upper and lower)

نتایج این مطالعه نشان داد درصد پوشش، زیتوده کل و نسبت ماده غیرآلی به آلی در سطح زیرین پنل‌ها بیش‌تر از سطح رویی آن‌هاست. بیش‌تر بودن نشست گونه‌های با ساختار کربنات کلسیمی نظیر کشتی‌چسب‌ها و خزه زیان در سطح زیرین بستر نسبت به سطح رویی، خود باعث بالا بودن میزان زیتوده و نسبت ماده غیرآلی به آلی در سطح زیرین نسبت به سطح رویی می‌شود. بالا بودن تراکم موجودات بیوفولینگ در سطح زیرین بسترهای مختلف نسبت به سطح رویی آن‌ها در مطالعات گوناگونی نشان داده شده است (Boaventura *et al.*, 2006; Thomason *et al.*, 2002; Hatcher, 1998). البته در یک مطالعه تراکم بیوفولینگ‌ها در سطح رویی بیش‌تر از سطح زیرین مشاهده شده که این امر می‌تواند به دلیل تفاوت در روش محاسبه درصد پوشش، زیتوده و سایر متغیرها باشد (Moura *et al.*, 2008). کم بودن میزان بارش رسوبات بر سطح زیرین پنل ها، فضای محافظت شده‌تری را برای موجودات به خصوص گونه‌های فیلترکننده فراهم می‌آورد و به همین دلیل نشست کشتی چسب‌ها و خزه زیان بیش‌تر در این سطح مشاهده می‌شود (Boaventura *et al.*, 2006)، همچنین در امان بودن از تابش مستقیم نور خورشید Todd and Turner, (1986) و کم بودن شکارچیان در سطح زیرین نسبت به سطح رویی می‌تواند دلیل ترجیح این سطح نسبت به سطح رویی برای گونه‌هایی نظیر خزه زیان باشد. بالا بودن میزان نشست گونه‌های اتوتروف نظیر جلبک‌ها در سطح رویی پنل‌ها نیز با تابش نور و نیاز آن‌ها به نور برای فتوسنتز مرتبط است (Hatcher, 1998). در بعضی مطالعات نشست بیوفولینگ ها بین پنل های افقی و پنل های عمودی مقایسه شده است که نتایج این مطالعات نیز حاکی از اثر جهت بستر بر ترکیب جمعیتی و فراوانی بیوفولینگ هاست اما توسعه جوامع روی سطوح مختلف دارای تفاوت‌هایی است که این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت در میزان نور (Kennelly, 1989; Glasby, 1999)، شکار و چرا (Keough and Downes, 1983)، رفتار لاروی (Meadows and Campbell, 1972) و سایر عوامل باشد.

در این مطالعه تغییرات قابل توجهی در میزان درصد پوشش بیوفولینگ ها در طول یک سال مشاهده شد که کشتی چسب *Amphibalanus improvisus* و خزه‌زیان مهم‌ترین نقش را در این تغییرات ایفا کردند.

مطالعات نشان داده است تغییر عوامل محیطی از جمله دما باعث ایجاد تغییرات زمانی در ترکیب و فراوانی جوامع بیوفولینگ می شود (Pati *et al.*, 2015). درصد پوشش در این مطالعه، تا حد قابل توجهی در فصل تابستان بالا بوده که این امر می‌تواند در ارتباط با دمای بالا در تابستان باشد. دمای بالا در فصول گرم می‌تواند باعث تسریع بلوغ تولید مثلی در بسیاری از بی‌مهرگان دریایی شود (Olive, 1995). نتایج تحقیق Sokolowski *et al.* (2017) نشان داد که افزایش دما و دسترسی به نور کافی در تابستان و بهار موجب افزایش نرخ تولید مثلی در گونه‌های اپی بنتیک می‌شود. در مطالعه حاضر درصد پوشش بیوفولینگ ها در فصل پاییز حتی بیشتر از تابستان مشاهده شد که این خود نشان می‌دهد بالا بودن میزان نشست لاروی لزوما فقط توسط عامل دما تعیین نمی‌شود. مساعد بودن سایر عوامل نظیر، شوری و دمای مطلوب، همچنین وجود مواد مغذی و کلروفیل a به میزان مطلوب می‌تواند منجر به دسترسی آسان بالغین به منابع غذایی باشد. درصد پوشش گونه‌های بیوفولینگ در این مطالعه از پاییز به سمت زمستان روند کاهشی داشته است. کمبود منابع غذایی و متعاقب آن تغذیه کم‌تر و همچنین پایین بودن نرخ متابولیسم در دماهای پایین و از سویی دیگر، طوفان و باران‌های سنگین در فصل زمستان می‌تواند موجب کاهش حضور موجودات بیوفولینگ طی ماه‌های سرد سال شود (Boyle and Janiak, 2006). نشست جلبک‌ها روی پنل‌ها در این مطالعه بیش‌تر در فصل بهار دیده شد. حضور گونه‌های اتوتروف در فصل بهار می‌تواند در ارتباط با میزان مواد مغذی و دمای مطلوب برای این گونه‌ها باشد (Singh and Singh, 2015; Duran *et al.*, 2016).

در این مطالعه میزان زیتوده کل در تابستان حدود ۱۰ برابر آن در زمستان مشاهده شد. فعالیت‌های مختلف فیزیولوژیک نظیر دریافت و جذب غذا در بسیاری از بی‌مهرگان دریایی تحت تاثیر دما قرار دارد (Anderson, 1994). همانطور که اشاره شد دمای بالا می‌تواند بطور غیرمستقیم موجب افزایش نشست موجودات بیوفولینگ شود و در نتیجه تولید زیتوده افزایش دهد. وجود دمای پایین طی فصول سرد سال موجب کاهش متابولیسم و همچنین دسترسی کم‌تر به غذا می شود که در نهایت موجب کاهش نرخ رشد و کاهش زیتوده می‌گردد (Pechenik, 1990). نتایج این مطالعه نشان داد با این که درصد پوشش در پاییز بیش‌تر از فصل تابستان است اما زیتوده کل در فصل تابستان بسیار بیشتر از پاییز است. بنابراین بخشی از درصد پوشش بالا در تابستان مربوط به میزان رشد زیاد است که باعث پوشانده شدن سطح بستر می شود.

نتایج مطالعه حاضر همچنین نشان داد که نسبت ماده غیرآلی (پوسته) به ماده آلی (گوشته) در تابستان بیش‌تر از زمستان است به این معنی که موجودات دارای پوسته آهکی در تابستان نسبت به زمستان پوسته ضخیمتری تشکیل داده اند. این نتایج با یافته های Nasrolahi *et al.* (2013) در مورد اثر دما بر افزایش نسبت ماده غیر آلی به آلی در کشتی چسب *Amphibalanus improvisus* همخوانی دارد. در دماهای پایین، مصرف غذا کاهش یافته و در نتیجه انرژی دریافت شده و در دسترس کمتر خواهد بود. از طرفی تشکیل پوسته کربنات کلسیمی در دماهای پایین در آب برای موجودات پرهزینه تر است (Melzner *et al.*, 2011). بنابراین در هنگام کمبود انرژی (در دماهای پایین)، موجود ابتدا انرژی را برای فعالیت‌های مهم حیاتی صرف می کند. در فصول گرم با افزایش انرژی در دسترس، مقدار بیشتری از انرژی به تشکیل پوسته اختصاص پیدا می‌کند و در نتیجه نسبت ماده غیرآلی به آلی افزایش پیدا می کند.

نتیجه گیری

امروزه کشتیرانی و ساخت ساختارهای دریایی در

همه دنیا روبه افزایش است. از طرفی پیش بینی ها حاکی از افزایش میزان فولینگ و هزینه های آن بر اثر گرمایش جهانی است (Poloczanska and Bulter, 2010). بنابراین نتایج این تحقیق کاربردهای مهمی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی برای مقابله با مشکلات فولینگ دارد. از آنجاکه بیشتر گونه های شناسایی شده در این تحقیق غیر بومی هستند (Shiganova *et al.*, 2010) و ریسک تهاجم گونه های دریایی با تغییرات اقلیم نیز در حال افزایش است (Mellin *et al.*, 2016; Cote and Green, 2012; Stachowitsch, 2002)، دریای خزر نیز از گونه های مهاجم در امان نخواهد بود. در نتیجه در جهت پایش جوامع بیوفولینگ در این پهنه آبی باید تحقیقات بیش‌تر و بلند مدت‌تری انجام شود.

سپاس گزاری

لازم می دانیم از همکاری و مساعدت مدیریت و حراست منطقه ویژه اقتصادی شهرستان آستارا قدردانی نماییم.

منابع

Anderson, D. T., 1994. Barnacles: structure, function, development and evolution. Science & Business Media.

Anderson, M. J. and Underwood, A.J., 1994. Effects of substratum on the recruitment and development of an intertidal estuarine fouling assemblage. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 184, 217–236.

Azis, P. K. A., Al-Tisan, I. and Sasikumar, N., 2001. Biofouling potential and environmental factors of seawater at a desalination plant intake. Desalination. 135, 82-69.

Boaventura, D., Moura, A., Leitao, F., Carvalho, S., Curdia, J., Pereira, P., Da Fonseca, L. C., Dos Santos, M. N. and Monteiro, C.C., 2006. Macrobenthic colonization of artificial reefs on the southern coast of Portugal (Ancão, Algarve) Marine Biodiversity. 183, 335-343.

Boyle, M. D. and Janiak, S. C., 2006. Succession in a Humboldt Bay Marine Fouling. Symposium A Quarterly Journal in Modern Foreign Literatures.

Canning-Clode, J., Bellou, N., Kaufmann, M. J., and Wahl, M., 2009. Local–regional richness relationship in fouling assemblages–effects of succession. Basic and Applied Ecology. 10, 745-753.

Canning-Clode, J., Fofonoff, P., McCann, L., Carlton, J. T., and Ruiz, G., 2013. Marine invasions on a subtropical island: fouling studies and new records in a recent marina on Madeira Island (Eastern Atlantic Ocean). Aquatic Invasions Regional Euro-Asian Biological Invasions Centre (REABIC). 8, 261-270.

Côté, I. M. and Green, S. J., 2012. Potential effects of climate change on a marine invasion: the importance of current context. Current Zoology. 58, 1-8.

Connell, S. D., 1999. Effects of surface orientation on the cover of epibiota. Biofouling. 14, 219–226.

Dean, T. A. and Hurd, L. E., 1980. Development in an estuarine fouling community: the influence of early colonists on later arrivals. Oecologia. 46, 295-301.

Duran, A., Collado-Vides, L. and Burkepile, D. E., 2016. Seasonal regulation of herbivory and nutrient effects on macroalgal recruitment and

succession in a Florida coral reef. PeerJ PeerJ Inc. 4, e2643.

Glasby, T. M., 1999. Effects of shading on subtidal epibiotic assemblages. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 234, 275-290.

Glasby, T. M., 2000. Surface composition and orientation interact to affect subtidal epibiota. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 248, 177-190.

Hatcher, A. M., 1988. Epibenthic colonization patterns on slabs of stabilized coal-waste in Poole Bay, UK. Hydrobiologia. 367, 153-162.

Jackson, J. B. C., 1977. Competition on marine hard substrata: the adaptive significance of solitary and colonial strategies. American Naturalist. 743-767.

Kennelly, S. J., 1989. Effects of kelp canopies on understory species due to shade and scour. Marine ecology progress series. 50, 215-224.

Keough, M. J., 1983. Patterns of recruitment of sessile invertebrates in two subtidal habitats. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 66, 213-245.

Kohler, K. E. and Gill, S. M., 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. Computers & Geosciences. 32, 1259-1261.

Krohling, W., Brotto, D. S. and Zalmon, I. R., 2006. Fouling community recruitment on an artificial reef in the north coast of Rio de Janeiro State. Journal of coastal Research. 1118-1121.

Lin, H. J. and Shao, K. T., 2002. The development of subtidal fouling assemblages on artificial structures in Keelung Harbor, Northern Taiwan. Zoological Studies. 41, 170-181.

Maggiore, F. and Keppel, E., 2007. Biodiversity and distribution of polychaetes and molluscs along the Dese estuary (Lagoon of Venice, Italy). Hydrobiologia. 588, 189–203.

Meadows, P. S. and Campbell, J. I., 1972. Habitat selection by aquatic invertebrates. Advances in marine biology. 10, 271-382.

Mellin, C., Lurgi, M., Matthews, S., MacNeil, M.A., Caley, M. J., Bax, N., Przeslawski, R. and Fordham, D. A., 2016. Forecasting marine invasions under climate change: Biotic interactions and demographic processes matter. Biological Conservation. 204, 459-467.

Melzner, F., Stange, P., Trübenbach, K., Thomsen, J., Casties, I., Panknin, U., Gorb, S. N. and Gutowska, M. A., 2011. Food supply and seawater p CO_2. impact calcification and internal shell dissolution in the blue mussel *Mytilus edulis*. PloS one. 6, e24223.

Minchinton, T. E. and Scheibling, R. E., 1991. The influence of larval supply and settlement on the population structure of barnacles. Ecology. 1867, 72-1879.

Moura, A., Da Fonseca, L. C., Cúrdia, J., Carvalho, S., Boaventura, D., Cerqueira, M., Leitão, F., Santos, M. N. and Monteiro, C. C., 2008. Is surface orientation a determinant for colonisation patterns of vagile and sessile macrobenthos on artificial reefs? Biofouling. 24, 381–391.

Nasrolahi, A., Pansch, C., Lenz, M. and Wahl, M., 2013. Temperature and salinity interactively

impact early juvenile development: a bottleneck in barnacle ontogeny. Marine biology. 160, 1109-1117.

Olive, P. J. W., 1995. Annual breeding cycles in marine invertebrates and environmental temperature: probing the proximate and ultimate causes of reproductive synchrony. Journal of thermal biology. 20, 79-90.

Pati, S. K. and Rao, M. V., 2015. Fouling load in a tropical Indian harbor: spatial and temporal pattern. Journal of the Marine Biological Association of India 57, 6.

Pati, S. K., Rao, M. V., Balaji M., Lucena-Moya, P., Brawata, R., Kath, J., Harrison, E., ElSawah, S., F. Dyer, F. and Barth, B. J., 2015. Spatial and temporal changes in biofouling community structure at Visakhapatnam harbour, east coast of India. Tropical Ecology. 56, 139-154.

Pechenik, J. A., 1990. Delayed metamorphosis by larvae of benthic marine invertebrates: does it occur? Is there a price to pay? Ophelia. 32, 63-94.

Pinnegar, J. K., Polunin, N. V. C., Francour, P., Badalamenti, F., Chemello, R., Harmelin-Vivien, M.-L., Hereu, B., Milazzo, M., Zabala, M. and d'Anna, G., 2000. Trophic cascades in benthic marine ecosystems: lessons for fisheries and protected-area management. Environmental Conservation. 27, 179-200.

Poloczanska, E. S. and Butler, A. J., 2010. Biofouling and climate change. Biofouling Oxford, UK 333.

Raimondi, P. T. and Keough, M. J., 1990. Behavioural variability in marine larvae. Austral Ecology. 15, 427-437.

Rajagopal, S., Nair, K. V. K., Van der Velde, G. and Jenner, H. A., 1997. Seasonal settlement and succession of fouling communities in Kalpakkam, east coast of India. Netherland Journal of Aquatic Ecology. 30, 309-325.

Relini, G., Relini, M., Torchia, G. and De Angelis, G., 2002. Trophic relationships between fishes and an artificial reef. ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil. 59, 36-42.

Ruiz, G. M., Huber, T., Larson, K., McCann, L., Steves, B., Fofonoff, P. and Hines, A. H., 2006. Biological Invasions in Alaska's Coastal Marine Ecosystems: Establishing a Baseline. Smithsonian Environmental Research Center.

Satheesh, S. and Wesley, S. G., 2008. Seasonal variability in the recruitment of macrofouling community in Kudankulam waters, east coast of India. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 79, 518-524.

Shiganova, T. A., Musaeva, E. I., Pautova, L. A and Bulgakova, Y. V., 2005. The problem of invaders in the Caspian Sea in the context of the findings of new zoo-and phytoplankton species from the Black Sea. Biology Bulletin. 32, 65-74.

Schultz, M. P., Bendick, J. A., Holm, E. R. and Hertel, W. M., 2011. Economic impact of biofouling on a naval surface ship. Biofouling. 27, 87-89.

Singh, S. P. and Singh, P., 2015. Effect of temperature and light on the growth of algae species: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 50, 431-444.

Stachowitsch, M., Kikinger, R., Herler, J., Zolda, P. and Geutebrück, E., 2002. Offshore oil platforms and fouling communities in the southern

Arabian Gulf (Abu Dhabi). Marine Pollution Bulletin. 44, 853-860.

Sokołowski, A., Ziółkowska, M., Balazy, P., Kukliński, P. and Plichta, I., 2017. Seasonal and multi-annual patterns of colonisation and growth of sessile benthic fauna on artificial substrates in the brackish low-diversity system of the Baltic Sea. Hydrobiologia. 790, 183-200.

Sutherland, J. P. and Karlson, R. H., 1977. Development and stability of the fouling community at Beaufort, North Carolina. Ecological Monographs. 47, 425-446.

Templado, J., Paulay, G., Gittenberger, A. and Meyer, C., 2010. Sampling the marine realm. Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and monitoring. 8, 273-307.

Thomason, J. C., Letissier, M. D. A., Thomason, P. O. and Field, S. N., 2002. Optimising settlement tiles: the effects of surface texture and energy, orientation and deployment duration upon the fouling community. Biofouling. 18, 293-304.

Todd, C. D. and Turner, S. J., 1986. Ecology of intertidal and sublittoral cryptic epifaunal assemblages. I. Experimental rationale and the analysis of larval settlement. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 99, 199-231.

Yebra, D. M., Kiil, S. and Dam-Johansen, K., 2004. Antifouling technology—past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings. Progress in organic coatings. 50, 75-104.

Zhang, H., Cao, W., Wu, Z., Song, X., Wang, J. and Yan, T., 2015. Biofouling on deep-sea submersible buoy systems off Xisha and Dongsha Islands in the northern South China Sea. International Biodeterioration & Biodegradation. 104, 92-96.

Environmental Sciences Vol.15 / No.1 / Spring 2017

127-140

Effect of substrate surface on biofouling communities on the southwest coast of the Caspian sea

Parisa Golinia and Ali Nasrollahi*

Department of Marine Biology, Faculty of Biological Sciences and Technology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: September 7, 2016 **Accepted:** June 21 , 2017

Golinia, P. and Nasrollahi, A. 2017. Effect of substrate surface on biofouling communities in the southwest coast of the Caspian Sea. Environmental Sciences. 15(1):127-140.

Introduction: biofouling is the term applied to the colonization, accumulation and growth of living organisms on different substrata exposed to an aquatic environment. These structures include natural and artificial substrates. biofouling communities are both economically and ecologically important and play a basic role in transferring of energy in food chains and ecosystems functioning. Also, by creating multi-dimensional substrates these communities provide different habitats for other organisms. From an economic viewpoint, the colonization by these organisms on ship hulls, boats, aquaculture cages and marine structures such as pipelines can cause economic losses (Yebra *et al.*, 2004; Schultz *et al.*, 2011). In spite of all this, there is little information about these communities in the Caspian Sea and there is almost none concerning the Iranian coastline of the Caspian Sea.

Materials and methods: This study was conducted in May 2015 till May 2016 in Astara Port in order to investigate the effect of substrate surface on temporal variations in biofouling assemblages. Five replicates of PVC panels (12×12×0.3 cm) were deployed horizontally at a depth of 1m. The panels were retrieved and replaced with new series every two months for a period of one year. At each sampling event, the upper and under sides of the panels were photographed separately and then analyzed using CPCe software (Kohler and Gill, 2006) for estimating the percentage of cover on each surface. The biomass and inorganic to organic ratio were calculated using dry and ash weight.

Results and discussion: In total, six major groups including barnacles, bryozoan, algae, polychaete, mussels and hydroids were identified. *Amphibalanus improvisus* was the most dominant species in this study and was observed all year round. Cheilostome and Ctenostome bryozoans were the second most dominant groups. These two groups mostly provided the temporal variations in studied communities. Two-way ANOVA analysis

* Corresponding Author. *E-mail Address*: Nasrolahi@sbu.ac.ir

showed that the period of submersion and the surface have a significant effect on percentage of cover, total biomass and inorganic to organic ratio of fouling communities ($p<0.05$). Generally, the percentage of cover, total biomass and inorganic to organic ratio were higher for the under sides of the panels than the upper sides. The greatest total biomass and inorganic to organic ratio were observed during summer, whereas, the highest percentage of cover was observed in autumn. The results showed that the upper side of the panels had more autotrophic species such as algae, while, the under sides mostly consisted of heterotrophic species with calcium carbonate structures.

Conclusion: Since the shipping industry and human-made marine structures are continuously increasing and predictions indicate that fouling pressure and its economic costs will also increase as a result of global warming, the results of this study have implications for management strategies dealing with biofouling issues. Therefore, more studies in the long-term must be performed to monitor the biofouling communities in this area.

Keywords: biofouling communities, Substrate surface, Caspian Sea, Astara Port.