ارزیابی تجمع سرب و نیکل در پوسته، محتویات تخم و رسوب محل تخم‌گذاری لاک‌پشت منقار عقابی (*Eretmochelys imbricata*) در جزایر کیش و هندورابی

چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی تجمع فلزات سنگین سرب (Pb) و نیکل (Ni) در رسوبات، پوسته و محتویات تخم لاک‌پشت منقارعقابی (*Eretmochelys imbricata*) در دو زیستگاه کلیدی شمال خلیج‌فارس جزایر کیش و هندورابی طراحی شد. نمونه‌برداری در دو سال متوالی (۱۳۹۶ و ۱۳۹۷) از ۱۷ ایستگاه منتخب انجام و هر نمونه با سه تکرار جمع‌آوری گردید. پس از خشک‌کردن نمونه‌ها در دمای C۱۰۵°، هضم شیمیایی آن‌ها با استفاده از اسید نیتریک و سایر اسیدهای معدنی مطابق با پروتکل‌های استاندارد انجام شد و غلظت فلزات با دستگاه جذب اتمی شعله‌ای (FAAS) اندازه‌گیری شد. داده‌ها با نرم‌افزارهای SPSS 21 و Excel تحلیل آماری شدند؛ نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو–ویلک تأیید و از روش‌های پارامتریک شامل آنالیز واریانس دوطرفه (Two-way ANOVA) و آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ٪۵ برای مقایسه میانگین‌ها استفاده گردید. یافته‌ها نشان داد که غلظت سرب در رسوبات در محدوده‌ای قرار داشت که با مطالعات مشابه در مناطق دیگر خلیج‌فارس همخوانی دارد. با این حال، غلظت سرب در پوسته و محتویات تخم در برخی ایستگاه‌ها به‌ویژه در جزیره کیش، از مقادیر گزارش‌شده در پژوهش‌های پیشین بالاتر بود. همچنین، غلظت نیکل در پوسته تخم در چندین ایستگاه به سطوح قابل‌توجهی رسید که ممکن است نشان‌دهنده بار آلودگی زیستی در این زیستگاه‌ها باشد. این یافته‌ها حاکی از وجود فشارهای زیست‌محیطی ناشی از فلزات سنگین در زیستگاه‌های تخم‌گذاری لاک‌پشت منقارعقابی است و لزوم پایش مستمر و برنامه‌ریزی حفاظتی هدفمند را در این مناطق حساس برجسته می‌سازد.

واژگان کلیدی: سرب، نیکل، لاک‌پشت منقارعقابی، جزیره کیش، هندورابی.

حامد محمدی

سیما سبزعلیپور*

گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

* **نویسنده مسئول مکاتبات**

Si.sabzalipour@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۳

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

مقدمه

خلیج‌فارس یک پهنه نیمه‌بسته با مساحت تقریبی ۴۰ هزار کیلومترمربع است که از طریق تنگه هرمز به دریای عمان و اقیانوس هند متصل می‌شود. ویژگی‌هایی نظیر عمق کم، تبادل محدود آب، دمای بالا و شوری زیاد، این اکوسیستم را نسبت به ورود آلاینده‌ها حساس‌تر از بسیاری از سامانه‌های دریایی آزاد کرده است (Sheppard, 1993). زمان ماند آب در خلیج‌فارس بین ۳ تا ۵ سال گزارش شده است که این موضوع سبب می‌شود آلاینده‌ها برای مدت طولانی‌تری در محیط باقی بمانند و احتمال تجمع آن‌ها در رسوبات و زنجیره غذایی افزایش یابد (Sheppard, 1993). خلیج‌فارس به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق استخراج و انتقال نفت و گاز در جهان شناخته می‌شود و بخش قابل‌توجهی از تردد کشتی‌های نفت‌کش جهانی از این منطقه صورت می‌گیرد. فعالیت‌های مرتبط با استخراج نفت، نشت‌های نفتی، تخلیه پساب‌های صنعتی و همچنین تخلیه آب توازن کشتی‌ها از مهم‌ترین منابع ورود آلاینده‌ها به این پهنه آبی محسوب می‌شوند (Khademi, 2011; Pourang *et al*., 2004). مطالعات نشان داده‌اند که نفت خام و فرآورده‌های نفتی حاوی فلزات سنگینی نظیر نیکل و سرب هستند که می‌توانند از طریق نشت نفت، پساب‌های نفتی و آب توازن کشتی‌ها وارد محیط‌های ساحلی و دریایی شده و در رسوبات تجمع یابند (Lam *et al*., 2005; Ajeel *et al*., 2021).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

جزایر کیش و هندورابی از مهم‌ترین زیستگاه‌های تخم‌گذاری لاک‌پشت‌های دریایی در شمال خلیج‌فارس به شمار می‌روند. جزیره کیش به دلیل توسعه گردشگری، تردد بالای شناورها و فعالیت‌های انسانی، در معرض فشارهای زیست‌محیطی متعددی قرار دارد. در مقابل، جزیره هندورابی فاقد فعالیت‌های صنعتی گسترده است و انتخاب آن در این مطالعه با هدف مقایسه مناطق با سطوح متفاوت فشار انسانی و بررسی نقش انتقال منطقه‌ای آلاینده‌ها صورت گرفته است. بررسی هم‌زمان این دو جزیره امکان تفکیک اثرات آلودگی‌های محلی از آلودگی‌های ناشی از انتقال دریایی را فراهم می‌کند. لاک‌پشت‌های دریایی از جمله گونه‌های شاخص و در معرض تهدید اکوسیستم‌های ساحلی هستند. تاکنون هفت گونه لاک‌پشت دریایی در جهان شناسایی شده است که پنج گونه از آن‌ها، از جمله لاک‌پشت منقارعقابی (Eretmochelys imbricata)، در خلیج‌فارس گزارش شده‌اند (Mortimer, 2007; Zarei and Rahimi, 2009). این گونه بر اساس فهرست سرخ IUCN در طبقه به‌شدت در معرض انقراض قرار دارد (IUCN, 2015). لاک‌پشت‌های منقارعقابی در انتخاب محل آشیانه‌گذاری بسیار حساس بوده و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر لانه می‌تواند بر موفقیت تفریخ تخم‌ها تأثیرگذار باشد (Wood and Bjorndal, 2001; Kamel and Mrosovsky, 2005). مطالعات نشان داده‌اند که فلزات سنگین قادرند از طریق مادر به تخم منتقل شده و در پوسته و محتویات تخم تجمع یابند و این تجمع می‌تواند رشد جنین، بقای نوزادان و موفقیت تولیدمثلی را تحت تأثیر قرار دهد (Burger and Gochfeld, 2004; Mora, 2003).

در سال‌های اخیر، پژوهش‌هایی در مناطق مختلف جهان به بررسی تجمع فلزات سنگین در تخم و بافت‌های لاک‌پشت‌های دریایی پرداخته‌اند. برای مثال، احسان‌پور و همکاران (۲۰۱۳) انتقال فلزات سنگین از مادر به تخم لاک‌پشت منقارعقابی در جزیره قشم را گزارش کردند. همچنین مطالعات انجام‌شده در سایر خزندگان و پرندگان دریایی نشان داده است که پوسته تخم می‌تواند به‌عنوان یک شاخص زیستی مناسب برای پایش آلودگی فلزی محیط عمل کند (Mora, 2003; Burger and Gochfeld, 2004).

با وجود اهمیت زیست محیطی خلیج‌فارس و نقش کلیدی آن در چرخه حیات لاک‌پشت‌های دریایی، اطلاعات مربوط به تجمع فلزات سنگین سرب و نیکل در رسوبات محل تخم‌گذاری و تخم‌های لاک‌پشت منقارعقابی در جزایر شمالی خلیج‌فارس محدود است. ازاین‌رو پژوهش حاضر با هدف بررسی و مقایسه غلظت سرب و نیکل در رسوبات، پوسته و محتویات تخم لاک‌پشت منقارعقابی در جزایر کیش و هندورابی انجام شد تا مبنایی برای پایش زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی حفاظتی این گونه ارزشمند فراهم شود.

مواد و روش‌ها

به منظور تعیین غلظت عناصر سرب و نیکل در رسوب، پوسته و محتویات تخم لاک‌پشت پوزه‌عقابی، نمونه‌برداری از دو جزیره کیش و هندورابی به‌عنوان مهم‌ترین زیستگاه‌های تخم‌گذاری این گونه در شمال خلیج‌فارس انجام شد. ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جزیره کیش در مرکز حفاظت و پایش لاک‌پشت‌های دریایی واقع در ساحل جنوب‌شرقی و در جزیره هندورابی در سواحل ماسه‌ای جنوبی انتخاب گردید. با توجه به زمان خروج نوزادان (اوایل خرداد) و وضعیت حفاظتی گونه، بازگشایی لانه‌ها یک ماه پس از خروج آخرین نوزاد و در اواسط تیرماه صورت گرفت. نمونه‌برداری به‌صورت میدانی و با طراحی بلوک‌های تصادفی انجام شد؛ در مجموع حدود ۱۷ ایستگاه انتخاب شد و از هر ایستگاه، نمونه‌های رسوب سطحی، پوسته و محتویات تخم با سه تکرار جمع‌آوری گردید. تمامی نمونه‌ها به‌صورت مجزا در کیسه‌های زیپ‌دار قرار داده شده و پس از کدگذاری تا زمان انتقال به آزمایشگاه در دمای ۲۰− °C فریزر شدند. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی مرکز حفاظت و پایش لاک‌پشت‌های دریایی کیش، لانه‌های هر دو جزیره و فرآیند نمونه‌برداری آمده است.

نمونه‌های رسوب پس از خشک‌شدن در دمای ۱۰۵° C به مدت ۷۲ ساعت، همگن‌سازی شدند. سپس ۱ گرم از هر نمونه به ارلن منتقل و هضم شیمیایی با استفاده از ترکیب اسید نیتریک، پرکلریک و کلریدریک به نسبت ۱:۱:۳ انجام شد. فرآیند هضم شامل گرمادهی تدریجی در دمای ۴۰° C به مدت ۱ ساعت و سپس در ۱۴۰° C به مدت ۳ ساعت بود. پس از سرد شدن، محلول‌ها صاف شده و به حجم نهایی ۲۵ میلی‌لیتر با آب مقطر دو بار تقطیر رسانده شدند. این روش هضم مطابق با پروتکل‌های USEPA 3050B و ISO 11466 بوده و برای

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

تعیین غلظت فلزات قابل استخراج در رسوبات زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد (USEPA, 1996; ISO, 1995). به منظور کنترل کیفی داده‌ها، نمونه‌های کور (blank) آزمایشگاهی به‌طور هم‌زمان با نمونه‌ها پردازش شدند. کالیبراسیون دستگاه جذب اتمی با استفاده از محلول‌های استاندارد چندنقطه‌ای انجام شد و آزمون بازیابی برای عناصر سرب و نیکل نیز انجام گرفت که درصد بازیابی در محدوده قابل قبول (۸۵–۱۱۰٪) قرار داشت. با توجه به عدم استفاده از اسید هیدروفلوئوریک (HF)، مقادیر گزارش‌شده نمایانگر غلظت فلزات قابل استخراج بوده و ممکن است کمتر از مقدار کل واقعی فلزات در رسوبات باشد؛ این محدودیت در تفسیر نتایج مدنظر قرار گرفته است. غلظت عناصر سرب و نیکل در محلول‌های حاصل از هضم نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکترومتری جذب اتمی شعله‌ای (FAAS – PerkinElmer) تعیین شد. اندازه‌گیری‌ها در طول موج‌های اختصاصی هر عنصر انجام گرفت و غلظت‌ها بر حسب mg/kg وزن خشک گزارش شدند (Lam *et al.*, 2005). جامعه آماری این مطالعه شامل لانه‌های ناموفق لاک‌پشت پوزه‌عقابی و رسوبات کف لانه‌ها بود. در سال اول، ۳۰ نمونه رسوب سطحی و ۳۰ نمونه تخم و در سال دوم، ۲۱ نمونه از هر نوع تهیه شد. داده‌ها با نرم‌افزارهای SPSS 21 و Excel تحلیل شدند. ابتدا نرمال بودن داده‌ها بررسی شد و سپس همگنی واریانس‌ها لحاظ گردید. مقایسه غلظت عناصر بین ایستگاه‌ها و دوره‌های نمونه‌برداری با طرح بلوک کامل تصادفی انجام شد. آنالیز داده‌ها با ANOVA دوطرفه و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ صورت گرفت. لازم به ذکر است که اگرچه تعداد کل نمونه‌های جمع‌آوری‌شده در هر سال به‌ترتیب ۳۰ و ۲۱ عدد بود، اما آزمون‌های همبستگی تنها بر روی ایستگاه‌هایی انجام شد که داده‌های کامل پوسته و محتوی تخم به‌صورت هم‌زمان در دسترس بودند؛ بنابراین حجم نمونه مؤثر برای آزمون همبستگی کاهش یافت.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی لانه‌های لاک‌پشت‌های دریایی جزیره کیش و هندورابی و مراحل نمونه‌برداری

نتایج

غلظت‌های سرب (Pb) و نیکل (Ni) در رسوبات، پوسته تخم و محتوای تخم لاک‌پشت‌های پوزه‌عقابی (*Eretmochelys imbricata*) در چندین زیستگاه تخم‌گذاری جزایر کیش و هندورابی در دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اندازه‌گیری شد. آماره‌های توصیفی مربوطه به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. در سال ۱۳۹۶، غلظت سرب در رسوبات بین ۰/۲۵ ± ۱۳/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (هندورابی ۲۰)

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

تا ۰/۲۳ ± ۱۹/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (کیش ۱) متغیر بود، در حالی که غلظت نیکل از ۰/۱۸ ± ۳۰/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم (کیش ۱ و کیش ۲) تا ۰/۳۵ ± ۴۵/۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (کیش ۴) تغییر کرد. سرب و نیکل در پوسته و محتوای تخم‌های اکثر لانه‌های نمونه‌برداری‌شده قابل‌تشخیص بودند؛ به‌طوری که غلظت نیکل در پوسته تخم در بسیاری از موارد از مقادیر رسوبی فراتر رفت و در ایستگاه کیش ۴ به ۱۳/۳۷ ± ۴۹/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسید. غلظت فلزات در محتوای تخم نیز پراکندگی قابل‌توجهی نشان داد؛ به‌عنوان مثال، غلظت سرب در محتوای تخم از ۵/۰۸ ± ۱۲/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم (کیش ۵) تا ۱۰/۸۳ ± ۱۸/۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم (کیش ۹) متغیر بود.

جدول ۱: میانگین غلظت سرب و نیکل در رسوبات، محتوای تخم و پوسته تخم به تفکیک ایستگاه‌های نمونه برداری شده در سال ۱۳۹۶

سال	نام ایستگاه	فلز	رسوب	محتوای تخم	پوسته
۱۳۹۶	کیش ۱	سرب	۱۹/۲۵ ± ۰/۲۳	–	–
		نیکل	۳۰/۳۸ ± ۰/۱۸	–	–
	کیش ۲	سرب	۱۷/۵ ± ۰/۲۳	۱۶/۹۹± ۹/۷۳	۲۰/۶۶± ۴/۷۵
		نیکل	۳۰/۳۸ ± ۰/۱۸	۳۱/۳۸± ۱۹/۹۷	۴۲/۷۹± ۸/۳
	کیش ۴	سرب	۱۵/۱۳ ± ۰/۴۱	۱۰/۴۷ ± ۷۱/۲	۲۸/۲۱ ± ۷/۴۶
		نیکل	۴۵ ± ۰/۳۵	۱۶/۶۹ ± ۰/۵۲	۴۹/۱۸ ± ۱۳/۳۷
	کیش ۵	سرب	۱۳/۶۳ ± ۰/۲۱	۵/۰۸ ± ۱۲/۳	۲۶/۶۳ ± ۱۲/۵۵
		نیکل	۳۲ ± ۰/۲۱	۱۳/۸۷ ± ۸/۲۵	۱۷/۱۲ ± ۱/۷۵
	کیش ۶	سرب	۱۸/۱۳ ± ۰/۲	۸/۰۵ ± ۴۰/۵	۲۷/۳۷ ± ۶/۶۶
		نیکل	۳۱/۲۵ ± ۰/۴۲	۱۷/۹۱ ± ۱۰/۵۲	۲۷/۶۴ ± ۱۰/۳۷
	کیش ۹	سرب	۱۳/۶۳ ± ۰/۱۹	۱۸/۳۶ ± ۱۰/۸۳	۷/۵۹ ± ۲/۴۷
		نیکل	۳۲/۵ ± ۰/۲۱	۳۴/۱۵ ± ۲۱/۰۹	۲۰/۹۷ ± ۱/۵۹
	کیش ۱۱	سرب	۱۶/۸۸ ± ۰/۲	۱۱/۳۷ ± ۳۸/۱	۳۰/۲۱ ± ۹/۷۱
		نیکل	۳۶/۶۳ ± ۰/۳۱	۳۴/۱۹ ± ۲۲/۷۸	۴۰/۷۶ ± ۲۳/۴
	هندورابی ۱۷	سرب	۱۷/۶۳ ± ۰/۳۲	۱۱/۹ ± ۱/۷۷	۲۵/۹۴ ± ۸/۸۷
		نیکل	۳۶/۶۳ ± ۰/۱۷	۲۶/۶۶ ± ۶/۴۸	۴۷/۹ ± ۵/۵۵
	هندورابی ۱۹	سرب	۱۴/۲۵ ± ۰/۲۹	۷/۴۶ ± ۳/۳	۳۰/۹۷ ± ۳/۳۶
		نیکل	۳۲/۶۳ ± ۰/۲۸	۱۸/۴۲ ± ۱/۹۳	۴۷/۳۶ ± ۳/۰۶
	هندورابی ۲۰	سرب	۱۳/۲۵ ± ۰/۲۵	۱۳/۳۲ ± ۴/۲۱	۲۸/۳۲ ± ۰/۶۲
		نیکل	۳۱/۲۵ ± ۰/۲۴	۲۱/۰۴ ± ۵/۱۷	۴۳/۳۱ ± ۶/۲

در سال ۱۳۹۷، غلظت سرب در رسوبات در برخی ایستگاه‌ها افزایش جزئی نشان داد و بیشینه آن در هندورابی ۳ (۰/۳۲±۲۲/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ثبت شد، در حالی که غلظت نیکل به‌طور چشمگیری بالاتر از سال قبل بود و بیشترین مقدار آن در کیش ۲ (۰/۱۸ ± ۵۷/۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده گردید. بار فلزی در بافت محتوای تخم همچنان پایین اما قابل‌تشخیص بود؛ غلظت سرب در محتوای تخم بین ۱/۰۴ ± ۳/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (کیش ۱) تا ۲/۷۳ ± ۷/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم (هندورابی ۴) و غلظت نیکل بین ۴/۱۴ ± ۲۵/۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (هندورابی ۵) تا ۵/۸۵ ± ۳۷/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (هندورابی ۱) اندازه‌گیری شد. غلظت فلزات در پوسته تخم نیز در اکثر موارد از مقادیر رسوبی بیشتر بود؛ به‌طوری که غلظت نیکل در هندورابی ۳ و کیش ۲ به‌ترتیب به ۸/۶۹ ± ۵۶/۷۸ و ۲۲/۸۶ ± ۵۶/۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسید.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

جدول ۲: میانگین غلظت سرب و نیکل در رسوبات، محتوای تخم و پوسته تخم به تفکیک ایستگاه‌های نمونه برداری شده در سال ۱۳۹۷

سال	نام ایستگاه	فلز	رسوب	محتوای تخم	پوسته
۱۳۹۷	هندورابی ۱	سرب	۲۱/۲۵ ± ۰/۲۷	۳/۱۹ ± ۱	۲۵/۵۹ ± ۰/۲۷
		نیکل	۳۹/۵۹ ± ۰/۴۲	۳۷/۱۵ ± ۵/۸۵	۴۰/۹۲ ± ۲/۲۳
	هندورابی ۲	سرب	۱۸/۷۵ ± ۰/۲۹	۵/۶۹ ± ۱/۱۳	۳۲/۸۷ ± ۰/۵۳
		نیکل	۴۵/۰۵ ± ۰/۵۲	۲۶/۸۵ ± ۸/۷۴	۴۲/۲۴ ± ۱۱/۱۴
	هندورابی ۳	سرب	۲۲/۵ ± ۰/۳۲	۴/۰۴ ± ۱/۲۳	۲۰/۶۱ ± ۲/۲۴
		نیکل	۳۶/۶۶ ± ۰/۱۷	۳۴/۲۵ ± ۵/۱	۵۶/۷۸ ± ۸/۶۹
	هندورابی ۴	سرب	۱۳/۶۲ ± ۰/۴۵	۷/۸۹ ± ۲/۷۳	۳۲/۵۷ ± ۷/۳۳
		نیکل	۴۸/۱۳ ± ۰/۳۶	۳۰/۹۴ ± ۳/۰۵	۴۱/۹۶ ± ۳/۲۹
	هندورابی ۵	سرب	۱۲/۵ ± ۰/۶۷	۵/۶۴ ± ۳/۰۲	۳۷/۸۶ ± ۸/۰۳
		نیکل	۴۰/۰۵ ± ۰/۶۱	۲۵/۴ ± ۴/۱۴	۵۱ ± ۱۳/۳۳
	کیش ۱	سرب	۱۶/۲۵ ± ۰/۵۲	۳/۱۵ ± ۱/۰۴	۳۵/۲۴ ± ۴/۷۳
		نیکل	۵۱/۹۴ ± ۰/۱۹	۲۶/۰۱ ± ۵/۱۱	۵۰/۱۵ ± ۹/۲۵
	کیش ۲	سرب	۱۵ ± ۰/۱۲	۳/۹۵ ± ۲/۷۱	۳۱/۷۹ ± ۱۲/۷۳
		نیکل	۵۷/۱۴ ± ۰/۱۸	۲۶/۰۷ ± ۳/۹	۵۶/۷۶ ± ۲۲/۸۶

آزمون شاپیرو–ویلک نرمال بودن توزیع داده‌ها را در اکثر ایستگاه‌ها تأیید کرد ($p > 0.05$)، بنابراین استفاده از روش‌های آماری پارامتریک مجاز تشخیص داده شد. با این حال، به دلیل حجم نمونه محدود در هر ایستگاه ($N = 7–9$ برای تحلیل‌های هم‌زمان پوسته و محتوای تخم)، تفسیر نتایج همبستگی با احتیاط انجام شد. تنها همبستگی معنی‌دار، مربوط به رابطه مثبت و قوی بین غلظت سرب و نیکل در محتوای تخم در سال ۱۳۹۶ بود ($r = 0.935, p < 0.01$) که احتمال هم‌رسانی یا مسیرهای مشترک قرارگیری در معرض آلاینده‌ها را نشان می‌دهد. سایر روابط (مانند همبستگی بین غلظت فلزات در رسوب و اجزای تخم) از نظر آماری معنی‌دار نبودند که احتمالاً ناشی از پراکندگی بالای بین‌لانه‌ای و تعداد محدود تکرارهاست. با این وجود، تشخیص مداوم سرب و نیکل در رسوبات، پوسته و محتوای تخم همراه با غلظت‌های بالاتر این فلزات در ماتریس‌های زیستی نسبت به محیط غیر زنده شواهد محکمی از آلودگی زیست محیطی در این زیستگاه‌های حیاتی و انتقال مادری فلزات زیست‌فراوان به جنین‌های در حال رشد فراهم می‌کند. این یافته‌ها حساسیت موفقیت تولیدمثلی لاک‌پشت‌های پوزه‌عقابی را نسبت به آلودگی فلزی ناشی از فعالیت‌های انسانی در شمال خلیج‌فارس برجسته می‌سازد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت فلزات سنگین سرب و نیکل در تخم‌های لاک‌پشت دریایی منقارعقابی (*Eretmochelys imbricata*) در ایستگاه‌های مختلف جزایر کیش و هندورابی دارای تغییرات مکانی قابل‌توجهی است. این ناهمگنی مکانی می‌تواند بازتابی از تفاوت‌های موجود در شرایط محیطی، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی رسوبات، منابع بالقوه آلودگی و همچنین رفتارهای زیستی مادران در انتخاب محل لانه‌سازی باشد. غلظت‌های اندازه‌گیری‌شده سرب و نیکل در این پژوهش در محدوده‌ای قرار داشت که با یافته‌های برخی مطالعات مشابه در سایر مناطق جهان قابل مقایسه است. به‌عنوان مثال، Tapilatu و همکاران (۲۰۲۰) غلظت‌های متغیری از فلزات سنگین را در تخم لاک‌پشت‌های دریایی اندونزی گزارش کردند و تفاوت‌های منطقه‌ای و محیطی را به‌عنوان عوامل اصلی این تغییرات معرفی نمودند. همچنین Lam و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که نیکل در برخی مناطق ساحلی می‌تواند به سطوحی برسد که از نظر زیست‌محیطی نگران‌کننده باشد که این امر عمدتاً تحت تأثیر شرایط زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی است. در این مطالعه، برخلاف برخی پژوهش‌های پیشین که همبستگی معنی‌داری بین غلظت فلزات در رسوبات و تخم‌ها گزارش کرده‌اند، رابطه آماری معنی‌داری مشاهده نشد. این عدم

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

همبستگی می‌تواند ناشی از عوامل متعددی باشد، از جمله حجم نمونه محدود، کاهش توان آماری آزمون‌ها، تفاوت‌های گونه‌ای در مکانیسم‌های انتقال مادری فلزات و ویژگی‌های منحصربه‌فرد محیطی مناطق مورد مطالعه. مطالعاتی مانند Morão و همکاران (۲۰۲۵) نشان داده‌اند که انتقال فلزات از مادر به تخم می‌تواند تحت تأثیر وضعیت فیزیولوژیک مادر و کیفیت زیستگاه قرار گیرد، در حالی که برخی پژوهش‌ها عدم وجود رابطه مستقیم را گزارش کرده‌اند؛ بنابراین، عدم مشاهده همبستگی در این پژوهش لزوماً به معنای نبود انتقال فلزات نیست، بلکه ممکن است نتیجه محدودیت‌های طراحی مطالعه باشد. با این وجود، یافته‌ها حاکی از آن است که تخم لاک‌پشت منقارعقابی می‌تواند به‌عنوان یک شاخص زیستی مناسب برای پایش آلودگی فلزات سنگین در زیستگاه‌های حساس تخم‌گذاری خلیج‌فارس مورد توجه قرار گیرد، هرچند تفسیر این نتایج باید با در نظر گرفتن محدودیت‌های روش‌شناختی انجام شود.

برای تفسیر دقیق‌تر یافته‌ها، غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری‌شده در این پژوهش با داده‌های مطالعات مشابه انجام‌شده در سایر نقاط جهان مقایسه گردید. همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، دامنه غلظت سرب و نیکل در این مطالعه در محدوده گزارش‌شده برای سایر زیستگاه‌های تخم‌گذاری قرار دارد، اگرچه تفاوت‌های قابل‌توجهی بین مناطق مختلف وجود دارد که احتمالاً ناشی از شرایط محیطی، منابع آلودگی محلی و ویژگی‌های زیستی گونه‌هاست. از جمله مهم‌ترین محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به حجم نمونه نسبتاً کم، عدم کنترل متغیرهای مؤثری مانند سن و اندازه مادر، اندازه تخم، موقعیت دقیق جغرافیایی لانه، عمق رسوب و فصل تخم‌گذاری اشاره کرد. عدم در نظر گرفتن این متغیرها می‌تواند منجر به سوگیری در نتایج شده و تفسیر یافته‌ها را با عدم قطعیت همراه سازد؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده با طراحی جامع‌تر، نمونه‌برداری گسترده‌تر و کنترل دقیق‌تر متغیرهای زیستی و محیطی انجام گیرند تا بتوان ارتباط بین آلودگی محیطی و بار فلزی در تخم‌های لاک‌پشت‌های دریایی را با دقت بیشتری ارزیابی کرد.

جدول ۳: مقایسه غلظت فلزات سنگین سرب و نیکل در تخم لاک‌پشت‌های دریایی در مطالعات مختلف

منبع	غلظت نیکل	غلظت سرب	نوع نمونه	منطقه مطالعه	گونه لاک‌پشت
این مطالعه	متغیر	متغیر	محتوای تخم و پوسته	جزایر کیش و هندورابی، ایران	*Eretmochelys imbricata*
احسان‌پور و همکاران، (۱۳۹۲)	۶/۴–۱۴/۱	۹/۲–۱۸/۶	تخم	خلیج‌فارس، ایران	*Eretmochelys imbricata*
Lam *et al*., (2006)	۸/۷–۲۹/۴	۲/۱–۶/۳	تخم	هنگ‌کنگ	*Chelonia mydas*
Frossard *et al*., (2020)	۳/۲–۱۱/۶	۱/۴–۵/۹	تخم و نوزاد	برزیل	*Chelonia mydas*
Tapilatu *et al*., (2020a)	۵/۱–۱۸/۹	۳/۶–۱۲/۸	تخم	اندونزی	*Eretmochelys imbricata*
Tapilatu *et al*., (2020b)	گزارش داده‌ای	گزارش داده‌ای	تخم	اندونزی	*Eretmochelys imbricata*
Morão *et al*., (2025)	—	—	خون مادر و کیفیت تخم	سائوتومه	*Eretmochelys imbricata*

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از سرکار خانم دکتر عاطفه چمنی به‌دلیل همکاری و حمایت‌های ارزنده در مراحل مختلف انجام این پژوهش، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

احسان‌پور، م.، احمدی، م. ر.، بحری، ا. ه. و افخمی، م.، ۱۳۹۲. بررسی برخی پارامترهای یونی و هورمونی سرم خون لاک‌پشت عقابی (*Eretmochelys imbricata*) خارج از فصل تخم‌گذاری در جزیره قشم (خلیج‌فارس)، فصلنامه علمی–پژوهشی آبزیان و شیلات، ۳(۱۲)، ۱–۸.

احسانی، ج.، رومیانی، ل. و قبطانی، ع.، ۱۳۹۴. بررسی میزان تجمع زیستی فلزات سنگین (روی، مس، کادمیوم و سرب) در پوست و عضله میگوی سفید بحرکان، شمال غرب خلیج‌فارس، مجله علوم و فنون دریایی ایران، ۱۴(۲)، ۱–۱۰.

اسماعیلی‌ساری، ع.، ۱۳۸۱. آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط زیست، تهران: انتشارات نقش مهر.

بوداقپور، س. و ابوالقاسمی، ح.، ۱۳۹۳. بررسی اثرات زیست‌محیطی فلز نیکل و روش گیاه‌پالایی در کنترل و کاهش اثرات سوء آن، مجموعه مقالات همایش ملی پژوهش‌های محیط زیست ایران، همدان.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

خادمی، ن.، ۱۳۹۶. ارزیابی و مقایسه تجمع عناصر نیکل، سرب و وانادیوم در پوسته و محتویات تخم گونه‌های پرستوی دریایی کاکلی کوچک (*Sterna bengalensis*) و سلیم خرچنگ‌خوار (*Dromas ardeola*) در جزایر خورموسی خلیج‌فارس، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۹، ۵۹۳—۶۰۶.

زارع، ر. الف. و رحیمی، ر. الف.، ۱۳۸۸. بررسی عوامل تهدیدکننده حیات لاک‌پشت‌های دریایی در برخی از جزایر شمالی خلیج‌فارس، همایش بین‌المللی خلیج‌فارس، بوشهر.

سعیدپور، ب.، سواری، ا. و احمدی، م. ر.، ۱۳۹۲. بررسی برخی صفات زیستی لاک‌پشت‌های دریایی در جزیره هرمز و هنگام، فصلنامه پژوهش و سازندگی، ۶۱، ۷۶—۸۰.

صفاهیه، ع.، فقیری، ا. ا. ف.، جوهری‌رنگ، م. و عیدی‌وند، س.، ۱۳۹۱. پایش زیستی فلزات جیوه، سرب و مس با استفاده از صدف دوکفه‌ای Crassostrea gigasدر بندر امام خمینی (ره)، نهمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، تهران.

مرتضوی، ث.، علی‌پور، ح. و بناگر، غ. ر.، ۱۳۹۸. ارزیابی میزان جیوه کل در کبد، کلیه، عضله و پر اردک سرسبز (Anas platyrhynchos) در تالاب کانی‌برازان، نشریه علمی اکوبیولوژی تالاب، ۳۸، ۱—۱۰.

مقیمی، م.، نقاش، ح.، آله‌خورشید، م.، چوی، ر. و قاسمی، ص.، ۱۳۸۹. بررسی زیستگاه و خصوصیات زیست‌سنجی لاک‌پشت نوک‌عقابی (Eretmochelys imbricata)در تالاب‌های ساحلی خلیج‌فارس، نشریه محیط زیست، ۳۵، ۴۵—۵۶.

ملازاده، ن. و میرسجادی، م.، ۱۳۹۵. تجمع فلزات سنگین در کبد و عضله سیاه‌ماهی رودخانه سردآبرود استان مازندران و تأثیر آن بر سلامت انسان، نشریه علمی اکوبیولوژی تالاب، ۲۹، ۱—۹.

نوروزی، م.، ۱۳۹۶. بررسی برخی فلزات سمی و ضروری در عضله، کبد و آبشش ماهی سوف حاجی‌طرخان در تالاب انزلی، نشریه علمی اکوبیولوژی تالاب، ۳۱، ۱—۱۰.

پذیرا، ع. ر.، خسروی‌فرد، ا. و قنبری، ف.، ۱۳۹۵. مقایسه تجمع زیستی سرب و روی در بافت عضله ماهی شیر و قباد، نشریه علمی اکوبیولوژی تالاب، ۲۹، ۱—۸.

AOAC, 1980. Official methods of analysis, Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.

Burger, J. and Gochfeld, M., 2004. Marine birds as sentinels of environmental pollution, EcoHealth, 1(3), 263–274.

Deb, S. and Fukushima, T., 1999. Metals in aquatic ecosystems: Mechanisms of uptake, accumulation and release, International Journal of Environmental Studies, 56(3), 385–417.

Frossard, A., Vieira, L., Carneiro, M., Gomes, L. and Chippari-Gomes, A., 2020. Accumulation of trace metals in eggs and hatchlings of Chelonia mydas, Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 62, 126654. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2020.126654

IUCN, 2015. The IUCN Red List of Threatened Species. Available from: https://www.iucnredlist.org.

Lam, J. C. W., Tanabe, S., Chan, S. K. F., Lam, M. H. W., Martin, M. and Lam, P. K. S., 2005. Levels of trace elements in green turtle eggs collected from Hong Kong: Evidence of maternal transfer, Marine Pollution Bulletin, 50, 528–536.

Lam, J., Tanabe, S., Chan, S., Lam, M., Martin, M. and Lam, P., 2006. Levels of trace elements in green turtle eggs collected from Hong Kong: Evidence of risks due to selenium and nickel, Environmental Pollution, 144(3), 790–801.

Morão, I., Simões, T., Casado, R., Vieira, S., Ferreira-Airaud, B., Caliani, I. *et al*., 2025. Correlation between trace element concentrations in the blood of female hawksbill (Eretmochelys imbricata) and egg quality, Environmental Research, 121594. https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.121594

Mortimer, J. A., 2007. Factors influencing beach selection by nesting sea turtles. In Biology and Conservation of Sea Turtles, ed. K. A. Bjorndal, pp. 45–51. Smithsonian Institution Press.

Mora, M. A., 2003. Heavy metals and metalloids in egg contents and eggshells of passerine birds, Environmental Pollution, 125(3), 393–400.

Pourang, N., Dennis, J. H. and Ghoorchian, H., 2004. Tissue distribution of trace elements in shrimp species, Ecotoxicology, 13, 519–533.

Sheppard, C., 1993. Physical environment of the Persian Gulf relevant to marine pollution, Marine Pollution Bulletin, 27, 3–8.

Tapilatu, R., Wona, H., Siburian, R. and Saleda, S., 2020. Heavy metals contaminants in the eggs of sea turtles in Indonesia, Biodiversitas, 21. https://doi.org/10.13057/biodiv/d211016

Wood, D. W. and Bjorndal, K. A., 2001. Relation of temperature and moisture to nest site selection in sea turtles, Copeia, 2001(1), 119–128.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

Evaluation of Heavy Metal Accumulation (Lead and Nickel) in Eggshells, Embryo Tissues, and Nesting Sediments of Hawksbill Turtles (*Eretmochelys imbricata*) on Kish and Hendurabi Islands, Persian Gulf

Hamed Mohammadi
Sima Sabzalipour *

Department of Environment, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

***Corresponding author:**
Si.sabzalipour@iau.ac.ir

Received date: **January/13/2026**
Accepted date: **February/02/2026**

Abstract

This study aimed to investigate the accumulation of the heavy metals lead (Pb) and nickel (Ni) in eggshells, egg contents, and nesting-site sediments of the hawksbill sea turtle (*Eretmochelys imbricata*) on Kish and Hendurabi Islands. To this end, 17 sampling stations were selected during 2017 and 2018, and samples were collected in triplicate at each station. After drying and acid digestion of the samples using nitric acid, metal concentrations were determined by flame atomic absorption spectrometry (FAAS). Statistical analyses were performed using SPSS version 21 and Microsoft Excel. Two-way analysis of variance (ANOVA) followed by Duncan's multiple range test was applied at a significance level of 5%. The results indicated that while lead concentrations in sediments were within the range reported in similar studies, lead concentrations in eggshells and egg contents at some stations were higher than those reported in previous studies. These findings indicate the presence of environmental pressures caused by heavy metal contamination in the nesting habitats of this species on the studied islands.

Keywords: Lead, Nickel, Hawksbill turtle, Kish, Hendorabi island

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]