ژئوشیمی و ترموبارومتری سنگ‌های آذرین مافیک کمپلکس آلمابولاغ (شمال غرب ایران)

محبوبه جمشیدی بدر؛ گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران

دریافت ۹۳/۱۰/۱۶ پذیرش ۹۴/۷/۲۲

چکیده

کمپلکس آلمابولاغ در شمال غرب استان همدان و در پهنهٔ ساختاری سنندج-سیرجان قرار دارد و شامل سنگ‌های دگرگونی درجه پایین و دو تودهٔ نفوذی فلسیک و مافیک است. این تحقیق در مورد تودهٔ نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ است. سنگ‌های این توده بافت‌های افیتیک، ساب افیتیک و اینترگرانولار دارند و دارای کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، آمفیبول و با فراوانی کم‌تر کانی‌های کوارتز، آلکالی فلدسپار و کانی‌های اُپک هستند. کانی‌های ثانویه این توده شامل کانی‌های اپیدوت، کلریت و آمفیبول‌هایی است که در حاشیهٔ کلینوپیروکسن‌ها تشکیل شده‌اند. شیمی کانی‌های این توده شامل کلینوپیروکسن از نوع اوژیت، آمفیبول از نوع چرماکیت، پلاژیوکلاز در محدودهٔ آندزین تا لابرادوریت، آلکالی فلدسپار از نوع آنورتوکلاز و کانی‌های اُپک از نوع ایلمنیت است. سری ماگمایی تودهٔ مافیک کمپلکس آلمابولاغ بر مبنای شیمی سنگ کل کالکوآلکالن است و عنصر Nb نرمالیزه شده به گوشتهٔ اولیه، آنومالی منفی دارد که معرف محیط‌های فرورانشی است. بر مبنای شیمی کانی پیروکسن سری ماگمایی تودهٔ نفوذی مافیک آلمابولاغ از نوع کالکوآلکالن و محیط تکتونیکی آن مربوط به محیط‌های فرورانشی است. جای‌گیری این توده بر اساس ترمومتر پیروکسن-آمفیبول و بارومتر آمفیبول در حرارت ۹۰۰-۷۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار (عمق) ۷-۶ کیلوبار است. ماگمای اولیهٔ تودهٔ نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ بر مبنای نسبت Sm/Yb و La/Sm از ذوب بخشی گارنت-اسپینل لرزولیت منشأ گرفته و در اواخر ژوراسیک-اوایل کرتاسه در مناطق فرورانشی قبل از بسته شدن کامل نئوتتیس در زون سنندج-سیرجان تشکیل شده است.

واژه های کلیدی: سنندج-سیرجان، کمپلکس توده نفوذی مافیک آلمابولاغ، شیمی کانی‌ها، ترموبارومتری.

مقدمه

پژوهش‌های صحرایی، پتروگرافی، شیمی سنگ کل و شیمی کانی‌ها در تفسیر ژنز ماگماها کاربرد گسترده‌ای دارند [۱]-[۹]. محققان از کاربرد ترکیب شیمیایی آمفیبول و پیروکسن (که اکثراً در سنگ‌های آذرین مافیک حضور دارند) در تعیین ماهیت ماگماها استفاده کرده‌اند که هم‌پوشانی با داده‌های حاصل از ژئوشیمی سنگ کل توده‌های نفوذی دارند [۴]، [۵]، [۹]. هم‌چنین میزان آلومینیم در کانی آمفیبول در ارتباط با عمق جای‌گیری توده‌های نفوذی است [۱۰]-[۱۵] و می‌تواند عمق جای‌گیری توده نفوذی را مشخص کند.

تودهٔ مافیک کمپلکس آلمابولاغ که در زون سنندج-سیرجان و در شمال غرب استان همدان برونزد دارد. این توده، نسبت به تودهٔ فلسیک این کمپلکس حجم کم‌تری دارد و حتی نسبت به سایر توده‌های مافیک همدان وسعت خیلی کم‌تری دارد. در بین توده‌های نفوذی سنندج-سیرجان، در بارهٔ توده‌های مافیک معمولاً کم‌تر بحث و بررسی شده است

*نویسنده مسئول m_jamshidi@pnu.ac.ir

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]

[۱۶]-[۲۲]، از این رو، پتروژنز ماگمای تودهٔ نفوذی مافیک و ترموبارومتری این توده نفوذی با استفاده از شیمی کانی‌های توده نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ در این تحقیق همراه با بررسی‌های صحرایی، پتروگرافی و شیمی سنگ کل بحث و بررسی شده است تا روند جای‌گیری و ماهیت ماگمای توده مافیک کمپلکس آلمابولاغ در زون سنندج-سیرجان معرفی شود.

زمین‌شناسی عمومی کمپلکس آلمابولاغ

کمپلکس آلمابولاغ که به‌نام‌های آلماقولاغ یا آلماقولاق نیز نامیده می‌شود در شمال‌غرب ایران، در شمال‌غرب استان همدان در طول‌های جغرافیایی ´۰۰ °۴۸ تا ´۱۲ °۴۸ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″۳۰´۴۸ °۳۴ تا ´۵۸ °۳۴ شمالی قرار دارد. این کمپلکس از لحاظ ساختاری در زون دگرگونی سنندج-سیرجان و در نقشهٔ زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تویسرکان برون‌زد دارد (شکل ۱) که شامل انواع مختلفی از واحدهای رسوبی که در رخسارهٔ شیست سبز، دگرگون شده‌اند و دو نوع تودهٔ نفوذی آذرین فلسیک و مافیک است. قدیمی‌ترین واحدهای رسوبی در نقشهٔ زمین شناسی تویسرکان در محدودهٔ کوه آلمابولاغ قرار گرفته که مجموعهٔ رسوبی-آتشفشانی است که در حد رخسارهٔ شیست سبز، دگرگون شده‌اند و شامل سنگ‌های متاریوداسیت، متاریولیت، سنگ آهک‌های دولومیتی و مرمریتی به‌رنگ سفید، سبز تا خاکستری روشن است (شکل ۱).

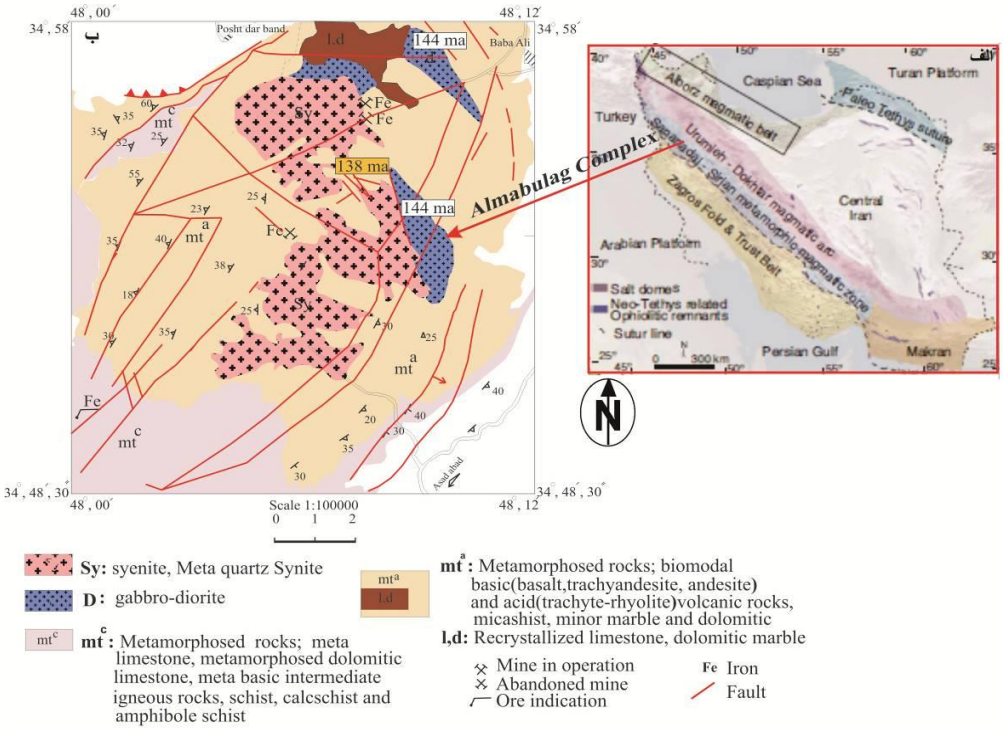
تودهٔ آذرین مافیک کمپلکس آلمابولاغ در سه منطقه از این مجموعه برون‌زد دارد (شکل ۱). از لحاظ ضریب رنگی مزوکراتیک و به‌رنگ خاکستری تیره است و در بعضی از بخش‌های آن لکه‌های سبز و گاهی تیره نیز دیده می‌شود (شکل ۲ الف). در بعضی از بخش‌ها نیز رگه‌های اپیدوتیتی در تودهٔ مافیک کمپلکس آلمابولاغ مشاهده می‌شود (شکل ۲ ب). سن تودهٔ نفوذی مافیک به‌روش Rb-Sr در حدود ۱۷±۱۴۴ میلیون سال (اواخرژوراسیک - اوایل کرتاسه) تعیین شده است [۲۳] و سن تودهٔ نفوذی فلسیک کمپلکس آلمابولاغ اخیراً با سن‌سنجی U-(Th)-Pb کانی تیتانیت، در محدودهٔ ۹۵ تا ۱۳۸ میلیون سال [۲۴] تعیین شده است. با توجه به سن‌سنجی‌های انجام شده در مورد توده‌های نفوذی فلسیک و مافیک در کمپلکس آلمابولاغ، جای‌گیری توده‌های آذرین در این کمپلکس مربوط به اواخر ژوراسیک تا اوایل کرتاسه در زون سنندج-سیرجان است [۲۳]، [۲۴].

مواد و روش‌ها

آنالیز سنگ کل

شش نمونه از سنگ‌های مافیک کمپلکس آلمابولاغ که حداقل دگرسانی را نشان می‌دهند انتخاب شدند و برای تعیین عناصر اصلی و فرعی، به روش ICP-MS با حد آشکارسازی عناصر فرعی بین ppm ۱-۰/۰۲ و آنالیز XRF در آزمایشگاه شرکت مطالعات مواد معدنی زرآزما تهران- ایران تجزیه شدند (جدول ۱).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]



شکل ۱. الف) نقشهٔ تکتونیکی ایران بر مبنای نقشهٔ زمین‌شناسی [۲۵]، [۲۶] منطقهٔ بررسی شده روی نقشه نشان داده شده است، ب) نمایش کمپلکس آلمابولاغ و برونزد توده‌های نفوذی آن، اقتباس از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ تویسرکان [۲۷]. تودهٔ مافیک این کمپلکس به‌رنگ آبی نشان داده شده است که اکثراً در سمت شرق منطقه و در حاشیهٔ توده نفوذی فلسیک برونزد دارند و در نقشهٔ تویسرکان تودهٔ نفوذی مافیک گابرو-دیوریت معرفی شده‌اند. سن‌های نمایش داده شده روی نقشه، سن تودهٔ مافیک اقتباس از [۲۳] و سن تودهٔ فلسیک اقتباس از [۲۴]

شکل ۲. الف) برونزد سنگ‌های آذرین مافیک کمپلکس آلمابولاغ در شمال‌غرب کمپلکس و غرب روستای باباعلی. ب) برونزد رگه‌های اپیدوت در سنگ‌های آذرین مافیک در شمال کمپلکس و در چند کیلومتری شمال معدن آهن باباعلی

آنالیز الکترون مایکروپروب

برای بررسی شیمی کانی‌ها از کانی‌های توده آذرین مافیک کمپلکس آلمابولاغ ۵۰ نقطه آنالیز نقطه‌ای الکترون مایکروپروب (EPMA) و تصاویر Back Scattered Electron (BSE) در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام شد، نتایج آنالیز چند نقطه از هر کانی در جدول ۲ و تصایر BSE در شکل ۳ نشان داده شده است.

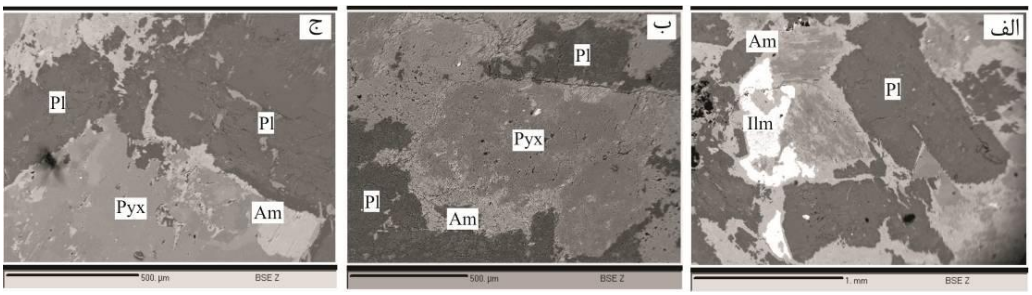
[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]

جدول ۱. نتایج آنالیز ICP-MS و XRF نمونه‌های سنگی تودهٔ نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ

samples	T-69	T-72	T-75	T-76	T-73	T-77
Major Oxides Wt %						
SiO_2	۵۷/۰۰	۵۴/۹۸	۵۳/۰۰	۵۲/۹۹	۴۵/۷۸	۵۰/۷۹
TiO_2	۰/۵۰	۱/۴۸	۰/۳۹	۰/۶۵	۲/۳۹	۰/۶۸
Al_2O_3	۱۸/۹	۱۴/۲۱	۱۸/۹	۱۷/۷۷	۱۳/۴۲	۱۷/۵۸
TFe_2O_3	۵/۴۰	۱۲/۵۸	۴/۵	۶/۴۱	۱۸/۱۶	۸/۱۱
MnO	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۱۴
MgO	۳/۵۴	۲/۷۵	۳/۲۴	۳/۰۵	۵/۰۴	۵/۵۹
CaO	۱۰/۶۱	۸/۷۳	۱۲/۴۴	۱۰/۸۱	۹/۰۱	۱۰/۸۴
Na_2O	۲/۰۹	۳/۰۵	۲/۸۳	۳/۴۷	۲/۷۸	۳/۲۲
K_2O	۱/۰۵	۱/۵۰	۴/۳۴	۴/۲۵	۱/۴۲	۱/۲۰
P_2O_5	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۱۲
TOTAL	۹۹/۲۸	۹۹/۵۷	۹۹/۸۱	۹۹/۶۳	۹۹/۳۴	۹۸/۲۷
Rare-earth element (ppm)						
La	۸	۱۷	۶	۱۵	۸	۳
Ce	۱۸	۳۶	۱۲	۳۰	۱۸/۳	۷/۵
Pr	۱/۹۳	۳/۹۷	۱/۱۷	۳/۰۴	۳/۱۷	۱/۷۷
Nd	۱۰/۴	۱۹/۳	۷/۴	۱۵	۱۳/۶	۷/۹
Sm	۲/۰۷	۴/۱۹	۱/۴۱	۳/۳۳	۳/۱۲	۱/۸۸
Eu	۰/۸۲	۱/۲۴	۰/۷۷	۱/۱۶	۰/۸	۰/۵۶
Gd	۲/۷۶	۵/۱۸	۲/۳۶	۴/۳۷	۲/۴۸	۱/۴۷
Tb	۰/۴۷	۰/۸۴	۰/۴	۰/۶۸	۰/۶	۰/۳۷
Dy	۲/۲۷	۴/۵۴	۱/۹۵	۳/۷۹	۳/۵۵	۲/۱۹
Er	۲/۴۲	۵/۰۱	۲/۰۸	۴/۱۸	۲/۱۱	۱/۲۳
Tm	۰/۲۴	۰/۵۲	۰/۲	۰/۴۵	۰/۳۲	۰/۱۹
Yb	۱/۳	۲/۵	۱/۱	۲/۱	۱/۹۵	۱/۱
Lu	۰/۱۸	۰/۳۳	۰/۱۵	۰/۲۹	۰/۳	۰/۱۷
REE	۵۰/۸۶	۱۰۰/۶۲	۳۶/۹۹	۸۳/۳۹	۵۸/۴۸	۲۹/۸۹
Trace-element (ppm)						
Ba	۲۰۷	۲۱۹	۱۵۸	۱۵۵	۱۸۲	۳۳/۳
Y	۱۲/۱	۲۴/۱	۱۰/۴	۲۱	۱۴/۴	۹/۰۶
Th	۱/۶	۴/۲۲	۱/۴	۲/۲۳	۴/۱۸	۱/۴۲
Zn	۶۶	۱۰۲	۶۹	۶۸	۶۵/۶	۲۴/۹
V	۹۹	۵۷۹	۹۹	۱۶۳	۴۷۸	۹۳
Cs	۱/۱	۱/۳	۰/۷	۱	۰/۸	۰/۳
Co	۲۱/۹	۶۶/۸	۲۱/۸	۳۱/۱	۵۲/۶	۱۳/۸
Rb	۷۵	۶۳	۲۹	۴۰	۳۰/۷	۷
Zr	۱۵	۱۵	۱۶	۲۰	۲	۳
Pb	۵	۸	۳۳	۸	۴/۶	۴/۸
Cu	۴۸	۵۷	۸۱	۵۶	۶۲/۱	۶۵/۲
Cr	۲۶۰	۱۶	۱۸۷	۱۱۹	۵	۵۸
Sc	۳۰/۵	۴۲/۹	۳۲/۷	۴۳/۳	۲۳	۱۰
Li	۲۸	۴۳	۳۵	۲۵	۴۵/۵	۱۸/۷
Sr	۳۱۳/۶	۲۱۲/۸	۳۴۸	۳۰۴/۷	۱۸۹/۶	۱۸۲/۷
Nb	۷/۲	۹/۸	۴/۴	۹/۱	۱	۱/۳
Ga	۱۱	۱۰	۷/۸۷	۶/۸	۱۳	۵/۷۸
Ni	۷۳	۷	۵۰	۳۳	۷	۲۱
Hf	۰/۵۵	۰/۷	۰/۶	۰/۸۴	۰/۱۴	۰/۱۸
Ta	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۸	۰/۸
Be	۰/۵	۱/۳	۸/۸	۲/۵	۴/۷	۹

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]



شکل ۳. تصاویر BSE سنگ‌های آذرین مافیک کمپلکس آلمابولاغ. الف) تصویر کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول در حاشیه پیروکسن و کانی‌های اپک (نمونه T-72)، ب) تصویر کانی پیروکسن که در حاشیه توسط آمفیبول جایگزین شده است (نمونه T-76)، ج) تصویر پلاژیوکلازها که به حالت متقاطع قرار گرفته اند و کانی‌های آمفیبول‌ها و پیروکسن در حدفاصل آن‌ها قرار گرفته است (نمونه T-76) (علائم اختصاری استفاده در شکل از [۲۸])

جدول ۲. نتایج تجزیه به‌روش EPMA کانی‌های پیروکسن، آمفیبول، پلاژیوکلاز، ایلمنیت و اپیدوت از سنگ‌های مافیک تودهٔ نفوذی کمپلکس آلمابولاغ

Mineral	پیروکسن			آمفیبول *T-76*				پلاژیوکلاز		آلکالی فلدسپار		ایلمنیت		اپیدوت	
Samples	*T-72* -1	*T-76* -2	*T-76* -1	آمفیبول		آمفیبول حاشیه پیروکسن		*T-72* -1	*T-76* -2	*T-72* -2	*T-76* -2	*T-72* -1	*T-76* -2	*T-72* -1	*T-76* -2
SiO_2	۵۵/۳۵	۵۷/۵	۵۴/۶۸	۴۰/۰۱	۳۹/۰۹	۴۳/۷۱	۴۳/۹۷	۵۶/۱	۵۶/۳	۶۰/۰۶	۵۶/۲۶	۰/۰۵	۰/۰۸	۴۰/۰۲	۳۵/۰۶
TiO_2	۰/۶۴	۰/۱۲	۰/۶۴	۰/۶	۰/۵۹	۰/۵۰	۰/۳۶	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۳	۴۹/۰۶	۴۸/۲۸	۰/۰۳	۰/۱۳
Al_2O_3	۰/۷۷	۱/۷۳	۲/۸۷	۱۲/۲۶	۱۳/۹۳	۱۲/۹۵	۱۱/۹۲	۳۰/۰۸	۲۹/۲۹	۲۸/۰۸	۲۶/۴۸	۰/۰۲	۰/۱۱	۲۶/۲۲	۲۹/۴۸
FeO	۹/۹	۱۱/۴۸	۱۲/۹۳	۲۵/۰۸	۲۴/۵۰	۱۷/۷۸	۱۶/۱۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۶۴	۰/۵۴	۴۹/۰۷	۴۹/۳	۹/۱۵	۹/۱۲
MnO	۰/۲۶	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۲/۶	۲/۷	۰/۱۲	۰/۲۴
MgO	۱۶/۹۸	۱۶/۲۶	۱۵/۳۸	۵/۲۳	۵/۱۱	۷/۶۸	۱۰/۶۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۲۵	۰/۱۳	۰/۱	۰/۱	۰/۰۰	۰/۰۰
CaO	۱۳/۲۳	۱۲/۹	۱۱/۶۳	۱۱/۱۱	۱۰/۸۵	۱۲/۷۳	۱۲/۵۳	۹/۱۲	۹/۲۱	۱/۲	۴/۳۵	۰/۰۰	۰/۰۱	۲۳/۷۸	۲۳/۹۷
Na_2O	۰/۵	۰/۴۶	۰/۹۱	۱/۷۵	۱/۷۱	۰/۰	۰/۰	۵/۲۲	۵/۶۲	۷/۴۲	۷/۰۳	۰/۰۰	۰	۰/۰۰	۰/۰۰
$K2O$	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۲۸	۲/۵۳	۲/۴۷	۱/۷۳	۱/۳۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۳/۲۵	۲/۴۵	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰
Total	۹۷/۸۱	۱۰۰/۸۴	۹۹/۵۴	۹۸/۸۶	۹۸/۵۳	۹۷/۳۵	۹۷/۱۴	۱۰۰/۹	۱۰۰/۷	۱۰۰/۹	۱۰۱	۱۰۰/۹	۱۰۰/۵	۹۹/۳۳	۹۸
Oxygens	۶	۶	۶	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۸	۸	۸	۸	۳	۳	۱۲/۵	۱۲/۵
Si	۲/۰۹۰	۲/۱۱۸	۲/۰۴۳	۶/۲۶۷	۶/۱۲۰	۶/۶۰۸	۶/۵۹۲	۲/۴۸۵	۲/۵۰۲	۲/۶۵۱	۲/۶۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۳/۰۶	۲/۷۴۳
Ti	۰/۰۱۸	۰/۰۰۳	۰/۰۱۸	۰/۰۷۱	۰/۰۶۹	۰/۰۵۷	۰/۰۴۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۹۴۳	۰/۹۳۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸
Al_{total}	۰/۰۳۴	۰/۰۷۵	۰/۱۲۶	۲/۲۶۴	۲/۵۳۱	۲/۳۰۸	۲/۱۰۷	۱/۵۷۱	۱/۵۳۴	۱/۴۶۱	۱/۴۴۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۲/۳۶۲	۲/۷۱۸
Al^{IV}	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۹۷۱	۱/۹۷۱	۱/۳۸۴	۱/۱۴۷								
Al^{VI}	۰/۰۳۴	۰/۰۰۳	۰/۰۱۸	۰/۲۹۳	۰/۵۲۰	۰/۹۲۴	۰/۹۶۰								
Fe_3	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۸۵	۰/۵۹۷
Fe_2	۰/۳۱۳	۰/۳۵۴	۰/۴۰۴	۳/۲۸۶	۳/۲۰۸	۲/۲۴۸	۲/۰۲۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۲۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Mn	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۳۸	۰/۰۳۷	۰/۰۳۶	۰/۰۳۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۲۱	۱/۰۴۹	۱/۰۶۰	۰/۰۰۸	۰/۰۱۶
Mg	۰/۹۵۶	۰/۸۹۳	۰/۸۵۷	۱/۲۲۱	۱/۱۹۲	۱/۷۳۰	۲/۳۸۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱۶	۰/۰۰۹	۰/۰۵۶	۰/۰۵۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Ca	۰/۵۳۵	۰/۵۰۹	۰/۴۶۶	۱/۸۶۵	۱/۸۲۰	۲/۰۶۲	۲/۰۱۳	۰/۴۳۳	۰/۴۳۹	۰/۰۵۷	۰/۲۱۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۱/۹۴۸	۲/۰۰۹
Na	۰/۰۳۷	۰/۰۳۳	۰/۰۶۶	۰/۵۳۲	۰/۵۱۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۴۴۸	۰/۴۸۴	۰/۶۳۵	۰/۶۳۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
K	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۱۳	۰/۵۰۶	۰/۴۳۹	۰/۲۶۴	۰/۲۵۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۱۸۳	۰/۱۴۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
Sum	۴	۴	۴	۱۶/۰۴	۱۶/۰۳	۱۵/۳۱	۱۵/۴۴	۴/۹۵۴	۴/۹۷۵	۵/۰۲۸	۵/۰۶۴	۲	۲	۸	۸

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]

نتایج

پتروگرافی توده آذرین مافیک کمپلکس آلمابولاغ

کانی‌های اصلی توده مافیک کمپلکس آلمابولاغ شامل پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، آمفیبول و در بعضی از نمونه‌ها آلکالی فلدسپار است و کانی‌های فرعی این توده شامل کانی‌های کوارتز و اُپک است و کانی‌های ثانویه شامل آمفیبول در حاشیه کلینوپیروکسن‌ها، اپیدوت و کلریت هستند. نام سنگ‌های این توده در رده بندی درصد حجمی سنگ‌ها [۲۹] در محدودهٔ دیوریت تا پیروکسن-هورنبلند-گابرو قرار می‌گیرد (جدول ۳).

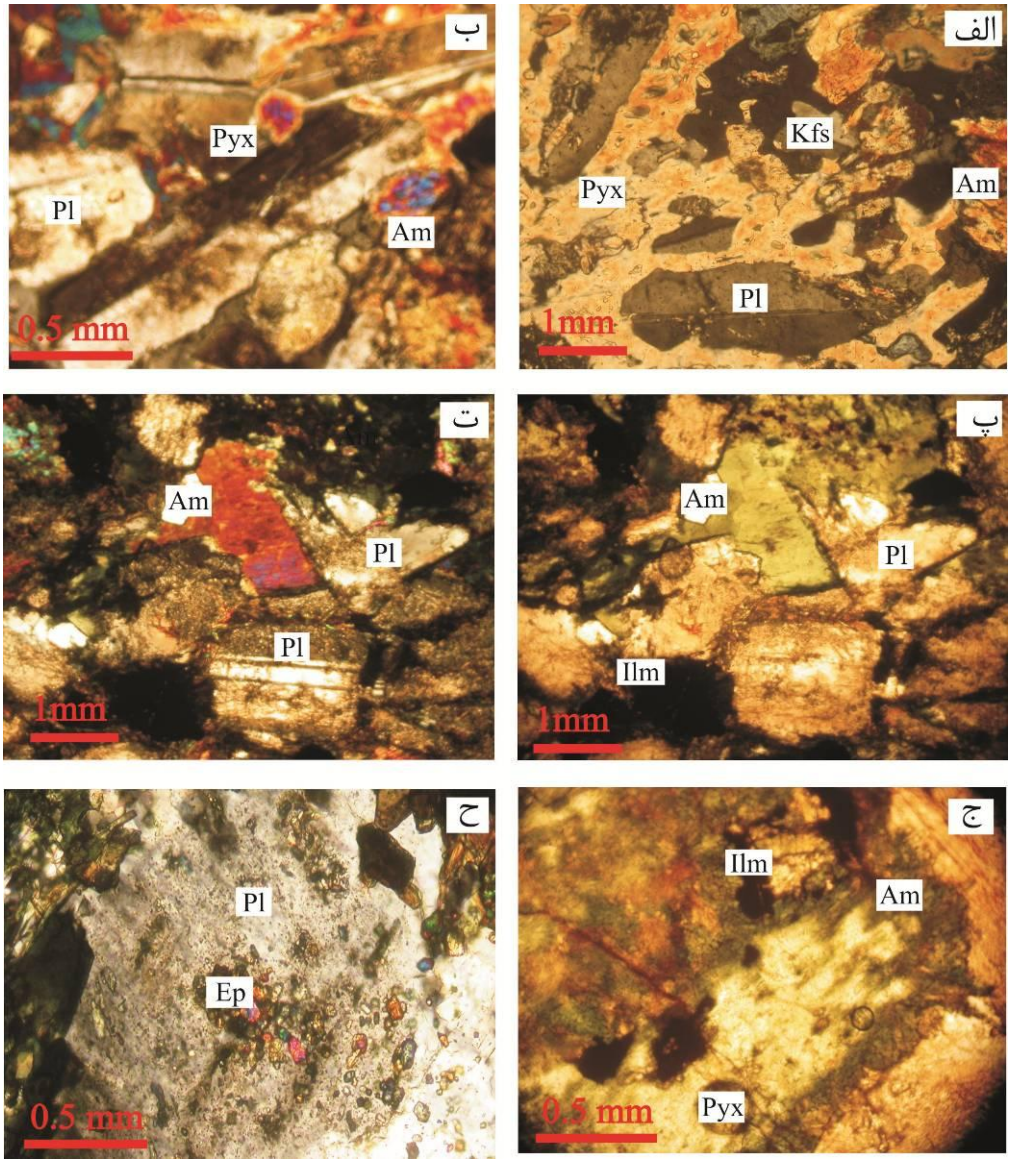
جدول ۳. درصد فراوانی کانی‌های اصلی در سنگ‌های تودهٔ مافیک کمپلکس آلمابولاغ. علامت (✓) نشان‌دهندهٔ حضور کانی فرعی یا ثانویه در سنگ است و علامت (---) نشان‌دهندهٔ عدم حضور کانی فرعی یا ثانویه در سنگ است

شماره نمونه‌ها	T-69	T-72	T-73	T-75	T-76	T-77
			درصد فراوانی کانی‌ها			
پلاژیوکلاز	۶۰	۵۰	۴۰	۵۵	۵۵	۵۰
پیروکسن	۱۰	۳۸	۳۵	۱۰	۳۰	۳۵
آمفیبول	۲۰	۱۲	۲۵	۲۰	۱۵	۱۵
آلکالی فلدسپار	۱۰	---	✓	۱۵	✓	---
کوارتز	✓	---	---	✓	---	---
آمفیبول حاشیه پیروکسن	✓	✓	✓	✓	✓	✓
کلریت	---	---	✓	✓	---	✓
اپیدوت	✓	✓	✓	✓	✓	✓
کانی‌های اپک	✓	✓	✓	✓	✓	✓
نام سنگ	دیوریت	پیروکسن-هورنبلند گابرو	پیروکسن-هورنبلند گابرو	دیوریت	پیروکسن-هورنبلند گابرو	پیروکسن-هورنبلند گابرو

کانی‌های پلاژیوکلاز سنگ‌های تودهٔ مافیک کمپلکس آلمابولاغ شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار با ماکل‌های پلی‌سنتتیک و پریکلین است که به‌صورت متقاطع نسبت به یک‌دیگر قرار می‌گیرند و بین آن‌ها کانی‌های کلینوپیروکسن و آمفیبول حضور دارند (شکل ۴ الف). پلاژیوکلازها به‌صورت کامل یا بخشی داخل کلینوپیروکسن‌ها نیز دیده می‌شوند (شکل ۴ ب). کانی‌های آمفیبول با رخ دو جهته مایل و به‌رنگ سبز کمرنگ و با خاموشی مایل قابل تشخیص هستند (شکل ۴ پ، ت). کانی‌های کلینوپیروکسن شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار و بیرنگ تا کرم رنگ که از حاشیه به‌طور بخشی به آمفیبول تبدیل شده‌اند (شکل ۴ ج). آلکالی فلدسپارها شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با ماکل کارلسباد و کوارتز با خاموشی موجی با فراوانی خیلی کم و کانی‌های اپک در سنگ‌های این توده حضور دارند. کانی‌های ثانویه مثل کلریت و اپیدوت در اثر دگرسانی پلاژیوکلازها تشکیل شده‌اند (شکل ۴ ح). با توجه به توصیف پتروگرافی کانی‌ها بافت‌های موجود در سنگ‌های تودهٔ مافیک کمپلکس آلمابولاغ شامل بافت‌های افیتیک، ساب افیتیک و اینترگرانولار هستند (شکل ۴).

با توجه به شرایط توصیف شده در بخش پتروگرافی کانی‌های تودهٔ نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ، تعیین نوع بلورها و انجام تجزیه به‌روش EPMA به‌صورت کاملاً هدف‌دار انجام گرفته تا ترکیب شیمی کانی‌های اصلی و کانی‌های فرعی و ثانویه از لحاظ شیمیایی بررسی شوند (شکل ۴).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی سنگ‌های آذرین مافیک کمپلکس آلمابولاغ. الف) بافت اینترگرانولار که کانی‌های پیروکسن و آمفیبول بین بلورهای پلاژیوکلاز قرار گرفته است (نور XPL)، ب) بافت افیتیک، کانی‌های پلاژیوکلاز به‌صورت پوئی کلیتیک در کانی پیروکسن دیده می‌شود (نور XPL)، پ) کانی آمفیبول سبز رنگ در مرکز تصویر همراه با بلورهای پلاژیوکلاز (نور PPL)، ت) کانی آمفیبول با رخ یک جهته مشخص و پلاژیوکلازها با ماکل پلی سنتتیک (نور XPL)، ج) کانی پیروکسن که از حاشیه به آمفیبول تبدیل شده است همراه با کانی‌های اپک (نور PPL)، ح) اپیدوت که از دگرسانی پلاژیوکلازها تشکیل شده‌اند (علائم اختصاری استفاده در شکل از [۲۸])

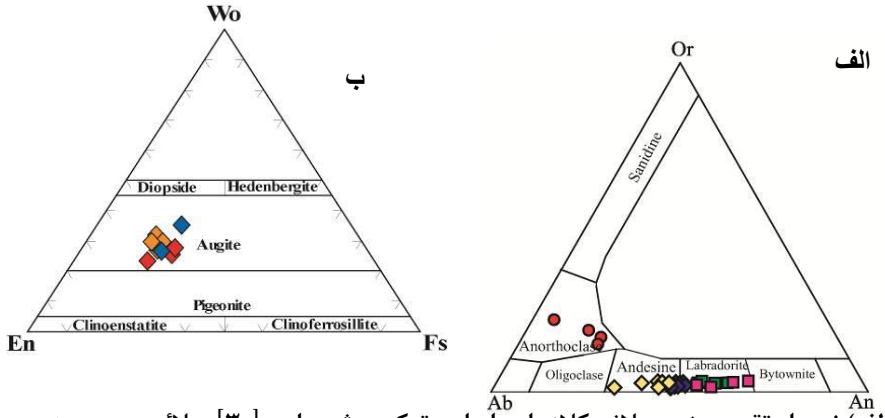
شیمی کانی‌های توده آذرین بازیک کمپلکس آلمابولاغ

پلاژیوکلاز: از بلورهای مختلف پلاژیوکلاز آنالیز نقطه‌ای الکترون مایکروپروب انجام گرفته است. پلاژیوکلازها ترکیب شیمیایی An_{32}-An_{68} دارند و در نمودار مثلثی تقسیم‌بندی پلاژیوکلازها در محدودهٔ لابرادوریت تا آندزین قرار دارند (شکل ۵ الف).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]

آلکالی فلدسپار: فراوانی کانی آلکالی فلدسپار در تودهٔ نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ کم است و شیمی آن‌ها در محدودهٔ Or_{14}-Or_{20} است و در نمودار سه تایی ارتوز-آلبیت-آنورتیت در محدودهٔ آنورتوکلاز قرار می‌گیرند.

پیروکسن: پیروکسن‌های تودهٔ آذرین مافیک کمپلکس آلمابولاغ از نوع کلینوپیروکسن است و در نمودار دوتایی Q-J [۵] در محدودهٔ کلینوپیروکسن‌های کلسیم-منیزیم-آهن‌دار و در نمودار مثلثی تقسیم‌بندی کلینوپیروکسن‌ها (نمودار ولاستونیت، انستاتیت، فروسیلیت) در محدودهٔ اوژیت قرار می‌گیرند. ترکیب شیمیایی آن‌ها در محدودهٔ Wo_{22-53}, En_{42-58}, Fs_{23-44} متغیر است و مقدار Mg≠ در محدودهٔ بین ۷۶-۶۶ قرار دارد (شکل ۵ ب). آنالیز الکترون مایکروپروب برای تعیین شیمی کانی کلینوپیروکسن از مرکز کانی انجام شده و در اغلب موارد، شیمی حاشیه این کانی‌ها مربوط به کانی ثانویه آمفیبول است که تصاویر BSE نیز همانند تصاویر پتروگرافی، این تبدیل‌شدگی را به‌خوبی نشان می‌دهند (شکل ۳).



شکل ۵. الف) نمودار تقسیم‌بندی پلاژیوکلازها بر اساس ترکیب شیمیایی [۳۰]. علائم مربع سبز و صورتی، لوزی آبی مربوط به آنالیز پلاژیوکلاز در بلورهای مختلف است و علامت دایره قرمز مربوط به آنالیز کانی آلکالی فلدسپار است، ب) ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها روی نمودار مثلثی (Wo-En-Fs) اقتباس از [۵]، تمام نمونه‌ها در محدودهٔ اوژیت قرار می‌گیرند (علائم لوزی با رنگ‌های مختلف آبی، قرمز و قهوه‌ای نشان داده شده در شکل شامل نتایج تجزیه مربوط به سه بلور مختلف کانی کلینوپیروکسن است)

آمفیبول: آمفیبول‌های تودهٔ آذرین مافیک کمپلکس آلمابولاغ در تقسیم‌بندی آمفیبول‌ها، جزء گروه کلسیک هستند و بر مبنای تقسیم‌بندی Ti در مقابل Al^{IV} [۳۱] در محدودهٔ چرماکیت قرار می‌گیرند (شکل ۶الف).

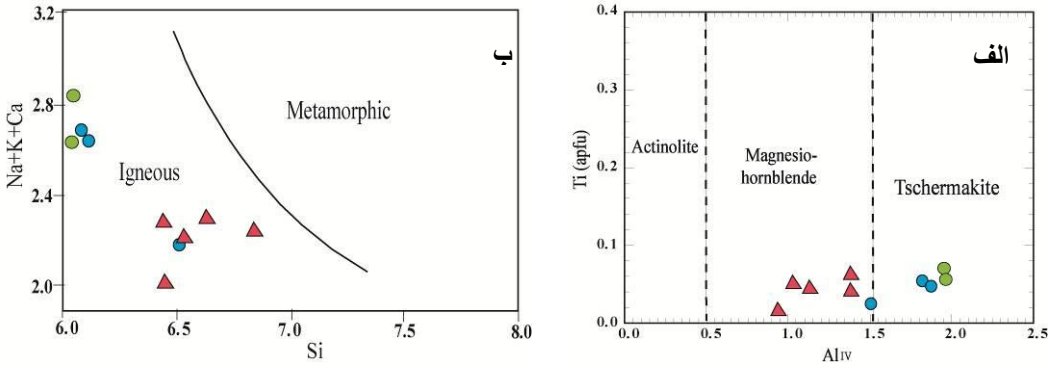
برای تشخیص منشأ آمفیبول‌ها از فراوانی مجموع (Na+Ca+K) نسبت به‌مقدار (Si) در هر واحد فرمولی بر اساس تقسیم‌بندی سیل و همکاران [۴] استفاده شده است. مقدار Si در آمفیبول‌های تودهٔ مافیک کمپلکس آلمابولاغ در محدودهٔ ۶/۸۰-۶/۰۰ و مقدار (Na+Ca+K) در محدودهٔ ۲/۸۸-۲/۲۴ در هر واحد فرمولی است. بر مبنای تقسیم‌بندی سیل و همکاران [۴] آمفیبول‌های اولیه و ثانویه تودهٔ مافیک کمپلکس آلمابولاغ در محدودهٔ آمفیبول‌های ماگمایی قرار می‌گیرند (شکل ۶ب).

کانی آمفیبول با توجه به بررسی‌های پتروگرافی به‌صورت ثانویه در حاشیهٔ پیروکسن‌ها نیز تشکیل شده است که برای تعیین ترکیب شیمی این آمفیبول‌ها از حاشیهٔ پیروکسن‌ها نیز تجزیه انجام شده است و ترکیب شیمی آمفیبول‌های ثانویه در محدودهٔ مگنزیوهورنبلند قرار دارد (شکل ۶ الف).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]

اپیدوت: میزان ترکیب شیمیایی $[Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al)\times100]$ اپیدوت در محدودهٔ Ps_{19}-Ps_{23} است که طبق تقسیم‌بندی تولوچ [۶]، [۷] در محدودهٔ اپیدوت‌های ثانویه حاصل از دگرسانی پلاژیوکلازها است (جدول ۲).

کانی‌های اپک: ترکیب شیمیایی کانی‌های اپک تودهٔ نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ از نوع ایلمنیت است (جدول ۲).



شکل ۶. الف) تقسیم‌بندی کانی‌های آمفیبول تودهٔ بازیک کمپلکس آلمابولاغ [۳۱]، ب) تعیین نوع آمفیبول‌های تودهٔ نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ [۴]، (علامت دایره سبز و آبی مربوط به آمفیبول‌های اولیه و علامت مثلث قرمز مربوط به آمفیبول‌های ثانویه است)

شیمی سنگ کل توده نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ

در رده‌بندی سنگ‌های آذرین بر مبنای نمودار چند کاتیونی R_1-R_2 [۳۲]، نمونه‌های تودهٔ آذرین مافیک به‌صورت پراکنده در محدودهٔ سنگ‌های دیوریت، گابرو، الیوین گابرو و گابرو نوریت هستند. در رده‌بندی بر مبنای اکسیدهای (Na_2O+K_2O)-SiO_2 در نمودار TAS [۳۳] در محدودهٔ دیوریت، گابرو و سینودیوریت قرار می‌گیرند (شکل ۷).

تودهٔ نفوذی مافیک دارای SiO_2 با فراوانی (۴۵/۷۸-۵۷ wt%)، MgO (۲/۷۵-۵/۵۹ wt%)، K_2O (۴/۳۴- wt%)، Na_2O (۱/۰۵-۲/۰۹-۳/۴۷ wt%)، CaO (۸/۷۳-۱۲/۴۴ wt%) و TiO_2 (۰/۳۹-۲/۳۹ wt%) است.

متوسط عناصر نادر خاکی در محدودهٔ (۲۹/۸۹-۱۰۰/۶۲ppm) است و الگوی REE با میانگین ۲/۲۱-۵/۵۴= $(La/Lu)_N$ است که غنی‌شدگی مختصری را برای LREE/MREE ($(La/Sm)_N$=۱/۶۹-۲/۹۱) و هم‌چنین MREE نسبت به HREE ($(Gd/Lu)_N$=۱/۰۲-۱/۹۴) نشان می‌دهند. HREE الگوی به‌حالت مستقیم و با یک گودی مختصر به‌سمت بالا است که Eu و Tm آنومالی نسبتاً ضعیفی دارند و آنومالی ضعیف یوروپیم (Eu/Eu* =۰/۸۱-۱/۲۹) می‌تواند در ارتباط با نبود یا تفریق جزئی پلاژیوکلاز باشد (شکل ۸ الف).

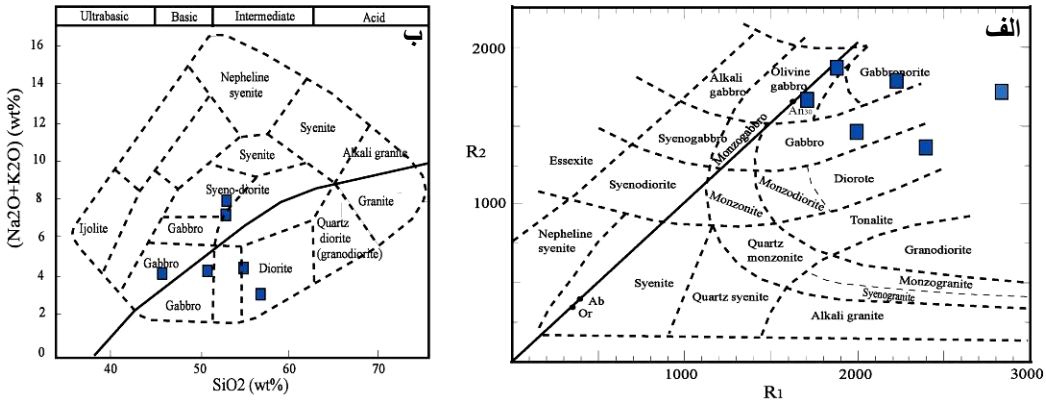
آنومالی منفی Nb و تا حدودی Ti در نمودارهای نرمالیزه شده نسبت به گوشتهٔ اولیه می‌تواند نشان‌دهندهٔ شکل‌گیری تودهٔ نفوذی در مناطق فرورانش باشد که حاصل سیالات و مذاب‌های ناشی از لیتوسفر فرورو همراه با متاسوماتیسم شدگی گوه گوشته بالای خودشان است [۳۴] و [۳۵] (شکل ۸ ب).

سری ماگمایی توده نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ در نمودارهای تعیین سری ماگمایی SiO_2 نسبت به K_2O [۳۶] در محدودهٔ کالکوآلکالن با پتاسیم متوسط است و یک نمونه به‌دلیل زیاد بودن میزان پتاسیم در محدودهٔ کالکوآلکالن با پتاسیم زیاد قرار می‌گیرد و سری ماگمایی در نمودار سه‌تایی (Na_2O+K_2O)-FeO_t-MgO [۳۷] در

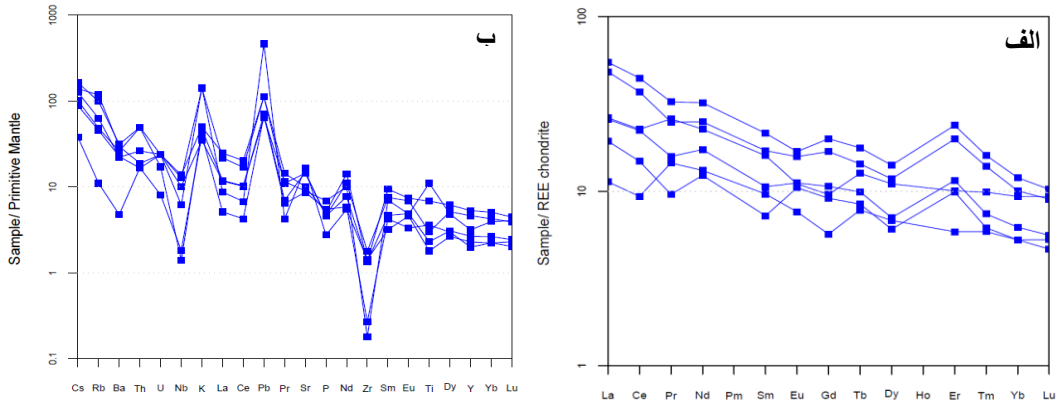
[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]

محدودهٔ کالکوآلکالن و دو نمونه با داشتن میزان FeO_t زیاد در محدودهٔ تولئیتی قرار دارد. در نمودار Co نسبت به Th [۳۸] نمونه‌ها در محدودهٔ کالکوآلکالن و در مرز بین کالکوآلکالن و کالکوآلکالن با پتاسیم زیاد قرار می‌گیرند (شکل ۹).

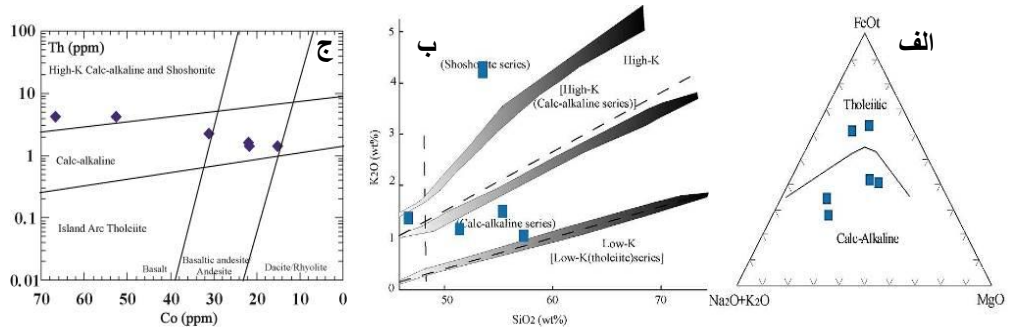
نمونه سنگ‌های تودهٔ نفوذی مافیک در نمودارهای تفکیک محیط تکتونیکی Rb-(Nb+Yb)، Rb-(Ta+Yb) و Ta-Yb [۳۹] در محدودهٔ قوس آتشفشانی و در نمودار Ti/Cr نسبت Ni در محدودهٔ جزایر قوسی قرار می‌گیرند [۴۰].



شکل ۷. الف) رده‌بندی سنگ‌های آذرین مافیک کمپلکس آلمابولاغ بر مبنای کاتیون‌های R_1-R_2 [۳۲]، ب) رده‌بندی سنگ‌های آذرین مافیک کمپلکس آلمابولاغ بر مبنای درصد وزنی اکسیدهای SiO_2 نسبت به (Na_2O+K_2O) [۳۳]



شکل ۸ الف) تغییرات عناصر نادر خاکی توده نفوذی مجموعه آلمابولاغ نرمالیزه شده به کندریت [۴۱] ب) نمودار تغییرات عناصر ناسازگار نرمالیزه شده به گوشته اولیه [۴۲]



شکل ۹. موقعیت نمونه‌های تودهٔ مافیک کمپلکس آلمابولاغ در نمودارهای تعیین سری‌ماگمایی الف) نمودار سه‌تایی FeO_t-(Na_2O+K_2O)-MgO [۳۷]، ب) نمودار دوتایی K_2O-SiO_2 [۳۶]، ج) نمودار دوتایی Th-Co [۳۸]

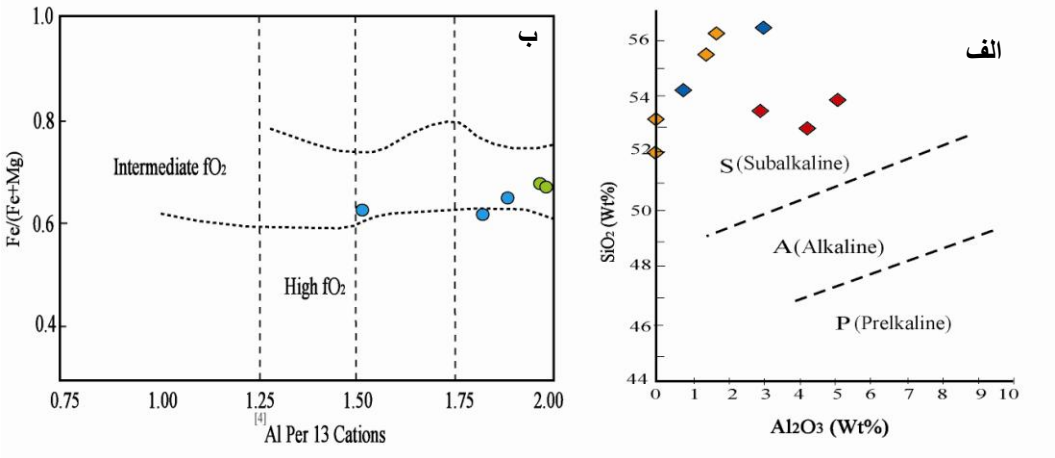
[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]

تعیین سری ماگمایی و محیط تکتونیکی بر مبنای شیمی کانی کلینوپیروکسن

از شیمی کانی پیروکسن در نمودار SiO_2 در مقابل Al_2O_3 [۹] برای تعیین سری ماگمایی توده نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ استفاده شده است. کلینوپیروکسن‌های توده نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ در محدودهٔساب آلکالن قرار می‌گیرند (شکل ۱۰ الف).

تعیین فوگاسیته اکسیژن ماگما

فوگاسیته اکسیژن از جمله فاکتورهایی است که مجموعه کانی‌های سنگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یکی از روش‌های تعیین فوگاسیته اکسیژن در سنگ‌های نفوذی، بررسی ترکیب آمفیبول‌هایی است که نسبت Fe/(Fe+Mg) آن‌ها بیش‌تر از ۳ (Fe/(Fe+Mg)> 3) است و نیز میزان آلومینیم تتراهدر آن‌ها بیش‌تر از ۰/۷۵ ($^{[4]}Al> 0.75$) است [۱۱]. شیمی آمفیبول‌های کمپلکس آلمابولاغ دارای ترکیبی مناسب برای تعیین میزان فوگاسیته اکسیژن هستند که در نمودار [۱۱] آلومینیم تتراهدر نسبت به Fe/(Fe+Mg) در محدودهٔ فوگاسیته اکسیژن متوسط قرار می‌گیرند (شکل ۱۰ ب).



شکل ۱۰. الف) نمودار Al_2O_3 نسبت به SiO_2 برای تعیین سری ماگمایی و محیط تکتونیکی بر مبنای شیمی کانی پیروکسن. محدودهٔ S مربوط به بازالت‌های ساب آلکالن، محدودهٔA مربوط به بازالت‌های آلکالن، محدودهٔ P مربوط به بازالت‌های پرآلکالن است، اقتباس از [۹]، د) تعیین میزان فوگاسیته اکسیژن ماگما آمفیبول‌های اولیه بر مبنای آلومینیم تتراهدر ($^{[4]}$Al per 13 Cations) در مقابل نسبت Fe/(Fe+Mg) کانی آمفیبول (علائم همانند شکل های ۵ و ۶) [۱۱]

ترموبارومتری توده مافیک کمپلکس آلمابولاغ

با توجه به حضور پیروکسن و آمفیبول در تودهٔ آذرین مافیک کمپلکس آلمابولاغ از روش‌های زیر برای تعیین حرارت و فشار (عمق) جای‌گیری تودهٔ نفوذی استفاده شده است.

ترمومتری بر مبنای پیروکسن-آمفیبول

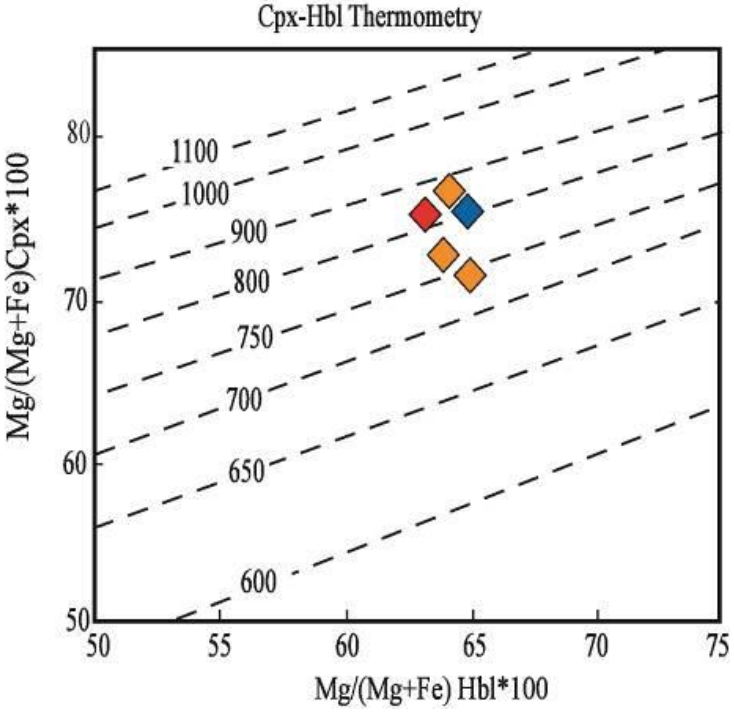
ترمومتری تودهٔ مافیک کمپلکس آلمابولاغ، برمبنای تبادل کاتیون‌های Fe و Mg بین کانی‌های آمفیبول $\{Mg/(Mg+Fe)_{hbl}\times100\}$ و کلینوپیروکسن $\{Mg/(Mg+Fe)_{cpx}\times100\}$ انجام شده است که دمای جای‌گیری تودهٔ مافیک کمپلکس آلمابولاغ با استفاده از ترمومتر پیروکسن-آمفیبول [۴۳] در محدودهٔ ۷۵۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۱۱).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]

بارومتری برمبنای آلومینیم آمفیبول‌ها

در طول تبلور تودهٔ نفوذی، مقدار آلومینیم در آمفیبول کلسیک می‌تواند رابطهٔ خطی با فشار داشته باشد [۱۰]-[۱۵]. شرایط لازم برای استفاده از بارومتر آلومینیم در آمفیبول، حضور کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار، بیوتیت و آمفیبول در سنگ است [۱۰]، [۱۱]. هم‌چنین شرط لازم دیگر برای استفاده از بارومتر آلومینیم در آمفیبول این است که در تجزیه به‌روش مایکروپروب باید کانی آمفیبولی تجزیه شود که در مجاورت با کوارتز یا آلکالی فلدسپار باشد [۱۰]. شرایطی که ذکر شد در مورد تودهٔ نفوذی آلمابولاغ صدق می‌کند و از پاراژنز ذکر شده فقط بیوتیت در این توده حضور ندارد ولی با توجه این‌که شیمی آمفیبول‌های تودهٔ نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ در محدودهٔ ۰/۴<Fe_{total} / (Fe_{total}+Mg)<۰/۶۵ هستند (که شرط استفاده از بارومتر آمفیبول به‌وسیلهٔ [۱۱]، [۱۲] معرفی شده است) بنابراین از بارومتر آلومینیم در آمفیبول برای تعیین فشار جای‌گیری تودهٔ نفوذی استفاده شده است (جدول ۳).

برای تعیین فشار (عمق) جای‌گیری تودهٔ نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ با توجه به پاراژنز کانی‌های تودهٔ نفوذی مافیک از بارومتری جانسون و رادفورد [۱۵] استفاده شده است که فشار جای‌گیری این توده با بارومتری فوق، بین ۶/۱۲ تا ۷/۵۸ کیلوبار و عمق جای‌گیری تودهٔ حدود ۲۰-۱۸ کیلومتر تعیین شده است. نتایج حاصل از بارومترهای هامارستروم و زن [۱۴]، اشمیت [۱۲] و آندرسون و اسمیت [۱۱] برای مقایسه با بارومتر جانسون و رادفورد [۱۵] در (جدول ۴) آورده شده است.

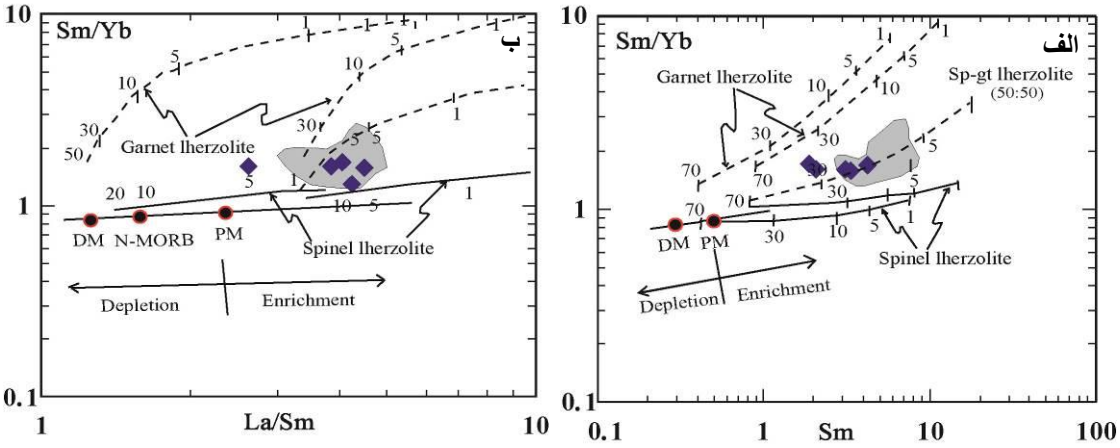


شکل ۱۱. ترمومتری برمبنای کانی‌های کلینوپیروکسن و آمفیبول اقتباس از [۴۳]

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]

جدول ۴. نتایج بارومتری توده نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ. نتایج بارومتر جانسون و رادفورد [۱۵] که در این تحقیق استفاده شده در جدول به‌صورت تیره نمایش داده شده است

بارومترهای آلومینیم در آمفیبول		جانسون و رادفورد[۱۷]	هامارستروم و زن [۱۶]	اشمیت [۱۴]	آندرسون و اسمیت [۱۳], P = f(Al, T)			
متوسط		۵/۶۰	۶/۸۵	۷/۱۸	۷۵۰	۵/۸۳	۸۰۰	۵/۵۴
Standart deviation		۲/۴۱۹	۲/۸۷۷	۲/۷۲۳		۲/۴۵۵		۲/۲۷۷
شماره	Al_{total}	P	P	P	T, ºC	P	T, ºC	P
T-76-1	۲/۲۶۴	۶/۱۲	۷/۴۷	۷/۷۷	۷۵۰	۶/۳۶	۸۰۰	۵/۰۳
T-76-2	۲/۶۱	۷/۵۸	۹/۲۱	۹/۴۱	۷۵۰	۷/۸۴	۸۰۰	۶/۴۱
T-76-3	۲/۳۶۵	۶/۵۴	۷/۹۸	۸/۲۵	۷۵۰	۶/۷۹	۸۰۰	۵/۴۳
T-76-4	۲/۲۹۳	۶/۲۴	۷/۶۱	۷/۹۰	۷۵۰	۶/۴۸	۸۰۰	۵/۱۴
T-76-5	۲/۵۳۱	۷/۲۵	۸/۸۱	۹/۰۴	۷۵۰	۷/۵۰	۸۰۰	۶/۰۹



شکل ۱۲. الف) نمودار Sm/Yb نسبت به Sm، ب) نمودار Sm/Yb نسبت به La/Sm. خطوط تیره پایین نمودار مربوط به گوشتهٔ تهی‌شده MORB (DMM و گوشتهٔ اولیه (PM). نمودار ذوب اسپینل لرزولیت (Ol_{53} + Opx_{27}+ Cpx_{17} +Sp_{11}) و گارنت پریدوتیت (Ol_{60}+ Opx_{20} + Cpx_{10} +Gt_{10}) با دو ترکیب PM و DMM، اعداد درصد درجه ذوب بخشی را نشان می‌دهند [۴۵]. قسمت خاکستری که در شکل نشان داده شده است مربوط به هورنبلند گابرو و الیوین گابروهای معرفی شد یه‌وسیلهٔ [۴۵] است که نمونه‌های مربوط به تودهٔ مافیک کمپلکس آلمابولاغ نیز در محدودهٔ حدواسط گارنت-اسپینل لرزولیت قرار می‌گیرند

بحث

آنومالی منفی Nb نرمالیزه شده نسبت به گوشتهٔ اولیه در تودهٔ مافیک کمپلکس آلمابولاغ، نشان‌دهندهٔ ارتباط این توده با محیط‌های فرورانشی است و آنومالی ضعیف یوروپیم (Eu/Eu* =۰/۸۱-۱/۲۹) و استرانسیوم (Sr) نشان‌دهندهٔ نبود یا تفریق جزئی پلاژیوکلاز است [۳۵]، [۴۴].

عناصر نادر خاکی در تودهٔ نفوذی مافیک که نسبت به کندریت نرمالیزه شده‌اند، تقریباً روند خطی با غنی‌شدگی مختصر LREE نسبت به HREE را نشان می‌دهند و این روند عناصر نادر خاکی می‌تواند در ارتباط با تشکیل ماگما از محدودهٔ حدواسط گارنت لزولیت و اسپینل لزولیت باشد که روندی مشابه با هورنبلند گابروهای معرفی شده در جنوب غرب چین [۴۵] را دارند، از این رو، برای تعیین منشأ ماگمای تودهٔ نفوذی کمپلکس آلمابولاغ از فراوانی عناصر

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]

Sm/Yb نسبت به Sm و فراوانی Sm/Yb نسبت به Sm/La استفاده شده است که در این نمودارها، نمونه‌ها در محدودهٔ حدواسط گارنت-اسپینل لزولیت قرار می‌گیرند. بنابراین منشأ ماگمای اولیه تودهٔ مافیک از ذوب بخشی گارنت-اسپینل لرزولیت است (شکل ۱۴). هم‌چنین زیاد بودن میزان MgO, Cr, Ni و آنومالی مثبت Pb نسبت به گوشتهٔ اولیه حاکی از شکل‌گیری ماگما از گوشته است [۱] و فراوانی نسبی K, Cs, Rb می‌تواند مربوط به تأثیر سیالات در مناطق فرورانشی باشد [۱]، [۳۵].

جای‌گاه تکتونیکی تودهٔ نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ بر مبنای تفکیک محیط‌های تکتونیکی و شیمی کانی پیروکسن، مربوط به مناطق فرورانش و جزایر قوسی است [۳۵]، [۴۴] و سری ماگمایی این توده در تقسیم‌بندی سری‌های ماگمایی در محدودهٔ کالکوآلکالن است [۳۶]، [۳۷]، [۴۰].

شیمی کانی‌های آمفیبول با فراوانی Si=۶/۰۰-۶/۸۰ و Na+Ca+K= ۲/۲۴-۲/۸۸ در هر واحد فرمولی در محدودهٔ آمفیبول‌های ماگمایی است که تأثیر سیالات حاصل از فرورانش می‌تواند علت تشکیل آمفیبول در گابروها باشد [۴۴،۳۵] و نیز شیمی کانی آمفیبول حاکی از فوگاسیته متوسط ماگمای تودهٔ مافیک است.

نتایج ژئوشیمی و شیمی کانی‌ها نشان می‌دهند که تشکیل تودهٔ مافیک کمپلکس آلمابولاغ مربوط به محیط‌های فرورانشی است و از گوشته منشأ گرفته‌اند و قبل از بسته شدن کامل نئوتتیس در زون سنندج-سیرجان در مجموعه دگرگونی‌های درجه کم ژوراسیک همدان نفوذ کرده‌اند. تشکیل کانی‌های ماگمایی پیروکسن و آمفیبول در محدودهٔ دمایی ۹۰۰-۷۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد است. فشار (عمق) جای‌گیری این توده بر مبنای بارومتر آلومینیم موجود در آمفیبول در حدود ۶ تا ۷ کیلوبار است.

نتیجه‌گیری

تودهٔ مافیک کمپلکس آلمابولاغ که در شمال غرب استان همدان زون سنندج-سیرجان برون‌زد دارد. کانی‌های اصلی این تودهٔ شامل پلاژیوکلاز با ترکیب آندزین-لابرادوریت، کلینوپیروکسن با ترکیب اوژیت و آمفیبول با ترکیب چرماکیت است.

در تودهٔ نفوذی مافیک کمپلکس آلمابولاغ علاوه بر آمفیبول‌های اولیه، آمفیبول‌های ثانویه در حاشیهٔ پیروکسن‌ها تشکیل شده‌اند که ترکیب شیمی آن‌ها از نوع مگنزیوهونبلند است.

سری ماگمایی تودهٔ مافیک کمپلکس آلمابولاغ کالکوآلکالن و از لحاظ محیط تکتونیکی مربوط به محیط فرورانشی است. منشأ ماگمای این توده از ذوب بخشی محدودهٔگارنت-اسپینل لرزولیت است.

جای‌گیری این توده در اواخر ژوراسیک- اوایل کرتاسه قبل از بسته شدن کامل نئوتتیس در زون سنندج-سیرجان در دمای ۹۰۰-۷۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار (عمق) ۷-۶ کیلوبار انجام شده است.

منابع

1. Abdelfadil Kh.M., Romer R.L., Seifert Th., Lobst R., "Calc-alkaline lamprophyres from Lusatia (Germany)-Evidence for a repeatedly enriched mantle source", Chemical Geology, 353 (2013) 230-245.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]

2. Kharbish SH., "Geochemistry and magmatic setting of Wadi El-Markh island-arc gabbro-diorite suite, central Eastern Desert, Egypt", Chemie der Erde//Geochemistry, 70 (2010) 257-266.
3. Masoudi F., Jamshidibadr M., "Biotite and hornblende composition used to investigate the nature and thermobarometry of Pichagchi pluton, Northwest Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, Iran. Journal of Sciences", Islamic Republic of Iran, 19/4 (2008) 329-338.
4. Sial A.N., Ferreira V.P., Fallick A.E., Jeronimo M., Cruz M., "Amphibole-rich clots in calc-alkalic granitoids in the Borborema province northeastern Brazil", Journal of South American Earth Science, 11(1998) 457-471.
5. Morimoto N., Fabries J., Ferguson A.K., Ginzburg I.V., Ross M., Seifert F.A., Zussman J., Aoki K., Gottardi G., "Nomenclature of pyroxenes", American Mineralogist, 73 (1988) 1123-1133.
6. Tulloch A.J.,"Secondary Ca-AI silicates as tow grade alteration products of granitoid biotite", Contributions to Mineralogy and Petrology, 69 (1979) 105-17.
7. Tulloch A.J., "Comment on 'Implications of magmatic epidote-bearing plutons on crustal evolution in the accreted terraines of north-western North America and Magmatic epidote and its petrologic significance", Geology, 14 (1986) 186-7.
8. Lindsley D. H., "Pyroxene thermometry", American Mineralogist, 68 (1983) 477-493.
9. Nisbet E.G., Pearce J.A., "Clinopyroxene composition of mafic lavas from different tectonicsettings", Contributions to Mineralogy and Petrology, 63 (1977) 161-173.
10. Stein E., Dietl C., "Hornblende thermobarometry of granitoids from the Central Odenwald (Germany) and their implications for the geotectonic development of the Odenwald", Mineralogy and Petrology, 72 (2001) 185-207.
11. Anderson J.L., Smith D.R., "The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer", American Mineralogist, 80 (1995) 549-559.
12. Schmidt M.W., "Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: An experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer", Contributions to Mineralogy and Petrology, 110 (1992) 304-310.
13. Thomas W.M., Ernst W.G., "The aluminium content of hornblende in calc-alkaline granitic rocks: A mineralogic barometer calibrated experimentally to 12kbar: In: Spencer R.J. and

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]

Chou I.M (Eds.), Fluid-mineral interactions: A tribute to HP Eugster", The Geochemical Society Special Publication, 2 (1990) 59-63.

14. Hammarstrom J.M., Zen E., "Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer" American Mineralogist, 71 (1986) 1297-1313.
15. Johnson M.C., Rutherford M.J., "Experimental calibration of the aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley Caldera (California) volcanic rocks", Geology, 17 (1989) 837-841.
16. Jamshidibadr M., "Evidence of the Effect of Metasomatism and Introduction Tourmalinite Veins in the Almabulage complex (NW Iran)". Journal of Tethys, 2/4 (2014) 272-286.
17. Azizi H., Asahara Y., "Juvenile granite in the Sanandaj Sirjan Zone, NW Iran: Late Jurassic – Early Cretaceous arc continental collision", International Geology Review, 59(2013) 1-18.
18. Yajam S., Montero P., Scarrow H., Ghalamghash J., Razavi S.M.H., Bea F., "The spatial and compositional evolution of the Late Jurassic Ghorveh-Dehgolan plutons of the Zagros Orogen, Iran: SHRIMP zircon U-Pb and Sr and Nd isotope evidence", Geological Acta. 13/1(2015) 25-43.
19. Azizi H., Asahara Y., Mehrabi B., Chung S.L., "Geochronological and geochemical constraints on the petrogenesis of high-K granite from the Suffi abad area, Sanandaj-Sirjan Zone, NW Iran", Chemie der Erde/Geochemistry, 71 (2011) 363-376.
20. Mahmoudi Sh., Corfu F., Masoudi F., Mehrabi B., Mohajjel M., "U-Pb dating and emplacement history of granitoid plutons in the northern Sanandaj–Sirjan Zone, Iran", Journal of Asian Earth Sciences, 41(2011) 238-249.
21. Shahbazi H., Siebel W., Pourmoafee M., Ghorbani M., Sepahi A.A., Shang C.K., Vousoughi Abedini M., "Geochemistry and U–Pb zircon geochronology of the Alvand plutonic complex in Sanandaj-Sirjan Zone (Iran): new evidence for Jurassic magmatism", Journal of Asian Earth Sciences, 6 (2010) 668-683.
22. Azizi H., Asahara Y., "Juvenile granite in the Sanandaj Sirjan Zone, NW Iran: Late Jurassic-Early Cretaceous arc continental collision", International Geology Review, 59 (2013) 1-18.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]

23. Valizadeh M.V., Cantagrel J.M., "Premières donnéesra diométriques (K-AretRb-Sr) sur les micas du complexe magmatique du montAlvand, prés d Hamadan (Iran occidental). ComptesRendus I", Acad. Sci Paris D, 281 (1975)1083-1086.
24. Shahbazi H., Siebel W., Ghorbani M., Pourmoafee M., Sepahi A.A., Vousoughi Abedini M., Shang C.K., "The Almogholagh pluton, Sanandaj-Sirjan zone, Iran: geochemistry, U-(Th)-Pb titanite geochronology and implications for its tectonic evolution", Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen Journal of Mineralogy and Geochemistry, 192/1 (2015) 85-99.
25. Aghazadeh M., Castro A., Badrzadeh Z., Vogt K., "Post-collisional polycyclic plutonism from the Zagros hinterland. The Shaivar-Dagh plutonic complex Alborz belt, Iran", Geological Magazine, 148 (2011) 980-1008.
26. Aghazadeh M., Castro A., Omran N.R., Emami M.H., Moinvaziri H., Badrzadeh Z., "The gabbro (shoshonitic)-monzonite-granodiorite association of Khankandi pluton, Alborz Mountains, NW Iran", Journal of Asian Earth Sciences, 38 (2010) 199-219.
27. Ashragi S.A., Mahmoudi Garaii M., "Tuyserkan geological map", scale 1:100000 Geological Survey and Mineral Exploration country, (2003).
28. Kretz R., "Symbols for rock-forming minerals", American Mineralogist. 68 (1983) 277-279.
29. Streckeisen A.L., "Classification and nomenclature of plutonic rocks", Geologische Rundschau. 63 (1974) 773-786.
30. Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "An Introduction to the Rock Forming Minerals", 2nd ed., Longman, London, (1992).
31. Leake E., Woolley A.R., Birch W.D., "Numenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association commission on new mineral names", Canadian Mineralogist, 35 (1997) 219-246.
32. De La Roche H., Leterrier J., Grande P., Marchal M., "A classification of volcanic and plutonic rocks using R_1-R_2 diagrams and major element analyses, its relationship and current nomenclature", Chemical Geology, 29 (1980) 183-210.
33. Wilson M., "Igneous petrogenesis a global tectonic approach, Department of Earth seiences, university of leeds", London, UNWIN HYMAN (1989).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]

34. Chappell B.W., White A.J.R., "I- and S-type granites in the Lachlan fold belt. Transactions of the Royal Society of Edinburgh", Earth Sciences, 83 (1992) 1-26.
35. Gill R., "Igneous Rocks and Processes: A Practical Guide", Wiley-Blackwell, Chichester, UK, (2010) 440, ISBN 978-06320-6377-2.
36. Rickwood P.C., "Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements". Lithos, 22 (1989) 247-264.
37. Irvine T.N., Baragar W.R.A., "Aguide to the chemical classification of the common volcanic rocks". Canadian Journal of Earth Sciences, 8 (1971) 523-548.
38. Hastie A.R., Kerr A.C., Pearce J.A., Mitchell S.F., "Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination diagram", Journal of Petrology, 48 (2007) 2341-2357.
39. Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G., "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", Journal of Petrology, 25 (1984) 956-983.
40. Beccaluva L., Ohnestetter D., Ohnestetter M., "Geochemical discrimination between ocean floor island arc tholeiite, application to some ophiolites", Ofioliti 4/1(1979) 67-72.
41. Boynton W.V., "Consmochemistry of the rare earth elements meteorite stud-ies. In: Henderson, P. (Ed.), Rare Earth Element Geochemistry", Elsevier Sciences, Amsterdam, (1984) 63-114.
42. Thompson R.N., "Magmatism of the British Tertiary volcanic province", Scottish Journal of Geology, 18 (1982) 9-107.
43. Anderson J.L., "Status of thermobarometry in granitic batholiths", Trans Royal Soc Edinburgh. Earth Sciences, 87/2 (1996) 125-138.
44. Pearce J.W., Peate D.W., "Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas". Earth and Planetary Science Letters, 23 (1995) 251-285.
45. Zhao J-H., Zhou M-F., "Geochemistry of Neoproterozoic mafic intrusions in the Panzhihua district (Sichuan Province, SW China): Implications for subduction-related metasomatism in the upper mantle", Precambrian Research, 152 (2007) 27-47.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/gnf.1.2.137]