



آزمایشگاه مینرالوگرافی

(اطلس کانه‌ها و بافت‌های متداول در کانسنگ‌ها)

(رشته زمین‌شناسی)

دکتر سیدجواد مقدسی فاطمه خاکراه

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار ناشر

کتاب‌های دانشگاه پیام نور حسب مورد و با توجه به شرایط مختلف یک درس در یک یا چند رشته دانشگاهی، به صورت کتاب درسی، متن آزمایشگاهی، فرادرسی، و کمک‌درسی چاپ می‌شوند.

کتاب درسی ثمره کوشش‌های علمی صاحب اثر است که براساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصل‌های مصوب تهیه و پس از داوری علمی، طراحی آموزشی، و ویرایش علمی در گروه‌های علمی و آموزشی، به چاپ می‌رسد. پس از چاپ ویرایش اول اثر، با نظرخواهی‌ها و داوری علمی مجدد و با دریافت نظرهای اصلاحی و متناسب با پیشرفت علوم و فناوری، صاحب اثر در کتاب تجدیدنظر می‌کند و ویرایش جدید کتاب با اعمال ویرایش زبانی و صوری جدید چاپ می‌شود.

متن آزمایشگاهی (م) راهنمایی است که دانشجویان با استفاده از آن و کمک استاد، کارهای عملی و آزمایشگاهی را انجام می‌دهند.

کتاب‌های فرادرسی (ف) و **کمک‌درسی** (ک) به منظور غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی تهیه و بر روی لوح فشرده تکثیر می‌شوند و یا در وبگاه دانشگاه قرار می‌گیرند.

مدیریت تولید مواد و تجهیزات آموزشی

فهرست

یازده

پیشگفتار

فصل اول ویژگیهای نوری کانه‌ها

۱

۱-۱ مقدمه

۲

۲-۱ رنگ

۲

۳-۱ شدت بازتابش

۳

۴-۱ چندرنگی بازتابی

۴

۵-۱ بازتابش مضاعف

۸

۶-۱ رخ و جداشدگی

۱۰

۷-۱ برجستگی صیقلی

۱۳

۸-۱ سختی خراشیدگی

۱۳

۹-۱ همسانگردی

۱۵

۱۰-۱ ناهمسانگردی

۱۷

۱۱-۱ رنگهای پلاریزه شدن

۱۸

۱۲-۱ بازتابشهای داخلی

۲۰

فصل دوم بافت کانه‌ها و کانسنگها

۲۳

۱-۲ مقدمه

۲۳

۲-۲ ویژگیهای درونی دانه‌های منفرد

۲۴

۱-۲-۲ منطقه‌بندی

۲۴

۲-۲-۲ ماکل

۲۴

۳-۲ ویژگیهای بیرونی دانه‌های منفرد

۲۶

۳۰	۱-۳-۲ شکل دانه‌ها
۳۲	۲-۳-۲ اندازه دانه‌ها
۳۳	۳-۳-۲ شکل عمومی بلورها (هابیت)
۴۰	۴-۳-۲ ارتباط بین دانه‌ها
۴۲	۵-۳-۲ پرشدگی فضای باز
۴۴	۴-۲ درهم‌رشدی
۴۴	۱-۴-۲ درهم‌رشدی جهت‌دار
۴۶	۲-۴-۲ درهم‌رشدی امولسیون
۴۷	۳-۴-۲ درهم‌رشدی نفوذی
۴۷	۴-۴-۲ درهم‌رشدی کریمه‌ای
۴۸	۵-۲ انواع انبوهه‌ها
۴۸	۱-۵-۲ انبوهه‌های بی‌نظم
۴۸	۲-۵-۲ انبوهه‌های جهت‌دار
۵۰	۳-۵-۲ انبوهه‌های برشی
۵۰	۴-۵-۲ انبوهه‌های نیمه‌موازی و رشد شعاعی
۵۲	۵-۵-۲ انبوهه‌های موزون

۵۵	فصل سوم کانه‌ها و محیط‌های کانه‌سازی
۵۶	۱-۳ کانه‌ها و کانسنگهای همراه با سنگهای آذرین بازی و فرابازی
۵۶	۱-۱-۳ کانسنگهای کروم
۵۷	۲-۱-۳ کانسنگهای سولفید آهن- نیکل- مس
۵۷	۳-۱-۳ کانسنگهای اکسید آهن- تیتانیوم
۶۰	۲-۳ کانه‌ها و کانسنگهای همراه با سنگهای آذرین حدواسط و اسیدی
۶۰	۱-۲-۳ کانه‌سازی همراه با گرانیتها
۶۳	۲-۲-۳ کانسارهای پورفیری
۶۳	۱-۲-۲-۳ کانسارهای مس پورفیری
۶۴	۲-۲-۲-۳ کانسارهای مولیبدن پورفیری
۶۷	۳-۳ کانه‌ها و کانسنگهای همراه با کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفانزاد
۶۷	۱-۳-۳ سولفیدهای آتشفشانزاد بستر اقیانوسهای کنونی
۶۹	۲-۳-۳ سولفیدهای توده‌ای همراه با توالیهای افیولیتی

۶۹	۳-۳-۳ سولفیدهای توده‌ای نوع کوروکو
۷۱	۴-۳-۳ سولفیدهای توده‌ای نوع بشی
۷۱	۴-۳-۴ کانه‌ها و کانسنگهای همراه با کانسارهای نوع رگه‌ای
۷۱	۳-۴-۱ کانسارهای رگه‌ای مس-سرب-روی-نقره
۷۳	۳-۴-۲ کانسارهای رگه‌ای نقره-نیکل-کبالت-نیکل-آرسنیک-بیسموت (اورانیوم)
۷۳	۳-۴-۳ کانسارهای رگه‌ای قلع-تنگستن-فلزات پایه
۷۵	۳-۴-۴ کانسارهای رگه‌ای طلا
۷۵	۳-۴-۵ کانسارهای رگه‌ای آنتیموان
۷۵	۳-۴-۶ کانسارهای رگه‌ای سولفید جیوه
۷۸	۳-۵-۵ کانه‌ها و کانسنگهای همراه با سنگهای رسوبی
۷۸	۳-۵-۱ کانسنگهای آهن
۷۹	۳-۵-۲ کانسنگهای منگنز
۸۲	۳-۵-۳ زغالسنگ
۸۴	۳-۵-۴ کانسنگهای فلزات پایه با میزبان رسوبی
۸۵	۳-۵-۱-۴ نهشته‌های مس با میزبان شیل سیاه کربن‌دار
۸۵	۳-۵-۲-۴ نهشته‌های اورانیوم-وانادیوم و فلزات پایه با میزبان ماسه‌سنگی
۸۶	۳-۵-۳-۴ نهشته‌های سرب و روی نوع میسی‌سی‌پی با میزبان کربناتی
۸۶	۳-۵-۴-۴ نهشته‌های سرب و روی نوع ایرلندی با میزبان کربناتی
۸۸	۳-۵-۵ کانسارهای پلاسز
۸۸	۳-۵-۵-۱ کانسارهای پلاسز عهد حاضر
۸۸	۳-۵-۵-۲ کانسنگهای طلا-اورانیوم در پلاسزهای قدیمی
۹۰	۳-۶-۶ کانه‌ها و کانسنگهای همراه با سنگهای دگرگونی
۹۰	۳-۶-۱ نهشته‌های سولفیدی دگرگون شده
۹۱	۳-۶-۲ اسکارنها
۹۵	فصل چهارم کانه‌ها
۹۶	آرژانتیت-آکانتیت
۹۶	آرسنوپیریت

۹۸	آرسنیک
۹۸	آزوریت
۱۰۰	آنتیموان
۱۰۲	استانیت
۱۰۵	استینیت
۱۰۵	اسفالریت
۱۰۷	انارژیت
۱۰۹	اورانینیت
۱۱۰	اورپیمنت
۱۱۲	ایلمنیت
۱۱۳	براونیت
۱۱۵	بیسموٹ
۱۱۶	بیسموٹینیت
۱۱۷	بیکسپیت
۱۲۰	بورنیت
۱۲۰	پروستیت - پیرارژیریت
۱۲۳	پسیلوملان
۱۲۳	پلاتین
۱۲۵	پتالاندیت
۱۲۷	پیروتیت
۱۲۷	پیرولوویت
۱۳۱	پیریت
۱۳۱	تتراهدریت - تنانتیت
۱۳۳	رآلگار
۱۳۶	روتیل
۱۳۶	زینسیت
۱۳۸	سینابار
۱۳۹	شیلیت

۱۴۱	طلا
۱۴۳	کاسیتريت
۱۴۳	کالکوپيريت
۱۴۵	کالکوسيت
۱۴۷	کبالتيت
۱۴۸	کروميت
۱۵۰	کوپريت
۱۵۳	کرووليت
۱۵۳	گالن
۱۵۴	گرافيت
۱۵۹	گوتيت
۱۵۹	مارکازيت
۱۶۱	مالاکيت
۱۶۳	مانگانيت
۱۶۴	مس
۱۶۴	مگنتيت
۱۶۵	موليبدينيت
۱۶۸	نقره
۱۶۹	نيکوليت
۱۷۰	ولفراميت
۱۷۲	هاسمانيت
۱۷۴	هماتيت
۱۷۷	واژه نامه
۱۸۳	کتابنامه

پیشگفتار

کتاب حاضر که با عنوان **آزمایشگاه مینرالوگرافی (اطلس کانه‌ها و بافت‌های متداول در کانسنگها)** به دانش‌پژوهان و دانشجویان رشته زمین‌شناسی به‌ویژه علاقمندان به شاخه زمین‌شناسی اقتصادی تقدیم می‌گردد کتاب راهنمای آزمایشگاه درس کانه‌نگاری یا مینرالوگرافی از دروس دوره کارشناسی زمین‌شناسی می‌باشد.

از آنجا که مفاهیم اساسی و کاربرد مطالعات کانه‌نگاری به‌طور مفصل توسط نویسنده اول این کتاب در کتابی با عنوان **مینرالوگرافی (کانه‌نگاری)** از انتشارات دانشگاه پیام نور آورده شده است، بنابراین سعی شد در این کتاب مطالب ضروری به‌صورت گزیده ارائه گردد تا امکان نمایش هر چه بیشتر تصاویر میکروسکوپی که هدف اصلی این کتاب بوده است فراهم شود. به دانش‌پژوهان و دانشجویان عزیز پیشنهاد می‌شود برای بهره‌برداری بهتر از این کتاب، قبلاً کتاب مینرالوگرافی (کانه‌نگاری) را مطالعه نمایند.

این کتاب در چهار فصل تدوین شده است. فصل اول به آشنایی با ویژگی‌های نوری کانه‌ها اختصاص یافته است. رنگ و شدت آن، شدت بازتابش، چندرنگی بازتابی و بازتابش مضاعف، رخ و جداشدگی، برجستگی صیقلی، سختی خراشیدگی، همسانگردی و ناهمسانگردی، رنگ‌های پلاریزه‌شدن و بازتاب‌های داخلی از جمله ویژگی‌های نوری هستند که با ارائه ۳۰ تصویر در این فصل معرفی می‌شوند. فصل دوم به معرفی انواع بافت‌های موجود در کانه‌ها و کانسنگ‌ها بر اساس طبقه‌بندی توصیفی بافتها می‌پردازد. در این فصل طبقه‌بندی توصیفی بافت کانه‌ها و انواع بافت بر اساس

ویژگیهای درونی و بیرونی دانه‌های منفرد با ارائه ۴۵ تصویر میکروسکوپی معرفی می‌شوند. فصل سوم به معرفی انواع کانه‌ها و کانسنگها در ارتباط با محیط زمین‌شناسی و برخی ویژگیهای کلی آنها می‌پردازد. در این فصل انواع کانه‌ها و کانسنگهای همراه با سنگهای آذرین بازی، فرابازی، حدواسط و اسیدی، سنگهای رسوبی و دگرگونی، و همچنین انواع کانه‌ها و کانسنگهای همراه با کانسارهای سولفیدی توده‌ای آتشفشانزاد و کانسارهای نوع رگه‌ای با ارائه ۳۸ تصویر میکروسکوپی معرفی می‌گردند. سرانجام در فصل چهارم به معرفی ویژگیهای شاخص کانه‌های مهم از طریق ارائه ۸۶ تصویر میکروسکوپی پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که تصاویری که در نور پلاریزه متقاطع گرفته شده‌اند در توضیحات زیر هر تصویر بیان شده است و سایر تصاویر همگی در نور پلاریزه ساده گرفته شده‌اند.

لازم می‌دانیم از همکار محترم جناب آقای دکتر ارسیا مقتدری عضو محترم هیات علمی دانشگاه پیام نور مرکز اوز که نسبت به ویراستاری علمی این اثر همت گماشتند صمیمانه تشکر نماییم. از مساعی مدیریت محترم تدوین جناب آقای دکتر موسی کاظمی و همچنین جناب آقای مهندس باقر اکبری در تدوین نهایی اثر سپاسگزاری می‌کنیم. از کمکهای بی‌دریغ مدیریت محترم چاپ و انتشارات دانشگاه جناب آقای حمزه‌ای جهت چاپ رنگی مطلوب این اثر نیز صمیمانه تشکر می‌نماییم.

دکتر سید جواد مقدسی

فاطمه خاکراه

فصل اول

ویژگیهای نوری کانه‌ها

هدف کلی

هدف کلی این فصل آشنایی با ویژگیهای نوری کانه‌ها و ارائه تصاویر مربوط همراه با توصیف هر یک از آنها می‌باشد.

هدفهای رفتاری

- برای دستیابی به هدف کلی این فصل باید به هدفهای رفتاری زیر دست یابید.
۱. ویژگیهای نوری که در نور پلاریزه صفحه‌ای و نور پلاریزه متقاطع بررسی می‌شوند را نام ببرید.
 ۲. رنگ و شدت رنگ را بشناسید.
 ۳. شدت بازتابش و شیوه تخمین کیفی آن را بدانید.
 ۴. چندرنگی بازتابی و بازتابش مضاعف را بشناسید.
 ۵. رخ و جداشدگی و اختلاف آن دو را بدانید.
 ۶. برجستگی صیقلی و سختی خراشیدگی را بشناسید.
 ۷. همسانگردی و ناهمسانگردی و رنگهای پلاریزه‌شدن را تشخیص دهید.
 ۸. بازتابشهای داخلی و کاربرد آنها در شناسایی کانیها را بدانید.

۱-۱ مقدمه

برای شناسایی کانه‌ها توسط میکروسکوپ پلاریزان نور بازتابی از ویژگیهای نوری مشاهده شده در کانه‌ها استفاده می‌شود. مشاهده ویژگیهای نوری کانه‌ها معمولاً به دو صورت انجام می‌پذیرد: (۱) نور پلاریزه ساده و (۲) نور پلاریزه متقاطع.

در روش مطالعه با نور پلاریزه ساده یا صفحه‌ای، فقط پلاریزور در مسیر نور قرار دارد. مهمترین ویژگیهایی که در این روش بررسی می‌شوند عبارتند از رنگ، شدت بازتابش^۱، چندرنگی بازتابی^۲ و بازتابش مضاعف^۳. برخی ویژگیهای دیگر کانه‌ها مانند مرز دانه‌ها، شکل بلوری، آثار شکستگی و جداشدگی، رخ، منطقه‌بندی، میانبرها و درهم‌شدیها^۴ نیز در نور پلاریزه ساده قابل مشاهده‌اند. برای تعیین سختی صیقلی^۵، سختی خراشیدگی^۶ و عدد سختی ویکرز^۷ نیز از نور پلاریزه ساده استفاده می‌شود.

در روش مطالعه با نور پلاریزه متقاطع، آنالیزور و پلاریزور در مسیر نور قرار می‌گیرند و جهت ارتعاش نور پلاریزه در آنها بر یکدیگر عمود است. مهمترین ویژگیهایی که در این روش بررسی می‌شوند عبارتند از همسانگردی^۸ و ناهمسانگردی^۹، رنگهای پلاریزه‌شدن^{۱۰} و بازتابش داخلی^{۱۱}. ویژگیهای دیگر کانه‌ها مانند مرز دانه‌ها، شکل بلوری، منطقه‌بندی و دوقلویی^{۱۲} را نیز می‌توان در این نور بررسی نمود.

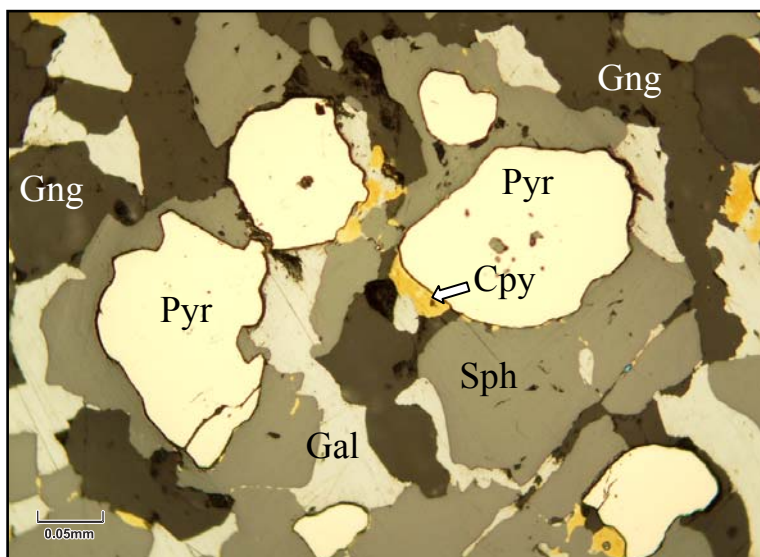
۲-۱ رنگ

رنگ یکی از ویژگیهای نوری کانه‌ها است. برای مطالعه رنگ کانیها معمولاً از میکروسکوپی با منبع نور سفید استفاده می‌شود. کانه‌ها بر اساس رنگ آنها به دو گروه بی‌رنگ و رنگین طبقه‌بندی می‌شوند. واژه بی‌رنگ برای کانیهایی استفاده می‌شود که به رنگ سفید تا خاکستری مشاهده می‌شوند. این گروه از کانیها با سایه‌های مختلفی از خاکستری شناسایی می‌شوند. تعداد اندکی از کانه‌ها رنگین هستند. کانه‌های رنگین به سه گروه به‌شدت رنگین، کمی رنگین و به‌شدت کم‌رنگ تقسیم می‌شوند (شکل‌های ۱-۱ تا ۱-۵).

1. Reflectance
4. Intergrowth
7. Vickers hardness number
10. Polarization colour

2. Reflecting pleochroism
5. Polishing hardness
8. Isotropism
11. Internal reflection

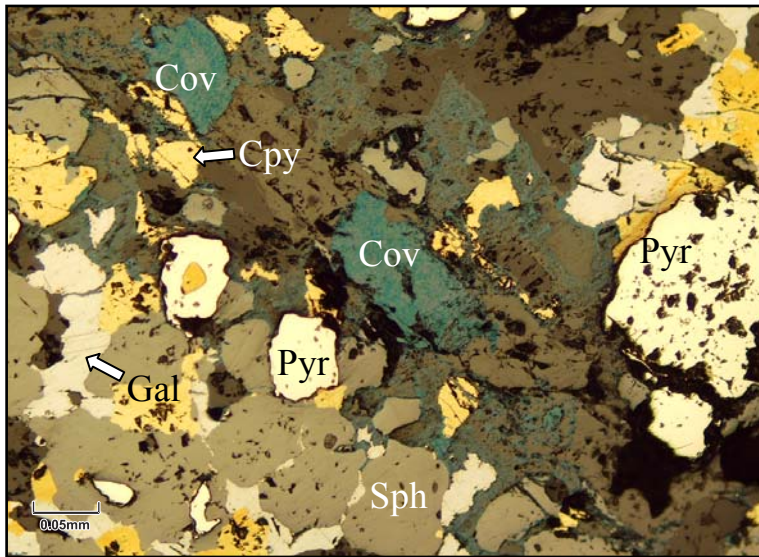
3. Bireflectance
6. Scratch hardness
9. Anisotropism
12. Twinning



شکل ۱-۱ برخی از کانه‌ها رنگی و برخی سفید یا سایه‌های مختلفی از خاکستری دارند. در این تصویر کالکوپیریت (Cpy) به رنگ زرد و پیریت (Pyr) به رنگ سفید تا زرد کم‌رنگ مشاهده می‌شود. اسفالریت (Sph) به رنگ خاکستری روشن و گالن (Gal) به رنگ سفید خاکستری روشن دیده می‌شوند. کانی باطله (Gng) به رنگ خاکستری تیره مشاهده می‌شود.

۳-۱ شدت بازتابش

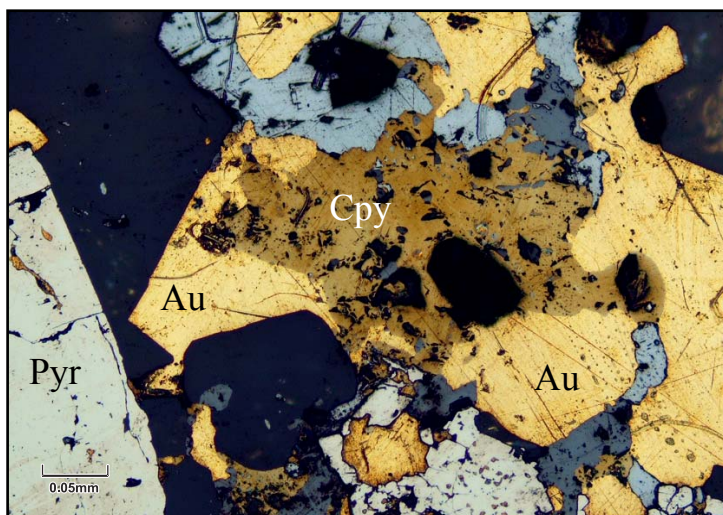
مقدار نوری که پس از برخورد نور فرودی به سطح صیقلی یک کانی، به سمت بیننده بازتاب می‌شود شدت بازتابش نامیده می‌شود. شدت بازتابش یک کانی بسته به جهت گیری یا جهت برش کانی، طول موج نوری که بازتابیده می‌شود و زاویه فرود نور متغیر است. شدت بازتابش کانیها را می‌توان به صورت قوی، متوسط و ضعیف بیان کرد (شکل ۱-۶). کانیهای با شدت بازتابش کمتر، تیره‌تر مشاهده می‌شوند. برای تخمین نیمه کمی شدت بازتابش کانیهای مجهول، می‌توان شدت بازتابش آنها را با برخی کانیهای شناخته شده مانند مگنتیت، کالکوپیریت و پیریت مقایسه کرد و از این طریق مقدار عددی شدت بازتابش آنها را تخمین زد (شکلهای ۱-۷ و ۱-۸).



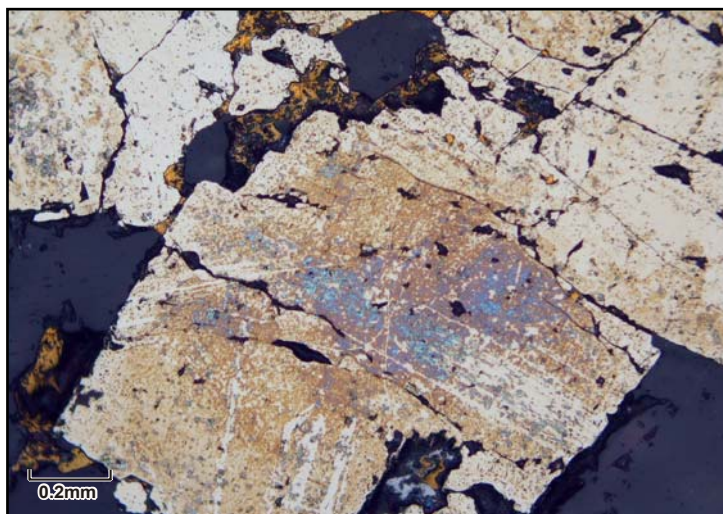
شکل ۱-۲ برخی از کانه‌ها به شدت رنگین هستند. کانی کالکوپیریت (Cpy) که در نقاط مختلف پراکنده است به رنگ زرد و کانی کوولیت (Cov) به رنگ آبی مشاهده می‌شود. سایر کانیهای موجود در تصویر عبارتند از اسفالریت (Sph)، گالن (Gal) و پیریت (Pyr).

۴-۱ چندرنگی بازتابی

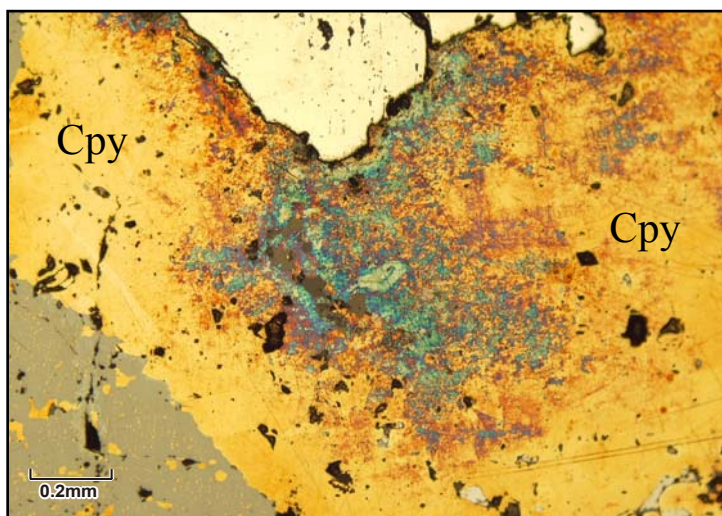
شدت بازتابش و رنگ کانیهایی که در سیستم مکعبی متبلور می‌شوند در اثر چرخاندن صفحه چرخان میکروسکوپ تغییر نمی‌کند و جهت‌گیری دانه‌ها نیز هیچ تأثیری در آن ندارد. در بیشتر کانیهای متعلق به سایر سیستمهای تبلور وقتی که مقاطعی با جهت‌گیری مشخص چرخانده می‌شوند، ممکن است شدت بازتابش یا رنگ (یا هر دو) تغییر کند. تغییر رنگ یا تهرنگ یکی از ویژگیهای کانه‌هاست که چندرنگی بازتابی خوانده می‌شود. کوولیت نمونه‌ای از کانیهای دارای چندرنگی قوی است. نیکولیت دارای چندرنگی متوسط است و رآلگار چندرنگی ضعیفی دارند. چندرنگی بازتابی در دانه‌هایی از یک کانی که در مجاورت هم قرار گرفته و در جهات مختلف رشد کرده‌اند بهتر مشاهده می‌شود (شکل ۱-۹).



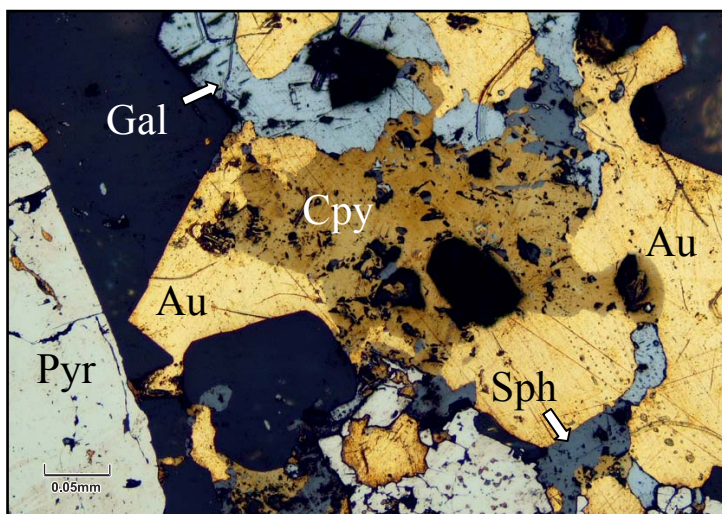
شکل ۳-۱ رنگ ظاهری یک کانی به فازهای همجوار آن بستگی دارد. کانیهای پیریت یا کالکوپیریت در مجاورت یک فاز سفید یا خاکستری به طور مشخص زرد رنگ هستند ولی کانی کالکوپیریت (Cpy) در مجاورت طلای خالص (Au) به رنگ زرد متمایل به سبز یا قهوه‌ای به نظر می‌رسد. کانی پیریت (Pyr) نیز سفید دیده می‌شود.



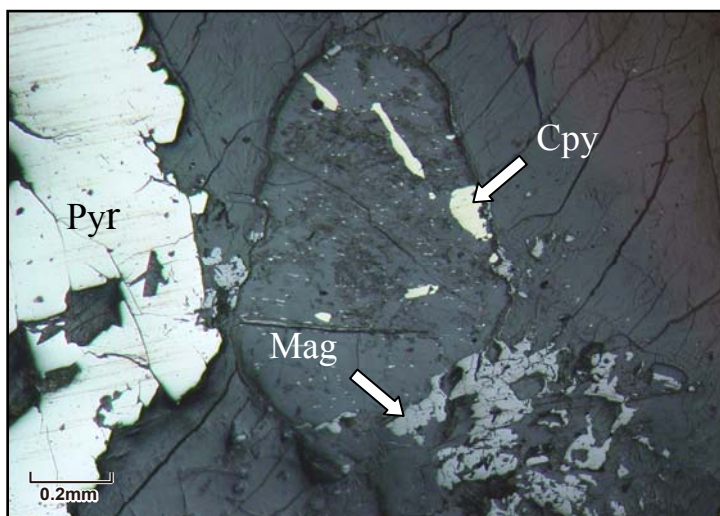
شکل ۴-۱ اثر از جلا افتادگی بر رنگ کانیها. کانی پیریت (Pyr) که به طور معمول به رنگ زرد کمرنگ مشاهده می‌شود در اثر از جلا افتادگی تغییر رنگ داده است.



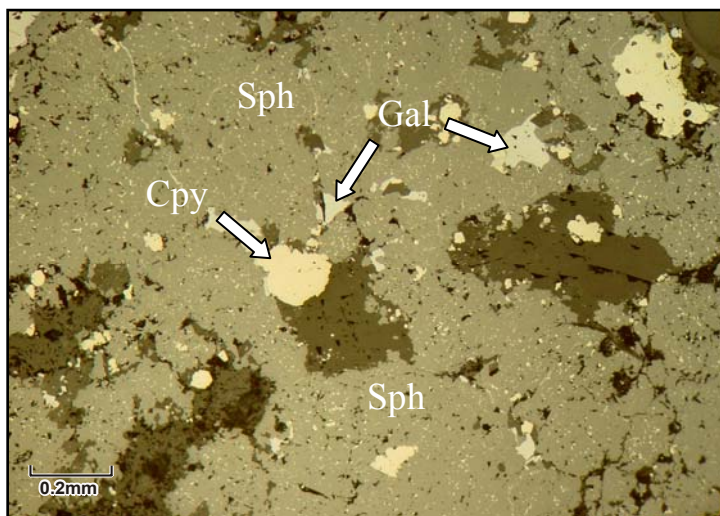
شکل ۱-۵ اثر از جلا افتادگی بر رنگ کانیها. کانی کالکوپیریت (Cpy) که به طور معمول به رنگ زرد مشاهده می‌شود در اثر از جلا افتادگی ناشی از قرار گرفتن در معرض هوا به رنگهای رنگین کمانی مشاهده می‌شود.



شکل ۱-۶ طلا (Au) با شدت بازتابش قوی، کالکوپیریت (Cpy) با شدت بازتابش متوسط و اسفالریت (Sph) با شدت بازتابش ضعیف مشاهده می‌شوند.



شکل ۷-۱ مگنتیت (Mag) با شدت بازتابش حدود ۲۰٪ کالکوپیریت (Cpy) با شدت بازتابش حدود ۴۵٪ و پیریت (Pyr) با شدت بازتابش حدود ۵۵٪ برای تخمین کمی شدت بازتابش استفاده می‌شوند.



شکل ۸-۱ اسفالریت (Sph) با شدت بازتابش حدود ۱۷٪ دارای شدت بازتابش کمتری نسبت به کانیهای گالن (با شدت بازتابش حدود ۴۳٪) و کالکوپیریت (با شدت بازتابش حدود ۴۵٪) است.