

## مطالعات آزمایشگاهی تعدادی از مهره‌های آبی و سبز به کار رفته در زیورآلات پیش از تاریخ موزه ملی ایران<sup>۱</sup>

رویا بهادری\*

استادیار پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری  
r.bahadori@richt.ir

داوود آقاعلی‌گل

کارشناس ارشد فیزیک پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده فیزیک و شتابگرها، آزمایشگاه واندوگراف

شناسه‌ی دیجیتال (DOI): 10.22084/nbsh.2018.14839.1654

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۷

(از ص ۴۵ تا ۶۲)

### چکیده

استفاده از مهره‌های رنگی در زیورآلات پیش از تاریخ بسیار متداول بوده و مطالعات بسیار زیادی بر روی آنالیز عنصری و شناسایی ساختار این مهره‌ها در جهان صورت گرفته است. با توجه به تعداد زیاد مهره‌های یافت شده در کاوش‌های باستان‌شناسی، به خصوص در گورستان‌های قبل از میلاد ایران، انجام این پژوهش‌ها اهمیت زیادی دارد. به منظور شناسایی مواد اولیه‌ی به کار رفته در مهره‌های پیش از تاریخ ایران، از هشت مهره‌ی آبی، آبی تیره و سبز به کار رفته در سه زیور به دست آمده از تپه حصار دامغان (هزاره‌ی سوم قبل از میلاد) و تپه نصفی گیلان (هزاره اول قبل از میلاد) که متعلق به موزه ملی ایران بودند، نمونه برداری شد. پرسش اصلی این پژوهش، شناسایی نوع مواد و ترکیبات به کار رفته در این مهره‌ها است. آیا از سنگ‌های نیمه قیمتی، مثل لاجورد و فیروزه در ساخت این مهره‌ها استفاده شده یا از مواد سنتزی، مثل آبی مصری و شیشه بهره برداری شده است. برای پاسخ به این پرسش‌ها، از روش‌های آنالیز دستگاهی مختلف، مثل پراش سنجی پرتو ایکس (XRD)، طیف سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه (FTIR)، میکروسکوپ نوری پلاریزان (PLM) و میکرو پیکسی (Micro-PIXE) استفاده شده است. نتایج FTIR و میکرو پیکسی نشان می‌دهد که مهره‌های به کار رفته در زیور متعلق به تپه حصار دامغان از جنس سنگ لاجورد است که سنگی نیمه قیمتی بوده و با توجه به بالا بودن عناصر منیزیم و کلسیم در آن، این نمونه دارای کانی دیوپسید ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ) قابل توجهی است. اما نتایج XRD هفت نمونه از مهره‌های به کار رفته در دو زیور تپه نصفی گیلان، نشان می‌دهد که این نمونه‌ها فاقد ساختمان بلوری هستند و جنس این مهره‌ها با توجه به آنالیز عنصری با روش میکرو پیکسی شیشه‌ی نوع سیلیکا، سودا و آهک است که به علت بالا بودن درصد پتاسیم و منیزیم، سودای استفاده شده در آن از خاکستر گیاهان به دست آمده است. علاوه بر این، مشخص شد که علت رنگی بودن مهره‌های شیشه‌ای به دلیل وجود ترکیبات مس و آهن با درصدهای متفاوت است. همچنین بررسی میکروسکوپی نشان داد که در هفت مهره‌ی شیشه‌ای به کار رفته در زیورهای تپه نصفی، چهار نمونه‌ی آبی مات بوده و سه نمونه سبز و آبی تیره‌ی شفاف هستند و نتایج آنالیز میکرو پیکسی نشان داد که شیشه‌های مات دارای مقدار قابل توجهی آنتیموان (Sb) هستند، اما مهره‌های شفاف آنتیموان ندارند؛ بنابراین این نتایج نشان می‌دهد که دانش استفاده از ترکیبات آنتیموان برای مات کردن شیشه‌ها در هزاره‌ی اول پیش از تاریخ وجود داشته است.

**کلیدواژگان:** مهره، زیورآلات، لاجورد، FTIR، XRD، Micro-PIXE.

## مقدمه

زیورآلاتی که از محوطه‌های گوناگون به دست آمده‌اند، حاوی اطلاعات زیادی هستند. با مطالعه و بررسی مواد متشکله‌ی زیورها می‌توان به اطلاعات با ارزشی در مورد تکنولوژی و مواد اولیه‌ی مورد استفاده در ساخت و همچنین تعیین زمان ساخت اشیاء دست یافت. از هزاره‌ی دوم قبل از میلاد ساخت زیورآلات از سنگ‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی و ترکیب آن با فلزات رایج شد. سنگ‌های لاجورد<sup>۲</sup>، عقیق<sup>۳</sup>، فیروزه<sup>۴</sup> و یشم<sup>۵</sup> برای ساخت زیورها کاربرد داشته و در گورنهادها که قدمت آن‌ها به سه هزار سال قبل از میلاد می‌رسد، دیده شده است (غیبی، ۱۳۹۱: ۵۶). در بین سنگ‌های به کار رفته در زیورآلات بیشترین و قدیمی‌ترین کاربرد مربوط به لاجورد است که در ساخت مهره، کنده‌کاری و خاتم‌کاری از زمان نوسنگی<sup>۶</sup> کاربرد داشته است. اولین لاجورد کارگاهی در پاکستان مربوط به هزاره‌ی چهارم قبل از میلاد است و استفاده از آن در بین‌النهرین و مصر باستان عمدتاً از هزاره‌ی سوم قبل از میلاد است و اشیاء بسیار زیادی با استفاده از این سنگ نیمه‌قیمتی زیباسازی شده است (Calligaro, 139: 2014). بررسی‌های کانی‌شناسی نشان می‌دهد، در ایران معادن لاجورد وجود ندارد و این سنگ نیمه‌قیمتی معمولاً از بدخشان افغانستان وارد ایران می‌شده است (زاوش، ۱۳۴۸: ۲۴۵). اما در کنار سنگ‌ها از شیشه نیز برای ساخت مهره‌های به کار رفته در زیورآلات استفاده شده است. استفاده از شیشه برای تهیه‌ی زیورآلات شاید آسان‌تر از سنگ‌های قیمتی بوده است و شاید بتوان گفت این مهره‌های شیشه‌ای غیرشفاف قبل از شیشه‌های شفاف تهیه و استفاده می‌شده است. این مهره‌ها به صورت استوانه‌ای شکل هستند و در زیورآلات و گردنبند همراه با سنگ‌های نیمه‌قیمتی دیگر مثل کارنالین<sup>۷</sup>، لاجورد، فیروزه، عقیق و... به کار می‌رفته‌اند (غیبی، ۱۳۹۱: ۳۵).

این پژوهش براساس نمونه‌برداری از مهره‌های به کار رفته در زیورآلات به دست آمده از کاوش‌های باستان‌شناسی که در موزه ملی ایران نگه‌داری می‌شود، انجام گرفته است. بررسی ساختار و شناسایی ترکیبات شیمیایی به کار رفته در مهره‌های آبی و سبز این زیورآلات، یکی از اهداف این طرح بوده است. با توجه به حساسیت‌هایی که بر روی زیورآلات وجود داشت امکان نمونه‌برداری فقط از سه شیء فراهم شد و برای ایجاد کمترین خسارت از این اشیاء، ۸ نمونه در حد ۳-۴ میلی‌گرم و ابعاد چند میلی‌متر برای بررسی و آنالیز برداشته شد. از سه زیور انتخاب شده، یکی متعلق به تپه حصار دامغان (کد ۴۰۹) و دو شیء دیگر (کدهای ۹۳۴۴ و ۹۳۴۶) متعلق به محوطه‌ی نصفی گیلان در منطقه‌ی رودبار است که اولی مربوط به هزاره‌ی سوم و دو شیء دیگر متعلق به هزاره‌ی اول قبل از میلاد بودند.

با استفاده از تجزیه شیمیایی مهره‌ها می‌توان به نوع مواد به کار رفته در آن‌ها پی برد. همچنین براساس آنالیز عنصری می‌توان پاسخ مناسبی برای پرسش‌های پیش‌رو یافت؛ آیا برای ساخت مهره از سنگ‌های طبیعی که در اطرافشان بوده استفاده می‌شده یا ماده‌ی اولیه آن‌را تهیه می‌کردند؟ برای ایجاد رنگ‌های مختلف از چه عناصری استفاده می‌شده است؟ چرا بعضی از نمونه‌ها مات و بعضی شفاف

هستند؟ آیا این کار عمدی بوده است؟ اگر عمدی بوده از چه ترکیباتی برای این کار استفاده شده است؟ در این پژوهش برای پاسخ به این پرسش‌ها از هر دو روش تجزیه‌ی عنصری و ترکیبی استفاده شده است. در بین روش‌های مختلف آنالیز عنصری روش میکروپیکسی که روش توانمندی برای آنالیز بس عنصری (از سدیم تا اورانیوم) با حد آشکارسازی بسیار پایین و در حد ppm است، انتخاب شد؛ زیرا روش‌های نیمه کمی آنالیز عنصری مثل EDX و XRF نمی‌توانست جواب‌گوی همه‌ی این پرسش‌ها باشد. برای شناسایی ترکیبی نیز از روش‌های XRD، FTIR و PLM استفاده شد.

### روش پژوهش

در ابتدا نمونه‌ها به وسیله‌ی میکروسکوپ نوری بررسی شدند و از نمونه‌ها تصاویری تهیه شد. میکروسکوپ مورد استفاده در این بررسی Leica Wild M8 بود، سپس اولین آزمایش دستگامی، پراش سنجی پرتو ایکس<sup>۱</sup> (XRD) بود که جهت شناسایی ترکیبی به کار رفت. برای آماده‌سازی، نمونه‌ها به وسیله‌ی هاون عقیق تبدیل به پودر بسیار ریز شدند و سپس از آن‌ها لام شیشه‌ای تهیه شد. روش قرص که روش استاندارد در این خصوص است، به دلیل کم بودن میزان نمونه استفاده نشد. دستگاه مورد استفاده Seifert 3000T2T با تیوب مس (40kV, 30 mA) بود. نمونه‌های پودر شده از ۵-۸ درجه پیمایش شدند. پیمایش در فواصل ۰/۰۲ درجه با زمان توقف ۰/۳ ثانیه انجام شد. اطلاعات مربوط به شناسایی فازهای بلوری براساس بانک اطلاعاتی PDF2 با نرم‌افزار High Score Plus Xpert به دست آمدند. برای بررسی مواد آلی و شناسایی برخی از مواد معدنی، نیاز به آنالیز طیف سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه<sup>۲</sup> (FT-IR) بود. برای آماده‌سازی نمونه‌ها، چند میلی‌گرم از نمونه با حدود ۲۰ برابر نمک پتاسیم برمید (KBr) در یک هاون عقیق ساییده و تحت خلاء تبدیل به قرص شفاف با ضخامت یک میلی‌متر شد. طیف سنج مورد استفاده در این مطالعه، Nicolet 510p بود. یکی دیگر از روش‌های شناسایی ترکیبی استفاده از میکروسکوپ نوری پلاریزان (PLM) است، برای تهیه‌ی تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌ها، لایه‌ی نازکی به ضخامت تقریبی ۳۰ میکرون تهیه و سپس این مقاطع نازک<sup>۱</sup> با میکروسکوپ نوری دو چشمی پلاریزان شرکت James Swift آنالیز و عکسبرداری شدند.

جهت آنالیز عنصری نمونه‌ها از روش میکروپیکسی استفاده شد. آنالیز عنصری به روش پیکسی یکی از روش‌های متداول در آنالیز عنصری مواد است. پیکسی یا «گسیل پرتو X در اثر برانگیختگی با پروتون» روش توانمندی برای آنالیز بس عنصری (از سدیم تا اورانیوم) و غیرتخریبی نمونه‌های مختلف است. در این روش آنالیز، نمونه مورد بررسی تحت تابش پروتون قرار می‌گیرد. در اثر برخورد پروتون با اتم هدف، پرتو X مشخصی گسیل می‌شود که انرژی این پرتو X، نوع عنصر موجود در نمونه و تعداد پرتوهای X با انرژی معین غلظت عنصر در نمونه را مشخص می‌کند (Johansson, 1988). با استفاده از باریکه‌ی میکرونی پروتون می‌توان توانایی‌ها و

قابلیت‌های آنالیز عنصری روش پیکسی را به میزان زیادی افزایش داد. آنالیز عنصری مواد با استفاده از باریکه‌ی یونی میکرونی روش میکروپیکسی نامیده می‌شود که با توجه به کوچک بودن قطر باریکه برای آنالیز نمونه‌هایی که ابعادی در حدود میلی‌متر دارند، بسیار مناسب است. در این پژوهش از باریکه‌ی پروتون با انرژی  $2/5 \text{ MeV}$  و با شدتی در حدود  $50 \text{ pA}$  که توسط شتاب‌دهنده‌ی واندوگراف  $3 \text{ MV}$  آزمایشگاه واندوگراف پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای تولید می‌شود، استفاده شده است. قطر باریکه پروتون در این آزمایش‌ها در حدود  $10 \text{ میکرون}$  تنظیم شده است. برای آشکارسازی اشعه‌ی X از آشکارساز  $(\text{Si}) \text{Li}$  که در زاویه‌ی  $135^\circ$  درجه نسبت به پرتوهای پروتون فرودی قرار گرفته و دارای قدرت تفکیک  $150 \text{ eV}$  می‌باشد، استفاده شده است. در این آزمایش‌ها از سیستم میکرو باریکه و جمع‌آوری داده که توسط شرکت آکسفورد ساخته شده، استفاده گردیده است. نحوه‌ی ابزارآرایی و تولید باریکه‌ی میکرونی در مقاله‌ی مفصلی که در مجله‌ی علوم و فنون هسته‌ای چاپ شده، اشاره شده است (آقاعلی‌گل، ۱۳۸۶: ۱). همچنین برای برآورد مقدار خطا و عدم دقت در اندازه‌گیری‌ها، در هنگام آنالیز نمونه‌های شیشه، همزمان نمونه‌ی شیشه استاندارد BK7 و همچنین مواد خالصی مانند  $\text{NaCl}$  و  $\text{MgCl}_2$  از شرکت مرک آلمان نیز آنالیز و نتایج به دست آمده با مقدار گزارش شده، مقایسه گردیده است. از روش PIXE برای آنالیز عنصری اشیاء تاریخی مثل نقره هخامنشی و اشکانی (اولیایی، ۱۳۹۳: ۳۹) و سفال کلینکی دوره‌ی اشکانی (محمدی‌فر، ۱۳۹۲: ۵۷) نیز استفاده شده است.

### پیشینه‌ی پژوهش

بررسی و مرور پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد تحقیقات پژوهشی اندکی براساس مطالعات آزمایشگاهی بر روی زیورآلات باستانی ایران انجام شده است، اگرچه از نقطه نظر باستان‌شناسی مقالات متعددی در این خصوص وجود دارد. بررسی زیورآلات قبور هزاره‌ی اول منطقه گیلان (شعبانی، ۱۳۹۰: ۳۴)، بررسی زیورآلات عصر آهن مارلیک و املش (ببری، ۱۳۹۴: ۲۵) و باستان‌شناسی پیش از تاریخ گیلان (عباس‌نژاد سرستی، ۱۳۹۴: ۱۲۰؛ جهانی، ۱۳۹۶: ۶۵) از این دست پژوهش‌هاست که در هیچ‌کدام آنالیز و شناسایی ترکیبات شیمیایی و عنصری انجام نشده است. نفیسی در خصوص یک آویز شیشه‌ای با صفحه‌ی مدور که از گورستانی در شوش به دست آمده در «گردهمایی باستان‌شناسی» شوش گزارش می‌دهد. او توضیح می‌دهد که دلیل سنگینی این شیء شیشه‌ای با رنگ آبی فیروزه‌ای که آن را آغاز هزاره‌ی دوم تا اواسط هزاره‌ی اول تاریخ‌گذاری کرده‌اند، نیاز به مطالعات بیشتر دارد. مشابه این شیء شیشه‌ای در حفاری غیرمجاز از گورستانی در شوش به دست آمده و از مجموعه‌ی خصوصی «محسن فروغی» به موزه‌ی رضا عباسی اهدا شده است (نفیسی، ۱۳۷۶: ۴۳۷). اما در دنیا مقالات متعددی در خصوص آنالیز مهره‌های به کار رفته در زیورآلات به دست آمده از کاوش‌های محوطه‌های باستانی ایران و سایر نقاط خاورمیانه مثل عراق، سوریه و... گزارش شده است (Moorey, 1999: 28).

موری در کتاب خود درخصوص استفاده از فریت یا خمیر شیشه<sup>۱۱</sup> در مهره‌های به کار رفته در زیورآلات مناطق مختلف ایران توضیح داده و ذکر کرده که این مهره‌ها اولین شیشه‌ها در منطقه‌ی غرب آسیاست. او همچنین از مهره‌هایی از جنس هماتیت، کارنالین، لاجورد، عقیق، گچ، تالک و کلسیت در تپه میان متعلق به ۲۵۰۰-۲۵۰۰ ق.م. نام برده است (Moorey, 1999; 78). نگهبان نیز در کتاب خود که مربوط به کاوش‌های مارلیک است به مهره‌های به کار رفته در زیورآلات و جواهرات به دست آمده از گورستان‌های محوطه‌ی تاریخی مارلیک پرداخته است. این مهره‌ها گچ، عقیق، کارنالین قرمز و شیشه ذکر شده است. اما اشاره‌ای به روش آنالیز این مهره‌ها نشده است (Negahban, 1996: 177). در مقاله‌ی دیگری در کاوش‌های گورستانی در دینخواه تپه<sup>۱۲</sup> در استان آذربایجان ۱۴۰ مهره آنالیز و شناسایی شدند. این اشیاء متعلق به اوایل هزاره‌ی دوم بودند. ۵۸ مهره از جنس شیشه و فریت و بقیه عقیق، کارنالین و هماتیت<sup>۱۳</sup> بودند. در این کار مهره‌های شیشه‌ای سفید، آبی و سیاه با روش پیکسی<sup>۱۴</sup> آنالیز شدند و عناصر اصلی مهره‌های آبی سیلیسیم، سدیم، پتاسیم، منیزیم، آلومینیم، کلسیم، آهن و مس بودند. نویسنده، نتایج شناسایی مهره‌های به دست آمده از چندین محوطه‌ی باستانی را مقایسه و به این نتیجه رسیده که در کنار هر محوطه یک کارگاه محلی وجود داشته است؛ زیرا عناصر کم مقدار در این مهره‌ها با یکدیگر متفاوت است (McGovern, 1991: 395). دلامار در کتاب خود می‌نویسد، در سه هزار سال پیش در بین النهرین و مصر، شیشه اولین ماده‌ی مصنوعی بوده که به صورت کدر و رنگی تولید می‌شده است. همچنین این ماده در ابعاد خیلی کوچک ساخته می‌شده و فقط در جواهرسازی به جای لاجورد، فیروزه یا کارنالین استفاده می‌شده است. همچنین با توجه به نتایج آنالیز، مشخص شده است که دو نوع مهره‌ی آبی ساخته می‌شده است. برای ساخت یک نوع از مهره‌های آبی از ترکیبات مس و برای ساخت مهره‌هایی که آبی تیره بودند از ترکیبات کُبالت استفاده می‌شده است (Delamare, 2013: 42). در مقاله‌ی دیگری مهره‌های سفید و آبی اواخر هزاره‌ی دوم ق.م. گوی تپه<sup>۱۵</sup> در نزدیکی دریاچه‌ی ارومیه آنالیز شده است. این محوطه‌ی باستانی در نزدیکی دینخواه تپه و حسنلوس است. آنالیز عنصری با PIXE نشان داد عامل رنگ در مهره‌های آبی، عناصر مس و کُبالت است (Fleming, 1993: 28). کالیگاریو در مقاله‌ای مهره‌های آبی متعلق به هزاره‌ی سوم قبل از میلاد در مصر را با روش میکرو پیکسی آنالیز و شناسایی کرد. این مهره‌ها لاجورد بود که در اثر هوازدگی تغییر رنگ داده بودند (Calligaro, et al., 2014: 139). هاتون و همکارانش نیز بر روی ۵۵ نمونه‌ی ظرف و مهره‌ی آبی و سبز مصر و بین النهرین با روش SEM-EDX آنالیز عنصری و بررسی میکروسکوپی انجام دادند و نتایج را با یکدیگر مقایسه و درخصوص منابع تهیه‌ی مواد اولیه برای ساخت این اشیاء تحقیق کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که این اشیاء شیشه‌های آبی و سبز هستند، اما در هنگام تشکیل شیشه مقداری رنگ دانه‌ی آبی مصری که ساختمان بلوری دارد نیز ایجاد شده است. آن‌ها همچنین به نوع کمک ذوب استفاده شده برای تهیه‌ی این اشیاء پی بردند (Hatton, 2008: 1591). باقرپور کاشانی نیز در کتاب خود که حاصل

رساله‌ی دکترای او می‌باشد، تعداد زیادی مهره‌های رنگی از مجموعه‌ی زیورآلات به‌دست آمده از غار وشنوه در کاشان که متعلق به دوره‌ی ساسانی است را با روش LA-ICPMS<sup>۱۶</sup> و روش‌های میکروسکوپی آنالیز کرد. نتایج نشان داد که مهره‌ها از جنس شیشه هستند و برای ماده کمک ذوب به دلیل بالا بودن مقدار اکسید منیزیم (بالاتر از ۱/۵٪) از خاکستر گیاه استفاده شده است. برای ایجاد رنگ نیز از فلزات یا اکسید آن‌ها، مثل ترکیبات مس برای رنگ‌های آبی و سبز، فلز مس برای رنگ قرمز، کبالت برای آبی تیره و بنفش، اکسید قلع و سرب برای رنگ زرد استفاده شده است. مناطق سیاه دارای آهن بالا و در رنگ سفید اکسید قلع (SnO<sub>2</sub>) به‌کار رفته است (Bagherpour Kashani, 2014: 232). علاوه بر این مقالات، پژوهش‌های بسیار زیادی نیز بر روی مهره‌های به‌دست آمده از کشورهای خاورمیانه، مثل: بحرین، ایران، عراق، مصر، اردن، کویت، لبنان، عمان، قطر، عربستان سعودی، سوریه، امارات عربی، یمن و ترکیه انجام شده است (Karklins: 2016:1).

### معرفی نمونه‌ها

بخش پیش از تاریخ موزه ملی ایران، سه شیء که در دسته‌بندی زیورآلات بود برای این طرح پژوهشی در اختیار قرار داد؛ البته اشیاء دیگری نیز انتخاب شده بود که به‌علت این‌که امکان نمونه‌برداری از آن‌ها وجود نداشت، تحویل داده نشد. نمونه‌برداری از این اشیاء در بخش مرمت موزه ملی ایران انجام شد. شیء اول، یک گردنبند با شماره‌ی ثبتی ۴۰۹ متعلق به هزاره‌ی سوم قبل از میلاد و محوطه‌ی تاریخی تپه حصار دامغان بود. در این گردنبند مهره‌های آبی تیره و سفید صدفی به‌کار رفته بود. با توجه به این‌که تمام مهره‌های آبی تیره مشابه بودند، فقط از یکی از مهره‌های آبی تیره که امکان نمونه‌برداری داشت، نمونه برداشته شد و از مهره‌ی سفید به‌علت صدمه نزدن به شیء نمونه‌برداری نشد. محوطه‌ی تپه حصار دامغان، یکی از مهم‌ترین محوطه‌های دوران پیش از تاریخ در فلات ایران است و در شمال شرق ایران قرار دارد. این تپه تقریباً در سه کیلومتری جنوب شرقی شهرستان دامغان واقع شده است و نزدیک به ۲۰۰ هکتار است. نخستین بار توسط اریک اشمیت از دانشگاه پنسیلوانیا در سال‌های ۱۹۳۱ و ۱۹۳۲ م. (مطابق ۱۳۱۰ ه.ش.) کاوش‌های باستان‌شناسی در آن انجام گرفت. لایه‌های فرهنگی استقرار تپه حصار از هزاره‌ی چهارم تا هزاره دوم قبل از میلاد را شامل می‌شود. مجسمه‌های گلی حیوانات، سردوک‌های گلی، مهره‌های تزئینی، گردنبند ساخته شده از سنگ و تعداد معدودی اشیاء مسی، تیغه‌های سنگ چخماق، سنگ افسیدین، ادوات و ابزارهای استخوانی نیز در این کاوش‌ها به‌دست آمده است (فوکایی، ۱۳۷۱: ۲۳). دومین شیء، گردنبندی با مهره‌های آبی روشن و تیره، قرمز و سیاه با شماره‌ی ثبتی ۹۳۴۴ از منطقه‌ی تاریخی نصفی گیلان و مربوط به هزاره‌ی اول قبل از میلاد بود. از چهار مهره‌ی آبی روشن و تیره‌ی این گردنبند نمونه‌ها برداشته شد. اما به دلیل سالم بودن مهره‌های سیاه و قرمز از آن‌ها نمونه‌برداری انجام نشد. نمونه‌ها دارای سختی بالا بودند و نمونه‌های برداشت شده در مقادیر بسیار کم



و در حد میلی‌گرم بودند. شیء سوم نیز گردنبندی با شماره‌ی ثبتی ۹۳۴۶ بود که در آن مهره‌های آبی روشن، آبی تیره، قهوه‌ای و سبز به‌کار رفته بود. این شیء نیز متعلق به هزاره‌ی اول قبل از میلاد و محوطه‌ی تاریخی نصفی گیلان بود. در این شیء نیز از مهره‌هایی با رنگ‌های سبز، آبی روشن و آبی تیره، نمونه‌های بسیار کمی برداشته شد. این نمونه‌ها نیز دارای سختی بالا بودند. تپه مارلیک یا چراغعلی تپه یک محوطه‌ی باستانی در کرانه‌ی شرقی سفیدرود و در دره‌ی گوهررود در روستای نصفی شهرستان رودبار گیلان است. از ۱۳۴۲ ه.ش. به مدت پنج سال در دره‌ی سفیدرود و در ناحیه‌ی عمارلو از توابع رودبار کاوش‌های باستان‌شناسی توسط علی حاکمی انجام گرفت. مناطقی که تحت کاوش قرار گرفت، منطقه‌های نصفی، جوبین و کلورز بود. آثار به‌دست آمده از این مناطق از هزاره‌ی اول قبل از میلاد تا دوره‌ی ساسانی بودند. کاوش‌های مربوط به هزاره‌ی اول بیشتر در گورها بود و اشیاء مکشوف از آن‌ها، شامل ظروف سفالی با رنگ‌های مختلف، اشیاء برنزی و زیورآلات شامل گردن‌بند، گوشواره، النگو و انگشتری بود. گردن‌بندهای به‌دست آمده، شامل مهره‌هایی از جنس در کوهی، لاجورد و خمیر شیشه بود که در ساخت آن‌ها دقت و مهارت خاصی به‌کار رفته بود (حاکمی، ۱۳۹۶: ۲۵۹). موقعیت جغرافیایی دو محوطه در شکل ۱ و مشخصات و تصاویر این سه شیء و محل‌های نمونه‌برداری در جدول ۱ آمده است.

## نتایج و بحث

### بررسی شیء شماره‌ی ۴۰۹

این شیء دارای تعداد زیادی مهره‌های آبی تیره و چند مهره‌ی صدفی رنگ (سفید) بود و متعلق به هزاره‌ی سوم قبل از میلاد و محوطه‌ی تپه حصار دامغان بود.



► شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محوطه‌ی تپه حصار دامغان و تپه مارلیک (برگرفته از کتاب: *Ancient Mesopotamian Materials and Industries*).

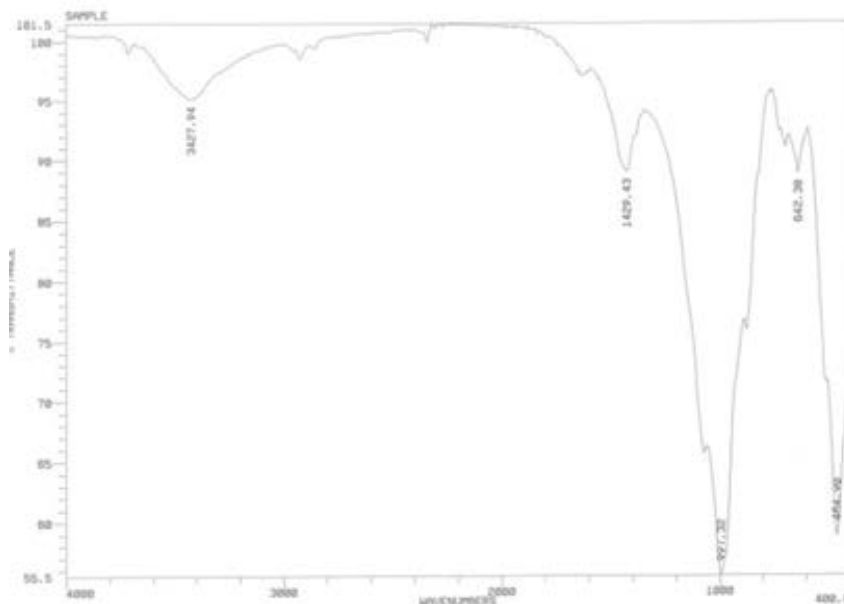
ردیف	شماره‌ی موزه	شماره‌ی نمونه	تاریخ اثر	محل کشف اثر	رنگ نمونه	محل نمونه برداری	تصویر
۱	۴۰۹	۴۰۹	هزاره‌ی سوم پیش از میلاد	تپه حصار دامغان	آبی تیره	۱	
۲	۹۳۴۴	۹۳۴۴-۱	هزاره‌ی اول پیش از میلاد	تپه نصفی گیلان-دیلمان	آبی	۱	
۳		۹۳۴۴-۲			آبی تیره		
۴		۹۳۴۴-۳			آبی		
۵		۹۳۴۴-۴			آبی		
۶	۹۳۴۶	۹۳۴۶-۱	هزاره‌ی اول پیش از میلاد	تپه نصفی گیلان-دیلمان	آبی	۱	
۷		۹۳۴۶-۲			سبز		
۸		۹۳۴۶-۳			آبی تیره		

جدول ۱. مشخصات نمونه‌های برداشته شده از زیورآلات موزه‌ی ملی ایران (نگارندگان، ۱۳۹۴).



چون مهره‌های آن کاملاً مشابه بودند، فقط از یکی از مهره‌هایی که شکسته بود، نمونه برداری شد (شکل ۲a). همچنین تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی تهیه شده از شیء ۴۰۹ در شکل ۲b آمده است. به منظور شناسایی و اندازه‌گیری عناصر تشکیل دهنده، نمونه‌ی تهیه شده با روش میکروپیکسی آنالیز شد. بررسی عناصر اندازه‌گیری شده نشان داد عناصر اصلی تشکیل دهنده‌ی نمونه سیلیسیم، کلسیم، منیزیم و آلومینیم هستند؛ بنابراین این نمونه در اصل سنگ لاجورد است. همچنین عناصری مانند سدیم، پتاسیم و گوگرد که به عنوان عناصر کم مقدار این نمونه هستند، در این نمونه وجود دارند. نتایج آنالیز عنصری این نمونه در جدول ۲ آمده است. از این نمونه، طیف FTIR نیز گرفته شد که در شکل ۳، طیف FTIR این نمونه نشان داده شده است. وجود نوارهای ناحیه‌ی  $998\text{ cm}^{-1}$  و  $464\text{ cm}^{-1}$  نشان دهنده‌ی وجود

▲ شکل ۲. (a) تصویری از شیء با شماره‌ی ثبتی ۴۰۹ و متعلق به موزه ملی ایران که از یکی از مهره‌های آبی آن نمونه برداری شد؛ (b) تصویری میکروسکوپی از نمونه با لوپ، بزرگنمایی ۹۰ برابر (نگارندگان، ۱۳۹۵).



شکل ۳. طیف FTIR نمونه‌ی ۴۰۹ که نوارهای جذبی آن نشان دهنده‌ی لاجورد است (نگارندگان، ۱۳۹۵).





▲ شکل ۴. تصویری از شیء با شماره‌ی ثبتی ۹۳۴۴ و متعلق به موزه ملی ایران (نگارندگان، ۱۳۹۴).

لاجورد است که به دلیل وجود پیوند سیلیکون-اکسیژن (Si-O) است (Plesters, 1997: 50). بالا بودن درصد کلسیم و منیزیم در این نمونه نشان‌دهنده‌ی وجود دیوپسید<sup>۱۷</sup> ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ) است که می‌تواند مربوط به منشاء و محلی باشد که لاجورد از آنجا آمده است.

از نظر کانی‌شناسی لاجورد ترکیب غیریکنواختی از کانی‌های گروه سودالیت<sup>۱۸</sup> مثل لازوریت<sup>۱۹</sup> که آبی رنگ است و یکسری کانی‌های سفید، مثل: کلسیت<sup>۲۰</sup>، دیوپسید، و لاسونیت<sup>۲۱</sup> و بلورهای طلائی پیریت<sup>۲۲</sup> است (Calligaro et al., 2014). در ایران وجود لاجورد در بسیاری از زیورآلات شهر سوخته زابل (سیدسجادی، ۱۳۸۲: ۵۰) و تپه حصار دامغان ثابت شده است (Neill, 2003: 345). سنگ لاجورد از دیرباز برای ساخت اشیاء کاربردی و تزیینی به‌کار رفته است و اشیاء ساخته شده از لاجورد در بسیاری از موزه‌های دنیا از جمله موزه‌ی قاهره، دمشق و عراق وجود دارد (هرمان، ۱۳۸۵: ۶۹). شیرزاد درخصوص تجارت سنگ لاجورد در هزاره‌های سوم و چهارم قبل‌ازمیلاد تحقیقاتی انجام داده است. به نظر می‌رسد این سنگ نیمه‌قیمتی از طریق مسیرهای کاروانی از شرق ایران به بین‌النهرین وارد می‌شده است و محلهایی که در امتداد مسیرهای کاروانی قرار داشتند از طریق نقل و انتقال این کالا به سود سرشاری دست‌یافتند (شیرزاد، ۱۳۹۱: ۸۵).

#### بررسی شیء شماره‌ی ۹۳۴۴

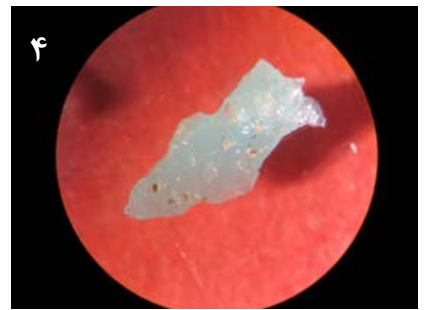
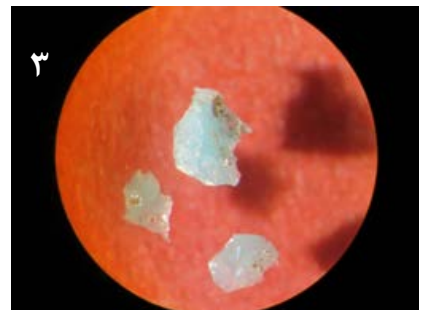
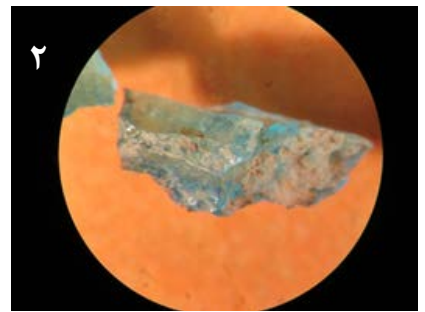
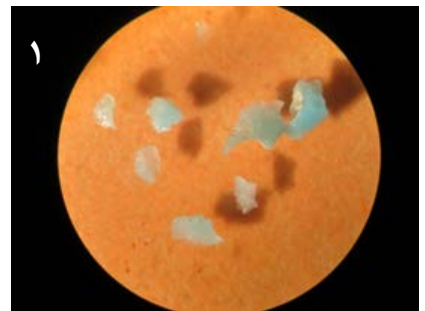
این شیء مربوط به هزاره‌ی اول قبل‌ازمیلاد و محوطه‌ی تاریخی نصفی دیلمان گیلان بود. در این شیء مهره‌هایی با رنگ‌های آبی، آبی تیره، سبز و قرمز وجود داشت که فقط امکان نمونه‌برداری از مهره‌هایی با رنگ‌های آبی و آبی تیره وجود داشت و از مهره‌های قرمز به علت سالم بودن، امکان نمونه‌برداری نبود. برای شناسایی سنگ‌های آبی به‌کار رفته در این زیور از چهار مهره، نمونه‌برداری انجام شد. تصویر این شیء و محل‌های نمونه‌برداری از آن در شکل ۴ و تصویر زیر لوپ نمونه‌ها در شکل ۵ آمده است. همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، به جز نمونه‌ی ۲ که شفاف است، بقیه نمونه‌ها مات هستند.

بررسی طیف XRD نمونه‌ها نشان داد که این نمونه‌ها فاقد ساختمان بلوری هستند که این نشان‌دهنده‌ی ساختار شیشه‌ای نمونه‌ها بود. تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ نوری پلاریزان نیز هیچ‌گونه ساختار بلوری در XRD را نشان نداد. احتمال وجود آبی مصری به دلیل نداشتن ساختمان بلوری رد می‌شود. ساختمان بلوری آبی مصری با سه روش FTIR، XRD و PLM قابل شناسایی است (Riederer, 1997: 35)، در صورتی‌که این نمونه‌ها فاقد ساختمان بلوری بودند. از طرف دیگر، سختی آبی مصری بین ۱-۲ موس است، در صورتی‌که این نمونه‌ها دارای سختی بالایی بودند. برای شناسایی عناصر تشکیل‌دهنده‌ی این نمونه‌ها و بررسی تفاوت رنگ آن‌ها از روش میکروپیکسی استفاده شد. نتایج آنالیز عنصری چهار نمونه برداشته شده از این شیء در جدول ۲ آمده است. درصد بالای اکسید سیلیسیم (حدود ۶۵٪) نشان می‌دهد که ترکیب اصلی تمام نمونه‌ها سیلیس

می باشد که از مواد اولیه‌ای مانند شن، سنگ چخماق یا سنگ چینی تهیه می‌شده است. این ماده، احتمالاً شیشه‌ی آبی یا فریت<sup>۲۲</sup> است. فوربز، توضیح می‌دهد که در ابتدا فریت آبی به‌عنوان لعاب استفاده می‌شده و سپس آن را به پودر تبدیل کرده و از آن به‌عنوان رنگ‌دانه و ماده‌ای برای ساخت اشیاء زینتی به‌خصوص زیورآلات استفاده شده است. فریت سال‌ها قبل از تولید آبی مصری کاربرد داشته است (Forbes, 1955).

برای تهیه‌ی این ماده، مثل شیشه ترکیباتی مانند: ماسه، اکسید کلسیم، اکسید مس و ترکیبات قلیایی (بازی) به‌عنوان کمک ذوب را مخلوط و در دمای ۱۰۰۰-۱۲۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت چندین شبانه‌روز حرارت می‌دادند. حاصل این فرآیند ماده‌ی شیشه‌ای آبی رنگ بوده که آن را پودر می‌کردند و پس از تبدیل به خمیر آن را در قالب می‌ریختند و در ساخت اشیائی مثل ظروف، مهره و... استفاده می‌شده است. روش تهیه‌ی آبی مصری مشابه همین روش است، اما طی فرآیند یک ماده‌ی بلوری با نام کوپوریت<sup>۲۴</sup> ایجاد می‌شده است (Hatton et al., 2008).

وجود سایر عناصر مثل Ca, Sb, K, Mg, Al, Cu, Na و Fe می‌تواند به دلایل مختلف باشد. وجود اکسید سدیم در حدود ۱۰-۱۲ درصد، اکسید منیزیم با حدود ۳-۴ درصد و همچنین اکسید پتاسیم در حدود ۲/۵ درصد در این نمونه‌ها به‌علت استفاده از ماده‌ی کمک ذوب سودا در هنگام ساخت بوده است که ماده اولیه‌ی این که منابع تأمین سودا مورد استفاده در این نمونه‌ها منابع معدنی (ناترون) بوده و یا خاکستر به‌دست آمده از گیاهان که معمولاً در خاک‌های شور رشد می‌یافته است، از بررسی درصد وزنی اکسید پتاسیم و اکسید منیزیم استفاده می‌شود. براساس آنچه که متداول است (Sayre et al., 1961: 1824) در صورتی که میزان درصد وزنی اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم موجود در نمونه‌های شیشه کمتر از ۱/۵ درصد باشد، آن نمونه‌ها از نوع شیشه‌های ناترونی محسوب می‌شود؛ اما اگر میزان اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم موجود در نمونه‌ها بیشتر از ۲/۵ درصد باشد، این شیشه‌ها از نوع شیشه‌هایی خواهد بود که منبع تأمین اکسید سدیم آن خاکستر حاصل از گیاهان رشد یافته در خاک‌های شور بوده است. بنابراین با توجه به جدول ۲، می‌توان مشاهده کرد که میزان اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم تمام چهار نمونه‌ی آنالیز شده از شیء شماره‌ی ۹۳۴۴ بیشتر از ۲/۵ درصد است. پس کاملاً مشخص است که در تمام نمونه‌های آنالیز شده از این شیء، منبع تأمین اکسید سدیم خاکستر حاصل از گیاهان بوده است و این نتایج با نتایج به‌دست آمده از آنالیز مهره‌های شیشه‌ای اواخر عصر برنز که توسط بریل از محوطه‌های تاریخی مصر و سایر نقاط بین‌النهرین انجام شده نیز مطابقت دارد (Brill, 1999: 245). یکی از مشخصه‌های بارز مهره‌های شیشه‌های مصری به‌دست آمده از دوران پیش از تاریخ، بیشتر بودن میزان اکسید منیزیم نسبت به اکسید پتاسیم موجود در آن است ( $MgO > K_2O$ ) که نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نیز با این مشخصه تطابق دارد (Janssens, 2004: 663). همچنین اکسید کلسیم که به‌عنوان مواد تثبیت‌کننده استفاده



▲ شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های برداشته شده از شیء با شماره‌ی ثبتی ۹۳۴۴ در زیر لوپ، بزرگنمایی نمونه‌های ۱ و ۳، ۴۰ برابر، بزرگنمایی نمونه‌های ۲ و ۴، ۶۰ برابر (نگارندگان، ۱۳۹۵).

می‌شده است، در این چهار نمونه درصد فراوانی آن از ۴-۹ درصد تغییر می‌کند و مواد اولیه‌ی تأمین‌کننده‌ی آن نیز از خاکستر حاصل از گیاهان است. وجود مس و آهن در این نمونه‌ها می‌تواند مربوط به رنگ آبی روشن و آبی تیره‌ی این مهره‌ها باشد. احتمال دارد از مالاکیت یا کربنات بازی مس<sup>۲۵</sup> که از سنگ‌های معدنی مس است و به وفور در ایران وجود داشته در هنگام ساخت شیشه با رنگ آبی و آبی تیره استفاده شده باشد. آهن موجود در نمونه‌ها که از ناخالصی‌های موجود در سیلیس ناشی می‌شود نیز می‌تواند در ایجاد رنگ آبی استفاده شده باشد. در نمونه‌ی آبی تیره، درصد وزنی اکسید کلسیم نصف، آلومینیم حدود دو برابر و آهن نیز بیشتر از بقیه نمونه‌های آبی است؛ اما برخلاف آنچه که در منابع آمده رنگ آبی تیره فاقد کبالت است و برای ساخت هر دوی رنگ آبی و آبی تیره از ترکیبات مس و آهن با درصدهای متفاوت استفاده شده است. یکی دیگر از تفاوت‌های اساسی که بین نمونه‌ی آبی تیره و سه نمونه‌های آبی روشن وجود دارد، این است که در نمونه‌ی آبی تیره که در تصویر میکروسکوپی شفاف بود (شکل ۶) اکسید آنتیموان وجود ندارد، در صورتی که در نمونه‌های آبی که همگی مات هستند، بین ۲-۴ درصد اکسید آنتیموان وجود دارد؛ بنابراین مشخص است که ترکیبات آنتیموان به عنوان مات‌کننده<sup>۲۶</sup> در نمونه‌های آبی استفاده شده است.

### بررسی شیء شماره‌ی ۹۳۴۶

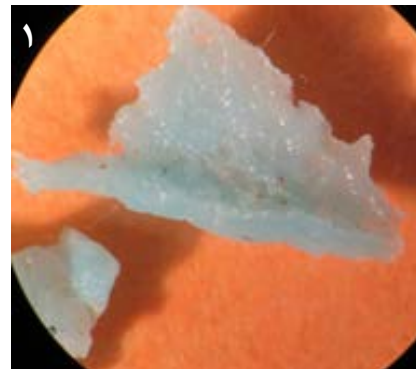
شیء آخر، دارای شماره‌ی ثبتی ۹۳۴۶ بود که این نمونه نیز متعلق به هزاره‌ی اول قبل از میلاد و محوطه‌ی تاریخی نصفی دیلمان گیلان بود. این شیء دارای مهره‌هایی



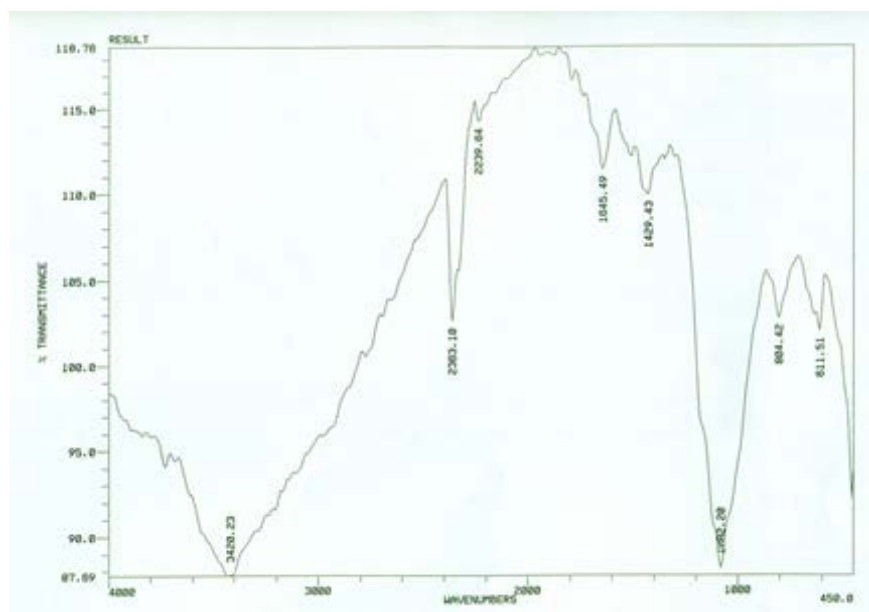
► شکل ۶. تصویری از شیء با شماره‌ی ثبتی ۹۳۴۶ و متعلق به موزه ملی ایران که از سه مهره‌ی آبی، سبز و آبی تیره نمونه‌برداری شد (نگارندگان، ۱۳۹۵).

با رنگ‌های سبز، آبی تیره، آبی و قهوه‌ای بود که از سه مهره‌ی آن که دارای رنگ‌های آبی، سبز و آبی تیره بود، نمونه‌برداری شد. از بقیه‌ی مهره‌ها امکان نمونه‌برداری وجود نداشت. تصویری از این شیء و محل‌های نمونه‌برداری از آن در شکل ۶ آمده است. ابتدا با لوپ از نمونه‌ها عکس‌برداری شد (شکل ۷) و سپس نمونه‌ها با روش‌های مختلف آنالیز شدند.

نتایج آنالیز XRD هر سه نمونه، نشان داد که این نمونه‌ها نیز فاقد ساختمان بلوری و آمورف هستند. طیف FTIR آن‌ها نیز وجود نوار جذبی پهن در ناحیه‌ی  $1082\text{ cm}^{-1}$  را نشان داد که مربوط به ساختار سیلیکات‌هاست و مربوط به پیوند Si-O در شیشه است (شکل ۸). بررسی‌های میکروسکوپی با میکروسکوپ نوری پلاریزان نیز ساختمان ایزوتروپیک<sup>۲۷</sup> یا ساختار شیشه‌ای را نشان داد (شکل ۹). در اینجا نیز وجود آبی مصری به سه دلیل رد می‌شود؛ دلیل اول، سختی بالای نمونه بود، در صورتی‌که آبی مصری سختی بسیار پایین‌تری دارد. دلیل دوم، عدم وجود ساختمان بلوری در طیف XRD است؛ و دلیل سوم، عدم وجود نوارهای جذبی مشخصه در FTIR است (Riederer, 1997: 23). آبی مصری، اولین رنگ‌دانه‌ی سنتزی از هزاره‌ی دوم قبل از میلاد است. از این ماده بیشتر برای ساخت اشیاء و کمتر به عنوان رنگ‌دانه در نقاشی‌ها استفاده شده است. این ماده از هزاره‌ی دوم قبل از میلاد در مصر و بین‌النهرین به کار می‌رفته است. شروع کاربرد این ماده در ایران مشخص نیست. در دوره‌ی هخامنشی (۵۵۰ ق. م.) در تخت جمشید اشیاء ساخته شده از آبی مصری و استفاده از آن به عنوان رنگ‌دانه ثابت شده است (Stodulski, 1984: 143). وجود این ماده علاوه بر تخت جمشید، در گچ‌بری‌های قلعه یزدگرد در کرمانشاه (۱۰۰ ق. م.) به عنوان رنگ‌دانه (خان مرادی، ۱۳۹۶: ۱۴۳) و در کاوش‌های محوطه‌ی جوبجی در رامهرمز (۵۳۹-۵۸۵ ق. م.) برای ساخت مهره اثبات شده

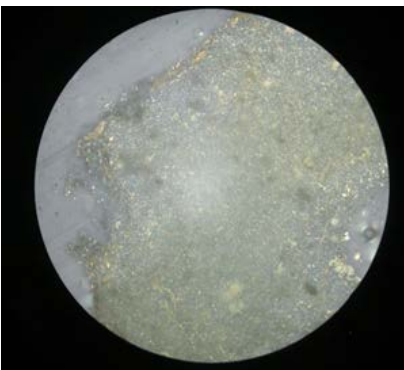
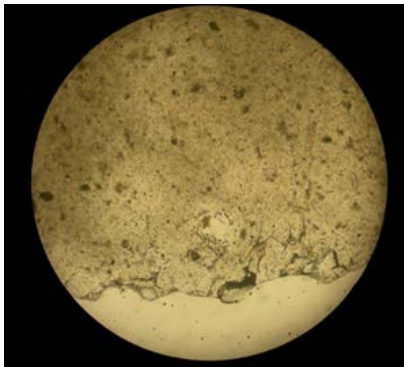


▲ شکل ۷. تصاویر میکروسکوپی از سه نمونه‌ی شیء ۹۳۴۶، بزرگنمایی X ۱۲۰ (نگارندگان، ۱۳۹۵).



شکل ۸. طیف FTIR نمونه‌ی ۹۳۴۶-۱ (نگارندگان، ۱۳۹۵).





▲ شکل ۹. تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۱-۹۳۴۶ که نشان‌دهنده‌ی وجود شیشه است و هیچ‌گونه ساختار بلوری در آن مشاهده نمی‌شود (بالا)؛ نمونه در نور پلاریزه (پایین) نمونه در نور متقاطع (نگارندگان، ۱۳۹۵).

▶ جدول ۲. مقایسه‌ی درصد عناصر به‌کار رفته در نمونه‌ها با روش میکروپیکسی برحسب درصد وزنی (نگارندگان، ۱۳۹۶).

است (بهادری، ۱۳۹۴: ۱۵). داداش‌زاده، وجود این ماده را در اشیاء محوطه‌های تاریخی حسنلو، زیویه و تخت جمشید ثابت کرده است که تاریخچه‌ی این اشیاء از هزاره‌ی اول تا ۵۰۰ قبل از میلاد بوده است (داداش‌زاده، ۱۳۹۵: ۳۵). در تمام این مقالات وجود ساختمان بلوری این ماده با روش‌های XRD، FTIR و SEM-EDX ثابت شد.

از آنجایی که همه‌ی آنالیزهای انجام شده در بالا فقط نشان‌دهنده‌ی وجود فاز شیشه‌ای بود و هیچ اطلاعاتی درخصوص علت رنگی بودن و مات یا شفاف بودن نمونه‌ها نمی‌داد از آنالیز عنصری با روش میکرو پیکسی استفاده شد. نتایج آنالیز عنصری نشان‌داد که عناصر سیلیسیم (Si)، سدیم (Na)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، پتاسیم (K)، مس (Cu)، گوگرد (S) و آهن (Fe) در این نمونه‌ها با درصدهای متفاوت به‌کار رفته است. درصد بالاتر گوگرد و آهن در نمونه‌ی سبز (نمونه‌ی ۲-۹۳۴۶) نشان‌دهنده‌ی وجود ترکیباتی از آهن و گوگرد، مثل آهن سولفات ( $FeSO_4$ ) برای ایجاد رنگ سبز است. علاوه بر این، وجود اکسید مس و آهن در نمونه‌ی ۱-۹۳۴۶ می‌تواند عامل ایجاد رنگ آبی باشد. آنتیموان فقط در نمونه‌ی آبی (نمونه‌ی ۱-۹۳۴۶) وجود دارد که در تصاویر زیر لوپ مات دیده می‌شود و در دو نمونه‌ی دیگر سبز و آبی تیره که شفاف هستند، آنتیموان وجود ندارد؛ بنابراین در اینجا نیز مثل شئی شماره‌ی ۹۳۴۴ از ترکیبات آنتیموان برای مات کردن مهره‌های آبی استفاده شده است. با توجه به جدول ۲ می‌توان مشاهده کرد که در نمونه‌های آنالیز شده از این شئی (شماره‌ی ۹۳۴۶) میزان اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم هر سه نمونه بیشتر از ۲/۵ درصد است. پس مشخص است که در تمام نمونه‌های آنالیز شده از این شئی نیز منبع تأمین اکسید سدیم خاکستر حاصل از گیاهان بوده است.

اکسید عناصر	۴۰۹	۱-۹۳۴۴	۲-۹۳۴۴	۳-۹۳۴۴	۴-۹۳۴۴	۱-۹۳۴۶	۲-۹۳۴۶	۳-۹۳۴۶
$Na_2O$	۵/۳۷	۱۰/۹۱	۱۰/۱۲	۱۰/۰۹	۱۲/۲۲	۱۰/۶۴	۱۰/۸۰	۱۰/۵۶
$MgO$	۱۵/۶۸	۳/۹۷	۳/۹۷	۲/۷۶	۳/۱۹	۲/۶۲	۲/۶۰	۵/۱۰
$Al_2O_3$	۱۷/۹۸	۱/۳۸	۷/۴۶	۳/۶۶	۳/۱۷	۱/۲۵	۵/۸۳	۳/۷۲
$SiO_2$	۴۴/۶۴	۶۶/۶۷	۶۶/۷۴	۶۳/۶۱	۶۴/۹۶	۶۸/۰۲	۶۳/۱۱	۶۸/۳۹
$P_2O_5$	-	۰/۷۷	۰/۹۲	۰/۴۲	۰/۶۰	-	۱/۵۶	۱/۰۷
$SO_3$	۳/۵۲	۰/۶۱	۱/۳۹	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۵۶	۳/۳۴	۱/۵۰
Cl	۰/۱۶	۰/۹۲	۰/۴۴	۰/۹۶	۰/۸۰	۰/۶۸	۱/۱۶	۰/۷۳
$K_2O$	۴/۱۵	۲/۳۶	۲/۵۹	۲/۴۱	۲/۶۰	۱/۹۹	۲/۶۷	۳/۲۰
CaO	۸/۱۹	۸/۶۸	۴/۱۶	۸/۷۶	۷/۸۳	۸/۸۶	۶/۰۲	۴/۳۴
$TiO_2$	۰/۲۵	-	۰/۱۰	۰/۷۰	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۶
$Cr_2O_3$	-	-	۰/۰۳	-	-	-	۰/۰۳	-
MnO	-	۰/۰۲	۰/۰۴	-	-	۰/۰۲	-	-
$Fe_2O_3$	۰/۱۰	۰/۳۵	۰/۹۱	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۴۱	۱/۷۰	۰/۵۲
$Cu_2O$	-	۱/۲۱	۰/۸۱	۱/۰۹	۰/۹۶	۱/۱۸	۰/۷۴	۰/۸۱
$Au_2O_3$	-	-	۰/۰۳	-	-	-	۰/۰۳	-
$Sb_2O_5$	-	۲/۱۱	-	۴/۹۸	۲/۴۸	۳/۷۲	-	-

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش ۸ نمونه از مهره‌های آبی، آبی تیره و سبز به‌کار رفته در سه زیور به‌دست آمده از کاوش‌های تپه حصار دامغان و تپه نصفی گیلان که در موزه ملی ایران نگه‌داری می‌شود با روش‌های آنالیز دستگاهی مثل: XRD، Micro-PIXE و FTIR و PLM بررسی و عناصر تشکیل‌دهنده‌ی و مواد اولیه استفاده شده در ساخت آن‌ها شناسایی شدند. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که مهره‌های آبی تیره که گردنبند متعلق به هزاره‌ی سوم قبل‌ازمیلاد محوطه‌ی تپه حصار دامغان از آن‌ها ساخته شده است، از سنگ لاجورد بوده و عناصر تشکیل‌دهنده‌ی آن سیلیسیم، منیزیم، آلومینیم به مقدار زیاد و عناصر: کلسیم، سدیم، پتاسیم، و گوگرد به مقدار کمتر است. با توجه به بالا بودن درصد منیزیم و کلسیم به نظر می‌رسد که کانی دیوپسید نیز در ساختار این لاجورد وجود دارد که می‌تواند مربوط به منشاء لاجورد باشد.

نمونه‌های متعلق به هفت مهره‌ی به‌کار رفته در دو گردنبند دیگر که یک مهره‌ی سبز، چهار مهره‌ی آبی و دو مهره‌ی آبی تیره بودند، همگی از جنس شیشه از نوع سیلیکا، سودا و آهک هستند. این دو گردنبند متعلق به تپه نصفی گیلان و هزاره‌ی اول قبل‌ازمیلاد بودند. در این نمونه‌ها عناصری مثل: سیلیسیم، سدیم، کلسیم، مس، آلومینیم، منیزیم، پتاسیم، کلر، آهن و گوگرد وجود داشت. درصد بالای سدیم به همراه منیزیم و پتاسیم، استفاده از خاکستر گیاه را به‌عنوان کمک ذوب ثابت کرد. ماده‌ی دیگر معمول به‌عنوان کمک ذوب ناترون است که در صورت استفاده از آن فقط درصد سدیم بالاست و مقدار منیزیم و پتاسیم بسیار پایین و کمتر از ۱/۵ درصد است. همچنین نتایج آنالیز عنصری این هفت نمونه نشان می‌دهد که درصد وزنی اکسید منیزیم نسبت به اکسید پتاسیم موجود در آن بیشتر است ( $MgO > K_2O$ ). از طرفی، بر اساس نتایج به‌دست آمده از آنالیز مهره‌های شیشه‌ای اواخر عصر مفرغ که توسط بریل از محوطه‌های تاریخی مصر و سایر نقاط بین‌النهرین انجام شده، مشخص شده است که یکی از مشخصه‌های بارز مهره‌های شیشه‌های مصری به‌دست آمده از این دوران قبل تاریخ بیشتر بودن میزان اکسید منیزیم نسبت به اکسید پتاسیم موجود در آن است. از طرف دیگر، چهار نمونه‌ی آبی مات یعنی نمونه‌های ۱-۹۳۴۴، ۳-۹۳۴۴، ۴-۹۳۴۴ و ۱-۹۳۴۶ دارای آنتیموان هستند که این ماده برای مات کردن نمونه‌ها به‌طور عمدی اضافه شده است. استفاده از آنتیموان در مهره‌های شیشه‌های مصر و عراق که از دوران پیش از تاریخ به‌دست آمده نیز اثبات شده است. بنابراین شاید این مشابهت نشان‌دهنده‌ی وجود تبادلات تجاری گسترده در یک مرز جغرافیایی گسترده در آن عصر باشد که البته برای اثبات آن نیاز به آنالیزهای بیشتری است.

اما نمونه‌ی سبز و دو نمونه‌ی آبی تیره که تصاویر میکروسکوپ نوری آن‌ها نشان‌دهنده‌ی شفافیت بیشتری از نمونه‌های آبی است، فاقد آنتیموان هستند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که درصد آهن در تمام نمونه‌ها بین ۰/۳-۰/۵ درصد است، اما در نمونه‌ی ۲-۹۳۴۶ که سبزرنگ است، مقدار آن ۱/۷ درصد است که



می‌تواند به دلیل اضافه کردن ترکیبات آهن به مقدار بیشتر برای ایجاد رنگ سبز باشد؛ همچنین نتایج آنالیزها نشان می‌دهد که میزان کلسیم در نمونه‌های آبی مات، تقریباً دو برابر نمونه‌های سبز و آبی تیره که شفاف هستند، می‌باشد.

## سپاسگزاری

لازم می‌دانیم از خانم هنگامه گزوانی مسئول بخش پیش از تاریخ و خانم مهناز عبدالله‌خان‌گرچی مسئول بخش مرمت موزه ملی ایران برای همکاری در انتخاب اشیاء و نمونه‌برداری تشکر و قدردانی نماییم. همچنین از خانم سحر نوحی مسئول آزمایشگاه FTIR و آقای سید ایرج بهشتی مسئول آزمایشگاه پتروگرافی در پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی تشکر نماییم.

## پی‌نوشت

۱. مقاله‌ی حاضر، حاصل نتایج طرح پژوهشی شماره‌ی ۹۴۳۱۴۱/۱۰/۷۹۴۸ است که در سال ۱۳۹۴ با حمایت پژوهشگاه میراث‌فرهنگی و گردشگری، به مسئولیت رویا بهادری به انجام رسیده است.

2. Lapis-lazuli ( $\text{Na}_{8-10}\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_{2-4}$ )
3. Agate
4. Turquoise
5. Jade
6. Neolithic
7. Carnelian
8. X-ray diffraction (XRD)
9. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)
10. Thin Section
11. Frit/Glass paste
12. Dinkhah tepe
13. Hematite
14. Proton induced x-ray emission (PIXE)
15. Geoy tepe
16. Laser ablation- inductively coupled plasma-mass spectrometry
17. Diopside
18. Sodalite
19. Lazurite:  $\text{Na}_3\text{Ca}(\text{Si}_3\text{A}_{13}\text{O}_{12})\text{S}$
20. Calcite
21. Wollasonite
22. Pyrite
23. Blue frit
24. Cuprorivaite:  $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$
25. Malachite:  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$
26. Opacity
27. Isotropic

## کتابنامه

- آقاعلی‌گل، داود؛ اولیائی، پروین؛ باقی‌زاده، علی؛ شکوهی، فرح؛ کاکوئی، امیدرضا؛ موحد، بیژن؛ فرم‌هینی‌فراهانی، محمد؛ مرادی، محمود؛ و لامعی‌رشتی، محمد، ۱۳۸۶، «آنالیز عنصری نمونه‌های مختلف با استفاده از میکروسکوپ روبشی پرتون». مجله‌ی علوم و فنون هسته‌ای، شماره‌ی ۴۰، صص: ۱۰-۱.

- اولیایی، پروین؛ آفریده، حسین؛ و آقاعلی‌گل، داود، ۱۳۹۴، «تحلیل عنصری

- سکه‌های نقره‌ی هخامنشی و اشکانی با استفاده از روش آنالیز PIXE، *فصلنامه‌ی پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*، شماره‌ی ۸، دوره‌ی پنجم، صص: ۳۹-۵۲.
- ببری، زینب، ۱۳۹۴، «بررسی و تحلیل زیورآلات عصر آهن مارلیک و املش»، *مجموعه مقالات دومین همایش ملی باستان‌شناسی ایران*. مشهد، صص: ۲۵-۳۵.
- بهادری، رویا، ۱۳۹۶، «شناسایی آبی مصری در اشیاء و رنگدانه‌های بدست آمده از محوطه‌های تاریخی قبل از میلاد در ایران»، *مجموعه مقالات یازدهمین همایش حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی-فرهنگی و تزئینات وابسته به معماری*. تبریز، تهران: پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، صص: ۱۵-۲۳.
- جهانی، ولی، ۱۳۹۶، «شواهدی نو یافته از معماری عصر آهن در کرانه‌های جنوب غرب دریای کاسپی (گیلان) براساس کاوش‌های باستان‌شناسی محوطه‌ی کافرستان دیلمان»، *مجله پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*، دوره‌ی هفتم، شماره‌ی ۱۳، صص: ۶۵-۸۲.
- حاکمی، علی، ۱۳۹۶، «کاوش‌های باستان‌شناسی رودبار گیلان»، به کوشش: شاهین آریامنش، تهران: پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری با همکاری موزه ملی ایران.
- خان‌مرادی، مژگان؛ و نیکنامی، کمال‌الدین، ۱۳۹۶، «بررسی ساختار رنگدانه‌های به‌کاررفته در گچبری‌های به‌دست آمده از محوطه‌ی قلعه یزدگرد»، *پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*، دوره‌ی هفتم، شماره‌ی ۱۳، صص: ۱۴۳-۱۵۶.
- زاوش، محمد، ۱۳۴۸، *کانی‌شناسی در ایران قدیم*، تهران: بنیاد فرهنگ ایران.
- داداش‌زاده، مارال؛ عبدالله‌خان گرجی، مهناز؛ و وحید زاه، رضا، ۱۳۹۵، «خمیر لاجورد یا آبی مصری، بررسی ساختاری و هویت بخشی مجموعه‌ای از اشیاء منسوب به خمیر لاجورد در موزه ملی ایران»، *پژوهه باستان‌سنجی*، سال دوم، شماره‌ی دوم، صص: ۳۵-۴۸.
- سیدسجادی، سید منصور، ۱۳۸۲، *جوهر سازی در شهر سوخته*، تهران: انتشارات سازمان میراث فرهنگی.
- شعبانی، طاهره، ۱۳۹۰، «بررسی زیورآلات قبور هزاره اول منطقه گیلان»، پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی. دانشکده ادبیات و علوم انسانی، استاد راهنما: غلامرضا کریمیان، استاد مشاور: حمید ولی‌پور (منتشر نشده)
- شیرزاد، غلام؛ کاکا، غفور؛ و محمدی، منیره، ۱۳۹۱، «تجارت سنگ لاجورد و نقش آن در توسعه استقرارهای شرق ایران طی هزاره‌های چهارم و سوم ق.م.»، *فصلنامه تخصص باستان‌شناسی ایران*، دانشگاه آزاد واحد شوشتر، صص: ۸۵-۱۰۷.
- عباس‌نژاد سرستی، رحمت؛ و مجتبیایی ثبوتی، رقیه، ۱۳۹۴، «باستان‌شناسی پیش از تاریخ، ظرفیت‌ها، محدودیت‌ها، راه کارها»، *مجموعه مقالات دومین همایش ملی باستان‌شناسی ایران*، مشهد، صص: ۱۲۵-۱۲۰.
- غیبی، مهرآسا، ۱۳۹۱، *۳۵۰۰ سال تاریخ زیورآلات اقوام ایرانی*، تهران: انتشارات هیرمند.

- فوکایی، شینجی، ۱۳۷۱، *شیشه ایرانی، شیشه گر، آرمان (مترجم)*. تهران: مرکز میراث فرهنگی استان تهران.
- محمدی فر، یعقوب؛ و عرب، احمدعلی، ۱۳۹۲، «مطالعه‌ی ترکیب سفال کلینکی دوره‌ی اشکانی منطقه‌ی همدان با استفاده از سه روش: PIXE, XRF, XRD با هدف تعیین میزان تشابه و تمایز»، *فصلنامه‌ی پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*، شماره‌ی ۴، دوره‌ی سوم، صص: ۵۷-۷۶.
- هرمان، جورجینا؛ موری، پی، آر، ۱۳۸۵، «باستان‌شناسی لاجورد»، ترجمه‌ی ناصر نوروززاده چگینی، *دوفصلنامه باستان‌پژوهی*، ص: ۶۹.
- نفیسی، نوشین، ۱۳۷۶، «آویز شیشه‌ای با چهره هوم بابا از مجموعه رضا عباسی-تهران»، *یادنامه گردهمایی باستان‌شناسی-شوش*، ۲۵-۲۸ فروردین ماه ۱۳۷۳، شوش، ص: ۴۳۷.

- Neill, J. P. (ed.), 2003, *Art of the first cities*, The Metropolitan Museum of Art. New York: 98.
- Bagherpour Kashani, N., 2014, "Studies Ancient Depositional Practices and Related Jewellery Finds Based on the Discoveries at Veshnaveh", *Inaugural Dissertation for the award of degree of Doctor of philosophy in the Faculty of History of the Ruhr-University Bochum*: 232-235.
- Brill, R. H., 1999, *Chemical analyses of early glasses*, Vols I and II, Corning museum of Glass, New York.
- Calligaro, T., 2014, "Characterization of the lapis lazuli from the Egyptian treasure of Tod and hts alteration using external PIXE and IBIL", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B318*: 139-144.
- Delamare, F., 2013, "Blue Pigments, 5000 years of Art and Industry", Y. Rouchaleau (translated), *Archetype publications*. 42-45.
- Fleming, S. A.; Bedal, L. A. & Swann, C. P., 1993, "Glassmaking at Geoy Tepe during the early 2nd millennium BC", A Study of blue colorants using PIXE spectrometry". *proceedings.CAA conference*. 199.
- Forbes J. R., 1955, *Studies in Ancient Technology* 3: 216.
- Hatton, G. D., Shortland, A. J. & Tite, M. S., 2008, "The production technology of Egyptian blue and green frits from second millennium BC Egypt and Mesopotamia", *Journal of Archeological Science*, 35: 1591-1604.
- Johansson, Sven, A. E., & Campbell, John L., 1988, "PIXE: A Novel Technique for Elemental Analysis", *Wiley*, 234.
- Janssens, K., Van Grieken, 2004, "Comprehensive Analytical chemistry", *Elsevier*, Vol.42: 663-711,.
- Karklins, K., 2016, "Researching the world's beads: An annotated bibliography, Middle East", *Society of bead researchers*, 1-68.
- McGovern, P.E., Fleming, S.J. & Swann, C.P., 1991, "The beads from Tomb B10a B27 at Dinkha tepe and the beginning of Glassmaking in the Ancient Near east", *American Journal of Archaeology*, vol.95, No3: 395-409.
- Moorey, P. R. S. 1999, *Ancient Mesopotamian Materials and Industries*, Oxford University press: 28-32.

- Negahban, E.O., 1996, *Marlik, the complete Excavation Report*, Vol: 1, The university museum, university of Pennsylvania, Philadelphia: 177.
- Pelesters, J., 1997, "Artists' Pigments, A Handbook of their History and Characteristics", Ashok Roy (ed.), *National Gallery of Art and Oxford University Press*: Washington, DC, Oxford University Press, vol 2: 37-98.
- Riederer, J., 1997, "Artists' Pigments". *A Handbook of their History and Characteristics*, Fitzhugh, E. W. (ed.), Oxford University Press, vol: 3: 23-45.
- Sayre, E. V. & Smith, R. W., 1961, "Compositional categories of ancient glass", *Science*, 133: 1824-6.
- Stodulski, L.; Farrell, E. & Newman, R., 1984. "Identification of Ancient Persian Pigments from Persepolis and Pasargadae", *Studies in Conservation*. 29: 143-154.