

## تأثیر فاز محلول نفت خام بر میزان تغییرات آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در بچه فیل ماهی (*Huso huso* Linnaeus, 1754) انگشت قد به عنوان بیومارکر آلودگی نفتی

الهه خدابخش<sup>۱\*</sup>، شهلا جمیلی<sup>۲</sup>، عباسعلی مطلبی<sup>۲</sup>، علی ماشینیان مرادی<sup>۱</sup>، حسن نصرالله زاده ساروی<sup>۳</sup>

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده علوم و فنون دریایی، گروه زیست‌شناسی دریا، تهران، ایران،

صندوق پستی: ۷۷۵-۱۴۵۱۵

۲- موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۱۶-۱۳۱۸۶

۳- پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، ساری، ایران، صندوق پستی: ۹۶۱

تاریخ پذیرش: ۸ دی ۱۳۹۲

تاریخ دریافت: ۶ شهریور ۱۳۹۲

### چکیده

در این تحقیق تأثیر فاز محلول نفت خام بر فعالیت دو آنزیم کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز بچه فیل ماهیان با وزن  $10/76 \pm 0/23$  گرم بررسی شد. بدین منظور ابتدا میزان  $LC_{50}$  فاز محلول نفت خام معادل  $46/68$  میلی‌گرم در لیتر محاسبه شد و سپس ۳ تیمار زیر محدوده کشندگی ( $LC_{50} 0/4$ ،  $LC_{50} 0/6$  و  $LC_{50} 0/8$ ) و یک تیمار شاهد (بدون حضور نفت خام) انتخاب و برای هر تیمار سه تکرار در نظر گرفته شد. در هر تکرار تعداد ۳۰ قطعه ماهی ذخیره‌سازی شد و هر ۲۴ ساعت از تمامی تیمارها نمونه‌گیری کبد جهت مطالعات آنزیمی انجام گرفت. در طول مدت آزمایش شاخص‌های کیفی آب اندازه‌گیری و سعی شد که شرایط کیفی برای تمامی تکرارها مشابه باشد. مطابق با نتایج در زمان‌های ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت مقدار آنزیم کاتالاز تمامی تیمارها با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نشان دادند و حتی در روز چهارم سطح آنزیم تمامی تیمارها با هم نیز اختلاف معنی‌داری داشتند و روند افزایش این آنزیم مشاهده شد ( $P < 0/05$ )، تنها استثناء میزان آنزیم کاتالاز تیمار حاوی  $0/4$  غلظت  $LC_{50}$  (کمترین دوز) و در زمان ۲۴ ساعت اول بود که بر خلاف دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد ( $P > 0/05$ ). میزان آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در همه تیمارها و در روز چهارم با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد ( $P < 0/05$ ). در تمام ۴ روز دوره آزمایش، بیش‌ترین میزان آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در تیمار  $LC_{50} 0/8$  دیده شد و تنها همین تیمار که حاوی بیش‌ترین دوز آلاینده بود از روز دوم روند افزایشی به خود گرفت. اما نتایج آنالیز رگرسیون نشان داد که نمی‌توان به طور قطع نتیجه گرفت که مقدار آلاینده نفتی موجب تغییر در این آنزیم‌ها گردیده است. همچنین هیچ همبستگی بین میزان این دو آنزیم با هم دیده نشد. نتایج نشان داد که فاز محلول نفت خام بر القای دو آنزیم کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز بچه فیل ماهیان با وزن  $10/76 \pm 0/23$  گرم موثر است.

**کلمات کلیدی:** فیل ماهی (*Huso huso*)، نفت خام، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز.

\* عهده‌دار مکاتبات (✉) [elahe\\_iran2001@yahoo.com](mailto:elahe_iran2001@yahoo.com)

## مقدمه

دریای خزر بزرگ‌ترین بدنه قاره‌ای آبی در جهان است که توسط کشورهای آذربایجان، روسیه، جمهوری اسلامی ایران، قزاقستان و ترکمنستان احاطه شده است (Yablonskaya and Kosarev, 1994). در محیط‌های آبی، از میان انواع مختلف آلودگی‌ها، تولیدات نفتی یکی از مهم‌ترین آلاینده‌ها می‌باشند (Pacheco and Santos, 2001)، که حوزه آبی بسته خزر نیز حاوی این آلودگی‌هاست. سطح آب دریای خزر در ۲۰ سال گذشته حدود ۲/۵ متر بالا آمده است که نتیجه آن به زیر آب رفتن حوزه‌های نفتی، زمین‌های کشاورزی می‌باشد، که بدین وسیله آلودگی‌های مهمی به دریای خزر وارد می‌شود (Dumond, 1998). نفت و ترکیبات آن اثرات حادی بر ماهیان داشته و اثرات آن‌ها بر مرحله لاروی و جوانی ماهیان شامل تغییرات مورفولوژیک، هیستوپاتولوژیک و آسیب‌های ژنتیکی گزارش شده است. ذراتی از نفت که بیش‌ترین تأثیر را بر ماهیان استخوانی دارند، هیدروکربن‌های محلول شامل هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (PAHs) بوده که به خاطر سمیت و پایداری در محیط دارای اهمیت فراوانی می‌باشند (Hose et al., 1996). ارگانوسم‌های آبرزی PAHs (هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی) موجود در آب را جذب می‌کنند، در نتیجه اثرات متفاوتی بعد از در معرض قرار گرفتن در برابر این آلودگی در آن‌ها رخ می‌دهد (Teh et al., 2004). کبد اندامی است که بیش‌ترین ارتباط را با

سم‌زدایی و فرآیندهای تغییر شکل زیستی دارد که به دلیل این عملکرد، موقعیت و منبع خون، یکی از اندام‌هایی است که بیش‌ترین تأثیر را از آلاینده‌های موجود در آب می‌پذیرد (Tophan et al., 2001). در دهه‌های اخیر سنجش آنتی‌اکسیدان‌ها به عنوان نشانگرهای زیستی قرارگیری در معرض انواع آلاینده‌ها در بسیاری از آبرزیان به خصوص در طیف وسیعی از مطالعات سم‌شناسی را به خود اختصاص داده‌اند. در واقع تاکید بسیاری از این مطالعات بر روی اندازه‌گیری و سنجش مقدار انواع آنتی‌اکسیدان‌ها و آنزیم‌های اکسیداز در اندام‌های مختلف به دلیل پتانسیل بالای واکنش‌دهی آنتی‌اکسیدان‌ها به عنوان بخشی از سیستم دفاعی بدن در برابر انواع آلاینده‌ها و سموم می‌باشد. به‌عنوان مثال Peter و همکاران در سال ۲۰۰۱ بر روی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی لارو ماهی (*Sprattus*) در بخش جنوبی دریای شمال تحقیق نمودند. همچنین تحقیقاتی توسط Orbea و همکاران در سال ۲۰۰۲ بر روی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دوکفه‌ای‌ها، خرچنگ‌ها و ماهی‌های خلیج Plentzia که تحت تأثیر PAH و PCB قرار گرفته بودند انجام شد. تحقیقات دیگری نیز توسط Tetiana و همکاران در سال ۲۰۰۵ بر روی آنزیم کاتالاز ماهی حوض‌طلایی که تحت تأثیر استرس اکسیداتیو قرار داشت انجام شد. در همین راستا Stanic و همکاران در سال ۲۰۰۶ تحقیقاتی بر روی بیومارکرهای آنزیمی مختلف در ماهی *(Acipenser ruthenus)* که در معرض آلاینده‌های متفاوت قرار داشت انجام دادند.

فیل ماهی یکی از مهمترین ماهیان دریای خزر بوده و با توجه به ارزش غذایی بالا، کیفیت عالی گوشت و لذیذ بودن و همین‌طور اهمیت آن در استحصال خاویار مورد توجه می‌باشد. اگر چه در مطالعاتی تاثیر آلودگی‌های نفتی بر آبزیان و سیستم آنزیمی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است، اما تا کنون مطالعه‌ای پیرامون اثرات آن بر فیل ماهی و بیشتر ماهیان دریای خزر صورت نگرفته است. با توجه به ارزش اقتصادی فیل ماهی و کاهش ذخایر آن‌ها از سویی و وجود ده‌ها چاه نفت در کشورهای حاشیه دریای خزر و استحصال نفت و آلودگی روز افزون این محیط از سوی دیگر، این تحقیق با هدف مشخص کردن میزان تاثیر احتمالی فاز محلول نفت خام بر بقاء این آبزی با ارزش و تغییرات برخی از آنزیم‌های اکسیداتیو در مواجهه با این آلاینده انجام گردید.

## مواد و روش‌ها

ماهی‌های مورد آزمایش از مرکز تکثیر ماهی شهید رجایی در سمسکنده شهرستان ساری تهیه گردیدند. قبل از آغاز آزمایش وضعیت ظاهری ماهیان مورد بررسی قرار گرفت و تعدادی از آن‌ها که از نظر ظاهری سالم به نظر می‌رسیدند به طور تصادفی انتخاب شده و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد، بچه فیل ماهیان با محدوده وزنی یکسان و مورد نظر (۲۳/۱۰۷۶ ± ۰ گرم) انتخاب و در تانک‌های فایبرگلاس به حجم ۵۰۰ لیتر و آبگیری ۳۳۰ لیتر نگهداری شدند و غذادهی آن‌ها به صورت دوبار در روز و از غذای تجاری SFT استفاده شد. جهت

پی‌بردن به سلامت و کیفیت ماهیان مورد مطالعه، آزمایش بقا در سه تکرار با شرایط زیر انجام شد: ۱۰ ماهی در هر تکرار، تراکم ماهی یک گرم در لیتر، هوادهی ثابت در طول دوره و به صورت تمام وقت، دوره آزمایش ۸ روز، استفاده از آبی که در طول دوره سازگاری ماهی استفاده شده بود، تعویض نکردن آب در طول آزمایش، دوره نوری ۱۲ ساعته، قطع تغذیه ۴۸ ساعت قبل از آزمایش، ثبت تلفات هر ۲۴ ساعت. با توجه به شرایط فوق میزان تلفات کمتر از ۵٪ بود که این امر نشان دهنده مناسب بودن ماهیان جهت انجام آزمایش محدوده کشندگی و  $LC_{50}$  بود. فاز محلول نفت خام نیز طبق روش Anderson و همکاران (۱۹۷۴) به دست آمد. اندازه‌گیری محدوده کشندگی برای یافتن ۲ غلظت از سم (بیش‌ترین غلظتی که هیچ مرگ و میری در بین نمونه‌ها ایجاد نکند و دیگری کمترین غلظتی که باعث مرگ و میر ۱۰۰٪ ماهیان موجود شود) و سمیت حاد از روش O.E.C.D و به روش نیمه ساکن انجام شد. جهت انجام این مرحله، گروه‌های ۱۰ تایی ماهیان در ۳ تکرار به تانک‌ها با شرایط کیفی آب مشابه آزمایش بقا منتقل گردید. سپس ۷ غلظت از فاز محلول نفت خام به روش لگاریتمی انتخاب و به تانک‌ها اضافه شد (برای هر غلظت سه تکرار در نظر گرفته شد و سه تکرار نیز بدن حضور نفت به عنوان شاهد). آب هر تانک هر ۲۴ ساعت با محلول هم غلظت تازه جایگزین شد و هر ۲۴ ساعت ماهی‌های مرده از هر تانک جدا شده و شمرده شدند. بعد از ۹۶ ساعت تعداد کل ماهی‌های تلف شده مشخص گردید. در انتهای آزمایش با

دفعات سرد کردن و در زمانی که نمونه از ازت مایع خارج گردید، نمونه به مدت ۳ دقیقه در بن ماری ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا عمل Freeze - Thaw انجام گردد. محلول حاصل ۱۵ دقیقه در ۴ درجه سانتی‌گراد با ۱۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید و در نهایت از مایع رویی برای سنجش مرحله بعد استفاده شد. در این آزمایش پروتئین موجود در نمونه به روش برادفورد تعیین گردید. برای اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز از روش ( Xu et al., 1997) و برای اندازه‌گیری سوپر اکسید دیسموتاز از روش ( Marklund and Marklund, 1974) استفاده گردید.

کلید آزمون‌های آماری به‌وسیله نرم افزار SPSS ویرایش هجدهم انجام شد. پیش از آغاز طرح آزمایشی، جهت اطمینان از هم وزن بودن ماهیان هر گروه وزنی، تست نرمالیتی (normality) به وسیله آزمون Shapiro-Wilk انجام شد. برای محاسبه میزان سمیت حاد از روش Probit value در نرم‌افزار استفاده گردید. همچنین برای مقایسه آماری داده‌ها در بین تیمارهای مختلف از آنالیز واریانس یک طرفه Anova و بر اساس آزمون چند دامنه‌ای (تست جدا ساز) دانکن ( Duncan multiple-range test) با سطح معنی‌داری ۹۵٪، آزمون همبستگی و رگرسیون استفاده شد. برای کشیدن نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

## نتایج

### تغییرات غلظت فاز محلول نفت خام

در محیط آزمایش غلظت هیدروکربن‌های محلول فاز محلول نفت خام که می‌بایست در

استفاده از داده‌های به‌دست آمده و با به کارگیری نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۹)، مقدار  $LC_{50}$  به روش Probit value محاسبه گردید (Finney, 1978). برای انجام مرحله اصلی آزمایش اثر فاز محلول نفت خام بر میزان القای دو آنزیم کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز به عنوان بیومارکر آلودگی ماهیان در ۴ تیمار (شاهد و تیمارهای با غلظت  $LC_{50}/4$ ،  $LC_{50}/6$ ،  $LC_{50}/8$ ) و در هر تیمار با سه تکرار دسته‌بندی شدند و ۳۰ قطعه ماهی در هر تکرار استفاده شد. مدت زمان این آزمایش ۹۶ ساعت بود و در تمام مدت هوادهی انجام گردید. نمونه‌برداری برای سنجش‌های آنزیمی در هر ۲۴ ساعت انجام شد. در طول مدت آزمایش پارامترهای کیفی آب اندازه‌گیری شد و سعی شد شرایط کیفی برای تمام مخازن مشابه باشد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی اکسیدانی کبد در تیمارهای مختلف آزمایش، در فواصل ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت بعد از قرار گرفتن در غلظت‌های فاز محلول نفت خام نسبت به نمونه‌گیری تصادفی از ماهیان اقدام گردید و نمونه کبد در درجه حرارت  $60^{\circ}C$  نگهداری شد. مقدار  $0/1$  گرم بافت کبد در یک لوله پلاستیکی کوچک ریخته شد و پس از چرخش متوالی نمونه در سانتریفیوژ یخچال‌دار در ۴ درجه سانتیگراد و دورگردش ۱۰۰۰ دور در دقیقه و جداسازی آب سطحی، مقدار  $0/5$  میلی لیتر بافر سرد ( $50^{\circ}C$  میلی مولار فسفات پتاسیم، با pH برابر ۷ و یک میلی لیتر EDTA) بر روی بافت ته نشین شده اضافه گردید. در مرحله بعد لوله حاوی نمونه سه بار و هر بار به مدت ۵ دقیقه در ازت مایع قرار داده شد. بین

کاتالاز در تیمارهای مورد آزمایش تیمارهای ۰/۶ و ۰/۸ LC<sub>50</sub> از نظر آماری ارتباط معنی‌داری با شاهد نشان دادند ( $P < 0/05$ ).

جدول ۱: تعداد مرگ و میر ماهیان ۱۰/۷۶±۰/۲۳ گرمی تحت آزمایش حدکشندگی غلظت‌های مختلف WSF در زمان‌های مختلف (میانگین سه تکرار)

غلظت ppm	زمان (ساعت)			
	۲۴	۴۸	۷۲	۹۶
۳۴	۰	۰	۰	۰
۳۶/۵	۰	۰	۰	۰/۳۳
۳۹	۰	۰	۰/۳۳	۰/۶۶
۴۱/۵	۰	۰/۶۶	۱/۳۳	۲/۳۳
۴۴	۱/۳۳	۲	۲	۳/۶۶
۴۶/۵	۱/۳۳	۳/۳۳	۴/۳۳	۵
۴۹	۴/۶۶	۷	۷/۶۶	۹

جدول ۲: مقادیر غلظت کشنده (LC) فاز محلول نفت خام بر بچه فیل ماهی ۱۰/۷۶±۰/۲۳ گرمی بر حسب میلی‌گرم در لیتر

LC	زمان (ساعت)			
	۲۴	۴۸	۷۲	۹۶
LC <sub>10</sub>	۳۹/۵۰	۳۸/۳۴	۳۷/۲۸	۳۶/۶۲
LC <sub>50</sub>	۵۱/۰۱	۴۸/۶۳	۴۷/۴۳	۴۶/۶۸
LC <sub>90</sub>	۵۴/۱۲	۵۳/۲۸	۵۲/۱۸	۴۹/۳۵

جدول ۳: میزان غلظت‌های مورد استفاده فاز محلول نفت خام در آزمایش بر حسب میلی‌گرم در لیتر

وزن بچه ماهی (گرم)	۰/۴LC <sub>50</sub>	۰/۶LC <sub>50</sub>	۰/۸LC <sub>50</sub>
۱۰/۷۶	۱۸/۶۷	۲۸	۳۴/۳۷

آزمایش محدوده کشندگی، مورد استفاده قرار می‌گرفتند، در لحظه شروع آزمایش و مقاطع زمانی ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت پس از شروع آزمایش بدون حضور ماهی اندازه‌گیری شد. غلظت هیدروکربن‌های موجود در محلول در بازه‌های زمانی مذکور به ترتیب ۳۴/۲۸، ۳۶/۵، ۳۷/۵، ۳۹/۲۲، ۴۱/۵، ۴۴/۴۰، ۴۶/۶۸ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان‌دهنده کاهش غلظت هیدروکربن‌های محلول طی ۲۴ ساعت بودند. مقدار خروج هیدروکربن‌ها از محیط پس از ۲۴ ساعت ۱۴/۷۲ میلی‌گرم در لیتر محاسبه گردید.

### میزان مرگ و میر بچه ماهیان طی آزمایش تعیین LC<sub>50</sub>

میانگین تعداد تلفات در غلظت‌های مختلف آزمایش در زمان‌های ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت بچه فیل ماهیان در جدول ۱ آورده شده است. با استفاده از روش آماری Probit value در نرم افزار SPSS نسخه ۱۹ میزان LC<sub>50</sub> فاز محلول نفت خام بر روی فیل ماهیان گروه وزنی ۱۰/۷۶ گرمی به دست آمد و همچنین با استفاده از همین نرم‌افزار میزان LC<sub>10</sub>، LC<sub>50</sub>، LC<sub>90</sub> در زمان‌های ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت محاسبه گردید (جدول ۲). پس از محاسبه میزان LC<sub>50</sub> برای شروع مرحله اصلی آزمایش مقادیر ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ غلظت LC<sub>50</sub> برای بچه فیل ماهیان محاسبه گردید که در جدول ۳ آمده است.

### تغییرات آنزیم کاتالاز

پس از ۲۴ ساعت قرار دادن بچه فیل ماهیان محدوده وزنی ۱۰/۷۶±۰/۲۳ گرمی سطوح میزان آنزیم

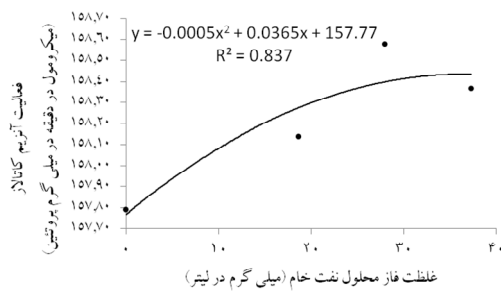
سوم هیچ اختلاف معنی داری مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ). آنزیم کاتالاز در تیمار حاوی  $0/6LC_{50}$  فاز محلول نفت خام در روزهای اول، دوم و سوم با روز چهارم اختلاف معنی داری داشتند. همچنین بین آنزیم‌های روزهای دوم و سوم هم اختلاف معنی داری مشاهده شد ( $P < 0/05$ ). میزان آنزیم در تیمار حاوی  $0/8LC_{50}$  در روز اول و دوم با روزهای سوم و چهارم و میزان آنزیم در روزهای دوم و سوم با هم اختلاف معنی داری نشان دادند ( $P < 0/05$ ). در بررسی ارتباط و همبستگی بین فعالیت آنزیم کاتالاز کبد ماهیان در معرض غلظت‌هایی از فاز محلول نفت خام در زمان‌های ۲۴ و ۹۶ ساعت که توسط تست رگرسیون انجام شد هیچ ارتباط مشخص و همبستگی معنی داری مشاهده نشد (شکل‌های ۱ و ۲). اما نتایج رگرسیون در زمان‌های ۴۸ و ۷۲ ساعت ارتباط و همبستگی معنی داری نشان داد که این همبستگی بسیار بالا و در زمان ۴۸ ساعت ضریب همبستگی یا  $r^2 = 0/998$  و در ۷۲ ساعت به میزان  $r^2 = 0/999$  محاسبه گردید (شکل‌های ۳ و ۴).

همچنین تیمار  $0/8LC_{50}$  با تیمار  $0/4LC_{50}$  اختلاف معنی داری نشان داد اما بین تیمار  $0/6LC_{50}$  با دو تیمار دیگر اختلاف معنی داری مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ). پس از ۴۸ و ۷۲ ساعت تمامی تیمارها با تیمار شاهد اختلاف معنی داری نشان دادند ( $P < 0/05$ ). همچنین تیمار  $0/8LC_{50}$  با تیمار  $0/4LC_{50}$  اختلاف معنی داری نشان داد. در روز دوم تیمار  $0/6LC_{50}$  با دو تیمار دیگر اختلاف معنی داری نشان نداد همچنین این تیمار در روز سوم تنها با تیمار  $0/4LC_{50}$  اختلاف معنی داری نشان نداد ( $P > 0/05$ ). بررسی‌های آماری نشان داد که بعد از ۹۶ ساعت قرار گرفتن بچه ماهیان در تیمارهای مورد آزمایش، همه تیمارها با تیمار شاهد و با هم اختلاف معنی داری نشان دادند ( $P < 0/05$ ). همچنین بررسی‌های آماری حاکی از این بود که آنزیم کاتالاز تیمار حاوی  $0/4LC_{50}$  فاز محلول نفت خام در روز اول با آنزیم‌های روز سوم و چهارم اختلاف معنی داری داشت و آنزیم روز دوم هم با روز چهارم اختلاف معنی داری نشان داد ( $P < 0/05$ ) ولی بین آنزیم‌های روز سوم و چهارم و روز دوم و

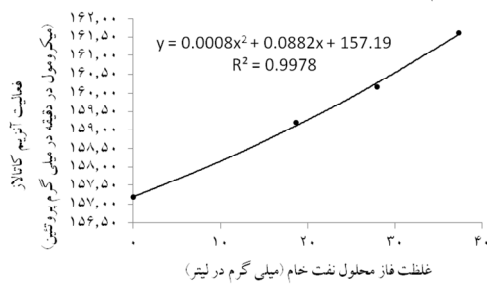
جدول ۴: میزان آنزیم کاتالاز کبد فیل ماهیان  $10/76 \pm 0/23$  گرمی در غلظت‌های متفاوت فاز محلول نفت خام

غلظت فاز محلول نفت خام				غلظت فاز محلول نفت خام (میلی گرم در لیتر)
فعالیت آنزیم کاتالاز (میکرومول در دقیقه در میلی گرم پروتئین) در ساعت‌های مختلف نمونه‌گیری				
۹۶ ساعت	۷۲ ساعت	۴۸ ساعت	۲۴ ساعت	
$22/72 \pm 0/71^{abc}$	$22/73 \pm 0/20^{abc}$	$21/84 \pm 0/57^a$	$21/87 \pm 0/61^a$	۰
$24/26 \pm 0/20^{de}$	$23/90 \pm 0/45^{cde}$	$22/80 \pm 0/61^{abc}$	$22/36 \pm 0/55^{ab}$	۱۳/۹۳
$26/86 \pm 0/24^f$	$24/20 \pm 0/26^{de}$	$23/48 \pm 0/38^{bcde}$	$22/98 \pm 0/07^{abcd}$	۲۰/۹۲
$28/43 \pm 0/25^g$	$25/83 \pm 0/57^f$	$24/33 \pm 0/13^e$	$23/60 \pm 0/43^{bcde}$	۲۷/۸۹

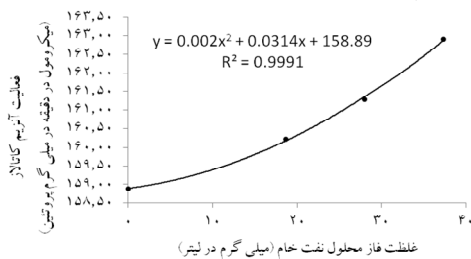
\* حروف غیر همسان نشانگر وجود اختلاف معنی دار بین داده‌ها می‌باشد ( $P < 0/05$ ).



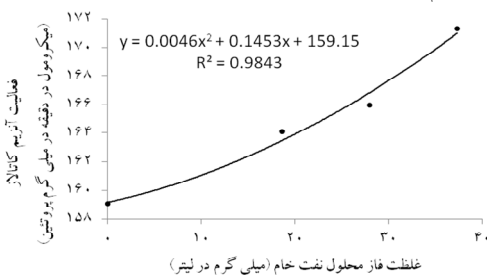
شکل ۱: تغییرات آنزیم کاتالاز کبد فیل ماهیان  $10/76 \pm 0/23$  گرمی در برابر تغییرات غلظت فاز محلول نفت خام بعد از ۲۴ ساعت



شکل ۲: تغییرات آنزیم کاتالاز کبد فیل ماهیان  $10/76 \pm 0/23$  گرمی در برابر تغییرات غلظت فاز محلول نفت خام بعد از ۴۸ ساعت



شکل ۳: تغییرات آنزیم کاتالاز کبد فیل ماهیان  $10/76 \pm 0/23$  گرمی در برابر تغییرات غلظت فاز محلول نفت خام بعد از ۷۲ ساعت



شکل ۴: تغییرات آنزیم کاتالاز کبد فیل ماهیان  $10/76 \pm 0/23$  گرمی در برابر تغییرات غلظت فاز محلول نفت خام بعد از ۹۶ ساعت

## تغییرات آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز

نتایج اندازه‌گیری میزان آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در کبد بچه ماهیان  $10/76 \pm 0/23$  گرمی پس از سپری شدن ۲۴ ساعت، نشان داد که هیچ اختلاف معنی‌داری بین تیمارها و تیمار شاهد و همچنین بین خود تیمارها وجود نداشت ( $P > 0/05$ ). پس از ۴۸ و ۷۲ ساعت تنها تیمار  $0/8LC_{50}$  با شاهد اختلاف معنی‌داری داشت و خود تیمارها نیز اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند ( $P > 0/05$ ). نتایج تست آماری در روز چهارم نشان داد که همه تیمارها با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. همچنین تیمار  $0/8LC_{50}$  با تیمار  $0/6$  و  $LC_{50}/4$  اختلاف معنی‌داری داشت ( $P < 0/05$ ). لازم به ذکر است که در تمامی این روزها بیش‌ترین میانگین آنزیم مربوط به تیمار  $0/8LC_{50}$  بود. آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در تیمار حاوی  $0/4LC_{50}$  فاز محلول نفت خام در روزهای اول، دوم و سوم با روز چهارم اختلاف معنی‌داری داشتند ( $P < 0/05$ )، ولی بین روزهای اول و دوم و سوم با هم هیچ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ). آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در تیمار حاوی  $0/6LC_{50}$  در روزهای اول تا سوم با روز چهارم اختلاف معنی‌داری داشتند ( $P < 0/05$ )، ولی بین روزهای اول، دوم و سوم هیچ اختلاف معنی‌داری دیده نشد ( $P > 0/05$ ). آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در تیمار حاوی  $0/8LC_{50}$  فاز محلول نفت خام در روز اول با روزهای دوم، سوم و چهارم اختلاف معنی‌داری داشت روزهای دوم و سوم با هم با روز چهارم اختلاف معنی‌داری داشتند ( $P < 0/05$ ) ولی بین روزهای دوم و سوم با هم هیچ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ).

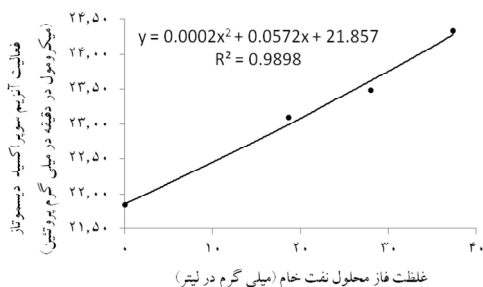
توجهی بود و ارتباط مشخص و همبستگی مشاهده نشد (شکل های ۶، ۷ و ۸). همچنین نتایج حاصل از آزمون همبستگی بین دو آنزیم کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز در طی ۴ روز و در تیمارهای آزمایش نشان داد که هیچ همبستگی بین میزان این دو آنزیم در بچه فیل ماهیان وجود ندارد (جدول ۶).

در بررسی ارتباط و همبستگی بین فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز کبد ماهیان در معرض غلظت‌هایی از فاز محلول نفت خام توسط تست رگرسیون تنها در زمان ۲۴ ساعت ارتباط مشخص و معنی داری مشاهده گردید و ضریب همبستگی بالا  $r^2 = 0/998$  مشاهده گردید (شکل ۵). ولی در زمان‌های ۴۸ و ۷۲ و ۹۶ ساعت پراکندگی نقاط در رگرسیون نشان از عدم وجود همبستگی قابل

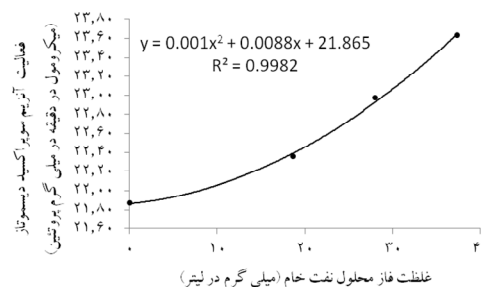
جدول ۵: میزان آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز کبد فیل ماهیان  $10/76 \pm 0/23$  گرمی در غلظت‌های متفاوت فاز محلول نفت خام

غلظت فاز محلول نفت خام (میلی گرم در لیتر)	فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (میکرومول در دقیقه در میلی گرم پروتئین) در ساعت‌های مختلف نمونه گیری			
	۹۶ ساعت	۷۲ ساعت	۴۸ ساعت	۲۴ ساعت
۰	$159/05 \pm 1/70^{ab}$	$158/88 \pm 1/90^{ab}$	$157/18 \pm 0/76^a$	$157/79 \pm 0/68^{ab}$
۱۳/۹۳	$164/10 \pm 0/36^{ef}$	$160/23 \pm 0/05^{abcd}$	$159/20 \pm 0/91^{abc}$	$158/14 \pm 1/09^{ab}$
۲۰/۹۲	$165/99 \pm 0/80^f$	$161/28 \pm 0/52^{bcde}$	$160/60 \pm 0/60^{abcde}$	$158/58 \pm 0/48^{ab}$
۲۷/۸۹	$171/31 \pm 1/05^g$	$163/13 \pm 2/59^{def}$	$162/69 \pm 1/55^{cdef}$	$158/70 \pm 0/53^{ab}$

\*حروف غیر همسان نشانگر وجود اختلاف معنی دار بین داده‌ها می‌باشد ( $P < 0/05$ ).



شکل ۶: تغییرات آنزیم سوپراکسید دیسموتاز کبد فیل ماهیان  $10/76 \pm 0/23$  گرمی در برابر تغییرات غلظت فاز محلول نفت خام بعد از ۴۸ ساعت

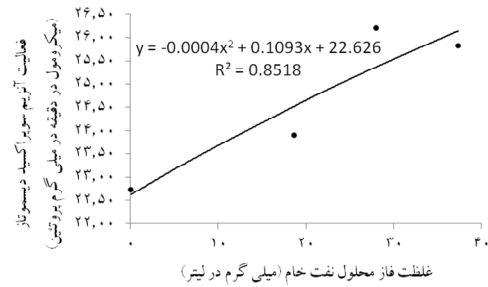


شکل ۵: تغییرات آنزیم سوپراکسید دیسموتاز کبد فیل ماهیان  $10/76 \pm 0/23$  گرمی در برابر تغییرات غلظت فاز محلول نفت خام بعد از ۲۴ ساعت

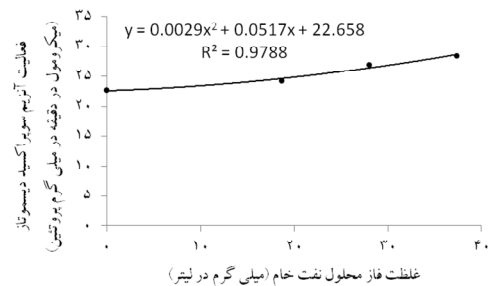
### بحث

مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیم‌های کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتازو گلوکوتاتیون پراکسیداز بوده که وظایف هر کدام به صورت زیر می‌باشد. کاتالاز باعث تجزیه پراکسید هیدروژن به مولکول اکسیژن و آب می‌شود سوپر اکسید دیسموتاز باعث تجزیه سوپر اکسیدها به پراکسید هیدروژن می‌شود و گلوکوتاتیون پراکسیداز به همراه گلوکوتاتیون اکسیداز باعث کاهش هیدرو پراکسیداز چربی و پراکسید هیدروژن می‌شود (Almedia et al., 2007). کبد یک اندام یکنواخت بوده که بیش‌ترین فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز در آن مشاهده می‌شود. این می‌تواند به این دلیل باشد که کبد جایگاه واکنش‌های اکسیدانی چندگانه و حداکثر تولید رادیکال‌های آزاد می‌باشد (Gule et al., 1997). زمانی که استرس اکسیداتیو رخ می‌دهد، بسیاری از آنیون‌های سوپر اکسید رها شده در داخل سلول به مولکول‌های پراکسید هیدروژن تبدیل می‌شود که این مولکول‌ها توسط کاتالاز از بین می‌روند. سوپر اکسید دیسموتاز نیز همانند کاتالاز یک آنزیم محرک بوده و با اکسیژن فعال کاهش می‌یابند.

در تحقیق حاضر بعد از قرار گرفتن بچه فیل ماهیان محدوده وزنی  $10/76 \pm 0/23$  گرمی در تیمارهای مورد آزمایش در زمان‌های ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت مشاهده شد که مقدار آنزیم کاتالاز روندی افزایشی داشت در تمامی تیمارها با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نشان دادند و حتی در



شکل ۷: تغییرات آنزیم سوپراکسید دیسموتاز کبد فیل ماهیان گرمی در برابر تغییرات غلظت فاز محلول نفت خام بعد از ۷۲ ساعت



شکل ۸: تغییرات آنزیم سوپراکسید دیسموتاز کبد فیل ماهیان گرمی در برابر تغییرات غلظت فاز محلول نفت خام بعد از ۹۶ ساعت

جدول ۶: ضرایب معنی‌داری آزمون همبستگی بین آنزیم‌های کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز در زمان‌های ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت در تیمارهای آزمایش در بچه فیل ماهیان محدوده وزنی  $10/76 \pm 0/23$  گرمی

تیمار	زمان (ساعت)			
	۲۴	۴۸	۷۲	۹۶
LC <sub>50</sub> /۴ (۱۸/۶۷ میلی‌گرم در لیتر)	۰/۷۷۸	۰/۳۸۶	۰/۹۲۷	۰/۲۱۷
LC <sub>50</sub> /۶ (۲۸ میلی‌گرم در لیتر)	۰/۴۷۶	۰/۵۰۷	۰/۹۰۶	۰/۲۵۳
LC <sub>50</sub> /۸ (۳۴/۳۷ میلی‌گرم در لیتر)	۰/۳۶۸	۰/۷۲۱	۰/۲۴۵	۰/۱۴۳

زمان ۹۶ ساعت سطح آنزیم تمامی تیمارها نیز با هم اختلاف معنی داری داشتند، تنها استثنا میزان آنزیم کاتالاز تیمار حاوی غلظت  $LC_{50}$  ۰/۴ (کمترین دوز) و در زمان ۲۴ ساعت اول بود که بر خلاف دو تیمار دیگر اختلاف معنی داری با شاهد نشان نداد.

در بسیاری از موارد تفاوت معنی داری بین تیمارهای تحت آلودگی و تیمار شاهد از نظر فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانی در اندام‌هایی مانند کبد و هیپوتوپانکراس وجود دارد که می‌تواند به دلیل قابلیت بالای آن اندام در بروز تاثیرات آلاینده‌های مورد نظر باشد (Hung et al., 2007).

اما تست رگرسیون نشان داد که بین فعالیت آنزیم کاتالاز در معرض غلظت‌های مختلف نفت خام در زمانهای ۲۴ و ۹۶ ساعت هیچ ارتباط مشخص و همبستگی معنی داری مشاهده نشد. ولی در زمان‌های ۴۸ و ۷۲ ساعت ارتباط و همبستگی بالایی دیده شد. در نتیجه نمی‌توان به طور قاطع نتیجه گرفت که تنها قرار گرفتن در معرض آلاینده موجب تغییر سطح آنزیم کاتالاز در تمامی تیمارها شده است.

در تحقیقی که کرامتی و همکاران در سال ۱۳۸۸ بر روی تاثیر سم دیازینون بر فعالیت آنزیم کاتالاز در بافت کلمه انجام دادند ارتباط معنی داری بین میزان آلاینده و آنزیم مشاهده نشد. Olive و همکاران در سال ۲۰۱۰ تاثیر هیدروکربن‌های آروماتیک (PAHs) بر ماهی *Solea senegalensis* در ساحل Huelva در سنگال بررسی کردند و همبستگی مثبت بین افزایش PAHs و افزایش میزان کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز به عنوان بیومارکر آلودگی مشاهده کردند.

میزان آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز همگی تیمارها بعد از گذشت ۳ روز و در زمان ۹۶ ساعت میزان آنزیم همگی تیمارها با تیمار شاهد ارتباط معنی داری داشتند و در تمام این ۴ روز بیش‌ترین میانگین آنزیمی مربوط به تیمار  $LC_{50}$  ۰/۸ بود و تنها همین تیمار که حاوی بیش‌ترین دوز آلاینده بود از روز دوم روند افزایشی به خود گرفت. همچنین مقدار آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تمامی تیمارها در زمان‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ با مقدار آنزیم در زمان ۹۶ ساعت ارتباط معنی داری نشان دادند. نتایج تست رگرسیون برای بیان ارتباط و همبستگی بین فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز و میزان افزایش غلظت فاز محلول نفت خام نشان داد که تنها در زمان ۲۴ ساعت ارتباط مشخص و معنی داری بین آن‌ها وجود دارد ولی در زمان‌های ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پراکندگی نقاط در نمودار نشان از عدم وجود همبستگی بود. در نتیجه برای این آنزیم هم نمی‌توان این گونه نتیجه گرفت که تنها وجود آلاینده باعث تغییرات این آنزیم گشته است.

نتایج آزمون همبستگی بین دو آنزیم کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز در طی ۴ روز و در تمامی تیمارها نشان داد که هیچ همبستگی بین این دو آنزیم در بچه فیل ماهیان محدوده ۱۰/۷۶ گرمی وجود ندارد و تغییرات این دو آنزیم از نظر آماری با هم همخوانی ندارند. Niyogi و همکارانش در سال ۲۰۰۱ تحقیقاتی را انجام دادند و بیان کردند وقتی ارگانسم‌ها در معرض آلاینده‌هایی مثل هیدروکربن قرار می‌گیرند سیستم ROS فعال می‌شود و افزایش آنزیم‌های آنتی اکسیدانی به

*Barbus barbuis* باربوس، *Abramis brama* سوف *Lucioperca lucioperca* کپور معمولی *Cyprinus carpio*، مار ماهی *Anguilla anguilla*.

نتایج مطالعات متعددی نشان داده‌اند که لزوماً هنگامی که ماهی تحت تأثیر سموم و آلاینده‌ها قرار می‌گیرد سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی آن فعال نمی‌شود و از سویی دیگر تغییرات فعالیت این آنزیم‌ها با توجه به نوع و ماهیت آلاینده‌ها در یک اندام خاص بروز می‌کند و در بسیاری از موارد میزان فعالیت آن‌ها در یک اندام کم و در همان هنگام در اندامی دیگر زیاد می‌گردد (Rosa et al., 2005). Petres و همکاران در سال ۲۰۰۱ در بررسی اثرات آلاینده‌های هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در لارو ماهی اسپرات *Sprattus sprattus* دریافتند که میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز در لاروهای موجود در مصب که بیشتر در معرض این آلاینده‌ها قرار داشتند نسبت به لاروهایی که دور از این منطقه بودند بسیار بیشتر بود. در بررسی Orbea و همکاران در ۲۰۰۲ سطوح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در مقابله با هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در ماسل *Mytilus galloprovincialis* و اویستر *Crassostrea sp.*، خرچنگ *Carcinus maenas* و ماهی کفال *Mugil cephalus* نتایج نشان داد که میزان این آلاینده‌ها در این موجودات در زمستان بیشتر از تابستان بوده ولی میزان آنتی‌اکسیدان‌ها در تابستان بیشتر از زمستان بوده است. امروزه مطالعات متعددی

خصوص سوپر اکسید دیسموتاز و کاتالاز افزایش می‌یابد. DiGiulio طی تحقیقی در سال ۱۹۹۱ بیان داشت که میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در ماهیانی که در معرض آلاینده‌های هیدروکربنی قرار داشتند دارای روند افزایشی بود.

Milinkovich و همکاران در سال ۲۰۱۱ آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی کبد ماهی *Liza aurata* را که در معرض نفت خام قرار گرفته بود بررسی کردند و همانند نتایج تحقیق حاضر افزایش همزمان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را مشاهده کردند.

در مطالعاتی که Yilmaz و همکارانشان در سال ۲۰۰۶ بر روی ماهی کپور انجام دادند مشخص شده که با افزایش آلاینده‌ها افزایش شدید میزان آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز و کاهش آنزیم کاتالاز مشاهده شد و این گونه عقیده داشتند که نحوه پاسخ بافت‌های مختلف ماهی به میزان آلودگی متفاوت است و ممکن است یک بافت به استرس اکسیداتیو پاسخ ندهد و سیستم آنزیمی به خوبی فعال نشود و در نتیجه تخریب بافتی بیشتر باشد. اما در تحقیق حاضر با کمی اختلاف زمانی هر دو آنزیم روند افزایشی از خود نشان دادند. در بررسی انجام شده در مورد اثرات آلودگی بر روی برخی از ماهیان خانواده کپور ماهیان که توسط Gul و همکاران در سال ۲۰۰۴، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز و لاکتیک دهیدروژناز در کبد آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت که همگی فاکتورها شدیداً تحت تأثیر آلودگی بودند. ماهیان مورد بررسی عبارت بودند از: مروارید ماهی *Alburnus alburnus*، سیم

به خوبی نشان داده‌اند که سموم و آلاینده‌های آلی و فلزی می‌توانند منجر به تحریک فرآیند تولید ROS و نقصان در فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و در نتیجه آسیب‌های اکسیداسیونی در موجودات آبرزی در آزمایشات حاد گردند، از سویی دیگر امکان جلوگیری و یا کاهش اثرات سمیت ROS توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی وجود دارد (Pinto *et al.*, 2003). اگر چه در آزمایشات مزمن فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به طور معمول دارای روند افزایشی در موجودات می‌باشند ولی باید توجه داشت که تغییرات آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با توجه به گونه آبرزی و نوع آلاینده متفاوت است و تاثیرگذاری آلاینده بر سطوح آنتی‌اکسیدانی تا اندازه‌ای بستگی به اندام مورد نظر دارد (Oruce *et al.*, 2004). زمان تولید مثل، غذای در دسترس، درجه حرارت، فصل و ... نیز در این امر دخالت بسیاری دارند (Almedia *et al.*, 2007; Frenzilli *et al.*, 2004; Manduzio *et al.*, 2004).

تغییرات فعالیت سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی در برابر بسیاری از آلاینده‌ها دارای دو مرحله مجزا می‌باشد: یک مرحله حاد که معمولاً در ساعات اولیه در معرض آلاینده قرار گرفتن ماهی بروز می‌کند (اغلب ۲۴ ساعت اولیه) و یک مرحله سازگاری که با توجه به گونه و نوع آلاینده می‌تواند تا چندین روز به طول انجامد. همچنین باید توجه داشت که برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت به برخی آلاینده‌ها واکنش نشان نداده و در واقع به نوعی تخصصی عمل می‌نمایند (Tetiana *et al.*, 2005). افزایش میزان آنزیم سوپر اکسید

دیسموتاز ممکن است به عواملی نظیر توان تولید آنزیم در هر موجود، سن و جنس، نوع آلاینده دما و از همه مهم‌تر مدت زمان که موجود با آلاینده درگیر است می‌باشد. همچنین در بررسی‌هایی که Zhang و همکارانش در سال ۲۰۰۴ بر روی ماهی Gold fish انجام دادند به این نتیجه رسیدند که حضور بعضی از یون‌های فلزی (روی و مس) در کنار آلاینده‌ها نیز می‌تواند میزان تولید آنزیم‌ها و سم زدایی این مواد آلاینده توسط آنزیم‌های اکسیداتیو تاثیرگذار باشد چون این یون‌ها به عنوان کوفاکتور برای بعضی از آنزیم‌های اکسیداتیو نظیر سوپر اکسید دیسموتاز می‌باشد و با تولید سوپر اکسید دیسموتاز و افزایش پراکسید هیدروژن افزایش بیشتر آنزیم کاتالاز مشاهده می‌شود. Hamed در سال ۲۰۰۴ تاثیر PAHs در نواحی آلوده رود نیل بر میزان آنزیم‌های اکسیداتیو *Oreochromis sp.*، *Clarias lazaris* بررسی نمود و مشخص شد که آنزیم‌ها در بافت‌های مختلف ماهیان متفاوت و گونه‌های مختلف مقاومت‌های متفاوتی در برابر آلودگی دارند.

نوع ماده آلاینده و حساسیت جانوران به آن‌ها نیز در میزان القای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موثر است مثلاً مطالعات نشان داد میزان حساسیت ماهیان نسبت به نفت خام بیشتر از روغن دیزل و حساسیت به روغن دیزل بیشتر از گازوئیل بود چون میزان انواع هیدروکربن‌های در نفت خام بیشتر از روغن دیزل و گازوئیل می‌باشد (Sole *et al.*, 2001).

یکی دیگر از فاکتورهای مهم در میزان القای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی زمان مواجهه با آلاینده

می‌کنند (Lazawa et al., 1996). Stanic و همکاران نیز در سال ۲۰۰۶ بر روی تأثیر آلودگی را بر بیومارکرهای آنتی‌اکسیدانی در ماهی *Acipenser ruthenus* در رودخانه دانوب بررسی و بیان کردند که آلاینده‌ها باعث افزایش بیومارکرهای آنتی‌اکسیدانی در این ماهی شده است.

در تحقیق حاضر همراه با آنزیم سوپر اکسیداز دیسموتاز افزایش میزان کاتالاز نیز مشاهده شد (البته پس از گذشت ۳ روز)، شاید در فیل ماهی در این گروه وزنی آنزیم کاتالاز نقش پررنگ‌تری نسبت به آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز برای از بین بردن پراکسید هیدروژن بازی می‌کند که برای رسیدن به پاسخ قطعی در این خصوص نیاز به تحقیق بیشتر در این زمینه حس می‌شود. به طور کلی نتایج نشان داد که آنزیم‌های کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز کبد، بیومارکرهای مناسبی برای آلودگی فاز محلول نفت خام در بچه فیل ماهی محسوب می‌شوند و حتی دوز زیر حد کشندگی هم در آزمایشات تعیین مسمومیت حاد (۹۶ ساعت) بر تغییرات میزان این آنزیم‌ها تأثیرگذار است.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از کارکنان گرامی پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، آزمایشگاه مرکز تحقیقات شیلاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بابل و همه عزیزانی که در پیشبرد این تحقیق با نویسندگان نهایت همکاری را داشته‌اند قدردانی می‌گردد.

است معمولاً در بررسی آلاینده‌ها و تأثیر آن‌ها بر سیستم دفاعی و بافت هر دو روش حاد و مزمن مورد استفاده قرار می‌گیرد و عکس‌العمل موجودات بر اساس حساسیت‌های گونه‌ای به آلاینده بسیار متفاوت است. هر چه زمان ماندگاری در برابر آلاینده بیشتر باشد میزان عکس‌العمل آنزیمی به آلاینده بیشتر می‌باشد. بر طبق نظر Zhang و همکارانش در سال ۲۰۰۴ تعدادی از آنزیم‌ها یک نقش مشترک را در سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی ایفا می‌کنند مثلاً آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز (GPx) علاوه بر از بین بردن لیپید پراکسیدها همانند آنزیم کاتالاز در از بین بردن پراکسید هیدروژن در استرس‌های اکسیداتیو نقش دارد ممکن است حضور این آنزیم (گلوتاتیون پراکسیداز) از بین بردن پراکسید هیدروژن را انجام دهد و در نتیجه میزان تولید و فعالیت آنزیم کاتالاز کاهش یابد. آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز می‌تواند همزمان هیدروژن پراکسید و لیپید پراکسید را تجزیه کند بنابراین در تجزیه پراکسید هیدروژن با آنزیم کاتالاز همکاری می‌کند. گونه‌های مختلف ماهیان و جانوران ممکن است در مواجهه با آلاینده‌ها مختلف از هر دو آنزیم کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز همزمان بهره ببرند و یا اینکه در کوتاه مدت از یک آنزیم و با گذشت زمان و افزایش مدت زمان مواجهه با آلاینده از آنزیم دیگر و یا از هر دو آنزیم استفاده کنند و این امر در موجودات بسیار متفاوت است و حتی بعضی از موجودات در برابر یک آلاینده از یک آنزیم و در برابر آلاینده‌ای دیگر از آنزیم دیگر استفاده

- amphipods and snails. Spill Sciences Technology Bulletin, 4, 1-6.
10. Hamed, R., 2004. Evaluation of Detoxification Enzyme level in Egyptian cat fish, *Clarias lazera* Exposed to Dimethoate, Bulletin of Environment Contamination Toxicology, 63, 789-796.
  11. Hasspieler, E. B., Behar, J. V., Di Giulio, R. T., 1994. Glutathione-dependent defense in channel cat fish (*Ictalurus punctatus*) and brawn bullhead (*Ameiurus nebulosus*). Ecotoxicology and Environmental Safety, 28, 82-90.
  12. Hose, J. E., McGurk, D., Marty, G. D., Hinton, D. E., Brown, E. D., Baker, T. T., 1996. Sublethal effects of the Exxon Valdez oil spill on herring embryos and larvae: morphological, cytogenetic and histopathological assessments, 1989-1991. Canadian Journal of Fish and Aquatic Sciences, 53, 2355-2365
  13. Hung, D. J., Zang, Y. M., Stone, G., Long, J., Lio, J. H., Ji, W. H., 2007. Contaminant-Induced oxidative Damage on carp *Cyprinus carpio* Collected from the Upper Yellow river, china Environment Monitoring Assessment, 128, 483-488.
  14. Kosarev, A.N. and Yablonskaya, E.A., 1994. The Caspian Sea, SPB Academic Publishing, The Hague, 259 P.
  15. Lazawa, S., Inoue, Y., Kimura, A., 1996. Importance of catalase in the adaptive Response to hydrogen peroxide, Biochemistry Journal., 320, 61-67.
  16. Manduzio, H., Monsinjon, T., Galap, C., Leboulenger, F., Rocher, B., 2004. Seasonal variation in antioxidant defenses in blue mussels collected from a pollution area: major contributions of inducible isoform of Cu/Zn-Superoxide dismutase and glutathione transferase. Aquatic Toxicology, 70, 83-93.
  17. Marklund, S., Marklund, G., 1974. Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. Europ Journal of Biochemistry, 47, 469-474.
  18. Milinkovitch, T., Ndiaye, A., Sanchez, V., Le Floch, S., 2011. Liver antioxidant and plasma immune responses in juvenile golden grey mullet (*Liza aurata*) exposed to dispersed crude oil. Aquatic Toxicology, 101(1), 155-164.

## منابع

۱. کرامتی، و.، جمیلی، ش.، ماشینچیان مرادی، ع.، ۱۳۸۸. تاثیر سم دیازینون بر میزان فعالیت آنزیم آنتی اکسیدان کاتالاز در بافت کبد ماهی کلمه *Rutilus rutilus*. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران، ۷۶ صفحه.
2. Almedia, E. A., Loureiro, G. R., Martinez, S. Miyamoto, J., Onuki, L. F., Barbosa, C. C., 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, Part A, 146, 588-600.
3. Anderson, J. W., Neef, J. M., Cox, B. A., Tatem, H. E., Hightower, G. M., 1974. Characteristics of dispersions and water-soluble extracts of crude and refined oils and their toxicity to estuarine crustaceans and fish. Marine Biology, 27, 75-88.
4. DiGiulio, R. T., Washburn, P. C., Wenning, R. J., Winston, G. W. and Jewell, C. S., 1989. Biochemical responses in aquatic animals: a review of determinants of oxidative stress. Environment Toxicology and Chemistry, 8, 1103-1123.
5. Dumond, H. J., 1998. The Caspian lake: History, biota, structure and function. Limnology and Oceanography, 43(1), 44-52.
6. Finney, D. L., 1978. Statistical method in biological assay. London: Charles Griffin, 68-77.
7. Frenzili, G., Bocchetti, R., Pagliarecci, M., Nigro, M., Annarumma, F., Scarcelli, V., Fattorini, D., Regoli, F., 2004. Time-course evaluation of ROS mediated toxicity in mussel, (*Mytilus galloprovincialis*), during a field translocation experiment. Marine Environmental Resources, 58, 609-613.
8. Gül, S., Belge-Kurutaş, E., Yildiz, E., Sahan, A., Doran, F., 2004. Pollution correlated modifications of liver antioxidant systems and histopathology of fish (Cyprinidae) living in Seyhan Dam Lake, Turkey. Environment International, 30(5), 605-9.
9. Gule, I., Leonard, B., Holdway, D. A., 1997. Oil and dispersed oil toxicity to

26. Pinto, E., Siggau-Kutner, T. C. S., Leitao, M. A. S., Okamoto, O. K., Morse, D., Colepicolo, P., 2003. Heavy metal induced oxidative stress in algae. *Journal of Physiology*, 39, 1008-1018.
27. Rosa, M. M., Amila, E. M., Ana, S., 2005. Antioxidant defences in fish: Biotic and abiotic factors. *Review in Fish Biology and Fisheries*, 15, 75-88.
28. Sole, M., Porte, C., Albaiges, J., 2001. Hydrocarbons, PCBs and DDT in the NW Mediterranean deep-sea fish *Mora moro*. *Deep Sea*, 48(2), 495-513.
29. Stanic, B., Andric, N., Zoric, S., 2006. Assessing pollution in the Danube River near Novi Sad (Serbia) using several biomarkers in sterlet (*Acipenser ruthenus* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 65(3), 395-402.
30. Teh, S.J., Deng, X., Deng, D.F., Teh, F.C., Hung, S.S., Fan, T.W., Liu, J., Higashi, R.M., 2004. Chronic effects of dietary selenium on juvenile Sacramento splittail (*Pogonichthys macrolepidotus*). *Environmental Science and Technology*, 38, 6085-6093.
31. Tetiana, V. B., Vasilkiv, K. B. Storry, V. I., 2005. Catalase inhibition amino triazole induces oxidative stress in gold fish brain. *Brain research*, 1052, 180-186.
32. Tophan, M.K., Prescott, S.M., 2001. Diacylglycerol kinase zeta regulates Ras activation by a novel mechanism. *Journal of Cell Biology*, 152, 1135-1143.
33. Xu, J. B., Yuan, X. F., Lang, P. Z., 1997. Determination of catalase activity and catalase inhibition by ultraviolet spectrophotometry. *China Environmental Chemistry*, 16, 73-76.
34. Yilmaz, H., 2006. An Investigation of Antioxidant Activities in liver of *Cyprinus carpio* Taken from Difrantation Station in the Karakaya dam lake.1, 1, pp. 1-6.
35. Zhang, J. F., Wang, X. R., Guo, H.I., Wu, J.C. and Xue, Y. Q., 2004. Effect of water soluble fraction of diesel oil on the antioxidant defense of the gold fish *Carassius auratus*, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 58, 110-116.
19. Niyogi, S., Biswas, S., Sarker, S., Datta, A.G., 2001a., Antioxidant enzymes in brackishwater oyster, *Saccostrea cucullata* as potential biomarkers of polyaromatic hydrocarbon pollution in Hooghly Estuary (India): seasonality and its consequences. *Science of Total Environment*, 281, 237-246.
20. Niyogi, S., Biswas, S., Sarker, S., Datta, A.G., 2001b., Seasonal variation of antioxidant and biotransformation enzymes in barnacle, *Balanus balanoides*, and their relation with polyaromatic hydrocarbon. *Marine Pollution Bulletin*, 52, 13-26.
21. Oliva, M., González de Canales, M., Gravato, C., Guilhermino, L., 2010., Biochemical effects and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in senegal sole (*Solea senegalensis*) from a Huelva estuary (SW Spain). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73(8), 1842-1851.
22. Orbea, A., Ortiz-Zarragoitia, M., Sole, C., Cajaravill, M. P., 2002. Antioxidant enzyme and peroxisome proliferation in relation to contaminant body burdens of PAHs And PCBs in bivalve mollusca, crabs and fish from the Urdabai and plentzia estuaries (Bay of Biscay). *Aquatic Toxicology*, 58, 75-98.
23. Oruce, E. O., Sevgiler, Y., Uner, N., 2004. Tissue-specific oxidative stress response in fish exposed to 2,4-D and azinphosmethyl. *Comparative Biochemistry and physiology*, 137, 43-51.
24. Pacheco, M., and Santos, A.M., 2001. Biotransformation, endocrine, and genetic responses of *Anguilla anguilla* L. to petroleum distillate products and environmentally contaminated waters. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 49, 64-75.
25. Petres, L. D., Port, C., Livingston, D. R. 2001., Variation of antioxidant enzyme activities of Spat (*Sprattus Sprattus*) Larvae and organic contaminant levels in mixed Zooplankton from the southern North Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 42(11), 1087-1095.