

بررسی آنزیم گلوکوتایون اس ترانسفراز (GST) به عنوان نشانگر زیستی آلودگی هیدروکربن های آروماتیک چندحلقه ای (PAHs) در ماهی گل خورک (*Periophthalmus dussemerie*)

- محمود سینایی*: دانشکده علوم و فنون دریایی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، صندوق پستی: ۱۸۱-۱۹۷۳۵
 - علی ماشینیان: گروه شیمی دریا، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، صندوق پستی ۷۷۵-۱۴۱۵۵
 - پیمان اقتصادی عراقی: پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، تهران، صندوق پستی ۱۴۱۱۸-۱۳۳۸۹
 - غلامحسین ریاضی: مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران
 - محمدرضا فاطمی: گروه بیولوژی دریا، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، صندوق پستی ۷۷۵-۱۴۱۵۵
 - کاظم درویش بسطامی: پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، تهران، صندوق پستی ۱۴۱۱۸-۱۳۳۸۹
- تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۱

چکیده

هیدروکربن های آروماتیک چندحلقه ای (PAHs) می توانند اثرات فیزیولوژیک متعددی بر روی آبزیان برجای گذارند. در این مطالعه آنزیم گلوکوتایون اس ترانسفراز (GST) به عنوان نشانگر زیستی آلودگی PAHs در ماهی گل خورک (*Periophthalmus dussemerie*) مورد بررسی قرار گرفت. نمونه برداری در تابستان ۱۳۹۰ و از رسوبات و بافت کبد ماهی گل خورک از پنج ایستگاه در سواحل شمال غرب خلیج فارس (سواحل خوزستان) صورت پذیرفت. میزان غلظت PAHs توسط دستگاه HPLC و میزان فعالیت آنزیم GST توسط روش اسپکتروفوتومتری آنالیز گردید. میزان غلظت کل PAHs در نمونه های رسوب بین $0.05 \text{ ng g}^{-1} \text{ dw}$ تا $4.38 \text{ ng g}^{-1} \text{ dw}$ و در بافت کبد بین $3.99 \text{ ng g}^{-1} \text{ dw}$ تا $46.64 \text{ ng g}^{-1} \text{ dw}$ بود. بیشترین میزان آلودگی و فعالیت آنزیم در ایستگاه جعفری و کمترین آن در ایستگاه بحرکان مشخص گردید. نتایج وجود رابطه معنی داری بین میزان PAHs و فعالیت آنزیم GST را نشان می دهد. نتایج نشان دهنده پتانسیل بالای ماهی گل خورک *P. dussemerie* در استفاده به عنوان شاخص زیستی هیدروکربن های آروماتیک چندحلقه ای (PAHs) می باشد. نتایج این بررسی می تواند استفاده از آنزیم گلوکوتایون اس ترانسفراز در گونه *P. dussemerie* به عنوان نشانگر زیستی آلودگی PAHs گسترش دهد.

کلمات کلیدی: هیدروکربن های آروماتیک چندحلقه ای، خلیج فارس، ماهی گل خورک، شاخص زیستی، نشانگر زیستی

مقدمه

میزان کمی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته اند. با این حال هر گونه تغییر در میزان فعالیت این آنزیم‌ها می‌تواند منجر به بروز آسیب به بدن موجود زنده گردد (۱۷). در این مطالعه، آنزیم گلوکوتاتیون اس ترانسفراز (GST) به‌عنوان یکی از آنزیم‌های مهم در فاز دوم متابولیسم سمیت زدایی آلاینده‌های آلی مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات صورت گرفته در سایر گونه‌های ماهی بیانگر افزایش میزان فعالیت این آنزیم در زمان قرارگیری در معرض آلاینده PAHs است (۱۰، ۱۱، ۱۲، ۲۵، ۲۹). با این حال، میزان فعالیت و حساسیت آن در برابر عوامل مختلف آلاینده در گونه‌های مختلف متفاوت است که این مقوله لزوم بررسی عملکرد و حساسیت این آنزیم در گونه‌های مختلف ماهی را بیش از پیش مهم می‌سازد.

خلیج فارس به‌عنوان یکی از اکوسیستم‌های دریایی آلوده در جهان مطرح است. این خلیج در معرض آلودگی شدید ناشی از فعالیت‌های استخراج، حمل و نقل و صنایع وابسته نفتی می‌باشد (۲۲). به‌همین دلیل تحقیقات زیادی نیز در زمینه حضور و میزان آلودگی نفتی در نقاط مختلف خلیج فارس صورت گرفته است (۱، ۲، ۳، ۵، ۶). اما مطالعه کمی در زمینه پاسخ‌های فیزیولوژیک انواع آبزیان نسبت به حضور عوامل آلاینده در خلیج فارس صورت گرفته است. اهداف این تحقیق عبارتند از: ۱- بررسی وضعیت ماهی گل‌خورک نسبت به حضور و تجمع زیستی PAHs در شمال غرب خلیج فارس. ۲- ارزیابی استفاده از ماهی گل‌خورک به‌عنوان شاخص زیستی. ۳- بررسی استفاده از گلوکوتاتیون اس ترانسفراز (GST) به‌عنوان نشانگر زیستی آلودگی PAHs در ماهی گل‌خورک. ۴- ارزیابی گونه ماهی گل‌خورک به‌عنوان یک ماهی دوزیست در بروز فرآیند سمیت‌زدایی PAHs. ۵- بررسی نقش آنزیم گلوکوتاتیون اس ترانسفراز (GST) در سمیت‌زدایی در ماهی گل‌خورک گونه *P. dussumerie*

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری در تابستان ۱۳۹۰ و از پنج ایستگاه در سواحل شمال غرب خلیج فارس (سواحل خوزستان) انجام گردید (شکل ۱). موقعیت جغرافیایی و دلایل انتخاب ایستگاه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. ماهی گل‌خورک توسط تورهای دستی در ایستگاه‌های مختلف صید گردید (n=30). ماهی گل‌خورک درون تنک‌های ۶۰ لیتری و تحت شرایط درجه حرارت $25/2 \pm 0/7$ درجه سانتی‌گراد و شوری ppt ۳۸، ضمن هوادهی

موجودات آبی به‌ویژه ماهی با تغییر یا اصلاح عملکرد فیزیولوژیک خود نسبت به ورود آلاینده‌ها واکنش نشان می‌دهند. به‌دلیل واکنش سریع به غلظت‌های کم آلاینده، ماهی به‌عنوان کاندیدای مناسبی در پایش زیستی آلودگی اکوسیستم‌های آبی و ارزیابی تأثیرات تاکسیکولوژیک انواع آلاینده‌ها مطرح می‌باشد (۸). از سوی دیگر ارزیابی سطوح آلودگی در اکوسیستم‌های مختلف می‌تواند با سنجش تغییرات بیوشیمیایی در بدن موجودات همراه باشد. این تغییرات بیوشیمیایی یا به‌عبارت دیگر نشانگرهای زیستی می‌توانند منعکس‌کننده میزان سلامت موجوداتی نظیر ماهی در زمان قرارگیری در معرض عوامل آلاینده باشند (۱۲). در مطالعات تاکسیکولوژیک بررسی نشانگرهای زیستی در سطوح مولکولی و یا سلولی به‌عنوان شاخص‌های سلامت اکوسیستم از میزان اعتبار به مراتب بالاتری نسبت به بررسی تجمع زیستی آلاینده‌ها در ارگان‌های برخوردار است (۳۰).

آلاینده‌های آلی نظیر هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) به‌میزان قابل توجهی توسط ارگان‌های آبی نظیر ماهیان جذب می‌شوند (۱۴) به‌دلیل خاصیت چربی دوستی، این ترکیبات به‌میزان بیش‌تری در بدن موجودات آبی نسبت به ستون آب یافت می‌شوند (۳۳)، اما بخش عمده‌ای از هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) در اکوسیستم‌های آبی با جذب توسط ذرات معلق موجود در آب، رسوب کرده و بر روی جوامع کفزی اثر می‌گذارند (۳۱). از این رو ماهیان کفزی نظیر ماهی گل‌خورک (Mudskipper) به‌دلیل زندگی در رسوبات و تماس بیش‌تر با آلودگی PAHs می‌توانند به‌عنوان شاخص زیستی آلودگی مورد استفاده قرار گیرند. ماهی گل‌خورک از خانواده گاوماهیان به‌عنوان یک ماهی دوزیست به میزان قابل‌توجهی جهت زندگی در سواحل و درمناطق بین‌جزر و مدی سازگاری پیدا کرده است. گل‌خورک‌ها ماهیانی کوچک هستند که در خوربات و سواحل مناطق گرمسیری به‌وفور یافت می‌شوند که بیش‌تر دوران زندگی خود را درنقب‌هایی که درون رسوبات گلی حفر می‌کنند، می‌گذرانند.

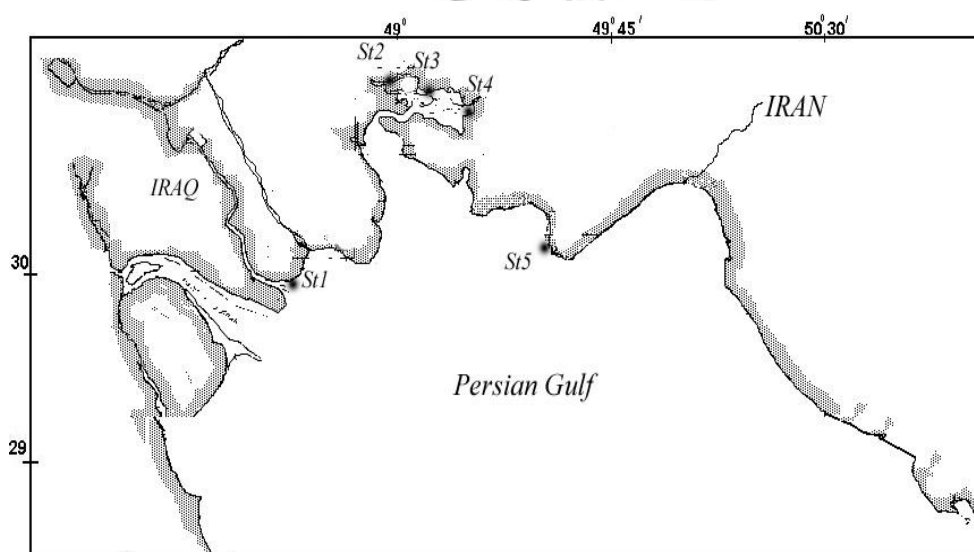
در میان انواع مختلف بیومارکرهای مورد استفاده در مطالعات تاکسیکولوژیک، انواع آنزیم‌های مرتبط در فرآیند سمیت زدایی و انتقال زیستی آلاینده‌ها مورد توجه بیش‌تری قرار دارند (۱۹). با وجود نقش عمده و مهم آنزیم‌هایی که در فاز دوم سمیت زدایی آلاینده‌های آلی نقش دارند، این آنزیم‌ها به

GST جداسازی و در نیتروژن مایع فریز و در دمای 80 - درجه سانتی‌گراد تا زمان آنالیز نگهداری گردید. شاخص‌های زیستی مورفولوژیک نظیر Hepato Somatic Index (HSI) و Condition Factor (CF) نیز در ماهیان بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید: $CF = WT/L^3 \times 100$, $HIS = WH/WT \times 100$ که در آن WT: وزن کل (گرم); L: طول کل (سانتی‌متر) و WH: وزن کبد (گرم) می‌باشد (۲۷).

به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌های رسوب از ۸ سانتی‌متر بالایی رسوبات و از سه نقطه در هر ایستگاه جمع‌آوری و در فویل‌های آلومینیومی قرار داده شد و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان آزمایش نگهداری گردید (۱۵). در آزمایشگاه ماهیان توسط عصاره پودرگل میخک بی‌هوش و عملیات زیست‌سنجی جهت تعیین طول و وزن ماهیان صورت پذیرفت. بافت کبد ماهی جهت سنجش میزان PAHs جداسازی و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان آنالیز نگهداری گردید. هم‌چنین بخشی از بافت کبد ماهی جهت آنالیز میزان آنزیم

جدول ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شمال غرب خلیج فارس

دلیل انتخاب	موقعیت		ایستگاه نمونه برداری
	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	
پالایشگاه آبادان	29°54'35"N	48°40'58"E	اروند (St1)
منطقه ویژه اقتصادی، نفتی و صنایع پتروشیمی	30°26'52"N	49°06'52"E	جعفری (St2)
صنایع پتروشیمی، بندرگاه	30°28'52"N	49°03'52"E	زنگی (St3)
بندرگاه و اسکله شناورهای صیادی، مخازن ذخیره نفتی	30°27'45"N	49°10'51"E	سمایی (St4)
ایستگاه شاهد	30°08'14"N	49°50'54"E	بحرکان (St5)



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

سانتی‌گراد با دور $g \times 2400$ سانتریفیوژ شد. ماده شناور رویی جهت آنالیز میزان فعالیت GST در نمونه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. مخلوط واکنش شامل ۱/۵ میلی‌لیتر بافر سدیم فسفات ۰/۱ مولار در pH 6/5، ۰/۲ میلی‌لیتر 9.2 mM 1-chloro-2, 4- (GSH) Glutathione، ۰/۲ میلی‌لیتر 0.1 M (CDNB) dinitrobenzene و ۰/۱ میلی‌لیتر از ماده

سنجش آنزیم گلوکوتایون اس ترانسفراز

پس از ذوب شدن، به نمونه‌ها phosphate (pH 6.5) buffer اضافه و مخلوط نمونه و بافر درون دستگاه هموزن کننده تفلونی با دور ۱۰۰۰-۱۲۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. ماده هموزن شده، به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه



آب و ۶۰٪ استونیتریل شروع شد که در مدت ۴۰ دقیقه به ۱۰۰٪ استونیتریل تغییر می‌یافت. شدت جریان فاز متحرک ۰/۷ میلی‌لیتر بر دقیقه بود (۲۱). برای تنظیم دستگاه و تعیین غلظت ترکیبات مورد نظر از محلول استاندارد kit 610-N- Supelco 4-7351 محصول شرکت SUPPLCO استفاده گردید.

سنجش ترکیبات PAHs در بافت کبد

۲ گرم از بافت کبد ماهی به همراه محلول KOH اتانولیک ۱ مولار به مدت ۳ ساعت در درجه حرارت ۸۰ درجه سانتی‌گراد درون دستگاه رفلاکس قرار داده شد. نمونه‌های هضم شده وارد قیف جدا کننده شده و به آن ۱۰ میلی‌لیتر سیکلو هگزان اضافه گردید. پس از جدا کردن فاز هگزانیک از فاز قطبی، مجدداً فاز قطبی دوبار دیگر توسط سیکلو هگزان شستشو داده شد. نمونه‌ها از ستونی حاوی پودر سولفات سدیم انیدروس عبور داده و ستون توسط ۵ میلی‌لیتر سیکلو هگزان شستشو گردید. حجم نمونه‌ها توسط دستگاه روتاری به ۵ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس از ستونی حاوی پودر فلورسیل عبور داده شد. در این مرحله نیز حجم نمونه‌ها مجدداً توسط دستگاه روتاری کاهش و به حدود ۱ میلی‌لیتر رسانده شد. نمونه‌ها در مجاورت هوا خشک و ۱ میلی‌لیتر استونیتریل به آن‌ها اضافه و به دستگاه HPLC معرفی گردید (۲۴).

آنالیز آماری

آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از برنامه (SPSS Version 19) صورت گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از انجام آزمایش ابتدا نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کولموگراف - اسمیرنوف بررسی شد. از ANOVA یک‌طرفه جهت تعیین وجود و یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها استفاده شد. جهت تعیین دقیق وجود یا عدم وجود تفاوت معنی‌دار از آزمون Tukey استفاده شد. اختلاف بین میانگین داده در سطح معنای ۵٪ مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تعیین وجود ارتباط خطی و میزان آن بین PAHs و آنزیم GST از آزمون رگرسیون خطی و همبستگی اسپیرمن استفاده شد. نمودارها نیز در نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج

میانگین طول و وزن ماهیان گل‌خورک صید شده جهت آنالیز میزان آلودگی و پاسخ فیزیولوژیک سمیت‌زدایی در برابر آن به ترتیب 17 ± 0.1 سانتی‌متر و 16 ± 0.2 گرم بود.

شناور رویی تهیه گردید. افزایش میزان جذب به دلیل تشکیل کونژوگه 1-chloro-2, 4-dinitrobenzene (CDNB) در حضور GSH احيایی در طول موج ۳۴۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (Model Specord 210, Germany) قرائت گردید. محلول واکنش بدون ماده هموزن حاوی کبد ماهی به عنوان بلانک استفاده شد. میزان فعالیت آنزیم بر اساس nmol بر دقیقه در میلی‌گرم پروتئین بیان می‌گردد (۹ و ۲۶). میزان پروتئین با استفاده از سرم آلبومین انسان به عنوان استاندارد آنالیز گردید (۱۸). میزان فعالیت آنزیم GST بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید:

$$A: \frac{1000 \times (E_{exp} - E_{cont}) \times 1.82}{9.6 \times v \times t \times c}$$

که در آن: ثابت مولار کونژوگه: 9.6، میزان حجم کل محلول: 1.82، میزان جذب نمونه: E_{exp} ، میزان جذب بلانک در ۳۴۰ نانومتر: E_{cont} ، میزان فعالیت آنزیم: ۱۰۰۰، ضریب: A، حجم نمونه: v، زمان: t، غلظت پروتئین: c.

سنجش ترکیبات PAHs در رسوب

رسوبات در آزمایشگاه با یکدیگر مخلوط و یکنواخت و درون دستگاه فریز درایر (Model: OPR-FDB-5503) به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. ۱۰ گرم رسوب به همراه مخلوط n- هگزان و دی کلرو متان با نسبت حجمی ۱:۱ به عنوان حلال به مدت ۸ ساعت درون دستگاه سوکسله قرار داده شد. سپس حجم حلال توسط دستگاه روتاری (Buchi B-490) به ۱۵ میلی‌لیتر رسانده و با استفاده از مس فعال گوگرد و ترکیبات آن از نمونه‌ها حذف و به مدت ۲۴ ساعت با کاغذ صافی (واتمن ۲۴ میکرون) صاف گردید. سپس نمونه‌ها توسط دستگاه روتاری تا حجم ۵ میلی‌لیتر تغلیظ و از ستون حاوی پودر سیلیکا، پودر آلومینای آب زده و سولفات سدیم عبور داده شد. بعد از عبور نمونه‌ها از ستون مخلوط n- هگزان و دی کلرو متان با نسبت حجمی ۱:۹ به ستون اضافه گردید. حجم نمونه‌ها مجدداً توسط دستگاه روتاری تا حد ۵ میلی‌لیتر رسانده شد. نمونه‌ها با کمک جریان گاز نیتروژن (N-E VAP 112, USA) کاملاً خشک گردید. سپس ۱ میلی‌لیتر استونیتریل به نمونه‌ها اضافه و به دستگاه HPLC معرفی گردید. جهت سنجش نمونه‌های رسوب از دستگاه HPLC به همراه دکتور UV مدل Hewlett-Packard 1100 استفاده گردید. فاز ساکن استفاده شده در دستگاه، ستون فاز معکوس C18 با طول ۲۵ سانتی‌متر ساخت شرکت SepServ بود. فاز متحرک از نوع گرادیانی که با ۴۰٪

رتبه‌های بعدی قرار دارند. همچنین اختلاف معنی‌داری بین میزان غلظت PAHs در رسوبات ایستگاه‌های مختلف یافت شد ($p < 0.05$). در بافت کبد تنها ترکیبات: B(a)Py, B(b)Fl, Ch, B(a)A, Py, Fl, Ph, F, AC یافت گردید. از میان ترکیبات مذکور در بافت کبد ماهی گل‌خورک Py بیش‌ترین میزان را در ایستگاه‌های اروند، زنگی، سمایی و بحرکان نشان می‌دهد، اما در ایستگاه جعفری نتایج نشان‌دهنده غلظت بالای B(a)A نسبت به سایر ترکیبات است. مجموع ترکیبات PAHs در بافت کبد ماهی گل‌خورک در ایستگاه جعفری بیش‌ترین میزان را نشان می‌دهد که ایستگاه‌های زنگی < اروند < سمایی < و بحرکان در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

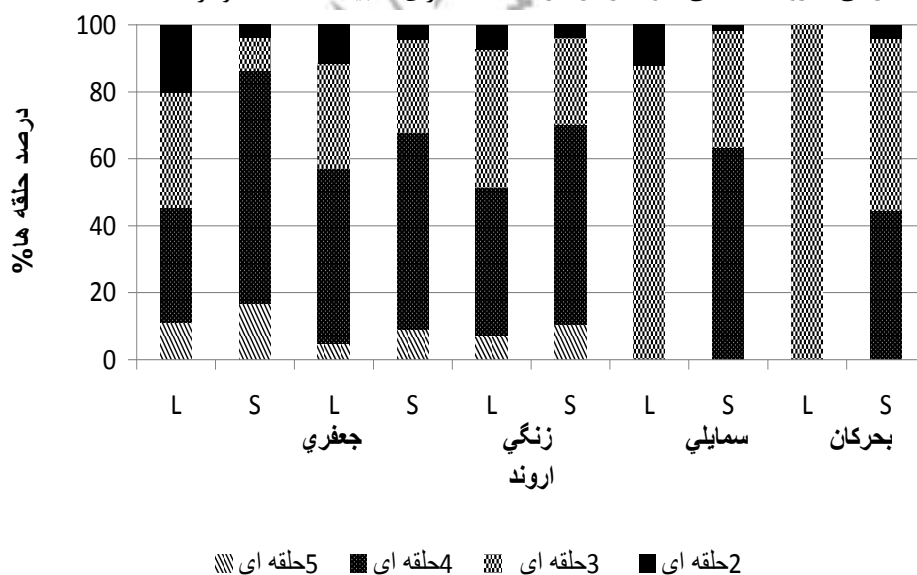
الگوی پراکنش

بررسی الگوی پراکنش ترکیبات PAHs در نمونه‌های رسوبات بیانگر غالبیت ترکیبات ۴ حلقه‌ای در ایستگاه‌های مختلف به‌جز ایستگاه بحرکان است به نحوی که در این ایستگاه ترکیبات ۳ حلقه‌ای غالب بود، با این حال ترکیبات ۴ حلقه‌ای در این ایستگاه نیز در رتبه دوم غالبیت قرار دارند (نمودار ۲). بررسی الگوی پراکنش ترکیبات PAHs در بافت کبد نشان‌دهنده غالبیت ترکیبات ۳ حلقه‌ای در ایستگاه‌های سمایی و بحرکان است، در حالی که در ایستگاه جعفری ترکیبات ۴ حلقه‌ای غالبیت دارند. اما در ایستگاه اروند ترکیبات ۳ و ۴ حلقه‌ای میزان تقریباً یکسانی دارند و نسبت به سایر ترکیبات دارای غالبیت هستند (نمودار ۲).

شانزده ترکیب PAHs شامل Naphthalene(N), Acenaphthylene (AC), Acenaphthene (ACE), Fluorene (F), Phenanthrene (Ph) Anthracene (A), Pyrene (Py), Benz (a), Fluoranthene (Fl), Indeno (1,2,3- anthracene (B(a)A), Chrysene (Ch), c,d pyrene (IPy), Benzo(b) fluoranthene (B(b)Fl), Benzo (k), fluoranthene (B(k)Fl), Benzo (a), pyrene (B(a)Py), Benzo (ghi), perylene (B(ghi)Pe), Dibenz(a,h), anthracene (DB(ah)A) آنالیز گردید.

میزان غلظت PAHs در نمونه‌های رسوب و کبد ماهی

میزان غلظت ترکیبات ۱۶ تایی PAHs سنجش شده در نمونه‌های کبد و رسوب در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری در جدول ۲ نشان داده شده است. از میان ترکیبات آنالیز شده در رسوبات ترکیبات: N, A, ACE, IPy, DB (ah) A, B (ghi) Pe پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه بود. همچنین ترکیبات B(b)Fl, B(k)Fl, B(a)Py در ایستگاه‌های سمایی و بحرکان یافت نشد. در میان ۱۶ ترکیب سنجش شده غلظت B (a)A بیش‌ترین میزان را در بین ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. غلظت ترکیبات AC, B(b)Fl, B(k)Fl, B(a)Py در پنج ایستگاه مختلف نمونه‌برداری شده اختلاف معنی‌داری را برای رسوبات نشان می‌دهد ($p < 0.05$). اما در مورد سایر ترکیبات آنالیز شده روندهای متفاوتی در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری مشخص گردید (جدول ۲). نتایج مربوط به مجموع ۱۶ تایی ترکیبات PAHs ایستگاه جعفری بیش‌ترین میزان را نشان می‌دهد که ایستگاه‌های زنگی < اروند < سمایی < و بحرکان در



نمودار ۲: الگوی پراکنش ترکیبات PAHs در بافت کبد و رسوبات ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری (S: رسوب، L: کبد)



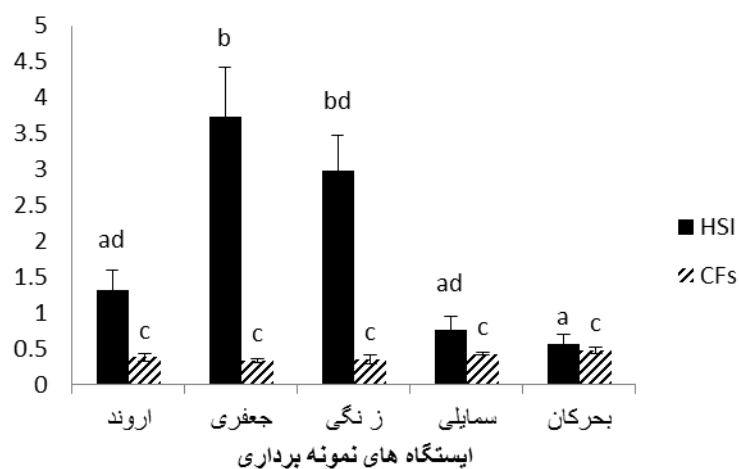
منبع آلودگی PAHs

از نسبت‌های فلورانتن/پایرن و کرایسن/بنزو ای آنتراسن جهت تعیین منبع آلاینده PAHs در منطقه نمونه‌برداری استفاده گردید (۳۳). نتایج نسبت فلورانتن/پایرن در نمونه‌های رسوب و کبد ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری شده به جز ایستگاه جعفری عدد کم‌تر از یک را نشان می‌دهد. نتایج مربوط به نسبت کرایسن/ بنزو ای آنتراسن نشان‌دهنده نسبت بیش‌تر از یک را در ایستگاه‌های جعفری و اروند و زنگی نشان می‌دهد،

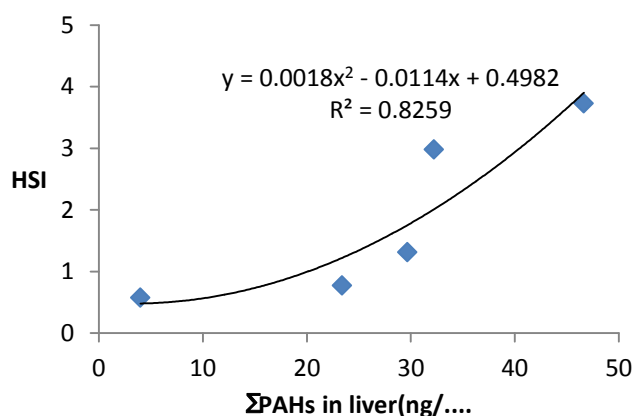
اما در ایستگاه‌های دیگر به دلیل عدم یافتن ترکیبات مدنظر امکان برقراری نسبت کرایسن/ بنزو ای آنتراسن میسر نبود.

شاخص‌های بیولوژیک

میزان شاخص‌های HSI و CF در نمودار ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان‌دهنده وجود رابطه معنی‌داری قوی ($r=0/90$) بین شاخص HSI و میزان کل PAHs در بافت کبد ماهی گل خورک است (نمودار ۴).

نمودار ۳: میزان $CF \pm std$ و $HSI \pm std$

در ایستگاه‌های مختلف، اعداد مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار هستند.

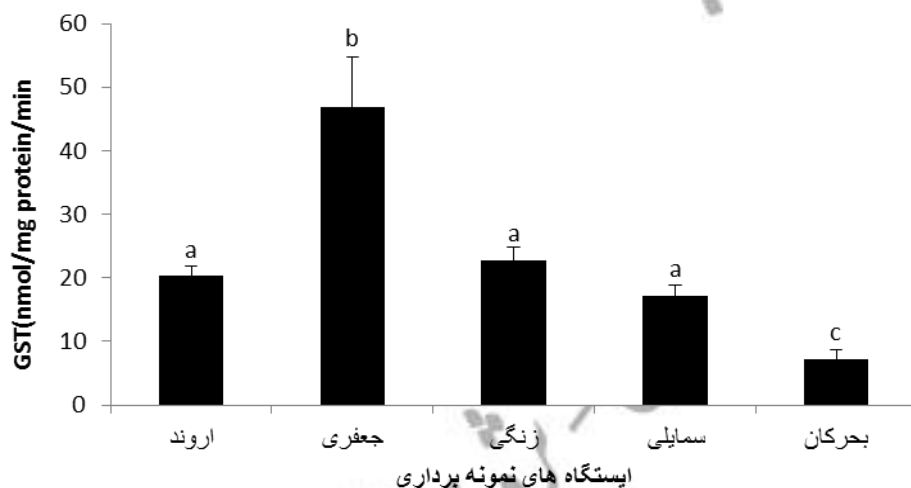


نمودار ۴: رابطه بین HSI و میزان PAHs

GST آنزیم

نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار فعالیت آنزیم GST بین ایستگاه‌های جعفری و بحرکان با یکدیگر و همچنین با دیگر ایستگاه‌های نمونه برداری است ($p < 0.05$)، اما بین سایر ایستگاه‌های نمونه برداری بین فعالیت آنزیم GST اختلاف معنی داری یافت نگردید ($p > 0.05$).

میزان فعالیت آنزیم GST در بافت کبد ماهی گل خورک در نمودار ۵ نشان داده شده است. کمترین میزان فعالیت آنزیم در ایستگاه بحرکان ($1/0541 \pm 7/19$ nmol/mg protein/min) و بیشترین میزان آن در ایستگاه جعفری ($7/877 \pm 46/96$ nmol/mg protein/min) یافت شد. نتایج



نمودار ۵: میانگین ± انحراف معیار فعالیت آنزیم GST در ایستگاه‌های مختلف نمونه برداری

اعداد مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار هستند.

جدول ۲: میانگین ± انحراف معیار مجموع کل PAHs در بافت کبد ($ng\ g^{-1}$ dry weight) و رسوبات ($ng\ g^{-1}$ dry weight) ایستگاه‌های مختلف نمونه برداری

PAHs	نمونه	ایستگاه اروند	PAHs%	ایستگاه جعفری	PAHs%	ایستگاه زنگی	PAHs%	ایستگاه سمایی	PAHs%	ایستگاه بحرکان	PAHs%
N	S	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
AC	S	$13/297 \pm 1/451^a$	0/91	$122/112 \pm 9/90^b$	3/9	$74/90.3 \pm 6/15^c$	3/92	$1/979 \pm 0/461^d$	0/54	ND	ND
	L	$3/532 \pm 0/49^a$	11/91	$4/381 \pm 0/54^a$	9/40	$1/829 \pm 0/177^b$	5/68	$2/233 \pm 0/55^b$	9/54	ND	ND
ACE	S	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
F	S	$44/005 \pm 1/590^a$	3/04	$17/353 \pm 1/480^b$	0/51	$3/323 \pm 0/792^c$	0/17	$4/319 \pm 0/690^c$	1/19	$4/698 \pm 0/690^c$	4/12
	L	$2/471 \pm 0/55^a$	8/32	$1/051 \pm 0/122^b$	2/25	$0/558 \pm 0/082^b$	1/73	$0/660 \pm 0/095^c$	2/83	ND	ND
Ph	S	$20/989 \pm 2/769^a$	1/45	$622/682 \pm 27/772^b$	18/69	$32/429 \pm 2/690^a$	1/75	$36/861 \pm 3/003^a$	10/21	$15/438 \pm 1/64^a$	13/60
	L	$3/576 \pm 0/676^a$	12/05	$0/826 \pm 9/265^b$	19/87	$2/619 \pm 0/449^a$	8/13	$3/073 \pm 0/625^a$	13/14	$1/052 \pm 0/230^c$	26/50
A	S	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fl	S	$5/164 \pm 0/237^a$	0/35	$178/975 \pm 9/38^b$	5/28	$29/546 \pm 3/001^c$	1/54	$17/445 \pm 2/422^d$	4/83	$14/289 \pm 1/74^d$	12/58
	L	$1/019 \pm 0/435^a$	3/40	$3/222 \pm 0/762^b$	6/91	$1/036 \pm 0/431^a$	3/21	$4/119 \pm 0/327^{ab}$	17/62	ND	ND
Py	S	$114/260 \pm 4/645^a$	7/9	$126/051 \pm 7/979^a$	3/72	$426/015 \pm 14/55^b$	22/33	$71/298 \pm 6/074^c$	19/75	$28/476 \pm 2/46^d$	25/08
	L	$5/634 \pm 0/830^a$	19/00	$2/168 \pm 0/468^b$	4/65	$9/586 \pm 1/030^c$	29/75	$13/296 \pm 0/976^b$	56/87	$2/932 \pm 0/792^b$	73/50
B(a)A	S	$623/201 \pm 18/16^a$	42/08	$1132/562 \pm 59/923^b$	33/46	$649/151 \pm 20/06^a$	34/02	$188/623 \pm 8/388^{cd}$	52/27	$33/220 \pm 2/379^d$	29/26
	L	$5/275 \pm 1/110^a$	17/78	$14/460 \pm 2/931^b$	31/0	$7/153 \pm 1/451^c$	22/20	ND	ND	ND	ND
Ch	S	$330/579 \pm 16/05^a$	22/85	$760/706 \pm 7/28^b$	22/47	$307/695 \pm 14/09^a$	16/12	$40/299 \pm 3/245^{cd}$	11/16	$17/379 \pm 1/491^d$	15/31
	L	$4/110 \pm 0/627^a$	13/86	$9/828 \pm 1/270^b$	21/07	$4/097 \pm 0/897^a$	12/72	ND	ND	ND	ND
B(b)Fl	S	$26/360 \pm 3/203^a$	1/8	$59/813 \pm 4/120^b$	1/76	$111/277 \pm 7/901^c$	5/83	ND	ND	ND	ND
	L	$0/750 \pm 0/183^a$	2/53	ND	ND	$3/036 \pm 0/847^b$	9/43	ND	ND	ND	ND



PAHs	نمونه	ایستگاه اروند	PAHs%	ایستگاه جعفری	PAHs%	ایستگاه زنگی	PAHs%	ایستگاه سمایی	PAHs%	ایستگاه بحرکان	PAHs%
B(k)Fl	S	۲۷/۹۶۸±۳/۷۲۱ ^a	۱/۹	۴۱/۵۳۲±۴/۱۹۸ ^b	۱/۲۲	۷۲/۸۳۳±۴/۸۵۴ ^c	۲/۸۱	ND	ND	ND	ND
	L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B(a)Py	S	۲۴۰/۵±۱۲/۴۹۴ ^a	۱۶/۶۳	۳۰۲/۵۵۷±۱۴/۸۹۱ ^b	۸/۹۳	۱۹۹/۶۳۶±۷/۲۰۶ ^c	۱۰/۴۶	ND	ND	ND	ND
	L	۲/۳۰۷±۰/۸۲۷ ^a	۱۱/۱۵	۲/۲۶۳±۰/۶۸۷ ^b	۴/۸۵	۲/۳۰۳±۰/۵۲۴ ^b	۷/۱۸	ND	ND	ND	ND
IPy	S	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DB(ah)A	S	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B(ghi)Pe	S	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در هر ردیف است (P>0.05). * نشان دهنده اختلاف معنی دار در ردیف است (P>0.05).

S: رسوب; L: کبد; ND: Non Detected

بحث

خلیج فارس یکی از اکوسیستم‌های آلوده دریایی می‌باشد. چیزی در حدود دو سوم ذخایر نفت دنیا در این اکوسیستم قرار دارد. در کنار آن حجم بالای حمل و نقل دریایی، ورودی فاضلاب‌های شهری و خانگی، صنایع وابسته نفتی نظیر کارخانجات پتروشیمی و... در طول سواحل این خلیج منجر به افزایش روز افزون آلودگی PAHs شده است (۱۶). در این مطالعه سواحل خوزستان در شمال غرب خلیج فارس به‌عنوان یکی از نقاط آلوده انتخاب گردید. حجم بالای ورودی پساب کارخانجات، صنایع وابسته نفتی، ایجاد مناطق ویژه پتروشیمی و نفتی در این استان منجر به ورود میزان بالایی انواع آلاینده‌ها به‌ویژه PAHs به آب‌های ساحلی گردیده است. ماهی‌گل‌خورک به‌دلیل توانایی بالا در استفاده به‌عنوان شاخص زیستی و همچنین پراکندگی گسترده در سواحل خلیج فارس انتخاب گردید. در این مطالعه، نقش و میزان فعالیت آنزیم GST در ماهی‌گل‌خورک (*P.dussumerie*) به‌عنوان یک ماهی دوزیست، در فرایند سمیت‌زدایی آلاینده PAHs مورد بررسی قرار گرفته است.

سنجش آنزیم‌های فاز دوم متابولیسم آلاینده‌های آلی می‌تواند در یافتن تعادل بین میزان فعالیت فاز اول و فاز دوم سمیت‌زدایی آلاینده‌های آلی در ارگانیزم‌های آبی مفید باشد (۱۱). نتایج نشان‌دهنده وجود بیش‌ترین فعالیت آنزیم GST در ایستگاه خور جعفری است که به‌دنبال آن ایستگاه‌های زنگی، اروند، سمایی و بحرکان در رتبه‌های بعدی قرار دارند. نکته جالب توجه این‌که همین روند در مورد میزان تجمع PAHs در بافت کبد ماهی‌گل‌خورک یافت گردید. رابطه معنی‌دار قوی بین میزان تجمع PAHs در بافت کبد و رسوبات و فعالیت آنزیم GST در بافت کبد ماهی‌گل‌خورک

(*P.dussumerie*) یافت شد. بروز فعالیت این آنزیم در ماهی‌گل‌خورک خود نشان‌دهنده وجود عوامل تحریک‌کننده آنزیم GST نظیر PAH در سواحل شمال غرب خلیج فارس است. بر این اساس و با توجه به‌وجود رابطه معنی‌دار قوی با میزان PAH به‌نظر می‌رسد افزایش فعالیت آنزیم GST در گونه ماهی مورد بررسی ناشی از وجود و حضور آلاینده PAH باشد. افزایش حضور آلاینده‌های آلی می‌تواند منجر به افزایش بروز و فعالیت آنزیم‌های مرتبط در فرایند سمیت‌زدایی آن‌ها شود (۱۱). روند مشابهی در این مطالعه نسبت به حضور آلاینده PAH و آنزیم GST مشاهده می‌گردد. مشابه روند یافت شده در این بررسی افزایش فعالیت آنزیم GST در برابر حضور PAH در مطالعات آزمایشگاهی و محیطی در گونه‌های مختلف نظیر *Ameiurus*، *Dasyatis pastinaca*، *Raja clavata*، *nebulosus* شده است (۳۲، ۲۳، ۱۳، ۱۱). میزان حساسیت آنزیم در گونه‌های مختلف ماهی نسبت به انواع مختلف آلاینده‌ها متفاوت است که این مسئله لزوم بررسی فعالیت این آنزیم در گونه‌های مختلف را مهم و با اهمیت می‌سازد (۱۱ و ۳۲). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بروز فعالیت GST به‌عنوان آنزیم فعال در فاز دوم متابولیسم و سمیت‌زدایی PAH در ماهی‌گل‌خورک گونه (*P.dussumerie*) دارای حساسیت بالایی بوده است. به‌نظر می‌رسد مکانیسم سمیت‌زدایی PAHs نظیر Mix (MFO) function oxidase در بافت کبد ماهی‌گل‌خورک به‌عنوان یک ماهی دوزیست به‌نحو مطلوبی عمل کرده است که باعث اعطای ظرفیت بالایی تجمع زیستی به این گونه شده است. نتایج هم‌چنین منعکس‌کننده توانایی بالای ماهی‌گل‌خورک در متابولیسم آلاینده‌های آلی به‌ویژه PAHs است. این امر می‌تواند استفاده از این گونه را به‌عنوان شاخص زیستی آلودگی گسترش دهد. هم‌چنین بروز فعالیت و حساسیت این آنزیم در ماهی‌گل‌خورک (*P.dussumerie*) می‌تواند منعکس‌کننده وجود



تفاوت معنی‌دار بین میزان آلاینده مورد بررسی در بافت کبد ماهی گل‌خورک در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری است. به‌نظر می‌رسد فاکتورهای زیادی در میزان در دسترس بودن زیستی آلاینده PAHs در ایستگاه‌های مختلف نقش دارند. تغییر در کیفیت غذا و استرس‌های محیطی در کنار افزایش مصرف اکسیژن می‌تواند در میزان غلظت PAHs اثرگذار باشد (۱۷). هم‌چنین تفاوت در میزان غلظت آلاینده در ایستگاه‌ها می‌تواند بر روی غلظت آلاینده در بافت‌های بدن ماهی اثرگذار باشد. Dickhut و همکاران در سال ۲۰۰۲ پیشنهاد کردند که ترکیبات PAHs با وزن‌های مولکولی یکسان نیز انتقال دینامیکی متفاوتی در محیط‌های مختلف دارند.

با گسترش علم در حوزه‌های بیولوژیسمی استفاده از نسبت‌هایی نظیر فلورانتن/پایرن و نسبت کرایسن/بنزو ای آنتراسن در تعیین منبع تولید PAHs نقش به‌سزایی ایفا می‌کند (۳۳). بررسی نتایج حاصل از نسبت فلورانتن/پایرن در نمونه‌های رسوب و کبد ماهی گل‌خورک نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های زنگی، ارون، سمایی و بحرکان منشا آلاینده PAHs پتروژنیک است در حالی که در ایستگاه جعفری منشا پیرولیتیک مشخص گردید. اما نتایج حاصل از بررسی نسبت کرایسن/بنزو ای آنتراسن بیانگر منشا پتروژنیک آلاینده PAHs در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری است. هم‌چنین بررسی الگوی پراکنش ترکیبات PAHs نشان‌دهنده غالبیت ترکیبات با تعداد حلقه‌های کم در ایستگاه‌های نمونه‌برداری است که این نیز خود منشا پتروژنیک در ایستگاه‌های مختلف را تایید می‌کند. به‌نظر می‌رسد تفاوت در منشا PAHs در ایستگاه‌های مختلف ناشی از پیچیدگی عوامل مختلفی است که بر روی پراکنش این آلاینده در اکوسیستم‌های آبی اثرگذار هستند.

نتایج این مطالعه ماهی گل‌خورک (*P. dussumerie*) را گونه مناسبی در استفاده به‌عنوان شاخص زیستی آلودگی در اکوسیستم‌های دریایی معرفی می‌کند. به‌علاوه ماهی گل‌خورک به‌عنوان یک ماهی دوزیست که در رسوبات زندگی می‌کند شکار مناسبی برای ماهیان دیگر و پرندگان محسوب می‌گردد. این پارامترها می‌تواند این ماهی را به‌عنوان کاندیدای مناسبی جهت انتقال زیستی آلاینده‌ها نظیر PAHs مطرح کند. نتایج این بررسی هم‌چنین می‌تواند استفاده از آنزیم گلوکوتایون اس ترانسفراز (GST) در گونه *P. dussumerie* را به‌عنوان نشانگر زیستی آلودگی هیدرو کربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) گسترش دهد.

شرایط استرس‌زای اکسیداتیو در طول سواحل شمال غرب خلیج فارس (سواحل خوزستان) باشد.

وجود رابطه معنی‌دار قوی بین شاخص HSI و میزان PAHs در بافت کبد ماهی نشان‌دهنده اثرگذاری بالای این آلاینده بر بافت کبد ماهی گل‌خورک به‌عنوان محل سمیت‌زدایی بسیاری از عوامل آلاینده به‌ویژه PAHs است. این شاخص توانایی بالایی در نشان دادن اثرات سمیت بر ارگانیسم‌ها دارا می‌باشد که می‌تواند اطلاعات مفیدی در زمینه ذخیره انرژی موجودات و توانایی آن‌ها در مقاومت در برابر عوامل آلاینده یا استرس‌های محیطی ارائه نماید (۳۲).

نتایج حاصل از بررسی الگوی پراکنش ترکیبات PAHs در رسوبات نشان‌دهنده غالبیت ترکیبات ۳ و ۴ حلقه‌ای در تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری است. این مسئله می‌تواند ناشی از ورود آلودگی از منابع مختلف باشد. به‌طورکلی سمیت PAHs نظیر سایر آلاینده‌ها نیازمند در دسترس بودن زیستی است. ترکیبات با وزن مولکولی بالاتر به‌دلیل دسترسی کم‌تر برای ارگانیسم‌ها سمیت کم‌تری دارند. در این بررسی وجود ترکیبات با وزن مولکولی کم‌تر می‌تواند منجر به دسترسی زیستی بالاتر و سمیت بیش‌تر برای ارگانیسم‌ها گردد. هم‌چنین حضور ترکیبات PAHs با وزن مولکولی کم‌تر در بافت کبد ماهی گل‌خورک می‌تواند ناشی از انتقال متابولیک ترکیبات با وزن مولکولی بالاتر در این بافت نیز باشد (۲۰). نتایج مشابهی در مطالعات صورت گرفته در سواحل جنوبی خلیج فارس و بر روی سایر گونه‌های این خلیج نظیر *E.coioides* و *L.nebulosus* به‌دست آمده است (۱۴). هم‌چنین روند مشابهی نیز در مطالعات Sericano و همکاران در سال ۲۰۰۱ در کشور روسیه مشخص گردید. ماهی می‌تواند بالغ بر ۹۹٪ ترکیبات PAHs ورودی به بدن خود را در خلال ۲۴ ساعت اول به متابولیت تبدیل نماید که این بر روی الگوی پراکنش ترکیبات مختلف در بافت‌های ماهی اثرگذار است (۲۴). حساسیت بالا و وجود رابطه معنی‌دار قوی بین میزان PAHs و فعالیت آنزیم GST در ماهی گل‌خورک (*P.dussumerie*) در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری تاییدکننده روند فوق‌الذکر و نشان‌دهنده نقش مهم این آنزیم در سمیت‌زدایی آلاینده PAHs در این گونه است.

بر اساس نظر کمیته FAO/WHO میزان غلظت بنزو ای پایرن در نمونه‌های زیستی نمی‌بایست از حد مجاز کیلوگرم/میکروگرم ۱۰ تجاوز نماید. بر این اساس میزان آلاینده مورد بررسی در این مطالعه در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری شده از حد مجاز بیش‌تر نبود. نتایج نشان‌دهنده



- exposure in largemouth bass from Lake Conestee, South Carolina, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry*. Vol. 25, No. 7, pp.: 1926–1932.
- 8- **Fagr, K.; Abdel-Gawad, H.; Mona, A.; EL-seehy, M. and El-seehy, M., 2010.** Genotoxic effect, Biomarkers and Aquatic contaminants in tilapia. *World Journal of Fish and Marine Sciences*. Vol. 2, No. 4, pp.: 327-334.
- 9- **Habig, W.H.; Pabst, M.J. and Jakoby, W.B., 1974.** Glutathione-S-transferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation. *J Biol Chem*. 249: 7130–7139.
- 10- **Havelková, M.; Randák, T.; Žlábek, V.; Krijt, J.; Kroupová, H.; Pulkrabová, J. and Svobodová, Z., 2007.** Biochemical markers for assessing aquatic contamination. *Sensors*. 7: 2599-2611.
- 11- **Havelkova, M.; Randak, T.; Blahova, J.; Slatinska, I. and Svobodova, Z., 2008.** Biochemical markers for the assessment of aquatic environment contamination. *Interdisc Toxicol*. Vol. 1, No. 2, pp.: 169–181.
- 12- **Havelková, M.; Slatinská, I.; Šírká, Z.; Blahová, J.; Krijt, J.; Randák, T.; Žlábek, V.; Haruštiaková, D.; Jarkovský, J. and Svobodová, Z., 2009.** Use of Biochemical Markers for the Assessment of Organic Pollutant Contamination of the Vltava River, Czech Republic. *Acta Vet. Brno*. 78: 513-524.
- 13- **Henson, K.L.; Stauffer, G. and Gallagher, E.P., 2001.** Induction of glutathione S-transferase activity and protein expression in brown bullhead (*Ameiurus nebulosus*) liver by ethoxyquin. *Toxicol Sci*. 62: 54-60.
- 14- **Tolosa, I.; Mora, S.J.D.; Fowler, S.W.; Villeneuve, J.P.; Bartocci, J. and Cattini, C., 2005.** Aliphatic and aromatic hydrocarbons in marine biota and coastal sediments from the Gulf and the Gulf of Oman. *Marine Pollution Bulletin*. 50: 1619–1633.
- 15- **ICES. 1997.** Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments: Analytical methods. In Report of the ICES Advisory Committee on the Marine Environment. ICES Cooperative Research Report. 222: 118–124.
- 16- **Khan, N.Y., 2002.** Physical and human geography. The Gulf Ecosystem: Health and Sustainability. Bakhuis Publishers, Leiden. pp.: 3–21.
- 17- **Lemke, M.A. and Kennedy, C.J., 1997.** The uptake, distribution and metabolism of benzo (a) pyrene in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) during the parr-smolt
- تشکر و قدردانی**
- نهایت تشکر و قدردانی را از مسئولین محترم مرکز تحقیقات شیلات اهواز، موسسه ملی اقیانوس شناسی تهران و آقایان مهندس هاشمی، صحراییان، قدم گاهی، شهایی، ادگی پور و اسدی به دلیل همکاری صمیمانه در خلال پروژه ابراز می‌دارد.
- منابع**
- 1- **Al-Hassan, J.M.; Afzal, M.; Chava, V.N. and Fayad, S., 2001.** Hydrocarbon pollution in the Persian Gulf catfish (*Arius bilineatus* Val.). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. Vol. 66, No. 5, pp.: 646-652.
- 2- **Al-Saleh, I. and Al-Doush, I., 2002.** Gas chromatography-mass spectrometric determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in five species of fish from three sites in the Persian Gulf. *International Journal of Environmental Health Research*. Vol. 12, No. 2, pp.: 193-200.
- 3- **Burger, J. and Gochfeld, M., 2006.** Locational differences in heavy metals and metalloids in Pacific Blue Mussels *Mytilus [edulis] trossulus* from Adak Island in the Aleutian Chain, Alaska. *Science of the Total Environment*. Vol. 368, No. 2-3, pp.: 937-50.
- 4- **Dickhut, R.M.; Canuel, E.A.; Gustafson, K.E.; Liu, K.; Arzayus, K.M.; Walker, S.E.; Edgcombe, G.; Gaylor, M.O. and MacDonald, E.H., 2002.** Automotive sources of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons associated with particulate matter in the Chesapeake Bay Region. *Environ. Sci. Technol*. 34: 4635-4640.
- 5- **Eghtesadi, P.; Riazi, G.; Taghikhani, M. and Ranaei Siadat, S.O., 2002.** Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the northern Persian Gulf as indicated by kinetic and thermodynamic criteria. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. Vol. 69, No. 5, pp.: 704-711.
- 6- **Eghtesadi-Araghi, P.; Haffner, P.D.; Drouillard, K. and Maghsoudlou, T., 2010.** Polycyclic aromatic hydrocarbons contaminants in Black-lip (Pearl) Oyster *Pinctada margaritifera* from Kish Island (Persian Gulf). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. Vol. 10, No. 1, pp.: 25-34.
- 7- **Erika, A.; Schreiber, R.; Otter, R. and Hurk, P.V.D., 2006.** A biomarker approach to measure biological effect of contaminant



- carpio*) to the Physico-chemical Parameters of the Ceyhan River (Adana-Turkey). *Ekoloji*. Vol. 19, No. 76, pp.: 8-14.
- 28- **Sericano, J.L.; Brooks, J.M.; Champ, M.A.; Kennicutt, M.C. and Makeyev, Y.V., 2001.** Trace contaminant concentrations in the Kara Sea and its adjacent rivers, Russia. *Mar. Pollut. Bull.* 42: 1017-1030.
- 29- **Široká, Z.; Krijt, J.; Randák, T.; Svobodová, Z.; Pešková, G.; Fuksa, J.; Hajšlová, J.; Jarkovský, J. and Janská, M., 2005.** Organic pollutant contamination of the River Elbe as assessed by biochemical markers. *Acta. Vet. Brno.* 74: 293-303.
- 30- **Tuvikene, A., 1995.** Response of fish to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Ann. Zool. Fennici.* 32: 295-309.
- 31- **Valavanidis, A.; Vlachogianni, T.; Triantafyllaki, S.; Dassenakis, M.; Androutsos, F. and Scoullas, M., 2008.** Polycyclic aromatic hydrocarbons in surface seawater and in indigenous mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from coastal areas of the Saronikos Gulf (Greece). *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* 79: 733-739.
- 32- **Van der Oost, R.; Beyer, J. and Bermeulen, N.P.E., 2003.** Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: A review. *Environ Toxicol Pharmacol.* 13: 57-149.
- 33- **Zuloaga, O.; Prieto, A.; Usobiaga, A.; Sarkar, S.K.; Chatterjee, M.; Bhattacharya, B.D.; Bhattacharya, A.; Alam, M.A. and Satpathy, K.K., 2009.** Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Intertidal Marine Bivalves of Sunderban Mangrove Wetland, India: An Approach to Bioindicator Species. *Water Air Soil Pollut.* 201: 305-318.
- transformation. *Environ. Toxicol. Chem.* 16: 1384-1388.
- 18- **Lowry, O.H.; Rosebrough, N.J.; Farr, A.L. and Randall, R.J., 1951.** Protein measurement with the Folinphenol reagent. *J.Biol.Chem.* 193: 165-175.
- 19- **Pacheco, M.R. and Ana Santos, M., 2002.** Biotransformation, genotoxic, and histopathological effects of environmental contaminants in European eel (*Anguilla anguilla* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 53: 331-347.
- 20- **Meador, J.P.; Stein, J.E.; Reichert, W.L. and Varanasi, U., 1995.** Bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons by marine organisms. *Rev. Environ. Contamin.* 143: 79-165.
- 21- **MOOPAM (Manual of oceanographic observations and pollutant analyses methods), 1999.** 3rd Ed. section 6, Regional organization for the protection of the marine environment (ROPME). Kuwait.
- 22- **Munawar, M.P.; Price, A.R.G.; Munawar, I.F.; Carou, S.; Niblock, H. and Lorimer, J., 2002.** Aquatic ecosystem health of the Arabian Gulf: Status and research needs. In: Khan, N.Y., Munawar, M., Price, A.R.G. (Eds.). *The Gulf Ecosystem: Health and Sustainability.* Bakhuis Publishers, Leiden. pp.: 303-325.
- 23- **Pandey, S.; Parvez, S.; Sayeed, I.; Haque, R.; Bin-Hafeez, B. and Raisuddin, S., 2003.** Biomarkers of oxidative stress: a comparative study of river Yamuna fish Wallago Attu (Bl. & Schn.). *Sci Total Environ.* 309: 105-115.
- 24- **Perugini, M.; Visciano, P.; Giammarino, A.; Manera, M. and Nardo, W.D., 2007.** Polycyclic aromatic hydrocarbons in marine organisms from the Adriatic Sea, Italy. *Chemospher.* 66: 1904-1910.
- 25- **Randák, T.; Žlábek, V.; Kolářová, J.; Svobodová, Z.; Hajšlová, J.; Široká, Z.; Janská, M.; Pulkrabová, J.; Čajka, T. and Jarkovský, J., 2006.** Biomarkers detected in chub (*Leuciscus cephalus* L.) to evaluated contamination of the Elbe and Vltava rivers, Czech Republic. *B. Environ. Contam. Tox.* 76: 233-241.
- 26- **Rudneva, I.; Kuzminova, I.; Natalya, S. and Ekaterina, S.N., 2010.** Glutathione-S-Transferase Activity in Tissues of Black Sea Fish Species. *ASIAN J. EXP. BIOL. SCI.* Vol. 1, No. 1, pp.: 141-150.
- 27- **Aysel, S.; Ergul, B.k. and Tulay, A., 2010.** The Determination of Biochemical Indicators (Biomarkers) in the Common Carp (*Cyprinus*



Evaluation of glutathione S-transferase (GST) as a biomarker of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) in Mudskipper (*Periophthalmus dussemerie*)

- **Mahmoud Sinai***: Department of Marine Biology, Islamic Azad University, Science and Research, P.O.Box: 775-14515 Tehran, Iran
- **Ali machinchian**: Department of Marine Chemistry, Islamic Azad University, Science and Research, P.O.Box: 775-14515 Tehran, Iran
- **Peyman Eghtesadi Araghi**: Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, P.O.Box: 14155-4781 Tehran, Iran
- **Gholam Hossein Riazi**: Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, P.O.Box: 13145-1384 Tehran, Iran
- **Seyed Mohammad Reza Fatemi**: Department of Marine Biology, Islamic Azad University, Science and Research, P.O.Box: 775-14515 Tehran, Iran
- **Kazem Darvish Bastami**: Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, P.O.Box: 14155-4781 Nowshahr, Iran

Received: October 2012

Accepted: December 2012

Key words: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), *Periophthalmus dussemerie*, Persian Gulf, Bioindicator, Biomarker

Abstract

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) have different physiological effects on aquatic organisms. Glutathione S-Transferase (GST) as a biomarker of PAHs in liver of mudskipper (*Periophthalmus dussemerie*) was analyzed. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) were assessed in the sediments and liver of mudskipper along the coast of north western part of Persian Gulf (Khuzestan coast). PAHs and GST were measured by HPLC and spectrophotometry methods respectively. Total PAH concentrations in sediment and liver tissues ranged between 113.50-3384.34 ngg⁻¹ dw, 3.99-46.64 ngg⁻¹ dw. The highest PAHs concentration and enzymatic activity were identified at Jafari site while the lowest were at Bahrakan. Significant correlation was found between GST and PAHs. The results of this study confirmed the use of mudskipper (*P. dussemerie*) as a bioindicator of PAHs pollution in marine ecosystem. The results also indicate that GST in *p. dussemerie* could be extended as a biomarker of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs).

