مجله بوم شناسی آبزیان

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

بررسی عملکرد پوشش نانو الیاف نقره در کاهش بیوفولینگ قفس‌های پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان سد ایوشان خرم‌آباد

فاطمه رادفر[۱]، محسن صفائی[۲و۳*]، سعید گرگین[۴]، همیرا آگاه[۵]، غلامرضا رفیعی[۶]

[۱] باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، مشهد، ایران

[۲] گروه شیلات، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

[۳] گروه علوم طبیعی و زیست محیطی، پژوهشکده منطقه‌ای جنگل‌های حرا، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

[۴] گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

[۵] گروه زیست دریا، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران

[۶] گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۹۸/۰۹/۲۴
اصلاح: ۹۸/۱۱/۱۴
پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۵

کلمات کلیدی:
آب شیرین
بیوفولینگ
پرورش ماهی
قزل‌آلا
نانو نقره

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر پوشش نانو نقره در کاهش جمعیت موجودات نشست‌کننده زیستی در قفس‌های پرورش ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان در سد ایوشان خرم‌آباد از زمستان ۱۳۹۵ الی پاییز ۱۳۹۶ انجام شد. تورها بر اساس روش رمق‌کشی خاصیت ضد باکتری بر آن‌ها اعمال شد. به منظور بررسی میزان زی‌توده و ترکیب گروه‌های موجودات نشست‌کننده زیستی، نمونه‌ها، از پانل‌های توری (۰/۰۶۲۵ مترمربع) متصل شده به چهارچوب PVC، مستقر در عمق یک متری کنار قفس‌های پرورش ماهی جداسازی شدند و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد، سپس با استفاده از کلیدهای شناسایی معتبر شناسایی گردید. در این مطالعه ۳ جنس از جلبک سبز و دیاتوم شناسایی شدند. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل (DCA) و تحلیل همبستگی پیرسون اکسیژن محلول، اسیدیته و دما از جمله فاکتورهای مؤثر بر درصد فراوانی خانواده‌ی Tetrasporaceae، وزن تر و درصد پوشش جلبکی در پانل شاهد بودند. در پانل تیمار نانو نقره تمام فصول، موجودات نشست‌کننده زیستی رسوب نکرد؛ به عبارتی پوشش نانو نقره می‌تواند به مدت ۳ ماه اثر حفاظتی از رسوب موجودات نشست‌کننده زیستی داشته باشد. نانو نقره فضاهای زنجیره پلیمری پلی‌آمید را اشغال می‌کند و با جفت الکترون‌های تک نیتروژن ارتباط قوی برقرار می‌کند، از این‌رو یک مجموعه هماهنگ شکل می‌گیرد.

مقدمــه

موجودات رسوب‌کننده زیستی (بیوفولینگ‌ها) یکی از بزرگ‌ترین مشکلات در آبزی‌پروری ماهیان در سراسر جهان به شمار می‌روند (Mohamed, 2012). گسترش اجتماعات موجودات رسوب کننده زیستی بر روی تورها می‌تواند گردش جریان آب در میان تور را کاهش دهد که در پی آن میزان اکسیژن، حذف مواد زائد و حساسیت ماهی پرورشی به بیماری تحت تأثیر قرار

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: msn_safaie@yahoo.com

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-12-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.2.2.7]

گیرد. همچنین باعث انسداد و افزایش وزن تور می‌شود که اثرات منفی بر ساختار و ثبات قفس‌ها نیز دارد (Bloecher *et al*., 2013). قفس‌های پرورش آبزیان، به عنوان کارآمدترین و اقتصادی‌ترین روش افزایش آبزیان به شمار می‌روند که سهم بزرگی از ماهیان تولیدی را بر عهده دارند (Sen *et al*., 2019)؛ اما با وجود رشد و گسترش موجودات رسوب‌کننده زیستی، دولت‌ها سالانه مبالغ بسیار زیادی صرف مبارزه با پدیده‌ی نامطلوب رسوب زیستی در محیط‌های دریایی و آب شیرین می‌کنند. در آبزی‌پروری، فولینگ در مزارع پرورش ماهی به طور متوسط ۱۰۰ هزار یورو در سال هزینه ایجاد می‌کند (Mohamed, 2012; Bloecher and Floerl, 2020).

بدین منظور روش‌هایی برای کاهش میزان نشست و چسبیدن موجودات توسعه‌یافته است. امروزه فن‌آوری‌های کاهش فولینگ شامل طیف وسیعی از پوشش‌های سمی، تنش اسمزی، تابش، سیستم‌های برقی (جریان‌های متناوب و پالسی، انحلال آندی از فلزات سنگین و سطوح لایه‌بردار کاتدیک)، استفاده از امواج فراصوت، گرما، حباب‌های هوا، نور ماوراء بنفش، سطوح رنگی، کلر (اضافه شدن به صورت انبوه و یا تبدیل شده به صورت الکتروشیمیایی) و جدا کردن لایه‌های فولینگ و پاک‌سازی دوره‌ای به صورت فیزیکی می‌باشد (Braithwaite and McEvoy, 2004). برای حذف یا کنترل فولینگ ها استفاده از پوشش‌های رنگی حاوی ترکیبات مس نیز در قفس‌ها مؤثر واقع شده است (Kassah, 2012). در بین جانداران آبزی، ترکیبات شیمیایی مختلفی برای جلوگیری از فولینگ سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hadfield, 1986). اغلب این ترکیبات زیستی نسبت به ترکیبات شیمیایی مؤثرتر و دارای سمیت بسیار کمتری هستند (Konya *et al*., 1994). Mardani و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی اثر دو آنتی فولینگ شیمیایی با نام‌های تین کلراید دی هیدرات و سدیم دی تیوکاربامات بر رشد و گسترش فولینگ‌ها در محیط محصور پرورش ماهیان خاویاری در خلیج گرگان نمودند. بر اساس نتایج مشخص شد که غلظت‌های ۵ و ۱۰ گرم تین کلراید دی هیدرات و ۵ گرم سدیم دی تیوکاربامات به ازای هر کیلوگرم تور کاهش معنی‌دار در رشد بیوفولینگ‌ها دارند (P<۰/۰۵).

Shahbazi و همکاران (۲۰۱۹) اثر آنتی فولینگ شیمیایی تین کلراید دی هیدرات و اکسید مس بر قفس‌های صیادی در بندرلنگه را مورد مطالعه قرار دادند که در این بررسی مشخص گردید ضد فولینگ حاوی ترکیبات مس و با دوز ۷۵ گرم به ازای کیلوگرم تور در کاهش میزان بیوماس ماکروفولینگ‌ها مؤثر می‌باشد. Heuser و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر رنگ ترکیبی مس و کیتوزان را بر مزارع پرورش قزل‌آلا با سه تیمار ۲، ۳ و ۴ میلی‌لیتر (حاصل از افزودن دیتیلن گلیکول[1]) مورد بررسی قرار دادند که در این بررسی بهترین نتیجه را، رنگ حاوی ۳ میلی‌لیتر دیتیلن گلیکول نشان داد، که با توجه به آنالیزهای تصاویر میکروسکوپ الکترونی[2] مشاهده گردید بیشترین نفوذ در الیاف را نسبت به تیمارهای دیگر داشت و همچنین در این بررسی بیان گردید هر چه اندازه ذرات استفاده شده در رنگ کوچک‌تر باشد رنگ توانایی نفوذ بیشتری در الیاف دارد. در سال‌های اخیر استفاده از ترکیبات حاوی نقره، پوشش‌های نقره و نانو ذرات نقره به عنوان مواد ضد باکتریایی با کارایی بالا و با عوارض جانبی کمتر در صنایع مختلف در حال گسترش است (Alishahi *et al*., 2011). با توجه به اهمیت کنترل فولینگ از یک سو و تأثیر نانو ذرات در کنترل مواد ضد باکتریایی محقق بر آن شد تا مطالعه‌ای در رابطه تأثیر پوشش کاور نانو فیلامنت نقره بر میزان فولینگ قفس‌های پرورشی صورت دهد. هم‌راستا با برنامه‌های شیلات کشور جهت توسعه صنعت پرورش آبزیان در محیط‌های آبی پشت سدها، منطقه‌ایوشان خرم‌آباد به عنوان محل انجام این تحقیق در نظر گرفته شد.

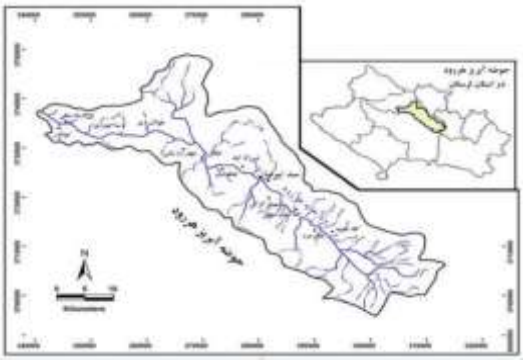
مواد و روش‌ها

این تحقیق از پاییز سال ۱۳۹۵ الی زمستان ۱۳۹۶ در سد ایوشان خرم‌آباد استان لرستان با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب "۰۴ '۴۹ °۴۸ شرقی و "۲۷ '۲۸ °۳۳ شمالی انجام شد. سد ایوشان در ۵۷ کیلومتری خرم‌آباد واقع شده است از نوع خاکی

[1] Diethylene glycol
[2] Scanning Electron Microscope

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-12-01]
[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.2.2.7]

سنگریزه‌ای با هسته ناتراوای رسی با مساحت حدود ۱۲۰ کیلومتر مربع، ارتفاع سد حدود ۷۲ متر، عرض تاج آن ۸ متر، طول تاج آن ۶۷۶ متر و حجم مخزن ۵۲ میلیون متر مکعب است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز رودخانه هرود در استان لرستان

تهیه بافته توری

به منظور تهیه بافته‌های توری مورد آزمایش، پانل توری به ابعاد ۲۵ سانتی‌متر در ۲۵ سانتی‌متر (مساحت ۰/۰۶۲۵ متر مربع) با جنس مولتی‌فیلامنت پلی‌آمید با شماره نخ D/۴۰ ۲۱۰ و اندازه چشمه ۱ سانتی‌متر (گره تا گره مجاور) تهیه شد (Kassah, 2012). در این تحقیق از کاور نانو الیاف نقره استفاده شد. برای این منظور محلول نانو نقره با خلوص ۴۰۰۰ppm و حجم یک لیتر از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه و سپس طبق دستور زیر پوشش نانو نقره انجام شد.

تورها بر اساس روش رمق‌کشی خاصیت ضد باکتری بر آن اعمال شد. به این منظور محلول نانو نقره به میزان ۰/۱ درصد به میزان یک دهم میلی‌لیتر، بر اساس نسبت حجم محلول (آب+ میزان یک دهم میلی‌لیتر) به کالا (حجم تور) L:G برابر با ۱:۳۰ در محلول قرار گرفت (حجم ۳ تکرار (پانل) برابر ۰/۰۰۰۳۷۵ متر مکعب بود و میزان آب استفاده شده تقریباً ۱۱-۱۰ لیتر محاسبه و استفاده شد). دمای محلول به نقطه جوش رسیده و یک ساعت در آن دما قرار داده شد. پس از پوشیده شدن سطح تورها، در هوای آزاد قرار داده شد تا ذرات نانو نقره بر روی الیاف تور پوشش ایجاد کند و درنهایت تورها به مدت نیم ساعت با روش غوطه‌وری در محلول رنگ آستری با پایه رزین آلکید قرار گرفتند (Ashraf *et al*., 2018). حجم هر پانل توری برابر با ۰/۰۰۰۱۲۵ متر مکعب بود. یک پانل مجزا به این روش تهیه شد. به منظور اطمینان از تشکیل کامل و دقیق کاور، از آنالیز FESEM در آزمایشگاه جامع تحقیقاتی شرق کشور در مشهد استفاده گردید (شکل ۲)

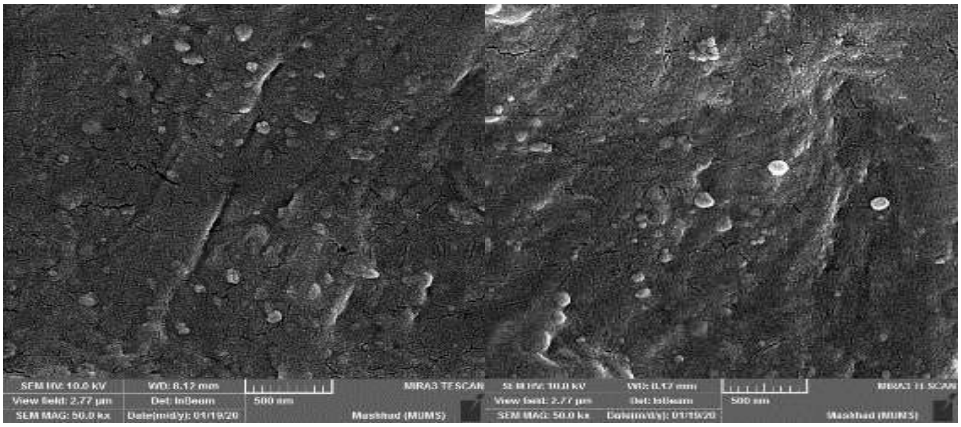
پانل‌های توری متصل به یک چارچوب به کمک طناب نایلونی به بویه‌های قفس متصل شدند و وزنه آهنی ۵ کیلوگرمی به چارچوب PVC وصل شد و این چارچوب به منظور نمونه‌برداری آسان‌تر از پانل‌های توری، در قسمت بیرونی قفس نصب شدند (Kassah, 2012) (شکل ۳ و ۴).

برآورد میزان فولینگ در قفس‌ها و نحوه محاسبه آن

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی از قبیل pH، اکسیژن محلول و دما توسط دستگاه پرتابل (HQ40D) اندازه‌گیری شد. تمام این اندازه‌گیری‌ها به صورت ماهانه، از سطح آب و در وسط روز انجام شد. نمونه‌برداری به صورت فصلی انجام شد. پس از گذشت هر سه ماه پانل‌های توری جدید شامل شاهد و تیمار نانو نقره جایگزین شد و پانل‌های توری قبلی (شاهد و تیمار نانو نقره) از آب برداشته شدند، درون ظرف‌های یک لیتری که دو سوم آن با آب محل مورد نظر پر شده بود، قرار گرفتند و به آزمایشگاه جانورشناسی دانشگاه علوم پزشکی لرستان انتقال داده شد. به منظور بررسی میزان زی‌توده و ترکیب گروه‌های موجودات نشست‌کننده زیستی، آبزیان نشست کننده زیستی موجود در هر پانل توری جداسازی و وزن تر با ترازو به دقت ۰/۰۱ اندازه گیری شد. سپس در آزمایشگاه با استفاده از کلیدهای شناسایی معتبر (John, 2002; Sonneman *et al*., 1997) موجودات نشست‌کننده زیستی توسط میکروسکوپ اینورت مورد بررسی کیفی و کمی قرار گرفتند (Kassah, 2012).

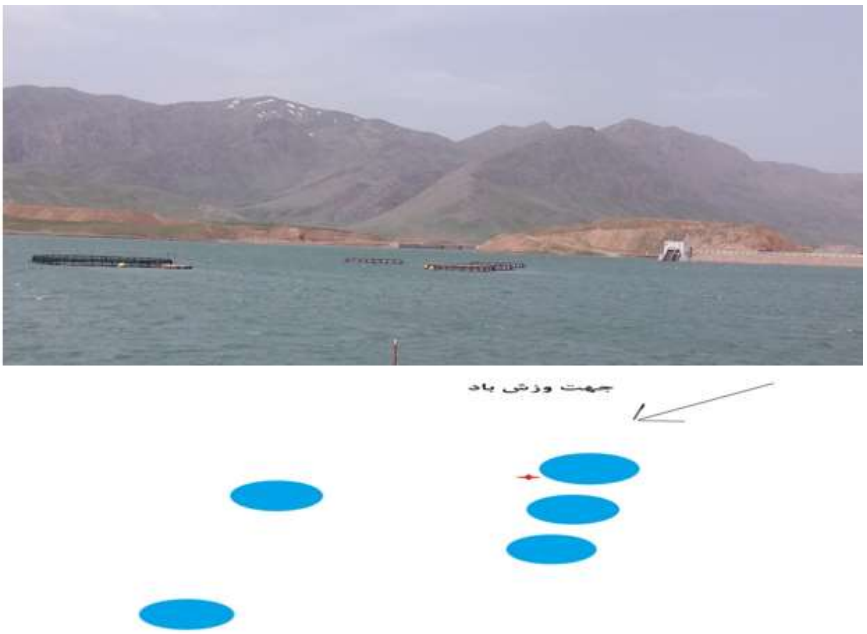
[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-12-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.2.2.7]



شکل ۲. تصویربرداری FESEM از نمونه تورهای پوشش داده شده با نانو نقره

شکل ۳. نمایی از پانل توری PVC



شکل ۴. موقعیت قفس‌ها در سد ایوشان خرم‌آباد؛ علامت قرمز، محل قرارگیری پانل توری

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-12-01]
[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.2.2.7]

با استفاده از دوربین ۱۳ مگاپیکسلی از نمونه‌ها بر زمینه‌ی سفید عکس گرفته شد و در نرم‌افزار Image J 1.50e بارگذاری گردید (http://imagej.nih.gov.ij)، میزان بازشدگی چشمه اندازه‌گیری گردید و برای محاسبه‌ی درصد انسداد چشمه از رابطه (۱) استفاده شد (Braithwaite *et al*., 2007):

$$PNO = 1 - \frac{PNA\ day\ n}{PNA\ day\ 0} \quad (۱)$$

PNO : درصد انسداد چشمه (درصد پوشش جلبک)

PNA day n : درصد بازشدگی چشمه در روز n ام

PNA day 0 : درصد بازشدگی چشمه در روز اول، قبل از فروبردن در آب

تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا چگونگی پیروی داده‌ها از توزیع نرمال با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بررسی و هر جا نیاز بود از تبدیل لگاریتمی در پایه ۱۰ برای نرمال‌سازی داده‌ها و تحقق فرضیات استفاده گردید. به منظور بررسی ارتباط بین تیمارها و زمان از آنالیز واریانس تک متغیره استفاده گردید و برای بررسی میزان اختلاف گروه‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. برای تعیین عوامل محیطی مؤثر بر میزان موجودات نشست‌کننده زیستی، شاخص شانون (H) و درصد پوشش جلبکی پانل‌های توری، ماتریس اطلاعات خصوصیات محیطی و گونه‌ای تهیه گردید. با استفاده از نرم افزار CANOCO، با توجه به اینکه اندازه طول گرادیان محاسبه شده کمتر از ۳ حاصل شد، از روش آنالیز رج‌بندی متعارف (RDA) جهت بررسی روابط بین داده‌های میزان موجودات نشست‌کننده زیستی و عوامل محیطی استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار Spss (نسخه ۱۶) و انجام DCA، RDA از نرم افزار CANOCO و افزونه‌های آن استفاده گردید.

نتایــج

نتایج این تحقیق نشان داد که موجودات نشست‌کننده زیستی موجود بر قفس‌های پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در منطقه‌ایوشان خرم‌آباد متعلق به خانواده جلبک سبز و دیاتوم بودند. بررسی‌های دقیق‌تر پانل شاهد نشان داد که از خانواده دیاتومه‌ها *Naviculaceae* و از جلبک سبز (*Tetrasporaceae*، *Chlamydomonadaceae*) شناسایی گردید. با توجه به جدول ۱ در پانل شاهد بین درصد فراوانی خانواده‌های *Naviculaceae* ، *Chlamydomonadaceae* در تمام فصول اختلاف معنی‌دار مشاهده نگردید (P>۰/۰۵). همچنین در پانل شاهد بین درصد فراوانی خانواده *Tetrasporaceae* در تمام فصول اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (P<۰/۰۵) و درصد فراوانی آن در فصل تابستان از سایر فصول بیشتر بود. همچنین در پانل شاهد وزن تر و درصد پوشش جلبکی در تمام فصول اختلاف معنی‌دار داشت. به عبارتی پانل شاهد فصل تابستان بیشترین میزان وزن تر و پوشش جلبکی را داشت. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان جلبک شناسایی شده به ترتیب مربوط به جلبک سبز *Tetrasporaceae* (۸۲/۲۴۲ درصد) در فصل تابستان و دیاتوم *Naviculaceae* (۲/۱۹۴ درصد) بود و در پانل تیمار نانو نقره در تمام فصول موجودات نشست‌کننده زیستی حضور نداشتند (جدول ۲).

در نمودار حاصل از رسته‌بندی RDA، پارامترهای موجودات نشست‌کننده زیستی و متغیرهای محیطی توسط پیکان نشان داده شده‌اند (شکل ۲). نوک پیکان جهت حداکثر تغییرات و طول آن بیانگر میزان تغییرات است. همه عوامل محیطی دارای طول پیکان بزرگ‌تری هستند و همبستگی بیشتری با پارامترهای موجودات نشست‌کننده زیستی دارند و تأثیر بیشتری بر

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-12-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.2.2.7]

تغییرات آن‌ها می‌گذارند. به عبارتی دیگر سه فاکتور محیطی اکسیژن محلول، اسیدیته و دما از فاکتورهای بسیار مؤثر در تغییرات میزان موجودات نشست‌کننده زیستی هستند.

بر اساس آنالیز واریانس یک متغیره در جدول ۳ مشخص گردید بین فصل و متغیرهای مورد بررسی شامل فراوانی جنس‌های *Naviculaceae*، *Tetrasporaceae* و *Chlamydomonadaceae*، وزن تر و درصد پوشش جلبکی در هر دو تیمار شاهد و نانو نقره اختلاف معنی‌دار وجود دارد (P<۰/۰۵). با توجه به اینکه در تیمار نانو نقره میزان تمام متغیرهای ذکر شده برابر صفر بود به عبارتی موجودات نشست کننده زیستی در پانل‌های فصلی تور نانو نقره رسوب نکردند، به همین دلیل بررسی اثر متغیرهای محیطی و دیگر موارد بر پانل شاهد صورت گرفته است.

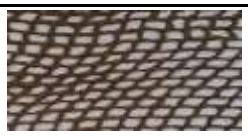
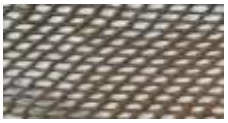
جدول ۱. درصد فراوانی خانواده‌های شناسایی شده، میانگین وزن تر و درصد پوشش جلبکی شاهد و تیمار نانو نقره± انحراف از معیار

	متغیرها	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
شاهد	*Naviculaceae* (٪)	۲/۶۱۹±۰/۳۰۴[a]	۲/۷۲۳±۰/۶۲۱[a]	۲/۲۷۵±۰/۴۶۰[a]	۲/۱۹۴±۰/۵۲۹[a]
تیمار نانو نقره	–	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
شاهد	*Tetrasporaceae* (٪)	۸۰/۰۷۹±۱/۴۵۱[bc]	۸۲/۲۴۲±۰/۷۳۷۸[a]	۷۸/۷۶۳±۰/۲۱۳[bc]	۷۷/۵۹۸±۱/۰۱۲[c]
تیمار نانونقره	–	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
شاهد	*Chlamydomonadaceae* (٪)	۱۷/۳۰۱±۱/۳۴۵[a]	۱۵/۰۳۳±۰/۲۹۸[a]	۱۸/۹۶۱±۰/۸۲۰[a]	۲۰/۲۰۷±۴/۴۱۷[a]
تیمار نانونقره	–	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
شاهد	وزن تر (گرم بر متر مربع)	۵۲۱/۲۲±۶۵/۹[b]	۶۹۴/۹۳±۷۶/۲۳[a]	۳۶۳/۵۷±۴۳/۱۹[c]	۹۱/۷±۲۵/۰۱[d]
تیمار نانونقره	–	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
شاهد	درصد پوشش جلبکی (٪)	۲۴/۶۶۷±۱/۵۲۷[b]	۶۴/۶۵۷±۲/۶۹۸[a]	۳/۰۶۶۷±۰/۴۰۴[c]	۰/۹۲۱±۰/۱۶۵[c]
تیمار نانونقره	–	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

حروف لاتین نشان از اختلاف معنی داری در هر سطر است.

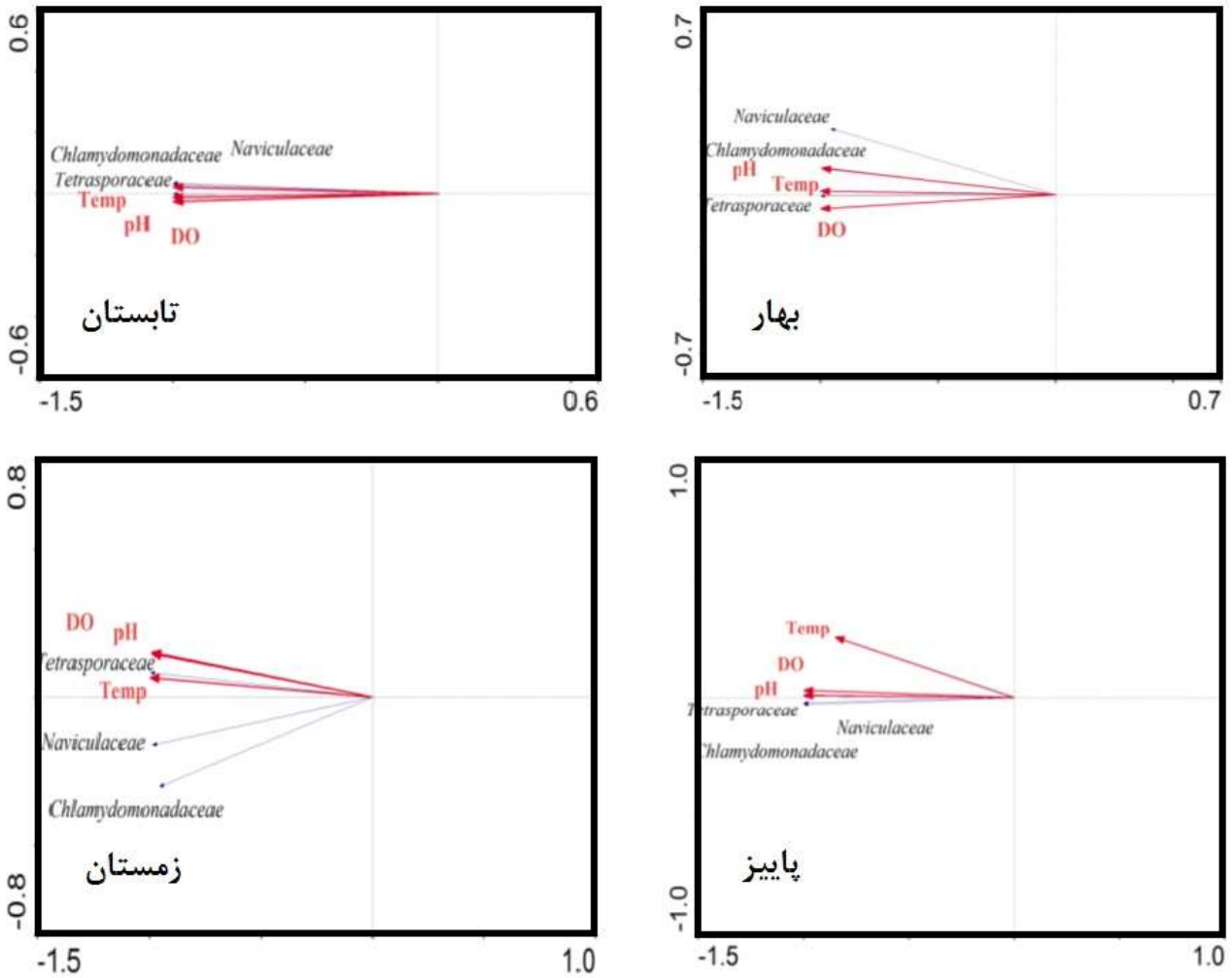
همچنین نتایج حاصل از همبستگی پیرسون در جدول ۴ بیان کننده‌ی این است که همبستگی قوی بین عوامل محیطی و فاکتورهای موجودات نشست‌کننده زیستی وجود دارد. از بین عوامل محیطی مورد بررسی اکسیژن محلول، اسیدیته و دما از جمله فاکتورهای مؤثر بر درصد فراوانی خانواده‌ی *Tetrasporaceae*، وزن تر و درصد پوشش جلبکی می‌باشند (P<۰/۰۵). بر اساس نتایج آزمون دانکن که در جدول ۱ مشخص شده است، میزان درصد فراوانی خانواده *Tetrasporaceae*، وزن تر و درصد پوشش جلبکی در فصل تابستان بیشتر از سایر فصول دیگر بود.

جدول ۲. تصویری از گسترش فصلی موجودات نشست کننده زیستی در پانل‌های شاهد و تیمار نانو نقره بر اساس زمان

	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
شاهد				
نانو نقره				

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-12-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.2.2.7]



شکل ۳. نمودار رسته بندی RDA میزان موجودات نشست‌کننده زیستی (فلش‌های مشکی) و عوامل محیطی (فلش‌های قرمز)

جدول ۳. تغییرات و اثرات متقابل متغیرهایی فراوانی جنس‌های *Naviculaceae*، *Tetrasporaceae* و *Chlamydomonadaceae*، وزن تر و درصد پوشش جلبکی در هر دو تیمار شاهد، نانو نقره و فصل

	مجموع مربعات	Df	میانگین مربعات	F	P
تیمارها شاهد و نانو نقره	۸۲۹۱۰۴۴/۷	۱	۸۲۹۱۰۴۴/۶	۲۸۱۷	۰/۰۰۰
فصل	۲۶۷۷۹۲/۷۶	۳	۸۹۲۶۴/۲۵۴	۳۰/۳۲۷	۰/۰۰۰
متغیرها	۱۱۷۴	۴	۲۹۳۴۱۳۲/۳	۹۹۶/۸۴۱	۰/۰۰۰
تیمارها * فصل	۲۶۷۷۹۲/۷۶۳	۳	۸۹۲۶۴/۲۵۴	۳۰/۳۲۷	۰/۰۰۰
تیمارها * متغیرها	۱۱۷۴	۴	۲۹۳۴۱۳۲/۳	۹۹۶/۸۴۱	۰/۰۰۰
فصل * متغیرها	۳۴۹۶۰۱/۸۶۲	۱۲	۲۹۱۳۳/۴۸۸	۹/۸۹۸	۰/۰۰۰
تیمارها* فصل* متغیرها	۳۴۹۶۰۱/۸۶۲	۱۲	۲۹۱۳۳/۴۸۸	۹/۸۹۸	۰/۰۰۰
خطا	۲۳۵۴۷۴/۵۴	۸۰	۲۹۴۳/۴۳۲		
کل	۴۱۵۳	۱۲۰			

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-12-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.2.2.7]

جدول ۴. همبستگی بین عوامل محیطی و میزان موجودات نشست‌کننده زیستی (درصد فراوانی خانواده‌های شناسایی شده، وزن تر و درصد پوشش جلبکی) قفس‌های پرورش ماهی سد ایوشان خرم‌آباد

عامل	DO	pH	دما	*Naviculaceae*	*Tetrasporaceae*	*Chlamydomonadaceae*	وزن تر	درصد پوشش جلبکی
DO	۱	۰/۸۰۵**	۰/۶۶۱*	۰/۰۵۵	۰/۷۷۲**	۰/۳۳۹	۰/۶۲۴*	۰/۵۰۴
pH		۱	۰/۸۷**	۰/۳۷۶	۰/۸۸۷**	۰/۴۹۹	۰/۸۴۴**	۰/۹۱۱**
دما			۱	۰/۴۸۴	۰/۸۲۳**	۰/۵۱۲	۰/۸۹۹**	۰/۸۴۹**
Naviculaceae				۱	۰/۶۳۱*	۰/۸۹۶**	۰/۳۸۷	۰/۵۴۸
Tetrasporaceae					۱	۰/۸۰۰**	۰/۷۷۰**	۰/۷۹۸**
Chlamydomonadaceae						۱	۰/۴۵۷	۰/۵۳۲
وزن تر							۱	۰/۸۵۴**
درصد پوشش جلبکی								۱

* نشان‌دهنده‌ی معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد.

بحث

بین تیمارهای نانو نقره و نمونه‌های شاهد مقاومت معنی‌داری نسبت به رسوب بیوفولینگ مشاهده شد به طوری که تورهای شاهد توسط بیوفولینگ‌ها به میزان ۸۰ درصد توسط خانواده جلبک سبز Tetrasporaceae مورد هجوم قرار گرفته بود و این میزان در فصل تابستان در پانل‌های شاهد بیشتر بود، در مطالعه Ashraf و همکاران (۲۰۱۸) بر روی تورهای پلی‌اتیلنی تیمار شده با پلی آنیلین و نانو اکسید مس در قفس‌های پرورش ماهی، مشخص شد بین رسوب بیوفولینگ پانل شاهد و تورهای تیمار شده با مواد مذکور در مدت زمان ۷ ماه اختلاف معنی‌دار وجود دارد و تورهای شاهد به میزان ۸۰ درصد مورد حمله فولرها قرار گرفتند. آن‌ها بیان کردند که نانو اکسید مس، سدی را در بالای ابرهای الکترونی پلی آنیلین ایجاد می‌کند و مانع تشکیل بیوفیلم می‌شود. در بررسی دیگر، Tommas و Ashraf (۲۰۱۷) در دریا و رودخانه تیمارهای نانو اکسید مس و نانو اکسید تیتانیوم به صورت مجزا و ترکیب باهم را بر تورهای جنس پلی آمید در مدت ۹۰ روز مورد بررسی قرار دادند. در محیط دریا نسبت به رسوب فولینگ مقاومت عالی داشت و اما در رودخانه تورهای پوشیده شده با مواد نانو کاملاً بدون رسوب موجودات نشست کننده بود. بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داد که مواد نانو، چسبندگی قوی بر تور نایلون داشتند؛ همچنین بیان کردند که مواد نانو، فضاهای زنجیره پلیمری پلی‌آمید را اشغال می‌کنند و با جفت الکترون‌های تک نیتروژن ارتباط قوی برقرار می‌کنند. از این‌رو یک مجموعه هماهنگ شکل می‌گیرد که مؤید بررسی حاضر می‌باشد. با توجه به نتایج بررسی حاضر (عدم رسوب فولینگ در تمام فصول) و تصویر SEM گرفته شده و مشاهده ذرات نانو نقره بر الیاف پلی‌آمید، نتیجه فوق استنباط می‌گردد. در بررسی Fitridge و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند در مناطق معتدله، تورها باید هر سال پوشش‌دهی شوند اما عملکرد پوشش رنگ مس به مدت ۶ ماه اثر حفاظتی خوبی به‌ویژه در فصل تابستان به همراه داشت. در این بررسی تورهای تیمار نانو نقره در مدت ۹۰ روز و در تمامی فصول هیچ‌گونه موجودات نشست‌کننده زیستی رسوب نکرد؛ که مؤید بررسی حاضر است.

وزن تر همراه با درصد پوشش جلبکی به دلیل تأثیر بر جریان آب و سلامت آبزیان در قفس، یکی از مهم‌ترین عواملی است که با بررسی تصاویر آنالیز شده در نرم افزار Image J مشخص شد که تفاوت‌های اندازه‌گیری شده در درصد پوشش جلبکی ناشی از حضور جلبک‌های سبز و دیاتوم ها است که در اثر روشنایی بیشتر در آب‌های سطحی اتفاق افتاده است. نور منبع انرژی رشد را فراهم کرده و برای موفقیت در تولید توده زیست جلبکی کاملاً ضروری است (Meseck *et al*., 2005; Isik *et al*., 2006). مقدار وزن تر در بررسی Dubost و همکاران (۱۹۹۶) در مدت ۲۱ روز به میزان ۱/۴ کیلوگرم بر متر مربع، در تحقیق Cronin و همکاران (۱۹۹۹) مقدار ۲/۲ کیلوگرم بر متر مربع، Lee و همکاران (۱۹۸۵) مقدار ۴/۵ کیلوگرم بر متر مربع، در بررسی Hodson و همکاران (۲۰۰۰) مقدار ۷/۸ کیلوگرم بر متر مربع ثبت گردیده است. در این بررسی میزان وزن تر در فصل

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-12-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.2.2.7]

تابستان به میزان ۶۹۴/۹۴ گرم بر متر مربع ثبت شده که مشابه بررسی‌های دیگران می‌باشد. در این بررسی دو گروه جلبک شناسایی شد که مشابه با بررسی Cronin و همکاران (۱۹۹۹) می‌باشد. در بررسی Braithwaite و همکاران (۲۰۰۷) مشخص شد که آنتی فولینگ مس حداقل ۱۵۰ روز اثر حفاظتی در مقابل رسوب موجودات نشست کننده زیستی در زمان تابستان/ پاییز دارد. کمترین میزان گسترش موجودات نشست‌کننده زیستی در فاصله زمانی ۶۲ الی ۱۴۰ روز (به‌ویژه ماه‌های نوامبر و دسامبر) است که به دلیل عوامل محیطی مثل دما و رشد حداقل در دمای پایین است.

یکی از عوامل محیطی مؤثر بر عملکرد جلبک‌ها، درجه حرارت آب به عنوان فاکتور کلیدی است زیرا میزان پایه و معمول تمام واکنش‌های شیمیایی در سلول‌های جلبکی در کنترل آن می‌باشد. همچنین دما از عواملی است که بر میزان رشد جلبک، اندازه سلول، ترکیب بیوشیمیایی و نیازهای غذایی جلبک تأثیر می‌گذارد (Juneja *et al*., 2013; Richmond, 1986) اسیدیته قلیایی در فصل تابستان نشان‌دهنده قلیایی بودن خاک و اراضی اطراف و وجود مقادیر بالای کربن معدنی و تغییر آن به سوی مقادیر بالاتر در ماه‌های گرم سال، بیانگر فعالیت‌های فتوسنتزی گیاهان آبزی و فیتوپلانکتون‌هاست (Wetzel, 2001). در این بررسی دما، اسیدیته و اکسیژن محلول مهم‌ترین فاکتورهایی بودند که بر فراوانی موجودات نشست‌کننده زیستی اثر داشت که با افزایش دما و به دنبال آن کاهش اکسیژن محلول، افزایش اسیدیته در تابستان افزایش فراوانی موجودات نشست کننده زیستی مشاهده می‌شود که به دلیل افزایش سوخت و ساز و رشد در برابر افزایش دما می‌باشد. Kagalou (۲۰۰۱) بیان نمود که در ماه‌های سرد سال با توجه به دمای پایین آب و رابطه مثبت میان فراوانی جلبک سبز و دما، تراکم پایینی از این شاخه دیده شده است. در بررسی Vahidi و همکاران (۲۰۱۰) بیان داشتند که همبستگی مثبت بین دما و اسیدیته با فراوانی جلبک سبز وجود دارد که همگی تأییدکننده بررسی حاضر می‌باشد. در بررسی Dubost و همکاران (۱۹۹۶) افزایش میزان موجودات نشست‌کننده زیستی در فصل تابستان گزارش شد که به عوامل محیطی مثل دما، گونه موجود در آب، حضور مواد مغذی، گردش آب و مدت غوطه‌وری بستگی دارد. در کل وجود موجودات نشست کننده زیستی بر قفس‌های پرورش آبزیان باعث افزایش حساسیت ماهی پرورشی به بیماری، انسداد چشمه‌ها و افزایش وزن تور، اثرات منفی بر ساختار و ثبات قفس می‌گردد (Bloecher and Floerl, 2020).

با توجه به اینکه عوامل محیطی به خصوص دما بر توسعه موجودات نشست کننده زیستی تأثیر دارند؛ در این بررسی مشخص شد بیشترین کنترل بر قفس‌ها باید در زمان فصل تابستان صورت بگیرد. در محل مورد مطالعه، تورها بر اساس روش شستشو هر سه ماه یک‌بار تمیز می‌شوند. با توجه به مطالعه انجام شده به صورت فصلی، استفاده از پوشش نانو نقره می‌تواند به مدت ۳ ماه اثر حفاظتی از رسوب موجودات نشست‌کننده زیستی داشته باشد. ضرورت استفاده از روشی که هزینه و استرس بر ماهی را کاهش دهد، سبب ایجاد موضوعات مورد بررسی در آینده می‌شود. به عبارتی مطالعه تأثیر پوشش نانو نقره در فاصله زمانی بیشتر از ۳ ماه و نیز تجزیه و تحلیل اثرات زیست‌محیطی آن، شامل اندازه‌گیری میزان نشت نانو نقره به محیط می‌تواند موضوعات مورد بررسی در آینده باشد.

منابـع

Alishahi, M., Pashmfrosh, M., Enayati, A., Dadar, M., Karamifar, M. 2011. Comparison of the antibacterial effect of some nanoparticles against the pathogenic bacterium Aeromonas hydrophila and Yersinia rockeri. First congress of nanoparticles. Ahvaz. Faculty of Veterinary Medicine. 76-78. (in Persian)

Ashraf, M.A., Peng, W., Zare, Y., Rhee, K.Y. 2018. Effects of size and aggregation/agglomeration of nanoparticles on the interfacial/interphase properties and tensile strength of polymer nanocomposites. Nanoscale Research Letters. 13(1): 1-7.

Shahbazi, M., Sourinejad, A., Gorgin, S., Mirmohammad Sadeghi, G., Yosefzadi, Y. 2019. Study Copper Oxide and Tin Chloride Dihydrate Performance in Reducing Cage Biofouling in Fish Cages. Journal of Aquatic Ecology. 8(3): 28-35. (in Persian)

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-12-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.2.2.7]

Mardani, H., Shabani, A., Gorgin, S., Ghare Aghaji, A., Aghilinejad, M. 2011. The effects of tinchloride dehydrate and sodium dithiocarbamate as two antifoulings in captive environment of sturgeon fish culture in the Gorgan gulf. Master's Thesis. Gorgan University of Agriculture and Natural Resources. 66 p. (in Persian)

Bloecher, N., Olsen, Y., Guenther, J. 2013. Variability of biofouling communities on fish cage nets: A 1-year field study at a Norwegian salmon farm. Aquaculture. 416: 302-309.

Bloecher, N., Floerl, O. 2020. Efficacy testing of novel antifouling coatings for pen nets in aquaculture: How good are alternatives to traditional copper coatings?. Aquaculture. 30 p.

Braithwaite, R.A., Carracosa, M.C., McEvoy, L.A. 2007. Biofouling of salmon cage netting and the efficacy of a typical copper-based antifoulant. Aquaculture. 262: 219-226.

Braithwaite, R.A., McEvoy, L.A. 2004. Marine biofouling on fish farms and its remediation. Advances in Marine Biology. 47: 215-252.

Cronin, E.R., Cheshire, A.C., Clarke, S.M., Melville, A.J. 1999. An investigation into the composition, biomass and oxygen budget of the fouling community on a tuna aquaculture farm. Biofouling. 13: 279-299.

Dubost, N., Masson, G., Moreteau, J.C. 1996. Temperate freshwater fouling on floating net cages: method of evaluation, model and composition. Aquaculture. 143: 303-318.

Fitridge, I., Dempster, T., Guenther, J., de Nys, R. 2012. The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. Biofouling. 28(7): 649-669.

Hadfield, M.G. 1986. Settlement and recruitment of marine invertebrates: a perspective and some proposals. Bulletin of Marine Science. 39(2): 418-425.

Heuser, M., Rivera, C., Nunez, C., Cardenas, G. 2014. Chitosan-copper paont type as antifouling, Journal of the Chilean Chemical Society. 54(4): 448-453.

Hodson, S.L., Burke, C.M., Bissett, A.P. 2000. Biofouling of fish cage netting: the efficacy of a silicone coating and the effect of netting colour. Aquaculture. 184: 277-290.

Isik, O., Hizaric, L., Sayin, S., Gokpinar, S., Durmaz, Y. 2006. The effect of the environmental factors on the vitamin C (ascorbic acid), E (alpha-tocopherol), carotene contents and the fatty acid composition of *Spirulina platensis*. Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 23: 257-261.

Lee, H.B., Lim, L.C., Cheong, L. 1985. Observations on the use of antifouling paint in netcage fish farming in Singapore, Singapore. Journal of Primary Industries. 13: 1-12.

John, D.M., Whitton, B.A., Brook, A.J. 2002. The freshwater algal flora of the British Isies_ An identification guide to freshwater and terrestrial algae. The Natural History Museum Cambridge.

Juneja, A., Ceballos, R.S., Murthy, G. 2013. Effects of environmental factors and nutrient availability on the biochemical composition of algae for biofuels production. A Review. Energies. 6: 4607-4638.

Kassah, J.E. 2012. Development of biofouling on salmon cage nets and the effects of anti-fouling treatments on the survival of the hydroid. Master's thesis. Department of Biology. Norwegian University of Science and Technology. 65 p. (Ectopleura larynx)(Ellis and Solander, 1786).

Kon-ya, K., Shimidzu, N., Adachi, K., Miki, W. 1994. 2, 5, 6-Tribromo-1-methylgramine, an Antifouling Substance from the Marine bryozoan zoobotryon pellucidum. Fisheries Science. 60(6): 773-775.

Meseck, S.L., Alix, J.H., Gary, H., Wikfors, G.H. 2005. Photoperiod and light intensity effects on growth and utilization of nutrients by the aquaculture feed microalga *Tetraselmis chui*. Aquaculture. 246: 393-404.

Mohamed, E.N.H.H. 2012. Studies on the manufacture of marine nano antifouling material. PhD thesis. Faculty of Chimical Engineering. Cairo University Giza. 25p.

Richmond, A. 1986. Cell response to environmental factors. In: Richmond, A. (ed.). Hand-book of Microalgal Mass Culture. CRC Press, Boca Raton. pp. 69-99.

Sen, K., Erdogan, U.H., Cavas, L. 2019. Prevention of biofouling on aquaculture nets with eco-friendly antifouling paint formulation. Coloration Technology. 136(2): 120-129.

Sonneman, J.A., Entwisle, T.J., Lewis, S.H. 1997. Freshwater Algae in Australia. Sainty and Associated. Australia. 70 p.

Thomas, S.N., Ashraf, P.M. 2017. Nano sized copper and titanium oxide incorporated antifouling coated polyamide netting for cage culture. Fostering Innovations in Fisheries and Aquaculture:

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-12-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.2.2.7]

Focus on Sustainability and Safety – Book of Abstracts. 11th Indian Fisheries and Aquaculture Forum. ICAR-Central Institute of Fisheries Technology, Kochi and Asian Fisheries Society, Indian Branch. Kochi, India. pp. 256-257.

Vahidi, H., Kamalinejad, M., Sedaghati, N. 2010. Antimicrobial properties of *Croccus sativus* L. Iranian Journal of Pharmaceutical Research. 1: 33-35.

Wetzel, R.G. 2001. Limnology: Lake and River Ecosystems. 3 nd edition. Academic Press, San Diego. 841 p.

Kagalou, L., Tsimarakis, G.L., Paschos, L. 2001. Water chemistry and biology in a shallow lake. Journal of Global Nest. Greece 2: 58-94.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-12-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.2.2.7]