محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دورهٔ ۶۸، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۴
صفحات ۵۵۷-۵۴۹

بررسی میزان تجمع فلزات سنگین Zn، Cu وCr در بافت مو و کبد جرد ایرانی (*Meriones persicus*) درهٔ زرشک، یزد

منوچهرخزاعی[۱]، امیرحسین حمیدیان[۲*]، افشین علیزاده شعبانی[۳]، سهراب اشرفی[۴]، سید علی‌اصغر میرجلیلی[۵]، عصمت اسمعیل‌زاده[۶]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲، ۳ و ۴. استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۵. کارشناس ارشد بهداشت، ایمنی و محیط زیست، شرکت ملی صنایع مس ایران، طرح معادن مس تفت

۶. پژوهشگر محیط زیست، مجتمع مس سرچشمه، امور تحقیق و توسعه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۱۶- تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۱۱/۱۷)

چکیده

جوندگان نسبت به آلودگی‌های محیط زیستی به‌خصوص آلودگی فلزات سنگین بسیار حساس‌اند و می‌توانند به‌عنوان شاخص زیستی در مناطق آلوده استفاده شوند. در این مطالعه غلظت فلزات مس، روی و کروم در بافت مو و کبد جرد ایرانی (*Meriones persicus*) در محدودهٔ معدن مس درهٔ زرشک و بدون در نظر گرفتن اثر سایر معادن موجود در منطقه به روش هضم تر و با استفاده از دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین در بافت مو و کبد از نظر آماری اختلاف معنادار دارد ($P<0.01$). الگوی انباشتگی فلزات سنگین در هر دو بافت کبد و مو به‌صورت روی> مس> کروم بود. براساس نتایج غلظت فلزات مس، روی و کروم هم در بافت مو و هم در بافت کبد دو جنس نر و ماده با یکدیگر تفاوت معناداری داشتند ($P<0.01$). نتایج نشان می‌دهد که بین میزان تجمع فلزات سنگین در بافت مو و کبد همبستگی معناداری وجود ندارد ($P>0.05$) درنتیجه نمی‌توان رابطهٔ رگرسیونی بین آنها برقرار کرد. با توجه به نبود ارتباط معنادار بین بافت مو و بافت کبد، در مطالعات آتی نمی‌توان از بافت مو به‌منزلهٔ یک شاخص زیستی مناسب برای تشخیص غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در بافت کبد استفاده کرد، اما این امر مستلزم مطالعات بیشتر است. تفاوت در تجمع فلزات سنگین در بافت‌های مو و کبد جنس‌های نر و مادهٔ این جونده بیانگر اهمیت جنسیت به‌عنوان یک عامل مؤثر در تجمع فلزات سنگین است و باید به این موضوع باید در مطالعات آتی توجه شود.

کلیدواژگان: آلودگی، درهٔ زرشک، جرد ایرانی *Meriones persicus*، فلزات سنگین.

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۰۹۷۷۴۲۴۵
Email: a.hamidian@ut.ac.ir

۱. مقدمه

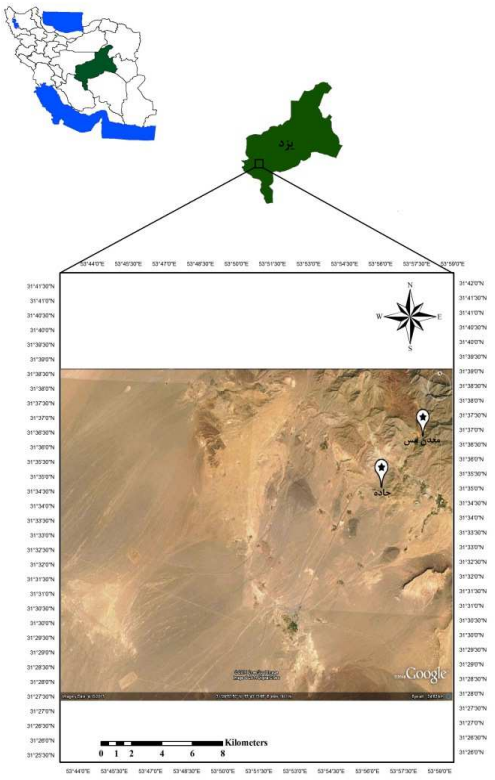
فعالیت‌های صنعتی ممکن است منجر به ورود غلظت بسیار بالایی از فلزات سنگین به محیط، گاه ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر بالاتر از آنچه در پوستهٔ زمین وجود دارد، شود و موجودات زنده را در معرض سطوح بالایی از آنها قرار دهد (Carral *et al.*, 1995). جوندگان نسبت به آلودگی‌های محیط زیستی به‌خصوص آلودگی فلزات سنگین بسیار حساس‌اند و می‌توانند به‌منزلهٔ شاخص زیستی در مناطق آلوده استفاده شوند. علاوه بر این الگوی توزیع فلزات سنگین در بافت‌های بدن جوندگان بسیار شبیه به بافت‌های بدن انسان است (Damek-Poprawa & Sawicka-Kapusta, 2004). جرد ایرانی[1] به راستهٔ جوندگان[2]، خانوادهٔ موش‌ها[3]، زیرخانوادهٔ جربیل‌ها[4] و جنس مرینوس[5] تعلق دارد. این گونه جثه‌ای متوسط، گوش‌های نسبتاً بلند و تا حدی مثلثی‌شکل دارد. این جونده اغلب در مناطق صخره‌ای و استپ‌های کوهستانی، دشت‌ها، مناطق جنگلی، باغ‌ها و مزارع زندگی می‌کند و جونده‌ای بیابان‌زی نیست (Yigit & Colak, 1999). مطالعات زیادی در ارتباط با تجمع فلزات سنگین در بافت‌های مختلف جوندگان و ارتباط آن با آلودگی زیستگاه جوندگان در مناطق مختلف جهان انجام شده است (Pereira *et al.*, 2006; Martiniakova, 2010; Sanchez-Chardi & Nadal, 2007; Silva *et al.*, 1999). از این‌رو در این پژوهش سعی بر این است تا با تعیین غلظت فلزهای مس، روی و کروم در بافت مو و کبد این جونده، وضعیت موجود این منابع از نظر سطح این عناصر مشخص شود تا بتوان در سال‌های آتی و پس از بهره‌برداری از معدن به مقایسهٔ وضعیت آلودگی ایجادشده با شرایط اولیه پرداخت و تأثیرات معدن را بر این جونده به‌عنوان گونهٔ شاخص زیستی در این منطقه تعیین کرد.

1. Meriones persicus
2. Rodentia
3. Muridae
4. Gerbilinae
5. Meriones

درحقیقت انجام این مطالعه مبنایی برای انجام مطالعات آتی در راستای مدیریت زیست‌محیطی معدن مس درهٔ زرشک خواهد بود.

۲. مواد و روش‌ها

محل کانسار مس درهٔ 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، مخروط‌افکنه‌ها و تپه‌ماهورهایی که سطح آنها از آبرفت کم‌ضخامت پوشیده شده، تشکیل داده‌اند (شکل ۱). این منطقه در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۵۴ دقیقهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقهٔ شمالی قرار دارد. محدودهٔ مطالعاتی معدن درهٔ زرشک در ارتفاع ۲۴۰۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است. این معدن هنوز به بهره‌برداری نرسیده است (Pooya Mohit Planning Company, 2012).



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ نمونه‌برداری

پس از بررسی مقدماتی در منطقه، نمونه‌گیری در دورهٔ فعالیت جرد ایرانی انجام گرفت. نمونه‌برداری در فصل تابستان ۱۳۹۱ از محدودهٔ معدن مس درهٔ زرشک به روش سیستماتیک- تصادفی و با استفاده از تلهٔ فنری که نوعی تلهٔ کشنده است، صورت گرفت. با توجه به شرایط محیط زیستی منطقه که گرم و خشک است از بادام زمینی خام و پفک به‌منزلهٔ طعمه استفاده شد. طی مدت نمونه‌گیری ۲ هزار تله نصب و درمجموع ۳۹ جرد ایرانی جمع‌آوری شد. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری در محل به‌صورت کشته، در محفظهٔ پلاستیکی تمیز قرار داده شد. سپس تاریخ جمع‌آوری، موقعیت جغرافیایی برداشت نمونه، نوع طعمهٔ به‌کار گرفته‌شده و نوبت جمع‌آوری در فرم از پیش تهیه‌شده، ثبت شد. سپس نمونه‌ها در یونولیت حاوی قطعات یخ گذاشته و از محل نمونه‌گیری به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه تا فراهم‌شدن مقدمات کار نمونه‌ها داخل فریزر در دمای ۴- درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه‌های منجمدشده به‌مدت ۶ ساعت در بیرون از آزمایشگاه قرار گرفتند تا یخ آنها باز شود. بافت مو و کبد بعد از بازشدن یخ نمونه‌ها استخراج و سپس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱، وزن و وزن تر آنها به دست آمد. نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. در مرحلهٔ بعد نمونه‌ها داخل ارلن قرار گرفته و به هر ارلن ۱۰cc اسید نیتریک غلیظ و سپس ۵ cc اسید پرکلریک اضافه شد. نمونه‌ها به‌مدت ۱۲ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند تا به‌آهستگی هضم شوند. ارلن‌ها بر روی هات پلیت[1] قرار گرفتند تا با حرارت ملایم به‌صورت کامل هضم شوند. سپس با افزودن اسید نیتریک ۱ درصد به درون ارلن‌ها، به حجم ۲۵cc رسانده و رقیق شدند (Minamia *et al.*, 2009). برای اندازه‌گیری خطای آزمایش و به دست آوردن صحت کار به‌ازای هر ۲۵ نمونه دو بلنک انتخاب شد. برای اندازه‌گیری غلظت فلزات مس، روی و کروم از دستگاه ICP-OES[2] ساخت کشور استرالیا (VARIAN, 725-ES) استفاده شد. حد تشخیص دستگاه و ریکاوری در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱. ریکاوری و حد تشخیص غلظت فلزات در نمونه‌ها (میکروگرم بر گرم)

فلز	مس	روی	کروم
حد تشخیص*	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
میانگین ریکاوری درصد ± SD	۹۴/۹±۱/۹۷	۹۲±۱/۷۶	۹۰±۱/۸۲

*حد تشخیص دستگاه عبارت بود از سه برابر SD نمونه‌های بلنک

آنالیز آماری نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16 انجام شد. ابتدا نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگرف اسمیرنوف و همگنی آنها بررسی شد. سپس از روش آماری تجزیهٔ واریانس یکطرفه برای مقایسه‌های کلی و آزمون دانکن برای مقایسه‌های چندگانه و معناداربودن اختلاف‌ها در سطح اعتماد ۹۹ درصد و آزمون همبستگی پیرسون برای بررسی میزان همبستگی میانگین سطوح فلزات سنگین بین بافت مو و بافت کبد استفاده شد. به‌منظور مقایسهٔ غلظت فلزات در بافت مو و کبد جرد ایرانی در جنس نر و ماده از t-test مستقل استفاده شد. همچنین برای بررسی میانگین غلظت فلزات بین بافت مو و کبد از t-test جفتی استفاده شد. کلیهٔ نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel 2013 ترسیم شدند.

۳. نتایج

نتایج نشان داد غلظت فلز کروم، مس و روی در بافت مو و کبد اختلاف معنادار در سطح ۱ درصد دارد (جدول ۲). غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در بافت مو بیشتر از کبد است.

1. Hot plate

2. Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectrometry

جدول ۲. مقایسهٔ میانگین غلظت فلزات در بافت‌های مو و کبد (میکروگرم بر گرم وزن تر)

فلز	بافت	N	df	sig
مس	مو با کبد	۳۹	۳۸	۰/۰۰
روی	مو با کبد	۳۹	۳۸	۰/۰۰
کروم	مو با کبد	۳۹	۳۸	۰/۰۰

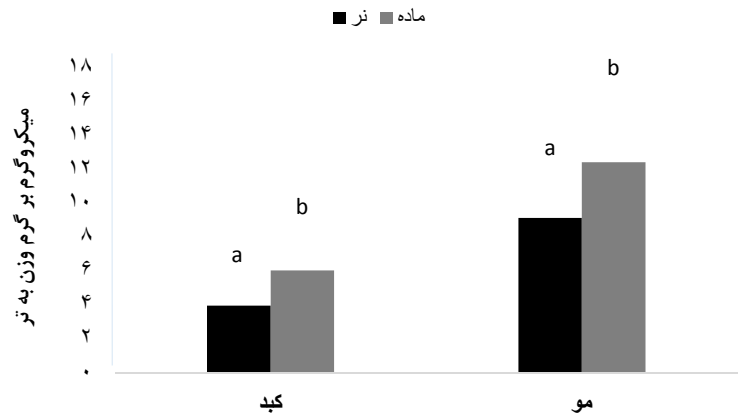
نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که میانگین سطوح فلزات سنگین در بافت مو اختلاف معنادار در سطح ۱ درصد دارند ($P<0.01$). مقایسهٔ میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که روی غلظت بیشتری نسبت به مس و کروم دارد و فلزات سنگین از نظر آماری در دو کلاس طبقه‌بندی شده‌اند (جدول ۲). نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که اختلاف معنادار بین غلظت فلزات سنگین در کبد جونده وجود دارد ($P<0.01$) مقایسهٔ میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که میانگین فلز روی در کبد بیشترین غلظت نسبت به مس و کروم را دارد (جدول ۳) و فلزات سنگین از نظر آماری در سه کلاس طبقه‌بندی شده‌اند (روی> مس> کروم).

با استفاده از t-test مقایسهٔ میانگین غلظت عناصر در دو جنس نر و ماده جرد ایرانی محاسبه شده است. بر این اساس نتایج غلظت فلزات مس، روی و کروم هم در مو و هم در کبد دو جنس نر و ماده با یکدیگر تفاوت معناداری داشتند ($P<0.01$) (شکل‌های ۲ تا ۴).

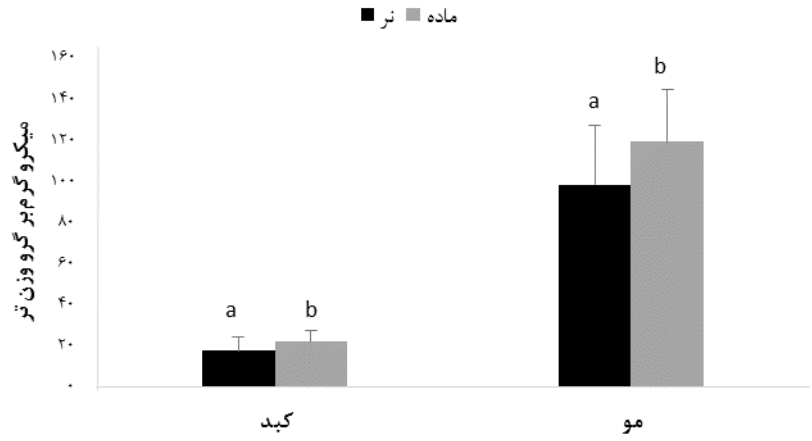
جدول ۳. میانگین (± انحراف معیار) غلظت فلزات در بافت‌های مو و کبد جونده (میکروگرم بر گرم وزن تر)

بافت	تعداد	مس	روی	کروم
مو	۳۹	۱۰/۱۷±۳/۶۹۱^{b*}	۱۱۱/۹۹۲±۳۹/۲۱۲^{a}	۱۰/۹۶۸±۷/۷۶۴^{b}
کبد	۳۹	۴/۲۴±۰/۸۷۵^{b}	۲۳/۴۱۳±۵/۴۱۹^{a}	۲/۷۵۶±۱/۶۶۴^{c}

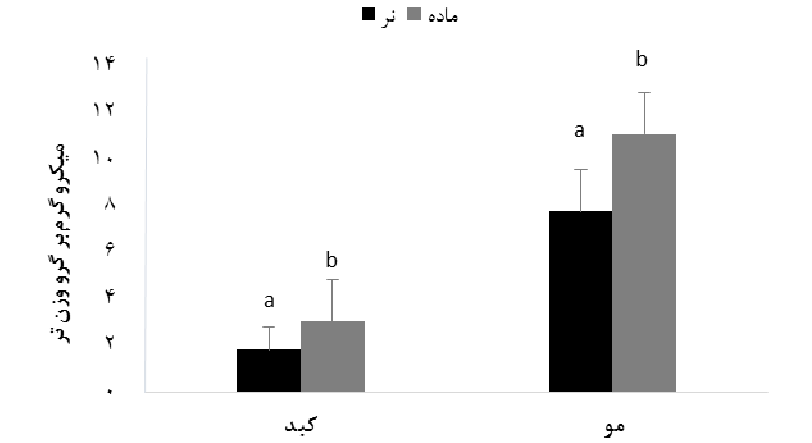
*حروف مشابه و متفاوت در هر سطر به‌ترتیب نشانگر نبود اختلاف معنادار و وجود اختلاف معنادار بین میانگین‌هاست.



شکل ۲. مقایسهٔ غلظت مس (میکروگرم بر گرم وزن تر) در دو جنس نر و ماده جرد ایرانی($P<0.01$) *(میانگین + SD). وجودنداشتن یک حرف مشابه بین دو ستون به معنای اختلاف معنادار در سطح ۱ درصد است (a>b).



شکل ۳. مقایسهٔ غلظت روی (میکروگرم بر گرم وزن تر) در دو جنس نر و مادهٔ جرد ایرانی(P<0.01)
***(میانگین + SD) وجودنداشتن یک حرف مشابه بین دو ستون به معنای اختلاف معنادار در سطح ۱ درصد است (a>b).**



شکل ۴. مقایسهٔ غلظت کروم (میکروگرم بر گرم وزن تر) در دو جنس نر و ماده جرد ایرانی(P<0.01)
***(میانگین + SD). وجودنداشتن یک حرف مشابه بین دو ستون به معنای اختلاف معنادار در سطح ۱ درصد است (a>b).**

نتایج همبستگی پیرسون نشان داد که بین میزان تجمع فلزات سنگین در بافت مو و کبد همبستگی معناداری وجود ندارد ($P>0.05$) درنتیجه نمی‌توان رابطهٔ رگرسیونی بین آنها برقرار کرد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه بافت مو غلظت بیشتری از مس، روی و کروم را نسبت به بافت کبد نشان داد. ترکیب شیمیایی مو انعکاس‌دهنده سطوح تغذیه‌ای و آلاینده‌های محیطی است (Bergeron, 1976). بافت مو به‌صورت مستقیم در معرض آلاینده‌های محیطی موجود در آب، هوا و خاک قرار دارد و درنتیجه نسبت به سایر بافت‌های داخلی فلزات بیشتری را جذب می‌کند (Filistowicz *et al.*, 2012). علاوه بر این هر تار مو به‌صورت مستقیم با جریان خونی که به ریشهٔ مو می‌رسد در ارتباط است و درنتیجه می‌تواند طی فرایند رشد، فلزات موجود در جریان خون را جذب کند. مو در

پستانداران به‌طور عمده از کراتین تشکیل شده است. کراتین نوعی پروتئین است که از گروه‌های سولفوهیدریل سیستین (تیول) که تمایل بسیار زیادی به برقراری ارتباط با فلزات دارند، تشکیل شده است (Beernaert *et al*., 2007). کبد نیز یکی از اندام‌های مهم بدن است که به‌طور عمده در معرض سموم و فلزات سنگین قرار می‌گیرد. این مواد از طریق دستگاه گردش خون یا دستگاه گوارش وارد کبد می‌شوند (Haschek & Rousseaux, 1998). کبد فلزات را از پلاسمای خون استخراج و سپس آنها را به ترکیبات ساده‌تر و بی‌خطر تجزیه می‌کند. درنهایت فلزات مورد نیاز بدن را ذخیره و آنها را از طریق دستگاه گردش خون در بدن پخش می‌کند، همچنین مواد غیرضروری را توسط جریان خون به صفرا انتقال می‌دهد (Blazovics *et al*., 2002). معمولاً کبد جوندگان در مقایسه با سایر اندام های درونی بالاترین مقادیر فلزات ضروری مانند مس و روی را در خود تجمع می‌دهد (Schleich *et al*., 2010; Pereira *et al*., 2006).

نتایج همچنین نشان داد که عنصر روی نسبت به مس و کروم در بافت مو و کبد تجمع بیشتری دارد. فلز روی به‌علت نقش فیزیولوژیکی قابل توجهی که در بدن دارد به نسبت سایر فلزات تجمع بیشتری در بافت‌های بدن دارد. فلز روی یکی از اجزای تشکیل‌دهندهٔ بسیاری از متالونین‌ها و پروتئین‌ها در بدن است (Filistowicz *et al*., 2012). غلظت فلزات سنگین در بافت‌های مختلف جوندگان به فاکتورهای مختلفی ازجمله سن، وضعیت فیزیولوژیکی، مکانیسم‌های هموستازی افراد، جنس، رژیم غذایی موجود، ترکیب شیمیایی فلزات سنگین، فیزیولوژی جذب و دفع عناصر در بدن گونه، کارکرد این عناصر در اندام‌های مختلف و منابع تولید این فلزات در اطراف زیستگاه بستگی دارد (Sawicka-Kapusta *et al*., 1995). براساس مطالعات مختلف الگوی انباشتگی فلزات سنگین در بافت‌های مختلف جوندگان به‌صورت Fe>Zn>Cu>Pb>Ni>Cr است (Sumbera *et al*., 2003; Damek-Poprawa & Sawicka-Kapusta, 2004; Sanchez-Chardi *et al*. 2009; Sanchez-Chardi & Nadal, 2007; Minami *et al*., 2008; Schleich *et al*., 2010) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

نتایج نشان داد بین فاکتور جنسیت با غلظت فلزات روی، مس و کروم در بافت مو و کبد جوندهٔ مطالعه‌شده اختلاف معناداری وجود دارد ($P<0/01$) و ماده‌ها تجمع بیشتری از فلزات اندازه‌گیری شده را در بافت مو و کبد نشان می‌دهند. Pankakoski و همکاران (1993) تفاوت معناداری بین غلظت فلزات سرب و مس بین جنس نر و ماده در اندام‌های کلیه و کبد حفار اروپایی[1] مشاهده کردند به‌گونه‌ای که میزان فلز سرب و مس در کبد و کلیه جنس ماده بیشتر از جنس نر بود. Tovar-Sanchez و همکاران (2012) پژوهشی بر روی جوندگانی که زیستگاهشان تحت‌تأثیر فعالیت‌های معدنی قرار گرفته است، انجام دادند و میزان تخریب DNA متأثر از تجمع فلزات سنگین را در جوندگان ماده بیشتر از جوندگان نر اعلام کردند. غلظت‌های متفاوت فلزات در بافت مو و کبد جنس نر و ماده ممکن است به‌علت تفاوت در رژیم غذایی آنها باشد (Bergeron, 1976; Bergeron, 1979). یکی از دلایلی که می‌توان به‌وسیلهٔ آن اختلاف غلظت فلزات سنگین در جنس نر و ماده را توجیه کرد، تأثیرات هورمونی است. هورمون‌های جنس ماده سبب افزایش متابولیسم زنوبیوتیک[2] در بدن می‌شود که در نتیجهٔ آن تجمع فلزات در بدن بالا می‌رود. متابولیسم در تجمع فلزات سنگین و مواد سمی در بدن نقش دارد و جانورانی که متابولیسم بالاتری دارند، بیشتر در معرض سموم و فلزات سنگین قرار می‌گیرند (Mugford & Kedderis, 1998). جردهای ماده در طول سال بین دو تا سه بار آبستن می‌شوند و در هر دوره بین دو تا هفت فرزند به دنیا می‌آورند (Ziaie, 2008)، درنتیجه برای تولید مثل و پرورش فرزندان انرژی بیشتری نسبت به نرها صرف می‌کنند. به‌طورکلی، فعالیت هورمون‌ها، میزان جذب و دفع فلزات، رژیم غذایی و فعل و انفعالات

1. Talpa europaea
2. Xenobiotic metabolism

موجود در بین فلزات مختلف در میزان جذب فلزات ضروری مانند مس و روی در جنسیت‌های مختلف تأثیرگذار است (Sanchez-Chardi *et al*., 2009).

نتایج همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که بین غلظت فلزات سنگین در بافت خارجی (مو) و بافت داخلی (کبد) همبستگی معناداری وجود ندارد. D'Have و همکاران (2006) هیچ رابطهٔ همبستگی معناداری بین فلزات مس، روی و نیکل در اندام‌های داخلی و خارجی نوعی خارپشت[1] مشاهده نکردند. Ikemoto و همکاران (2004) نیز هیچ‌گونه رابطهٔ همبستگی میان فلزات کبالت، کروم و مس در بافت مو و اندام‌های درونی فک پیدا نکردند. در مطالعه‌ای بر روی فک دریای خزر[2] نیز هیچ‌گونه ارتباطی میان فلزات نیکل و روی در بافت مو بافت‌های داخلی یافت نشد (Medvedev *et al*., 1997). همچنین در مطالعات مشابه بر روی انسان هیچ‌گونه رابطهٔ همبستگی بین فلزات مس، آهن، روی و کبالت در بافت مو و کبد و کلیه یافت نشد (Muramatsu & Parr, 1998; Yoshinaga *et al*., 1988). مدتی که جانوران در تماس با فلزات سنگین موجود در محیط قرار می‌گیرند عاملی مهم در ایجاد یک رابطهٔ همبستگی بین فلزات و بافت‌های داخلی و خارجی است (D'Have *et al*., 2006). سطوح فلزات سنگین در بافت‌های درونی جانوران تا حد مشخصی توسط مکانسیم هموستازی تنظیم می‌شود به این معنا که با افزایش تجمع فلزات سنگین در بافت‌های خارجی مانند مو ممکن است مقادیر این فلزات در بافت‌های درونی نیز بالا برود، ولی توسط مکانیسم هموستازی غلظت آنها در بافت‌های داخلی تعدیل می‌شود (Talmage & Walton, 1991). وجود روابط همبستگی بین فلزات در بافت‌های داخلی و خارجی جانوران به فاکتورهای متعددی مانند سن، جنس، رژیم غذایی، فعل و انفعالات بین فلزات و بیماری‌ها مرتبط است (Hammer *et al*., 1971; Shukla *et al*., 1998). با توجه به نبود ارتباط معنادار بین بافت مو و بافت کبد، در مطالعات آتی نمی‌توان از بافت مو به‌عنوان یک شاخص زیستی مناسب برای تشخیص غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در بافت کبد استفاده کرد، اما این امر مستلزم مطالعات بیشتر است. با توجه به این موضوع که جرد ایرانی تقریباً تمامی معیارهای مناسب برای گونهٔ شاخص زیستی ازقبیل بیشترین وابستگی زیستگاهی و تغذیه‌ای به زیستگاه، اندازهٔ بدن کوچک، توانایی انطباق سریع با محیط زیست، قلمرو کوچک، قرارگرفتن در طبقه‌ای متوسط از زنجیرهٔ غذایی و برخورداری از مطلوب را داراست می‌تواند در این مطالعه و مطالعات آتی به عنوان گونهٔ شاخص به کار رود (Talmage & Walton, 1991; Pereira *et al*., 2006). تفاوت در تجمع فلزات سنگین در بافت‌های مو و کبد جنس‌های نر و ماده این جونده بیانگر اهمیت جنسیت به‌عنوان یک عامل مؤثر در تجمع فلزات سنگین است. درنتیجه در صورت انتخاب این جونده به‌عنوان گونهٔ شاخص زیستی برای سنجش آلودگی‌های احتمالی معدن در آینده، این عامل باید مورد توجه قرار گیرد. همچنین شایسته است که در مطالعات آتی اثر تجمعی سایر معادن موجود در منطقه نیز در نظر گرفته شود. درنهایت پیشنهاد می‌شود شرکت ملی صنایع مس ایران ضمن بهره‌برداری از کانسار عظیم مس درهٔ زرشک، نسبت به رعایت اصول زیست‌محیطی و رعایت قوانین بهبود و بهسازی محیط زیست اقدامات لازم را مبذول دارد.

تقدیر و تشکر

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

1. Erinaceus europaeus
2. Pusa caspica

REFERENCES

1. Beernaert, J., Schiers, J., Leirs, H., Blust, R., Van Hagen, R., 2007. Non-destructive pollution exposure assessment by means of wood mice hair. Environment Pollution 145, 443–51.
2. Bergeron, J.M., 1976. Elements mineraux du regime alimentaire du campagnol des champs, *Microbus pennsylvanicus* Ord. Canadian Journal of Zoology, 54, 1565-70. (In French).
3. Bergeron, J.M., Juliet, J., 1979. L'alimentationestivale du campagnol des champs, *Microtus pennsylvanicus* Ord. Canadian Journal of Zoology 57, 2028-32. (In French).
4. Bla´zovics, A., Abaza, M., Sı´pos, P., Szemtmiha´lyi, K., Fehe´r, E., Szila´gyi, M., 2002. Biochemical and morphological changes in liverand gallbladder bile of broiler chicken exposed to heavy metals (cadmium, lead, mercury). Trace Elements and Electrolytes 19(1), 42-47.
5. Carral, E., Puente, X., Villares, R., Carballeira, A., 1995. Background heavy metal sediments and organisms in Galicia (northwest Spain) as determined by modal analysis levels in estuarine. Science of the Total Environment 172, 175–188.
6. Damek-Poprawa, M., Sawicka-Kapusta, K., 2004. Histopathological changes in the liver, kidneys, and testes of bank voles environmentally exposed to heavy metal emissions from the steelworks and zinc smelter in Poland. Environmental research 96(1), 72-78.
7. D'Havé, H., Scheirs, J., Mubiana, V.K., Verhagen, R., Blust, R., DeCoen,W., 2006. Non-destructive pollution exposure assessment in the European he*d*gehog (*Erinaceuse uropaeus*): II. Hair and spines as indicators of endogenous metal and As concentrations. Environmental Pollution 142, 438–48.
8. Filistowicz, A., Dobrzański, Z., Przysiecki, P., Nowicki, S., Filistowicz, A., 2011. Concentration of heavy metals in hair and skin of silver and red foxes (*Vulpes vulpes*). Environmental monitoring and assessment 182(1-4), 477-484.
9. Hammer, D.T., Finklea, J.F., Hendricks, R.H., Shy, C.M., Minners, T.A., Roggan, W.B., 1971. Trace metals in human hair as a simple epidemiologic monitor of environmental exposure. American Journal of Epidemiology 93, 84-92.
10. Haschek, W.M., Rousseaux, C.G., 1998. Fundamentals of Toxicological Pathology. Academic Press, San Diego, California, USA.
11. Ikemoto, T., Kunito, T., Watanabe, I., Yasunaga, G., Baba, N., Miyazaki, N,.Petrov, E.A., Tanabe, S., 2004. Comparison of trace element accumulationin Baikal seals (Pusasibirica), Caspian seals (*Pusa caspica*) and northern fur seals (*Callorhin usursinus*). Environmental Pollution 127, 83-97.
12. Martiniaková, M., 2010. Yellow-necked mice (*Apodemus flavicollis*) and bank voles (*Myodes glareolus*) as zoomonitors of environmental contamination at a polluted area in Slovakia. Acta Veterinaria Scandinavica 52, 1-58.
13. Medvedev, N., Panichev, N., Hyva¨rinen, H., 1997. Levels of metals in seals of Lake Ladoga and the White Sea. Science of the Total Environment 206, 95-105.
14. Minamia, T., Yamazakia, H., Ohamab, N., City, H. O., 2009. Accumulation of heavy metals in the organs of wild rodents. Environmental Pollution 21, 11-17.
15. Mugford, C.A., Kedderis, G.L., 1998. Sex dependent metabolism of xenobiotics. Drug Metabolism Review 30, 441–498.
16. Muramatsu, Y., Parr, R.M., 1988. Concentrations of some trace elements in hair, liver and kidney from autopsy objects Relationships between hair and internal organs. Science of the Total Environment 76, 29-40.
17. Pankakoski, E, 1993. Accumulation of heavy metals in the mole in Finland. Environmental Pollution 80, 9-16.
18. Pereira, R., Pereira, M. L., Ribeiro, R., Gonzales, F, 2006. Tissues and hair residues and histopathology in wild rats (*Rattus rattus* L.) and Algerian mice (*Muss pretus*) from an abandoned mine area (Southeast Portugal). Environmental Pollution, 139(3), 561-575.
19. Pooya Mohit Planning Company, 2012. The report of environment impact assessment of

Darreh zereshk copper mine, 570.

20. Sánchez-Chardi, A., Ciro Alberto, O.R., Jacint, N., 2009. Metals in liver and kidneys and the effects of chronic exposure to pyrite mine pollution in the shrew *Crocid urarussula* inhabiting the protected wetland of Doñana. Chemosphere 76, 387-394.

21. Sánchez-Chardi, A., Nadal, J., 2007. Bioaccumulation of metals and effects of landfill pollution in small mammals. Part I. The greater white-toothed shrew, *Crocid urarussula*. Chemosphere 68, 703 –711.

22. Sawicka-Kapusta, K., Zakrzewska, M., Kowalska, A., Lenda, B., Skrobacz, M., 1995. Heavy metalconcentrations in small mammals from Borecka forest. Arch. Ochr. Środ. 3,229–234

23. Schleich, C. E., Beltrame, M. O., Antenucci, C. D., 2010. Heavy metals accumulation in the subterranean rodent *Ctenomy stalarum* (Rodentia: Ctenomyidae) from areas with different risk of contamination. Folia Zoology 59, 108-114.

24. Shukla, G.S., Kalia, K., Mathur, N., Chandra, S.V., 1988. Age dependent distribution and retention of cadmium in the selected organs of rat. Chemosphere 17, 661-670.

25. Silva, A.M.M., Novelli, E.L.B., Fascineli, M.L., Almeida, J.A., 1999. Impact of an environmentally realistic intake of water contaminants and superoxide formation on tissues of rats. Environmental Pollution 105, 243-249.

26. Šumbera, R., Baruš, V., Tenora, F., 2003. Heavy metals in the silvery mole-rat, *Heliophobiusar genteocinereus* (*Bathyergidae*, Rodentia) from Malawi. Folia Zoology 52, 149–153.

27. Talmage, S.S., Walton, B.T., 1991. Small mammals as monitors of environmental contaminants. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology 119, 47-145.

28. Tovar-Sánchez, E., Cervantes, L.T., Martínez, C., Rojas, E., Valverde, M., Ortiz-Hernández, M.L., Mussali-Galante, P., 2012. Comparison of two wild rodent species as sentinels of environmental contamination by mine tailings. Environmental Science and Pollution Research 19(5), 1677-1686.

29. Yigit, N., Colak, E., 1999. Study of A study of the Taxonomy and Karyology of *Meriones persicus* (Blanford, 1875) (Mammalia:Rodentia) in Turkey. Turkish Journal Zoology 23, 269-274.

30. Yoshinaga, J., Imai, H., Nakazawa, M., Morita, M., 1990. Lack of significantly positive relationships between elemental concentrations in hair and inorgans. Science of the Total Environment 99, 125-135.

31. Ziaie, H., 2008. A Field Guide to the Mammals of Iran. Press, Iran ildlife Center, 416 p. (In Persian).