Journal of Animal Biology, Summer 2025; 17(4): 143-152
ISSN: 1735-9724

Research Article

Combined Effects of Reduced pH and Elevated Temperature on Growth of Marine Gastropod, *Nerita textilis*

Mousa Keshavarz[1], Abdol-Ali Hamzei[1], Emad Koochaknejad[2]*

1- Department of Marine Biology, Faculty of Marine Sciences and Technologies, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
2- Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Tehran, Iran
*Corresponding author: emad.koochaknejad@inio.ac.ir

Received: 25 December 2024 Accepted: 12 May 2025

DOI: 10.60833/ascij.2025.1194486

Abstract

Global warming, with increasing temperature and acidification of ocean waters, has inevitable consequences for marine life. The aim of this study was to show the simultaneous effect of two factors, temperature and pH, on the growth of intertidal gastropods in the Persian Gulf in the future. For this purpose, 48 samples of *Nerita textilis* gastropods of approximately similar size and weight were collected in July 1402 in the mangrove forests of Bandar Abbas and transferred to the laboratory. Then, initial measurements were made, including the weight, height, length and width of the gastropod shells. The samples were kept in 4 tanks (treatments) for 90 days. The tank conditions were as follows: Tank 1: ambient temperature (30°C) and ambient pH (2.8), Tank 2: ambient temperature (30°C) and lower pH (7.8), Tank 3: higher temperature (34°C) and ambient pH (2.8), Tank 4: higher temperature (34°C) and lower pH (7.8). The tanks were 100 liters and 12 specimens were maintained and cared for in each tank. After the experiment period, the measurements were repeated. Then, one-way ANOVA, Krukal-Wallis, two-way ANOVA and Tukey's post hoc test were used to analyze the results. Based on the results, it can be confirmed that low pH conditions reduced the density of the intertidal *Nerita textilis* even at ambient temperature. Temperature also had a significant effect on the height (height) of the *Nerita textilis* mussel at the end of the experiment. In addition, during the experimental period, the weight of mussels in the three tanks decreased significantly under the influence of temperature and pH changes. Therefore, the results indicate that the upcoming climate changes in the Persian Gulf can significantly affect the growth parameters of the intertidal gastropod mussel *Nerita textilis*.

Keywords: Climate change, Ocean acidification, Global warming, Gastrpods, *Nerita textilis*.

زیست‌شناسی جانوری، سال هفدهم، شماره چهارم، تابستان ۱٤۰٤، صفحات ۱۵۲-۱٤۳

ISSN:۱۷۳۵-۹۷۲٤

مقاله پژوهشی

اثرات ترکیبی pH و دما بر روی رشد صدف حلزون بین جزرومدی (*Nerita textilis*)

موسی کشاورز[۱]، عبدالعلی حمزه‌ئی[۱]، عماد کوچک‌نژاد[۲*]

۱- گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲- پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم‌جوی، تهران، ایران

*مسئول مکاتبات: emad.koochaknejad@inio.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۱۰/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱٤۰٤/۰۲/۲۲

DOI: 10.60833/ascij.2025.1194486

چکیده

گرمایش جهانی با افزایش دما و اسیدی شدن آب‌های اقیانوسی پیامدهای اجتناب‌ناپذیری برای حیات دریایی دارد. هدف این مطالعه نشان دادن تأثیر همزمان دو عامل دما و pH بر رشد صدف شکم‌پای جزر و مدی خلیج فارس در آینده بود. برای این کار تعداد ٤۸ نمونه از شکم‌پای *Nerita textilis* Gmelin, 1791 در تیرماه ۱٤۰۲ با اندازه و وزن تقریبا مشابه در جنگل‌های حرای بندرعباس جمع‌آوری گردید و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس اندازه‌گیری‌های اولیه که شامل وزن، قد، طول و عرض صدف شکم‌پاها انجام شد. نمونه‌ها به مدت ۹۰ روز در ٤ تانک (تیمار) نگهداری شدند. شرایط تانک‌ها عبارت بود از تانک: دمای محیط (۳۰ درجه سانتی‌گراد)، pH محیط (۸/۲)، تانک ۲: دمای محیط (۳۰ درجه سانتی‌گراد)، pH پایین‌تر (۷/۸)، تانک ۳: دمای بالاتر (۳٤ درجه سانتی‌گراد)، pH محیط (۸/۲) و تانک٤: دمای بالاتر (۳٤ درجه سانتی‌گراد) و pH پایین‌تر (۷/۸). تانک‌ها ۱۰۰ لیتری بودند و در هر تانک ۱۲ نمونه نگهداری و مراقبت شد. پس از طی دوره آزمایش اندازه‌گیری‌ها مجددا تکرار شد. سپس از آزمون‌های آنوای یک‌طرفه، کروسکال والیس، آنوای دوطرفه و آزمون تعقیبی توکی برای تحلیل نتایج استفاد شد. بر اساس نتایج می‌توان تایید کرد که شرایط pH پایین تراکم صدف شکم‌پای بین جزر و مدی *Nerita textilis* را حتی در دمای محیط کاهش داده است. دما نیز اثر معنی‌داری بر قد (ارتفاع) صدف گونه *Nerita textilis* در انتهای آزمایش داشته است. به علاوه، در طی دوره آزمایش وزن صدف‌ها در سه تانک تحت اثر تغییرات دما و pH به‌طور معنی‌دار کاهش یافته است. بنابراین، نتایج نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی پیش‌رو در خلیج‌فارس می‌تواند به صورت معنی‌داری بر پارامترهای رشد صدف شکم‌پای جزر و مدی *Nerita textilis* اثرگذار باشد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، اسیدی‌شدن اقیانوس، گرمایش جهانی، شکم‌پا.

مقدمه

افزایش سطح دی‌اکسیدکربن اتمسفر سبب شده تا اقیانوس‌های جهان با سرعتی چند برابر بیشتر از شرایط طبیعی اسیدی شوند. pH آب سطحی دریا در حال حاضر ۰/۱ واحد کمتر از مقادیر قبل از صنعتی شدن است و پیش‌بینی می‌شود تا پایان قرن تا ۰/۰٤ واحد کاهش یابد (۱). تغییرات شیمیایی ناشی از اسیدی شدن اقیانوس‌ها می‌تواند پیامدهای عمده‌ای برای جانداران دریایی داشته باشد، به‌ویژه برای جاندارانی که برای ساختن اسکلت‌های خود به فرآیند کلسیفیکاسیون متکی هستند (۱، ۲). فرآیند کلسیفیکاسیون در اقیانوس‌ها به دلیل اثرات افزایش CO_2 بر روی شیمی کربنات مختل می‌شود. در واقع،

اسکلت‌های کربنات کلسیمی زمانی که آب دریا با ماده معدنی کربنات کلسیم اشباع نشده باشد، حل می‌شوند. از آنجایی که ساختارهای آهکی نقش محافظتی و همچنین حمایتی در گروه‌های متعددی از جانداران دریایی دارند، چنین گونه‌هایی تحت اثر pH پایین اقیانوس در برابر استرس‌های محیطی آسیب‌پذیرتر خواهند بود. گزارش‌های متعدد نشان می‌دهد که اثرات اسیدی‌شدن اقیانوس‌ها در نرمتنان به سرعت گسترش یافته که نشان دهنده روند کلی کاهش رشد پوسته در شرایط pH پایین است (۳). در عین حال، افزایش انتشار گازهای گلخانه ای (دی اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن) مسئول بیش از نیمی از افزایش مشاهده شده در میانگین دمای سطح جهانی طی ٦٠ سال گذشته است (٤). تغییرات آب و هوا یک واقعیت است: سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۸۳ احتمالاً گرمترین دوره ۱٤۰۰ سال گذشته بوده است. افزایش دما به عنوان یک از پیامدهای مهم حاصل از تغییرات اقلیمی، اثرات عمده‌ای بر فرآیندهای زیستی مانند واکنش های زیستی، انتشار غشایی و انتقال مواد دارد. تغییر اندک در میزان دما می‌تواند میزان متابولیسم را افزایش داده و بر پارامترهای تعیین‌کننده‌ی یک جمعیت از قبیل رشد و بقا تاثیر بگذارد (۵). در خلیج‌فارس پیش بینی می‌شود که مقدار pH تا ۰/٤ واحد تا سال ۲۱۰۰ میلادی آینده کاهش یابد (٦، ۷). میزان حساسیت گونه‌ها به اسیدی شدن اقیانوس‌ها متفاوت است (۸). به علاوه اثر ترکیبی کاهش pH در کنار افزایش دمای آب می‌تواند پاسخ‌های متفاوتی در آبزیان داشته باشد. زیرا که پیش‌بینی می‌شود دمای آب خلیج‌فارس تا سال ۲۱۰۰ میلادی در ماه آگوست (ماه نمونه‌برداری در این مطالعه) ٤/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت (۹). هم اکنون نیز روند افزایش دمای آب اقیانوس‌ها به خوبی قابل مشاهده است به‌طوریکه میانگین دمای آب اقیانوس‌ها در سال ۲۰۲۳ میلادی بالاترین مقادیر میانگین ماهانه ثبت‌شده در تاریخ را تجربه کرده است (۱۰). در این مطالعه با هدف بررسی اثر ترکیبی کاهش pH آب و افزایش دمای آب بر میزان رشد صدف جانوران صدف‌ساز در آب‌های ساحلی خلیج‌فارس از گونه *Nerita textilis* از خانواده Neritidae استفاده شد. خانواده Neritidae از شناخته‌شده‌ترین خانواده‌های زیررده Neritimorpha هستند که اکثراً گیاه‌خوار بوده و بر روی صخره‌ها و قلوه‌سنگ‌ها و درون شکاف‌ها زندگی می‌کنند. گونه‌های این خانواده مانند اغلب شکم‌پایان منطقه یکبار در سال تخم‌ریزی کرده از لحاظ ویژگی ریخت‌شناسی این خانواده دارای صدف هایی محکم، حبابی شکل، پیچش کوتاه و پیچش بدنی بزرگ می‌باشند (۱۱).

مواد و روش‌ها

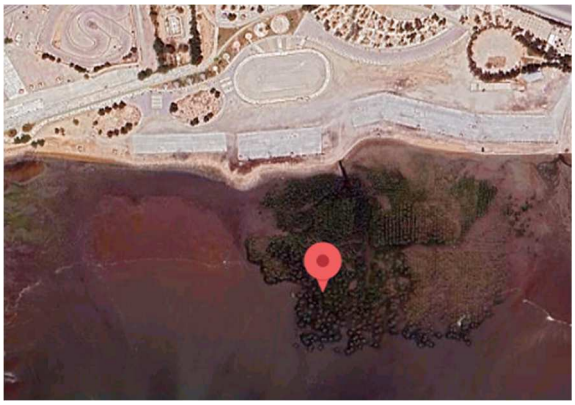
نمونه‌برداری: جمع‌آوری نمونه *Nerita textilis* در ساعات اوج جزر صورت گرفت. تعداد ٤۸ نمونه از شکم پای *Nerita textilis* با اندازه و وزن تقریبا یکسان در جنگل‌های حرای بندرعباس با عرض جغرافیایی ۲۷/۱۸۷ و طول جغرافیایی ٥٦/۳٤۹ جمع‌آوری گردید. برای نگهداری نمونه‌ها از بطری‌های ۲٥۰ سی سی پلاستیکی استفاده گردید. برای تبادل هوا روی بدنه هر بطری ٤ عدد سوراخ ایجاد شد. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری محل کار آزمایشگاهی منتقل گردید. دما و pH آب در محل جمع‌آوری نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری‌ها: وزن نمونه با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت صدم گرم وزن گردید. همچنین طول، عرض و قد پوسته شکم‌پاها با کولیس دیجیتالی با دقت یک دهم میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

تانک‌ها و شرایط آزمایشگاهی: نمونه‌ها به مدت ۹۰ روز در ٤ تانک ۱۰۰ لیتری (تیمار) نگهداری شدند.

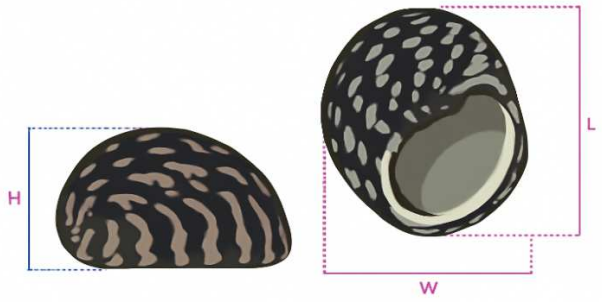
شرایط تانک‌ها عبارت بود از تانک ۱: دمای محیط (۳۰ درجه سانتی‌گراد) و pH محیط (۸/۲)، تانک ۲: دمای محیط (۳۰ درجه سانتی‌گراد) و pH پایین‌تر (۷/۸)، تانک ۳: دمای بالاتر (۳٤ درجه سانتی‌گراد) و pH محیط (۸/۲)، تانک ٤: دمای بالاتر (۳٤ درجه سانتی‌گراد) و pH پایین‌تر (۷/۸). در هر تانک ۱۲ نمونه شکم‌پا نگهداری و مراقبت شد. نمونه‌ها و شرایط تانک‌ها به صورت مستمر پایش شد و تعویض آب هر سه روز یکبار با حفظ شرایط مورد آزمایش انجام می‌گرفت. غذادهی با غذای فرموله‌شده نانوویت (Nanovit) هر ۳ روز یکبار انجام گردید. پس از ۳ ماه اندازه‌گیری‌های ثانویه انجام شد.

تحلیل داده‌ها: آزمون‌های پارامتریک (آنوای یک-طرفه) و ناپارامتریک (Kruskal-Wallis) برای آزمایش اثر زمان بر روی هر تانک (ابتدا و انتهای آزمایش) برای هر پارامتر اندازه‌گیری‌شده (قد، طول، عرض و وزن) استفاده شد. از آزمون آنوای دوطرفه برای بررسی معنی داری اثر دما و pH بر رشد صدف شکم‌پای جزر و مدی *Nerita textilis* در انتهای آزمایش استفاده شد. از آزمون تعقیبی tukey برای یافتن اختلاف معنی‌دار بین تانک‌ها بر اساس متغیرهای اندازه‌گیری شده استفاده شد. از نرم‌افزار R 4.3.3 برای انجام کارهای آماری و ترسیم نمودار استفاده شد.



شکل ۱ – موقعیت جغرافیایی مناطق نمونه‌برداری (عرض جغرافیایی ۲۷/۱۸۷ و طول جغرافیایی ٥٦/۳٤۹)

Fig. 1. Geographical location of the sampling sites (latitude 27.187°N and longitude 56.349°E)



شکل ۲ – نحوه اندازه‌گیری مقادیر طول (L)، عرض (W)، و قد (H) صدف در این مطالعه

Fig. 2. Measurement method of shell length (L), width (W), and height (H) in this study

نتایج

اثرات pH پایین و دمای بالا در *Nerita textilis* حتی بدون اندازه‌گیری قابل مشاهده بود. پس از سه ماه (انتهای دور آزمایش) صدف‌ها شروع به از دست دادن رنگ خود کردند، که نشان دهنده بدتر شدن

شرایط پریوستراکوم آن‌ها است. رنگ صدف‌ها در طول دوره آزمایش از قهوه‌ای تیره به سبز کمرنگ تغییر پیدا کرد. به علاوه زبری پوسته صدف‌های تحت اثر pH پایین‌تر کاهش یافته بود. مقادیر وزن در بازه زمانی آزمایش به‌طور معنی‌دار کاهش یافته است (p < ۰/۰۵) (جدول ۱). به‌طوریکه مقادیر وزن شکم‌پاها در پایان آزمایش تانک‌های ۲، ۳ و ٤ کمتر از مقادیر اندازه‌گیری‌شده در آغاز آزمایش است. در تانک ٤ (با دمای بالاتر و سطح pH پایین‌تر) قد صدف در طی زمان افزایش داشته و مقادیر طول کاهش یافته است. میانگین عرض صدف نیز در تانک‌های ۲ و ٤ (سطح pH پایین‌تر) کاهش داشته است. با این‌حال، هیچ‌کدام از مقادیر قد، طول و عرض در بازه زمانی آزمایش تغییر معنی‌داری نکرده است (p > ۰/۰۵)(جدول ۱). نتایج نشان داد که دما اثر معنی‌داری بر قد (ارتفاع) صدف گونه *Nerita textilis* در انتهای آزمایش داشته است (p < ۰/۰۵) (جدول ۲). تجزیه و تحلیل پست هاک (آزمون توکی) اختلاف معنی‌دار بین تانک‌های ۲ و ٤ را تایید می‌کند. میانگین قد صدف‌ها در تانک ٤ (با دمای بالاتر و سطح pH پایین‌تر) افزایش یافته است. برخلاف دما، اثر کاهش pH بر میزان قد گونه معنی‌دار نبوده است (p > ۰/۰۵)(جدول ۲). علاوه بر این، برهمکنش بین pH و دما در رابطه با اثرگذاری بر مقادیر قد معنی‌دار بود (p < ۰/۰۵)(جدول ۲). همچنین، تأثیر دما بر مقادیر وزن معنی‌دار نبود، اما تأثیر pH در پایان آزمایش بر مقادیر وزن معنی‌دار بوده است (p < ۰/۰۵) (جدول ۲). تجزیه و تحلیل آزمون تعقیبی توکی اختلاف معنی‌دار بین تانک‌های ۲ و ٤ و بین تانک‌های ۱ و ٤ را تایید می‌کند (جدول ۳). میانگین وزن صدف‌ها در هر سه تانکی که شرایطی غیر از شرایط محیطی داشته‌اند (تانک‌های ۲، ۳ و ٤) کاهش یافته است. دما و pH و برهم‌کنش آن‌ها اثر معنی‌داری بر طول و عرض در انتهای آزمایش نداشته‌اند.

جدول ۱- نتایج آنالیز مقادیر قد، وزن، طول و عرض پوسته شکم‌پای *Nerita textilis* در ابتدا و انتهای آزمایش

Table 1. The results of height, weight, length, and width of *Nerita textilis* at the beginning and end of the experiment

	One-way ANOVA			Kruskal-Wallis		
Tank1	df	MS	F	p	df	p
Width	1	0.22	0.43	0.51	1	0.36
Length	1	0.30	0.60	0.44	1	0.32
Weight	1	0.02	0.24	0.62	1	0.50
Height	1	0.18	0.93	0.93	1	0.33
Tank 2						
Width	1	0.88	1.79	0.19	1	0.13
Length	1	0.28	1.24	0.27	1	0.28
Weight	1	1.45	13.01	0.00	1	0.00
Height	1	0.28	1.00	0.32	1	0.31
Tank 3						
Width	1	0.54	1.30	0.26	1	0.54
Length	1	0.15	0.21	0.64	1	0.52
Weight	1	0.86	5.53	0.02	1	0.02
Height	1	0.20	0.87	0.70	1	0.27
Tank4						
Width	1	0.54	1.30	0.26	1	0.25
Length	1	0.45	1.22	0.28	1	0.32
Weight	1	1.26	8.51	0.00	1	0.01
Height	1	0.70	2.11	0.16	1	0.17

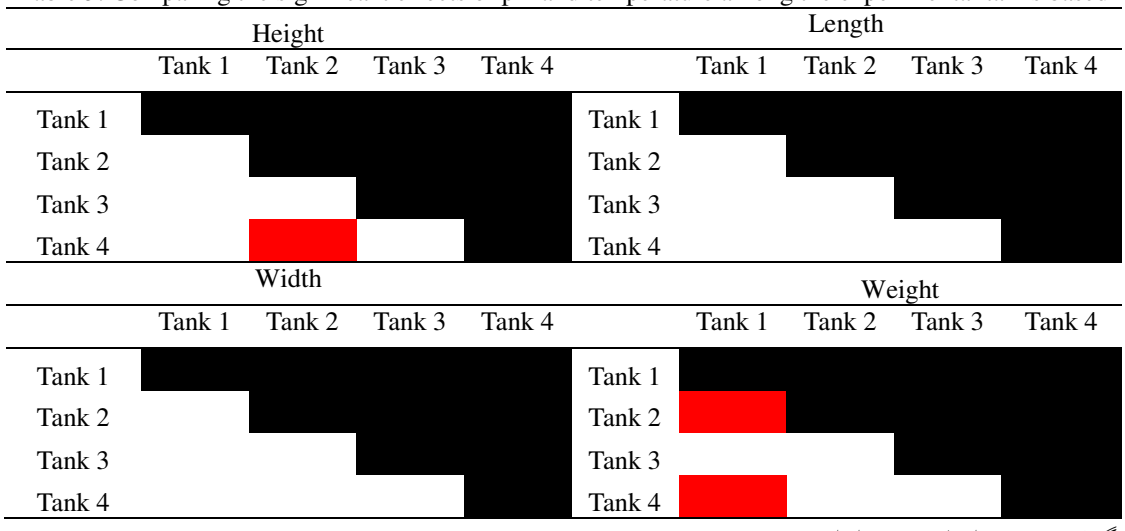
جدول ۲- نتایج آنالیز اثر مقادیر pH و دما بر قد، وزن، طول و عرض پوسته شکم‌پای *Nerita textilis* در انتهای آزمایش

Table 2. The results of the effects of pH and temperature on height, weight, length, and width of *Nerita textilis* at the end of the experiment

		Two-way ANOVA			
		df	mean sq	F Value	P value
Height	pH	1	0.48	1.87	0.17
	Temperature	1	2.25	8.87	0.00
	pH + Temperature	1	1.68	6.57	0.01
Length	pH	1	0.30	0.68	0.41
	Temperature	1	0.44	1.00	0.32
	pH + Temperature	1	0.00	0.00	0.93
Width	pH	1	0.14	0.32	0.57
	Temperature	1	0.40	0.92	0.34
	pH + Temperature	1	1.40	3.21	0.07
Weight	pH	1	2.17	12.77	0.00
	Temperature	1	0.35	2.07	0.15
	pH + Temperature	1	0.70	4.14	0.04

جدول ۳- جدول مقایسه اثر معنی‌داری مقادیر pH و دما میان تانک‌های مورد آزمایش

Table 3. Comparing the significant effects of pH and temperature among the experimental tanks based



رنگ قرمز به معنی اختلاف معنی‌دار است.

Red color indicates a significant difference

شکل ۳- تصاویر نمونه‌های شکم‌پای *Nerita textilis* در ابتدا (بالا) و انتهای آزمایش (پایین)

Figure 3. Images of *Nerita textilis* specimens at the beginning (right) and end (left) of the experiment

بحث

بر اساس نتایج این مطالعه می‌توان تایید کرد که شرایط pH پایین تراکم پوسته شکم‌پای بین جزر و مدی *Nerita textilis* را حتی در دمای محیط کاهش داده است. تخریب صدف شکم‌پاها در نتیجه تاثیر pH پایین در مطالعات متعددی گزارش شده است (۱۲، ۱۳، ۱٤، ۱۵). در مطالعه حاضر، اثرات شرایط اسیدی شده بر روی سطح پوسته و مقدار زبری آن را می‌توان به‌صورت بصری برای گونه *Nerita textilis* تایید کرد. همچنین از نظر کیفی تغییر رنگ پریوستراکوم به خوبی قابل مشاهده بود. الگوی زوال صدف شکم‌پا در مطالعه حاضر با مشاهدات ثبت‌شده در مطالعات مشابه دیگر تطابق دارد. به عنوان مثال، در گونه شکم‌پای *Thais gradata* از دست دادن پریوستراکوم، صاف شدن ریبلت‌های محوری و مارپیچی، و همچنین گرد شدن راس و شانه‌های چرخشی مشاهده شده است (۱٦). Rodolfo-Metalpa و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده کردند که انحلال پوسته صدف در قدیمی‌ترین قسمت‌های لیمپت بالغ مشاهده می‌شود (۱۷). به گفته Nienhuis و همکاران (۲۰۱۰)، اثر افزایش سطح CO2 بر روی پوسته گاستروپود *Nucella lamellosa* عمدتاً به علت افزایش انحلال پوسته موجود بوده است و نقش نرخ رسوب ناکافی کربنات کلسیم به عنوان ماده پوسته جدید روشن نیست (۳). علاوه بر این، Garrard و همکاران (۲۰۱٤) نشان دادند که از نظر بصری انحلال صدف در شکم‌پای *Columbella rustica* قابل مشاهده است

(۱۸). در طی دوره ۹۰ روزه آزمایش وزن صدف‌ها در سه تانک تحت اثر تغییرات دما و pH به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. شرایط pH پایین (یعنی اسیدی شدن اقیانوس) باعث اسیدوز داخلی در شکم‌پا می شود که منجر به اختلال در متابولیسم و کاهش انتقال انرژی (ATP) می‌شود (۱۹، ۲۰). این تغییرات می‌تواند تأثیر منفی بر کانی‌سازی زیستی و کلسیفیکاسیون صدف داشته باشد (۲۱). علاوه بر این، شرایط اسیدی در ترکیب با افزایش دما می‌تواند بر واکنش‌های فنوتیپی و اکولوژیکی مانند آسیب‌پذیری در برابر شکار، مصرف اکسیژن، ظرفیت تناسب اندام، هموئستاز و توانایی جلوگیری از دست دادن آب و میزان مقاومت در برابر خشک شدن تأثیر بگذارد (۱٤). اگرچه، اختلاف اندازه‌گیری‌های عرض صدف در ابتدا و انتهای آزمایش در این مطالعه به اندازه کافی معنی دار نبوده است، با این حال کاهش اندازه عرض صدف در تانک ۲ و ٤ با سطح pH پایین‌تر می تواند نشان‌دهنده فرسایش صدف در طول دوره آزمایش از نواحی کناری صدف است. دما اثر معنی‌داری بر قد (ارتفاع) صدف گونه *Nerita textilis* در انتهای آزمایش داشته است. افزایش دمای محیط به‌طور معمول منجر به افزایش نرخ متابولیک استاندارد در جانوران اکتوترم می‌شود که در نتیجه اثرات افزایش دما بر روی سرعت واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند فعالیت‌های میتوکندری، آنزیم‌های متابولیک، کانال‌های یونی و سایر فرآیندهای نیازمند اکسیژن و انرژی (۲۲، ۲۳). بنابراین افزایش قد صدف شکم‌پای *Nerita textilis* بر اثر دمای بالاتر دور از انتظار نبوده است. با این حال این افزایش قد به معنی استحکام بیشتر صدف نیست زیرا که قد صدف معمولاً با استحکام صدف ارتباط معنی‌دار ندارد (۲٤). Calosi و همکاران (۲۰۰۹) آزمایشی را با هدف بررسی اثرات اسیدی شدن اقیانوس (pH= ۷) و دمای بالا (۵ درجه سانتی‌گراد دمای بالاتر نسبت به محیط) بر طول، عرض و وزن شکم‌پای *Littorina littorea* جزر و مدی انجام دادند و مشاهده کردند که درصد افزایش طول پوسته صدف برای افرادی که تحت اثر ترکیبی از کاهش pH و دمای بالا نگهداری می‌شدند کمتر بوده است (۲۵). در مطالعه مشابه دیگری Chatzinikolaou و همکاران (۲۰۲۰) آزمایشی را با هدف بررسی اثرات اسیدی شدن و گرم شدن اقیانوس‌ها بر روی خواص مورفولوژیکی پوسته گونه شکم‌پای جزر مدی *Nassarius nitidvs* و *Colombella roustica* انجام دادند (۲٦). شرایط آزمایش افزایش دمای ۳ درجه سانتی‌گراد و کاهش ۰/۳واحد میزان pH و مدت زمان آزمایش ۹۰ روز بوده است. هنگامی که pH در دمای محیط کاهش یافته است تراکم و ضخامت پوسته گونه *Nassarius nitidvs* کمتر بوده اما ترکیب کاهش pH و افزایش دما در مقایسه با شرایط محیط (شاهد) تاثیر محسوسی نداشته است. این واکنش دور از انتظار را می‌توان با افزایش معنی‌دار قد صدف در تانک ٤ در این مطالعه مقایسه کرد. با این‌حال، پوسته *Colombella roustica* تحت اثر ترکیبی از کاهش pH و دمای بالا نازکی کمتری داشته است. در واقع پاسخ‌های فیزیولوژیک تحت سناریوهای پیش‌بینی‌شده تغییر آب و هوا می‌تواند بین گونه‌های هم‌گروه (شکم‌پاها) یا حتی بین افراد یک گونه متفاوت باشد. Ries و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که گونه‌های مختلف واکنش‌های متفاوتی به شرایط اسیدی شدن اقیانوس دارند: برخی ممکن است میزان کلسیفیکاسیون خود را کاهش دهند (مرجان‌های مناطق معتدل، توتیاهای قلمی، دوکفه‌ای‌ها، شکم‌پاها، کرم‌های سرپولید، و صدف‌های نرم)، برخی دیگر ممکن است کلسیفیکاسیون را افزایش دهند (لیمپت‌ها، توتیای بنفش، جلبک قرمز مرجانی، جلبک سبز آهکی، خرچنگ‌ها، لابسترها و

میگو) و در برخی (دوکفه‌ای آبی) ممکن است اثری نداشته باشند (۲۷).

نتیجه‌گیری

مطالعه صدف شکم‌پای جزر و مدی *Nerita textilis* نشان داد که تغییرات اقلیمی پیش‌رو در خلیج‌فارس می‌تواند به صورت معنی‌داری بر پارامترهای رشد این‌گونه از شکم پایان اثرگذار باشد. گونه‌های مختلف دریایی آسیب‌پذیری و پاسخ‌های تحمل متفاوتی در مورد اسیدی شدن و گرم شدن اقیانوس‌ها دارند و این پاسخ‌ها بر تعاملات اکولوژیکی و تنوع زیستی دریایی اثرگذار خواهد بود. با توجه به اینکه خلیج فارس در معرض تغییرات اقلیمی گسترده‌ای قرار دارد مطالعات بیشتری درباره اثرات احتمالی تغییرات اقلیمی پیش‌رو بر موجودات زنده خلیج فارس مورد نیاز است.

منابع

1. Orr JC, Pantoja S, Pörtner HO. Introduction to special section: The ocean in a high-CO2 world. J Geophys Res Oceans. 2005;110(C9):C09S01.

2. Riebesell U. Effects of CO2 enrichment on marine phytoplankton. J Oceanograph. 2004;60:719-729.

3. Nienhuis S, Palmer AR, Harley CD. Elevated CO2 affects shell dissolution rate but not calcification rate in a marine snail. Proc R Soc B. Biol Sci. 2010;277(1693): 2553-2558.

4. IPCC. Intergovernmental panel on climate change., Ottmar Edenhofer et al., Climate change 2014: Mitigation. Technical Summary, Cambridge University Press, 2014.

5. Schulte PM, Healy TM, Fangue NA. Thermal performance curves, phenotypic plasticity, and the time scales of temperature exposure. Integr Comp Biol. 2011;51(5): 691-702.

6. Jiang LQ, Carter BR, Feely RA, Lauvset SK, Olsen A. Surface ocean pH and buffer capacity: Past, present and future. Sci Rep. 2019;9(1):18624.

7. Saleh A, Abtahi B, Mirzaei N, Chen CTA, Ershadifar H, Ghaemi M, Hamzehpour A, Abedi E. Hypoxia in the Persian Gulf and the strait of Hormuz. Mar Pollut Bull. 2021;167:112354.

8. Shirayama Y, Thornton H. Effect of increased atmospheric CO2 on shallow water marine benthos. J Geophys Res. Oceans. 2005;110(C9):10.1029/2004JC002 618.

9. Noori R, Tian F, Berndtsson R, Abbasi MR, Naseh MV, Modabberi A, et al. Recent and future trends in sea surface temperature across the Persian Gulf and Gulf of Oman. PLOS One. 2019;14(2):e0212790.

10. Cheng L, Abraham J, Trenberth KE, Boyer T, Mann ME, Zhu J, et al. New Record Ocean Temperatures and related climate indicators in 2023. Adv Atmospher Sci. 2024;41(6):1068-1082.

11. Bayrami N, Seyfabadi J, Alavi Yeganeh MS. Morphological identification of species of the genus Nerita (family neritidae) in Intertidal area of Bandar-e Lengeh. J Anim Environ. 2016;8(3):87-92.

12. Duquette A, McClintock JB, Amsler CD, Pérez-Huerta A, Milazzo M, Hall-Spencer JM. Effects of ocean acidification on the shells of four Mediterranean gastropod species near a CO2 seep. Mar Pollut Bull. 2017;124(2):917-928.

13. Gazeau F, Parker LM, Comeau S, Gattuso JP, O'Connor WA, Martin S, Pörtner HO, Ross PM. Impacts of ocean acidification on marine shelled molluscs. Mar Biol. 2013;160:2207-2245.

14. Melatunan S, Calosi P, Rundle S, Widdicombe S, Moody A. Effects of ocean acidification and elevated temperature on shell plasticity and its energetic basis in an

intertidal gastropod. Mar Ecol Prog Ser. 2013;472:155-168.

15. Parker LM, Ross PM, O'Connor WA, Pörtner HO, Scanes E, Wright JM. Predicting the response of molluscs to the impact of ocean acidification. Biol. 2013; 2(2):651-692.

16. Marshall DJ, Santos JH, Leung K.M., Chak, W.H. Correlations between gastropod shell dissolution and water chemical properties in a tropical estuary. Mar Environ Res. 2008;66(4):422-429.

17. Rodolfo-Metalpa R, Houlbrèque F, Tambutté É, Boisson F, Baggini C, Patti FP, et al. Coral and mollusc resistance to ocean acidification adversely affected by warming. Nat Clim Chang. 2011;1(6):308-312.

18. Garrard SL, Gambi MC, Scipione MB, Patti FP, Lorenti M, Zupo V, et al. Indirect effects may buffer negative responses of seagrass invertebrate communities to ocean acidification. J Exp Mar Biol Ecol. 2014; 461:31-38.

19. Melatunan S, Calosi P, Rundle SD, Moody AJ, Widdicombe S. Exposure to elevated temperature and pCO2 reduces respiration rate and energy status in the periwinkle Littorina littorea. Physiol Biochem Zool. 2011;84(6):583-594.

20. Pörtner HO, Reipschläger A, Heisler N. Acid–base regulation, metabolism and energetics in Sipunculus nudus as a function of ambient carbon dioxide level. J Exp Biol. 1998;201(1):43-55.

21. Findlay, H.S., Wood, H.L., Kendall, M.A., Spicer, J.I., Twitchett, R.J., Widdicombe, S. Comparing the impact of high CO2 on calcium carbonate structures in different marine organisms. Mar Biol Res. 2011;7(6):565-575.

22. Cossins A. Temperature biology of animals. Springer Science and Business Media. New York, USA, 2012.

23. Hochachka PW. The metabolic implications of intracellular circulation. Proc Natl Acad Sci. 1999;96(22):12233-12239.

24. Mackenzie CL, Ormondroyd GA, Curling SF, Ball RJ, Whiteley NM, Malham SK. Ocean warming, more than acidification, reduces shell strength in a commercial Shellfish species during food limitation. PLoS One. 2014;9(1):e86764.

25. Calosi P, Melatunan S, Turner LM, Artioli Y, Davidson RL, Byrne JJ, et al. Regional adaptation defines sensitivity to future ocean acidification. Nat Commun. 2017;8(1):13994.

26. Chatzinikolaou E, Grigoriou P, Keklikoglou K, Faulwetter S, Papageorgiou N. The combined effects of reduced pH and elevated temperature on the shell density of two gastropod species measured using micro-CT imaging. ICES J Mar Sci. 2017; 74(4):1135-1149.

27. Ries JB, Cohen AL, McCorkle DC. Marine calcifiers exhibit mixed responses to CO2-induced Ocean acidification. Geology. 2009;37(12):1131-1134.