Journal of Research on Archaeometry, 2020; 6 (1):17–31

Journal of Research on Archaeometry

DOI: 10.29252/jra.6.1.17

URL: http://jra-tabriziau.ir/

Original Paper

Application of Strontium Isotope Analysis of Bone and Tooth in the Study of Ancient Immigrations

Masoud Bagherzadeh Kasiri[1*], Akbar Abedi[2]

[1] *Associate Professor, Faculty of Applied Arts, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, IRAN*

[2] *Assistant Professor, Faculty of Applied Arts, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, IRAN*

Received: 08/12/2018 **Accepted: 03/04/2019**

Abstract

One of the important questions of archaeology is the study of the mobility and immigration of human groups. A common method for addressing these issues is to refer to the artifacts and archaeological findings left behind by the earlier cultures and to compare the forms, motifs, and production methods used among various ancient cultures, and hence, to explore the relationships and cultural exchanges between the societies. But, in the last three decades, the analysis of strontium isotopes in human tooth and bone samples (and even animals) has made it possible to study ancient immigration using a new method. According to the results of scientific researches, 87Sr/86Sr in each region is different due to the geological complications and the genus and stony sediments with 87Sr/86Sr of other regions. By measuring 87Sr/86Sr in bone and skeletal samples and comparing it with the average 87Sr/86Sr geological ratio in the region, the samples of the studied skeletons can be either indigenous or migratory. Since the people of the Piranshahr area in Iran have still traffic to the cities of Erbil and Sulaimaniyah in Iraq, and according to the studies, most villagers from Silveh village migrated to this region during the past century from the Iraqi Kurdistan, the immigration study of skeletons found in Tepe Silveh archaeological site could be interesting. The purpose of this study was to use the analysis of stable isotopes of strontium of the teeth and bone samples of skeletons obtained from the archaeological site of Tepe Silveh, Piranshahr, in order to determine their native or migratory nature. Tepe Silveh or as villager named "Tepe Sheikh Esmail Silveh" (N: 36° 48' 099" – E: 45° 05' 937" – altitude: 1567 m) is located exactly 100 m north of the Silveh village. Tepe Silveh is located in the center of intermountain river valley on the northern margin of the village, which has already been demolished and abandoned. As explained above, the reason for the destruction of the village was the sinking in the basin of the Silveh Dam. Seven Excavation trenches in Tepe Silveh have revealed, important materials from Early Chalcolithic Dalma (5000 BC) culture, Late Chalcolithic, Early Bronze Age culture of Hasan Ali or Nineveh V (3500- 2700 BC), Iron Age and Parthian periods. After a gap, Tepe Silveh have re-settled during Millde Islamic Periods (Seljuk era) and continued up to the late Islamic Period. According to the important location of Tepe Silveh and different occupation of the site deformation from Early Chalcolithic Dalma period to Islamic era, it should be suggested as a particularly important case study of migration, because it has been active and dynamic during different periods. Proximity of the site to the Iran, Iraq and Turkey adds to the importance of this study. To achieve this, the 87Sr/86Sr of the samples was measured. By comparing the ratio of strontium isotopes, it was possible to determine whether the samples were indigenous or migratory.

* Corresponding author: m.kasiri@tabriziau.ac.ir

Copyright© 2020, the Authors | This open-access article 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.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]

[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]

[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]

The results obtained showed the different proportions in the analysis of strontium isotope, so that all samples could be considered non-native. Of course, this comment is only expressed on the basis of these five skeletons, and more specimens and analysis are needed to comment on the archaeological site of Piranshahr.

Keywords: Stable Isotopes Analysis, Strontium Isotopes, Tepe Silveh Archaeological Site, Human Skeleton, Immigration/Mobility or Sedentism

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]

[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]

[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]

پژوهه باستان‌سنجی ۱۳۹۹؛ ۶(۱): ۱۷-۳۱

پژوهه باستان‌سنجی

DOI: 10.29252/jra.6.1.17

URL: http://jra-tabriziau.ir/

دانشگاه هنر اسلامی تبریز ۱۳۷۸

مقاله پژوهشی

کاربرد آنالیز ایزوتوپ‌های استرانسیوم استخوان و دندان در مطالعهٔ پدیدهٔ مهاجرت‌های باستانی

مسعود باقرزاده کثیری*[۱]، اکبر عابدی[۲]

۱. دانشیار، عضو هیئت‌علمی دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران

۲.استادیار، عضو هیئت‌علمی دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۱۴

چکیده

یکی از سؤالات مهم باستان‌شناسان، بررسی جابه‌جایی‌ها و مهاجرت مابین گروه‌های انسانی گذشته‌است. روش رایج برای بررسی این مسائل مراجعه به مصنوعات و آثار به‌جامانده از فرهنگ‌های پیشین و مقایسهٔ تطبیقی فرم‌ها، نقوش و روش‌های تولید است که در میان فرهنگ‌های مختلف باستانی به‌کاررفته است و از این طریق به بررسی ارتباطات و روابط فرهنگی پرداخته می‌شود. در سه دههٔ اخیر آنالیز ایزوتوپ‌های استرانسیوم (Sr) موجود در نمونه‌های دندان و استخوان انسان (و حتی حیوانات) این امکان را فراهم ساخته است که مهاجرت و جابه‌جایی‌های باستانی با روش جدیدی موردمطالعه قرار گیرد. طبق بررسی‌های علمی $^{87}Sr/^{86}Sr$ در هر منطقه با توجه به عوارض زمین‌شناختی و جنس سنگ‌ها و رسوبات سطحی با $^{87}Sr/^{86}Sr$ مناطق دیگر متفاوت است. بامطالعهٔ $^{87}Sr/^{86}Sr$ در نمونه‌های استخوان و دندان‌های اسکلت‌های تاریخی و مقایسهٔ آن با میانگین نسبت زمین‌شناختی $^{87}Sr/^{86}Sr$ در منطقه می‌توان به بومی و یا مهاجر بودن نمونهٔ اسکلت‌های موردمطالعه پی برد. ازآنجایی‌که امروزه نیز مردمان منطقهٔ پیرانشهر به دلیل نزدیکی به شهرهای اربیل و سلیمانیه عراق، با این شهرها رفت‌وآمدهای زیادی دارند و طبق مطالعات صورت گرفته، اغلب اهالی روستای سیلوه در طی یک قرن گذشته از کردستان عراق به این منطقه مهاجرت کرده‌اند. خود این موضوع زمینه مساعدی را جهت مطالعهٔ مهاجرت‌ها و جابه‌جایی‌های جوامع انسانی، فراهم می‌سازد. هدف از انجام این پژوهش، استفاده از آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار استرانسیوم موجود در نمونه دندان و استخوان اسکلت‌های به‌دست‌آمده از سایت حفاری تپه سیلوه پیرانشهر، به‌منظور تعیین بومی و یا مهاجر بودن آن‌ها است. برای نیل به این هدف $^{87}Sr/^{86}Sr$ موجود در نمونه‌ها، اندازه‌گیری شد. با مقایسهٔ نسبت ایزوتوپ‌های استرانسیوم، امکان تعیین بومی یا مهاجر بودن نمونه‌ها فراهم شد. نمونه‌های موردمطالعه در این پژوهش، نسبت‌های متفاوتی را در آنالیز ایزوتوپ استرانسیوم نشان دادند که ازاین‌رو می‌توان همه نمونه‌ها را غیربومی در نظر گرفت. البته این نظر، تنها در مورد پنج نمونه موردمطالعه بیان می‌شود و برای اظهارنظر در مورد سایت تاریخی پیرانشهر نیاز به مطالعه و آزمایش نمونه‌های بیشتری است.

واژه‌های کلیدی: آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار، ایزوتوپ استرانسیوم، محوطه تپه سیلوه پیرانشهر، اسکلت انسان، مهاجرت/جابه‌جایی یا یکجانشینی

* مسئول مکاتبات: تبریز، خیابان آزادی، میدان حکیم نظامی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، دانشکده هنرهای کاربردی، کد پستی: ۵۱۶۴۷۳۶۹۳۱

پست الکترونیکی: m.kasiri@tabriziau.ac.ir

حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است و نویسنده تحت مجوز Creative Commons Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقاله چاپ شده را با دیگران به اشتراک بگذارد منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]

[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]

[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]

۱. مقدمه

یکی از مهم‌ترین موادی که در اغلب کاوش‌های باستان‌شناسی به دست می‌آید، بقایای اسکلت انسان و حیوانات اهلی و یا وحشی است. این بقایای استخوانی پیش‌ازاین اهمیت چندانی نداشتند، اما در باستان‌شناسی جدید به دلیل اینکه منبع ارزشمندی برای استخراج اطلاعاتی از قبیل ویژگی‌های نژادی، تغذیه‌ای، انسان‌شناسی و بیماری‌های باستانی محسوب می‌شوند، اهمیت فراوانی دارند.

همگام با پیشرفت فناوری و رشد و گسترش مرزهای دانش و زایش شاخه‌های جدید باستان‌شناسی همچون بیوآرکئولوژی (زیست باستان‌شناسی) و باستان‌شناسی بیومولکولی، افق‌های جدیدی در استخراج و مطالعهٔ DNA بقایای استخوان‌های باستانی انسان و جانوران پدیدار شده است. مطالعهٔ بخش‌های آلی به‌جامانده از استخوان‌های باستانی اطلاعات باارزشی در خصوص ویژگی‌های ژنتیکی و روابط فرهنگی گذشتگان به دست داده‌است [1].

یکی از شاخه‌های مطالعاتی که از حدود سه دههٔ پیش در مباحث باستان‌شناسی نوین ظهورکرده است، مطالعهٔ ایزوتوپ‌های پایدار موجود در بقایای استخوان و دندان است. ایزوتوپ‌های متعددی در تحقیقات باستان‌شناسی به کار گرفته‌شده‌اند که مهم‌ترین آن‌ها کربن، نیتروژن، اکسیژن و استرانسیوم است. بامطالعهٔ آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار می‌توان به سؤالات بسیاری در خصوص آب‌وهوای زمان باستان، تغذیه و اقتصاد زیستی و نیز جابه‌جایی‌ها و مهاجرت‌های گروه‌های انسانی گذشته، پاسخ داد [2].

ایزوتوپ‌های استرانسیوم به‌عنوان تعیین‌کنندهٔ شاخص مهاجرت در جمعیت‌های باستان‌شناسی از دههٔ ۱۹۸۰ مورداستفاده قرارگرفته است [3]. در زمین‌شناسی صحرایی نیز، تحقیقات ایزوتوپ‌های استرانسیوم به‌عنوان روشی در تعیین سن طبقات زمین‌شناسی کاربرد داشته است [4]. همچنین، ایزوتوپ‌های استرانسیوم در علوم محیط‌زیست، برای مطالعه تأثیرات و وسعت مواد با منشأ انسانی (آلودگی‌های صنعتی) در اکوسیستم به کار گرفته‌شده است [5]. در تحقیقات باستان‌شناسی، ایزوتوپ‌های استرانسیوم برای ارزیابی ترکیبات رژیم غذایی جمعیت‌های ماقبل تاریخ نیز مورداستفاده قرار می گیرد [6].

یکی از سؤالات مهم باستان‌شناسی بررسی جابه‌جایی ها و مهاجرت مابین گروه‌های انسانی گذشته‌است. روش رایج و کلاسیک برای بررسی این مسائل، مراجعه به مصنوعات و آثار به‌جامانده از فرهنگ‌های پیشین و مقایسهٔ تطبیقی فرم‌ها، نقوش و روش‌های تولید است که در میان فرهنگ‌های مختلف باستانی به‌کاررفته‌اند و از این طریق به بررسی ارتباطات و روابط فرهنگی نیز پرداخته می‌شود. در سه دههٔ اخیر، آنالیز ایزوتوپ‌های استرانسیوم (Sr) موجود در نمونه‌های دندان و استخوان انسان و حتی حیوانات این امکان را فراهم ساخته‌است که مهاجرت و جابه‌جایی با روش جدیدی موردمطالعه قرار گیرد. این روش در دههٔ آغازین قرن بیستم، مراحل رشد و بلوغ خود را طی کرده‌است و هم‌اکنون به‌عنوان روشی قابل قبول، در بسیاری از مطالعات مربوط به جابه‌جایی‌های گروه‌های انسانی گذشته مورداستفاده قرار می‌گیرد.

استرانسیوم از سنگ‌های بستر به داخل خاک، آب‌های سطحی و به داخل چرخه غذایی وارد می‌شود. بنابراین غلظت استرانسیوم و نسبت ایزوتوپی در سنگ، خاک، آب‌های زیرزمینی، گیاهان و جانوران تا حد زیادی به زمین‌شناسی منطقه بستگی دارد. میزان عنصری استرانسیوم در بافت‌های گیاهی و جانوری تحت تأثیر عوامل زیادی، متغیر است، اما ترکیبات ایزوتوپی استرانسیوم در اثر فرایندهای بیولوژیک تغییر نمی‌کند، زیرا، تفاوت جرمی ایزوتوپ‌های استرانسیوم بسیار اندک است [7]. طبق بررسی‌های علمی نسبت ایزوتوپ‌های استرانسیوم که به‌صورت $^{87}Sr/^{86}Sr$ بیان می‌شود، در هر منطقه با توجه به عوارض زمین‌شناختی و جنس سنگ‌ها و رسوبات سطحی با نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ دیگر مناطق متفاوت است. استرانسیوم ۸۷، از طریق منابع غذایی و منابع آب وارد چرخه غذایی انسان می‌شود و در استخوان اسکلت انسان، رسوب می‌کند، بنابراین نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ در فرد، منعکس‌کنندهٔ نسبت منطقه‌ای است که فرد در آن زندگی می‌کند. استخوان انسان بافت فعالی به شمار می‌رود که خود را با تغییرات محیطی، هماهنگ می‌کند و اگر فرد،

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]
[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]

محیط زندگی خود را تغییر دهد نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ موجود در استخوان او نیز تغییر پیدا می‌کند و با محیط جدید، سازگار می‌شود. در مقابل، مینای دندان بافتی است که در کودکی شکل می‌گیرد و پس از شکل‌گیری دیگر تمایلی به تبادل ایزوتوپی و یونی با محیط اطراف خود ندارد؛ بنابراین نسبت ایزوتوپی استخوان، نشان‌دهندهٔ نسبت محیط زندگی سال‌های پایانی فرد و نسبت ایزوتوپی نمونهٔ دندان، نسبت محیط زندگی سال‌های کودکی فرد را نشان می‌دهد. با توجه به این مسئله، می‌توان گفت که با اندازه‌گیری نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ در نمونه‌های دندان اسکلت‌های تاریخی و مقایسهٔ آن با میانگین $^{87}Sr/^{86}Sr$ نمونه‌های استخوان همان افراد یا اسکلت‌های همان محوطه موردمطالعه (به‌عنوان میانگین نسبت زیستی) می‌توان به بومی و یا مهاجر بودن نمونه اسکلت‌های موردمطالعه، پی برد [8].

مطالعات جابه‌جایی‌های گروه‌های انسانی بر مطالعهٔ مینای دندان استوار است، زیرا این امکان را فراهم می‌سازد تا نسبت‌های ایزوتوپی محل تولد، اندازه گرفته شود. نسبت ایزوتوپی محلی را می‌توان از چندین روش به دست آورد: از طریق آنالیز نمونه استخوان همان اسکلت‌هایی که دندان‌های آن‌ها آنالیز می‌شود، از طریق آنالیز استخوان‌های انسان و انسان‌های موجود کشف‌شده در محوطه و یا از طریق آنالیز نمونه‌های حیوانی جدید در مجاورت محوطه. نشانه‌های ایزوتوپی مناطق جغرافیایی مختلف کرهٔ زمین در طول هزار سال اخیر همواره ثابت بوده‌است. این نسبت‌های ایزوتوپی در مناطق مختلف در نمونه‌های سنگ، خاک، آب و نیز بقایای انسانی و جانوری کشف‌شده از محوطه‌های باستانی، اندازه گرفته‌شده‌اند.

برای به دست آوردن مقیاسی در تشخیص نمونه‌های بومی از غیربومی، پرایس و همکارانش، پس از چند دهه تحقیقات در این حوزه پیشنهاد داده‌اند که علاوه بر استفاده از نمونه استخوان اسکلت‌های موردمطالعه، بهترین روش برای تخمین نسبت ایزوتوپی زیستی محوطه‌های باستانی این است که نمونه‌های دندان و یا استخوان باستانی حیوانات کوچک (همچون جوندگان، موش، خرگوش، مار و حیواناتی از این قبیل که قلمرو زندگی آن‌ها محدود است) اندازه‌گیری شوند. در صورت نبود این نمونه‌ها، می‌توان از نمونه‌های دندان حیوانات کوچک معاصر استفاده کرد که در این صورت باید مسئلهٔ وجود آلودگی‌های معاصر[1] را نیز مدنظر داشت. آن‌ها همچنین پیشنهاد کرده‌اند که برای داشتن یک بازهٔ اطمینان[2] دقیق در تشخیص نمونه‌های بومی از غیربومی، ضمن به دست آوردن میانگین زیستی منطقه با استفاده از نمونه‌های دندان و یا استخوان حیوانات (باستانی یا معاصر یا هر دو) و یا استخوان انسان، می‌توان از بازه میانگین ۲± استاندارد معیار استفاده کرد. بر این اساس، نمونه‌هایی که در این بازه اطمینان قرار بگیرند بومی و در غیر این صورت غیربومی محسوب می‌شوند [8]. پیشنهادهای مذکور در تمامی تحقیقات بعدی، به‌طور همه‌جانبه موردقبول واقع‌شده و به‌عنوان قرارداد پذیرفته‌شده‌اند [9-14].

این روش در محوطه‌های باستانی متعددی به‌کاررفته است و نتایج علمی و معتبری را ارائه‌کرده است. پدیدهٔ مهاجرت در روم باستان با استفاده از این روش، در چندین پژوهش موردمطالعه واقع‌شده است [10, 14-15]. نتایج یکی از این مطالعات نشان داده‌است که درصد بالایی از نمونه‌های موردمطالعه، غیربومی و ۳۰% از مهاجران زنان هستند که این نتیجه، نشانگر الگوی برون‌همسری در روم باستان است [14]. روش آنالیز ایزوتوپ استرانسیوم در مطالعهٔ مهاجرت در آمریکای جنوبی نیز مورداستفاده واقع‌شده و نتایج مطالعات وجود افراد مهاجر را در دو محوطهٔ موردمطالعه نشان داده‌اند [13]. علاوه بر موارد فوق، آنالیز ایزوتوپی برای بررسی مهاجرت در ژاپن ماقبل تاریخ نیز مورداستفاده واقع‌شده است [16].

در ایران، تحقیقات ایزوتوپی بر نمونه‌های باستانی در پژوهش‌های اندکی صورت گرفته‌است. مطالعه تغذیه و اقتصاد زیستی دشت قزوین بامطالعه ایزوتوپ‌های نیتروژن و کربن، موضوع پژوهشی است که با همکاری دکتر مرجان مشکور در فرانسه انجام‌شده است [17]. در پژوهش دیگری که در طی سال‌های اخیر، انجام‌شده است، رژیم غذایی محوطهٔ گوهر تپه با روش آنالیز ایزوتوپ‌های کربن و نیتروژن بازسازی‌شده است. درزمینهٔ استفاده از روش آنالیز ایزوتوپی برای بررسی مسئله مهاجرت، هم‌زمان با پژوهش حاضر تحقیقات دیگری در قالب پایان‌نامه دکترا در شرف انجام است که در مراحل اولیه خود هستند. به‌طورکلی می‌توان گفت که غیر از برخی تحقیقات بر روی

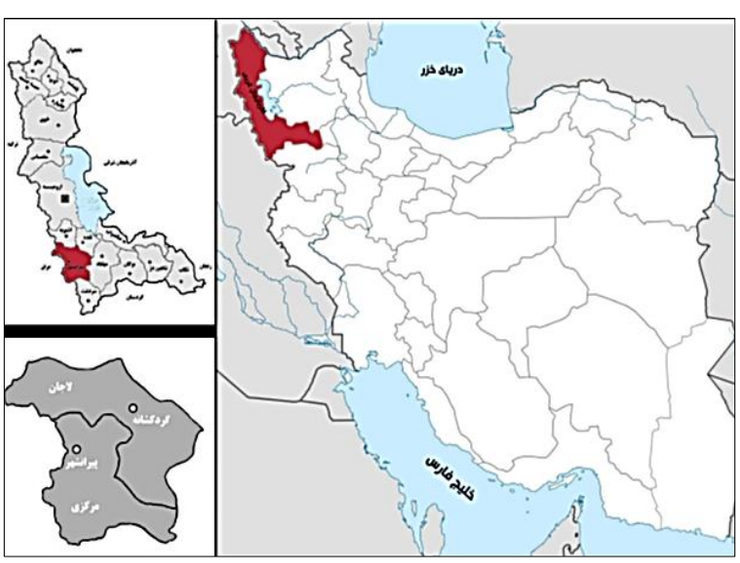
[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]
[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]

نسبت‌های ایزوتوپی نمونه‌های سنگ که توسط زمین شناسان انجام‌گرفته است [18]، تاکنون هیچ‌گونه نتایج منتشرشده‌ای در استفاده از این روش برای بررسی مهاجرت‌های باستانی ایران موجود نیست.

در این مقاله، به بررسی و مطالعهٔ بقایای استخوانی و دندانی یافت شده در محوطهٔ تپه سیلوه پیرانشهر پرداخته می‌شود که در منطقه شمال غرب ایران واقع‌شده و یکی از بسترهای مهم تحولات و رشد و گسترش جوامع انسانی و فرهنگی بوده‌است. حفاری این محوطه در ۲۵ اسفندماه سال ۱۳۹۵ آغاز شد و تا ۱ تیرماه سال ۱۳۹۶ ادامه یافت. در طی چهار ماه عملیات حفاری در این محوطه، هفت ترانشه کاوش در این سایت ایجاد شد و آثار ارزشمندی از دوران متفاوت از این محوطه، به دست آمد. نمونه‌های موردبررسی در این پژوهش از اسکلت‌هایی است که از ترانشه اول این محوطه به‌دست‌آمده است. در این پژوهش ده نمونه از پنج اسکلت با روش آنالیز ایزوتوپ پایدار استرانسیوم، موردمطالعه قرارگرفت و بومی یا مهاجر بودن نمونه اسکلت‌ها بررسی شد.

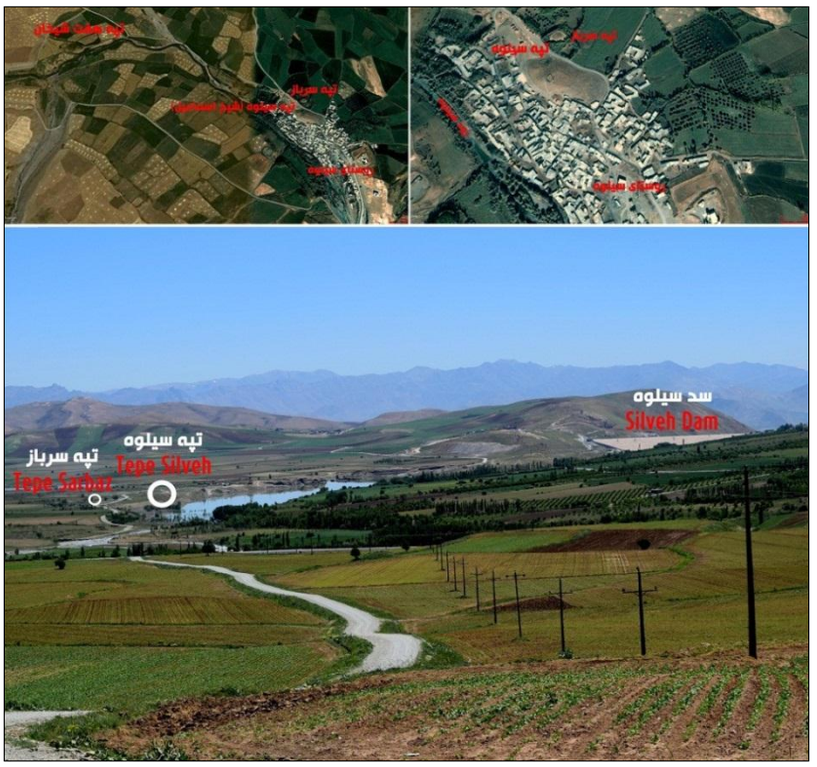
۲. معرفی تپه سیلوه پیرانشهر

محوطهٔ باستانی تپه سیلوه پیرانشهر در مختصات جغرافیایی E: 45°05′937″ - N: 36°48′099″ (UTM:0508825-4072870) در جوار روستای سیلوه با ارتفاع ۱۵۶۷ متر از سطح آب‌های آزاد قرارگرفته است (شکل ۱). تپه سیلوه یا شیخ اسماعیل در میانهٔ یک دشت میان کوهی و در حاشیهٔ شمالی روستای سیلوه که در حال حاضر تخریب‌شده، قرارگرفته است. دلیل تخریب روستا، قرار گرفتن در حوضهٔ آبگیر سد سیلوه بوده‌است. این تپه از جنوب و غرب به بستر رودخانه سیلوه، از شمال به راه خاکی روستای سیلوه به پیرکانی و از شرق به منازل تخریب‌شده روستای سیلوه منتهی می‌شود. ازنظر وضعیت توپوگرافی تپه به شکل یک برجستگی بیضی‌شکل است که نسبت به کف رودخانه، نزدیک به هجده متر اختلاف ارتفاع دارد. ازنظر وضعیت زیست‌محیطی نیز این تپه در مرکز یک دشت میان‌کوهی و در حاشیهٔ رودخانه سیلوه قرارگرفته است. تپه از تمامی جهات، شیب نسبتاً تندی دارد و شیب دامنهٔ جنوبی بیشتر از دیگر قسمت‌ها است. در شرق و غرب برجستگی اصلی، دو سطح تقریباً مسطح تراس مانند را به وجود آورده‌است (شکل ۲). تا قبل از سال ۱۳۸۱ هیچ فعالیت باستان‌شناختی در این محوطه صورت نگرفته‌است و تنها در سال ۱۳۸۱ توسط خرازی و همکاران، این مکان، مورد شناسایی و بررسی قرار می گیرد و فعالیت‌های انجام شده در آن زمان در طی



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهرستان پیرانشهر و سد سیلوه و محوطه تپه سیلوه در شمال غرب ایران
Fig. 1: Geographical location of Tepe Silveh and Piranshahr, North-Western Iran

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]
[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]



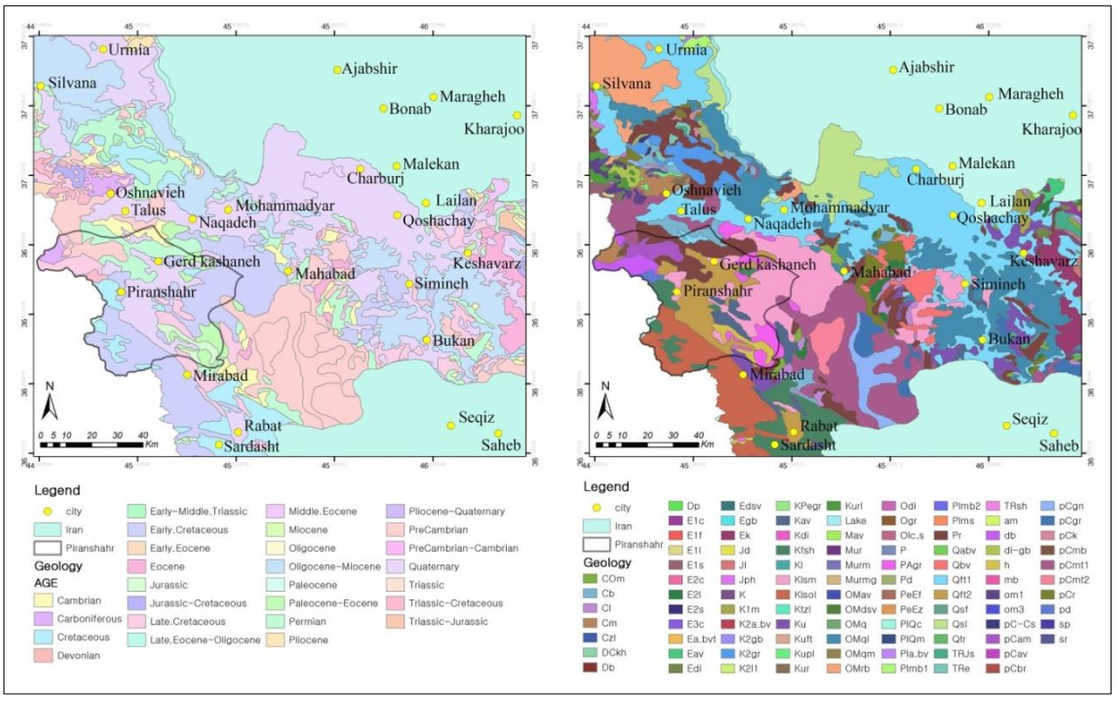
شکل ۲: تصاویری از موقعیت قرارگیری سد سیلوه و محوطه‌های تپه سیلوه، تپه سرباز و هفت شیخان
Fig. 2: Photos of the Silveh dam, Tepe Sarbaz and Haft Shikhan locations

نزدیک به چهار ماه، شروع اولین فعالیت‌های علمی کاوش در این محوطه بوده‌است.

به‌طورکلی شهرستان پیرانشهر در زون سنندج – سیرجان و خوی– مهاباد واقع‌شده و بخش‌هایی از زون افیولیت[۳] شمال باختری زاگرس و زون زاگرس رو رانده را شامل می‌شود. این شهرستان از پرتکاپوترین واحدهای زمین ساختی ایران است که سبب فعالیت دگرگونی بسیار فعال و گسترش سنگ‌های دگرگونی بیش‌تری در این زون شده است. واحدهای اصلی زمین‌شناسی این شهرستان در محدوده دشت‌ها عمدتاً عبارت هستند از: ذخایر تراسی[۴] و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع، مخلوط مارن، شیل، آهک ماسه‌ای و دولومیت ماسه‌ای. در سایر مناطق شهرستان، واحدهای سنگ‌بستر عبارت هستند از: سنگ‌های آهک توده‌ای تا متوسط لایه، سنگ آمفیبولیت، سنگ‌های آمفیبولیت شیست با درجه دگرگونی کم تا متوسط، تناوبی از دولومیت، سنگ‌آهک و شیل، سنگ‌های آهک آربیتولین‌دار توده‌ای تا ضخیم لایه خاکستری، شیل‌های آرژیلی خاکستری تیره، سنگ‌های پریدوتیت شامل هارزبورژیت، دونیت، لرزولیتو وبستریت، سنگ‌های دیاباز، سنگ‌های دولومیت نازک تا ضخیم لایه، سنگ‌آهک نرم فسیل‌دار، سنگ‌های دگرگونی مجاورتی شامل: هورن فلس دومیکادار و سنگ‌های تفکیک نشده کرتاسه بالایی (شکل ۳).

اولین فصل کاوش‌های باستان‌شناسی تپه سیلوه از تاریخ ۲۵ اسفندماه سال ۱۳۹۵ آغاز و به مدت چهار ماه تا ۱۰ تیرماه سال ۱۳۹۶ به انجام رسید. در طی کاوش در این محوطه هفت گمانه یا تراشه کاوش ایجاد شد که آثاری را از دورهٔ مس و سنگ قدیم و دالما (۵۰۰۰ ق.م)، (مفرغ قدیم از فرهنگ حسن علی یا نینوای V)، (۳۰۴۰/۳۱۰۰ – ۳۵۰۰ ق.م)، عصر آهن، دورهٔ اشکانی و پس‌ازآن دورهٔ اسلامی، در برمی‌گرفت. ترانشه I به جهت ارتفاع زیاد محوطه (نزدیک به ۱۵ m) به‌صورت پله‌ای در نظر گرفته شد. بخشی ازآنچه در جریان حفاری این ترانشه به‌دست‌آمده شامل پنج تدفین است که اسکلت‌های مربوطه به جهت بررسی پدیدهٔ مهاجرت در این پژوهش موردبررسی قرار گرفتند.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]
[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]



شکل ۳: ساختار زمین‌شناسی شهرستان پیرانشهر
Fig. 3: Geological map of Piranshahr city and the adjacent regions

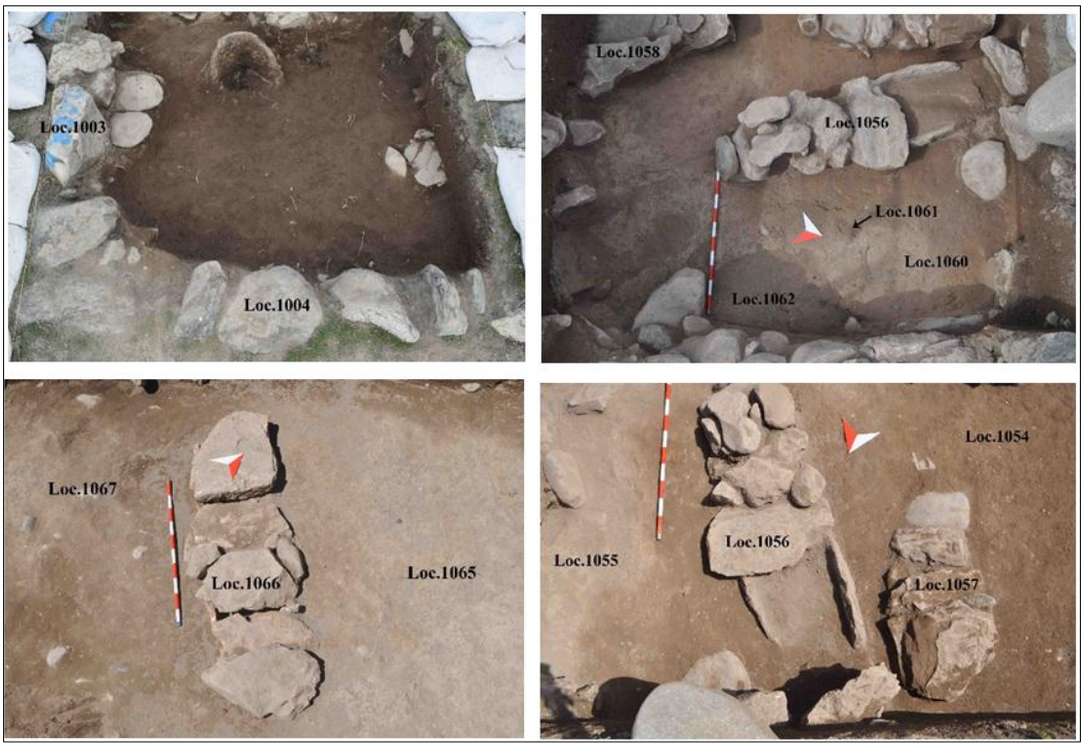
۳- معرفی نمونه‌های موردمطالعه

نمونه‌های موردمطالعه در این پژوهش، پس از حفاری و اکتشاف در سایت پیرانشهر به مجموعهٔ پژوهشی دانشگاه هنر اسلامی تبریز انتقال داده شدند. پنج اسکلت به‌دست‌آمده از ترانشه اول که در این پژوهش موردبررسی قرار گرفتند، تقریباً اسکلت‌های سالمی بودند که این امر امکان نمونه‌برداری صحیح را فراهم کرد، زیرا برای به دست آوردن نتایج صحیح، توجه به این امر که بررسی آنالیزی و عنصری کدام استخوان از اسکلت با کدام دندان از همان اسکلت انجام گیرد، بسیار حائز اهمیت است (شکل ۴).

با توجه به اکثر پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه، بهترین نمونهٔ استخوانی برای آزمایش ایزوتوپ استرانسیوم، استخوان دنده است. همان‌گونه که در مطالب پیشین نیز ذکر شد استخوان، بافتی زنده است و آخرین تغییراتی که در زندگی و تغذیه فرد رخ‌داده باشد از طریق عناصر باقی‌مانده در نسوج استخوان، قابل‌شناسایی است. بر اساس آزمایش‌ها، استخوان دنده در بین استخوان‌های اسکلت انسان بیشتر درگیر فعالیت و جایگزینی است و تأثیر تغییرات آخرین سال‌های حیات فرد در آن به‌خوبی قابل‌مشاهده است؛ بنابراین نمونه‌های استخوانی همگی از استخوان‌های دنده اسکلت‌ها انتخاب شدند؛ اما نمونه‌های دندان با توجه به این امر که ساختار زنده و قابل‌تغییری ندارند از اولین دندان مولار و یا آسیاب اول انتخاب شدند (شکل ۵). ساختار اولین دندان مولار در طی دوران جنینی و سال‌های اول کودکی شکل می‌گیرد و حاوی اطلاعاتی از این دوران است [19].

در ابتدا، پاکسازی به‌صورت فیزیکی با استفاده از تیغ بیستوری و یک برس نرم انجام شد و در ادامه، پس از اندازه‌گیری و وزن کردن، نمونه‌ها با آب مقطر شستشو داده شدند (با توجه به این امر که برای حفاظت اسکلت‌ها پس از اکتشاف و انتقال به مرکز پژوهشی از پارالوئید استفاده‌نشده بود، پاک‌سازی با استون نیاز نبود). پس از شستشوی نمونه‌ها، آن‌ها برای مدت ۲۴ ساعت و با دمای ۷۰°C در دستگاه Oven U631 Fater Electronic خشک شدند. پس از خشک شدن نمونه‌ها دوباره توزین شدند و درون زیپ کیف‌های مخصوص قرار گرفتند [20]. اطلاعات ثبتی و مشخصات فیزیکی نمونه‌های انتخاب‌شده برای انجام این آزمایش در جدول ۱ آورده‌شده است.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]
[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]

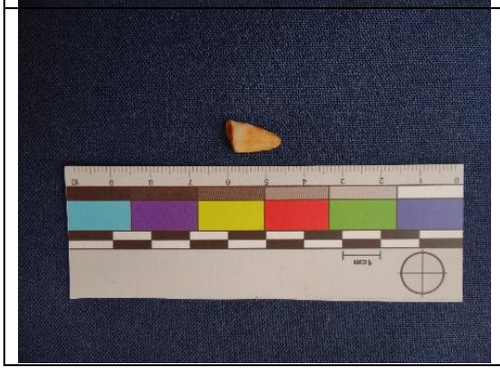


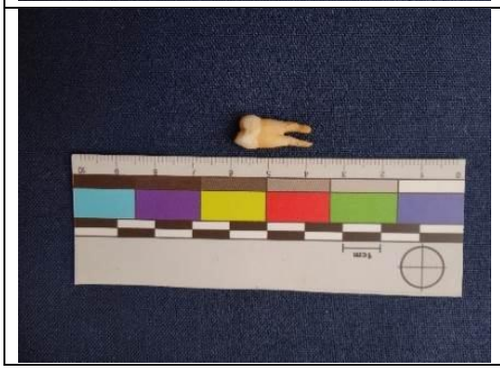
شکل ۴: گور شماره ۲۳ (بالا، راست)؛ گور شماره ۳۳ (بالا، چپ)؛ گور شماره ۴۱ (پایین، راست)؛ و گور شماره ۲۷ (پایین، چپ)
Fig. 4: (up-right) Grave no. 23; (up-left) Grave no. 33; (down-right) Grave no. 41; (down-left) Grave no. 27

شکل ۵: اسکلت اول (بالا)، اسکلت دوم (پایین)
Fig. 5: (up) first skeleton; (down) second skeleton

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]
[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]

جدول ۱: مشخصات نمونه‌های موردمطالعه از اسکلت‌های محوطه تپه سیلوه
Table 1: Characteristics of the samples from Tepe Silveh skeletons

تصویر نمونه Image of the Sample	اسکلت اول Skeleton no. 1		نوع نمونه Sample type
	33	Grave no.	استخوان Bone
	I	Workshop no.	
	I	Trench	
	Male	Sex	
	1.18 × 0.81	Dimension (cm)	
	0.435	Weight (g)	
	Sample from upper jaw	Other info.	
	I	Workshop no.	دندان Tooth
	I	Trench	
	1.46 × 7.78	Dimension (cm)	
	1.666	Weight (g)	
	–	Other info.	

تصویر نمونه Image of the Sample	اسکلت دوم Skeleton no. 2		نوع نمونه Sample type
	41	Grave no.	استخوان Bone
	I	Workshop no.	
	I	Trench	
	Female	Sex	
	0.9 × 2	Dimension (cm)	
	0.818	Weight (g)	
	Sample from upper jaw	Other info.	
	I	Workshop no.	دندان Tooth
	I	Trench	
	1.39 × 9.51	Dimension (cm)	
	3.457	Weight (g)	
	–––	Other info.	

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]
[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]

ادامه جدول ۱
Table 1: Continued

تصویر نمونه Image of the Sample	اسکلت سوم Skeleton no. 3		نوع نمونه Sample type
	8	Grave no.	استخوان Bone
	I	Workshop no.	
	I	Trench	
	Male	Sex	
	1.39 × 0.92	Dimension (cm)	
	0.528	Weight (g)	
	Teenager	Other info.	
	I	Workshop no.	دندان Tooth
	I	Trench	
	8.66 × 0.94	Dimension (cm)	
	1.694	Weight (g)	
	----	Other info.	

تصویر نمونه Image of the Sample	اسکلت چهارم Skeleton no. 4		نوع نمونه Sample type
	27	Grave no.	استخوان Bone
	I	Workshop no.	
	I	Trench	
	Female	Sex	
	2.07 × 0.72	Dimension (cm)	
	0.641	Weight (g)	
	___	Other info.	
	I	Workshop no.	دندان Tooth
	I	Trench	
	8.41 × 1.92	Dimension (cm)	
	2.328	Weight (g)	
	___	Other info.	

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]
[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]

ادامه جدول ۱
Table 1: Continued

نوع نمونه Sample type	اسکلت پنجم Skeleton no. 5		تصویر نمونه Image of the Sample
استخوان Bone	Grave no.	23	
	Workshop no.	I	
	Trench	I	
	Sex	Male	
	Dimension (cm)	2.15 × 0.7	
	Weight (g)	0.722	
	Other info.	---	
دندان Tooth	Workshop no.	I	
	Trench	I	
	Dimension (cm)	11.6 × 1.7	
	Weight (g)	4.830	
	Other info.	---	

٤. دستگاه‌های مورداستفاده و روش انجام آزمایش‌ها

دندان دائمی آسیاب اول هم به لحاظ استحکام و هم به لحاظ این‌که در دوران جنینی شروع به شکل‌گیری می‌کند برای آزمایش مناسب‌تر است. برای آماده کردن نمونه، لازم است کاسپ[5] دندان با استفاده از دریل دندانپزشکی تراشیده شود تا رسوبات سطحی و جرم دندان و لایهٔ بیرونی مینا که ممکن است حاوی آلودگی ناشی از دیاژنز باشد، حذف شود.

نمونه‌های مینا و استخوان با استفاده از دریل دندانپزشکی Crown ساخت کشور چین و با یک‌قلم (سر مته) به قطر ۰/۵ برداشته شدند (تصویر ۵–۵). از هر نمونه، به میزان حدود ۵۰ تا ۶۰ میلی‌گرم، نمونه برداشته شد که نمونه‌ها با ترازوی دیجیتال METTLR TOLEDO (سوئیس) توزین شدند که نیمی از نمونه‌ها برای آنالیز ایزوتوپی و نیم دیگر آن برای آنالیز عناصر کم‌مقدار استفاده می‌شود. پس از نمونه‌برداری از هر نمونه، قلم جداشد و در یک بشر حاوی ۲۰ میلی‌لیتر اتانول خالص گذاشته و به مدت ۲ دقیقه در حمام اولتراسونیک قرار داده شد. این کار به جهت پیش‌گیری از تداخل نمونه‌ها انجام شد.

نمونه‌ها در ۵ میلی‌لیتر آب Milli-Q[6] غوطه‌ور و به مدت ۲ دقیقه در حمام اولتراسونیک قرار داده شدند. آب و آلودگی‌هایی که در طول آماده‌سازی از استخوان و مینا جداشده بود، دور ریخته شد. فرایند پاک‌سازی اولتراسونیک سه مرتبه با آب Milli-Q تازه تکرار شد تا هرگونه آلودگی از نمونه‌ها جدا شود. هرکدام از نمونه‌ها در ویال ۱۵ml Savillex حاوی ۳ml HNO_3 سه نرمال ریخته شد و به مدت ۴ دقیقه گذاشته می‌شود تا استرانسیوم ثانویه ناشی از لایه‌های بیرونی شسته و زدوده شود. بلافاصله بعد از ۴ دقیقه به آن آب Milli-Q اضافه شد تا اسید خنثی شود و آب با پیپت برداشته شد. نمونه‌ها سه بار در آب Milli-Q شسته و خشک شدند. پس از خشک شدن، مجدداً در HNO_3 سه نرمال حل شدند.

برای اندازه‌گیری دقیق نسبت ایزوتوپ‌های استرانسیوم با دستگاه ICP-MS لازم است که استرانسیوم،

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]
[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]

خالص‌سازی و یا جداسازی شود. دلیل این کار این است که بین ^{87}Sr و ^{87}Rb تداخل ایزوباری وجود دارد. برای غلبه بر این مسئله از ستون کروماتوگرافی یونی و رزین استرانسیوم استفاده می‌شود. رزین استرانسیوم جاذبهٔ بسیار زیادی نسبت به استرانسیوم دارد که درنتیجه امکان جداسازی این عنصر را از عناصر مشابهی مانند روبیدیم، کلسیم، باریم و دیگر عناصر، فراهم می‌آورد [21]. مقدار نمونه بر روی ستون کروماتوگرافی تبادل یونی برای جداسازی استرانسیوم به وزن نمونه‌های هضم شده، بستگی دارد. کلسیم خواص شیمیایی مشابهی با استرانسیوم دارد و مقادیر آن در مینا خیلی بیشتر است. تقریباً ۹۷٪ ماتریس مینا غیر آلی است و ۴۰٪ این ماتریس کلسیم است که به‌صورت بلورهای فسفات کلسیم (هیدرو کسی آپاتیت) است. بنابراین ۴۰٪ مینا کلسیم در نظر گرفته می‌شود.

برای استخراج استرانسیوم نمونه مینا و استخوان از ستون میکرو کروماتوگرافی تبادل یونی انتقال داده شد. برای ساختن این ستون از یک سرنگ استفاده شد که یک فیلتر پلی‌اتیلن اتر در قسمت پایین آن قرار داده شد. رزین استرانسیوم مورداستفاده در این پژوهش، SR-B100-S ساخت کمپانی SIGMA-ALDRICH و محصول کشور آمریکا است.

ساختار این ماده 18-Crown-4'4'(5")-di(tert-butylcyclohexano6 و با $Sr(NO_3)_2(DtBuCH_{18}C_6)$ و مخصوص جداسازی استرانسیوم است. بر روی فیلتر پلی‌اتیلن اتر یک‌لایهٔ نازک رزین استرانسیوم ایجاد شد. با توجه به اینکه رزین استرانسیوم در یک غلظت معین اسیدی، قرابت خیلی زیادی نسبت به استرانسیوم دارد، بنابراین یون‌های استرانسیوم را نگاه می‌دارد و هنگامی‌که غلظت اسید کاهش پیدا کند، آنگاه استرانسیوم از رزین جدا می‌شود [20].

لایهٔ نازکی از رزین بر روی ستون (سرنگ) حاوی آب Milli-Q کشیده شد و قبل از آنکه نمونه به داخل ستون ریخته شود با HNO_3 سه نرمال آماده شد. آماده کردن ستون با اسید نیتریک به این دلیل است که اطمینان حاصل شود رزین و پالایه سبب دفع زودرس استرانسیوم نمی‌شوند و رزین، استرانسیوم را نگاه می‌دارد. نمونهٔ حل‌شده سپس به داخل ستون ریخته و گذاشته شد تا از فیلتر رد شود و به داخل لولهٔ زیر آن بریزد.

عناصر ماتریکس در مینا (عمدتاً کلسیم و فسفات) و استخوان با اضافه کردن ۲ میلی‌لیتر دیگر HNO_3 سه نرمال از ستون، شسته شدند. سپس با اضافه کردن ۴ میلی‌لیتر $HNO_3$۰/۰۵ نرمال به داخل ستون، استرانسیوم از فیلتر و رزین جداشد و مایعِ به‌دست آمده، به داخل یک بشر تمیز دیگر چکیده شد. هنگامی‌که نمونه استرانسیوم آماده شد ستون با HNO_3 ۲ میلی‌لیتر سه نرمال مجدداً آماده شد. رزینی که یک‌بار برای آماده‌سازی نمونه استفاده‌شده بود، دور ریخته شد. مایع ۴ میلی‌لیتری حاوی استرانسیوم بر روی هات پلیت گذاشته و دوباره تبخیر شد و مجدداً با HNO_3 ۱ میلی‌لیتر سه نرمال حل شد و برای بار دوم نیز با HNO_3 ۴ میلی‌لیتر ۰/۰۵ نرمال جداسازی شد.

آنالیز ایزوتوپی نمونه‌های دندان و استخوان با استفاده از دستگاه ICP-MS مدل Perkin-Elmer Elan DRC-e آمریکا و در مؤسسهٔ پژوهشی آنالیزی کیمیازی انجام شد. پیش از تزریق نمونه‌ها به دستگاه ICP-MS دستگاه، کالیبره و ده بار با نمونهٔ استاندارد استرانسیوم (SRM 987) اندازه‌گیری شد که در تمامی موارد نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ اندازه‌گیری شده با مقدار استاندارد ارائه‌شده از طرف شرکت سازنده، مطابقت داشت.

۵. نتایج و بحث

برای تشخیص اسکلت‌های بومی از غیربومی، پیش از هر چیز لازم است که میانگین نسبت ایزوتوپی استرانسیوم محوطه به دست آورده شود. برای این منظور، روش‌های مختلفی شامل اندازه‌گیری نسبت ایزوتوپی سنگ‌بستر منطقه، نمونه خاک، نمونه‌های گیاهی و برگ درختان منطقه، آب‌های زیرزمینی، جانداران کوچک و بزرگ ساکن منطقه و نمونه‌های استخوان اسکلت‌های محوطه موردنظر، پیشنهادشده است [8, 16]. آنالیز این نمونه‌ها نسبت‌های متفاوتی به دست داده است، ازاین‌رو پرایس و همکارانش، اصطلاح میانگین زیستی را پیشنهاد داده‌اند. زیرا استخوان و دندان موجودات زنده قابلیت

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]
[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]

میانگین‌گیری قابل‌توجهی دارند [8].

با توجه به مطالب فوق و نیز مدنظر قرار دادن آلودگی‌هایی که ممکن است خاک و سنگ‌بستر سایت موردمطالعه را تحت تأثیر قرار داده باشند، بهترین روش برای به دست آوردن میانگین نسبت ایزوتوپی محوطه، استفاده از میانگین نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ استخوان‌های همان محوطه است. جدول ۲ مقادیر نسبت ایزوتوپی استرانسیوم نمونه‌های استخوان و دندان را که به‌وسیلهٔ دستگاه ICP-MS اندازه‌گیری شده‌اند، نشان می‌دهد.

جدول ۲: مقادیر $^{87}Sr/^{86}Sr$ در استخوان و دندان

Table 2: The $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios of the bone and tooth samples

Sample	$^{87}Sr/^{86}Sr$
Tooth no. 1	0.820
Tooth no. 2	0.795
Tooth no. 3	0.841
Tooth no. 4	0.823
Tooth no. 5	0.820
Bone no. 1	0.811
Bone no. 2	0.802
Bone no. 3	0.814
Bone no. 4	0.810
Bone no. 5	0.801

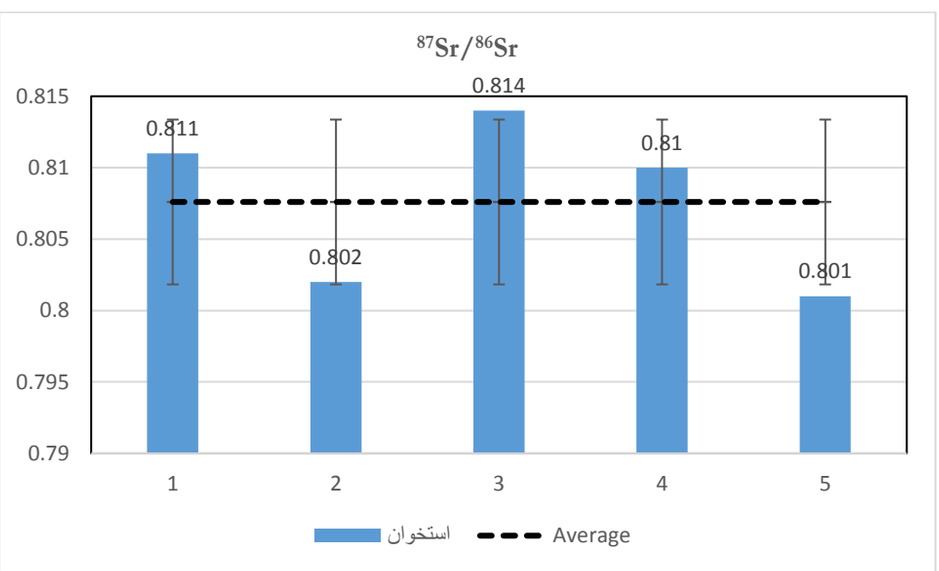
جدول ۳: میانگین مقادیر $^{87}Sr/^{86}Sr$ در استخوان و مقدار انحراف معیار اندازه‌گیری

Table 3: The mean and mean±2SD of strontium ratios of the bone samples

Mean ratio	0.8076
SD	0.0057
Mean+2SD	0.8190
Mean-2SD	0.7692

میانگین نسبت‌های اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های استخوان و میزان انحراف معیار اندازه‌گیری نیز در جدول ۳ آمده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، میانگین نسبت ایزوتوپی نمونه‌های استخوان ۰/۸۰۷۶ و انحراف معیار آن ۰/۰۰۵۷ است.

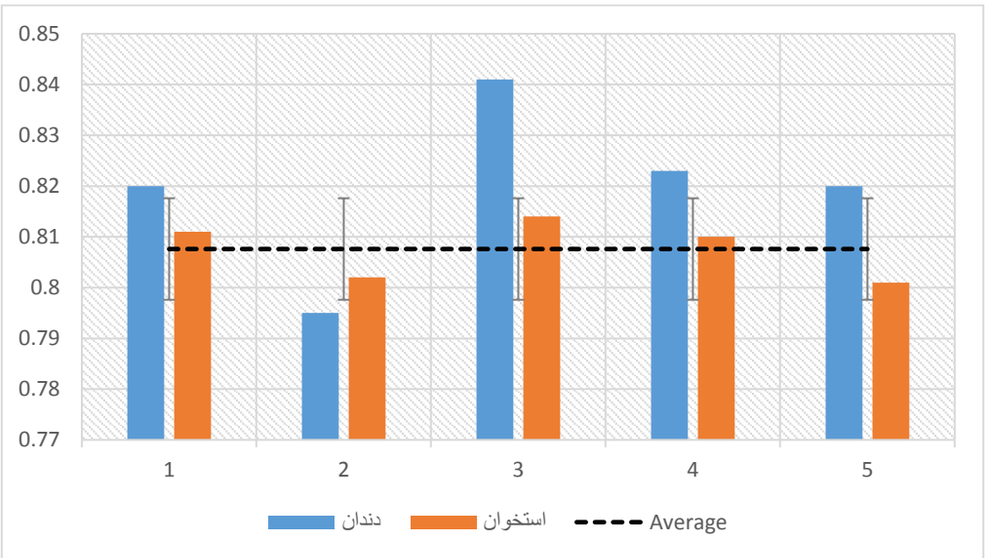
برای تشخیص نمونه‌های بومی از مهاجر طبق قرارداد محدوده‌ای تعریف‌شده است که طبق این تعریف میانگین نسبت زیست‌شناختی استرانسیوم ۲± انحراف معیار[۷] را شامل می‌شود [8]. بر این اساس، نسبت ۰/۷۹۶۲ تا ۰/۸۱۹۰ محدوده اسکلت‌های بومی را شامل می‌شود، به این معنا که نمونه‌های دندانی که در این محدوده قرار بگیرند، مربوط به اسکلت‌های بومی هستند و درصورتی‌که خارج از محدود قرار بگیرند اسکلت مربوطه غیربومی محسوب می‌شوند. این مقادیر در شکل ۶ نشان داده‌شده است. محدودهٔ مذکور، ازلحاظ عددی



شکل ۶: نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ در نمونه‌های استخوان به همراه میانگین (خط منقطع) و ۲± انحراف معیار (خطوط توپُر)

Fig. 6: Strontium ratio of the bones along with mean value (dashed black line) and the mean±2SD bars

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]
[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]



شکل ۷: نسبت مقادیر $^{87}Sr/^{86}Sr$ در استخوان و دندان، به همراه میانگین و ۲± انحراف معیار مقادیر استخوان
Fig. 7: Strontium ratio of the bones (orange) and tooth (blue) along with the mean value (Dashed black line)

کوچک به نظر می‌رسد اما ازلحاظ زمین‌شناسی و نیز ازنظر فنی و دستگاهی برای نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ بازه وسیعی را شامل می‌شود [22].

در جدول ۲ مقادیر $^{87}Sr/^{86}Sr$ به‌دست‌آمده از نمونه‌های دندان نشان داده‌شده است. این مقادیر در شکل ۷ به‌صورت ستونی به نمایش گذاشته‌شده و با محدودهٔ مربوط به نمونه‌های محلی مقایسه شده است.

چنانچه در شکل ۷ دیده می‌شود، دندان اسکلت سوم با نسبت ایزوتوپی استرانسیوم ۰/۸۴۱ مقداری بیش از بازه اطمینان را نشان می‌دهد. همچنین نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$در نمونهٔ دندانی اسکلت اول، چهارم و پنجم نیز اندکی بالاتر از بازهٔ اطمینان است. این نسبت در مورد نمونهٔ دندان اسکلت دوم نیز مقدار ۰/۷۹۵ است که خارج از محدودهٔ نمونه‌های محلی محسوب می‌شود. با توجه به این نتایج می‌توان گفت که همهٔ اسکلت‌های موردمطالعه در این پژوهش، مربوط به افراد مهاجر هستند، زیرا میزان نسبت ایزوتوپی استرانسیوم در دندان آن‌ها خارج از بازهٔ تعریف‌شده برای نمونه‌های محلی است. البته تنها با در دست داشتن یک نمونه با نسبت ایزوتوپ استرانسیوم متفاوت نمی‌توان به چنین نتیجهٔ قطعی رسید و آن را تعمیم داد، اما پی بردن به این مسئله و سؤالاتی از این قبیل تنها با مطالعات بر روی تعداد نمونه‌های بیشتر و البته در دست داشتن نسبت استرانسیوم مناطق اطراف و محوطه‌های نزدیک هم‌دورهٔ این محوطه، امکان‌پذیر است. به نظر می‌رسد که با توجه به میزان نسبت ایزوتوپی نمونه دندان اسکلت‌های ۱، ۴ و ۵ این افراد مهاجر دوران کودکی خود را در یک منطقه سپری کرده‌اند که به‌طور مشخص از اسکلت‌های شماره ۲ و ۳ متفاوت‌اند. اسکلت‌های شماره ۲ و ۳ نیز دوران طفولیت خود را در مناطق جداگانه‌ای گذرانده‌اند.

از نمونه کارهای مشابه در این زمینه، مطالعه باستان‌سنجی بقایای اسکلت‌های یافت‌شده در محوطه مسجد کبود تبریز است که متعلق به عصر آهن است. این پژوهش نیز با استفاده از آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار انجام‌گرفته است. در این پژوهش، تعداد ۱۰ اسکلت موردبررسی قرار گرفتند و آزمایش نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ برای نمونه‌ها انجام گرفت. همچنین به جهت تأیید نتایج آنالیز ایزوتوپی، آنالیز عناصر کم‌مقدار نیز انجام‌شده است. میانگین نسبت زیستی به‌دست‌آمده از استخوان اسکلت‌ها ۷۰ ۰/۵۶ بوده است. درحالی‌که میانگین نسبت زیستی اسکلت‌های تپه سیلوه ۰/۸۰۷۶ است. شاید بتوان این دو محوطه را ازلحاظ جغرافیایی، نزدیک به یکدیگر دانست اما این نکته پیش‌ازاین نیز ذکر شد که نسبت استرانسیوم هر منطقه حتی با محوطه‌های نزدیک نیز می‌تواند

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]
[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]

متفاوت باشد و تحت تأثیر آب‌های زیرزمینی و نوع سنگ‌بستر نسبت متفاوتی را نشان دهد. نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ دندان در محوطه مسجد کبود تبریز بین ۰/۷۰۴۸ تا ۰/۷۰۷۳ متغیر بوده است. درحالی‌که نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ دندان در اسکلت‌های تپه سیلوه بین ۰/۷۹۵ تا ۰/۸۴۱ است. البته این نکته قابل‌ذکر است که نمونه‌های موردمطالعه از محوطه مسجد کبود تبریز متعلق به عصر آهن بوده و قدمتی بسیار بیشتر از نمونه‌های مطالعاتی تپه سیلوه داشته‌اند.

٦. نتیجه‌گیری

توجه به نحوه و زمان شکل‌گیری ساختار استخوان و دندان و حضور این عنصر در ساختار این دو بافت و همچنین مقاوم بودن آن‌ها در برابر فرایندهای دیاژنز و تخریب، این امکان را فراهم می‌آورد تا آزمون اندازه‌گیری نسبت‌های ایزوتوپی استرانسیوم به‌عنوان یک شیوهٔ مناسب جهت بررسی‌های مهاجرت در سراچه‌های باستان‌شناسی معرفی‌شود. درنتیجه می‌توان گفت بررسی آنالیز ایزوتوپی استرانسیوم در بررسی پدیده مهاجرت یک روش قابل‌اعتماد است.

با توجه به مطالعاتی که در طی این پژوهش انجام شد، یکی از بهترین روش‌ها به جهت بررسی پدیده مهاجرت و در بعضی موارد منشأ یابی، آنالیز ایزوتوپ‌های استرانسیوم است. با مقایسهٔ نسبت ایزوتوپ‌های استرانسیوم می‌توان به بومی یا مهاجر بودن نمونه‌ها پی برد. نمونه‌های موردمطالعه در این پژوهش، نسبت‌های متفاوتی در آنالیز ایزوتوپ‌های استرانسیوم داشتند، ازاین‌رو می‌توان همهٔ نمونه‌ها را غیربومی در نظر گرفت. البته این نظر فقط در مورد پنج نمونهٔ موردمطالعه بیان می‌شود و برای اظهارنظر در مورد سایت باستانی پیرانشهر نیاز به مطالعه و آزمایش نمونه‌های بیشتری است.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی شماره ۷۸۸۷ با عنوان «مطالعه پدیدهٔ مهاجرت تدفین‌های باستانی یافت شده از کاوش محوطه تپه سیلوه (شیخ اسماعیل) پیرانشهر» است که تحت حمایت مالی دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام‌شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از مساعدت و کمک‌های همه‌جانبهٔ دانشگاه، صمیمانه قدردانی کنند.

پی‌نوشت‌ها

۱. لازم به ذکر است که در اینجا منظور از آلودگی‌های معاصر صرفاً آلودگی‌های ناشی از سوخت‌های فسیلی و امثال آن نیست بلکه دسترسی به غذاهای غیربومی، آب‌های آشامیدنی که از محلی دور از محل زندگی تهیه‌شده باشد، تغییرات بارز آب و هوایی و هرگونه اختلال در نسبت طبیعی استرانسیوم می‌تواند برای تحقیقات ایزوتوپی استرانسیوم، آلودگی محسوب شود.

2. Confidence limit

۳. سنگ‌هایی که از گروه سرپانتین تشکیل‌شده‌اند.

۴. دره‌ای با رسوبات آبرفتی

۵. برجستگی‌های سطح جونده دندان

۶. آب مقطر دو بار تقطیر

7. ±2 S.D.

References

[1] Mays S. The archaeology of human bones. Routledge; 2010 Apr 21.

[2] Brown TA, Brown K. Biomolecular archaeology: an introduction. John Wiley & Sons; 2011 Feb 8.

[3] Ericson JE. Strontium isotope characterization in the study of prehistoric human ecology. Journal of human evolution. 1985 Jul 1;14(5):503-14.

[4] Dasch EJ. Strontium isotopes in weathering profiles, deep-sea sediments, and sedimentary rocks. Geochimica et Cosmochimica Acta. 1969 Dec 1;33(12):1521-52.

[5] Hurst RW, Davis TE. Strontium isotopes as tracers of airborne fly ash from coal-fired power plants. Environmental Geology. 1981 Nov 1;3(6):363-7.

[6] Sealy JC, van der Merwe NJ, Sillen A, Kruger FJ, Krueger HW. 87Sr86Sr as a dietary indicator in modern and

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]
[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]

archaeological bone. Journal of Archaeological Science. 1991 May 1;18(3):399-416.
[7] Sillen A, Kavanagh M. Strontium and paleodietary research: a review. American Journal of Physical Anthropology. 1982;25(S3):67-90.
[8] Price TD, Burton JH, Bentley RA. The characterization of biologically available strontium isotope ratios for the study of prehistoric migration. Archaeometry. 2002 Feb;44(1):117-35.
[9] Harvig L, Frei KM, Price TD, Lynnerup N. Strontium isotope signals in cremated petrous portions as indicator for childhood origin. PloS one. 2014 Jul 10;9(7):e101603.
[10] Killgrove K. Biohistory of the Roman Republic: the potential of isotope analysis of human skeletal remains. Post-Classical Archaeologies. 2013;3(1):41-62.
[11] Shaw BJ, Summerhayes GR, Buckley HR, Baker JA. The use of strontium isotopes as an indicator of migration in human and pig Lapita populations in the Bismarck Archipelago, Papua New Guinea. Journal of Archaeological Science. 2009 Apr 1;36(4):1079-91.
[12] Bentley RA, Price TD, Stephan E. Determining the 'local'87Sr/86Sr range for archaeological skeletons: a case study from Neolithic Europe. Journal of Archaeological Science. 2004 Apr 1;31(4):365-75.
[13] Knudson KJ, Price TD, Buikstra JE, Blom DE. The use of strontium isotope analysis to investigate Tiwanaku migration and mortuary ritual in Bolivia and Peru. Archaeometry. 2004 Feb;46(1):5-18.
[14] Schweissing MM, Grupe G. Stable strontium isotopes in human teeth and bone: a key to migration events of the late Roman period in Bavaria. Journal of archaeological science. 2003 Nov 1;30(11):1373-83.
[15] Eckardt H, editor. Roman Diasporas: Archaeological approaches to mobility and diversity in the Roman Empire. Journal of Roman Archaeology; 2010.
[16] Kusaka, k., Ando, A., Nakano, N., Yumoto, T., Ishimaru, E., Yoneda, M., Hyodo, F., Katayama, K. 2009. *A strontium isotope analysis on the relationship between ritual tooth ablation and migration among the Jomon people in Japan.* Journal of Archaeological Science. 36, 2289-2297.
[17] Bocherens H, Mashkour M, Billiou D. Palaeoenvironmental and archaeological implications of isotopic analyses (13C, 15N) from Neolithic to Present in Qazvin Plain (Iran). Environmental Archaeology. 2000 Jun 1;5(1):1-9.
[18] Kheirkhah M, Mirnejad H. Volcanism from an active continental collision zone: A case study on most recent lavas within Turkish-Iranian plateau. J. Tethys. 2014;2(2):81-92.
[19] Paytan, A., Slovak, N.M. 2011. *Application of Sr Isotopes in Archaeology*. In: Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Verlag: Springer Berlin Heidelberg.
[20] Kasiri MB, Karimi HZ. Study of skeletons of the Iron Age cemetery of Tabriz by strontium isotopes analysis. Journal of Archaeological Science: Reports. 2017 Dec 1;16:359-64.
[21] Poirier, Y. et al., 2003. *Isotope geochemistry in the oil & gas exploration context: progress towards a high vertical resolution screening tool*; Total SA. Fluids and Organic Geochemistry, Pau, France; Poster presented at: *Applied Isotope Geochemistry-5,* Heron Island, Australia, 26-30May, 2003.
[22] Price TD, Grupe G, Schröter P. Reconstruction of migration patterns in the Bell Beaker period by stable strontium isotope analysis. Applied Geochemistry. 1994 Jul 1;9(4):413-7.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2022-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.1.2.6]
[DOI: 10.29252/jra.6.1.17]