



Analysis of the Mortar of Early Islamic Era on Tomb Towers and Castles of Eastern Mazandaran by XRD Method

Shahin Mahyar¹ & Bahman Firouzmani Shirehjini² & Hayedeh Khamseh³
(189-209)

After the political collapse of the Sassanid Empire, a kind of national resistance against the Arabs came into being. Tabaristan was one of those areas that the invading tribes did not have a good chance of reaching due to its special geographical location. Inscriptions in the Pahlavi language indicates that until the fourth century AH in some areas of Tabaristan, this language was trusted and can be a sign of a cultural resistance of the people of this land against the Arab invasion. According to this, The hypothesis of this research is that the study of mortar of the remaining buildings related to the early Islamic period and its comparison with the Sassanid period mortar can show the evolution of the mortar structure up to several centuries after the collapse of the previous system of government. The selection of Mazandaran as the spatial territory of this research is for the existence of three tomb towers (Figure1,2) that were built in the fourth century AH and have two common elements, which are the structure of brick and mortar with Kufic and Pahlavi inscriptions. Apart from these towers which are located in the east of present-day Mazandaran, there are many castles (Table2) in these areas that a comparative study of their mortar structure can be helpful in achieving the goal of this research. The purpose of this study is to find the answer to the question whether after the fall of the Sassanid Empire and the disruption of the long-standing political order of Iran, there has been a change in the technology of mortar production and how long and in which parts of Iran this can be done. We assume that the land of Tabaristan, as mentioned before, can be a good place to seek this technical transformation. The laboratory method selected for the study is called XRD analysis method. In the case of mortars and mineral powders, the XRD method is a reliable method. The XRD method is also effective for different granulations, as all the minerals in the mortar show an X-ray scattering pattern that is easily detectable in phase detection software. If you need quantitative analysis of mortar, you should use complementary methods of elemental analysis such as "SEM" or even XRF method, which is not the purpose of this study; This is because the same quantitative standard was not used to make mortar in different geographical areas, and only the method of construction was the same over time, which changed over time, depending on the needs of the architects. The hardening of the mortar and its adhesiveness

doi
10.22059/jarcs.2020.289501.14.2641
Online ISSN: 2251-9297 Print ISSN: 2676-4288-
<https://jarcs.ut.ac.ir>

Received: 28 October, 2018; Accepted: 10 June, 2021

1. Ph.D. Candidate of Archeology, Department of History & Archaeology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Corresponding Author Email: bahman.firuzmandy@gmail.com
Professor, Department of Archaeology, Tehran University, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor, Department of History & Archaeology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

depend on the reabsorption of the initial crystallization water of the raw mortar. Therefore, the use of any organic matter, whether plant material, or food additives such as egg white or egg yolk, etc., has no effect on the chemical structure of the mortar and does not help it to harden and stick. As a result, the use of organic matter detection methods such as "Chromatography", UV and IR spectroscopy, etc. will not be effective in this study. According to the analysis (Table3), it can be said that in general, the mortar of all three tomb towers, like most Sassanid structures, is a mortar of gypsum. Among the mortar samples of the studied castles in East Mazandaran (Table4), the predominant phase with the composition of "gypsum" has been identified only in the samples of "Hammam Kojoor Castle", "Varazan Noor Castle" and "Kanglo Castle". Also in all the samples in which the "gypsum" composition forms the leading phase, we encounter the "dolomite" or "calcite" phase together with the "quartz" phases with different crystal shapes, which are reminiscent of the same structure of Sassanid mortars. Copper-based sulfur compounds from natural copper ores and Aluminum silicate compounds in some samples are also due to natural impurities in the raw ore. Due to the phase diagrams and the number of phase adaptations, it is not possible to confirm the manual addition of sand or clay to the gypsum mortar in these samples. The results of XRD studies by the author on samples of raw gypsum (Table5), clay and sand stones (Table6) indicate that at least throughout the Sassanid era, the predominant mortar used in the construction of castles, palaces and Fire temples was gypsum mortar, which according to special heating conditions, the composition of calcite remains in the mortar and this has caused the stability of this mortar. But due to the fall of the empire, still in the early Islamic period, we see the use of the same gypsum mortar in the eastern regions of Mazandaran. Considering the date of construction of Sassanid tombs and castles such as "Kanglo Castle", and the similarity of mortar composition of all these samples, it can be concluded that the method of processing, heating and baking gypsum has not changed from the Sassanid period to at least 400 years later in Mazandaran. It seems that the structure of the mortar, in order to reach the next more resistant mortars, goes through a transitional period, the evidence of which can be found in the mortar used in the three tombs of the fourth century AH in East Mazandaran.

Keywords: Phase, Mortar, Gypsum, Calcite, XRD.

بررسی ساختار ملات اوایل دوره اسلامی بر اساس نمونه‌های برج‌های آرامگاهی و

قلعه‌های شرق مازندران با روش XRD

شاهین ماهیار

دانشجوی دکتری رشته باستان‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

بهمن فیروزمندی شیره‌جینی^۱

استاد گروه باستان‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

هایده خمسه

استادیار گروه باستان‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۰

چکیده

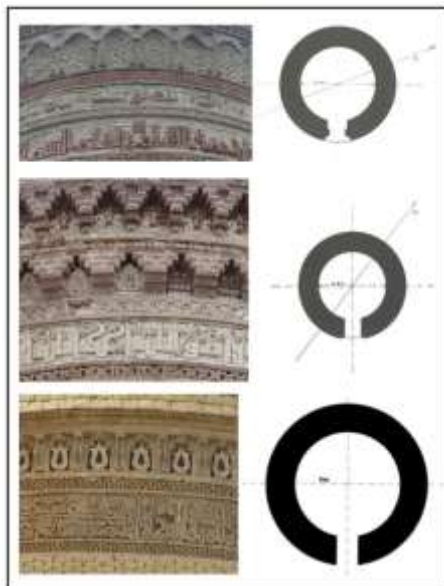
با توجه به شواهد آزمایشگاهی به دست آمده در این پژوهش، دو ترکیب «ژپس و کلسیت» یا «ژپس و دولومیت» در فاز غالب، به همراه «کوارتز» در اشکال مختلف بلورین و سولفیدهای چندگانه فلزی و ترکیبات سیلیکاته در فازهای کم اهمیت‌تر، ساختار کلی ملات در نمونه‌های مختلف جغرافیایی مربوط به دوره ساسانی را تشکیل می‌دهند. در این بررسی، آنالیز ملات قلعه‌های شاخص شرق مازندران و برج مقبره‌های سه‌گانه «لاجیم»، «رسکت» و «رادکان» غربی با روش XRD مد نظر قرار گرفتند. هر سه این برج‌ها در قرن چهارم هجری ساخته شده‌اند اما در مورد تاریخ ساخت غالب قلعه‌ها اطلاعات دقیقی در میان نیست. با توجه به زمان ساخت دقیق برج مقبره‌ها و مشابهت ترکیب ملات آن‌ها با قلعه‌های ورازان، حمام و کنگلو از یکسو و تشابه این ساختار با نمونه ملات‌های شاخص دوره ساسانی از سوی دیگر، می‌توان فرآیند تهیه ملات از سنگ گچ خام از دوره ساسانی تا اوایل دوران اسلامی در مازندران را بدون تغییر دانست و این نمونه‌ها را به دوران گذار به سوی استفاده از ملات‌های جدیدتر منتسب کرد. آنالیز نمونه‌های بسیاری از قلعه‌های مورد بررسی، حاکی از استفاده از ملات‌های آهکی است که در دورانی جدیدتر به کار گرفته شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: فاز، ملات، ژپس، کلسیت، XRD.

۱. مقدمه

ملات، به عنوان یکی از شاخص‌های پیشرفت فناوری در جوامع باستانی شناخته می‌شود و به نظر می‌رسد به‌کارگیری گل رس، گام نخست در استفاده از ملات برای ساخت بناهای کوچک بوده است. گام بعدی، دستیابی معماران باستان، به فناوری پخت سنگ‌های «گچ» و «آهک» خام بود که در پی آن استفاده از ملات‌های بادوام بالاتر رایج گردید (حامی، ۱۳۹۳: ۸۰). در پهنه ایران دوره ساسانی، معماری بر دو محور استفاده از «ملات» و فناوری‌های نوین «طاق‌زنی» استوار بود. استفاده از «آجر» و «ملات» در دوره اشکانی نیز رایج بوده است، اما در نهایت استفاده از این دو عنصر با کیفیت بالا، به صورت شاخصی از معماری عصر ساسانی قرار گرفت (Wulff, 1966: 102). در قرون اولیه دوران اسلامی و پس از گذار از هرج‌ومرج سیاسی رخ داده در پی سقوط امپراتوری ساسانی، شاهد گذار تدریجی به سوی استفاده از فناوری‌های بهتر در تولید ملات‌های با دوام‌تر هستیم. این ملات‌ها ساختاری شبیه به ملات «سیمان» دارند که امروزه به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر این اساس و به منظور مطالعه ساختار ملات در اوایل دوران اسلامی و بررسی سیر انتقال

فناوری ساخت ملات از دوران ساسانی، سه برج مقبره معروف مازندران با نام‌های «برج لاجیم» سوادکوه، «برج رادکان» کردکوی و «برج رسکت» دودانگه ساری انتخاب شدند. علت انتخاب این سه بنا، وجود دو عنصر مشترک در آن‌ها است که عبارت از «تاریخ ساخت» نزدیک به هم (قرن چهارم هجری) و وجود «کتیبه‌های کوفی و پهلوی» است (نیستانی، ۱۳۸۵: ۱۰۶-۱۰۵). فرم ساختاری این سه برج مقبره نیز کاملاً مشابه است و در هر سه مورد، کتیبه آجری با انواع خطوط کوفی در محل رسیدن بدنه به لبه گنبد، دیده می‌شود. کتیبه، معمولاً شامل آیات قرآنی، نام شخص مدفون، سازنده و تاریخ ساخت بنا است (پیرزاد، ۱۳۹۲: ۲) (تصویر ۱).



تصویر ۱: نمایی از کتیبه‌ها و مقطع ترسیمی از برج مقبره‌ها، به ترتیب از بالا به پایین: برج لاجیم، برج رسکت و برج رادکان.

Figure 1: View of the inscriptions and drawing section of the tomb towers, from top to bottom: Lajim tower, Reskat tower and Radkan tower, respectively.

در جدول ۱ مشخصات فیزیکی و ثبتی سه برج مقبره معروف قرن چهارم در مازندران آورده شده است:

جدول ۱: مشخصات فیزیکی و ثبتی سه برج مقبره مازندران.

Table 1: Physical and registration characteristics of three tomb towers of Mazandaran.

نام برج مقبره	شماره ثبت ملی	نام شخص مدفون (بر اساس کتیبه)	تاریخ ساخت (هجری قمری)	قطر داخلی بدنه برج (متر)	ارتفاع (متر)	تاریخ ثبت (شمسی)
لاجیم	۱۸۵	کیا ابوالفوارس شهریار	۴۱۳	۵/۵	۱۸	۱۳۱۱
رسکت	۱۹۳	نامشخص	۴۰۰	۴/۵	۱۵	۱۳۱۲
رادکان	۱۴۵	اسپهبد محمد بن وندار بن باوند	۴۱۱	۶	۲۵	۱۳۱۰

در نقشه زیر نیز محل قرارگیری و مختصات دقیق جغرافیایی این سه برج مقبره در شرق مازندران به نمایش درآمده است. (تصویر ۲)



تصویر ۲: محل قرارگیری سه برج مقبره در استان‌های مازندران و گلستان امروز.

(مأخذ: وبسایت Mapquest بازبایی شده در تاریخ ۲۱ دی ۱۳۹۶)

Figure2: Location of three tomb towers in Mazandaran and Golestan provinces today.

(Source: Mapquest.com)

وجود کتیبه‌هایی به زبان پهلوی حاکی از این است که در قرن چهارم هجری در مناطقی از تبرستان، این زبان مورد وثوق بوده است و می‌تواند نشان از نوعی مقاومت فرهنگی مردمان این خطه در برابر حمله تازیان باشد. اقوام مهاجم در دستیابی به این مناطق کوهستانی، به علت موقعیت خاص جغرافیایی، از اقبال خوبی برخوردار نبودند. پیامد استقلال نسبی مردمان این سامان، ظهور حکام محلی پرشمار بود که هم‌زمان بر بخش‌های مختلف این سرزمین حکمرانی می‌کردند. حکمرانی این پادشاهان محلی، در سایه نبردهای گاه و بیگاه دوره‌ای قرار داشت و از این رو مجالی برای ایجاد بناهای باشکوه به ایشان نمی‌داد. در نتیجه، می‌توان شاهد ظهور بیشترین استقرارها در دژهای مستحکم کوهستانی بود (عنایتی، ۱۳۸۵: ۲۶). با توجه به این نکته، تنها ساختارهای تاریخی اوایل دوره اسلامی که دارای عناصر فرهنگی و فناوریانه مربوط به آن دوران هستند، در «قلعه» ها و «برج مقبره»های این سامان به چشم می‌خورند. شواهد سفالی به‌جای مانده نیز ادعای مزبور را تأیید می‌کنند (عابدینی: ۱۳۸۵ و سورتیجی: ۱۳۸۱). تاکنون اطلاعات موثقی مبنی بر یافت شدن بقایایی از «نیایشگاه‌های آتش» دوره ساسانی و هم‌چنین «کاخ»ها و ابنیه باشکوه، در دیار تبرستان گزارش نشده است. در مورد «پل»های به‌جای مانده تاریخی مازندران هم شبهه فراوان در مورد تاریخ ساخت آن‌ها مطرح است. اگر ساخت پلی به دوره ساسانی منتسب است، عملاً در طول زمان و با توجه به فرسایش آبی بسیار بالا و مرمت‌های مکرر، ملات تاریخی اصلی از بین رفته و غیر قابل دسترسی است. این امر در مورد قلعه‌ها صادق

نیست چراکه در صورت استقرارهای بعدی، مرمت چندانی در آن‌ها صورت نگرفته و یا در صورت بازسازی، بخش‌های اصلی قابل تشخیص‌اند و غالباً مدت‌های طولانی به صورت متروک باقی مانده‌اند. به این ترتیب برج مقبره‌های «رسکت»، «لاجیم» و «رادکان» غربی به عنوان بناهایی با تاریخ ساخت مشخص (قرن چهارم هجری) و قلعه‌های شرق مازندران برای بُعد مکانی این پژوهش مد نظر قرار گرفتند. (تصویر ۳ و جدول ۲). آخرین نمونه‌های ملات‌های گچی در مازندران، به عنوان سرزمینی که از نظر تاریخی دیرتر از سایر بخش‌های ایران پذیرای تحولات سیاسی و به تبع آن تحولات فناوریانه گردید، در برج مقبره‌های شاخص آن به‌جای مانده است. هم‌چنین در تعدادی از قلعه‌های شرقی این سامان، رد پای ملات گچی کهن به چشم می‌خورد، هر چند این تعداد نمونه‌ها با توجه به شواهد باستان‌شناختی، بسیار اندک هستند. هدف انجام این پژوهش، یافتن پاسخ این سؤال است که آیا پس از سقوط امپراتوری ساسانی و برهم خوردن نظم سیاسی دیرپای ایران، تغییری در فناوری ساخت و تولید ملات به وجود آمده است و این‌که تا چه زمانی و در کدام بخش‌های سرزمینی ایران می‌توان این رد پای تغییرات را جستجو کرد. فرض ما بر این است که سرزمین تبرستان با توجه به آنچه که پیشتر گفته آمد، می‌تواند مکان خوبی برای جستجوی این تحول فنی باشد.



تصویر ۳: موقعیت تقریبی قلعه‌های مورد مطالعه بر روی نقشه ماهواره‌ای.

(مأخذ: وب‌سایت Mapquest بازیابی شده در تاریخ ۲۱ دی ۱۳۹۶)

Figure3: Approximate location of the studied castles on a satellite map.
(Source: Mapquest.com)

جدول ۲: مشخصات و موقعیت قرارگیری قلعه‌ها (بر اساس Google Earth).

Table2: Profiles and locations of castles. (based on Google Earth)

ردیف	نام اثر	موقعیت	N	E
۱	قلعه کنگلو	سوادکوه، روستای کنگلو	35.5602	53.0918
۲	قلعه حمام کجور	نوشهر، روستای کجور	36.3308	51.1215
۳	قلعه ورازان نور	نور، روستای ورزن	36.1559	51.4731
۴	قلعه دوش اجارستاق	ساری، کلیجان‌رستاق، روستای اجارستاق	36.7546	53.3545
۵	قلعه گوش دروپی	ساری، کلیجان‌رستاق، روستای دروپی	36.2649	53.0846
۶	قلعه سرخ گریوه	بهشهر، روستای سرخ گریوه	36.3346	54.0314
۷	قلعه دوش کلاخیل	ساری، کلیجان‌رستاق، روستای کلاخیل	36.8240	53.1343
۸	قلعه نرگسی	بهشهر، روستای آسیابسر	36.3213	53.0544
۹	قلعه اوچ موج مولی	ساری، دودانگه، روستای مولا	36.1122	53.2038
۱۰	قلعه کمرپشت	سوادکوه، روستای کمرپشت	36.0010	53.0306
۱۱	قلعه کتی	بابل، روستای ابوالحسن کلا	36.2217	52.3759
۱۲	قلعه پایان	گلوگاه، روستای قلعه پایان	36.4241	53.4005
۱۳	سیاوش قلعه کوات	ساری، چهاردانگه، روستای کوات	36.1634	53.4859
۱۴	قلعه دوک خانسر	نکا، روستای خانسر	36.3809	53.2253
۱۵	قلعه گوش بالاده	ساری، چهاردانگه، روستای بالاده	36.0855	53.3703
۱۶	قلعه گوش کلکوچال	ساری، کلیجان‌رستاق، روستای کلکوچال	36.2619	53.1529

۲. پیشینه پژوهش

«ملات گچ»، قدیمی‌ترین ملات با دوام بوده که توسط معماران در روزگاران کهن به کار رفته است. ویژگی خاص این ملات، در وفور سنگ معدن، فرآوری آسان‌تر در مراحل پخت سنگ گچ خام و خاصیت چسبندگی مناسب و دوام قابل قبول آن خلاصه می‌شود (کباری، ۱۳۹۰: ۹). در ملات‌های گچی، ترکیب سنگ گچ، عمدتاً دارای «ژئوپس»^۱ است و برای استفاده از آن در کارهای ساختمانی باید در کوره پخته شود. ملات، به عنوان یک عنصر فناورانه در طول زمان و حسب کارایی که از آن انتظار می‌رفت، دچار تحول گردید. یکی از قدیمی‌ترین موارد استفاده از «ملات گچ» در فلات ایران، مربوط به دوره «ایلومی» (ایلوم میانه از ۱۲۰۰-۱۵۰۰ ق.م) و آرامگاه «تپتی آهار» است. یافته‌های آنالیز XRD بر روی نمونه‌های ملات آن، ساختار گچی را برای این بنا به اثبات می‌رساند (شکفته و همکاران ۱۳۸۷: ۷۸-۷۱). اعتقاد بر این است که معماری ساسانی، بر پایه

1. Gypsum

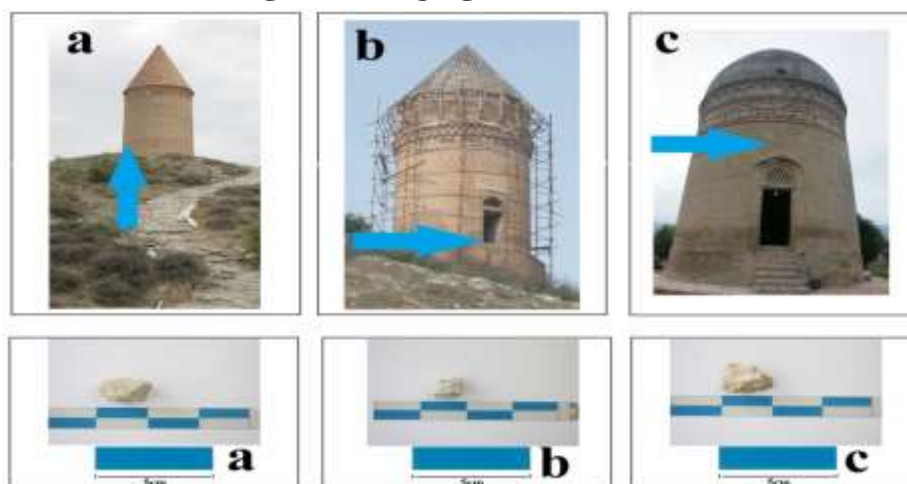
معماری مناطق مرکزی و شرقی فلات ایران شکل گرفته که مناطقی گرم و خشک محسوب می‌شوند. از این‌رو «ملات گچ» که در این نقاط در پاسخ به خشکی هوا و آفتاب زیاد به کار می‌رفت، تبدیل به یک عنصر اساسی در این شیوه معماری گردید (Nassiri Ansari, 1971:121-122). آنالیز XRD چند نمونه ملات متفاوت از نمونه‌هایی از تپه شادیاخ نیشابور (دوره طاهری-سلجوقی) و کوه خواجه سیستان (دوره اشکانی - ساسانی)، (میش‌مست، ۱۳۹۴)، ملات تاق «پل گاو میشان» لرستان (محمودوندی و مصطفی نژادی، ۱۳۹۱)، ملات تالار تشریفات و ایوان موزاییک «شهر بیشاپور» (حسین پور، ۱۳۸۹)، نمونه ملات «آتشکده آذر بُرزین مهر» سبزواری (Valaei Valaei, 2011:164-166) و ملات بخش‌های فوقانی پایه‌های پل معروف به «مهرنرسه» در تنگاب فیروزآباد (Valaei Valaei, 2011:1389)، نشان‌دهنده حضور ملات‌هایی از جنس گچ است. آنالیز XRD را می‌توان پس از انحلال ملات در آب و بر روی بخش نامحلول به جای مانده نیز انجام داد (Alvarez et al. 2000). مزیت این روش نیز در انجام همزمان روش‌های جداسازی شیمیایی و «اسپکتروسکوپی» غیر مخرب است. در قرون اولیه دوران اسلامی، با توجه به تکامل روش‌های قدیمی‌تر ساخت ملات، رفته‌رفته شاهد گذار به ملات‌های جدیدتر هستیم که دیگر ملات گچی نبوده و ترکیبی نزدیک به سیمان‌های امروزی دارند.

۳. مواد و روش‌ها

آنالیز XRD، در شناسایی فازهای تشکیل دهنده مواد معدنی، بر اساس پراکنش اشعه X، در برخورد به ساختار بلورین کانی‌ها استوار است (Agarwal, 1991:195). اشعه X در برخورد به مواد معدنی، خواص منحصربه‌فردی از خود بروز می‌دهد. برای شناسایی عناصر با عدد اتمی بالاتر (عناصر سنگین) از خاصیت «فلوئورسانس» آن استفاده می‌شود^۱، هر چند در مورد عناصر با عدد اتمی کمتر از ۱۱ دچار خطا می‌گردد. برای برخی آنالیزهای کمی از همین خاصیت اشعه X، بهره‌برداری می‌گردد که در آن، نمونه در محیط خلأ با پروتون‌های پرتوئی بمباران می‌گردد^۲ (هادیان دهکردی، ۱۳۹۴: ۱۷۷). مزیت استفاده از اشعه X برای شناسایی کمی و کیفی مواد معدنی، دقت خوب و آسیب نرسیدن به اصل نمونه است^۳. در مورد ملات‌ها و مواد پودری معدنی، روش XRD به خاطر به روز بودن و جامعیت بانک اطلاعاتی نرم‌افزار تشخیص فازی، روشی قابل اعتماد به شمار می‌رود (Malainey, 2011:479). آنالیز تقریباً با ۲۰ میلی‌گرم از نمونه پودری بر روی صفحه شیشه‌ای نمونه‌گیر صورت می‌گیرد. این نمونه کاملاً سابیده شده و در نمونه‌گیر دستگاه به صورت لایه‌ای نازک قرار می‌گیرد (Pollard, et al. 2007,115). در مورد دانه‌بندی‌های متفاوت نیز روش XRD کارآمد است، چون همه کانی‌های متشکله ملات، از خود الگوی پراکندگی در مقابل اشعه X نشان می‌دهند که در نرم‌افزار تشخیص فازی به راحتی قابل تشخیص است (Malainey, 2011:481). در صورت نیاز به آنالیز کمی ملات، باید از روش‌های مکمل آنالیز عنصری نظیر «SEM»^۴ و یا حتی روش XRF بهره برد که مد نظر این پژوهش نیست؛ چراکه در ساخت ملات در مناطق جغرافیایی مختلف، استاندارد کمی یکسانی به کار برده نمی‌شد و صرفاً روش ساخت در طول زمان یکسان بود که آن هم به مرور، بسته به نیاز معماران دچار تغییر و تحول گشت. سفت شدن ملات و خاصیت چسبندگی آن، به جذب مجدد آب تبلور اولیه ملات خام وابسته

-
1. XRF: X-ray Fluorescence
 2. PIXE: Proton Induced X-Ray Emission
 3. Non-Destructive
 4. Scanning Electron Microscope

است. از این رو استفاده از هر گونه مواد آلی، اعم از مواد گیاهی، یا افزونه‌های خوراکی نظیر سفیده یا زرده تخم‌مرغ و غیر آن، تأثیری در ساختار شیمیایی ملات ندارد و کمکی به سخت‌تر شدن و چسبندگی آن نمی‌کند (حامی، ۱۳۹۳: ۸۰). در نتیجه، بهره‌گیری از روش‌های تشخیص مواد آلی نظیر «کروماتوگرافی»^۱ و «اسپکتروسکوپی فرابنفش»^۲ و «فرو سرخ»^۳ و ... در این پژوهش کارساز نخواهد بود. در تحقیق پیش رو، نمونه‌ها از الک ۸ اینچی از جنس استیل با قطر ۳۷ میکرون (Mesh 400) عبور داده شده‌اند. همه نمونه‌برداری‌ها به صورت دستی و با استفاده از یک اسکنه نیم‌گرد با دهانه ۱٫۵ سانتیمتر صورت گرفته است. این ابعاد دهانه به علاوه جنس فولادی ابزار، هم در جدا شدن ملات مؤثر واقع می‌شود و هم می‌تواند از ورود ناخالصی از طریق ابزار به نمونه‌ها جلوگیری کند. با توجه به گزارش‌های سازمان میراث فرهنگی مازندران درباره مرمت و بررسی‌های دقیق برج مقبره‌ها (عنایتی، ۱۳۸۵)، (وفایی، ۱۳۸۵) و (عابدینی، ۱۳۸۵)، تعداد ۳ نمونه از هر سازه برداشت شد (تصویر ۴). نمونه‌های برج لاجیم پیش از عملیات مرمتی از گنبد گرفته شد و در مورد برج‌های «رسکت» و «رادکان» از نقاط مختلف بدنه برج برداشت گردید که طبق نظر کارشناسان مرمت و گزارش‌های موجود در این زمینه، نمونه‌های ملات اصلی برج‌ها به شمار می‌روند.



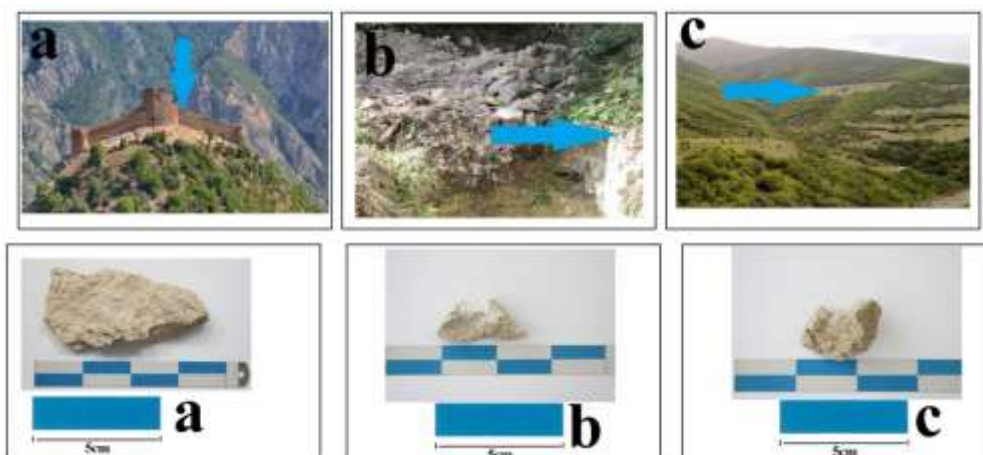
تصویر ۴: نمونه‌های مربوط به برج مقبره‌ها و تصویر محل‌های نمونه‌گیری (a: برج رادکان-b: برج رسکت-c: برج لاجیم).

Figure 4: Samples of tomb towers and images of sampling sites: (a: Radkan tower-b: Reskat tower-c: Lajim tower)

هم‌چنین به منظور مقایسه و شناخت ترکیب ملات‌های هم‌عصر در استان مازندران، تعداد ۳۲ نمونه (هر سازه تعداد دو نمونه) از قلعه‌های شرق مازندران برداشت گردید. علت انتخاب سازه‌های شرقی، تراکم بالاتر این بناها در شرق استان بود؛ هر چند حسب فهرست تهیه‌شده در اداره میراث فرهنگی مازندران برای قلعه‌های ثبت‌شده، تعداد اسامی بسیاری به چشم می‌خورد که امروزه عملاً از بین رفته و در بهترین شرایط فقط بقایایی کمی از دیوارهای آن‌ها به‌جای مانده است.

1. Chromatography
2. UV Spectroscopy
3. IR Spectroscopy

نمونه ملات‌های مربوط به قلعه‌ها در دو گروه قابل طبقه‌بندی‌اند. یک گروه شامل نمونه‌های قلعه کنگلو، قلعه حمام کجور و قلعه ورازان نور است (تصویر ۵)

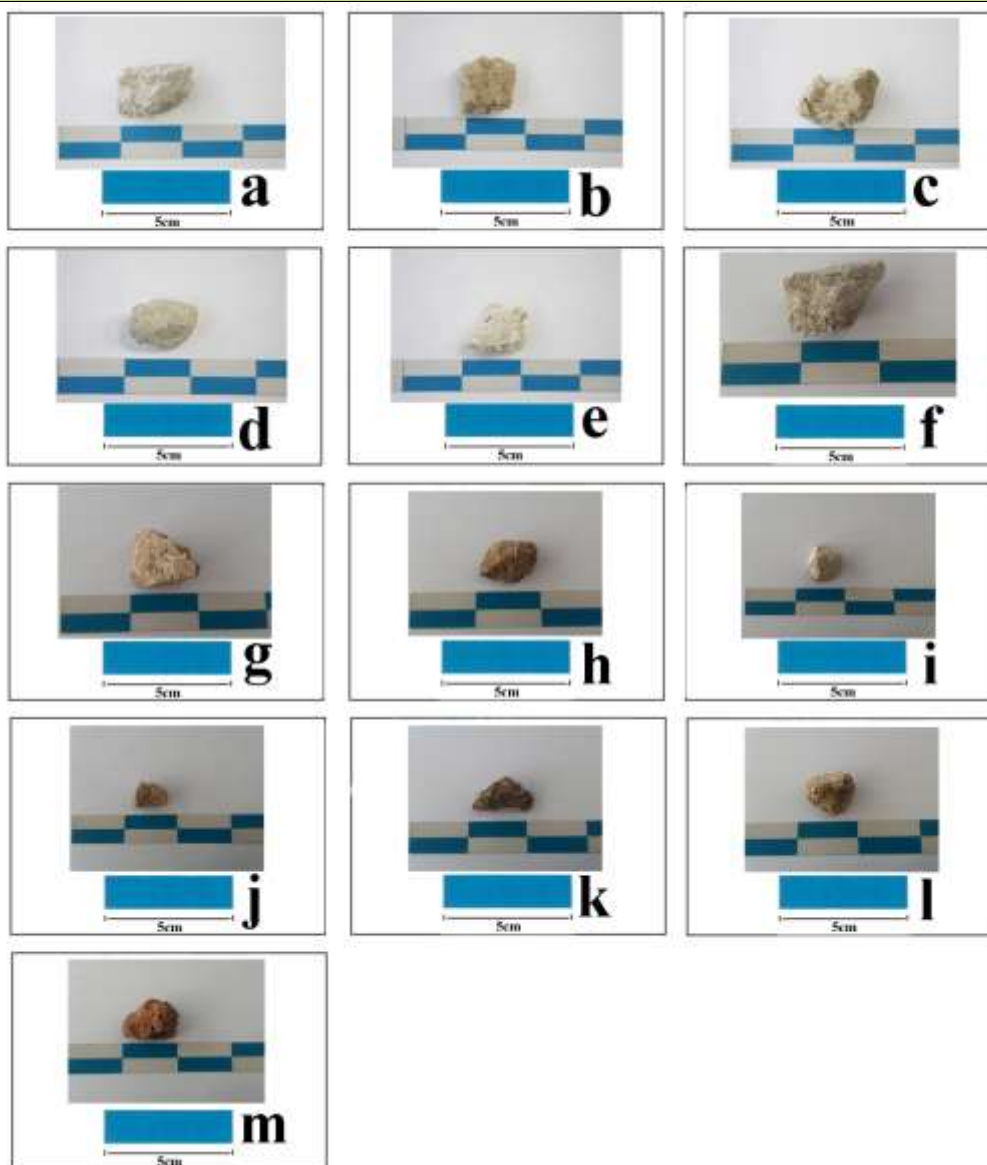


تصویر ۵: نمونه‌های مربوط به قلعه‌های گروه اول (a: قلعه کنگلو- b: قلعه حمام کجور- c: قلعه ورازان نور).

Figure5: Samples of castles of the first group (a: Kanglu Castle-b: Hamam Kojoor Castle-c: Varazan Castle)

در این گروه، ترکیب ملات از جنس «گچی» است. گروه دوم شامل ۱۳ قلعه بوده (تصویر ۶) که ترکیب ملات در آن‌ها «آهکی» است. تنها تعداد ۹ قلعه تا حدودی قابل تشخیص‌اند و بقیه سازه‌ها عملاً از میان رفته و تنها قطعات فروریخته دیوارها در محل قابل شناسایی است.

دستگاه مورد استفاده، دستگاه اندازه‌گیری و ثبت نمودار پراش اشعه ایکس، مدل 3003 PTS با نام SEIFERT با مولد تابش مس، با طول موج $1/54$ آنگستروم است. تفسیر فازی داده‌های خام حاصل از آنالیزهای این پژوهش با استفاده از نرم افزار (Xpert HighScore V.3) صورت گرفته است. بانک اطلاعاتی مورد استفاده نیز PDF2 نسخه 2011 میلادی و زاویه گردش (2) از 0 تا 90 درجه است. هم‌چنین تفسیر نتایج فازی با نگارنده بوده است؛ به این ترتیب که ابتدا با خطی سازی محور عمودی (Linear Y Axis) در نمودار خام مربوط به هر نمونه، پیک‌های بسیار کوچک را حذف کرده و نمودار را به شکل استاندارد نزدیک می‌کنیم. سپس با حذف K-Alpha2 از کل نمودار، پیک‌های به شکل «دو قله‌ای» را برای رسیدن به بهترین الگوی پراش به حداقل می‌رسانیم. با استفاده از گزینه «جستجو» در فاصله زاویه گردش (2) از 0 تا 90 تا حدود 30 پیک را با تنظیم‌های متوالی نرم افزار ثبت می‌کنیم. در نهایت با جستجوی بهترین انطباق (Match) و جای‌گذاری چندین باره کانی‌های پیشنهادی بر اساس امتیاز (Score) و فاکتور مقیاس (Scale Factor) تا یافتن انطباق همه پیک‌های جستجو شده، این کار را تکرار و سپس ثبت می‌نماییم.



تصویر ۶: نمونه‌های مربوط به قلعه‌های گروه دوم (a) قلعه دوش اجارستا، (b) قلعه گوش دروپی، (c) قلعه سرخ گریوه، (d) قلعه کلاخیل اجارستا، (e) قلعه نرگسی، (f) قلعه اوچ موج مولی، (g) قلعه کمربشت، (h) قلعه کتی، (I) قلعه پایان، (j) سیاوش قلعه، (k) قلعه دوک خانسر، (l) قلعه گوش بالاده، (m) قلعه کلقوچال

Figure6: Samples related to the castles of the second group: a) Doosh Ojarostaq castle, b) Goosh Darupey castle, c) Sorkh Geriveh castle, d) Kalakhey1 Ojarostaq castle, e) Nargesy castle, f) Uch Much Moly castle, g) Kamarposht castle, h) Katie castle, I) Payan Castle, j) Siavash Castle, k) Duke Khansar Castle, l) Goosh Baladeh Castle, m) Kalqoochal Castle

همان‌طور که ذکر شد، در مورد قلعه‌های نمونه‌برداری شده، در بیشتر موارد، از این قلعه‌های تاریخی اثری به جای نمانده است. در اثر مرور زمان و شرایط آب و هوایی مرطوب استان مازندران، از این قلعه‌ها اکثراً فقط بقایای دیوار و یا برج‌های نگهبانی آن باقی مانده است؛ اما همه این آثار ثبت شده‌اند و در مورد آن‌ها

بررسی‌های مقدماتی باستان‌شناسی در سالیان دور صورت گرفته است. از هر یک از ۱۶ قلعه مورد بررسی دو نمونه از نقاط مختلف دیوارها برداشت گردیده است.

۴. بحث

بر اساس نتایج به دست آمده از آنالیز ملات برج مقبره‌های سه‌گانه مازندران، می‌توان تشابهات زیادی را در ساختار ملات به کار گرفته شده در این سازه‌ها مشاهده کرد. فاز پیشرو در هر سه برج مقبره عبارت از «ژپس»^۱ است و در دو نمونه برج‌های «لاجیم» و «رسکت»، فاز «کلسیت»^۲ و همچنین در نمونه‌های «رسکت» و «رادکان»، فاز «کواسیت»^۳ از فازهای غالب می‌باشند (جدول ۳). در بررسی‌های به عمل آمده توسط نگارنده (ماهیار، ۱۳۹۰: ۸۳) روی ملات‌های ساسانی، کلیت فازهای این نمونه‌ها، ترکیبی از «ژپس»، «کلسیت» و فرم‌هایی از «کوارتز»^۴ مثل «کریستوبالیت»^۵، «کواسیت» و ... را از خود نشان می‌دهند. این تشابه ترکیب را می‌توان در میان نمونه‌های برج مقبره‌ها نیز مشاهده کرد. نتایج آنالیز در مورد هر سه نمونه گرفته شده از هر برج کاملاً همسان است.

جدول ۳: فازشناسی نمونه‌های برج مقبره‌های مازندران.

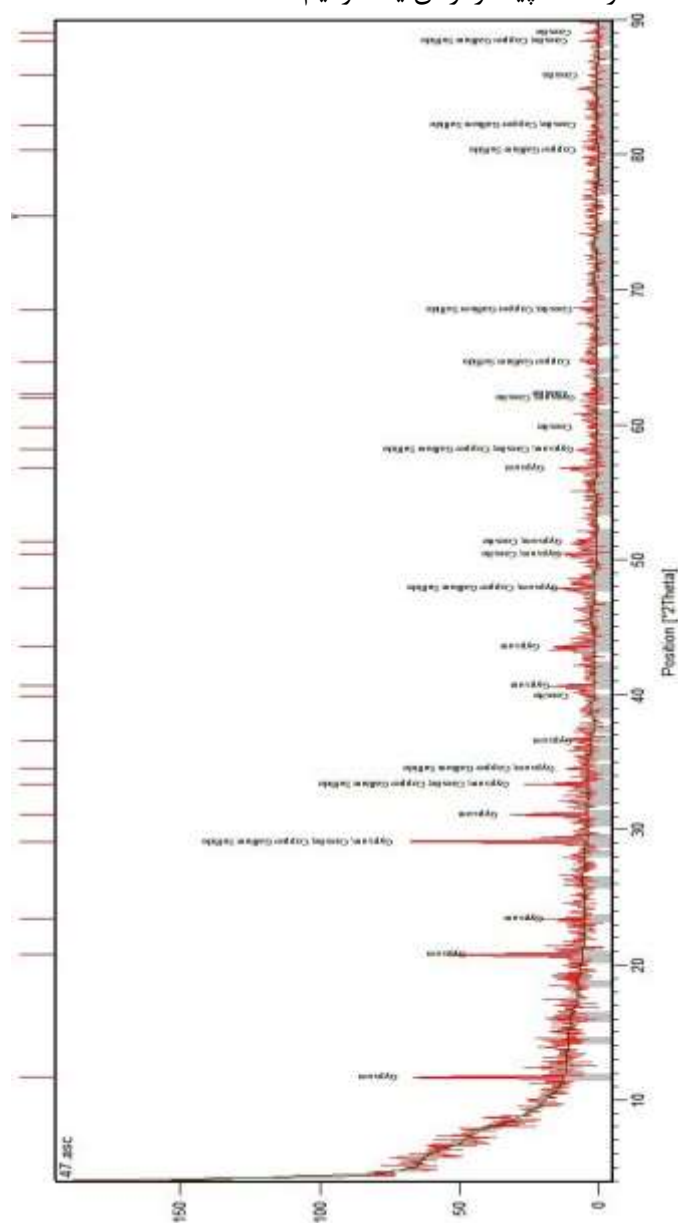
Table3: Mineral Phases of Mazandaran Tomb tower Samples.

نمونه	فازهای بلورین یافت شده
برج لاجیم	ژپس $\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ کلسیت $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ کواسیت SiO_2 رنیریت ^۶ $\text{Cu}_{9.36}(\text{Zn}_{0.8}\text{Cu}_{0.2})(\text{Ge}_{1.46}\text{As}_{0.16})\text{Fe}_{3.56}\text{S}_{16}$
برج رسکت	ژپس $\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ کلسیت $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ کواسیت SiO_2 ژپس $\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$
برج رادکان	کواسیت SiO_2 سولفید مس-گالیوم ^۷ Cu Ga S_2

ترکیب معدنی با پایه «مس» در یکی از فازهای نمونه رادکان دیده می‌شود. این ترکیبات بیشتر به صورت سولفیدهای چندگانه فلزی هستند که با عناصر «گالیوم» و «آهن» به شکل بلورین درمی‌آیند. به عنوان نمونه، طیف پراش اشعه X برای ملات برج مقبره رادکان در تصویر ۷ آمده است. سولفید مس - گالیوم یک ماده نیمه‌هادی با ساختاری بسیار شبیه ساختار بلورین کلکوپیریت (CuFeS_2 سولفید مس - آهن) است. به دلیل ساختار ویژه دارای میدان الکتریکی خاص بر روی محورهای فضایی در شکل بلورین است. ترکیبات سولفیدی مضاعف مس با عناصری مانند گالیوم^۸، آهن^۹ یا روی^{۱۰} از اشکال اولیه و مهم سنگ معدن مس به

1. Gypsum
2. Calcite
3. Coesite
4. Quartz
5. Cristobalite
6. Renierite
7. Copper Gallium Sulfide
8. CuGaS_2
9. CuFeS_2
10. CuZnS_2

شمار می‌روند که در طبیعت یافت می‌شوند و از هزاران سال پیش توسط انسان شناخته شده بودند. امروزه اگرچه از نظر غنای عنصر مس، این سنگ معدن چندان مهم محسوب نمی‌گردد اما وفور آن در طبیعت همواره امتیازی مهم برای استخراج آن محسوب می‌گردد. این سولفیدهای مضاعف مس به ویژه در سنگ‌های رسوبی بسیار دیده می‌شوند (Chang et al. 1997:460). از آنجا که عنصر مس به صورت خالص نیز در طبیعت یافت می‌شود، می‌تواند در اثر ترکیب با مواد معدنی سولفور و یا اسید سولفیدریک (H_2S) تبدیل به ساختارهای بلورین مضاعف گردد که پیشتر از آن یاد کردیم.



تصویر ۷: طیف پراش اشعه X برای ملات برج مقبره لاجیم.

Figure7: XRD Phase Diagram for Lajim tomb tower Mortar Sample.

بر این اساس می‌توان گفت در کل، ملات هر سه برج مقبره، همانند بیشینه سازه‌های ساسانی، ملاتی از جنس گچ است. در میان نمونه ملات‌های قلعه‌های مورد بررسی در شرق مازندران، فاز غالب با ترکیب «ژیپس» فقط در نمونه‌های «قلعه حمام کجور»، «قلعه ورازان نور» و «قلعه کنگلو» شناسایی شده است. همچنین در همه نمونه‌هایی که در آن‌ها ترکیب «ژیپس» فاز پیشرو را تشکیل داده، به فاز «دولومیت»^۱ یا «کلسیت» به همراه فازهای مربوط به «کوارتز» با اشکال بلوری مختلف، برمی‌خوریم که همان ساختار ملات‌های ساسانی را یادآور می‌شوند. در نمونه‌های قلعه‌ها و نمونه‌های برج مقبره‌ها تشابه ترکیب جالبی به چشم می‌خورد. در هر دو گروه، ترکیب «ژیپس-دولومیت» یا «ژیپس-کلسیت» مشترک بوده و فاز مهم «کوارتز» دارای تکرار بالاتری است (جدول ۴). لازم به ذکر است که طبق شواهد معماری و سفال‌شناسی، نمونه‌ای مثل «قلعه کنگلو» متعلق به دوره ساسانی است (سورتیجی، ۱۳۸۱: ۶۸) و نمونه‌های هر سه برج مقبره با توجه به کتیبه‌های موجود مربوط به حدود ۴۰۰ سال بعد است. همسانی ترکیب این نمونه‌های ملات حاکی از ادامه شیوه فرآوری و ساخت ملات از دوره ساسانی تا سده‌های بعدی است. پس از این زمان، ملات‌های آهکی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند که به ترکیبات سیمان‌های امروزی نزدیک‌ترند و نشان از تکامل شیوه‌های فناوریانه در پخت سنگ معدن دارد.

جدول ۴: فازشناسی نمونه‌های قلعه‌های مورد بررسی در شرق مازندران.

Table4: Mineral Phases of Mazandaran Castles Samples.

نمونه	فازهای بلورین یافت شده
قلعه کنگلو	ژیپس $Ca (SO_4)_2$ کوارتز SiO_2 دولومیت $Ca Mg (CO_3)_2$ کولوسیت ^۲ $Cu_{26}V_2 (As, Sn, Sb)_6S_3$
قلعه ورازان	ژیپس $Ca (SO_4)_2$ کلسیت $Ca (CO_3)$ دولومیت $Ca Mg (CO_3)_2$ کواسیت SiO_2
قلعه حمام	ژیپس $Ca (SO_4)_2$ کوارتز SiO_2 کلسیت $Ca (CO_3)$ کواسیت SiO_2
قلعه دوش اجارستاق	کلسیت $Ca (CO_3)$ کواسیت SiO_2 پورتلندیت ^۳ $Ca (OH)_2$
قلعه سرخ گریوه	کلسیت $Ca (CO_3)$ کوارتز SiO_2 برلینیت ^۴ $Al PO_4$
قلعه گوش درویی	کلسیت $Ca (CO_3)$ کریستوبالیت SiO_2

1. Dolomite
2. Colusite
3. Portlandite, syn
4. Berlinite ,syn

قلعه کلاخیل اجارستان	کلسیت $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ گرافیت C^1 کوارتز SiO_2 کلکوپیریت CuFeS_2-x^2
قلعه نرگسی	کلسیت $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ کواسیت SiO_2 سینریت $\text{Cu}_{1.4}\text{As}_{0.9}\text{S}_2^3$
قلعه کمریشت	کلسیت $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ آهک CaO^4 کواسیت SiO_2
قلعه اوچ موج مولی	کلسیت $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ مونت موریلونیت $\text{Na}_{0.3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}^5$ کولوسیت $\text{Cu}_{26}\text{V}_2(\text{As}, \text{Sn}, \text{Sb})_6\text{S}_3$
سیاوش قلعه	گرافیت C کلسیت $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ کوارتز SiO_2 مونت موریلونیت $\text{Na}_{0.3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
قلعه دوک	کوارتز SiO_2 کلسیت $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ کریستوبالیت SiO_2 هلویت $(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Zn})_4\text{Be}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{S}^6$
قلعه گوش بالاده	کلسیت $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ کوارتز SiO_2 کولوسیت $\text{Cu}_{26}\text{V}_2(\text{As}, \text{Sn}, \text{Sb})_6\text{S}_{32}$
قلعه پایان	کلکوپیریت CuFeS_2-x ترولیت FeS^7 کلسیت $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ کریستوبالیت SiO_2
قلعه گوش کلقوچال	کلیفتونیت C^8 کوارتز SiO_2 هلویت $(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Zn})_4\text{Be}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{S}$ برلینیت AlPO_4
قلعه کتی ابوالحسن کلا	کوارتز SiO_2 مونت موریلونیت $\text{Na}_{0.3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ هلویت $(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Zn})_4\text{Be}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{S}$

1. Graphite
2. Chalcopyrite
3. Sinnerite, syn
4. Lime
5. Montmorillonite-22A
6. Helvite
7. Troilite
8. Cliftonite

به طور جالب توجهی در نمونه‌های مربوط به قلعه‌هایی که فاز غالب در ملات آن‌ها ترکیب «کلسیت» است، ساختار ملات با سایر نمونه‌ها تشابه چندانی از خود نشان نمی‌دهد. لازم به ذکر است که در مورد هر سازه در این گروه دو نمونه متفاوت برداشت شده بود که در کلیت، نمودار فازی همسانی از خود نشان دادند و لذا در تحلیل کلی از نتایج، از یک نمونه استفاده شده است. در میان ۱۳ نمونه گروه دوم (سایر نمونه‌ها به جز سه نمونه اول جدول ۴، یعنی قلعه کنگلو، قلعه حمام و قلعه ورازان)، تنها دو نمونه «قلعه گوش کلقوچال» و «قلعه کتی» فاقد فاز کلسیت هستند و در عوض فازهای مربوط به «کوارتز» و «هلویت»^۱ در آن‌ها رخ می‌نماید. فاز «هلویت» به ترکیبی سولفیدی بازمی‌گردد (سولفید منگنز) که به صورت مضاعف با «سیلیکات برلیوم» به فرم بلورین در آمده است. ترکیب اخیر خاصیت چسبندگی دارد و به همراه ترکیب «مونت موریلونیت»^۲ ساختاری شبیه گل رس را به نمایش می‌گذارد که نشانگر ملاتی از جنس رس می‌تواند باشد. «مونت موریلونیت» در محیط‌هایی با PH بالا و الکترولیتی تشکیل می‌گردد. در طبیعت از سنگ‌های آذرین و هوازدگی خاکسترهای آتشفشانی در شرایط آب و هوایی خشک یا محیط نمکی ایجاد می‌گردد و متشکل از دو ساختار چهار وجهی^۳ سیلیکا^۴ است که یک ساختار آلومینا^۵ ی هشت‌وجهی^۶ را در بر گرفته است. ساختار بلورینی مشابه کانی «ساپونیت»^۷ دارد که در نمونه‌ای از سنگ گچ خام در همین پژوهش نیز مورد شناسایی قرار گرفته و فرم‌های هیدراته متفاوتی دارد که همین باعث ایجاد قابلیت جذب آب زیاد می‌گردد. در محیط‌های سرپسته نظیر غارهایی که ریزش آب در آن‌ها وجود دارد از انحلال ترکیبات متنوع آلومینوسیلیکات‌ها ایجاد می‌گردد. غلظت بالای یون «بی‌کربنات»^۸ و مدت زمان طولانی واکنش طبیعی آب در بستر غارها به تشکیل آن کمک شایانی می‌کند. در شرایط خشک قابلیت تبدیل به کانی «پلی گارسیکیت»^۹ و در محیط اسیدی به کانی «هالویسیت»^{۱۰} را دارا است. به همراه کانی «کلریت»^{۱۱} و «موسکوویت»^{۱۲} نیز در طبیعت یافت می‌شود و خاصیتی مانند خاک رس دارد. از آنجایی که ماده‌ای چسبناک است امروزه در گل حفاری برای کندن چاه‌های عمیق مورد استفاده قرار می‌گیرد و به خاطر همین خاصیت در ساخت‌وساز و آب‌بندی مورد استفاده فراوان دارد. در صورت مخلوط شدن با آهک^{۱۳} ماده چسبناک سختی ایجاد می‌کند که بسیار مقاوم است (Carol & Forti 1997:177).

در نمونه «قلعه پایان» هم‌فاز غالب، ترکیب «کلسیت» نیست؛ هر چند در فازهای جزئی‌تر آن می‌توان این ترکیب را به همراه «کوارتز» مشاهده کرد. فاز غالب این نمونه، «کلکوپیریت»^{۱۴} است که سولفید مضاعف «مس» و «آهن» است. در سایر نمونه‌های قلعه‌ها، یک ترکیب غالب فازی، شامل «کلسیت» و اشکال مختلف

- 1 . Helvite
- 2 . Montmorillonite
- 3 . Tetrahedral
- 4 . SiO₂
- 5 . Al₂O₃
- 6 . Octahedral
- 7 . Saponite
- 8 . HCO₃⁻
- 9 . Palygorskite) :Mg,Al)₂Si₄O₁₀(OH)·4(H₂O)
- 10 . Halloysite :Al₂Si₂O₅(OH)₄
- 11 . Chlorite : (Mg,Fe)₃(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂
- 12 . Muscovite :KAl₂(AlSi₃O₁₀)(F,OH)₂
- 13 . Calcination
- 14 . Chalcopyrite

«کوارتز» به چشم می‌خورد که اغلب با ترکیبات سولفیدی مضاعف فلزی همراه می‌شود. همان‌طور که از نتایج فازشناسی برمی‌آید، در هیچ‌یک از قلعه‌های گروه دوم مورد بررسی، «ژپس» در ترکیب ملات دیده نمی‌شود. در مورد «برلینیت» که در چند نمونه ملات قلعه‌ها دیده می‌شود، می‌توان گفت که ساختاری شبیه به ساختار بلورین کوارتز دارد با مقاومت حرارتی بالا با بلورهایی بی‌رنگ تا خاکستری‌رنگ و به همراه نهشته‌های رسوبی و سنگ معدن آهن دیده می‌شود. سایر کانی‌های فسفات نظیر «اوگلیت»^۱ و اشکال بلورین کوارتز و کانی ژپس به همراه «برلینیت» در طبیعت یافت می‌شوند (Muraoka et al. 1997:243).

در تکمیل این بخش، نتایج آنالیز XRD، از دو نمونه «سنگ گچ خام» و نمونه‌هایی از «ماسه» و «خاک رس» آورده می‌شود تا منشأ وجودی برخی ترکیبات در ملات روشن گردد. در جدول شماره ۵، نتایج آنالیز دو نمونه «سنگ گچ خام»، مربوط به دو ناحیه متفاوت جغرافیایی آمده است. ترکیب پایه در سنگ معدن گچ خام، عبارت از «ژپس»، «کلسیت» یا «منیزیت» و اشکال بلورین مختلف از «کوارتز» است. سایر ترکیبات (عمدتاً سیلیکاته و سولفیدی)، بسته به محل استخراج سنگ معدن، متفاوت می‌باشند که به صورت ناخالصی و تجزیه نشده، وارد ترکیب ملات نهایی می‌گردد.

جدول ۵: فازشناسی دو نمونه سنگ گچ خام با استفاده از XRD.

Table5: Mineral Phases of gypsum raw ore Samples.

نمونه	نام ترکیب	فرمول شیمیایی
سروستان	ژپس منیزیت ناترولیت ^۲ کریستوبالیت	CaSO ₄ (H ₂ O) ₂ MgCO ₃ Na ₂ (Al ₂ Si ₃ O ₁₀) SiO ₂
تخت سلیمان	ژپس کلسیت آلوموهیدروکلسیت ^۳ مونت موریلونیت ساپونیت ^۴ کریستوبالیت	CaSO ₄ (H ₂ O) ₂ CaCO ₃ CaAl ₂ (CO ₃) ₂ (OH) ₄ ! 3H ₂ O Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ! xH ₂ O Ca _{0.2} Mg ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ! 4H ₂ O SiO ₂

در مورد دو نمونه از «خاک رس» و «ماسه» نیز همین آنالیز صورت گرفته که بر اساس آن می‌توان در مورد افزوده شدن دستی «ماسه» یا «رس» به ملات نهایی قضاوت کرد. با توجه به تعداد انطباق فازها در فازشناسی نرم‌افزاری XRD، در مورد نمونه‌های مورد آزمون، نمی‌توان افزوده شدن «رس» یا «ماسه» را تأیید کرد. نتایج آنالیز در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶: فازشناسی دو نمونه ماسه و خاک رس با استفاده از XRD.

Table6: Mineral Phases of sand and clay Samples

1. Augelite :Al₂PO₄ (OH)₃
2. Natrolite
3. Alumohydrocalcite
4. Saponite

نمونه	فازهای بلورین یافت شده
ماسه	کوارتز SiO_2 کلکوپیریت $\text{CuFeS}_2\text{-x}$ کلسیت $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ برلینیت Al PO_4 کواسیت SiO_2
رس	کوارتز SiO_2 برلینیت Al PO_4 کولوسیت $\text{Cu}_{26}\text{V}_2(\text{As}, \text{Sn}, \text{Sb})_6\text{S}_{32}$ موسکوویت ^۱ $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F}, \text{OH})_2$

همان‌طور که ذکر شد، در صورت مخلوط شدن ماسه یا رس در جهت بهسازی کارکرد ملات گچ، تعداد انطباق فازهای دیاگرام، افزایش قابل تشخیصی می‌یافت که در نمونه‌های مطالعه شده، دیده نمی‌شود. حضور برخی از این ترکیبات در آنالیز نهایی ملات، به علت دقت بالای دستگاه در سنجش مواد است که به صورت ناخالصی‌های «استخراج»، «حمل»، «ساخت» و «فراوری» ملات در آن زمان، وارد ترکیب ملات نهایی شده‌اند.

۵. نتیجه

چنان‌که در بخش پیشین ذکر شد، نتایج آنالیز در مورد ترکیب ملات بناهای شاخص ساسانی حاکی از ترکیبی متشکل از «ژپس»، «کلسیت» و فرم‌های بلورین متفاوتی از «کوارتز» است. ورود سایر ترکیبات به ملات را می‌توان ناشی از کانی‌های اولیه سنگ گچ خام و یا ناشی از مراحل مختلف فراوری سنگ معدن خام دانست. ترکیبات سولفور با پایه مس ناشی از سنگ معدن‌های طبیعی مس و ترکیبات آلومینو سیلیکاته موجود در برخی نمونه‌ها نیز ناشی از ناخالصی‌های طبیعی سنگ معدن خام است. با توجه به نمودارهای فازشناسی و تعداد انطباق‌های فازی نمی‌توان افزودن دستی ماسه یا خاک رس به ملات گچ در این نمونه‌ها را مورد تأیید قرار داد. نتایج مطالعات XRD توسط نگارنده بر روی نمونه‌هایی از سنگ‌های گچ خام، خاک رس و ماسه حاکی از این است که حداقل در تمام دوره حکمرانی ساسانیان ملات غالب مورد استفاده در ساخت‌وساز قلعه‌ها، کاخ‌ها و نیایشگاه‌ها ملات گچی بوده که با توجه به شرایط خاص پخت سنگ معدن، ترکیب کلسیت در ملات باقی می‌مانده و همین امر باعث پایداری این ملات بوده است؛ اما با توجه به سقوط امپراتوری، همچنان در اوایل دوره اسلامی، شاهد استفاده از همان ملات گچی در نواحی شرق مازندران هستیم. با توجه به تاریخ ساخت برج مقبره‌ها و قلعه‌های ساسانی مثل «قلعه کنگلو» و تشابه ترکیب ملات همه این نمونه‌ها، می‌توان نتیجه گرفت، شیوه فراوری، حرارت‌دهی و پخت سنگ گچ از دوره ساسانی تا حداقل ۴۰۰ سال پس از آن در مازندران تغییری نکرده است. در سالیانی پس از این دوره، شاهد استفاده بیشتر از ملات‌های آهکی هستیم که ترکیبی مشابه سیمان‌های امروزی دارند. به این ترتیب عملاً استفاده از ملات گچی در اوایل دوران اسلامی در مازندران و در حدود قرن چهارم هجری به پایان رسیده است. به نظر

1. Muscovite

می‌رسد ساختار ملات در راه رسیدن به ملات‌های مقاوم‌تر بعدی، از دوران گذری عبور می‌کند که شواهد آن را در ملات مورد استفاده در برج مقبره‌های سه‌گانه سده چهارم هجری شرق مازندران می‌توان جستجو کرد.

۶. سپاسگزاری:

از کلیه عزیزانی که در راه انجام این پروژه نگارنده را همراهی کردند کمال تشکر را دارم:

- جناب آقای احسانی در اداره میراث فرهنگی ساری برای نمونه برج لاجیم.
- از سرکار خانم رشیدثانی در کتابخانه میراث ساری و جناب آقای محمد فلاح در میراث ساری بابت نمونه قلعه‌ها.

- از دوست گرامیم جناب آقای سامان سورتیجی بابت اطلاعات ثبتی استان مازندران و هماهنگی با اداره کل میراث.

- از جناب آقای دکتر پورحاجی در آزمایشگاه رازی دانشگاه آزاد، واحد علوم و تحقیقات تهران.

۷. منابع

پیرزاد، احمد، (۱۳۹۲)، «جلوه‌های هنرهای تزئینی وابسته به معماری در بقاع متبرکه مازندران»، بازیابی شده در تاریخ <http://www.rasekhoon.net/article/show/757453>، ۹۶/۱۱/۲

حامی، احمد، (۱۳۹۳)، *مصالح ساختمانی*، تهران، دانشگاه تهران.

حسین‌پور دوانی، عاطفه، (۱۳۸۹)، «مطالعات ساختاری فن شناسی بر روی ملات‌های گچ و خاک ساسانی بیشاپور»، پایان‌نامه چاپ نشده کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان، دانشکده حفاظت، مرمت اشیاء و ابنیه تاریخی.

سورتیجی، سامان، (۱۳۸۱)، *قلاع باستانی مازندران*، چاپ اول، تهران، سازمان میراث فرهنگی.

شکفته، عاطفه؛ نیلفروشان، محمدرضا؛ حاتم، غلامعلی، (۱۳۸۷)، «بررسی ماهیت شیمیایی و ریزساختاری ملات به کار رفته در آرامگاه تپتی آهار-هفت تپه خوزستان-»، مرمت و پژوهش، بهار و تابستان ۱۳۸۷، شماره ۴، صص ۷۱-۷۸.

عابدینی عراقی، مهدی، (۱۳۸۵)، *گمانه‌زنی برج رسکت و پیرامون آن- پروژه بزرگ برج‌های تاریخی رسکت و لاجیم*، گزارش چاپ نشده سازمان میراث فرهنگی استان مازندران.

عنایتی، علی‌اکبر، (۱۳۸۵)، *پژوهشی پیرامون تاریخ منطقه و اهداف ساخت برج‌های رسکت و لاجیم*، گزارش چاپ نشده سازمان میراث فرهنگی استان مازندران.

کباری، سیاوش، (۱۳۹۰)، *مصالح شناسی*، تهران، دانش و فن.

ماهیار، شاهین، (۱۳۹۰)، «آنالیز عنصری ملات دوره ساسانی در ساختار معماری آتشکده تخت سلیمان و مقایسه آن با سازه‌های ساسانی فارس (کاخ اردشیر، سروستان و قلعه دختر)»، به راهنمایی دکتر لیلی نیاکان، پایان‌نامه چاپ نشده کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز.

محمودوندی، نرجس؛ مصطفی‌نژادی، علی، (۱۳۹۱)، *مجموعه مقالات نخستین همایش علم مواد و حفاظت آثار فرهنگی تاریخی، بازشناسی مواد و مصالح پل تاریخی گاو میشان*، تهران، پژوهشگاه میراث فرهنگی.

میش‌مست نهی، مسلم، (۱۳۹۴)، «کاربرد تحلیل‌های بلورشناسی در مطالعات فنی آثار تاریخی گچی (مطالعه موردی گچ‌بری کوه خواجه سیستان، ملات گچ شادیاخ نیشابور و ملات گچ قلعه الموت قزوین)»، پژوهش *باستان‌سنجی*، پاییز و زمستان ۱۳۹۴، سال اول، شماره ۲، صص ۱-۱۴.

نیستانی، جواد، (۱۳۸۵)، «ریخت‌شناسی معماری آرامگاهی مازندران»، پژوهش‌های باستان‌شناسی و مطالعات میان‌رشته‌ای، پاییز و زمستان ۸۵، سال دوم، شماره ۴، صص ۱۰۲-۱۱۲.

وفایی، شهربانو، (۱۳۸۵)، پروژه بزرگ برج‌های تاریخی رسکت و لاجیم، برج رسکت و نمادهای تزیینی آن، گزارش چاپ نشده سازمان میراث فرهنگی استان مازندران.

هادیان دهکردی، منیژه، (۱۳۹۴)، کاربری پژوهش‌های آزمایشگاهی در حفاظت و مرمت بناهای تاریخی (مواد و مصالح)، چاپ سوم، تهران، دانشگاه تهران.

Abedini Araghi. M. 2006. *Survey on Resket Tower and its surroundings - the big project of Resket and Lajim historical towers-*, Mazandaran Cultural Heritage Organization Unpublished Report.[in Persian].

Agarwal. B. K. 1991. *X-ray Spectroscopy, An Introduction*, 2nd Ed., New York: Springer Series in Optical Sciences, Vol 15.

Alvarez. J. I. , Navarro. I. , Casado. G. 2000. *Thermal, Mineralogical and Chemical Studies of the Mortars Used in the Cathedral of Pamplona (Spain)*. UK:Elsevier Press. *Thermochimica Acta*, Volume 365, Issue 1-2.

Carol. H. & Forti. P. 1997. *Deposition and Stability of Silicate Minerals, Cave Minerals of the World*, 2nd Ed., National Speleological Society.

Chang. S.H. , Chiu. B.C. , Gao. T.L. ,Jheng. S.L. , Tuan. H.Y. 2014. *Handbook of Optical Constants of Solids*, Volume III, 1997: 459-471.

Enayati. A. 2006. *Research on the history of the region and the objectives of building the Resket and Lajim towers*, Mazandaran Cultural Heritage Organization Unpublished Report. [in Persian]

Hadiyan Dehkordy. M. 2015. *Application of laboratory researches in protection and restoration of historical monuments*, Tehran: University of Tehran Publishing Institute. [in Persian].

Hami. A. 2014. *Building Materials*, 23rd Ed. , Tehran: University of Tehran Publishing Institute. [in Persian].

Hoseinpour Davani. A. 2010. "Technological structural studies on Sassanid gypsum and soil mortars of Bishapour", Unpublished MSc Thesis, Isfahan: School of Conservation, Restoration of Historic Objects and Monuments. [in Persian].

Kebari. S. 2011. *Materials Science*, 25th Ed. , Tehran: Danesh o Fan. [in Persian].

Mahmoudvandi. N. , Mostafanejadi. A. 2012. The first conference on materials science and protection of historical cultural monuments, Recognition of materials for the historic Gavmishan bridge, 1st Ed. , Tehran: Cultural Heritage Organization. [in Persian].

Mahyar. Sh. 2011. "XRD analysis of Sassanid mortar of Takht-e Soleiman fire temple and its comparison with Sassanid structures in Fars (Ardeshir Palace, Sarvestan and Dokhtar Castle)", Unpublished MSc Thesis, Tehran: Islamic Azad University, Central Tehran Branch. [in Persian].

Malainey. Mary E. 2011. *A Consumer`s Guide to Archaeological Science*, New York: Springer Heidelberg London press.

Mishmast Nehi. M. 2015. "Application of crystallographic analysis in technical studies of gypsum mortar of historical monuments, Case Study of Kuh-e Khajeh, Tepe Shadiakh of Neyshabur and Alamut Castle of Ghazvin", *Archaeological Research*, fall&Winter 2015, 1st Year, No2:1-14. [in Persian].

Muraoka. Y. , Kihara. K. 1997. The temperature dependence of the crystal structure of berlinite, a quartz-type form of $AlPO_4$, *Physics and Chemistry of Minerals*, 24 (4).

Nassiri Ansari. M. 1971. *Seiry Dar Mmary Iran*, Tehran: Honarsara Aly Tehran. [in Persian].

Neyestani. J. 2006. Morphology of Mazandaran Tomb Architecture, *Archaeological Research and Interdisciplinary Studies*, fall & Winter 2006, 2nd Year, No4:102-112. [in Persian].

Pirzad. A. 2013. "Effects of decorative arts related to architecture in the holy shrines of Mazandaran", <http://www.rasekhoon.net/article/show/757453>. [in Persian].

- Pollard. M. , Batt, C. , Stem, B. , Young, S. M. M. 2007. Analytical Chemistry in Archaeology, UK: Cambridge Manual in Archaeology. Cambridge University Press.
- Shekofteh. A. , Nilforushan. M.R. , Hatam. G.A. 2008. Investigation of chemical and microstructural nature of mortar used in Tepti Ahar tomb, Journal of Repair and Research, Spring&Summer 2008, No4:71-78. [in Persian].
- Surtiji. S. 2002. Ancient Castles of Mazandaran, 1st Ed. , Tehran: Cultural Heritage Organization. [in Persian].
- Vafayi. S. 2006. Project of Resket and Lajim historical towers, Reskat tower and its decorative symbols, Mazandaran Cultural Heritage Organization Unpublished Report. [in Persian].
- Valaei. Z. I 2011. Consideration on Sassanid architectural works and urban planning in ancient Persia, Indian Journal of Science and Technology, Oct 2011. Vol.4, No10:1388.
- Valaei. Z. II 2011. Fire Temples at Sassanid Era, Journal of American Science, 2011. 7(9):164-166.
- Wulff. H. 1966. Traditional Crafts of Persia, UK: Cambridge.

