

کاربرد علم شیمی در موزه داری

رزیتا صالحی نظامی

طی چند دهه ی گذشته کاربرد علوم در موزه داری جهت شناسایی آثار و اشیاء موزه ای و فرآیند های محیطی موزه ها نقشی چشمگیر یافته است. علم شیمی از جمله علمی است که به مدد موزه داران آمده است تا آنان را در مواردی چون تعیین قدمت آثار و اشیاء، تکنیک ساخت و عناصر تشکیل دهنده ی آنان یاری دهد.

به طور کلی کاربرد علم شیمی در موزه داری در سه شاخه ی سالیابی، تکنیک ساخت و شناسایی ساختار بررسی می شود.

• سالیابی

روشهای سالیابی شیمیایی بر اساس اندازه گیری سرعت و نرخ واکنشهایی مانند نفوذ، جایگزینی، اکسید شدن، هیدراته شدن و تغییراتی از این نوع است. قدمت شیء با تعیین غلظت و چگالی نهایی محصولات یا واکنش گرها محاسبه می شود. از انواع این متدهای سالیابی میتوان به روشهای ذیل اشاره کرد:

۱- سالیابی اسیدین هیدراته شده (آبدار شده)

اسیدین از نمونه سنگهایی است که برآز فعالیتهای آتشفشانی به وجود می آید. یکی از مشخصه های اسیدین، یکسان بودن تقریبی ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی سنگهای به دست آمده از یک معدن است که آن را از سنگهای به دست آمده از معادن دیگر متمایز می کند. در نتیجه می توان با روشهای مختلف تجزیه عنصری و تعیین در صد ترکیبات شیمیایی هر نمونه و بررسی خواص فیزیکی آن و مقایسه با اطلاعات مربوط به معادن شناخته شده اسیدین در دنیا، تا حدودی منشأ یک نمونه نامعلوم را مشخص کرد. با توجه به محدود بودن معادن اسیدین در دنیا، می توان با بررسی ابزارهای ساخته شده از اسیدین و تعیین منشأ آنها به شناخت بهتر از نحوه ارتباطات فرهنگی، اقتصادی و تجاری بین جوامع ما قبل تاریخ دست یافت.

برای تعیین قدمت اسیدین روشهای مختلفی مانند سالیابی رد شکافت هسته ای و سالیابی اسیدین هیدراته شده (آبدار شده) وجود دارد. در روش اول نتایج سالیابی نشاندهنده زمان تشکیل سنگ است و با روش دوم می توان زمان ساخت ابزار سنگی از اسیدین توسط انسان را مشخص کرد.

پدیده هیدراته شدن (آبدار شدن)، با سرد شدن توده مذاب سنگ اسیدین آغاز می شود. با شکستن یا تراشیدن سطوح اسیدین به منظور ساخت ابزار، لایه های هیدراته شده قدیمی زدوده می شوند و روند هیدراته شدن روی سطح تازه سنگ دوباره آغاز می شود. این روند تا زمانی که سطح سنگ به طریقی برداشته نشود ادامه می یابد. با اندازه گیری ضخامت لایه های هیدراته شده چند نمونه و مقایسه آنها با یکدیگر، می توان توالی نسبی اشیاء ساخته شده از اسیدین را معلوم کرد. به دلیل رابطه پیچیده تأثیر درجه حرارت و ترکیب شیمیایی خاک منطقه به روند هیدراته شدن، این روش سالیابی برای تعیین سده مطلق استفاده نمی شود. سرعت هیدراته شدن اسیدین به عوامل مختلفی، مانند ترکیب شیمیایی سنگ، میزان اسیدی بودن محل که نمونه در آن قرار گرفته و درجه حرارت محیط بستگی دارد. با افزایش درجه حرارت، سرعت هیدراته شدن نیز افزایش می یابد. هر چه محیطی که سنگ در آن قرار گرفته اسیدی تر باشد، سرعت فرآیند هیدراته شدن کاهش می یابد. درصد رطوبت محیط تأثیر بسیاری بر سرعت هیدراته شدن سنگ ندارد.

۲- سالیابی فلوتور

استخوان، دندان و شاخ از موادی به شمار می روند که در شرایط مناسب قادر به جذب فلوتور از خاک هستند. بخش معدنی (غیر آلی) استخوانها به طور عمده از هیدروکسیل آپاتیت با فرمول شیمیایی $Ca_5(PO_4)_3OH$ تشکیل شده است. هنگامی که استخوان برای مدتهای طولانی در خاک قرار می گیرد، گروه هیدروکسیل از ترکیب هیدروکسیل آپاتیت، توسط فلوتور که در آبهای زیر زمینی وجود دارد، جایگزین می شود. میزان جذب فلوتور در استخوان از محلی به محل دیگر بسته به شرایط آب و هوایی، ترکیب شیمیایی محل، مقدار رطوبت و وضعیت آبهای زیرزمینی و آبهای جاری محل دفن متغیر است. استخوانهایی که در لایه های رسوبی نرم یا در خاکهایی که آب به خوبی در آنها جریان می یابد قرار گرفته باشند فلوتور بیشتری نسبت به نمونه های یافت شده در رسوبات، کلسیق غارها جذب می کنند. ساختار خاک و قطر دانه ها نیز در میزان جذب فلوتور مؤثر است. میزان (سرعت) جذب فلوتور تا حدودی به ساختار و ترکیب شیمیایی خود نمونه نیز بستگی دارد.

با جایگزینی کامل فلوتور به جای گروه هیدروکسیل و تشکیل فلوتور آپاتیت $Ca_5(PO_4)_3F$ غلظت فلوتور در استخوان به حدود ۲/۸ درصد می رسد. (F به جای OH جایگزین می شود).

این روش يك روش سالیابی نسبی است که با روش سالیابی فلوتور می توان نمونه های را از نظر تقدم و تأخر زمانی نسبت به یکدیگر و در يك محل طبقه بندی کرد .

۳- سالیابی اورانیوم

اورانیوم موجود در آبهای زیرزمینی به آهستگی و طی زما نهایی نسبتاً طولانی با جذب در استخوان به جای کلسیم در هیدروکسیل آپاتیت جاگزين می شود. جذب اورانیوم در استخوان ، دندان و شاخ روندی مشابه جذب فلوتور در این نمونه دارد. تفاوت اصلی در سرعت جذب اورانیوم است. روش اورانیوم نیز به دلیل تأثیر شرایطی محیطی ، فقط برای سالیابی نسبی مورد استفاده قرار می گیرد. غلظت اورانیوم به صورت درصد اکسید اورانیوم (U_3O_8) اندازه گیری می شود. غلظت اورانیوم در نمونه های تازه کمتر از 0.02 ppm است این غلظت برای نمونهایی با قدمت بیش از یک میلیون سال حتی به 400 ppm نیز افزایش می یابد.

۴- سالیابی نیتروژن

این روش برای سالیابی نسبی استخوان ، دندان و شاخ با قدمتهای چند هزار سال است. استخوانهای تازه حاوی ۵ درصد نیتروژن در کلاژن (بخش آلی استخوان) هستند. هنگامی که استخوانها در خاک قرار می گیرند ، فعالیت آنزیمهای درونی آنها باعث تجزیه مغز استخوان، سلولهای استخوانی می شود. درجه حرارت محیط ، ترکیب شیمیایی و ساختار فیزیکی محلی که استخوان در آن قرار دارد نیز از عوامل موثر بر روند تجزیه هستند. تجزیه استخوان در محیطی که اکسیژن کمتری دارد کندتر انجام می شود. به طور کلی پس از ۲۵۰ تا ۳۰۰ هزارسال، در درجه حرارتهای متعارف ، میزان نیتروژن موجود در استخوان بسیار ناچیز و غیر قابل اندازه گیری خواهد بود.

۵- سالیابی راسمیک شدن اسیدهای آمینه

این روش برای تعیین قدمت نمونه های زمین شنا سی و باستان شنا سی با منشاء بیولوژیک است. این روش بر اساس واکنشهای راسمیک شدن اسید های آمینه موجود در استخوان، دندان، عاج و صدف بنا شده است. محدوده زمانی قابل سالیابی بسته به نوع اسید آمینه و با توجه به درجه حرارت محیط از یک هزار تا چند هزار سال است. خطای این روش سالیابی به دقت اندازه گیری عوامل محیطی مؤثر بر سرعت راسمیک شدن بستگی دارد. میزان نمونه ی مورد نیاز در میلی گرم تا چند گرم است. اسید های آمینه ای که به طور طبیعی در بدن موجودات زنده تشکیل می شوند. همه دارای یک ساختار معین هستند، که طبق قرارداد به آنها چپ گرد یا ساختار ایزومر نوری L می گویند. هنگامی که موجود زنده می میرد. بخشی از اسید آمینه با ساختار به آهستگی و طی یک واکنش برگشت ناپذیر ساختار D یا راست گرد تبدیل می شود که این روند راسمیک شدن نام دارد. روند تبدیل ساختار L به D تا هنگامی که اسیدهای آمینه موجود در نمونه به حد تعادل برسد ادامه می یابد. این روند در درجه حرارتهای پایین تر از ۴۰ درجه سانتیگراد به طور خودبه خود و با سرعت برای هر اسید آمینه در درجه حرارتهای مشخص انجام می شود. با اندازه گیری مستقیم نسبت L به D (درجه راسمیک شدن) ، می توان قدمت نمونه را محاسبه کرد. (بحرالعلومی ، ۱۳۷۸: ۱۳۳)

• شناسایی ساختار اشیاء

هدف از آزمایشهای تجزیه عنصری شناسایی یک یا چند جزء از اجزاء سازنده یک نمونه و تعیین مقدار نسبی هریک از آنها می باشد. فرآیند شناسایی را تجزیه کیفی و تعیین مقدار را تجزیه کمی می گویند.

کاربردهای تجزیه ی عنصری در شناسایی اشیاء هنری

الف: تعیین منبع مواد خام و خاستگاه شیء

نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی در مواردیکه علاوه بر عناصر اصلی تشکیل دهنده ی شیء ، عناصر کم مقدار را مشخص می سازد می تواند در شناسایی منبع مواد خام مفید واقع شود. از آنجائیکه تمرکز عناصر کم مقدار و جزئی ویژگی محل خاصی است ، با تجزیه شیمیایی منشاء یک ماده نظیر سنگ های معدنی یا خاک منطقه و تعیین عناصر متشکله آنها و مقایسه با عناصر تشکیل دهنده ی یک شیء می توان در یافت که آیا شیء بومی یا محلی بوده یا جنبه وارداتی داشته و حاصل تبادل فرهنگی و تجارت بین مناطق مختلف است .

ب: تعیین اصالت شیء

یکی از مسائل حائز اهمیت در باره ی آثار موزه ای تأیید اصالت اشیاء است. در این مورد می توان با مقایسه بین عناصر متشکله یک شیء مشکوک با یک شیء اصیل که اصالت آن مورد تأیید قرار گرفته اصالت آن را بررسی نمود و یا در مورد یک مجموعه از اشیاء همانند و بررسی آماری عناصر تشکیل دهنده ی آنها به یک نتیجه مشخص دست یافت و اشیاء مشابه و مشکوک را با نتایج فوق مقایسه نمود.

ج: حفاظت از اشیاء

شناسایی عناصر تشکیل دهنده ی یک شیء موزه ای می تواند راهنمایی باشد برای روشهای درمان و حفاظت و نگهداری آن شیء به طور مثال با شناسایی محصولات خوردگی در آثار فلزی می توان نحوه ی از میان برداشتن آنها و تثبیت شیء را تشخیص داد.

روشهای تجزیه عنصری

۱. آنالیز فعالسازی نوترونی

NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS (NAA)

تکنیکهای فعالسازی نوترون بر اساس آشکار سازی پرتوهای گامای حاصل از واپاشی هسته های ناپایدار واقع شده اند . این گونه هسته ها معمولاً از طریق واکنشهای گیراندازی نوترون ایجاد می شوند . به دلیل سطح مقطع بالا^۱ معمولاً نوترونهای گرمایی^۲ به کار گرفته می شوند . ولی همانطور که در منبع [۴] عنوان شده ، ممکن است نوترونهای سریع نیز تحت شرایط خاصی مناسب باشند . عمل فعالسازی را توسط ذرات باردار و فوتون ها نیز می توان انجام داد ، اما اینگونه متدها استفاده محدود تری دارند .

هسته های هدف بعد از اینکه نوترون را جذب نمودند از طریق یک سری انتقالات هسته ای به آرایش پایدار می رسند . این انتقالات موجب نشر پرتو بتا و پرتوهای مشخصه گاما می گردد . با آشکار سازی و آنالیز پرتوهای گاما می توان نوع هسته های مادر را تعیین نمود .

۲. فلورسانس پرتو ایکس

X- RAY FLUORESCENCE (XRF)

این متد بر اساس انتقال الکترون بین لایه های داخلی اتم و ساطع شدن فوتونهایی که انرژی آنها متناسب با اختلاف انرژی لایه های الکترونی است پایه گذاری شده است . لایه های داخلی با علایم M, K, L و انرژی های آنها با علائم B_K, B_L, B_M نمایش داده می شوند . انرژی الکترون در یک لایه بخصوص تابعی از نوع لایه (K, L, M, \dots) و عدد اتمی (نوع اتم) است . مکانیسم ساطع شدن فوتونهای ثانویه در اثر تابش فوتونهای اولیه به ترتیب زیر می باشد.

- ۱- تابش فوتون پر انرژی .
 - ۲- کنده شدن الکترون های داخلی .
 - ۳- جایگزین شدن الکترونهای کنده شده با الکترونهای لایه های بالاتر .
 - ۴- ساطع شدن فوتون در اثر انتقال الکترون از لایه های بالاتر به لایه های پایین تر .
- در متد XRF با تابش فوتون پر انرژی به نمونه و آنالیز فوتونهای ثانویه می توان ساختار آنها به طور غیر مخرب تعیین نمود . در یک طیف XRF شدت (سرعت شمارش) به صورت تابعی از انرژی ترسیم شده است .

- ۱- در انرژی های 10Kev به بالا ضریب تضعیف اکثر مواد بسیار بالا بوده و این مسئله آنالیز را به چند دهم میکرون در زیر سطح محدود می نماید .
- ۲- بافت نمونه در سرعت آشکار سازی پرتوهای X (شدت سیگنال) مؤثر است . برای در نظر گرفتن اثرات فوق لازم است که سیستم کالیبره گردد و در کالیبراسیون هر چه استانداردها به نمونه نزدیک تر باشند . اندازه گیری دقیق تری را می توان انجام داد ، در ارتباط با کارهای هنری مشکل ترین کار تهیه استانداردهایی است که از نظر زبری ، خوردگی و هموزن بودن مشابه با اشیاء هنری باشند و دشواری این کار آنالیز کمی با XRF را مشکل می نماید . حد تشخیص ایده آل در حدود چند دهم ppm است ولی مشکلات فوق منجر به حصول مقادیر بالاتری می شود ، به علاوه عدم اطمینان نسبی برای اجزاء اصلی آلیاژهای فلزی در حدود چند درصد است .

۳. نشر پرتوهای ایکس توسط تحریک ذره ای

PARTICLE INDUCED X- RAY EMISSION (PIXE)

نشر پرتوهای مشخصه ایکس نه تنها توسط فوتونها ، بلکه توسط ذرات باردارمانند الکترونها ، ذرات آلفا ، دوترونها و یونهای سنگین نیز انجام می پذیرد . تمرکز اصلی این فصل بر نشر پرتو ایکس توسط پرتونها است که نسبت به استفاده از سایر ذرات کاربرد بیشتری دارد . فرآیند یونیزاسیون نوعی برهم کنش کولومبی است که در طی آن انتقال انرژی بین فوتونهای شتاب داده شده و الکترونهای لایه های داخلی سبب کنده شدن الکترون می شود ، به دنبال آن اتم به طریقی که در قسمت XRF تشریح شده به حالت پایه بر می گردد و آنالیز فلورسانس حاصله به همان روش و با همان اهداف دنبال می شود .

^۱ - کمیت سطح مقطع که با σ نمایش داده می شود ، احتمال انجام یک واکنش خاص را مشخص می کند .

^۲ - نوترونها با توجه به انرژی شان ، به دسته های زیر تقسیم بندی می شوند .

نوترونهای ترمال : از توزیع ماکسول تبعیت می نمایند و میانگین انرژی آنها 0.025eV است .

نوترونهای اپی ترمال : این نوترونها دارای انرژی بین 0.4 تا 1Kev می باشند .

نوترونهای متوسط : این نوترونها دارای انرژی بین 1 تا 10keV می باشند .

نوترونهای سریع : این نوترونها دارای انرژی بین 10Kev تا 10Mev می باشند .

انجام باید گفت که در قیاس با XRF ، توسط PIXE می توان آنالیز همزمان چند عنصر را در گستره وسیع تری از عدد اتمی به انجام رسانید .

۴. اسپکتروسکوپی جذب اتمی

ATOMIC ABSORPTION SPECTROSCOPY (AAS)

در گستره مرئی طیف الکترومغناطیس ، تأثیر متقابل تابش با ماده باعث تهییج الکترونهاى خارجی می شود و با دنبال کردن تابشی که از بخارات اتمی عبور می نماید می توان به طور تجربی این پدیده را مشاهده نمود . تابش عبور کرده چندین خط سیاه نشان می دهد که شاخص نوع اتم است ، فوتونهاى گمشده ، جذب و سبب برانگیخته شدن الکترون های لایه های خارجی می شوند . وضعیت معکوس را می توان بر روی اتمهای تهییج شده مشاهده نمود (قسمت ICP-AES را ببینید) بعضی خطوط نشری که از بازگشت الکترونها به حالت پایه به وجود می آیند ، به طور دقیقی خطوط سیاه جذبی را پوشش می دهد .

اندازه گیری نسبت شدت پرتوهای تضعیف شده به تضعیف نشده به صورت تابعی از طول موج ، متد بسیار حساسی برای آنالیز کمی است . در این متد لازم است که با استفاده از استاندارد یا ساختمان دقیقاً مشخص ، کالیبراسیون انجام پذیرد .

۵. اسپکتروسکوپی نشر اتمی توسط پلاسمای کوپل شده القایی

INDUCTIVELY COUPLED PLASMA ATOMIC EMISSION SPECTROSCOPY (ICP-AES)

انتقال الکترون های خارجی اتمها یا یونها ، بین حالت برانگیخته و پایه یا بین دو حالت برانگیخته ، مستلزم جذب یا آزاد شدن انرژی الکترومغناطیسی در محدوده نور مرئی و یا ماوراء بنفش است . انرژی یا طول موجی که در آن جذب یا نشر رخ می دهد مشخصه کیفی یک اتم و شدت جذب یا نشر با فراوانی آن متناسب است .

نشر ویژه مستلزم این است که اتمها یک حالت خنثی پیوند نیافته پیدا نموده و سپس تحریک شوند .^۴ در ICP-AES هر دو مرحله (به دست آوردن اتمهای خنثی و تحریک آنها) با فرستادن ذرات نمونه به جریانی از پلاسمای آرگون انجام می شود . پلاسمای یک گاز هادی ، حاوی یونها ، الکترونها و ذرات خنثی است . در سیستمهای ICP ، پلاسمای کوپل کردن یک بخار آرگون با یک میدان RF حاصل می گردد ، میدان که با زمان تغییر می کند ، دانه های ذرات باردار را شتاب می دهد و حرکت آنها توسط اثر ژول گاز را گرم نموده و باعث یونیزاسیون بیشتر می شود . دمای ۵۰۰۰-۸۰۰۰ درجه کلوین ، قدرت الکتریکی ۱-۱/۵ وات و فرکانس ۲۷ مگا هرتز پارامترهای عملی دستگاه هستند .

۶. کروماتوگرافی یونی

ION CHROMATOGRAPHY (IC)

کروماتوگرافی یونی بر اساس جداسازی یونها در طی عبور از ستون حاوی رزین تبادل یونی بنا گزاری شده است ، برای آنالیز کاتیونها و آنیون ها به ترتیب یک رزین تبادل کاتیونی و آنیونی به کار برده می شود .

زمان بازداری هر یون در داخل ستون به میزان زیادی به تمایل آن به رزین تبادل یونی ، مرتبط است ، چنین ارتباطی باعث می شود که یونهاى مختلف ، ستون را در زمانهای متفاوت ترک نمایند . هنگامی که نمونه به سیستم تزریق می شود و توسط شویند از میان ستون عبور می نماید ، یونهاى آن با رزین مخلوط می شوند و بعد از مدتی (که بستگی به تمایل یونهاى مربوطه به رزین دارد) . یونهاى نمونه توسط یونهاى شوینده جایگزین می شوند ، در طی جریان شوینده به طرف انتهای ستون مجدداً یونها با رزین مخلوط می گردند و این فرآیند مرتباً تکرار می گردد یعنی یونها مرتباً بین رزین و جریان شوینده جابه جا می شوند .

یونهاى که ستون جدا کننده را ترک می کنند ، آماده آشکار شدن هستند . آشکارسازها بسته به یون معمولاً هدایت و یا جذب UV را اندازه گیری می کنند .

هنگامی که از یک هدایت سنج به عنوان آشکار ساز استفاده می شود ، یک بازدارنده با ستون جداسازی سری می گردد ، بازدارنده برای کاهش هدایت زمینه شوینده و اصلاح سیگنال آنالیت به کار گرفته می شود .

³ - به دلیل اینکه در فرآیند تهییج الکترونهاى لایه و الانس مد نظر می باشند ، تمیزه شدن یعنی تولید اتمهای آزاد خنثی ضروری می باشد .

کروماتوگرافی که از طریق رایانه یا ثابت به دست می آید . ترسیمی از هدایت یا جذب نسبت به زمان می باشد ، محل هر پیک وابسته به زمان بازداری است و بنابراین می توان آنرا به گونه های یونی مشخصی ارتباط داد . نتایج کمی از محاسبه مساحت های پیک که متناسب با غلظت آنالیت ها هستند به دست می آید ، ولی سیستم باید با تعداد مناسبی از استانداردها کالیبره گردد .

۷. اسپکتروسکوپی مادون قرمز

INFRARED SPECTROSCOPY (IRS)

اسپکتروسکوپی IRS بر تأثیر متقابل کوانتای الکترومغناطیسی با ترکیبات آلی و معدنی^۴ متمرکز شده است . ناحیه طول موج بین ۲/۸-۳۳ میکرون است این ناحیه IRS اصلی نام دارد . تأثیر متقابل به صورتی است که مولکولها را می توان به نوسان کننده های مکانیکی تشبیه نمود که در آن اتمها مشابه وزنه و پیوندها مشابه فنر هستند . چنانچه دی پل ممان مولکول در حین ارتعاش تغییر نماید ، در فرکانس خاصی ، نوسان کننده با طول موج الکترومغناطیسی کوپل و آنرا جذب خواهد نمود . چنین فرکانسی وابسته به ثابت های نیروی پیوندها ، جرمهای نسبی اتمها و وضعیت هندسی آنها است . چنانچه مولکولهای یک ماده آلی یا معدنی تحت یک میدان الکترومغناطیس واقع شوند ، فوتونهایی که دارای فرکانس رزونانس هستند جذب می شوند و در نتیجه طیف تابش عبور کرده حاوی خطوط سیاه یا فرکانسهای گمشده مشخصه ای خواهد بود . مولکولهایی که از طریق جذب فوتون تحریک شده اند با از دست دادن انرژی (عمدتاً به صورت حرارت) به حالت پایه برمی گردند .

۸. تفرق پرتو ایکس

X-RAY DIFFRACTION (XRD)

در شرایطی که طول موج یک پرتو در حدود ابعاد یک ذره باشد ، میانکنش بین ذره و پرتو منجر به پدیده تفرق خواهد شد . تفرق باعث تغییراتی در دامنه و یا فاز امواج ورودی می شود و منجر به پدیده تداخل خواهد شد و بسته به اینکه امواج تفرق یافته هم فاز و یا در فاز متقابل باشند ، تداخل سازنده و یا مخرب خواهد بود . در شرایطی که میانکنش پرتوهای تک فام ایکس با یک جامد کریستالین از رابطه زیر (معادله براگ) تبعیت نماید ، برخورد پرتو با کریستال باعث تداخل سازنده خواهد شد .

۹. میکروسکوپی جاروب الکترونی

SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM)

هنگامی که تابشی برای روشن سازی یک شیء به کار گرفته شود ، امکان تفکیک جزئیات توسط طول موج تابش محدود می گردد . به این دلیل ، میکروسکوپ های نوری دارای قدرت تفکیک $2000^{\circ}A$ هستند ، در برهم کنش الکترونها با ماده ، باعث یکی از پدیده های زیر خواهد شد .

- ❖ تولید الکترونها ثانویه .
- ❖ پخش برگشتی الکترونها اولیه .
- ❖ تولید الکترونها اوزه .
- ❖ عبور الکترونها اولیه .
- ❖ نشر پرتوهای مشخصه ایکس .

آشکارسازی هر کدام از پدیده های فوق اطلاعاتی درباره طبیعت ماده مورد مطالعه خواهد داد . برای مثال ریخت شناسی شیء به الکترونها پخش شده و عبور یافته ثانویه ارتباط داده می شود ، اطلاعات کریستالوگرافی به همان پارامترها و پرتوهای ایکس ارتباط داده می شود ، ساختار عنصری توسط پرتوهای ایکس و الکترونها پخش شده و اوزه و نهایتاً پیوندهای شیمیایی به الکترونها اوزه و پرتوهای ایکس ارتباط داده می شوند .

در SEM دو پرتو الکترونی به طور همزمان استفاده می شوند . که یکی از آنها نمونه و دیگری لوله پرتو کاتدی را جاروب می نماید . این عمل باعث می شود که برای هر نقطه در نمونه ، نقطه وجود متقابلی در اندازه CRT داشته باشد . در این سیستم نیز مشابه تلویزیون سرعت جاروب کردن به کافی بالا است و تصویر کاملی تشکیل می گردد .

با توجه به اثرات تشریح شده تأثیر متقابل پرتو با نمونه انواع مختلفی از تصاویر و اطلاعات را فراهم می آورد و بسته به انرژی الکترونها اولیه ، عدد اتمی نمونه و ذره مولد تصویر ، آنالیز در اعماق مختلفی از ماده متمرکز می شود . در واقع ، با آشکارسازی الکترونها منتشر شده ثانویه

4 - گرچه مواد معدنی به تابش مادون قرمز پاسخ می دهد ، گاهی طیف های مشخصی از آنها به دست نمی آید و به این دلیل IRS عمدتاً برای مطالعه ترکیبات آلی به کار گرفته می شود .

اطلاعاتی تا عمق ۱ nm - ۵۰۰A° و با آشکارسازی پرتوهای ایکس اطلاعاتی از عمق ۵ nm - ۵A° حاصل می گردد .
(فرتی، ۱۳۷۸ : ۴۵)

***تکنیک ساخت اشیاء موزه ای**

یکی دیگر از کاربردهای علم شیمی در موزه داری شناسایی تکنیک ساخت اشیاء است یعنی هنرمند یا صنعتگر سازنده از چه روشهایی برای ساخت شیئی استفاده نموده است . با استفاده از روشهایی نظیر متالوگرافی می توان تکنیک ساخت اشیاء فلزی را تعیین کرد . و دریافت یک شیء فلزی با تکنیک چکش خواری یا ریخته گری ساخته شده است و یا کا ر گرم یا سرد بر روی آن انجام شده است . همینطور در باره اشیاء سفالی ، شیشه ، سنگ و سایر اشیاء هنری روش های مختلفی جهت شناسایی تکنیک ساخت این اشیاء وجود دارد .

منابع :

بجرالعلمی ، فرانک . روشهای سالیابی در باستان شناسی ، سمت ، تهران ، ۱۳۷۸ .
فرتی ، مارکو. روشهای بررسی علمی آثار هنری ، ترجمه ابوالفضل سمنانی ، الحج ، اصفهان ، ۱۳۷۸ .
مجموعه مقالات نخستین همایش باستان سنجی در ایران ، پژوهشکده باستان شناسی ، تهران ، ۱۳۸۱ .