

## تاثیر دانه‌بندی رسوبات بر عملکرد سوخت و ساز صدف دوکفه‌ای *Callista umbonella* در تنش اکسیداتیو ناشی از آلودگی هیدروکربنی سواحل منطقه عسلویه

حبیب آذرمنش<sup>۱\*</sup>، سید محمدباقر نبوی<sup>۲</sup>، رحیم عبدی<sup>۳</sup>، بیتا ارچنگی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، ایران، پست الکترونیکی:  
h.azarmanesh@hotmail.com

۲- دانشیار گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، ایران، پست  
الکترونیکی: smbnavi@irandoe.org

۳- دانشیار گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، ایران، پست  
الکترونیکی: abdir@kmsu.ac.ir

۴- دانشیار گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، ایران، پست  
الکترونیکی: bita.archangi@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۳

\* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۴

### چکیده

این مطالعه با هدف بررسی تفاوت عملکرد دوکفه‌ای *Callista umbonella* در تنش اکسیداتیو ناشی از آلودگی هیدروکربنی در رسوبات سواحل منطقه عسلویه صورت گرفت. در این مطالعه اندازه طول کل صدف و میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی GPx، GR، SOD و CAT بافت نرم دوکفه‌ای *C. umbonella* در سواحل ۳ سایت صنعتی (سایت‌های شماره ۱، ۲ و ۵) و ۲ سایت شاهد (سایت‌های شماره ۳ و ۴) مورد بررسی قرار گرفتند. هر نمونه بعد از برداشت به سرعت در نیتروژن مایع تثبیت شد. آنزیم‌ها با نیروی فراگریز استخراج شدند و میزان هر کدام توسط طیف سنجی مورد بررسی قرار گرفت. نوسان میزان آنزیم‌های SOD و CAT ارتباط مثبت و معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) در طول دوره مطالعه نشان دادند. مشابه این ارتباط بین آنزیم‌های GPx، GR گزارش شد. در سایت ۴ بزرگترین نمونه‌ها با میانگین طول کل  $(\pm SD)$   $47/08 (\pm 4/7)$  میلی‌متر و در سایت ۱ کوچکترین نمونه‌ها با میانگین طول کل  $(\pm SD)$   $37/9 (\pm 3/9)$  مشاهده شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که واکنش متابولیک صدف *C. umbonella* در کنترل تنش اکسیداتیو ناشی از آلودگی در رسوبات با تخلخل زیاد بیشتر در جهت کاهش سوخت و ساز است. در حالی‌که این واکنش در رسوبات با تراوایی زیاد برعکس مشاهده گردید. در نهایت نتایج این مطالعه نشان داد که *C. umbonella* در رسوبات غیرآلوده با تخلخل زیاد بهترین رشد را نشان می‌دهند.

کلمات کلیدی: دانه‌بندی، سواحل ماسه‌ای، تنش اکسیداتیو، *C. umbonella*، آلودگی هیدروکربنی، خلیج فارس.

## ۱. مقدمه

صورت گرفته و میعانات گازی استحصال شده از دریا از در بخش - های شرقی (سایت ۱، ایستگاه مرجان) و غربی (سایت ۲، ایستگاه دماوند) منطقه عسلویه به خشکی راه می یابند. قسمت سوم میعانات برداشت شده نیز در شرق شهر کنگان (سایت ۵، ایستگاه مروارید) به خشکی انتقال می یابد. با این وجود درصدی از پالایشگاه‌های این منطقه هنوز به بهره برداری نرسیده‌اند. فعالیت - های صورت گرفته در منطقه باعث ایجاد تغییرات زیادی در ساختار ساحل شده که عمده آن‌ها، تغییرات دانه‌بندی رسوبات منطقه هستند (Niamaimandi, 2013). ساختار دانه‌بندی سواحل این منطقه از نوع ماسه گلی بوده و صدف دوکفه‌ای *Callista umbonella* (Lamarck, 1818) غالب‌ترین صدف ونوس در شمال خلیج فارس است (Saeedi et al., 2010). کم تحرکی، توانایی تجمع زیستی و مقاومت زیاد در مواجهه با انواع تنش‌های محیطی، دوکفه‌ای‌ها را به عنوان موجودات موفق در زیستگاه‌های ساحلی مطرح کرده است (Carella et al., 2015). در دوکفه‌ای‌ها انتخاب راهبرد مقابله با تنش، بسته به نوع و شدت آن متفاوت است (Abale and Puntarulo, 2004). با این وجود در تمام این موجودات دو مدل کلی مواجهه با تنش‌های محیطی وجود دارد. در مدل اول زمانی که شدت تنش از آستانه تحمل موجود کمتر باشد، موجود با افزایش نرخ سوخت و ساز، انرژی لازم جهت احیا و ترمیم تخریب‌های سلولی ناشی از تنش را تامین می‌کند. اما چنانچه شدت تنش بیشتر از آستانه تحمل موجود باشد موجود مدل دوم مواجهه را در دستور کار خود قرار داده و با کاهش نرخ سوخت و ساز و کند کردن ساعت زیستی، سعی در حفظ هم ایستایی<sup>۵</sup> سیستم سوخت و ساز به عنوان شاهرگ بقاء نموده و از تولید محصولات جانبی سوخت و ساز ممانعت می‌کند (Alofisis, 2002). آثار سمی ترکیبات ROS<sup>۶</sup> تحت عنوان تنش اکسیداتیو و عملکرد موجودات در کنترل آن‌ها تحت عنوان دفاع آنتی‌اکسیدانی در بسیاری از تحقیقات مورد توجه قرار گرفته است (Aljbour et al., 2018) و (Amira et al., 2018). ترکیبات ROS شامل ترکیبات هیدروکسل رادیکال<sup>۷</sup>، رادیکال‌های سوپراکسید<sup>۸</sup>، پراکسید هیدروژن<sup>۹</sup> و اکسیژن منفرد<sup>۱۰</sup> بوده که تمامی آن‌ها می‌توانند

سواحل ماسه‌ای محیط‌های پویایی بوده و ساختار فیزیکی این زیستگاه‌ها توسط سه عامل نوع ماسه، قدرت امواج و نوع جزر و مد کنترل می شوند. نوع دانه‌بندی رسوبات با تغییر سه ویژگی مهم در رسوبات تاثیر مستقیم بر تنفس و سوخت و ساز موجودات ساکن این زیستگاه‌ها دارند. این ویژگی‌ها شامل تخلخل<sup>۱</sup>، تراوایی<sup>۲</sup> و نفوذپذیری<sup>۳</sup> رسوبات می باشند (McLachlan and Defeo, 2017a). از طرفی نوع دانه‌بندی رسوبات ماسه‌ای با تاثیر بر دما، اکسیژن محلول و شوری رسوبات، بر سوخت و ساز موجودات ساکن این زیستگاه‌ها اثر غیر مستقیم دارند.

ماسه در نواحی ساحلی از دو منبع اصلی تامین می‌شود. منبع اول تامین ماسه در ساحل فرسایش سنگ‌ها بوده و ماسه‌هایی نرم، کروی و از جنس کوارتز یا سیلیس تولید می‌کند. بهره‌برداری انسان از ساحل به ویژه توسعه سواحل، باعث افزایش تولید ماسه‌های نرم می‌شود که البته همراه این ماسه‌ها میزان زیادی لای و رس به ساحل اضافه می‌شود. فرسایش اسکلت کربناتی حیوانات، دیگر منبع تهیه ماسه است. ماسه‌های تهیه شده از این منبع زیستی زبرتر و چگال‌تر از ماسه‌های گروه اول بوده، اما از آنجاکه دارای زواید تیز هستند، شناوری بیشتری نسبت به ماسه‌های گروه اول دارند. افزایش ماسه‌های زیستی منجر به افزایش تراوایی رسوبات شده و در نتیجه منجر به کاهش زمانی می‌شوند که موجود در معرض آلودگی است.

در مطالعه زیست موجودات درون رسوبات، بررسی دانه‌بندی رسوبات اجتناب ناپذیر است. متداول‌ترین و قابل قبول‌ترین روش در گروه‌بندی رسوبات روش ونت ورث<sup>۴</sup> است که در آن رسوبات ماسه‌ای به پنج گروه ماسه بسیار نرم، ماسه نرم، ماسه معمولی، ماسه زبر و ماسه بسیار زبر تقسیم‌بندی می‌شوند (McLachlan and Defeo, 2017b). با توجه به قرارگیری بزرگترین میدان گازی جهان در خلیج فارس و احداث تاسیسات تصفیه و پالایش فرآورده‌های گازی در سواحل مناطق کنگان و عسلویه، زیستگاه‌های ساحلی این مناطق در معرض تنش‌هایی متفاوت از آنچه در سواحل کشندی قابل پیش‌بینی است، هستند (Hamzavi et al., 2012). برداشت میعانات از میدان گازی پارس جنوبی، توسط تاسیسات فراساحل

<sup>5</sup> Homeostasis

<sup>6</sup> Reactive Oxygen Species

<sup>7</sup> OH<sup>-</sup>

<sup>8</sup> O<sub>2</sub><sup>-</sup>

<sup>9</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

<sup>10</sup> O<sub>2</sub><sup>-</sup>

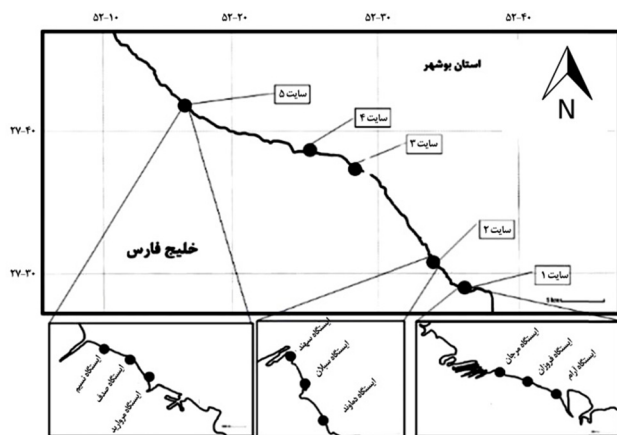
<sup>1</sup> Porosity

<sup>2</sup> Permeability

<sup>3</sup> Penetrability

<sup>4</sup> Wentworth

انتخاب پلات‌ها با توجه به طول کشند و عمود بر خط ساحلی بر آورد گردید (جدول ۱).



شکل ۱: موقعیت سایت‌ها و ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۱: مشخصات سایت‌ها و ایستگاه‌های مرتبط با آن‌ها، تعداد تکرارها و ملاحظات هر کدام از آن‌ها

| نام سایت | تعداد تکرار | نام ایستگاه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ملاحظات                                 |
|----------|-------------|-------------|---------------|---------------|---|
| سایت ۱   | ۲۷          | فروزان      | ۲۷° ۳۱' ۰۵"   | ۵۲° ۳۴' ۰۹"   | نزدیک به خطوط انتقال دور از خطوط انتقال |
| سایت ۲   | ۲۷          | سیلان       | ۲۷° ۲۷' ۳۷"   | ۵۲° ۳۷' ۳۴"   | دورتر از خطوط انتقال                    |
| سایت ۳   | ۹           | آفتاب       | ۲۷° ۳۷' ۱۸"   | ۵۲° ۲۸' ۲۸"   | نزدیک به خطوط انتقال شاهد شماره یک      |
| سایت ۴   | ۹           | سحر         | ۲۷° ۳۸' ۵۶"   | ۵۲° ۳۴' ۳۳"   | شاهد شماره دو                           |
| سایت ۵   | ۲۷          | صدف         | ۲۷° ۳۳' ۵۴"   | ۵۲° ۰۹' ۵۵"   | دورتر از خطوط انتقال                    |
|          |             | مروارید     | ۲۷° ۴۲' ۱۷"   | ۵۲° ۱۱' ۴۹"   | نزدیک به خطوط انتقال                    |

اندازه نمونه‌برداری بر اساس توده‌های ۳۵ سانتی‌متر مربعی صدف‌های ونوس و فاصله ۵۲ متری منطبق با آنچه در مطالعه شاهد مشاهده شده بود انتخاب گردید. بدین منظور نمونه‌ها با استفاده از گرب اهرم دار<sup>۵</sup> با طول اهرم ۷۵ سانتی‌متر و سطح مقطع ۰,۰۲۵ متر مربع از سطح رسوبات برداشت شدند (Eleftheriou and McIntyre, 2005). در هر تکرار دو گرب زده شد به نحوی که مساحت نمونه‌برداری در هر پلات همواره بیشتر از یک مترمربع بود. همچنین اطمینان حاصل شد که از کل توده، نمونه‌برداری انجام شد. از هر پلات یک نمونه اضافه برای سنجش نوع دانه‌بندی برداشت گردید (Eleftheriou and

Matozzo et al., 2018). با افزایش نرخ سوخت و ساز تولید میزان ترکیبات ROS در سلول افزایش یافته و استفاده از سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی جهت بقاء سلول الزامی است. مهمترین آنتی‌اکسیدان‌ها در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی شامل چهار آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز<sup>۱</sup>، کاتالاز<sup>۲</sup>، گلوکاتیون رداکتاز<sup>۳</sup> و گلوکاتیون پراکسیداز<sup>۴</sup> هستند (Blair et al., 2017). این تحقیق سعی دارد تا با بررسی مقایسه‌ای عملکرد دوکفه‌ای *C. umbonella* در کنترل تنش ناشی از تغییرات دانه‌بندی سایت‌های صنعتی و سایت‌های شاهد، تفاوت عملکرد سوخت و سازی دوکفه‌ای ونوس را در تنش اکسیداتیو در این زیستگاه بررسی کند.

## ۲. مواد و روش‌ها

به منظور برآورد پراکنش گونه‌های دوکفه‌ای ونوس در سواحل منطقه عسلویه از مطالعه شاهد استفاده شد. بدین منظور از موقعیت‌های در دسترس خط ساحلی از منطقه شهری عسلویه تا روستای تنبک نمونه‌برداری صورت گرفت. تعداد دو سایت در منطقه عسلویه، یک سایت در روستای شیرینو، یک سایت در روستای پرک و یک سایت در روستای تنبک با دانه‌بندی مختلف انتخاب شدند. سایت اول که خطوط انتقال میعانات گازی فازهای قدیمی عسلویه را شامل می‌شود قدمتی حدود ۱۵ سال داشته و به شدت در برابر امواج محافظت شده قرار دارد. سایت دوم قدمتی کمتر از سایت اول داشته و کمتر از این سایت نسبت به اثر امواج مقاوم است. در این سایت خطوط انتقال پالایشگاه‌های نسل دوم میدان گازی پارس قرار گرفته‌اند. در سایت پنجم عمده پالایشگاه‌ها در حال ساخت بوده و درصد کمی از آن‌ها به بهره‌برداری رسیده‌اند. در این سایت هیچ‌گونه محافظتی نسبت به برخورد امواج وجود ندارد (شکل ۱).

تعداد ایستگاه‌ها و تکرارها در هر سایت با توجه به بهره‌برداری از ساحل انتخاب شدند به نحوی که از سایت اول، دوم و پنجم هر کدام ۳ ایستگاه (با توجه به فاصله از محل انتقال میعانات) و در مجموع ۸۱ تکرار و از سایت‌های سوم و چهارم هر کدام یک ایستگاه و در مجموع ۱۸ تکرار نمونه برداشت شد. در هر ایستگاه

<sup>1</sup> Superoxide Dismutase (SOD)

<sup>2</sup> Catalase (CAT)

<sup>3</sup> Glutathione Reductase (GR)

<sup>4</sup> Glutathione Peroxidases (GPx)

<sup>5</sup> van Veen Grab

گردید و به آن ۰/۱ mM فنیل متیل سولفونیل فلوراید<sup>۳</sup>، ۱ TIU ml<sup>-1</sup> ۰/۰۰۸ آپروتین<sup>۴</sup>، ۱ ng ml<sup>-1</sup> لئوپتین<sup>۵</sup>، ۵ ng ml<sup>-1</sup> پیستاتین<sup>۶</sup> و ۱ ng ml<sup>-1</sup> باسیتراسین<sup>۷</sup> اضافه شد. بافر تهیه شده در نسبت ۱:۵ بهترین عملکرد را نشان داد. به نحوی که در میزان‌های بیشتر بافر به علت انحلال پروتئین‌ها تفریح نمونه مشاهده شد و در میزان‌های کمتر کارایی همگن‌سازی کاهش پیدا کرد. برای همگن‌سازی هر نمونه یک دقیقه زمان نیاز داشت (Bergmeyer, 1965).

جهت استخراج آنتی‌اکسیدان‌ها نمونه همگن شده با سرعت ۱۲۰۰۰g و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. بدین‌منظور از سانتریفیوژ یخچالی محصول شرکت Eppendorf مدل 5424R استفاده گردید. یک میلی‌لیتر از رسوبات سطح ویال برای سنجش آنتی‌اکسیدان‌ها برداشت شد و در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد در نیتروژن مایع تثبیت گردید (Francesco et al., 2012).

#### ۲-۲ اندازه‌گیری میزان سوپر اکسید دیسموتاز (EC1.15.1.1)

میزان سوپر اکسید دیسموتاز بر مبنای میزان کاهش احیای سیتوکروم C برآورد شد. جهت تهیه محلول پایه طیف‌سنجی از ترکیب ۱۰۰mM فسفات پتاسیم، ۱۰۰mM اتیلن دی آمین ترا استیک اسید<sup>۸</sup>، ۱۰۰ mU ml<sup>-1</sup> زانتین اکسیداز<sup>۹</sup> و محلول سیتوکروم C استفاده شد و در طول موج ۵۵۰ نانومتر و در دمای اتاق قرائت گردید (Fernandez et al., 2009).

#### ۲-۳ اندازه‌گیری میزان آنزیم کاتالاز (EC1.11.1.6)

میزان آنزیم کاتالاز بر اساس میزان کاهش پراکسید ۱۰ محاسبه شد. جهت تهیه محلول پایه طیف‌سنجی از ترکیب ۱۰۰mM فسفات پتاسیم و ۱/۲ m پراکسید استفاده شد و طیف‌سنجی در طول موج ۲۴۰ نانومتر و در دمای اتاق قرائت گردید (Fernandez et al., 2009).

(McIntyre, 2005). پس از برداشت نمونه‌ها سریعاً با الک ۱۲/۵ میلی‌متر در آب دریا شسته شدند و دوکفه‌ای‌های ونوس در نیتروژن مایع تثبیت گردیدند و به آزمایشگاه انتقال یافتند (Vlahogianni et al., 2007). نمونه‌برداری از هر ایستگاه در یک روز انجام شد. نمونه‌های آب با استفاده از نمونه‌بردار نقطه‌ای Van Dorn با ظرفیت ۲۲۰۰ میلی‌لیتر محصول شرکت Eijkelkamp برداشت شدند و پارامترهای شوری، دما، pH و کدورت توسط دستگاه Multiparameter محصول شرکت Hanna Instrument به شماره محصول HI9829 ارزیابی شدند. همچنین موقعیت هر تکرار و تاریخ و زمان نمونه‌برداری در دستگاه ثبت گردیدند. رده‌بندی نمونه‌های دوکفه‌ای ونوس با استفاده از ویژگی‌های ریخت‌سنجی بررسی شدند و از هر سایت یک نمونه جهت تایید موزه‌ای به موزه تاریخ طبیعی روتردام ارسال شد.

برای آنالیزهای آزمایشگاهی پوسته صدف توسط اسکالپل برش داده شد. کفه‌ها از یکدیگر جدا گردیدند و بافت نرم محتوی درون کفه‌ها تخلیه شدند. به جهت کاهش آلودگی مقاطع در هنگام آزمایش برای هر مورد از یک تیغه و یک اسپاتول سترون جداگانه استفاده شد (Lacey, 2012). بافت نرم جداسازی شده از کفه به کیسه بافت Covaris مدل TT05 انتقال یافت و یک لوله بافت ۱۰ سانتی‌متری به آن اضافه شد و همراه با کیسه به مدت یک دقیقه در نیتروژن مایع قرار گرفت. سپس نمونه به دستگاه خردکن خشک Cryo Impactor محصول شرکت Covaris مدل CP02 انتقال داده شد، سپس قدرت دستگاه روی سطح ۴ تنظیم شد و نمونه‌ها به صورت یخ خشک و خرد شدند. سپس نمونه‌ها به لوله بافت انتقال داده شدند و کیسه، حذف شد و لوله‌های بافت در بسته به مدت دو دقیقه در نیتروژن مایع قرار گرفتند (Alves de Almeida et al., 2007).

#### ۱-۲ تهیه بافر همگن‌سازی و استخراج آنتی‌اکسیدان‌ها

این محلول منطبق با روش ارائه شده برای نرم‌تنان دریایی تهیه شد (Abele et al., 2012). بدین‌منظور ۱۰۰ mM بافر فسفات پتاسیم<sup>۱</sup> در ۷/۵ pH همراه با ۲/۵ درصد کلرید سدیم<sup>۲</sup> تهیه

<sup>۱</sup> Potassium phosphate

<sup>۲</sup> Sodium chloride

<sup>۳</sup> Phenyl methyl sulphonyl fluoride (PMSF)

<sup>۴</sup> Appropriate

<sup>۵</sup> Leupeptin,

<sup>۶</sup> Pepstatin,

<sup>۷</sup> Bacitracin

<sup>۸</sup> Ethylene diamine tetra acetic acid (EDTA)

<sup>۹</sup> Xanthine Oxidase

<sup>۱۰</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

### ۷-۲ تعیین اندازه

اندازه صدف دوکفه‌ای بر مبنای سنجش طول کل توسط کولیس دیجیتال هاردن مدل MET821 انجام گردید (Eleftheriou and McIntyre, 2005).

### ۸-۲ آنالیز آماری

با توجه به استفاده از پیش فرض منفی<sup>۴</sup> در تحقیق حاضر، آنالیز واریانس آماره‌ها به عنوان شاخص تفاوت انتخاب شدند و شباهت گروه‌ها توسط آزمون Fisher بررسی شدند. قبل از بررسی تحلیل واریانس همگنی داده‌ها توسط آزمون Shapiro-Wilk بررسی گردید (Bakus, 2007). جهت آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار Minitab، نسخه ۱۸/۱ استفاده شد.

### ۳. نتایج و بحث

در مجموع ۴۱۰ دوکفه‌ای از سایت‌های مختلف صید شدند. اما با توجه به حجم بافت نرم، سنجش‌های آنزیمی برای ۱۹۲ نمونه امکان‌پذیر بود. تعداد و اندازه دوکفه‌ای‌ها در هر سایت در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲: تعداد دوکفه‌ای‌ها، اندازه و درصد ماسه‌های نرم و زبر در سایت‌های مورد مطالعه

| نام سایت | تعداد دوکفه‌ای | میانگین (±SD) طول کل بر مبنای میلی‌متر | میانگین (±SD) درصد ماسه زبر در هر سایت | میانگین (±SD) درصد ماسه نرم در هر سایت |
|----------|----------------|--|--|--|
| سایت ۱   | ۵۱             | ۳۷/۷۲ (±۳/۹) <sup>c</sup>              | ۱۳/۸۱ (±۱/۷) <sup>d</sup>              | ۲۸/۳۱ (±۳/۵) <sup>b</sup>              |
| سایت ۲   | ۴۳             | ۴۳/۱۲ (±۴/۸) <sup>b</sup>              | ۱۵/۳۱ (±۰/۸) <sup>c</sup>              | ۲۲/۹۸ (±۱/۴) <sup>b</sup>              |
| سایت ۳   | ۱۶             | ۴۶/۹۱ (±۴/۹) <sup>a</sup>              | ۱۶/۳۲ (±۰/۷) <sup>b</sup>              | ۳۱/۱۲ (±۱/۲) <sup>a</sup>              |
| سایت ۴   | ۲۰             | ۴۷/۰۸ (±۴/۷) <sup>a</sup>              | ۱۷/۲۱ (±۱/۳) <sup>a</sup>              | ۳۱/۸۱ (±۱/۱) <sup>a</sup>              |
| سایت ۵   | ۶۲             | ۴۵/۷۹ (±۵/۲) <sup>a</sup>              | ۱۶/۳۱ (±۱/۲) <sup>b</sup>              | ۲۸/۵۶ (±۴/۱) <sup>b</sup>              |

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف آماری در سطح ۵٪ طبق آزمون توکی است.

از نقطه نظر ارتباط اندازه و دانه‌بندی در شاخص همبستگی پیرسون، طبق پیش‌بینی میانگین اندازه نمونه‌های برداشت شده با میزان دو نوع ماسه (زبر و خیلی زبر) گزارش شده همبستگی مثبت معنی‌داری را نشان دادند به نحوی که با افزایش میزان درصد ماسه در رسوبات، اندازه نمونه‌ها افزایش داشتند ( $P < 0.05$ ).

<sup>4</sup> Null Hypothesis

### ۴-۲ اندازه‌گیری میزان آنزیم گلوکوتاتیون پراکسیداز (EC 1.11.1.9 – EC 2.5.1.1.8)

میزان آنزیم گلوکوتاتیون پراکسیداز بر اساس محاسبه میزان احیا NADP در حضور مهارکننده‌های آنزیم کاتالاز محاسبه شد (Mannervik et al., 1989). جهت تهیه محلول پایه طیف‌سنجی از ترکیب فسفات پتاسیم ۱۰۰ mM EDTA، ۱۰۰ mM محلول عملیاتی گلوکوتاتیون<sup>۱</sup>، محلول عملیاتی NADP با غلظت ۲۰ mg ml<sup>-1</sup> و محلول عملیاتی گلوکوتاتیون رداکتاز با غلظت ۱۰۰ ml<sup>-1</sup> استفاده شد. جهت مهار آنزیم کاتالاز از محلول آزید سدیم<sup>۲</sup> به همراه محلول هیدرو پراکسید کامن<sup>۳</sup> و محلول عملیاتی پراکسید استفاده شد. قرائت در دمای اتاق و در طول موج ۳۴۰ نانومتر صورت گرفت (Francesco, et al., 2012).

### ۵-۲ اندازه‌گیری میزان گلوکوتاتیون رداکتاز (EC 1.6.4.2)

میزان آنزیم گلوکوتاتیون رداکتاز بر مبنای میزان اکسیداسیون NADPH و تولید GSH اندازه‌گیری شد (Mannervik et al., 1989). جهت تهیه محلول پایه طیف‌سنجی از ترکیب mM KPI، ۱۰۰ mM EDTA، ۱۰۰ mM محلول عملیاتی GSH، محلول عملیاتی NADPH با غلظت ۱۰۰ mg ml<sup>-1</sup> استفاده شد. قرائت در دمای اتاق و در طول موج ۳۴۰ نانومتر صورت گرفت (Francesco et al., 2012).

### ۶-۲ آنالیز دانه‌بندی

آنالیز دانه‌بندی رسوبات با استفاده از الک و هم‌زن انجام شد (Buchanan and Longbottom, 1970). الک‌ها از نوع Woven Wire با سطح مقطع ۱۲ اینچ دارای استاندارد ASTM-E11 انتخاب شدند. اندازه حفره الک‌ها بر مبنای رده‌بندی رسوبات با روش ونت ورث تعیین شدند. بدین منظور از ۵ الک با اندازه حفره ۰/۰۶۳، ۰/۱۲۵، ۰/۲، ۰/۶۳، ۱/۲۵ و ۲/۰۰ میلی‌متر استفاده شد (Nabavi et al., 2007).

<sup>1</sup> Glutathione (GSH)

<sup>2</sup> Sodium Azide (NaN<sub>3</sub>)

<sup>3</sup> Cumene Hydroperoxide (CHP)

ها همراه است. براین اساس به نظر می‌رسد، کاهش نرخ سوخت و ساز صدف دوکفه‌ای در سایت ۱ واکنش سوخت و سازی موجود در تنش اکسیداتیو ناشی از تغییرات محیطی باشد. در سایت دوم، میزان ساخت هر دو آنزیم گلوکاتایونی مورد مطالعه در بیشترین سطح قرار داشت (جدول ۳). در این سایت اندازه صدف‌های دوکفه‌ای کمتر از اندازه مشاهده شده در سایت‌های شاهد بود، اما از سایت یک بیشتر مشاهده شد. بر اساس مدل GAS در مواجهه موجود با شرایط تنش، بالا بودن نرخ تولید آنزیم گلوکاتایون رداکتاز در کنار دیگر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، نشان‌دهنده عملکرد موجود در افزایش تولید انرژی حاصل از سوخت و ساز جهت ایجاد سازگاری با شرایط تنش است و افزایش میزان انرژی لازم جهت ایجاد سازگاری منجر به کاهش میزان انرژی اختصاص یافته برای رشد و در نتیجه کاهش رشد موجود است (Rius et al., 2018).

جدول ۳: میزان تغییرات آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در بافت نرم صدف در سایت‌های مختلف مورد مطالعه

| نام سایت | آنزیم CAT<br>( $\pm$ SD)<br>U mg <sup>-1</sup> P | آنزیم SOD<br>( $\pm$ SD)<br>U mg <sup>-1</sup> P | آنزیم GPx<br>( $\pm$ SD)<br>U mg <sup>-1</sup> P | آنزیم GR<br>( $\pm$ SD)<br>U mg <sup>-1</sup> P |
|----------|--|--|--|---|
| سایت ۱   | ۵۶/۰۷ ( $\pm$ ۴/۱) <sup>a</sup>                  | ۱۷۳/۴۵ ( $\pm$ ۱۹/۶۵) <sup>a</sup>               | ۱۵/۴۰ ( $\pm$ ۲/۲۱) <sup>c</sup>                 | ۳۶/۰۷ ( $\pm$ ۲/۲۱) <sup>b</sup>                |
| سایت ۲   | ۴۸/۴۶ ( $\pm$ ۲/۲) <sup>a</sup>                  | ۱۶۹/۲۵ ( $\pm$ ۱۳/۱۰) <sup>a</sup>               | ۲۹/۷۲ ( $\pm$ ۳/۰۱) <sup>a</sup>                 | ۱۰۲/۵ ( $\pm$ ۲/۰۱) <sup>a</sup>                |
| سایت ۳   | ۳۲/۲۷ ( $\pm$ ۴/۱) <sup>b</sup>                  | ۱۴۸/۹ ( $\pm$ ۱۹/۱۰) <sup>a</sup>                | ۲۵/۱۸ ( $\pm$ ۳/۲) <sup>b</sup>                  | ۱۰۲/۱۵ ( $\pm$ ۳/۲) <sup>a</sup>                |
| سایت ۴   | ۳۳/۷۸ ( $\pm$ ۴/۱) <sup>b</sup>                  | ۱۵۰/۷۵ ( $\pm$ ۱۵/۶۵) <sup>a</sup>               | ۲۴/۸۷ ( $\pm$ ۳/۳۹) <sup>b</sup>                 | ۱۰۱/۸۱ ( $\pm$ ۳/۳۹) <sup>a</sup>               |
| سایت ۵   | ۳۶/۶۵ ( $\pm$ ۲/۲) <sup>b</sup>                  | ۱۵۴/۳۸ ( $\pm$ ۱۲/۱۰) <sup>a</sup>               | ۲۵/۵۱ ( $\pm$ ۳/۶) <sup>b</sup>                  | ۱۰۰/۷۰ ( $\pm$ ۳/۶) <sup>a</sup>                |

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف آماری در سطح ۵٪ طبق آزمون توکی است.

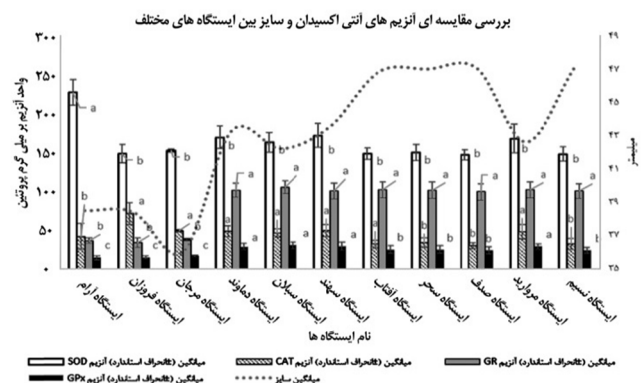
در بررسی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ارتباط مثبت و معنی‌داری بین میزان آنزیم‌های کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز ( $P < 0.05$ ) و بین میزان آنزیم‌های گلوکاتایون رداکتاز و گلوکاتایون پراکسیداز ( $P < 0.05$ ) مشاهده گردید. بررسی موجود در ایستگاه‌های مختلف به منظور بررسی اثر فاصله از منبع آلودگی در رشد و عملکرد سوخت و سازی موجود در دفاع آنتی‌اکسیدانی صورت گرفت. در این بررسی مشخص شد در سایت ۱ که کمترین میزان تراوایی در رسوبات را دارد، بین ایستگاه‌های دور از منبع آلودگی و نزدیک به آن تفاوت معنی‌داری در اندازه دوکفه‌ای‌ها نشان نداد. به نظر می‌رسد افزایش تخلخل، منجر به ماندگاری طولانی‌تر آلودگی ناشی از نشن خطوط انتقال میعانان در رسوبات این سایت شده است (Huanga et al., 2018). به نحوی که در بررسی میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مشخص شد سوخت و ساز در کل موجودات مورد مطالعه کاهش چشم‌گیری نسبت به سایت‌های شاهد نشان دادند

همچنین میانگین اندازه نمونه‌ها با نسبت رس و لای هر ایستگاه ارتباط معکوس و معنی‌دار نشان داد ( $P < 0.05$ ) (جدول ۲). سایت ۱ قدیمی‌ترین سایت در حال بهره‌برداری بوده و به شدت تحت تاثیر فعالیت‌های صنعتی است. میزان لای و رس و همچنین تخلخل رسوبات در این سایت، بیشتر از ایستگاه‌های شاهد گزارش شد به نحوی که در این سایت ظرفیت بیشتری جهت تامین آب و تنفس موجود در شرایط جزر و مد وجود داشت. همچنین احتمال خفگی موجودات صافی‌خوار نیز بیشتر بود (Libralato et al., 2018). برخلاف این مورد در ایستگاه‌های شاهد افزایش میزان ماسه نرم منجر به افزایش تخلخل رسوبات و ثبات حاصل از آن شد. این ثبات عامل اصلی حفظ هموستازی سوخت و ساز و افزایش رشد صدف‌ها در ایستگاه‌های شاهد بود (Amira et al., 2018). سایت ۱ دارای کمترین میزان از ماسه زبر بود. بر این اساس سطح تراوایی رسوبات در این سایت کمتر از سایت‌های دیگر بوده و موجودات بیشتر در معرض آلودگی‌های احتمالی محیطی قرار می‌گیرند (Libralato et al., 2018). در سایت دوم میزان ماسه زبر کمتر از دیگر سایت‌ها (به استثنای سایت ۱) بود. لذا تراوایی رسوبات این سایت نیز کمتر از سایت‌های شاهد و سایت ۵ گزارش شد. با این وجود میزان تخلخل رسوبات ماسه‌ای این سایت برابر با سایت ۵ بود. وجود سه گروه متفاوت در آماره اندازه نشان داد که اندازه دوکفه‌ای‌های برداشت شده در سایت‌های اول و دوم متفاوت از سه سایت دیگر هستند. در بررسی آماره اندازه نمونه‌ها در ایستگاه‌های مختلف سه گروه متفاوت مشاهده شد ( $P < 0.05$ ) که نشان‌دهنده اثر سایت بر اختصاص میزان انرژی رشد این موجودات است (Amira et al., 2018) به نحوی که در سایت‌های سوم، چهارم و پنجم انرژی بیشتری صرف رشد دوکفه‌ای شده است. در بررسی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بافت نرم دوکفه‌ای مشاهده شد که در نمونه‌های سایت یک که کوچکترین اندازه را بین نمونه‌های مورد مطالعه داشتند، بیشترین میزان آنتی‌اکسیدان‌های کاتالاز وجود دارد. با این وجود میزان آنتی‌اکسیدان گلوکاتایون پراکسیداز و آنزیم واسطه گلوکاتایون رداکتاز کمتر از دیگر سایت‌ها گزارش شد. تحقیقات نشان می‌دهند که صدف‌های دوکفه‌ای در زمان کاهش میزان سوخت و ساز همچنان به ساخت آنزیم آنتی-اکسیدانی کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز ادامه می‌دهند (Dutta et al., 2018; Anestis et al., 2007). در موجودات کاهش سوخت و ساز، همواره با کاهش نرخ رشد و ساخت دیگر آنزیم-

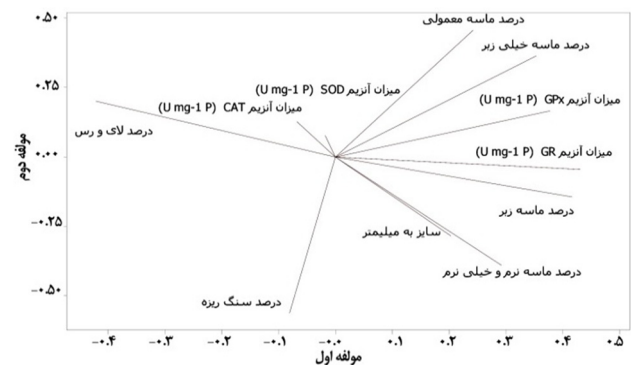
#### ۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه سه سایت مختلف صنعتی در سواحل شنی از نظر تاثیر ویژگی‌های زیستگاهی در عملکرد متابولیک صدف *C. umbonella* مورد بررسی قرار گرفت. در سایت اول میزان تخلخل رسوبات قابل توجه بود و ظرفیت اشباع رسوبات از آب دریا نسبت به سایت‌های دوم و پنجم بیشتر بود. از طرفی تراوایی به نسبت کم در این رسوبات باعث شد که زمان ماندگاری آلاینده‌ها در این رسوبات افزایش یابد به نحوی که پیش‌بینی گردید که موجودات ساکن در ماسه‌های بین کشندی این سایت بیشتر از دیگر سایت‌ها در معرض آلودگی قرار دارند. مطالعه آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و میزان رشد صدف *C. umbonella* نشان داد که کاهش سوخت و ساز، راهبرد مقابله‌ای این موجود جهت بقا در این شرایط بحرانی است که در هر سه ایستگاه این سایت مشاهده گردید. کاهش آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در نمونه‌های مورد مطالعه در این ایستگاه نشان داد که طبق مدل GAS، موجود در شرایط بحرانی بقا قرار دارد. بر اساس مطالعات Kim و همکاران (۲۰۱۷) سرعت تشکیل و اثر این آنزیم‌ها در مقایسه با آنزیم‌های اکسید و احیا گلوکوتایون یکی دیگر از عوامل ثابت بودن نرخ تولید این آنزیم‌ها در موجودات بین کشندی است. به نحوی که این آنزیم‌ها جهت مواجهه با تنش‌های لحظه‌ای مانند افزایش سوخت و ساز ناشی از شکار یا تغییرات فیزیکی لحظه‌ای زیستگاه به چشم می‌خورند (Kim et al., 2017). به بیان دیگر این آنزیم‌ها بهترین عملکرد را در دوره رست<sup>۲</sup> اولین مواجهه با تنش در موجودات بین کشندی ثابت نشان می‌دهند (Hiebenthal et al., 2012). در سیستم‌های مقابله با تنش موجودات، این مرحله به مرحله هشدار<sup>۳</sup> معروف است. کاهش معنی‌دار میزان این آنزیم‌ها همراه با کاهش رشد موجود در سایت یک عدم تفاوت میزان این آنزیم‌ها در سه ایستگاه مورد بررسی در پیش‌فرض قرارگیری موجود در شرایط هشدار را رد می‌کند. عدم تفاوت در میزان آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در ۹ ایستگاه دیگر نشان داد که در هیچ یک از ایستگاه‌ها عملکرد سوخت و ساز موجود تحت تاثیر شوک محیطی نبوده است. در سایت دوم رسوبات ماسه‌ای زبر باعث شده است که تراوایی رسوبات افزایش پیدا کرده و در نتیجه آلودگی‌های حاصل از

(Zonta et al., 2018). در سایت ۲ همان‌طور که ذکر شد، اندازه موجودات مورد مطالعه نشان داد که عملکرد سوخت و ساز موجود به سمت مقاومت و سازگاری با شرایط آلودگی پیش می‌رود. نکته قابل توجه، قرارگیری وضعیت متابولیک موجود در ایستگاه مروارید از سایت پنجم بود که در این ایستگاه مطالعه آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و اندازه موجود شباهت زیادی به ایستگاه‌های سایت دوم را نشان داد. با توجه به اینکه این ایستگاه در نزدیکی محل آلودگی در سایت ۵ قرار دارد، برخلاف ایستگاه‌های دیگر این سایت که در میزان رشد و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شبیه به ایستگاه‌های شاهد هستند، عملکرد سوخت و ساز نمونه‌های مورد مطالعه در این سایت در جهت سازگاری با شرایط آلودگی هستند (شکل ۲). در تحلیل اجزای اساسی<sup>۱</sup> آماره ایستگاه‌ها، نوسان همگام آنزیم‌های گلوکوتایون ردانکاز و گلوکوتایون پراکسیداز به همراه ماسه‌های زبر، نوسان مستقل آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و همچنین نوسان همگام اندازه نمونه‌ها و میزان ماسه نرم مشاهده شد (شکل ۳).



شکل ۲: نمودار تغییرات همگام افزایش طول صدف با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی.



شکل ۳: نمودار تحلیل اجزای اساسی متغیرهای دانه‌بندی و آنتی‌اکسیدانی ایستگاه‌های مختلف مورد مطالعه.

<sup>2</sup> Rest

<sup>3</sup> Alarm Stage

<sup>1</sup> Principal Component Analysis

- Island, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 171(4): 923-932.
- Alves de Almeida, E.; Celso Dias Bainy, A.; Paula de Melo Loureiro, A.; Regina Martinez, G.; Miyamoto, S., 2007. Oxidative stress in *Perna perna* and other bivalves as indicators of environmental stress in the Brazilian marine environment: Antioxidants, lipid peroxidation and DNA damage. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 26(8): 588-600.
- Amira, A.; Merad, I.; Almeida, M.; Guimara, L.; Soltani, N., 2018. Seasonal variation in biomarker responses of *Donax trunculus* from the Gulf of Annaba (Algeria): Implication of metal accumulation in sediments. *Comptes Rendus Geoscience*, 31(5): 173-179.
- Anestis, A.; Lazou, A.; P'ortner, H.; Michaelidis, B., 2007. Behavioral, metabolic, and molecular stress responses of marine bivalve *Mytilus galloprovincialis* during long term acclimation at increasing ambient temperature. *American Journal of Physiology*, 42: 911-921.
- Bakus, G., 2007. Types of data, standardizations and transformations, introduction to biometrics, experimental design. In quantitative analysis of marine biological communities: Field biology and environment, New Jersey: John Wiley and Sons, 64-80PP.
- Bergmeyer, H., 1965. *Methods of enzymatic analysis*. New York: Academic Press, 261-280PP.
- Blier, P.U.; Abele, D.; Munroa, D.; Degletagne, C.; Rodriguez, E., 2017. What modulates animal longevity? Fast and slow aging in bivalves as a model for the study of lifespan. *Seminars in Cell and Developmental Biology*, 51(6): 130-140.
- Buchanan, J.B.; Longbottom, M.R., 1970. The determination of organic matter in marine muds: the effect of the presence of coal and the routine determination of protein. *Journal of Experimental*
- انتقال میعانات سریع‌تر از سایت یک از محیط خارج شوند (Nasermoaddeli et al., 2017). براین اساس غلظت آلاینده موجود در رسوبات کاهش می‌یابند. کاهش نسبی رشد و افزایش ساخت کل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نشان می‌دهد راهبرد موجود در مقابله با آلودگی‌های محیطی این سایت، راهبرد مقابله است. این مورد در ایستگاه مروارید از سایت پنجم که در نزدیک محل آلودگی وجود داشت نیز گزارش شد. اما در ۴ ایستگاه باقی‌مانده تخلخل بسیار زیاد رسوبات منجر به ایجاد تعادل محیطی شد که در نتیجه آن رشد صدف را به همراه داشت. این پژوهش موید تحقیقات Dutta و همکاران (۲۰۱۸) بوده و نشان می‌دهد دوکفه‌ای‌های ونوس مورد مطالعه توانایی تغییر سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی را در مواجهه با شدت‌های مختلف تنش دارند. به بیان دیگر این سیستم جزئی از واکنش‌های مرحله مقاومت<sup>۱</sup> در ونوس‌های بین‌کشندی است و با ارتقا توان سازگاری<sup>۲</sup> سعی در ایجاد سازش یا هم‌هوایی<sup>۳</sup> موجودات با محیط را دارد.

#### منابع

- Abale, D.; Puntarulo, S., 2004. Formation of reactive species and induction of antioxidant defence systems in polar and temperate marine invertebrates and fish. *Comparative Biochemistry*, 42(4): 405-415.
- Abele, D.; Vazquez, M.; Jos, E.; Zenteno, T.; Savin, T., 2012. *Oxidative Stress* in aquatic ecosystem. The Atrium, First Edition: Blackwell Publishing Ltd, 320-341PP.
- Aljbour, S.; Al-Horani, F.; Kunzmann, A., 2018. Metabolic and oxidative stress responses of the jellyfish *Cassiopea* to pollution in the Gulf of Aqaba, Jordan. *Marine Pollution Bulletin*, 152(3): 271-278.
- Alofio Torres, M.; Testa, C.P.; Gaspari, C.; Masutti, M.B.; Neves Panitz, C.M.; Curi-Pedrosa, R.; Wilhelm Filho, D., 2002. Oxidative stress in the mussel *Mytella guyanensis* from polluted mangroves on Santa Catarina

<sup>1</sup> Resistant Stage

<sup>2</sup> Adaptation Capacity

<sup>3</sup> Acclimatization



- Mytilus coruscus*. Marine Environmental Research, 156(4): 49-59.
- Kim, Y.D.; Kim, W.J.; Shin, Y.K.; Lee, D.H.; Kim, Y.J.; Kim, J.K.; Rhee, J.S., 2017. Microcystin-LR bioconcentration induces antioxidant responses in the digestive gland of two marine bivalves *Crassostrea gigas* and *Mytilus edulis*. Aquatic Toxicology, 141(4):119-129.
- Lacey, L.A., 2012. Manual of techniques in invertebrate pathology. Washington: Academic Press. 120-160 PP.
- Libralato, G.; Minetto, D.; Lofrano, G.; Guida, M.; Carotenuto, M.; Aliberti, F.; Conte, B.; Notarnicola, M., 2018. Toxicity assessment within the application of in situ contaminated sediment remediation technologies: A review. Science of the Total Environment, 621(5): 85-94.
- Mannervik, B.; Carlberg, I.; Larson, K., 1989. Glutathione, general review of mechanisms of action. New York: Wiley Blackwell, 161-210PP.
- Matozzo, V.; Fabrello, J.; Masiero, L.; Ferraccioli, F.; Finos, L.P.; Gangi, L.; Bogialli, S., 2018. Ecotoxicological risk assessment for the herbicide glyphosate to non-target aquatic species: A case study with the mussel *Mytilus galloprovincialis*. Environmental Pollution, 541(5): 623-632.
- McLachlan, A.; Defeo, O., 2017a. Adaptations to sandy beach life. In: The ecology of sandy shores, Third edition. Cambridge: Academic Press, 103-107PP.
- McLachlan, A.; Defeo, O., 2017b. Sandy-beach invertebrates. In: The ecology of sandy shores, Third edition. Cambridge: Academic Press, 75-90PP.
- Nabavi, S.M.; Ghotbeddin, N.; Kochanian, P.; Dehghan, M.S., 2007. Population growth of the venerid bivalve *Circentia callipyga* in the Hendijan coast, Persian Gulf. Pakistan Journal of Biological Science, 1121(5): 125-148.
- Nasermoaddeli, M.; Lemmen, C.; Stigge, G.; Kerimoglu, Marine Biology and Ecology, 158-169.
- Carella, F.; Feist, S.; Bignell, J.; De Vico, G., 2015. Comparative pathology in bivalves: Aetiological agents and disease processes. Journal of Invertebrate Pathology, 81(9): 107-120.
- Dutta, S.; Mustafi, S.; Raha, S.; Chakraborty, S., 2018. Biomonitoring role of some cellular markers during heat stress-induced changes in highly representative fresh water mollusc, *Bellamyia bengalensis*: Implication in climate change and biological adaptation. Ecotoxicology and Environmental Safety, 41(6): 482-490.
- Eleftheriou, A.; McIntyre, A., 2005. Methods for the study of marine benthos. Oxford, UK: Blackwell Publishing Company, 410-470PP.
- Fernandez, C.; San Miguel, E.; Fernandez-Briera, A., 2009. Superoxide dismutase and catalase: tissue activities and relation with age in the long-lived species *Margaritifera margaritifera*, 42(3): 651-660.
- Francesco, R.; Raffaella, B.; Danilo, W., 2012. Spectrophotometric assay of antioxidant. In: Oxidative stress in aquatic ecosystems. Oxford: Wiley Black Well, 381-385PP. First Edition, Wiley Black Well.
- Hamzavi, S.F.; Kamrani, E.; Salarzadeh, A.; Salarpouri, A., 2012. The study of seasonal changes of intertidal macrobenthoses in mangrove forests of Basatin estuary of Nay band Gulf. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 348-357pp.
- Hiebenthal, C.; Philipp, E.E.; Eisenhauer, A.; Wahl, M., 2012. Interactive effects of temperature and salinity on Interactive effects of temperature and salinity on *Mytilus edulis* and *Arctica islandica*. Aquatic Biology, 289-298.
- Huanga, X.; Liua, Z.; Xiea, Z.; Dupontg, S.; Huangd, W.W.; Konga, H.; Wang, Y., 2018. Oxidative stress induced by titanium dioxide nanoparticles increases under seawater acidification in the thick shell mussel

- Saeedi, H.; Ardalan, A.A.; Kamrani, E.; Kiabi, B.H., 2010. Reproduction, growth and production of *Amiantis umbonella* (Bivalvia: Veneridae) on northern coast of the Persian Gulf, Bandar Abbas, Iran. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 329(5): 711-718.
- Vlahogianni, T.; Dassenakis, M.; Scoullou, M.; Valavanidis, A., 2007. Integrated use of biomarkers (superoxide dismutase, catalase and lipid peroxidation) in mussel *Mytilus galloprovincialis* for assessing heavy metals' pollution in coastal areas from the Saronikos Gulf of Greece. Marine Pollution Bulletin, 341(6): 1361-1371.
- Zonta, R.; Botter, M.; Cassin, M.; Bellucci, L.; Pini, R.; Dominik, J., 2018. Sediment texture and metal contamination in the Venice Lagoon (Italy): A snapshot before the installation of the MOSE system. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 352(5): 131-151.
- O.; Burchard, H.; Klingbeil, K.; Kösters, F., 2017. A model study on the large-scale effect of macrofauna on the suspended sediment concentration in a shallow shelf sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 560(6): 32-31.
- Niamaimandi, N., 2013. Growth, mortality and stock abundance of venerid bivalve, paphiacor from iranian coastal waters of Bushehr, Persian Gulf. Environmental Studies of Persian Gulf, 321(4): 51-58.
- Rius, A.; Denis, D.; Dauvin, J.; Spilmont, N., 2018. Macrobenthic diversity and sediment-water exchanges of oxygen and ammonium: Example of two subtidal communities of the eastern english channel. Journal of Sea Research, 220(3): 15-27.
- Rufino, M.; Baptista, P.; Pereira, F.; Gaspar, F., 2018. Semi-automatic surface sediment sampling system – A prototype to be implemented in bivalve fishing surveys. Continental Shelf Research, 151(4): 71-75.