

## بررسی ویژگی‌های سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی گابروهای جواهردشت (شرق گیلان)

شهرزاد حق‌نظر<sup>۱\*</sup>، سارا ملکوتیان<sup>۲</sup>، خلیل‌الهیاری<sup>۳</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

(دریافت مقاله: ۸۸/۳/۱۸، نسخه نهایی: ۸۹/۳/۸)

**چکیده:** گابروهای جواهردشت در دامنه شمالی البرز در شرق گیلان برونزد دارند. با بررسی‌های صحرایی، سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی در منطقه‌ی جواهردشت دو نوع گابرو شامل گابروهای غیر لایه‌ای و لایه‌ای گروه اول، گابروهای لایه‌ای گروه دوم از یکدیگر تفکیک شدند. گابروهای گروه اول از نظر کانی‌شناسی حاوی پلاژیوکلاز، کلینوپيروکسن، اولیوین و بیوتیت به‌عنوان یک فاز آذرین اولیه در همراهی با مگنتیت و تیتانومگنتیت هستند. اما گابروهای لایه‌ای گروه دوم برخلاف گابروهای گروه اول فاقد بیوتیت اولیه و تیتانومگنتیت‌اند. از نظر ژئوشیمیایی گابروهای گروه اول محتوای بسیار بالاتری از عناصر قلیایی ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ )،  $\text{TiO}_2$  و  $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{total}}$  نسبت به گابروهای گروه دوم دارند. در مقابل گابروهای لایه‌ای گروه دوم دارای مقادیر بالای  $\text{Mg}^{\#}$  و عناصر سازگار (Ni و Cr، Co) در مقایسه با گابروهای گروه اول‌اند. بررسی‌های ما نشان می‌دهد که گابروهای گروه اول دارای تعادل عنصری شاخصی با سنگ‌های پوسته‌ی زیرین بوده و با آن‌ها آرایش یافته‌اند. بررسی‌های ژئوشیمیایی عناصر کمیاب و REE نشان از ریشه‌گیری ماگمای مادر گابروهای گروه اول از یک گوشته‌ی استنوسفری منبع مورب با رخساره‌ی اسپینل دارد. اما گابروهای لایه‌ای گروه دوم از نظر ژئوشیمیایی علائم مربوط به مذاب‌های ریشه‌گرفته از خاستگاه مورب با رخساره‌ی گارنت را نشان می‌دهند. بررسی روند الگوی عناصر کمیاب ناسازگار گابروهای جواهردشت و مقایسه آن‌ها با بازالت‌های جواهردشت نشان می‌دهد که گابروهای گروه اول به بازالت‌های منطقه وابسته بوده و خویشاوندی‌های پتروژنتیکی و الگوی ژئودینامیکی یکسانی را نشان می‌دهند.

**واژه‌های کلیدی:** جواهردشت، گابرو، خاستگاه مورب، آرایش پوسته‌ای، ژئوشیمی.

### مقدمه

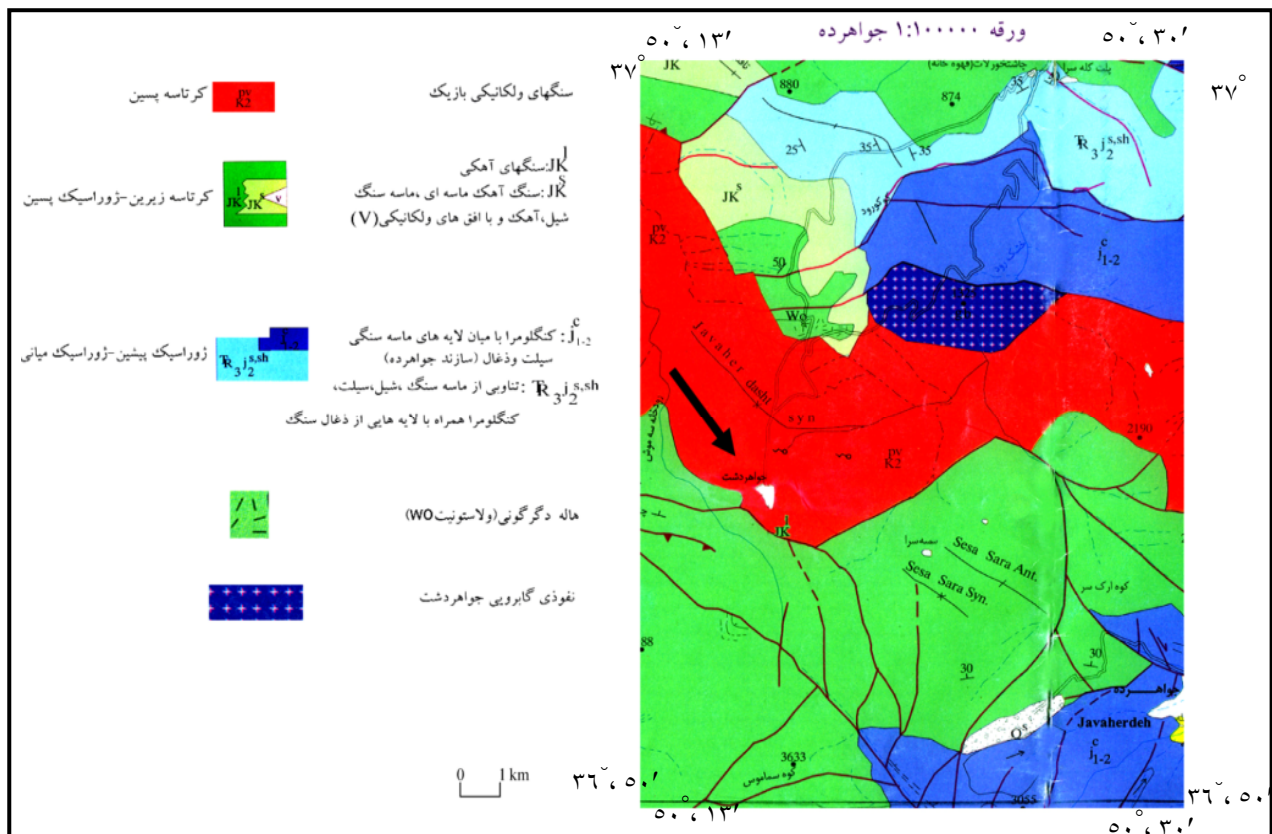
شده‌اند [۱]. غالب رخنمون‌های سنگی در منطقه‌ی جواهردشت به دوران مزوزوئیک وابسته بوده و برونزد غالب سنگ‌های آذرین منطقه، توده‌های ماگمایی مافیک گابرویی و بازالتی هستند که در نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ جواهرده به سن کرتاسه مشخص شده‌اند [۱]. همچنین برونزد سنگ‌های رسوبی منطقه

گابروهای جواهردشت در دامنه شمالی البرز در شرق استان گیلان بین طول‌های جغرافیایی  $36^{\circ}56'$  و  $36^{\circ}$  و عرض‌های  $53^{\circ}53'$  و  $50^{\circ}56'$  برونزد دارند (شکل ۱). گابروهای مورد بررسی در گوشه شمال شرقی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ جواهرده واقع

## روش بررسی

با وجود پوشش گیاهی انبوه، جنگلی و صعب العبور بودن منطقه و نبود رخنمون کافی، از بخش‌های مختلف توده های گابرویی جواهردشت نمونه برداری صورت گرفت. همچنین این گابروها از نظر ساختاری و وجود لایه‌بندی‌های ماگمایی در روی زمین مورد بررسی قرار گرفتند. پس از تهیه ۱۰۰ مقطع نازک از نمونه‌های برداشت شده، بررسی‌های میکروسکوپی و سنگ‌شناختی نمونه‌ها صورت پذیرفت. سپس با توجه به تفکیک صحرائی و سنگ‌شناختی گابروها، ۱۶ نمونه به روش XRF برای تجزیه عناصر اصلی و فرعی (جدول ۱) و ۱۲ نمونه به روش ICP-MS برای تجزیه عناصر REE (جدول ۲) در آزمایشگاه Amdel استرالیا مورد بررسی عنصری قرار گرفتند.

شامل ردیفی از کنگلومرای ضخیم لایه با میان لایه‌های ماسه سنگی به نام سازند جواهرده به سن ژوراسیک زیرین و سازند آهکی معادل لار به سن ژوراسیک فوقانی هستند. گابروی جواهردشت روی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ جواهرده به صورت یک توده مشخص شده است که از سمت شمال با سازند جواهرده همبری گسلی، و از سمت جنوب با بازالت‌های جواهردشت همبری عادی دارد [۱]. بنا بر بررسی‌های صلواتی و همکاران [۲] گابروهای جواهردشت بخشی از یک دنباله‌ی افیولیتی به نام مجموعه‌ی افیولیتی جنوب دریای خزر بوده که دارای سن کرتاسه پایانی هستند، ولی بررسی‌های ما نشان می‌دهد که حداقل دو نوع گابرو با ترکیب شیمیایی، کانی‌شناسی، سن و جایگاه زمین‌ساختی متفاوت در منطقه برونزد داشته که تفکیک و بررسی ویژگی‌های سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی این گابروها موضوع این پژوهش است.



شکل ۱ موقعیت گابروهای جواهردشت در گوشه شمال شرقی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ جواهرده.

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی گابروهای جواهردشت به روش XRF.

Sample	گابروهای لایه ای گروه دوم								
	J-1	J-2	J-4	J-5	J-7	J-8	J-3T	J-24	J-3
SiO <sub>2</sub>	۴۵.۴۲	۴۵.۰۵	۴۷.۱۳	۴۵.۷۶	۴۷.۱۰	۴۷.۸۲	۴۶.۵۷	۴۷.۱۶	۴۸.۳۰
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۴.۲۳	۱۳.۹۷	۱۳.۳۷	۱۴.۷۲	۱۱.۳۸	۳	۷.۲	۱۷.۰۴	۱۳.۰۷
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>1</sup>	۱۲.۷۷	۸.۸۳	۱۰.۶	۱۱.۵۶	۱۰.۳۶	۱۱.۶۲	۱۰.۸۶	۷.۰۵	۱۰.۱۷
CaO	۱۵.۴۶	۱۸.۱۴	۱۷.۳۷	۱۵.۶۸	۱۷.۲	۱۹.۲۴	۱۷.۷۳	۱۵.۲۴	۹.۳۷
Na <sub>2</sub> O	۰.۱۲	۰.۶۳	۰.۲۴	۰.۱۹	۰.۴۱	۰.۱۴	۰.۱۲	۰.۹۵	۱.۸۸
K <sub>2</sub> O	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۷	۱.۴۵
MgO	۱۹.۱۷	۱۰.۲۷	۱۰.۳	۹.۸	۱۲.۷۲	۱۶.۶۷	۱۵.۶۵	۹.۵۵	۱۳.۲۵
TiO <sub>2</sub>	۰.۳۷۴	۰.۴۳	۰.۳۲۱	۰.۳۷۹	۰.۵۰۱	۰.۳۶۸	۰.۱۸۷	۰.۲۹۴	۰.۹۸۵
MnO	۰.۲۰۳	۰.۱۴۲	۰.۱۷۱	۰.۱۸۳	۰.۱۶۸	۰.۱۵۹	۰.۱۸۶	۰.۱۱۴	۰.۱۵۹
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰.۰۱۲	۰.۰۱۷	۰.۰۱۵	۰.۰۳	۰.۰۲۶	۰.۰۱۴	۰.۰۱۹	۰.۰۱۸	۰.۱۷۵
L.O.I	۱.۴۹	۲.۰۹	۱	۱.۵۵	۰.۰۴	۰.۸۲	۱.۱۸	۲.۲۶	۱.۷۷
Total	۹۹.۳۶	۹۹.۶۰	۹۹.۵۲	۹۹.۸۶	۹۹.۹۴	۹۹.۸۹	۹۹.۷۳	۹۹.۷۴	۹۹.۵۷
Cl	۲۲۲	۲۹۶	۱۳۲	۸۶	۵۳	۱۶۰	۸۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۴
S	۳۰	۲۰	۴۶	۱۴	۱۵	۱۰	۱۲	۹۸	۶۹۷
Ba	۳۱۴	۱۴۸	۲۵۲	۱۶۰	۱۰۶	۱۹۰	۱۵۸	۳۰۱	۴۰۰
Sr	۶۳	۱۴۷	۲۷۷	۴۰۹	۱۵۵	۳۱	۱۸۲	۵۶۴	۳۲۹
Cu	۲۹	۲۶	۴۸	۱۳	۲۳	۱۶	۲۸	۳۱	۹۰
Zn	۶۶	۶۲	۷۲	۵۱	۵۷	۵۲	۶۳	۴۱	۶۹
Pb	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱۰	۱۳
V	۱۴۸	۱۲۷	۱۵۸	۱۵۰	۱۵۳	۱۳۵	۱۴۶	۱۵۲	۲۷۹
Cr	۹۴۱	۷۲۴	۵۳۶	۳۵۱	۶۹۱	۸۳۱	۶۷۹	۵۰	۶۱
W	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	۱	۱
Mo	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	۱	۱
Nb	۲	۲	۹	۳	۶	۲	۴	۱۱	۱۳
Zr	۴۳	۴۲	۵۶	۷۱	۴۳	۴۵	۴۷	۷۵	۸۸
Y	۹	۵	۸	۹	۱۱	۹	۸	۱۲	۱۵
Rb	۱۴	۱۱	۱۲	۱۱	۱۳	۱۵	۱۴	۱۴	۵۰
Ni	۳۱۵	۳۲۸	۱۹۱	۱۵۶	۲۶۴	۲۳۵	۲۴۱	۱۳۶	۱۷۵
Co	۶۶	۵۳	۳۳	۲۸	۴۸	۴۰	۵۰	۳۸۸	۴۸۵
U	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۳	۱	۱
Th	۸	۴	۸	۳	۵	۷	۶	۶	۵

ادامه جدول ۱

Sample	گابروهای لایه ای گروه سوم				گابروهای گروه اول		
	J-13	J-14	J-15	J-21A	J-21B	J-30	J-30A
SiO <sub>2</sub>	۴۵.۶۲	۴۶.۲۷	۴۶.۲۸	۴۷.۵۹	۴۷.۶۸	۴۹.۷۳	۵۰.۹۷
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۱.۴۲	۱۷.۷۸	۱۵.۶۱	۱۲.۷	۷.۲۵	۱۵.۷۶	۱۸.۲۹
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>1</sup>	۱۲.۲۵	۱۲.۸۲	۱۲.۷۷	۱۲.۲۵	۱۵.۰۴	۱۲.۷۳	۹.۳۱
CaO	۱۳.۵۶	۱۱.۳۰	۹.۰۸	۱۲.۴۵	۱۴.۸۷	۱۱.۴	۱۰.۳۳
Na <sub>2</sub> O	۱.۰۷	۲.۲	۳	۱.۲۴	۰.۷۲	۱.۷۴	۲.۴۱
K <sub>2</sub> O	۱.۳۹	۱.۳۵	۱.۷۱	۰.۷۸	۰.۸۳	۰.۸۱	۱.۱۲
MgO	۱۰.۷	۵.۸۹	۵.۹۲	۱۰.۸۱	۹.۷۶	۵.۰۲	۰.۷۶
TiO <sub>2</sub>	۸.۸۷	۱.۲۷۵	۱.۱۷۷	۱.۲۵۴	۱.۹۸۹	۱.۰۰۷	۰.۹۲۵
MnO	۰.۲۰۶	۰.۱۶۹	۰.۱۶۶	۰.۲۲۲	۰.۲۳۴	۰.۱۷۵	۰.۱۲۴
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰.۱۷۷	۰.۳۲۷	۰.۲۷۹	۰.۰۶۸	۰.۰۹۸	۰.۱۳۳	۰.۲۲۱
L.O.I	۲.۰۷	۰.۶	۰.۳۵	۰.۵۹	۱.۳۷	۱.۲۶	۱.۲
Total	۹۹.۳۳	۹۹.۹۸	۹۹.۲۸	۹۹.۹۵	۹۹.۹۴	۹۹.۷۶	۹۹.۶۶
Cl	۱۵۷۰	۴۶۱	۹۸۴	۰.۰۰۴	۰.۰۰۱	۰.۰۰۹	۰.۰۰۷
S	۲۵۵	۱۷۵	۲۹۱	۲۷۲	۸۳۴	۳۳۷	۳۳۶
Ba	۴۹۷	۵۰۲	۴۱۱	۲۴۹	۳۰۸	۸۸	۲۸۲
Sr	۲۶۴	۴۳۷	۵۳۶	۴۴۴	۱۹۸	۵۲۲	۶۴۳
Cu	۴۴۱	۹۶	۲۵۴	۴۱	۳۷	۱۵۳	۱۴۹
Zn	۱۱۰	۸۸	۶۷	۶۷	۸۷	۶۶	۵۶
Pb	۱۳	۷	۱۷	۱۶	۱۶	۴	۶
V	۲۲۷	۲۸۸	۲۸۰	۲۵۸	۵۴۶	۳۷۷	۳۵۴
Cr	۲۸۹	۴۸	۹۱	۵۳	۶۰	۴۵	۳۲
W	<۱	<۱	<۱	۱	۱	۱	۱
Mo	<۱	<۱	<۱	۱	۱	۱	۱
Nb	۴	۶	۹	۱۲	۱۰	۱۱	۱۳
Zr	۸۲	۹۵	۱۲۲	۷۴	۶۹	۸۰	۹۷
Y	۱۲	۱۵	۱۷	۱۴	۱۶	۱۵	۱۶
Rb	۴۲	۳۷	۵۷	۱۹	۲۳	۲۹	۳۸
Ni	۱۴۰	۴۲	۶۵	۴۵	۴۵	۳۳	۳۴
Co	۴۳	۳۰	۲۶	۱۱۵	۲۵۱	۶۲	۴۷
U	۲	۱	۳	۱	۱	۱	۲
Th	۸	۳	۹	۲	۳	۵	۴

جدول ۲ نتایج تجزیه عناصر REE گابروهای جواهردشت به روش ICP-MS بر حسب PPM.

Sample	J-1	J-2	J-4	J-5	J-7	J-3	J-3T	J-13	J-14	J-21A	J-21B	J-30
La	۲,۰۱	۱,۷۶	۰,۶۷	۳,۱۷	۲,۰۱	۳,۶۱	۲,۳۹	۱۱,۴	۲۵,۷	۷,۴۴	۶,۴۸	۱۳,۹
Ce	۷,۰۷	۶	۹,۵	۹,۳۴	۶,۶	۷,۱۴	۷,۱	۲۷,۷	۵۴,۳	۱۴,۳	۱۴,۶	۲۴
Pr	۱,۱۶	۱	۱,۲۸	۱,۳	۱,۰۹	۱,۱۹	۱,۱۶	۳,۶۲	۵,۱۳	۲,۲۷	۲,۵۷	۳,۵۷
Nd	۷,۲۶	۶,۵۸	۹,۲۴	۷,۸۵	۷,۹۲	۵,۳۶	۸,۱۸	۱۹,۶	۲۹,۸	۱۰,۳	۱۲,۷	۱۴,۸
Sm	۲,۰۵	۱,۶۸	۱,۸۳	۲,۲۲	۱,۷۸	۱,۵۲	۱,۸۳	۳,۷۷	۴,۷۳	۲,۸۲	۳,۷۱	۳,۴۷
Eu	۰,۵۸	۰,۵۶	۰,۶۳	۰,۷۴	۰,۵۶	۰,۶۱	۰,۵۹	۱,۱۹	۱,۲۱	۱,۱۴	۱,۱۱	۱,۱۹
Gd	۲,۱۱	۱,۹۱	۲,۳۳	۲,۱۹	۲,۱۷	۱,۵۹	۲,۲۴	۳,۸۷	۵,۲۰	۲,۹۵	۴,۰۲	۳,۳۶
Tb	۰,۳۴	۰,۲۹	۰,۳۳	۰,۳۶	۰,۳۱	۰,۳۴	۰,۳۲	۰,۵۷	۰,۷۵	۰,۴۷	۰,۶۴	۰,۵۱
Dy	۱,۷۶	۱,۴۲	۱,۵۷	۱,۸۰	۱,۵۴	۱,۲۴	۱,۵۶	۲,۸۴	۳,۲۰	۲,۵۱	۳,۵۵	۲,۷۶
Ho	۰,۳۲	۰,۲۷	۰,۳۱	۰,۳۱	۰,۳۱	۰,۲۵	۰,۲۹	۰,۵۶	۰,۶۰	۰,۵	۰,۷	۰,۵۵
Er	۰,۹۰	۰,۷۹	۱	۰,۹۶	۰,۹۷	۰,۶۵	۰,۹۵	۱,۰۷۲	۲,۰۳	۱,۳	۱,۸۵	۱,۴۸
Tm	۰,۱۱	۰,۱۰	۰,۱۳	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۰۹	۰,۱۱	۰,۲۱	۰,۲۷	۰,۱۸	۰,۲۵	۰,۲۱
Yb	۰,۸۲	۰,۶۷	۰,۷۸	۰,۸۴	۰,۷۲	۰,۵۴	۰,۷۴	۱,۳۶	۱,۶۵	۱,۱۸	۱,۶۲	۱,۳۵
Lu	۰,۱۰	۰,۰۷	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۰۹	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۱۶	۰,۱۹	۰,۱۷	۰,۲۲	۰,۲

### تفکیک صحرایی و سنگ‌نگاری گابروهای جواهردشت

با بررسی‌های دقیق صحرایی و سنگ‌شناختی ۱۰۰ نمونه برداشت شده از گابروهای منطقه جواهردشت، نخست سه نوع گابرو از یکدیگر تفکیک شدند:

الف: گابروهای غیر لایه‌ای گروه اول (H.g)

ب: گابروهای لایه‌ای گروه دوم (M.L.g)

ج: گابروهای لایه‌ای گروه سوم (L.L.g)

### گابروهای غیر لایه‌ای گروه اول (H.g)

گابروهای غیر لایه‌ای گروه اول (H.g) برونزد قابل توجهی در راستای جاده جواهردشت پیش و پس از معدن «جورکنوس بن» دارند. این گابروها مورد هجوم دایک‌های متعدد قرار گرفته‌اند که ضخامت آن‌ها از چند سانتی‌متر تا چندین متر تغییر می‌کنند، و دایک‌ها شبکه‌های انشعابی تشکیل داده و قطعات گابرویی را در بر گرفته‌اند (شکل ۲). این گابروها احتمالاً تحت تأثیر نفوذ این دایک‌ها کاملاً دگرسان شده‌اند، زیرا فقط در بخش‌هایی که از نفوذ دایک‌ها دور بوده‌اند قطعات سالم به چشم می‌خورد. بررسی‌های سنگ‌شناختی دایک‌ها نشان می‌دهند که آن‌ها از انواع بسیار متنوعی شامل میکروگابرو، دلریت و میکرو کلیایی گرانیات‌اند.

همبری این واحد با گابروهای لایه‌ای گروه دوم گسلیده است، ولی بررسی‌های ما نشان می‌دهد که در بخش جنوبی، توده گابرویی به درون سازند شیلی معادل سازند شمشک

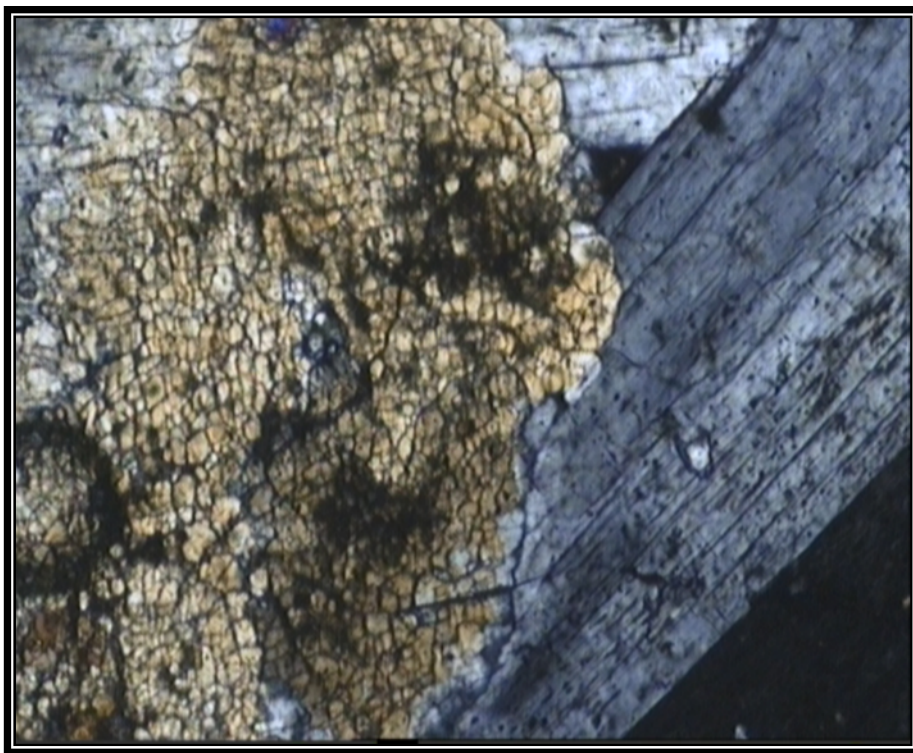
(سازند جواهرده) نفوذ کرده و قابل بررسی است. به نحوی که بر روی سازند آهکی معادل سازند لار که به فاصله‌ی چند ده متری شیل‌ها قرار دارد، دگرگونی مجاورتی در حد رخساره پیروکسن هورنفلس شامل کانی‌های ولاستونیت، گارنت، پیروکسن و اسفن ایجاد کرده است (شکل ۳). هر چند که به دلیل پوشش جنگلی و صعب العبور بودن منطقه، پیگیری توده در واحدهای مجاور با سختی همراه است ولی با توجه به همبری گرم توده با واحد آهکی لار و تشکیل اسکارن، می‌توان گفت که گابروی غیر لایه‌ای گروه اول اولاً در محیط قاره‌ای تشکیل و جایگزین شده و ثانیاً از نظر سنی به بعد از ژوراسیک پسین و احتمالاً کرتاسه زیرین تعلق دارد.

از نظر سنگ‌شناختی، کانی‌های تشکیل دهنده این گابروها به ترتیب فراوانی پلاژیوکلاز، پیروکسن، اولیوین و بیوتیت و کانی‌های کدر از نوع مگنتیت و گاهی تیتانومگنتیت‌اند. پلاژیوکلازها گاهی به صورت مهمان داخل پیروکسن‌ها مشاهده شده و گاهی نیز پیروکسن‌ها را قطع می‌کنند. این پدیده تشکیل پلاژیوکلازها را همزمان با پیروکسن‌ها توجیه می‌کند.

بیوتیت‌ها گاهی به صورت پویی کلیتیکی بلورهای سالم پلاژیوکلاز، اولیوین و پیروکسن و کانی‌های کدر را در بر گرفته‌اند و این نشان می‌دهد که بیوتیت به‌عنوان یک کانی اولیه در مراحل آخر انجماد ماگما تشکیل یافته است (شکل ۴). با توجه به ترکیب کانی‌شناسی به این سنگ‌ها اولیوین گابروی بیوتیت‌دار گفته می‌شود.

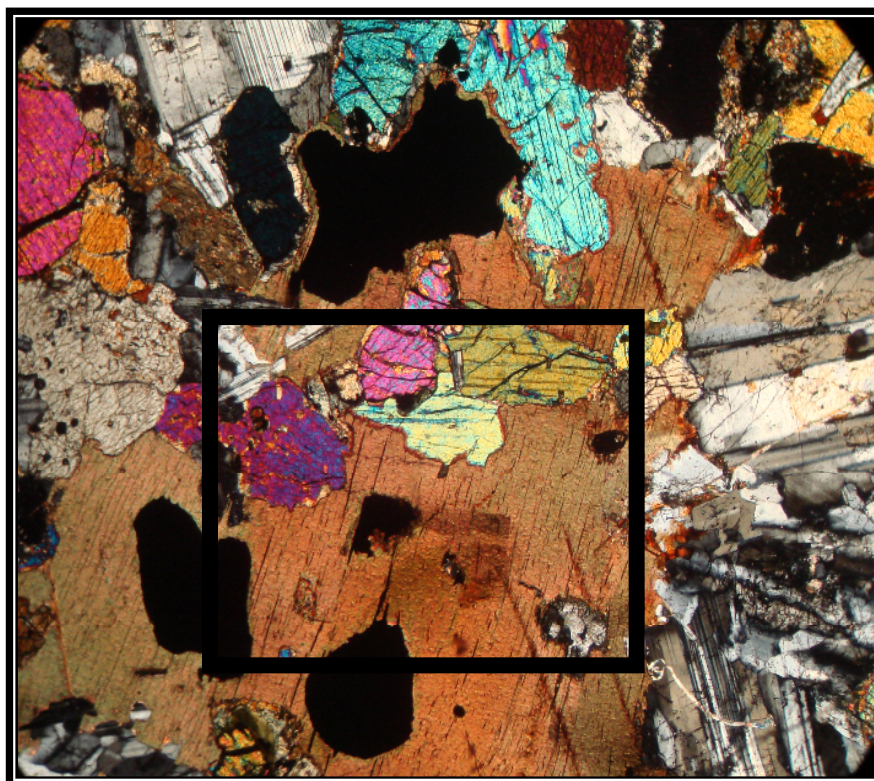


شکل ۲. نمایی از گابروی غیر لایه‌ای گروه اول و دایک‌های نفوذ یافته به درون آن‌ها.



0/11 mm

شکل ۳. نمایی از بلور پیروکسن (سمت چپ) در کنار ولاستونیت (سمت راست) در هاله‌ی دگرگونی مجاورتی وابسته به گابروی غیر لایه‌ای گروه اول.



0/3 mm

شکل ۴ نمایی از اولیوین گابروی بیوتیت دار گروه اول که بیوتیت بلورهای پلاژیوکلاز، پیروکسن، اولیوین و مگنتیت را در بر گرفته است.

#### گابروهای لایه‌ای گروه دوم (M.L.g)

گابروهای لایه‌ای گروه دوم (M.L.g) در شمال منطقه جواهردشت و در منطقه «جرکنوس بن» به صورت یک توده گنبدی شکل برونزد دارد و همبری آن با واحدهای مجاور گسل است (شکل ۵). موقعیت رأس توده  $۲۳^{\circ}۵۰'$  طول شرقی و  $۳۶^{\circ}۵۵'$  عرض شمالی است. لایه‌بندی ماگمایی به‌خصوص در رأس توده و در محل معدن «جورکنوس بن» به‌علت برداشت و برونزد بلوک‌های سنگی و پوشش گیاهی ضعیف‌تر به‌خوبی مشخص است ولی در مناطق دیگر به‌دلیل پوشش گیاهی، لایه‌بندی قابل پیگیری نیست.

لایه‌ای شدن این سنگ‌ها بیشتر به‌شکل تکرار نوارهای میلی‌متری تا چند سانتی‌متری سنگ گابرویی روشن (لوئیکوگابرو) است که به‌طور متناوب با سنگ‌های هولوملانوکرات کلینوپیروکسنیت قرار گرفته است (شکل ۶). این سنگ‌ها ترکیب کانی‌شناسی ساده‌ای دارند و بیشتر از پلاژیوکلاز، اولیوین و پیروکسن تشکیل شده‌اند. لایه‌بندی در این سنگ‌ها معلول تغییر در فراوانی مودال کانی‌شناسی به-

خصوص تغییر در فراوانی مودال پلاژیوکلاز است به‌نحوی که نسبت این کانی در یک فاصله عمودی بین لایه‌ها به شدت تغییر می‌کند و متناوباً غنی و تهی می‌شود، به نحوی که در بعضی از لایه‌ها ممکن است کاملاً حذف شود. از آنجا که در این لایه‌بندی، تغییرات منظم متوالی در نوع کانی‌های هر لایه مشاهده می‌شود، بنابراین لایه‌بندی‌ها با آهنگ منظم تکرار شده و لایه‌بندی موزون یا تناوبی (آهنگین) را به وجود آورده‌اند (شکل ۶).

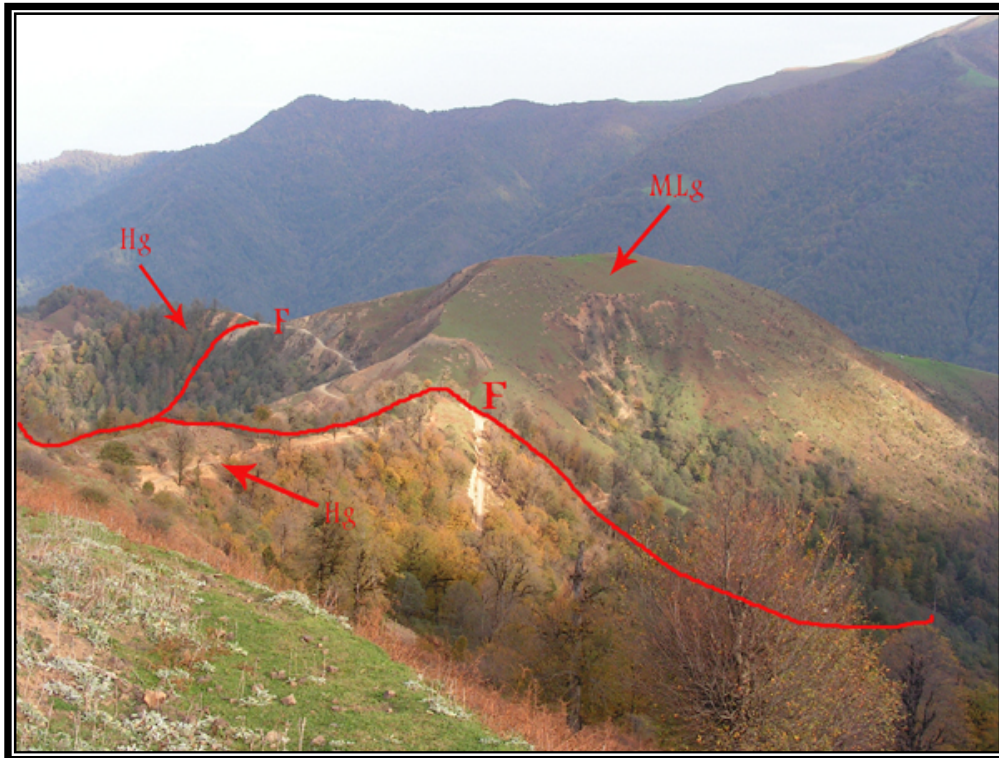
از نظر سنگ‌شناختی به‌طور کلی سه بخش از لحاظ سنگ-

شناسی در گابروهای لایه‌ای گروه دوم قابل تفکیک‌اند:

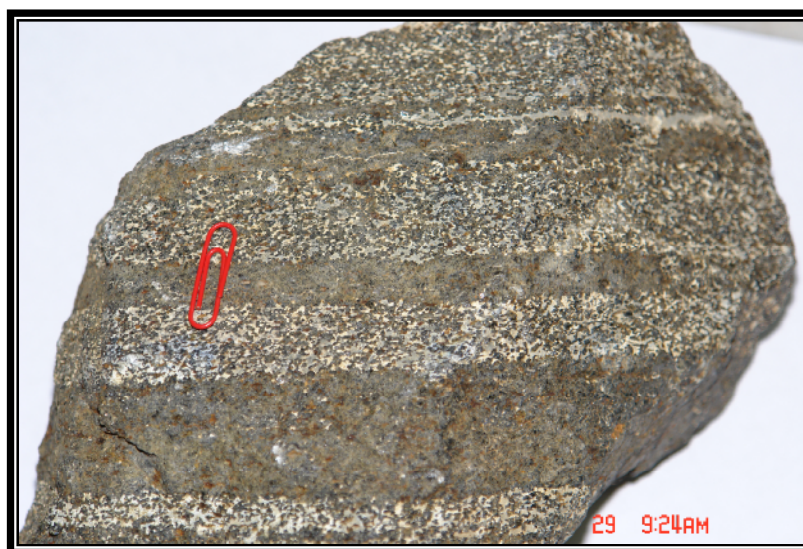
بخش تیره اولترامافیک شامل نوارهای تیره با ترکیب اولیوین کلینوپیروکسنیت و اولیوین کلینوپیروکسنیت پلاژیوکلازدار، بخش روشن مافیک شامل نوارهای روشن که خود شامل دو قسمت است: لایه‌ها و نوارهای اولیوین گابرو و گابروی معمولی تا لوئیکوگابرو، رگه‌های گابروهای پگماتوئیدی و دایک‌هایی با ترکیب بیشتر میکروگابرویی که این مجموعه‌ها را قطع کرده‌اند.

دهنده آن است که بعضی از این پیروکسن‌ها از نوع دیلاژ بوده که در واقع همان اوزیت‌های جدا شده‌اند (شکل ۷). در این نوارها پلاژیوکلازها به صورت اینترکومولوس ما بین بلورهای اوزیت متبلور شده‌اند (شکل ۸).

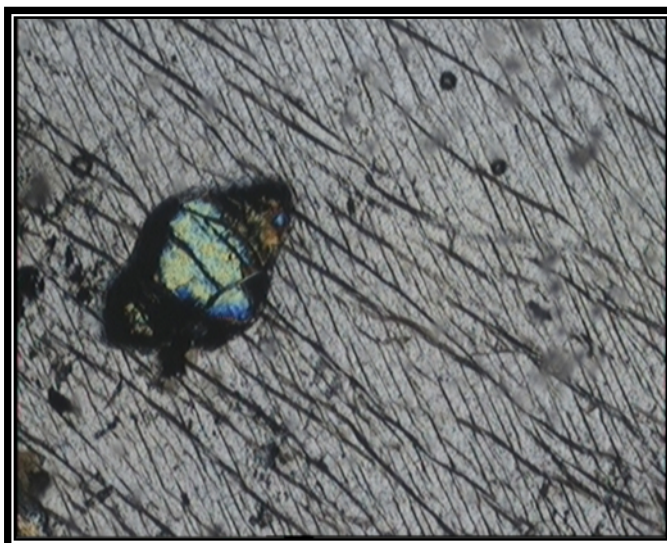
در نوارهای تیره کانی بیشتر کلینوپیروکسن بوده که بر اساس داده‌های نوری تعیین شده توسط میزوفدروف زاویه‌ی بین  $\pi\gamma$  و محور بلورشناسی  $c$  در آن‌ها  $43^\circ$  و از نوع اوزیت است. این کلینوپیروکسن‌ها گاهی رخ سومی را نشان می‌دهند که نشان-



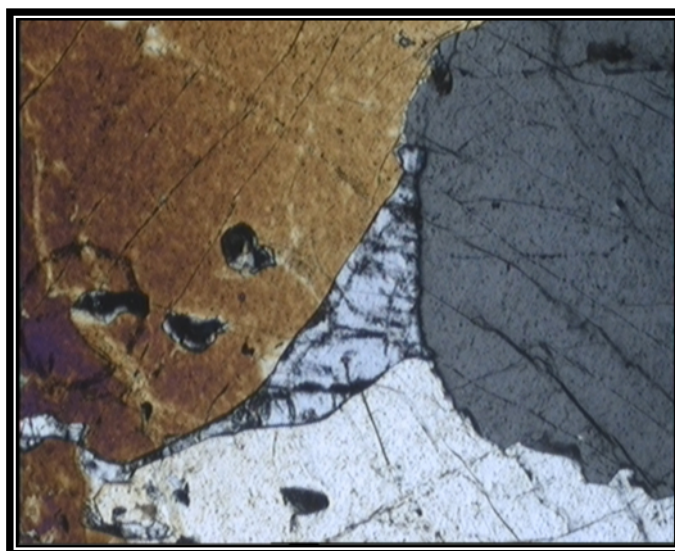
شکل ۵ برونزد گابروی لایه‌ای گروه دوم (M.L.g) که با همبری گسله با واحد گابروهای غیر لایه‌ای گروه اول (H.g) دیده می‌شود. (دید به سمت شمال شرق)



شکل ۶ لایه‌بندی مودال تناوبی در گابروی لایه‌ای گروه دوم با تناوبی از اولیوین گابرو و اولیوین کلینوپیروکسنیت پلاژیوکلازدار.



شکل ۷ اوژیت شلیریزه (دیلاژ) که اولیوین را در بر گرفته است.



شکل ۸ پلاژیوکلاز به صورت اینترکومولوس که بین بلورهای پیروکسن متبلور شده است.

اینترکومولوس بین بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن متبلور شده‌اند (شکل ۹).

رگه‌های گابرو پگماتوئیدی به درزه‌ها و شکاف‌های کششی ثانویه ایجاد شده در گابروهای لایه‌ای گروه دوم نفوذ کرده و متبلور شده‌اند (شکل ۱۰). ابعاد بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن در این رگه‌ها به بیش از ۵ سانتی‌متر می‌رسد. همبندی گابروهای لایه‌ای گروه دوم از سمت شمال و جنوب با واحد گابروی غیرلایه‌ای گروه اول گسل خورده است (شکل ۵) و

مهم‌ترین کانی در نوارهای روشن پلاژیوکلاز غیر منطقه‌ای بوده است که بر اساس بررسی نوری میزفدروف حداکثر زاویه خاموشی آن‌ها یعنی زاویه بین  $\alpha$  و محور بلورشناسی  $a$  حدود  $45^\circ$ ، و از نوع بیتونیت است. گاهی پلاژیوکلازها منفرد در پیروکسن‌ها قرار گرفته‌اند. بیشتر پلاژیوکلازهایی که با پیروکسن‌ها احاطه شده‌اند کوچکتر از پلاژیوکلازهای بقیه سنگ‌اند. این نوع پلاژیوکلازها همزمان یا قبل از شروع تبلور پیروکسن تشکیل شده‌اند. در این نوارها اولیوین‌ها هم به صورت

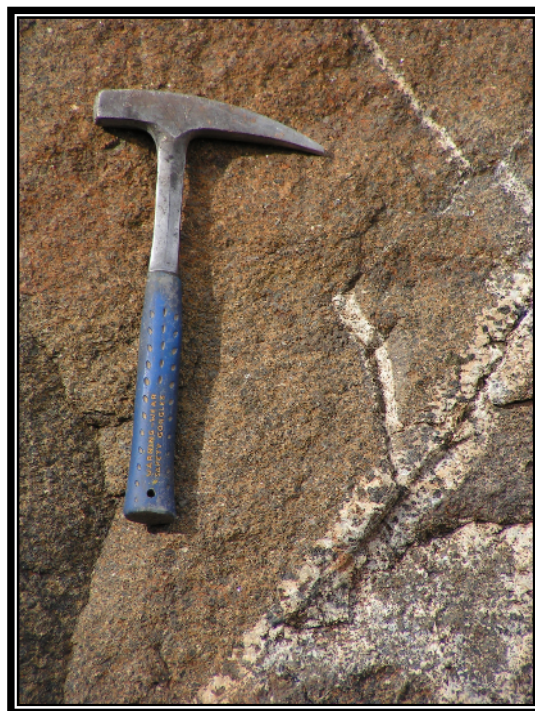


های دیگر ژئوشیمیایی که در مبحث بعدی به آن اشاره می‌شود، آن را از واحد گابروی لایه‌ای گروه دوم جدا می‌کند که ما از آن به‌عنوان گابروی لایه‌ای گروه سوم (L.L.g) نام می‌بریم. به‌علت وجود یک تغییر شیب ناگهانی، به نظر می‌رسد که ارتباط این دو نوع گابروی لایه‌ای، گسلی است.

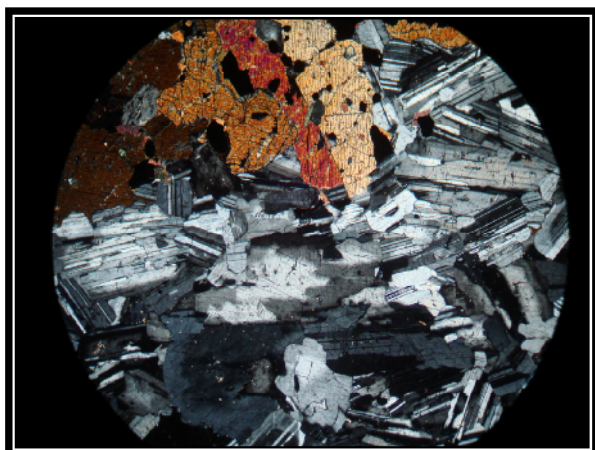
همچنین همبری آن از سمت جنوب شرق با واحد آهک‌های معادل لار نیز گسلی است. در فاصله تقریبی ۶۰۰ متری از رأس توده به سمت قاعده، تغییرات مهمی در شیمی و کانی‌شناسی توده رخ داده که حضور بیوتیت به‌عنوان یک فاز آذرین اولیه و فراوانی کانی‌های مات و پیدایش کانی تیتانومگنتیت و ویژگی-



شکل ۹ بلور اینترکومولوس اولیوین که بین بلورهای پلاژیوکلاز متبلور شده است.



شکل ۱۰ رگه‌های گابروهای پگماتوئیدی.



0/21 mm

شکل ۱۲ نمایی از بافت برگه‌ای آذرین در گابروی لایه‌ای گروه سوم (در نور XPL)

وجه تمایز دیگر گابروهای لایه‌ای گروه سوم با گابروهای لایه‌ای گروه دوم در ترکیب و نوع کانی‌سازی در دایک‌های قطع کننده گابروهای لایه‌ای گروه سوم است. این دایک‌ها بیشتر دارای ترکیب گابروپورفیری و میکروگابرو بوده که همگی با کانی‌سازی های مس از نوع کالکوپیریت همراهند.

قاعده گابروهای لایه‌ای گروه سوم نامشخص و پنهان است و بخش فوقانی آن با گابروی لایه‌ای گروه دوم احتمالاً همبندی گسلی دارد.

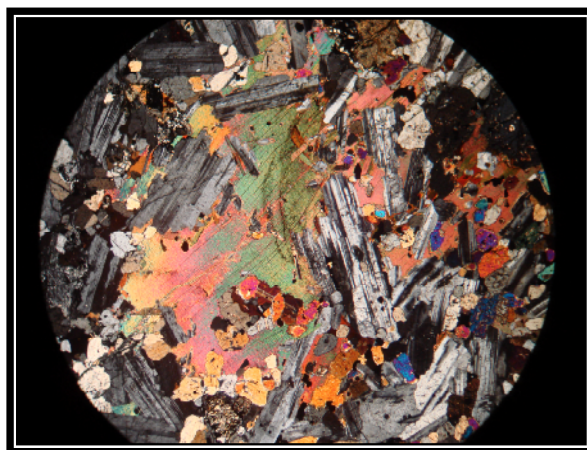
#### ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی گابروهای جواهردشت

بنابر جدول (۱) وقتی به شیمی عناصر اصلی و کمیاب این سه نوع گابرو توجه شود، تفاوت بین گابروهای لایه‌ای گروه دوم با گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول روشن می‌شود. ویژگی‌های ژئوشیمیایی زیر از معیارهای جدایش شیمیایی گابروهای جواهردشت‌اند.

محتوی عناصر قلیایی ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) در گابروهای جواهردشت تا حدود زیادی با هم تفاوت دارد. فقر شدید در عناصر قلیایی به ویژه  $\text{K}_2\text{O}$  از ویژگی‌های شاخص گابروهای لایه‌ای گروه دوم است که مقدار آن‌ها بین  $0.04\% - 0.10\%$  ( $\text{K}_2\text{O} = 0.63\% - 0.12\%$ ) است. در حالی که گابروهای گروه اول و لایه‌ای گروه سوم محتوای بسیار بالاتری از عناصر قلیایی ( $\text{K}_2\text{O} = 0.78\% - 0.135\%$ ) و ( $\text{Na}_2\text{O} = 0.72\% - 0.241\%$ ) را نشان می‌دهند. مقادیر  $\text{K}_2\text{O}$  وابسته به فراوانی مدی بیوتیت در

#### گابروهای لایه‌ای گروه سوم (L.L.g)

برونزد در این گابروها به علت پوشش گیاهی انبوه کاملاً نامشخص است، ولی بررسی‌های صحرایی در چند نقطه نشان می‌دهد که در این گابروها نیز لایه‌بندی به صورت تناوبی از اولیوین کلینوپیروکسنیت پلاژیوکلازدار، اولیوین گابرو و آنورتوزیت است. اختلاف مهم کانی‌شناسی با گابروهای لایه‌ای گروه دوم حضور بیوتیت به عنوان یک فاز آذرین اولیه و ثانیاً حضور فراوان کانی‌های مگنتیت و خصوصاً تیتانو مگنتیت است. حضور بیوتیت در کنار تیتانومگنتیت نشان دهنده فشار بخشی بالای اکسیژن و حضور آب در محیط تشکیل است (شکل ۱۱). از نظر حجمی اولیوین گابروها جزء فراوان‌ترین سنگ‌های تشکیل دهنده این گروه هستند. پلاژیوکلاز کانی مهم تشکیل دهنده سنگ بوده و منظره بافت تراکیتوئید را به نمایش می‌گذارد که به آن لامیناسیون [بافت برگه‌ای] آذرین گویند (شکل ۱۲). در این حالت پلاژیوکلازهای منطقه‌ای سمت‌گیری موازی یا تقریباً موازی نشان داده و بافتی ایجاد می‌کنند که سرشتی کومولایی بودن سنگ‌ها است [۳]. حضور پلاژیوکلاز در اولیوین و پیروکسن بیانگر آن است که پلاژیوکلاز پیش و یا همراه این دو کانی تشکیل شده و ترکیب آن بسیار کلسیک است. حداکثر زاویه‌ی خاموشی اندازه‌گیری شده با میز فدوروف بین محور بلورشناسی  $a$  و  $na$  حدود  $45^\circ$  است که به این ترتیب، ترکیب آن‌ها در حد بیوتونیت است.



0/21 mm

شکل ۱۱ نمایی از بیوتیت که به صورت پویی کیلیتیکی پیروکسن، اولیوین و پلاژیوکلاز را در برگرفته است. (در نور XPL)

تجربی، گدازه‌های بازالتی با قابلیت تبلور پلاژیوکلاز با کلسیم بالا، باید نسبت بالای  $CaO/Na_2O > 13$  را داشته باشند.

در نظریه دوم، تبلور پلاژیوکلاز با کلسیم بالا را ناشی از فشار بخار آب بالا در ماگمای در حال تبلور می‌دانند [۱۰]. یوهانس [۱۰] با بررسی سیستم‌های  $Q-Ab-An-H_2O$  و  $Ab-An-H_2O$  در فشار 5kbar نشان داد که تبلور پلاژیوکلاز تحت فشار بخار آب بالا بسیار کلسیک‌تر از تبلور آن در شرایط بدون آب است. بررسی‌های سنگ‌شناسی تجربی سیسان و گرو [۱۱] روی آندزیت‌های بازالتی نشان می‌دهد که تبلور پلاژیوکلاز با درصد An بیش از 90 در یک گدازه‌ی بازالتی با نسبت  $< 7$   $CaO/Na_2O$  نیازمند  $P_{H_2O}$  بالا و در حدود  $2-6\%$  است.

بررسی‌های ما نشان می‌دهد که گابروهای لایه‌ای گروه دوم با محتوای پلاژیوکلاز کلسیم‌دارتر و نسبت  $CaO/Na_2O$  بسیار بالا، از یک ماگمای مادر با محتوای  $CaO/Na_2O$  بالا (حداقل 13) ریشه گرفته‌اند. ولی ماگماهای مادر گابروهای لایه‌ای گروه سوم دارای نسبت  $CaO/Na_2O$  کمتر از 13 هستند و می‌بایست حاوی محتوای بالایی از آب نسبت به گابروهای گروه دوم باشند تا باعث تبلور پلاژیوکلازهای غنی از An در آنها شوند. وجود کانی آبدار بیوتیت به صورت یک فاز آذرین اولیه و نه تأخیری که در این سنگ‌ها تشکیل شده‌اند، نشان از محتوای آب بالا در ماگمای مادر این گابروها دارد.

از نظر عناصر سازگار (Cr، Ni و Co) نیز گابروهای لایه‌ای گروه دوم با گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول متفاوتند. در گابروهای لایه‌ای گروه دوم عناصر و ترکیب‌ها به صورت مقادیر  $Cr = 680 \text{ ppm}$ ،  $Ni = 250 \text{ ppm}$  و  $Co = 45$  دیده می‌شوند. در گابروهای غیر لایه‌ای گروه اول و لایه‌ای گروه سوم مقادیر عناصر سازگار کمتر از گروه دوم بوده به نحوی که میانگین عناصر سازگار در این گابروها  $Cr = 180 \text{ ppm}$ ،  $Co = 38 \text{ ppm}$  و  $Ni = 33 \text{ ppm}$  است که با توجه به اعداد منیزیم پایین در آنها، نشانگر شکل‌گیری ماگمای مادر گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول در مقایسه با گابروهای لایه‌ای گروه دوم است.

محتوای عناصر HFS نظیر Zr و Y نیز بین گابروهای لایه‌ای گروه دوم و با گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول متفاوت است. مقادیر میانگین Zr در گابروهای لایه‌ای گروه دوم 50 ppm است که در گابروهای لایه‌ای گروه سوم به

سنگ‌هاست. نمونه‌های حاوی بیوتیت فراوان، بالاترین مقادیر  $K_2O$  را نشان می‌دهند.

مقادیر  $TiO_2$  معیار متمایز کننده‌ی دیگری برای این سه نوع گابرو از یکدیگر است. گابروهای لایه‌ای گروه دوم دارای مقادیر بسیار پایین  $TiO_2$  در حدود  $(0.5-0.35)\%$  هستند. در حالی که مقدار  $TiO_2$  در گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول به  $2\%$  وزنی نیز می‌رسد و این موضوع در ارتباط با فراوانی مودال کانی تیتانومگنتیت در این دو نوع گابرو است. فراوانی  $Fe_2O_3^t$  نیز در این گابروها متناسب با فراوانی مدی کانی‌های مگنتیت و تیتانومگنتیت و متناسب با مقادیر  $TiO_2$  متفاوت است، به نحوی که در نمونه‌های حاوی درصد‌های بالای مگنتیت و تیتانومگنتیت، حاوی بالاترین مقادیر  $Fe_2O_3^t$  (در حدود  $1.5\%$  وزنی) بوده که این تفاوت در گابروهای لایه‌ای گروه سوم به خوبی قابل مشاهده است.

مقادیر عدد منیزیم ( $Mg^{\#}$ ) نیز در این سه نوع گابرو با هم تفاوت دارند. در گابروهای لایه‌ای گروه دوم مقادیر عددی منیزیم بین  $63-77$   $Mg^{\#}$  متغییر است. مقادیر پایین به نوارهای روشن و مقادیر بالا به نوارهای تیره وابسته‌اند. این اعداد بالاتر از عدد منیزیم ماگماهای بازالتی اولیه ( $72-70 = Mg^{\#}$ ) بوده و نشان‌دهنده ماهیت کومولایی سنگ‌های وابسته است [۴]. مقادیر عدد منیزیم گابروهای گروه اول و سوم بین  $63-44$   $Mg^{\#}$  تغییر می‌کند و میانگین آنها 52 بوده است که بیانگر تحول یافتگی ماگمای مادر آنهاست [۵].

نسبت  $CaO/Na_2O$  در گابروهای لایه‌ای گروه دوم بسیار بالا و در حدود میانگین 91 است، در حالی که این نسبت در گابروهای گروه اول و سوم بین  $20-42$  است. بررسی ماگماهای اولیه با خاستگاه MORB با شاخص  $> 70$   $Mg^{\#}$ ،  $Al_2O_3 > 16$  و  $CaO/Na_2O > 5$  نشان می‌دهد که تبلور پلاژیوکلازها همواره ترکیبی کمتر از  $An_{85}$  دارد [۶ و ۷]. بررسی‌های سنگ‌شناختی و اندازه‌گیری‌های صورت گرفته روی پلاژیوکلازهای لایه‌ای نوع دوم و سوم نشان می‌دهند که درصد An این پلاژیوکلازها بیش از 85 است. دو نظریه برای تفسیر ترکیب‌های پلاژیوکلاز با کلسیم بالا وجود دارد. اولین نظریه، یک ماگمای اولیه با نسبت‌های بسیار بالای  $> 13$   $CaO/Na_2O$  را نشان می‌دهد [۷ و ۸ و ۹]. بر اساس داده‌های

در شکل (۱۵) مقایسه مقادیر میانگین عناصر ناسازگار گابروهای گروه سوم و اول با مقادیر پوسته زیرین نشان داده شده است. همخوانی روند الگوهای عناصر با مقادیر پوسته زیرین به خوبی مشخص است. با توجه به روند عناصر کمیاب ناسازگار و مقایسه آن‌ها با مقادیر پوسته زیرین و بازالت‌های جواهردشت، مسلم می‌شود که گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول کاملاً به بازالت‌های منطقه وابسته بوده والگوی ژئودینامیکی و پتروژنتیکی یکسانی را نشان می‌دهند. با توجه به بررسی‌های ژئوشیمیایی و ایزوتوپی صورت گرفته، جایگاه زمین‌ساختی بازالت‌های جواهردشت کافت‌های درون قاره‌ای است [۱۲] در نتیجه این محیط زمین‌ساختی در مورد گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول با توجه به ارتباط ژنتیکی آن‌ها با بازالت‌های جواهر دشت قابل تعمیم است.

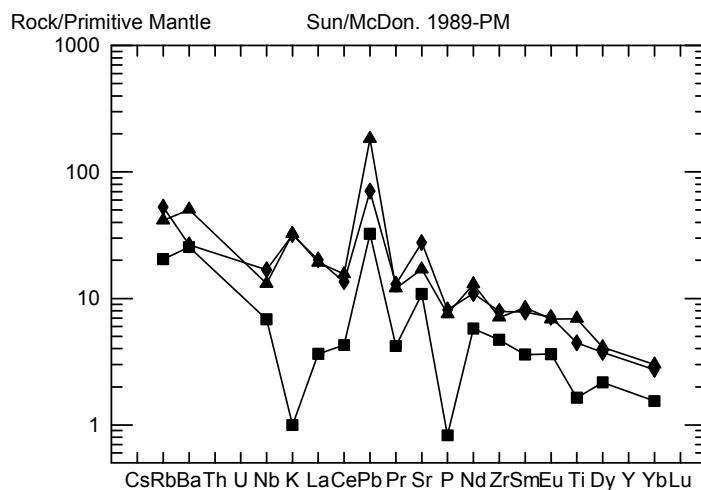
در شکل (۱۶) الگوی میانگین عناصر ناسازگار گابروهای لایه‌ای گروه دوم که نسبت به مقادیر مورب نوع N [۱۳] بهنجار شده‌اند، نشان داده شده است. فقر شدید در K، P و Ti و تهی‌شدگی از عناصر دیگر HFS و HREE در مقایسه با منابع تهی شده (N-MORB) به خوبی مشخص است. غنی‌شدگی انتخابی از عناصر (LIL) غیر از K احتمالاً به دلیل دگرسانی است. بی‌هنجاری منفی شدید K و P بازتابی از ماهیت کومولایی این سنگ‌هاست [۱۴].

۸۰ ppm می‌رسد. مقادیر Y گابروهای لایه‌ای گروه دوم حدود ۸ ppm و در گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول به ۱۵ ppm می‌رسد.

این بررسی نشان می‌دهد که گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول خویشاوندی‌های ژئوشیمیایی و کانی-شناسی زیادی با یکدیگر داشته و ظاهراً تنها نموده‌های ساختاری آن‌ها در روی زمین با یکدیگر تفاوت دارند.

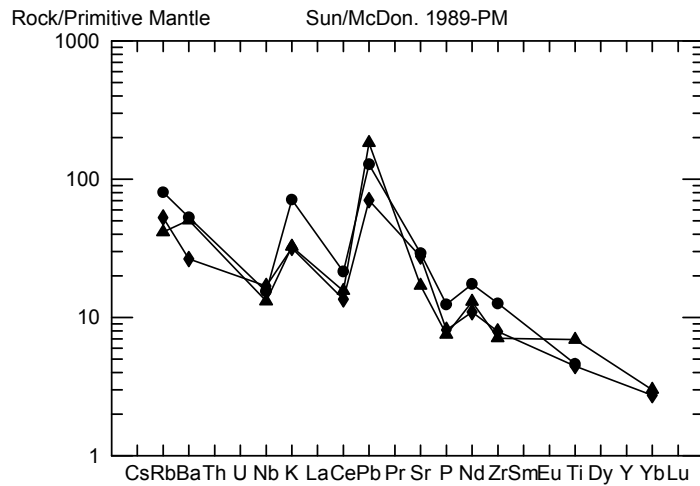
در شکل (۱۳) الگوی فراوانی میانگین عناصر ناسازگار گابروهای جواهر دشت نشان داده شده است. یک همخوانی عنصری قابل توجه بین گابروهای لایه‌ای گروه سوم و گابروهای غیر لایه‌ای گروه اول به چشم می‌خورد، در حالی که گابروهای گروه دوم الگوی تقریباً متفاوتی را نسبت به دو گابروی بالا نشان می‌دهند.

در شکل (۱۴) الگوی فراوانی میانگین عناصر ناسازگار گابروهای گروه سوم و گروه اول با میانگین عناصر ناسازگار بازالت‌های جواهر دشت [۱۲] با هم مقایسه شده‌اند. این گابروها با بازالت‌های منطقه الگوی کاملاً مشابهی را نشان داده و در نتیجه دارای خویشاوندی‌های نزدیک پتروژنتیکی هستند. با توجه به اینکه بازالت‌های جواهر دشت شواهد آلیش پوسته‌ای را نشان می‌دهند [۱۲]، در این صورت با فرض ارتباط ژنتیکی این سنگ‌ها با بازالت‌های جواهردشت، گابروها نیز باید شواهد این آلیش پوسته‌ای را نشان دهند.



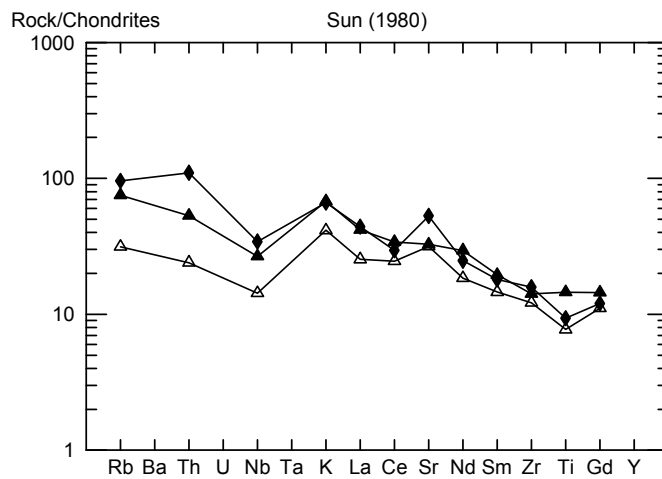
شکل ۱۳ الگوی فراوانی میانگین عناصر ناسازگار گابروهای جواهر دشت که با مقادیر گوشته‌ی اولیه [۱۵] بهنجار شده‌اند.

◆ گابروهای غیر لایه‌ای نوع اول ■ گابروهای لایه‌ای نوع دوم ▲ گابروهای لایه‌ای نوع سوم



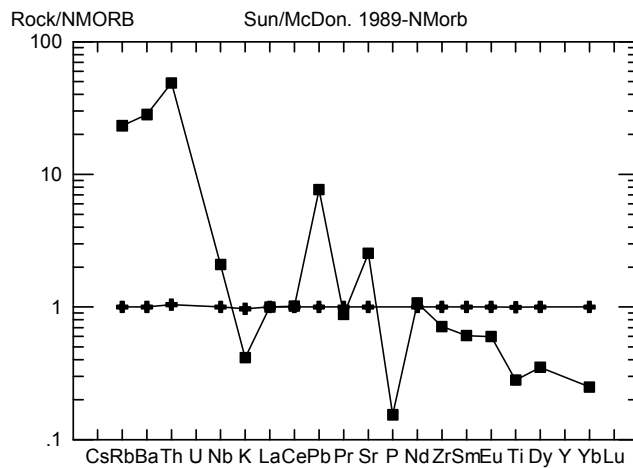
شکل ۱۴ مقایسه‌ی الگوی میانگین عناصر ناسازگار گابروهای گروه اول و سوم با بازالت‌های جواهر دشت [۱۴].

◆ گابروهای غیر لایه‌ای نوع اول ▲ گابروهای لایه‌ای نوع سوم ● بازالت‌های جواهر دشت



شکل ۱۵ مقایسه‌ی الگوی میانگین عناصر ناسازگار گابروهای گروه اول و سوم با مقادیر پوسته‌ی زیرین.

◆ گابروهای غیر لایه‌ای نوع اول ▲ گابروهای لایه‌ای نوع سوم △ میانگین پوسته‌ی زیرین



شکل ۱۶ الگوی میانگین عناصر ناسازگار گابروهای لایه‌ای گروه دوم که نسبت به مقادیر ارباب نوع N [۱۵] به‌نجار شده‌اند.

## ژئوشیمی عناصر نادر خاکی گابروهای جواهر دشت

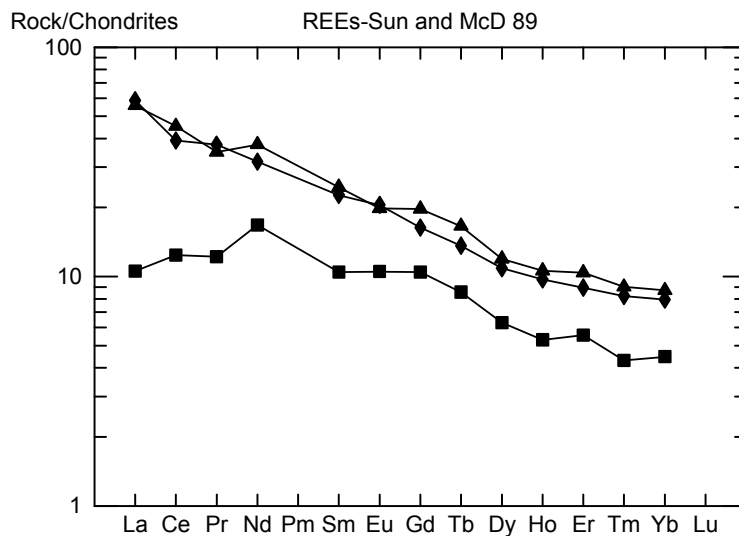
بنابر جدول (۲) وقتی به مقادیر REE گابروهای جواهر دشت دقت شود، اختلاف بین نمونه‌های مختلف گابرویی روشن می‌شود. در شکل (۱۷) الگوی میانگین REE گابروهای جواهر دشت که با کندریت [۱۳] بهنجار شده‌اند، نشان داده شده است. گابروهای گروه سوم و اول الگوهای کاملاً مشابه و همخوانی عنصری خوبی را نشان می‌دهند.

غنی‌شدگی از LREE (با میانگین تا ۵۰ برابر کندریت) نسبت به HREE (با میانگین غنی‌شدگی ۱۰ برابر کندریت) در آن‌ها کاملاً مشخص است. در مقایسه غنی‌شدگی از LREE در گابروهای لایه‌ای گروه دوم تا ۱۱ برابر کندریت و غنی‌شدگی از HREE تا ۴ برابر کندریت است. نسبت  $(La/Sm)_N$  که درجه غنی‌شدگی LREE و درجه جدایش آن‌ها را نشان می‌دهد در گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول نسبتاً بالا و در حدود  $(La/Sm)_N = ۱/۱۳ - ۳/۵۱$  است که بیانگر غنی‌شدگی از LREE است. این نسبت در گابروهای لایه‌ای گروه دوم بین  $(La/Sm)_N = ۰/۶۳ - ۱/۳$  است که بیانگر غنی‌شدگی اندکی در REE است.

در گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول بی

هنجاری  $Eu/Eu^* < ۱/۲$  بین  $Eu/Eu^* < ۰/۷۴$  است. در حالیکه ناهنجاری  $Sr/Sr^* < ۲/۷۵$  بین  $Sr/Sr^* < ۰/۷۹$  است. بی‌هنجاری مثبت  $Eu/Eu^*$  توأم با بی‌هنجاری مثبت  $Sr/Sr^*$  شاخصه‌ای برای تجمعات کومولایی پلاژیوکلازهاست [۱۵ و ۱۶]. در حالی که بی‌هنجاری در نمونه‌های گابرویی لایه‌ای گروه دوم بین  $Eu/Eu^* < ۱/۰۲$  بوده و بیشتر دارای بی‌هنجاری نزدیک به صفرند. غیر از نوارهای روشن با اندکی بی‌هنجاری Eu نوارهای بی‌هنجاری منفی دیگر بیانگر جدایش پلاژیوکلاز است [۴].

درجه غنی‌شدگی از LREE نسبت به HREE غالباً به صورت نسبت  $(La/Yb)_N$  گزارش می‌شود. این نسبت در گابروهای گروه سوم و اول بین  $(La/Yb)_N < ۱۱/۱۹$  و  $۲/۷۹$  است. که بیانگر غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE در این گابروها است. در گابروهای لایه‌ای گروه دوم که روند و درجه غنی‌شدگی REE آن‌ها نسبت به گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول متفاوت است این نسبت بین  $N < ۳/۳۸$  و  $(La/Yb) < ۱/۷۶$  بود که این نیز تا حدودی غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE را نشان می‌دهد.



شکل ۱۷ الگوی میانگین REE گابروهای جواهر دشت.

◆ گابروهای غیر لایه‌ای نوع اول ■ گابروهای لایه‌ای نوع دوم ▲ گابروهای لایه‌ای نوع سوم

از آنجا که هیچ یک از فازهای اولیوین، پیروکسن، پلاژیوکلاز، اسپینل و گارنت نمی‌توانند به طور مؤثری La را از Yb جدا کنند [۱۷] و از آنجا که تبلور جدایشی اولیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز نیز نمی‌تواند جدایش بین عنصری را در نمونه‌ها ایجاد کند و تنها باعث افزایش مقادیر REE در نمونه‌های شکل گرفته می‌شود، لذا ویژگی‌ها و شکل الگوهای REE ماگمای اولیه در ماگمای شکل گرفته حفظ شده [۱۸] و نسبت‌های  $(La/Yb)_N$  در این سنگ‌ها کاملاً بازتاب دهنده ویژگی ذاتی خاستگاه این گابروهاست. نشانه و اثر وجودی گارنت برجا مانده در خاستگاه، از روی مقدار HREE بهنجار شده با کندریت مشخص می‌شود [۱۹]. غنی‌شدگی کمتر از ۱۰ برابر کندریت می‌تواند ناشی از حضور گارنت در خاستگاه گوشته‌ای باشد. زیرا گارنت HREE را در خاستگاه حفظ می‌کند. میانگین گابروهای لایه‌ای گروه دوم تا ۴ برابر کندریت از HREE غنی شده‌اند که دلیلی بر حضور گارنت در خاستگاه است. گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول ۱۰ برابر و بیشتر از HREE غنی‌شدگی نشان می‌دهند و موجب می‌شود تا سهم گارنت در مقایسه با اسپینل کمتر مورد قبول واقع شود. این مورد که اسپینل به عنوان فاز اصلی گوشته‌ای خاستگاه این گابروها محسوب می‌شود در بازالت‌های جواهردشت که همخوانی‌های پتروژنتیکی با این گابروها (منظور گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول) نشان می‌دهند نیز به اثبات رسیده است [۱۲].

#### بررسی نسبت‌های عناصر کمیاب ناسازگار به‌عنوان معرف‌های پتروژنتیکی

دامنه تغییرات Zr/Nb در گابروهای لایه‌ای گروه دوم  $22.5 < Zr/Nb < 6.2$  و با میانگین ۱۶ و در گابروهای لایه‌ای گروه اول و سوم میانگین ۸٫۵ است. نسبت Y/Nb در گابروهای لایه‌ای گروه دو برابر  $1 < Y/Nb < 4.5$  و در گابروهای گروه سوم و اول  $2.5 < Y/Nb < 1.15$  است.

در منابع تهی شده (مورب نوع N) نسبت Zr/Nb در حدود ۳۰ و نسبت Y/Nb در حدود ۱۲ است. در مورب نوع P نسبت Zr/Nb بین ۵ تا ۳۰ میانگین ۱۰ بوده و نسبت Y/Nb در حدود ۲٫۶۵ است. در حالی که در منابع غنی شده ی OIB،

نسبت Zr/Nb در حدود ۵٫۸ و Y/Nb در حدود ۰٫۶ است [۱۳]. بنابراین نسبت‌های بالای Y/Nb و Zr/Nb دلالت بر ریشه‌گیری از یک گوشته تهی شده خاستگاه مورب دارد. مقادیر Zr/Nb و Y/Nb در گابروهای لایه‌ای گروه دوم یک شاخص برای گابروهای کومولایی ریشه گرفته از مذاب‌های نوع مورب است [۲۰]. اما پایین بودن نسبت Y/Nb و Zr/Nb در گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول دلالت بر ریشه‌گیری گوشته غنی شده ندارد زیرا به دلیل وجود شواهد آلیش پوسته‌ای که این گابروها تحمل کرده‌اند مقادیر Y/Nb و Zr/Nb کاهش می‌یابند [۱۸] و احتمالاً مقادیر اولیه (پیش از آلیش) بالاتر از نسبت‌های بالا بوده و ریشه‌گیری از یک خاستگاه تهی شده برای آن‌ها پیشنهاد می‌شود. به عقیده‌ی ویلسون [۱۸] در بسیاری از مناطق ریفتی درون قاره‌ای مثل ایتوپیی و ریوگرانده، استنوسفر در حال صعود، گوشته‌ی خاستگاه مورب است. این مورد درباره ریفت‌هایی که بیشترین و فعال‌ترین نرخ کشش را نشان می‌دهند مشاهده می‌شود.

نسبت La/Nb در گابروهای لایه‌ای گروه دو  $La/Nb \leq 1$  است در حالی که این نسبت در گابروهای گروه سوم و اول  $> 1$  است. عموماً گدازه‌های ریشه گرفته از گوشته استنوسفری خاستگاه مورب دارای نسبت  $La/Nb < 1$  هستند در حالی که در نمونه‌های ریشه گرفته از گوشته غنی شده و یا نمونه‌های آلیش یافته با پوسته قاره‌ای دارای نسبت  $> 1$  هستند [۲۱].

گابروهای لایه‌ای گروه دوم به خوبی ریشه‌گیری از یک خاستگاه گوشته استنوسفری مورب را نشان می‌دهند و چنانکه پیش از این بیان کردیم، گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول همراه با بازالت‌های منطقه‌ی جواهردشت شواهد آلیش پوسته‌ای را نشان می‌دهد که این سبب تهی‌شدگی Nb در نمونه‌ها و افزایش نسبت La/Nb در این سنگ‌ها شده است. در شکل (۱۸) مقایسه‌ی الگوی میانگین عناصر نادر خاکی گابروهای گروه اول و سوم جواهردشت با گستره‌ی تغییرات عناصر نادر خاکی ماگماهای مناطق ریفتی [۱۸] نشان داده شده است. همخوانی الگوی تغییرات کاملاً مشخص است.

**شکل ۱۸** الگوی میانگین REE گابروهای گروه اول و سوم جواهردشت با گستره‌ی تغییرات عناصر نادر خاکی ماگماهای ریفتی درون قاره‌ای (به رنگ زرد) اقتباس از ویلسون [۱۹].

◆ گابروهای غیر لایه‌ای نوع اول ▲ گابروهای لایه‌ای نوع سوم

#### برداشت

با بررسی صحرایی، سنگ‌شناختی و ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب و REE به این نتیجه می‌رسیم که گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول دارای خویشاوندی-های ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی هستند ولی نمود ساختاری و شکل‌گیری آن‌ها در یک مخزن ماگمایی متفاوت بوده به نحوی که گابروهای گروه اول فاقد لایه‌بندی ماگمایی هستند. بررسی-های ژئوشیمیایی نیز نشان می‌دهند که گابروهای لایه‌ای گروه اول گابروهای لایه‌ای گروه سوم و بازالت‌های جواهردشت اساساً هم ماگما (Comagmatic) بوده و همه‌ی آن‌ها شواهد آلایش پوسته‌ای را به خصوص با پوسته‌ی زیرین نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد که گابروهای لایه‌ای گروه سوم از ماگمای بخش‌های زیرین یک حجره‌ی ماگمایی ریشه گرفته که در اثر فرایندهای مشابه با توده‌های لایه‌ای لایه‌ای بزرگ مثل بوشولد و اسکارگارد و در ابعاد کوچک و در محیط تکتونوماگمایی ریفتی درون قاره‌ای شکل گرفته‌اند. نموده‌های کانی‌شناسی همچون حضور بیوتیت به‌عنوان یک فاز آذرین اولیه و حضور فراوان تیتانومگنتیت و مگنتیت از شاخصه‌های کانی‌شناسی اختلاف این دو نوع گابرو

با گابروهای لایه‌ای گروه دوم هستند که در واقع فاقد کانی‌های یاد شده هستند. نموده‌های ژئوشیمیایی چون درصد‌های بالای  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{K}_2\text{O}$  و درصد‌های پایین  $\text{Cr}$ ،  $\text{Co}$  و  $\text{Ni}$  و اعداد منیزیم کم تا متوسط از شاخصه‌های ژئوشیمیایی اختلاف با گابروهای لایه‌ای گروه دوم هستند. بررسی‌های ما نشان می‌دهد که ماگمای گابروهای لایه‌ای گروه سوم و غیر لایه‌ای گروه اول از یک خاستگاه گوشته‌ی استونسفری خاستگاه مورب با رخساره اسپینل ریشه گرفته است که به درجاتی با سنگ‌های پوسته‌ی زیرین آلوده شده‌اند. با توجه به همبری گرم گابروها و دگرگونی در سنگ‌های آهکی مجاور در حد رخساره‌ی پیروکسن هورنفلس و با توجه به آلایش پوسته‌ای، به نظر می‌رسد که تشکیل و جای‌گیری این گابروها در یک محیط قاره‌ای صورت پذیرفته است. اما نسبت‌های  $\text{Zr/Nb}$  و  $\text{Y/Nb}$  و مقادیر متوسط آن‌ها در گابروهای گروه دوم نشان می‌دهد که این کومولاها از گدازه‌های نوع مورب حاصل شد، به‌نحوی که مقایسه میانگین گابروهای گروه دوم با مقادیر N-MORB نشان از تشکیل این گابروها از خاستگاه‌های تهی شده دارد. نسبت‌های LREE/HREE در گابروهای گروه دوم بیانگر گارنت بر جا مانده در خاستگاه آن-



*ophiolite complex, northern Papua new Guinea*", J. Petrol. 22(1981)1-40.

[9] Green D.H., Ware N.G., Hibberson W.O., "Experimental petrology and petrogenesis of Apollo 14 basalts". Proceedings of the 3rd Lunar science conference. 1(1972)197-206.

[10] Johannes W., "Melting of plagioclase in the system  $Ab-An-H_2O$  and  $Q-Ab-An-H_2O$  at  $P_{H_2O}=5Kbar$ , an equilibrium Problem". Contrib. Mineral. Petrol. 66(1987)295-303.

[11] Sisson T.W., Grove T.L., "Experimental investigations of the role of  $H_2O$  in calc-alkaline differentiation and subduction zone magmatism". Contrib. Mineral. Petrol. 113 (1993) 143 - 160.

[۱۲] حق نظر ش.، "پترولوژی سنگ‌های ماگمایی مافیک محدوده جواهردشت در شرق گیلان (جنوب شرق شهرستان رودسر)"، رساله دکتري پترولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، (۱۳۸۸).

[13] Sun S.S., McDonough W.F., "Magmatism in the oceanic basalts" [A.D. Saunders & M.J.Norry, Her ausgeber], Geol.Soc.Special Publ. 42 (1989) 313-345.

[14] Hanchar J.M., Watson E.B., "Zircon saturation thermometry". In: Hanchar, J.M. & Hoskin, P.W.O., eds. Zircon. Rev. Mineral. Geochem. 53(2003)89-112.

[15] Offler R., Shaw S., "Hornblende Gabbro Block in Serpentine Melange, Peel- Manning Fault system, New South Wales, Australia: Lu-Hf and U-Pb Isotopic Evidence for Mantle-Derived, late Ordovician Igneous Activity". J. Petrol. 114(2006)211-230.

[16] Nagihara S.S., Casey J.F., "Whole-Rock geochemistry of amphibolites and metagabbros from the west Iberia margin, Leg 173". Proceeding of the ocean Drilling program, Sci. Res. 173(2001) 1-20.

[17] Pearce J. A., "Role of sub - continental lithosphere in magma genesis at active continental basalts and mantle xenoliths", Shiva, Nantwich. (1983) 230-249.

[18] Wilson M., "Igneous petrogenesis-A global tectonic approach", Unwin Hyman London, (1989)466p.

هاست. محتوای بسیار پایین  $K_2O$  و  $TiO_2$  در آن‌ها به دلیل ماهیت کومولایی آن‌ها و مشابه کومولایی مافیک افیولیتی است [۲۲].

#### قدردانی

در اینجا لازم است از راهنمایی‌های اساتید بزرگوار جناب دکتر منصور وثوقی عابدینی و جناب دکتر محمد پورمعافی تشکر و قدردانی کنیم. همچنین از نظرها و پیشنهادهای داوران محترم مجله در ارتقای سطح علمی مقاله سپاسگزاری می‌شود.

#### مراجع

[۱] بهار فیروز و همکاران، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جواهرده"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۲).

[۲] صلواتی م.، کنعانیان ع.، صمدی صوفی ع.ر.، زعیمنیا ف.، "شیمی کانی‌های اصلی سنگ‌های اولترامافیک مجموعه افیولیتی جنوب دریای خزر (خاورگیلان): شواهدی از تفریق بلور در فشار بالا"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱۳۸۸(۱) ص ۱۵۰-۱۶۶.

[3] Wager L.R., Brown G.M., Wadsworth W.J., "Types of Igneous cumulates". J. Petrol. 1(1960) 73-85.

[4] Hopper D.J., Smith I.M., "Petrology of the gabbro and sheeted basaltic intrusives at North Cape, New Zealand". New Zealand Journal of Geology and Geophysics. 39(1996) 389-402.

[5] Kelemen P.B., Hanghoj K., Greene A.R., "One view of the geochemistry of subduction-related magmatic arcs. With an emphasis on primitive Andesite and lower crust". Treatise on Geochemistry. 3(2004)593-659.

[6] Green D.H., Jaques A.L., "Petrogenesis of mid-ocean ridge basalts. In: McElhinny, M.W., ed. the Earth: its origin, structure and evolution". London, Academic press. (1979)265-295.

[7] Bender J.F., Hodges F.N., Bence A.E., "Petrogenesis of basalts from the project Famous area: experimental study from 0-15Kbar". Earth. Planet. Sci. Lett. 41(1978) 277-302.

[8] Jaques A.L., "Petrology and petrogenesis of cumulate peridotites and gabbros from the Marum

*ambient asthenospheric mantle*". Earth. Planet. Sci. Lett. 203(2002)479-498.

[21] Thompson R.N., Morrison M.A., Hendry G.L., Parry S.J., "An assessment of the relative roles of a crust and mantle in magma genesis: an elemental approach". Phil Trans. R. Soc. Lond. A310 (1984)549-590.

[22] Coleman R.G., "Ophiolites", Springer Verlag. (1977).

[19] Jung, C., "Geochemische und Isotopen-geochemische Untersuchungen an tertiären Vulkaniten der Hocheifel-ein Beitrag zur Identifizierung der Mantelquellen von Rift-bezogenen Vulkaniten", Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades Naturwissenschaften, vorgelegt dem Fachbereich Geowissenschaften der Philipps-Universität Marburg. (2003).

[20] LeRoux P.J., LeRoux A.P., Schilling J-G., Shimizu N., Perkins W.W., Pearce N.J., "Mantle heterogeneity beneath the southern Mid-Atlantic Ridge: trace element evidence for contamination of