Original Article | Archeology. 2020; 3(3): 1-124

Study of Heavy Metals Accumulation in Animal Bones of the 5th Millennium BC in Kurdistan Province

Mahnaz Sharifi[1*], Abbas Motarjem[2], Aliasghar Bahari[3], Mohammadreza Pajohi Alamoti[4]

1. Assistant Professor, Iranian Center for Archaeological Research (ICAR), Research Institute of Cultural Heritage and Tourism, Tehran, Iran
2. Associate Professor, Department of Archeology, Faculty of Art and Architecture, Bu - Ali Sina university, Hamadan, Iran
3. Associate Professor, Department of Clinical Sciences, Faculty of Veterinary Science, Bu - Ali Sina university, Hamedan, Iran
4. Assistant Professor, Department of Food Hygiene and Quality Control, Faculty of Veterinary Science, Bu - Ali Sina university, Hamedan, Iran

Article Info

Received: 05 Jan 2019;
Accepted: 13 March. 2019;
Published Online: 2019/05/09

10.30699/arch.3.3.1

Use your device to scan and read the article online

Corresponding Author
Mahnaz Sharifi
Assistant Professor, Faculty Member, Research Institute of Archeology, Tehran, Iran
Email:
mhsharifi588@yahoo.com

ABSTRACT

Today's in the world, the release of many heavy metals in the environment and their entry into the food chain has contaminated and the natural base of the mines and natural deposits of these metals has played a more important role in environmental pollution. It seems that in the prehistoric period in the region, this type of contamination base has caused severe contamination in some products of prehistoric inhabitants. Geological surveys in the region have shown that high density of metal ions contaminate surface and groundwater and directly affect aquifers. This has caused of pollution and collapsed of environmental of the Settlement in the Fifth millennium BC. The findings of this study indicate that livestock in the region were exposed to severe contamination with lead. The results of the samples of contemporary animals which living in the study area also confirmed that the contamination remains. Therefore, the study of water, soil and plant resources of the excavated area is necessary to identify the Origin of this contamination. it can be admitted that the main reason for this collapse is the presence of gypsum and copper deposits and possibly the presence of heavy and toxic metals in the ecosystem of the region. The area due to metal deposits does not have agricultural capability and the majority of livelihoods of residents based on livestock. It seems that one of the reasons for the collapse of the Site habitat was the penetration of heavy metals and metals into the soil of the area, which has caused the soil to be poor, and damaged and had got the possibility of extensive agriculture. The present study was conducted to evaluate the levels of lead, arsenic and cadmium found in animal bones in the Talvar Valley.

Keywords: 5th millennium BC, environmental pollution, animal bones, lead and cadmium

Copyright © 2020. This open-access journal is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

How to Cite This Article:

Sharifi M, Motarjem A, Bahari A, Pajoohi Alamooti M. Study of Heavy Metals Accumulation in Animal Bones of the 5th Millennium BC in Kurdistan Province. Archeology. 2019; 3 (3) :1-13

باستان شناسی - ۲۶۴۵-۴۶۲۹ - سال ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸

مقالهٔ پژوهشی

بررسی انباشت فلزات سنگین در استخوان‌های حیوانی هزارهٔ پنجم ق.م در استان کردستان

مهناز شریفی[۱*]، عباس مترجم[۲]، علی‌اصغر بهاری[۳]، محمدرضا پژوهشی الموتی[۴]

۱. استادیار، عضو هیئت علمی، پژوهشکدهٔ باستان‌شناسی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران
۲. دانشیار، گروه باستان‌شناسی، دانشکده هنر و معماری ، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۳. دانشیار، گروه علوم درمانگاهی، دانشکدهٔ پیرادامپزشکی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۴. استادیار، گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکدهٔ پیرادامپزشکی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران

اطلاعات مقاله

دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۵
پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۲
انتشار آنلاین: ۱۳۹۷/۰۲/۱۹

نویسندهٔ مسئول:
مهناز شریفی
استادیار، عضو هیئت علمی، پژوهشکدهٔ باستان‌شناسی، شهر تهران، ایران

پست الکترونیک:
mhsharifi588@yahoo.com

خلاصه

در دنیای امروز پخش بسیاری از فلزات سنگین در محیط‌زیست و واردشدن آنها به چرخهٔ زنجیرهٔ غذایی، باعث آلودگی‌هایی شده است. به نظر می‌رسد در هزارهٔ پنجم ق.م در منطقهٔ کردستان، این مسئله موجب آلوده‌شدن برخی فرآورده‌های ساکنان شده باشد. بررسی‌های زمین‌شناسی منطقهٔ کردستان نشان داده‌اند که غلظت بالای یون‌های فلزی، آب‌های سطحی و زیرزمینی را آلوده کرده است. کاوش‌های باستان‌شناسی تپهٔ چهل‌امیران در بیجار کردستان طی سه فصل انجام شد. یکی از دستاوردهای کاوش این محوطه، استخوان‌های حیوانی بود که برای نخستین‌بار مورد آزمایش میزان آلودگی قرار گرفتند. این پژوهش با هدف تعیین میزان فلزات سنگین سرب و کادمیوم در نمونهٔ استخوان‌های پیش از تاریخ و معاصر و همچنین بررسی وجود ارتباط در میزان این عناصر در نمونه‌های ارزیابی‌شده، انجام شد. منطقه به‌دلیل کانسارهای فلزی قابلیت کشاورزی را ندارد و بخش عمدهٔ معیشت ساکنان براساس دامداری است. یکی از دلایل فروپاشی زیستگاه چهل‌امیران، نفوذ عناصر و فلزات سنگین به خاک منطقه بوده که این امر باعث نامرغوبی خاک منطقه شده و امکان کشاورزی گسترده را سلب کرده است. پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی میزان فلزات موجود در استخوان حیوانات و مقایسهٔ آن با نمونه‌هایی در همان منطقه انجام شد. این پژوهش برای نخستین‌بار آلودگی‌های زیست‌محیطی دوران هزارهٔ پنجم ق.م را بررسی کرد.

کلیدواژه‌ها: هزارهٔ پنجم ق.م، آلودگی زیست‌محیطی، استخوان‌های حیوانی، سرب و کادمیوم

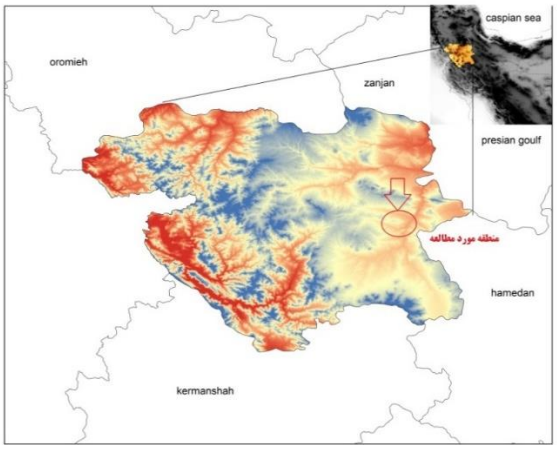
حق کپی رایت انتشار: این نشریه ی دارای دسترسی باز، تحت قوانین گواهینامه بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 International License منتشر می‌شود که اجازه اشتراک (تکثیر و بازآرایی محتوا به هر شکل) و انطباق (بازترکیب، تغییر شکل و بازسازی بر اساس محتوا) را می‌دهد.

مقدمه

آلودگی خاک به آلاینده‌ها و خطر ورود و انباشت فلزات سنگین در بدن انسان یک مشکل عمده و اساسی زیست‌محیطی است و از نگرانی‌های اساسی محسوب می‌شود (Kalhori *et al.*, 2012; de vries *et al.*, 2007) که بر سلامت انسان، موجودات زنده و تولیدات کشاورزی و زیست‌بوم هر منطقه تأثیر می‌گذارد. اطراف معادن که از فلزات سنگین غنی شده، موجب به وجود آمدن تأثیرات سمی روی گیاهان، حیوانات و انسان‌ها می‌شود (Shikazono *et al.*, 2008). ورود بیش‌ازحد فلزات سنگین به خاک‌ها می‌تواند با ایجاد اثرات منفی از قبیل تخریب خاک، اثرات مخرب زیست‌محیطی، و ایجاد تغییراتی در برهم‌زدن چرخهٔ بیوشیمیایی اکوسیستم شود (*عبدالهی و همکاران*، ۱۳۹۱، ص. ۱۴۱۱)، باتوجه‌به افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به توسعهٔ صنایع، محیط‌زیست با آلاینده‌های خطرناکی تهدید می‌شود که از بزرگ‌ترین معضلات بشر امروزی به شمار می‌آید. ازجمله آلاینده‌های زیستی که بشر از دیرباز با آن مواجه بوده، آلودگی با فلزات سنگین است (Settle & Patterson, 1980; Jaworowski *et al.*, 1985).

فلزات سنگین براساس عملکردشان به سه دستهٔ سمی سرب و کادمیوم، روی، آهن و مس تقسیم می‌شوند که در آن سرب و کادمیوم در گروه سمی خطرناک قرار می‌گیرند

(Muñoz-Olivas & Cámara, 2001) افزایش میزان اجزای فلزی در بدن حتی در مواردی که برای سلول‌ها ضروری هستند، می‌تواند موجب تغییرات گسترده‌ای شود. باتوجه‌به سمی‌بودن و پیامدهای خطرناک فلزات سنگین در سلامتی انسان، توجه گسترده‌ای به آنها معطوف شده است (Mergler *et al.*, 2007;). این عناصر در محیط از دو منبع طبیعی و صنعتی سرچشمه می‌گیرند که ممکن است در محیط‌زیست انتشار یابند و در خاک، منابع آبی و رسوبات دریاچه‌ها تجمع یابند. با این وجود به‌طور طبیعی یکی از منابع بالقوهٔ این آلاینده‌ها، معادن و خاک‌های حاوی مقادیر بالای این عناصر هستند (Gonzalez-Reimers *et al.*,1999). گیاهان رویش‌یافته در مناطق آلوده یا آبیاری‌شده با آب‌های آلوده می‌توانند فلزات سمی را جذب و در خود نگه دارند. انسان و حیوانات گیاه‌خوار با خوردن چنین گیاهانی در معرض آلودگی قرار می‌گیرند. به‌علاوه، در چنین مناطقی مصرف گوشت و به‌ویژه اندام‌های داخلی حیوانات می‌تواند به‌عنوان یکی از راه‌های مهم آلودگی زنجیرهٔ غذایی انسان با این عناصر محسوب شود (Alam *et al.*, 2003, Sharma *et al.*, 2007). تجمع فلزات سنگین در بدن انسان می‌تواند با اثرات جانبی همچون اختلالات عصبی، قلبی عروقی، کلیوی و تولیدمثلی همراه باشد (Needleman, 2004; Nordberg, 2004). براساس گزارش‌های FAO/WHO حداکثر میزان دریافت هفتگی قابل‌تحمل سرب و کادمیوم به‌ترتیب ۲۵ و ۷ میکروگرم در هر کیلوگرم وزن بدن است (Codex Alimentarius Commission, 2007). حدود ۱۴ درصد وزن بدن مهره‌داران را اسکلت (استخوان‌ها) تشکیل می‌دهد که حاوی شبکه‌ای از مواد معدنی است. سرب و کادمیوم با کلسیم برای جذب‌شدن رقابت می‌کنند و می‌توانند در استخوان‌ها تجمع یابند اگرچه میزان آنها در بافت استخوان می‌تواند متفاوت باشد. بافت‌های استخوان، کلسیم خود را از دست می‌دهند و هنگام جذب مجدد کلسیم، یون‌های آنتیموان و سرب به‌راحتی جایگزین آن می‌شوند و هرچه سن بالاتر برود میزان انباشت و آلودگی و مسمومیت بیشتر می‌شود. بیش از ۵۰ درصد کادمیوم بدن در کلیه‌ها و کبد انباشته می‌شود و مقادیر کمتری در استخوان‌ها تجمع می‌یابد. سرب و کادمیوم در سیستم‌های بیولوژیکی هیچ‌گونه نقش شناخته‌شده‌ای ندارند و درحقیقت از زمان تولد انسان در بدن وجود ندارند؛ بنابراین، حضور آنها نشان‌دهندهٔ یک مسمومیت مزمن در بدن است (Ericson *et al.*, 1991; De-Vries *et al.*, 2007). اندازه‌گیری میزان سرب و کادمیوم در استخوان‌های باستانی و معاصر می‌تواند انتشار این عناصر در خاک مناطق مختلف و ارتباط حضور این عناصر در نمونه‌های معاصر را با منابع طبیعی نشان دهد (Gonzalez-Reimers *et al.*,2003). بنابراین، یکی از اهداف اصلی این پژوهش، بررسی میزان بقایای فلزات سنگین سرب و کادمیوم در نمونه‌های استخوان حیوانات مختلف باستانی است که از کاوش‌های چهل‌امیران قشلاق (Motarjem, Sharifi, 2014) به دست آمده است. وجود این فلزات در استخوان‌های نشخوار کنندگان معاصر موجود در منطقه بیجار استان کردستان، وضعیت طبیعی را از گذشته‌های دور تا زمان حال در خاک این منطقه، نشان می‌دهد.



تصویر ۱. منطقهٔ مورد مطالعه (تنظیم از نگارنده)

پیشینهٔ پژوهش

امروزه تحقیقات گسترده‌ای درزمینهٔ تأثیر فلزات سنگین در سیستم‌های بیولوژیکی انجام شده و تلاش‌هایی برای تعیین تاریخ استفاده از فلز و درجهٔ آلودگی محیطی باتوجه‌به میزان برخی از فلزات در دوران معاصر و استخوان‌های باستانی انجام شده است؛ درحالی‌که مطالعات اندکی درمورد میزان فلزات سنگین در نمونه‌های باستانی و ارتباط آن با حضور این عناصر در نمونه‌های معاصر انجام شده است (Ericson *et al.*,1991; Gonzalez-Reimers *et al.*, 2003; Grattan *et al.*, 2005). بنابراین، آنالیز بقایای استخوان‌های باستانی و مقایسهٔ آنها با نمونه‌های معاصر می‌تواند راهکاری برای پی‌بردن به منبع آلودگی فلزات سنگین در مناطق مختلف باشد. همچنین باتوجه‌به انباشت یون‌های سرب استخوان ۹۰ درصد مقدار تجمع یون‌های سرب در بدن روی استخوان‌ها رخ می‌دهد (گلپایگانی و خانجانی، ۱۳۹۱، ص. ۷۶)، اندازه‌گیری مقدار سرب در بافت

موجود زنده را می‌توان روشی مطمئن برای تماس فرد با محیط آلوده در طول زمان دانست. از سوی دیگر درخصوص بقایای باستانی و امکان بررسی نمونهٔ اندام‌های داخلی، این تنها روش ممکن برای اندازه‌گیری سرب بدن و احتمال مواجههٔ موجود زنده با این فلز سنگین است. درواقع، سرب عنصری است که بیش از ۹۵ درصد آن در استخوان و دندان ذخیره می‌شود. میزان غلظت سرب در نقاط مختلف دنیا متفاوت است. ازجمله غلظت سرب در اسکلتی در آمریکا در حالت معمولی ۵۰۰ برابر بالاتر از غلظت طبیعی اندازه‌گیری‌شده در استخوان‌های کشور پرو است که ۱۸۰۰ سال پیش در یک محیط آلوده زندگی می‌کرده است (Settle & Patterson, 1980).

گونزالس و رامیرز داده‌های مس و سرب به‌دست‌آمده از یک منطقهٔ جغرافیایی دورافتاده و غیرآلوده را در جمعیت انسانی و حیوانی باستانی جزایر قناری گزارش کردند. آنها نشان دادند که میزان کادمیوم استخوان نمونه‌های معاصر بالاتر از نمونه‌های باستانی بود. هدف از آن پژوهش‌ها تعیین مقدار سرب و کادمیوم در نمونه‌های استخوان ساکنان جوامع پیش از تاریخ در جزایر قناری و حیواناتی ازجمله گوسفند، بز و خوک بود (Gonzalez-Reimers *et al*., 2003). گارتن و همکاران ارتباط بین غلظت مس و سرب استخوان‌ها و درجهٔ آلودگی محیطی را به‌عنوان نتیجه توسعهٔ صنایع معدنی و تولید ابزارهای فلزی در یکی از مراکز فلزی دنیای باستان نشان دادند (Grattan *et al*., 2005). در ایران تاکنون مطالعات محدودی دربارهٔ آلودگی‌های زیست‌محیطی در این مناطق انجام شده است که می‌توان به بررسی آلودگی‌های زیست‌محیطی کارخانهٔ مس و روی زنجان (مطالعهٔ موردی آب‌های زیرزمینی) اشاره کرد (عبدی، ۱۳۸۵). در سال ۱۳۹۰ پژوهشی توسط خدادادی و همکاران (۱۳۹۰) با موضوع ارزیابی خطر ناشی از فلزات سنگین در استان زنجان انجام شده که بیشتر به بررسی تأثیر احتمالی این نوع آلودگی‌ها بر بهداشت ساکنان پرداخته است. همچنین در مقاله‌ای با عنوان «پهنه‌بندی توزیع مکانی سرب، روی و کادمیوم و ارزیابی خاک‌های آلودهٔ منطقهٔ انگوران استان زنجان» به پراکندگی این نوع آلودگی نیز اشاره شده است (عبدالهی و همکاران، ۱۳۹۱). طی سال‌های اخیر در باستان‌شناسی ایران نیز به رویکرد آنالیز بقایای عناصر فلزی در استخوان‌های باستانی توجه شده است؛ ازجمله پژوهش‌های بهاری و همکاران (۱۳۹۱) در تعیین میزان سرب و کادمیوم استخوان‌های هزارهٔ اول تپهٔ رضاآباد و همچنین اندازه‌گیری میزان سرب موجود در هشت دندان انسانی دوره مفرغ-آهن گوهرتپه انجام شده که میزان این فلزات سنگین را بالاتر از حد معمول گزارش کرده است. منشأ آلودگی به منابع آب‌های مورداستفادهٔ ساکنان مرتبط دانسته شده است (مسجدی و همکاران، ۱۳۸۹). نتیجهٔ این آزمایش‌ها نشان داد که میزان سرب در بافت استخوانی نمونه‌ها بین ۳ تا ۱۸ ppm بوده که حکایت از بالابودن میزان این عنصر در استخوان انسانی دارد. در پژوهشی دیگر به ارزیابی میزان عنصر استرانسیوم در دندان‌های دورهٔ اشکانی از محوطهٔ ولیران به روش XRF انجام شد و بالابودن این عنصر در بافت استخوان را نشانه‌ای از تکیهٔ ساکنان آن منطقه بر استفاده از بقایای گیاهی در معیشت روزانه قلمداد کرده‌اند (عزیزی‌پور و همکاران، ۱۳۸۹).

تأثیر یون‌های فلزی بر آب‌های سطحی و زیرزمینی و رسوب‌گذاری ترکیبات فلزی

به‌طور کلی مهم‌ترین یون‌های فلزی محلول شامل آرسنیک، کادمیوم، آهن، سرب، مس، نقره، منگنز و روی هستند. پیامدهای آلودگی خاک کشاورزی از آبیاری طولانی‌مدت آب‌های زیرزمینی با عنصری مانند آرسنیک باعث بروز مشکلات عدیده‌ای می‌شود (Alam, 2003, 8). غلظت بالای یون‌های فلزی، آب‌های سطحی و زیرزمینی را آلوده می‌کند و به‌طور مستقیم بر آبخوان‌ها را تأثیر می‌گذارد. غلظت زیاد یون‌های فلزی و pH پایین سبب ایجاد اثرات ویژه‌ای در انسان می‌شود و حتی گاهی منجر به بیماری می‌شود. مواد شیمیایی مورداستفاده در معدن‌کاری از دیگر آلوده‌کننده‌های آب هستند. مواد مختلف مورداستفاده بیشتر شامل مس، روی، کرم، سیانور، نیترات و اسید سولفوریک هستند. آلودگی‌های اسیدی بیشتر در اثر شستشو (لیچینگ) ایجاد می‌شوند. هنگامی که آب از سطح به آب‌های زیرزمینی نفوذ می‌کند، سبب آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. این آلودگی هنگامی که اتصال هیدرولیکی بین آب‌های سطحی و زیرزمینی وجود داشته باشد به بیشترین مقدار خود می‌رسد (سیاره، فنودی، ۱۳۸۶، ص. ۶).

اثرات زیست‌محیطی آنتیموان

آنتیموان به صورت محصول جانبی سرب یا روی تولید می‌شود و اثرات سمی متفاوتی در گیاهان دارد. با این حال، برخی گیاهان می‌توانند با غلبه بر اثرات سمی آنتیموان، آن را جذب و در بافت‌های خود انباشته کنند. این عنصر برای انسان و جانوران حالت سمی دارد و در انسان باعث سرطان‌زایی، ناراحتی‌های مزمن تنفسی، برونشیت مزمن، افزایش فشارخون،

دردهای شکمی، اسهال و استفراغ، زخم معده و بیماری‌های پوستی می‌شود (حاجیانی و همکاران، ۱۳۹۵، ص. ۴۹۴).

اثرات زیست‌محیطی سرب

سرب فراوان‌ترین عنصر سنگین است، به‌سختی در آب حل می‌شود و مقادیر اندک آن در مواد سیلیکاتی بسیاری از سنگ‌های آذرین یافت می‌شود. همچنین، سرب می‌تواند جانشین پتاسیم کانی‌های پتاسیم‌دار می‌شود. سرب و روی به‌طور معمول همراه با یکدیگر در کانسارها یافت می‌شوند، اما مصارف و اثرات زیست‌محیطی بسیار متفاوتی دارند. باتوجه‌به شهرت سرب ازنظر آلودگی محیط‌زیست، این پرسش ممکن است پیش آید که اصولاً این فلز چرا استخراج می‌شود؟ پاسخ این سؤال در مصارف مهمی که این فلز دارد، نهفته است. سرب به‌طور معمول از کانهٔ رایج گالن به دست می‌آید و به‌طور کامل در ذخایر گرمابی یافت می‌شود. سرب و روی ازنظر تأثیری که بر انسان‌ها می‌گذارند تفاوت زیادی دارند.

روی نیز یکی از اجزای تشکیل‌دهندهٔ اصلی آنزیم‌ها، دی‌اِن‌اِی و آر.اِن.اِی بوده و نقش اساسی در تولید پروتئین، متابولیسم کربوهیدرات‌ها و رشد سلولی دارد. سرب و روی ازنظر تأثیری که بر انسان‌ها می‌گذارند تفاوت زیادی دارند. سرب فاقد هرگونه نقش بیولوژیکی است و حتی در مقادیر اندک نیز سمی است و اثرات فیزیولوژیکی و عصبی بر انسان دارد. اثرات عصبی سرب طیف گسترده‌ای از کاهش عملکرد سلول‌های عصبی تا عفونت مغزی را دربرمی‌گیرد (سیاره ،فنودی، ۱۳۸۶، ص. ۱۱).

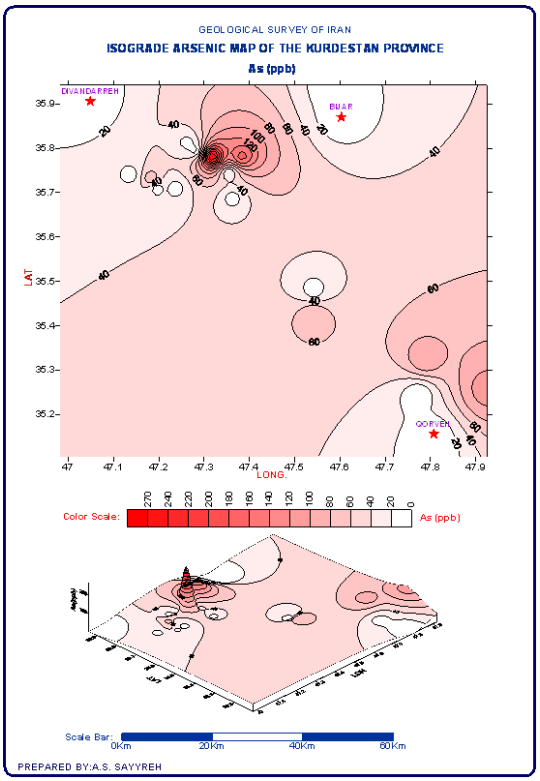
اثرات زیست‌محیطی کادمیوم

کادمیوم عنصری فلزی و نرم به رنگ سفید مایل به آبی است. کادمیوم و ترکیبات آن بسیار سمی هستند. به‌طور طبیعی سالیانه حدود ۲۵۰۰۰ تن کادمیوم وارد محیط‌زیست می‌شود. حدود نیمی از این کادمیوم‌ها ازطریق هوازدگی سنگ‌ها وارد رودخانه‌ها می‌شوند. آتش‌سوزی جنگل‌ها و آتش‌فشان‌ها، فعالیت‌های بشری مانند شیرابهٔ زباله‌های صنعتی، تولید کودهای فسفاتهٔ مصنوعی را می‌توان از منابع مهم منتشرکنندهٔ کادمیوم دانست. حداکثر مجاز کادمیوم در آب آشامیدنی، برمبنای متوسط مصرف روزانهٔ آب آشامیدنی معادل با ۲/۵ لیتر، برای انسانی به وزن ۷۰ کیلوگرم، ۰/۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. کادمیوم معمولاً به‌طور طبیعی در آب‌های سطحی و زیرزمینی وجود دارد. مسمومیت موجودات آبزی با کادمیوم، به عوامل دیگری نیز بستگی دارد، مثلاً کلسیم موجود در آب، اثرات سمی کادمیوم را کاهش می‌دهد. رودخانه‌های بسیار آلوده با کادمیوم، ازطریق آبیاری در کشاورزی، لای‌روبی رسوبات یا سیلاب‌ها می‌توانند مناطق اطراف را آلوده کنند. کادمیوم یک فلز بسیار سمی است که عامل مرگ‌ومیر است و بیماری جدی ناشی از آن در انسان بیماری روماتیسم یا تغییر شکل دردناک اسکلتی است. اثرات اصلی سم کادمیوم بر ریه‌ها، کلیه‌ها و استخوان‌هاست. کادمیوم ممکن است باعث مینرال‌زدایی اسکلت و افزایش شکنندگی استخوان و خطر شکستگی شود. مسومیت حاد با کادمیوم ممکن است باعث مرگ حیوانات و پرندگان شود و مسمومیت شدید در آبزیان ایجاد کند. کادمیوم، مقاومت بدن دربرابر باکتری‌ها و ویروس‌ها کاهش می‌دهد.

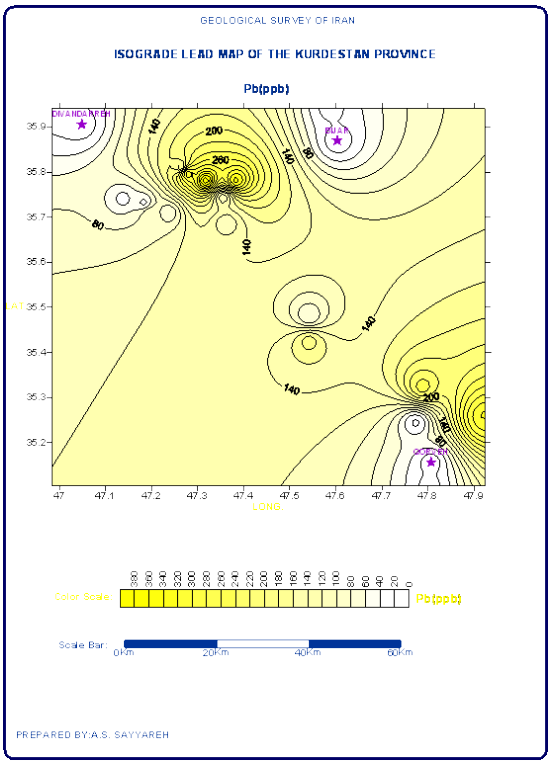
زون‌های زمین‌شناسی منطقهٔ بیجار کردستان

زون‌های زمین‌شناسی عامل اصلی در شکل و نوع خاک، پوشش گیاهی و جمعیت جانوری هر منطقه هستند. از سوی دیگر براساس تقسیم‌بندی زمین ساختاری ایران بخش عمدهٔ شرق زاگرس مرکزی حدفاصل زاگرس مرتفع و فلات مرکزی ایران در امتداد شمال‌غربی–جنوب‌شرقی در پهنهٔ سنندج-سیرجان قرار دارند (Berberian and King, 1981). خودِ این پهنه، از ساختمان‌های زمین ساختی متفاوتی تشکیل شده است اما در حدفاصل همدان–بیجار عمدتاً بسیاری از سنگ‌های آتشفشانی که گاه به صورت تختگاه‌هایی سنگ‌های کهن‌تر از کواترنری را پوشانده‌اند، با شکل و ریخت گوناگون رخنمون یافته‌اند (ملکی، ۱۳۹۱، ص. ۸۷).

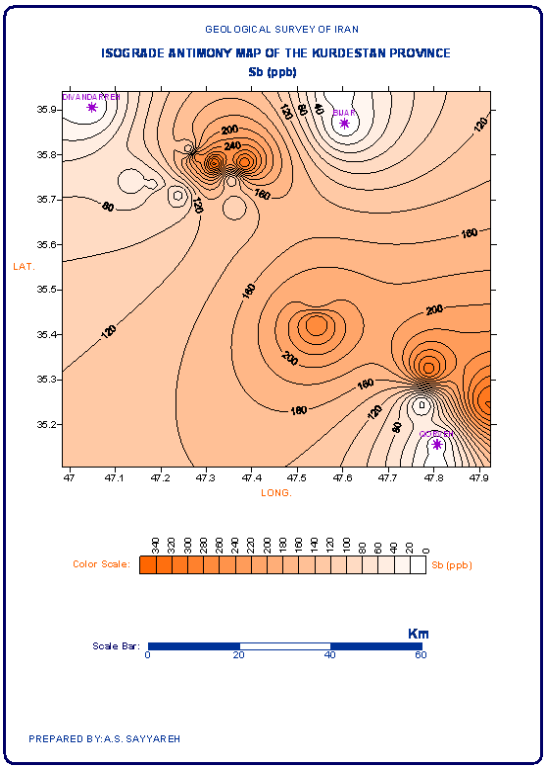
قدیمی‌ترین سنگ‌های مشاهده‌شده در منطقهٔ اسلیت و ولکانیک‌های کرتاسه هستند و سنگ‌های جوان‌تر بیشتر آهک‌های میوسن هستند که با یک پی کنگلومرایی روی آنها قرار گرفته و بلندترین ارتفاعات منطقه را تشکیل داده‌اند. جدیدترین سازندها شامل بازالت‌ها و رسوبات آبرفتی و رودخانه‌ای است. منطقه دارای نواحی کوهستانی مرتفع و بخش‌های تپه‌ماهوری نسبتاً کم‌ارتفاع است. در این میان بخش‌های مرتفع از واحدهای سنگ آهک میوسن به صورت ارتفاعات بلند و گاه صخره‌ساز به‌ویژه در کوه چنگ الماس و اطراف شهرستان بیجار و تپه‌ماهورهای نسبتاً کم‌ارتفاع از واحدهای مارنی- تخریبی پلیوسن تشکیل شده است. مناطق پست و کم‌ارتفاع مربوط‌به واحدهای کواترنری هستند (سیاره،فنودی، ۱۳۸۶، ص. ۶).



تصویر ۲. مقادیر انتشار آرسنیک (سیاره،فنودی، ۱۳۸۶، ص. ۳)



تصویر ۴. مقادیر انتشار سرب در محدودهٔ قروه-بیجار (سیاره،فنودی، ۱۳۸۴)



تصویر ۳. تصویر انتشار مقادیر آنتیموان در محدودهٔ قروه-بیجار (سیاره،فنودی، ۱۳۸۶، ص. ۳).

در یک نگاه به خصیصهٔ زمین‌شناسی منطقه درمی‌یابیم که ازنظر ساختاری در منطقهٔ آتشفشانی بیجار-تکاب در زمان میوسن بالایی ـ پلیوسن تکاپوی ولکانیسم آغاز شده و سرآغاز این تکاپو به صورت ماگماتیسم نیمه‌نفوذی بوده و تا امروز به صورت آتشفشان‌های نیمه‌فعال ادامه دارد. این آتشفشان‌ها در امتداد خطی با جهت شمال‌غربی-جنوب‌شرقی در پهنهٔ سنندج ـ سیرجان قرار گرفته‌اند. فعالیت‌های ژئوترمالی در ارتباط با ولکانیسم جوان منطقه است. بخارهایی که از ماگماهای زیرین فرار کرده‌اند آرسنیک را وارد سیستم گرمابی می‌کنند. سپس، آرسنیک در اثر انتشار طبیعی وارد آب زیرزمینی می‌شود. از مهم‌ترین این چشمه‌های تراورتن‌ساز می‌توان چشمهٔ تراورتن‌ساز باباگرگر در شمال‌شرقی قروه، چشمهٔ تراورتن‌ساز پیرصالح در جنوب‌غربی بیجار و چشمهٔ تراورتن‌ساز تخت سلیمان در شمال تکاب را نام برد (سیاره،فنودی، ۱۳۸۶، ص. ۳). بنابراین، این زمینهٔ طبیعی، خود مهم‌ترین عامل انتقال آرسنیک از لایه‌های عمیق به آب‌های سطحی است که آثار آن هم‌اکنون به صورت چشمهٔ آبگرم دیده می‌شود و تأثیری مضاعف در آلودگی‌های زیست‌محیطی دارد.

روش‌کار

جمع‌آوری نمونه‌های حیوانی قشلاق

نتایج کاوش‌های باستان‌شناسی چهل‌امیران قشلاق منجر به شناسایی روستایی مربوط به هزارهٔ پنجم ق.م شد (مترجم و شریفی، ۱۳۹۷؛ Sharifi and Motarjem, 2018). در این زیستگاه تعداد زیادی نمونهٔ استخوانی مربوط به حیوانات مختلف به دست آمد (شریفی و همکاران، ۱۳۹۶) که از این میان، تعداد ۲۱ استخوان متعلق به حیوانات مختلف از هزارهٔ پنجم ق.م آزمایش شدند. همچنین تعدادی نمونهٔ استخوان از گاو و گوسفندهای کشتارشدهٔ معاصر در منطقه برای مقایسه جمع‌آوری و ارزیابی شد. لازم به ذکر است این دام‌ها از پوشش‌گیاهی رشد یافته و در همان منطقه به صورت آزاد تغذیه کرده بودند. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری به‌طور مستقل به آزمایشگاه منتقل شدند.

نکتهٔ قابل‌توجه در این‌گونه پژوهش‌ها آلودگی بعد از دفن آنها ازطریق نفوذ خاک و آب است. بدین منظور پس از پاکسازی استخوان‌های باستانی از آلودگی‌های سطحی، قطعهٔ کوچکی از هر نمونه شستشو و در سه مرحله هر بار به مدت ۲۴ ساعت در آب‌مقطر بدون یون روی دستگاه هم‌زن اتوماتیک قرار گرفتند تا خاک نفوذیافته به منافذ ریز استخوان در آب حل و از نمونه خارج شود. سپس نمونه‌ها در آون خشک شدند و قطعه‌ای از آنها برای آزمایش انتخاب شد. برای خشک‌کردن نمونه‌های معاصر ابتدا سطح آن‌ها از گوشت و بقایای غیراستخوانی پاک شد و سپس به‌مدت ۲۴ ساعت در آون ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفتند. به‌منظور هضم اسیدی نمونه‌ها حدود یک گرم از هر استخوان آبگیری‌شده در فلاسک‌های حاوی ۵ میلی‌لیتر مخلوط اسیدنیتریک غلیظ (۶۵ درصد) و آب‌اکسیژنه (۳۰ درصد) (شرکت مرک آلمان) به نسبت ۶ به ۳ قرار داده شد؛ سپس، فلاسک‌ها به‌مدت ۴ ساعت در دمای ۱۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد حرارت داده شدند. پس از هضم نمونه‌ها در محلول اسیدی و شفاف‌شدن حجم آنها با آب دیونیزه به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد.

آنالیز فلزات سنگین

اندازه‌گیری مقادیر سرب و کادمیوم نمونه‌ها به‌طور استاندارد با دستگاه جذب اتمی Varian spectra AA220 (ساخت استرالیا) انجام شد. میزان بازیافت[1] برای هر عنصر بااستفاده‌از نمونهٔ مادهٔ شیمیایی مرجع LUTS-1 (NRCC[2]) محاسبه و در اندازه‌گیری عناصر به‌تفکیک اِعمال شد. بااستفاده‌از محلول‌های استاندارد برای هر عنصر دستگاه کالیبره شد. طول‌موج‌های ۰/۲۱۷ ۲۱۷.۰ نانومتر و ۲۲۸/۸ نانومتر به‌ترتیب برای قرائت سرب و کادمیوم به‌کار گرفته شد.

یافته‌ها

نتایج نشان داد تمامی بقایای استخوانی هزارهٔ پنجم ارزیابی‌شده، مقادیر زیادی سرب و کادمیوم داشتند. بیشترین میزان سرب و کادمیوم به‌ترتیب در نمونهٔ استخوان‌های جمجمهٔ بز (۴۳/۶ mg/kg) و استخوان قلم دست حیوان علف‌خوار تک‌سمی مانند الاغ یا اسب (۴/۹۶ mg/kg) مشاهده شد. باتوجه‌به نتایج، احتمالاً خاک و یا آب منطقه حاوی مقادیر بالایی از سرب و کادمیوم است. بنابراین، برای دست‌یافتن به اطلاعات جامع در این زمینه و کنترل آلودگی منابع‌غذایی با فلزات سنگین نیاز به بررسی و تحقیقات گسترده‌ای در این منطقه ضروری به نظر می‌رسد. امروزه در بحث محیط‌زیست تحقیقات فراوانی درخصوص رابطهٔ بین بسیاری از بیماری‌ها و نارسایی‌های انسانی با مسمومیت ناشی از فلزات سمی انجام می‌گیرد. در بیشترِ این تحقیقات ثابت شده است که جذب بالاتر از حد معین برخی فلزات سنگین می‌تواند موجب بیماری و مرگ شود. بنابراین، در باستان‌شناسی دوران پیش از تاریخ باتوجه‌به وابستگی کامل تغذیهٔ افراد به محیط پیرامونی، درصورت آلودگی‌های محیطی می‌توانسته مرگ‌ومیر زودرس افراد، تولد فرزندان ناقص، تعداد مرگ بیشتر ازتولد را رقم زده باشد. بنابراین، باوجود ثبات محیطی و هم‌زمان با گرم‌شدن تدریجی هوا و دستیابی بشر به اهلی‌سازی بعد از مرحلهٔ اوج جمعیتی درهٔ تالوار در دورهٔ میانی مس و سنگ ناگهان از تعداد استقرارها کاسته شده و تا امروز هرگز به سطح قبلی بازنگشته است. این مسئله یک موضوع اساسی است که باید مدنظر قرار گیرد. بنابراین، مشکلات زیست‌محیطی منطقه توسط انسان احتمالاً فشار مضاعفی برای چنین رخدادی رقم زده است. ازجمله نمونه‌های ثبت‌شده در مطالعات باستان‌شناسی می‌توان به فروپاشی زیستگاه عین‌الغزال در حاشیهٔ رود اردن نزدیک شهرستان زرقاو در دورهٔ یارموکیان اشاره کرد (الکفافی، ۱۹۹۰؛ Zielhofer *et al.*, 2012). در این مورد، فشار بیش‌ازحد جمعیت ساکن در محل بر تخریب جنگل‌ها و بوته‌ها به‌منظور تهیهٔ گچ به‌عنوان پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی و از سوی

[1] Recovery

[2] National Research Council of Canada

دیگر، تمرکز فراوان بر نگهداری گله‌های بز موجب تخریب پوشش زمین شده تا اینکه در دورهٔ چهارم استقراری موسوم به یارموکیان، نشانه‌های فروپاشی به صورت ساخت خانه‌های گلی، کاهش شدید محدودهٔ روستا و سپس متروک‌شدن کامل محل استقرار رقم خورد (Rollefson & Kafafi, 1996; 1998). همچنین، مطالعات باستان‌شناسی در تل الصوان در شمال بین‌النهرین نیز تخریب کشتزارها به‌علت آبیاری با آب شور رودخانهٔ کنگیر که در بلندمدت موجب شوره‌زدن به‌دلیل تجمع نمک و گوگرد شد را از نشانه‌های فروپاشی در این محل ذکر کرده‌اند (Al-a'dami, 1968). مشابه همین تخریب در دشت دهلران نیز گزارش شده است. هانس هلبک اشاره می‌کند که در اواخر دورهٔ بیات میزان کشت جو بر گندم پیشی گرفت و پس از آن، کشاورزی در دشت دهلران در درجهٔ اهمیت بسیار کمتری قرار گرفت. وی این پدیده را ناشی از شوره‌زدن خاک دشت به‌دلیل آبیاری با آب رودخانه‌های دویرایچ و میمه در بلندمدت ذکر کرده است. درحالی‌که جو تحمل شوری بیشتری نسبت به گندم دارد اما پس از آن و در دورهٔ سرگراب پایانی تقریباً تمامی دشت به چراگاه تبدیل شد. درهٔ تالوار نیز ازنظر زمین‌شناسی دارای شرایط خاصی است که به‌طور طبیعی زمینهٔ آلودگی با برخی فلزات سنگین را فراهم کرده است.

نتایج آزمایش‌ها

نتایج به‌دست‌آمده درخصوص اندازه‌گیری مقدار میانگین سرب و کادمیوم در نمونه‌های استخوانی باستانی و معاصر به‌ترتیب در جدول ۱ نشان داده شده است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد دام‌های منطقهٔ قشلاق در معرض آلودگی شدید با سرب بوده‌اند. نتایج نمونه‌های حیوانات معاصر که در منطقهٔ موردکاوش می‌زیسته‌اند نیز مؤید این نکته است که زمینهٔ این آلودگی همچنان در منطقه وجود دارد (تصویر ۵). بنابراین، بررسی منابع آب، خاک و گیاه منطقهٔ کاوش‌شده برای شناسایی منشأ این آلودگی ضروری است.

صرف‌نظر از نتایج ویژهٔ این پژوهش‌ها که همگی مؤید آلودگی منطقه است باید این نکته را یادآوری کنیم که اساساً در دنیای امروز، پخش بسیاری از فلزات سنگین در محیط‌زیست و واردشدن آنها به چرخهٔ زنجیرهٔ غذایی و همچنین مصرف سوخت حاوی سرب، باعث آلودگی شده است.

اما همیشه زمینهٔ طبیعی به‌معنی وجود معادن و کانسارهای طبیعی این فلزات نقشی مهم‌تر در آلودگی داشته است. بررسی‌های زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که مهم‌ترین یون‌های فلزی محلول در منطقه شامل آرسنیک، کادمیوم، آهن، سرب، مس، نقره، منگنز، و روی هستند.

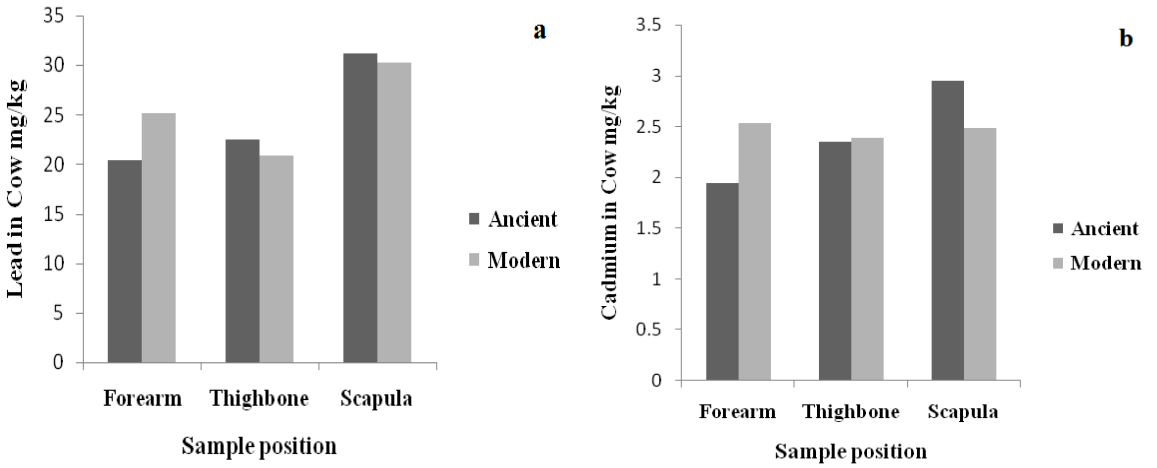
غلظت بالای این یون‌های فلزی، آب‌های سطحی و زیرزمینی را آلوده می‌کند و به‌طور مستقیم بر آبخوان‌ها تأثیر می‌گذارد. اندازه‌گیری مقدار سرب و کادمیوم موجود بر روی نمونهٔ استخوان‌های حیوانی دورهٔ مس و سنگ –تپهٔ قشلاق تالوار با انجام بررسی‌های محیطی منطقه و آگاهی از آلودگی‌های ناشی از پراکنش فلزات سنگین در منطقه در راستای فرضیه فوق مطرح شد. به‌منظور تبیین این مسئله، نمونه‌هایی از استخوان حیوانی را به‌منظور اندازه‌گیری مقدار فلزات سنگین موجود انتخاب کردیم. مبنای انتخاب براساس توالی لایه‌های استقراری از دورهٔ مس و سنگ قدیم تا دورهٔ مفرغ میانی برای طول مدت زمانی بیش از ۱۶۰۰ سال (از حدود ۵۳۰۰ تا ۲۷۰۰ ق.م) بود. هرچند هدف ما معطوف به بررسی این تأثیر روی بقایای انسانی بود، ولی به‌دلیل عدم یافتن اسکلت‌های انسانی و در عین حال فراوانی بقایای استخوانی حیوانی که نشانه‌های آشکاری از مصرف خوراکی بر الگوی شکستگی استخوان‌ها دیده می‌شد، از نمونه استخوان‌های حیوانی استفاده شد. با این توضیح که در زنجیرهٔ غذایی برای ساکنان دورهٔ موردنظر در تپه تالوار که عمدتاً وابسته به گوشت بوده است، در طول زمان مقدار سرب توسط فراورده‌های دامی به آنها قابل انتقال بوده است. به این منظور تعداد استخوان‌های موردمطالعه به شرح جدول ۱ با دستگاه جذب اتمی ارزیابی شدند. بنابراین، اندازه‌گیری غلظت سرب و کادمیوم در استخوان‌های باستانی و معاصر می‌تواند انتشار این عناصر در خاک مناطق مختلف را نشان دهد. هم سرب و هم کادمیوم از منابع طبیعی و همچنین از فعالیت‌های صنعتی نشات می‌گیرند که از منابع آلودگی برای انسان هستند (Ericson *et al.*, 1991).

در مجموع یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد انسان و دام منطقهٔ تالوار و محوطه قشلاق در معرض آلودگی شدید با سرب بوده‌اند. نتایج نمونه‌های حیوانات معاصر که در منطقهٔ موردکاوش می‌زیسته‌اند نیز مؤید این نکته است که زمینهٔ این آلودگی همچنان در منطقه وجود دارد. بنابراین، بررسی منابع آب، خاک و گیاه منطقهٔ کاوش‌شده برای شناسایی منشأ این آلودگی ضروری است. سرب و کادمیوم، عملکردهای فیزیولوژیکی ناشناخته‌ای دارند و حتی در غلظت‌های کم نیز سمی هستند؛ همچنین، تجمع‌شان می‌تواند بر غلظت عناصر

ضروری مانند آهن، روی، مس و کلسیم تأثیر بگذارد؛ به همین دلیل در بیشتر تحقیقات مرتبط با فلزات سمی، معمولاً سرب و کادمیوم مطالعه شده‌اند. این دو عنصر، تمایل به تجمع در اندام‌های حیاتی و بافت‌های سخت دارند و نیمه‌عمر آنها به بالای ۳۰ سال در بافت‌های سخت بدن می‌رسد؛ به عبارتی، بافت‌های سخت بدن مهم‌ترین اندام‌ها برای تجمع سرب در مهره‌داران هستند.

جدول ۱. میزان سرب و کادمیوم در استخوان‌های قشلاق

شماره نمونه	گونهٔ حیوانی	نوع استخوان	میزان سرب|ppm	میزان کادمیوم|ppm
۱	تک‌سمی (اسب یا الاغ اهلی یا وحشی یا گورخر)	آهیانه و بین‌آهیانه‌ای (از جمجمه)	۴۳	۴/۰۴
۲	بز اهلی یا وحشی	جمجمه	۴۳/۶	۴/۲۸
۳	بز اهلی یا وحشی بالغ	بند سوم انگشت دست یا پا(سم)	۳۷/۶	۳/۸۲
۴	لاک‌پشت	بازو	۳۸	۳/۳۲
۵	پرندهٔ بزرگ	بازو	۳۵	۳/۵۲
۶	خرگوش	فک پایین	۳۸	۳/۸۲
۷	نشخوارکنندهٔ کوچک (گوسفند یا بز اهلی یا وحشی) نابالغ	مهرهٔ گردن	۳۱/۸	۳/۴۶
۸	گوسفند (گوسفند یا بز اهلی یا وحشی) تازه بالغ‌شده	قسمت انتهای ران	۳۸/۴	۴/۴۶
۹	تک‌سمی (اسب یا الاغ اهلی یا وحشی یا گورخر)	متاکارپ (قلم دست)	۴۳/۴	۴/۹۶
۱۰	نامعلوم	استخوان کامل	۳۳/۶	۳/۶
۱۱	تک‌سمی (اسب یا الاغ اهلی یا وحشی یا گورخر)	کتف	۳۸	۳/۴۲
۱۲	نشخوارکنندهٔ بزرگ (گاو، گاومیش یا انواع وحشی آن)	کتف	۴۲/۲	۴/۸
۱۳	نشخوارکنندهٔ کوچک (گوسفند یا بز اهلی یا وحشی)	کتف	۳۵/۶	۳/۶۲
۱۴	جوندهٔ کوچک (مانند موش)	فک پایین	۳۴	۲/۹۴
۱۵	تک‌سمی (اسب یا الاغ اهلی یا وحشی یا گورخر)	لگن (قسمت بال ایلیوم)	۴۱/۴	۳/۳
۱۶	تک‌سمی (اسب یا الاغ اهلی یا وحشی یا گورخر)	بند سوم انگشت دست یا پا (سم)	۳۶/۶	۳/۶۶
۱۷	نشخوارکنندهٔ بزرگ (گاو، گاومیش یا انواع وحشی آن)	متاتارس (قلم پا)	۴۰	۳/۴۲
۱۸	گوشتخوار (قابل تفریق نبود- گرگ، سگ، خرس، پلنگ، شیر و مانند آن)	استخوان کنجدی مچ دست	۳۸/۶	۴/۳۴
۱۹	نشخوارکنندهٔ کوچک (گوسفند یا بز اهلی یا وحشی)	فک	۴۱/۲	۳/۳۲
۲۰	سگ‌سانان (سگ، گرگ یا مانند آن)	کف دست	۴۲/۸	۳/۸
۲۱	خوک‌سانان (احتمالاً گراز)	لگن	۳۹	۳/۶



تصویر ۵. نمونه‌های آماری استخوان‌های حیوانی باستانی و معاصر (بهاری و همکاران، ۱۳۹۱)

بحث و نتیجه‌گیری

باتوجه‌به تشابه نتایج پژوهش بر روی دو گروه دیگر از استخوان‌های هزارهٔ پنجم (قشلاق) و هزارهٔ اول قبل از میلاد مربوط به محوطهٔ جلو آسیاب رضاآباد که در فاصلهٔ حدود سه‌کیلومتریِ شمال‌شرقی تپهٔ قشلاق قرار دارد و همچنین تکرار آزمایش روی نمونهٔ استخوان گوسفندان بومی روستای چهل‌امیران قشلاق تالوار مشخص شد که آب و خاک منطقه به‌شدت به انواع فلزات سنگین آلوده است و ازطریق زنجیرهٔ غذایی در بافت جانوران و انسان‌ها نفوذ می‌کند. برابر استانداردهای موجود باتوجه به کم‌سن‌بودن تمامی نمونه‌های حیوانی که اغلب بین ۲ تا ۵ سال دارند، این مقدارِ بسیار زیاد می‌تواند موجب پدیدارشدن علائم مسمویت شود. از سوی دیگر، چون رسوب سرب در بافت‌های استخوانی در افراد بزرگسال با بالارفتن سن همواره رو به تزاید است، می‌توان شیوع مسمومیت و ایجاد مشکلات مربوط به آن و آلودگی خاک منطقه را به عنوان یکی از دلایل اصلی فروپاشی زیستگاه‌های هزارهٔ پنجم و چهارم ق.م در این منطقه قلمداد کرد. به‌طور قطع با انجام کاوش‌های وسیع‌تر و تکرار مطالعه روی نمونهٔ بقایای استخوانی انسانی که از قابلیت تعیین سن بیشتری برخوردارند این فرض را می‌توان به‌طور قطع اثبات کرد.در واقع ،علائم بسیاری از بیماریهایی که باعث تغییراتی در بافت استخوان میشود ، با مطالعه بقایای تدفینهای هزاره پنجم ق.م مشخص میگردد.

بطور کلی، یکی از دلایل ترک این زیستگاه و متروک‌شدن آن، آلودگی‌های زیست‌محیطی است که وجود فلزات سنگین در بلندمدت تأثیرگذار بوده است. بنابراین، پس از ۱۵۰۰ ق.م قشلاق برای همیشه دچار فروپاشی شده و هیچ‌گاه حتی تا به‌امروز امکان زیست در آن به دورهٔ قبل بازنگشته است. بنابراین، با این پیش‌فرض که باوجود ثبات محیطی و هم‌زمان با گرم‌شدن تدریجی هوا و دستیابی بشر به اهلی‌سازی حیوان، دلیل آنکه بعد از مرحلهٔ اوج جمعیتی درهٔ تالوار در هزارهٔ پنجم ق.م ناگهان از تعداد استقرارها کاسته شده و تا دوران‌های تاریخی و اسلامی هرگز به سطح قبلی بازنگشته، یک موضوع اساسی برای درک بهتر شرایط پیش‌آمده در این منطقه است.

فروپاشی جمعیتی زیستگاه تالوار در اواخر مس و سنگ جدید هم‌زمان با گودین VII در درهٔ تالوار بود. در اواخر دورهٔ مس و سنگ جدید قشلاق هم‌زمان با پایان دوره گودینVII که این افق زمانی براساس تاریخ گذاری‌های ترمو-لومینسانس حدود ۲۲۰± ۳۶۰۰ و ۲۸۰ ±۳۸۵۰ گزارش شده، به یکباره نوعی گسست در تداوم استقراری این برهه طولانی به وقوع پیوسته است. براساس مقایسهٔ مواد فرهنگی لایهٔ استقراری طبقهٔ II این گسست حداقل تا نیمهٔ دورهٔ مفرغ میانی و جدید (گودین III) ادامه یافت و پس از آن فقط برای مدت کوتاهی سطح تپه اشغال وآن هم به‌زودی متروک شد. احتمالاً این فروپاشی نه یک فروپاشی زیستگاهی بلکه فروپاشی در استقرار این محوطه بوده است چون افق زمانی آن دقیقاً هم‌افق با دورهٔ گودین VI و سپس نفوذ اقوام آشنا با فرهنگ یانیق به منطقه است. بنابراین، درخصوص فروپاشی این زیستگاه می‌توان دو عامل را مطرح کرد: ۱- یکی از عوامل احتمالاً به‌دلیل ورود اقوام یانیقی به

منطقه بوده که باعث دگرگون‌شدن آرایش فضایی محوطه‌ها شده. اغلب محوطه‌های هزارهٔ پنجم ق.م متروک و زیستگاه‌های جدید در مناطق کمربند کوهپایه‌ای به‌طور بسیار پراکنده شکل می‌گیرند. بنابراین، کل زیستگاه منطقه دچار فروپاشی نشده و تنها جابه‌جایی استقراری ناشی از تغییر در الگوهای استقراری به وقوع پیوسته است. ۲- یکی دیگر از دلایل فروپاشی این زیستگاه را باید در عوامل زیست‌محیطی جستجو کرد که در این مقاله به آن پرداخته شده است. پژوهش‌هایی که در منطقهٔ بیجار انجام شده به آلودگی‌های زیست‌محیطی سرب و آرسنیک اشاره می‌کند. بخارهایی که از ماگماهای زیرین فرار کرده آرسنیک را وارد سیستم گرمابی کرده و در اثر انتشار طبیعی وارد آب‌های زیرزمینی شده است. مشکلات ناشی از آرسنیک به‌طور عمده در باطله‌های معدنی یا ذخایر غنی از آرسنیک (مانند ذخایر طلا ـ آنتیموان) متمرکز شده است. باتوجه‌به اینکه درهٔ تالوار نیز ازنظر زمین‌شناسی شرایط خاصی دارد و به‌طور طبیعی زمینهٔ آلودگی با برخی فلزات سنگین را فراهم کرده است، این آلودگی ازطریق زنجیره غذایی در بافت جانوران و انسانها نفوذ کرده و مانع از رشد جمعیت در این دره شده است. بنابراین، از اصلی‌ترین عوامل فروپاشی زیستگاهی در درهٔ تالوار همین عامل می‌تواند فرض شود. در واقع می‌توان اذعان کرد احتمالاً عامل اصلی این فروپاشی وجود کانسارهای گچ و مس و احتمالاً وجود فلزات سنگین و سمی در زیست‌بوم منطقه بوده است. نامرغوبی خاک منطقه، ارتفاع نسبتاً زیاد از سطح دریا و به‌تبع سردبودن نسبی اقلیم نسبت به دیگر مناطق پیرامونی ، ناسازگاری‌های محیطی و زیستی، آلودگی آب، محدودیت منابع کشت و همچنین ضعیف بودن مراتع، ازجمله دلایل ناپایداری زیستگاه و عامل فروپاشی جمعیتی در منطقه شده است. از سوی دیگر، نتیجهٔ بسیاری از بررسی‌های باستان‌شناسی نشان از رشد سریع جمعیت و نیز تعداد محوطه‌های دورهٔ مس و سنگ جدید در منطقه دارد. هرچند ممکن است دلایل آن تاکنون کاملاً روشن نشده باشد ولی این پدیده در این دشت میان‌کوهی و باتوجه‌به نهشت‌های ضخیم این دوره در تپهٔ قشلاق غیر قابل انکار است. اما پس از این دوره هرگز چنین انباشتی از دیگر دوره‌های متأخر در این دشت شناسایی نشده است.

منابع مالی

منابع مالی این مطالعه توسط نویسندگان تهیه شده است.

تعارض منافع

بین نویسندگان هیچ‌گونه تعارضی در منافع وجود ندارد

References

Alam, M. G. M., Snow, E. T. & Tanaka, A. (2003). Arsenic and heavy metal contamination of vegetables grown in Samta village, Bangladesh. *Science of the Total Environment 308*, 83-96.

Al-a'dami, K. A. (1968). Excavations at Tell es-Sawwan (Second Season). *Sumer, 2*(24), 57-95.

Codex Alimentarius Commission. (2007). Codex general standard for contaminants and toxins in foods. *Codex Standard*, 193-1995, Rev.3.

De-Vries, W., Romkens, P., & Schutze, G. (2007). Critical Soil Concentrations of Cadmium, Lead, and Mercury in View of Health Effects on Humans and Animals. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 191*, 91-130.

Ericson, J. E., Smith, D. R., & Flegal, A. R. (1991). Skeletal concentrations of lead, cadmium, zinc, and silver in ancient North American Pecos Indians. *Environmental Health Perspectives, 93*, 217-23.

Fernandez F. (1999). Bone lead in the prehistoric population of Gran Canaria. *American Journal of Human Biology, 11*, 405-10.

Grattan, J., Abu Karaki, L., Hine, D., Toland, H., Gilbertson, D., Al-Saad, Z., *et al*. (2005). Analyses of patterns of copper and lead mineralization in human Skeletons excavated from an ancient mining and smelting centre in the Jordanian desert: a reconnaissance study. *Mineralogical Magazine, 69*, 653-66.

Gonzalez-Reimers, E., Velasco-Vazquez, J., Arnay-de-la-Rosa, M., Alberto-Barroso, V., Galindo-Martın, V. L., & Santolaria-Fernandez, F. (2003). Bone cadmium and lead in prehistoric inhabitants and domestic animals from Gran Canaria. *The Science of the Total Environment, 301*, 97–103.

Gary O. Rollefson, Zeidan Kafafi, "The 1998 Excavation Season at ‘Ain Ghazal Neolithic Village", in Occident & Orient 3(2):15-27.

Zielhofer, C. (2012). The decline of the early Neolithic population center of 'Ain Ghazal and corresponding earth-surface processes. Jordan Rift Valley. *Quaternary Research, 78*(3), 427–41.

الكفافي، زيدان عبدالكافي. (١٩٩٠). *الأردن في العصور الحجرية*. الأردن: لجنة تاريخ الأردن.

بهاری، علی‌اصغر؛ محمدی‌فر، یعقوب؛ پژوهشی الموتی، محمودرضا. (۱۳۹۱). *بررسی ارتباط بین میزان سرب و کادمیموم در نمونه‌های استخوان دام‌های باستانی و معاصر استان کردستان*. همایش بهداشت، ایمنی و غذا، ۲۵۲۵/۰۸/۱۳۹۱ ؛ شیراز.

حاجیانی، ناصر؛ قادریان، مجید؛ کریمی، ناصر. (۱۳۹۵). بررسی جذب، انباشتگی و مقاومت به آنتیموان در گیاه، *Tanacetum polycephalum*، *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۲۹ (۳)، ۵۰۵-۴۹۴.

خدادای،احمد،۱۳۹۰، بررسی منابع آلاینده فلزات سنگین در استان زنجان با استفاده ازGIS، سی امین گردهمایی علوم زمین، تهران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، https://www.civilica.com/Paper-GSI30-GSI30_321.html

سیاره، علیرضا؛ فنودی، محمد. (۱۳۸۶). بررسی های زمین شناسی زیست محیطی در منطقه قروه -بیجار - گزارش مقدماتی، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی.

شریفی، مهناز؛ مترجم، عباس؛ محمدی فر، یعقوب. (۱۳۹۶). بازشناسی الگوی معیشتی جوامع هزاره پنجم (دوره مس وسنگ) در منطقه حاشیه درونی شرق زاگرس مرکزی (مطالعه موردی تپه چهل امیران)، *نشریه جستارهای باستان شناسی ایران پیش از اسلام*، شماره ۲ : ۱-۱۵.

عبدی، پرویز. (۱۳۸۵) بررسی آلودگیهای زیست محیطی کارخانه سرب و روی زنجان (مطالعه مورد منابع آب زیرزمینی، کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، :۱ -۷.

عزیزی‌پور، طاهره؛ میرفتاح، علی اصغر؛ سبزی، موسی (۱۳۸۹). ارزیابی الگوی معیشتی ساکنان محوطه ولیران دماوند بر اساس میزان استرانسیوم در دندانهای باستانی، *پیام باستان شناس*، شماره ۱۳۱۰۱-۱۰۶.

عبدالهی، سمانه؛ دلاور، محمد؛ شکاری، پرویز. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی توزیع مکانی سرب، روی و کادمیوم و ارزیابی آلودگی خاک‌های منطقه انگوران استان زنجان. *نشریه آب و خاک، ۲۶* (۶)، ۱۴۱۰-۲۰.

Kalhori, A., Jafari, H. R., Yavari, A. R., Prohic, E., & Ahmadzadeh Kokya T. 2012. Evaluation of Anthropogenic Impacts on Soil and Regolith Materials Based on BCR Sequential Extraction Analysis. *International Journal of Environmental Research*, *6*(1), 185-94.

Jaworowski, Z., Barbalat, F., & Blain, C. (1985). Heavy metals in human and animal bones from ancient and contemporary France. *Science of the Total Environment*, *43*, 103-26.

Settle, D. M., & Patterson, C. C. (1980). Lead in albacore: guide to lead pollution in Americans. *Science*, *207*, 1167-76.

Sharma, R. K; Agrawal, M.; Marshall, F. (2007). Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *66*, 258-66.

Sharifi, M., & Motarjem, A. (2018). The Process of Cultural change in the Chalcolithic period in the highlands of Western Iran at Tepe Gheshlagh. *Documenta Praehistorica*, *45*, 86-99.

Shikazono, N., Zakir, H. M., & Sudo, Y. (2008). Zinc contamination in river water and sediments at Taisyu Zn–Pb mine area, Tsushima Island, Japan. *Journal of Geochemical Exploration*, *98*, 80-8.

Mergler, Donna., Anderson, Henry., Murray, Michael. (2007). Methylmercury Exposure and Health Effects in Humans: A Worldwide Concern, Journal of the Human Environment 36(1):3-11.

Motarjem, A; Sharifi, M. (2014). Cultural Development of Chalcolithic Era in the East of Central Zagros based on Archaeological Excavations at Tepe Gheshlagh, Iranian Journal of Archaeological Studies, Volume 4: 49-65 DOI: 10.22111/ijas.

Muñoz-Olivas, R., & Cámara, C. (2001). Speciation related to human health. In: L. Ebdon, L. Pitts, R.Cornelis, H. Crews, O. Donard, and P. Quevauviller, Editors. *Trace element speciation for environment, food and health*, The Royal Society of Chemistry, pp. 331–53.

Needleman, H. (2004). Lead poisoning. *The Annual Review of Medicine*. *55*, 209-22.

Nordberg, G. F. (2004). Cadmium and health in the 21st Century – historical remarks and trends for the future. *BioMetals*, *17*, 485-9.

مترجم، عباس؛ شریفی، مهناز. (۱۳۹۷). فرایند گذار از سنت‌های فرهنگی نوسنگی جدید به مس و سنگ قدیم در پسکرانه‌های شرق زاگرس مرکزی. *مجله علمی پژوهشی پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*، ۸(۱۶)، ۱۰۲ -۸۳.

گلپایگانی، عبدالعلی؛ خانجانی، نرگس. (۱۳۹۱). مواجهه محیطی و شغلی با سرب در ایران: یک مرور سیستماتیک. *مجله بهداشت و توسعه*، ۱ (۱)، ۸۹-۷۴.