نشریه دامپزشکی
در
پژوهش و سازندگی شماره ۱۰۹ زمستان ۱۳۹۴
DOI: 10.22034/vj.2015.103024

ارزیابی غلظت فلزات در بافت‌های مختلف جرد ایرانی با استفاده از روش آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)

• **امیرحسین حمیدیان (نویسنده مسئول)**
استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
• **منوچهر خزاعی**
دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
• **افشین علیزاده شعبانی**
استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
• **سهراب اشرفی**
استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
• **سیدعلی اصغر میرجلیلی**
کارشناس ارشد بهداشت، ایمنی و محیط زیست، شرکت ملی صنایع مس ایران، طرح معادن مس تفت
• **عصمت اسمعیل زاده**
پژوهشگر محیط زیست، مجتمع مس سرچشمه، امور تحقیق و توسعه
تاریخ دریافت: اسفند ماه۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: دی ماه ۱۳۹۳
Email: a.hamidian@ut.ac.ir

چکیده

فرایندهـای صنعتـی مختلف مقادیر بالایی از فلزات را تولید می‌کنند و از این طریق بر اکوسیسـتم‌های طبیعی،گیاهان و جانوران تأثیر می‌گذارند. در نتیجه تعیین مقادیر آن‌ها به دلیل اثر تجمعی که در بافت‌های مختلف جانوران دارند، امر بسـیار مهمی تلقی می‌شود. جوندگان به دلیل جثه کوچکی که نسبت به پستانداران بزرگ جثه دارند دارای میزان متابولیسم بالاتری نسبت به آن‌ها هستند در نتیجه بیشتر در معرض آلاینده‌های محیطی قرار می‌گیرند. در این مطالعه سعی شده است که با روش آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی که یک روش آماری چند متغیره اسـت، غلظت فلزات آلومینیوم، مس، روی، آهن، سـرب، کادمیم، کبالت، سدیم، منیزیم، پتاسـیم، کلسـیم، کروم، نیکل، استرانسیم در بافت‌های کبد، مو، قلب و استخوان ران جرد ایرانی بررسی شود. نمونه‌ها با اسـتفاده از تله فنری در تابسـتان ۱۳۹۱ از محدوده معدن مس دره زرشـک جمع آوری گردید. غلظت فلزات در بافت‌های مختلف با روش هضم مرطوبو با دسـتگاه ICP-OES اندازه‌گیری شـد. غلظت فلزات کادمیم، کبالت وسرب در نمونه ها زیر حد تشخیص دستگاه بودند. سه مؤلفه‌ی اصلی از آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استخراج شد که در مجموع حدود ۸۸ درصد از واریانس کل را توضیح می‌دادند. فلزات کلسیم، سدیم، روی، منیزیم، پتاسیم و استرانسیم با مؤلفه اول، فلزات آهن، نیکل، کروم و آلومینیوم با مؤلفه دوم و فلز مس با مؤلفه سـوم همبسـتگی بالایی را نشـان دادند. تمامی فلزات قرار گرفته در مؤلفه اول به غیر از روی در بافت استخوان و فلزات قرار گرفته در مؤلفه دوم و سوم در بافت مو تجمع بیشتری داشتند.

کلمات کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، جرد ایرانی، فلز، بافت، دره زرشک

● Veterinary Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 109 pp: 10-17

Assessmentof metal concentrations in different tissues of Persian jird by using statistical method of Principal Component Analysis (PCA)

By: Hamidian A.H., Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran; Khazaee M., M.Sc. Student of environmental science, Faculty of Natural Resources, University of Tehran; Alizadeh Shaabani, A., Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran; Ashrafi, S., Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran; Mirjalili, S.A.A., M.Sc. HSE, Taft Copper Mine Project, National Iranian Copper Industries Company; Esmaeelzadeh, E., Environmental Researcher, Research and Development, Sarcheshmeh Copper Complex

Received: February 2013 **Accepted: December 2014**

Email: a.hamidian@ut.ac.ir

Different industrial activities produce large amount of metals and thereby affect natural ecosystems, plants and animals. Therefore determining the concentrations of metals due to cumulative effect of them in different tissues of animals are considered to be very important. Due to small size of rodents than largemammals they have higher metabolism than them therefore more exposeds to environmental pollutions. In this study by statistical methodof principal component analysis that is a multivariate statistical method, the concentration of aluminum, copper, zinc, iron, lead, cadmium, cobalt, sodium, magnesium, potassium, calcium, chromium, nickel, strontium in liver, hair, heart and femur of Persian jird were investigated.In summer of 2012, samples were collected by using snap trap in different parts of copper mine. Wet digestion method and ICP-OES instrument were applied for measurement of metal concentrations in different tissues. The concentration of Cd, Pb and Co were reported below the limit detection of instrument. Three principal factors were extracted from principal component analysis which explain about 88% of the total variance. Calcium, sodium, zinc, magnesium, potassium and strontium with the first factor, iron, nickel, chromium and aluminum with the second factor and copper with the third factor show high correlation. All of the metals expect zinc placed in the first factor accumulate more in femur tissue and metals placed in the second and third factors accumulate more in hair tissue.

Key words: Principal component analysis, Persian jird, Metal, Tissue, Darreh Zershk

مقدمه

فلزات به صورت طبیعی در محیط وجود دارند و اغلب در سنگ‌ها، خاک، آب، گیاهان و جانوران به شکل های مختلف مانند یون‌های محلول در آب، بخار، نمک یا مواد معدنی یافت می شوند. از منظر سلامت جانوران فلزات را می توان به دو گروه ضروری مانند مس، آهن و روی و غیر ضروری مانند سرب و کادمیوم تقسیم کرد (۱۷). فلزات ضروری برای ادامه‌ی حیات و فعالیت های جانوران لازم بوده و نقش قابل توجهی در بدن دارند. فلزات غیر ضروری بدون اینکه در فعالیت های فیزیولوژیکی جانوران نقشی داشته باشند حتی در غلظت های کم نیز باعث اختلال در سیستم بدن جانوران می‌شوند. در میان آلاینده‌های محیط زیست فلزات جایگاه ویژه‌ای دارند و اکثراً در غلظت‌های بالا دارای اثرات سمی برای موجودات زنده هستند. برخی از فلزاتبه خصوص فلزات سنگین به علت خواص سمی و تجمع‌پذیری در پیکر جانداران، حتی در غلظت‌های نسبتاً کم نیز از اهمیت زیست محیطی بالایی برخوردارند (۱). این فلزات سمی برخلاف برخی مواد آلی، قابلیت تجزیه زیستی نداشته و تجمعشان در بافت‌های زنده می تواند منجر به مرگ یا تهدیدات جدی برای سلامتی شود (۲۰). فرآیندهای مختلف صنعتی با تغییر چرخه‌ی ژئوشیمیایی و توازن بیوشیمیایی عناصر، مهمترین منابع اصلی در تولید فلزات سنگین هستند (۲). فلزات سنگین اثرات مختلفی مانند کاهش رشد، تغییر رفتار، تغییرات ژنتیکی و مرگ و میر در جانوران را باعث می‌شوند. جوندگان نقش بسیار مهمی در اکوسیستم چه از لحاظ کارکردی و چه از لحاظ تغذیه‌ای دارند، همچنین به دلیل جثه کوچکی که نسبت به پستانداران بزرگ جثه دارند دارای میزان متابولیسم بالاتری نسبت به آن ها هستند در نتیجه بیشتر در معرض آلاینده‌های محیطی قرار می‌گیرند (۱۶). جرد ایرانیبه راسته‌ی جوندگان، خانواده‌ی موش‌ها، زیر خانواده‌ی جربیل‌ها و جنس مرینوس تعلق دارد. جرد ایرانی در اکثر مناطق ایران زیست می‌کند و از جمعیت مطلوبی برخوردار است. در این مطالعه غلظت فلزات آلومینیوم، مس، روی، آهن، سرب، کادمیم، کبالت، سدیم، منیزیم، پتاسیم، کلسیم، کروم، نیکل، استرانسیم در بافت های کبد، مو، قلب و استخوان ران جرد ایرانی با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بررسی شد.

مواد و روش ها

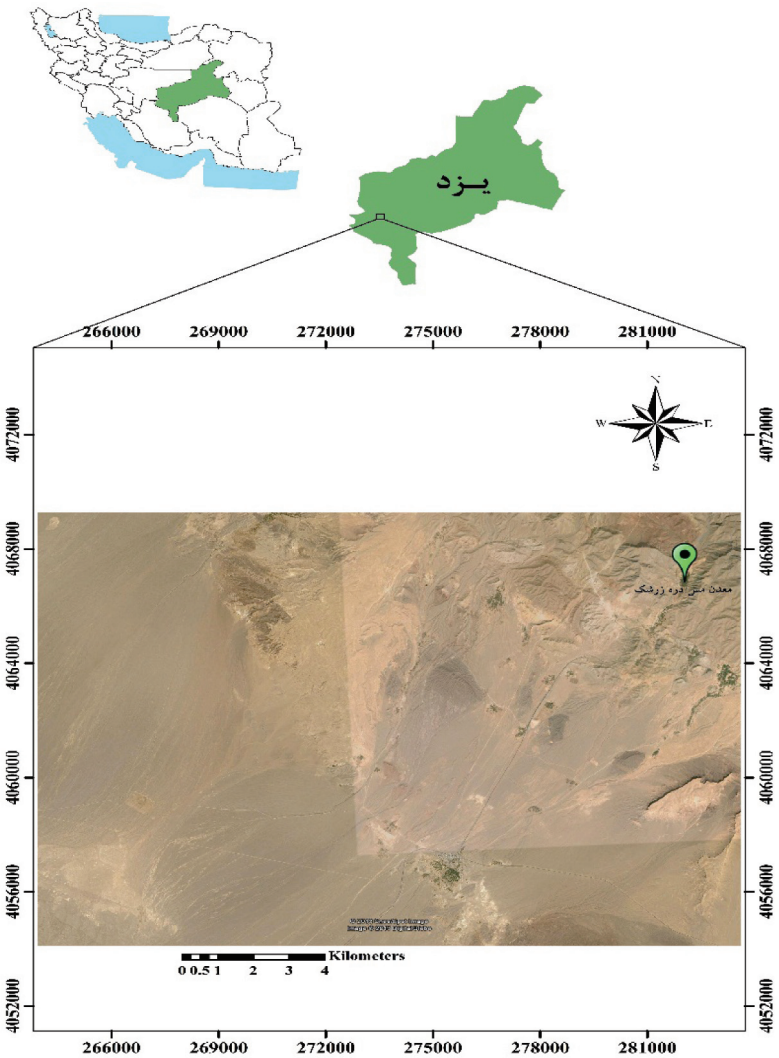
منطقه مورد مطالعه

کانسار مس دره زرشک در استان یزد و در ۴۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان تفت قرار دارد که ۴۵/۵ درصد آن را ارتفاعات و مابقی را دشت‌ها، مخروط افکنه‌ها و تپه ماهورهایی که سطح آن‌ها از آبرفت کم ضخامت پوشانده، تشکیل شده است. این منطقه در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و

۴۵ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی قرار دارد(شکل ۱)ومحدوده مطالعاتی معدن دره زرشک در ارتفاع ۲۴۰۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است(۳).

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

پس از بررسی‌های مقدماتی در منطقه، نمونه‌گیری در دوره‌ی فعالیت جرد ایرانیبه روش سیستماتیک- تصادفی و با استفاده از تله‌های فنری از مناطق مختلف محدوده‌ی مطالعاتی در تابستان ۱۳۹۱ انجام گرفت. در طی مدت نمونه‌گیری در مجموع۳۹ جرد ایرانی جمع‌آوری گردید. در طول مدت نمونه‌گیری حدود ۲۵۰۰ تله کار گذاشته شد و زمان تله‌گذاری از ساعت ۱۲ ظهر شروع و تا ۷ بعد ازظهر ادامه داشت. از آنجاییکه که لانه‌های جرد ایرانی در اطراف مناطق صخره‌ای، زیر بوته‌ها و حاشیه رودها و آبراهه‌ها یافت می‌شود، تله‌گذاری نیز در این مناطق انجام شد. جهت جلوگیری از شکار جوندگان به دام افتاده در تله‌ها توسط حیوانات درنده، بعد از اتمام تله‌گذاری در روز، تله‌ها ۲ مرتبه در شب سرکشی می‌شدند. برای بالا بردن دقت کار در اکثر مطالعات بر انجماد و اقدام سریع بر لاشه تأکید کرده‌اند (۲۵). نمونه‌ها پس از جمع‌آوری در محل به صورت کشته منجمد شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها در آزمایشگاه تا فراهم شدن مقدمات کار در داخل فریزر در دمای منهای چهار درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند. بعد از خروج از انجماد نمونه ها، بافت‌های قلب، استخوان ران و کبد نمونه‌ها جداسازی و سپس با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شد. بافت موی جونده با استون شستشو شده تا عاری از هر گونه آلودگی و گرد و خاک باشد (۵). به منظور ثابت کردن وزن نمونه‌ها و هضم سریعتر نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. سپس نمونه‌های خشک شده در داخل ارلن قرار گرفته و به هر ارلن حدود ۱۰ سی‌سی اسید نیتریک غلیظ و پنج سی‌سی پرکلریک اسید اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار گرفته (بدون حرارت دادن) تا به آهستگی هضم شوند. در مرحله‌ی بعد نمونه ها با کمک هات پلیت،حرارت دیده تا به طور کامل



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

هضم شوند. بعد از سرد شدن، نمونه ها با افزودن ۲۵ سی سی اسید نیتریک ۱٪ رقیق شده و بعد از عبور از کاغذ صافی واتمن ۴۲ (Whatman, Eng-land) به درون بطری‌هایی که از قبل ضدعفونی و وزن شده، ریخته شد و بطری‌های حاوی محلول دوباره وزن شدند (۱۶). فلزات با استفاده ازدستگاه ICP-OES(VARIAN, 725-ES) ساخت کشور استرالیا اندازه‌گیری شده و کلیه مواد مصرفی از شرکت مرک (Merck, Germany) تهیه شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز آماری نمونه‌ها با استفاده از نرم افزار Minitab ۱۶ انجام شد. در ابتدا نرمال بودن و همگن بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و آزمون همگنی واریانس لیون مورد بررسی قرار گرفت. همچنین از تابع انتقال Box-Cox جهت نرمال شدن داده‌ها استفاده شد. به منظور تعیین روابط بین عناصر و تغییرپذیری آن‌ها در بافت‌های مختلف جرد ایرانی از آنالیز آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی(PCA) استفاده شد. برای بررسی تفاوت غلظت فلزات مختلف در بافت‌های مو، قلب، استخوان و کبد از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه بر ضرایب مربوط به سه مؤلفه‌ی اصلی انجام شد و به دنبال آن از آزمون دانکن برای مقایسه‌ی میانگین‌ها استفاده شد (۲۳).

نتایج

به منظور تعیین روابط بین فلزات در بافت‌های مختلف جرد ایرانی از آنالیز آماری PCA استفاده شد، که یک روش آماری چند متغیره بوده و تغییرپذیری متغیرها را نشان می‌دهد. در این روش متغیرها در مؤلفه‌هایی قرار می‌گیرند، به طوری که از مؤلفه‌ی اول به مؤلفه‌های بعدی درصد واریانس کاهش می‌یابد، از این رو متغیرهایی که در مؤلفه‌ی اولی قرار می‌گیرند، تأثیرگذارترین هستند. اولین مؤلفه‌ی اصلی یا فاکتور، داده‌ای است که دارای بیشترین واریانس و تغییرپذیری است. Eigen value (مقدار ویژه) هر عامل نسبتی از واریانس کل متغیرهاست که توسط ان عامل تبیین می‌شود. پایین بودن این عامل بدین معنی است که آن عامل نقش اندکی در تبیین واریانس متغیرها داشته است. سه مؤلفه‌ی اول با مقدار ویژه بیشتر از یک انتخاب شدند. به منظور بهبود روابط بین متغیرها و عامل‌های اولیه و اعمال تبدیل‌های خاص بر روی عامل‌ها، عمل دوران یا چرخش استفاده می‌شود. به دلیل اینکه متغیرها مقادیر نزدیکی بر روی بیش از یک مؤلفه داشتند از چرخش واریماکس استفاده شد تا اختلاف بین متغیرها بر روی مؤلفه‌های مختلف بهتر نمایش داده شود. نتایج نشان داد که غلظت سرب، کادمیم و کبالت در بافت های مختلف جرد ایرانی زیر حد تشخیص دستگاه استو غلظت سایر عناصر در جدول ۱ نشان داده شده است.

در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به تعداد متغیرها، مؤلفه وجود دارد، ولی عامل‌هایی استخراج می‌شوند که بیشترین مقدار واریانس را نشان می‌دهند. نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی غلظت فلزات در بافت های مختلف جرد ایرانی جدول ۲ نشان داده شده است. براساس این نتایج، سه مؤلفه‌ی اصلی از مجموعه داده‌های موجود استخراج شد که حدود ۸۸ درصد از کل واریانس را توضیح می‌دهد. عامل اول، ۴۲/۴۵ درصد از کل واریانس را توضیح می‌دهد و چونمقدار واریانس فلزات روی، پتاسیم، سدیم، کلسیم، منیزیم و استرانسیوم در بین سه مؤلفه در مؤلفه اول بیشترین است، بنابراین که به طور مثبت و معنی‌داری با مؤلفه اول در ارتباط است.عامل دوم که ۳۴/۸۷ درصد از کل واریانس را توضیح می‌دهد با فلزات آلومینیوم، آهن، کروم و نیکل مرتبط می‌باشد. درنهایت عامل سوم که به صورت مثبت و معنی‌داری با فلز مس در ارتباط است نیز ۱۰/۵۲ درصد از کل واریانس را توضیح می‌دهد.

در ستون مجموعه مقادیر عامل‌های استخراج شده، واریانس تبیین شده عامل‌هایی ارائه شده است که مقادیر ویژه آنها بزرگتر از عدد یک باشد. ستون مجموعه مقادیر عامل‌های استخراج بعد از چرخش مجموعه‌ی مقادیر عامل‌های استخراج شده بعد از چرخش را نشان می‌دهد و همانطور که مشاهده می‌شود سه عامل قابلیت تبیین واریانس ها را دارند.

نتایج ماتریس عاملی و ماتریس عاملی دوران یافته برای فلزات در جدول

جدول ۱- میانگین تجمع عناصر در بافت‌های مختلف جرد ایرانی (میکروگرم بر گرم وزن تر)

بافت عنصر	قلب	استخوان	کبد	مو
آلومینیوم	۴۳۹/۵۸۷	۴۱۳/۳۴۸	۱۰۷/۵۶۵	۱۰۱۲/۵۶
کلسیم	۷۷۲/۷۸۸	۹۴۲۳۰/۳۲	۳۰۴/۶۲۶	۳۴۶۰/۶۴۸
کروم	۸/۸۰۸	۹/۲۴۵	۲/۷۶۵	۱۰/۹۶۸
مس	۶/۵۷	۲/۶۱	۴/۲۴	۱۰/۱۷
آهن	۳۲۶/۰۹۱	۸۸/۷۱۲	۱۴۳/۸۰۳	۱۰۵۱/۵۷۲
پتاسیم	۲۸۹/۹۴۳	۲۹۴/۷۸۶	۲۴۰/۹۶۹	۱۸۴/۳۶۲
منیزیم	۳۹۷/۷۵۴	۲۰۲۰/۸۶۳	۲۶۵/۰۵۳	۹۱۲/۶۱۴
سدیم	۶۹۴/۶۶۴	۱۴۶۱/۹۶۹	۵۳۸/۷۴۸	۸۸۰/۰۳۱
نیکل	۸/۲۵۹	۴/۴۹۱	۱/۵۶۱	۹/۵۷۵
روی	۳۹/۸۶۷	۱۰۱/۱۵۶	۲۳/۴۱۳	۱۱۱/۷۹۲

*زیر حد تشخیص دستگاه

۳ نشان داده شده است. در قسمت اول جدول سهم متغیرها را در عامل‌ها قبل از چرخش نشان می‌دهد و در قسمت دوم جدول سهم متغیرها را در عامل‌ها بعد از چرخش نشان داده شده است که هر متغیر در عاملی قرار می‌گیرد که با آن عامل همبستگی بالای معنی داری داشته باشد.

آزمون تجزیه واریانس بر روی ضرایب مؤلفه‌ی یک نشان داد که غلظت فلزات در بین بافت های مختلف دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد (ANOVA, F(۵,۲۲۸) =۴۰۵,۴۶۶ ,p < ۰/۰۱). همچنین بر اساس آزمون دانکن بر روی ضرایب این مؤلفه، بافت‌ها در چهار کلاس طبقه‌بندی شدند که بافت استخوان در گروه بالاتر نسبت به سایر بافت‌ها قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس بر روی مؤلفه‌ی دوم معنی‌داری اختلاف را بین غلظت فلزات در بافت‌های مختلف جرد ایرانی تأیید کرد (ANOVA, F(۵,۲۲۸) =۱۲۵,۰۲۷ ,p < ۰/۰۱). آزمون دانکن نشان داد که بافت ها در چهار

جدول ۲- کل واریانس توضیح داده شده برای فلزات در بافت‌های مختلف جرد ایرانی

مولفه	مقادیر ویژه اولیه			مجموعه مقادیر عامل های استخراج شده			مجموعه مقادیر عامل های استخراج بعد از چرخش		
	کل	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
۱	۷/۴۸۱	۶۸/۰۰۵	۶۸/۰۰۵	۷/۴۸۱	۶۸/۰۰۵	۶۸/۰۰۵	۴/۶۷۸	۴۲/۵۲۷	۴۲/۵۲۷
۲	۱/۱۲۷	۱۱/۰۶۶	۷۹/۰۷۱	۱/۱۲۷	۱۱/۰۶۶	۷۹/۰۷۱	۳/۸۳۶	۳۴/۸۷۶	۷۷/۴۰۳
۳	۱/۰۰۴	۸/۸۵۷	۸۷/۹۲۸	۱/۰۰۴	۸/۸۵۷	۸۷/۹۲۸	۱/۱۵۸	۱۰/۵۲۶	۸۷/۹۲۳
۴	۰/۶۹۶	۶/۳۲۹	۹۴/۲۵۸						
۵	۰/۲۹۱	۲/۶۴۱	۹۶/۸۹۹						
۶	۰/۱۲۱	۱/۱۰۱	۹۸						
۷	۰/۰۹۳	۰/۸۴۲	۹۸/۸۴۲						
۸	۰/۰۸۱	۰/۷۳۶	۹۹/۵۷۸						
۹	۰/۰۲۱	۰/۱۸۸	۹۹/۷۶۵						
۱۰	۰/۰۱۶	۰/۱۴۷	۹۹/۹۱۳						
۱۱	۰/۰۱	۰/۰۸۷	۱۰۰						

جدول۳- ماتریس عاملی و ماتریس عاملی دوران یافته برای فلزات در بافت¬های مختلف جرد ایرانی

فلز	ماتریس عاملی			ماتریس عاملی دوران یافته		
	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳
آلومینیوم	۰/۵۶۴	-۰/۲۹۱	-۰/۰۰۴	۰/۲۲۶	۰/۵۸۲	۰/۱۱
کروم	-۰/۸۷۶	۰/۴۲۱	۰/۰۷۷	-۰/۳۷۸	-۰/۸۹۳	-۰/۱
مس	۰/۳۱۵	-۰/۰۷۴	۰/۹۳۹	۰/۱۰۹	۰/۱۰۷	۰/۹۸۱
آهن	۰/۸۲۴	-۰/۴۲۹	-۰/۱۸۳	۰/۳۴۳	۰/۸۸۲	-۰/۰۱۳
منیزیم	۰/۹۳۶	۰/۲۳۸	-۰/۰۴۴	۰/۸۵۸	۰/۴۳۶	۰/۰۹۸
نیکل	-۰/۸۱۴	۰/۵	۰/۰۶۲	-۰/۲۷۸	-۰/۹۰۹	-۰/۱۰۹
روی	-۰/۹۵۲	-۰/۲۳۴	۰/۰۰۸	-۰/۸۶۳	-۰/۴۴۳	-۰/۱۳۶
استرانسیوم	۰/۷۸۱	۰/۵۳۵	-۰/۰۷۲	۰/۹۴۲	۰/۱۱۹	۰/۰۲۳
سدیم	۰/۹۶۲	۰/۱۸۵	-۰/۰۴۵	۰/۸۴۱	۰/۴۹۲	۰/۱۰۴
کلسیم	۰/۹۴۱	۰/۲۹	-۰/۰۴۹	۰/۸۹۶	۰/۴۰۲	۰/۰۸۹
پتاسیم	۰/۸۶۷	۰/۰۰۳	۰/۱۹۶	۰/۶۳۱	۰/۵۲۸	۰/۳۳۸

کلاس طبقه‌بندی شده و بافت مو بالاتر از سایر بافت ها قرار دارد. با انجام آزمون ANOVA بر روی مؤلفه‌ی سوم اختلاف در غلظت فلز مس در بین بافت‌ها معنی‌دار شد (ANOVA, F(۵,۲۲۸)= ۷۳,۹۴۷ ,p < ۰/۰۱). بافت ها بر اساس آزمون دانکن بر روی ضرایب مؤلفه‌ی سوم در چهار کلاس طبقه‌بندی شدکه بافت مو بالاتر از سایر گروه‌ها قرار گرفت.

بحث

آنالیز داده‌ها با روش تجزیه به مؤلفه اصلی می‌تواند همبستگی بین فلزات و منابع آلودگی را بیان کند (۱۵). داده‌های محیطی از تغییر پذیری زیاد و در عین حال از روابط درونی نیز برخوردارند، در نتیجه تفسیر و شناسایی آنها با روش‌های معمول آماری مانند رگرسیون کاری بسیار زمان‌بر و حجیم خواهد بود. PCA یک روش کاهش داده‌ای است که از میان انواع عوامل، عواملی که بیشترین تأثیر را بر پراکنش داده‌ها دارد شناسایی می‌کند و بر اساس همبستگی متغیرهایی که بیشترین واریانس را دارند، می‌باشد (۲۳). نتایج آزمون PCA نشان داد که فلزات مورد مطالعه در سه گروه تقسیم بندی شدند. گروه اول شامل فلزات منیزیم، استرانسیوم، پتاسیم، کلسیم، سدیم و روی و گروه دوم شامل فلزات آلومینیوم، کروم، نیکل و آهن می باشد و فلز مس نیز در گروه سوم جای گرفت. تمامی فلزات قرار گرفته در گروه اول به غیر از فلز روی به گروه فلزات قلیایی و فلزات قلیایی خاکی تعلق دارند که به علت واکنش پذیری بالا به صورت آزاد در طبیعت یافت نمی‌شوند بلکه به صورت ترکیب در کانی ها و سنگ‌های مختلف مشاهده می‌شوند (۱۸). آهن و آلومینیوم قرار گرفته در گروه دوم احتمالاً دارای منشاء طبیعی بوده و به وفور در پوسته‌ی زمین یافت می‌شوند و شکل غالب آن‌ها به صورت اکسید بوده که نقش مهمی در دسترسی فلزات سنگین دارند (۱۳). بنابراین فلزاتی که همبستگی بالایی با این دو فلز دارند احتمالاً دارای منشاء طبیعی هستند (۴،۲۴). فلز مس به تنهایی در گروه سوم قرار گرفته که احتمالاً به علت واقع شدن منطقه‌ی مورد مطالعه در دو کانسار مس علی آباد و دره زرشک است (۲۷). مقایسه‌ی میانگین‌ها نشان داد که فلزات قرار گرفته در گروه دوم و سوم در بافت مو تجمع بیشتری را نسبت به سایر بافت ها دارند در حالیکه فلزات قرار گرفته در گروه اول به استثناء فلز روی در بافت استخوان تجمع بیشتری دارند. بر اساس مرور منابع انجام شده تاکنون مطالعه‌ای که با استفاده از آزمون PCA غلظت فلزات را در بافت های مختلف جوندگان بررسی کند، انجام نشده است

بافت مو به صورت مستقیم در معرض آلاینده‌های محیطی موجود در آب، هوا و خاک قرار دارد در نتیجه نسبت به سایر بافت‌های داخلی بیشتردر معرض آلاینده‌ها قرار می‌گیرد (۱۴). علاوه بر این ترکیب شیمیایی مو انعکاس دهنده سطوح تغذیه‌ای و آلاینده‌های محیطی است (۷). همچنین هر تار مو به صورت مستقیم با جریان خونی که به ریشه‌ی مو می‌رسد در ارتباط است در نتیجه می‌تواند در طی فرآیند رشد، عناصر موجود در جریان خون رانیز جذب کند. بنابراین انتظار بر این است که فلزاتمورد مطالعه در بافت مو تجمع بیشتری را نسبت به سایر بافت ها داشته باشند در حالیکه نتایج آزمون PCA در این مطالعه نشان می‌دهد که فلزات قرار گرفته در گروه اول در بافت استخوان تجمع بیشتری نسبت به بافت مو دارند.مو در پستانداران به طور عمده از کراتین تشکیل شده است. کراتین نوعی پروتئین است که از گروه‌های سولفویدریل سیستین (تیول) که تمایل بسیار زیادی به برقراری ارتباط با فلزات دارند، تشکیل شده است (۶) .فلزات موجود در محیط با اتم‌های گوگرد موجود در گروه‌های تیول (SH) بافت مو پیوند برقرار می‌کنند(۱۰). تمایل کاتیون‌ها به تشکیل لیگاند در دسته‌ای از کاتیون‌ها توسط اندازه و بار الکتریکی و دسته‌ی دیگر توسط میزان الکترونگاتیویشان کنترل می‌شوند. این دو دسته از فلزات توسط Pearson (۱۹۶۳) به ترتیب تحت عناوین کاتیون‌های سخت و نرم و کاتیون‌هایی با خصوصیات مابین آن‌ها کاتیون‌های حد واسط نام‌گذاری شده است. کاتیون‌های سخت دارای الکترونگاتیوی و قطبش پایین و اندازه‌ی کوچکتر نسبت به کاتیون‌های نرم هستند. کاتیون‌های نرم بر خلاف کاتیون‌های سخت تمایل بیشتریبه برقراری ارتباط با گروه تیول موجود در بافت مو دارند (۲۱، ۲۲). کاتیون‌های نرم بر خلاف کاتیون‌های سخت که با سطح مو پیوند یونی برقرار می‌کنند، با گروه‌های تیول بافت مو پیوندهای محکم کووالانسی بر قرار می‌کنند که موجب ماندگاری و تجمع بالای آن ها در بافت مو نسبت به سایر بافت ها می‌شود. همانطور که نتایج آزمون PCA نشان داد فلزات سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و استرانسیم در یک گروه جداگانه قرار گرفته و با توجه به طبقه‌بندی Pearson در گروه کاتیون‌های سخت قرار می‌گیرند در نتیجه در بافت‌های داخلی به ویژه استخوان تجمع بیشتری نسبت به بافت مو دارند. بافت استخوان علاوه بر کلسیم و فسفر حاوی مقادیر قابل توجهی از منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر و سایر عناصر کمیاب است و در طی رشد پستانداران بافت‌های کلسیمی مانند استخوان و دندان عناصر را از بدو تولد در خود ذخیره می‌کنند (۱۶). گروه دوم و سوم آزمون PCA که شامل عناصر آلومینیوم، نیکل، کروم، آهن و مس بوده در بافت مو تجمع بیشتری یافتند. فلزات نیکل، مس و آهن بر اساس طبقه‌بندی Pearson به گروه کاتیون‌های حد واسط تعلق دارند. بار کاتیون نیز عامل بسیار مهم در میزان تجمع کاتیون‌ها در بافت مو است (۲۱) برای مثال آلومینیوم سه ظرفیتی و کروم سه ظرفیتی علی رغم این که در گروه کاتیون‌های سخت قرار می‌گیرند ولی در بافت مو نسبت به سایر بافت‌ها تجمع بیشتری کرده است. فلز روی در مؤلفه اول قرار گرفته ولی بر خلاف سایر فلزات قرار گرفته در این گروه در بافت مو (۱۱۱/۷۹۲ میکروگرم بر گرم وزن تر) و سپس در بافت استخوان (۱۰۱/۱۵۶ میکروگرم بر گرم وزن تر) تجمع بیشتری داشت. همانطور که میانگین فلز روی در دو بافت مو و استخوان نشان می‌دهد اختلاف فاحشی بین میانگین این دو بافت بر خلاف سایر فلزات قرار گرفته در سایر گروه‌های آزمون PCA وجود ندارد. روی به گروه کاتیون‌های حد واسط تعلق داشته و دو ظرفیتی بوده در نتیجه در بافت مو تجمع بیشتری یافته است. شاید رفتار یا منشاء مشابه فلز روی با سایر فلزات قرار گرفته در گروه اول آزمون PCA دلیل همگروه شدن فلز روی با سدیم، کلسیم، منیزیم، استرانسیم و پتاسیم است. نتایج این مطالعه نشان داد که بافت قلب جرد ایرانی تجمع قابل توجهی از عناصر مورد مطالعه را نشان داد. بیشترین میزان تجمع آلومینیوم، آهن، کروم، مس و نیکل در میان بافت های داخلی در بافت قلب مشاهده شد و بیشترین مقادیر عناصر سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، روی و استرانسیوم در میان بافت های داخلی بعد از بافت استخوان در بافت قلب دیده شد. معمولاً عناصر به ویژه فلزات سنگین در بافت‌هایی بیشتر تجمع پیدا می‌کنند که فعالیت متابولیکی بالایی دارند (۲۸). جوندگان در مقایسه با جانوران بزرگ جثه تر سطح (surface area) بیشتری به ازای هر گرم از وزن بدنشان دارند در نتیجه فعالیت متابولیکی بسیار بالایی دارند (۱۱). جوندگان ۲۲ مرتبه بیشتر به ازای هر گرم از وزن بدنشان نسبت به جانوران بزرگ جثه‌تر مانند فیل اکسیژن مصرف می‌کنند در نتیجه برای فراهم کردن اکسیژن مورد نیاز برای بافت ها به طور متوسط ۱۶۳ مرتبه در دقیقه دم و بازدم می‌کنند.

بنابراین برای پمپاژ خون حاوی اکسیژن به بافت‌های بدن نیازمند قلبی با تعداد ضربان بسیار بالا هستند (۲۶). قلب در جوندگان فعالیت متابولیکی بسیار بالایی دارد. ضربان قلب جوندگان در حالت عادی بین ۵۰۰ تا ۷۰۰ مرتبه در دقیقه است در حالی که میانگین ضربان قلب در انسان در حالت عادی ۷۲ بار در دقیقه است (۱۲،۱۹). عوامل مختلفی مانند وضعیت فیزیولوژیکی گونه، غلظت فلزات در خاک و رژیم غذایی، ترکیب شیمیایی فلزات، مکانیسم های هومئوستازی گونه، سن، وزن، جنسیت، مدت زمان قرار گرفتن گونه در برابر فلزات و کارکرد این فلزات در بافت‌های مختلف بر تجمع فلزات در بافت های مختلف جوندگان تأثیر می‌گذارند (۸،۹،۱۶).

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت‌های امور تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه وابسته به شرکت ملی صنایع مس ایران صورت گرفته است.

منابع مورد استفاده

۱- اردکانی، م. ر.، ۱۳۸۴. اکولوژی. چاپ ششـــم، انتشارات دانشگاه تهران. ۳۴۰ ص.

۲- خزاعـی، منوچهر. (۱۳۹۲). تاثیر جنســیت بر تجمع فلزات مس و روی در بافـت مو جرد ایرانی در منطقه‌ی دره زرشـک، یزد، (ص ۴۰۲-۳۹۷). همایش ملی پژوهش های محیط زیست ایران، بهمن ۱۳۹۲.

۳- گزارش ارزیابی اثرات توسـعه معدن مس دره زرشـک. ۱۳۹۰. شرکت امایش گران پویای محیط. ۵۷۱ ص.

4- Acevedo-Figueroa, D., Jiménez, B. D., & Rodriguez-Sierra, C. J. (2006). Trace metals in sediments of two estuarine lagoons from Puerto Rico. Environmental pollution, 141(2), 336-342.

5- Adham, K. G., Al-Eisa, N. A., & Farhood, M. H. (2011). Risk assessment of heavy metal contamination in soil and wild Libyan jird Meriones libycus in Riyadh, Saudi Arabia. Journal of Environmental Biology, 32(6)244-255.

6- Beernaert, J., Scheirs, J., Leirs, H., Blust, R., & Verhagen, R. (2007). Non-destructive pollution exposure assessment by means of wood mice hair.Environmental pollution, 145(2), 443-451.

7- Bergeron, J. M. (1976). Elements mineraux du regime alimentaire du campagnol des champs, Microtus pennsylvanicus (Ord.). Canadian Journal of Zoology, 54(9), 1565-1570.

8 - Burger, J., Gaines, K. F., & Gochfeld, M. (2001). Ethnic differences in risk from mercury among Savannah River fishermen. Risk Analysis, 21, 533-544.

9 - Carral, E., Puente, X., Villares, R., & Carballeira, A. (1995). Background heavy metal levels in estuarine sediments and organisms in Galicia (northwest Spain) as determined by modal analysis. Science of the total environment, 172(2), 175-188.

10 - Chatt, A., A Katz, S., & Townshend, A. (1989). Hair analysis: applications in the biomedical and environmental sciences: VCH, New York, 1988 (ISBN 0-89573-3102). 134 pp.

11 - Cross, B. (1996). The Biology and Medicine of Rabbits and Rodents. The Canadian Veterinary Journal, 37(12), 759.

12 - D'Angelo, D. D., Sakata, Y., Lorenz, J. N., Boivin, G. P., Walsh, R. A., Liggett, S. B., & Dorn, G. W. (1997). Transgenic Gαq overexpression induces cardiac contractile failure in mice. Proceedings of the National Academy of Sciences,94(15), 8121-8126.

13 - Desrosiers, M., Gagnon, C., Masson, S., Martel, L., & Babut, M. P. (2008). Relationships among total recoverable and reactive metals and metalloid in St. Lawrence River sediment: Bioaccumulation by chironomids and implications for ecological risk assessment. Science of the total environment, 389(1), 101-114.

14 - Filistowicz, A., Przysiecki, P., Nowicki, S., Filistowicz, A., & Durkalec, M. (2012). Contents of Copper, Chromium, Nickel, Lead, and Zinc in Hair and Skin of Farm Foxes. Polish Journal of Environmental Studies, 21(4).

15 - Garcia, R., & Millan, E. (1998). Assessment of Cd, Pb and Zn contamination in roadside soils and grasses from Gipuzkoa (Spain). Chemosphere, 37(8), 1615-1625.

16 - Gdula-Argasińska, J., Appleton, J., Sawicka-Kapusta, K., & Spence, B. (2004). Further investigation of the heavy metal content of the teeth of the bank vole as an exposure indicator of environmental pollution in Poland. Environmental Pollution, 131(1), 71-79.

17 - Goyer, R. A. (1997). Toxic and essential metal interactions. Annual review of nutrition, 17(1), 37-50.

18 - Hering, J. G., & Morel, F. M. (1988). Kinetics of trace metal complexation: role of alkaline-earth metals. Environmental science & technology, 22(12), 1469-1478.

19 - Kramer, K., van Acker, S. A., Voss, H. P., Grimbergen, J. A., van der Vijgh, W. J., & Bast, A. (1993). Use of telemetry to record electrocardiogram and heart rate in freely moving mice. Journal of pharmacological and toxicological methods, 30(4), 209-215.

20 - Naja, G. M., & Volesky, B. (2009). Toxicity and sources of Pb, Cd, Hg, Cr, As, and radionuclides in the environment. Heavy metals in the environment, 13-61.

21 - Noguchi, T., Itai, T., Kawaguchi, M., Takahashi, S., & Tanabe, S. (2012). Applicability of human hair as a bioindicator for trace elements exposure.Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry, 6, 73-77.

22 - Pearson, R. G. (1963). Hard and soft acids and bases. Journal of the American Chemical Society, 85(22), 3533-3539.

23 - Quinn, G. P., & Keough, M. J. (2002). Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge University Press.

24 - Sinem Atgin, R., El-Agha, O., Zararsız, A., Kocataş, A., Parlak, H., & Tuncel, G. (2000). Investigation of the sediment pollution in Izmir Bay: trace elements.Spectrochimica Acta Part B:

Atomic Spectroscopy, 55(7), 1151-1164.
25 - Sheffield, S.R., Sawicka-Kapusta, K., Cohen, J.B & Rattner, B.A.(2001). Rodentia and lagomorpha. In: Shore, R.F., Rattner, B.A.(Eds.), Ecotoxicology of Wild Mammals. John Wiley & Sons, Ltd,pp. 215-315.
26 - Suckow, M. A., Danneman, P., & Brayton, C. (2001). The laboratory mouse. CRC Press Inc.
27 - Taghipour, B., Moore, F., Mackizadeh, M. A., & Taghipour, S. (2013). Hydrothermal garnet in porphyry copper related scorn deposits, Ali-Abad, Yazd Province, Iran. International Journal of Science & Technology, 1, 11-22.
28 - Tekin-Özan, S., & Kir, İ. (2008). Seasonal variations of heavy metals in some organs of carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) from Beyşehir Lake (Turkey). Environmental monitoring and assessment, 138(1-3), 201-206.