

بررسی تجمع زیستی جیوه در پرندگان آبی و غیر آبی در استان اصفهان

- زهرا حسین پورمحمدآبادی: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- منصوره ملکیان*: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- نورالله میرغفاری: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۲

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۲

چکیده

جیوه یکی از فلزات سنگین سمی و پایدار در محیط است که از طرق مختلف وارد بدن زیست‌مندان می‌شود. تجمع جیوه در بدن پرندگان آثار سوء متعددی هم‌چون سمیت نفرونی، آسیب به کلیه داشته و در نهایت می‌تواند به مرگ پرنده منجر شود. در مطالعه حاضر تجمع زیستی جیوه در ۴۰ نمونه پرنده متعلق به سه راسته آبچکبک شکلان، گنجشک سانان و کبوترسانان در سه اندام کلیه، کبد و پرده در سه منطقه از استان اصفهان بررسی شد. میانگین مقادیر جیوه بر حسب ppb در پرده، کبد و کلیه در پرندگان آبی به ترتیب ۴۲۹۰، ۳۰۵۶ و ۲۷۰۴ و در اندام‌های مشابه در پرندگان غیرآبی ۷۷۰، ۸۱۶ و ۵۱۹ به دست آمد که این مقادیر در سطح ۵ درصد به صورت معنی‌دار در پرندگان آبی بیش‌تر بود. در پرندگان آبی، پرده با میانگین جیوه ۴۲۹۰ ppb بیش‌ترین و در بین پرندگان غیرآبی، کبد با میانگین ۸۱۶/۶۴ ppb بیش‌ترین مقادیر را نشان دادند. اعضای راسته آبچکبک شکلان به‌طور معنی‌دار ($p < 0.001$) بیش‌ترین مقادیر جیوه را در سه اندام مورد بررسی نشان دادند. دو خانواده پرستوهای دریایی و کاکائیان تجمع جیوه بیش‌تری در مقایسه با سایر خانواده‌ها ثبت کردند. نتایج به دست آمده در پرندگان آبی می‌تواند نشان دهنده ورود جیوه به زاینده رود از منابع مختلف باشد. بنابراین پایش و مدیریت فلزات سنگین در آب زاینده رود ضروری به نظر می‌رسد.

کلمات کلیدی: جیوه، پرندگان، زاینده رود، کبد، کلیه، پر



مقدمه

جیوه یکی از عناصر بسیار سمی و پایدار در محیط زیست است که پیامد این پایداری ورود تدریجی در منابع غذایی موجودات زنده و تجمع زیستی در طول زنجیره غذایی است. این عنصر باعث نگرانی ویژه در اکوسیستم‌های آبی است چرا که در محیط آب طی فرایند انتقال زیستی به متیل جیوه که فرم سمی آن است تبدیل می شود. آلودگی اکوسیستم‌های آبی به این ماده سمی همواره نگرانی‌هایی را در مورد سلامت و بهداشت موجودات زنده و انسان پدید آورده است. بنابراین پایش زیستی جیوه در محیط همواره مورد توجه بوده است.

پرندگان برای این مهم مناسب می باشند به دلیل این که زیست‌شناسی آن‌ها به خوبی شناخته شده است، طول عمر نسبتاً طولانی دارند و بسته به نوع گونه از سطوح مختلف زنجیره غذایی تغذیه می‌کنند. بنابراین می‌توان برای پایش جیوه در محیط زیست از آن‌ها به‌عنوان شاخص زیستی استفاده نمود و اطلاعات ارزشمندی در رابطه با پایش کیفی محیط زیست به‌دست آورد. علاوه بر این برخی از گونه‌ها عادات زیستی ویژه‌ای دارند که احتمال مواجهه آن‌ها را با آلاینده‌ها افزایش می‌دهد و در نتیجه اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق پرندگان در مقایسه با آنالیز آب یا خاک به‌تنهایی، بیش‌تر است (۶). پرندگان به‌عنوان شاخص آلودگی محیط در مقیاس محلی و منطقه‌ای و جهانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. گونه‌های مقیم یک منطقه می‌توانند سطح آلودگی محلی و پرندگان مهاجر آلودگی در مقیاس بزرگ‌تر را نشان می‌دهند (۱۶). پرندگان به طرق مختلف از جمله تماس مستقیم با آب و غذای آلوده، در معرض مواد شیمیایی و آلودگی‌های مختلف محیط زیست قرار گیرند. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد ترکیبات جیوه آلی در اندام‌های پرندگان به‌خصوص پرندگان آبی و پرندگانی که به رودخانه‌ها از نظر غذایی وابسته‌اند تجمع یافته و برای تولیدمثل و بقا آن‌ها زیان‌بار و سمی است (۲۵). برخی محققان معتقدند که جیوه فقط برای گونه‌های آبی که در آب زندگی یا تغذیه می‌کنند، خطرناک است، اما تحقیقات دلالت بر این دارد که جیوه در زیستگاه‌های زمینی هم تبدیل به متیل جیوه می‌شود. به‌عنوان مثال جیوه در خاک‌های جنگلی نیز به متیل جیوه تغییر یافته و توسط حشرات و دیگر بی‌مهرگان مانند عنکبوت‌ها جذب می‌شود. بنابراین پرندگانی که در امتداد این زنجیره غذایی تغذیه می‌کنند نیز جیوه در بدنشان افزایش می‌یابد (۱۲). پرندگانی که در نزدیک اکوسیستم‌های آبی تغذیه و یا آشیانه‌سازی

می‌کنند، از طریق تخلیه صنعتی، باران اسیدی و یا تغذیه از ماهیان و موجودات کفزی در معرض آلودگی جیوه قرار دارند. ماکیان مانند بوقلمون و قرقاول ممکن است از طریق استفاده از دانه‌های دارای پوشش جیوه در معرض آلودگی قرار بگیرند. پرندگان شکاری مانند عقاب طلایی و جغد ممکن است به‌طور ثانویه و به‌واسطه تغذیه از پستانداران و پرندگان کوچک که از مواد غذایی محتوی جیوه استفاده کرده‌اند، آلوده شوند (۶ و ۹). در پرندگانی که در دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، جویبارها و مرداب‌ها و مصب‌ها تغذیه و یا به‌عنوان زیستگاه استفاده می‌کنند، سطوح بالایی از جیوه مشاهده می‌شود. تعدادی از پرندگان نظیر اگرت بزرگ *Ardea Alba*، ماهی خورک *Megaceryle Acyon*، اکراس سفید *Eudocimus Albus* و پرستوی دریایی معمولی *Stema Hirundo* در زیستگاه‌های آبی مطالعه شده‌اند که همگی مقادیر بالایی از جیوه را نشان داده‌اند (۳۱). سطوح بالای جیوه در بدن و تأثیرات آن در تولیدمثل و رشد و پر درآوردن جوجه‌ها در پرندگان مختلف نظیر عقاب سر طاس (*Haliaeetus leucocephalus*) گزارش شده است (۱۰).

اثرات مستند شده از سطوح بالای جیوه در پرندگان شامل ۱- کاهش موفقیت تولیدمثلی: کوچک‌تر و کم‌تر شدن تخم‌ها، کاهش از تخم درآمدن جوجه‌ها، تغییر رفتار جوجه‌ها و میزان بقا، کم‌تر، کاهش مراقبت از آشیانه (۱۱، ۱۳، ۱۵ و ۱۶). ۲- رفتار غیرطبیعی نظیر تغییر رفتارهای تغذیه‌ای نظیر شکار، پناه گرفتن، گریز از خطر، کاهش زمان پرواز، افزایش پراوری و عکس‌العمل زیاد و اغراق‌آمیز هنگام ترسیدن (۷، ۲۲ و ۲۶). ۳- کم شدن وزن، ضعیف شدن پاها و بال‌ها، ضعف نخاع، مشکلات هورمونی، فلج شدن، تشنج (۱۸ و ۲۷). ۴- مرگ پرنده در مقادیر بسیار زیاد جیوه (۱۴) مشاهده شده است.

شکار پرندگان برای شکارچیان، ارزش صید ورزشی و تغذیه‌ای دارد و نگرانی‌هایی را برای سلامتی انسان ایجاد کرده است. علاوه بر این اکوسیستم‌های آبی که مصرف شرب انسانی دارند نیز در صورت آلودگی به فلزات سنگین از جمله جیوه موجب نگرانی هستند. طبق استاندارد اداره محیط زیست آمریکا حد مجاز تخلیه پساب برای جیوه کل ۱۰ میکروگرم بر لیتر و برای آب آشامیدنی ۲ میکروگرم بر لیتر اعلام کرده است (۳۱). سازمان بهداشت جهانی حداکثر میزان جذب ۰/۳ میکروگرم بر لیتر در هفته و ۱ میلی گرم بر لیتر در آب آشامیدنی را مجاز می‌داند (۱۹). اتحادیه اروپا نیز جیوه را به‌عنوان یک آلاینده مهم و خطرناک معرفی کرده و حداکثر مقدار مجاز آن در آب آشامیدنی و تخلیه پساب را به ترتیب ۱ و ۵ میکروگرم



است. هدف از این مطالعه بررسی تجمع زیستی جیوه در پرندگان آبی و غیرآبی اصفهان است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها: تعداد ۴۰

نمونه پرند متعلق به ۳ راسته ۹ تیره و ۱۴ گونه در طول زمستان سال ۱۳۸۹ و بهار سال ۱۳۹۰ به روش تصادفی صید گردید (جدول ۱). نمونه‌های مورد نظر از سه منطقه شامل دریاچه سد زاینده‌رود، سایت لندفیل اصفهان و تصفیه‌خانه شاهین شهر جمع‌آوری گردید. دریاچه سد زاینده‌رود مهم‌ترین منبع آبی استان به حساب می‌آید که آب شرب، صنایع و کشاورزی را تامین می‌کند. دو منطقه لندفیل اصفهان و تصفیه‌خانه شاهین شهر از منابع بالقوه ورود فلزات سنگین به آب و خاک هستند که به واسطه دسترسی آسان به آب و غذا به محل تجمع پرندگان تبدیل شده‌اند. موقعیت مناطق نمونه‌برداری در شکل ۱ آورده شده است. تعداد نمونه‌ها بین ۱ تا ۹ نمونه از هر گونه متغیر بود (جدول ۱). نمونه‌ها به آزمایشگاه محیط‌زیست دانشگاه صنعتی اصفهان منتقل شده و وزن بدن این پرندگان توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم ثبت شد. نمونه‌ها تشریح شده و اعضای کبد و کلیه هر کدام خارج گردید و ۲-۳ پر دم از هر نمونه جدا شد. مطالعات نشان داده است که پره‌های دم برای ارزیابی فلزات سنگین در پرندگان مناسب‌تر است و میزان آلودگی را بهتر نشان می‌دهد (۳۶).

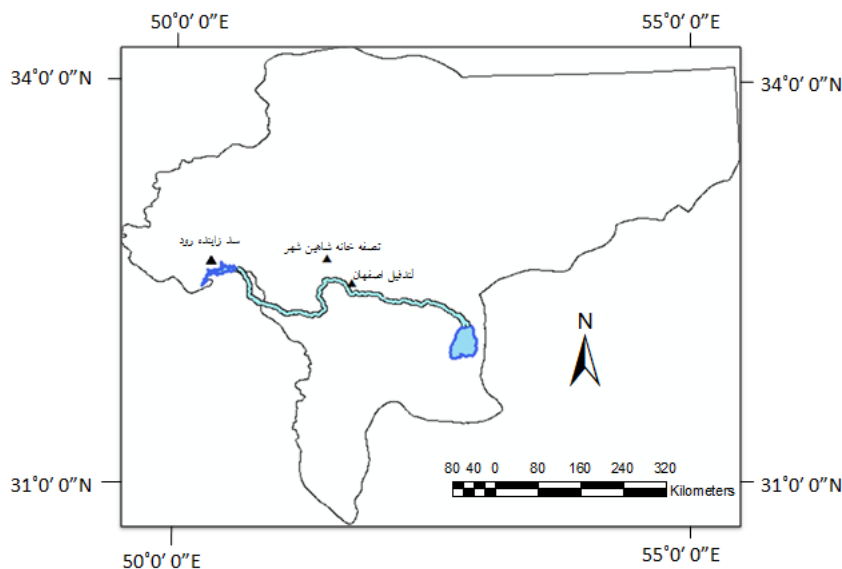
بر لیتر معرفی کرده است (۱۲). فلزی مانند مس و جیوه که وارد بدن انسان می‌شوند مشکلات متعددی را در بدن از جمله سیستم عصبی و دفاعی ایجاد می‌کنند. ارتباط بیماری ام‌اس و وجود سموم در محیط مانند آلومینیوم، سرب، مس، نیکل و جیوه توسط محققان بررسی شده است و در مبتلایان به ام‌اس. ازدیاد فلزات سنگین از جمله جیوه در بدن مشهود بوده است (۲۰ و ۲۸).

استان اصفهان یکی از استان‌های مهم صنعتی کشور است. اکوسیستم آبی عمده استان رودخانه زاینده‌رود است که آب آن منبع اصلی آب شرب را تشکیل می‌دهد. جیوه از منابع مختلف از جمله پساب صنایع و کارگاه‌ها، استفاده از لجن فاضلاب در کشاورزی، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، استفاده از آفت‌کش‌ها و محل‌های دفن زباله وارد خاک و آب می‌شود، اما پایش زیستی جیوه در محیط‌زیست اصفهان تاکنون انجام نگرفته است. در یک مطالعه خاک مناطق مختلف اصفهان نمونه‌برداری و در شرایط گلخانه برای کوددهی گیاه ذرت از لجن فاضلاب استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار فلز سنگین جیوه در خاک و بخش‌های مختلف گیاه نظیر ساقه، ریشه و دانه گیاه می‌گردد (۴). اندازه‌گیری جیوه در هوا و ذرات معلق نشان داد که مقادیر جیوه گازی شهر اصفهان به‌طور متوسط ۳۲ نانوگرم بر مترمکعب و جیوه موجود در ذرات معلق اتمسفر به‌طور متوسط ۱/۰۴ نانوگرم بر مترمکعب می‌باشد (۱). ورود جیوه به اکوسیستم‌های آبی و تجمع آن در بدن موجودات زنده در اصفهان مورد بررسی و پایش قرار نگرفته

جدول ۱: مشخصات و رده‌بندی نمونه‌های مورد استفاده در این مطالعه

تعداد نمونه	نام فارسی	نام گونه	تیره	راسته
۲	پرستوی دریایی معمولی	<i>Sterna hirundo</i>	Sternidae	پرستوی دریاییان
۳	آبچلیک تک‌زی	<i>Tringa ochropus</i>	Scolopacidae	آبچلیک‌سانان Charadriiformes
۸	آبچلیک آوازخوان	<i>Actitis hypoleucos</i>		
۱	کاکایی صورتی	<i>Larus genei</i>	Laridae	کاکاییان
۳	صعوه گلوسیه	<i>Prunella atrogularis</i>	Prunellidae	صعویان
۱	گنجشک خانگی	<i>Passer domesticus</i>	Passeridae	گنجشکیان
۲	گنجشک کوهی	<i>Petronia petronia</i>		
۱	بلبل خرما	<i>Pycnonotus leucotis</i>	Pyconotidae	بلبل خرمایان
۱	سار صورتی	<i>Sturnus roseus</i>	Stiridae	گنجشک‌سانان Passeriformes
۱	سار	<i>Sturnus vulgaris</i>		
۲	کلاغ ابلق	<i>Corvus corone</i>		
۲	کلاغ سیاه	<i>Corvus frugilegus</i>	Corvidae	کلاغیان
۹	زاغی	<i>Pica pica</i>		
۴	قمری خانگی	<i>Streptopelia senegalensis</i>	Columbidae	راسته کبوترسانان Columbiformes





شکل ۱: نقشه مناطق نمونه برداری در اصفهان

گردید. حد تشخیص تجربی دستگاه نیز با تزریق 2 ppb جیوه و قرائت مقدار جیوه هفت مرتبه تکرار شد و سپس انحراف استاندارد این هفت بار قرائت محاسبه گردید و حد تشخیص تجربی دستگاه به دست آمد. همچنین درصد بازیابی برای نمونه‌ها محاسبه شد. 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 به دست آمد (۳۰):

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

R = درصد بازیابی

C_{sample} = غلظت نمونه‌ای که مقدار مشخصی جیوه به آن اضافه شد

C = غلظت اولیه نمونه

C_{spiked} = غلظت معادل میزانی که به بافت اضافه شد.

درصد بازیابی بین ۷۲/۲۴ تا ۱۰۳/۳۸ درصد به دست آمد.

حد تشخیص تجربی دستگاه ۰/۷۹ ppb محاسبه شد. بنابراین مقادیر کم‌تر از این مقدار زیر حد تشخیص دستگاه بوده و در محاسبات آماری صفر در نظر گرفته شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: بعد از به دست آوردن مقادیر

جیوه در نمونه‌ها، تجزیه و تحلیل‌های آماری مورد نیاز توسط

پرها پس از انتقال به آزمایشگاه برای رفع آلودگی احتمالی توسط دترجنت و آب مقطر شسته شدند. همه نمونه‌های کبد، کلیه و پر دم در آن در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت قرار داده شدند تا کاملاً خشک شده و اندازه‌گیری در وزن خشک آن‌ها انجام شود. سپس هضم نمونه‌ها و اندازه‌گیری جیوه در نمونه‌ها طبق روش استاندارد HG-016-2.15 انجام گرفت (۲۹).

برای هضم نمونه‌ها از اسید سولفوریک (H_2SO_4) ۹۸٪ و اسید نیتریک (HNO_3)، ۶۷٪ استفاده شد. ظرف محتوی نمونه به مدت ۴۵ دقیقه روی هات پلیت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از اطمینان از هضم کامل بافت، محلول پرمنگنات پتاسیم، $KMnO_4$ ، ۶٪ و محلول پرسولفات پتاسیم، $K_2S_2O_8$ ۶٪ به دقت به همه ظروف نمونه اضافه شد و روی هات پلیت (به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد تا واکنش پرمنگنات پتاسیم و پرسولفات پتاسیم کامل شود و پس از سرد شدن، نمونه‌ها جهت انجام آنالیز شیمیایی آماده شوند.

اندازه‌گیری جیوه در نمونه‌ها: نمونه‌های هضم شده با

استفاده از اسپکترومتری جذب اتمی بخار سرد جیوه (CVAAS) مدل AAAnalyst 700 ساخت شرکت پرکین المر آنالیز شد. ابتدا محلول بلانک و سپس مقدار جیوه موجود در تک تک نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی با دوبار تکرار اندازه‌گیری

نشان‌دهنده پایین بودن میزان همبستگی می‌باشد و منفی بودن ضرایب نشانه رابطه معکوس وزن با مقدار جیوه است.

نمونه‌های صید شده در این مطالعه شامل راسته آبچکیک شکلان که گونه‌های آبی (۴ گونه و ۱۴ نمونه) را تشکیل می‌دهند و دو راسته گنجشک‌سانان و کبوترسانان (۱۰ گونه و ۲۶ نمونه) که از نظر زیستگاه و تغذیه وابسته به آب نمی‌باشند (جدول ۱). اعضای راسته آبچکیک‌شکلان به‌طور معنی‌دار بیش‌ترین مقادیر جیوه را در سه اندام مورد بررسی نشان دادند ($p < 0/0001$) (شکل ۲). مقایسه مقادیر جیوه در ۹ خانواده با استفاده از آزمون دانت‌تی نشان داد که دو خانواده پرستوهای دریایی و کاکائیان در مقایسه با سایر خانواده‌ها مقادیر بالاتری از جیوه را در اندام‌های خود نشان دادند ($p < 0/0001$) (شکل ۳).

در بین گونه‌های مورد بررسی کمترین مقدار جیوه در در پر دم و کلیه متعلق به بلبل خرما و گنجشک کوهی و در کبد کلاغ سیاه ثبت شد که وابسته به اکوسیستم آبی نبوده و از مواد گیاهی تغذیه می‌کنند. بیش‌ترین مقدار جیوه ثبت شده در کبد در آبچلیک آوازخوان و بیش‌ترین مقدار جیوه در پر دم و کلیه در پرستوی دریایی ثبت شد که پرندگان آبی و ماهی‌خوار هستند. در پرندگان آبی بین سه عضو، پر دم با مقدار میانگین جیوه ۴۲۹۰ ppb بیش‌ترین مقدار را داراست و در بین پرندگان غیرآبی نیز کبد با مقدار میانگین جیوه ۸۱۶/۶۴ ppb بیش‌ترین مقدار را دارد (جدول ۲). مقادیر جیوه ثبت شده نشان داد که در پرندگان وابسته به محیط آب مقادیر جیوه بیش‌تری در سه عضو مورد مطالعه (پر دم، کبد و کلیه) نسبت به اعضا مشابه در پرندگان غیرآبی به‌دست آمد.

نرم‌افزار SPSS انجام شد. مقایسات آماری سه اندام مورد استفاده یعنی پر دم، کبد و کلیه انجام شد. نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کلموگروف-اسمیرونوف (Kolmogorov Smirnov) آزمون شد. به‌دلیل نرمال نبودن داده‌ها و عدم برابری واریانس‌ها از آزمون‌های غیرپارامتری من‌ویتنی (Mann-Whitney) و دانت‌تی (Dunnnett's T3) استفاده شد. برای آزمون همبستگی بین وزن پرندگان با میزان غلظت جیوه موجود در سه اندام مطالعه شده، ابتدا شکل پراکنش مقادیر جیوه در هر عضو و وزن پرنده رسم شد و خطی بودن مقادیر پراکنش مورد بررسی قرار گرفت و میزان همبستگی با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن بررسی شد.

نتایج

تعداد ۴۰ پرنده در این مطالعه صید شد که وزن آن‌ها بین ۱۶/۱۶ تا ۴۳۰/۰۷ گرم متغیر بود. سبک‌ترین بلبل خرما و سنگین‌ترین کلاغ سیاه بود. بررسی همبستگی بین مقادیر جیوه در سه عضو مورد مطالعه و وزن بدن پرنده نشان داد که بین مقادیر جیوه موجود در کبد، کلیه و پر دم با وزن همبستگی وجود دارد، اما همبستگی خطی نیست. در هیچ‌یک از مقادیر به‌دست آمده در هر یک از اعضا کم‌ترین مقدار مربوط به کوچک‌ترین گونه و بیش‌ترین مقدار مربوط به بزرگ‌ترین گونه از نظر وزنی نمی‌باشد. ضرایب همبستگی اسپیرمن بین وزن با مقادیر جیوه در پر دم، کبد و کلیه به‌ترتیب برابر است با: $-0/245$ و $-0/231$ و $-0/036$ و با توجه به مقادیر p متناظر ($0/064$ ، $0/084$ و $0/412$) این ضرایب همبستگی در سطح $0/05$ معنی‌دار نیست. نزدیک بودن ضرایب همبستگی به صفر

جدول ۲: مقادیر جیوه (ppb) در سه اندام پر دم، کلیه و کبد در پرندگان آبی و غیرآبی

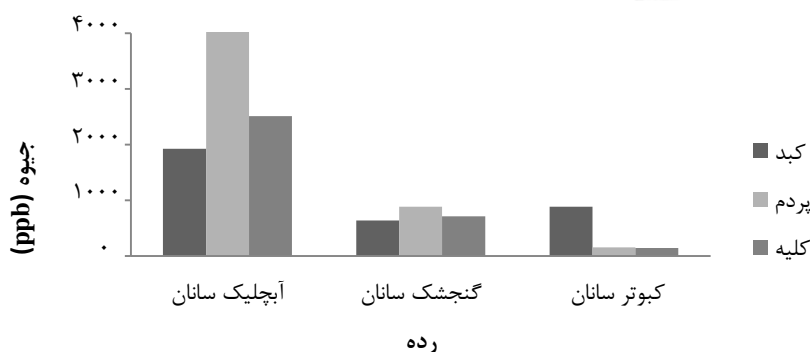
وابستگی به آب	اندام	تعداد	میانگین	انحراف معیار	میانه
آبی	پر دم	۱۴	۴۲۹۰	۲۵۱۳/۸۴	۳۹۲۹
	کبد	۲۶	۷۷۰/۴۷	۱۵۴۵/۳۶	۲۳۸/۷۲
غیرآبی	پر دم	۱۲	۳۰۵۶/۳	۲۶۳۶/۶۹	۲۴۲۳/۴
	کبد	۲۶	۸۱۶/۶۴	۱۲۵۵/۰۶	۲۳۵/۶۲
کلیه	پر دم	۱۴	۲۷۰۴	۳۰۳۴/۱۳	۶۵۵/۴۴
	کبد	۲۶	۵۱۹/۴۳	۸۰۱/۶۷	۲۳۷/۴



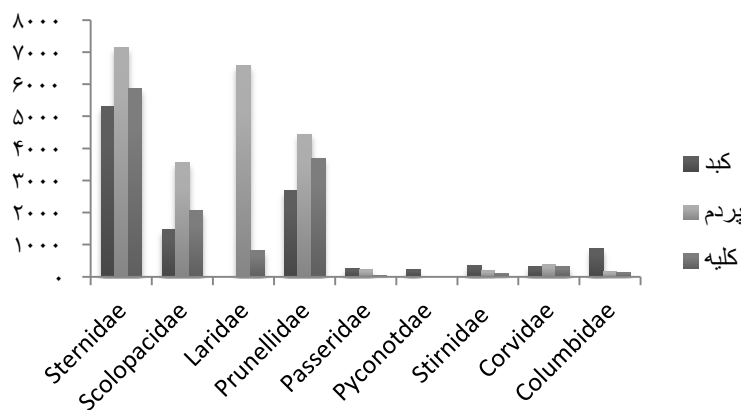
این اعضا با تفاوت معنی‌داری مقادیر جیوه در پرندگان آبی بیش‌تر از پرندگان غیرآبی می‌باشد.

در بین سه عضو مورد مطالعه پر دم با میانگین $2002/30$ ppb کم‌ترین مقدار را نشان داد. بنابراین مقدار جیوه در سه عضو مطالعه شده به‌ترتیب شامل: پر دم < کبد < کلیه بود.

برای مقایسه برابری میان‌ها مقادیر جیوه در بین سه عضو به تفکیک آبی و غیرآبی از آزمون غیرپارامتریک من‌ویتنی استفاده شد (جدول ۳). در بین هر سه عضو پرندگان آبی مقادیر بیش‌تر و معنی‌داری از جیوه را نسبت به پرندگان غیرآبی نشان دادند. بنابر نتایج به‌دست آمده از این آزمون در هر سه عضو فرض برابری مقادیر جیوه در سطح $0/05$ رد می‌شود و در تمام



شکل ۲: میانگین میزان جیوه ثبت شده در سه راسته مورد مطالعه در سه اندام کبد، کلیه و پر دم



شکل ۲: میانگین میزان جیوه ثبت شده در ۹ خانواده مورد مطالعه در سه اندام کبد، کلیه و پر دم

جدول ۳: نتایج آزمون مقایسه میانه من‌ویتنی به‌منظور مقایسه وابستگی پرندگان به آب براساس میزان تجمع جیوه در اندام پرندگان

مقادیر آزمون من‌ویتنی	اندام
U= ۲۵ Z= -۴/۴۵۴ p=۰/۰۰۰	پر دم
U= ۲۰ Z= -۴/۳۲۷ p=۰/۰۰۰	کبد
U= ۴۸ Z= -۳/۸۴ p=۰/۰۰۰	کلیه

بحث

که پرندگان آبی مقادیر بیش‌تری از جیوه را از طریق غذا دریافت نمایند که در اندام‌های بدن ذخیره می‌شود.

در این مطالعه بیش‌ترین مقدار جیوه در پر دم پرندگان ثبت شد. Furness و همکاران (۱۹۹۳) بیان کرده‌اند که مقادیر به‌دست آمده در پر بیش‌تر از بافت‌های داخلی می‌باشد (۱۷). Zang و همکاران (۲۰۰۶) نیز در تالاب‌های چین بیش‌ترین تجمع زیستی جیوه در اگرگ کوچک را در پر این پرنده گزارش نمودند (۳۵). مقادیر جیوه به‌دست آمده در پر دم در گونه گاوچرانک بدون تفاوت معنی‌دار بیش‌تر از کبد، کلیه و ماهیچه گزارش شد (۳۴). در مقایسه مقادیر جیوه در ۳ گونه ماهیخورد در تالاب شادگان نیز بیش‌ترین مقادیر جیوه در پر هر سه پرنده گزارش شد (۳۳). بنابراین پر، یک بافت مناسب برای ارزیابی غلظت جیوه در پرندگان است. 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 (۲۳).

پر ریزی و جایگزینی پر با تاریخ مهاجرت و مکان در ارتباط است. مطالعات نشان می‌دهد که تا ۷۰٪ جیوه در پر یافت می‌شود و ارتباط زیادی بین انباشت جیوه در پر و وجود آن در سایر اندام‌های بدن وجود دارد (۲۴).

مقدار جیوه‌ای که در کبد موجب مرگ می‌شود بین ۱۲۵-۴۹ ppm گزارش شده است (۲۹). میانگین به‌دست آمده جیوه در کبد در این تحقیق ۱۵۴۳ ppb می‌باشد که بسیار کم‌تر از مقادیر فوق‌الذکر است. میانگین‌های به‌دست آمده در کبد برای پرندگان آبی و غیرآبی به‌ترتیب ۳۰۵۶/۳۰ ppb و ۸۱۶/۶۴ ppb است. که این میانگین‌ها نیز از حدود بیان شده کم‌تر می‌باشند. برای سمیت نفرونی و آسیب به کلیه مقدار ۱۳-۵ ppm جیوه گزارش شده است (۲۱). مقادیر میانگین به‌دست آمده برای جیوه در کلیه در این تحقیق ۱۲۸۴ ppb می‌باشد که از مقدار ذکر شده کم‌تر است. مقادیر به‌دست آمده برای کلیه برای پرندگان آبی و غیرآبی نیز عبارت است از: ۲۷۰۴ ppb و ۵۱۹/۳۴. که این مقادیر نیز در هر دو گروه کم‌تر از محدوده ذکر شده است. به‌طور کلی می‌توان گفت گرچه میانگین‌ها در هر سه عضو از حدود مشخص شده آسیب‌رسان در پرندگان کم‌تر است اما نتایج به‌دست آمده در پرندگان آبی نشان‌دهنده وجود

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد پرندگان خشکی‌زی در مقایسه با پرندگان آبی از سطوح پایین‌تری از مقادیر جیوه برخوردار هستند. مقادیر جیوه در بدن پرنده رابطه معنی‌داری با وزن پرنده ندارد. در گونه‌های جغد رابطه منفی بین میزان تجمع جیوه در اندام‌ها و اندازه جثه مشاهده شد به‌طوری‌که جغدهای کوچک‌جثه بیش‌ترین مقادیر جیوه را در اندام‌های خود نشان دادند (۵). Burger و همکاران (۲۰۰۰) در مطالعه روی گونه‌های پرندگان دریایی عکس این مطلب را نشان دادند و کم‌ترین مقادیر جیوه مربوط به کوچک‌ترین گونه و بیش‌ترین مقادیر سطوح مربوط به بزرگ‌ترین گونه بود (۹). پرندگان بزرگ‌جثه معمولاً نیاز غذایی بیش‌تری داشته و یا از طعمه‌های بزرگ‌تری استفاده می‌کنند که تجمع جیوه بیش‌تری دارند. در مطالعه Zamani-Ahmadmahmoodi و همکاران (۲۰۱۰) روی گونه‌های کنارآبی، گونه چوپا (*Himantopus himantous*) که دارای جثه بزرگ‌تر و پاهای بلندتری در مقایسه با خروس کولی دم‌سفید (*Vanellus leucurus*) و دیدومک (*Hoplopterus indicus*) می‌باشد به‌واسطه دسترسی به آب‌های عمیق‌تر و طعمه‌های بزرگ‌تر بیش‌ترین مقدار جیوه را در اندام‌های خود نشان داد (۳۲). Burger و Gochfeld (۱۹۹۳) نیز مقادیر بیش‌تری از جیوه را در اگرگ بزرگ در مقایسه با گونه‌های کوچک‌جثه نظیر حواصیل هندی، حواصیل شب و گاوچرانک گزارش نمودند (۸). قاسمپوری و همکاران (۱۳۸۵) نشان دادند که پرندگان خشکی‌زی در مقایسه با پرندگان آبی از سطوح پایین‌تری از مقادیر جیوه برخوردار بودند که افزایش جیوه در ارتباط با وابستگی غذایی در گونه‌های وابسته به اکوسیستم‌های آبی می‌باشد (۳). ذوالفقاری و همکاران (۱۳۸۵) نیز مقادیر جیوه را در پرندگان رودخانه‌ای بیش‌تر از پرندگان غیررودخانه‌ای گزارش کردند (۲). بررسی غلظت جیوه در پر ۱۸ گونه از پرندگان دریایی، ساحلی، رودخانه‌ای و غیررودخانه‌ای ایران نشان‌دهنده یک الگوی افزایش جیوه از پرندگان غیررودخانه‌ای به پرندگان دریایی بود به‌گونه‌ای که مقدار جیوه در پرندگان دریایی سه برابر بقیه پرندگان بود (۳۶). به‌نظر می‌رسد که وجود مقادیر بیش‌تر جیوه در پرندگان وابسته به اکوسیستم‌های آبی ناشی از این است که پرندگان آبی بیش‌تر در معرض متیل جیوه قرار دارند که در اکوسیستم‌های آبی طی فرایند متیلاسیون از جیوه معدنی حاصل می‌شود. علاوه بر این استفاده از مواد جانوری و موجودات بستر رودخانه‌ها و اکوسیستم‌های آبی باعث می‌شود



- Environmental Contamination and Toxicology. Vol. 25, No. 3, pp: 322-327.
9. **Burger, J. and Gochfeld, M., 2000.** Metal levels in feathers of 12 species of seabirds from Midway Atoll in the northern Pacific Ocean. The Science of the total environment. Vol. 257, No. 1, pp: 37-52.
 10. **DeSorbo, C. and Evers, D., 2005.** Evaluating exposure of Maine's Bald Eagle population to mercury: assessing impacts on productivity and spatial exposure patterns. Report BRI 2005-08. BioDiversity Research Institute. Gorham, USA.
 11. **Desorbo, C.R.; Taylor, K.M.; Kramar, D.E.; Fair, J.; Cooley, J.H.; Evers, D.C.; Hanson, W.; Vogel, H.S. and Atwood, J.L., 2007.** Reproductive advantages for common loons using rafts. The Journal of wildlife management. Vol. 71, No. 4, pp: 1206-1213.
 12. **Di Natale, F.; Lancia, A.; Molino, A.; Di Natale, M.; Karatza, D. and Musmarra, D., 2006.** Capture of mercury ions by natural and industrial materials. Journal of Hazardous Materials. Vol. 132, No. 2-3, pp: 220-225.
 13. **Evers, D.; Taylor, K.; Major, A.; Taylor, R.; Poppenga, R. and Scheuhammer, A., 2003.** Common loon eggs as indicators of methylmercury availability in North America. Ecotoxicology. Vol. 12, No. 1-4, pp: 69-81.
 14. **Facemire, C. and Chlebowski, L., 1991.** Mercury contamination in a Wood Stork (*Mycteria americana*) from west-central Florida. U.S. Fish and Wildlife Service. publication number. VBFO-91-CO3; Vero Beach, Florida.
 15. **Frederick, P.C.; Spalding, M.G. and Dusek, R., 2002.** Wading birds as bioindicators of mercury contamination in Florida, USA: Annual and geographic variation. Environmental toxicology and chemistry. Vol. 21, No. 1, pp: 163-167.
 16. **Frederick, P.C.; Spalding, M.G.; Sepälveda, M.S.; Williams, G.E.; Nico, L. and Robins, R., 1999.** Exposure of great egret (*Ardea albus*) nestlings to mercury through diet in the Everglades ecosystem. Environmental toxicology and chemistry. Vol. 18, No. 9, pp: 1940-1947.
 17. **Furness, R.W. and Greenwood, J.D., 1993.** Birds as Monitors of Environmental Change. Chapman & Hall, London. 356 P.
 18. **Heath, J.A. and Frederick, P.C., 2005.** Relationships among mercury concentrations, hormones, and nesting effort of white ibises (*Eudocimus albus*) in the Florida Everglades.
- جیوه در آب زاینده رود می‌باشد که نگران کننده است. بنابراین پایش و مدیریت فلزات سنگین در آب زاینده رود که مصرف شرب دارد ضروری به نظر می‌رسد.
- ### منابع
۱. احمدی گلسپیدی، م.، ۱۳۸۷. اندازه‌گیری مقادیر ناچیز گونه‌های مختلف جیوه در نمونه‌های محیطی (آب و هوا) به روش جذب اتمی بخار سرد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان. ۷۸ صفحه.
 ۲. ذوالفقاری، ق.؛ اسماعیلی ساری، ع.؛ قاسمپوری، س.م. و حسن‌زاده کیایی، ب.، ۱۳۸۵. بررسی غلظت جیوه در پر پرندگان دریایی، ساحلی، رودخانه‌ای، و غیررودخانه ای ایران، استان خوزستان تا سواحل خلیج فارس. سومین همایش ملی بحران‌های زیست محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن‌ها. اهواز.
 ۳. قاسمپوری، س.م.؛ اسماعیلی ساری، ع. و قاسم‌آبادی، ع.، ۱۳۸۵. مطالعه مقادیر جیوه در پر ۷ نوع از پرندگان گوشتخوار تاکسیدرمی شده از موزه تاریخ طبیعی ایران سازمان حفاظت محیط زیست. اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست. تهران.
 ۴. کریم‌پور، م.؛ افیونی، م. و اسماعیلی ساری، ع.، ۱۳۸۹. اثر لجن فاضلاب بر غلظت جیوه خاک و گیاه ذرت. مجله علوم آب و خاک. شماره ۵۲، صفحات ۱۱۵ تا ۱۲۳.
 5. **Aliabadian, M.; Ghasempouri, S.M.; Dahmardeh, B. and Habibi, S., 2008.** Relationship between mercury concentration and body size in 5 species of owls. Iran World Owl Conference. Groningen, The Netherlands.
 6. **Battaglia, A.; Ghidini, S. Campanini, G. and Spaggiari, R., 2005.** Heavy metal contamination in little owl (*Athene noctua*) and common buzzard (*Buteo buteo*) from northern Italy. Ecotoxicology and environmental safety, Vol. 60, No. 1, pp: 61-66.
 7. **Bouton, S.N.; Frederick, P.C.; Spalding, M.G. and McGill, H., 1999.** Effects of chronic, low concentrations of dietary methylmercury on the behavior of juvenile great egrets. Environmental toxicology and chemistry. Vol. 18, No. 9, pp: 1934-1939.
 8. **Burger, J. and Gochfeld, M., 1993.** Heavy metal and selenium levels in feathers of young egrets and herons from Hong Kong and Szechuan, China. Archives of



29. **Thompson, D., 1996.** Mercury in birds and terrestrial mammals. In: Environmental Contaminants in Wildlife: Interpreting Tissue Concentrations. Edited by WN Beyer, GH. Heinz: and AW Redmon-Norwood. SETAC Special Publication Series, Lewis Publishers. Boca Raton, FL. pp: 341-356.
30. **Topolski, B. and Thompson, M., 2010.** Digestion of tissue samples for total mercury analysis. HG-015-2.15, Department of Environmental Protection, Florida.
31. **USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2001.** National Primary Drinking Water Regulations; Arsenic and Clarifications to Compliance and New Source Contaminants Monitoring. Federal Register. Vvl. 66, No. 14, pp: 6975- 7066.
32. **Zamani Ahmadmoodi, R.; Esmaili Sari, A.; Ghasempouri, S.M. and Bahramifar, N., 2010.** Mercury pollution in three species of waders from Shadegan wetlands at the head of the Persian Gulf. Bulletin of Environmental Contamination Toxicology. Vol. 84, No. 3, pp: 326-330.
33. **Zamani Ahmadmoodi, R.; Esmaili Sari, A.; Ghasempouri, S.M. and Savabieasfahani, M., 2009.** Mercury levels in selected tissues of three kingfisher species; *Ceryle rudis*, *Alcedo atthis*, and *Halcyon smyrnensi*, from Shadegan Marshes of Iran. Ecotoxicology. Vol. 18, No. 3, pp: 319-324.
34. **Zamani Ahmadmoodi, R.; Esmaili Sari A.; Savabieasfahani, M. and Bahramifar, N., 2009.** Cattle egret (*Bubulcus ibis*) and Little egret (*Egretta garzetta*) as monitos of mercury contamination in Shadegan Wetlands of south-western Iran. Environmental Monitoring Assessment. Vol. 166, No. 1-4, pp: 371-377.
35. **Zhang, Y.; Ruan, L.; Fasola, M.; Boncompagni, E.; Dong, Y. and Dai, N.; Gandini, C.; Orvini, E. and Ruiz, X., 2006.** Little Egrets (*Egretta garzetta*) and trace-metal contamination in wetlands of China. Environmental Monitoring and Assessment. Vol. 118, No. 1-3, pp: 355-368.
36. **Zolfaghari, G.; Esmaili sari A.; Ghasempouri, S.M. and Kiabi, B.H., 2006.** Examination of mercury concentration in the feather of 18 species of birds in southwest Iran. Environmental Research. Vol. 104, No. 2, pp: 258-265.
- The Auk. Vol. 122, No. 1, pp: 255-267.
19. **Keskinkan, O.; Goksu, M.Z.; Basibuyuk, M. and Forster, C.F., 2004.** Heavy metal adsorption properties of a submerged aquatic plant (*Ceratophyllum demersum*). Bioresource Technology. Vol. 92, No. 2, pp: 197-200.
20. **Kumar, V. and Gill, K.D., 2009.** Aluminium neurotoxicity: neurobehavioural and oxidative aspects. Archives of Toxicology. Vol. 83, No. 11, pp: 965-978.
21. **Nicholson, J.K. and Osborn, D., 1983.** Kidney lesions in pelagic seabirds with high tissue levels of cadmium and mercury. Journal of Zoology. Vol. 200, No. 1, pp: 99-118.
22. **Nocera, J.J. and Taylor, P.D., 1998.** In situ behavioral response of common loons associated with elevated mercury (Hg) exposure. Conservation Ecology. Vol. 2, No. 2, pp: 10-22.
23. **Ochoa-Acuna, H.; Sepulveda, M.S. and Gross, T.S., 2002.** Mercury in feathers from Chilean birds: influence of location, feeding strategy, and taxonomic affiliation. Marine Pollution Bulletin. Vol. 44, No. 4, pp: 340-345.
24. **IPCS (International Programme on Chemical Safety), 1989.** Environmental Health Criteria 86, Mercury -Environmental Aspects. World Health Organization, Geneva. pp:1-136.
25. **Savinov, V.M.; Gabrielsen, G.W. and Savinova, T.N., 2003.** Cadmium, zinc, copper, arsenic, selenium and mercury in seabirds from the Barents Sea: levels, interspecific and geographical differences. The Science of the Total Environment. Vol. 306, No. 1-3, pp: 133-158.
26. **Sepulveda, M.S.; Williams, G.E.; Frederick, P.C. and Spalding, M.G., 1999.** Effects of mercury on health and first-year survival of free-ranging great egrets (*Ardea albus*) from southern Florida. Archives of environmental contamination and toxicology. Vol. 37, No. 3, pp: 369-376.
27. **Spalding, M.G.; Frederick, P.C.; McGill, H.C.; Bouton, S.N.; Richey, L.J.; Schumacher, I.M.; Blackmore, C.G. and Harrison, J., 2000.** Histologic, neurologic, and immunologic effects of methylmercury in captive great egrets. Journal of Wildlife Diseases. Vol. 36, No. 3, pp: 423-435.
28. **Taber, K.H. and Hurley, R.A., 2008.** Mercury exposure: effects across the lifespan. The Journal of Neuropsychiatry & Clinical Neurosciences. Vol. 20, No. 4, pp: 384-389.

