بررسی غلظت فلزات سنگین در بافت‌های مختلف جرد ایرانی به عنوان گونه‌ی شاخص زیستی دره زرشک، یزد

منوچهر خزاعی[۱]، امیرحسین حمیدیان[۱*]، افشین علیزاده[۱]، سهراب اشرفی[۱]، سیدعلی‌اصغر میرجلیلی[۲]، عصمت اسمعیل‌زاده[۳] و مریم زارع رشکوئیه[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۴)

چکیده

در این مطالعه غلظت عناصر مس، نیکل، سرب، کادمیم، استرانسیم، منیزیم موجود در بافت مو، شش و استخوان ران جرد ایرانی به‌عنوان گونه‌ی شاخص زیستی در مناطق مختلف محدوده‌ی معدن مس دره زرشک مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌برداری به‌صورت سیستماتیک تصادفی با استفاده از تله‌ی فنری در تابستان ۱۳۹۱ از مناطق مختلف محدوده‌ی معدن مس انجام گرفت. غلظت فلزات در بافت‌های مختلف با روش هضم اسیدی تر و با دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد. مقدار سرب و کادمیم در بافت‌های مورد بررسی زیر حد تشخیص دستگاه گزارش شد. نتایج نشان داد که مس و نیکل در بافت مو و منیزیم و استرانسیم در بافت استخوان جرد ایرانی به‌شکل معنی‌داری بیشتر از سایر بافت‌ها تجمع می‌یابند (P<۰/۰۱). الگوی تجمع عناصر در بافتهای مختلف به‌شکل منیزیم>استرانسیم>کروم>مس> نیکل مشاهده شد. در حالت کلی جنس ماده‌ی جرد ایرانی نسبت به جنس نر تجمع بیشتری از عناصر را نشان داد. غلظت مس در بافت موی جوندگان سه منطقه‌ی اول و غلظت نیکل، استرانسیم و کروم در بافت‌های مو و شش جوندگان منطقه‌ی چهار اختلاف معنی‌داری را با سایر مناطق نشان دادند.

واژه‌های کلیدی:جرد ایرانی، فلزات سنگین، معدن مس، بافت، گونه شاخص زیستی

۱.گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
۲.گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران
۳. گروه مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت، تهران
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a.hamidian@ut.ac.ir

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.10.4.8]

مقدمه

از جمله مهمترین منابع انسانی اصلی در تولید فلزات سنگین فرآیندهای مختلف صنعتی مانند معدن‌کاری، کارخانه‌های ذوب فلزات، احتراق سوخت‌های فسیلی و گازوئیل و پساب زباله‌سوزها هستند (۲۳ و ۱). فلزات سنگین به‌طور طبیعی از اجزای تشکیل دهنده پوسته‌ی زمین هستند ولی فعالیت‌های انسانی به‌صورت قابل توجهی چرخه‌ی ژئوشیمیایی و توازن بیوشیمیایی آنها را تغییر می‌دهد (۱۶)، در نتیجه ممکن است منجربه ورود غلظت بسیار بالایی از فلزات سنگین به محیط، گاه ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر بالاتر از آنچه در پوسته زمین وجود دارد، شود و به‌شرط فراهم بودن شرایط زیست دسترس‌پذیری موجودات زنده را در معرض سطوح بالایی از آنها قرار دهد (۱۰). چرا که همیشه وجود میزان عناصر در منطقه نمی‌تواند دلیل ریسک انتقال به موجودات باشد و فراهم شدن شرایط انتقال و به‌عبارتی دسترسی پذیری زیستی عناصر از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. .

شناسایی، اهمیت و آثار فلزات سنگین در اکوسیستم، موجبات گسترش طرح‌های پایش زیستی با هدف اندازه‌گیری سطوح آلاینده در ارگانیسم‌های مختلف را فراهم نموده است که در این مطالعات گونه‌های شاخص به‌منظور برآورد سطوح این آلاینده‌ها در قسمت‌های مختلف اکوسیستم استفاده می‌شوند (۱۳). جوندگان نسبت به آلودگی‌های محیط‌زیستی به‌خصوص آلودگی فلزات سنگین بسیار حساس بوده و می‌توانند به‌عنوان پایشگر در مناطق آلوده استفاده شوند. علاوه بر این الگوی توزیع فلزات سنگین در بافت‌های بدن جوندگان بسیار شبیه به بافت‌های بدن انسان است (۳۹ و ۱۷). جرد ایرانی (*Meriones persicus*) به راسته‌ی جوندگان، خانواده‌ی موش‌ها، زیر خانواده‌ی جربیل‌ها و جنس مرینوس تعلق دارد. جرد ایرانی جثه‌ای متوسط و گوش‌های نسبتاً بلند و تا حدی مثلثی شکل دارد و در اکثر نواحی ایران مانند مناطق صخره‌ای و استپ‌های کوهستانی، دشت‌ها، مناطق جنگلی زاگرس، باغ‌ها و مزارع زندگی می‌کند (۴). مطالعات متعددی از جوندگان به‌عنوان شاخص زیستی برای پایش مناطق مختلف استفاده کرده‌اند (۱۲، ۲۶، ۳۳، ۴۵ و ۴۶). در این پژوهش سعی بر این است تا با تعیین غلظت فلزات مس، سرب، کادمیوم، استرانسیم، نیکل و منیزیم در بافت مو، شش و استخوان ران جرد ایرانی، وضعیت موجود این منابع از نظر سطح این عناصر مشخص شود تا بتوان در سال‌های آتی و پس از بهره‌برداری از معدن مس دره زرشک به مقایسه وضعیت ایجاد شده با شرایط اولیه پرداخت و تأثیرات معدن را بر این جونده به‌عنوان گونه‌ی پایشگر در این منطقه تعیین نمود.

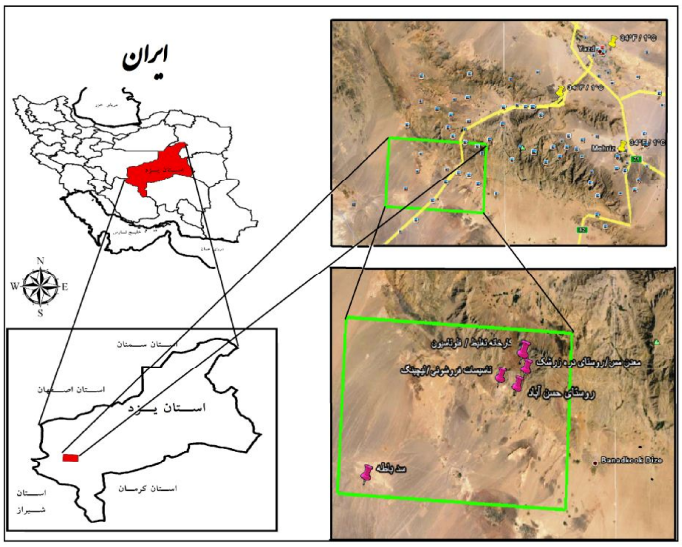
در حقیقت انجام این مطالعه مبنایی برای انجام مطالعات آتی در راستای مدیریت زیست محیطی معدن مس دره زرشک در زمان بهره‌برداری از آن در آینده‌ای نزدیک خواهد بود.

مواد و روش‌ها

همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد محل کانسار مس دره زرشک که یکی از غنی‌ترین معادن مس در کشور و خاورمیانه می‌باشد 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 را آبرفت کم ضخامت پوشانده است تشکیل شده است (۴). محدوده مطالعاتی معدن دره زرشک در ارتفاع ۲۴۰۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است به‌طور کلی مناطقی که عملیات ساخت و ساز و اصلی‌ترین فعالیتهای مرحله بهره‌برداری در آنجا انجام خواهد شد شامل محدوده معدن دره زرشک (روستای دره زرشک)، روستای حسن آباد، محدوده اراضی تأسیسات فروشویی (Leaching)، محدوده‌ی اراضی کارخانه‌ی تغلیظ و سد باطله به‌عنوان ایستگاه‌های مورد مطالعه مد نظر قرار گرفته‌اند (جدول ۱). آخرین منطقه‌ی نمونه‌برداری که سد باطله می‌باشد اختلاف ارتفاع قابل توجهی با سایر مناطق به‌خصوص معدن مس دره زرشک (منطقه دو) دارد (۴). نمونه‌برداری از مناطق مختلف محدوده مطالعاتی معدن مس دره زرشک با استفاده از تله‌های فنری و به‌روش

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.10.4.8]



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. نام و مختصات مناطق مورد مطالعه

نام ایستگاه	شماره ایستگاه	مختصات جغرافیایی	
کارخانه تغلیظ	۱	۳۱ °N۳۴ ’	۵۳ °E۵۵ ’
معدن مس (روستای دره زرشک)	۲	۳۱ °N۳۳ ’	۵۳ °E۵۱ ’
روستای حسن آباد	۳	۳۱ °N۳۲ ’	۵۳ °E۵۰ ’
تأسیسات فروشویی	۴	۳۱ °N۳۳ ’	۵۳ °E۴۸ ’
سد باطله	۵	۳۱ °N۳۳ ’	۵۳ °E۳۵ ’

سیستماتیک تصادفی در تابستان ۹۱ انجام گرفت. در طی مدت نمونه‌گیری در مجموع ۳۹ جرد ایرانی جمع آوری گردید. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری در محل به‌صورت کشته، در محفظه‌ی پلاستیکی تمیز قرار داده شده، سپس تاریخ جمع آوری، موقعیت جغرافیایی برداشت نمونه، نوع طعمه به‌کار گرفته شده و نوبت جمع‌آوری در فرم از پیش تهیه شده، ثبت شد. در گام بعد نمونه‌ها در یونولیتی که حاوی قطعات یخ بود، گذاشته شده و از محل نمونه گیری به آزمایشگاه آلودگی گروه محیط زیست دانشگاه تهران منتقل شدند. در آزمایشگاه تا فراهم شدن مقدمات کار نمونه‌ها در داخل فریزر در دمای منهای چهار درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند. تمام وسایل مورد استفاده که شامل ارلن‌ها، وسایل تشریح (قیچی، پنس و اسکالپر) و قوطی‌های مورد نیاز جهت نگهداری نمونه‌ها بود پس از شسته شدن با مایع ظرفشویی و سه بار شستشو با آب مقطر به‌مدت ۴۸ ساعت در داخل حمام اسیدی ۱۰ درصد اسید نیتریک قرار داده شدند. بدین ترتیب که به‌نسبت ۱۰ به ۱۰۰ اسید نیتریک و آب مقطر در ظرف مناسبی با یکدیگر ترکیب شدند. در نهایت وسایل مورد نظر سه بار با آب دوبار تقطیر(دی یونیزه) شست و شو داده شدند تا استریل و عاری از آلودگی‌های احتمالی گردند (۹). نمونه‌های منجمد شده به‌مدت شش ساعت در بیرون از آزمایشگاه قرار گرفتند تا زمانی که یخ آنها باز شود. سپس با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم نمونه‌ها وزن و سپس تعیین جنسیت شدند. در گام بعدی بافت‌های شش، مو و استخوان ران نمونه‌ها جداسازی و وزن شدند تا وزن تر آنها به‌دست آید. سپس به‌منظور ثابت کردن وزن نمونه‌ها و هضم سریعتر نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۸۰ درجه

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.10.4.8]

جدول ۲. میانگین (± انحراف معیار) غلظت فلزات سنگین در بافت مو، استخوان و شش جرد ایرانی

بافت/ فلز	مس	نیکل	استرانسیم	منیزیم	کروم
مو	۱۰/۱۷±۳/۶۹۱^{Ca}	۹/۵۷±۴/۴۵۱^{Ca}	۲۴/۵۸۸±۸/۵^{Ba}	۵۱۲/۶۱۴±۷۵/۲۱۱^{Aa}	۱۰/۹۶۸±۷/۷۶۴^{Ca}
شش	۳/۴۱۶±۱/۲۶۷^{Cb}	۶/۵۹۲±۴/۴۵۱^{Cb}	۵/۵۶۷±۲/۱۸۷^{Cb}	۲۰۲۰/۸۶۳±۱۲۰/۳۲۱^{Ab}	۹/۹۶۲±۶/۶۷۷^{Ba}
استخوان	۲/۵۱±۱/۱۶۱^{Db}	۴/۴۹۱±۳/۶۴^{Db}	۲۱۵/۶۱۷±۴۸/۰۲۷^{Bc}	۳۸۱/۵۱۶±۴۱/۴۶^{Ac}	۹/۲۴۵±۷/۴۲۴^{Ca}

عدم وجود حرف مشابه در هر ستون به معنی اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد (a> b> c)

سانتیگراد قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. در مرحله بعد به‌منظور هضم اسیدی، نمونه‌های خشک شده در داخل ارلن قرار گرفته و به‌هر 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. سپس ارلن‌ها را بر روی هات پلیت قرار داده تا با حرارت ملایم، اسید شروع به تبخیر شدن نماید و در اثر حرارت عمل هضم کامل و محلولی شفاف حاصل گردد (۲۸). پس از هضم، نمونه‌ها در هوای محیط قرار داده شد تا سرد شوند. در مرحله بعد با افزودن اسید نیتریک ۱٪ درون ارلن‌ها، آنها را به‌حجم ۲۵ سی‌سی رسانده تا رقیق شوند، سپس محلول مورد نظر بعد از عبور از کاغذ صافی واتمن۴۲(Whatman, England) به‌درون بطری‌هایی که از قبل ضدعفونی و وزن شده‌اند، ریخته شد و بطری‌های حاوی محلول دوباره وزن شدند. برای مطالعه و اندازه‌گیری غلظت فلزات مورد بررسی ICP-OES (VARIAN, 725-ES) ساخت کشور استرالیا کلیه مواد مصرفی از شرکت (Merck) تهیه شدند. در ابتدا نرمال بودن با استفاده از آزمون کلموگرف اسمیرنوف و همگنی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس از روش آماری تجزیه واریانس یک طرفه برای مقایسه‌های کلی و آزمون دانکن جهت قیاس‌های چندگانه و معنی‌دار بودن اختلاف‌ها در سطح اعتماد ۹۹٪ استفاده شد. به‌منظور مقایسه غلظت فلزات در بافت مو، شش و استخوان جرد ایرانی در جنس نر و ماده از آزمون t-test مستقل استفاده شد. آنالیز آماری نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16 انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت کادمیم و سرب در بافت‌های مختلف جرد ایرانی زیر حد تشخیص دستگاه بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که میانگین غلظت منیزیم و استرانسیم در بافت استخوان اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر بافت‌ها دارد (P<۰/۰۱). بر اساس نتایج مس و نیکل در بافت مو به شکل معنی‌داری بیشتر از سایر بافت‌ها تجمع می‌یابد (P<۰/۰۱). غلظت کروم در بافت‌های مختلف جرد ایرانی اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر نشان نداد (جدول۲). نتایج نشان داد منیزیم به شکل معنی‌داری بیشتر از سایر فلزات در بافت‌های مختلف جرد ایرانی تجمع پیدا کرده است (جدول ۲). تمامی میانگین‌های ذکر شده در جداول بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر می‌باشد.

نتایج نشان داد که غلظت مس و منیزیم در بافت مو و استخوان جنس ماده جرد ایرانی اختلاف معنی‌داری با جنس نر دارد (P<۰/۰۱). علاوه بر این اختلاف معنی‌دار بین میزان تجمع استرانسیم در بافت‌های مو، استخوان و شش در جنس نر و ماده این جونده مشاهده شد (P<۰/۰۱). نیکل به‌شکل معنی‌داری در بافت‌های مو و شش جردهای ماده بیشتر از جردهای نر تجمع می‌یابد (P<۰/۰۱). هم‌چنین میزان تجمع کروم نیز در بافت استخوان دو جنس نر و ماده نیز دارای اختلاف معنی‌دار بود (P<۰/۰۱). نتایج حاصل از تجمع فلزات در بافت‌های مختلف دو جنس نر و ماده جرد ایرانی در جدول ۳ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج اختلاف معنی‌دار بین غظت استرانسیم، نیکل و کروم موجود در بافت شش جوندگان منطقه‌ی چهار نسبت به‌سایر مناطق مشاهده شد (P<۰/۰۵) (جدول۴). مقدار کروم، استرانسیم و نیکل در بافت موی جوندگان منطقه چهار و مقدار مس در بافت موی جوندگان سه منطقه‌ی اول به‌شکل

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.10.4.8]

جدول ۳. میانگین (± انحراف معیار) غلظت فلزات سنگین در بافت‌های مختلف جنس نر و ماده جرد ایرانی

فلز	جنسیت	بافت		
		مو	شش	استخوان
مس	نر	۸/۹۶±۲/۵۶۶^{Ab}	۳/۴۳۵±۲/۲۵۱^{Ba}	۱/۴۱۲±۰/۶۹۱^{Cb}
	ماده	۱۱/۷۵۹±۳/۱۸۷^{Aa}	۳/۲۷۹±۴/۴۵۱^{Ba}	۲/۹۱۲±۱/۲۶۷^{Ba}
نیکل	نر	۷/۱۸۶±۴/۰۰۷^{Ab}	۵/۵۱۱±۲/۲۴۵^{Bb}	۵/۶۵۶±۱/۱۱۱^{Ba}
	ماده	۱۱/۷۱۵±۴/۵۹^{Aa}	۷/۹۹±۲/۸۹۱^{Ba}	۶/۳±۳/۶۹۱^{Ba}
استرانسیم	نر	۲۲/۹۵±۸/۱۸۷^{Bb}	۴/۹۸۸±۱/۲۲۱^{Cb}	۱۹۳/۸۴۵±۳۶/۲۸۷^{Ab}
	ماده	۲۶/۸۸۶±۸/۲۲۷^{Ba}	۷/۴۹۱±۲/۰۴^{Ca}	۱۹۹/۹۷۳±۴۴/۳۶۱^{Aa}
کروم	نر	۱۰/۳۷۱±۸/۵^{Aa}	۹/۴۲±۳/۴۷۱^{Aa}	۸/۱۳۸±۲/۶۸۸^{Ab}
	ماده	۱۱/۰۱۱±۲/۱۸۷^{Aa}	۹/۹۳۹±۴/۲۲۱^{Aa}	۱۱/۲۲۹±۴/۲۲۷^{Aa}
منیزیم	نر	۹۲۳/۳۴۸±۷۸/۰۲۷^{Bb}	۳۸۷/۳۸۲±۲۶/۶۰۴^{Ca}	۱۹۸۵/۵۸۸±۱۱۲/۱۸۱^{Ab}
	ماده	۹۴۸/۸۳۹±۷۴/۵۱۲^{Ca}	۳۹۰/۶۸۸±۲۹/۴۰۱^{Ca}	۲۰۶۵/۱۶۵±۱۴۰/۸۸۱^{Aa}

عدم وجود حرف مشابه در هر ستون به معنی اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد (a> b> c)

جدول ۴. مقایسه میانگین (± انحراف معیار) فلزات بافت شش جرد ایرانی در مناطق مختلف محدوده مطالعاتی

فلز	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵
کروم	۹/۴۷۲±۲/۲۸۶^{b}	۹/۹۹±۲/۱۴۴^{b}	۱۱/۷۰۲±۴/۲۳۲^{b}	۱۶/۶۶±۳/۷۷^{a}	۷/۷۱±۲/۱۱۴^{b}
مس	۳/۰۶۷±۱/۱۸۷^{a}	۲/۹۱۴±۱/۱۰۷^{a}	۳/۷۹۹±۰/۹۸۳^{a}	۳/۸۹۸±۱/۱۴۴^{a}	۳/۲۶۲±۱/۹۹^{a}
منیزیم	۳۹۹/۶۶۹±۴۹/۲۴۷^{a}	۳۵۳/۳۴۷±۴۲/۸۸^{a}	۴۵۰/۲۸۷±۳۵/۱۱۱^{a}	۳۸۷/۵۶۴±۴۸/۲۲۷^{a}	۳۶۰/۵۲±۴۵/۹۷۷^{a}
نیکل	۶/۵۴۲±۲/۲۱۶^{b}	۶/۸۲۵±۲/۱۴۶^{b}	۶/۵۱۷±۳/۱۰۶^{b}	۹/۶۳۱±۴/۸۸^{a}	۵/۶۱±۱/۹۸۹^{b}
استرانسیم	۵/۸۲۴±۱/۹۰۶^{b}	۵/۰۵۴±۲/۰۰۲^{b}	۶/۵۸۲±۳/۲^{b}	۱۲/۶۳۸±۴/۲۸۱^{a}	۴/۶۵±۰/۲۴۷^{b}

عدم وجود حرف مشابه در هر ستون به معنی اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد (a> b> c)

معنی‌داری بیشتر از سایر مناطق بود (P<۰/۰۵) (جدول۵). هیچگونه تفاوت معنی‌داری بین غلظت فلزات سنگین موجود در بافت استخوان جردهای ایرانی مناطق مختلف محدوده‌ی معدن مس دره زرشک مشاهده نشد(P>۰/۰۵) (جدول۶).

یکی از ابزارهای مناسب برای پایش اثرات فلزات سنگین حاصله از فعالیت‌های انسانی استفاده از جانوران شاخص است. این جانوران به‌دلیل اینکه ارتباط مستقیمی با آب، خاک، هوا و گیاهان منطقه دارند به‌خوبی بیانگر کیفیت محیط زیست منطقه هستند (۴۶). جوندگان نقش بسیار مهمی در اکوسیستم چه از لحاظ کارکردی و چه از لحاظ تغذیه‌ای دارند، هم‌چنین به‌دلیل اندازه‌ی بدن 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. مکانیسم‌های جذب، توزیع، متابولیسم و حذف فلزات سنگین و مواد سمی در جوندگان بسیار شبیه به انسان است (۱۵ و ۴۳). گونه اندیکاتور مناسب برای مطالعات پایش محیط زیستی دارای ویژگی‌های زیر است (۶، ۱۵، ۲۵، ۳۱، ۳۳ و ۴۵): ۱- حداکثر وابستگی محیطی و تغذیه‌ای را به زیستگاه داشته باشد. ۲- جمعیت آن در منطقه از مقدار مطلوبی برخوردار باشد تا نمونه‌گیری جمعیت را با خطر مواجه نکند. ۳- در تمام طول سال در منطقه حضور داشته باشد و به‌سایر مناطق مهاجرت نکند. ۴- نسبت به درجات مختلف آلودگی واکنش نشان دهد. ۵- قلمروی گونه کوچک باشد و توانایی انطباق سریع با محیط را داشته باشد. ۶- دارای جثه کوچکی باشد. ۷- یکی از اجزای

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.10.4.8]

جدول ۵. مقایسه میانگین (± انحراف معیار) فلزات بافت موی جرد ایرانی در مناطق مختلف محدوده مطالعاتی

فلز	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵
کروم	۱۰/۴۵۸±۴/۰۷^{b}	۹/۸۹۶۹±۲/۹۹۷^{b}	۸/۵۷۸±۳/۹^{b}	۱۸/۷۹۵۰±۴/۱۱۷^{a}	۷/۶۲۶±۴/۹۰۷^{b}
مس	۱۳/۲۹۵±۲/۱۲۳^{a}	۱۳/۵۱۲۴±۴/۸۰۸^{a}	۱۲/۹۸±۴/۸۸^{a}	۵/۵۷۴±۲/۳۲۴^{b}	۴/۹۶۸±۱/۸۰۷^{b}
منیزیم	۹۸۵/۱۳۸±۴۸/۸۷^{a}	۹۴۳/۰۷۹±۴۱/۱^{a}	۱۰۰۵/۴۵±۴۹/۷۷^{a}	۱۱۳۰/۹۶۵±۷۵/۲۲^{a}	۷۱۷/۱۷۱±۵۷/۰۰۲^{a}
نیکل	۱۰/۱۳۹۲±۵/۱۲^{b}	۹/۹۸۳۶±۴/۹۷^{b}	۸/۶۴۳±۲/۱۲۷^{b}	۱۶/۲۵۳۱±۲/۲۲^{a}	۵/۱۸۷±۳/۰۲^{c}
استرانسیم	۱۹/۹۹۹±۷/۴۴۲^{b}	۱۹/۲۲۰±۴/۹۰۷^{b}	۲۴/۸۴۳±۸/۷^{b}	۳۷/۵۸۵±۹/۱۵^{a}	۱۲/۶۸۶±۵/۰۰۸^{c}

عدم وجود حرف مشابه در هر ستون به معنی اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد (a> b> c)

جدول ۶. مقایسه میانگین (± انحراف معیار) فلزات بافت استخوان جرد ایرانی در مناطق مختلف محدوده مطالعاتی

فلز	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵
کروم	۱۵/۹۶۱±۵/۷۱۸^{a}	۱۵/۰۳۴±۴/۴^{a}	۱۱/۴۴۷±۳/۸۸۸^{a}	۷/۷۷۲±۲/۰۰۱^{a}	۶/۲۲۲±۱/۸۸^{a}
مس	۱/۷۷۷±۰/۷۵۴^{a}	۳/۵۴۵±۱/۰۲^{a}	۲/۹۵۳±۱/۲۴۹^{a}	۲/۲۲۵±۰/۳۷۵^{a}	۲/۴۲۴±۱/۰۰۷^{a}
منیزیم	۲۱۲۹/۲۱±۷۸/۲^{a}	۲۴۶۲/۹۵±۸۵/۱۳^{a}	۲۲۵۹/۳۵±۹۸/۶۷^{a}	۱۸۳۰/۸۵±۶۸/۸^{a}	۱۸۰۲/۳۷±۵۳/۵۷۴^{a}
نیکل	۹/۸۵۸±۱/۲۱۴^{a}	۸/۶۳۴±۴/۱۲^{a}	۵/۵۸۹±۱/۲^{a}	۴/۶۳۶±۱/۱۷^{a}	۳/۳۱۲±۱/۳۶^{a}
استرانسیم	۱۹۴/۴۳۹±۲۰/۸۷۸^{a}	۲۵۲/۹۴۱±۲۴/۸^{a}	۲۲۰/۰۴۲±۴۵/۱۴^{a}	۱۵۳/۹۷۶±۵۷/۱^{a}	۱۷۴/۶۳۳±۶۷/۹^{a}

عدم وجود حرف مشابه در هر ستون به معنی اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد (a> b> c)

مهم اکوسیستم‌های خشکی باشد و در طبقه‌ای متوسط از زنجیره‌های غذایی قرار گرفته باشد. با توجه به این که جرد ایرانی تقریباً دارای تمامی ویژگی‌های ذکر شده است (۳)، پس می‌تواند به‌عنوان گونه‌ی بیواندیکاتور در این مطالعه و مطالعات آتی مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج نشان داد که میزان تجمع مس و نیکل در بافت مو بیشتر از سایر بافت‌ها است. بافت مو به‌صورت مستقیم در معرض آلاینده‌های محیطی موجود در آب، هوا و خاک قرار دارد (۱۴). در نتیجه انتظار بر این است که غلظت سایر فلزات نیز در بافت مو بیشتر باشد در حالیکه طبق نتایج به‌دست آمده، میزان منیزیم و استرانسیم در بافت استخوان تجمع بیشتری یافته است. مو در پستانداران به‌طور عمده از کراتین تشکیل شده است. کراتین نوعی پروتئین است که از گروه های سولفوهیدریل سیستین (تیول) که تمایل بسیار زیادی به برقراری ارتباط با فلزات دارند، تشکیل شده است (۷). تمایل کاتیون‌ها به تشکیل لیگاند با گروه‌های تیول توسط اندازه، بار الکتریکی و الکترونگاتیوی کاتیون کنترل می‌شود. این تمایل در دسته‌ای از کاتیون‌ها توسط اندازه و بار الکتریکی و دسته‌ی دیگر توسط میزان الکترونگاتیویشان کنترل می‌شوند. این دو دسته از فلزات توسط پیرسون به‌ترتیب تحت عناوین کاتیون‌های سخت و نرم و کاتیون‌هایی با خصوصیات مابین آن‌ها کاتیون‌های حد واسط نام‌گذاری شده است. 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 آنها در بافت مو نسبت به‌سایر بافت‌ها می‌شود. با توجه به طبقه‌بندی پیرسون فلزات منیزیم و استرانسیم در گروه کاتیون‌های سخت و فلزات نیکل و مس در گروه‌های کاتیون‌های حدواسط قرار می‌گیرند (۳۲). نتایج مطالعه نشان داد که منیزیم از سایر فلزات مورد مطالعه در بافت‌های جرد ایرانی بیشتر تجمع می‌یابد. یکی از املاح مورد نیاز هر سلول از بدن پستانداران، منیزیم می باشد. حدود ۶۰ درصد از منیزیم موجود در بدن جوندگان در استخوان، ۲۶ درصد در عضله و ماهیچه‌ها و بقیه در بافت‌های نرم و مایعات بدن وجود دارد (۳۷). نیمی

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.10.4.8]

از ذخایر منیزیم بدن جوندگان درون سلول‌های بافت‌ها و اندام‌های بدن و نیمی از آن به‌صورت ترکیب با کلسیم و فسفر در استخوان وجود دارد و تنها یک درصد از منیزیم بدن جوندگان در خون یافت می‌شود (۳۵). بیش از ۳۰۰ واکنش بیوشیمیایی در بدن پستانداران برای فعالیت خود به منیزیم نیاز دارند، زیرا منیزیم باعث حفظ فعالیت نرمال ماهیچه و عصب، ضربان منظم قلب و استحکام استخوان‌ها می شود علاوه بر این در متابولیسم انرژی و سنتز پروتئین نیز منیزیم نقش دارد (۴۴). براساس مطالعات مختلف الگوی انباشتگی فلزات در بافت‌های مختلف جوندگان به‌صورت منیزیم>آلومینیوم>آهن>روی >استرانسیم>کروم>مس>نیکل می‌باشد (۱۲، ۱۴، ۱۵، ۲۸ و ۴۱) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

براساس نتایج در حالت کلی غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در بافت‌های جردهای ماده بیشتر از جردهای نر است. پانکاکوسکی و همکاران تفاوت معنی‌داری بین غلظت فلزات سرب و مس بین جنس نر و ماده در اندام های کلیه و کبد حفار اروپایی (*Talpa europaea*) مشاهده کردند به گونه‌ای که میزان فلز سرب و مس در کبد و کلیه جنس ماده بیشتر از جنس نر بود(۳۰). تاور سانچز و همکاران تحقیقی را بر روی جوندگانی که زیستگاهشان تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته است، انجام دادند و میزان تخریب DNA متأثر از تجمع فلزات سنگین را در جوندگان ماده بیشتر از جوندگان نر اعلام کردند(۴۶). فلز روی در بافت موی جردهای ایرانی ماده نیز در محدوده مطالعاتی معدن مس دره زرشک نسبت به جردهای نر تجمع بیشتری داشت (۲). رژیم غذایی متفاوت جنس‌های نر و ماده جوندگان در دوره‌های مختلف زندگی آنها می‌تواند در میزان تجمع عناصر در بافت‌های مختلف بدنشان مؤثر باشد (۸). یکی از دلایلی که می‌توان به‌وسیله آن اختلاف غلظت فلزات سنگین در بافت‌های مختلف جنس نر و ماده را توجیه کرد، تاثیرات هورمونی است. هورمون‌های جنس ماده باعث افزایش متابولیسم زنوبیوتیک در بدن می‌شود که در نتیجه آن تجمع فلزات در بدن بالا می‌رود. متابولیسم در تجمع فلزات سنگین و سایر موارد در بدن نقش دارد و جانورانی که متابولیسم بالاتری دارند، بیشتر در معرض سموم و سایر عناصر قرار می‌گیرند (۲۹). جردهای ماده در طول سال بین دو تا سه بار آبستن می‌شوند و در هر دوره بین دو تا هفت فرزند به‌دنیا می‌آورند (۳)، در نتیجه برای تولید مثل و پرورش فرزندان انرژی بیشتری نسبت به نرها صرف می‌کنند. به‌طور کلی فعالیت هورمون‌ها، میزان جذب و دفع فلزات، رژیم غذایی و فعل و انفعالات موجود در بین فلزات مختلف در میزان جذب فلزات ضروری مانند مس، روی، منیزیم و آهن در جنسیت‌های مختلف تاثیر گذار است (۳۸).

بیشتر مطالعاتی که در آنها از جوندگان به‌عنوان شاخص زیستی آلاینده‌ها استفاده شده است در مناطق بسیار آلوده‌ای صورت گرفته که سالیان دراز تحت تأثیر فعالیت‌های شدید صنعتی و معدنی قرار داشته‌اند. در نتیجه غلظت بیشتر عناصر اندازه‌گیری شده در این نقاط در بافت‌های جوندگان اختلاف معنی‌داری با مناطق شاهد که فاقد آلودگی بوده‌اند، داشت (۱۲، ۲۶، ۲۷، ۳۰، ۳۳، ۳۸). با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی معدن مس در ابتدای مسیر بهره‌برداری است و همچنین با مدیریت مناسب زیست محیطی که در منطقه در حال اجرا است و نیز با تکیه بر نتایج به‌دست آمده، نمی‌توان انتظار داشت که غلظت عناصر مورد مطالعه در بافت‌های مختلف جرد ایرانی در مناطق مختلف دارای اختلاف معنی‌دار باشد. نتایج نشان داد که میزان نیکل، استرانسیم و کروم در بافت‌های شش جردهای ایرانی گرفته شده از منطقه‌ی چهار اختلاف معنی‌داری با سایر مناطق مورد مطالعه دارد. علاوه بر این میزان فلزات کروم، نیکل و استرانسیم نیز در بافت موی جونده‌ی مورد مطالعه در این منطقه بیش از سایر مناطق مشاهده شد. در مجاورت این منطقه کارخانه آسفالت سازی قرار داشت که سنگ شکن‌های آن و واحد جداسازی خاک‌های نرم از ماسه در زمان نمونه‌گیری در حال فعالیت بود. طبق بررسی‌های صورت گرفته و پایش میدانی انجام شده علت انتقال این آلودگی نیز عدم استفاده از فیلترهای استاندارد در واحد سنگ شکن کارخانه مزبور تشخیص داده

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.10.4.8]

شد. حال آنکه در صورت استفاده از فیلترهای استاندارد و مناسب قطعا انتشار آلاینده‌های مذکور از سوی این واحد تا سطح مطلوب و استاندارد پایین می‌آمد. کارخانه‌های آسفالت‌سازی از جمله صنایع ایجاد کننده‌ی آلودگی هوا هستند که نقش مهمی را در انتشار آلاینده‌های هوا مخصوصاً ذرات معلق ایجاد می‌کنند (۲۱ و ۳۳). تولوئن، بنزن، سیترین، پرکلرواتیلن، تری کلرواتیلن، فرمالدهید، فنول و فلزات سنگین آلاینده‌های حاصل از فعالیت کارخانه‌های آسفالت‌سازی هستند (۳۶، ۴۰ و ۴۲). نیکل، استرانسیم و کروم از جمله فلزات سنگینی هستند که به‌صورت قابل توجهی از راه تنفسی وارد بدن جوندگان می‌شوند و در بافت شش تجمع می‌یابند (۵، ۱۱، ۱۸ و ۲۸). ته نشت‌های شیمیایی حاصل از فعالیت‌های انسانی که به‌شکل مرطوب و خشک بر روی سطح بافت موی جوندگان می‌نشیند نیز یکی از روش‌های جذب آلاینده‌ها توسط جوندگان است (۲۲ و ۴۳). نتایج نشان داد که میزان مس در سه منطقه‌ی اول (کارخانه تغلیظ، معدن مس دره زرشک و روستای حسن آباد) در بافت موی جرد ایرانی نسبت به سایر مناطق تجمع بیشتری داشت. مس فلزی (Cu)، کالکوپیریت ($CuFeS_2$)، بورنیت ($CuFeS_4$)، کالکوسیت (Cu_2S)، کوولیت $Cu(OH)_2$ و مالاکیت $Cu(OH)_2$ مهمترین و فراوانترین کانی‌های مس محسوب می‌شوند که در کانسارهای مس مشاهده می‌شوند. آهن، سرب، نیکل، روی، آنتیموان، آرسنیک و فلزات نادر شامل سلنیوم، تلوریوم، بیسموت، نقره و طلا عناصر فلزی هستند که در کانی‌های مس موجود در کانسارهای مس یافت می‌شوند و سهم عمده‌ای از خاک این مناطق را تشکیل می‌دهند. جوندگان به‌واسطه‌ی فعالیت‌هایی مانند حفر لانه، انبار غذا در لانه‌های زیر زمینی، فعالیت زیاد در زیستگاه و استتار به‌صورت مستقیم و مداوم در تماس با خاک محیط قرار می‌گیرند. بنابراین بافت موی آنها به‌صورت مداوم در معرض عناصر موجود در بافت خاک است. بافت مو انعکاس دهنده‌ی وضعیت عناصر و آلاینده‌های محیطی در محیط پیرامون جانوران است و معمولاً اولین بافتی است که در معرض آلاینده‌ها قرار می‌گیرد (۱۹ و ۲۰). بافت‌های کلسیمی مانند استخوان و دندان در طی دوران رشد جانور به هر میزانی که در معرض عناصر قرار بگیرند آنها را جذب و سپس تبدیل به مواد معدنی می‌کنند. مواد جذب شده توسط این بافت‌ها که بافت‌های سخت نیز نامیده می‌شوند در مقایسه با بافت‌های نرم مانند کبد و کلیه به‌دلیل تثبیت شدن در درون بافت به مقدار خیلی کم دچار جایگزینی می‌شوند. بنابراین بافت‌های سخت مانند استخوان و دندان نشان دهنده‌ی یک پیشینه‌ی قدیمی و دقیق از قرار گرفتن در معرض عناصر مختلف است و در نتیجه به‌عنوان یک شاخص زیستی می‌تواند قرار گرفتن در معرض آلاینده‌های محیطی را در دوره زمانی بلند مدت نشان دهد (۱۸ و ۳۴). غلظت عناصر در بافت استخوان جرد ایرانی به‌خوبی بیانگر این مسأله است که با افزایش فاصله از معدن مس دره زرشک نیز غلظت عناصر نیز در بافت استخوان کاهش می‌یابند. در حالت کلی غلظت عناصر در بافت‌های مختلف جوندگان به فاکتورهای مختلفی از جمله تفاوت در ساختار جمعیتی، سن، وضعیت فیزیولوژیکی، وزن، جنسیت، مکانیسم‌های هموستازی افراد، جنس، رژیم غذایی، ترکیب شیمیایی عناصر، غلظت عناصر در خاک، فعل و انفعالات عناصر بر روی یکدیگر، فیزیولوژی جذب و دفع عناصر در بدن گونه، کارکرد این عناصر در اندام‌های مختلف، مدت زمان قرار گرفتن در برابر عناصر و منابع تولید این عناصر در اطراف زیستگاه بستگی دارد (۱۲، ۲۴، ۲۶، ۲۸ و ۳۳).

نتیجه‌گیری

جرد ایرانی با توجه به‌اینکه بیشتر ویژگی‌های یک گونه‌ی شاخص زیستی را دارد می‌تواند در مطالعات آتی به‌عنوان شاخص زیستی به‌کار رود اما با توجه به تفاوت در تجمع فلزات در جنس نر و ماده لازم است جنسیت به‌عنوان یک عامل مهم درنظر گرفته شود. بافت استخوان که نشان دهنده‌ی یک پیشینه‌ی دقیق از قرار گرفتن گونه در برابر عناصر است به‌خوبی نشان داد که غلظت بیشتر عناصر مورد مطالعه با دوری از معدن کاهش می‌یابد که نشان دهنده‌ی بالا بودن غلظت عناصر

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.10.4.8]

به‌صورت زمین زاد در خاک و رژیم غذایی جرد ایرانی موجـود در منطقه‌ی معدن مس دره زرشک است (منطقه ۲).

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت‌های امور تحقیق و توسـعه مجتمـع مـس سرچشمه وابسته به شرکت ملی صنایع مس ایران صورت گرفته است.

منابع مورد استفاده

۱. اردکانی، م. ر. ۱۳۸۴. اکولوژی. چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران. ۳۴۰ صفحه.

۲. خزاعی، م.، ا. ح. حمیدیان، ا. علیزاده شعبانی، س. اشرفی، ع. اسمعیل زاده و ع. ا. میرجلیلی. ۱۳۹۲. تاثیر جنسیت بر تجمع فلزات مس و روی در بافت مو جرد ایرانی در منطقه‌ی دره زرشک، یزد. همایش ملی پژوهش‌های محیط زیست ایران، همدان، ۴۰۲ صفحه.

۳. ضیایی، ه. ۱۳۸۷. راهنمای صحرایی پستانداران ایران. انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست، ۴۱۹ صفحه.

۴. شرکت آمایش‌گران پویای محیط. گزارش ارزیابی اثرات توسعه معدن مس دره زرشک. ۱۳۹۰. ۵۷۱ صفحه.

5. Ammann, P., I. Badoud, S. Barraud, R. Dayer and R. Rizzoli. 2007. Strontium ranelate treatment improves trabecular and cortical intrinsic bone tissue quality, a determinant of bone strength. *Journal of Bone and Mineral Research* 22(9): 1419-1425.
6. Beardsley, A., M. J. Vagg, P. H. T. Beckett and B. F. Sansom. 1978. Use of the field vole (*M. agrestis*) for monitoring potentially harmful elements in the environment. *Environmental Pollution* 1970.16(1): 65-71.
7. Beernaert, J., J. Schiers, H. Leirs, R. Blust and R. Van Hagen. 2007. Non-destructive pollution exposure assessment by means of wood mice hair. *Environment Pollution* 145: 443-451
8. Bergeron, J. M. 1976. Elements mineraux du regime alimentaire du campagnol des champs, Microbus pennsylvanicus Ord. *Canadian Journal of Zoology* 54: 1565-1570. (In French).
9. Burger, J., K. F. Gaines and M. Gochfeld. 2001. Ethnic differences in risk from mercury among Savannah River fishermen. *Risk Analysis* 21: 533-544.
10. Carral, E., X. Puente, R. Villares and A. Carballeira. 1995. Background heavy metal levels in estuarine sediments and organisms in Galicia (northwest Spain) as determined by modal analysis. *Science of Total Environment* 172: 175-188.
11. Coogan, T. P., D. M. Latta, E. T. Snow and M. Costa. 1989. Toxicity and Carcinogenicity of Nickel Compounds. CRC Press, London, 384 p.
12. Damek-Poprawa, M. and S. K. Katarzyna. 2003. Damage to the liver, kidney, and testis with reference to burden of heavy metals in yellow-necked mice from areas around steelworks and zinc smelters in Poland. *Toxicology* 186(1): 1-10.
13. Eens, M., R. Pinxten, R. F. Verheyen, R. Blust and L. Bervoets. 1999. Great and blue tits as indicators of heavy metal contamination interrestrial Ecosystems. *Ecotoxicol Environment and Safty* 44: 75-81.
14. Filistowicz, A., P. Przysiecki, S. Nowicki and M. Durkalec. 2012. Contents of copper, chromium, nickel, lead, and zinc in hair and skin of farm foxes. *Polish Journal of Environmental Studies* 21(4): 30-41.
15. Gdula-Argasińska, J., J. Appleton, K. Sawicka-Kapusta and B. Spence. 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.
16. Giachetti, G., and L. Sebastiani. 2006. Metal accumulation in poplar plant grown with industrial wastes. *Chemosphere* 64(3): 446-454.
17. Goyer, R. 1991. Toxic effects of metals. PP. 623-680. *In*: Amdur M. O, J. D. Doull and C. D. Klaassen.(Eds), Casarett and Doull's toxicology, 4th Ed. Pergamon Press, New York.
18. Gulson, B. L. 1996. Tooth analyses of sources and Intensity of lead exposure in children. *Environmental Health Perspectives* 104 (3):306-312.
19. Halbrook, R. S., J. H. Jenkins, P. B. Bush and N. D. Seabolt. 1994. Sublethal concentrations of mercury in river otters: monitoring environmental contamination. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 27: 306-310.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.10.4.8]

20. Hariono, B., J. Ng and R. H. Sutton. 1993. Lead concentrations in tissues of fruit bats (Pteropus sp.) in urban and non-urban locations. *Wildlife Research* 20: 315-320.
21. Heskeih, H. E. 1974. Fine particulate collection efficiency related to pressure drop, scrubbant and particle properties, and contact mechanisms. *Journal of Air Pollution Control Association* 24: 938-942.
22. Hunter, B. A., M. S. Johnson and D. J. Thompson. 1989. Ecotoxicology of copper and cadmium in a contaminated grassland ecosystem. PP. 578-598. *In:* Priest, L. and N.D. Van de Vyver, F.L. (Eds.), 1990. Trace Metals and Fluoride in Bones and Teeth. Part3, CRC Press, Boca Raton, 614 p.
23. Ilyin, I., T. Berg, S. Dutchak, J. Pacyna and B. Knut. 2004. Heavy metals. CRC Press, London, 567 p.
24. MacFarlane, G. and B. Mand McLennan. 2006. Biomarkers of heavy metal contamination in the red fingered marsh crab, *Parasesarma erythodactyla*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 51: 584-593.
25. Martin, M. H. and P. J. Coughtrey. 1982. Biological Monitoring of Heavy Metals Pollution-Lead and Air. Applied Science Publications, London.
26. Martiniakova, M., R. Omelka, A. Jančová, R. Stawarz and G. Formicki. 2011. Concentrations of selected heavy metals in bones and femoral bone structure of bank (*Myodes glareolus*) and common (*Microtus arvalis*) voles from different polluted biotopes in Slovakia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 60(3): 524-532.
27. McLean, C. M., C. E. Koller, J. C. Rodger and G. R. MacFarlane. 2009. Mammalian hair as an accumulative bioindicator of metal bioavailability in Australian terrestrial environments. *Science of the Total Environment* 407(11): 3588-3596.
28. Minamia, T., H. Yamazakia, N. Ohamab and H.O. City. 2009. Accumulation of heavy metals in the organs of wild rodents. *Biochemical Journal* (21): 11-17.
29. Mugford, C. A. and G .L, Kedderis. 1998. Sex dependent metabolism of xenobiotics. *Drug Metabolism Review* 30: 441–498.
30. Pankakoski, E., I. Koivisto and H. Hyvarinen. 1992. Reduced developmental stability as an indicator of heavy metal pollution in the common shrew Sorex araneus. *Actual Zoology Fennica* 191: 135-142.
31. Peakall, D .B. and K. McBee. 2001. Biomarkers for contaminant exposure and effects in mammals. PP. 551-576. *In*: Shore, R.F., B.A. Rattner. (Eds.), Ecotoxicology of Wild Mammals. Wiley, Chichester, 697 p.
32. Pearson, R. G. 1963. Hard and soft acids and bases. *Journal of Chemistry*. 85: 3533-3539.
33. Pereira, R., M. L. Pereira, R. Ribeiro and F. Gonçalves. 2006. Tissues and hair residues and histopathology in wild rats (*Rattus rattus* L.) and Algerian mice *(Mus spretus* Lataste) from an abandoned mine area (Southeast Portugal). *Environmental Pollution* 139(3): 561-575.
34. Priest, N. D. and F. L. Van de Vyver. 1990. Trace Metals and Fluoride in Bones and Teeth. CRC Press, Boca Raton, 713 p.
35. Resnick, L. M. 1992. Cellular calcium and magnesium metabolism in the pathophysiology and treatment of hypertension and related metabolic disorders. *The American journal of medicine* 93(2): 11-20.
36. Rogge, W. F., L. M. Hildemann, M. A. Mazurek, G. R. Cass and B. R. Simoneit. 1997. Sources of fine organic aerosol. 7. Hot asphalt roofing tar pot fumes. *Environmental science and technology* 31(10): 2726-2730.
37. Rude, R. K., H. E. Gruber, L.Y. Wei, A. Frausto and B. G. Mills. 2003. Magnesium deficiency: effect on bone and mineral metabolism in the mouse. *Calcified tissue international* 72(1): 32-41.
38. Sánchez-Chardi, A. and J. Nadal. 2007. Bioaccumulation of metals and effects of landfill pollution in small mammals. Part I. The greater white-toothed shrew, *Crocidura russula Chemosphere* 68(4): 703-711.
39. D 'Havé, H., J. Scheirs, V. K. Mubiana, R. Verhagen, R. Blust and W. DeCoen. 2006. Non-destructive pollution exposure assessment in the European hedgehog (*Erinaceus uropaeus*): II. Hair and spines as indicators of endogenous metal and As concentrations. *Environment Pollution* 142:43-48.
40. Schifftner, C. 2002. Air Pollution Control Equipment Selection Guide. Lewis Publishers, Washington D.C., 263 p.
41. Schleich, A. E., O. Cristian María Beltrame, and C. D. Antenucci. 2010. Heavy metals accumulation in the subterranean rodent *Ctenomys talarum* (Rodentia: Ctenomyidae) from areas with different risk of contamination. *Folia Zoology* 59(2): 108-114.
42. Schrimpff, E. 1984. Air pollution patterns in two cities of Colombia, S. A. according to trace substances content of an epiphyte (*Tillandsia recurvata* L.).*Water, Air, and Soil Pollution* 21(1-4): 279-315.
43. Sheffield, S. R., K. Sawicka-Kapusta, J. B. Cohen and B. A. Rattner. 2001. Rodentia and lagomorpha. PP: 215–315. *In:* Shore, R. F. and B.A. Rattner, (Eds.), Ecotoxicology of Wild Mammals. John Wiley and Sons, Ltd.
44. Shinoda, H. and H. Seto. 1985. Diurnal rhythms in calcium and phosphate metabolism in rodents and their relations to lighting and feeding schedules. *Mineral and Electrolyte Metabolism* 11(3): 158-166.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.10.4.8]

45. Talmage, S. S. and B. T. Walton. 1991. Small mammals as monitors of environmental contaminants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 119: 47-145.
46. Tovar-Sánchez, E., L. T. Cervantes, C. Martínez, E. Rojas, M. Valverde, M. L. Ortiz-Hernández and P. Mussali-Galante. 2012. Comparison of two wild rodent species as sentinels of environmental contamination by mine tailings. *Environmental Science and Pollution Research* 19(5): 1677-1686.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.10.4.8]