

## بررسی ریزساختارهای بلوری مؤثر بر پدیده لابرادورسنس در کانی لابرادوریت

فاطمه پیربک درویشوند\*، رضا ظهیری

\*دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

استادیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

### چکیده

کانی لابرادوریت یکی از اعضای میانی سری پلاژیوکلازهاست که به دلیل نمایش پدیده نوری شاخصی موسوم به لابرادورسنس، جایگاه ویژه‌ای در کانی‌شناسی نوری و گوهرشناسی دارد. این پدیده به صورت بازی رنگ‌های متنوع در سطح کانی ظاهر می‌شود و برخلاف رنگ‌های ناشی از ناخالصی‌های شیمیایی، منشأ آن به ریزساختارهای بلوری داخلی نسبت داده می‌شود. در این پژوهش، نمونه‌های لابرادوریت با استفاده از آنالیزهای XRD، XRF و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد بررسی قرار گرفتند تا ارتباط میان ساختار بلوری، ترکیب شیمیایی و رفتار نوری نمونه‌ها تبیین شود. نتایج XRD حضور فاز پلاژیوکلاز در محدوده ترکیبی لابرادوریت را تأیید می‌کند. داده‌های XRF نسبت سدیم به کلسیم متناسب با موقعیت لابرادوریت در سری آل‌بیت-آنورتیت را نشان می‌دهد. تصاویر SEM وجود لایه‌های exsolution و ریزساختارهای منظم در مقیاس نانومتری را آشکار می‌سازد که نقش اساسی در ایجاد تداخل نور و بروز پدیده لابرادورسنس دارند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ضخامت، نظم و جهت‌گیری این لایه‌ها عوامل اصلی کنترل‌کننده شدت و طیف رنگ مشاهده‌شده در لابرادوریت هستند.

واژه‌های کلیدی: لابرادوریت؛ لابرادورسنس؛ پلاژیوکلاز؛ ریزساختار بلوری؛ exsolution

## Investigation of Crystal Microstructures Affecting the Labradorescence Phenomenon in the Mineral Labradorite

### Abstract

Labradorite is a plagioclase feldspar mineral well known for its distinctive optical phenomenon known as labradorescence, characterized by a vivid play of colors on the crystal surface. Unlike coloration caused by chemical impurities, labradorescence originates from internal crystal microstructures. In this study, labradorite samples were investigated using X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), and scanning electron microscopy (SEM) in order to elucidate the relationship between crystal structure, chemical composition, and optical behavior. XRD results confirm the presence of plagioclase feldspar within the compositional range of labradorite. XRF analyses indicate sodium-to-calcium ratios consistent with intermediate members of the albite-anorthite series. SEM observations reveal well-developed nanoscale exsolution lamellae, which play a critical role in light interference and the development of labradorescence. The results demonstrate that the thickness, periodicity, and orientation of these lamellae are the primary factors controlling the intensity and wavelength of the observed colors.

**Keywords:** Labradorite; Labradorescence; Plagioclase; Crystal microstructure; Exsolution

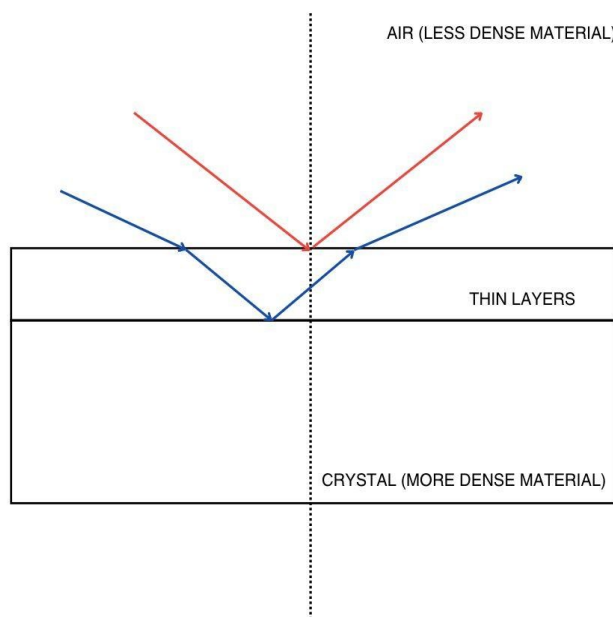
## ۱. مقدمه

پلاژیوکلازها به عنوان یکی از فراوان‌ترین گروه‌های کانی‌های سیلیکاته در پوسته زمین، نقش مهمی در کانی‌شناسی سنگ‌های آذرین و دگرگونی ایفا می‌کنند. لابرادوریت، عضو میانی سری پلاژیوکلازها، به دلیل ویژگی نوری خاص خود موسوم به لابرادورسنس، توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده است. این پدیده به صورت بازی رنگ‌های آبی، سبز، زرد و گاه قرمز در سطح کانی مشاهده می‌شود و از دیرباز موضوع مطالعات کانی‌شناسی نوری بوده است.

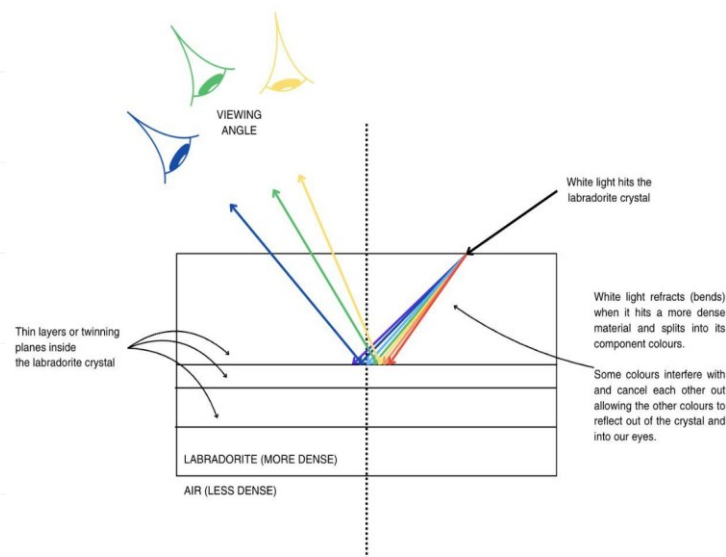
مطالعات اولیه نشان داده‌اند که منشأ لابرادورسنس نه به حضور عناصر رنگ‌زا، بلکه به ساختارهای درونی بلور و پدیده‌های ریزساختاری مانند exsolution و دوقلوبی‌های منظم مرتبط است. با این حال، ارتباط دقیق میان ویژگی‌های ریزساختاری و شدت و طیف رنگ مشاهده‌شده همچنان نیازمند بررسی‌های آزمایشگاهی دقیق‌تر است. هدف از این پژوهش، بررسی هم‌زمان ساختار بلوری، ترکیب شیمیایی و ریزساختارهای لابرادوریت و تبیین نقش آن‌ها در ایجاد پدیده لابرادورسنس است.

## ۲. مواد و روش بررسی

نمونه‌های مورد مطالعه شامل قطعات سنگی، راف و نمونه‌های نگینی لابرادوریت بودند. برای شناسایی فازهای بلوری، آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) با استفاده از دستگاه ... و در محدوده زاویه‌ای  $2\theta$  انجام شد. به منظور تعیین ترکیب شیمیایی نمونه‌ها، آنالیز XRF صورت گرفت و درصد اکسیدهای اصلی محاسبه شد. بررسی ریزساختارها و مشاهده لایه‌های exsolution با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) انجام شد. همچنین تصاویر ماکروسکوپی از نمونه‌ها جهت مستندسازی بازی رنگ و ارتباط آن با ساختار داخلی ثبت گردید.



شکل ۱. تصویر ماکروسکوپی از نمونه لابرادوریت که بازی رنگ‌های آبی و سبز ناشی از پدیده لابرادورسنس را در اثر تغییر زاویه تابش نور نشان می‌دهد.

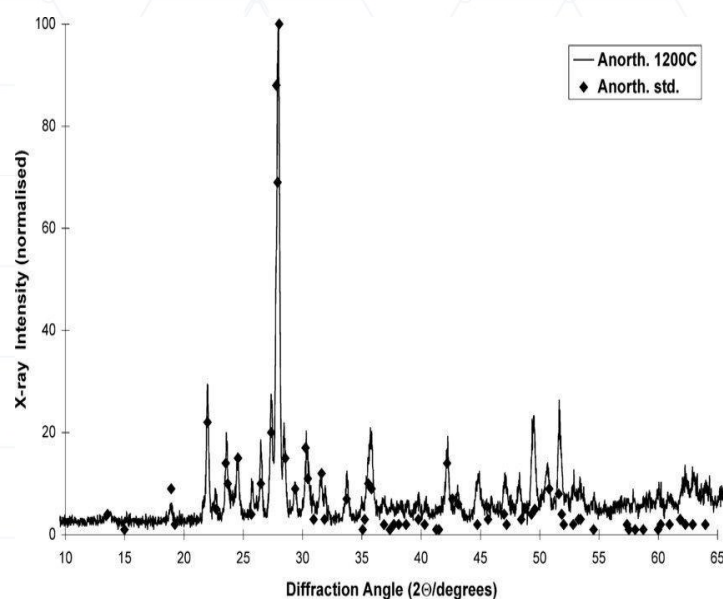


شکل ۲. تصویر ماکروسکوپی از نمونه لابردوریت که بازی رنگ‌های آبی و سبز ناشی از پدیده لابردورسنس را در اثر تغییر زاویه تابش نور نشان می‌دهد.

### ۳. نتایج

#### ۳-۱. نتایج XRD

الگوهای پراش پرتو ایکس نشان‌دهنده حضور فاز پلاژیوکلاز با ساختار تری‌کلینیک هستند. موقعیت و شدت پیک‌ها با داده‌های استاندارد لابردوریت تطابق خوبی دارد و فاز ثانویه قابل توجهی مشاهده نشد.



شکل ۳. الگوی XRD نمونه، نشان‌دهنده ساختار تری‌کلینیک پلاژیوکلاز و عدم حضور فازهای ثانویه قابل توجه.

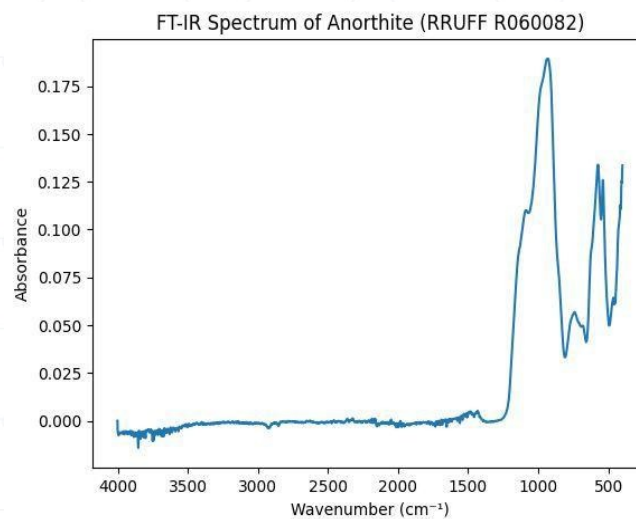


### ۳-۲. نتایج XRF

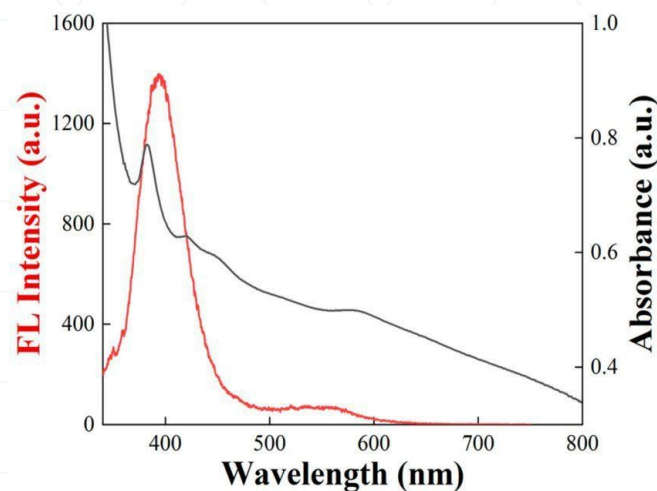
آنالیز XRF نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی نمونه‌ها در محدوده میانی سری آل‌بیت-آنورتیت قرار دارد. نسبت CaO به Na<sub>2</sub>O مؤید جایگاه لابرادوریت و عدم انحراف ترکیبی قابل توجه است.

### ۳-۳. نتایج SEM

تصاویر SEM وجود لایه‌های موازی و منظم در مقیاس نانومتری را نشان می‌دهد. این لایه‌ها به صورت تناوبی از نواحی غنی از سدیم و کلسیم تشکیل شده‌اند و به عنوان ساختارهای exsolution شناخته می‌شوند.



شکل ۴. طیف FT-IR



شکل ۵.

UV-Vis-absorption-black-line-and-fluorescence-emission-spectra-red-line-of-recolored.tif (850×616)

#### ۴. بحث

وجود لایه‌های exsolution با ضخامت هم‌مرتبه با طول موج نور مرئی، شرایط لازم برای تداخل و پراش نور را فراهم می‌کند. این لایه‌ها مانند شبکه‌های پراش عمل کرده و باعث تقویت یا تضعیف طول موج‌های خاص می‌شوند. تغییر زاویه دید منجر به تغییر مسیر نور بازتابی و در نتیجه تغییر رنگ مشاهده‌شده می‌شود. نتایج این مطالعه با مدل‌های کلاسیک ارائه‌شده توسط Bøggild و مطالعات بعدی بر روی فلدسپارها هم‌خوانی دارد و نقش ریزساختارهای منظم را به عنوان عامل اصلی لابردورسنس تأیید می‌کند.



شکل ۶. نمونه نگین پولیش خورده لابراتوریت

#### ۵. نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آنالیزهای XRF، XRD و SEM نشان می‌دهد که پدیده لابردورسنس در لابردوریت مستقیماً با ریزساختارهای بلوری داخلی و به‌ویژه لایه‌های exsolution مرتبط است. ضخامت، نظم و جهت‌گیری این لایه‌ها مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده شدت و طیف رنگ هستند. این یافته‌ها در درک بهتر رفتار نوری پلاژیوکلازها و کاربردهای گوهرشناسی لابردوریت اهمیت دارد.

#### ۶. قدردانی

نویسندگان بدین‌وسیله مراتب قدردانی و تشکر خود را از گروه شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان به‌دلیل فراهم‌سازی امکانات و همکاری در انجام آزمایش‌های FTIR اعلام می‌دارند. همچنین از جناب آقای دکتر فدوی، استاد فیزیک دانشگاه دامغان به‌سبب راهنمایی‌های ارزشمند در تعبیر و تفسیر نتایج آزمایش‌های نوری مرئی و فرابنفش (UV-VIS)، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

#### ۷. منابع

- \* Bøggild, O. B. (1924). On the labradorization of feldspars. \*Mineralogical Magazine\*, 20, 345–358.
- \* Smith, J. V., & Brown, W. L. (1988). \*Feldspar Minerals\*. Springer.
- \* Deer, W. A., Howie, R. A., & Zussman, J. (2013). \*Rock-Forming Minerals: Feldspars\*. Geological Society.

\* Nassau, K. (2001). \*The Physics and Chemistry of Color\*. Wiley.

\* Fleet, M. E. (2003). Optical phenomena in plagioclase feldspars. \*American Mineralogist\*, 88, 135–148.