مجله بوم شناسی آبزیان

Journal homepage: http://jae.hormozgan.ac.ir

تأثیر جنس بستر و نوع رنگ ضد چسبندگی بدنه شناورهای دریایی بر نشست بارناکل *Amphibalanus improvises* (حوضه جنوبی دریای خزر)

حامد قلی پور[۱]، محمدرضا رحیمی بشر[۱*]

۱. گروه بیولوژی دریا، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

نوع مقاله

پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۶

تاریخ چاپ الکترونیک: ۱۴۰۲/۰۲/۲۶

***نویسنده مسئول:**

Rahimibashar@yahoo.com

چکیده

یکی از مشکلات زیست‌محیطی دریای خزر ورود گونه‌های بیگانه می‌باشد که برخی از آن‌ها دارای خاصیت چسبندگی زیستی بوده که مشکلاتی را برای تاسیسات دریایی و شناورها ایجاد می‌کنند. هدف از انجام این مطالعه بررسی اثر جنس بدنه و رنگ ضد چسبندگی شناورها بر نشست بارناکل *Amphibalanus improvises* در حوضه جنوب غربی دریای خزر است. در این مطالعه در مجموع شش نوع رنگ (پامچال، روناس، رنگین‌زره، اسکله، باژاک و همپل) در دو نوع صفحه (فایبرگلاس و فولاد مخصوص کشتی‌سازی) با ابعاد ۱۰×۱۰ سانتی‌متر با دو صفحه بدون رنگ و به‌طور کلی در ۱۴ تیمار هر یک با ۳ تکرار در ساحل چابکسر در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ مورد آزمون واقع شدند. در مجموع، سطوح فایبرگلاس نسبت به سطوح فولادی از نظر کاهش نشست بارناکل عملکرد بهتری داشته و از نظر شاخص‌های فوق بین دو صفحه تفاوت معنی‌داری وجود داشت. علاوه بر این، اثربخشی مورد انتظار از رنگ‌ها با توجه به رنگ ظاهری صورت نپذیرفت. دلیل عملکرد بهتر فایبرگلاس وجود بافت‌های ریز و سختی موجود در صفحات فولادی بود. همچنین، عدم اثربخشی منظم رنگ‌ها ناشی از تأثیرپذیری متفاوت ترکیبات شیمیایی رنگ‌ها در دو سطوح بود. نتیجه نهایی مشخص نمود که رنگ صفحات که متأثر از ترکیبات شیمیایی رنگ‌ها بوده می‌تواند در نشست نهایی موجودات چسبنده مؤثر و صفحات فایبرگلاس نیز نسبت به فولاد دارای امکان چسبندگی کمتری می‌باشد.

کلید واژه‌ها: دریای خزر ، رنگ ضد چسبندگی کشتی چسب، نشست زیستی

مقدمه

پدیده چسبندگی زیستی به چسبیدن میکرو ارگانیسم‌ها، گیاهان و جانوران اشاره دارد که روی سطوح غوطه‌ور در آب دریا اعم از سطوح طبیعی و مصنوعی ایجاد می‌گردد (Videla, 1996). فرآیند چسبندگی زیستی شامل مواد آلی جذب شده در بستر، نشست و رشد باکتری‌های پیشگام می‌باشد که بستری مناسب برای جوامع چسبنده کوچک و بزرگ فراهم می‌آورد (Jamshidizadeh and Amrollahi Biuki, 2016). از مهم‌ترین ویژگی‌های جوامع چسبنده زیستی می‌توان به تغییرات مداوم ساختار جمعیت و تغییر در ترکیب گونه‌ای (Pati *et al*., 2015; Pati and Rao, 2015) اشاره نمود. حضور موجودات مزاحم گیاهی یا جانوری روی سازه‌های طبیعی یا انسان‌ساخت در محیط‌های دریایی اجتناب‌ناپذیر است (Jamshidizadeh and Amrollahi Biuki, 2016) و تجمع آن‌ها بر بدنه کشتی‌ها موجب کاهش سرعت، مقاومت اصطکاکی، افزایش وزن، افزایش مصرف سوخت، خوردگی زیستی، کاهش ظرفیت حمل و سرعت جریان خطوط لوله‌های آب می‌شود (Schultz *et al*., 2011)

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]

که سالانه بیش از ۲۱۱ بیلیون دلار برای صنعت کشتیرانی هزینه دارد (Natalio *et al*., 2012). انتخاب بستر رفتاری حیاتی در موجودات چسبنده زیستی بوده که اثر قابل‌توجهی در سازگاری آن‌ها دارد (Herbert and Hawkins, 2006; Pardo *et al*., 2007). چرخهٔ زندگی اکثر موجودات دریایی کفزی شامل مرحلهٔ لاروی پلاژیک و مرحلهٔ بلوغ کفزی غیرمتحرک می‌باشد و الگوهای لانه‌گزینی اولیه، نقش مهمی در ساختار جوامع بنتیک دارد (Fraschetti *et al*., 2002). تنوع جوامع چسبنده علاوه بر فاکتورهای زیستی مثل رقابت و شکار، به موقعیت جغرافیایی، عمق، نوع بستر و فصل نیز بستگی دارد (Desai *et al*., 2006). همچنین، فاکتورهایی مانند شدت نور (Rius *et al*., 2010)، میکروتوپوگرافی سطح (Kerr *et al*., 1999) و ترکیب شیمیایی بستر (Bavestrello *et al*., 2000) بر لانه‌گزینی تأثیر می‌گذارند.

دریای خزر بزرگ‌ترین دریاچه زمین با مساحت حدود ۳۸۰۰۰۰ کیلومترمربع و حجم نزدیک به ۷۸۰۰۰ کیلومتر مکعب بوده (Nasrollahzadeh *et al*., 2008; Varnosfaderany *et al*., 2014) که ۱۳۰ رودخانه وارد آن می‌شود (Saleh *et al*., 2018). جریان آب‌های سطحی جنوب دریای خزر متأثر از جهت باد، مورفودینامیک خط ساحلی و توپوگرافی بستر است (Kostianoy *et al*., 2019). با بازگشایی کانال ولگا در آغاز قرن بیستم گونه‌های غیربومی وارد این دریاچه شده‌اند (Shiganova *et al*., 2005). مهم‌ترین آن‌ها بارناکل *Amphibalanus improvisus*، دوکفه‌ای *Mytilaster lineatus* و پرتار *Nereis diversocolor* می‌باشند که ۷۰-۶۰ درصد موجودات چسبنده زیستی کفزی آن را تشکیل می‌دهند (Karpinsky, 2010).

بارناکل *Amphibalanus improvisus* غالب‌ترین گونه چسبنده در جنوب دریای خزر (Heidary *et al*., 2017) که می‌تواند به بدنه کشتی‌ها و دیگر سازه‌های انسان‌ساخت بچسبد (Tahir, 2012) و باعث تخریب فرسایشی آن‌ها شود (Demirel *et al*., 2017). چرخه زندگی بارناکل دارای دگردیسی از مرحله لاروی تا مرحله بلوغ بوده و مرحله سیپریدی مرحله‌ای تخصصی برای انتخاب بستر است. پس از چسبیدن موجود نابالغ به بستر، مرحله بلوغ تا رشد کامل سپری می‌شود (Thiyagarajan and Qian, 2008). زمینه شیمیایی چسبندگی در بارناکل، پیچیده و شامل موادی مانند لیپیدها، پپتیدهای ضد میکروبی و پروتئین‌های اتصال‌دهنده است (Dickinson *et al*., 2009; Burden *et al*., 2012; Kamino, 2013; Gohad *et al*., 2014; So *et al*., 2016; Fears *et al*., 2018). گونه‌هایی مانند *Amphibalanus improvisus* صفحه‌ای آهکی در مرحله بلوغ تولید و سیمان خود را به‌صورت مرحله‌ای در طول رشد ترشح می‌کند (Burden *et al*., 2014).

تحقیقات زیادی روی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی سطوحی که چسبندگی زیستی را توسعه داده یا از آن جلوگیری می‌کنند انجام شده است (Andersson *et al*., 2009; Petrone *et al*., 2011; Vaz-Pinto *et al*., 2014; Di Fino *et al*., 2014). نتایج نشان می‌دهد که موجودات سطوح مصنوعی متفاوت از موجودات بسترهای طبیعی مجاور بوده (Glasby, 1999) و آگاهی از چگونگی تأثیر بسترهای مصنوعی بر فراوانی و ترکیب موجودات چسبنده امری ضروری است (Connell and Glasby 1999). تفاوت فاحشی از نظر فراوانی روی ساختارهای طبیعی و انسان‌ساخت وجود داشته (Simkanin *et al*., 2012) که سبب تنوع در ترکیب جوامع چسبنده می‌گردد (Wilhelmsson and Malm, 2008). بیوفیلم، ترکیب و خواص بستر عوامل مؤثری در نشست مراحل لاروی گونه‌های چسبنده می‌باشند (Dobretsov *et al*., 2006; Qian *et al*., 2007). نشست بی‌مهرگان دریایی در بسترهای مصنوعی و طبیعی متأثر از زبری بستر و هیدرودینامیک می‌باشد (Judge and Craig, 1997). رنگ و ترکیب شیمیایی بستر نیز فاکتور مهمی در لانه‌گزینی است (Satheesh and Wesley, 2010). بسیاری از بی‌مهرگان، لانه-گزینی روی سطوح غیر روشن را ترجیح داده و این سازگاری جهت تشویق لانه‌گزینی در مناطقی است که احتمال رقابت با ماکروجلبک‌ها و رشد بی‌رویه آن‌ها کمتر است (Rius *et al*., 2010). رنگ ویژگی بصری اشیاء ناشی از حضور نور است که می-تواند منتشر، منتقل یا منعکس شود (Satheesh and Wesley, 2010). مطالعات نشان داده که در لانه‌گزینی لاروها، رنگ پنل از موقعیت آن مهم‌تر است (Bakus, 1988).

نوع مواد مورد استفاده در شناورهای سطحی و زیر سطحی بسیار مهم است. بعضی اجزا بدون رنگ‌آمیزی درون آب استفاده می‌شوند (مانند پروانه‌ها و جک‌ها). همچنین، استفاده از پلاستیک و فایبرگلاس در صنایع دریایی افزایش یافته و جنس آن در تعیین مقدار نشست مؤثر است (Musharraf Javadi, 2012). موادی مانند آلومینیوم ۵۰۸۳ و آلومینیوم ۵۷۵۴، فولاد دریایی

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]

و فایبرگلاس در ساخت شناور در ایران استفاده می‌شوند. نوع رنگ ضدخزه نیز تعیین‌کننده نشست موجودات چسبنده روی بدنه شناورها است (Musharraf Javadi, 2012). در ایران انواع رنگ‌های دریایی شرکت پارس پامچال، همپل، روناس، پامچال، باژاک و رنگین‌زره به عنوان رنگ ضد چسبندگی کاربرد دارد. نوع شناور و فعالیت آن، سرعت شناور، دفعات رفتن شناور به حوضچه خشک، مدت زمان عدم فعالیت شناور و نظر شرکت تولیدکننده رنگ بر انتخاب رنگ و مقدار آن تأثیرگذار است (AFS, 2009).

مطالعات مختلفی روی تأثیر بستر بر چسبندگی زیستی انجام شده که می‌توان به مطالعه Satheesh و Wesley (۲۰۱۰) روی تأثیر رنگ بستر مصنوعی بر نشست جوامع چسبنده بزرگ، Dobretsov و همکاران (۲۰۱۳) روی موجودات چسبنده آب‌های کشور عمان، Dobretsov (۲۰۱۵) روی جوامع چسبنده بزرگ تفرجگاه‌های بندر الروحه و شانگری‌لاکه، Chase و همکاران (۲۰۱۶) روی اثر سطوح مصنوعی بر نشست لاروی اسیدین، Heidary و همکاران (۲۰۱۷) روی تأثیر نوع بستر بر نشست بارناکل در سواحل جنوب غربی دریای خزر و Brzozowska و همکاران (۲۰۱۷) روی رابطه سختی بستر و چسبندگی زیستی اشاره کرد.

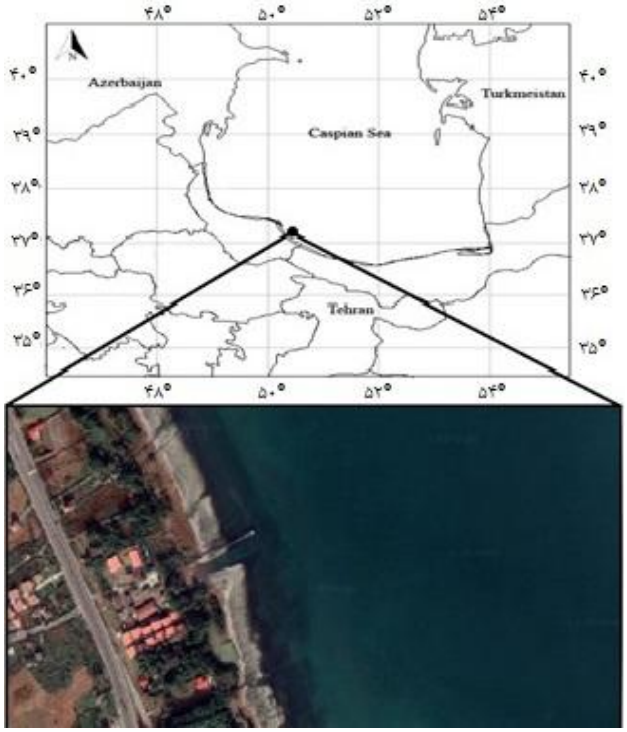
با توجه به موارد اشاره شده و مشکلات و آسیب‌هایی که از نشست جوامع چسبنده روی شناورهای دریایی و کشتی‌ها در دریای خزر همواره وجود داشته و عدم وجود مطالعه مقایسه‌ای اثر انواع رنگ در فعالیت ضد چسبندگی در دو جنس صفحه فولادی و فایبرگلاس، انجام این مطالعه ضروری به نظر می‌رسد. لذا در مطالعه حاضر، چسبندگی بارناکل *Amphibalanus improvisus* در جنس و رنگ صفحاتی که در بدنه شناورهای دریایی استفاده می‌گردد ارزیابی شد. به‌طورکلی، با توجه به استفاده از جنس‌ها و رنگ‌های مختلف روی بدنه شناورهای دریایی، عملکرد ضعیف تعدادی از آن‌ها و لزوم بهینه‌سازی و انتخاب بهترین عملکرد، می‌توان گفت که هدف از انجام این مطالعه انتخاب بهترین جنس و رنگ در شناورها در برابر نشست بارناکل است.

مواد و روش انجام کار:

مراحل اجرایی این تحقیق در حوضه جنوبی دریای خزر در سواحل شهرستان چابکسر استان گیلان در اسکله مرکز تحقیقات کاربردی ماهیان خاویاری (عرض جغرافیایی ۳۷ درجه ۲ دقیقه ۲/۸۹۹ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه ۲۸ دقیقه ۱۲/۱۹۶ ثانیه شرقی) انجام شد (شکل ۱) و پس از نصب نمونه‌ها، این تحقیق به مدت ۸ ماه از آبان ۱۳۹۹ تا خرداد ۱۴۰۰ انجام شد. علت انتخاب این منطقه، ویژگی‌های توپوگرافی کف دریا و خط ساحلی، سنگی بودن بستر دریا و حضور امواج بود که زیستگاهی مناسب جهت لانه‌گزینی طبیعی بارناکل در تمام طول سال می‌باشد. علاوه بر این، به علت نیاز به مکانی مطمئن جهت تثبیت صفحات، اتصال صفحات به پایه‌های اسکله امری آسان و کارآمد بود که در مقابل امواج به‌خوبی مقاومت می‌کرد.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]



شکل ۱. نقشه ایستگاه مورد مطالعه در شهرستان چابکسر

جهت انجام این مطالعه، از ۶ رنگ پامچال، روناس، رنگین‌زره، رنگ اسکله، باژاک و همپل تهیه شده از بازار (جدول ۱) و دو جنس بدنه فایبرگلاس و فولاد مخصوص کشتی‌سازی تهیه شده از کارخانجات کشتی‌سازی شهدای هفتم آذر استفاده شد. درمجموع، ۱۴ تیمار انتخاب شدند که در این میان، ۷ تیمار متعلق به صفحات فایبرگلاس و ۷ تیمار متعلق به صفحات فولاد بود که در جدول ۲ ذکر گردیده است. همچنین، هر یک از تیمارها دارای ۳ تکرار بودند (Dobretsov, 2015).

جدول ۱. اسامی تجاری و رنگ ظاهری رنگ‌های ضد چسبندگی مورد استفاده در صفحات مورد آزمایش

نوع رنگ	پامچال	روناس	رنگین‌زره	اسکله	باژاک	همپل
رنگ ظاهری	قرمز پررنگ	قرمز پررنگ	قهوه‌ای سوخته	طوسی	قرمز روشن	قهوه‌ای

جدول ۲. تیمارهای مورد استفاده در مطالعه حاضر

شماره تیمار	نام تیمار
تیمار ۱	شاهد فایبرگلاس (صفحه فایبرگلاس فاقد رنگ)
تیمار ۲	صفحه فایبرگلاس حاوی رنگ پامچال
تیمار ۳	صفحه فایبرگلاس حاوی رنگ روناس
تیمار ۴	صفحه فایبرگلاس حاوی رنگ رنگین‌زره

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]

شماره تیمار	نام تیمار
تیمار ۵	صفحه فایبرگلاس حاوی رنگ اسکله
تیمار ۶	صفحه فایبرگلاس حاوی رنگ باژاک
تیمار ۷	صفحه فایبرگلاس حاوی رنگ همپل
تیمار ۸	شاهد فولاد (صفحه فولاد فاقد رنگ)
تیمار ۹	صفحه فولاد حاوی رنگ پامچال
تیمار ۱۰	صفحه فولاد حاوی رنگ روناس
تیمار ۱۱	صفحه فولاد حاوی رنگ رنگین‌زره
تیمار ۱۲	صفحه فولاد حاوی رنگ اسکله
تیمار ۱۳	صفحه فولاد حاوی رنگ باژاک
تیمار ۱۴	صفحه فولاد حاوی رنگ همپل

پس از تهیه صفحات، با ضخامت ۳ میلی‌متر در ابعاد ۱۰×۱۰ سانتی‌متر برش داده شده و سطح فلز و فایبرگلاس به‌خوبی تمیز و کلیه آلودگی‌های احتمالی از روی سطح زدوده شده و عملیات زنگ‌زدایی سطح فلز با روش سند پلاست با درجه sa.2 ½ استاندارد و نیز کاغذ سمباده جهت ایجاد زبری مناسب انجام شد. در سطح فایبرگلاس نیز فقط از کاغذ سمباده استفاده شد. رنگ‌آمیزی هر رنگ با توجه به دستورالعمل آن و به‌صورت چندلایه با استفاده از قلم‌مو انجام شد. بعد هر بار خشک شدن رنگ، صفحات به‌وسیله یک لایه دیگر رنگ پوشش داده شد. برای رنگ‌آمیزی لایه‌های مختلف، رعایت حداقل و حداکثر فاصله زمانی بین لایه‌ها انجام شد. در انتها، ضخامت فیلم رنگ در نقاط مختلف سطح با دستگاه Elcometer برابر استاندارد تعیین-شده هر رنگ ارزیابی و در صورت لزوم ضخامت فیلم رنگ ترمیم شد. پس از سوراخ کردن و کدگذاری، صفحات در فواصل ۵۰ سانتی‌متر از هم (Lin and Shao, 2002) و به‌صورت افقی در عمق یک متری به پایه‌های اسکله متصل گردیدند (Satheesh and Wesley, 2010). به‌منظور بررسی ماهانه عوامل فیزیکوشیمیایی آب نظیر دما، شوری و pH آب از دستگاه Multi 340/SETi و شوری‌سنج چشمی MT-110 استفاده گردید (Torabi Jafroudi *et al*., 2015).

پس از ۸ ماه، صفحات از آب بالا کشیده شدند و در جعبه‌های پر شده با آب تازه فیلتر شده (۰/۲ میکرومتر) همراه با فرمالدئید ۴٪ به آزمایشگاه منتقل شدند (Dobretsov *et al*., 2013). این عمل کنترل آزمایشگاهی خطای تشخیص گونه‌های چسبنده را مقدور می‌سازد (Lin and Shao, 2002). صفحات به‌آرامی با آب شسته شده تا گل‌ولای آن حذف گردد. سپس، صفحات به‌وسیله برس تمیز شده (Skinner and Coutinho, 2005) و به‌منظور آنالیز تصویری بارناکل‌ها، از سطوح رویی و زیرین صفحات به تفکیک عکس‌برداری شد (Kohler and Gill, 2006) و هر صفحه توسط میکروسکوپ (Nikon ۴۰۰x Eclipse, USA,) بررسی شد (Dobretsov *et al*., 2013). در ادامه، بارناکل‌ها با استفاده از کاردک از صفحه جدا گشته اما سایر گونه‌ها با تراکم کمتر مورد بررسی قرار نگرفتند (Heidary *et al*., 2017). بارناکل‌های هر صفحه به‌صورت مجزا با ترازوی دیجیتالی (دقت ۰/۰۰۱ گرم) توزین شدند(Torabi Jafroudi *et al*., 2015) و میانگین وزن مرطوب آن‌ها محاسبه شد (Dobretsov, 2015) و با استفاده از میکروسکوپ، تا پایین‌ترین رده‌بندی ممکن شناسایی گردیدند (Lin and Shao, 2002). از عکس‌های گرفته شده نیز برای شناسایی گونه‌ها استفاده شد (Dobretsov, 2015). مجموع تعداد بارناکل‌ها در هر صفحه به-صورت مجزا در قسمت بالایی و زیرین شمارش شد (Anderson and Underwood, 1994). فراوانی بارناکل‌ها با استفاده از

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]

روش نمونه‌گیری تصادفی نقطه‌ای (Nandakumar, 1998) انجام و به‌صورت درصد پوشش در صفحات گزارش شد. همچنین، تراکم بارناکل‌ها در واحد سطح (یک مترمربع) محاسبه گردید و به‌منظور اندازه‌گیری رشد از وزن خشک استفاده گردید. بارناکل‌های هر صفحه در فویل‌های آلومینیومی کدگذاری شده قرار گرفته (Heidary *et al*., 2017) و پس از توزین بارناکل‌ها، نمونه‌ها درون آون با دمای ۶۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفته (Canning-Clode and Sugden, 2014) و اندازه‌گیری وزن خشک (دقت ۰/۰۰۱ گرم) انجام (Heidary *et al*., 2017) و به‌صورت $g.dm^{-2}$ بیان شد (Satheesh and Wesley, 2010). میزان رشد (وزن به ازای هر فرد) به‌وسیله اندازه‌گیری وزن خشک کل بارناکل‌های هر صفحه و تقسیم بر تعداد بارناکل‌های آن صفحه انجام شد (Heidary *et al*., 2017).

تجزیه و تحلیل آماری دادها

نتایج بدست آمده به کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت. پس از نرمال‌سازی داده‌ها، برای مقایسه میانگین هر یک از فاکتورها بین دو صفحه از آزمون T-test در سطح اطمینان ۵٪ استفاده شد. همچنین، برای مقایسه میانگین هر یک از فاکتورها بین رنگ‌های مختلف از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه در سطح اطمینان ۵٪ و برای مقایسه دو به دوی رنگ‌ها از آزمون post-hoc Tukey استفاده شد. برای رسم نقشه منطقه مورد مطالعه از نرم‌افزار Paint و از تصویر اقتباس شده از Pro Google Earth استفاده گردید.

نتایج

با توجه به آزمون واریانس یک‌طرفه در ماه‌های مختلف مشخص گردید که فاکتورهای دما، شوری و pH دارای اختلاف معنی-دار بودند (P<۰/۰۵). براساس نتایج به‌دست آمده در ماه‌های مختلف، بیشترین مقدار دمای آب در خرداد ماه و شوری و pH در آبان ماه مشاهده شد. همچنین، کمترین مقدار دمای آب در دی ماه، شوری در بهمن ماه و pH در خرداد ماه مشاهده شد (جدول ۲).

جدول ۲. میانگین فاکتورهای محیطی اندازه‌گیری شده در ماه‌های مختلف

ماه نمونه‌برداری	دمای آب (^oC)	شوری (‰)	pH
آبان ۱۳۹۹	۱۳/۷۰±۱/۴۱^{c}	۱۰/۶۰±۳/۱۲^{a}	۸/۳۵±۰/۱۳^{a}
آذر ۱۳۹۹	۱۲/۳۰±۰/۲۴^{d}	۱۰/۱۰±۱/۱۴^{b}	۸/۳۳±۰/۲۱^{b}
دی ۱۳۹۹	۱۱/۲۰±۰/۹۱^{e}	۹/۵۰±۴/۳۲^{f}	۸/۳۰±۰/۱۹^{c}
بهمن ۱۳۹۹	۱۱/۳۰±۰/۲۴^{e}	۹/۵۰±۲/۴۳^{f}	۸/۳۱±۰/۲۰^{c}
اسفند ۱۳۹۹	۱۱/۷۰±۱/۱۶^{de}	۹/۶۰±۴/۱۴^{e}	۸/۳۰±۰/۲۵^{c}
فروردین ۱۴۰۰	۱۵/۵۰±۴/۷۶^{b}	۹/۷۰±۲/۲۵^{d}	۸/۳۰±۰/۳۳^{c}
اردیبهشت ۱۴۰۰	۱۷/۴۰±۰/۹۶^{a}	۹/۹۰±۲/۴۲^{c}	۸/۲۷±۰/۲۱^{d}
خرداد ۱۴۰۰	۱۷/۸۰±۰/۲۳^{a}	۹/۹۰±۴/۱۸^{c}	۸/۲۵±۰/۱۶^{e}

حروف لاتین غیرمشترک، نشان‌دهنده اختلاف بین تیمارها در هر ستون است (P<۰/۰۵).

طبق نتایج حاصل از عملکرد رنگ‌های مختلف در صفحات فایبرگلاس، با توجه به آزمون واریانس یک‌طرفه بین تیمارهای مورد بررسی از نظر تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد (P<۰/۰۵). آزمون توکی نشان داد که از نظر تعداد و تراکم بارناکل تیمار ۴ با تمام تیمارها و تیمار ۱ با تیمارهای ۲، ۳ ، ۴ ، ۵ و ۶ ، از نظر وزن مرطوب و میزان رشد بارناکل تیمار ۴ با تمام تیمارها و تیمار ۱ (شاهد) و ۷ با تیمارهای ۳ ، ۴ ، ۵ و ۶ و از نظر وزن خشک و درصد پوشش (فراوانی) بارناکل تیمار ۴ با تمام تیمارها اختلاف معنی‌دار آماری داشت. در مجموع، بیشترین تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل در تیمار ۴

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]

مشاهده شد. در مقابل، کمترین تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل در تیمارهای ۲ ، ۳ ، ۵ و ۶ بود (جدول ۳).

جدول ۳. میانگین فاکتورهای اندازه‌گیری شده در رنگ‌های مختلف صفحات فایبرگلاس

شاخص‌ها / تیمارها	تیمار ۱	تیمار ۲	تیمار ۳	تیمار ۴	تیمار ۵	تیمار ۶	تیمار ۷
تعداد بارناکل	۲/۵۰۰±۰/۵۷۷^{b}	۰/۰۰±۰/۰۰^{c}	۰/۰۰±۰/۰۰^{c}	۱۲/۳۳۳±۲/۳۰۹^{a}	۰/۰۰±۰/۰۰^{c}	۰/۰۰±۰/۰۰^{c}	۲/۳۳۳±۰/۵۷۷^{bc}
وزن مرطوب بارناکل (گرم)	۰/۰۲۵±۰/۰۰۵^{b}	۰/۰۰±۰/۰۰^{c}	۰/۰۰±۰/۰۰^{c}	۰/۱۷۸±۰/۰۱۳^{a}	۰/۰۰±۰/۰۰^{c}	۰/۰۰±۰/۰۰^{c}	۰/۰۲۳±۰/۰۰۵^{b}
وزن خشک بارناکل (گرم)	۰/۰۱۱±۰/۰۰۱^{b}	۰/۰۰±۰/۰۰^{b}	۰/۰۰±۰/۰۰^{b}	۰/۱۰۶±۰/۰۳۰^{a}	۰/۰۰±۰/۰۰^{b}	۰/۰۰±۰/۰۰^{b}	۰/۰۱۳±۰/۰۰۶^{b}
درصد پوشش (فراوانی)	۰/۵±۰/۱۶۳^{b}	۰/۰۰±۰/۰۰^{b}	۰/۰۰±۰/۰۰^{b}	۸/۰۰±۱/۷۳۲^{a}	۰/۰۰±۰/۰۰^{b}	۰/۰۰±۰/۰۰^{b}	۰/۶۶۶±۰/۲۸۸^{b}
تراکم بارناکل (در مترمربع)	۲۵۰/۰۰±۵۷/۷۳۵^{b}	۰/۰۰±۰/۰۰^{c}	۰/۰۰±۰/۰۰^{c}	۱۲۳۳/۳۳۳±۲۳۰/۹۴۰^{a}	۰/۰۰±۰/۰۰^{c}	۰/۰۰±۰/۰۰^{c}	۲۳۳/۳۳۳±۵۴/۴۳۵^{bc}
میزان رشد بارناکل (وزن به ازای هر فرد)	۰/۰۰۴±۰/۰۰۱^{b}	۰/۰۰±۰/۰۰^{c}	۰/۰۰±۰/۰۰^{c}	۰/۰۰۸±۰/۰۰۱^{a}	۰/۰۰±۰/۰۰^{c}	۰/۰۰±۰/۰۰^{c}	۰/۰۰۴±۰/۰۰۱^{b}

حروف لاتین غیرمشترک، نشان‌دهنده اختلاف بین تیمارها در هر ستون است ($P<۰/۰۵$).

طبق نتایج حاصل از عملکرد رنگ‌های مختلف در صفحات فولاد، با توجه به آزمون واریانس یک‌طرفه بین تیمارهای مورد بررسی از نظر تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). آزمون توکی نشان داد که از نظر تعداد و تراکم بارناکل تیمار ۸ با تمام تیمارها و تیمار ۱۰ با تیمارهای ۸ ، ۹ ، ۱۲ و ۱۳ ، از نظر وزن مرطوب و وزن خشک بارناکل تیمار ۸ و ۱۰ با تمام تیمارها، از نظر درصد پوشش (فراوانی) بارناکل تیمار ۸ و ۱۰ با تیمارهای ۹ ، ۱۱ ، ۱۲ ، ۱۳ و ۱۴ ، از نظر میزان رشد بارناکل تیمار ۱۰ با تمام تیمارها و تیمار ۱۱ و ۱۲ با تیمارهای ۸ ، ۹ ، ۱۰ ، ۱۳ و ۱۴ اختلاف معنی‌دار آماری داشت. در مجموع، بیشترین تعداد، درصد پوشش (فراوانی) و تراکم بارناکل در تیمار ۸ و بیشترین وزن مرطوب، وزن خشک و میزان رشد بارناکل در تیمار ۱۰ مشاهده شد. در مقابل، کمترین تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل در تیمار ۱۳ (صفحه فولاد حاوی رنگ باژاک) بود (جدول ۴).

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]

جدول ۴. میانگین فاکتورهای اندازه‌گیری شده در رنگ‌های مختلف صفحات فولاد

شاخص‌ها / تیمارها	تیمار ۸	تیمار ۹	تیمار ۱۰	تیمار ۱۱	تیمار ۱۲	تیمار ۱۳	تیمار ۱۴
تعداد بارناکل	۳۳/۴۰۰±۶/۸۰۴^{a}	۴/۳۳۳±۱/۵۲۷^{c}	۱۵/۳۳۳±۲/۵۱۶^{b}	۶/۳۳۳±۲/۰۸۱^{bc}	۴/۳۳۳±۲/۱۲۱^{c}	۱/۶۶۶±۱/۵۲۷^{c}	۶/۶۶۶±۰/۵۷۷^{bc}
وزن مرطوب بارناکل (گرم)	۰/۲۹۶±۰/۰۴۵^{b}	۰/۰۲۶±۰/۰۱۱^{c}	۰/۸۳±۰/۱۱^{a}	۰/۰۳۶±۰/۰۱۵^{c}	۰/۰۲۶±۰/۰۱۱^{c}	۰/۰۱۳±۰/۰۱۱^{c}	۰/۰۴۳±۰/۰۰۵^{c}
وزن خشک بارناکل (گرم)	۰/۱۸۶±۰/۰۴۵^{b}	۰/۰۱۶±۰/۰۱۱^{c}	۰/۵۰۶±۰/۱۳۶^{a}	۰/۰۲۳±۰/۰۱۵^{c}	۰/۰۱۳±۰/۰۰۵^{c}	۰/۰۰۶±۰/۰۰۵^{c}	۰/۰۳۱±۰/۰۰۱^{c}
درصد پوشش (فراوانی) بارناکل (٪)	۱۲/۸±۴/۳۲۴^{a}	۱/۵±۱/۳۲۲^{b}	۱۱/۳۳۳±۱/۵۲۷^{a}	۲/۶۶۶±۱/۵۲۷^{b}	۲/۳۳۳±۱/۱۵۴^{b}	۰/۶۶۶±۰/۵۷۷^{b}	۳/۳۳۳±۰/۵۷۷^{b}
تراکم بارناکل (در مترمربع)	۳۳۴۰/۰۰±۶۸۰/۴۴۱^{a}	۴۰۰/۰۰±۱۷۳/۲۰۵^{c}	۱۵۳۳/۳۳۳±۲۵۱/۶۶۱^{b}	۶۰۰/۰۰±۲۰۰/۰۰^{bc}	۴۰۰/۰۰±۲۰۰/۰۰^{c}	۱۶۶/۶۶۶±۱۵۲/۷۵۲^{c}	۶۶۶/۶۶± ۵۷/۷۳۵^{bc}
میزان رشد بارناکل (وزن به ازای هر فرد)	۰/۰۰۵±۰/۰۰۰۴^{c}	۰/۰۰۳±۰/۰۰۱^{c}	۰/۰۳۲±۰/۰۰۶^{a}	۰/۰۱۶±۰/۰۰۴^{b}	۰/۰۱۶±۰/۰۰۴^{b}	۰/۰۰۲۶±۰/۰۰۲۵^{c}	۰/۰۰۴±۰/۰۰۰۵^{c}

حروف لاتین غیرمشترک، نشان‌دهنده اختلاف بین تیمارها در هر ستون است (P<۰/۰۵).

طبق نتایج حاصل از عملکرد صفحات مختلف در تیمار فاقد رنگ، با توجه به آزمون T-test بین تیمارهای مورد بررسی از نظر تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی) و تراکم بارناکل اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد (P<۰/۰۵) و از نظر میزان رشد بارناکل اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). در مجموع، بیشترین تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل در تیمار ۸ (شاهد فولاد: صفحه فولاد فاقد رنگ) مشاهده شد. در مقابل، کمترین تعداد بارناکل، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل در تیمار ۱ (شاهد فایبرگلاس: صفحه فایبرگلاس فاقد رنگ) بود (جدول ۵).

جدول ۵. میانگین فاکتورهای اندازه‌گیری شده در صفحات مختلف تیمار فاقد رنگ

شاخص‌ها / تیمارها	تعداد بارناکل	متوسط وزن مرطوب بارناکل (گرم)	وزن خشک بارناکل (گرم)	درصد پوشش (فراوانی) بارناکل (٪)	تراکم بارناکل (در مترمربع)	میزان رشد بارناکل (وزن به ازای هر فرد)
تیمار ۱	۲/۵±۰/۵۷۷^{b}	۰/۰۲۵±۰/۰۰۵^{b}	۰/۰۱۱±۰/۰۰۱^{b}	۰/۵±۰/۱۶۳^{b}	۲۵۰/۰۰±۵۷/۷۳۵^{b}	۰/۰۰۴±۰/۰۰۱^{a}
تیمار ۸	۳۳/۴±۶/۸۰۴^{a}	۰/۲۹۶±۰/۰۴۵^{a}	۰/۱۸۶±۰/۰۴۵^{a}	۱۲/۸±۴/۳۲۴^{a}	۳۳۴۰/۰۰±۶۸۰/۴۴۱^{a}	۰/۰۰۵±۰/۰۰۰۴^{a}

حروف لاتین غیرمشترک، نشان‌دهنده اختلاف بین تیمارها در هر ستون است (P<۰/۰۵).

طبق نتایج حاصل از عملکرد صفحات مختلف در رنگ پامچال، با توجه به آزمون T-test بین تیمارهای مورد بررسی از نظر تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد (P<۰/۰۵). در مجموع، بیشترین تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل در تیمار ۹ (صفحه فولاد حاوی رنگ پامچال) مشاهده شد. در مقابل، کمترین تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل در تیمار ۲ (صفحه فایبرگلاس حاوی رنگ پامچال) بود (جدول ۶).

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]

جدول ۶. میانگین فاکتورهای اندازه‌گیری شده در صفحات مختلف در رنگ پامچال

شاخص‌ها / تیمارها	تعداد بارناکل	متوسط وزن مرطوب (گرم)	وزن خشک بارناکل (گرم)	درصد پوشش بارناکل (٪)	تراکم بارناکل (در مترمربع)	میزان رشد بارناکل (وزن به ازای هر فرد)
تیمار ۲	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]
تیمار ۹	۴/۳۳۳±۱/۵۲۷[a]	۰/۰۲۶±۰/۰۱۱[a]	۰/۰۱۶±۰/۰۱۱[a]	۱/۵±۱/۳۲۲[a]	۴۰۰/۰۰±۱۷۳/۲۰۵[a]	۰/۰۰۳±۰/۰۰۱[a]

حروف لاتین غیرمشترک، نشان‌دهنده اختلاف بین تیمارها در هر ستون است (P<۰/۰۵).

طبق نتایج حاصل از عملکرد صفحات مختلف در رنگ روناس، با توجه به آزمون T-test بین تیمارهای مورد بررسی از نظر تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد (P<۰/۰۵). در مجموع، بیشترین تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل در تیمار ۱۰ (صفحه فولاد حاوی رنگ روناس) مشاهده شد. در مقابل، کمترین تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل در تیمار ۳ (صفحه فایبرگلاس حاوی رنگ روناس) بود (جدول ۷).

جدول ۷. میانگین فاکتورهای اندازه‌گیری شده در صفحات مختلف در رنگ روناس

شاخص‌ها / تیمارها	تعداد بارناکل	وزن مرطوب بارناکل (گرم)	وزن خشک بارناکل (گرم)	درصد پوشش (فراوانی) بارناکل (٪)	تراکم بارناکل (در مترمربع)	میزان رشد بارناکل (وزن به ازای هر فرد)
تیمار ۳	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]
تیمار ۱۰	۱۵/۳۳۳±۲/۵۱۶[a]	۰/۸۳±۰/۱۱[a]	۰/۵۰۶±۰/۱۳۶[a]	۱۱/۳۳۳±۱/۵۲۷[a]	۱۵۳۳/۳۳۳±۲۵۱/۶۶۱[a]	۰/۰۳۲±۰/۰۰۶[a]

حروف لاتین غیرمشترک، نشان‌دهنده اختلاف بین تیمارها در هر ستون است (P<۰/۰۵).

طبق نتایج حاصل از عملکرد صفحات مختلف در رنگ رنگین‌زره، با توجه به آزمون T-test بین تیمارهای مورد بررسی از نظر تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی) و تراکم بارناکل اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد (P<۰/۰۵) و از نظر میزان رشد بارناکل اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). در مجموع، بیشترین تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی) و تراکم بارناکل در تیمار ۴ (صفحه فایبرگلاس حاوی رنگ رنگین‌زره) و بیشترین میزان رشد بارناکل در تیمار ۱۱ (صفحه فولاد حاوی رنگ رنگین‌زره) مشاهده شد. در مقابل، کمترین تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی) و تراکم بارناکل در تیمار ۱۱ (صفحه فولاد حاوی رنگ رنگین‌زره) و کمترین میزان رشد بارناکل در تیمار ۴ (صفحه فایبرگلاس حاوی رنگ رنگین‌زره) بود (جدول ۸).

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]

جدول ۸. میانگین فاکتورهای اندازه‌گیری شده در صفحات فایبرگلاس و فولاد رنگ رنگین‌زره

شاخص‌ها / تیمارها	تعداد بارناکل	وزن مرطوب بارناکل (گرم)	وزن خشک بارناکل (گرم)	درصد پوشش (فراوانی) بارناکل (٪)	تراکم بارناکل (در مترمربع)	میزان رشد بارناکل (وزن به ازای هر فرد)
تیمار ۴	۱۲/۳۳۳±۲/۳۰۹[a]	۰/۱۷۸±۰/۰۱۳[a]	۰/۱۰۶±۰/۰۳۰[a]	۸/۰۰±۱/۷۳۲[a]	۱۲۳۳/۳۳۳±۲۳۰/۹۴۰[a]	۰/۰۰۸±۰/۰۰۱[a]
تیمار ۱۱	۶/۳۳۳±۲/۰۸۱[b]	۰/۰۳۶±۰/۰۱۵[b]	۰/۰۲۳±۰/۰۱۵[b]	۲/۶۶۶±۱/۵۲۷[b]	۶۰۰/۰۰±۲۰۰/۰۰[b]	۰/۰۱۶±۰/۰۰۴[a]

حروف لاتین غیرمشترک، نشان‌دهنده اختلاف بین تیمارها در هر ستون است (P<۰/۰۵).

طبق نتایج حاصل از عملکرد صفحات مختلف در رنگ اسکله، با توجه به آزمون T-test بین تیمارهای مورد بررسی از نظر تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد (P<۰/۰۵). در مجموع، بیشترین تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل در تیمار ۱۲ (صفحه فولاد حاوی رنگ اسکله) مشاهده شد. در مقابل، کمترین تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل در تیمار ۵ (صفحه فایبرگلاس حاوی رنگ اسکله) بود (جدول ۹).

جدول ۹. میانگین فاکتورهای اندازه‌گیری شده در صفحات مختلف در رنگ اسکله

شاخص‌ها / تیمارها	تعداد بارناکل	وزن مرطوب بارناکل (گرم)	وزن خشک بارناکل (گرم)	درصد پوشش (فراوانی) بارناکل (٪)	تراکم بارناکل (در مترمربع)	میزان رشد بارناکل (وزن به ازای هر فرد)
تیمار ۵	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]
تیمار ۱۲	۴/۳۳۳±۲/۰۸۱[a]	۰/۰۲۶±۰/۰۱۱[a]	۰/۰۱۳±۰/۰۰۵[a]	۲/۳۳۳±۱/۱۵۴[a]	۴۰۰/۰۰±۲۰۰/۰۰[a]	۰/۰۱۶±۰/۰۰۴[a]

حروف لاتین غیرمشترک، نشان‌دهنده اختلاف بین تیمارها در هر ستون است (P<۰/۰۵).

طبق نتایج حاصل از عملکرد صفحات مختلف در رنگ باژاک، با توجه به آزمون T-test بین تیمارهای مورد بررسی از نظر تعداد، وزن مرطوب، درصد پوشش (فراوانی) و تراکم بارناکل اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد (P<۰/۰۵) و از نظر وزن خشک و میزان رشد بارناکل اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). در مجموع، بیشترین تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل در تیمار ۱۳ (صفحه فولاد حاوی رنگ باژاک) مشاهده شد. در مقابل، کمترین تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی)، تراکم و میزان رشد بارناکل در تیمار ۶ (صفحه فایبرگلاس حاوی رنگ باژاک) بود (جدول ۱۰).

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]

جدول ۱۰. میانگین فاکتورهای اندازه‌گیری شده در صفحات فایبرگلاس و فولاد در رنگ باژاک

شاخص‌ها / تیمارها	تعداد بارناکل	وزن مرطوب بارناکل (گرم)	وزن خشک بارناکل (گرم)	درصد پوشش (فراوانی) بارناکل (٪)	تراکم بارناکل (در مترمربع)	میزان رشد بارناکل (وزن به ازای هر فرد)
تیمار ۶	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[a]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[b]	۰/۰۰±۰/۰۰[a]
تیمار۱۳	۱/۶۶۶±۱/۵۲۷[a]	۰/۰۱۳±۰/۰۱۱[a]	۰/۰۰۶±۰/۰۰۵[a]	۰/۶۶۶±۰/۵۷۷[a]	۱۶۶/۶۶۶±۱۵۲/۷۵۲[a]	۰/۰۰۲۶±۰/۰۰۲۵[a]

حروف لاتین غیرمشترک، نشان‌دهنده اختلاف بین تیمارها در هر ستون است (P<۰/۰۵).

طبق نتایج حاصل از عملکرد صفحات مختلف در رنگ همپل، با توجه به آزمون T-test بین تیمارهای مورد بررسی از نظر تعداد، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی) و تراکم بارناکل اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد (P<۰/۰۵) و از نظر وزن مرطوب و میزان رشد بارناکل اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). در مجموع، بیشترین تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی) و تراکم بارناکل در تیمار ۱۴ (صفحه فولاد حاوی رنگ همپل) مشاهده شد. در مقابل، کمترین تعداد، وزن مرطوب، وزن خشک، درصد پوشش (فراوانی) و تراکم بارناکل در تیمار ۷ (صفحه فایبرگلاس حاوی رنگ همپل) بود. همچنین، از نظر میزان رشد بارناکل مقادیر هر دو تیمار ۷ (صفحه فایبرگلاس حاوی رنگ همپل) و ۱۴ (صفحه فولاد حاوی رنگ همپل) یکسان بود (جدول ۱۱).

جدول ۱۱. میانگین فاکتورهای اندازه‌گیری شده در صفحات مختلف در در رنگ همپل

شاخص‌ها / تیمارها	تعداد بارناکل	وزن مرطوب بارناکل (گرم)	وزن خشک بارناکل (گرم)	درصد پوشش (فراوانی) بارناکل (٪)	تراکم بارناکل (در مترمربع)	میزان رشد بارناکل (وزن به ازای هر فرد)
تیمار ۷	۲/۳۳۳±۰/۵۷۷[b]	۰/۰۲۳±۰/۰۰۵[a]	۰/۰۱۳±۰/۰۰۶[b]	۰/۶۶۶±۰/۲۸۸[b]	۲۳۳/۳۳۳±۵۷/۷۳۵[b]	۰/۰۰۴±۰/۰۰۱[a]
تیمار ۱۴	۶/۶۶۶±۰/۴۹۷[a]	۰/۰۴۳± ۰/۰۰۳[a]	۰/۰۳۱±۰/۰۰۱[a]	۳/۳۳۳± ۰/۵۷۷[a]	۶۶۶/۶۶۶±۵۷/۶۱۵[a]	۰/۰۰۴±۰/۰۰۰۵[a]

حروف لاتین غیرمشترک، نشان‌دهنده اختلاف بین تیمارها در هر ستون است (P<۰/۰۵).

بحث

این بررسی با هدف تعیین بهترین رنگ و جنس برای ساخت شناورهای دریایی در ایران انجام گردید تا از نشست موجودات چسبنده‌ای مانند بارناکل جلوگیری شود یا حداقل از شدت نشست آن بکاهد. ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناسی سطوح می‌تواند بر لانه‌گزینی جوامع چسبنده تأثیر بگذارد که رنگ بستر یکی از این عوامل است (Satheesh and Wesley, 2010). ناهمواری نیز در ایجاد تماس محکم با سطح دخالت داشته و بارناکل‌های بالغ قادرند چسب خود را حتی در ریزستون-هایی با ارتفاع ۵۰ میکرومترتعبیه کنند (Petersen *et al*., 2018).

رنگ بستر نقش مهمی در نشست گونه‌های چسبنده دارد (Satheesh and Wesley, 2010) و واکنش اشکال لاروی به رنگ ممکن است به علت پیچیدگی عوامل مرتبط با انرژی تابشی جذب یا منعکس‌شده باشد. نشست بالای بی‌مهرگان آبزی روی سطوح قرمز، آبی و سیاه ممکن است به دلیل ترجیح لارو به رنگ‌های تیره‌تر و بستری با انعکاس کمتر باشد (Su *et al*., 2007). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که در میان رنگ‌های مورداستفاده بر صفحات فایبرگلاس، رنگ‌های پامچال، روناس، اسکله و باژاک مانع از حضور بارناکل شده‌اند. همچنین، در صفحات فولاد نیز کمترین مقادیر بارناکل در رنگ باژاک مشاهده

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]

شد. با این‌وجود، رنگ باژاک در هر دو صفحه فولاد و فایبرگلاس کمترین میزان چسبندگی در سطوح ذکرشده را باعث گردید می‌توان گفت که از لحاظ تأثیرپذیری تفاوت معنی‌داری بین رنگ‌ها در دو سطح مختلف با سایر تیمارها وجود دارد اما به دلیل نزدیکی رنگ ظاهری و تیره بودن اغلب این رنگ‌ها، نوع تأثیر به‌خوبی مشهود نمی‌باشد. بااین‌حال، بیشترین مقادیر بارناکل در رنگ‌های رنگین‌زره (قهوه‌ای سوخته) در صفحات فایبرگلاس و شاهد و روناس (قرمز پررنگ) در صفحات فولادی مشاهده شد. همان‌طور که مشخص است رنگین‌زره و روناس دارای رنگ‌های بسیار تیره بوده و حتی تیمار شاهد در صفحات فولادی به‌دلیل تیره بودن در جذب بارناکل‌ها تأثیر داشته است و می‌توان اثربخشی رنگ‌ها در کاهش حضور بارناکل را مشاهده نمود. علیرغم این‌که هدف از بخشی از این مطالعه، بررسی تأثیر رنگ صفحات می‌باشد اما به نظر می‌رسد رنگ ظاهری صفحات متأثر از تأثیر ترکیبات شیمیایی رنگ‌ها قرار گرفته است. زیرا با این‌که بسیاری از رنگ‌ها یکسان بوده یا حداقل تیره می‌باشند اما در جذب بارناکل‌ها یکسان و همسو عمل ننموده‌اند. این در حالی است که در بیشتر مطالعات مشابه بر تأثیر رنگ تیره بر چسبندگی بارناکل‌ها یا سایر موجودات چسبنده تاکید شده است. شاید مشخص نبودن علت تأثیرپذیری متفاوت رنگ این باشد که اغلب رنگ‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر تیره بوده و ایجاد تمایز را با مشکل روبرو کرده است. البته علت انتخاب این رنگ‌ها به صنعت ساخت شناور بازمی‌گردد. همچنین، سموم موجود در رنگ‌ها (مواد ضد چسبندگی) و زمان و مقادیر رهاشده از آن‌ها در آب و نیز بررسی در دوره زمانی فصول گرم شش‌ماهه اول سال و فصول سرد شش‌ماهه دوم سال نیز باید مدنظر قرار داده شود. البته تفاوت این مطالعه در این است که از رنگ‌های به‌اصطلاح ضدخزه که روی بدنه قایق-ها به‌کار می‌رود استفاده‌شده که خود به دلیل داشتن مواد شیمیایی خاص مانع از چسبیدن موجودات چسبنده می‌شوند و عاملی مازاد در جهت تاخیر نشست بارناکل‌ها از خود بروز می‌دهند. احتمال می‌رود که در این رنگ‌ها تأثیر ترکیب شیمیایی در کنار رنگ ظاهری هر یک از رنگ‌ها مؤثر بوده و ترکیب شیمیایی این رنگ‌ها اثرگذاری بیشتری را نسبت به رنگ‌های معمول نشان داده و چسبندگی بارناکل را نسبت به شرایط عادی بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد.

مطالعه تأثیر رنگ بستر روی نشست جوامع چسبنده بزرگ نشان داد که نشست در سطوح قرمز و آبی نسبت به سبز، سفید و زرد نسبتاً بالا بود (Satheesh and Wesley, 2010). این احتمال وجود دارد که بارناکل‌ها روی سطوحی که نور زیادی منعکس نمی‌کنند، عمل لانه‌گزینی را انجام دهند (به‌عنوان مثال رنگ‌های تیره). نتیجه قابل‌توجه این مطالعه این است که رنگ بسترهای مصنوعی باید در زمان تفسیر نتایج مطالعات مرتبط با چسبندگی کوتاه‌مدت مورد توجه قرار گیرد و اثر رنگ بسترهای مصنوعی باید همراه با سایر عوامل در نظر گرفته شود (Satheesh and Wesley, 2010). لاروهای سیپرید بارناکل در مراحل اولیه به‌طور مثبتی نورگرا بوده و بیشتر به نور سبز حساس می‌باشند اما در زمان چسبیدن نسبت به نور عکس‌العمل نشان داده و تمایل به حرکت به مناطق تاریک‌تر دارند. بااین‌حال، فاکتورهای مسئول نشست و لانه‌گزینی بین گونه‌ها متفاوت است، چون‌که ممکن است آن‌ها نیازمندی‌های مختلفی داشته و به نشانه‌های خاص پاسخ دهند (Raimondi, 1988). Saucedo و همکاران (۲۰۰۵) مشاهده کردند که لارو صدف مروارید (*Pinctada mazatlanica*) روی سطوح قرمز یا سیاه بیشتر از سطوح سبز می‌نشینند. Su و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که ورق‌های پلاستیکی آبی و قرمزرنگ به‌طور قابل-توجهی لاروهای بیشتری از صدف مروارید (*Pinctada martensii*) را نسبت به ورق‌های سبز و زرد جذب می‌کنند. مطالعه اثر رنگ سطحی در شکل‌گیری جوامع چسبنده دریایی کوچک و بزرگ نشان داد که تراکم این موجودات روی کاشی‌های سیاه بیشتر است (Dobretsov *et al*., 2013). Dobretsov (۲۰۱۵) با بررسی چسبندگی زیستی روی بسترهای مصنوعی واقع در آب‌های مسقط بیان کرد که تفاوت در نشست موجودات چسبنده می‌تواند در نتیجهٔ تفاوت در شدت نور نقاط مختلف باشد. جهت‌گیری پنل‌ها و شدت نور نیز بر شکل‌گیری جوامع چسبنده تأثیرگذار هستند (Connell and Glasby 1999). Sempere-Valverde و همکاران (۲۰۱۸) با مطالعه بسترهایی با ترکیبات متفاوت که در آن ماسه‌سنگ دارای پوشش و غنای گونه‌ای بالاتری بود بیان کردند که ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک عمدتاً دارای ترکیبات آهکی و بتن، گابرو و تخته‌سنگ دارای سیلیکون بودند. کمترین پوشش در گابرو ممکن است حاصل ترکیب سیلیسی-اسیدی (Bavestrello *et al*., 2018). و پوشش کمتر در بتن در مقایسه با ماسه‌سنگ ممکن است به دلیل ترکیب کانی‌شناسی آن باشد و انتظار تأثیر pH بالای آن بر موجودات کفزی

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]

وجود دارد (Ido and Shimrit, 2015; Davis *et al*., 2017). این نشان‌دهنده این مطلب است که علاوه بر رنگ، نوع ترکیب نیز در نشست موجودات مؤثر است.

چسبندگی قوی جوامع بالغ بارناکل همیشه به‌طور مستقیم با انتخاب بستر ایجادشده در مرحله لاروی سیپرید ارتباط دارد (Aldred *et al*., 2010). زبری سطح می‌تواند رفتار خیس شدن را بدون در نظر گرفتن خواص اولیه مواد تحت تأثیر قرار دهد (Yan *et al*., 2011). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که در میان دو صفحه مورد استفاده در رنگ‌های مختلف، کمترین مقادیر فاکتورهای محاسبه‌شده برای بارناکل متعلق به صفحه فایبرگلاس بود. این بدان معناست که تجمع بارناکل در صفحات فایبرگلاس کمتر بوده و از حضور این موجودات در این صفحات ممانعت به‌عمل آمده است. به‌طورکلی، می‌توان گفت که تفاوتی معنی‌دار بین دو صفحه وجود دارد. در واقع، صفحات سخت‌تر باید دارای بیشترین مقادیر بارناکل باشند و صفحات با سطح صاف‌تر باید از مقادیر کمتری برخوردار باشند. بااین‌حال، بیشترین مقادیر بارناکل در صفحات فولادی مشاهده شد که به‌احتمال زیاد علت حضور بیشتر موجودات چسبنده در صفحات فولادی وجود بافت‌های فوق‌العاده ریز و سختی موجود در این صفحات می‌باشد.

لانه‌گزینی روی سطوح سخت‌تر ممکن است سبب کاهش خطر جدا شدن موجودات از بستر شود. بسته به مکانیسم چسبیدن، موجودات قادر به تشکیل اتصالات قوی‌تر به سطوح سخت‌تر در مقایسه با سطوح بسیار صاف هستند (Howell and Behrends, 2006). نشان داده شده است که بسترهای با سختی نسبتاً کم، مانند سیلیکون‌ها و هیدروژل‌ها، می‌توانند قدرت چسبندگی بارناکل‌ها را کاهش دهند (Sun *et al*., 2004; Wendt *et al*., 2006). به نظر می‌رسد که چسب بارناکل در بسترهای نرم می‌تواند مات شود و ظاهری شبیه لاستیک داشته باشد (Ahmed *et al*., 2011). بارناکل‌ها اغلب در زمان رشد روی بسترهایی با سختی بسیار کم، تغییرات مورفولوژیکی یا فیزیولوژیکی را بروز می‌دهند. در برخی موارد، حتی ممکن است صفحات پایه‌ای به شکل فنجان ایجاد شود، زیرا در حین رشد به‌دلیل فشار مداوم اعمال‌شده توسط بارناکل‌ها به بستر در لبه صفحات پایه آن‌ها مواد فشرده می‌شوند (Ahmed,*et al*.,2014). همچنین، تأثیرات غیرمستقیم ناشی از سختی می‌تواند بر الگوهای لانه‌گزینی تأثیر بگذارد (Maki *et al*., 2000). مطالعه روی تأثیر مواد تشکیل‌دهندهٔ بستر بر لانه‌گزینی لاروهای اسیدین نشان داد که در میان صفحات گرانیت و مواد ساخت دست بشر (بتن، پلی‌اتیلن با چگالی بالا و PVC)، لاروها اغلب تمایل داشتند تا روی بتن و پلی‌اتیلن با چگالی بالا قرار گیرند. تنوع در لانه‌گزینی بین مواد مختلف ممکن است نشان‌دهنده ترجیحات برای بسترهای سخت‌تر بوده و یا ممکن است از تأثیر مواد شیمیایی نشت کرده ناشی شود (Chase *et al*., 2016). مطالعه روی تأثیر توزیع میکرو زیستگاه‌ها و سختی بسترهای مصنوعی بر نشست بارناکل *Tetraclita stalactifera* در ریودوژانیرو، برزیل نشان داد که میزان نشست روی بلوک‌های با سطح خشن (۳۹۸ عدد) بالاتر از بلوک‌های صاف (۳۸ عدد) بود (Skinner and Coutinho, 2005). در مطالعه حاضر نیز نشست روی صفحات فولاد که خشن‌تر است بالاتر می‌باشد. توانایی شنا یا رفتار لاروی ممکن است بر نشست در صفحات زبر تأثیر بگذارد. روی بستر صاف، آب با سرعت بالا جریان می‌یابد، هیچ آشفتگی رخ نمی‌دهد و ممکن است مانع نشست سیپریدها شود (Judge and Craig, 1997). حضور گونه‌های مشابه نیز می‌تواند موجب شروع لانه‌گزینی برخی لاروهای بی‌مهرگان گردد (Michener and Kenny, 1991). همچنین، سطوح سخت دارای مساحت سطح بیشتری بوده و به‌طور بالقوه تنوع میکرو زیستگاهی بیشتری نسبت به سطوح صاف دارا می‌باشد که انتظار می‌رود این فاکتورها موجب افزایش فراوانی و تعداد گونه‌ها روی سطوح سخت گردد (McGuinness, 1984). مطالعه اثرات ناشی از بستر (بتن، تخته سه‌لا، فایبرگلاس و آلومینیوم) بر بازسازی ذخایر و گسترش اجتماعات چسبنده مصبی بین جزر و مدی در خلیج کوئیبری استرالیا نشان داد که ذخایر چندین گونه چسبنده روی سطوح بتنی و تخته سه‌لا نسبت به فایبرگلاس و آلومینیوم به تعداد بیشتری بازسازی گردید (Anderson and Underwood, 1994). مطالعه روی تأثیر سختی پوشش نشان داد که پوشش پلی‌وینیل ورساتات نرم‌تر، اثر کامل ضد بارناکل را نشان داد، یعنی هیچ بارناکلی مشاهده نشد، در حالی‌که پوشش پلی‌استایرن سخت‌تر، هیچ اثری در برابر کلنی‌سازی بارناکل را در همان دوره زمانی نشان نداد (Pinori *et al*., 2013). Carve و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی اثرات بافت سطوح و خصوصیات مرتبط با آن در چسبندگی زیستی دریایی بیان کردند که بافت-

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]

های مؤثر اغلب سبب کاهش رسوب می‌گردند تا این که باعث افزایش آن شوند و طرح‌های پیچیده نسبت به خصوصیات منظم هندسی در برابر چسبندگی مؤثرتر هستند. مطالعه تأثیر نوع بستر بر نشست بارناکل در سواحل جنوبی دریای خزر نشان داد که تراکم بارناکل‌ها در میان پنج نوع بستر شامل پنل‌های PVC، چوب، پلکسی (شیشه پلاستیک) آغشته به عصاره بارناکل بالغ، پلکسی صاف و پلکسی خشن، در پنل های PVC با اختلاف معنی‌داری بیشتر از سایر بسترها بود (Heidary *et al*., 2017).

نتیجه‌گیری

می‌توان گفت که سطوح فایبرگلاس نسبت به سطوح فولادی که سخت‌تر هستند از کارایی بهتری برخوردار بودند، چون بیشترین مقادیر بارناکل در صفحات فولادی مشاهده گردید و در شاخص‌های ارزیابی‌شده بین دو صفحه تفاوت معنی‌داری وجود داشت که احتمالا علت آن، وجود بافت‌های فوق‌العاده ریز و سختی موجود در صفحات فولادی می‌باشد و در خصوص رنگ‌ها تأثیرپذیری آن‌ها بر عدم نشست بارناکل‌ها در صفحات مختلف متفاوت بود، به‌گونه‌ای که در صفحات فایبرگلاس، رنگ پامچال، روناس، اسکله و باژاک مانع از حضور بارناکل گردیده و در صفحات فولادی، رنگ باژاک کمترین مقادیر بارناکل را نشان داد. به‌طورکلی، در این تحقیق ۸ ماهه، رنگ باژاک در هر دو صفحه فولاد و فایبرگلاس کمترین میزان چسبندگی بارناکل را داشت. بااین‌حال، از نظر رنگ ظاهری، رنگ‌های مورد استفاده نتوانستند انتظار پیش‌بینی‌شده را نسبت به سایر مطالعات صورت گرفته برآورده کرده و اثربخشی مشخصی را بروز ندادند که می‌توان دلیل آن را احتمال تأثیرپذیری متفاوت ترکیبات شیمیایی رنگ‌ها در دو سطوح بیان نمود. همچنین، استفاده از دوره‌های طولانی و چندماهه سبب شباهت بیشتر بین صفحات حاوی رنگ‌های مختلف می‌گردد.

منابع

AFS. 2009. National Biofouling Management Guidance for Non-trading vessels: An Australian Government Initiative, Commonwealth of Australia, Australia.

Ahmed, N., Murosaki, T., Kakugo, A., Kurokawa, T., Gong, J.P., Nogata, Y. 2011. Long-term in situ observation of barnacle growth on soft substrates with different elasticity and wettability. Soft Matter. 7(16): 7281-7290.

Ahmed, N., Murosaki, T., Kurokawa, T., Kakugo, A., Yashima, S., Nogata, Y., Gong, J.P. 2014. Prolonged morphometric study of barnacles grown on soft substrata of hydrogels and elastomers. Biofouling. 30(3): 271-279.

Aldred, N., Scardino, A., Cavaco, A., de Nys, R., Clare, A.S. 2010. Attachment strength is a key factor in the selection of surfaces by barnacle cyprids (Balanus amphitrite) during settlement. Biofouling. 26: 287–299.

Anderson, M.J., 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.

Andersson, M.H., Berggren, M., Wilhelmsson, D., Öhman, M.C. 2009. Epibenthic colonization of concrete and steel pilings in a cold-temperate embayment: a field experiment. Helgoland Marine Research. 63: 249–260.

Bakus, G.J. 1988. Practical and theoretical problems in the use of fouling panels. In: Thompson, M.F., Nagabushanam, R., Sarojini, R. (ed.). Marine biodeterioration: advanced techniques applicable to the Indian Ocean. New Delhi, Oxford and IBH. pp. 619–630.

Bavestrello, G., Bianchi, C.N., Calcinai, B., Cattaneo-Vietti, R., Cerrano, C., Morri, C., Puce, S., Sara, M. 2000. Bio-mineralogy as a structuring factor for marine epibenthic communities. Marine Ecology Progress Series. 193l: 241–249.

Bavestrello, G., Bo, M., Betti, F., Canessa, M., Gaggero, L., Rindi, F., Cattaneo-Vietti, R. 2018. Differences in composition of shallow-water marine benthic communities associated with two ophiolitic rock substrata. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 200: 71-80.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]

Brzozowska, A.M., Maassen, S., Goh Zhi Rong, R., Benke, P.I., Lim, C-S., Marzinelli, E.M., Janczewski, D., Teo, S-M., Vancso, G.J. 2017. Effect of variations in micropatterns and surface modulus on marine fouling of engineering polymers. ACS applied materials and interfaces. 9(20): 17508–17516.

Burden, D.K., Barlow, D.E., Spillmann, C.M., Orihuela, B., Rittschof, D., Everett, R.K., Wahl, K.J. 2012. Barnacle Balanus amphitrite adheres by a stepwise cementing process. Langmuir. 28(37): 13364-13372.

Burden, D.K., Spillmann, C.M., Everett, R.K., Barlow, D.E., Orihuela, B., Deschamps, J.R., Fears, K.P., Rittschof, D., Wahl, K.J. 2014. Growth and development of the barnacle Amphibalanus amphitrite: time and spatially resolved structure and chemistry of the base plate. Biofouling. 30(7): 799-812.

Canning-clode, J., Sugden, H. 2014. Assessing fouling assemblages. In: Dobertsov, S., Thomason, J., Williams, D. (ed.). Biofouling Methods. pp. 252-270.

Carve, M., Scardino, A., Shimeta, J. 2019. Effects of surface texture and interrelated properties on marine biofouling: a systematic review. Biofouling. 35(6): 597-617.

Chase, A.L., Dijkstra, J.A., Harris, L.G. 2016. The influence of substrate material on ascidian larval settlement. Marine pollution bulletin. 106(1-2): 35-42.

Connell, S.D., Glasby, T.M. 1999. Do urban structures influence local abundance and diversity of subtidal epibiota? A case study from Sydney Harbour, Australia. Marine Environmental Research. 47: 373-387.

Davis, K.L., Coleman, M.A., Connell, S.D., Russell, B.D., Gillanders, B.M., Kelaher, B.P. 2017. Ecological performance of construction materials subject to ocean climate change. Marine environmental research. 131: 177-182.

Demirel, Y.K., Uzun, D., Zhang, Y., Fang, H.C., Day, A.H., Turan, O. 2017. Effect of barnacle fouling on ship resistance and powering. The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research. 33(10): 819-834.

Desai, D.V., Anil, A.C., Venkat, K. 2006. Reproduction in Balanus amphitrite: Influence of temperature and food concentration. Marine Biology. 149: 1431-1441.

Dickinson, G.H., Vega, I.E., Wahl, K.J., Orihuela, B., Beyley, V., Rodriguez, E.N., Everett, R.K., Bonaventura, J., Rittschof, D. 2009. Barnacle cement: a polymerization model based on evolutionary concepts. Journal of Experimental Biology. 212: 3499–3510.

Di Fino, A., Petrone, L., Aldred, N., Ederth, T., Liedberg, B., Clare, A.S. 2014. Correlation between surface chemistry and settlement behaviour in barnacle cyprids (Balanus improvisus). Biofouling. 30: 143–152.

Dobretsov, S., Dahms, H.U., Qian, P.Y. 2006. Inhibition of biofouling by marine microorganisms and their metabolites. Biofouling. 22(1-2): 43-54.

Dobretsov, S., Abed, R.M., Voolstra, C.R. 2013. The effect of surface colour on the formation of marine micro and macrofouling communities. Biofouling. 29(6): 617-627.

Dobretsov, S. 2015. Biofouling on artificial substrata in Muscat waters. Journal of Agricultural and Marine Sciences. 20: 24-29.

Fears, K.P., Orihuela, B., Rittschof, D., Wahl, K.J. 2018. Acorn barnacles secrete phase-separating fluid to clear surfaces ahead of cement deposition. Advanced Science. 5(6): 1700762.

Fraschetti, S., Giangrande, A., Terlizzi, A., Boero, F. 2002. Pre- and post-settlement events in benthic community dynamics. Oceanologica Acta. 25: 285–295.

Glasby, T.M. 1999. Differences between subtidal epibiota on pier pilings and rocky reefs at marinas in Sydney, Australia. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 48: 281-290.

Gohad, N.V., Aldred, N., Hartshorn, C.M., Lee, Y.J., Cicerone, M.T., Orihuela, B., Clare, A.S., Rittschof, D., Mount, A.S. 2014. Synergistic roles for lipids and proteins in the permanent adhesive of barnacle larvae. Nature communications. 5(1): 1-9.

Heidary, E., Nasrolahi, A., Golinia, P., Pazouki, J. 2017. Effect of substratum type on Amphibalanus improvisus (L., 1758) settlement in the southern coast of the Caspian Sea. Iranian Journal of Biology. 30(3): 395-406. (in Persian)

Herbert, R.J., Hawkins, S.J. 2006. Effect of rock type on the recruitment and early mortality of the barnacle Chthamalus montagui. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 334: 96–108.

Howell, D., Behrends, B. 2006. A review of surface roughness in antifouling coatings illustrating the importance of cutoff length. Biofouling. 22: 401–410.

Ido, S., Shimrit, P.F. 2015. Blue is the new green–ecological enhancement of concrete based coastal and marine infrastructure. Ecological Engineering. 84: 260-272.

Jamshidizadeh, S., Amrollahi Biuki, N. 2016. The effect of anti-folding coatings on biofinging phenomenon and their properties. The 18th Marine Industries Conference (MIC2016). Kish Island. pp. 1-10. (in Persian)

Judge, M.L., Craig, S.F. 1997. Positive flow dependence in the initial colonization of a fouling community, results from in situ water current manipulations. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 210: 209-222.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]

Kamino, K. 2013. Mini-review: barnacle adhesives and adhesion. Biofouling. 29(6): 735-749.
Karpinsky, M.G. 2010. On peculiarities of introduction of marine species into the Caspian Sea. Russian Journal of Biological Invasions. 1: 7–10.
Kerr, A., Beveridge, C.M., Cowling, M.J., Hodgkiess, T., Parr, A.C.S., Smith, M.J. 1999. Some physical factors affecting the accumulation of biofouling. Journal of the Marine Biological Association of the UK. 79: 357–359.
Kohler, K.E., 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 and Geosciences. 32(9): 1259-1269.
Kostianoy, A.G., Ginzburg, A.I., Lavrova, O.Y., Lebedev, S.A., Mityagina, M.I., Sheremet, N.A., Soloviev, D.M. 2019. Comprehensive Satellite Monitoring of Caspian Sea Conditions. In: Barale, V., Gade, M. (ed.). Remote Sensing of the Asian Seas. Springer Cham Heidelberg, New York, Dordrecht London. pp. 505-521.
Lin, H.J., Shao, K.T. 2002. The development of subtidal fouling assemblages on artificial structures in Keelung Harbor, Northern Taiwan. Zoological Studies. 41: 170–181.
Maki, J.S., Ding, L., Stokes, J., Kavouras, J.H., Rittschof, D. 2000. Substratum/bacterial interactions and larval attachment: films and exopolysaccharides of Halomonas marina (ATCC 25374) and their effect on barnacle cyprid larvae, Balanus amphitrite Darwin. Biofouling. 16: 159–170.
McGuinness, K.A. 1984. Species-area relations of communities on intertidal boulders: testing the null hypothesis. Journal of Biogeography. 11: 439-456.
Michener, W.K., Kenny, P.D. 1991. Spatial and temporal patterns of Crussostrea virginica (Gmelin) recruitment: relationship to scale and substratum. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 154: 97-121.
Musharraf Javadi, M. 2012. Manufacture of antifouling nanocomposite protective coatings and investigation of its performance on Ra'ad 40 floating bodies. Andisheh Amad. 40(11): 91-108. (in Persian)
Nandakumar, K. 1998. Estimating biofouling potential of a candidate site. In: Subramoniam, T. (ed.). Methods and techniques in marine biotechnology. Chennai: University of Madras Publications, India. pp. 18–20.
Nasrollahzadeh, H.S., Din, Z.B., Foong, S.Y., Makhlough, A. 2008. Trophic status of the Iranian Caspian Sea based on water quality parameters and phytoplankton diversity. Continental Shelf Research. 28: 1153-1165.
Natalio, F., Tremel, W., Jochum, K. 2012. Vanadium pentoxide nanoparticles mimic vanadium haloperoxidases and thwart biofilm formation. Nature Nanotechnology. 7: 530-535.
Pardo, L.M., Palma, A.T., Prieto, C.C., Sepulveda, P., Valdivia, I., Ojeda, F.P. 2007. Processes regulating early post-settlement habitat use in a subtidal assemblage of brachyuran decapods. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 344: 10–22.
Pati, S.K., 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., Dyer, F., Barth, B.J. 2015. Spatial and temporal changes in biofouling community structure at Visakhapatnam harbour, east coast of India. Tropical Ecology. 56: 139–154.
Petersen, D.S., Kleinteich, T., Gorb, S.N., Heepe, L. 2018. Competing with barnacle cement: wetting resistance of a re-entrant surface reduces underwater adhesion of barnacles. Journal of The Royal Society Interface. 15(145): 20180396.
Petrone, L., Di Fino, A., Aldred, N., Sukkaew, P., Ederth, T., Clare, A.S., Liedberg, B. 2011. Effects of surface charge and Gibbs surface energy on the settlement behaviour of barnacle cyprids (Balanus amphitrite). Biofouling. 27(9): 1043-1055.
Pinori, E., Elwing, H., Berglin, M. 2013. The impact of coating hardness on the anti-barnacle efficacy of an embedded antifouling biocide. Biofouling. 29(7): 763-773.
Qian, P.Y., Lau, S.C.K., Dahms, H.U., Dobretsov, S., Harder. T. 2007. Marine Biofilms as Mediators of Colonization by Marine Macroorganisms: Implications for Antifouling and Aquaculture. Marine biotechnology. 9(4): 399-410.
Raimondi, P.T. 1988. Rock type affects settlement, recruitment, and zonation of the barnacle Chthamalus anisopoma Pilsbury. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 123: 253–267.
Rius, M., Branch, G.M., Griffiths, C.L., Turon, X. 2010. Larval settlement behaviour in six gregarious ascidians in relation to adult distribution. Marine Ecology Progress Series. 418: 151–163.
Saleh, A., Hamzehpour, A., Mehdinia, A., Bastami, K.D., Mazaheri, S. 2018. Hydrochemistry and nutrient distribution in southern deep-water basin of the Caspian Sea. Marine Pollution Bulletin. 127: 406-411.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]
[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]

Satheesh, S., Wesley, S.G. 2010. Influence of substratum colour on the recruitment of macrofouling communities. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 90(5): 941–946.

Saucedo, P.E., Bervera-Leon, H., Monteforte-Sanchez, M., Southgate, P.C., Monsalvo-Spencer, P. 2005. Factors influencing recruitment of hatchery reared pearl oyster (Pinctada mazatlanica; Hanley 1856) spat. Journal of Shellfish Research. 24: 215–219.

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

Sempere-Valverde, J., Ostalé-Valriberas, E., Farfán, G.M., Espinosa, F. 2018. Substratum type affects recruitment and development of marine assemblages over artificial substrata: A case study in the Alboran Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 204: 56-65.

Shiganova, T.A., Musaeva, E.I., Pautova, L.A., 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(1): 65–74.

Simkanin, C., Davidson, I.C., Dower, J.F., Jamieson, G., Therriault, T.W. 2012. Anthropogenic structures and the infiltration of natural benthos by invasive ascidians. Marine Ecology. 33: 499–511.

Skinner, L.F., Coutinho, R. 2005. Effect of microhabitat distribution and substrate roughness on barnacle Tetraclita stalactifera (Lamarck, 1818) settlement. Brazilian Archives of Biology and Technology. 48(1): 109-113.

So, C.R., Fears, K.P., Leary, D.H., Scancella, J.M., Wang, Z., Liu, J.L., Orihuela, B., Rittschof, D., Spillmann, C.M., Wahl, K.J. 2016. Sequence basis of barnacle cement nanostructure is defined by proteins with silk homology. Scientific Reports. 6(1): 1-14.

Su, Z., Huang, L., Yan, Y., Li, H. 2007. The effect of different substrates on pearl oyster Pinctada martensii (Dunker) larvae settlement. Aquaculture. 271: 377–383.

Sun, Y., Guo, S., Walker, G.C., Kavanagh, C.J., Swain, G.W. 2004. Surface elastic modulus of barnacle adhesive and release characteristics from silicone surfaces. Biofouling. 20: 279–289.

Tahir, O. 2012. The swimming crab Portunus segnis (Forskål, 1775): host for the barnacle Chelonibia platula (Ranzani, 1818) from the Turkish coast. Journal of the Black / Sea Mediterranean Environment. 18: 271-278.

Thiyagarajan, V., Qian, P.Y. 2008. Proteomic analysis of larvae during development, attachment, and metamorphosis in the fouling barnacle, Balanus amphitrite. Proteomics. 8(15): 3164-3172.

Torabi Jafroudi, H., Taghavi, H., Rahimibashar, M.R. 2015. Local competition between two invasive species, Barnacle Amphibalanus improvisus (Darwin,1854) and Bivalves Mytilaster lineatus (Gmelin, 1789) in rocky shores of the Caspian Sea basin. Iranian Journal of Biology. 28(4): 407-418. (in Persian)

Varnosfaderany, M.N., Bakhtiari, A.R., Gu, Z., Chu, G. 2014. Vertical distribution and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in southwest of the Caspian Sea: Most petrogenic events during the late Little Ice Age. Marine Pollution Bulletin. 87: 152-163.

Vaz-Pinto, F., Torrontegi, O., Prestes, A.C.L., Alvaro, N.V., Neto, A.I., Martins, G.M. 2014. Invasion success and development of benthic assemblages: effect of timing, duration of submersion and substrate type. Marine Environmental Research. 94: 72–79.

Videla, H.A. 1996. Manual of Biocorrosion. 1st edition. CRC Press, Inc., Boca Raton. Florida, US. 304 p.

Wendt, D.E., Kowalke, G.L., Kim, J., Singer, I.L. 2006. Factors that influence elastomeric coating performance: the effect of coating thickness on basal plate morphology, growth and critical removal stress of the barnacle Balanus amphitrite. Biofouling. 22: 1–9.

Wilhelmsson, D., Malm, T. 2008. Fouling assemblages on offshore wind power plants and adjacent substrata. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 79: 459–466.

Yan, Y.Y., Gao, N., Barthlott, W. 2011. Mimicking natural superhydrophobic surfaces and grasping the wetting process: A review on recent progress in preparing superhydrophobic surfaces. Advances in colloid and interface science. 169(2): 80-105.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]

Journal of Aquatic Ecology
Volume12, Issue 4, Spring 2023
Pages:1-18

Journal of Aquatic Ecology

Journal homepage: http://jae.hormozgan.ac.ir

University Of Hormozgan

The effect of different substrate and antifouling coatings on Barnacle *Amphibalanus improvisus* settlement (South of the Caspian Sea)

Hamed Gholipour[1], Mohammadreza Rahimibashar[1*]

1. Department of Marine biology, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

Abstract

One of the environmental problems of the Caspian Sea is the introduction of alien species, some of which have the property of biological adhesion, which cause problems for marine facilities and vessels. The aim of this study was to investigate the effects of the body material and anti-sticking paint of the floats on the settlement of the barnacle *Amphibalanus improvisus* in the southwestern Caspian Sea basin. A total of six types of paints (Pamchal, Runas, Rangin-zare, Skele, Bajak and Hempel) in two types of plates (fiberglass and shipbuilding steel) with dimensions of 10 x 10 cm were tested in the coast of Chabaksar, 2020-2021. They were tested with two unpainted surfaces and in general in 14 treatments each with 3 repetitions. In total, fiberglass surfaces performed better than steel surfaces in terms of reducing barnacle settlement and in terms of the above indicators between the two There was a significant difference in the page. In addition, the expected effectiveness of the colors with regard to the appearance color did not take place. The reason for the better performance of fiberglass was the presence of fine textures and hardness in steel plates. Also, the lack of regular effectiveness of the colors was due to the different effectiveness of the chemical compounds of the colors on the two levels. In conclusion, the color of the plates, which was affected by the chemical composition of the paints, can be effective in the final settlement of the adhesive organisms, and the fiberglass plates have less adhesion than steel.

ARTICLE TYPE
Research

Received: 7 October 2022
Accepted: 26 April 2023
ePublished: 16 May 2023

* Corresponding Author:
rahimibashar@yahoo.com

Keywords: Adhesive ship, anti-fouling paint, biological settlement, Caspian Sea

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1402.12.4.1.1]