



دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی معدن

# دستور کار آزمایشگاه

## کانی شناسی نوری، فرآیند و آزمایشگاه

دوره کارشناسی مهندسی معدن

حمید عطاپور

۱۳۹۲



## دستور کار آزمایشگاه

### " کانی شناسی نوری، فرآیند و آزمایشگاه "

تعداد واحد: ۰/۵ واحد

نوع درس: عملی (۱۶ ساعت)

**هدف:** آشنایی با مبانی نور پلاریزه، کار با میکروسکپ پلاریزان، شناسایی کانی ها در تیغه نازک و میکروسکپ پلاریزان

#### سرفصل ها :

- روش تهیه تیغه های نازک
- شناخت میکروسکپ پلاریزان و اجزاء آن
- مختصری در مورد خواص نور و نور پلاریزه، بیرفرنژانس، نور پلاریزه متقارب، سایر مشخصات نوری و فیزیکی کانی ها
- شناسایی سیستماتیک کانی ها با استفاده از خواص نوری
- شناخت کانی های مهم تشکیل دهنده سنگ ها
- تهیه تیغه های نازک از کانی ها و سنگ ها و شناسایی آن ها

جلسه اول :

## عنوان آزمایش: آشنایی با میکروسکپ پلاریزان

هدف:

شناسایی بخش های مختلف میکروسکپ پلاریزان

ابزار و مواد مورد نیاز:

مقاطع نازک و میکروسکپ پلاریزان

روش کار:

بخش های مختلف میکروسکپ پلاریزان شامل آنالیزور، پلاریزور، کندانسور، عدسی های شیئی و چشمی ، پیچ های تنظیم و ... مورد بررسی و شناسایی می گردد.

مشاهدات و نتایج:

میکروسکپ پلاریزان یا پتروگرافی (*polarized microscope*) که برای مطالعه کانی های سیلیکاتی و سنگ شناسی به کار می رود شامل اجزای ذیل می باشد:

– منبع نوری (*illuminator*): منبع نوری میکروسکپ که در انتهای ترین قسمت (پایین دستگاه)

قرار گرفته شامل یک لامپ قوی مخصوص و یک فیلتر آبی رنگ است که به کاربر امکان می دهد میزان نور ورودی را تنظیم نماید. فیلتر آبی شدت نور زرد لامپ را کاهش داده و نوری مشابه نور طبیعی یا نور خورشید ایجاد می نماید.

– پلاریزور (*polarizer*): یک عدسی پلاریزور یا قطبی کننده است که نور را به قسمت های بالاتر

میکروسکپ انتقال دهد. پلاریزور عدسی است که نوری را که در جهات مختلف منتشر می شود به صورت دسته شعاع های نوری یک جهتی به سمت بالا هدایت نماید.

– کندانسور (*condenseur*): نوعی عدسی محدب است که پرتوهای موازی نور پلاریزه را در یک

نقطه کانونی متمرکز می نماید. این عدسی ها که در بالای پلاریزور قرار می گیرد شامل متقارب کننده ثابت در پایین و عدسی متقارب کننده متحرک در بالا می باشد.

- دیافراگم (*diaphragm*): صفحه‌ای نازک است که در حدفاصل دو عدسی متقارب کننده قرار

گرفته و برای تنظیم شدت نور تابانده شده بر روی مقطع به کار می‌رود.

- صفحه میکروسکپ (*stage*): صفحه دایره‌ای شکل و متحرک بوده که حول محور میکروسکپ

می‌چرخد. به منظور تعیین جهت حرکت و مقدار زاویه دوران محیط صفحه را به  $360^\circ$  درجه تقسیم کرده‌اند

یک ورنیه (زاویه سنج) که محل آن ثابت است مقدار چرخش صفحه را تا  $0/1$  درجه دقت نشان می‌دهد.

- پیچ‌های تنظیم (*focusing knobs*): پیچ‌های تنظیم صفحه میکروسکپ را به صورت سریع یا با

شدت کم بالا و پایین برده و وضوح تصاویر در زیر میکروسکپ را میسر می‌نماید.

- عدسی‌های شیئی (*objective lenses*): در میکروسکپ‌های المپوس (که در آزمایشگاه

کانی‌شناسی مورد استفاده دانشجویان است)، ۴ عدسی شیئی با بزرگ‌نمایی ۴، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ وجود دارد

که بر روی هر یک از آنها عدد بزرگ‌نمایی و نوار رنگی استاندارد حک شده است. به صورتی که بر روی

عدسی  $4x$  نوار رنگ قرمز،  $10x$  رنگ زرد،  $20x$  رنگ سبز،  $40x$  رنگ آبی روشن و  $100x$  رنگ سفید دیده

می‌شود.

- تیغه‌های کمکی (*accessory plates*):

- تیغه  $\frac{\lambda}{4}$  یا تیغه میکا، ورقه‌ای از موسکویت به ضخامت  $0/03$  میلیمتر با رنگ تداخلی زرد

- تیغه  $\lambda$  یا ورقه ژئپس که در میکروسکپ پلاریزان به رنگ بنفش دیده می‌شود.

- تیغه کوارتز گوه‌ای نازک است که یک طرف دیگر آن ضخیم شده است.

- آنالیزور (*analyser*): آنالیزور عدسی متحرک است و در مواقع لزوم در مسیر جریان نور قرار می‌گیرد.

هر گاه آنالیزور را از مسیر نور خارج نماییم، نوری که توسط نیکل پایینی (پلاریزور) پلاریزه شده برای

شناسایی کانی‌ها استفاده می‌شود که به آن نور پلاریزه سطحی یا (*plane polarized light*) حالت *ppl*

گفته می‌شود. اما در شرایطی که آنالیزور عمود بر نور پلاریزه قبلی در مسیر نور قرار گیرد شناسایی در حالت  $xpl$  (*crossed polarized light*) صورت گرفته است .

- **عدسی برتراند (*bertrand lens*)**: عدسی برتراند یک عدسی محدب (همگرا) همراه با یک دیافراگم کوچک است که در بالای آنالیزور قرار گرفته و تنها در مطالعات کونوسکپی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این عدسی متحرک بوده و در مطالعات ارتوسکپی از میدان نوری خارج می‌گردد.

- **عدسی چشمی (*ocular lens*)**: عدسی‌های چشمی معمولاً با بزرگ‌نمایی  $x$  ۱۰ در میکروسکوپ‌ها تعبیه شده‌اند. در عدسی‌های چشمی دو تار (رتیکول) عمود بر هم قرار گرفته که با استفاده از آنها می‌توان جهت آنالیزور و پلاریزور را مشخص نمود.

## گزارش کار آزمایشگاه کانی شناسی نوری (جلسه اول)

بخش های مختلف میکروسکپ و نحوه عملکرد هر کدام به شرح ذیل می باشد.

---

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## جلسه دوم

### عنوان آزمایش: روش تهیه مقطع نازک در کارگاه

#### هدف:

آموزش روش تهیه مقطع نازک به دانشجویان جهت تهیه مقاطع نازک از سنگهای مختلف

#### ابزار و مواد مورد نیاز:

نمونه های سنگی، دستگاه های برش و ساب سنگ، چسب اپوکسی، پودر کاربراندوم، تیغه های شیشه ای (لام و لامل) و میکروسکپ پلاریزان

#### روش کار:

به منظور تهیه مقطع از روش زیر استفاده می شود:

- ابتدا قطعاتی مکعب مستطیل به ابعاد حدود ۴۰-۲۰ میلیمتر کوچکتر از اندازه شیشه و به ضخامت چند میلیمتر بریده می شود.
- یک طرف آن را بر روی دیسک فولادی گردان و سپس با پودر ساینده کاربراندوم صیقل می دهیم. در صیقلی کردن سنگ ابتدا از پودر درشت، سپس متوسط و نهایتاً پودر ریز و خیلی ریز استفاده می نماییم.
- آنگاه سطح صیقلی ورقه نازک سنگ را به وسیله چسب کانادا یا اپوکسی (*epoxies*) به یک تیغه شیشه ای می چسبانیم.
- در گذشته از چسب کانادا استفاده می شد ولی امروزه به دلیل گران بودن آن، از چسب اپوکسی (ضریب شکست مشابه) جانشین شده است.
- سطح دیگر ورقه سنگ را نیز روی دیسک گردان و پودر ساینده کاربراندوم آنقدر سایش می دهیم تا ورقه ای به ضخامت ۰/۵ میلیمتر درآید.
- عمل ساییدن از پودرهای ۸۰ مش آغاز و به ۶۰۰ مش خاتمه می یابد تا ضخامت مقطع به ۰/۰۳ میلی متر یا ۳۰ میکرون برسد.
- در این حالت مقطع برای مطالعه پتروگرافی آماده است.

- تعیین ضخامت مقطع با استفاده از روش های اندازه گیری و محاسباتی ممکن است اما سنگ شناسان بیشتر با استفاده از اختصاصات نوری کانی ها به ویژه رنگ تداخلی کوارتز و پلاژیوکلازها که سفید و خاکستری سری اول جدول نیوتن است ضخامت مقاطع نازک را تعیین می نمایند.

مراحل تهیه مقطع نازک



۳

۲

۱



۶

۵

۴



۹

۸

۷



۱۲

۱۱

۱۰





۱۵



۱۴



۱۳



۱۸



۱۷



۱۶

### مشاهدات و نتایج:

مقطع نازک به ضخامت ۳۰ میکرون تهیه شده و کانیهای مختلف در آن شناسایی می گردد.

## گزارش کار آزمایشگاه کانی شناسی نوری (جلسه دوم)

---

به منظور تهیه مقطع از روش زیر استفاده می شود:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

---

## جلسه سوم

### عنوان آزمایش: مشخصات نوری کانی ها در حالت *ppl*

#### هدف :

آموزش خواص نوری شفافیت، رنگ، چند رنگی و کلیواژ

#### ابزار و مواد مورد نیاز:

مقاطع نازک و میکروسکپ پلاریزان

#### روش کار:

#### شفافیت :

کانی های کدر یا اپاک (*opaque*) در نور پلاریزه سطحی *ppl* قابل تشخیص هستند، زیرا همیشه تیره و یا مطلقاً سیاه به نظر می‌رسند و با چرخش صفحه گردان میکروسکپ تغییر رنگی در آنها دیده نمی‌شود. این کانی ها در حالت نیکل عمود (مقاطع) نیز کاملاً تیره است.

#### رنگ :

در مقاطع نازک کانی های سیلیکاتی فاقد آهن و منیزیم مانند کوارتز، فلدسپار و مسکویت، به دلیل اینکه همه طول موج‌های نور سفید را عبور می‌دهند بیرنگ یا سفید به نظر می‌رسند. اما غالب کانی های آهن-منیزیم دار سیلیکاتی به دلیل تمایل آهن به جذب نور به صورت رنگی مشاهده می‌شوند.

#### چند رنگی (*pleochroism*):

کانی های ایزوتروپ نور را در همه جهات جذب می نمایند، اما شدت جذب کانی های ایزوتروپ در جهات مختلف بلورشناسی متفاوت است و با چرخش صفحه گردان میکروسکپ تغییر رنگ قابل توجهی در بلور ایجاد می‌شود که به آن چند رنگی یا پلی کروئیسیم گفته می‌شود. چند رنگی در کانی های شبه بلورین و مکعبی مشاهده نمی‌شود. اگر امتداد کلیواژهای یک کانی یا طول آن با سطح ارتعاش پلاریزور (تار چشمی افقی) موازی قرار گرفته و حداکثر جذب نور و تیرگی رنگ را نشان دهد، کانی دارای چند رنگی مستقیم است و اگر کانی حداکثر جذب نور یا شدیدترین رنگ خود را در حالتی که به موازات تار چشمی عمودی قرار داده شده نشان دهد چند رنگی معکوس را نشان می‌دهد.

## رنج (cleavage) و شکستگی (fracturing):

کانی ها یی که در سیستم های مختلف متبلور می شوند سطوح رخ متفاوتی دارند. مثلاً کوارتز و اولیوین فاقد رخ بوده اما میکاها از جمله بیوتیت و مسکویت یک سری رخ مشخص دارند. آمفیبول ها و پیروکسن ها دو سری رخ نشان می دهند. زاویه بین دو جهت رخ در آمفیبول ها، ۵۶ درجه و در پیروکسن ها، ۹۰ درجه می باشد. کلسیت، نمک طعام، باریت و انیدریت سه جهت رخ داشته و در بعضی از کانی ها مانند کلسیت بسیار واضح می باشند. فلوریت در مقاطع میکروسکوپی چهار جهت رخ نشان می دهد که به شکل مثلث یا لوزی دیده می شود و کانی اسفالریت و سودالیت (فلدسپاتوئید سدیم دار) در شش جهت رخ نشان می دهد که با مطالعه در نور انعکاسی قابل مشاهده می باشد. هم چنین مقاطع مختلف بلور ممکن است کلیواژهای کامل در یک کانی را نشان می دهند. برای اندازه گیری زاویه بین رخ ها ابتدا یک جهت از رخ را در امتداد تار شمالی - جنوبی قرار داده و عدد ورنیه (زاویه سنج) را قرائت می نماییم. سپس صفحه میکروسکپ را می چرخانیم تا جهت دیگر کلیواژ در امتداد تار شمال - جنوبی قرار گیرد. در این حالت نیز عدد زاویه سنج را قرائت نموده و زاویه مورد نظر به دست می آید.

### مشاهدات و نتایج:

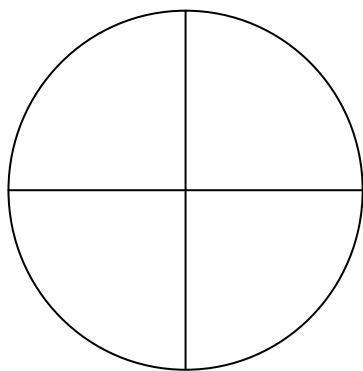
کانی های شفاف به رنگ روشن، انواع تیره یا اپاک در نور طبیعی سیاه می باشند. بعضی از کانی های رنگی با چرخش میدان میکروسکپ چند رنگی نشان می دهند. بعضی از کانی ها دارای یک سری کلیواژ می باشند.

## گزارش کار آزمایشگاه کانی شناسی نوری (جلسه سوم)

---

### مطالعه مقاطع نازک در حالت نیکل موازی (*plane polarized light mode*)

- شفافیت کانی ها (*diaphaneity*): .....
- رنگ (*color*): .....
- چند رنگی (*pleochroism*): .....
- رخ (*cleavage*): .....
- شکستگی (*fracturing*): .....
- شکل کانی



## جلسه چهارم

### عنوان آزمایش: مشخصات نوری کانی ها در حالت *ppl*

#### هدف :

آموزش خواص نوری برجستگی ، خط بکه و شکل بلورها

#### ابزار و مواد مورد نیاز:

مقاطع نازک و میکروسکپ پلاریزان

#### روش کار:

روش تعیین برجستگی (*relief*) ، استفاده از خط بکه (*becke line*) می باشد، به این صورت که در حین مطالعه مقطع نازک، در حد فاصل اطراف بلورها و چسب خط نورانی واضحی دیده می شود که خط بکه نامیده می شود. برای اندازه گیری برجستگی کانی نسبت به چسب لازم است دیافراگم میکروسکپ کاملاً بسته شده و از عدسی شیئی با بزرگنمایی کوچک یا متوسط استفاده شود. در این حالت با پایین آوردن صفحه میکروسکپ بوسیله پیچ های مدرج، هاله نورانی به طرف جسمی که ضریب شکست بیشتری دارد حرکت می کند. به صورتی که اگر هاله به سمت کانی حرکت کند، کانی ضریب شکست بیشتری نسبت به چسب مقطع خواهد داشت.

#### – شکل بلورها

کانی ها در مقاطع میکروسکپی عموماً به سه حالت شکل دار (*euohedral*)، نیمه شکل دار (*subohedral*) و بی شکل (*anhedral*) مشاهده می شوند. شکل کانی ها در مقطع نازک عموماً به صورت منشوری یا لوزی ، چهار وجهی، هشت وجهی و سه وجهی ، مربعی ، رشته ای، تخته ای، تیغه ای، صفحه ای و گاهی میله ای و ... مشاهده می شود.

#### مشاهدات و نتایج:

برجستگی اولیون، گارنت و زیرکن مثبت قوی و لوسیت منفی می باشد. کلسیت و دولومیت برجستگی متغیر داشته و در حین چرخش صفحه میکروسکپ برجستگی آنها از کم به زیاد تغییر می کند.

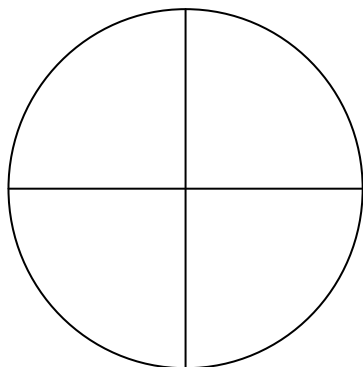
کانی ها در مقطع نازک عموماً به صورت منشوری یا لوزی ، مربعی ، رشته‌ای، تخته‌ای، تیغه‌ای ،صفحه ایی و گاهی میله ایی مشاهده می شود.

## گزارش کار آزمایشگاه کانی شناسی نوری (جلسه چهارم)

---

### مطالعه مقاطع نازک در حالت نیکل موازی (*plane polarized light mode*)

- شفافیت کانی ها (*diaphaneity*): .....
- رنگ (*color*): .....
- چند رنگی (*pleochroism*): .....
- برجستگی (*relief*) و خط بکه (*becke line*): .....
- شکل بلورها (*habit of crystals*): .....
- رخ (*cleavage*): .....
- شکستگی (*fracturing*): .....
- شکل کانی





## جلسه پنجم

### عنوان آزمایش: مشخصات نوری کانی ها در حالت *xpl*

**هدف:** آموزش خواص نوری بلورهای ایزوتروپ و آنیزوتروپ و رنگ تداخلی یا اینترفرانس

**ابزار و مواد مورد نیاز:** مقاطع نازک و میکروسکپ پلاریزان

**روش کار:**

جهت شناسایی کانی های ایزوتروپ از آنیزوتروپ به روش زیر عمل می شود: کانی شفاف مورد نظر را در مرکز تارهای رتیکول قرار داده و آنالیزور را وارد میان نوری می نماییم اگر کانی به رنگ سیاه درآمد ، صفحه میکروسکپ را می چرخانیم اگر در حین چرخش هم چنان سیاه باقی بماند ایزوتروپ و اگر در حین چرخش ترکیب رنگی نشان دهد آنیزوتروپ می باشد.

-رنگ تداخلی یا اینترفرانس (*Interference color*):

بلورهای آنیزوتروپ در حالت نیکل های متقاطع رنگ خاصی از خود نشان می دهند که رنگ تداخلی یا اینترفرانس نامیده می شود. عامل به وجود آورنده این رنگ اختلاف ضرایب شکست حداکثر و حداقل در کانی است که بیرفرنژانس نامیده می شود. در جدول نیوتن (که در آزمایشگاه موجود است) رنگ تداخلی کانی ها مشاهده می شود که شرح کامل آن در جزوه درس کانی شناسی نوری، فرآیند و آزمایشگاه ذکر شده است.

### مشاهدات و نتایج:

کانی های شبه بلورین و انواعی که در سیستم مکعبی متبلور می شوند ایزوتروپ و بقیه کانی ها آنیزوتروپ یا ناهم سان گرد می باشند.

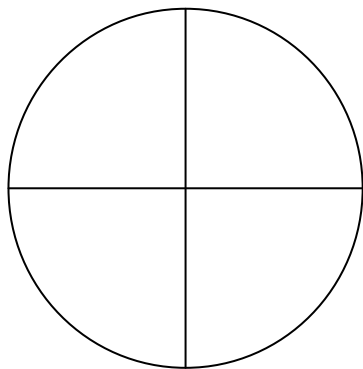
کوارتز کمترین و اولیوین بالاترین رنگ تداخلی را نشان می دهد.

## گزارش کار آزمایشگاه کانی شناسی نوری (جلسه پنجم)

---

### مطالعه مقاطع نازک در حالت نیکل موازی و متقاطع (*Cross nicol mode*)

- شفافیت کانی ها (*diaphaneity*): .....
- رنگ (*color*): .....
- چند رنگی (*pleochroism*): .....
- برجستگی (*relief*) و خط بکه (*becke line*): .....
- شکل بلورها (*habit of crystals*): .....
- رخ (*cleavage*): .....
- شکستگی (*fracturing*): .....
- شناسایی بلورهای ایزوتروپ و آنیزوتروپ: .....
- رنگ تداخلی یا اینترفرانس (*Interference color*): .....
- شکل کانی



## جلسه ششم

### عنوان آزمایش: مشخصات نوری کانی ها در حالت $xpl$

#### هدف:

آموزش خواص نوری بیرفرنژانس و تأخیر نوری

#### ابزار و مواد مورد نیاز:

مقاطع نازک و میکروسکپ پلاریزان

#### روش کار:

بیرفرنژانس ( $birefringence$ ): در جدول میشل لوی (مقیاس نیوتن) که سری هایی از طیف نور مرئی ترسیم شده، رنگ تداخلی در بالای جدول و سری های بیرفرنژانس در پایین و ضخامت آن در محور عمودی سمت چپ آورده شده است. خطوطی که از گوشه ترسیم شده اند بیرفرنژانس بلور را که در طرف دیگر جدول نوشته شده نشان می دهند. برای مشخص کردن بیرفرنژانس یک بلور به روش زیر عمل می کنیم:

- ۱- کانی را در حالت  $ppl$  در مرکز تارهای رتیکول قرار می دهیم.
- ۲- آنالیزور را وارد میدان میکروسکپ می نماییم.
- ۳- رنگ تداخلی کانی را در روشن ترین حالت با دقت زیاد یادداشت می کنیم.
- ۴- موقعیت رنگ تداخلی کانی را بر روی جدول میشل لوی بر روی خط مشخص کننده ۳۰ میکرون که ضخامت مقاطع نازک می باشد مشخص می نماییم.
- ۵- موقعیت به دست آمده را بر روی خطوط شعاعی امتداد می دهیم تا بر روی حاشیه سمت راست جدول، عدد بیرفرنژانس و سری آن مشخص گردد.

#### - تأخیر نوری ( $retardation$ ):

تأخیر نوری یا ریتاردیشن ( $retardation$ ) در سمت چپ جدول میشل لوی به صورت اعداد صحیح نوشته شده است.

برای مشخص کردن تأخیر یا ریتاردیشن یک بلور به روش زیر عمل می کنیم:

- ۱- کانی را در حالت  $ppl$  در مرکز تارهای رتیکول قرار می دهیم.

۲- آنالیزور را وارد میدان میکروسکپ می نماییم.

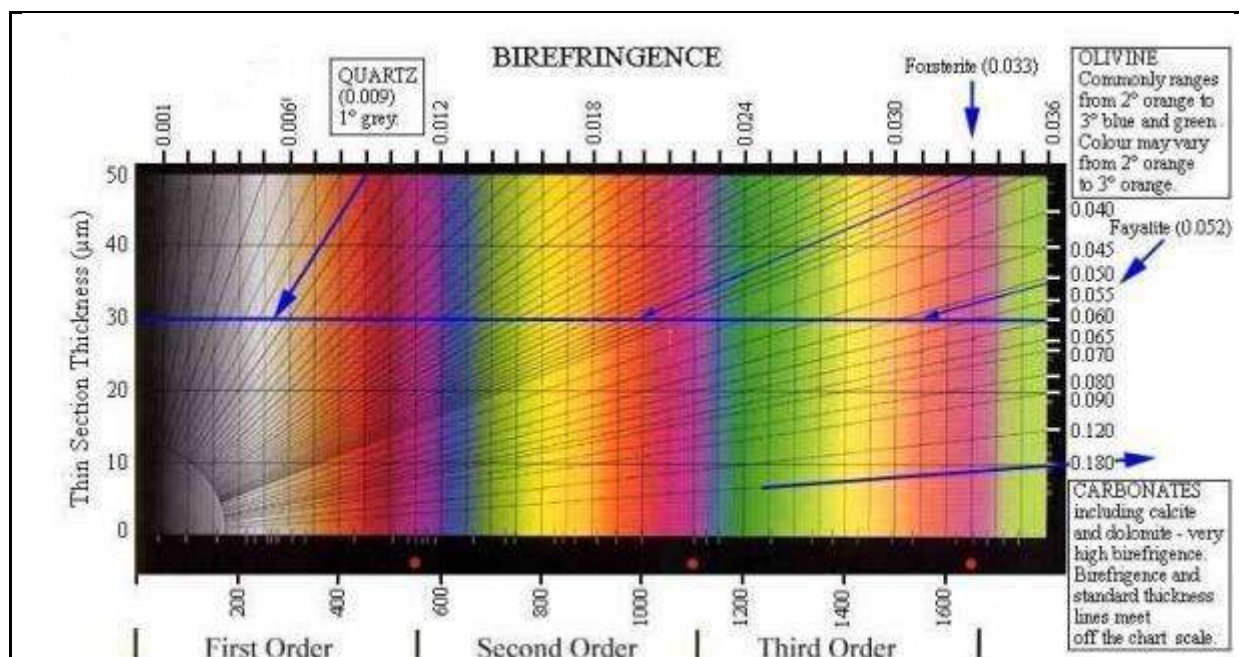
۳- رنگ تداخلی کانی را در روشن ترین حالت با دقت زیاد یادداشت می کنیم.

۴- موقعیت رنگ تداخلی کانی را بر روی جدول میشل لوی بر روی خط مشخص کننده ۳۰ میکرون که

ضخامت مقاطع نازک می باشد مشخص می نماییم.

۵- موقعیت به دست آمده را بر روی خط مستقیم امتداد می دهیم تا بر روی حاشیه سمت چپ جدول،

عدد تاخیر کانی مشخص گردد .



جدول میشل لوی که نشان دهنده تغییرات رنگ تداخلی ، مقدار بیرفرنژانس و تافیر می باشد.

## مشاهدات و نتایج:

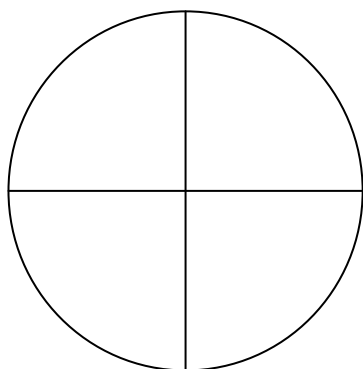
کانیهایی مانند کوارتز و فلدسپارها بیرفرنژانس پایین (خاکستری سری اول) را نشان می دهند.

کانیهایی مانند پیروکسن ، آمفیبول، بیرفرنژانس متوسط (سری دوم) نشان میدهند.

کانیهایی مانند مسکویت ، کلسیت و اسفن بیرفرنژانس بالا (سری سوم و چهارم) نشان می دهند.

مطالعه مقاطع نازک در حالت نیکل موازی و متقاطع (*Cross nicol mode*)

- شفافیت کانی ها (*diaphaneity*): .....
- رنگ (*color*): .....
- چند رنگی (*pleochroism*): .....
- برجستگی (*relief*) و خط بکه (*becke line*): .....
- شکل بلورها (*habit of crystals*): .....
- رخ (*cleavage*): .....
- شکستگی (*fracturing*): .....
- شناسایی بلورهای ایزوتروپ و آنیزوتروپ: .....
- رنگ تداخلی یا اینترفرانس (*Interference color*): .....
- بیرفرنژانس (*birefringence*): .....
- تأخیر نوری: .....
- شکل کانی



## جلسه هفتم

### عنوان آزمایش: مشخصات نوری کانی ها در حالت $xpl$

#### هدف:

آموزش خواص نوری ماکل ها ، زاویه خاموشی و منطقه بندی در بلورها

#### ابزار و مواد مورد نیاز:

مقاطع نازک و میکروسکپ پلاریزان

#### روش کار:

برای اندازه گیری زاویه خاموشی ابتدا طول بلور یا اثر کلیواژ و یا اثر سطح ماکل را به موازات یکی از تارهای چشمی میکروسکپ قرار می دهیم که در این صورت یکی از دو حالت زیر روی می دهد.  
الف) بلور تاریک و دارای زاویه خاموشی صفر بوده و اصطلاحاً به آن خاموشی مستقیم یا موازی گفته می شودمانند بیوتیت، مسکویت و کلریت .

ب) بلور روشن است، صفحه گردان میکروسکپ را می چرخانیم تا بلور به حداکثر تاریکی برسد. مقدار زاویه ای که بلور می چرخد تا به خاموشی کامل برسد، زاویه خاموشی نامیده می شود که به وسیله زاویه سنج (ورنیه) اندازه گیری می گردد. مانند آمفیبول ها و پیروکسن ها ( کانی های دارای خاموشی مایل ).  
برای اندازه گیری دقیق تر از برش هایی طویل و یک جهت رخ و کانی هایی که رنگ تداخلی بالاتر و چند رنگی قوی تری نشان دهند استفاده می شود.

#### – شناسایی ماکل ها:

ماکل که سطح مشترک دو بلور از یک نوع کانی با ترکیب شیمیایی یکسان می باشد با استفاده از نیکل متقاطع در زیر میکروسکپ قابل مشاهده است

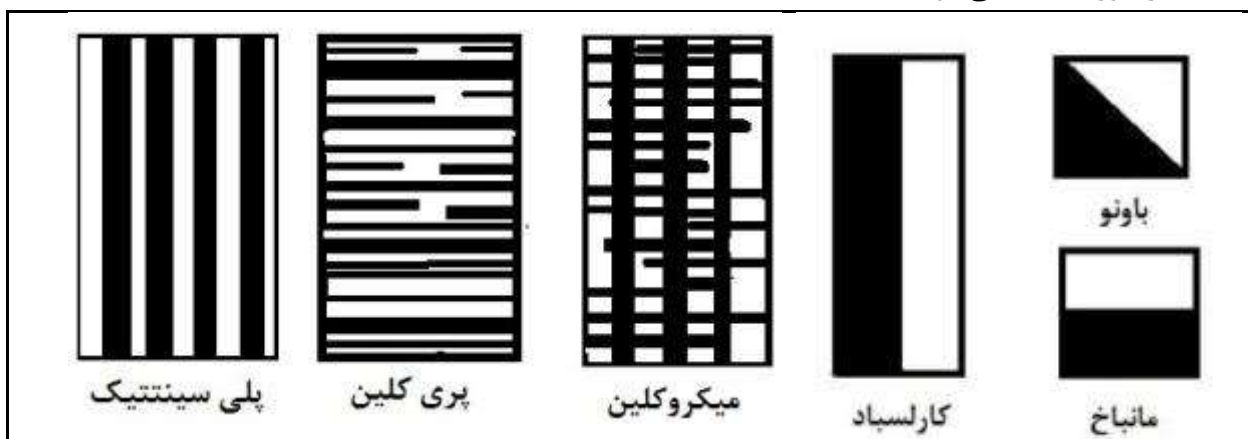
– ماکل ساده : در زیر میکروسکپ به صورت دو بلور سفید و سیاه در کنار یکدیگر مشاهده می شود.

به عبارت دیگر زمانی که یکی روشن است دیگری خاموش بوده و با چرخش میدان میکروسکپ بلور تیره روشن شده و دیگری تاریک می گردد.

– ماکل پلی سینتتیک : این نوع ماکل در مقطع نازک به صورت ردیفی از خطوط تیره و روشن در طول بلور و بیشتر در پلاژیوکلازها دیده می‌شود.

– ماکل پری کلین : حالتی از بافت پلی سینتتیک است که عرض نوارهای تیره و روشن غیر یکسان و این نوارها غیر ممتد می‌باشند.

– ماکل مشبک یا میکروکلین : این ماکل به صورت خطوط مشبک غیر ممتد با عرض متفاوت و با زاویه قائمه در بلورها دیده می‌شود.



انواع ماکل در کانی‌ها

### – منطقه‌بندی (zoning):

کانی‌هایی که در حین تبلور بخشی مذاب اولیه ترکیب شیمیایی آنها تغییر می‌کند حالتی از منطقه‌بندی یا نوارهای موازی با شکل بلور و متحدالمرکز در آنها بوجود می‌آید که در مقطع نازک در حالت نیکول متقاطع به صورت تیره و روشن به نظر می‌رسند. منطقه بندی بیشتر در پلاژیوکلازها دیده می‌شود.

### مشاهدات و نتایج:

خاموشی کانی‌هایی مانند اولیوین، بیوتیت و مسکویت موازی می‌باشد.

خاموشی کانی‌هایی مانند کلینوپیروکسن‌ها و آمفیبول‌ها مایل بوده و انواع کلینوپیروکسن‌ها زاویه

خاموشی کمتر از ۴۵ درجه و آمفیبول از ۱۲ درجه نشان می‌دهند.

کلینوپیروکسن‌هایی مانند اوژنیت خاموشی متقارن نشان می‌دهند.

فراوان ترین ماکل موجود در مقاطع نازک ماکل تکراری (پلی سینتتیک) و در پلاژیوکلازها دیده می‌شود.

ماکل دوتایی بیشتر در ارتوز و سانیدین مشاهده می‌شود.

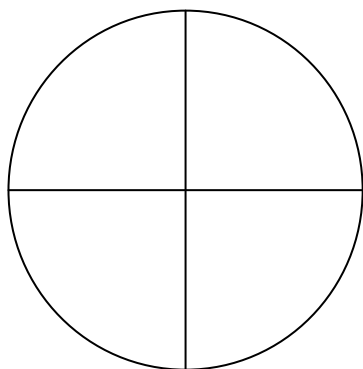
منطقه بندی بیشتر در بلورهای پلاژیوکلاز وجود دارد.

## گزارش کار آزمایشگاه کانی شناسی نوری (جلسه هفتم)

---

### مطالعه مقاطع نازک در حالت نیکل موازی و متقاطع (*Cross nicol mode*)

- شفافیت کانی ها (*diaphaneity*): .....
- رنگ (*color*): .....
- چند رنگی (*pleochroism*): .....
- برجستگی (*relief*) و خط بکه (*becke line*): .....
- شکل بلورها (*habit of crystals*): .....
- رخ (*cleavage*): .....
- شکستگی (*fracturing*): .....
- شناسایی بلورهای ایزوتروپ و آنیزوتروپ: .....
- رنگ تداخلی یا اینترفرانس (*Interference color*): .....
- بیرفرنژانس (*birefringence*): .....
- تأخیر نوری: .....
- ماکل ها: .....
- خاموشی: .....
- منطقه بندی در بلورها: .....
- شکل کانی





## جلسه هشتم

### عنوان آزمایش: مشخصات نوری کانی های سیلیکاتی

#### هدف :

آموزش خواص نوری کانی های اولیوین و گارنت

#### ابزار و مواد مورد نیاز:

مقاطع نازک و میکروسکپ پلاریزان

#### روش کار:

بررسی ویژگی های نوری مانند شفافیت، رنگ، شکل، برجستگی، رخ، ماکل، بیرفرنژانس و رنگ تداخلی و

خاموشی و تشخیص کانی های اولیوین و گارنت

#### مشاهدات و نتایج:

##### - اولیوین (*Olivine*)

رنگ: بی رنگ

شکل: به صورت بلورهای شکل دار تا نیمه شکل دار

برجستگی: نسبتاً بالا، ضریب شکست بیشتر از کانادا بالزام

رخ: در جهت 010 ناقص

ماکل: ندارد.

بیرفرنژانس و رنگ تداخلی: قوی، ۰/۰۳۵ تا ۰/۰۴۰، حداکثر رنگ تداخلی انتهای سری دوم.

خاموشی: موازی با جهت کلیواژ

##### - گارنت (*Garnet*)

رنگ: بی رنگ، قرمز پریده، قهوه‌ای پریده، در مواردی حالت منطقه‌ای نشان می‌دهند.

شکل: بلورهای شکل دار شش گوش و تتراپزوئدرهایی که در مقطع عرضی هشت گوشه می‌باشند.

رخ: ندارد.

برجستگی: خیلی زیاد، ضریب شکست بیشتر از کانادا بالزام

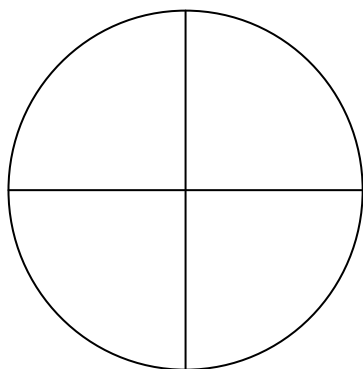
بیرفرنژانس و رنگ تداخلی: کانی ایزوتروپ با بیرفرنژانس ضعیف (سیاه)

## گزارش کار آزمایشگاه کانی شناسی نوری (جلسه هشتم)

---

### مطالعه مقاطع نازک در حالت نیکل موازی و متقاطع (*Cross nicol mode*)

- شفافیت کانی ها (*diaphaneity*): .....
- رنگ (*color*): .....
- چند رنگی (*pleochroism*): .....
- برجستگی (*relief*) و خط بکه (*becke line*): .....
- شکل بلورها (*habit of crystals*): .....
- رخ (*cleavage*): .....
- شکستگی (*fracturing*): .....
- شناسایی بلورهای ایزوتروپ و آنیزوتروپ: .....
- رنگ تداخلی یا اینترفرانس (*Interference color*): .....
- بیرفرانژانس (*birefringence*): .....
- تأخیر نوری: .....
- ماکل ها: .....
- خاموشی: .....
- منطقه بندی در بلورها: .....
- شکل کانی



## جلسه نهم

### عنوان آزمایش: مشخصات نوری کانی های سیلیکاتی

هدف: آموزش خواص نوری ارتوپیروکسن ها و کلینوپیروکسن ها

ابزار و مواد مورد نیاز: مقاطع نازک و میکروسکپ پلاریزان

روش کار: بررسی ویژگی های نوری مانند شفافیت، رنگ، شکل، برجستگی، رخ، ماکل، بیرفرنژانس و رنگ

تداخلی و خاموشی و تشخیص ارتوپیروکسن ها (انستاتیت، هیپرستن و برونزیت)، کلینوپیروکسن ها (اوژیت،

دیوپسید و آژرین)

### مشاهدات و نتایج:

#### — انستاتیت (*Enstatite*) و برونزیت (*Bronsite*).

رنگ: بی رنگ تا خاکستری در نوع برونزیت چند رنگی نشان می دهد.

شکل: منشوری

رخ: دو جهت به موازات 110 با زاویه حدود ۸۸ تا ۹۲ درجه.

برجستگی: زیاد، ضریب شکست بیشتر از کانادا بالزام

ماکل: به ندرت یافت می شود.

بیرفرنژانس و رنگ تداخلی: ضعیف، حدود ۰/۰۰۸ تا ۰/۰۰۹، حداکثر رنگ تداخلی زرد سری اول

خاموشی: موازی

#### — اوژیت (*Augite*):

رنگ: تقریباً بی رنگ، خاکستری، سبز پریده، قهوه ای مایل به ارغوانی

شکل: بلورهای منشوری که در مقطع نازک به صورت چهار یا هشت گوش دیده می شود. در بعضی از بلورها

منطقه بندی نیز دیده می شود.

رخ: موازی با 110 در دو جهت با زاویه ۸۷° تا ۹۳°

برجستگی: زیاد، ضریب شکست بیشتر از کانادا بالزام

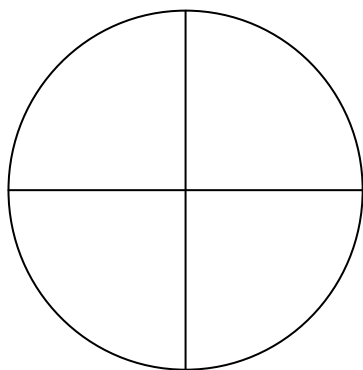
ماکل: ماکل دو تایی، پلی سینتیک، ماکل مرکب و ساعت شنی

**بیرفرئانس و رنگ تداقلی:** متوسط، حدود ۰/۰۲۱ تا ۰/۰۲۵، حداکثر رنگ تداخلی میانه سری دوم. مقاطع موازی با 100 رنگهای سری اول را نشان می دهند.

**غاموشی:** حداکثر زاویه خاموشی در مقاطع طولی ۳۶ تا ۴۵ درجه است. در بعضی از مقاطع خاموشی ساعت شنی نیز دیده می شود.

مطالعه مقاطع نازک در حالت نیکل موازی و متقاطع (*Cross nicol mode*)

- شفافیت کانی ها (*diaphaneity*): .....
- رنگ (*color*): .....
- چند رنگی (*pleochroism*): .....
- برجستگی (*relief*) و خط بکه (*becke line*): .....
- شکل بلورها (*habit of crystals*): .....
- رخ (*cleavage*): .....
- شکستگی (*fracturing*): .....
- شناسایی بلورهای ایزوتروپ و آنیزوتروپ: .....
- رنگ تداخلی یا اینترفرانس (*Interference color*): .....
- بیرفرنژانس (*birefringence*): .....
- تأخیر نوری: .....
- ماکل ها: .....
- خاموشی: .....
- منطقه بندی در بلورها: .....
- شکل کانی



## پلسه دهم

### عنوان آزمایش: مشخصات نوری کانی های سیلیکاتی

#### هدف :

آموزش خواص نوری کانیهای هورنبلند ، پلاژیوکلازها

#### ابزار و مواد مورد نیاز:

مقاطع نازک و میکروسکپ پلاریزان

#### روش کار:

بررسی ویژگی های نوری مانند شفافیت، رنگ، شکل ، برجستگی ، رخ، ماکل، بیرفرنژانس و رنگ تداخلی و

خاموشی و تشخیص هورنبلند ، پلاژیوکلازها

#### مشاهدات و نتایج:

##### - هورنبلند (*Hornblende*)

رنگ: سبز یا قهوه‌ای روشن تا تیره و چند رنگی شدید.

رخ: در دو جهت با زاویه ۵۶ و ۱۲۴ درجه.

برجستگی: نسبتاً بالا، ضریب شکست بیشتر از کانادا بالزام .

ماکل: ماکل تکراری.

بیرفرنژانس و رنگ تداخلی: متوسط، حدود ۰/۰۱۹ تا ۰/۰۲۶ حداکثر رنگ تداخلی میانه سری دوم

خاموشی: حداکثر زاویه خاموشی در مقاطع طولی ۱۲° تا ۳۰° ، در مقاطع عرضی خاموشی متقارن .

##### - پلاژیوکلازها (*Plagioclases*)

رنگ: بی رنگ

شکل: بیشتر به صورت تخته ای و به ندرت فنوکریست و به صورت بافت جدایشی با میکروکلین

رخ: یک جهت کامل به موازات 001 و یک جهت ضعیف به موازات 010

برجستگی: کم ، ضریب شکست کمتر از کانادا بالزام

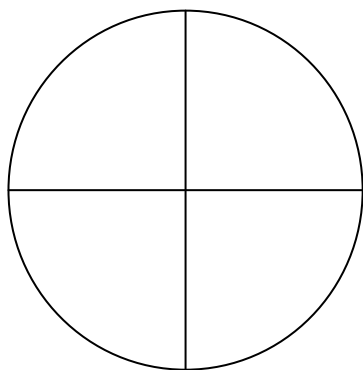
ماکل: ماکل پری کلین، کارلسباد، پلی سینتتیک و ماکل مرکب،

بیرفرنژانس و رنگ تداخلی: نسبتاً ضعیف، حدود ۰/۰۰۹ - ۰/۰۱۱ و زرد کم رنگ سری اول.

خاموشی: حداکثر زاویه خاموشی در ماکل آلپیت ۱۲° تا ۱۹ درجه و بر اساس کلیواژ ۳° تا ۵° درجه.

مطالعه مقاطع نازک در حالت نیکل موازی و متقاطع (*Cross nicol mode*)

- شفافیت کانی ها (*diaphaneity*): .....
- رنگ (*color*): .....
- چند رنگی (*pleochroism*): .....
- برجستگی (*relief*) و خط بکه (*becke line*): .....
- شکل بلورها (*habit of crystals*): .....
- رخ (*cleavage*): .....
- شکستگی (*fracturing*): .....
- شناسایی بلورهای ایزوتروپ و آنیزوتروپ: .....
- رنگ تداخلی یا اینترفرانس (*Interference color*): .....
- بیرفرنژانس (*birefringence*): .....
- تأخیر نوری: .....
- ماکل ها: .....
- خاموشی: .....
- منطقه بندی در بلورها: .....
- شکل کانی



## جلسه یازدهم

### عنوان آزمایش: مشخصات نوری کانی های سیلیکاتی

#### هدف :

آموزش خواص نوری کانیهای بیوتیت ، مسکویت و کلریت

#### ابزار و مواد مورد نیاز:

مقاطع نازک و میکروسکپ پلاریزان

#### روش کار:

بررسی ویژگی های نوری مانند شفافیت، رنگ، شکل ، برجستگی ، رخ، ماکل، بیرفرنژانس و رنگ تداخلی و

خاموشی و تشخیص انواع میکاها مانند بیوتیت ، مسکویت و کلریت

#### مشاهدات و نتایج:

##### - مسکویت (*Muscovite*)

رنگ: بی رنگ تا سبز پریده، در بعضی از نمونه‌ها چند رنگی نشان می‌دهد.

شکل: به صورت ورقه‌ای

رخ: در یک جهت (010) خیلی کامل

برجستگی: بلورها برجستگی متغیر داشته و با چرخاندن صفحه میکروسکپ تغییر می‌کند.

بیرفرنژانس و رنگ تداخلی: قوی، حدود  $0.37/\lambda$  تا  $0.41/\lambda$  حداکثر رنگ تداخلی انتهای سری دوم می‌باشد.

خاموشی: موازی با سطح کلیواژ

##### - بیوتیت (*Biotite*)

رنگ: قهوه‌ای، زرد مایل به قهوه‌ای، قرمز قهوه‌ای، سبز زیتونی، دارای چند رنگی

شکل: بلورهای شکل دار شش گوشه و صفحه‌ای

اندازه‌ها: کانی هایی مانند زیرکن درون آن دیده می‌شود.

رخ: کامل در یک جهت (001)

برجستگی: خوب، ضریب شکست از کانادا بالزام بیشتر است.

بیرفرنژانس و رنگ تداخلی: قوی، حدود  $0.33/\lambda$  تا  $0.59/\lambda$  ، رنگ تداخلی انتهای سری دوم

خاموشی: موازی با جهت کلیواژ، حداکثر زاویه خاموشی ۳ درجه

##### - کلریت (*Chlorite*)



رنگ: سبز پریده تا تیره - بی رنگ

شکل: بلورهای شکل دار صفحه‌ای

رنگ: کامل در یک جهت

برجستگی: متوسط تا خوب و ضریب شکست بیش از کانادا بالزام

بیرفرنژانس و رنگ تداخلی: بیرفرنژانس ضعیف ، رنگ تداخلی عموماً خاکستری تا سیاه یا سبز تیره

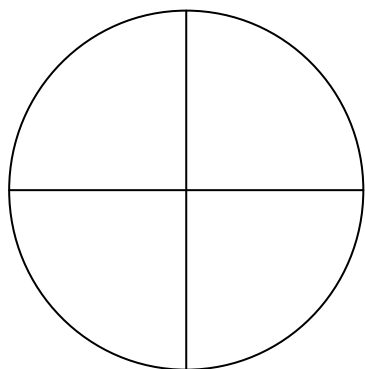
فاموشی: موازی با جهت کلیواژ،

## گزارش کار آزمایشگاه کانی شناسی نوری (جلسه یازدهم)

---

### مطالعه مقاطع نازک در حالت نیکل موازی و متقاطع (*Cross nicol mode*)

- شفافیت کانی ها (*diaphaneity*): .....
- رنگ (*color*): .....
- چند رنگی (*pleochroism*): .....
- برجستگی (*relief*) و خط بکه (*becke line*): .....
- شکل بلورها (*habit of crystals*): .....
- رخ (*cleavage*): .....
- شکستگی (*fracturing*): .....
- شناسایی بلورهای ایزوتروپ و آنیزوتروپ: .....
- رنگ تداخلی یا اینترفرانس (*Interference color*): .....
- بیرفرنژانس (*birefringence*): .....
- تأخیر نوری: .....
- ماکل ها: .....
- خاموشی: .....
- منطقه بندی در بلورها: .....
- شکل کانی



## جلسه دوازدهم

### عنوان آزمایش: مشخصات نوری کانی های سیلیکاتی

#### هدف :

آموزش خواص نوری کانی های کوارتز و فلدسپارهای قلیایی

#### ابزار و مواد مورد نیاز:

مقاطع نازک و میکروسکپ پلاریزان

#### روش کار:

بررسی ویژگی های نوری مانند شفافیت، رنگ، شکل، برجستگی، رخ، ماکل، بیرفرنژانس و رنگ تداخلی و

خاموشی و تشخیص کوارتز و فلدسپارهای قلیایی

#### مشاهدات و نتایج:

##### — کوارتز (Quartz)

رنگ: بیرنگ،

شکل: منشوری، دانه ای، هم رشدی با میکروکلین (بافت گرافیک) و پلاژیوکلاز (میرمکیت)

رنگ: معمولاً فاقد کلیواژ و در مواردی یک جهت ضعیف.

برجستگی: کم، بیشتر از چسب کانادا

بیرفرنژانس و رنگ تداخلی: خیلی ضعیف، حدود ۰/۰۰۹، سفید سری اول،

خاموشی: در بلورهای شکل دار موازی و متقارن نسبت به کلیواژ

##### — ارتوز (Orthoclase)

رنگ: بیرنگ با ظاهر ابری شکل که به واسطه دگرسانی به کانی های رسی به وجود آمده است.

رنگ: یک جهت کامل به موازات 001 و یک جهت ضعیف به موازات 010

برجستگی: کم، ضریب شکست کمتر از کانادا بالزام

ماکل: دارای ماکل ساده از نوع دوتایی کارلسباد، باونو و مانباخ

بیرفرنژانس و رنگ تداخلی: ضعیف، حدود ۰/۰۰۸ و خاکستری سری اول

خاموشی: در جهت 001 خاموشی موازی، در جهت 010 با زاویه حدود ۵-۱۲ درجه که با افزایش مقدار

سدیم بیشتر می شود.

- سانیدین (Sanidine)

رنگ: بی رنگ

شکل: عموماً به صورت فنوکریست

رنگ: یک جهت کامل به موازات 001 و یک جهت ضعیف به موازات 010

برجستگی: کم ، ضریب شکست کمتر از کانادا بالزام

ماکل: دارای ماکل ساده از نوع دوتایی کارلسباد

پیرفرئزانس و رنگ تدافلی: ضعیف، حدود ۰/۰۰۷ و خاکستری و سفید خاکستری سری اول

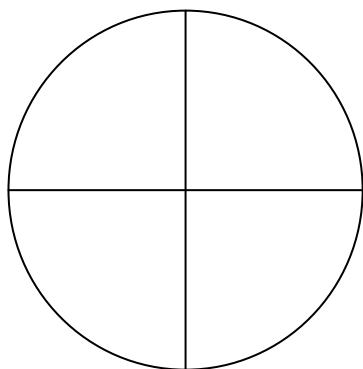
فاموشی: در جهت 001 خاموشی موازی، در جهت 010 حدود ۵ درجه

## گزارش کار آزمایشگاه کانی شناسی نوری (جلسه دوازدهم)

---

### مطالعه مقاطع نازک در حالت نیکل موازی و متقاطع (*Cross nicol mode*)

- شفافیت کانی ها (*diaphaneity*): .....
- رنگ (*color*): .....
- چند رنگی (*pleochroism*): .....
- برجستگی (*relief*) و خط بکه (*becke line*): .....
- شکل بلورها (*habit of crystals*): .....
- رخ (*cleavage*): .....
- شکستگی (*fracturing*): .....
- شناسایی بلورهای ایزوتروپ و آنیزوتروپ: .....
- رنگ تداخلی یا اینترفرانس (*Interference color*): .....
- بیرفرنژانس (*birefringence*): .....
- تأخیر نوری: .....
- ماکل ها: .....
- خاموشی: .....
- منطقه بندی در بلورها: .....
- شکل کانی



## کارگاه تهیه مقطع نازک

بر اساس سرفصل این درس ، هر دانشجو موظف است در کارگاه تهیه مقطع نازک یک مقطع نازک کانی شناسی یا سنگ شناسی بر حسب نظر مدرس تهیه نماید.

*Kerr, P., 1977, Optical mineralogy, Fourth edition, McGraw- Hill Book Company, 492p.*

*Klein, C. and Hurlbut, C.S., 1977, Manual of mineralogy, (after James.D. DANA, 20 th edithio). John Wiley & Sons, 596p.*

*Mackenzie, W.S. and Guilford, C., 2011, Atlas of of rock forming minerals in thin sections, Longman Scientific & Technical, 104p.*

*Moorhouse, W.W., 1959, The study of rocks in thin section, Harper & Row, Publisher, 514p.*

*Perkins, D., 2002, Mineralogy, Prentice Hall, 483p.*

*Wenk, H. and Bulakh, A., 2004, Minerals, their constitution and origin, Cambridge, 646p.*

*Williams, H., Turner, F.J. and Gilbert, C.M., 1954, Petrography, W.H. Freeman and company, 406p.*