پایش زیستی آلکان‌های نرمال در تخم چهارگونه پرستوی دریایی جزیره بنی فارور- خلیج فارس

زیبا سالاری‌جو[۱]، علیرضا ریاحی بختیاری[۲*]، سید محمود قاسمپوری[۳]

۱- دانش آموخته رشته محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، پست الکترونیکی: s.salarijoo@ modares.ac.ir

۲- دانشیار رشته محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، پست الکترونیکی: riahi@modares.ac.ir

۳- استادیار رشته محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، پست الکترونیکی: ghasempm@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۳ ** نویسنده مسوول* *تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۲۱*

© نشریه علمی ـ پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۹۵، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

چکیده

مقاله حاضر به منظور تعیین غلظت و منشأ ترکیبات آلکان‌های نرمال با استفاده از تخم چهار گونه پرستو دریایی در جزیره بنی‌فارور انجام گردید. نمونه‌برداری در تیرماه ۱۳۹۱، انجام گرفت. غلظت این ترکیبات پس از آنالیز که شامل استخراج، دو مرحله کروماتوگرافی ستونی و کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی است تعیین گردید. جهت تعیین منشأ از نسبت‌های تشخیصی این ترکیبات استفاده گردید. غلظت کلی این ترکیبات در گونه سفید، پشت تیره، کاکلی بزرگ و کاکلی کوچک به ترتیب در محدوده ۶۷/۲۸-۴۲/۹۳، ۹۵/۶۴- ۲۴/۴۸، ۲۵/۹۲- ۳۹/۹۵ و ۷۱/۸۶- ۳۹/۴۹ $\mu g\ mg^{-1}$ لیپید بدست آمد. غلظت در نمونه‌های تخم گونه سفید و کاکلی‌کوچک بیشتر از کاکلی بزرگ و پشت تیره بدست آمد. منشأ غالب پتروژنیک تشخیص داده شد. مهمترین دلیل آن، آلودگی حاصل از پالایشگاه‌های نفتی که در مجاورت این جزیره قرار گرفته و دیگر آلاینده‌های موجود در خلیج فارس ناشی از حمل و نقل دریایی و تخلیه آب توازن کشتی‌ها به این منطقه است. به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی استفاده از تخم گونه‌های مختلف پرستوهای دریایی به عنوان یک اندام پایشگر زیستی می‌تواند برای ترکیباتی نظیر آلکان‌های نرمال مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: *آلودگی نفتی، آلکان‌های نرمال، نسبت‌های تشخیصی، کروماتوگرافی گازی، پرستوهای دریایی، جزیره بنی‌فارور، خلیج فارس.*

۱. مقدمه

خلیج فارس حاوی ۶۸- ۵۵٪ ذخایر نفتی و همچنین بیش از ۴۰٪ منابع گازی قابل بازیافت است. از این‌رو بر اساس منابع هیدروکربنی، غنی‌ترین منطقه در جهان محسوب می‌گردد. بنابراین سواحل و جزایر جنوبی ایران که در محدوده خلیج فارس واقع هستند، همواره در معرض ورود آلاینده‌های متعدد ناشی از فعالیت‌های انسانی و نقل و انتقالات نفتی قرار دارند. از

این جهت مطالعه روی وضعیت آلودگی هیدروکربن‌های نفتی خلیج فارس از اهمیت بالایی برخوردار است (Mirza et al., 2011). به دلیل عدم شناخت کافی فاکتورهای زیست‌محیطی دخیل در سلامت محیط، وقت‌گیر بودن و هزینه بالا، تشخیص سلامت محیط‌زیست با اندازه‌گیری مستقیم فاکتورهای زیست-محیطی اغلب با دشواری‌هایی همراه است (Behrouzi-Rada, 2013). بنابراین برای کنترل کیفیت محیط‌زیست، پایشگرهای زیستی به طور فزاینده‌ای کاربرد دارند (Dong et al., 2004). پایشگر زیستی، روشی علمی جهت ارزیابی توسعه آلودگی محیط‌زیست است که بر پایه تجزیه و تحلیل نمونه‌های بافتی و مایعات بدن موجودات زنده صورت می‌گیرد (Holt, 2011; Dong et al., 2004).

پرندگان ساحلی در سطوح بالای زنجیره غذایی قرار دارند و به عنوان شاخص تغییرات رخ داده در سطوح پایین زنجیره غذایی هستند (Dong et al., 2004). همچنین بررسی پرندگان ساحلی برای نمایش پیشرفت آلودگی ساحلی روش مقرون به صرفه‌ای است و از آنجایی‌که جهت نمونه‌برداری، کشتن پرندگان از لحاظ اخلاقی و حفاظتی صحیح نیست سعی بر آن است تا از بافت‌های دیگری که بر موفقیت زادآوری و نسل آنها آسیب جدی وارد نشود نظیر پر و تخم پرندگان به عنوان پایشگر زیستی مناسب استفاده شود (Furnesset et al., 1997). تجمع ترکیبات آلی پایدار در پرندگان به نوع گونه، رژیم غذایی، زیستگاه گونه و فاکتورهای زیست‌محیطی بستگی دارد (Morales et al., 2012). در طول فصل زادآوری به‌ویژه به هنگام زرده‌سازی، پرندگان ماده به میزان زیادی غذا مصرف می‌کنند. بطوریکه پروتئین‌ها و چربی-های مورد نیاز جنین به همراه آلاینده‌های وارد شده به بدن پرندگان به تخم‌ها انتقال یافته و حالت انباشتگی پیدا می‌کنند و به همین دلیل غلظت آلاینده‌ها در تخم نشان‌دهنده مواد شیمیایی موجود در محیط‌زیست در نزدیکی کلونی تولیدمثل و در زمان کوتاهی قبل از تخم‌گذاری است (Burger et al., 2003; Goutner et al., 2001; Munoz et al., 1999).

با توجه به گستردگی بوم‌سامانه‌های آبی، مطالعه یا سرنوشت ترکیبات آلی پایدار و تعیین منشأ آن‌ها با استفاده از فاکتورهای زیست‌محیطی به تنهایی کاری بسیار دشوار، هزینه بر و وقت‌گیری است. این در حالی است که نتایج تحقیق حاضر، امکان استفاده از تخم پرندگان را به عنوان پایشگر زیستی در جهت رفع این مشکل مرتفع خواهد ساخت. تحقیق حاضر اولین پژوهش در زمینه مطالعه ترکیبات آلکان‌های نرمال در تخم پرندگان دریایی است که یک بافت خارجی می-باشد و آلاینده‌های دفعی توسط پرنده را با خود به همراه دارد. در این مطالعه منطقه حفاظت شده جزیره بنی‌فارور خلیج فارس انجام گرفته شده است. آلکان‌های نرمال به عنوان شاخص گروه ترکیبات آلیفاتیک که شاخه بزرگی از هیدروکربن‌ها هستند، مورد توجه بیشتر محققان قرارگرفته است و به طور کلی دارای دو منشا پتروژنیک و زیست‌شناختی هستند (Tolosa et al., 2004). ترکیبات آلیفاتیک نامحلول[1] متشکل از آلکان‌های حلقوی و شاخه‌دار هستند. این نسبت شاخص بارزی از وجود آلودگی نفتی است که در کروماتوگرام گازی به صورت افزایشی در خط پایه ظاهر می‌شود در حالی که اصولا هیدروکربن‌های منشأ یافته از گیاهان عالی بدون UCM می‌باشند (Oyo-Ita et al., 2010). بنابراین این شاخص در تعیین منشأ آلکان‌های نرمال کاربرد دارد (Wu et al., 2001).

بطور کلی توزیع آلکان‌های نرمال در نمونه‌های مورد بررسی که فاقد غالبیت کربن‌های فرد نسبت به زوج به همراه UCM بالا هستند نشان‌دهنده منشأ غالب پتروژنیک است. شاخص ارجحیت کربنی[2] جهت تعیین منشأ آلکان‌های نرمال مورد استفاده قرار می-گیرد (Yamamoto et al., 2003). اصولا هیدروکربن‌های نفتی به دلیل عدم غالبیت در غلظت کربن‌های فرد و زوج، مقادیر CPI برابر با ۱ یا نزدیک به ۱ را نشان می‌دهند (Wang et al., 2006) به گونه‌ای که CPI بالاتر از ۴ به وجود مواد بیولوژیک اشاره دارد (Goutner et al., 2001).

نسبت تشخیصی ترکیبات پیچیده جدا نشده به آلکان‌های نرمال یا U/R[3] به عنوان معیار ارزیابی سطح آلودگی نفتی موجود در منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شود (Oliveria et al., 2011). U/R>2 بیانگر وجود آلودگی نفتی قابل توجه در منطقه مطالعاتی است (Bakhtiari et al., 2010; Frysinger et al., 2003; Wu et al., 2001).

Priston (Pr) و Phytan (Ph) از تغییرات ژئولوژیکی فیتول موجود در ساختار کلروفیل، طی فرآیند دیاژنز منشأ می‌یابند (Gao et al., 2007; Pancost et al., 1998). به علاوه

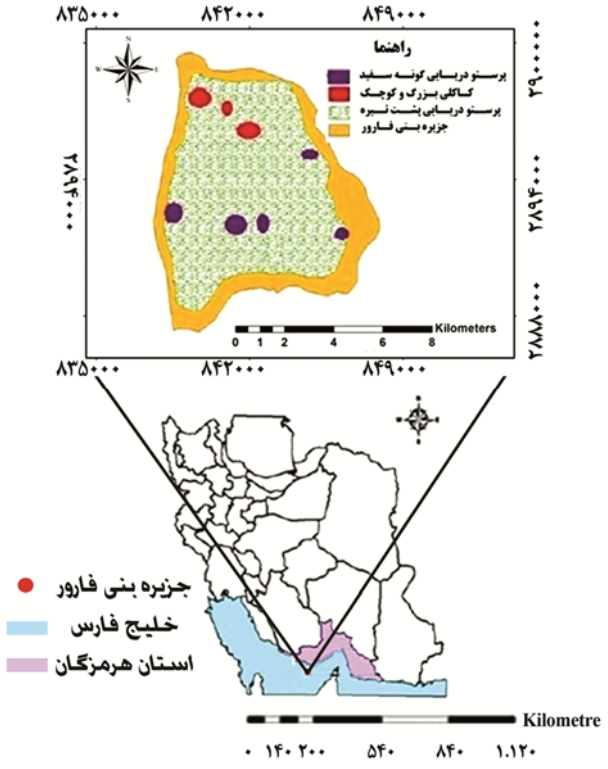
[1] Unresolved Complex Mixtur (UCM)
[2] Carbon Preference Index (CPI)
[3] Unresolved Complex Mixtur/Resulation

زئوپلانکتون‌ها و سایر موجودات دریایی نیز می‌توانند منشأ طبیعی برای پریستان باشند. اما فیتان از ترکیبات معمول در نفت هستند (Pancost et al., 1998; Giger et al., 1974). از آنجاییکه پریستان از پلانکتون‌ها منشأ می‌گیرد و پرندگان در سطح بالای زنجیره غذایی از پلانکتون‌ها نیز تغذیه می‌کنند، قطعا در محتویات تخم آنها غلظت پریستان نسبت به فیتان بالاتر است. با این وجود حضور فیتان با غلظت پایین در محتویات تخم نشان‌دهنده حضور آلاینده نفتی است. نسبت‌های تشخیصی n-C17/Pr و n-C18/Ph در تعیین منشأ ترکیبات آلی کاربرد دارند (Burns et al., 2000). مقادیر پایین این نسبت‌ها عمدتا بیانگر منشأ پتروژنیک است (Peters et al., 1995). با توجه به اینکه اثر ترکیبات آلکان‌های نرمال روی موجودات به‌درستی تشخیص داده نشده هم اکنون از آنها به عنوان بیومارکر جهت تشخیص منشأ (بیوژنیک و پتروژنیک)، مواد آلی کاربرد دارند. لذا در تحقیق حاضر جهت بررسی میزان غلظت و تعیین منشأ (پتروژنیک و بیوژنیک) ترکیبات آلکان‌های نرمال در جزیره بنی‌فارورخلیج فارس از تخم چهار گونه پرنده از خانواده پرستوی دریایی مهاجر از جمله پرستوی دریایی گونه سفید (*Sterna repressa*)، کاکلی کوچک (*Thalasseus bengalensis*)، کاکلی بزرگ (*T. bergii*) و پرستوی دریایی پشت تیره (*S. anaethetus*) که جز پرندگان گوشتخوار هستند، استفاده شد. به طور کلی هدف از تحقیق حاضر تعیین غلظت و منشأ ترکیبات آلکان‌های نرمال در جزیره بنی‌فارور با استفاده از محتویات تخم گونه‌های ذکر شده، مقایسه الگوی ترکیبی ترکیبات آلکان‌های نرمال در محتویات تخم چهار گونه مورد بررسی و همچنین مقایسه غلظت ترکیبات آلکان‌های نرمال (بر حسب میکروگرم بر میلی‌گرم لیپید) در محتویات تخم چهار گونه مورد مطالعه جهت تعیین گونه مناسب به عنوان پایشگر زیستی در این جزیره است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه مورد مطالعه

نمونه‌برداری از تخم پرندگان مورد مطالعه در تیرماه ۱۳۹۱ در محل‌های تخم‌گذاری آنها در جزیره بنی‌فارور که در عرض ۲۶°۵۴′ شمالی و طول ۲۶°۷′ شرقی واقع شده است به‌صورت تصادفی انجام گرفت (شکل ۱). این جزیره دارای مساحت حدود ۸۳ هکتار و جزئی از منطقه حفاظت شده جزایر فارور به شمار می‌رود و به دلیل مجاورت با جزیره نفتی سیری و تردد شناورهای نفت‌کش، آلاینده‌های نفتی زیادی به آب‌های اطراف این جزیره منتقل می‌شود (Behrouzi-Rada, 2013). بنابراین آلودگی‌های نفتی یکی از مهمترین تعارضات و تهدیدات این جزیره به‌شمار می‌رود. این جزیره به دلیل شرایط زیستگاهی و امنیتی مناسبی که برای پرندگان مهاجر دارد هر ساله در فصل بهار و تابستان چند گونه از خانواده پرستوی دریایی مهاجر از شمال آفریقا و اقیانوس هند به منظور تغذیه و جوجه‌آوری به این جزیره مهاجرت دارند (Ghasemi et al., 2011). آنالیزهای آماری توسط نرم افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شد. داده‌ها از لحاظ نرمال بودن با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk مورد بررسی قرار گرفتند. داده‌ها دارای توزیع نرمال بودند. برای بررسی اختلاف معنی‌دار بین غلظت آلکان‌های نرمال در محتویات تخم چهار گونه پرستو دریایی بر حسب میکروگرم بر میلی‌گرم لیپید از آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و از آزمون Duncane استفاده گردید.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی جزیره بنی‌فارور و محل‌های تخم‌گذاری پرستوهای دریایی مورد مطالعه

جدول ۱: میانگین طول و وزن تخم پرندگان مورد مطالعه در جزیره بنی‌فارور، خلیج فارس (Mean ±SE)

گونه‌ها	تعداد	وزن (g)	طول (mm)
گونه سفید	۸	۱۵/۰۷۳± ۰/۳۷	۳۹/۷۷± ۰/۷۵
پشت تیره	۵	۲۰/۰۴۷± ۰/۶۰	۴۴/۲۸± ۰/۵۴
کاکلی‌کوچک	۷	۳۴/۴۸۴± ۱/۲۶	۵۱/۹۰± ۰/۴۵
کاکلی‌بزرگ	۷	۵۴/۳۷۱± ۱/۵۴	۶۱/۵۶± ۰/۶۲

۲-۲ آماده‌سازی نمونه‌ها و آنالیز دستگاهی

آنالیز آلکان‌های نرمال شامل استخراج، دو مرحله کروماتوگرافی ستونی و کروماتوگرافی گازی است. ابتدا تمامی تخم‌ها پس از زیست‌سنجی، شکسته شدند و سپس محتویات آنها کاملا همگن و ۱۰ گرم وزن خشک از محتویات هر تخم به دقت توزین و با سدیم سولفات خشک شدند. برای چربی‌زدائی از متانول هیدروکسید استفاده شد و سپس برای استخراج مواد آلی ۵۰ میلی‌لیتر هگزان نرمال اضافه و به مدت ۲ ساعت توسط دستگاه اوربیتال شیکر تکان داده شدند (Shore et al., 1999; Pereira et (al., 2009. برای جداسازی حلال هگزان به همراه مواد آلی از قیف جدا کننده، استفاده شد. در این مرحله، نمونه کاملا دو فازی شده، فاز بالایی که حاوی نمونه به همراه حلال هگزان است جدا گردید و توسط دستگاه تبخیرکننده چرخان و گاز نیتروژن با درجه خلوص بالا (۹۹/۹)، کاهش حجم داده شدند. دو مرحله کروماتوگرافی ستونی برای پاکسازی و جداسازی ترکیبات هیدروکربنی مورد استفاده قرار گرفت. در کروماتوگرافی ستونی مرحله اول، از سیلیکاژل ۵٪ غیرفعال شده با آب استفاده گردید. نمونه‌های کاهش حجم داده شده از مرحله استخراج مواد آلی که به میزان۳-۲ میلی‌لیتر رسیده بودند روی ستون قرار گرفتند و در این مرحله ستون با ۲۰ میلی‌لیتر مخلوط هگزان به دی‌کلرومتان؛ نسبت حجمی ۱:۳ شستشو شد سپس نمونه‌ها به ۳-۲ میلی‌لیتر کاهش حجم داده شدند (AzimiYancheshmeh et al., 2014). برای جداکردن ترکیبات آلکان‌های نرمال از سایر ترکیبات از کروماتوگرافی ستونی مرحله دوم با استفاده از ۴ میلی‌لیتر هگزان نرمال و سیلیکاژل کاملا فعال شده انجام پذیرفت. بخش جدا شده آلکان‌ها کاهش حجم داده شد سپس نمونه مربوطه به‌وسیله پیپت پاستور به ویال (ظروف شیشه‌ای مخصوص دستگاه کروماتوگرافی گازی) با حجم ۴ میلی‌لیتر منتقل شد و قبل از تزریق به دستگاه، نمونه‌ها با جریان نسبتا ملایم گاز نیتروژن خشک گردیدند و سپس ۱۰۰ میکرولیتر حلال ایزواکتان به ویال اضافه شد، نمونه‌ها سپس به دستگاه تزریق شدند (Zakaria et al., 2002; Bakhtiari et al., 2009).

۲-۳ آنالیز لیپید

محتویات هموژن شده ابتدا در آون دمای ۸۰°C قرار داده شدند و سپس بخشی از محتویات توزین گردید. فرآیند استخراج چربی کل با استفاده از دستگاه Soxtec و حلال کلروفرم به میزان ۴۰ میلی لیتر به مدت ۱۲۰ دقیقه انجام پذیرفت و پس از بیرون آوردن از دستگاه به مدت ۲ ساعت در آون با دمای ۶۰°C قرار داده شد و سپس برای رسیدن به دمای محیط به دسیکاتور انتقال داده شدند و در نهایت از طریق رابطه ۱، درصد چربی نمونه محاسبه گردید (Hijona et al., 2010).

(۱) ۱۰۰×[وزن نمونه / (وزن ظرف – وزن ظرف و چربی)] = درصد چربی

۲-۴ کنترل کیفی

به منظور کنترل کیفیت روش، نمونه بلانک با هر سری از نمونه‌ها انجام شد. برای تعیین حد تشخیص دستگاه از رابطه ۲ و انحراف نسبی دستگاه از رابطه ۳ استفاده شد.

$$\mathrm{LOD\ (ng/g)} = \frac{\mathbf{3\ (SDy/x)}}{\mathbf{m}} \qquad (۲)$$

که LOD حد تشخیص دستگاه بر حسب mg/l، SDy/x انحراف معیار برگشت x به y و m شیب منحنی کالیبراسیون است.

SDy/x از رابطه ۳ بدست می‌آید.

$$\mathrm{SDy/x} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (yi-\bar{y}j)2}{x-2}} \qquad (۳)$$

در این معادله yi سطح زیر پیک نقاط انفرادی خط کالیبراسیون، و yj مقدار سطح زیر پیک منطبق شده روی خط کالیبراسیون و x تعداد نقاط منحنی کالیبراسیون است.

۳. نتایج و بحث

نتایج حاصل از آنالیز ترکیبات آلکان‌های نرمال به همراه پریستان و فیتان در نمونه‌های تخم چهار گونه پرستو دریایی

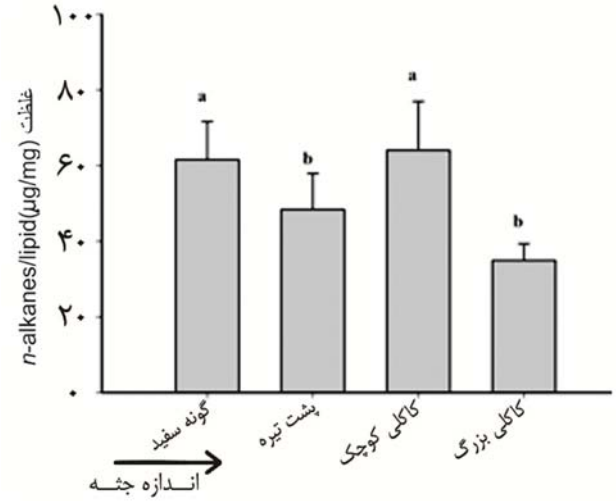
مورد مطالعه در کلونی جوجه‌آوری ساحل جزیره بنی‌فارور در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: نتایج حاصل از آنالیز ترکیبات آلکان‌های نرمال در تخم چهار گونه مورد مطالعه در جزیره بنی‌فارور- خلیج فارس

	گونه سفید	کاکلی کوچک	پشت تیره	کاکلی بزرگ
n-Sample	۵	۴	۵	۴
∑HC(µg/g)	۸۳۲/۲ ±۷/۲	۸۲۳ ±۷/۸	۶۶۹ ±۲/۰	۵۳۷ ±۵/۷
Lipid (mg/g)	۱۳/۵	۱۲/۱	۱۳/۸	۱۵/۴
∑HC/Lipid (µg/mg)	۶۱/۵ ±۹/۷	۶۸/۱۱۰ ±۱	۴۸/۴ ±۹/۵	۳۵/۰ ±۴/۴

غلظت کلی ترکیبات آلکان‌های نرمال به همراه پریستان و فیتان در محتوای تخم گونه‌های جزیره بنی‌فارور به ترتیب در پشت تیره، کاکلی‌بزرگ، گونه سفید و کاکلی‌کوچک در محدوده ۱۵۱۵/۹-۳۸۸/۰، ۶۸۴/۳-۴۴۴/۱، ۱۰۳۲/۲-۶۵۸/۶ و ۱۰۰۲/۵۱- ۵۵۱/۲ میکروگرم بر گرم تعیین شد. همچنین نسبت این ترکیبات به محتویات لیپیدی آنها به ترتیب به‌صورت ۶۷/۲۸ - ۴۲/۹۳، ۹۵/۶۴ - ۲۴/۴۸، ۲۵/۹۲ - ۳۹/۹۵ و ۷۱/۸۶ - ۳۹/۴۹ میکروگرم بر میلی‌گرم در گونه سفید، پشت تیره، کاکلی بزرگ و کاکلی کوچک تعیین گردید (جدول ۲). در مجموع میزان ترکیبات آلکان‌های نرمال در محتویات تخم پرندگان مورد بررسی، نشان دهنده وضعیت آلودگی محیط زیست آنان به این ترکیبات است که طی فرآیند تغذیه در بافت چرب پرندگان تجمع یافته و از طریق تخم که یک مکانیزم دفعی برای کم کردن آلاینده‌ها در جنس ماده می‌باشد دفع شده است. نظر به اینکه تحقیقات اندکی در رابطه با غلظت آلکان‌های نرمال در موجودات زنده صورت گرفته، معیاری برای مقایسه میزان آلودگی در موجودات زنده با توجه به غلظت ترکیبات آلکان‌های نرمال وجود ندارد و از این‌رو جهت اعلام غلظت‌های کم و زیاد این ترکیبات نیاز به مطالعات بیشتر و مقایسه با تخم گونه‌های مکان‌های غیرآلوده یا با آلودگی کمتر می‌باشد. همچنین نسبت ∑ HC/Lipid[1] در تخم پرستو دریایی گونه‌سفید و کاکلی‌کوچک به طور معنی‌داری بیشتر از گونه پشت‌تیره و کاکلی بزرگ نشان داده شد ($P<0/05$) (شکل ۲).

از این‌رو تفاوت‌های بوم‌شناختی و فیزیولوژیکی بین گونه‌های مورد مطالعه از جمله ظرفیت متابولیکی متفاوت، رژیم غذایی، نرخ متفاوت متابولیسم در گونه‌های مختلف، برهم‌کنش آلاینده‌های شیمیایی و رفتار تجمعی آنها در پرندگان، شرایط و مدت زمان در معرض قرارگیری با آلاینده و میزان تماس پوستی متفاوت را می‌توان از دلایل احتمالی تجمع متفاوت ترکیبات آلکان‌های نرمال در بدن و در نتیجه تخم آنها دانست (Pancost et al., 1998). لذا می‌توان نتیجه گرفت که غلظت ترکیبات هیدروکربنی در محتویات تخم گونه‌های مختلف پرنده می‌تواند متفاوت باشد.

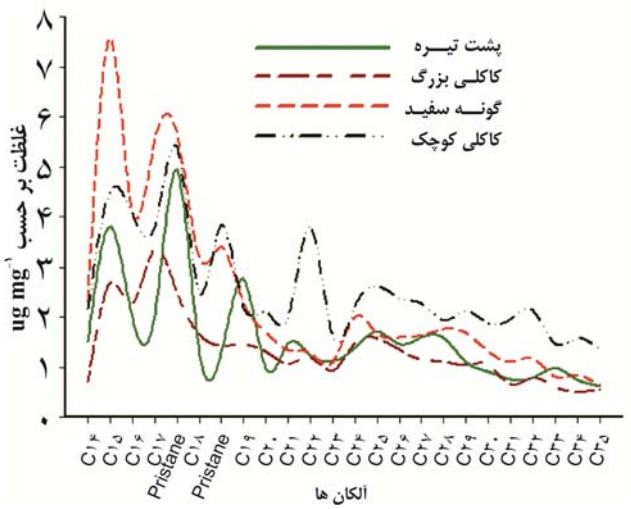


شکل ۲: مقایسه غلظت آلکان‌های نرمال بر حسب میکروگرم بر میلی‌گرم لیپید در چهار گونه پرستو دریایی (گونه سفید، پشت تیره، کاکلی کوچک، کاکلی بزرگ) مورد مطالعه در جزیره بنی فارور (a, b* دسته بندی آماری طبق آزمون دانکن). (حروف مشابه نشان از معنی‌دار نبودن اختلاف غلظت ترکیبات آلکان‌های نرمال و حروف غیر مشابه نشان از معنی‌دار بودن اختلاف غلظت این ترکیبات در گونه‌های مورد بررسی است ($P<0/05$).)

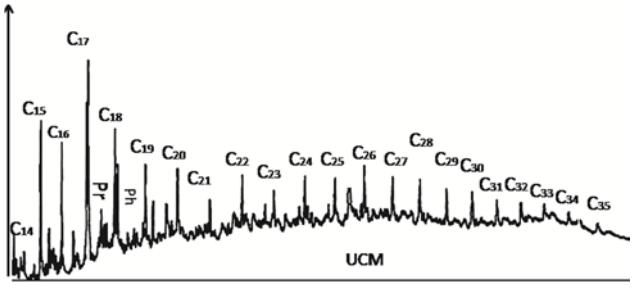
همچنین نتایج نشان داد که ترکیبات آلکان‌های نرمال کوتاه زنجیر فرد ($n\text{-}C_{15}$, $n\text{-}C_{17}$, $n\text{-}C_{19}$) در تمامی گونه‌های مورد مطالعه اغلب غلظت بالایی داشتند (شکل ۳). دلیل آنست که علاوه بر ورود هیدروکربن‌های نفتی از منطقه مورد تغذیه، بخشی از هیدروکربن‌های با منشأ طبیعی خصوصا آلکان‌های کوتاه زنجیره فرد منشأ یافته از جلبک‌ها و فیتوپلانکتون‌ها نیز از طریق تغذیه به بدن پرندگان راه یافته و نهایتا در محتویات تخم این پرندگان تجمع یافته‌اند.

کروماتوگرام‌های حاصل از آنالیز نمونه‌های مورد بررسی در جزیره بنی‌فارور UCM را عمدتا در محدوده کربنی $n\text{-}C_{14}$–$n\text{-}C_{35}$ نشان داده‌اند (شکل ۴).

[1] 8-Total Hydrocarbon/Lipid



شکل ۳: الگوی ترکیبی آلکان‌های نرمال در چهارگونه پرستو دریایی جزیره بنی فارور



شکل ۴: کروماتوگرام آلکان‌های نرمال در تخم چهار گونه مورد مطالعه در جزیره بنی فارور- خلیج فارس

جهت تعیین منشأ ترکیبات آلکان‌های نرمال و ارزیابی آلودگی نفتی در نمونه‌های تخم پرندگان مورد مطالعه در جزیره بنی‌فارور از نسبت‌های تشخیصی CPI، $n\text{-}C_{17}/Prn\text{-}C_{18}/Ph$، U/R، UCM استفاده گردید که در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: محدوده نسبت‌های تشخیصی مورد استفاده در تعیین منشا ترکیبات آلکان-های نرمال در تخم چهار گونه پرنده مورد مطالعه در جزیره بنی فارور

نسبت تشخیصی	گونه سفید	پشت تیره	کاکلی بزرگ	کاکلی کوچک
CPI	۰/۸۴-۱/۰۴	۰/۸۶-۱/۲۲	۰/۸۲-۱/۱۸	۰/۹۰-۱/۱۶
U/R	۲/۴-۵/۷	۲/۸-۷/۳	۳/۲-۸/۸	۳/۵-۶/۰
Pr/nC_{17}	۰/۶۷-۱/۳۴	۰/۱۸-۱/۳۵	۱/۰۴-۱/۷۵	۰/۳۳-۱/۱۳
Ph/nC_{18}	۰/۸۲-۱/۲۱	۰/۴۱-۱/۵۶	۱/۰۴-۱/۴۲	۰/۶۰-۰/۹۵

در کل، توزیع آلکان‌های نرمال مشاهده شده در کروماتوگرام-های حاصل از آنالیز نمونه‌های محتویات تخم در این منطقه حاکی از احتمال وجود منشأ نفتی و دریایی برای مواد آلی است. محدوده نسبت‌های تشخیصی مورد استفاده در تعیین منشأ این ترکیبات نشانه بارزی از وجود نفت و منشأ غالب پتروژنیک در نمونه‌ها می‌باشد. مهمترین دلیل آن می‌تواند به آلودگی حاصل از پالایشگاه‌های نفتی جزیره سیری که در مجاورت بنی‌فارور واقع شده جریانات آبی اطراف این جزیره منجر به ورود ترکیبات نفتی به سواحل جزیره بنی‌فارور می‌شود، و از دیگر عوامل می‌توان به آلاینده‌های موجود در خلیج فارس ناشی از حوادث نفتی خلیج فارس، حمل و نقل دریایی، تخلیه آب توازن کشتی‌ها، ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی و پسماندهای ساحلی به این جزیره اشاره نمود و از جمله عواملی برای تهدید سواحل این جزیره می‌باشند.

۴. نتیجه‌گیری

میزان ترکیبات آلکان‌های نرمال در محتویات تخم پرندگان مورد بررسی، نشان‌دهنده وضعیت آلودگی محیط زندگی آنها به این ترکیبات است که طی فرآیند تغذیه در بافت چرب پرندگان تجمع یافته و از طریق تخم که یک مکانیسم دفعی برای کم کردن آلاینده‌ها در جنس ماده است دفع می‌گردد. بررسی نسبت‌های تشخیصی و بیومارکرهای آلکان‌های نرمال در اکثر نمونه‌ها نشانه بارزی از وجود نفت و منشأ غالب پتروژنیک است. با احتمال بالا هیدروکربن‌ها با منشأ نفتی از محیط مورد تغذیه به بدن پرنده راه یافته و در نهایت دفع این ترکیبات به دلیل سمیت‌شان از طریق تخم انجام پذیرفته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از تخم گونه‌های مختلف پرستوهای دریایی به عنوان یک اندام پایشگر زیستی می‌تواند برای ترکیباتی نظیر آلکان‌های نرمال مورد استفاده قرار گیرد.

۵. سپاسگزاری

نویسندگان از کارشناسان آزمایشگاه‌های دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس نهایت تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

AzimiYancheshmeh, R.; RiyahiBakhtiari, A.R.;

monitors of the marine environment, Journal of Marine Science, 54(4): 726-737.

Gao, X.; Chen, S.; Xie, X.; Long, A.; Ma, F., 2007. Non-aromatic hydrocarbons in surface sediments near the pearl river estuary in the south China Sea. Environmental Pollution, 148(1): 40-47.

Ghasemi, S.; Tayefehand, F.H.; Hoveizeh, N.M., 2011. Breeding success of lesser Crested Tern and swift tern at Shidvar Island, Iran. Journal of American Science, 7(1): 633-638.

Giger, W.; Reinhard, M.; Schaffner, C.; Stumm, W., 1974. Petroleum-derived and indigenous hydrocarbons in recent sediments of lake Zug, Switzerland. Environmental Science & Technology, 8(5): 454-455.

Goutner, V.; Papagiannis, I.; Kalfakakou, V., 2001. Lead and Cadmium in eggs of colonially nesting waterbirds of different position in the food chain of Greek Wetlands of international importance. Science of the Total Environment, 267(1): 169-176.

Hijona, E.; Hijona L.; Larzabal, M.; Sarasqueta, C.; Aldazabal, P.; Arenas, J.; Bujanda, L., 2010. Biochemical determination of lipid content in hepatic steatosis by the Soxtec method. World Jorurnal of Gastroentrology, 16(12): 1495-1499.

Holt, E.A and S.W., 2011 Miller.Bioindicators: Using organisms to measure environmental impacts, Nature Education Knowledge, 2(14): 1-9.

Morales, L.; Martrat, M.G.; Olmos, J.; Parera, J.; Vicente, J.; Bertolero, A.; Ábalos, M.; Lacorte, S.; Santos, F.J.; Abad, E., 2012. Persistent organic pollutants in Gull eggs of two species *Larus michahellis* and *Larus audouinii* from the Ebro Delta Natural Park. Chemosphere, 88(11): 1306-1316.

Munoz, J.; Becker, P.H., 1999. The Kelp Gull as bioindicator of environmental chemicals in the magellan region. A comparison with other coastal sites in Chile. Scientia marina, 63(1): 495-502.

Mortazavi, S., 2014. Determination of concentration and source of n-alkanes in Surface Sediments from southern coast of the Caspian Sea (Anzali Port). 5 (17):63-73.

Bakhtiari, A.R.; Zakaria, M.P.; Yaziz, M.I.; Lajis, X.; Bi, M.N.H., 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbons and n-alkanes in suspended particulate matter and sediments from the Langat River, Peninsular Malaysia. Environment Asia, 2(2): 1-10.

Bakhtiari, A.R.; Zakaria, M.P.; Yaziz, M.I.; Lajis, H.; Nordin, M.; Bi, X.; Shafiee, M.; Reza, M.; Sakari, M., 2010. Distribution of PAHs and n-alkancs in Klang River surface sediments, Malaysia. Pertanika Journal of Science & Technology, 18(1): 167-179.

Behrouzi-Rada, B., 2013. Breeding species of waterbirds on 10 Islands of the Persian Gulf In 2009. Octa Journal of Environmental Research, 1(1): 52-64.

Burger, J.; Gochfeld, M., 2003. Spatial and temporal patterns in metal levels in eggs of Common terns sterna hirundo in New Jersey. Science of the Total Environment, 311(1): 91-100.

Burns, K.; Codi, S.; Duke, N., 2000. Gladstone, Australia field studies: weathering and degradation of hydrocarbons in oiled Mangrove and salt marsh sediments with and without the application of an experimental bioremediation protocol. Marine Pollution Bulletin, 41(7): 392-402.

Dong, Y.; Wang, H.; An, Q.; Ruiz, X.; Fasola, M.; Zhang, Y., 2004. Residues of organochlorinated pesticides in eggs of water birds from Tai Lake in China. Environmental geochemistry and health, 26(2): 259-268.

Frysinger, G.S.; Gaines, R.B.; Xu, L.; Reddy, C.M., 2003. Resolving the unresolved complex mixture in petroleum contaminated sediments. Environmental Science & Technology, 37(8): 1653-1662.

Furness, R.W.; Camphuysen, K., 1997. Seabirds as

Petroleum Industry Press, 8(12): 294-298.

Shore, R.F.; Wright, J.; Horne, J.A.; Sparks, T.H., 1999. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) residues in the eggs of coastal-nesting birds from Britain. Marine pollution bulletin, 38(6): 509-513.

Tolosa, I.; de Mora, S.; Sheikholeslami, M.R.; Villeneuve, J.P.; Bartocci, J.; Cattini, C., 2004. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments. Marine Pollution Bulletin, 48: 44-60.

Wang, X.C.; Sun, S.; Ma, H.Q.; Liu, Y., 2006. Sources and distribution of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in sediments of Jiaozhou Bay, Qingdao, China. Marine Pollution Bulletin, 52(2): 129-138.

Wu, Y.; Zhang, J.; Mi, T.Z.; Li, B., 2001. Occurrence of n-alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons in the core sediments of the Yellow Sea. Marine Chemistry, 76(1): 1-15.

Yamamoto, K.; Kurata, Y.; Takayanagi, Y.; Nishimura, A.; Mimura, K., 2003. Latitudinal change of normal Paraffin composition in the Northwest Pacific sediments. Marine Geology, 196(3): 157-170.

Zakaria, M.P.; Takada, H.; Tsutsumi, S.; Ohno, K.; Yamada, J.; Kouno, E.; Kumata, H., 2002. Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in rivers and estuaries in Malaysia: a widespread input of Petrogenic PAHs. Environmental science & technology, 36(3): 1907-1918.

Mirza, R.; Mohammadi, M.; DadollahiSohrab, A.; Abedi, E.; Fakhri, A., 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in seawater intertidal areas of Boushehr province (Persian Gulf), 2 (7): 21-29.

Oliveira, C.R.; dos Santos Madureira, L.A., 2011. Assessment and sources of nonaromatic hydrocarbons in surface sediments of three harbors in Santa Catarina state, Brazil. Environmental monitoring and assessment, 173(1-4): 91-105.

Oyo-Ita, O.E.; Ekpo, B.O.; Oros, D.R.; Simoneit, B.R., 2010. Distributions and sources of aliphatic hydrocarbons and ketones in surface sediments from the cross river estuary, SE Niger Delta, Nigeria.Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation, 5(1): 1-11.

Pancost, R.D.; Freeman, K.H.; Patzkowsky, M.E.; Wavrek, D.A.; Collister, J.W., 1998. Molecular indicators of redox and marine photoautotroph composition in the late middle Ordovician of Iowa, USA. Organic Geochemistry, 29(5): 1649-1662.

Pereira, M.G.; Walker, L.A.; Wright, J.; Best, J.; Shore, R.F. 2009. Concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the eggs of Predatory birds in Britain. Environmental Science & Technology, 43(23): 9010-9015.

Peters, K.E.; Moldowan, J.M., 1995. In the biomarker guide. edited by Jiang N, et al Beijing, China: Beijing