

بررسی کمی و کیفی مقادیر هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) در بافت عضله اردک ماهی *Esox lucius* (Lineaus, 1758) تالاب انزلی

لیدا سلیمی^{۱*}، عباسعلی مطلبی^۲، علی مهدی نیا^۳ و سمیه قربانی*

۱- گروه محیط زیست دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

۲- مؤسسه تحقیقات شیلات ایران

۳- مرکز ملی اقیانوس شناسی ایران

۴- گروه بیولوژی دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

تاریخ دریافت: ۹۰/۴/۱

تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۳۰

چکیده

تالاب انزلی از تالاب‌های بین‌المللی ایران است که گونه‌های زیادی در آن رشد و تکثیر می‌یابند. در سال ۱۳۸۹ میزان PAHs که ترکیباتی سرطان‌زاهستند، دریافت عضله اردک ماهی *Esox lucius* تالاب انزلی بررسی گردید. در این راستا نمونه برداری در دو فصل خشک (اوایل شهریور) و فصل مرطوب (اوایل آذر) در سه ایستگاه ماهروزه، کومه آقاجانی، سیاه درویشان صورت پذیرفت. در هر فصل ۱۵ نمونه برداشت شد. متغیرهای محیطی شامل pH، اکسیژن محلول و دمای آب نیز تعیین گردید. نمونه‌های بیومتری و تعیین سن شده و پس از آماده سازی میزان PAHها با سه بار تکرار در هر نمونه و با استفاده از HPLC تعیین شد. در هر دو فصل اسنفتن دارای بیشترین غلظت ($11/37 \pm 31/90$) ppb و بنزوآلفاپایرن دارای کمترین غلظت ($0/1 \pm 0/2$) ppb) شد. سپس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS16، بررسی و ارتباط معنادار منفی بین نفتالن و اسنفتن با سن ماهی (زیر یک سال و دو ساله‌ها) در هر دو فصل مشاهده شد ($P < 0/05$). بین بنزوینتافلورانتن و بنزو (g, h.i) پرلین با میزان اکسیژن محلول نیز ارتباط معنادار منفی در هر دو فصل دیده شد ($P < 0/05$). در دو فصل PAHها با عواملی چون اکسیژن و pH ارتباط معناداری داشت ($P < 0/05$). در فصل سرد نیز بین PAHها با وزن نمونه‌ها ارتباط معناداری مشاهده شد ($P < 0/05$). با توجه به اینکه در این تحقیق حداکثر مقدار PAH تعیین شده برابر $52/63$ ppb در وزن خشک بدست آمد و با توجه به حد مجاز اعلام شده PAH در آبزیان ($30 \mu\text{g/kg}$ در وزن تر) می‌توان اعلام کرد که در حال حاضر در نمونه‌های اردک ماهی در ایستگاه‌های بررسی شده، میزان PAH تقریباً در حد مجاز است.

واژگان کلیدی

آلودگی، PAHs، اردک ماهی *Esox lucius*، تالاب انزلی، دریای مازندران

مقدمه

تالاب انزلی در جنوب دریای مازندران در استان گیلان واقع شده است. این تالاب به دلیل برخورداری از شرایط مناسب اکوسیستمی، جزء تالاب‌های با اهمیت می‌باشد و همین مسئله سبب شده تا موجودات آبی زیادی در این اکوسیستم زندگی و تولید مثل نمایند. یکی از ماهیان بومی این تالاب، اردک ماهی با نام علمی *Esox lucius* می‌باشد (آریایی نژاد، ۱۳۸۵). اردک ماهی شکلی کشیده و از در مانند با سری نوک تیز و دندان‌های برنده همانند اغلب ماهی‌های شکارچی دارد، ساکن آب شیرین بوده و بیشترین طول (کل آن) به ۱۸۳ سانتی متر می‌رسد و بیشترین وزن اندازه گیری شده آن برابر ۳۵ کیلوگرم است (رضای الهی، ۱۳۷۴).

هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه ای (PAHs) گروهی از ترکیبات شیمیایی هستند که دارای دو یا چند حلقه بنزنی می‌باشند. این مواد به علت توان بالای سرطان زایی از اهمیت ویژه‌ای در مطالعات زیست محیطی برخوردارند. سرطان زایی PAHها در اثر پیوند بین این ترکیبات به مولکول‌های درشت DNA و RNA یا پروتئین ناشی می‌شود. PAHها در اغلب حلال‌های آلی به خوبی حل شده، و به دلیل خاصیت لیپوفیلی به راحتی قادراند در بافت‌های چرب تجمع یابند و به مرور اثرات خطرناک خود را در بدن موجودات ظاهر نمایند (سلیمی، ۱۳۸۷).

در مورد بررسی PAHها پژوهش‌های زیادی انجام پذیرفته است، که به چند مورد آن در زیر اشاره می‌شود.

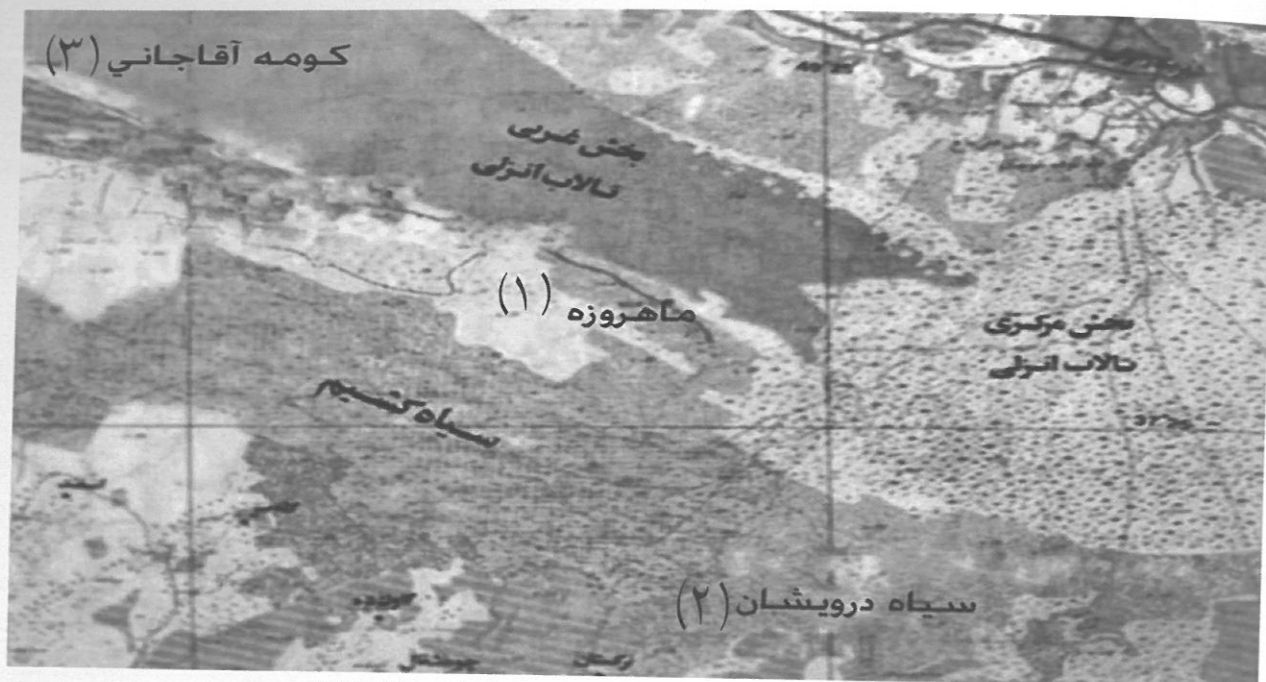
سلیمی در سال (۱۳۸۷)، پایش زیستی هیدروکربن‌های چند حلقه ای آروماتیک (PAHs) در رسوبات و دو کفه ای آنودونت در تالاب انزلی مطالعه نمود. Dasilva و همکاران (1997) PAHها را در ماهی و رسوب موجود در خلیج Guanabara در برزیل مورد بررسی قرار دادند. Bordajandi و همکاران (2004) مقاومت آلاینده‌هایی نظیر PAHها را در نمونه‌های غذایی و بر روی سلامتی انسان در کشور اسپانیا بررسی کردند. Cheevaporn و همکاران (2010) بررسی آلودگی PAHها در کبد و صفراوی *Nile Tilapia* (*Oreochromis niloticus*) در سوئد مطالعه کردند.

با توجه به نکته‌های گفته شده و اهمیت این نوع آلاینده‌ها، در تحقیق حاضر برای اولین بار در تالاب انزلی ترکیب PAHs در بافت اردک ماهی که مورد تغذیه انسان قرار می‌گیرد، مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق برای اولین بار بر روی این گونه در منطقه انجام شده است. با توجه به تغییرات فصلی در انزلی، نمونه برداری دو مرحله در دو فصل خشک و بارندگی انجام شده است (Oros et al., 2007).

مراحل نمونه برداری این پروژه در اوایل شهریور ماه (فصل خشک) سال ۱۳۸۹ و دومین مرحله نمونه برداری در آبان ماه (فصل بارندگی) سال ۱۳۸۹ در منطقه تالاب انزلی با همکاری پژوهشکده آبی پروری (آب‌های داخلی) و کارشناسان مربوطه صورت گرفت. بعد از بررسی جهت مکان‌های مناسب نمونه برداری، در ۳ منطقه‌ی ماهروزه (آبکنار)، سیاه درویشان و کومه آقاجانی که از زیستگاه‌های این ماهی می‌باشد، به عنوان ایستگاه‌های نمونه برداری تعیین گردید.



شکل ۱- ایستگاه‌های نمونه برداری در تالاب انزلی، سال ۱۳۸۹

جدول ۱- نام عمومی و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری شده در تالاب انزلی سال ۱۳۸۹

ردیف	نام عمومی ایستگاه	موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها
۱	ماهروزه	۳۷ ۲۶ ۷۹۵ N ۴۹ ۲۴ ۳۷۷ E
۲	کومه آقاجانی	۳۴ ۸۲ ۷۶۵ N ۴۱ ۵۲ ۱۵۵ E
۳	سیاه درویشان	۳۷ ۲۴ ۳۸۲ N ۰۴ ۹۲ ۴۲۶ E

همچنین در هر دو فصل و در هر سه ایستگاه، متغیرهای محیطی (اکسیژن، pH و دمای آب) نیز اندازه گیری شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و سپس بیومتری (وثوقی و مستجیری، ۱۳۸۱) انجام و بافت عضله جدا گردید. سپس تا مرحله آماده سازی جهت آنالیزهای شیمیایی فریز شدند. با توجه به استانداردهای موجود در آزمایشگاه، ۷ مورد PAHs شامل Acenaphthen, Naphthalen, Banzo(g, h.i)perylene, Banzo(a)pyren, Banzo(b)fluorethan, Crysen, Banzo(a)anthracene در مرحله آماده سازی، نمونه‌ها برای خشک شدن، به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه فریزدرایر قرار گرفتند. سپس طبق روش (EPA (Environmental Protection Agency), Method SW-846(1996) از نمونه خشک شده مقدار (۱۰ گرم) برداشت و با حلال‌های دی کلرومتان و استن مخلوط گردید. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک قرار داده شد. این کار دوبار تکرار گردید، سپس نمونه صاف شده و عملیات جداسازی توسط ستون (Clean up) روی آن انجام گردید. برای clean up در ۱۰ گرم سیلیکاژل، حدود ۵۰ میلی لیتر دی کلرومتان، ۲ سانتی متر تیوسولفات سدیم و ۴۰ میلی لیتر پنتان اضافه گردید، سپس نمونه به کمک تقطیر در خلاء تغلیظ شده و با استفاده از سیکلوهاگزان به فاز آلی منتقل و با گاز N2 حجم اضافه تبخیر شد و مجدداً (Clean up) صورت گرفت، پس از آن با حلال‌های پنتان نرمال و دی کلرومتان (به نسبت ۴۰:۶۰) ستون شستشو شده و در نهایت حجم نمونه حاصل با استفاده از روتاری به حجم ۱ میلی لیتر رسانده شد. سپس ۳ میلی لیتر استونیتریل اضافه گردید و مجدداً با گاز N2 به حجم ۱ میلی لیتر رسانده شد. سرانجام ۱۰۰ میکرو لیتر از محلول تمیز شده (Clean up) شده را برداشت و به دستگاه HPLC تزریق شد و با استفاده از دکتور FLD و UV نوع و مقادیر PAHهای موجود در بافت عضله اردک ماهی شناسایی گردید. لازم به ذکر است که مقدار PAH در هر نمونه پس از سه بار تکرار ثبت شد.

درخاتمه با استفاده از نرم افزار SPSS-16 و آزمون‌های Shapiro-Wilk, Kolmogorove-Smirnov, Kruskal Walis و Manwithney آنالیزهای آماری انجام گردید.

نتایج

نتایج متغیرهای محیطی در جدول (۲) آورده شده است. نتایج بیومتری نمونه‌های اردک ماهی نیز در دو فصل خشک و بارندگی در جدول‌های (۳ و ۴) آورده شده است.

جدول ۲- نتایج متغیرهای محیطی اندازه گیری شده در نمونه‌های آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه در تالاب انزلی، سال ۱۳۸۹ در دو فصل خشک و بارندگی

نام عمومی ایستگاه	اکسیژن (میلی گرم در لیتر)		دمای آب (درجه سانتی گراد)		pH
	فصل خشک	فصل بارندگی	فصل خشک	فصل بارندگی	
ماهروزه	۴/۸۵	۸/۲	۳۳/۰	۱۴/۲	۸/۲۱
کومه آقاجانی	۶/۳۰	۸/۴	۳۱/۰	۱۴/۳	۸/۲۳
سیاه درویشان	۴/۶۰	۶/۰	۲۴/۴	۱۵/۴	۷/۵۵

جدول ۳- نتایج زیست سنجی نمونه‌های اردک ماهی در ایستگاه‌های کومه آقاجانی، ماهروزه و سیاه درویشان تالاب انزلی، ۱۳۸۹ (فصل خشک)

*نمونه	طول چنگالی (سانتی متر)	وزن (گرم)	جنسیت	سن (سال)
۱	۴۵/۰	۶۷۹	نر	+۲
۲	۴۳/۰	۶۵۹	نر	+۲
۳	۳۷/۰	۴۰۳	ماده	+۲
۴	۳۳/۵	۳۴۸	نر	+۱
۵	۲۹/۰	۱۹۵	نر	+۰
۶	۴۹/۵	۹۹۱	ماده	+۲
۷	۴۵/۰	۷۱۰	ماده	+۱
۸	۴۰/۰	۵۰۵	نر	۲
۹	۳۹/۰	۴۳۶	ماده	+۱
۱۰	۳۷/۰	۳۸۱	ماده	+۱
۱۱	۴۴/۳	۶۹۳	ماده	+۲
۱۲	۳۸/۵	۴۱۳	نر	+۲
۱۳	۳۲/۴	۲۶۳	ماده	+۱
۱۴	۲۹/۴	۱۸۱	ماده	+۰
۱۵	۲۳/۲	۹۱	ماده	+۰

* نمونه ردیف‌های ۱-۵ مربوط به ایستگاه کومه آقاجانی است.

* نمونه ردیف‌های ۶-۱۰ مربوط به ایستگاه ماهروزه میباشد.

* نمونه ردیف‌های ۱۱-۱۵ مربوط به ایستگاه سیاه درویشان است.

جدول ۴- نتایج زیست سنجی نمونه‌های اردک ماهی در ایستگاه‌های ماهروزه، کومه آقاجانی و سیاه درویشان تالاب انزلی، ۱۳۸۹ (فصل بارندگی)

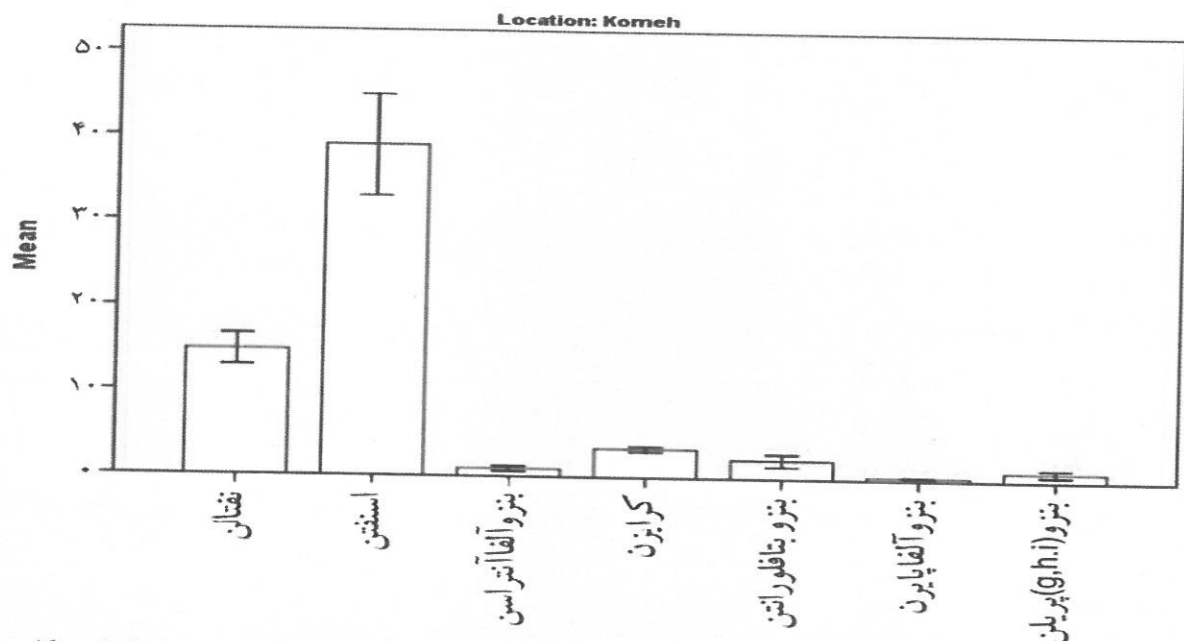
*نمونه	طول چنگال (سانتی متر)	وزن (گرم)	جنسیت	سن (سال)
۱	۳۶/۵	۳۶۲	ماده	۲
۲	۳۵/۵	۳۳۰	نر	۲
۳	۳۴/۵	۲۶۶	ماده	۲
۴	۳۱/۵	۲۳۸	نر	+۱
۵	۲۸/۵	۱۷۸	نر	+۱
۶	۴۱/۰	۶۹۶	ماده	+۲
۷	۳۷/۵	۵۵۰	نر	+۲
۸	۳۶/۰	۴۸۲	نر	۲
۹	۳۸/۰	۵۳۶	ماده	+۲
۱۰	۳۷/۵	۴۶۲	نر	+۲
۱۱	۳۸/۵	۴۹۴	نر	+۲
۱۲	۳۴/۵	۳۷۸	ماده	+۲
۱۳	۳۰/۰	۲۳۶	نر	+۱
۱۴	۲۴/۰	۱۰۲	ماده	+۱

* نمونه ردیف‌های ۱-۵ مربوط به ایستگاه ماهروزه است.

* نمونه ردیف‌های ۶-۱۰ مربوط به ایستگاه کومه آقاجانی میباشد.

* نمونه ردیف‌های ۱۱-۱۴ مربوط به ایستگاه سیاه درویشان است.

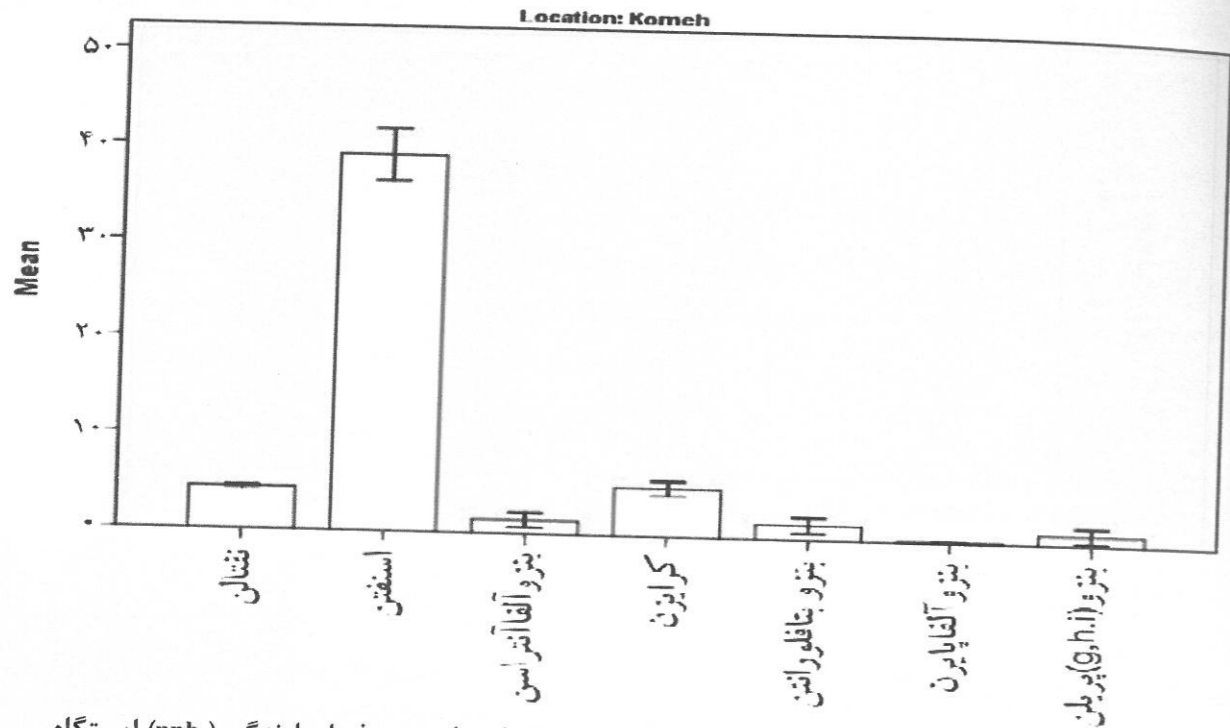
نتایج حاصل از آنالیزهای شیمیایی و بررسی طیف‌های HPLC، مقادیر PAHها در بافت عضله اردک ماهی در دو فصل نمونه برداری در شکل‌های ۲/۱، ۳/۱، ۴/۱، ۵/۱، ۶/۱، ۷/۱ آورده شده است.



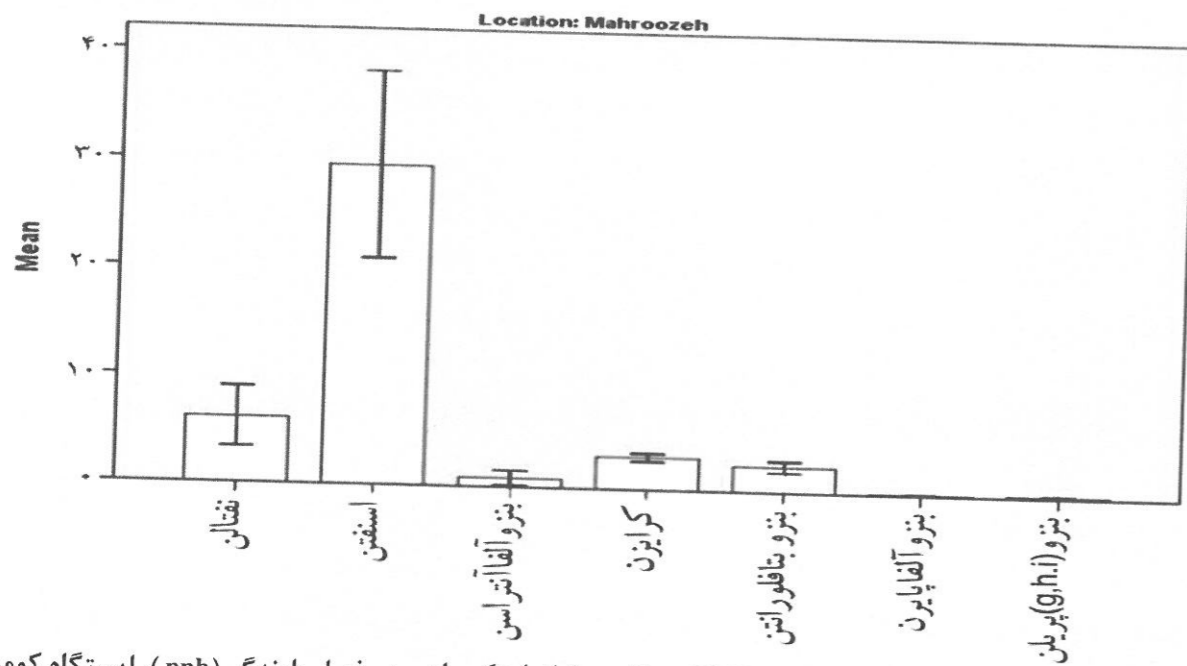
شکل ۲- میانگین مقادیر ۷ نوع ترکیب PAHs در بافت عضله اردک ماهی در فصل خشک (ppb)، ایستگاه

ماهروزه، تالاب انزلی، ۱۳۸۹ (آنتنک‌ها نشان‌دهنده انحراف معیار هستند)

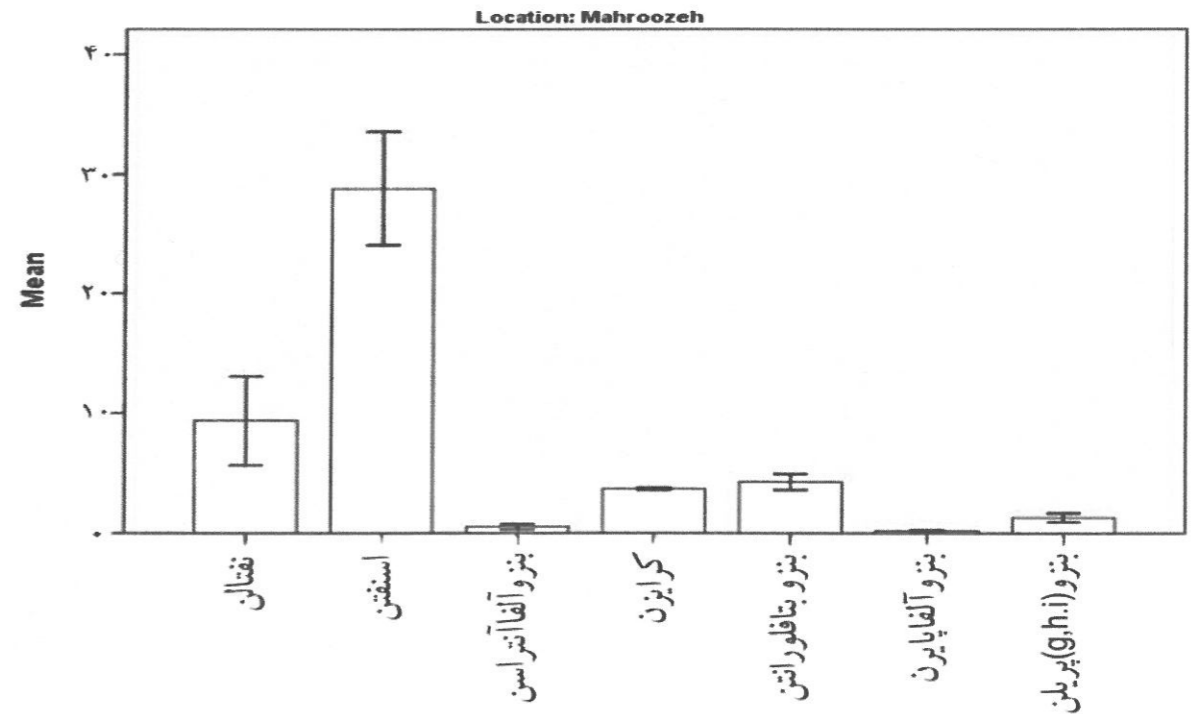
پس از آزمایش نمونه‌های فصل خشک، نتایج نمونه‌های فصل بارندگی در شکل‌های (۵، ۶ و ۷) آورده شده است.



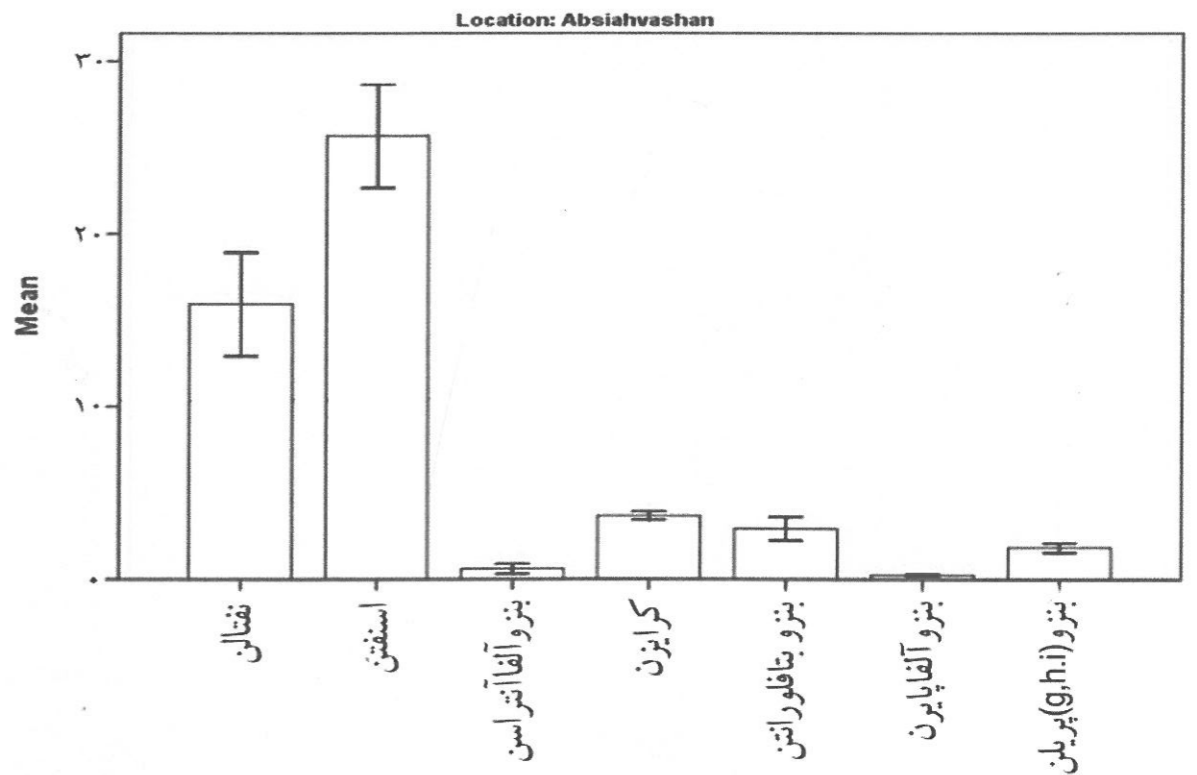
شکل ۵- میانگین مقادیر ۷ نوع ترکیب PAHs در بافت عضله اردک ماهی در فصل بارندگی (ppb)، ایستگاه ماهروزه، تالاب انزلی، ۱۳۸۹ (آنتنک‌ها نشان‌دهنده‌ی انحراف معیار هستند)



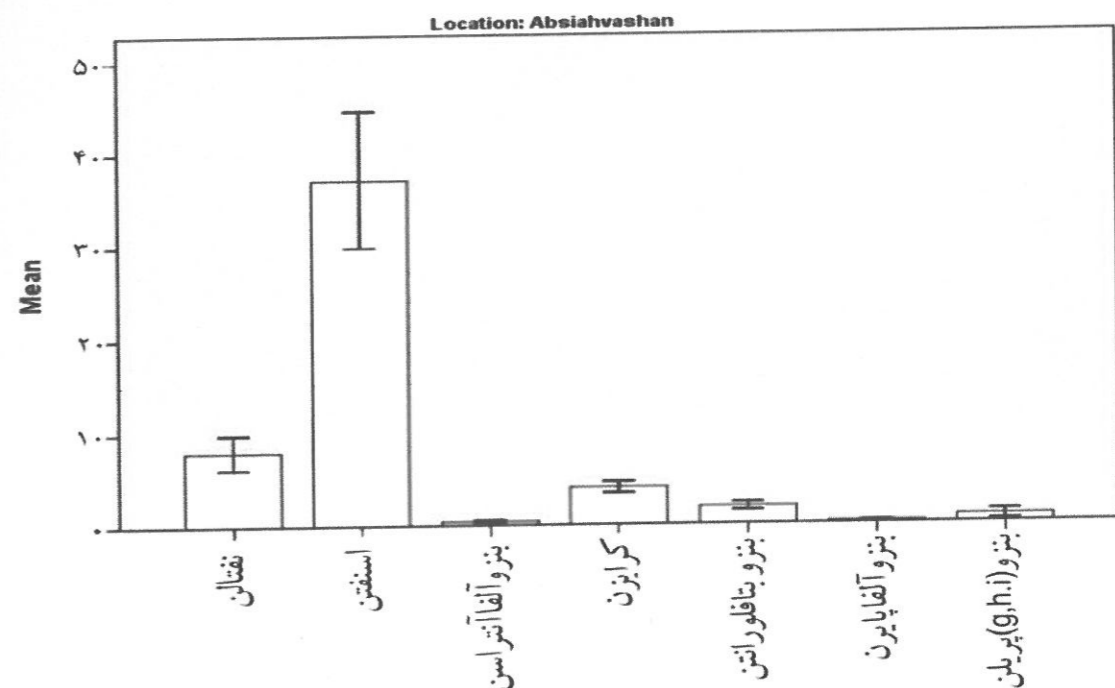
شکل ۶- میانگین مقادیر ۷ نوع ترکیب PAHs در بافت عضله اردک ماهی در فصل بارندگی (ppb)، ایستگاه کومه آقاجانی، تالاب انزلی، ۱۳۸۹ (آنتنک‌ها نشان‌دهنده‌ی انحراف معیار هستند)



شکل ۳- میانگین مقادیر ۷ نوع ترکیب PAHs در بافت عضله اردک ماهی در فصل خشک (ppb)، ایستگاه کومه آقاجانی، تالاب انزلی، ۱۳۸۹ (آنتنک‌ها نشان‌دهنده‌ی انحراف معیار هستند)



شکل ۴- میانگین مقادیر ۷ نوع ترکیب PAHs در بافت عضله اردک ماهی در فصل خشک (ppb)، ایستگاه سیاه درویشان، تالاب انزلی، ۱۳۸۹ (آنتنک‌ها نشان‌دهنده‌ی انحراف معیار هستند)



شکل ۷- میانگین مقادیر ۷ نوع ترکیب PAHs در بافت عضله اردک ماهی در فصل بارندگی (ppb)، ایستگاه سیاه درویشان، تالاب انزلی، ۱۳۸۹ (آنتنک‌ها نشان‌دهنده‌ی انحراف معیار هستند)

نتایج آنالیزهای آماری نشان داد که بین میزان نفتالن و گروه‌های سنی بالای یکسال و ۲ساله و همچنین با ۱ و ۲ساله‌ها ارتباط معناداری مشاهده شد ($P < 0.05$). اما بین میزان نفتالن با گروه‌های سنی بالای یکسال و ۱ساله ارتباط معناداری مشاهده نشد ($P > 0.05$). بین میزان نفتالن و وزن نمونه‌ها نیز ارتباط معناداری مشاهده شد ($P < 0.05$). از سوی دیگر بین جذب ترکیب بنزوفلورانتن با اکسیژن محیط ارتباط معنی دار منفی دیده شد ($P < 0.05$). بین جذب ترکیب بنزوپایرن با دمای آب ارتباط معنادار مثبت بدست آمد ($P < 0.05$). جذب ترکیب بنزو پریلن با دمای آب ارتباط معنادار مثبت و با میزان اکسیژن ارتباط معنادار منفی دارد ($P < 0.05$). بین جذب ترکیب اسنتن در نمونه‌ها با سن نیز ارتباط معنادار منفی مشاهده شد ($P < 0.05$).

بحث و نتیجه گیری

نتایج سنجش ۷ ترکیب از PAHs شامل نفتالن (Naphthalen)، اسنتن (Acenaphten)، بنزوآلفاآنتراسن (Banzo(a)anthracene)، کرایزن (Crysen)، بنزو بتا فلورانتن (Banzo(b)fluorethan)، بنزوآلفاپایرن (Banzo(a)pyren)، بنزو (g, h, i) پریلن (Banzo(g, h, i)perylene) نشان داد که ترکیب اسنتن با وزن مولکولی پایین (با مقادیر استاندارد موجود)، در همه ایستگاه‌ها دارای بیشترین مقدار (ppb ۳۱/۹۰ ± ۱/۳۷) در نمونه‌ها بوده و بنزوآلفا پایرن با وزن مولکولی بالا دارای پایین‌ترین میزان غلظت (ppb ۰/۲ ± ۱/۴) می‌باشد. این نتایج مشابه با تحقیقات (Budzinski et al., 2004; Cheevaporn et al., 2010 and Llobet et al., 2003) می‌باشد. بنظر می‌رسد با توجه به وزن مولکولی پایین ترکیب اسنتن احتمال حضور آن در آب بیشتر بوده و بنابراین امکان ورود آن به بدن ماهی بیشتر است. عکس این قضیه در مورد ترکیب بنزوآلفا پایرن صدق میکند، زیرا ترکیبات سنگین معمولاً کمتر در ستون آب باقی مانده و به دلیل چگالی بیشتر در بستر رسوب می‌کنند لذا احتمال ورود آنها به بدن و بافت ماهی همراه با آب کمتر میشود. همچنین ارتباط معناداری بین مقدار نفتالن و وزن ماهی مشاهده شد ($P < 0.05$). همانطور که اشاره شد با توجه به وزن مولکولی پایین نفتالن این مسئله منطقی است و انحلال آن در آب بیشتر است

بنابراین می‌تواند به سهولت همراه با آب وارد بدن ماهی شود. از سوی دیگر چون این ترکیب لیپوفیل می‌باشد، پس از ورود به بدن در بخش‌های چرب به میزان بیشتری یافت میگردد. قابل انتظار است که در ماهیان با بافت بزرگتر که معمولاً بافت چربی در آنها بیشتر است ترکیبات لیپوفیل یا چربی دوست نظیر نفتالن غلظت بیشتر (ppb ۱۰/۴۸ ± ۵/۷۵) داشته باشند. تاثیر اندازه بی مهرگان در جذب و تجمع آلاینده‌ها قابل توجه است و این وضعیت در تحقیق انجام شده توسط (Landrum & Stubblefield, 1991) هم در مورد سخت پوست آمفی پودها ی آب شیرین، گزارش شده و همبستگی بالایی بین جذب PAHها با نسبت سطح /حجم جانور ثابت شده است. نتیجه بدست آمده در این پژوهش با تحقیقات انجام شده توسط (Akpan et al., 1994 and Varanasi & Stein, 1991 و Solbakken et al. 1978) مطابقت دارد.

همچنین بین مقدار نفتالن انباشته شده (با محدوده حداقل و حداکثر میانگین (ppb ۲۱/۸۸ و ppb ۳/۶۵) و سن ماهی، نیز ارتباط معنادار منفی مشاهده شد ($P < 0.05$). از آنجایی که نفتالن در بین PAHها، جزء ترکیبات سبک می‌باشد، این احتمال وجود دارد که کاهش نفتالن در بدن ماهی با افزایش سن به دلیل متابولیسم شدن آن باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که سن جانور هم علاوه بر اندازه آن، در میزان جذب و پالایش ترکیبات آلی هیدروکربنیک نظیر PAHها موثر است (Hawker & Connel, 1985 و Gustafsson et al., 1999).

بین میزان بنزوبتا فلورانتن و بنزو (g, h, i) پریلن ارتباط معنادار منفی با میزان اکسیژن محلول مشاهده شد ($P < 0.05$). به طور مثال مشاهده شد در فصل خشک که هوا گرم شده و میزان اکسیژن محلول کاهش می‌یابد (۴/۶ mg/L)، بنزوبتا فلورانتن و بنزو (g, h, i) پریلن افزایش می‌یابد (ppb ۵/۷۳ و ppb ۲/۴۷) و در فصل مرطوب و بارندگی عکس این مسئله اتفاق می‌افتد. این احتمال وجود دارد که با تغییرات دمای محیط و به دنبال آن تغییرات اکسیژن محلول، روند تجزیه و اکسیداسیون این PAHها دستخوش تغییر شود و بنظر می‌رسد تغییرات فصلی عامل مهمی در افزایش و یا کاهش میزان PAHها است (سلیمی، ۱۳۸۷) و این امر موافق با تحقیقات انجام شده در خلیج سانفرانسیسکو می‌باشد که اختلاف معنی داری همراه با تغییرات فصلی در میزان PAHها در ماسل‌های این خلیج گزارش شده است (Oros et al., 2007). از سوی دیگر جذب این دو ترکیب در آبشش‌های ماهی همراه با حرکات تنفسی بیشتر (باز و بسته شدن سریعتر آبشش‌ها) در جهت تمایل بیشتر برای جذب اکسیژن در فصل خشک می‌تواند افزایش یابد. در فصل زمستان عکس این عمل مشاهده می‌شود. این روند مطابق با نتایج تحقیقات (Varanasi & Stein, 1991 و Beamish & Mookherjee, 1964; Johansen & Green, 1990 and Forstner & Wieser, 1990) می‌باشد.

مشابه این وضعیت در ترکیبات بنزو (g, h, i) پریلن و بنزوآلفا پایرن بافت نمونه‌ها نیز مشاهده شد که بین این دو ترکیب و دمای آب ارتباط معنادار وجود دارد ($P < 0.05$). در فصل خشک که دمای آب افزایش می‌یابد (۳۳ درجه سانتی‌گراد)، میزان اکسیژن محلول در آب کاهش یافته در نتیجه فعالیت آبشش‌ها برای جذب اکسیژن افزایش می‌یابد که این عمل به طور همزمان باعث افزایش جذب دو ترکیب از آب می‌گردد. این نتایج نیز با تحقیقات (Varanasi & Stein, 1991) مطابقت می‌نماید.

نتایج این پژوهش نشان داد که بین میزان اسنتن و سن ماهی (زیر یک سال و دوساله‌ها) همبستگی منفی وجود دارد ($P < 0.05$). اسنتن که دارای ۳ حلقه بنزنی است نسبت به سایر ترکیبات مورد بررسی در این تحقیق (به جز نفتالن) که ۴ حلقه بنزنی دارند، کمترین حلقه بنزنی و جرم مولکولی را داراست. ولی بر خلاف انتظار میزان تجمع آن در سنین بالاتر کمتر می‌باشد، احتمال دارد این نتیجه ناشی از ورود مقطعی این ترکیب به آب تالاب باشد اما احتمال قوی‌تر این است که اسنتن توانسته با توجه به تعداد حلقه‌های کم وارد سیستم متابولیسم جانور شود. در مورد جانورانی نظیر دوکفه‌ای‌ها که قدرت متابولیسم پایینی دارند مشخص شده است که عامل موثر بعدی در تجمع و افزایش غلظت PAHها متابولیسم آنهاست، به این معنی که در مورد مهره داران که سیستم آنزیمی دارند متابولیسم این ترکیبات بیشتر صورت

می‌گیرد اما در مورد بی مهرگان (نظیر دو کفه ای‌ها) که در محیط‌های آلوده زندگی می‌کنند، متابولیسم کمتری اتفاق می‌افتد (Akcha et al., 1999). این مورد با تحقیقات (سلیمی، ۱۳۸۷) در مورد تجمع PAHها در دوکفه ای آنودونت تالاب انزلی هم سازگار است. اما در گونه‌هایی که میتوانند متابولیسم قوی تری بر روی PAHها انجام دهند (نظیر ماهیان) برخی اوقات غلظت این ترکیبات پایین می‌آید (سلیمی، ۱۳۸۷). در این صورت گاهی مقادیر بالای PAHها حتی قادرند متابولیت‌های خطرناک تشکیل دهند (Meabor, 2003). که با توجه به ارتباط منفی بین غلظت اسنتفن و افزایش سن ماهیان احتمال دوم قوی تر به نظر می‌رسد. البته برای تأیید نهایی در این خصوص تحقیقات بیشتری نیاز است. در پایان با توجه به نتایج این تحقیق، میزان ترکیبات اسنتفن، نفتالن، کرایزن از ۷ مورد ترکیب PAHs مورد بررسی دارای بیشترین غلظت به ترتیب با مقادیر (۵۲/۶۳ ppb، ۲۱/۸۸ ppb، ۶/۵۶ ppb) در بافت عضله اردک ماهی در ایستگاه‌های مورد مطالعه بودند. با توجه به اینکه در این تحقیق حداکثر مقدار PAH تعیین شده ۵۲/۶۳ ppb در وزن خشک است و با توجه به حد مجاز اعلام شده PAH در آبزیان (۳۰ µg/kg در وزن تر) می‌توان اعلام کرد که در حال حاضر در نمونه‌های اردک ماهی در ایستگاه‌های مذکور، میزان PAH تقریباً در حد مجاز است (Seafish, 2011). البته به نظر می‌رسد اقدامات مدیریتی مناسب در جهت کنترل ورود پساب‌های آلوده به تالاب انزلی ضروری است.

تقدیر و تشکر

در خاتمه از همکاری‌ها و مساعدت‌های پرسنل محترم مرکز ملی اقیانوس شناسی، بخصوص سرکار خانم مهندس رحمان پور و پرسنل محترم پژوهشکده آبی پروری (آب‌های داخلی) بندر انزلی به خصوص خانم دکتر فلاحی، رئیس پژوهشکده و همچنین آقای مهندس بابایی و آقای محسن پور تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- آریائی نژاد، ش. ۱۳۸۵. بررسی و شناسایی ترکیبات طبیعی موجود در کبد و بافت عضله اردک ماهی. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.
- رضای الهی، ح. ۱۳۷۴. اثرات نفت و زائدات شیمیایی بر محیط زیست دریایی. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.
- سلیمی، ل. ۱۳۸۷. پایش زیستی هیدروکربن‌های چند حلقه ای آروماتیک (PAHs) و فلزات سنگین نیکل و وانادیوم در رسوبات و دوکفه ای آنودونت تالاب انزلی و تعیین کاربرد بیومارکر NRR به عنوان شاخص زیستی این آلاینده‌ها. رساله دکترا. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.
- وثوقی، غ. و مستجیری، ب. ۱۳۸۱. ماهیان آب شیرین. انتشارات دانشگاه تهران. تهران، ایران.
- Akpan, V., Lodovici, M. & Dolara, P. 1994. Polycyclic aromatic hydrocarbons in fresh and smoked fish Samples from the three Nigerian cities. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 53: 246-253.
- Akcha, F., Burgeot, T., Venier, P. & Narbonne, J. F. 1999. Relationship between kinetics of benzo[a]-pyrene bioaccumulation and DNA binding in the mussel *Mytilus galloprovincialis*, Bull. Environ. Contam. Toxicol., 62: 455-462.
- Beamish, F. W.H. & Mookherjii, P.S. 1964. Respiration of fishes with special emphasis on standard oxygen consumption. I. Influence of weight and temperature on respiration of Goldfish, *Ckzrmsius aurutus* L. Canadian Journal of Zoology, 42: 161-175.
- Bordajandi, R., Goamez, G., Abad, E. & Rivera, J. 2004. Survey of persistent organochlorine contaminants (PCBs, PCDD/Fs, and PAHs), Heavy metals (Cu, Cd, Zn, Pb and Hg), and Arsenic in food samples from Huelva(Spain): Levels and Health implications. J. Agric. Food chem., 52: 992-1001.

- Budzinski, H., Mazeas, O., Tronczynski, J., Desaunay, Y., Bocquene, G. & Claireaux, G. 2004. Link between exposure of fish (*Solea solea*) to PAHs and metabolites: Application to the "Erika" oil spill, Aquat. Living Resour., 17: 329-334.
- Cheevaporn, V., Pindang, M. & Helander, H.F. 2010. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon contamination in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*): Analysis in Liver and Bile, Environment Asia, 3(2): 8-14.
- Dasilva, E., PesoAguiar, M., Navarro, M. & Chastinet, C. 1997. Impact of petroleum pollution on aquatic coastal ecosystems in Brazil. Environ. Toxicol. Chem., 16: 112-118.
- Forstner, H. & Wieser, W. 1990. Patterns of routine swimming and metabolic rate in juvenile cyprinids at three temperatures: analysis with a respirometer-activity-monitoring system. Journal of Comparative Physiology, 160:71-76.
- Gustafsson, K., Bjork, M., Burreau, S. & Gilek, M. 1999. Bioaccumulation kinetics of brominated flame etardants (polybrominated diphenyl ethers) in blue mussels (*Mytilus edulis*). Environmental Toxicology and Chemistry, 18: 1218-1224.
- Hawker, D. W. & Connel, D. W. 1985. Relationships between partition coefficient, uptake rate constant, clearance rate constant and time to equilibrium for bioaccumulation. Chemosphere, 14: 1205-1219.
- Johansen, J.A. & Green, G. H. 1990. Sub lethal and acute toxicity of the ethylene glycol butyl ether ester formulation of triclopyr to juvenile Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Arch. Environ. Contam. Toxicol., 19: 610-616.
- Landrum, P.F. & Stubblefield, C.R. 1991. Role of respiration in the accumulation of organic xenobiotics by the amphipod, *Pontoporeia boyi*, Environmental Toxicology and Chemistry, 10: 1019-1028.
- Llobet, J. M., Bocio, A., Domingo, J.L., Teixido, A., Casas, C. & Müller, L. 2003. Levels of polychlorinated biphenyls in foods from Catalonia, Spain: estimated dietary intake. J. Food Prot., 66: 479-484.
- Meabor, J.P. 2003. Bioaccumulation of PAHs in marine invertebrates, PAHs: an ecotoxicological perspective. John Willey and Son Ltd. London, UK.
- Oros, D. R., Ross, J. R.M., Spies, R. B. & Mumley, T. 2007. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) contamination in San Francisco Bay: A 10-year retrospective of monitoring in an urbanized estuary. Environmental Research, 105: 101-118.
- Solbakken, J. E., Palmork, K.H., Neppelberg, T. & Scheline, R. R. 1978. Distribution of radioactivity in Coalfish (*Pollachius virens*) following intragastric administration of [9-14C]phenanthrene. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 23: 100-103.
- Varanasi, U. & Stein, J. 1991. Disposition of xenobiotic chemicals and metabolites in marine organisms. Environmental Health Perspectives, 90: 93-100.
- Sea fish. 2011. Sea fish the authority on sea food. Available in: <http://www.seafish.org>