بررسی ارتباط پدیده سفید شدگی با خصوصیات مورفولوژی و پویایی جمعیت جلبک همزیست با مرجان سخت *Acropora downing.i* Wallace, 1999 در جزیره قشم

مهشید اولادی کلاریجانی[۱]
محمدرضا شکری[۲*]
حسن رجبی مهام[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زیست‌شناسی و زیست‌فناوری دریا و آبزیان، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. استادیار، گروه زیست‌شناسی و زیست‌فناوری دریا و آبزیان، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. استادیار، گروه علوم و زیست‌فناوری جانوری، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

***مسئول مکاتبات:**
M_oladikelarijani@sbu.ac.ir

کد مقاله: ۱۳۹۷۰۲۰۴۵۴
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۱۲
این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

چکیده

در این مطالعه وجود تنش در مرجان‌های گونه *Acropora downingi* Wallace, 1999 با مقایسه خصوصیات مورفولوژیک و پویایی جمعیت جلبک همزیست آن‌ها (زوگزانتلا) در کلونی‌های نرمال و سفید شده در جزیره قشم موردبررسی قرار گرفت. کلونی‌های نرمال و سفید شده مرجان در پاییز ۱۳۹۴ طی عملیات غواصی از جنوب شرقی جزیره قشم جمع‌آوری شدند. شکل‌های مختلف زوگزانتلا (سالم، رنگ‌پریده، تخریب‌شده و در حال تقسیم) زیر میکروسکوپ نوری موردبررسی قرار گرفت و توسط لام هموسیتومتر شمارش گردید. همچنین غلظت رنگ‌دانه‌های کلروفیل α و c توسط روش اسپکتروفتومتری به دست آمد و میزان تمامی متغیرها بین کلونی‌های سالم مرجانی و کلونی‌هایی که در اثر تنش سفید شده بودند، مقایسه شد. نتایج نشان داد که تراکم زوگزانتلا به‌طورکلی در کلونی مرجانی سفید شده ۳۲ درصد نسبت به کلونی نرمال کاهش‌یافته است. در این میان تراکم زوگزانتلاهای سالم ۲۵ درصد در کلونی تحت تنش کاهش‌یافته و برعکس به‌طور معناداری تراکم زوگزانتلاهای رنگ‌پریده ($t=7.03, P=0.00$) و تخریب‌شده ($t=3.56, P=0.02$) در کلونی مرجان تحت تنش نسبت به کلونی سالم افزایش داشته است. همچنین ضریب میتوزی در کلونی‌های مرجانی سفید شده افزایش معناداری نسبت به کلونی‌های سالم داشت ($z=-3/06, P=0.002$). هرچند اختلاف معناداری در میزان رنگ‌دانه‌های کلروفیل α ($t=0.49, P=0.63$) و کلروفیل c ($t=0.13, P=0.89$) میان کلونی‌های مرجانی سالم و سفید شده مشاهده نشد. یافته‌های این تحقیق نشان دادند که مشاهده عینی سفید شدگی می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای تشخیص بیشینه آستانه تحمل مرجان‌ها به کار آید و همچنین بررسی پویایی جمعیت اشکال مورفولوژیک مختلف زوگزانتلا می‌تواند شاخصی برای تشخیص آغاز تنش میزبان باشد. بنابراین ممکن است مرجان‌های جزیره قشم تحت تنش باشند و بسیاری از آن‌ها، هرچند با ظاهر نرمال، در مراحل ابتدایی و میانی سفید شدگی باشند.

واژگان کلیدی: زوگزانتلا، سفید شدگی، ضریب میتوزی، رنگ‌دانه، خلیج‌فارس، جزیره قشم.

مقدمه

با افزایش گرمایش جهانی و گسترش فعالیت‌های انسانی، سلامت اکوسیستم‌های ساحلی به‌شدت در معرض تهدید است (Mumby and Steneck, 2008). آبسنگ‌های مرجانی باوجود دارا بودن بالاترین میزان تولید در میان اکوسیستم‌های ساحلی، دارای نسبت پایینی از بافت زنده به اسکلت کربنات کلسیمی هستند و درنتیجه نسبت به تنش‌های محیطی طبیعی و انسانی، بسیار آسیب‌پذیر می‌باشند (Birkeland, 1997). یکی از مهم‌ترین عواقب تغییرات آب و هوایی، که جدی‌ترین تهدید برای سلامت و بقای آبسنگ‌های مرجانی محسوب می‌شود، پدیده سفید شدگی می‌باشد. سفید شدگی پدیده‌ای است که در آن بافت زنده مرجان در اثر از دست دادن جلبک همزیست و یا رنگ‌دانه‌ی فتوسنتزی آن، نیمه شفاف و مات می‌شود (Brown, 1997)، که باعث می‌شود اسکلت آهکی آن نمایان شده (Berkelmans and Van Oppen,

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-08]

2006) و بنابراین به رنگ سفید دیده شود. این جلبک‌های تک‌سلولی که متعلق به جنس *Symbiodinium* می‌باشند و به‌اصطلاح غیرتاکسونومیک زوگزانتلا (Zooxanthellae) خوانده می‌شوند، از پر تولیدترین جلبک‌های فتوسنتز کننده در اکوسیستم‌های گرمسیری به شمار می‌روند (Trench, 1993).

یکی از راه‌های تخمین میزان سلامت آبسنگ‌های مرجانی، بررسی تراکم و توانایی فتوسنتز زوگزانتلا می‌باشد (Fitt *et al.*, 2000). در شرایط نرمال، تراکم زوگزانتلا در واحد سطح مرجان‌های هرماتیپیک در دامنه $۱ - ۴ \times ۱۰^{۶}$ متغیر است (Chen *et al.*, 2005; Drew, 1972 ; Fagoonee *et al.*, 1999; Porter *et al.*, 1984). مرجان‌های سخت در دمای بسیار بالا یا بسیار پایین، نرخ بیرون راندن زوگزانتلا از بافت خود را بالا می‌برند (Yamazato, 1981Brown *et al.*, 1995 ;). مطالعات نشان می‌دهند که هرچه تراکم زوگزانتلا در بافت میزبان کم‌تر و ضریب میتوزی بیش‌تر باشد، مرگ آن میزبان در اثر تنش حرارتی محتمل‌تر است (Stimson *et al.*, 2002). زوگزانتلا به شکل‌های متنوعی قابل‌مشاهده است (Mise and Hidaka, 2003; Reimer *et al.*, 2007). برخی سالم، برخی رنگ‌پریده (با از دست دادن رنگ‌دانه) و برخی تخریب‌شده (آسیب‌دیده در اثر تنش) هستند و نسبت این حالات مورفولوژیک، می‌تواند بیان‌کننده میزان سلامت کمپلکس مرجان–زوگزانتلا باشد (Kmroki and Van Woesik, 1999). تخریب شدن زوگزانتلا در بافت مرجان، ازجمله اثرات افزایش حرارت و نور است که منجر به کاهش تعداد زوگزانتلا سالم و کارآمد می‌شود (Brown *et al.*, 1995). همچنین از دست رفتن رنگ‌دانه‌های دخیل در فتوسنتز، منجر به کاهش در میزان فتوسنتز، کاهش در تولید مواد غذایی مرجان و درنتیجه مرگ میزبان می‌شود (Salih *et al.*, 2000).

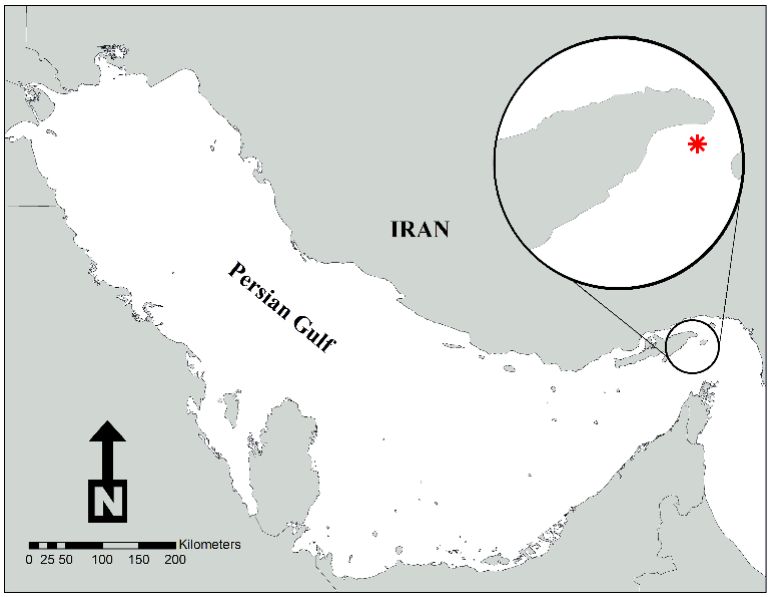
خلیج‌فارس به دلیل قرارگیری در ناحیه نیمه گرمسیری و احاطه شدن توسط خشکی‌ها، محیطی با شرایط حاد برای موجودات دریایی، به‌خصوص آبسنگ‌های مرجانی، به شمار می‌رود (Fatemi and Shokri, 2001). جزیره قشم، بزرگ‌ترین جزیره این پهنه آبی، با قرارگیری در تنگه هرمز، محل تردد کشتی‌های بسیاری است و بنابراین آبسنگ‌های محدود این جزیره، به‌شدت در معرض انواع تنش‌های محیطی ازجمله آلودگی می‌باشند (Kavousi *et al.*, 2011). درنتیجه مشخص کردن وضعیت سلامت آبسنگ‌های مرجانی این منطقه و همچنین بررسی اثر عوامل تنش‌زا بر روی مرجان‌ها و موجودات هم‌زیست آن‌ها، برای حفاظت از این اکوسیستم ارزشمند ضروری به نظر می‌رسد. پیش‌ازاین، مطالعات اندکی بر روی خصوصیات جمعیتی جلبک‌های جنس *Symbiodinium* در شمال خلیج‌فارس صورت گرفته است (Seyfabadi *et al.*, 2011; افشاریانی و همکاران، ۱۳۹۳; بلوکی و همکاران، ۱۳۹۲; وارسته و همکاران، ۱۳۹۲). در اکثر این پژوهش‌ها به تأثیر فعالیت‌ها و آلودگی‌های انسانی بر پویایی جمعیت زوگزانتلا پرداخته‌شده است. وارسته و همکاران (۱۳۹۲) علت کاهش تراکم و افزایش ضریب میتوزی زوگزانتلا در جزیره خارکو نسبت به جزیره لارک را مربوط به فعالیت‌های پتروشیمی در جزیره خارکو عنوان کرده‌اند. بلوکی و همکاران (۱۳۹۲) نیز کاهش قابل‌توجه تراکم زوگزانتلا در شمال خلیج نایبند نسبت به ناحیه جنوبی آن را به تنش‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی (به دلیل نزدیکی شمال نایبند به صنایع پتروشیمی پارس جنوبی) نسبت داده‌اند.

در جنوب شرقی جزیره قشم، آبسنگ‌های مرجانی در نواحی کم‌عمقی حضور دارند و درنتیجه به‌شدت در معرض دماهای بالا و نور شدید در مواقع جزر شدید هستند (Kavousi *et al.*, 2011). مشاهده کلونی‌های سفید شده مرجان‌های جنس *Acropora* در این آبسنگ‌های کم‌عمق، خبر از حاد بودن این شرایط محیطی برای مرجان‌های این ناحیه می‌دهد. مرجان‌های شاخه‌ای، از آسیب‌پذیرترین مرجان‌ها نسبت به تنش حرارتی به شمار می‌آیند (Loya *et al.*, 2001; McClanahan, 2004Brown and Suharsono, 1990 ;) و مرجان‌های گونه موردمطالعه از این قاعده مستثنی نیستند. بنابراین در مطالعه حاضر سعی شد با بررسی و مقایسه تراکم و توانایی فتوسنتز جلبک همزیست با مرجان در کلونی‌های سالم و سفید شده مرجان گونه *Acropora downingi*، به برخی از ویژگی‌های پویایی جمعیت جلبک‌های همزیست با این مرجان پرداخته شود.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-08]

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری توسط عملیات غواصی در اعماق ۳ تا ۵ متری جنوب شرقی جزیره قشم (26°55'41.1"N, 56°16'00.6"E) در مهرماه ۱۳۹۴ انجام شد (شکل ۱). در طی این عملیات، تعداد ۳۰ قطعه مرجان (۱۵ قطعه از کلونی‌های سالم و ۱۵ قطعه از کلونی‌های سفید شده یا نیمه سفید شده) گونه *A. downingi* جمع‌آوری شدند. شناسایی مرجان‌ها بر اساس خصوصیات مورفولوژیک توصیف‌شده در Riegl و Purkis (۲۰۱۲) انجام شد. نمونه‌ها بلافاصله در ظروف حاوی یخ قرار داده‌شده و به آزمایشگاه انتقال داده شدند.



شکل ۱: نقشه محل موردمطالعه؛ جزیره قشم، خلیج‌فارس.

مکان دقیق نمونه‌برداری توسط ستاره قرمز مشخص‌شده است.

جهت جداسازی زوگزانتلا، قطعه‌ای از هر مرجان توسط دستگاه شست‌وشو با هوا (Airbrush) حاوی آب دریای فیلتر شده، به‌طور کامل شسته. پس از همگن کردن محلول حاصل به‌وسیله دستگاه هموژنایزر، از هر نمونه ۱۵ میلی‌لیتر برای سنجش رنگ‌دانه و ۲ میلی‌لیتر برای شمارش جدا شد. به‌منظور شمارش زوگزانتلا یک قطره فرمالین ۳۸ درصد برای فیکس کردن زوگزانتلا به محلول اضافه شد. سپس ۱۰ میکرو لیتر از این محلول دریکی از چهارخانه گوشه‌ای لام هموسیتومتر (با حجم 10^{-4} سانتی‌متر مکعب) ریخته شد و با ۸ تکرار برای هر نمونه، تعداد زوگزانتلاهای سالم، سفید شده و تخریب‌شده به‌وسیله میکروسکوپ نوری (با بزرگنمایی ۴۰×) شمرده شد. برای به دست آوردن شاخص میتوزی، در طی شمارش کل زوگزانتلا، آن‌هایی که در حال تقسیم میتوز بودند و شیار تقسیم در آن‌ها به‌وضوح دیده می‌شد نیز مورد شمارش قرار گرفتند و به‌صورت درصدی از تعداد کل زوگزانتلا شمارش‌شده، گزارش شدند (Brown and Suharsono, 1990). با توجه به این‌که تراکم زوگزانتلا در واحد سطح مرجان محاسبه می‌شود، مساحت مرجان با روش آلومینیوم فویل (Marsh and James, 1970) محاسبه شد. در این روش ۱۰ فویل آلومینیومی به شکل مربع در ابعاد ۱×۱، ۲×۲ ... تا ۱۰×۱۰ وزن شده و نمودار و سپس فرمول رابطه مساحت و وزن به دست آمد. در ادامه فویلی که به دور اسکلت مرجان شسته شده پیچیده شده بود، وزن شد و با استفاده از فرمول به‌دست‌آمده مساحت هریک محاسبه شد.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-08]

برای محاسبه غلظت رنگ‌دانه‌های غالب موجود در زوگزانتلا از روش اسپکتروفوتومتری (Nakamura *et al.*, 2005) استفاده شد. میزان جذب در طول‌موج‌های ۶۳۰ و ۶۶۴ با سه بار تکرار برای هر نمونه خوانده شد و باکم کردن میزان جذب در طول‌موج ۷۵۰ (Arar, 1997)، میزان متوسط غلظت کلروفیل α و کلروفیل c برای هر نمونه از طریق فرمول‌های زیر محاسبه شد:

$$\text{Chl-}\alpha = 11.85 \times [(Abs^{*}\ 664\ nm - Abs\ 750\ nm) - 0.08 \times (Abs\ 630\ nm - Abs\ 750\ nm)]$$

$$\text{Chl-c} = 24.52 \times [(Abs\ 630\ nm - Abs\ 750\ nm) - 1.67 \times (Abs\ 664\ nm - Abs\ 750\ nm)]$$

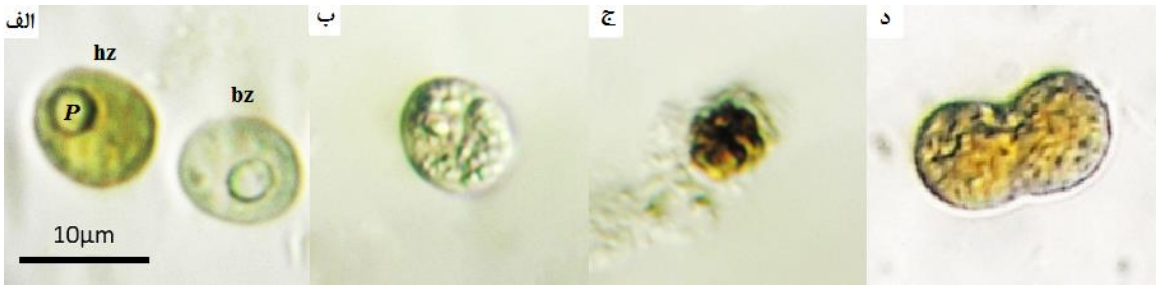
Abs^{*} به معنای جذب در طول‌موج موردنظر است.

سپس با در نظر گرفتن تعداد زوگزانتلا در حجم اولیه شسته شده و توسط یک تناسب ساده میزان رنگ‌دانه‌ها در واحد زوگزانتلا و در واحد حجم محاسبه شد.

جهت انجام آنالیزهای آماری، ابتدا نرمال بودن کلیه متغیرها به‌وسیله آزمون Shapiro-Wilk در نرم‌افزار SPSS ویرایش بیست و دوم موردبررسی قرار گرفت. با توجه به این‌که تنها داده‌های مربوط به تراکم کل و رنگ‌دانه‌ها نرمال بودند، تفاوت در این خصوصیات توسط آزمون t-test مستقل و تفاوت در ضریب میتوزی و میزان زوگزانتلاهای سفید و تخریب‌شده و توسط آزمون Mann-Whitney U موردبررسی قرار گرفت.

نتایج

در تمامی کلونی‌های مرجانی موردبررسی، هر سه شکل زوگزانتلا (سالم، رنگ‌پریده و تخریب‌شده) به نسبت‌های مختلف دیده شدند (شکل ۲- الف، ب و ج). زوگزانتلاهای سالم به شکل کاملاً کروی و رنگ سبز تا قهوه‌ای دیده شدند و جسم پیرنوئید (Pyrenoid) به‌وضوح در آن‌ها مشخص بود. زوگزانتلا رنگ‌پریده به دو شکل دیده می‌شود. یا محتویات سلولی سالم می‌ماند و تنها رنگ‌دانه‌ها از بین می‌روند (شکل ۲- الف؛ bz) و یا علاوه بر تخریب رنگ‌دانه‌ها، محتویات سلولی نیز متلاشی‌شده و سیتوپلاسم پر از واکوئل دیده می‌شود (شکل ۲- ب). در حالت دوم احتمالاً زوگزانتلا در حال تخریب شدن بوده و سپس در اثر مکانیسم نامعلومی، رنگ‌دانه‌های خود را ازدست‌داده است. زوگزانتلا تخریب‌شده کوچک‌تر و تیره‌تر از باقی سلول‌هاست و محتویات سلول ازجمله جسم پیرنوئید از بین رفته و قابل‌تشخیص نیستند.



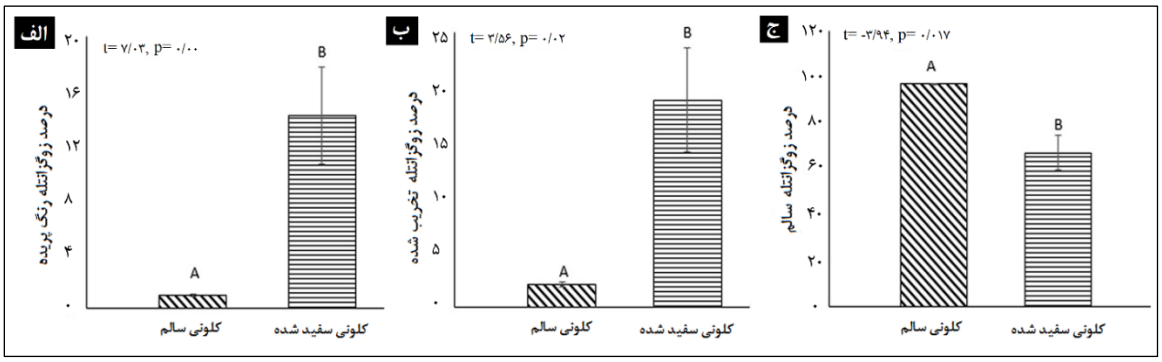
شکل ۲: اشکال مختلف *Symbiodinium* در کلونی‌های سالم و سفید شده مرجان *Acropora downingi*.

الف) زوگزانتلا سالم (hz)؛ و زوگزانتلا رنگ‌پریده (bz) ب) زوگزانتلا اجزای سلولی آن در حال متلاشی شدن است. ج) زوگزانتلا تخریب‌شده د) زوگزانتلا در اواخر تقسیم میتوز (جزیره قشم، ۱۳۹۴)

بر اساس آزمون Mann-Whitney U با ۹۵ اطمینان، درصد زوگزانتلاهای رنگ‌پریده و تخریب‌شده به‌طور معناداری در کلونی‌های سفید شده مرجانی بیش‌تر از کلونی‌های سالم بود و بالعکس درصد زوگزانتلا سالم در این کلونی‌ها کاهش معناداری نسبت به کلونی‌های سالم داشت (شکل

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-08]

۳-الف و ب). در کلونی‌های مرجانی سفید شده حدود ۲۰ درصد از زوگزانتلاها تخریب‌شده بودند (شکل ۳-ب). درصد جلبک‌های سالم در کلونی نرمال و سفید شده مرجانی به ترتیب ۹۵ و ۷۰ درصد تخمین زده شد (شکل ۳-ج).



شکل ۳: مقایسه درصد زوگزانتلا (الف) رنگ‌پریده؛ (ب) تخریب‌شده؛ (ج) سالم از میان کلونی‌های سالم و سفید شده مرجان *Acropora downingi*.

حروف A و B نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار هستند. بارها نمایانگر انحراف معیار هستند (جزیره قشم، ۱۳۹۴).

این در حالی است که نتایج آزمون t-test مستقل با ۹۵ درصد اطمینان نشان داد که کلونی‌های موردبررسی ازلحاظ میزان کل زوگزانتلا اختلاف معناداری با یکدیگر ندارند (t=1.94, P=0.1). میانگین تعداد کل زوگزانتلا در واحد سطح در کلونی‌های مرجانی سالم برابر ۶۷۰۳۸۶ ± ۷۱۰۶۹۹/۴ و در کلونی‌های مرجانی سفید شده برابر ۲۵۷۲۰۴/۴ ± ۴۸۶۷۴۲/۷ سلول در سانتی‌متر مربع به دست آمد.

همچنین زوگزانتلاهای در حال تقسیم نیز به نسبت‌های مختلف در تمامی نمونه‌ها مشاهده شد (شکل ۲- د). نتایج آزمون Mann-Whitney U با ۹۵ درصد اطمینان نشان داد که میزان شاخص میتوزی زوگزانتلاهای همزیست در کلونی‌های سالم به‌طور معناداری از زوگزانتلاهای همزیست در کلونی‌های سفید شده کم‌تر است (z=-3/06, P=0.002). میانگین درصد سلول‌های در حال تقسیم در کلونی سالم برابر ۰/۱۶ ± ۰/۵۴ و در کلونی سفید شده برابر ۰/۶۴ ± ۲/۳۴ محاسبه شد.

میانگین غلظت رنگ‌دانه‌های غالب در کلونی‌های مرجانی بررسی‌شده در جدول ۱ آورده شده است. نتایج آزمون t-test مستقل با ۹۵ درصد اطمینان اختلاف معناداری در میزان کلروفیل α (t=0.49, P=0.63) و کلروفیل c (t=0.13, P=0.89) در واحد سطح بین کلونی‌های سالم و سفید شده مرجانی نشان نداد.

جدول ۱: میانگین غلظت (برحسب پیکوگرم بر سانتی‌متر مکعب) به ازای هر زوگزانتلا و انحراف معیار (SD) رنگ‌دانه‌های غالب زوگزانتلا در کلونی‌های سالم و سفید شده (جزیره قشم، ۱۳۹٤).

	نوع رنگ‌دانه	تعداد نمونه	تعداد تکرار	میانگین غلظت	SD
کلونی مرجانی سالم	کلروفیل α	۱۵	۳	۲/۵۴	۲/۶
	کلروفیل c	۱۵	۳	۱/۱۸	۱/۱۸
کلونی مرجانی سفید شده	کلروفیل α	۱۵	۳	۳/۳	۲/۳
	کلروفیل c	۱۵	۳	۱/۹۱	۱/۰۶

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-08]

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه زوگزانتلا در اشکال مختلف (سالم، رنگ‌پریده، تخریب‌شده و در حال تقسیم) در کلونی‌های سالم و سفید شده مرجانی مشاهده شد. این اشکال مختلف درنتیجه تأثیر عوامل محیطی بر موجود ایجاد می‌شوند. پیش‌تر نیز در مطالعات مختلفی که در آب‌های اکیناوای ژاپن صورت گرفت، اثرات تنش‌های نوری و حرارتی بر مورفولوژی زوگزانتلا موردبررسی قرارگرفته است و اشکال تخریب‌شده و رنگ‌پریده در کنار زوگزانتلای سالم مشاهده شدند (Kmroki and Van Woesik, 1999; Mise and Hidaka, 2003).

مطالعه حاضر حاکی از کاهش تراکم زوگزانتلا سالم، افزایش تراکم زوگزانتلا رنگ‌پریده و تخریب‌شده و افزایش ضریب میتوزی در کلونی‌های مرجانی سفید شده نسبت به کلونی‌های سالم در جزیره قشم بود. Reimer و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای که در آب‌های جنوبی ژاپن انجام دادند، کلونی‌هایی که میزان زوگزانتلا سالم آن‌ها ۵ درصد نسبت به سایر کلونی‌ها کاهش‌یافته بود، آسیب‌دیده در اثر تنش محیطی عنوان کردند. در این پژوهش کاهش ۲۵ درصدی زوگزانتلای سالم در میان کلونی‌های مرجانی سفید شده بررسی‌شده احتمالاً بیانگر شرایط نامناسب محیط‌زیست مرجان‌های جزیره قشم می‌باشد. تراکم زوگزانتلا تخریب‌شده در کلونی مرجانی سفید شده تقریباً ۴ برابر میزان این نوع زوگزانتلا در کلونی سالم بود، چراکه در شرایط نرمال، هنگامی‌که کلونی تحت تنش نیست، جلبک‌های تخریب‌شده از سلول‌های مرجانی بیرون رانده می‌شوند، درصورتی‌که در شرایط تنش‌زا این نوع جلبک‌ها در بافت مرجان تجمع می‌یابند (Suzuki *et al.*, 2015). هنگامی‌که زوگزانتلا در مواجه با تنش نوری و حرارتی قرار می‌گیرد، تیلاکوئیدهای آن تخریب می‌شوند و این واقعه به تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌انجامد که درنهایت موجب اکسیداسیون چربی‌ها می‌شود و باعث قطعه‌قطعه شدن و جمع‌آوری کلروپلاست می‌گردد (Salih *et al.*, 1998; Tchernov *et al.*, 2004). بنابراین مشاهده زوگزانتلا تخریب‌شده و افزایش معنادار تعداد آن‌ها در کلونی‌های تنش دیده مناطق کم‌عمق جزیره قشم قابل توجیه است. همچنین می‌توان افزایش تراکم زوگزانتلاهای تخریب‌شده در مرجان‌های تحت تنش را به افزایش تغذیه این مرجان‌ها از جلبک همزیستشان نسبت داد (Jones and Yellowlees, 1997). علت افزایش معنادار ضریب میتوزی در کلونی‌های مرجانی تحت تنش را می‌توان تلاش میزبان برای جبران کاهش تراکم و تنظیم میزان جمعیت همزیست خود از طریق بالا بردن تقسیم سلولی عنوان کرد. همچنین ایجاد اختلال در آنزیم‌های مؤثر در تقسیم سلولی در اثر تنش محیطی، می‌تواند در میزان تقسیم سلولی مؤثر باشد. مثلاً Bythell و همکاران (۱۹۹۵) در مطالعه‌ای نشان دادند که تنش دمایی موجب افزایش یک پروتئین ۳۳ کیلو دالتونی که احتمالاً در تقسیم DNA دخالت دارد، می‌شود.

پیش‌ازاین میانگین تراکم زوگزانتلا در واحد سطح در یک کلونی نرمال مرجانی بین ۱ تا ۴ میلیون تخمین زده‌شده بود (Brown *et al.*, 1999; Chen *et al.*, 2005; Fagoonee *et al.*, 1999). این در حالی است که در مطالعه حاضر تراکم زوگزانتلا در کلونی‌های مرجانی نرمال پایین‌تر از این مقدار بوده است. مطالعه Fitt و همکاران (۲۰۰۰) نشان می‌دهد که سفید شدگی زمانی با چشم غیرمسلح قابل‌تشخیص است که مرجان نیمی از جلبک‌های همزیست خود را ازدست‌داده باشد، درحالی‌که در این مطالعه بین کلونی‌های سالم و سفید شده تنها ۳۲ درصد کاهش مشاهده‌شده است. بر اساس این مشاهدات شاید بتوان نتیجه گرفت که کلونی‌هایی که بر اساس رنگ ظاهری سالم در نظر گرفته می‌شوند، هم‌اکنون تعداد زیادی از جلبک‌های همزیست خود را در اثر تنش محیطی ازدست‌داده‌اند. پیش‌ازاین نیز کاهش تراکم زوگزانتلا در اثر افزایش دمای فصلی در چندی از مطالعات گزارش‌شده بود (Fagoonee *et al.*, 1999; Fitt *et al.*, 2000 ; بلوکی و همکاران، ۱۳۹۲).

در ابتدا تصور می‌شد پدیده سفید شدگی تنها در اثر از دست رفتن زوگزانتلا از کلونی مرجان ایجاد می‌شود (Glynn, 1984; Jaap, 1988)، اما مطالعات وسیع‌تر نشان دادند که کاهش میزان رنگ‌دانه‌ها نیز اهمیت فراوانی در وقوع سفید شدگی دارد (Kleppel *et al.*, 1989; Porter *et al.*, 1989). در این حالت جلبک همزیست چه با حفظ شکل سلولی (شکل ۲- الف؛ bz) و چه با واکوئله شدن محتویات سیتوپلاسم (شکل ۱- ب) رنگ خود را از دست می‌دهد و بی‌رنگ می‌شود. در این پژوهش گرچه به دلیل وجود اختلاف معنی‌دار در میانگین

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-08]

تعداد زوگزانتلا سفید شده میان کلونی‌های بررسی‌شده انتظار می‌رفت میان میانگین غلظت رنگ‌دانه‌های موردبررسی نیز تفاوت معنی‌دار دیده شود، اما اختلاف میزان این رنگ‌دانه‌ها میان کلونی‌های سالم و سفید شده مرجانی معنادار نبود. نتایج مشابهی توسط Hoegh-Guldberg و Smith (۱۹۸۹) به دست آمد که در آن باوجود کاهش میزان میانگین کلروفیل α در اثر افزایش دما، تفاوت میان غلظت این رنگ‌دانه در دمای نرمال و تحت تنش معنی‌دار نبود. هرچند از دست دادن رنگ‌دانه نیز در سفید شدگی کلونی‌ها نقش داشته است، اما کاهش ۳۲ درصدی تراکم زوگزانتلا سبب شده تا غلظت رنگ‌دانه به ازای هر زوگزانتلا در دو نوع کلونی موردبررسی تفاوت معناداری نداشته باشد. گرچه در مطالعه Seyfabadi و همکاران (۲۰۱۱) غلظت کلروفیل α به ازای هر زوگزانتلا در ۵۰ درصد گونه‌های مطالعه شده، در منطقه پرتنش، کاهش معناداری داشت. واضح است که عوامل محیطی دیگر (علاوه بر حرارت) در تغییرات غلظت رنگ‌دانه‌های زوگزانتلا، اثرات قابل‌توجهی دارند. از طرف دیگر این تفاوت‌های فیزیولوژیک در زوگزانتلاهای مرجان‌های گونه‌های متفاوت را، می‌توان به تفاوت در نوع و کلاد فیلوژنتیک این جلبک‌های همزیست نیز، نسبت داد (Banaszak *et al.*, 2000).

هرچند اندازه‌گیری چند پارامتر محدود در مرجان‌ها و دادن آن‌ها به تنها یک فاکتور محیطی (مثلاً دما) نمی‌تواند نتیجه محکم و قابل قبولی برای علت ایجاد تنش و شدت آن ارائه دهد، اما نتایج این پژوهش نشان داد که مشاهده عینی سفید شدگی و بررسی خصوصیات مرجان سفید شده، می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای تشخیص بیشینه آستانه تحمل مرجان‌ها، به کار آید. به‌عبارتی‌دیگر، ممکن است بسیاری از مرجان‌های سرتاسر خلیج‌فارس که ظاهری سالم دارند، در مراحل ابتدایی و میانی سفید شدگی باشند. لذا مطالعات گسترده‌تر بر روی گونه‌های متفاوت مرجان، حتی کلونی‌هایی که نرمال به نظر می‌رسند، و مقایسه تراکم و تفاوت‌های مورفولوژیک جلبک‌های همزیست آن‌ها، می‌تواند شاخصی برای تشخیص آغاز تنش و آسیب‌پذیری میزبان باشد و همچنین ممکن است به ارزیابی میزان خسارت واردشده به مرجان کمک کند.

منابع

افشاریانی، ز.، خدابنده، ص. و زارعی دارکی، ب.، ۱۳۹۳. بررسی تراکم میکرو جلبک‌های درون همزیست صفحه‌ی دهانی شقایق دریایی *Stichodactyla haddoni* در فصل تابستان. اولین همایش ملی پدافند غیرعامل در علوم دریایی. بندرعباس، ایران.

بلوکی، م.، سواری، ا.، نبوی، س.، رونق، م. و دانشمند، ع.، ۱۳۹۲. مقایسه تراکم جلبک‌های همزیست با مرجان *Porites compressa* در خلیج نایبند. اقیانوس‌شناسی، ۰۴ (۱۳): صفحات ۵۱-۴۵.

وارسته، ط.، بهزادی، ص.، مهربد، م.، شکری، م. و رجبی مهام، ح.، ۱۳۹۲. تغییر مکانی تاژک‌دار همزیست (زئوگزانتلا) با مرجان سخت گونه‌ی *Porites compressa* (Dana, 1846) در امتداد سواحل شمالی خلیج‌فارس (جزایر لارک، خارکو و خلیج نای بند). نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی و بیوتکنولوژی آبزیان، ۱ (۱): صفحات ۷۳-۸۲.

Arar, E. J., 1997. Method 446.0: In vitro determination of chlorophylls a, b, c1+ c2 and pheopigments in marine and freshwater algae by visible spectrophotometry. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Exposure Research Laboratory.

Banaszak, A. T., LaJeunesse, T. C. and Trench, R. K., 2000. The synthesis of mycosporine-like amino acids (MAAs) by cultured, symbiotic dinoflagellates. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 249 (2): 219-233.

Berkelmans, R. and Van Oppen, M. J., 2006. The role of zooxanthellae in the thermal tolerance of corals: a 'nugget of hope'for coral reefs in an era of climate change. Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 273 (1599): 2305-2312.

Birkeland, C., 1997. Life and death of coral reefs. Springer Science & Business Media.

Brown, B., 1997. Coral bleaching: causes and consequences. Coral reefs, 16 (1): S129-S138.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-08]

Brown, B., Dunnel, R., Ambarsari, I., Le Tissier, M. and Satapoomin, U., 1999. Seasonal fluctuations in environmental factors and variations in symbiotic algae and chlorophyll pigments in four Indo-Pacific coral species. Marine ecology. Progress series, 191: 53-69.

Brown, B., Le Tissier, M. and Bythell, J., 1995. Mechanisms of bleaching deduced from histological studies of reef corals sampled during a natural bleaching event. Marine Biology, 122 (4): 655-663.

Brown, B., Suharsono, 1990. Damage and recovery of coral reefs affected by El Niño related seawater warming in the Thousand Islands, Indonesia .Coral Reefs, 8 (4): 163-170.

Bythell, J.C., Sharp, V. A., Miller, D. and Brown, B. E., 1995. A novel environmentally-regulated 33 kDa protein from tropical and temperate cnidarian zooxanthellae. Journal of thermal biology, 20 (1): 15-22.

Chen, C. A., Wang, J. T., Fang, L. S. and Yang, Y. W., 2005. Fluctuating algal symbiont communities in Acropora palifera (Scleractinia: Acroporidae) from Taiwan. Marine Ecology Progress Series, 295: 113-121.

Drew, E. A., 1972. The biology and physiology of alga-invertebrates symbioses. II. The density of symbiotic algal cells in a number of hermatypic hard corals and alcyonarians from various depths. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 9 (1): 71-75.

Fagoonee, I., Wilson, H., Hassell, M. and Turner, J., 1999. The dynamics of zooxanthellae populations: a long-term study in the field. Science, 283 (5403): 843-845.

Fatemi, S. M. R. and Shokri, M. R., 2001. Iranian coral reefs status with particular reference to Kish Island, Persian Gulf. In: Proceedings of international coral reef initiative (ICRI) regional workshop for the Indian Ocean, Maputo, Mozambique.

Fitt, W., McFarland, F., Warner, M. and Chilcoat, G., 2000. Seasonal patterns of tissue biomass and densities of symbiotic dinoflagellates in reef corals and relation to coral bleaching. Limnology and oceanography, 45 (3): 677-685.

Glynn, P. W., 1984. Widespread coral mortality and the 1982–83 El Niño warming event. Environmental Conservation, 11 (02): 133-146.

Hoegh-Guldberg, O. and Smith, G. J., 1989. The effect of sudden changes in temperature, light and salinity on the population density and export of zooxanthellae from the reef corals Stylophora pistillata Esper and Seriatopora hystrix Dana. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 129 (3): 279-303.

Jaap, W. C., 1988. The 1987 zooxanthellae expulsion event at Florida reefs. Mass bleaching of coral reefs: a research strategy. National Undersea Research Program Research Report, 88: 24-29.

Jones, R. J. and Yellowlees, D., 1997. Regulation and control of intracellular algae (= zooxanthellae) in hard corals. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 352 (1352): 457-468.

Kavousi, J., Seyfabadi, J., Rezai, H. and Fenner, D., 2011. Coral reefs and communities of Qeshm Island, the Persian Gulf. Zoological Studies, 50 (3): 276-283.

Kleppel, G., Dodge, R. E. and Reese, C., 1989. Changes in pigmentation associated with the bleaching of stony corals. Limnology and Oceanography, 34 (7): 1331-1335.

Kmroki, T. and Van Woesik, R., 1999. Changes in zooxanthellae characteristics in the coral Stylophora Pistillata during the l998 bleaching event. Journal of the Japanese Coral Reef Society, 1999 (1): 97-101.

Loya, Y., Sakai, K., Yamazato, K., Nakano, Y., Sambali, H. and Van Woesik, R., 2001. Coral bleaching: the winners and the losers. Ecology letters, 4 (2): 122-131.

Marsh, J. and James, A., 1970. Primary productivity of reef-building calcareous red algae. Ecology, 51 (2): 255-263.

McClanahan, T., 2004. The relationship between bleaching and mortality of common corals. Marine Biology, 144 (6): 1239-1245.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-08]

Mise, T. and Hidaka, M., 2003. Degradation of zooxanthellae in the coral Acropora nasuta during bleaching. Galaxea, 5: 33-39.

Mumby, P. J. and Steneck, R. S., 2008. Coral reef management and conservation in light of rapidly evolving ecological paradigms. Trends in ecology & evolution, 23 (10): 555-563.

Nakamura, T., Van Woesik, R. and Yamasaki, H., 2005. Photoinhibition of photosynthesis is reduced by water flow in the reef-building coral Acropora digitifera. Marine Ecology Progress Series, 301: 109-118.

Porter, J., Muscatine, L., Dubinsky, Z. and Falkowski, P., 1984. Primary production and photoadaptation in light-and shade-adapted colonies of the symbiotic coral, Stylophora pistillata. Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 222 (1227): 161-180.

Porter, J. W., Fitt, W. K., Spero, H. J., Rogers, C. S. and White, M. W., 1989. Bleaching in reef corals: physiological and stable isotopic responses. Proceedings of the National Academy of Sciences, 86 (2): 9342-9346.

Riegl, B. M. and Purkis, S. J., 2012. Coral reefs of the Gulf: adaptation to climatic extremes in the world's hottest sea. In, Coral Reefs of the Gulf. Springer, pp. 1-4.

Reimer, J. D., Ono, S., Furushima, Y. and Tsukahara, J., 2007. Seasonal changes in the morphological condition of symbiotic dinoflagellates (Symbiodinium spp.) of Zoanthus sansibaricus (Anthozoa: Hexacorallia) over a latitudinal range in southern Japan. South Pacific Study, 27: 1-24.

Salih, A., Hoegh-Guldberg, O. and Cox, G., 1998. Photoprotection of symbiotic dinoflagellates by fluorescent pigments in reef corals. In: Proceedings of the Australian Coral Reef Society 75th Anniversary Conference. School of Marine Science, The University of Queensland Brisbane, Australia, pp. 217-230.

Salih, A., Larkum, A., Cox, G., Kühl, M. and Hoegh-Guldberg, O., 2000. Fluorescent pigments in corals are photoprotective. Nature, 408 (6814): 850-853.

Seyfabadi, J., Shokri, N. and Fatemi, M. R., 2011. Spatial variation of symbiotic Dinoflagellates on coral reefs of the northern Persian Gulf. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 10 (3): 475-486.

Stimson, J., Sakai, K. and Sembali, H., 2002. Interspecific comparison of the symbiotic relationship in corals with high and low rates of bleaching-induced mortality. Coral Reefs, 21 (4): 409-421.

Suzuki, T., Casareto, B. E., Shioi, Y., Ishikawa, Y. and Suzuki, Y., 2015. Finding of 132, 173-cyclopheophorbide a enol as a degradation product of chlorophyll in shrunk zooxanthellae of the coral Montipora digitata. Journal of Phycology, 51 (1): 37-45.

Tchernov, D., Gorbunov, M. Y., de Vargas, C., Yadav, S.N., Milligan, A. J., Häggblom, M. and Falkowski, P. G., 2004. Membrane lipids of symbiotic algae are diagnostic of sensitivity to thermal bleaching in corals. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 101 (37): 13531-13535.

Trench, R., 1993. Microalgal-invertebrate symbioses-a review. Endocytobiosis and Cell Research, 9 (2-3): 135-175.

Yamazato, K., 1981. A note on the expulsion of zooxanthellae during summer, 1980 by the Okinawan reef-building corals. Sesoko Marine Science Laboratory Technical Report, 8: 9-18.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-08]

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-08]