

## بررسی آلودگی به ترکیبات جیوه در شماری از پرندگان وحشی شهر اصفهان و رودخانه زاینده رود

• زهرا حسین پور محمد آبادی

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آلودگی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

• منصوره ملکیان (نویسنده مسئول)

استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: اردیبهشت ماه ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: مهرماه ۱۳۹۳

Email: mmalekian@cc.iut.ac.ir

### چکیده

جیوه یکی از سمی ترین فلزات سنگین است که دارای خاصیت تجمع و بزرگنمایی زیستی در زنجیره غذایی می باشد. اصفهان از استان های مهم صنعتی کشور است که با وجود تعدد منابع آلاینده جیوه تاکنون پایش زیستی جیوه در محیط زیست آن انجام نگرفته است. پرندگان به طرق مختلف از جمله تماس مستقیم با آب و غذای آلوده، در معرض جیوه قرار می گیرند و شاخص زیستی مناسبی برای پایش آلاینده های محیط به شمار می آیند. هدف از این مطالعه بررسی آلودگی به جیوه در شماری از پرندگان شهر اصفهان و رودخانه زاینده رود می باشد. تاثیر سطح تغذیه بر میزان تجمع زیستی جیوه در بدن این پرندگان مورد بررسی قرار گرفته است. ۴۰ نمونه پرند در مناطق مختلف صید و اندازه گیری جیوه در سه اندام کلیه، کبد و پرده با استفاده از اسپکترومتری جذب اتمی بخار سرد انجام گرفت. در بین سه عضو مورد مطالعه پرده با میانگین  $2002/30 \text{ ppb}$  بیشترین مقدار جیوه و کلیه با میانگین  $1284 \text{ ppb}$  کمترین مقدار را نشان داد. پرندگان جانورخوار بیشترین تجمع زیستی جیوه را در اندام های خود داشته و گیاهخواران کمترین مقدار را نشان دادند. نتایج بدست آمده می تواند نشان دهنده ورود جیوه به محیط زیست اصفهان از منابع مختلف باشد. بنابراین پایش و مدیریت فلزات سنگین در محیط زیست اصفهان و از جمله آب زاینده رود ضروری به نظر می رسد..

کلمات کلیدی: جیوه، تجمع زیستی، کبد، کلیه، پرده، زاینده رود

● Veterinary Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 106 pp: 10-17

### Investigating mercury contamination in some of the wild birds in Isfahan city and Zayandehroud River

By: Hosseinpour, Z. MSc. Student, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology

Malekian, M. (Corresponding Author), Assistant Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology

Received: June 2013 Accepted: July 2014

Email: mmalekian@cc.iut.ac.ir

Mercury is one of the most toxic heavy metals with the characteristic of accumulation and bio-magnification in food chains. Isfahan is an important industrial province in Iran with various sources of mercury contamination. However, biological monitoring of mercury in the environment has yet to be conducted. Birds, which are exposed to mercury by different ways, including direct contact with contaminated water and food, are good biological indicators. The aim of this study was to investigate mercury contamination in some of the wild birds in Isfahan city and Zayandehroud River. The effect of trophic levels on the bioaccumulation of mercury in the body of these birds was explored. 40 samples of birds were collected in different areas and the amount of mercury was measured in kidney, liver and hyperpnea, using cold vapor atomic absorption spectrometry. Amongst the three organs, hyperpnea showed the highest amount of mercury with the average amount of 2002.3 ppb and kidney showed the lowest with the average of 1284 ppb. Animal consuming birds accumulated more mercury in their tissues and vegetarians showed the lowest value. The results indicated the presence of mercury in Isfahan environment, therefore, it is necessary to monitor and manage heavy metals in the environment including Zayandehroud River.

**Key words:** Mercury, Bioaccumulation, Liver, Kidney, Hyperpnea, Zayandehroud

#### مقدمه

یکی از عمده‌ترین آلاینده‌های محیط زیست فلزات سنگین هستند که از طرق مختلف نظیر تخلیه فاضلاب صنایع مختلف از جمله رنگسازی، باتری‌سازی، دباغی، داروسازی و شیشه‌سازی در محیط زیست وارد می‌شوند (Di Natale و همکاران، ۲۰۰۶).

جیوه یکی از سمی‌ترین فلزات سنگین است که به دلیل پایداری دراز مدت در محیط زیست به تدریج به بدن موجودات زنده وارد شده و در طول زنجیره‌های غذایی تجمع می‌یابد. متیل جیوه فراوان‌ترین و سمی‌ترین شکل جیوه در محیط زیست بوده که در محیط‌های آبی تشکیل می‌شود. به دلیل قابلیت اتصال بالای متیل-جیوه به گروه‌های سولفیدریل پروتئین، جیوه به سرعت در زنجیره غذایی انتقال و در بدن موجودات انباشته می‌شود (Jemelov و Beijer، ۱۹۷۹).

پرندگان به طرق مختلف از جمله تماس مستقیم با آب و غذای آلوده در معرض مواد شیمیایی و آلودگی‌های مختلف محیط زیست قرار می‌گیرند. پرندگانی که نزدیک اکوسیستم‌های آبی آشیانه‌سازی یا تغذیه می‌کنند، ممکن است در اثر تخلیه صنعتی جیوه، بارش اسیدی و یا سطوح بالای جیوه در ماهی‌ها و رسوبات در معرض جیوه قرار داشته باشند. برخی محققان معتقدند که جیوه فقط برای گونه‌های آبی که از رودخانه‌ها و دریاها تغذیه می‌کنند خطرناک است، اما تحقیقات دلالت بر این دارد که جیوه در زیستگاه‌های زمینی هم تبدیل به متیل جیوه

می‌شود (Sepulveda، Ochoa-Acuna و Gross، ۲۰۰۲). اثرات مضر متیل جیوه بر حیات وحش شامل آسیب به سیستم عصبی، بروز رفتارهای غیرطبیعی و تضعیف سیستم ایمنی و دفاعی بدن می‌باشد (Schweiger و Stadler، ۲۰۰۶). کاهش موفقیت تولید مثلی (کاهش تعداد تخم پرندگان، کاهش دفعات تخم‌گذاری و کاهش بقای زادگان) تغییر در رفتارهای تغذیه‌ای (نظیر شکار)، کاهش زمان پرواز، کاهش مراقبت از آشیانه، ضعف شدن پاها و بال‌ها، مشکلات هورمونی و در نهایت مرگ پرنده از اثرات غلظت بالای متیل جیوه می‌باشد (Zillioux Porcella و Benoit، ۱۹۹۳).

جایگاه تغذیه‌ای موجودات زنده در زنجیره غذایی نقش مهمی در میزان بار آلودگی به فلزات سنگین از جمله جیوه دارد. Zolfaghari و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که مقدار جیوه در پرندگانی که از مهره‌داران تغذیه می‌کنند بیش از ۱/۵ برابر پرندگان بی مهره خوار و بیش از ۶ برابر پرندگان تغذیه کننده از مواد گیاهی است و بر اساس میزان جیوه در سه سطح تغذیه‌ای به ترتیب گوشتخواران، بی مهره‌خواران و در نهایت گیاهخواران قرار داشتند. به عبارت دیگر گونه‌های پرندگان در بالای زنجیره غذایی میزان جیوه بیشتری را نشان دادند. دلیل این امر را می‌توان بر اساس پدیده بزرگنمایی زیستی فلزات سنگین از جمله جیوه از سطوح پایین زنجیره غذایی به سمت سطوح بالاتر بیان کرد. تجزیه و تحلیل مطالعات انجام شده در زمینه تجمع زیستی جیوه نشان

۲۳ نانو گرم بر مترمکعب و جیوه موجود در ذرات معلق اتمسفر به طور متوسط ۱/۰۴ نانوگرم بر مترمکعب بوده که در مقایسه با غلظت این عنصر در شهرهای دیگر جهان در امریکا بین ۱۰-۲ نانوگرم و در ایتالیا بین ۸-۱ نانوگرم در متر مکعب، بیش از چند برابر می باشد (Ahmadi-Golsepidi, ۲۰۰۸).

در پایش یک اکوسیستم، بررسی همه اجزاء و روابط موجود امکان پذیر نمی باشد در نتیجه انتخاب یک پایشگر مناسب لازم به نظر می رسد. پرندگان به دلیل امکان تماس با آب و غذای آلوده، عادات تغذیه ای ویژه و شناخته شده بودن بیولوژی آنها، شاخص زیستی مناسبی برای آلاینده های محیط از جمله جیوه می باشند (Savinov, Gabrielsen, Savinova, ۲۰۰۳). هدف از این تحقیق پایش زیستی جیوه در شهر اصفهان و بویژه در رودخانه زاینده رود و مناطق حاشیه ای با استفاده از پرندگان بوده و همچنین نقش سطح تغذیه ای این پرندگان بر میزان آلودگی به جیوه و تجمع آن در اندام های پرند مورد ارزیابی مقدماتی قرار گرفته است.

## مواد و روش کار

### نمونه برداری

تعداد ۴۰ نمونه پرند متعلق به ۱۴ گونه در طول زمستان سال ۱۳۸۹ و بهار سال ۱۳۹۰ به روش تصادفی صید گردیدند (شکل ۱). تعداد نمونه ها بین یک تا نه در گونه های مختلف متفاوت است (جدول ۱). پرندگان صید شده در مسیر رودخانه زاینده رود هم از پرندگان وابسته به رودخانه زاینده رود و هم گونه های غیر وابسته صید شدند. در زمان انجام مطالعه به دلیل خشک بودن تالاب گاوخونی و نبود پرندگان در منطقه تالاب، این منطقه که منتهی الیه رودخانه زاینده رود می باشد، از مطالعه حذف گردید. برای تعیین سطوح تغذیه ای نمونه های پرند مورد بررسی به طور اجمالی از کتاب راهنمای صحرایی پرندگان ایران و راهنمای صحرایی پرندگان اروپا و خاورمیانه استفاده شده است. نمونه های پرندگان به چهار دسته استفاده کنندگان از مواد جانوری و گیاهی، همه چیزخواران، گیاهخواران و جانور خواران تفکیک شد که در هر گروه به ترتیب تعداد چهارده، شانزده، پنج و پنج قطعه پرند موجود می باشد (جدول ۱).

### آماده سازی نمونه ها

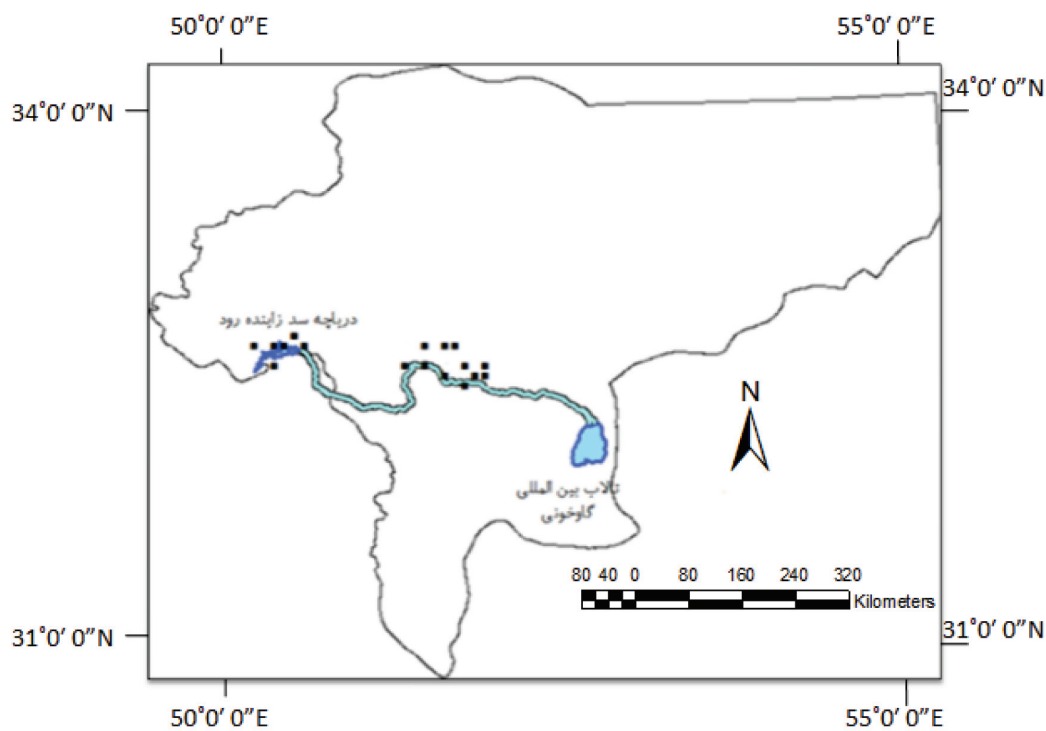
نمونه های جمع آوری شده تشریح شده و اعضای کبد و کلیه هر کدام خارج گردید. علاوه بر این ۳-۲ قطعه پر دم پرند نیز جدا گردید و برای انجام آزمایشات جداگانه در پاکت نایلونی قرار داده شد. پرها پس از انتقال به آزمایشگاه برای رفع آلودگی احتمالی توسط دترجنت و آب شسته شده و سپس توسط آب مقطر آبکشی شدند. سپس تمامی نمونه های کبد، کلیه و پر دم جهت بدست آوردن وزن خشک در آون در دمای ۵۰ درجه برای مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت قرار داده شدند. دلیل اینکه مقادیر در وزن خشک تعیین شد این بود که مقادیر قابل اعتمادتر و ثابت تر از وزن تر هستند (Holm, ۱۹۷۹). سپس هضم نمونه ها و اندازه گیری جیوه در نمونه ها طبق روش استاندارد ۲/۱۵ - ۰۱۶ - HG انجام گرفت (Thompson و Topolski, ۲۰۱۰).

می دهد که در ۴۲ درصد از مطالعات، سطح تغذیه ای عاملی مهم بر تجمع زیستی فلزات سنگین از جمله جیوه گزارش شده است (Gray, ۲۰۰۲). در مطالعه Hernandez و همکاران (۱۹۹۹) نیز کمترین مقادیر جیوه در گیاهخواران گزارش شده و نشان دادند که از سطح تغذیه ای گیاهخواری به سمت گوشتخواری میزان تجمع آلاینده ها افزایش می یابد بطوری که تفاوت در غلظت فلزات سنگین به ویژه جیوه در پرندگان بیشتر مرتبط با سطح تغذیه و کمتر تحت تاثیر عوامل دیگر از جمله جایگاه رده بندی و تفاوت های گونه در متابولیسم و دفع جیوه از بدن است (Hernández و همکاران, ۱۹۹۹). ارزیابی بزرگنمایی زیستی جیوه در کاکایی تاثیر جایگاه تغذیه ای پرند در تجمع بار جیوه در خون و پر را نشان داد (Bearhop, Waldron, Thompson, Furness, ۲۰۰۰). در تحقیقی که روی پرندگان شیلی انجام شده است بیشترین مقادیر جیوه در گونه های ماهیخوار می باشد (Ochoa-Acuna و همکاران, ۲۰۰۲). در پرندگان دانه خوار و پرندگانی که از پستانداران کوچک تغذیه می کنند و پرندگان ساکن مناطقی که از قارچ کش ها استفاده می شود، مقادیر بالای جیوه گزارش شده است (Rand, ۱۹۹۵). در مطالعه Zillioux و همکاران (۱۹۹۳) در اکوسیستم های آب شیرین، کمترین مقدار جیوه در گیاهخواران (۶/۶۴ ppm) و بیشترین مقادیر در لاشه خوران (۵۴/۴ ppm) گزارش شده است (Zillioux و همکاران, ۱۹۹۳). مقدار جیوه در پرها ی پرندگان دریایی با مطالعه عادت غذایی در اقیانوس هند غربی بررسی شد و نشان داد که افراد بالغ در دو گونه پرستوی دریایی و مرغ طوفان به دلیل رفتار غواصی و صید ماهیان بزرگتر از اعماق آب بیشترین تجمع جیوه را در پر دارند (Kojadinovic, Bustamante, Le Corre و Churlaud, Cosson, ۲۰۰۷). زمانی و همکاران (۲۰۰۹) تجمع زیستی جیوه در اگرت کوچک در تالاب شادگان را بیشتر متاثر از سطح غذایی این پرند عنوان کرده اند (Zamani-Ahmadmahmoodi, Esmaili- و همکاران, ۲۰۰۹). ذوالفقاری و همکاران (۲۰۰۶) افزایش جیوه در پر ۱۸ گونه پرندگان تاکسیدرمی شده را بررسی کرده و نشان دادند که ماهیخواران دارای بالاترین مقادیر جیوه و گیاهخواران از مقادیر جیوه بسیار اندکی برخوردار هستند (Zolfaghari, Esmaili-sari و همکاران, ۲۰۰۶). Kiabi و Ghasempouri در ارزیابی میزان جیوه در پر ۲۷ گونه از پرندگان ایران، سطح تغذیه عامل عمده مؤثر بر تجمع زیستی جیوه معرفی شده است (Zoualfaghari, Esmaili-Sari Ghasempouri, Baydokhti و Hassanzade- Kiabi, ۲۰۰۹).

اصفهان یکی از استان های مهم صنعتی کشور است. جیوه از منابع مختلف از جمله پساب صنایع و کارگاه ها، استفاده از لجن فاضلاب در کشاورزی، تصفیه خانه های فاضلاب، استفاده از افت کش ها و محل های دفن زباله وارد خاک و آب می شود. پایش زیستی جیوه در محیط زیست اصفهان از جمله زاینده رود که مهم ترین اکوسیستم آبی و منبع اصلی آب در مصارف مختلف را تشکیل می دهد، تا کنون انجام نگرفته است. در یک مطالعه، خاک مناطق مختلف اصفهان نمونه برداری و در شرایط گلخانه برای کوددهی گیاه ذرت از لجن فاضلاب استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از لجن فاضلاب باعث افزایش معنی دار فلز سنگین جیوه در خاک و بخش های مختلف گیاه نظیر ساقه، ریشه و دانه گیاه می گردد (Karimpour, Afyuni, Esmaili-Sari, ۲۰۱۰). اندازه گیری جیوه در هوا و ذرات معلق نشان داد که مقادیر جیوه گازی شهر اصفهان به طور متوسط

جدول ۱- گونه‌های صید شده در این مطالعه به همراه تعداد افراد هر گونه و سطح تغذیه آنها

تعداد نمونه	سطح تغذیه	نام گونه	نام فارسی
۲	جانورخوار	<i>Sterna hirundo</i>	پرستوی دریایی معمولی
۳	تغذیه از مواد جانوری و گیاهی	<i>Tringa ochropus</i>	آبچلیک تکزی
۸	تغذیه از مواد جانوری و گیاهی	<i>Actitis hypoleucos</i>	آبچلیک آوازخوان
۱	همه چیزخوار	<i>Larus genei</i>	کاکایی صورتی
۳	جانورخوار	<i>Prunella atrogularis</i>	صعوه گلوسپاه
۱	تغذیه از مواد جانوری و گیاهی	<i>Passer domesticus</i>	گنجشک خانگی
۲	تغذیه از مواد جانوری و گیاهی	<i>Petronia petronia</i>	گنجشک کوهی
۱	گیاهخوار	<i>Pycnonotus leucotis</i>	بلبل خرما
۱	همه چیزخوار	<i>Sturnus roseu</i>	سار صورتی
۱	همه چیزخوار	<i>Sturnus vulgaris</i>	سار
۲	همه چیزخوار	<i>Corvus corone</i>	کلاغ ابلق
۲	همه چیزخوار	<i>Corvus frugilegus</i>	کلاغ سیاه
۹	همه چیزخوار	<i>Pica pica</i>	زاغی
۴	گیاهخوار	<i>Streptopelia senegalensis</i>	قمری خانگی



شکل ۱- نقشه محل های نمونه برداری در اصفهان

### آنالیز شیمیایی نمونه ها با استفاده از اسپکترومتری جذب اتمی

برای هضم نمونه‌ها، ابتدا ۵ میلی لیتر اسید سولفوریک ۹۸٪ و سپس ۲ میلی لیتر اسید نیتریک ۶۷ درصد به ظرف محتوی نمونه اضافه شد و به مدت ۴۵ دقیقه روی Hot plate در دمای ۹۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس برای هضم کامل نمونه‌ها ۱۰ میلی لیتر محلول پرسولفات پتاسیم ۶ درصد و ۴ میلی لیتر محلول پرمنگنات پتاسیم ۶ درصد به دقت به همه ظروف نمونه اضافه شد و به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت تا واکنش کامل شود. در انتها نمونه‌ها را از روی Hot plate برداشته تا سرد شوند. برای نمونه‌ها محلول Blank نیز آماده شد به این صورت که در ظرف آزمایش همراه با تمام نمونه‌های در حال هضم، بدون اینکه نمونه‌ای در ظرف ریخته شود، تمام مواد به همان مقداری که به نمونه‌ها اضافه شد به ظروف اضافه و با شرایط یکسان ظروف حاوی نمونه روی Hot plate قرار داده شد.

نمونه‌های هضم شده با استفاده از اسپکترومتری جذب اتمی بخار سرد جیوه (CVAAS) مدل Analyst ۷۰۰ اندازه‌گیری شد. ابتدا محلول Blank و سپس مقدار جیوه موجود در تک تک نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی با دوبرار تکرار اندازه‌گیری گردید. برای محاسبه حد تشخیص تجربی دستگاه، هفت بار جیوه به میزان ۲ ppb به دستگاه تزریق گردید و مقادیر آن یادداشت گردید. سپس انحراف استاندارد محاسبه و حد تشخیص تجربی دستگاه بدست آمد. همچنین درصد بازیابی برای نمونه‌ها نیز بدست آمد، بدین صورت که مقدار مشخصی از جیوه به یکی از نمونه‌ها از هر دسته که مقدار جیوه خیلی کمی دارد و یا مقدار جیوه آن صفر است اضافه شد و پس از هضم، مقدار جیوه آن اندازه گرفته شده و غلظت آن با مقدار جیوه‌ای که به همان غلظت به نمونه‌ها اضافه شده بود مقایسه شد و طبق فرمول زیر درصد بازیابی نمونه بدست آمد:

$$R = \frac{C_{\text{sample}} - C_0}{C_{\text{spiked}}} \times 100$$

R = درصد بازیابی

$C_{\text{sample}}$  = غلظت نمونه‌ای که مقدار مشخصی جیوه به آن اضافه شد  
 $C_0$  = غلظت اولیه نمونه

$C_{\text{spiked}}$  = غلظت معادل میزانی که به بافت اضافه شد (Topolski و Thompson, ۲۰۱۰).

درصد بازیابی بین ۷۲/۲۴ تا ۱۰۳/۳۸ درصد بدست آمد. حد تشخیص تجربی دستگاه نیز ۰/۷۹ ppb محاسبه شد و مقادیر کمتر از این مقدار زیر حد تشخیص دستگاه بوده که در محاسبات آماری صفر در نظر گرفته شدند.

### تجزیه و تحلیل های آماری

بعد از بدست آوردن مقادیر جیوه در نمونه‌ها، تجزیه و تحلیل‌های آماری مورد نیاز توسط نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. مقایسات آماری سه اندام مورد استفاده یعنی پرده، کبد و کلیه انجام شد. نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov Smirnov) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون نشان دهنده نرمال نبودن داده‌ها و عدم برابری واریانس‌ها بود. داده‌ها با استفاده از عملیات Transform

(لگاریتم گرفتن از داده‌ها) نرمال شده و پس از نرمال شدن داده‌ها برای آزمون فرض برابری میانگین‌ها بین مقادیر جیوه در سه عضو از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر (درون گروهی) استفاده شد از آنجا که در بررسی منابع مختلف، سطح تغذیه‌ای در تجمع زیستی جیوه دارای اهمیت شناخته شده است در بررسی حاضر برای بررسی تاثیر سطح تغذیه بر روی تجمع جیوه در اندام‌ها، نمونه‌ها بر اساس منابع مختلف که در شرح نمونه‌برداری به آن اشاره شد در چهار دسته همه چیزخوار، استفاده‌کننده از مواد جانوری و گیاهی، جانورخوار و گیاهخوار تقسیم شده و به عنوان مطالعه‌ای مقدماتی مقایسات آماری بین سه عضو به طور جداگانه توسط آزمون غیر پارامتریک کروسکال والیس (Kruskal-Wallis) برای مقایسه برابری مقادیر جیوه در چهار سطح تغذیه‌ای انجام گرفت. همچنین برای مقایسه دو به دو سطوح تغذیه‌ای از آزمون غیر پارامتریک (Mann Whitney) استفاده شد.

### نتایج

در بین گونه‌های مورد بررسی کمترین مقدار جیوه متعلق به گونه‌های بلبل خرما و گنجشک کوهی بود که عمدتاً از مواد گیاهی تغذیه می‌کنند. بیشترین مقدار جیوه ثبت شده در دو گونه آبچلیک آوازخوان و پرستوی دریایی ثبت شد که از گونه‌های ماهیخوار هستند.

در بین سه عضو مورد مطالعه پرده با میانگین ۲۰۰۲/۳۰ ppb بیشترین مقدار جیوه و کلیه با میانگین ۱۲۸۴ ppb کمترین مقدار را نشان داد. تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر (درون گروهی) نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری بین لگاریتم مقادیر جیوه موجود در سه عضو در سطح ۰/۰۵ وجود ندارد. بنابراین مقدار جیوه در سه عضو مطالعه شده از بیشترین به کمترین مقدار به ترتیب پرده، کبد و کلیه می‌باشد.

آمار توصیفی داده‌ها برای مقایسه مقادیر جیوه در بین ۴ سطح تغذیه در جدول ۲ نشان داده شده است. این آمار نشان می‌دهد که گروه پرندگان جانورخوار بیشترین مقادیر میانگین جیوه را دارا بودند که در این گروه بیشترین مقدار جیوه در پر دم (۵۵۳۵/۹۵ ppb) وجود داشت.

برای مقایسه اثر سطح تغذیه روی مقادیر جیوه در هر عضو از آزمون غیر پارامتریک کروسکال والیس استفاده شد (جدول ۳). برای مقایسه جفتی سطوح تغذیه‌ای از آزمون من ویتنی استفاده شد. نتایج حاصل از آزمون کروسکال والیس فرض برابری مقادیر جیوه در تمام سطح‌های تغذیه‌ای در هر سه عضو را در سطح ۰/۰۵ رد می‌کند (جدول ۳).

نتایج آزمون من ویتنی که برای مقایسه دو به دو سطوح تغذیه‌ای استفاده شد به شرح زیر است. مقایسه بین استفاده‌کنندگان از مواد جانوری و گیاهی با جانورخواران نشان داد که تفاوت بین مقادیر اندازه‌گیری شده در هیچیک از سه عضو مورد بررسی معنی‌دار نیست ( $p > 0/05$ ). جدول ۴). در مقایسه بین همه چیزخواران با گیاهخواران، تفاوت بین مقادیر در عضو کبد معنی‌دار نیست ( $p = 0/283$ ) اما در کلیه و پرده تفاوت مقادیر جیوه معنی‌دار است ( $p < 0/05$ ). مقایسه بین همه چیزخواران با جانور خواران نشان داد که تفاوت مقادیر جیوه در هر ۳ عضو مورد بررسی معنی‌دار است ( $p < 0/05$ ). در نهایت در مقایسه بین استفاده‌کنندگان از مواد جانوری و گیاهی با گیاهخواران نیز در هر ۳ عضو مورد بررسی معنی‌دار است ( $p < 0/05$ ). میانگین مقادیر جیوه در هر سه عضو در چهار

جدول ۲ - مقایسه مقادیر جیوه (ppb) در اندام های مورد مقایسه به تفکیک سطح تغذیه

عضو	سطح تغذیه	تعداد	میانگین	میان	واریانس
پر دم	جانوری و گیاهی	۱۴	۲۸۴۲/۳۸	۲۶۲۲/۶۲	۵۷۱۷۰۷۲/۱۴۵
	همه چیز خوار	۱۶	۷۵۰/۲۶	۲۷۰/۸۷	۲۴۶۷۸۷۹/۴۲۲
	گیاه خوار	۵	۱۲۲/۹۰	۱۱۸/۷۵	۷۳۴۵/۰۴۵
	جانور خوار	۵	۵۵۳۵/۹۵	۵۳۵۲/۵	۷۰۳۷۴۵۱/۲۱۳
کبد	جانوری و گیاهی	۱۱	۲۸۷۲/۰۳	۲۴۶۱/۲۵	۵۵۷۵۶۸۶/۹۱۴
	همه چیز خوار	۱۶	۳۸۸/۱۰	۲۱۲/۶۴	۳۸۹۹۳۵/۲۰۷
	گیاه خوار	۵	۱۲۷/۰۲	۱۲۹/۷۵	۵۲۲۴/۳۳۹
	جانور خوار	۵	۳۷۳۰/۸۷	۳۹۵۳/۱	۴۶۴۸۱۳/۸۱۵
کلیه	جانوری و گیاهی	۱۴	۱۶۲۵/۳۵	۵۲۹/۹۵	۵۳۷۴۰۸۴/۹۰۴
	همه چیز خوار	۱۶	۳۲۶/۰۱	۲۳۷/۴	۷۰۹۲۸/۷۷۰
	گیاه خوار	۵	۱۱۴/۱۴	۱۰۸/۹۵	۷۰۹۲۸/۴۷۳
	جانور خوار	۵	۴۵۶۳/۳۴	۴۹۹۴/۶۲	۷۸۲۳۱۶۸/۷۸۶

جدول ۴ - آزمون مقایسه جفتی من ویتنی بین سطوح تغذیه ای مختلف بین مقادیر جیوه در ۳ بافت پر دم، کبد و کلیه

مقادیر p	عضو	مقایسه جفتی سطوح تغذیه
۰/۰۶۴	پر دم	جانور خورای با گیاه خورای
۰/۳۹۶	کبد	
۰/۰۹۶	کلیه	
۰/۰۲۱	پر دم	همه چیز خورای با گیاه خورای
۰/۲۸۳	کبد	
۰/۳۵	کلیه	
۰/۰۰۲	پر دم	همه چیز خورای با جانور خورای
۰/۰۰۲	کبد	
۰/۰۰۵	کلیه	
۰/۰۰۵	پر دم	سطح تغذیه جانوری و گیاهی با گیاه خورای
۰/۰۰۲	کبد	
۰/۰۳۷	کلیه	

جدول ۳ - آزمون مقایسه میانه کروسکال والیس جهت مقایسه سطوح تغذیه ای مختلف بر اساس میزان تجمع جیوه در سه اندام پر دم، کبد و کلیه

مقادیر	عضو
مربع کای = ۲۰/۳۸	پر دم
درجه آزادی = ۳	
p value = ۰/۰۰۰	
مربع کای = ۲۳/۳۸۷	کبد
درجه آزادی = ۳	
p value = ۰/۰۰۰	
مربع کای = ۱۳/۸۹۱	کلیه
درجه آزادی = ۳	
p value = ۰/۰۰۳	

سطح تغذیه نشان داد که بیشترین مقدار متعلق به جانور خواران و استفاده کنندگان از مواد جانوری و گیاهی، همه چیز خواران و گیاه خواران به ترتیب در رده های بعدی قرار می گیرند.

### بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه مقدار جیوه در کبد، کلیه و پر دم ۴۰ قطعه پرنده در اصفهان اندازه گیری شد. مقایسه مقادیر جیوه در سه عضو مورد بررسی اگرچه تفاوت معنی داری را بین سه عضو نشان نداد اما نشان داد که مقادیر جیوه در پر دم از اندام های داخلی بیشتر می باشد؛ چنانچه Furness و همکاران (۱۹۹۳) نیز بیان کرده اند که مقادیر بدست آمده در پر بیشتر از بافت های داخلی

می باشد (Furness و Greenwood، ۱۹۹۳). همچنین زمانی و همکاران (۲۰۰۹) در گاوچرانک مقادیر جیوه بدست آمده در پر دم را بدون تفاوت معنی دار بیشتر از کبد، کلیه و ماهیچه گزارش نمودند (Zamani-Ahmadmahmoodi, Esmaili-Sari, Savabieasfahani و همکاران، ۲۰۰۹). در مطالعه دیگری هم که روی سه گونه پرنده ماهی خوار در نزارهای شادگان انجام شد ترتیب مقدار جیوه بدین قرار بود: پر < کلیه < کبد < ماهیچه که مشابه تحقیق حاضر

این گونه باشد.

گروه بعدی را همه چیزخواران تشکیل می‌دهد که شامل انواع گونه‌های کلاغ، سار صورتی، سار و کاکایی صورتی می‌باشد. در این میان گونه کاکایی بیشتر آشغال خوار و مردار خوار می‌باشد و کلاغ‌ها نیز از اکثر مواد قابل استفاده جانوری و گیاهی و پسماندهای انسانی استفاده می‌کنند و ممکن است از تخم و جوجه پرندگان نیز استفاده کنند. دلیل اینکه این گروه مقادیر کمتری را نسبت به دو گروه دیگر نشان دادند شاید سهم کمتر مواد جانوری و گوشت در بین وعده‌های غذایی این گروه باشد. علاوه بر این گونه‌هایی که در گروه همه چیزخواران مطالعه شده است به جز کاکایی گونه‌های وابسته به اکوسیستم‌های آبی نیستند و احتمالاً کمتر در معرض متیل جیوه بوده‌اند.

گروه آخر در این تقسیم‌بندی گیاهخواران می‌باشند که شامل گونه‌های بلبل خرما و قمری معمولی می‌باشد که با توجه به اینکه در پایین ترین سطح تغذیه‌ای قرار دارند، همانطور که انتظار می‌رفت مقادیر حداقل جیوه در آنها وجود داشت. جیوه ثبت شده در این گروه ممکن است به دلیل استفاده از سموم آفت‌کش در مزارع کشاورزی و استفاده از دانه‌های آلوده باشد که البته اطلاعات موجود در این زمینه اندک است.

شکار پرندگان برای شکارچیان ارزش صید ورزشی و تغذیه‌ای دارد و می‌تواند نگرانی‌هایی را برای سلامتی انسان ایجاد نماید. علاوه بر این اکوسیستم‌های آبی که مصرف شرب انسانی دارند نیز در صورت آلودگی به فلزات سنگین از جمله جیوه موجب نگرانی هستند. سازمان بهداشت جهانی حداکثر میزان جذب جیوه را  $0.3$  میکروگرم بر لیتر در هفته و  $1$  میلی‌گرم بر لیتر جیوه در آب آشامیدنی را مجاز می‌داند (Keskinkan, Goksu Bas - buyuk, Forster, 2004). عناصر فلزی مانند مس و جیوه که وارد بدن انسان می‌شوند مشکلات متعددی را در بدن از جمله سیستم عصبی و دفاعی ایجاد می‌کنند. بنابراین پایش و مدیریت فلزات سنگین در محیط زیست اصفهان از جمله آب زاینده رود که مصرف شرب دارد ضروری به نظر می‌رسد. محققان نشان داده‌اند که در بیماران مبتلا به ام. اس. مقادیر فلزی نظیر جیوه و مس بالاست. مطالعات ارتباط بین بیماری ام. اس. و وجود فلزات سنگین در محیط (مانند آلومینیوم، سرب، مس، نیکل و جیوه) را نشان داده است (Kumar و Gill, 2009; Taber و Hurley, 2008). مطالعه حاضر به عنوان مطالعه‌ای مقدماتی نشان از وجود جیوه در حد قابل توجه در محیط زیست اصفهان و رودخانه زاینده رود دارد و با توجه به اینکه اصفهان به عنوان پایتخت ام. اس. ایران شناخته می‌شود بنابراین ضرورت دارد که در این زمینه مطالعات بیشتری صورت گیرد.

### منابع مورد استفاده

- 1 - Ahmadi-Golsepidi, M. (2008). Measurements of trace amounts of mercury species in environmental samples, using cold vapor atomic absorption method. Manster of Sciences Thesis. Isfahan: Isfahan University.
- 2 - Bearhop, S., Waldron, S., Thompson, D., & Furness, R. (2000). Bioamplification of mercury in great skua Catharacta skua chicks: the influence of trophic status as determined by stable isotope signatures of blood and feathers. Marine Pollution Bulletin, 40(2), 181-185.

تفاوت معنی‌داری بین سه اندام مشاهده نشد (Zamani-Ahmadmahmoodi و Esmaili-Sari, Ghasempouri, Savabieasfahani, 2009). در مطالعاتی که از پرندگان به عنوان شاخص زیستی پایش جیوه محیط استفاده می‌شود می‌توان از پر دم برای جلوگیری از صید و آسیب رساندن به پرندگان به عنوان اندام مناسب استفاده نمود. استفاده از پر برای اندازه‌گیری فلزات سنگین از جمله جیوه نسبت به سایر بافتهای پرندگان چند مزیت دارد؛ پرها به آسانی جمع‌آوری می‌شوند و نیازی به صید پرنده ندارد و نگهداری آنها آسان است، پر می‌تواند هم نقش ذخیره و هم نقش حذف فلزات سنگین را ایفا کند، مقدار فلز سنگین موجود در پر، میزان فلز موجود در خون را نیز منعکس می‌کند، زیرا پرها به رگهای خونی متصل هستند و فلزات سنگین می‌توانند از طریق خون وارد پر شوند (Ochoa-Acuna و همکاران, 2002). پریزی و جایگزینی پر با تاریخ مهاجرت و مکان در ارتباط است. مطالعات نشان می‌دهد که تا 70 درصد جیوه در پر یافت می‌شود و ارتباط زیادی بین انباشت جیوه در پر و وجود آن در سایر اندام‌های بدن وجود دارد (World Health Org - nization, 1989).

مقدار جیوه‌ای که در کبد پرندگان موجب مرگ می‌شود بین 125-49 گزارش شده است. (Thompson, 1996). میانگین بدست آمده جیوه در کبد در این تحقیق  $1.543$  ppm می‌باشد که بسیار کمتر از مقادیر فوق‌الذکر است. برای سمیت نفرونی و آسیب به کلیه مقدار 13-5 جیوه گزارش شده است (Osborn و Nicholson, 1983). مقادیر میانگین بدست آمده برای جیوه در کلیه در این تحقیق  $1.284$  ppm می‌باشد که از مقدار ذکر شده کمتر است. گرچه میانگین‌ها در هر سه عضو از حدود مشخص شده آسیب‌رسان در پرندگان کمتر است اما نتایج بدست آمده مؤید ورود جیوه به محیط زیست از منابع مختلف می‌باشد که نگران‌کننده است همچنین برخی از گونه‌ها به طور انفرادی مقادیری بیشتر از حدود مجاز را نشان داده‌اند.

نتایج حاصل از این تحقیق با مرور اجمالی بر سطوح تغذیه‌ای پرندگان نشان داد که سطح تغذیه‌ای پرنده نقش عمده‌ای در میزان تجمع جیوه در بدن پرنده دارد به گونه‌ای که جانورخواران بیشترین مقدار جیوه و گیاهخواران کمترین مقدار جیوه را در اندام‌های مورد مطالعه نشان دادند که با یافته‌های محققان دیگر در این رابطه هماهنگی دارد. پرندگان جانورخوار شامل پرستوی دریایی معمولی و صعوه گلوسیه می‌باشند که پرستوی دریایی معمولی منحصراً از ماهی تغذیه کرده و صعوه گلوسیه از حشرات و بی‌مهرگان استفاده می‌کند. پرستوی دریایی معمولی پرنده‌ای گوشتخوار است و در سطح تغذیه‌ای بالاتری قرار دارد. مطالعات نشان داده است که استفاده از جیوه در آفت‌کش‌ها، غلظت جیوه در پرندگان حشره خوار و عمدتاً خشکی‌زی را افزایش قابل توجهی داده است (Schweiger و همکاران, 2006). بنابراین صعوه گلوسیه نیز احتمالاً در معرض مقادیر بالای جیوه قرار داشته است. پرندگان استفاده‌کننده از مواد جانوری و گیاهی در این تحقیق که شامل آپچلیک تک‌زی، آپچلیک آوازخوان، گنجشک کوهی و گنجشک معمولی می‌باشند از نظر غلظت جیوه در رتبه دوم قرار دارند. در بین این گروه آپچلیک‌ها پرندگانی کنار آبی هستند و بنابراین بیشتر در معرض متیل جیوه قرار خواهند داشت و بالاترین مقادیر جیوه در این گروه نیز مربوط به این دو گونه می‌باشد. استفاده از مواد جانوری و گیاهی موجود در آب که آلوده به متیل جیوه هستند می‌تواند دلیل بالا بودن میزان جیوه در

- 3 - Beijer, K., & Jernelov, A. (1979). Methylation of mercury in aquatic environments: Elsevier, North-Holland, Amsterdam.
- 4 - Di Natale, F., Lancia, A., Molino, A., Di Natale, M., Karatza, D., & Musmarra, D. (2006). Capture of mercury ions by natural and industrial materials. *Journal of Hazardous Materials*, 132(2-3), 220-225.
- 5 - Furness, R. W., & Greenwood, J. J. D. (1993). Birds as monitors of environmental change: Chapman & Hall London.
- Gray, S. (2002). Biomagnification in marine systems: the perspective of an ecologist. *Marine Pollution Bulletin*, 45, 46-52.
- 6 - Hernández, L. M., G., G., Fernández, M., Jiménez, B., González, M. J., Baos, R., et al. (1999). Accumulation of heavy metals and As in wetland birds in the area around Doñana National Park affected by the Aznalcollar toxic spill. *Science of the Total Environment*, 242, 293-308.
- 7 - Holm, S. (1979). A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian journal of statistics*, 6, 65-70.
- 8 - Karimpour, M., Afyuni, M., & Esmaili- Sari, A. (2010). Effect of Sewage Sludge on Mercury Concentration in Soil and corn *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 14(52), 115-123.
- 9 - Keskinan, O., Goksu, M., Basibuyuk, M., & Forster, C. (2004). Heavy metal adsorption properties of a submerged aquatic plant. *Bioresource Technology*, 92(2), 197-200.
- 10 - Kojadinovic, J., Bustamante, P., Churlaud, C., Cosson, R. P., & Le Corre, M. (2007). Mercury in seabird feathers: Insight on dietary habits and evidence for exposure levels in the western Indian Ocean. *Science of the Total Environment*, 384(1-3), 194-204.
- 11 - Kumar, V., & Gill, K. D. (2009). Aluminium neurotoxicity: neurobehavioural and oxidative aspects. *Archives of Toxicology* 83(11), 965-978.
- 12 - Nicholson, J., & Osborn, D. (1983). Kidney lesions in pelagic seabirds with high tissue levels of cadmium and mercury. *Journal of Zoology*, 200(1), 99-118.
- 13 - Ochoa-Acuna, H., Sepulveda, M., & Gross, T. (2002). Mercury in feathers from Chilean birds: influence of location, feeding strategy, and taxonomic affiliation. *Marine Pollution Bulletin*, 44(4), 340-345.
- 14 - World Health Organization. (1989). Mercury-environmental aspects. *Environmental health criteria*, 86, 1-136.
- 15 - Rand, G. M. (1995). *Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate, and risk assessment*: Taylor & Francis Group.
- 16 - Savinov, V. M., Gabrielsen, G. W., & Savinova, T. (2003). Cadmium, zinc, copper, arsenic, selenium and mercury in seabirds from the Barents Sea: levels, inter-specific and geographical differences. *Science of the Total Environment*, 306, 133-158.
- 17 - Schweiger, L., Stadler, F., & Bowes, C. (2006). *Poisoning Wildlife: The Reality of Mercury Pollution*: National Wildlife Federation, Reston, Virginia, USA.
- 18 - Taber, K. H., & Hurley, R. A. (2008). Mercury exposure: effects across the lifespan. *The Journal of Neuropsychiatry & Clinical Neurosciences*, 20(4), 384-389.
- 19 - Thompson, D. (1996). Mercury in birds and terrestrial mammals. *Environmental contaminants in wildlife: interpreting tissue concentrations*, 341-356.
- 20 - Topolski, B., & Thompson, M. (2010). Digestion of tissue samples for total mercury analysis. HG-015-2.15, Department of Environmental Protection, Florida: <http://www.dep.state.fl.us/labs>.
- 21 - Zamani-Ahmadmahmoodi, R., Esmaili-Sari, A., Ghasempouri, S. M., & Savabieasfahani, M. (2009). Mercury levels in selected tissues of three kingfisher species; *Ceryle rudis*, *Alcedo atthis*, and *Halcyon smyrnensis*, from Shadegan Marshes of Iran. *Ecotoxicology*, 18(3), 319-324.
- 22 - Zamani-Ahmadmahmoodi, R., Esmaili-Sari, A., Savabieasfahani, M., & Bahramifar, N. (2009). Cattle egret (*Bubulcus ibis*) and Little egret (*Egretta garzetta*) as monitors of mercury contamination in Shadegan Wetlands of south-western Iran. *Environmental Monitoring Assessment*, 166(1), 371-377.
- 23 - Zillioux, E., Porcella, D., & Benoit, J. (1993). Mercury cycling and effects in freshwater wetland ecosystems. *Environmental toxicology and chemistry*, 12(12), 2245-2264.
- 24 - Zolfaghari, G., Esmaili-sari, A., Ghasempouri, S. M., & Kiabi, B. H. (2006). Examination of mercury concentration in the feather of 18 species of birds in southwest Iran. *Environmental Research*, 104, 258-265.
- 25 - Zoualfaghari, G. H., Esmaili-Sari, A., Ghasempouri, S. M., Baydokhti, R. R., & Hassanzade- Kiabi, B. (2009). A multispecies-monitoring study about bioaccumulation of mercury in Iranian birds (Khuzestan to Persian Gulf): Effect of taxonomic affiliation and trophic level. *Environmental Research*, 109(7), 830-836.

