دوفصلنامه تخصصی دانش مرمت و میراث فرهنگی
Bi-annual Journal of Restoration Science and Cultural Heritage
http://www.aui.ac.ir/index.php/fa/rsch

پتروگرافی مقطع نازک مواد سرامیکی[1]

نویسنده : سارا پترسون

برگردان: مهدی رازانی*[1]، حکیمه افشاری نژاد[2]

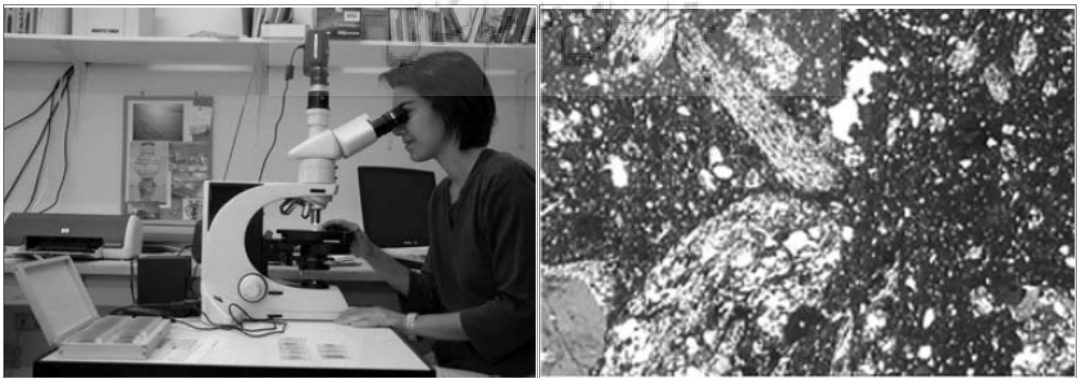
[1] عضو هیئت‌علمی دانشگاه هنر اسلامی تبریز

[2] کارشناس ارشد باستان‌سنجی دانشگاه هنر اسلامی تبریز

* (ارتباط با مسئول مکاتبات: m.razani@tabriziau.ac.ir)

۱- مقدمه

پتروگرافی مقطع نازک[2] روشی برای مطالعه و طبقه‌بندی ساختارهای[3] رسی است. این روش در بررسی طیف گسترده‌ای از مواد، شامل سنگ‌ها، مواد معدنی، سفال، سرباره‌ها، بتن، آجر، اندود (مخلوطی از آهک یا گچ) مورداستفاده قرار می‌گیرد. اطلاعات به‌دست‌آمده از پتروگرافی، سبب شناخت برخی جنبه‌های مهم مطالعات سفال ازجمله منشأ و فن تولید آن‌ها خواهد شد. مقطع نازک، به‌وسیله‌ی برش قطعه کوچکی از نمونه موردمطالعه ساخته شده، سپس به سطح صافی از تیغه (لام) میکروسکوپ شیشه‌ای چسبانده و سطح آن تا رسیدن به ضخامت استاندارد (۲۵-۳۰ میکرومتر) پولیش شده (شکل ۱) و نهایتاً با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان[4] مقاطع آماده‌شده، مورد مطالعه قرار می‌گیرد (شکل ۲). در ضخامت استاندارد، اجزاء معدنی موجود در بافت سفال با طیف‌های رنگی مختلف ظاهر شده و بر اساس خواص نوری مشخص شناسایی می‌شوند (Bambauer, Taborszky, and Trochim 1979; Deer, Howie, and Zussman 1996; Nesse 2004). بافت سفال از طریق شناسایی و بررسی ساختار قطعات پلاستیک[5] و غیر پلاستیک[6] طبقه‌بندی می‌گردد.



شکل ۱: تصویر میکروسکوپی مربوط به مقطع نازک بخشی از ظرفی با سطح زبر در زیر نور پلاریزان نشان‌دهنده اجزاء بزرگ و هوازده فیلیت، ابعاد افقی ۴ میلی‌متر.

شکل ۲: کاربر در حال استفاده از میکروسکوپ پلاریزان برای مطالعه مقطعی نازک از سفال، موسسه‌ای ماقبل تاریخ اژه در کرت شرقی، یونان.

(این مقاله ۱۷ صفحه است)

۲- اهداف پتروگرافی سفال

امروزه سفال‌های باستانی در مطالعات مربوطه به‌منظور کسب اطلاعات بسیاری در موضوعات مختلف شامل فن‌شناسی، سبک، کارکرد، گاه نگاری، منشأ و محتوای نمادین موردمطالعه قرار می‌گیرند. تمامی ظروف، شامل ظروف ساده‌ی ذخیره مواد و/ یا تجاری، هم‌چنین ظروف مصرفی و تزیینی، اطلاعات مهمی در راستای درک درست فرهنگ گذشته ارائه می‌دهد. پتروگرافی سفال یکی از تکنیک‌های لازم و ضروری در زمینه مطالعات سفال بوده که قادر به شناسایی بافت آن از طریق بررسی میکروسکوپی مقطع نازک است. در این روش ساختار و ویژگی‌های متفاوت سفال بر اساس جزئیات ریزساختاری که توسط چشم غیرمسلح یا از طریق بزرگنمایی کمی که به‌آسانی قابل‌رؤیت نیستند، شناسایی شده و نیز به محققان برای تشخیص جزئیات بیشتر کمک می‌کند که در غیر این صورت ممکن است نادیده گرفته و یا به‌اشتباه با روش‌های سنتی ماکروسکوپی تفسیر شوند.

خصوصیات مشخص‌شده در پتروگرافی مقطع نازک عبارت‌اند از:

۱. ماهیت و ویژگی‌های اجزاء غیر پلاستیکی (ترکیبات معدنی و درصد نسبی، اندازه، شکل، توزیع و جهت‌گیری ذرات مختلف)

۲. خواص نوری و بافت ماتریکس رسی (مانند شکست نور[۷] و رنگ)

۳. شکل، مقدار و جهت‌گیری حفره‌ها

۴. ارتباط بین مواد بدنه سرامیک و تزیینات سطح

با تفسیر ویژگی‌های فوق اطلاعات مهمی از جنبه‌های مختلف ساختار سفال از قبیل: مشخصات ترکیب کانی‌شناسی و پرکننده مورداستفاده در خاک رس، روش به‌کاربرده شده توسط سفالگر برای آماده‌سازی و شکل‌دهی خمیر سفال، و دمای پخت برای ایجاد یک محصول پایدارتر فراهم می‌شود. با بررسی تشابهات و تفاوت‌های بین بافت‌ها، علاوه بر ایجاد ارتباط بین سفالینه‌های مختلف و شناسایی مشخصات مربوط به تعیین منشأ آن‌ها، می‌توان فرآیندهای فنّاورانه بکار رفته در ساخت (انتخاب و فرآوری مواد خام، تکنیک‌های شکل‌دهی، روش‌های تزیینی، و مشخصات حرارتی) را نیز بازسازی کرد. درک ماهیت این فرآیندها نقش مهمی در دانش و فهم ما از گذشته، خصوصاً در رابطه با منابع مواد خام، توزیع و پراکندگی کالاهای مبادله شده، تخصص روش‌های ساخت و توسعه فنّاوری دارد.

۳- تاریخچه پتروگرافی مقطع نازک

۳-۱- پیشینه شکل‌گیری و توسعه روش

ویلیام نیکول[۸] دانشمند اسکاتلندی، اولین مقاطع نازک را برای تهیه‌ی نمونه چوب‌های فسیل‌شده در اواخر قرن ۱۸.م ساخت و سپس با بررسی مقاطع، منشأ گونه‌های گیاهی مربوط به نمونه‌ها را تعیین کرد (Sorby 1882, 101; Humphries 1992, 2; Croft 2006, 20, 33). نیکول هم‌چنین با ابداع یک منشور برای انتقال پرتو باریک نور از صفحه پلاریزه، به ایجاد اولین میکروسکوپ پلاریزان در سال ۱۸۲۸م کمک نمود. دو نمونه از منشورهای نیکول برای اولین بار در سال ۱۸۳۴م توسط ویلیام هنری فاکس تالبت[۹] انگلیسی بر یک میکروسکوپ اعمال شد (Humphries 1992, 2; Croft 2006, 18-20). به دنبال این

نوآوری، برخی آثار از قبیل چوب، فسیل‌ها، مواد معدنی، و دندان‌ها با تهیه مقاطع نازک موردبررسی قرار گرفتند (Humphries 1992, 2).

هنری کلیفتون سربی[۱۰]، دانشمند انگلیسی وابسته به دانشگاه شفیلد[۱۱]، نخستین فردی بود که ویژگی‌های خواص نوریِ مواد معدنی را در زیر نور پلاریزه مشخص کرد (Humphries 1992, 2). سربی علاوه بر آگاهی از بررسی مقاطع نازک فسیل‌ها و دندان‌ها در زیر میکروسکوپ، در سال ۱۸۴۹م نیز اولین مقاطع نازک سنگ‌آهک کربونیفر[۱۲] در داربی شایر[۱۳] (در شمال انگلیس) را تهیه کرد (Sorby 1882, 102; Humphries 1992, 2). وی روش خود را از طریق ساییدن نمونه‌های نازک بر روی قطعات ماسه‌سنگ با پودر سنباده به‌علاوه آب و سپس اتصال نمونه‌ی کامل شده به لام شیشه‌ای مرسوم کرد (Sorby 1882, 103-106; Humphries 1992, 2-3). سربی به دنبال مطالعه سنگ آهک، اولین شرح و توصیف ترکیب معدنی مربوط به سنگ را از ساحل یورکشایر[۱۴] در سال ۱۸۵۱م منتشر کرد (Sorby 1851). او از طریق آنالیز مقاطع نازک سنگ‌آهک در نور پلاریزان، قادر به تشخیص تفاوت بین اجزاء عقیق و کلسیت بر اساس مشخصاتی از قبیل رنگ، شکل و شکست نور شد و توصیف کاملی از روش‌های تهیه مقطع نازک در سال ۱۸۸۲م. منتشر کرد، هم‌چنین بعدها تکنیک‌های وی در زمینه‌های زمین-شناسی، سنگ‌شناسی و رسوب‌شناسی استاندارد شد.

نخستین مطالعاتی که از روش‌های مقطع‌زنی برای آنالیز مواد باستان‌شناسی مورداستفاده قرار گرفت، توسط زمین‌شناس آلمانی کارل گئورگ ریچارد لپسیس[۱۵] در سال۱۸۹۰ منتشر گردید. لپسیِس به‌منظور تهیه نقشه زمین‌شناسی از منطقه آتیکا[۱۶] (یونان باستان) با بودجه‌ی تأمین‌شده توسط آکادمی علوم پروس در ۱۸۸۷ و ۱۸۸۹ م به یونان سفر کرد (Moltesen 1994, 7, 15-16). وی در طول بازدید خود ۴۰۹ نمونه سنگ مرمر از مجسمه‌های کلاسیک و معادن جمع‌آوری، سپس با آماده‌سازی مقاطع نازک نمونه‌ها، به طبقه‌بندی انواع متفاوتی از مرمر بر اساس جزئیات میکروسکوپی مشاهده‌شده ازجمله رنگ و اندازه دانه‌های اجزاء پرداخت (Lepsius 1890). معیارهای طبقه‌بندی لپسیس برای مطالعه مرمر به‌طور گسترده‌ای مورداستفاده باستان‌شناسان کلاسیک قرار گرفت، اما بررسی مجدد بیشتر نمونه‌های او با تکنیک‌های مدرن، غیرقابل اعتماد بودن آن‌ها را ثابت کرده است (Moltesen 1994, 16-19).

۴- پتروگرافی مقطع نازک مواد سرامیکی

بررسی تحقیقات مهمی که به‌طور مشخص بر روی سفال‌ها انجام‌گرفته، نشان‌دهنده برخی از انواع مختلف مشکلات باستان‌شناسی است که از طریق تجزیه و تحلیل مقطع نازک مورد ملاحظه و توجه قرار می-گیرد. تا قرن بیستم تحقق روش صریحی برای مطالعه سفال‌ها به‌طور گسترده صورت نگرفته بود تا اینکه آنا .او شپرد[۱۷] در سال ۱۹۴۲م نتایجی از یک آنالیز پتروگرافی با مقیاس بزرگی از سفال لعاب‌دار منقوش ریو گراند[۱۸] به‌دست‌آمده از منطقه‌ی پکوز[۱۹]، مکزیک جدید، محوطه اشغال شده (مسکونی) بین ۱۳۰۰ و ۱۸۳۸ بعد از میلاد را منتشر کرد (Shepard 1965, 65). وی بامطالعه‌ی تکنولوژی ساختار سفال‌ها، اطلاعاتی به‌دست آورد که بررسی سبک و ساختارشناسی[۲۰] قادر به ارائه آن نبود. او چندین گونه‌ی متفاوت از سفالینه‌ها را بر اساس مشاهده‌ی اجزاء پرکننده (تمپر) در مقطع آن‌ها مشخص کرد و هم‌چنین

زمین‌شناسی منطقه را به‌منظور کسب اطلاعات درزمینه‌ی منابع مواد خام موردبررسی قرارداد. شپرد متعاقباً با شناسایی مواد پرکننده‌ی موجود در بسیاری از نمونه سفال‌هایی که خارج از دسترس سفالگران محلی در پکوز بودند، به این نتیجه رسید که مقدار قابل توجهی از مواد وارداتی است و بر همین اساس شواهدی برای وجود شبکه‌های تجاری در مقیاس گسترده و تخصص هنر و صنعت در منطقه ارائه کرد (Shepard 1942, 1965, 66, 68-71). شپرد در کتاب خود "سفال برای باستان‌شناسان" بر اهمیت مطالعه‌ی فنّاوری سفال و ارزش تجزیه و تحلیل پتروگرافی تأکید داشت (Shepard 1956, 1-5, 139, 157-159). تقریباً به‌موازات کار شپرد در آمریکا، واین. ام. فلتس[۲۱] در دانشگاه سینسیناتی[۲۲] مطالعه‌ی پتروگرافی مربوط به نمونه‌های سفال و خاک متعلق به منطقه‌ی توری (Tory) در ساحل غربی ترکیه را انجام داد (Felts 1942). به همین ترتیب فلتس نیز بر اهمیت پتروگرافی در درک و شناخت تکنولوژی سفال باستانی تاکید داشت. وی زمین‌شناسی و مواد پرکننده در بدنه‌های سفالی منطقه‌ی توری را با نمونه‌هایی از خاک آن منطقه مقایسه کرد و از نتایج داده‌ها به منظور تمایز بین سفال‌های محلی و وارداتی استفاده کرد. افزون بر آن، آنالیزهای انجام‌گرفته مربوط به ویژگی‌های داخلی ساختار سفال، نشان‌دهنده‌ی تفاوت بین حرارت و تکنیک‌های فرم‌دهیِ سفال‌های وارداتی نسبت به سفال‌های با منشأ محلی بود. به‌علاوه، به دلیل اینکه نمونه سفال‌های موردبررسی مربوط به چندین لایه و مکان متفاوت در طی حفاری بود، فلتس توانست تفاوت‌ها را در ترکیبات ساختاری، فرآیندهای شکل‌دهی در طول زمان و مکان آن‌ها شناسایی کند (Felts 1942).

فردریک. ار. ماتسون[۲۳] اهمیت تکنولوژی در مطالعه سفال تاریخی را در مقاله‌ای تحت عنوان "مطالعات تکنولوژی سفال" در سال ۱۹۴۲ .م مورد تاکید بیش‌تری قرارداد و در آن به کافی نبودن تنها تجزیه و تحلیل ریخت‌شناسی و سبکی سفال برای شناخت فرهنگ گذشته اشاره نمود و چنین استدلال داشت که پژوهشگران به منظور درک نقش سفال و محصولات سفالگر در جامعه، نیاز به تجزیه و تحلیل فرآیندهای تکنولوژی و مواد خام دخیل در تولید آن دارند؛ برای این منظور به بهره‌گیری از روش مقطع نازک و نیز اهمیت جمع‌آوری و مطالعه نمونه‌هایی از خاک محلی و مواد پرکننده تاکید داشت (Matson 1942, 26-27). وی در نهایت ایده‌های نظری خود را طی برداشت کلی از مفهوم بوم‌شناسی سفال، به‌عنوان یک رویکرد چند رشته‌ای با هدف درک بهتر تأثیر فرهنگ در تولید مواد سرامیکی گرد هم آورد (Matson 1965). هم‌چنین ماتسون روش‌های مربوط به بوم‌شناسی سفال را در مطالعه‌ی مربوط به نمونه سفال‌های به‌دست‌آمده از حفاری‌های گروه اعزامی سوریه از موسسه شرق دانشگاه شیکاگو[۲۴] در دره آموق، ترکیه به کار بست. در سال ۱۹۴۵م، وی خلاصه‌ای از توسعه‌ی فن‌آوری سفال متعلق به عصر مس و سنگ را منتشر و نتایج دقیق‌تر تجزیه و تحلیل آن را در سال ۱۹۶۰م به عنوان بخشی از یک کتاب جامع مربوط به کاوش‌ها به چاپ رسانید (Matson 1945; Braidwood 1960 31-35, 42). به‌علاوه با بررسی ۳۰۸ مقطع نازک سفال از دره آموق، گونه‌های متفاوت آن‌ها را بر اساس بافت مینرالوژی طبقه-بندی کرده و تحولات مبنی بر گزینش مواد خام و عملیات تکمیلی سفالگر را به مرور زمان ترسیم کرد. هم‌چنین وی نمونه‌برداری خاک نواحی این منطقه و آنالیز آن‌ها را بر اساس محتوای مواد معدنی به منظور تمایز قائل شدن بین مواد محلی و وارداتی به انجام رساند و بعدها با فعالیت در گروه اعزامی به

یونان از طرف دانشگاه مسینا مسنسوتا[۲۵]، با آزمایش‌ها پتروگرافی مکمل بر مجموعه‌ای از قطعه‌های سفال و با قوم‌نگاری طبق تولیدات جدید منطقه، مطالعاتش را تکمیل کرد (Matson 1972, 200-224).

پتروگرافی سفال، به دنبال کار دیوید پکاک[۲۶] در اروپا به‌خصوص در بریتانیا، به طور فزاینده عمومیت یافت. در سال ۱۹۶۸م، نتایج مطالعات مربوط به حدود ۱۰۰ مقطع نازک از سفال‌های عصر آهن II منطقه هرفورد شایر کاست ولد[۲۷] در انگلستان غربی توسط *پکاک* منتشر گردید. پژوهش پیشین با دو بررسی B غربی دوم به عنوان یک محصول بومی، و B غربی سوم نماینده یک فرهنگ نفوذی طبقه‌بندی‌شده بود. همان‌طور که پکاک بافت مربوط به هر دو ظرف سفالی را بررسی کرد که شامل اجزاء پرکننده سنگی سازگار و متناسب با زمین‌شناسی نزدیک مالبرن هیلز بود. بنابراین وی نتیجه گرفت که هر دو سفال B غربی دوم و B غربی سوم به صورت محلی با همان مواد ساخته‌شده بودند و پیشنهاد داد که تغییرات در سبک را می‌توان به وجود مراکز مختلف تولید عملیاتی و تجارت از طریق منطقه نسبت داد (Peacock 1968). در مطالعه بعدی پتروگرافی سفال دانه درشت (نامرغوب) رومی از فیشبرن[۲۸]، انگلستان، پکاک برای کمک به طبقه‌بندی سفال، تجزیه و تحلیل حاصل از نظر شناسایی بافت و رسوبات سنگی را به کاربرد (Peacock 1971). سه گروه سفال متفاوت در مقطع نازک، حاوی محصولات شنی که شامل مقدار قابل توجهی مواد معدنی کوارتز بود، آنالیز شده بودند. به دلیل این‌که کوارتز در بیش‌تر خاک‌ها رایج‌ترین اجزاء است، شناسایی آن به عنوان جزء اصلی، اغلب استفاده کمی برای تمایز ساختارهای سفالی دارد. با این حال پکاک با استفاده از بررسی بافت، توانست تفاوت ویژگی‌های بین اجزاء کوارتز از جمله گرد شدگی، کروی بودن، درصد و اندازه توزیع دانه‌های مجزا را تشخیص دهد. وی تفاوت بین ساختارهای سفال را بر اساس بافت و اجزاء مواد خام موجود در محصولات شنی از منطقه فیشبرن به‌دست‌آمده از منابع یکسان تعیین کرد (Peacock 1971). هرچند وی نخستین فرد در زمینه مطالعه بافت با روش پتروگرافی نبود، اما مطالعات او اهمیت این روش را برای تعیین خصوصیات سفال در مقطع نازک نشان داد و کمک قابل توجهی برای ترویج آن محسوب شد.

ارزش مطالعه پتروگرافی در اژه[۲۹] نیز توسط شماری از محققان مورد توجه قرار گرفت. به طور مثال، اچ. سی. اِینفالت[۳۰] از دانشگاه کارلسروهه[۳۱] هر دو روش پتروگرافی و آنالیز شیمیایی بر روی تعداد کمی از قطعات سفال و قلوه سنگ‌هایی از آکروتری، ترا[۳۲]، به کاربرد و مشخص کرد که نهشته مناسب برای تولید در مقیاس بزرگ در جزیره وجود نداشته و تعداد زیادی از نمونه‌ها از مواد محلی ساخته‌شده بودند (Einfalt 1979). یک آزمایش مشابه، توسط دیوید. اف. ویلیامز[۳۳] از دانشگاه ساوت همپتون[۳۴]، شامل مطالعه مقاطع نازک بر روی سفال ترا اواخر دوره برنز به منظور توصیف و طبقه‌بندی بافت‌ها بر اساس تولیدات محلی و مصنوعات وارداتی، صورت گرفت (Williams 1979b). دبلیو نول[۳۵] هم‌چنین به بررسی مقطع نازک و آنالیزهای دیگر بر روی مجموعه قطعات سفال از آکروتری و مقایسه نمونه‌ها با ظروف اواخر مینوان I کامارس[۳۶] به منظور تسهیل درک تشابهات در تکنیک‌های تولید پرداخت (Noll 1979).

در همان زمان، جی. ای. رایلی[۳۷] مواد رومی و اسلامی متعلق به سیرانیکا را در لیبی مطالعه و زمین-شناسی حوزه‌های مرتبط با منطقه و مطالعه پترولوژی از سرامیک‌ها را بررسی کرد (Riley 1979). افزون بر آن، جورج. اچ. مایر[۳۸] بر روی ظروف واسیلیکا، بخشی از پروژه ظروف چندرشته‌ای واسیلیکا فیلادلفیا

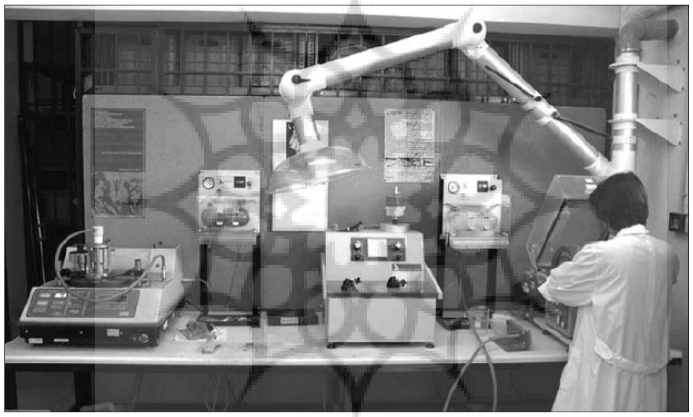
تحت مدیریت فیلیپ. پی. بتانکورت[۳۹]، نشان داد که پتروگرافی می‌تواند به مطالعه گروه‌های خاص آثار کمک کند (Betancourt et al. 1979; Myer and Betancourt 1981). پس از مدتی، مایر در یک آزمایش مربوط به مجموعه ظروف سفالی با نقوش سفید روی سیاه[۴۰] شرق کریتن فعالیت داشت (Betancourt 1984). ریلی هم‌چنین مطالعه پتروگرافی سفال‌های مربوط به کرت و سرزمین اصلی یونان را به انجام رساند که نشان‌دهنده‌ی الگوهایی در تبادلات و تغییرات در انتخاب مواد خام در طی زمان بود (Riley, Peacock, and Renfrew 1980; Riley 1981a; 1982, 1983). به‌علاوه ریلی سفال‌های عصر برنز حوضه‌ی رودخانه کوویک[۴۱] در شمال سوریه که در ارتباط با بررسی تل رفعت[۴۲]، که در ۱۹۷۷-۱۹۷۹ صورت گرفته بود، مطالعه کرد (Riley 1981b; 1981d). این. کی. ویت برید[۴۳] از دانشگاه لستر[۴۴] از تکنیک‌هایی پشتیبانی کرد که برای ریزساختارشناسی[۴۵] خاک و توصیف ریزساختار بافت سفال در مقطع نازک توسعه یافته و بدان طریق امکان بررسی خصوصیات دقیق‌تر و جزئی‌تر فراهم بود (Whitbread 1986, 1989). هم‌چنین، یک بررسی مفید از تجزیه و تحلیل علمی بر روی طیف وسیعی از سفال قبرسی و یونانی توسط آر. ای جونز[۴۶] در ۱۹۸۶ منتشر شد، که به اهمیت آنالیز مقطع نازک و دیگر آزمایشات اشاره داشت (Jones 1986).

در دهه بعد، سارا جی. واون[۴۷] بررسی قابل توجهی در قبرس و سیکل‌دیز[۴۸] انجام داد که در آن نمونه-هایی از مطالعات جامع پتروگرافی ارائه و معیارهای دقیق‌تری برای طبقه‌بندی و منشأ یابی سفال‌ها تعیین نمود (Vaughan 1990, 1991a, 1991b). جورج میر هم‌چنین با ادامه تحقیقاتش در ۱۹۹۰، تخصص خود را وقف کار بر روی تعدادی از پروژه‌های متمرکز بر روی تولید سفال در محوطه‌های شخصی نمود (Myer and Betancourt 1990; Myer, McIntosh, and Betancourt 1995). دیگر پژوهش‌های مهم توسط پیتر. ام. دِی[۴۹] از دانشگاه شیفلد انجام شده که منجر به افزایش درک و شناخت تولیدات منطقه‌ای و محلی و شیوه‌های پراکنش و نیز ترکیب بالقوه روش پتروگرافی مقطع نازک با آنالیز شیمیایی و میکروسکوپ اسکن الکترونی بود (Day 1995, 1997; Day, Wison, and Kiriatzi 1997; Day and Wilson 1998; Day et al. 1999; Day and Kilkoglou 2001, 115).

به‌علاوه کار کریستین شراینر[۵۰] از دانشگاه ایندیانا[۵۱] بر روی سفالی از لِرنا[۵۲] به طور قابل توجهی نیاز به محققان را برای تکمیل تجزیه و تحلیل ساختاری با بررسی منابع مواد خام محلی به منظور تعیین منشأ، مورد تأکید قرار داد (Shriner and Dorais 1999; Shriner and Murray 2001). با آغاز قرن بیست و یکم، پتروگرافی سفال به یک بخش ضروری از مطالعات مدرن سفال تبدیل‌شده بود، به‌ویژه برای کسانی‌که با تاریخ اژه (وابسته به فرهنگ مردمان عصر برنز که در جزایر و نواحی مجاور دریای اژه می‌زیستند) برخورد داشتند. موقعیت در این زمینه به‌صورت تمام وقت در چندین موسسه ایجاد و گنجاندن آنالیز مقطع نازک برای یکپارچه کردن مطالعات سفال‌های باستان‌شناختی یک بخش روتین و معمول در نظر گرفته‌شده بود.

۴- روش تهیه مقطع نازک

مقطع نازک سفال، ابتدا به‌وسیله برش قطعه‌ی کوچکی از نمونه با استفاده از اره الماسی ایجاد می‌شود (شکل ۳). اگر ماده بسیار متخلخل یا شکننده باشد، جهت اطمینان قبل از برش با رزین اشباع می‌شود تا از تخریب آن جلوگیری شود. سطح بریده شده سپس به‌وسیله دست یا یک ماشین سنگ‌زنی، ساییده شده تا زمانی که کاملاً صاف و به یک اسلاید شیشه‌ای با اپوکسی یا دیگر مواد مانت‌کننده متصل شود (شکل ۴). وقتی چسب خشک شد، قسمت بالای نمونه که به موازات اسلاید است به ضخامت ۱-۲ میلی-متر برش داده شده و عمل سایش ادامه می‌یابد تا به ضخامت بین ۲۵ تا ۳۰ میکرومتر برسد. سپس یک پوشش محافظ طلقی در طول مقطع نازک برای حفاظت آن متصل یا متناوباً سطح مقطع پولیش می‌شود. تحت این فرآیند، محققان قطعه‌ای را که از آن نمونه تهیه‌شده، کنار می‌گذارند؛ حال مقاطع نازک آماده شده و تکمیل شده، همگی مواد با ارزش مرجع محسوب می‌شوند که می‌توانند در یک مجموعه یا کتابخانه پتروگرافی یا دیگر تسهیلات برای کمک به تحقیقات بیشتر آرشیو شوند.



شکل ۳: استفاده از اره الماسه در آزمایشگاه پتروگرافی در موسسه‌ی پیش از تاریخ اژه برای کرت شرقی، یونان.

شکل ۴: دستگاه ساب برای سایش مقاطع نازک تا رسیدن به ضخامت مورد نظر.

۵- بررسی و آنالیز مقطع نازک

هدف اصلی پتروگرافی مقطع نازک، شناخت خصوصیات مواد ساخته شده از خاک به روش بررسی مقطع نازک است. این کار در درجه اول با کمک میکروسکوپ پلاریزان صورت می‌گیرد (شکل ۲). با استفاده از این نوع میکروسکوپ و با انتقال نور پلاریزه از میان مقطع نازک دو جزء اصلی ماتریکس رس و اجزاء غیر پلاستیکی شناسایی می‌شوند. به‌علاوه می‌توان منافذ و حفره‌ها، هم‌چنین جزئیات قابل مشاهده در رابطه با عملیات تکمیلی و پردازش سطح را بررسی کرد. ویژگی‌های فنی و ظاهری محصول نهایی با نوع، فراوانی و مشخصاتی از این قبیل شناسایی می‌گردد و دیگر مشاهدات از طریق مقطع نازک می‌تواند بافت و اطلاعاتی در رابطه با تکنولوژی ساخت و منشأ سفال باشد. علاوه بر مشاهدات کیفی بافت، امکان دسترسی به داده‌های نه‌چندان مفید از طریق آنالیز آماری و تصویری نیز وجود دارد.

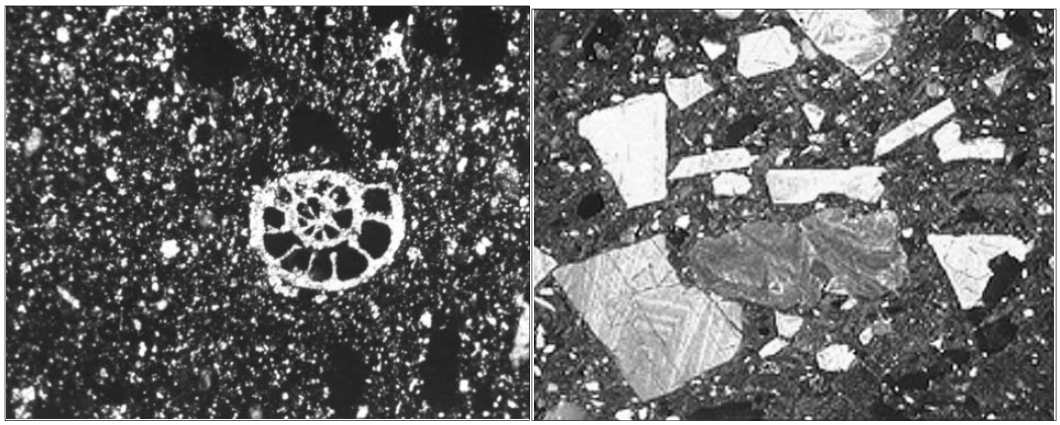
۵-۱- اجزاء غیر پلاستیک

اکثر مطالعات پتروگرافی مقاطع نازک به طور عمده بر خصوصیات اجزاء غیر پلاستیک متمرکز است. این ذرات ناپیوسته، که اغلب قطعات درشت بافت سفال نامیده می‌شوند، غالباً به طور طبیعی در لایه‌های رس وجود دارند. هم‌چنین ممکن است به طور عمد برای کاستن انعطاف و نرمی خمیر سفال، افزایش کارایی آن، کاستن اثرات نامطلوب انقباض و انبساط، افزایش مقاومت حرارتی در طول حرارت دادن، و تقویت بدنه و کالبد محصول نهایی به خاک‌ها اضافه شوند (Williams 1979b, 74). چندین نوع از مواد غیر پلاستیکی که در مقطع نازک شناسایی می‌شوند شامل:

۱. اجزاء معدنی یا قطعه‌های سنگ
۲. اجزاء ارگانیک (از جمله مواد گیاهی، صدف‌ها و استخوان‌ها (شکل ۶))
۳. خرده سفال[۵۳] (قطعات خرد شده سفالِ از قبل حرارت دیده)

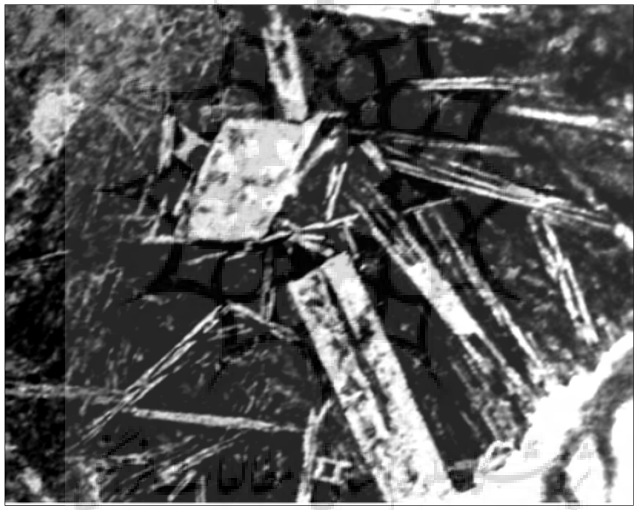
مواد معدنی به منظور طبقه‌بندی اجزاء غیر پلاستیک موجود در بافت سفال بیشتر رایج بوده و ساده‌تر هستند. آن مواد با خواص نوری مشخصه نمایش داده شده زیر نور پلاریزه و محورهای عبوری شامل شفافیت، رنگ، پلی کروئیسم، ریخت‌شناسی، بیرفرنژانس، و همگونی یا ناهمگونی شناسایی می‌شوند. در اجزا سنگ بازالت زیردریایی، برای مثال، ممکن است ویژگی کانی‌های کاه مانند مشاهده شود که نشان-دهنده شرایط زیر آب هستند.

چندین منبع برای کمک به آنالیز و طبقه‌بندی مواد معدنی در مقاطع نازک وجود دارد؛ برخی رفرنس-های استاندارد از قبیل اچ. یو. بامباور[۵۴]، اف. تابورسکی[۵۵]، و اچ. دی. تروکم[۵۶] تعیین خواص *نوری مواد معدنی تشکیل‌دهنده سنگ‌ها* (۱۹۷۹)، دبلیو. ای. دییر[۵۷]، آر. ای. هاوی[۵۸]، و جی. زوسمن[۵۹] *مقدمه ای بر مواد معدنی سنگ‌ساز* (۱۹۹۶)، و دبلیو. دی. نیس[۶۰] *مقدمه‌ای بر کانی‌شناسی نوری* (۲۰۰۴) وجود دارد.



شکل ۵: تصویر میکروسکوپی مقطع نازکی از یک ظرف متعلق به Mochlos ۶۱ ، کرت، در زیر نور پلاریزه. ویژگی‌های بزرگ و زاویه‌دار اجزاء کلسیت و دولومیت ابعاد افقی ۴ میلی‌متر

شکل ۶: تصویر میکروسکوپی مقطع نازکی از یک ظرف متعلق به کوموس[۶۲]، کرت، نشان‌دهنده یک ناخالصی میکروفسیل درون بافت. طول رشته ۱.۲ میلی‌متر



شکل ۷: تصویر میکروسکوپی مقطع نازکی از یک ظرف متعلق به کوموس، کرت، نشان‌دهنده ویژگی‌های کاه مانند کریستال‌های پلاژیوکلاز درون دانه بازالتی. یک ناخالصی میکروفسیل درون بافت. طول رشته ۸/. میلی‌متر.

گاهی اوقات ممکن است تفاوت بین اجزاء طبیعی و افزوده شده در پرکننده؛ بر اساس فراوانی، ترکیب، اندازه، شکل و پراکنش در سراسر زمینه بافت سرامیک، با توجه به رفتار سفالگر نسبت به مواد، قبل از افزودن آن به خمیره، قابل تشخیص باشد. اجزاء غیر پلاستیک ممکن است در زمینه سفال موجود بوده یا برای به‌دست آوردن اندازه و بافت لازم، خرد و با دیگر مواد خام مخلوط، یا از طریق تفکیک فرآوری شده باشد (Shepard 1956, 117; Reedy 2008, 131, 151). برای مثال اجزاء فیلیت بزرگ و گرد شده که در شکل ۱ قابل مشاهده است، نشانه آن است که در تغییرات مربوط به شرایط محیطی پیش‌تر از دیگر اجزاء، در خمیره سفال ایجاد شده است. بنابراین اجزاء غیر پلاستیک موجود در این بافت، یا به طور طبیعی در منبع خاک موجود بوده یا قبل از افزودن آن‌ها به خمیره، فرآوری نشده است.

ویژگی‌هایی نظیر تضاد، بزرگی، کیفیت زاویه‌ای اجزاء کلسیت و دولومیت موجود در شکل ۵، دلالت بر این دارند که این اجزاء احتمالاً خرد شده یا قبل از افزودن آگاهانه آن‌ها به خمیره، در ترکیب رس وجود داشته است. پرکننده شاموت (گراک یا همان قطعه‌های خرد شده‌ی سفال) نیز در مقطع نازک معمولاً خواص زاویه‌ای دارند و بیش‌تر مواد افزودنی آلی در بافت رس در طول حرارت سوخته و با ظاهری از نقاط سیاه کربونیزه یا با حفره‌های باقی‌مانده شناسایی می‌شوند (Whitbread 1986, 82; Orton, Tyers, and Vince 1993, 133-135; Velde and Druc 1999, 142-144; Reedy 2008, 184-189).

مواد معدنی موجود در سفال اغلب بر اساس تغییرات کانی‌شناسی در درجه حرارت خاص، اطلاعات عمومی در مورد پخت ارائه می‌دهند و این تغییرات بیش‌تر با پراش پرتو ایکس[۶۳]، طیف سنجی مادون قرمز[۶۴]، و دیگر روش‌های متفاوت با آنالیز مقطع نازک شناسایی می‌شوند (Reedy 2008, 184-185). ممکن است درک شرایط پخت پیچیده باشد درحالیکه عوامل دیگری از قبیل سرعت افزایش دما یا شرایط اتمسفری در طول فرآیند پخت نیز خواص ساختار را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Orton, Tyers, and Vince 1993, 133-135; Velde and Drue 1999, 96-104; Reedy 2008, 184).

گاهی اوقات روش فرم‌دهی مورد استفاده در ساخت یک اثر سفالی از طریق آنالیز اجزاء غیر پلاستیک در مقطع نازک مشخص می‌شود، به طور مثال در طول روش به‌کاربرده شده برای شکل‌دهی خمیره رس، اجزاء غیر پلاستیک همسو با جهت ویژگی‌ها خواهد بود. مثلاً وقتی سفال چرخ‌ساز است، اجزاء و ذرات به موازات لبه و پایه ظرف قرار می‌گیرند. انواع دیگری از هم‌ترازی مشاهده شده در مقطع نازک نشانه‌ای از دیگر شیوه‌های شکل‌دهی و ترتیب اجزاء و هم‌چنین وابسته به جهت مقطع گرفته شده برای آنالیز خواهد بود (Shepard 1956, 183-186; Woods 1985; Whitbread 1996; Roux and Courty 1998; Reedy 2008, 180-184). نکته قابل توجه دیگر اینکه ممکن است هیچ ترکیبی از روش‌های شکل‌دهی در ساخت سفال استفاده نشود و یکی از جزئیات موجب ایجاد مشکلات در تفسیر گردد.

ممکن است در بعضی نمونه‌ها منبع و منشأ زمین‌شناسی ویژه‌ای برای اجزاء غیر پلاستیک موجود در بافت سفال شناسایی شود. در طول بررسی پتروگرافی، یافتن منابع مواد خام نیازمند محققانی است که دارای اطلاعات و دانش زمین‌شناسی نسبت به نواحی اطراف محوطه باستان‌شناسی هستند هم‌چنین توصیه می‌شود یک بررسی روشمند و آنالیزهایی در رابطه با پتانسیل منابع مواد منطقه برای سنجش مرجع نمونه‌های مجهول و پخت شده از آن مواد صورت گیرد.

اطلاعات در مورد منبع مواد خام، بینشی نسبت به شماری از مسائل باستان‌شناسی شامل تولید محلی و شیوه‌های پراکنش، تغییرات طول زمان در انتخاب و عملیات تکمیلی مواد خام، و الگوهای تجارت و داد و ستد فراهم می‌کند. آگاهی از نوع مواد مورد استفاده سفالگران در تولید سفال‌ها پژوهشگران را قادر می‌سازد تا کارگاه‌های متفاوت یا حوزه‌های تولید را شناسایی کنند. در مناطقی که زمین‌شناسی همگن است، احتمال دارد که شناسایی منبع اصلی مواد پرکننده غیر ممکن باشد. این کار در صورتی پیچیده‌تر خواهد بود که سفالگران خاک رس و مواد پرکننده متعلق به چندین منبع متفاوت را مخلوط کرده یا آن مواد از دیگر مناطق وارد شده باشند (Williams 1979a, 74-75; Orton, Tyers, and Vince 1993, 135; Reedy 2008, 151, 164-165).

۵-۲- ماتریکس خاک رس

ماتریکس رسی فراوان‌ترین ماده موجود در بافت سفال است و شامل خاک رس و دیگر مواد با اندازه قطر ذرات کمتر از ۲ میکرومتر است (Velde and Druc 1999, 5, 35). مواد غیر رسی موجود در ماتریکس خاک، مانند اجزاء غیر پلاستیک دیگر، ممکن است به صورت طبیعی یا آگاهانه افزوده شده باشند. مواد رسی جزئی از خمیره سفال است که موجب ویژگی انعطاف‌پذیری آن شده و به دلیل فرم نازک و ورقه مانند لایه‌های رسی، آب به سطح آن‌ها جذب، در نتیجه موجب حرکت و لغزش ورقه‌ها و سهولت قالب-گیری خمیر خاک رس می‌شود (Velde and Druc 1999, 36-38, 56). مواد موجود در بافت سفال بر اساس اندازه میکروسکوپی در مقطع نازک قابل شناسایی است (Reedy 2008, 124). با این حال، روش-های شناسایی خصوصیات عمومی ماتریکس سفال که در درجه اول متکی بر خواص نوری، از قبیل بیرفرنژانس، انیزوتروپی (ناهمسانی) یا ایزوتروپی (همسانی) است، توسعه پیدا کرده‌اند.

گاهی ممکن است یک نوع ماده موجود در بافت سفال که حرارت دیده است از طریق مشاهده رنگ یا بیرفرنژانس ماتریکس رسی در مقطع نازک مشخص شود. مواد معدنی در دماهای بالا با زینترینگ شدن و تشکیل اسپینل، به ماتریکس ظاهر ایزوتروپیک می‌دهد. به‌علاوه بافت سفال با دارا بودن لایه‌های متفاوت رنگ، اطلاعاتی در مورد اجزاء مواد خام و شرایط حرارت ارائه می‌دهد (Reedy 2008, 185). افزون بر آن، هم‌ترازی ذرات مواد معدنی خاک رس در بافت، مشابه اجزاء غیر پلاستیک، ممکن است نشان‌دهنده روش‌های فرم‌دهی باشد (Velde and Druc 1993, 48-51). با این حال ممکن است این ویژگی‌ها در مشاهدات مقطع نازک مشکل یا غیرممکن باشد.

۵-۳- حفره‌ها / منافذ و عملیات تکمیلی سطح

ساختار سفال هم‌چنین شامل منافذ یا حفره‌هایی است که در مقطع نازک قابل مشاهده‌اند. تعداد، شکل و اندازه منافذ نشان از ایجاد آن‌ها در نتیجه فرآیند آماده‌سازی بافت، یا به دلیل آزاد شدن گازها یا انقباض رس در طول خشک شدن و حرارت مواد سفالی است (Velde and Druc 1999, 110-115; Reedy 2008, 191-193). هم‌چنین منافذ و حفره‌ها نشان‌دهنده موادی است که در طول آماده‌سازی خمیر سفال حضور داشته اما در طی فرآیند حرارتی از بین رفته‌اند. حجم فضای منافذ داخل بافت، از قبیل اندازه و شکل، بر دانسیته، استحکام، نفوذپذیری و مقاومت حرارتی مواد موجد در سفال موثر بوده و در نتیجه اطلاعاتی در رابطه با کارکرد در نظر گرفته شده برای آن ارائه می‌دهد (Shepard 1956, 125-126).

با بررسی مقطع نازک سفال می‌توان اطلاعاتی در مورد روش‌های عملیات تکمیلی سطح مواد به‌دست آورد. این جنبه‌ها به نوبه خود ارائه‌دهنده آگاهی نسبت به تکنولوژی ساخت و توسعه روندهای سبکی است و بدین ترتیب جزئیاتی در مورد ترکیب مواد خام، ماهیت ساختاری، رنگ، شرایط حرارتی و ضخامت لعاب، اسلیپ، رنگ‌ها، و میناکاری‌ها مشخص می‌شود (Reedy 2008, 194-206). عملیات تکمیلی بر سطح سفال نشان‌دهنده کارکرد آن است. برای مثال ممکن است تزیینات سفال به منظور پنهان کردن و پوشش دادن معایب یا نشانه‌هایی از تولید انجام گرفته باشد و یا برخی از پردازش‌های سطحی موجب افزایش نفوذپذیری مواد یا سهولت در استفاده و تمیزکاری آن شود (Velde and Druc 1999, 167).

۶- توسعه اهداف و راهبردهای نمونه‌برداری

یک پروژه پتروگرافی مفید باید با هدف پرداختن به یک مشکل متمرکز و دقیق باستان‌شناسی توسعه یابد. مطالعه پتروگرافی مجموعه سفال‌ها به منظور پاسخ به انواع سوال‌ها، شامل بررسی ویژگی‌ها یا منشأیابی ظروف یا مطالعه‌ی تاریخی نوعی سفال از کل محوطه یا منطقه باستانی انجام می‌شود. بدون تدوین چنین اهداف خاصی، نتایج حاصله از مطالعه پتروگرافی مقطع نازک، معانی باستان‌شناسی محدودتری خواهد داشت. از این رو مشورت در این مورد با یک کارشناس سنگ‌نگاری و کانی‌شناس در اولین مرحله پروژه بسیار مهم و حائز اهمیت است. همکاری با یک کانی‌شناس به توسعه و بهبود راهبرد دقیق نمونه‌برداری متمرکز برای رسیدن به هدف پروژه مفید خواهد بود. اهداف استراتژی نمونه‌برداری با توجه به ماهیت محوطه و مجموعه‌ی تحت بررسی متفاوت بوده و بایستی به دقت برنامه‌ریزی شود تا نوع، کمیت و کیفیت تفسیر داده‌های حاصله به‌دست آید. در دسترس بودن چنین منابعی از قبیل موسسه، نیروی کار و زمان باید به عنوان بخشی از فرآیند برنامه‌ریزی در نظر گرفته شود.

پس از جمع‌آوری مجموعه سفال‌ها از محوطه، قطعات بر اساس خصوصیات بافت مشاهده شده از طریق میکروسکوپ، از جمله رنگ، بافت، سطح نهایی و اجزاء رویت شده، پاکسازی و طبقه‌بندی می‌شوند. ایده کلی مجموعه از لحاظ اشکال، جنس بدنه و ساختارهای میکروسکوپی کمک موثری در انتخاب نمونه‌ها، توسعه اهداف تحلیلی و ارائه گونه‌شناختی و دیگر اطلاعاتی که برای تفسیر ارزشمند هستند، در پی خواهد داشت. این بررسی می‌تواند با چشم غیر مسلح یا با استفاده از لنز دستی یا وسیله‌های دیگر با بزرگنمایی کم انجام گیرد. پس از طبقه‌بندی کلی بافت‌ها، از هر گروه تعدادی برای تهیه مقطع نازک برگزیده می‌شود که انتخاب نوع و تعداد نمونه‌ها بر اساس ماهیت و پیچیدگی مواد، مسائل قابل بررسی باستان‌شناسی صورت می‌گیرد. نمونه‌ها بایستی معرف و نماینده اطلاعات کلی مجموعه از نظر اشکال، ظروف و بافت‌های میکروسکوپی باشند؛ برای مثال، بعید به‌نظر می‌رسد یک قطعه نامشخص یا منحصر بفرد، در ارائه اطلاعاتی معنادار از کل مجموعه مفید باشد. بنابراین، نمونه‌ها در صورت امکان باید از طبقه‌بندی درست و بستر مطمئن منتج شوند، چراکه تفسیر نتایج همواره وقتی قابل قبول است که با اطلاعات زمینه‌ای دقیق همراه باشد.

نمونه مورد نظر برای آنالیز معمولاً یک بخش کوچکی از سفال به اندازه ۲-۳ سانتی‌متر است، اما با استفاده از شیوه خاص، حتی نمونه‌های کوچک‌تر نیز قابل آنالیز هستند. به دلیل مخرب بودن این روش، تنها موادی که بطور کامل مستند و طراحی و ترسیم شده‌اند، پتروگرافی می‌شوند. انتخاب یک قطعه کوچک مربوط به یک ظرف کامل برای آنالیز مقطع نازک مناسب است زیرا اطلاعات میکروسکوپی آن می‌تواند یکپارچه با اطلاعاتی از کل ظرف باشد. سپس فرآیندهای مقطع‌زنی و آزمایش توسط اپراتور انجام می‌گیرد. متعاقباً نتایج آنالیز پتروگرافی با گونه‌شناختی، چینه‌شناسی و مطالعه گاهنگاری سفال‌ها به منظور درک بهتری از جنبه‌های سفال ترکیب می‌شوند.

۷- نتیجه‌گیری

اطلاعات با ارزش به‌دست آمده از طریق بررسی مقطع نازک، با نتایجی از دیگر پژوهش‌ها، از قبیل تحلیل‌های ریخت‌شناسی، سبک، گاهنگاری، کارکرد، مطالعات زمین‌شناسی و قوم نگاری ترکیب می‌شود. هم‌چنین نمونه‌برداری و آنالیز بالقوه از منابع مواد خام و بررسی کاربرد روش‌های سفال‌های جدید انجام می‌گیرد. افزون بر آن، تکنیک‌های علمی هم‌چون پراش پرتو ایکس، جداسازی مواد معدنی سنگین[۶۵] و آنالیز نوترون اکتیویته[۶۶] انجام گرفته و روش پتروگرافی، روش مکملی است که با ارائه بیش‌ترین اطلاعات در مورد کانی‌شناسی و ترکیب شیمیایی بافت سفال به‌کار می‌رود. زمانی که آنالیز مقطع نازک به‌عنوان مکمل مورد استفاده قرار گرفت، مطالعه چندجانبه‌ی آثار سفالی، اطلاعات تفسیری برای باستان‌شناسی و نیز زمینه‌ای برای توصیف دقیق گذشته، به‌خصوص راجع به روش‌های تولید، منشاء، تنوع در تکنولوژی در طول زمان و مکان، شبکه‌های تجارت در مقیاس بومی و غیربومی، حتی مسائل اجتماعی از قبیل انتخاب هر دو تولیدکننده و مصرف‌کننده و سنت‌های تولید را فراهم می‌سازد.

پی‌نوشت‌ها

۱. آدرس متن اصلی منبع ترجمه شده عبارت است از:
Peterson, Sarah E. 2009. Thin Section Petrography of Ceramic Materials, Philadelphia, Pennsylvania: Instap Academic Press.

۲ . Thin-Section Petrography

۳. "Fabric" در علوم زمین‌شناسی به معنای بافت، آرایش و جهت‌گیری ترکیبات مربوط به سنگ است.

٤ . polarizing microscope

۵. "plastic" مواد پلاستیک مانند کانی‌های رسی

۶. "non-plastic" مواد غیر پلاستیک (کوارتز، کربنات‌ها، فلدسپارها) که معمولاً به عنوان مواد افزودنی شامل گدازآورها، پرکننده‌ها، کاهش‌دهنده خاصیت الاستیسیته و...به رس اضافه می‌شوند.

۷ . Birefringence
۸ . Wiliam Nicol
۹ . Wiliam Henry Fox Talbot
۱۰ . Henry Clifton Sorby
۱۱ . Sheffield University
۱۲ . carboniferous
۱۳ . Derbyshire
۱٤ . Yorkshire
۱۵ . Karl Georg Richard Lepsius
۱٦ . Attica
۱۷ . Anna O. Shepar

۱۸. سنت سفالگری مردم منطقه ریوگراند در مکزیک که مربوط به دوره مافبل تاریخ و تاریخی است.

۱۹ . Pecos
۲۰ . Morphological
۲۱ . Wayne M. Felts
۲۲ . Cincinnati
۲۳ . Fredrick R. Matson
۲٤ . Chicago
۲۵. Minnesota Messenia Expedition in Greece
۲٦ . David Peacock

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۲۷ . Herefordshire-Cotswold
۲۸ . fishbourne
۲۹ . Aegean
۳۰ . Einfalt
۳۱ . Karlsruhe University
۳۲. "Thera" نام باستانی محوطه استقراری متعلق به عصر برنز و نام جزیره آتشفشانی در آکروتیری است.
۳۳ . David F. Wiliams
۳٤ . University of Southampton
۳۵ . W. Noll
۳۶. "Kamares Ware" ظروف کامارس نوع متفاوتی از سفال‌های تولید شده در کرت مینوان با قدمتی نزدیک به ۲۱۰۰ سال پیش از میلاد هستند و با نقوش گلدار و معمولاً به رنگ سفید، قرمز و آبی در زمینه سفید و سیاه تزئین شده-اند
۳۷ . J.A Rilet
۳۸ . George H. Myer
۳۹ . Philip P. Betancourt
٤۰. White-on-Dark Ware
٤۱ . Qoueiq
٤۲ . Tell Rifa’at Survey
٤۳ . Ian K. Whitbread
٤٤ . Leicester
٤۵. Micro morphology
٤٦ . R.E. Jones
٤۷ . Sarah J. Vaughan
۴۸. یه گروه از جزایر که در دریای اژه، جنوب شرق سرزمین اصلی یونان واقع است.
٤۹ . Peter M. Day
۵۰ . Christine Shriner
۵۱ Indiana University
۵۲ . Lerna
۵۳ . Grog
۵٤ . H.U. Bambauer
۵۵ .F. Taborszky
۵٦ .H.D. Trochim
۵۷ . W.A. Deer
۵۸ . R. A. Howie
۵۹ .J. Zussman
٦۰ . W.D. Ness
۶۱. به زبان یونانی یعنی مدرن، نام جزیره‌ای مدرن در خلیج میرابل (Mirabello) درشرق کرت یونان که به سایت-های باستان‌شناسی دوره مینوان متصل است و به‌عنوان بندر شرقی محسوب می‌شود.
۶۲. محوطه باستانی مربوط به ماقبل تاریخ (عصر برنز) در جنوب کرت یونان.
٦۳ . X-ray diffraction
٦٤ . Infrared spectroscopy
۶۵ . Heavy mineral separation
۶۶ . Nutrun activation analysis

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Bibliography

Abbreviations follow the conventions suggested in the *American Journal of Archaeology*, 111.1 (2007), pp. 14–34.

Bambauer, H.U., F. Taborszky, and H.D. Trochim. 1979. *Optical Determination of Rock-Forming Minerals*, by W.E. Tröger, Stuttgart.

Betancourt, P.P. 1984. *East Cretan White-on-Dark Ware: Studies on a Handmade Pottery of the Early to Middle Minoan Periods* (*University Museum Monograph* 51), Philadelphia.

Betancourt, P.P., T.K. Gaisser, E. Koss, R.F. Lyon, F.R. Matson, S. Montgomery, G.H.Myer, and C.P. Swann. 1979. *Vasilike Ware: An Early Bronze Age Pottery Style in Crete* (*SIMA* 56), Göteborg.

Braidwood, R.J., and L.S. Braidwood. 1960. *Excavations in the Plain of Antioch* I: *The Earlier Assemblages. Phases A–J* (*The University of Chicago Oriental Institute Publications* 61), Chicago.

Croft, W.J. 2006. *Under the Microscope: A Brief History of Microscopy* (*Series in PopularScience* 5), Hackensack, NJ.

Day, P.M. 1995. "Pottery Production and Consumption in the Sitia Bay Area during the New Palace Period," in *Achladia: Scavi e richerche della Missione greco-italiana in Creta orientale, 1991–1993*, M. Tsipopoulou and L. Vagnetti, eds., Rome, pp. 148–175.

———. 1997. "Ceramic Exchange between Towns and Outlying Settlements in Neopalatial East Crete," in *The Function of the "Minoan Villa." Proceedings of the Eighth International Symposium at the Swedish Institute in Athens, 6–8 June, 1992* (*SkrAth* 4°, 46), R. Hägg, ed., Stockholm, pp. 219–228.

Day, P.M., and V. Kilkoglou. 2001. "Analysis of Ceramics from the Kiln," in *A LM IA Ceramic Kiln in South-Central Crete: Function and Pottery Production* (*Hesperia Suppl.* 30), pp. 111–133.

Day, P.M., E. Kiriatzi, A. Tsolakidou, and V. Kilikoglou. 1999. "Group Therapy in Crete: A Comparison between Analyses by NAA and Thin Section Petrography of Early Minoan Pottery," *JAS* 26, pp. 1025–1036

Day, P.M., and M. Relaki. 2003. "A Petrographic Analysis of the Neopalatial Pottery," in *Mochlos* IB: *Period III. Neopalatial Settlement on the Coast: The Artisans' Quarter and the Farmhouse at Chalinomouri. The Neopalatial Pottery* (*Prehistory Monographs* 8), K.A. Barnard and T.M. Brogan, eds., Philadelphia, pp. 13–32.

Day, P.M., and D.E. Wilson. 1998. "Consuming Power: Kamares Ware in Protopalatial Knossos," *Antiquity* 72, pp. 350–358.

Day, P.M., D.E. Wilson, and E. Kiriatzi. 1997. "Reassessing Specialization in Prepalatial Cretan Ceramic Production," in *TEXNH: Craftsmen, Craftswomen, and Craftsmanship in the Aegean Bronze Age. Proceedings of the Sixth International Aegean Conference, Philadelphia, Temple University, 18–21 April 1996* (*Aegaeum* 16), R. Laffineur and P.P. Betancourt, eds., Liège, pp. 275–289.

Deer, W.A., R.A. Howie, and J. Zussman. 1996. *An Introduction to Rock-FormingMinerals*, Essex, UK.

Doumas, Ch., ed. 1979. *Thera and the Aegean World* I. *Papers Presented at the SecondInternational Scientific Congress, Santorini, Greece, August 1978*, London.

Einfalt, H.-C. 1979. "Chemical and Mineralogical Investigations of Sherds from the Akrotiri Excavations," in Doumas, ed., 1979, pp. 459–469.

Felts, W.M. 1942. "A Petrographic Examination of Potsherds from Ancient Troy," *AJA* 46, pp. 237–244.

Hardy, D.A., Ch. Doumas, J.A. Sakellarakis, and P.M. Warren, eds. 1990. *Thera and the Aegean World III. Proceedings of the Third International Congress, Santorini, Greece,3–9 September 1989*. Volume I: *Archaeology*, London.

Humphries, D.W. 1992. *The Preparation of Thin Sections of Rocks, Minerals, and Ceramics* (*Microscopy Handbooks* 24), Oxford.

Jones, R.E. 1986. *Greek and Cypriot Pottery: A Review of Scientific Studies* (*The British School at Athens Fitch Laboratory Occasional Paper* 1), Athens.

Lepsius, G.R. 1890. *Greichische Marmorstudien*, Berlin.

Matson, F.R. 1942. "Technological Ceramic Studies," *College Art Journal* 1, pp. 25–28.

———. 1945. "Technological Development of Pottery in Northern Syria during the Chalcolithic Age," *Journal of the American Ceramic Society* 28, pp. 20–25.

———. 1965. "Ceramic Ecology: An Approach to the Study of Early Cultures of the Near East," in *Ceramics and Man*, F.R. Matson, ed., Chicago, pp. 202–217.

———. 1972. "Ceramic Studies," in *The Minnesota Messenia Expedition: Reconstructing a Bronze Age Regional Environment*, W.A. McDonald and G.R. Rapp, Jr., eds., Minneapolis, pp. 200–224.

Matthers, J., ed. 1981. *The River Qoueiq, Northern Syria, and its Catchment* II (*BAR-IS*98), Oxford.

Moltesen, M. 1994. *The Lepsius Marble Samples*, Copenhagen.

Myer, G.H., and P.P. Betancourt. 1981. "The Composition of Vasilike Ware and the Production of the Mottled Colors of the Slip," in *Scientific Studies in Ancient Ceramics* (*BMOP* 19), M.J. Hughes, ed., pp. 51–55.

———. 1990. "The Fabrics at Kommos," in *Kommos* II: *The Final Neolithic through Middle Minoan III Pottery*, P.P. Betancourt, Princeton, pp. 1–13.

Myer, G.H., K.G. McIntosh, and P.P. Betancourt. 1995. "Definition of Pottery Fabrics by Ceramic Petrography," in *Pseira* I: *The Minoan Buildings on the West Side of Area A* (*University Museum Monographs* 94), P.P. Betancourt and C. Davaras, eds., Philadelphia, pp. 143–153.

Nesse, W.D. 2004. *Introduction to Optical Mineralogy*, 3rd ed., Oxford.

Noll, W. 1979. "Material and Techniques of the Minoan Ceramics of Thera and Crete," in Doumas, ed., 1979, pp. 493–505.

Orton, T., P. Tyers, and A. Vince. 1993. *Pottery in Archaeology*, Cambridge.

Peacock, D.P.S. 1968. "A Petrological Study of Certain Iron Age Pottery from Western England," *Proceedings of the Prehistoric Society* 34, pp. 414–427.

———. 1971. "Petrography of Certain Coarse Pottery," in *Excavations at Fishbourne 1961–1969*. Volume II: *The Finds* (*Reports of the Research Committee of the Society of Antiquaries of London* 27), B. Cunliffe, ed., Leeds, pp. 255–259.

Reedy, C.L. 2008. *Thin-Section Petrography of Stone and Ceramic Cultural Materials*, Plymouth, UK.

Riley, J.A. 1979. "The Petrological Investigation of Roman and Islamic Ceramics from Cyrenaica," *Libyan Studies* 10, pp. 35–46.

———.1981a. "The Late Bronze Age Aegean and the Roman Mediterranean: A Case for Comparison," in *Production and Distribution: A Ceramic Viewpoint* (*BAR-IS* 120), H. Howard and E.L. Morris, eds., Oxford, pp. 133–143.

———. 1981b. "Petrological Examination of Bronze Age IV Fabrics," in Matthers, ed., 1981, pp. 349–361.

———. 1981c. "Petrological Examination of Coarse-Ware Stirrup-Jars from Mycenae," *BSA*76, pp.335–340.

———. 1981d. "Petrological Examination of Two Mycenaean Sherds," in Matthers, ed.,1981, pp. 413–415.

———. 1982. "The Petrological Analysis of Aegean Ceramics," in *Current Research in Ceramics: Thin Section Studies* (*BMOP* 32), I. Freestone, C. Johns, and T. Potter, eds., pp. 1–7.

———.1983. “The Contribution of Ceramic Petrology to Our Understanding of Minoan Society,” in *Minoan Society. Proceedings of the Cambridge Colloquium 1981*, O. Krzyszkowska and L. Nixon, eds., Bristol, pp. 283–292.

Riley, J.A., D.P.S. Peacock, and A.C. Renfrew. 1980. “The Petrological Characterization of Ceramics from Knossos and Mycenae,” *Revue d’Archéometrie* 3, pp. 245–250.

Roux, V., and M.A. Courty. 1998. “Identif ication of Wheel-Fashioning Methods: Technological Analysis of 4th–3rd Millennium B.C. Oriental Ceramics,” *JAS* 25, pp. 747–763

Shepard, A.O. 1942. *Rio Grande Glaze Paint Ware: A Study Illustrating the Place of Ceramic Technological Analysis in Archaeological Research* (*Carnegie Institution of Washington Publication* 528),Washington, D.C.

———. 1956. *Ceramics for the Archaeologist*, Washington, D.C.

———. 1965. “Rio Grande Glaze-Paint Pottery: A Test of Petrographic Analysis,” in *Ceramics and Man*, F.R. Matson, ed., Chicago, pp. 62–87.

Shriner, C., and M.J. Dorais. 1999. “A Comparative Electron Microprobe Study of Lerna III and IV Ceramics and Local Clay-Rich Sediments,” *Archaeometry* 41, pp. 25–49.

Shriner, C., and H.H. Murray. 2001. “Explaining Sudden Ceramic Change at Early Helladic Lerna: A Technological Paradigm,” in *Archaeology and Clays* (*BAR-IS* 942), I.C. Druc, ed., pp. 1–17.

Sorby, H.C. 1851. “On the Microscopical Structure of the Calcareous Grit of the Yorkshire Coast,” *The Quarterly Journal of the Geological Society of London* 7, pp. 1–6.

———. 1882. “Preparation of Transparent Sections of Rocks and Minerals,” *The Northern Microscopist* 17, pp. 101–106, 133–140.

Vaughan, S.J. 1990. “Petrographic Analysis of the Early Cycladic Wares from Akrotiri, Thera,” in Hardy et al., eds., 1990, pp. 470–487.

———. 1991a. “Late Cypriot Base Ring Ware: Studies in Raw Materials and Technology,” in *Recent Developments in Ceramic Petrology* (*BMOP* 81), A. Middleton and I. Freestone, eds., pp. 337–368.

———. 1991b. “Material and Technical Characterization of Base Ring Ware: A New Fabric Typology,” in *Cypriot Ceramics: Reading the Prehistoric Record* (*University Museum Monographs* 74), J.A. Barlow, D.L. Bolger, and B. Kling, eds., Philadelphia, pp. 119–130.

Velde, B., and I.C. Druc. 1999. *Archaeological Ceramic Materials*, Berlin.

Williams, D.F. 1979a. “Ceramic Petrology and the Archaeologist,” in *Pottery and the Archaeologist*, M. Millet, ed., London, pp. 73–75.

———. 1979b. “A Petrological Examination of Pottery from Thera,” in Doumas, ed.,1979, pp. 507–514.

Whitbread, I.K. 1986. “The Characterization of Argillaceous Inclusions in Ceramic Thin Sections,” *Archaeometry* 28, pp. 79–88.

———. 1989. “A Proposal for the Systematic Description of Thin Sections Towards the Study of Ancient Ceramic Technology,” in *Archaeometry. Proceedings of the 25th International Symposium*, Y. Maniatis, ed., Amsterdam, pp. 127–138.

———. 1996. “Detection and Interpretation of Preferred Orientation in Ceramic Thin Sections,” in *Imaging the Past* (*BMOP* 114), T. Higgins, P. Main, and J. Long, eds., London, pp. 173–181.

Woods, A.J. 1985. “An Introductory Note on the Use of Tangential Thin Sections for Distinguishing Between Wheel-Thrown and Coil/Ring-Built Vessels,” *Bulletin of the Experimental Firing Group* 3, pp. 100–114.